

文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発
「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」

CISS フリーソフトウェア

FrontFlow/blue version.8.1
FrontFlow/blue-ACOUSTICS version.2.3

ユーザマニュアル

本ソフトウェアは文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトによる成果物です。本ソフトウェアを無償でご使用になる場合「CISS フリーソフトウェア使用許諾条件」をご了承頂くことが前提となります。営利目的の場合には別途契約の締結が必要です。これらの契約で明示されていない事項に関して、或いは、これらの契約が存在しない状況においては、本ソフトウェアは著作権法など、関係法令により、保護されています。

お問い合わせ先

(公開 / 契約窓口) (財)生産技術研究奨励会
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
(ソフトウェア管理元) 東京大学生産技術研究所 革新的シミュレーション研究センター
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
Fax : 03-5452-6662
E-mail : software@ciss.iis.u-tokyo.ac.jp

Contents

| | |
|------------------------------|-----------|
| 1 概要 | 15 |
| 1.1 本システムの概要 | 15 |
| 1.2 主な特徴 | 15 |
| 1.2.1 解析実績 | 16 |
| 1.2.2 Large Eddy Simulations | 16 |
| 1.2.3 数値解析手法 | 16 |
| 1.2.4 マルチフレーム機能（オーバーセット計算） | 16 |
| 1.2.5 並列計算 | 17 |
| 1.2.6 大規模並列計算 | 17 |
| 1.2.7 熱輸送解析機能 | 17 |
| 1.2.8 キャビテーション流れ解析機能 | 17 |
| 1.2.9 混相流解析機能 | 17 |
| 1.2.10 乱流音解析機能（カールの式） | 18 |
| 1.2.11 音響解析機能 | 18 |
| 1.2.12 Refiner 機能 | 18 |
| 1.2.13 周辺プログラム | 18 |
| 2 インストール (FFB) | 19 |
| 2.1 自動モードでのインストール | 21 |
| 2.1.1 環境変数'LES3DHOME' の設定 | 21 |
| 2.1.2 プラットフォーム情報の設定 | 22 |
| 2.1.3 サイズの変更 | 23 |
| 2.1.4 インストールスクリプトの実行 | 24 |
| 2.1.5 並列計算機能のインストール | 25 |
| 2.2 手動モードでのインストール | 26 |
| 2.2.1 環境変'LES3DHOME' の設定 | 26 |
| 2.2.2 プラットフォーム情報の設定 | 27 |
| 2.2.3 サイズの変更 | 28 |
| 2.2.4 ライブラリファイルの作成 | 29 |
| 2.2.5 流体解析モジュールの作成 | 30 |
| 2.2.6 周辺プログラムの実行ファイル作成 | 32 |
| 2.3 注意事項 | 33 |
| 2.3.1 パスの設定 | 33 |
| 2.3.2 周辺プログラム起動用のスクリプトについて | 33 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.3 メモリ使用量について | 34 |
| 2.3.4 性能測定機能について | 35 |
| 2.3.5 HA8000 (T2K 東大) 使用の際の注意点 | 36 |
| 2.3.6 ベクトルマシン使用の際の注意点 | 37 |
| 2.3.7 京および FX-10 使用の際の注意点 | 39 |
| 2.4 ロードモジュール | 40 |
| 2.4.1 流れソルバー les3x.mpi | 40 |
| 2.4.2 周辺プログラム | 41 |
| 3 インストール (FFB-ACOUSTIC) | 42 |
| 3.1 アーカイブファイルの解凍・展開 | 43 |
| 3.2 各種設定の確認 | 43 |
| 3.3 インストールスクリプトの実行 | 43 |
| 3.4 並列計算機能のインストール | 44 |
| 4 システム構成 | 45 |
| 4.1 流体解析ソルバー | 45 |
| 4.1.1 概要 | 45 |
| 4.1.2 数値計算手法 | 46 |
| 4.1.3 機能 | 47 |
| 4.1.4 計算コスト | 48 |
| 4.2 周辺プログラム | 49 |
| 4.2.1 周辺プログラム機能 | 49 |
| 4.2.2 周辺プログラム実行方法 | 50 |
| 4.3 チュートリアルデータ | 53 |
| 4.4 新機能の紹介 | 63 |
| 4.4.1 局所 refine 機能 | 63 |
| 4.4.2 ALE 解析機能 | 64 |
| 4.4.3 IDR マトリックスソルバー | 65 |
| 4.4.4 混相流解析機能 | 66 |
| 5 ファイルシステム | 67 |
| 5.1 解析条件ファイル | 68 |
| 5.1.1 流れソルバー (les3x) の解析条件ファイル | 69 |
| 5.1.2 流れソルバー (les3x) のオプション設定 | 83 |
| 5.1.3 音響ソルバー (caa3d) の解析条件ファイル | 100 |
| 5.1.4 音響ソルバー (caa3d) のオプション設定 | 104 |
| 5.2 GF フォーマットファイル | 106 |
| 5.2.1 メッシュデータファイル | 109 |
| 5.2.2 境界条件データファイル (流れ解析用) | 110 |
| 5.2.3 境界条件データファイル (音響解析用) | 112 |
| 5.2.4 流れ場データファイル | 114 |
| 5.2.5 音源データファイル | 116 |
| 5.2.6 音場データファイル | 116 |
| 5.2.7 オーバーセットデータファイル | 117 |
| 5.2.8 座標系データファイル | 118 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.9 ファイル分割データファイル | 119 |
| 5.2.10 履歴データファイル | 120 |
| 6 基本機能 | 124 |
| 6.1 基本機能(六面体) | 125 |
| 6.1.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 128 |
| 6.1.2 GF フォーマットファイルへの変換 | 129 |
| 6.1.3 境界条件データの編集 | 130 |
| 6.1.4 解析条件ファイルの作成(PARMLES3C) | 132 |
| 6.1.5 流れ場計算の実行(les3c) | 134 |
| 6.1.6 可視化のためのファイル変換 | 136 |
| 6.1.7 履歴データの編集 | 138 |
| 6.2 基本機能(四面体) | 140 |
| 6.2.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 143 |
| 6.2.2 GF フォーマットファイルへの変換 | 144 |
| 6.2.3 境界条件データの編集 | 145 |
| 6.2.4 解析条件ファイルの作成(PARMLES3C) | 147 |
| 6.2.5 流れ場計算の実行(les3ct) | 149 |
| 6.2.6 可視化のためのファイル変換 | 151 |
| 6.2.7 履歴データの編集 | 153 |
| 6.3 流れソルバー実行時の注意事項 | 155 |
| 6.3.1 流体解析ソルバー les3d/les3c 使用方法 | 155 |
| 6.3.2 コントロールパラメータの単純な設定ミス | 155 |
| 6.3.3 出口境界における逆流 | 156 |
| 6.3.4 CFL 条件 | 156 |
| 6.3.5 不適切なコントロールパラメータの設定 | 157 |
| 6.4 境界条件のオプション機能 | 165 |
| 6.4.1 対流流出境界条件 | 165 |
| 6.4.2 無反射境界条件 | 166 |
| 7 オーバーセット計算 | 169 |
| 7.1 オーバーセット計算概要 | 169 |
| 7.2 オーバーセット計算(六面体) | 171 |
| 7.2.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 174 |
| 7.2.2 GF フォーマットファイルへの変換 | 177 |
| 7.2.3 境界条件データの編集 | 178 |
| 7.2.4 メッシュ、境界条件データのスタック | 180 |
| 7.2.5 オーバーセットデータファイルの作成 | 181 |
| 7.2.6 座標系データの作成 | 185 |
| 7.2.7 解析条件ファイルの作成(PARMLES3C) | 186 |
| 7.2.8 流れ場の計算実行(les3c) | 188 |
| 7.2.9 可視化のためのファイル変換 | 190 |
| 7.2.10 履歴データの編集 | 192 |
| 7.3 オーバーセット計算(四面体) | 194 |
| 7.3.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 197 |
| 7.3.2 GF フォーマットファイルへの変換 | 200 |

| | | |
|--------|-------------------------|-----|
| 7.3.3 | 境界条件データの編集 | 201 |
| 7.3.4 | メッシュ、境界条件データのスタック | 203 |
| 7.3.5 | オーバーセットデータファイルの作成 | 204 |
| 7.3.6 | 座標系データの作成 | 208 |
| 7.3.7 | 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3C) | 209 |
| 7.3.8 | 流れ場の計算実行 (les3ct) | 211 |
| 7.3.9 | 可視化のためのファイル変換 | 213 |
| 7.3.10 | 履歴データの編集 | 215 |
| 7.4 | オーバーセット計算 (マルチ要素) | 217 |
| 7.4.1 | メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 220 |
| 7.4.2 | GF フォーマットファイルへの変換 | 223 |
| 7.4.3 | 境界条件データの編集 | 224 |
| 7.4.4 | メッシュ、境界条件データのスタック | 226 |
| 7.4.5 | オーバーセットデータファイルの作成 | 227 |
| 7.4.6 | 座標系データの作成 | 231 |
| 7.4.7 | 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3X) | 232 |
| 7.4.8 | 流れ場の計算実行 (les3x) | 234 |
| 7.4.9 | 可視化のためのファイル変換 | 236 |
| 7.4.10 | 履歴データの編集 | 238 |
| 8 | 並列計算 | 240 |
| 8.1 | 並列計算の概要 | 241 |
| 8.1.1 | 処理流れ | 241 |
| 8.1.2 | DDD ファイルについて | 242 |
| 8.2 | 基本並列計算 (六面体) | 243 |
| 8.2.1 | 入力データの作成 | 245 |
| 8.2.2 | DDD ファイルの作成 | 246 |
| 8.2.3 | メッシュ、境界ファイルの領域分割 | 247 |
| 8.2.4 | 解析条件ファイル | 248 |
| 8.2.5 | 並列計算の実行 | 250 |
| 8.2.6 | 流れ場ファイルの領域結合 | 252 |
| 8.2.7 | 履歴ファイルの領域結合 | 253 |
| 8.3 | 基本並列計算 (四面体) | 254 |
| 8.3.1 | 入力データの作成 | 256 |
| 8.3.2 | DDD ファイルの作成 | 257 |
| 8.3.3 | メッシュ、境界ファイルの領域分割 | 258 |
| 8.3.4 | 解析条件ファイル | 260 |
| 8.3.5 | 並列計算の実行 | 262 |
| 8.3.6 | 流れ場ファイルの領域結合 | 263 |
| 8.3.7 | 履歴ファイルの領域結合 | 264 |
| 8.4 | オーバーセット計算を含む並列計算 (六面体) | 265 |
| 8.4.1 | 入力データの作成 | 268 |
| 8.4.2 | DDD ファイルの作成 | 269 |
| 8.4.3 | メッシュ、境界ファイルの領域分割 | 270 |
| 8.4.4 | オーバーセットファイルの領域分割 | 271 |
| 8.4.5 | 座標系ファイルの領域分割 | 272 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|-----|
| 8.4.6 | 解析条件ファイル | 273 |
| 8.4.7 | 並列計算の実行 | 275 |
| 8.4.8 | 流れ場ファイルの領域結合 | 278 |
| 8.4.9 | 履歴ファイルの領域結合 | 279 |
| 8.5 | オーバーセット計算を含む並列計算(四面体) | 280 |
| 8.5.1 | 入力データの作成 | 283 |
| 8.5.2 | DDD ファイルの作成 | 284 |
| 8.5.3 | メッシュ、境界ファイルの領域分割 | 285 |
| 8.5.4 | オーバーセットファイルの領域分割 | 286 |
| 8.5.5 | 座標系ファイルの領域分割 | 287 |
| 8.5.6 | 解析条件ファイル | 288 |
| 8.5.7 | 並列計算の実行 | 290 |
| 8.5.8 | 流れ場ファイルの領域結合 | 293 |
| 8.5.9 | 履歴ファイルの領域結合 | 294 |
| 8.6 | オーバーセット計算を含む並列計算(マルチ要素ソルバー) | 295 |
| 8.6.1 | 入力データの作成 | 298 |
| 8.6.2 | DDD ファイルの作成 | 299 |
| 8.6.3 | メッシュ、境界ファイルの領域分割 | 300 |
| 8.6.4 | オーバーセットファイルの領域分割 | 302 |
| 8.6.5 | 座標系ファイルの領域分割 | 303 |
| 8.6.6 | 解析条件ファイル | 304 |
| 8.6.7 | 並列計算の実行 | 306 |
| 8.6.8 | 流れ場ファイルの領域結合 | 309 |
| 8.6.9 | 履歴ファイルの領域結合 | 310 |
| 9 | マルチ要素ソルバーでのリファイン機能 | 311 |
| 9.1 | 外部リファインを使用したマルチ要素メッシュの計算 | 313 |
| 9.1.1 | GF フォーマットのメッシュおよび境界条件ファイルの作成 | 315 |
| 9.1.2 | 外部リファインの適用 | 317 |
| 9.1.3 | 解析条件ファイルの作成(PARMLES3X) | 319 |
| 9.1.4 | 流れ場計算の実行(les3x) | 321 |
| 9.1.5 | 可視化のためのファイル変換 | 324 |
| 9.1.6 | 履歴データの編集 | 327 |
| 9.2 | 内部リファインを使用したマルチ要素メッシュの計算 | 329 |
| 9.2.1 | 内部リファインの場合の解析条件ファイルの作成(PARMLES3X) | 331 |
| 9.2.2 | 流れ場計算の実行(les3x) | 333 |
| 9.2.3 | 可視化のためのファイル変換 | 336 |
| 9.2.4 | 履歴データの編集 | 339 |
| 10 | 乱流音解析プログラム(カールの式) | 343 |
| 10.1 | 流れ場の計算 | 345 |
| 10.2 | 音圧の計算 | 346 |
| 10.2.1 | プログラム'spcalf'による計算 | 346 |
| 10.2.2 | プログラム'spcals'による計算 | 349 |
| 10.3 | 音圧レベルの計算 | 352 |

| | |
|--|------------|
| 11 音響解析機能 | 356 |
| 11.1 基本機能 | 357 |
| 11.1.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成 | 359 |
| 11.1.2 GF フォーマットファイルへの変換 | 360 |
| 11.1.3 境界条件データの処理 | 361 |
| 11.1.4 音源情報ファイルの作成 | 364 |
| 11.1.5 解析条件ファイルの作成 (PARMCAA3D) | 366 |
| 11.1.6 音響解析の実行 | 368 |
| 11.1.7 可視化のためのファイル変換 | 370 |
| 11.1.8 音圧分布の取得 | 371 |
| 11.2 検証 | 374 |
| 11.2.1 内部音響問題 | 374 |
| 11.2.2 外部音響問題 | 380 |
| 12 定常・RANS 解析機能 | 386 |
| 12.1 機能概要 | 387 |
| 12.2 計算概要 | 389 |
| 12.3 解析条件ファイルの設定 | 391 |
| 12.4 計算実行 | 394 |
| 12.5 計算結果 | 395 |
| 13 DES 解析機能 | 396 |
| 13.1 機能概要 | 397 |
| 13.2 計算概要 | 398 |
| 13.3 解析条件ファイルの設定 | 400 |
| 13.4 計算実行 | 402 |
| 13.5 計算結果 | 402 |
| 14 ポクセルメッシュ計算 | 405 |
| 14.1 機能概要 | 406 |
| 14.2 計算概要 | 407 |
| 14.3 中間節点ファイルの作成 | 408 |
| 14.4 解析条件ファイルの設定 | 409 |
| 14.5 計算実行 | 411 |
| 14.6 計算結果 | 413 |
| 15 ファンモデル・ポーラスモデル | 415 |
| 15.1 機能概要 | 416 |
| 15.1.1 ファンモデル・ポーラスモデル | 416 |
| 15.1.2 流量調節機能 | 416 |
| 15.2 計算概要 | 417 |
| 15.3 解析条件ファイルの設定 | 418 |
| 15.3.1 流体力オブジェクトについてのパラメータ設定 | 420 |
| 15.3.2 流量調節機能についてのパラメータ設定 | 421 |
| 15.4 計算実行 (les3x) | 422 |
| 15.5 計算結果 | 425 |

| | |
|--|------------|
| 16 热輸送解析機能 | 427 |
| 16.1 サーマルキャビティ解析（六面体） | 428 |
| 16.1.1 計算概要（六面体） | 428 |
| 16.1.2 解析条件ファイルの設定（六面体） | 430 |
| 16.1.3 計算実行（六面体） | 432 |
| 16.1.4 計算結果（六面体） | 433 |
| 16.2 サーマルキャビティ解析（四面体） | 435 |
| 16.2.1 計算概要（四面体） | 435 |
| 16.2.2 解析条件ファイルの設定（四面体） | 437 |
| 16.2.3 計算実行（四面体） | 439 |
| 16.2.4 計算結果（四面体） | 440 |
| 16.3 サーマルキャビティ解析（マルチ要素ソルバー：有次元パラメータ入力） | 446 |
| 16.3.1 計算概要 | 446 |
| 16.3.2 解析条件ファイルの設定 | 448 |
| 16.3.3 計算実行 | 449 |
| 16.3.4 計算結果 | 450 |
| 16.4 固体内熱伝導テスト計算（マルチ要素ソルバー：有次元パラメータ入力） | 451 |
| 16.4.1 機能概要 | 451 |
| 16.4.2 計算概要 | 452 |
| 16.4.3 解析条件ファイルの設定 | 453 |
| 16.4.4 計算実行 | 456 |
| 16.4.5 計算結果 | 458 |
| 17 キャビテーション流れ解析 | 461 |
| 17.1 機能概要 | 461 |
| 17.2 計算概要 | 461 |
| 17.3 解析条件ファイルの設定 | 464 |
| 17.4 計算実行 | 468 |
| 17.5 計算結果 | 469 |
| 18 周辺プログラム（流体） | 472 |
| 18.1 データフォーマット変換 | 474 |
| 18.1.1 fva2gf | 475 |
| 18.1.2 gffv3 | 476 |
| 18.1.3 gffv3t | 477 |
| 18.1.4 gffv3x | 478 |
| 18.1.5 gfmavs | 479 |
| 18.1.6 gfplt | 480 |
| 18.1.7 gr2gft | 481 |
| 18.1.8 gr2gfx | 482 |
| 18.2 メッシュデータ，境界条件，流れ場データのチェック | 483 |
| 18.2.1 chk | 484 |
| 18.2.2 chkbct | 485 |
| 18.2.3 chkbct | 487 |

| | | |
|---------|------------------------------------|-----|
| 18.2.4 | chkbcx | 488 |
| 18.2.5 | chkfr | 489 |
| 18.2.6 | chkfrx | 491 |
| 18.2.7 | chkft | 493 |
| 18.2.8 | chkif | 495 |
| 18.2.9 | chknd | 496 |
| 18.2.10 | chkndt | 498 |
| 18.2.11 | chkndx | 500 |
| 18.2.12 | chkrt | 502 |
| 18.2.13 | cwall | 503 |
| 18.2.14 | difff | 504 |
| 18.3 | メッシュデータ, 境界条件, 流れ場データの変更 | 505 |
| 18.3.1 | averf | 506 |
| 18.3.2 | bcmod | 507 |
| 18.3.3 | cpcal | 510 |
| 18.3.4 | distf | 511 |
| 18.3.5 | frame | 512 |
| 18.3.6 | initf | 513 |
| 18.3.7 | mapff | 514 |
| 18.3.8 | mapffx | 515 |
| 18.3.9 | mapff2 | 516 |
| 18.3.10 | merge | 517 |
| 18.3.11 | order | 517 |
| 18.3.12 | renum | 518 |
| 18.3.13 | rfndtx | 519 |
| 18.3.14 | rmelm | 520 |
| 18.3.15 | rmnd1 | 521 |
| 18.3.16 | rmnd2 | 521 |
| 18.3.17 | rmsff | 522 |
| 18.3.18 | rotate | 523 |
| 18.3.19 | scale | 524 |
| 18.3.20 | scalet | 525 |
| 18.3.21 | sampl | 526 |
| 18.3.22 | samplt | 528 |
| 18.3.23 | samplerx | 529 |
| 18.3.24 | setff | 530 |
| 18.3.25 | updown | 530 |
| 18.4 | 履歴データ関係の処理 | 531 |
| 18.4.1 | frameh | 531 |
| 18.4.2 | hscat | 532 |
| 18.4.3 | hsmrg | 535 |
| 18.4.4 | hsmrgi | 535 |
| 18.5 | 並列計算関係の処理 | 536 |
| 18.5.1 | attrd | 537 |
| 18.5.2 | ddrgb | 538 |
| 18.5.3 | ddrgbt | 539 |

| | | |
|-----------|-----------------------------|------------|
| 18.5.4 | ddrgbx | 540 |
| 18.5.5 | ddelm | 541 |
| 18.5.6 | ddelmt | 542 |
| 18.5.7 | metish | 543 |
| 18.5.8 | metist | 544 |
| 18.5.9 | overd | 545 |
| 18.5.10 | partd | 546 |
| 18.5.11 | partdt | 547 |
| 18.5.12 | partdx | 548 |
| 18.5.13 | partdx_rcap | 549 |
| 18.5.14 | setcc | 550 |
| 18.5.15 | unifp | 551 |
| 18.5.16 | unifu | 552 |
| 18.5.17 | unify | 553 |
| 18.5.18 | unifyt | 554 |
| 18.6 | マルチフレーム・オーバーセット関係の処理 | 555 |
| 18.6.1 | attr | 556 |
| 18.6.2 | setdi | 557 |
| 18.6.3 | setsi | 558 |
| 18.6.4 | setsix | 559 |
| 18.6.5 | stack | 560 |
| 18.6.6 | stackx | 561 |
| 18.6.7 | unstack | 562 |
| 18.6.8 | unstackx | 563 |
| 18.7 | その他 | 564 |
| 18.7.1 | cavty | 565 |
| 18.7.2 | cavtyt | 566 |
| 18.7.3 | gfcat | 567 |
| 18.7.4 | gfsep | 569 |
| 19 | 周辺プログラム（音響） | 570 |
| 19.1 | データフォーマット変換 | 571 |
| 19.1.1 | fva2gfa | 571 |
| 19.1.2 | gffv3a | 572 |
| 19.1.3 | gfvtka | 573 |
| 19.2 | データチェック | 574 |
| 19.2.1 | chkbcn | 574 |
| 19.3 | 境界条件関連 | 575 |
| 19.3.1 | bccconv | 575 |
| 19.3.2 | bcmoda | 577 |
| 19.4 | 音源作成 | 579 |
| 19.4.1 | mksrc | 579 |
| 19.4.2 | flfft2 | 580 |
| 19.5 | 並列計算関連の処理 | 581 |
| 19.5.1 | partda | 581 |
| 19.5.2 | unifa | 582 |

| | |
|--|------------|
| 19.6 その他 | 583 |
| 19.6.1 sampla | 583 |
| 20 外部プログラムとの接続 | 584 |
| 20.1 入力 | 584 |
| 20.2 出力 | 586 |
| 20.2.1 FIELDVIEW | 586 |
| 20.2.2 TECPLOT | 586 |
| 20.2.3 AVS | 587 |
| 21 Appendix A | 588 |
| 21.1 A. インストール時の推奨オプション | 588 |
| 21.2 B. 解析条件ファイル | 590 |
| 21.2.1 解析条件ファイル (les3d) | 590 |
| 21.2.2 解析条件ファイル (les3c) | 598 |
| 21.2.3 解析条件ファイル (les3ct) | 610 |
| 21.2.4 熱輸送解析パラメータ (les3c,les3ct) | 620 |
| 21.2.5 オプション機能の設定 | 623 |
| 22 Appendix B 旧バージョンの更新内容 | 635 |

はじめに

本書は FrontFlow/blue version.8.1 (以下、FFB) およびこのサブシステムである FrontFlow/blue-Acoustics version.2.3 (以下、FFB-A) のプログラム使用マニュアルです。本書の主な目的は本システムのインストール方法、機能および使用方法の説明です。本書のはじめの部分では、実際に本システムを使用するのに必要な予備的な情報について説明します。

- 1. 概要
- 2.、3. インストール
- 4. システム構成
- 5. ファイルシステム

本システムは流体解析プログラム及びそれらをサポートする数十の周辺プログラムで構成されています。本システムでは、流体解析プログラムの使用方法のみならず、流体解析プログラム実行の前後で用いる周辺プログラムの機能および使用方法を理解することが重要です。これをふまえ、本書では最も基本的な場合から始め、その後応用的な要素(オーバーセット、並列計算、Refiner機能)を含んだ一連の操作手順について記述しています。オーバーセット機能、並列計算機能およびRefiner機能を使用しない場合には、7~9章は読み飛ばしてかまいません。

- 6. 基本機能
- 7. オーバーセット計算
- 8. 並列計算
- 9. Refiner 計算

次に、本システムの流体解析プログラムに実装されるその他の機能、すなわち、空力騒音解析機能(カールの式)、音響解析機能、定常・RANS 解析機能、DES 解析機能、ボクセル計算機能、ファンモデル・ポーラスモデル、熱輸送解析機能およびキャビテーション解析機能、について説明します。

- 10. 空力騒音解析(カールの式)
- 11. 音響解析
- 12. 定常・RANS 解析機能
- 13. DES 解析機能
- 14. ボクセル計算
- 15. ファンモデル・ポーラスモデル
- 16. 熱輸送解析機能

- 17. キャビテーション流れ解析

流体プログラムおよび音響プログラムの実行に関する一連の操作方法について説明した後に、周辺プログラムについての説明します。

- 18. 周辺プログラム
- 19. 外部プログラムとの接続

What 's new in ver.8.1

1. 混相流解析機能

VOF 法に基づく混相流解析機能をサポートします。輸送スキームに (Compressive Interface Capturing Scheme for Arbitrary Meshes) を採用しマルチ要素に対応しています。本バージョンでは自由表面を有する単相流解析で使用できます。本機能については 4.4.4 節を参照してください。

2. 高速化技術の実装

次世代スーパーコンピュータ京での高速動作を目的とした高速化技術を実装しました。

3. ロードモジュール配布

周辺プログラムのロードモジュールをバイナリで配布します。これによりインストール作業が不要になりました。ロードモジュールに関しては 2.4 節を参照してください。

Chapter 1

概要

1.1 本システムの概要

本システムは非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を時間、空間とともに 2 次精度を有する有限要素法により離散化した流体解析ソフトウェアです。非定常流れを高精度に予測可能な乱流解析手法である Large Eddy Simulation (LES) により、非定常流れの高精度予測機能を提供します。

また、複数の移動、回転座標系の混在に対応した Multi-Frame-of-Reference Dynamic Overset 法により、ポンプ等回転機械内部の流れや動静翼干渉を解析することができます。計算コードはベクトル計算機およびスカラー型並列計算機上で高速に動作するように最適化されており、自動化された最適領域分割・統合処理のおよびメッシュの細分機能 (Refine 機能) の実装によって、最大 1,000 億グリッドの大規模超並列計算にも対応しています。

1.2 主な特徴

本システムの主な特徴を以下に示します。

- ターボ機械内部流れ解析、空力騒音予測の多くの解析実績
- Large Eddy Simulations
- 高精度な数値計算手法
 - マルチフレーム機能 (オーバーセット計算)
 - 並列計算
 - 大規模並列計算
 - 熱輸送解析機能
 - キャビテーション流れ解析機能

- 乱流音解析機能（カールの式）
- 音響解析機能
- Refiner 機能
- 流体解析前後の処理をサポートする周辺プログラム

1.2.1 解析実績

本システムの主な解析対象は、ターボ機械内部流れおよび空力騒音です。適用分野は航空、車両、重工業、電気と多岐にわたります。これまで、各分野の製品設計に対して、LES 解析の有用性を実証してきました。解析実績の詳細は参考文献 [9, 11, 12, 13, 14] を参照ください。

1.2.2 Large Eddy Simulations

本システムのコアプログラムである流体解析ソルバー les3d、les3c、les3ct および les3x は非定常流れを高精度に予測可能な乱流解析手法である Large Eddy Simulation を(LES)に基づいています。サブグリッドスケールモデルとしては、標準スマゴリンスキーモデル [15] 及びダイナミックスマゴリンスキーモデル [16, 17] をサポートしています。

1.2.3 数値解析手法

本システムは、空間の離散化に有限要素法を適用しており、任意の複雑形状に対応することが可能です。要素タイプは六面体(8 節点)、三角柱(6 節点)、ピラミッド(5 節点)および四面体(4 節点)の4種類をサポートします。

流体解析ソルバーは時間、空間とともに2次精度をもち、非定常流れ場を高精度に予測する機能を提供します [7, 19]。運動方程式および連続の式は、それぞれクランク-ニコルソン法および Fractional-Step 法を用いて計算します。行列ソルバーとしては、BiCGSTAB 法 [20] を内部ソルバーとした残差切除法 [21] を適用しています。

基礎検証問題における、本流体解析プログラムのベンチマークテストに関しては参考文献 [9, 18, 19] を参照してください。

1.2.4 マルチフレーム機能（オーバーセット計算）

本システムは動的なオーバーセット機能 [8] をサポートしています。すなわち、各座標系の速度及び圧力データは座標系がオーバーセットしているオーバーセット境界において内挿された値として情報交換されます。速度の情報交換の際には、座標系の違いを考慮します。

オーバーセット計算のためのパラメータの詳細については5章の NFRAME , JSET を参照してください。オーバーセット計算に関しては7章を参照してください。なお、本バージョン (ver.6.1) より使用可能となったマルチ要素ソルバーにも、本機能が実装されてあります。マルチ要素ソルバーを用いたオーバーセット計算については、8.6節を参照してください。

1.2.5 並列計算

本システムでは、領域分割による並列計算が可能です。並列計算では、必要に応じて CPU(ノード)間の通信が行われます。全ての通信は境界条件のひとつとして扱いますので、本プログラムの並列計算は、領域間通信を境界条件としてもつ単体計算としてみなすことができます。実際、同一のコードで単体計算及び並列計算を行うことが可能です。唯一の相違点は通信のためにリンクするライブラリファイルです。単体計算の場合は実質なにもしないダミーライブラリファイルがリンクされ、並列計算では必要な通信ライブラリがリンクされます。本バージョンでは通信ライブラリとして MPI が使用されています。並列計算に関しては 8 章を参照してください。

1.2.6 大規模並列計算

計算コードはベクトル計算機およびスカラー型並列計算機上で高速に動作するように最適化されており、自動化された最適領域分割・統合処理の実装によって、現状では数億点の解析が可能です。本バージョンよりサポートされる Refiner 機能(9 参照)を活用することにより、10 万 CPU 規模の計算機を用いた 1000 億規模の解析が可能です。

1.2.7 熱輸送解析機能

温度場はパッシブスカラとして扱うことも可能であるが、浮力項を介して、流れ場にフィードバックさせることもできます。なお、本バージョンではふく射解析機能はサポートしていません。熱輸送解析機能に関しては 16 章を参照してください。

1.2.8 キャビテーション流れ解析機能

均質流モデルに基づいたキャビテーションモデルをサポートします。キャビテーション流れ解析では、流体を気液 2 相の混合流体として扱い、新たに液相の体積率を導入することによりこれを表現します。キャビテーションモデルとしては、圧力と飽和蒸気圧の関係に基づく経験的なキャビテーションの生成・消滅モデル [6] を導入し、これを圧力方程式(連続の式)とカップリングすることにより、キャビテーションと流れ場の相互作用を解析します。

キャビテーション流れ解析の基礎検証および実証解析に関しては、それぞれ参考文献 [22, 10] を参照してください。また、キャビテーション流れ解析機能に関しては 17 章を参照してください。

1.2.9 混相流解析機能

本システムでは VOF 法に基づいた混相流解析機能をサポートします。VOF の輸送方程式には高精度スキームである CICSAM(Compressive Interface Capturing Scheme for Arbitrary Meshes)¹ を採用しマルチ要素に対応しています。本バー

¹Ubbink O., Issa R. I., Method for capturing sharp fluid interfaces on arbitrary meshes, J. Comput. Phys., 153, 26-50

ジョンでは気相領域は解かず、液相領域のみを解く単相自由表面流れで使用可能です。混相流解析機能に関しては 4.4.4 節を参照してください。

1.2.10 乱流音解析機能（カールの式）

音源となる物体表面の静圧変動を流体解析により計算し、Curle[5] の式によって、流れから発生する流体音（コンパクトな音源から発生する遠方場音）を予測することができます。乱流音解析に関しては 10 章を参照してください。

1.2.11 音響解析機能

周波数ベースの音響ソルバー（caa3d）のプロトタイプを公開します。本音響ソルバーは FFB 流れソルバーで計算した音源情報を入力データとする大規模な音響解析を実行するために開発されました。具体的には、最大で流体 1000 億メッシュ、音響 10 億メッシュ（ただし音源は 1 億）の大規模流体音響解析を想定したシステム設計になっています。現状で、約 6000 万グリッドの音響解析が可能であることが確認されております。本機能を使用する場合は本体システム FFB の他に FFB-A をダウンロードしてください。

1.2.12 Refiner 機能

メッシュを細分化（Refine）する機能をサポートします。本機能を用いると、ひとつの要素が 8 要素に分割されます。要素タイプとしては、六面体、三角柱、ピラミッド、四面体をサポートしています。本機能は、流れソルバー（新ソルバーのみ対応）および周辺プログラムから利用可能であり、流れソルバーでは、並列動作をサポートします。（チュートリアルとして 9 章を参照）

1.2.13 周辺プログラム

本システムは流体解析ソルバー及びその実行をサポートする周辺プログラムで構成されています。周辺プログラムを組み合わせて用いることで、流体解析前後で必要な様々な処理を簡単にを行うことができます。周辺プログラムの使い方は 18 章を参照してください。

なお、バージョン 5.0 より、周辺プログラムの実行をサポートするスクリプトを公開します。これにより、本システムの周辺プログラムは、UNIX(Linux) 上におけるコマンドのように使用することができ、本システムの操作性が向上します。

Chapter 2

インストール (FFB)

バージョン 8.1 よりソースコードとともにコンパイル済のロードモジュールを配布します。特定のマシン環境に限りますが、配布ロードモジュールを用いることによりインストール作業が不要になりました。ロードモジュールに関しては 2.4 を参照してください。

'FrontFlow/bule'(以下, FFB)をインストールするためにははじめにアーカイブファイルを解凍・展開する必要があります。ファイル名は'FrontFlow_blue.8.1.tar.gz'です。

実際の作業は以下の通りです。

```
%gzip -d FrontFlow_blue.8.1.tar.gz  
%tar -xvf FrontFlow_blue.8.1.tar
```

ディレクトリ FFB8 が作成されます。ディレクトリ FFB8 の下には以下に示すディレクトリが展開されます。

| directory | content |
|-----------|----------------------|
| bin | 実行ファイル |
| data | サンプルデータ |
| doc | ユーザマニュアル(日本語, 英語) |
| include | ヘッダファイル |
| lib | ライブラリファイルおよびそのソースコード |
| macro | 周辺プログラム起動スクリプト |
| make | インストールのためのファイル |
| modules | コンパイル済ロードモジュール |
| util | 各プログラムソースコード |

本システムでは二通りのインストール方法をサポートします。自動モードと手動モードです。自動モードはより簡単なため、はじめてのインストールの場合、これを推奨します。手動モードは部分的な再コンパイル等に有用です。

本章では自動モード、手動モードの順で説明します。また最後にその他の注意事項について述べます。

2.1 自動モードでのインストール

自動モードの手順は以下の通りです。

1. 環境変数の設定 (`${LES3DHOME}`)
2. プラットフォーム情報の設定 (OPTION)
3. データサイズの変更 (size.h)
4. ライブラリファイルおよび実行ファイルの作成 (スクリプトの実行)
5. 並列版のインストール (必要な場合)

2.1.1 環境変数'LES3DHOME' の設定

'LES3DHOME' は'FFB'のためにローカルホームディレクトリの場所を示す環境変数です。例えば, FFB8 をディレクトリ' /home/yourname/' に解凍した場合は、以下のように設定してください。

C-shell を使用の場合

```
%setenv LES3DHOME /home/yourname/FFB8
```

環境変数はただしく設定されているかどうかは以下のコマンドで確認できます。

```
%echo $LES3DHOME
```

2.1.2 プラットフォーム情報の設定

コンパイルをはじめるまえにプラットフォームに関する情報を指定する必要が
あります。実際に必要な情報は以下の通りです。

| | |
|--------|-----------------|
| CPP | C プリプロセッサ名 |
| POPT | C プリプロセッサのオプション |
| CCOM | C 言語コンパイラ名 |
| COPT | C 言語のオプション |
| FCOM | Fortran コンパイラ名 |
| FOPT | Fortran のオプション |
| INCDIR | インクルードディレクトリ |
| LIBDIR | ライブラリリンクディレクトリ |

上記情報は'OPTION' という名前のファイル中で指定します。このファイルの
場所は\${LES3DHOME}/make です。図 2.1 に'OPTION' のサンプルを示します。

本システムは、AIX, HI-UXMPP8, HP-UX, IRIX, OSF1, SunOS, UNIX_System_V
and Linux 上での動作実績があります。推奨オプションに関しては 22 章及び、
同一ディレクトリにある'OPTION.list' を参照してください。

```
# Compilers and Option flags
CPP = /lib/cpp
CCOM = cc
POPT = -P
COPT =
FCOM = f77
FOPT = -O2 -w0

# Locations of include file(s) and library file(s) for IRIX
INCDIR = /usr/local/mpi/include
LIBDIR = /usr/local/mpi/lib/hmpp2/cml
```

Figure 2.1: Sample File of 'OPTION'

インクルードディレクトリ、ライブラリリンクディレクトリに対しては、並列
ライブラリ'mpi'を使用する際に参照するパス名を指定してください。パス名は
マシンのシステム毎に、異なります。並列計算機能を使用しない場合は、ここに
は、なにも指定する必要はありません。

本バージョンより流れソルバー実行時に処理時間を測り、実効性能を表示す
る機能を実装しました。本機能は、"OPTION" ファイルにおいて C プリプロセッ
サを変更することにより有効になります。本機能については 2.3.4 節を参照くだ
さい。

2.1.3 サイズの変更

本システムでは、周辺プログラムが取り扱うデータの最大サイズを一括指定します。サイズの指定は、'size.h' という名前のファイル中で指定します。このファイルの場所は \${LES3DHOME}/include です。以下に、'size.h' の内容を示します。

```
C
C
C      SMALL SIZE :1M-elmelemnts
C      PARAMETER(ME= 1000000,MP= 200000,MPART=16)
C
C      MIDDLE SIZE :5M-elmelemnts
C      PARAMETER(ME= 5000000,MP= 5000000,MPART=64)
C
C      LARGE SIZE :100-elmelemnts
C      PARAMETER(ME=100000001,MP= 30000001,MPART=512)
C
```

Figure 2.2: Sample File of 'size.h'

ここで指定するパラメータは以下の 3 点です。

- ME: 要素数の最大数
- MP: 節点数の最大数
- MPART: 領域数の最大数

上記の例に示すように、small、middle、large の 3 段階が用意されています。デフォルトは middle になっていますが、middle の行をコメントアウトし、他の行のコメント行をはずすことによりデータサイズを変更できます。また、値を直接編集してサイズを変更することも可能です。

2.1.4 インストールスクリプトの実行

環境変数 \${LES3DHOME} 及びプラットフォーム情報がたやすく設定された後は、インストールスクリプトを実行するのみでインストールが完了します¹。スクリプトの実行方法は以下の通りです。

```
%cd ${LES3DHOME}/make  
%./Makeall
```

インストール完了までには時間がかかる場合があります。²

問題がなければ 5 個のライブラリファイルがディレクトリ \${LES3DHOME}/lib に、117 個の実行ファイルがディレクトリ \${LES3DHOME}/bin に作成されます。

8 個のライブラリは必須ファイルです。このファイルに不具合があった場合全ての実行ファイルが影響を受けます。ただし実行ファイルに関してはコンパイルに失敗しても大きな問題ではありません。実際いくつかの実行ファイルはユーザ使用のプラットフォームによるメモリ制限により、インストールがうまくいかない場合があります。これについては章末の注意事項を参照してください。

¹ ただし後述するが並列版に関しては別途作業が必要です。

² インストールに必要な時間は指定したオプション等により異なりますが、およそ 5 分から 30 分程度です。

2.1.5 並列計算機能のインストール

並列版の流体解析ソルバー (les3d.mpi、les3c.mpi、les3ct.mpi、les3x.mpi) は自動インストールスクリプトを実行してもインストールされません。ユーザのシステムにおいて、かならずしも並列ライブラリ (MPI) がサポートされているとは限らないからです。並列ライブラリ (MPI) が使用可能なシステムであれば並列版の実行プログラムをインストールできます。並列版の流体解析ソルバーのインストール方法を以下に示します。

1. 通信制御のためのライブラリファイルの作成

```
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/dd_mpi
%make lib
```

2. 実行ファイル'les3d.mpi'、'les3c.mpi'、'les3ct.mpi' および'les3x.mpi' の作成

```
%cd ${LES3DHOME}/util/les3d.mpi
%make
%cd ${LES3DHOME}/util/les3c.mpi
%make
%cd ${LES3DHOME}/util/les3ct.mpi
%make
%cd ${LES3DHOME}/util/les3x.mpi
%make
```

本システムでは、MPI ライブラリをリンクに必要な設定を以下に示すファイルで行っております。

- \${LES3DHOME}/util/les3d.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3c.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3ct.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3x.mpi/FILES

上記設定ファイルの例 (les3c.mpi/FILES) を以下に示します。

```
PROG = les3c.mpi
LIBS = -lf90 -lgf -lmpi
||  
以下省略
```

MPI ライブラリのリンク設定は、"LIBS=" 以降に記述する必要があります。上記の例では、リンクオプションとして、"-lmpi"を指定しています。リンクオプションは使用する環境により異なりますので、適宜変更してください。例えば、Open-MPI を利用する環境では、"-lmpi -lmpi_f77"と指定する必要があります。また、明示的なリンクオプションが必要なく、指定するとリンクエラーとなる環境もあります。

2.2 手動モードでのインストール

手動モードの手順は以下の通りです。

1. 環境変数の設定 (`${LES3DHOME}`)
2. プラットフォーム情報の設定 (OPTION)
3. データサイズの変更 (`size.h`)
4. ライブラリファイル作成
5. 実行ファイル'les3d' の作成
6. 周辺プログラムの実行ファイルの作成

2.2.1 環境変'LES3DHOME' の設定

'LES3DHOME' は'FFB'のためにローカルホームディレクトリの場所を示す環境変数です。例えば, FFB7 をディレクトリ' /home/yourname/' に解凍した場合は、以下のように設定してください。

C-shellを使用の場合

```
%setenv LES3DHOME /home/yourname/FFB8
```

環境変数はただしく設定されているかどうかは以下のコマンドで確認できます。

```
%echo $LES3DHOME
```

2.2.2 プラットフォーム情報の設定

コンパイルをはじめるまえにプラットフォームに関する情報を指定する必要があります。実際に必要な情報は以下の通りです。

| | |
|--------|-----------------|
| CPP | C プリプロセッサ名 |
| POPT | C プリプロセッサのオプション |
| CCOM | C 言語コンパイラ名 |
| COPT | C 言語のオプション |
| FCOM | Fortran コンパイラ名 |
| FOPT | Fortran のオプション |
| INCDIR | インクルードディレクトリ |
| LIBDIR | ライブラリリンクディレクトリ |

上記情報は'OPTION' という名前のファイル中で指定します。このファイルの場所は\${LES3DHOME}/make です。図 2.3 に'OPTION' のサンプルを示します。

'FFB' は、AIX, HI-UXMPP8, HP-UX, IRIX, OSF1, SunOS, UNIX_System_V and Linux 上で、動作実績があります。推奨オプションに関しては 22 章及び、同一ディレクトリにある'OPTION.list' を参照してください。

```
# Compilers and Option flags
CPP = /lib/cpp
CCOM = cc
POPT = -P
COPT =
FCOM = f77
FOPT = -O2 -w0

# Locations of include file(s) and library file(s) for IRIX
INCDIR = /usr/local/mpi/include
LIBDIR = /usr/local/mpi/lib/hmpp2/cml
```

Figure 2.3: Sample File of 'OPTION'

インクルードディレクトリ、ライブラリリンクディレクトリに対しては、並列ライブラリ'mpi' を使用する際に参照するパス名を指定してください。パス名はマシンのシステム毎に、異なります。並列計算機能を使用しない場合は、ここには、なにも指定する必要はありません。

本バージョンより流れソルバー実行時に処理時間を測り、実効性能を表示する機能を実装しました。本機能は、"OPTION" ファイルにおいて C プリプロセッサを変更することにより有効になります。本機能については 2.3.4 節を参照ください。

2.2.3 サイズの変更

本システムでは、version.6.1より周辺プログラムが取り扱うデータの最大サイズを一括指定します。これにより、周辺プログラムを再コンパイルする作業負荷が大幅に軽減します。サイズの指定は、'size.h'という名前のファイル中で指定します。このファイルの場所は\${LES3DHOME}/includeです。以下に、'size.h'の内容を示します。

```
C
C
C      SMALL SIZE :1M-elmelemnts
C      PARAMETER(ME= 1000000,MP= 200000,MPART=16)
C
C      MIDDLE SIZE :5M-elmelemnts
C      PARAMETER(ME= 5000000,MP= 5000000,MPART=64)
C
C      LARGE SIZE :100-elmelemnts
C      PARAMETER(ME=100000001,MP= 30000001,MPART=512)
C
```

Figure 2.4: Sample File of 'size.h'

ここで指定するパラメータは以下の3点です。

- ME: 要素数の最大数
- MP: 節点数の最大数
- MPART: 領域数の最大数

上記の例に示すように、small、middle、large の3段階が用意されています。デフォルトは middle になっていますが、middle の行をコメントアウトし、他の行のコメント行をはずすことによりデータサイズを変更できます。また、値を直接編集してサイズを変更することも可能です。

2.2.4 ライブラリファイルの作成

ディレクトリ \${LES3DHOME}/lib/src/ には以下に示すディレクトリが存在し、それぞれソースコードが格納されています。

```
dd_dmy/ dd_mpi/ fort/ gf/ msl2/ tetra/ multi/
REVOCAP_Refiner/ ParMetis-3.1/
```

以下のコマンドにより、上記ディレクトリに対応したライブラリファイルを作成することができます。

```
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/dd_dmy
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/dd_mpi
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/fort
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/gf
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/msl2
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/tetra
%make lib
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/multi
%make lib

%cd ./REVOCAP_Refiner ; make Refiner ; cd ../
%cd ./ParMetis-3.1/METISLib/; make ; cd ../../..
%cd ../
%ln -s ./src/REVOCAP_Refiner/lib/i486-linux/libRcapRefiner.a .
%ln -s ./src/ParMetis-3.1/libmetis.a
```

上記コマンドにより 9 個のライブラリファイルがディレクトリ \${LES3DHOME}/lib に作成されます。並列計算のためのライブラリファイル (dd_mpi に対応) を作成するためには、事前に MPI がインストールされている必要があります。並列計算機能を使用しない場合は、このライブラリファイルは必要ありません。

またスクリプトファイル \${LES3DHOME}/lib/src/Makeall を実行することにより、並列計算に必要なライブラリファイル以外のライブラリファイルを作成することもできます。

なお、バージョン 6.1 より、マルチ要素関連のライブラリ (multi)、Refiner 関連のライブラリ (REVOCAP_Refiner) および領域分割関連のライブラリ (ParMetis-3.1) が新たに追加されております。

2.2.5 流体解析モジュールの作成

以下のコマンドにより実行ファイル'les3d' , 'les3c'、'les3ct' および'les3x' を作成することができます。

```
% cd $(LES3DHOME)/util/les3d
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3c
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3ct
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3x
% make
```

また、以下のコマンドにより、上記の並列版である実行ファイル'les3d.mpi' , 'les3c.mpi'、'les3ct.mpi' および'les3x.mpi' を作成することができます。

```
% cd $(LES3DHOME)/util/les3d.mpi
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3c.mpi
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3ct.mpi
% make
% cd $(LES3DHOME)/util/les3x.mpi
% make
```

並列版の実行ファイルは同じソースプログラムよりコンパイルされますが、リンクするライブラリファイルが異なります。それぞれがリンクするライブラリファイルは以下の通りです。

- les3d ← \${LES3DHOME}/lib/dd_dmy
- les3c ← \${LES3DHOME}/lib/dd_dmy
- les3ct ← \${LES3DHOME}/lib/dd_dmy
- les3x ← \${LES3DHOME}/lib/dd_dmy
- les3d.mpi ← \${LES3DHOME}/lib/dd_mpi
- les3c.mpi ← \${LES3DHOME}/lib/dd_mpi
- les3ct.mpi ← \${LES3DHOME}/lib/dd_mpi
- les3x.mpi ← \${LES3DHOME}/lib/dd_mpi

本システムでは、MPI ライブラリをリンクに必要な設定を以下に示すファイルで行っております。

- \${LES3DHOME}/util/les3d.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3c.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3ct.mpi/FILES
- \${LES3DHOME}/util/les3x.mpi/FILES

上記設定ファイルの例 (les3c.mpi/FILES) を以下に示します。

```
PROG = les3c.mpi
LIBS = -lfort -lgf -lmpi
||  
以下省略
```

MPI ライブラリのリンク設定は、”LIBS=” 以降に記述する必要があります。上記の例では、リンクオプションとして、”-lmpi”を指定しています。リンクオプションは使用する環境により異なりますので、適宜変更してください。例えば、Open-MPI を利用する環境では、”-lmpi -lmpi_f77”と指定する必要があります。また、明示的なリンクオプションが必要なく、指定するとリンクエラーとなる環境もあります。

2.2.6 周辺プログラムの実行ファイル作成

ディレクトリ \${LES3DHOME}/util/ には流体解析ソルバーに関するディレクトリ 'les3*' の他に以下に示す 15 個のディレクトリが存在します。

```
bcmod/    check/    convert/  ddrgb/   ddrgbt/  
ddrgbx/   gfcat/   hscat/    mesh/    metis/  
mis/      multi/   rfndtx/   sound/   tetra/
```

周辺プログラムのインストールは以下に示すコマンドにより実行できます。

```
% cd ${LES3DHOME}/util/'each-directory'  
% make PROG='utility-name'
```

ここで 'each-directory' はディレクトリ \${LES3DHOME}/util/ にある、 les3d、 les3d.mpi、 les3c、 les3c.mpi、 les3ct、 les3ct.mpi、 les3x、 les3x.mpi 以外のディレクトリです。また 'utility-name' は各周辺プログラムのプログラム名です。

例えば、ディレクトリ \${LES3DHOME}/util/check の下にあるプログラム 'chknd' をインストールする場合、以下の操作が必要です。

```
% cd ${LES3DHOME}/util/check  
% make PROG=chknd
```

各周辺プログラムの詳細については 18 章を参照してください。また、周辺プログラムのインストールには、スクリプトファイルを使用することもできます。周辺プログラム全てをインストール場合のスクリプト実行方法は以下のとおりです。

```
% cd ${LES3DHOME}/util  
% ./Makeall
```

また、ある特定のディレクトリ内（ここでは check を例に説明します。）の周辺プログラムをインストールする場合のスクリプト実行方法は以下のとおりです。

```
% cd ${LES3DHOME}/util/check  
% ./Makeall
```

なお、上記スクリプトを実行するためには、前節までの処理（環境設定、ライブラリファイル作成）が正しく実行されていることが必要です。

2.3 注意事項

本節では、インストールの際の注意点について説明します。

2.3.1 パスの設定

全ての実行ファイルはディレクトリ \${LES3DHOME}/bin に収納されます。したがって、\${LES3DHOME}/bin にパスを通しておくことを奨励します。パスの設定は以下のコマンドにより実行できます。

C-shell を使用の場合

```
%set path = ($path ${LES3DHOME}/bin) 
```

2.3.2 周辺プログラム起動用のスクリプトについて

本システムは、周辺プログラムの起動スクリプトをサポートします。スクリプトは \${LES3DHOME}/macro に置いてあります。インストール終了後、この場所に、パスを通しておいてください。パスの設定は以下のコマンドにより実行できます。

C-shell を使用の場合

```
%set path = ($path ${LES3DHOME}/macro) 
```

チュートリアルでは、このスクリプト機能を用います。したがって、パスの設定が正しくできていないと、チュートリアルは正しく動作しません。

スクリプトは Perl で記述されていますので、コンパイルの必要はありません。本システムの Perl スクリプトでは、/usr/bin/perl を使用することを想定しています。/usr/bin に perl がない場合は、以下のように対応してください。

- マシン管理者に依頼し、FFB をインストールしたマシンの /usr/bin の下に perl をコピーするかリンクをはってください。

- 各スクリプトファイルの 1 行目は以下のようになっております。

```
#!/usr/bin/perl -w 
```

このパスを、実際に perl が存在する場所に変更してください。

2.3.3 メモリ使用量について

FrontFlow/blue.6.0 で追加されたマルチ要素ソルバー les3x とその周辺プログラムを除き、本システムのソースコードの大部分は Fortran77 で書かれているため、プログラムのメモリ使用量はコンパイル時に決定されます。メモリ使用量を変更する場合は、再コンパイルを行います。例えば、以下のような場合には、再コンパイルによるメモリ使用量の変更が必要です。

- インストールするプログラムのメモリ使用量が、ユーザのプラットフォームの利用制限を越えている場合コンパイルができないもしくは実行できません。この場合プログラムのメモリ使用量を減らす必要があります。
- 実際に扱うデータに比べ、プログラムのメモリ使用量が非常に大きい場合、処理時間が予想以上にかかりてしまいます。周辺プログラムに関しては大きな問題ではありませんが、流体解析プログラム (les3d, etc) の実行の際にはメモリ使用量を実際のデータにあわせて調節することが必要です。
- コンパイル時に想定したデータサイズ以上のデータを扱うことはできません。この場合、プログラムは以下のメッセージを出力してエラー終了します。

INSUFFICIENT ARRAY SIZE. DATA HAS NOT BEEN READ IN.

各プログラムのメモリ使用量は、ファイル \${LES3DHOME}/include/size.h に設定されています。メモリ使用量を変更する場合、\${LES3DHOME}/include/size.h 内のパラメータ ME, MP を編集した後、各プログラムの再コンパイルを行います。

パラメータ ME, MP には、それぞれ要素及び節点の想定される最大数を指定します。パラメータの変更は再コンパイルを行ったモジュールまたはプログラムでのみ有効です。コンパイル方法に関しては、システム全体を一括で行う場合には 2.1.4 節を、個々のモジュールまたはプログラムに対して行う場合は 2.2.4 節及び 2.2.5 節を参照してください。

マルチ要素ソルバー les3x については、メモリ領域の自動アロケーション機能が実装されており、ソルバー実行時に入力するパラメータファイルによってメモリ使用量を指定することができます。詳しくは 21.2.5 節を参照してください。

2.3.4 性能測定機能について

マルチ要素モジュール les3x については、主要部分の計算時間及び実効性能を測定してログに出力する性能測定機能が利用可能です。この機能を使用する場合、コンパイル時に C プリプロセッサのオプション POPT に-Dcputime を指定して下さい。

以下に、les3x 実行時のログに出力される性能測定結果の例を示します。モジュール全体については、ステップごとの実行時間と、運動方程式、圧力方程式、およびそれ以外の部分についての実行時間と比率を出力します。

また、行列計算内の AX 処理に関しては、演算回数を容易にカウントできるため、実効性能として FLOPS 数を表示します。

```
***** SUMMARY OF CPU TIME *****
(1) CPU TIME / TIME LOOP (SEC/STEP)
TOTAL      (sec/step):          0.344
MOMENTUM EQ. (set/step),(%):    0.186 54.1
PRESSURE EQ. (set/step),(%):    0.135 39.3
OTHER      (set/step),(%):      0.023  6.6

AX OPERATION (set/step),(%):   0.076 22.1

(2) CPU TIME / AX-OPERATION (SEC/AX)
NUM. OF CAL-AX                289652
NUM. OF POINTS                 133584
MFLOP (MFLOPS)                  0.267
CPU-TIME (AVE.)           (msec) 0.526
CPU-TIME (RMS ) [%]            257.0
SASTAINED FLOPS (GFLOPS)        0.508
CPU-TIME (AVE.) with COMM. (msec) 0.653
*****
```

Figure 2.5: ログに出力される性能測定結果のサンプル

2.3.5 HA8000 (T2K 東大) 使用の際の注意点

本システムでは REVOCAP_refiner が提供するライブラリをリンクします。上記ライブラリをリンクする具体的なプログラムは以下の 3 点です。

- 流れシルバー les3x
- 流れソルバー（並列版）les3x.mpi
- 外部 Refine 用周辺プログラム rfndtx

2.3.6 ベクトルマシン使用の際の注意点

本システムをベクトルマシンに適用する際には、本システムの流体解析ソルバーを高速に動作させるため、インストール時に特殊な設定が必要になります。具体的には 2.2.2 節 (2.2.2 節) で説明した環境設定ファイル'OPTION'において、C プリプロセッサのオプション'POPT'に対して、以下の設定をする必要があります。

POPT = -DFFBVEC

この設定により、インストール時に、ベクトルマシン用に最適化されたコードが生成されます。ベクトルマシンへのインストール時に、この設定をしない場合は、以下に示す障害が生じます。

- 六面体用の流体解析ソルバー les3c (les3c.mpi) のベクトルマシン上での自動並列の効率が低下します。
- 四面体用の流体解析ソルバー les3ct (les3ct.mpi) のベクトルマシン上での自動並列の効率が低下するとともに、主要ループがベクトル化されません。

一方、ベクトルマシンにおいて、上記の設定をただしく行った場合、'les3c (les3c.mpi)' は旧バージョン(ver.4.1 以前)と比較し約 2 倍高速化されます。'les3ct (les3ct.mpi)' のベクトルマシンにおける計算速度は前バージョンと変わりません。'les3d (les3d.mpi)' に関しては、開発が終了しておりますので、上記の設定やマシンの種類 (ベクトル、スカラ) に関わらず計算速度に前バージョンとの違いはありません。なお、スカラマシンにおいて、ベクトルマシン用の設定をすると、性能がおちますので注意してください。

本システムを地球シミュレータ（以下、ES）にインストールする場合、以下の点の注意してください。

- クロスコンパイルする場合は、本システムにおいて標準に用意している makefile が、正常に機能しないことが確認されております³。この問題を解決するために、ES 用に用意された makefile.es を使用してください。具体的には、以下のコマンドにより makefile をいれかえてください。

```
% cd ${LES3DHOME}/make
% mv makefile    makefile.org
% mv makefile.es makefile
```

- ES でのクロスコンパイル用に、別途スクリプトが用意されています。スクリプトの実行方法は以下の通りです。

```
% cd ${LES3DHOME}/make
% ./Makeall.es
```

です。これを実行することにより、簡単にインストールすることができます。ただし、スクリプトの実行の前に、環境変数の設定（2.1.1節）およびプラットフォーム情報の設定（2.1.2節）が必要です。なお、このスクリプトでは、流体解析ソルバーのみをインストールします。本システムの周辺プログラムは、ベクトル計算機用にチューニングされていませんので、周辺プログラムの実行は、他のマシンで行うことを推奨します。

- ES における Fortran の推奨オプションは、'-vsafe' です。コンパイルオプションに'-hopt' を使用すると性能は2割程度向上することを確認していますが、全く同じ条件を用いても、計算の実行ごとに、わずかな差異が生じることを確認しています。コンパイルオプションに'-hopt' を使用する場合は、上記スクリプトを使用してください⁴。

³本システムでは、インストール時にライブラリファイルを作成するためのコマンド'ar'を使用しますが、ES ではクロスコンパイル時に'ar'ではなく'esar'を使用する必要があります。

⁴スクリプトでは、ユーザのオプション指定に関わらず、サブルーチン rescut に対し、オプション'-vsafe'を使用します。この理由は、サブルーチン rescut に'-hopt'を使用すると、自動並列化されず、性能が落ちることを確認しているからです。

2.3.7 京およびFX-10 使用の際の注意点

京もしくは FX-10 でのコンパイルは以下の手順で行います。

1. 環境変数'LES3DHOME' を設定します。具体的な方法は 2.1.1 節を参照ください。
2. FFB8/make ディレクトリに移動します。ファイル makefile のバックアップを作成し、makefile.k を makefile としてコピーします。OPTION ファイルのコンパイルオプションを OPTION.list ファイルの”option for K”にあるオプションに変更します。
3. FFB8/lib/src/ParMetis-3.1 ディレクトリに移動します。Makefile.in ファイルを開き、以下のオプションに変更します。
 CC = mpiccpx
 OPTFLAGS = -Kvisimpact
 INCDIR =
4. FFB8/lib/src/REVOCAP_Refiner-0.4.3 ディレクトリに移動します。OPTIONS ファイルを開き、コンパイルオプションを”for K”にあるオプションに変更します。
5. FFB8/lib/src ディレクトリに移動します。Makeall ファイルを開き、以下の変更を行います。
 変更前: ln -s ./src/REVOCAP_Refiner-0.4.3/lib/x86_64-linux/libRcapRefiner.a .
 変更後: ln -s ./src/REVOCAP_Refiner-0.4.3/lib/sparc64v8fx_linux/libRcapRefiner.a .
6. 最後に、FFB8/make ディレクトリに移動し、Makeall を実行します。

なお、流れソルバー les3x.mpi をコンパイルする場合、さらに以下に示す作業が必要になります。

1. FFB8/lib/src/dd_mpi に移動して”make lib”を実行します。
2. FFB8/util/les3x.mpi/FILES を開き、以下の変更を行います。

```
変更前: LIBS = -lfort -lgf2 -ldd_mpi -lmpi_f77 -lRcapRefiner -lstdc+
-lmetis+
変更後:LIBS = -lfort -lgf2 -ldd_mpi -lmpi_f77 -lRcapRefiner           -lmetis
```

3. FFB8/util/les3x に移動して”make”を実行します。
4. FFB8/util/les3x.mpi に移動して”make”を実行します。

2.4 ロードモジュール

バージョン 8.1 よりコンパイル済みロードモジュール（流れソルバー les3x.mpi および周辺プログラム）を配布します。本節では配布するロードモジュールの動作環境および本システムにおける格納場所を説明します。

2.4.1 流れソルバー les3x.mpi

- **動作環境**

以下の計算機環境で動作する流れソルバー les3x.mpi のロードモジュールを配布します。

- 京 :

OS : Red Hat Enterprise Linux Server release 5.7 (Tikanga)
リリース番号 : 2.6.18-274.el5

- FX-10 :

OS : Red Hat Enterprise Linux Server release 6.1 (Santiago)
リリース番号 : 2.6.32-131.21.1.el6.x86_64

- **格納場所**

流れソルバー les3x.mpi は以下に格納されております。

- 京 : FFB8/modules/K

- FX-10 : FFB8/modules/FX10

これらのファイルを FFB8/bin に置きなおすことにより、京および FX-10 における流れソルバー les3x.mpi のインストール作業を省略することができます。

2.4.2 周辺プログラム

- 動作環境

Linux マシンで動作する周辺プログラムのロードモジュールを配布します。
配布するロードモジュールは以下に示す動作環境での動作実績があります。

- OS : CentOS release 5.2 (Final)
リリース番号 : 2.6.18-92.1.22.v.el5
- OS : CentOS release 5.4 (Final)
リリース番号 : 2.6.18-164.2.1.el5
- OS : CentOS release 5.6 (Final)
リリース番号 : 2.6.18-238.19.1.el5
- OS : CentOS release 6.2 (Final)
リリース番号 : 2.6.32-220.7.1.el6.x86_64
- OS : Red Hat Enterprise Linux WS release 4
リリース番号 : (Nahant Update 6) 2.6.9-67.0.7.v.ELsmp

- 格納場所

周辺プログラムは以下に格納されております。

FFB8/modules/Linux

これらのファイルを FFB8/bin に置きなおすことにより、Linux マシンにおける周辺プログラムのインストール作業を省略することができます。

Chapter 3

インストール (FFB-ACOUSTIC)

本章では FFB の音響解析サブシステムである FFB-A(ver.2.3) のインストール方法について説明します。FFB-A をインストールするさいには FFB (ver.8.1) を事前にインストールしておく必要があります。本章では FFB がインストールされていることを前提します。インストールの手順は以下の通りです。

- アーカイブファイルの解凍・展開
- 各種設定に確認
- インストールスクリプトの実行
- 並列計算機能のインストール

以下、各作業について説明します。

3.1 アーカイブファイルの解凍・展開

はじめに、公開されているアーカイブファイルの解凍・展開を行います。この作業は FFB のメインディレクトリ (FFB7) があるところで行ってください。具体的な作業は以下の通りです。

```
%gzip -d FrontFlow_blue-ACOUSTIC.2.3.tar.gz
%tar -xvf FrontFlow_blue-ACOUSTIC.2.3.tar
```

これにより、以下に示すファイルもしくはディレクトリが FFB8 ディレクトリの元に展開されます。

| directory (or file) | content |
|----------------------------|------------------|
| FFB8/util/Makeall-acoustic | インストールスクリプトファイル |
| FFB8/util/acoustic | 音響解析関連周辺プログラム |
| FFB8/util/bcmoda | 音響境界ファイルの編集プログラム |
| FFB8/util/caa3d | 音響ソルバー (シリアル用) |
| FFB8/util/caa3d.mpi | 音響シルバー (並列用) |

3.2 各種設定の確認

以下に示す各種設定を行う必要があります。

- FFB6 の場所を示す環境変数 LES3DHOME
- プラットフォーム情報の設定 OPTION
- データサイズの設定 size.h

これらの設定は、FFB、FFB-A で共通あります。したがって、FFB がただしくインストールされている場合は、特に設定を変更することなく次に進むことができます。

3.3 インストールスクリプトの実行

FFB-A 用のインストールスクリプト (Makeall-acoustic) を実行します。スクリプトの実行ファイルは以下の通りです。

```
%cd ${LES3DHOME}/make
./Makeall-acoustic
```

これにより、FFB7/bin の下に音響ソルバー (caa3d) および周辺プログラム (bccconv, bcmoda, mksrc, partda, unifua, sampla) が作成されます。

3.4 並列計算機能のインストール

音響ソルバー caa3d は並列計算機能をサポートしますが、自動インストールスクリプトを実行してもインストールされません。ユーザのシステムにおいて、かならずしも並列ライブラリ (MPI) がサポートされているとは限らないからです。並列ライブラリ (MPI) が使用可能なシステムであれば並列版の実行プログラムをインストールできます。並列版の流体解析ソルバーのインストール方法を以下に示します。

1. 通信制御のためのライブラリファイルの作成

```
%cd ${LES3DHOME}/lib/src/dd_mpi  
%make lib
```

なお、上記作業は、FFB インストールの際に行っていればスキップしてください。

2. 実行ファイル'caa3d.mpi' の作成

```
%cd ${LES3DHOME}/util/caa3d.mpi  
%make
```

Chapter 4

システム構成

本システムは流れソルバー（4種類）、音響ソルバーおよびソルバーの実行の前処理、後処理をサポートする周辺プログラムで構成されています。また、本システムでは、本システムが提供する解析機能（基本計算、オーバーセット計算、ボクセル計算、並列計算、Refine 計算、熱輸送解析、キャビテーション流れ解析、定常・RANS 解析、DES 解析、音響解析）を利用するためのチュートリアルデータを提供します。本章では、流体解析ソルバーおよび周辺プログラムの機能概要について、それぞれ 4.1 節、4.2 節、で説明します。また、チュートリアルデータの内容について 4.3 節で説明します。なお、音響解析ソルバーに関しては 11 章を参照ください。

4.1 流体解析ソルバー

4.1.1 概要

本システムは以下に示す 4 種類の流体解析ソルバーをサポートします。

- les3x (les3x.mpi)
- les3d (les3d.mpi)
- les3c (les3c.mpi)
- les3ct (les3ct.mpi)

カッコ内のソルバーは各ソルバーの並列版です。これらのうち、les3x 以外のコード (les3d,les3c,les3ct) は les3x のベースとなる旧コードです。今後、開発される機能は全て les3x に集約する予定です。以降の節では、本システムがサポートするソルバー (les3c, les3ct, les3x)¹ の数値計算手法、機能、計算コストについて説明します。

¹本資料では les3d の説明を割愛します。

4.1.2 数値計算手法

表 4.1 に、各ソルバーの数値計算手法の比較を示します。2 種類の六面体要素用ソルバー (les3d, les3c) では、運動方程式および連続の式の数値計算手法が異なります。

Table 4.1: Numerical method of flow solvers in FFB

| | les3c | les3ct | les3x |
|----------|-------------------|------------------|--------------------------------------|
| 要素タイプ | 六面体 (一次要素) | 四面体 (一次要素) | 六面体 三角柱 ピラミッド 四面体 (一次要素) |
| 速度定義 | 節点 | 節点 | 節点 節点 |
| 圧力定義 | 要素 | 節点 | 節点 要素 |
| その他変数の定義 | 節点 | 節点 | 節点 節点 |
| 運動方程式の解法 | 陽解法 陰解法 | 陰解法 (+ BTD 項) | 陰解法 (+ BTD 項) 陰解法 (+ BTD 項) |
| 連続の式の解法 | FS 法 | FS 法 | FS 法 FS 法 |
| 行列ソルバー法 | RCCM +BiCGSTAB | BiCGSTAB | BiCGSTAB RCCM +BiCGSTAB |

本バージョンでは圧力の定義位置として二通り（節点モード・要素モード）の二通りをサポートします。各モードの特徴を以下に示します。

- 圧力要素モード

- 六面体メッシュを用いた計算を行う場合は要素モードを推奨します。この場合の計算結果は les3c による結果とほぼ同じになります。²
- 圧力要素モードでは演算回数が節点モードに比べおよそ倍になります³。ただし、節点モードに比べ、連続の式の精度がよく、圧力振動が生じにくい利点があります。

- 圧力節点モード

- 四面体メッシュを用いた計算を行う場合は要素モードを推奨します。この場合の計算結果は les3ct による結果とほぼ同じになります。
- 節点モードでは演算回数が要素モードに比べおよそ半分になるメリットがあります。また、四面体メッシュに対して要素モードを使用すると、乱流予測精度が低下することが確認されていますが、節点モードではこの問題が解消されます。

²ただし、現状では要素モードとオーバーセット計算の併用はサポートしておりません。今後、サポートする予定です。

³演算回数は節点モードで 10×10^3 FLOPS/STEP/GIRD、要素モードで 20×10^3 FLOPS/STEP/GIRD です。

4.1.3 機能

表 4.2 に各ソルバーの機能一覧を示します。

Table 4.2: Functions of flow solvers in FFB

| | les3c | les3ct | les3x |
|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 乱流解析機能 (LES) | ○ | ○ | ○ |
| 乱流解析機能 (RANS($k-\epsilon$)) | × | × | ○ |
| 乱流解析機能 (DES) | ○ | × | × |
| 並列計算機能 | ○ (les3c.mpi) | ○ (les3ct.mpi) | ○ (les3x.mpi) |
| 熱輸送解析機能 | ○ | ○ | ○ |
| キャビテーション流れ解析機能 | ○ | × | × |
| オーバーセット機能 | ○ | ○ | ○ |
| ボクセル計算機能 | × | × | ○ |
| ファンモデル・ポーラスモデル | × | × | ○ |
| Refine 機能 | × | × | ○ |
| ダイナミックアロケーション機能 | × | × | ○ |
| STOP 機能 | × | × | ○ |

- 流れソルバー les3x のオーバーセット機能は圧力節点モードでのみ利用可能です。圧力要素モードの場合のオーバーセット機能は今後サポート予定です。

4.1.4 計算コスト

表 4.3 に、各ソルバーの計算コスト、すなわち使用メモリ容量および演算回数を示します。メモリ容量は節点あたりのワード数で示されています。本システムでは、単精度 (4BYTES/WORD) を使用しているので、表 4.3 の数字に節点数および⁴をかけた数字が、メモリ使用バイト数になります。

演算回数は、典型的な計算条件（運動方程式 5 反復、連続の式 50 反復、乱流モデルなし、キャビテーション解析なし、熱輸送解析なし）を用いた場合の節点あたり、1 時間ステップあたりの浮動小数点演算の回数で示されています。したがって、表 4.3 の数字に、節点数をかけた数字が、1 時間ステップあたりの演算回数になります。

流体解析ソルバーの演算回数および使用する CPU の実行性能を把握しておけば、計算時間を事前に見積もることができます。1 ステップあたりの計算時間は以下の式により推定することができます。

$$T_{cal}(\text{sec}/\text{step}) = \frac{N_{ope}(\text{FLOP}/\text{grid}/\text{step}) \times N_{grid}(\text{grids})}{P(\text{FLOPS})}$$

ここで、 T_{cal} はステップあたりの計算時間 (秒)、 N_{ope} はステップあたりグリッド (節点) あたりの浮動小数点演算の回数、 N_{grid} はグリッド数 (節点数)、 P は実効性能 (FLOPS)⁴です。

表 4.4 に、典型的なケースにおけるメモリ使用量 (バイト数) および計算時間を示します。ここでは、実行性能 1.0GFLOPS の CPU に、節点数を 30 万点 (3.0×10^5) の計算格子を用いて、運動方程式および圧力方程式の反復回数をそれぞれ 5 回、50 回とした場合を想定します。

Table 4.3: Computational cost of flow solvers in FFB (1/2)

| | les3c | les3ct | les3x |
|-----------------------|------------------|------------------|--|
| メモリ使用量 (words/node) | 900 | 500 | 1200 |
| 演算回数 (FLOP/node/step) | 18×10^3 | 10×10^3 | 10×10^3 (節点モード) 20×10^3 (要素モード) |

Table 4.4: Computational cost of flow solvers in FFB (1/2)

| | les3c | les3ct | les3x |
|---------------------|-------|--------|----------------------------|
| メモリ使用量 (GB) | 1.08 | 0.60 | 1.44 |
| 計算時間 (sec/step)、推定量 | 5.4 | 3.0 | 3.0 (節点モード) 6.0 (要素モード) |

⁴1 秒あたり、実際に実行される浮動小数点演算の回数

4.2 周辺プログラム

4.2.1 周辺プログラム機能

本システムは、流体解析ソルバーの実行の前処理、後処理をサポートする周辺プログラムを提供します。周辺プログラムを機能別に分類すると以下のようになります。

1. データフォーマット変換
2. メッシュデータ、境界条件、流れ場データのチェック
3. メッシュデータ、境界条件、流れ場データの変更
4. 履歴データ関係の処理
5. 並列計算関係の処理
6. マルチフレーム・オーバーセット関係の処理
7. その他

表 4.5 に、各周辺プログラムがどのグループに属しているかを示します。

Table 4.5: 周辺プログラムの機能別分類

| | | | | | |
|-------------|--|---|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. フォーマット変換 | fva2gf gfmavs | fva2gf2 gfplt | fva2gf6 gr2gft | gffv3 | gffv3t |
| 2. データのチェック | chk chkif diff | chkbc chknd | chkbct chkndt | chkfr chkrt | chkft cwall |
| 3. データの変更 | averf initf renum rotate setff | bcmod mapff rmelm sample updown | cpcal mapff2 rmnd1 samplt | distf merge rmnd2 scale | frame order rmsff scalet |
| 4. 履歴データ | frameh | hscat | hsmrg | hsmrgi | |
| 5. 並列計算関係 | attrd overd unifu | ddelm partd unify | ddeimt partdt unifyt | ddrgb setcc | ddrgbt unifp |
| 6. マルチフレーム | attrs | setdi | setsi | stack | unstack |
| 7. その他 | cavty | cavtyt | gfcat | gfsep | |

本マニュアルでは、6 章～10 章におけるチュートリアルにおいて、主要な周辺プログラムの具体的な使用方法を説明します。また、18 章および 19 章において、全ての周辺プログラムの機能、使用方法を説明します。

4.2.2 周辺プログラム実行方法

本システムでは、周辺プログラムを実行する方法として、以下に示す3通りのモードがあります。

- インタラクティブモード
- リダイレクションモード
- スクリプトモード

インタラクティブモードは、最も基本的な実行方法です。本システムの周辺プログラムは、コマンド（プログラム名）を入力すると、各プログラムに必要なパラメータ（以下、コントロールパラメータ）の入力を要求してきます。ユーザは、標準入力により、これに対応することにより、コントロールパラメータを入力します。この方法では、どの情報がコントロールパラメータとして必要かを、事前に知っておく必要がありませので、はじめて使用する周辺プログラムに関しては、この方法が適しています。しかしながら、処理が対話的になるため、作業効率がよくありません。特に、処理が複雑になると、入力ミスによる、誤作動も問題になります。

リダイレクションモードは、あらかじめ、入力するコントロールパラメータをファイルに書き込んでおき、その情報を、リダイレクションを用いて、周辺プログラムに渡す方法です。

最後に示すスクリプトモードは、基本的には、リダイレクションモードと同じですが、コントロールパラメータをコマンドの引数として与えることができます。すなわち、本システムの周辺プログラムを UNIX(Linux) 上のコマンドとして使用することができます。これにより、周辺プログラムによる一連の作業をよりスムーズに実行できるようになり、本システムの操作性が向上しました。

本節では、あるひとつの周辺プログラムを、上記3通りのモードで実行し、各モードの具体的な実行方法を説明します。ここでは、テストケースとして周辺プログラム'cavty'を実行します。このプログラムは、単位長さの立方体計算領域を作成し、メッシュファイル、境界条件ファイルを出力します。コントロールパラメータとしてはメッシュファイル名、境界条件ファイル名および1辺あたりの分割数を入力します。以下に、各モードにおける具体的な実行方法を示します。

インタラクティブモード

コマンド名'cavty'を入力します。入力メッシュファイル名、入力境界条件ファイル名、1辺あたりの分割数を順に入力するように求められますので、それぞれ入力します。最後に、終了確認として'1'を入力することによりこのプログラムは終了します。図 4.1 に、実行例を示します。

```
% cavty
```

リダイレクションモード

以下に示すように、インタラクティブモードで入力した内容が納められたファイルを用意します。

```
MESH  
BOUN  
10  
1
```

このファイルをリダイレクション機能により、周辺プログラムに渡します。すなわち

```
%cavty < input
```

と入力します。これにより、インタラクティブモードで説明した処理と同一の処理が実行され、同一のファイルが作成されます。

スクリプトモード

周辺プログラム'cavty'の起動スクリプト'cavty.pl'を使用します。以下に示すコマンドにより、他のふたつのモードでの実行と同じ処理が実行されます。

```
%cavty.pl MESH BOUN 10
```

なお、スクリプトには、簡単なヘルプ機能が用意されています。ヘルプ機能はスクリプト名に続き、オプション'-help'を入力することにより、利用できます。

```
%cavty.pl -help
```

本節では、周辺プログラムの実行方法として3種類の方法を説明しました。通常使用する主要な周辺プログラマに関しては、操作性のよいスクリプトモードの使用を推奨します。実際、本マニュアルのチュートリアルのほとんど処理ではこのスクリプト機能を使用しています。ただし、一部の周辺プログラムは、コントロールパラメータが複雑なため、スクリプトが用意されていません（例えば、setsi、setdi 等）。これらのスクリプトに関しては、はじめは、インタラクティブモードで実行し、その後、リダイレクションモードの使用を推奨します。

```
** CAVTY: MAKING CUBIC CAVITY FLOW DATA **

SPECIFY FILENAME OF MESH DATA
SPECIFY FILENAME OF BOUNDARY DATA
SPECIFY NUMBER OF DIVISIONS

GFMESH: WRITING      MESH DATA                      ( 3-D )
FILENAME      = MESH

FILE COMMENT 1: ** CUBIC CAVITY FLOW **

SET COMMENT 1: TEST DATA
** WRITING ** GRID COORDINATES (3-D)      ; NP    = 1331
** WRITING ** NODE TABLE (3-D)           ; NE    = 1000
GFMESH: SUCCESSFULLY RETURNING

GFBOU2: WRITING      BOUNDARY CONDITIONS DATA          ( 3-D )
FILENAME      = BOUN

FILE COMMENT 1: ** CUBIC CAVITY FLOW **

SET COMMENT 1: TEST DATA
** WRITING ** WALL BOUNDARY NODES      ; NPMWALL= 481
** WRITING ** MOVING WALL BOUNDARY NODES ; NPMWAL= 121
** WRITING ** MOVING WALL VELOCITIES   3-D ; NPMWAL= 121
GFBOU2: SUCCESSFULLY RETURNING

CAVTY: SUCCESSFULLY TERMINATED
```

Figure 4.1: exexcitoin of cavy

4.3 チュートリアルデータ

本システムでは、本システムが提供する解析機能（基本計算、オーバーセット計算、並列計算、熱輸送解析、キャビテーション流れ解析、DES 解析）を利用するためのチュートリアルデータを提供します。表 4.6、4.7 に本システムのチュートリアルデータ一覧を示します。全てのチュートリアルデータは表 4.6、4.7 に示すディレクトリに、DATA、EXE、POST の 3 種類のディレクトリを持ちます。各ディレクトリの内容は以下の通りです。

- DATA : 入力データ
- EXE : 解析条件ファイル、計算結果
- POST : 後処理結果

本システムの処理流れは、以下のようになります。

- 入力データの作成 (DATA で実行)
- 流れ解析の実行 (EXE の下で実行)
- 後処理 (POST の下で実行)

具体的な処理内容については 6 章～17 章に示すチュートリアルは参照ください。

Table 4.6: tutorial data in this system (1)

| ディレクトリ名 | 内容 |
|----------------------|--|
| data/HEXA/PIPE | パイプ内部流れ用のチュートリアルデータ(六面体)。基本計算(6.1節)、オーバーセット計算(7.2節)および、これらの並列計算(8.2節、8.4節)のチュートリアルに用います。 図4.2参照 |
| data/HEX/CYLINDER | 円柱周り流れ計算のチュートリアルデータ(六面体)。DES解析(13章)のチュートリアルに用います。 図4.4参照 |
| data/HEX/PRISM | 角柱周り流れ計算のチュートリアルデータ(六面体)。キャビテーション流れ解析(17章)のチュートリアルに用います。 図4.6参照 |
| data/HEX/THERMALCAVI | サーマルキャビティー計算のチュートリアルデータ(六面体)。熱輸送解析機能のチュートリアル(16章)に用います。 図4.5参照 |
| data/TET/PIPE | パイプ内部流れ用のチュートリアルデータ(四面体)。基本計算(6.2節)、オーバーセット計算(7.3節)および、これらの並列計算(8.3節、8.5節)のチュートリアルに用います。 図4.3参照 |
| data/TET/THERMALCAVI | サーマルキャビティー計算のチュートリアルデータ(四面体)。熱輸送解析機能のチュートリアル(16章)に用います。 図4.5参照 |

Table 4.7: tutorial data in this system (2)

| ディレクトリ名 | 内容 |
|-------------------------|---|
| data/MULTI/PIPE | パイプ内部流れ用のチュートリアルデータ（混合）。基本計算（6.2 節）、オーバーセット計算（7.4 節）および、これらの並列計算（8.6 節）のチュートリアルに用います。 図 4.3 参照 |
| data/MULTI/VOXCAV | ボクセル計算機能（14 章）のチュートリアルに用います。 図 4.10 参照 |
| data/MULTI/BOX | 直方体領域内部流れ用のチュートリアルデータ（混合、Refiner 機能）。マルチ要素ソルバーの Refine 機能を用いた計算（9 章）のチュートリアルに用います。 図 4.7 参照 |
| data/MULTI/BS | 定常・RANS 解析機能（12 章）のチュートリアルに用います。 図 4.11 参照 |
| data/MULTI/FANMODEL | ファンモデル・ポーラスモデル機能（15 章）のチュートリアルに用います。 図 4.11 参照 |
| data/MULTI/THERMALCAVI | サーマルキャビティー計算のチュートリアルデータ（マルチ要素ソルバー）。熱輸送解析機能のチュートリアル（16 章）に用います。 図 4.5 参照 |
| data/MULTI/SOLID | 複数部材で構成される固体内部の熱伝導計算チュートリアルデータ（マルチ要素ソルバー）。熱輸送解析機能のチュートリアル（16 章）に用います。 |
| data/ACOUSTICS/INTERNAL | 内部音響場のチュートリアルデータ。音響ソルバーを用いた内部音響場計算（11.2.1 節）のチュートリアルに用います。 図 4.8 参照 |
| data/ACOUSTICS/EXTERNAL | 外部音響場のチュートリアルデータ。音響ソルバーを用いた外部音響場計算（11.2.2 節）のチュートリアルに用います。 図 4.9 参照 |

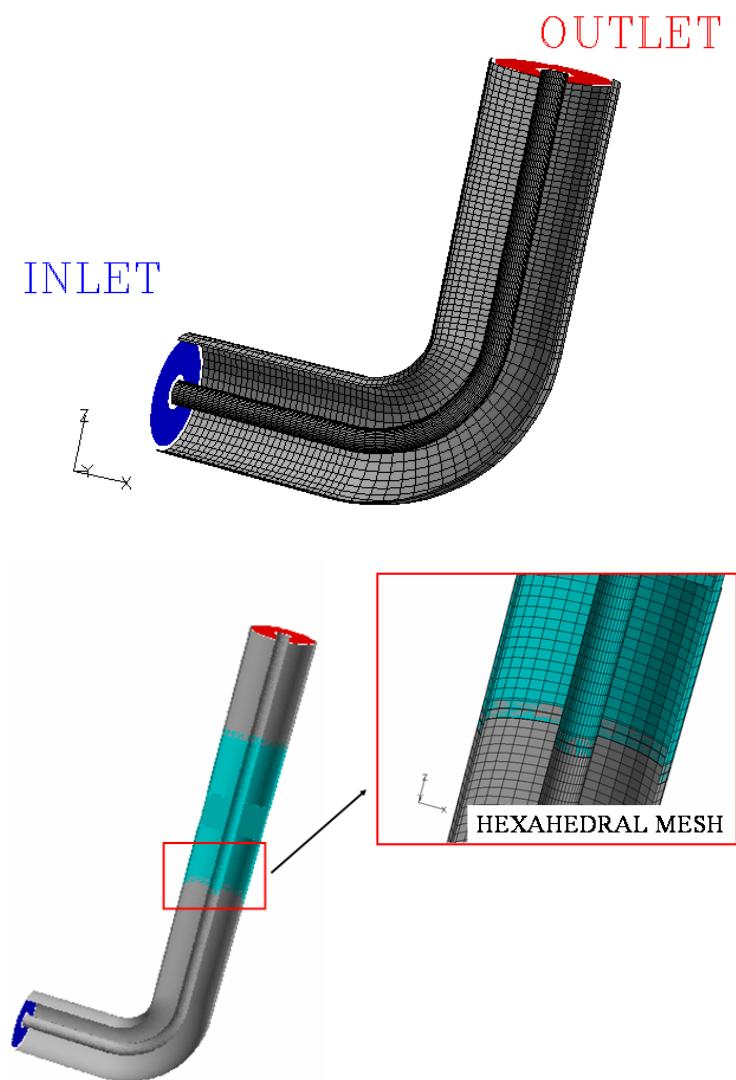


Figure 4.2: Internal flow in a pipe (data/HEX/PIPE)

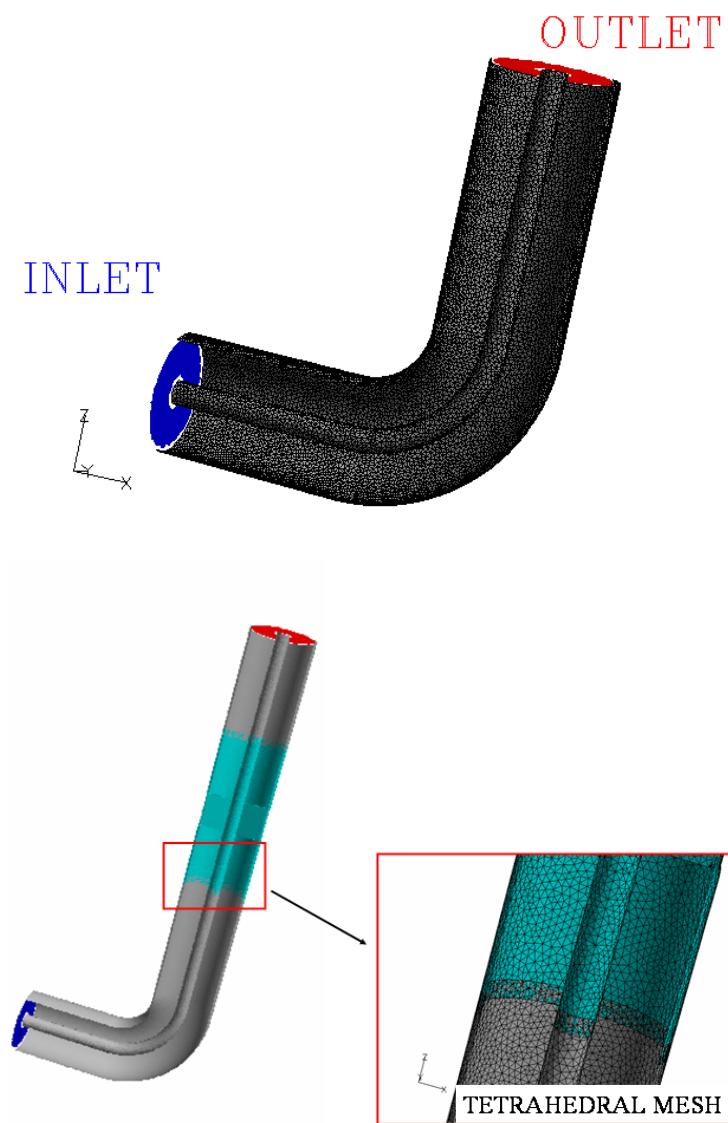


Figure 4.3: Internal flow in a pipe (data/TET/PIPE)

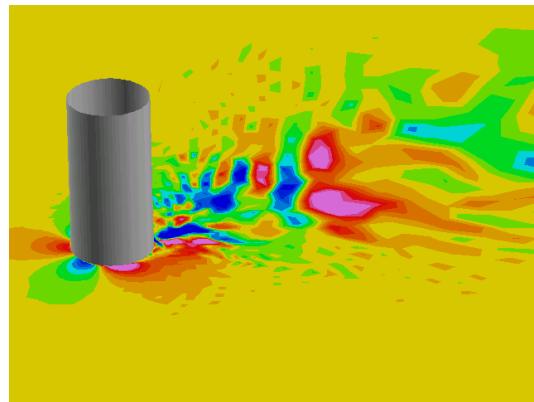


Figure 4.4: Flow around a Cylinder (data/TET/CYLINDER)

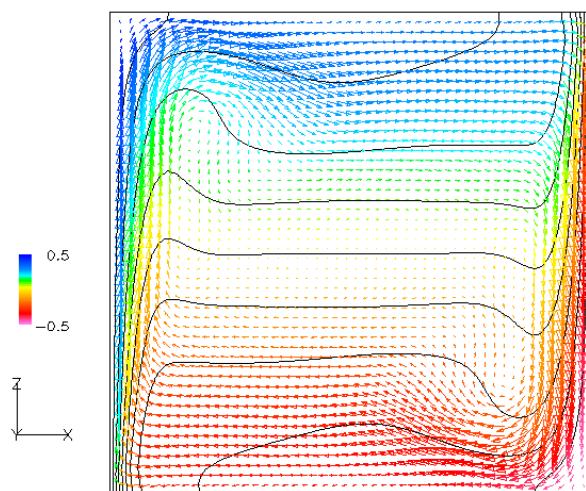


Figure 4.5: Thermal cavity flow

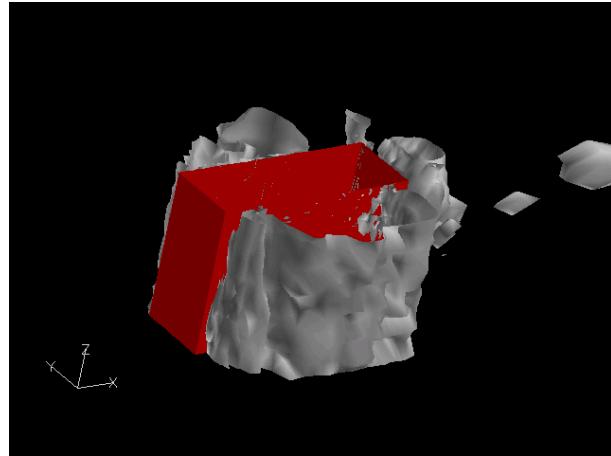


Figure 4.6: Cavitation flow around a prism

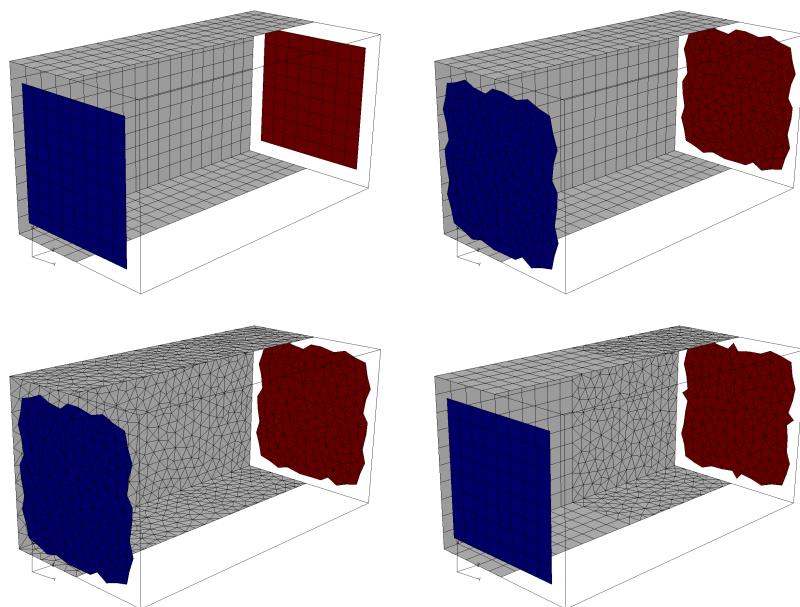


Figure 4.7: Computational models in this chapter (upper-left:hexahedral mesh, upper-right:prism mesh, lower-left:tetrahedral mesh, lower-right:hybrid mesh (hexahedral+tetrahedral+pyramid))

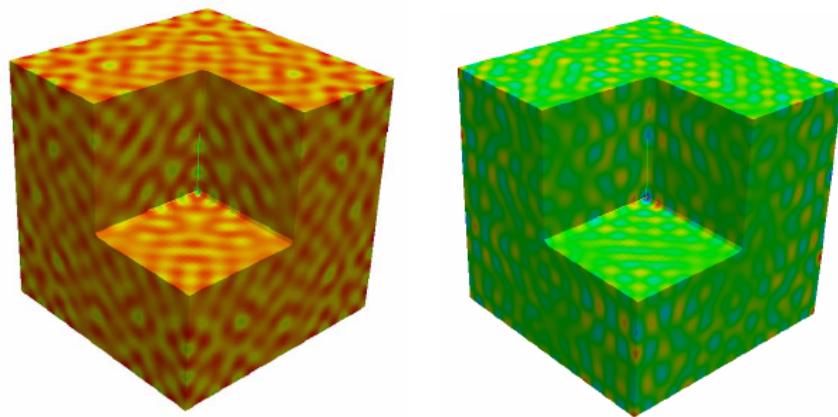


Figure 4.8: Internal acoustic fields

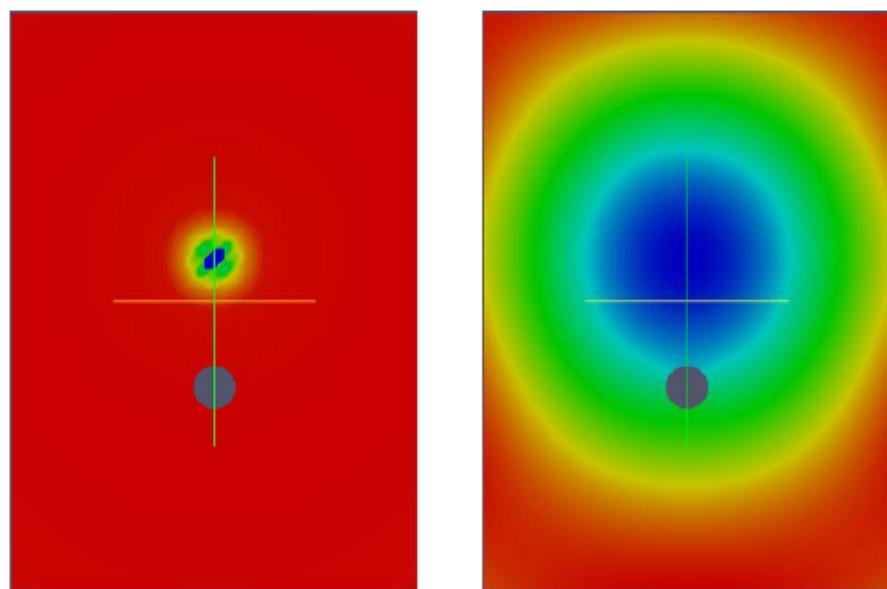


Figure 4.9: External acoustic fields

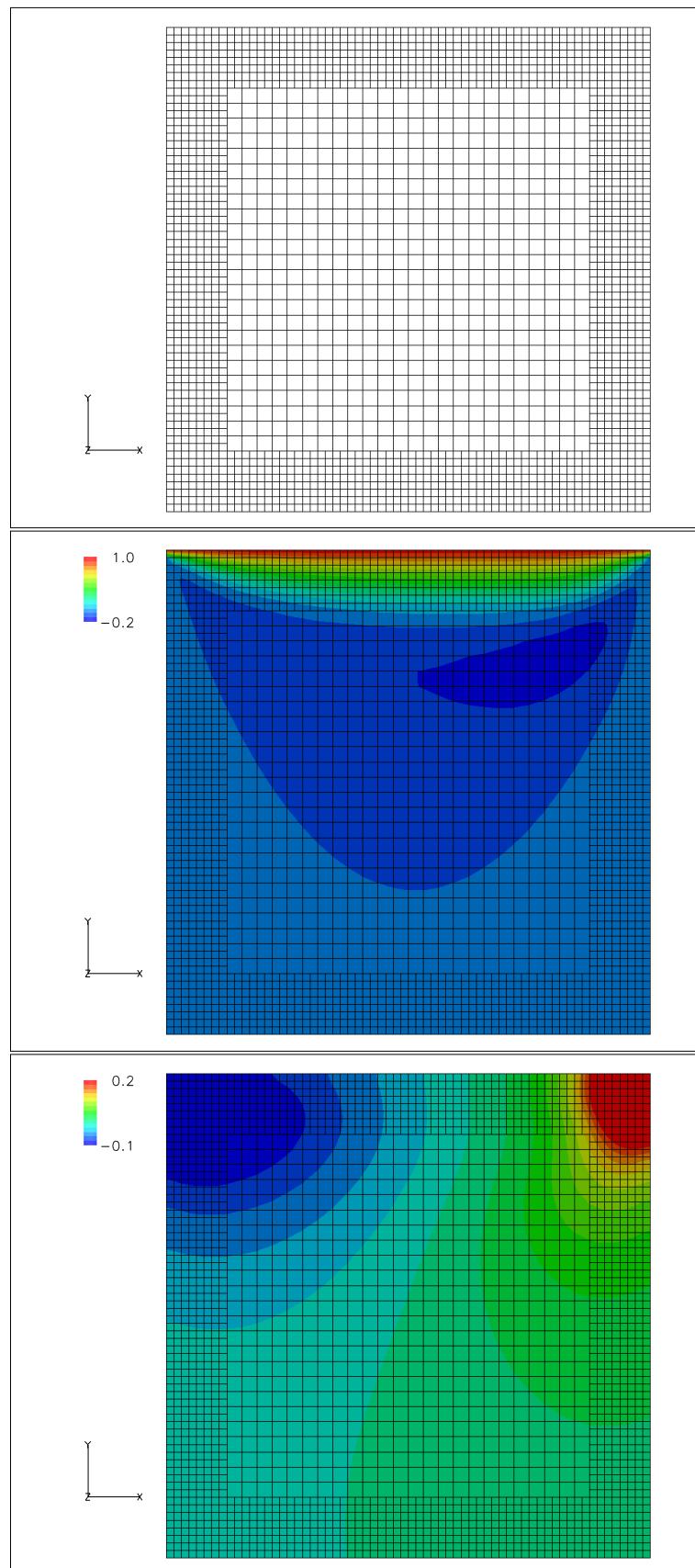


Figure 4.10: Cavity flow with voxel mesh

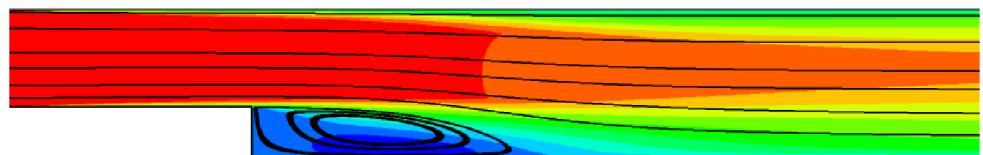


Figure 4.11: Back ste flow

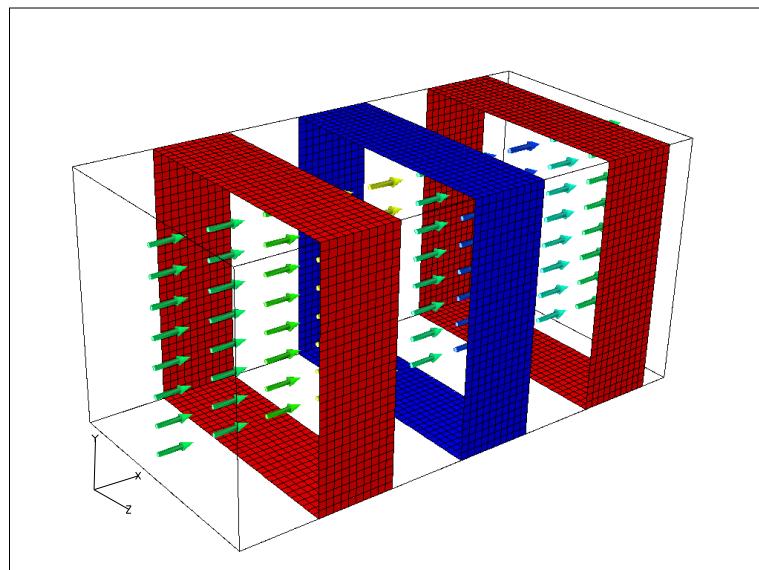


Figure 4.12: Computation model to test fan and porous model

4.4 新機能の紹介

本節では、バージョン 7.2 および本バージョン (FFB ver.8.1) で新たに追加された機能について説明します。

4.4.1 局所 refine 機能

メッシュを局所的にリファインする局所リファイン機能が使用できます。本バージョンでは壁面境界から指定したレイヤー内にあるメッシュに対して指定した回数のリファインを行います。具体的には 5.1.2 節に示すオプションキーワード "#RCAP_RF" で指定します。図 4.13 に円管内部の流れに対して局所 refine の計算を行ったメッシュとその計算結果を示します。局所 refine の結果、計算結果は理論解と一致し、壁面近傍のメッシュ解像度を局所的にあげることにより精度が向上しています。

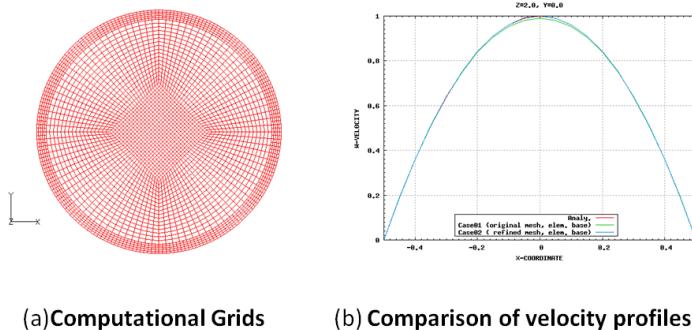


Figure 4.13: Flow in the cylinder pipe

4.4.2 ALE 解析機能

移動・変形メッシュを取り扱う ALE 解析機能が使用できます。使用する際には移動境界を BODY 境界と指定し、さらに 5.1.2 節に示すオプションキーワード”#USE_ALE”で制御パラメータを与えます。なお、流体・構造連成解析で使用する場合は別途 REVOCAP_Couple 及び FrontISTR の設定が必要となります。図 4.14 に角柱後流に振動板のある流れ場の解析結果を示します。ALE 解析機能により移動・変形メッシュが取り扱えていることがわかります。

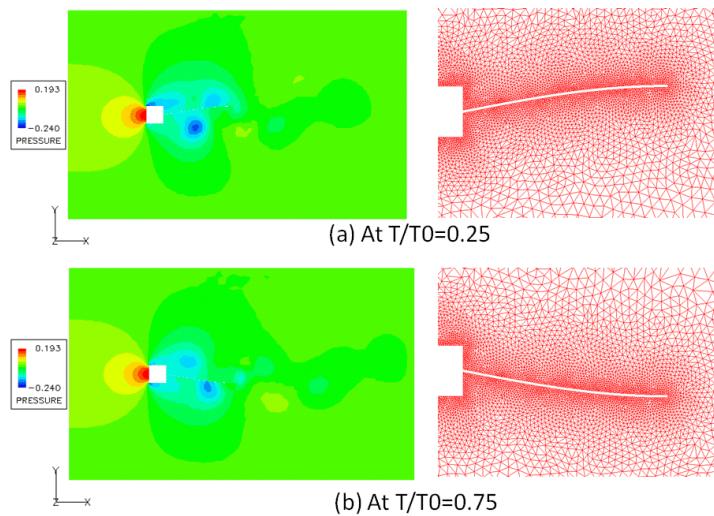


Figure 4.14: Flow snapshots (left:pressure, right:deformed mesh)

4.4.3 IDR マトリックスソルバー

IDR マトリックスソルバーが使用できます。本バージョンでは流れソルバーの熱輸送方程式及び音響ソルバーで使用可能です。流れソルバーで使用するには 5.1.2 節に示すオプションキーワード”#SOL_TMP”で指定します。また、音響ソルバーで使用するには 5.1.4 節に示すオプションキーワード”#SOL_RCM”で指定します。図 4.15 に音響ソルバーに IDR を用いて簡易 HVAC モデル内部の音響計算を行った場合の収束残差履歴を示します。従来のマトリックスソルバーと比較して、最大で 5 倍程度の高速化が確認できます。

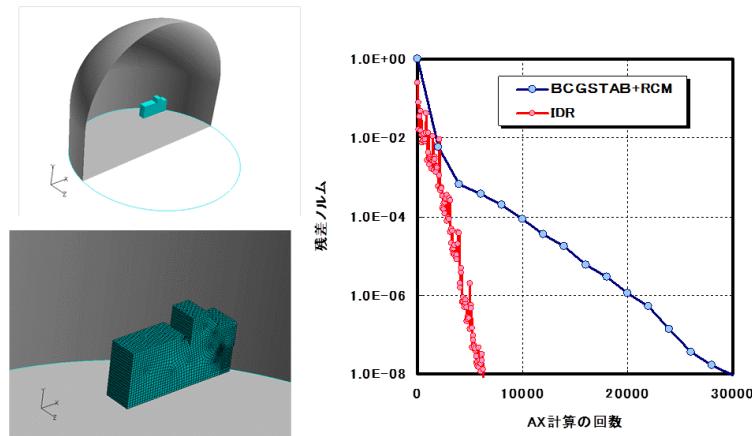


Figure 4.15: Comparisons of residual in matrix solver in acoustic analysis within HVAC model

4.4.4 混相流解析機能

VOF 法に基づく混相流解析機能が使用できます。VOF の輸送方程式には高精度スキームである CICSAM(Compressive Interface Capturing Scheme for Arbitrary Meshes) を採用しマルチ要素に対応しています。本バージョンでは单相自由表面流れ解析でのみ使用可能です。また、この機能を使用する場合、圧力は要素定義になります。使用するにはまず、18.3 節に示す周辺プログラム setint を用いて初期液相領域を指定し、流れ場ファイルを作成します。さらに 5.1.2 節に示すオプションキーワード MLPHASE で混相流解析機能に必要なパラメータを指定します。また、GRAVITY で重力加速度を指定します。初期条件として作成した流れ場ファイルを指定し、解析を実行します。入口境界を持つ開水路解析等の場合、INLET 境界で液相体積率 1 が与えられます。図 4.16、4.17 に混相流解析機能を用いたダムブレイク解析の結果を示します。実験値と良く一致した結果が得られています。

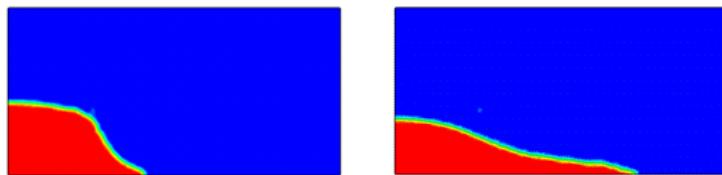


Figure 4.16: Instantaneous distributions of volume fraction (left:Time=0.8 $\sqrt{H/g}$, right:Time=1.6 $\sqrt{H/g}$)

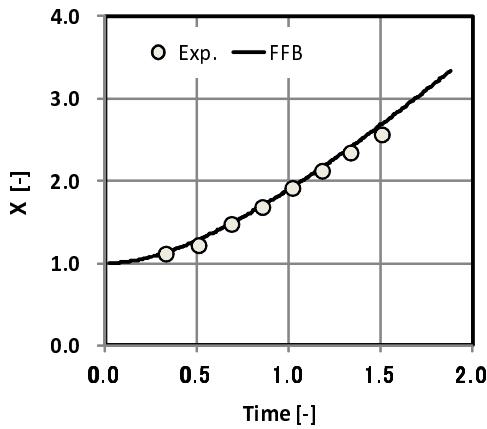


Figure 4.17: Comparison of front tip position with experimental result

Chapter 5

ファイルシステム

本システムにおいて、解析条件ファイルを除く全てのファイルは共通のファイルフォーマットをもっています。このファイルシステムはFFB オリジナルのシステムであり、GF(=General Format system) と呼びます。

FFB における処理流れを図 5.1 に示します。流体解析ソルバー les3c(もしくは、les3ct、les3d) は GF ファイル及び解析条件ファイルを入力し、GF ファイルを出力します。

本章では、解析条件ファイル (5.1 節) および GF ファイル (5.2 節) について説明します。

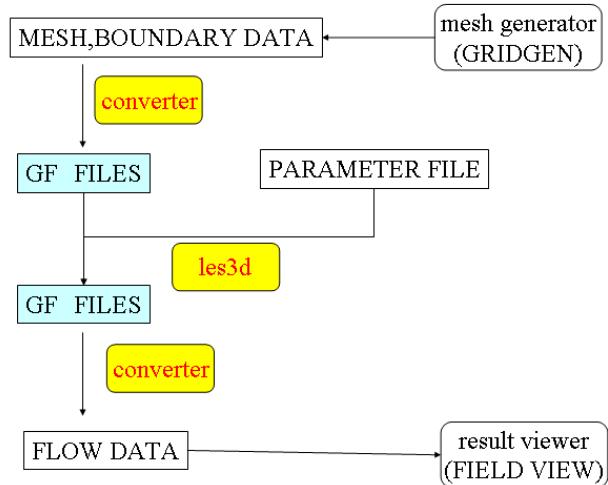


Figure 5.1: data flow of basic function

5.1 解析条件ファイル

本節ではパラメータファイルについて説明します。「はじめに」で述べたとおり本システムは4つの流れソルバー(les3d,les3c,les3ct,les3x)およびひとつの音響ソルバー(caa3d)をサポートします。本節では、流れソルバー les3x および音響ソルバー caa3d の解析条件ファイルについて説明します。解析条件ファイルは基本設定部分とオプション設定部分に大別されます。本節は以下に示す順番で解析条件ファイルについて説明します。

- 流れソルバー(les3x)の基本設定(5.1.1節)
- 流れソルバー(les3x)のオプション設定(5.1.2節)
- 流れソルバー(caa3d)の基本設定(5.1.3節)
- 流れソルバー(caa3d)のオプション設定(5.1.4節)

従来の流れソルバー(les3d,les3c,les3c)の解析条件ファイルに関しては、Appendix 21.2.1、21.2.2、21.2.3を参照してください。

5.1.1 流れソルバー (les3x) の解析条件ファイル

流体解析ソルバー'les3x'の解析条件ファイルは、図 5.2 に示すように単純なアスキーフォーマットとなっています¹。本ファイルのフォーマットはソルバーの機能拡充に伴い ver.6.1 より大幅に変更されており、旧バージョンの解析条件は使用できなくなっていますので注意してください。本バージョンのパラメータファイルは表 5.1 に示すようにグループ分けされています。また、旧バージョンの解析条件ファイルではファイルフォーマットがパラメータの値（例えば、IOUT、NFRAME、ISET 等）に依存していたため、パラメータ変更に伴い解析条件ファイルのフォーマットエラーが生じることがありました。本バージョンではこれを解消するため、基本設定部分のフォーマットをパラメータの値に依存しないよう変更しました。

Table 5.1: 解析条件ファイル中のパラメータファイル分類

| 行数 | 内容 |
|----------|---|
| 1 ~ 2 | ファイルヘッダー |
| 3 ~ 4 | 解析モードに関する設定 定常・非定常、乱流モデル、数値スキーム等 |
| 5 ~ 6 | 無次元化に関する設定 |
| 7 ~ 8 | 物理モデルに関する設定 熱輸送解析フラグ、流体・固体連成熱輸送解析フラグ 等 |
| 9 ~ 10 | オーバーセット、中間節点、マルチフレームに関する設定 オーバーセットフラグ、中間節点フラグ等 |
| 11 ~ 14 | 物性値に関する設定 粘性、密度、比熱、熱伝導率等の物性値 |
| 15 ~ 20 | 時間積分およびマトリックスソルバーに関する設定 時間刻み、リストアフラグ、収束判定値等 |
| 21 ~ | オプション出力データに関する設定 追加出力ファイルフラグ、サンプリング指定等 |
| サンプル指定の後 | ファイル名の指定 メッシュファイル名、境界ファイル名等 |

各パラメータの配置は、表 5.2、5.3、5.4 を参照してください。

¹注意：図 5.2 左に示す数字は行数とパラメータの関係を明示するために示したものであり、実際のファイルには存在しません。

```

001: #FFB_V07
002: PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
003: #GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
004:      1      0      4      1      0.00
005: #GIVE DREFF UREFF TREFF TOUT
006:      1.0    30.0   270.0   1.0
007: #GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
008:      0      0      0      0
009: #GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
010:      0      0      0      0.0
011: #GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
012:      1.54e-5 0.0   1.0    10.0
013: #GIVE CONDF CONDS CPF CPS
014:      1.0E-1 1.0E-0 10.0   1.0
015: #GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
016:      0      500   0.01   100     1
017: #GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
018:      10     40   1.0E-6 1.0E-6 1.0E-20
019: #GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
020:      1.0    0.00   0.00   0.00
021: #GIVE IOUT INTFSV INTSFV
022:      0      0      0
023: #GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
024:      6
025: 1 0.5 0.0 0.15
026: 2 0.5 0.0 0.15
027: 3 0.5 0.0 0.15
028: 4 0.5 0.0 0.15
029: 1 0.5 0.0 0.25
030: 4 0.5 0.0 0.25
031: #GIVE MESH      FILE NAME
032: ../../DATA/data1/MESH
033: #GIVE B.C.      FILE NAME
034: ../../DATA/data1/BOUN
035: #GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
036: DUMMY
037: #GIVE FINAL FLOW FILE NAME
038: FLOW
039: #GIVE HISTORY      FILE NAME
040: HISTORY
041: #GIVE ATTRIBUE      FILE NAME
042: ../../DATA/data1/ATTR
043: #GIVE MID-NODE      FILE NAME
044: ../../DATA/data1/MID
045: #GIVE OVERSET      FILE NAME
046: ../../DATA/data1/OVER
047: #GIVE AVERAGE      FILE NAME
048: AVE
049: #GIVE RMS      FILE NAME
050: RMS
051: #GIVE STRESS      FILE NAME
052: STR
053: #GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
054: FLOWS
055: #GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
056: SURF
057: #END OF INPUT DATA
058:
059: #OPTIONS
060: #MONITOR
061: x#STOPNOW
062: #OPTIONE
063:

```

Figure 5.2: sample of parameter file (PARMLES3X)

以下、各パラメータの詳細について説明します。

ファイルヘッダ

- #FFB_V07 : ファイルヘッダ

本バージョンの流れソルバー les3x 用解析条件ファイルの先頭にはファイルヘッダーとして#FFB_V07 を指定する必要があります。この記述がない場合、流れソルバー les3x は処理を終了しますので、本バージョンの les3x を使用する際に必ず冒頭にこのキーワードを記述してください。これは旧バージョンのフォーマットでかかれた解析条件ファイルを誤って入力しないための処置です。

解析モードに関する設定

- ITRANS : 定常 / 非定常フラグ

Fractional Step 法による非定常計算か SIMPLE 法および SIMPEC 法による定常計算かを選択します。

| ITRANS | 圧力解法 | 定常 / 非定常 |
|--------|-----------------|----------|
| 1 | Fractional Step | 非定常 |
| 2 | SIMPLE | 定常 |
| 3 | SIMPLEC | 定常 |

- IMODEL : 乱流モデルフラグ

乱流モデルを選択します。非定常計算の場合は LES モデルを、定常計算の場合は RANBS モデルを選択します。現バージョンでは以下の乱流モデルが用意されています。

| IMODEL | turbulence model | |
|--------|--|--------|
| 0 | 乱流モデルなし | 定常・非定常 |
| 1 | LES: 標準スマゴリンスキーモデル | 非定常 |
| 2 | LES: ダイナミックスマゴリンスキーモデル | 非定常 |
| 12 | RANS: 低レイノルズ数型 $k - \epsilon$ (Launder-Sharma モデル) | 定常 |
| 13 | RANS: 低レイノルズ数型 $k - \epsilon$ (Chien モデル) | 定常 |

‘Large Eddy Simulation (LES)’を使用する場合、IMODEL=1 もしくは 2 とします。LES は空間平均に基づいているため、非定常な解を得ることができます。ただし、十分な精度の解を得るために流れ場において支配的な渦を解像するだけの空間解像度が必要であり、かつ流れ場の統計量を計算するために長い計算時間²が必要となります。従って、LES を行なうためには非常に長い CPU-time が必要となります。

‘Reynolds Averaged Navier Stokes equations (RANS)’を使用する場合、IMODEL=11 もしくは 12 とします。RANS は乱流を時間平均した統計量でモデル化するため、通常は定常計算の場合に利用します。また、現在実装されている低レイノルズ数型乱流モデルでは、壁面に接しているメッシュが境界層の粘性低層に入っている必要があります。このため、壁面付近では壁面に垂直な方向について非常に細かいメッシュを用意する必要があります。

²一般的には最低数千から数百万ステップ

- IFORM : 運動方程式解法フラグ

非定常計算の場合、流体解析プログラム'les3cx'では、運動方程式に対しデフォルトではクランク・ニコルソン法を使用します(IFORM=1)。これに加え、計算安定性を確保するため、以下に示す二つの機能をサポートします。

- Balancing Tensor Diffusivity:

四面体計算格子は自動生成プログラムによって作成する場合が一般的ですが、形状が複雑な場合、品質の悪い計算格子が出現する場合があります。このような計算格子を含む計算においては、安定性を保つため‘Balancing Tensor Diffusivity (BTD)’項を使用することを推奨します。BTD項は、時間刻みに比例して大きくなるため、大きな時間刻み(CFL-numer が 1 以上)を用いた計算では、人工的な粘性が大きくなることに注意してください。本プログラムでは、これを避けるためBTD項に 1 以下の係数をかける機能をサポートしています。計算安定性と計算精度の両者を保つためには、係数として 0.1 を推奨します。BTD にかける係数は 5.1.2 に示すオプション機能を用いて変更することができます。

- 拡散項に対するオイラー陰解法:

レイノルズ数 100 程度の低レイノルズ数流れの計算をする場合は、拡散項をオイラー陰解法で扱うことを推奨します。

上記の機能は、パラメータ IFORM により以下のように制御されます。

| IFROM | 対流項離散化手法 |
|-------|---|
| 1 | クランク・ニコルソン法 |
| 2 | クランク・ニコルソン法 + BTD 項 |
| 3 | クランク・ニコルソン法 (ただし拡散項はオイラー陰解法) |
| 4 | クランク・ニコルソン法 + BTD 項 (ただし拡散項はオイラー陰解法) |

定常計算の場合、原理的には収束解として時間項が 0 となる解を求める解析となります。数値計算上は不安定となるため、内部的に時間項を導入して計算を行っています。収束性を重視し、時間項の取り扱いは自動的にオイラー陰解法となります。

- IPRESS : 圧力方程式フラグ

非定常計算の場合の圧力解法について、低マッハ近似の導入を行うか否かを選択します。

- IPRESS=1 : Fractional-Step 法

- IPRESS=2 : 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。

- FSMACH : 低マッハ近似におけるマッハ数パラメータ

低マッハ近似におけるマッハ数パラメータを実数値として与えます。

無次元化に関する設定

各種入力パラメータは有次元の値を用いるようになりました。流れソルバーはファイルから入力したデータを、ソルバー内で無次元化し、出力するさいに有次元データに戻して出力します。以下に示すパラメータ (D000、U000、T000) はソルバーが無次元化する際に必要なデータです。なお、これらのパラメータに 1.0 を指定することにより、従来のソルバーと同様に全ての量を無次元データとして取り扱うことも可能です。

- D000 : 計算領域の代表長さ
計算領域の代表的な長さ D ([m] 単位) を与えます。
- U000 : 計算領域の代表速度
計算領域の代表的な速度 U ([m/s] 単位) を与えます。
- T000 : 計算領域の代表温度変動
計算領域の代表的な温度変動 ΔT ([K] 単位) を与えます。
- TREF : 計算領域の参照温度
計算領域の参照温度 T_{ref} ([K] 単位) を与えます。初期の流れ場を読み込まなかった場合の温度場の初期値や、熱伝達境界の外部温度として使用されます。

物理モデルに関する設定

- IHEAT : 热輸送解析フラグ
 $IHEAT=1$ のとき、流体解析に加えて熱輸送解析を行います。
- ISOLID : 流体・固体連成熱輸送解析フラグ
 $ISOLID=1$ かつ $IHEAT=1$ のとき、流体解析に加えて流体・固体熱輸送連成解析を行います。
- ICAV : キャビテーション解析フラグ
 $ICAV=1$ のとき、流体解析に加えてキャビテーション解析を行います。(現状で流れソルバー les3x にはキャビテーション解析機能が未実装のため、このパラメータは参照されません。)
- IBUSNQ : ブシネスク近似フラグ
 $IBUSNQ=1$ かつ $IHEAT=1$ のとき、流体の熱輸送解析の際にブシネスク近似を用いて自然対流を考慮します。(現状の実装では、自然対流計算において常にシネスク近似が適用されているためこのパラメータ参照されていません。)

オーバーセット、中間節点、マルチフレームに関する設定

- NFRAME : マルチフレーム機能フラグ
マルチフレーム機能を制御するフラグです。本フラグには 0、-1、1 のいずれかの値をセットします。 $NFRAME=0$ の場合は、シングルフレームモード

ドとなります。即ち、全ての計算領域を单一の静止系または回転系として計算します。

一方、NFRAME=1 または -1 の場合は、マルチフレームモードとなります。計算領域の一部を静止系、他の計算格子を回転系（もしくは加速度系）として計算します。以下に、各入力値（0, -1, 1）についての説明を示します。マルチフレームモード（NFRAME=-1 or 1）の際には、各計算格子がどの座標系に属しているかを示す座標系指定ファイルを追加で入力する必要があります。

– NFRAME=0 : シングルフレームモード

全ての計算領域を单一の静止系または回転系として計算します。パラメータ ‘OMEGA’ により、回転系の角速度を指定します。OMEGA の値に応じた遠心力およびコリオリ力が導入されます。現バージョンでは、回転計の回転軸は z 軸に固定されています。

内部的には、静止系を角速度=0 の回転計として取り扱います。静止系での計算を行う場合、OMEGA=0 と指定する必要があります。

– NFRAME=-1 : マルチフレームモード（静止系 + 回転系）

計算領域の一部を静止系とし、他の計算領域を回転系に属するものとして計算します。シングルフレームモードと同様に、回転系の角速度はパラメータ ‘OMEGA’ により指定します。回転系に設定した全ての計算領域で同一の角速度が適用されます。マルチフレーム機能を使用する場合は、各計算格子（正確には要素）がどちらの座標系に存在するかを指定する必要があります。この指定は座標系ファイル（5.2.8 節参照）に記述し、追加パラメータとして入力する座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

– NFRAME=1 : マルチフレームモード（静止系 + 加速度系）

計算領域の一部を静止系とし、他の計算領域を加速度系に属するものとして計算します。加速度系の加速度ベクトルはパラメータ ‘UFRAME, VFRAME, WFRAME’ により指定します。回転系に設定した全ての計算領域で、单一かつ定常な加速度が適用されます。NFRAME を指定した行に続く 1 行において、加速度ベクトル（3 成分）を指定してください。

• ISET : 中間節点フラグ

ISET=-1 のとき、メッシュデータを読み込み、中間節点データを作成します。なお、本バージョンでは中間節点は全てソルバーで作成されるため、前バージョンまでのように中間節点データの読み込みは不要となりました。そのため、ISET=1 の場合はエラーを返します。

• JSET : オーバーセット法フラグ

オーバーセット法を用いて複数の計算格子を接続した計算を行います。本バージョンではオーバーセット節点をソルバーで作成する機能が追加されました。オーバーセット法を用いる場合は 1 もしくは 0 未満の値を指定します。それぞれの説明を以下に示します。

- JSET = 0 オーバーセット計算機能はオフになります。
- JSET < -1 オーバーセット計算機能がオンになります。オーバーセットデータを内部で作成します。オーバーセットデータは”-JSET”ステップおきに更新されます。
- JSET > 1 オーバーセット計算機能がオンになります。オーバーセットデータをファイル入力します。オーバーセットデータは”-JSET”ステップおきに更新されます。この場合、事前にオーバーセットデータを作成しておく必要があります。

オーバーセット法は中間節点と同時に使用することはできないため、ISET と JSET に対して同時に 0 以外が設定されるとエラー終了します。

- OMEGA : (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度
座標系ファイルにおいて座標系番号 (IFRAME)=-1 が指定されている座標系は、単一座標系 (NFRAME=0) モードにおけるデフォルト座標系であり、z 軸のまわりに角速度 OMEGA で回転している回転系として扱われ、OMEGA に応じた慣性力 (=遠心力+コリオリ力) が加えられます。OMEGA=0.0 を指定した場合は静止系と同等となります。

物性値に関する設定

- VISCM : 分子粘性係数
有次元の動粘性係数 ν ([m²/s] 単位) を指定します。標準的な値としては、
 - 25 、 1 気圧の空気 : $1.54 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$
 - 25 、 1 気圧下での水 : $8.93 \times 10^{-7} [\text{m}^2/\text{s}]$

等が用いられます。

動粘性係数 ν に対し、計算領域の代表長さ L と代表速度 U を用いて、レイノルズ数 Re は

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (5.1)$$

の関係にあります。

- SIGMA : キャビテーションモデルにおける蒸気圧
キャビテーションモデルを導入した解析 (ICAV=1) のとき、キャビテーションが生じる閾値となる蒸気圧を実数値として与えます。(現状で流れソルバー les3x にはキャビテーション解析機能が未実装のため、このパラメータは参照されません。)
- RHOF : 流体部分の密度
流体部分の密度を実数値で与えます。自然対流を含む熱輸送解析などで有効になります。

- RHOS : 固体部分の密度

固体部分の密度を実数値で与えます。流体・固体熱輸送連成解析などで有効になります。

- CONDF : 流体部分の熱伝導率

流体部分の熱伝導率を実数値で与えます。熱輸送解析を行う場合のみ参照されます。

- CONDS : 固体部分の熱伝導率

固体部分の熱伝導率を実数値で与えます。流体・固体熱輸送連成解析を行う場合のみ参照されます。

- CPF : 流体部分の比熱

流体部分の比熱を実数値で与えます。熱輸送解析を行う場合のみ参照されます。

- CPS : 固体部分の比熱

固体部分の比熱を実数値で与えます。流体・固体熱輸送連成解析を行う場合のみ参照されます。

時間積分およびマトリックスソルバーに関する設定

- ISTART : リスタートフラグ

ISTART=0 の場合、リスタート機能は使わず全領域について圧力 0、速度 0 の静止状態を初期条件とします。熱解析を行う場合は温度 0[K] を初期条件とします。RANS 解析の場合、初期の乱流場 k および ϵ を別途オプションを用いて指定します。ISTART=1 の場合、GF 流れ場ファイルを入力し、これを初期状態とします。

- NTIME : 非定常計算のタイムステップ数

非定常計算の場合のタイムステップ数を指定します。解析対象となる全計算期間は $NTIME \times DT$ となります。

- DT : 時間刻み

非定常解析での時間刻みを指定します。計算の間、常に一定に保たれます。メッシュの刻み幅 d 、流れ場の速度 U に対して、計算領域全体での d/U の最小値より小さい値を取ると計算が安定しやすくなりますが、計算時間が増大します。一般的には、時間刻みを d/U の最小値と同程度に選べば計算の安定性が高くなります。陰解法を使用している場合は、計算に必要なコストを抑える目的でより大きい時間刻みを用いる場合もあります。

定常解析の場合、 d/U の最小値よりも十分大きい値を指定する限り、時間刻みによらず同様の計算となります。なお、出力に使用される時刻はそのままステップ数 $\times DT$ となります。

- NMAXSE : 定常計算の最大タイムステップ数

定常計算の場合の最大タイムステップ数を指定します。

- NMAXSI : SIMPLE(C) 法の内部反復数
定常計算では SIMPLE(C) 法を用いており、1 タイムステップの計算の際に Navie-Stokes 方程式と圧力方程式を複数回解く内部反復を行います。NMAXSI は 1 ステップでの内部反復数を指定します。内部反復を行わない（Navie-Stokes 方程式と圧力方程式を 1 ステップに 1 回解く）場合は NMAXSI=1 を指定します。通常、NMAXSI は 1~3 程度を選びます。
- NMAXT : 運動方程式の行列ソルバー最大反復運動回数
運動方程式を解く際の行列のソルバーの最大反復数です。残差が収束判定値 EPST より大きい場合でも、NMAXT 回の反復を行った時点で収束計算を打ち切り、次ステップへ進みます。大きな NMAXT を用いた方が精度の高い計算となります。計算時間が長くなります。NMAXT の標準的な設定値は 10~20 です。（多くの場合、時間刻み DT が大き過ぎない限り、運動方程式の収束性は圧力方程式の収束性よりも良好です。）
- NMAXP : 圧力方程式の行列ソルバー最大反復回数
圧力方程式を解く際の行列のソルバーの最大反復数です。残差が収束判定値 EPSP より大きい場合でも、NMAXP 回の反復を行った時点で収束計算を打ち切り、次ステップへ進みます。大きな NMAXP を用いた方が精度の高い計算となります。計算時間が長くなります。³ NMAXP の標準的な設定値は 50~200 です。
- EPST : 運動方程式の行列ソルバー収束判定値
運動方程式を解く際の行列の収束判定に用いる閾値です。残差がこの値よりも小さくなった時点で収束計算を打ち切り、次ステップへ進みます。収束判定値が小さい方が精度の高い計算となります。計算時間が長くなります。
- EPSP : 圧力方程式の行列ソルバー収束判定値
圧力方程式を解く際の行列の収束判定に用いる閾値です。残差がこの値よりも小さくなったら収束計算を打ち切り、次ステップへ進みます。収束判定値が小さい方が精度の高い計算となります。計算時間が長くなります。⁴
- EPSS : 定常計算の収束判定値
定常計算の場合、計算領域全体で評価した各物理量の 1 ステップでの変動分が前ステップでの値に対する比で EPSS よりも小さかった場合、定常解に到達したとみなして解析を終了します。この値を 0 とした場合は、必ず NMAXSE ステップの計算を行ってから解析を終了します。不用意に大きい値を設定した場合、局所的な停留点や鞍点などで解析を終了してしまう場合があります。
- TFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ
本システムの流れソルバーでは、非定常計算の場合、流体に急な力を作用

³ 流体解析プログラム les3x の 1 ステップあたり、1 要素あたりの演算回数はおよそ $10000 \times NMAX$ 回（節点圧力モード）または $20000 \times NMAX$ 回（要素圧力モード）です。

⁴ 単精度の計算では達成不可能な極めて小さい値に設定した場合、各ステップでほぼ確実に最大反復数 NMAXP 回の収束計算を行うこととなり、場合によっては発散に至る可能性もあります。

させることによる非物理的な振動や計算不安定を避けるため、時間緩和機能を備えています。

時間緩和は以下に示す境界条件および計算条件に対して適用されます。

- 流入速度
- moving-wall 境界の壁移動速度
- 周期境界における flow-rate
- 周期境界における圧力差
- 角速度
- 平行移動座標系の速度 (もしくは加速度)

緩和処理においては、あらかじめ設定した値に対して以下の関数を積算した値を使用することで、全ての設定値を 0 とした状態から計算開始し、有限の時間で設定値まで連続的に上昇させます。

$$1.0 - \exp \{ -\text{TIME}/\text{TFINAL} \}$$

ここで TIME は現時刻で、TFINAL はこのパラメータとして入力する実数値です。目安として、時刻 $7.0 \times \text{TFINAL}$ 付近で設定値の 99.9% まで上昇します。このような時間緩和を必要としない場合は、単純に $\text{TFINAL}=0$ と設定してください。この場合、上記の関数は 1 にセットされます。

- UFINAL,VFINAL,WFINAL : 速度の時間緩和パラメータ平行移動座標系の速度を実数値で指定します。それぞれ、順に x 軸方向、 y 軸方向、および z 軸方向の速度を示します。これらの速度も時間緩和の対象となります。このとき、整合性を取るため、緩和が働いている期間には次式に示す加速度項が加えられます。

$$(UFINAL - UFRME0(IFRM)) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(VFINAL - VFRME0(IFRM)) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(WFINAL - WFRME0(IFRM)) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

オプション出力データに関する設定

- IOUT : 出力ファイルフラグ
解析終了時に出力する流れ場データを設定します。IOUT に応じて以下に示すファイルが追加出力されます。

| IOUT | 出力ファイルフラグ |
|------|---|
| 0 | 瞬時場データのみ出力します。 |
| 1 | 瞬時場データおよび平均場データが追加出力されます。 |
| 2 | 瞬時場データ、平均場データ、RMS データおよび STRESS データが追加出力されます。 |

ここで ‘RMS’ は平均二乗平均 (root-mean-square) を、‘STRESS’ はレイノルズ応力を示します。流れ場ファイルの内容に関しては 5.2.4 を参照ください。

- INTFSV : 中間流れ場データ出力インターバル数
INTFSV ステップごとに、中間流れ場データを出力します。中間流れ場データの出力先ファイル名は別途指定します。中間流れ場データは出力先ファイルへ順次追加する形で出力されるため、個々のステップでのデータを取得する際には周辺プログラム gfsep (18.7.4 節参照) を用いて分割処理を行う必要があります。また、大規模な計算の場合、INTFSV を小さくすると中間流れ場データの容量が大きくなる可能性がありますのでご注意ください⁵。INTFSV=0 とした場合、中間流れ場データは出力されません。
- INTSFV : 物体表面圧力場データ出力インターバル数
INTSFV ステップごとに、物体表面に隣接する要素で定義される圧力を圧力場データとして出力します。圧力場データの出力先ファイル名は別途指定します。圧力場データは出力先ファイルへ順次累加する形で出力されるため、個々のステップでのデータを取得する際には周辺プログラム gfsep を用いて分割処理を行う必要があります。INTSFV=0 とした場合、計算途中の圧力場データは出力されません。
- NSMPL : サンプリングデータ数
LSMPL : サンプリングデータタイプ
XSMPL, YSMPL, ZSMPL : データサンプリングする位置 (X,Y,Z)
指定した座標について、指定した物理量の時系列データを取得するサンプリング機能の設定を行います。1 つのサンプリングデータは、サンプリングするデータのタイプと位置の組み合わせによって指定されます。初めにサンプリングを行うデータ数を指定し、サンプリングデータタイプとサンプリング位置を指定した数だけ列挙してください。図 5.2 の例では、座標 (0.5 0.0 0.15) の速度 3 成分および圧力、座標 (0.5 0.0 0.25) の x 方向速度および圧力の計 6 つのデータを出力します。以下に示すサンプリングデータタイプが用意されています。

| LSMPL | データタイプ |
|-------|----------------|
| 1 | X 方向速度 (U) |
| 2 | Y 方向速度 (V) |
| 3 | Z 方向速度 (W) |
| 4 | 圧力 |
| 5 | 液体体積率 |
| 6 | 温度 |
| 7 | 乱流粘性係数 |
| 8 | 乱流場 k |
| 9 | 乱流場 ϵ |

⁵ 中間流れ場ファイルを出力する場合は GF 流れ場ファイルの容量はあらかじめ見積もっておくことを推奨します。基本計算の場合出力変数は速度 3 成分と圧力 2 種類 (節点定義および要素定義) の 5 变数です。变数は单精度 (4 バイト) で出力されるためグリッドあたりにファイル容量は 20 バイトとなります。例えば 100 万点 (=1M グリッド) の流れ場データの容量は 20 MB となり、これを 1000 個出力するためには 20GB のハードディスクスペースが必要になります。

Table 5.2: パラメータファイル (PARMLES3X) のデータフォーマット

| | | | | |
|-------------|---|--------|--------|----------------|
| FILE HEADER | | | | |
| COMMENT | | | | |
| ITRANS | IMODEL | IFORM | IPRESS | FSMACH |
| COMMENT | | | | |
| D000 | U000 | T000 | TREF | |
| COMMENT | | | | |
| IHEAT | ISOLID | ICAV | IBUSNQ | |
| COMMENT | | | | |
| NFRAME | ISET | JSET | OMEGA | |
| COMMENT | | | | |
| VISCM | SIGMA | RHOF | RHOS | |
| COMMENT | | | | |
| CONDF | COND S | CPF | CPS | |
| COMMENT | | | | |
| ISTART | NTIME | DT | NMAXSE | NMAXSI |
| COMMENT | | | | |
| NMAXT | NMAXP | EPST | EPSP | EPSP |
| COMMENT | | | | |
| IOUT | INTFSV | INTSFV | | |
| COMMENT | | | | |
| NSMPL | | | | |
| LSMPL | XSMPL | YSMPL | ZSMPL | *(NSMPL lines) |
| COMMENT | | | | |
| FILEMS | (FILE NAME TO READ MESH DATA) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEBC | (FILE NAME TO READ BOUNDARY CONDITIOND) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEIF | (FILE NAME TO READ INITIAL FLOW FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEFF | (FILE NAME TO WRITE FINAL FLOW FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEHS | (FILE NAME TO WRITE TIME HISTORIES) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEAT | (FILE NAME TO READ ELEMENT ATTRIBUTE) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEMN | (FILE NAME TO READ MID-NODE DATA) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEOS | (FILE NAME TO READ OVERSET DAT) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEAV | (FILE NAME TO WRITE AVERAGE FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILERM | (FILE NAME TO WRITE RMS FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEST | (FILE NAME TO WRITE STRESS FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEFS | (FILE NAME TO WRITE CURRENT FIELD) | | | |
| COMMENT | | | | |
| FILEPS | (FILE NAME TO WRITE SURFACE PRESSURE) | | | |

Table 5.3: パラメータファイル (PARMLES3X) の内容説明 (1)

| 名前 | 内容 | 想定値 |
|--------|--|-----------------|
| ITRANS | 非定常 Fractional Step / 定常 SIMPLE / 定常 SIMPLEC | 0,1,2 |
| IMODEL | 乱流モデルフラグ | 0,1,2,12,13 |
| IFORM | 運動方程式解法フラグ | 1,2,3,4 |
| IPRESS | 圧力方程式フラグ | 10,20 |
| FSMACH | マッハ数 | 0.01 ~ 0.1 |
| D000 | 計算領域の代表長さ | $\neq 0$ |
| U000 | 計算領域の代表速度 | $\neq 0$ |
| T000 | 計算領域の代表温度変動 | $\neq 0$ |
| TREF | 参照温度 | > 0 |
| IHEAT | 熱輸送解析フラグ | 0,1 |
| ISOLID | 固体領域フラグ | 0,1 |
| ICAV | キャビテーション解析フラグ | 0,1 |
| IBUSNQ | ブシネスク近似フラグ | 0,1 |
| NFRAME | マルチフレーム機能フラグ | -1,0,1 |
| ISET | 中間節点フラグ | 0,1 |
| JSET | オーバーセット法フラグ | 0,1 |
| OMEGA | (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度 | 実数値 |
| VISCM | 分子粘性係数 | 実数値 |
| SIGMA | キャビテーションモデルにおける蒸気圧 | 実数値 |
| RHOF | 流体部分の密度 | 実数値 |
| RHOS | 固体部分の密度 | 実数値 |
| CONDf | 流体部分の熱伝導率 | 実数値 |
| CONDs | 固体部分の熱伝導率 | 実数値 |
| CPF | 流体部分の比熱 | 実数値 |
| CPS | 固体部分の比熱 | 実数値 |
| ISTART | リストアフラグ,(境界条件の時間緩和も制御) | 0,1,2 |
| NTIME | 非定常計算タイムステップ数 | 整数値 |
| DT | 時間刻み | $CFL \simeq 1$ |
| NMAXSE | 定常計算タイムステップ数 | 整数値 |
| NMAXSI | SIMPLE(C) 法内部反復数 | 整数値 (> 0) |
| NMAXT | 運動方程式行列ソルバーの最大反復回数 | 10 ~ 50 |
| NMAXP | Poisson 方程式行列ソルバーの最大反復回数 | 50 ~ 200 |
| EPST | 運動方程式行列ソルバーの収束判定値 | 1.0E-8 ~ 1.0e-4 |
| EPSP | Poisson 方程式行列ソルバーの収束判定値 | 1.0E-8 ~ 1.0e-4 |
| EPSS | 定常計算の収束判定値 | 0 ~ 1.0e-6 |
| TFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| UFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| VFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| WFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| IOUT | 出力ファイルフラグ | 0,1,2 |
| INTFSV | 流れ場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| INTSFV | 物体表面圧力場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| NSMPL | サンプリングデータ数 | |
| LSMPL | サンプリングデータタイプ | 1 ~ 9 |
| XSMPL | サンプリングする位置 (x 座標) | |
| YSMPL | サンプリングする位置 (y 座標) | |
| ZSMPL | サンプリングする位置 (z 座標) | |

Table 5.4: パラメータファイル (PARMLES3X) の内容説明 (2)

| 名前 | 内容 | (IN/OUT) | 条件 |
|--------|--------------------|----------|-------------------------|
| FILEMS | GF メッシュファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEBC | GF 境界条件ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEIF | GF 初期値ファイル名 | IN | ISTART=0 の場合のみ有効 |
| FILEFF | GF 流れ場ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEHS | GF 履歴ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEAT | GF-attribute ファイル名 | IN | NFRAME $\neq 0$ の場合のみ有効 |
| FILEMN | GF 中間節点ファイル名 | IN | ISET ≥ 1 の場合のみ有効 |
| FILEOS | GF オーバーセットファイル名 | IN | JSET ≥ 1 の場合のみ有効 |
| FILEAV | GF 平均流れ場ファイル名 | OUT | IOUT ≥ 1 の場合のみ有効 |
| FILERM | GF-RMS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ有効 |
| FILEST | GF-STRESS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ有効 |
| FILEFS | GF-流れ場データファイル名 | OUT | INTFSV ≥ 1 の場合のみ有効 |
| FILEPS | GF 表面圧力場データファイル名 | OUT | INTPSV ≥ 1 の場合のみ有効 |

注意

- 表中のファイル名は常に指定が必要です。ただし、デフォルトと示されるファイル名以外は条件付きで参照されます。表中に示される条件以外の場合にはダミーファイル名を設定してください。
- 計算終了時流れ場は FILEFF に出力され、計算途中の流れ場は FILEFS に INTFSV ステップ毎に出力されます。
- ファイル名の長さは 54 文字以下でなくてはならないので注意してください。

5.1.2 流れソルバー (les3x) のオプション設定

流れソルバー les3x の解析条件ファイルでは、前節で説明した基本設定の他にオプション機能を設定することができます。本節では、解析条件ファイルにおけるオプション機能の設定を説明します。

オプション機能は、前節にて説明した基本部分の後に、各オプションを示すキーワードを記述することで設定します。キーワードには続けて引数を記述する必要がある場合もあります。また、引数を持つオプションの中には、デフォルト値が設定されている（オプションを指定しなかった場合、自動的にデフォルト値を引数としてオプションを与えた場合と同等の処理が行われる）ものも存在します。

オプション機能の使用方法を以下にまとめます。

- 解析条件ファイルの基本部分（前節にて説明した部分です）に続き、オプション記述部分を追加します。オプション記述部分は必ずキーワード“#OPTIONS”で始まり、キーワード“#OPTIONE”で終了しなければなりません。
- “#OPTIONS”と“#OPTIONE”的間に、オプション機能を指定するキーワードを記述します。キーワードの数は自由に設定できます。キーワードは自由な順序で記述できますが、同じキーワードが複数存在していた場合、後の行に記述されたものが有効となります。
- キーワード部分の各行は必ず 1 つのキーワードで開始され、全ての引数がキーワードと同じ行に正しい順序で記述されている必要があります。全てのキーワードは先頭の文字が“#”である 8 文字の文字列です。引数の指定が必要なキーワードの場合、キーワードと引数を合わせた文字数は 1 行で 60 文字以内とします。
- キーワードとして認識されない文字列が行頭に存在した場合、その行の内容は無視されます。このため、キーワード部分にコメントを記述することができます。また、キーワードの行頭に適当な文字を挿入してキーワードを無効にする（コメントアウトする）こともできます。
- オプション機能の指定方法の例は以下のようになります。この場合、オプションとして
 - #PRS_ELM
 - #DUMP_FF 引数=100
 - #RELAX_V 引数=0.7
 - #RELAX_P 引数=0.3
 - #BC_FREEの 5 つを指定しています。

```
#OPTIONS  
#PRS_ELM  
#DUMP_FF 100  
#RELAX_V 0.7  
#RELAX_P 0.3  
#BC_FREE  
#OPTIONE
```

- 流れソルバー les3x で使用できるオプション機能に関するパラメータとその引数の一覧を表 5.5、5.6 にまとめます。

Table 5.5: List of the optional parameters and keywords in control parameter file (1)

| キーワード | 機能 |
|-----------------------|------------------------------|
| ジョブ制御 | |
| #MONITOR | 実行中パラメータ監視機能フラグ |
| #STOPNOW | 実行中ジョブの停止フラグ |
| #STOP_AT | ジョブの停止ステップ数設定 |
| #DUMP_FF | 流れ場ダンプ機能設定 |
| 動的アロケーション関連 | |
| #SZ_GRID | メッシュに関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| #SZ_CNCT | メッシュの構造に関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| #SZ_BOUN | メッシュ境界に関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| 境界条件関連 | |
| #BC_FREE | 逆流 0 セットフラグ |
| #INLTVEL | 流入速度指定 |
| 定常・RANS 解析機能制御 | |
| #DIAGVEL | SIMPLE(C) 法における緩和方法制御 |
| #RELAX_V | 速度場緩和パラメータ |
| #RELAX_P | 圧力場緩和パラメータ |
| #RELAX_K | 乱流エネルギー場緩和パラメータ |
| #RELAX_E | 乱流消散項場緩和パラメータ |
| #RELAX_T | 温度場緩和パラメータ |
| #INLT__K | 乱流エネルギー場初期値及び流入境界値 |
| #INLT_EP | 乱流消散項場初期値及び流入境界値 |
| #SETTURB | 乱流場初期化フラグ |
| マトリックスソルバー関連 | |
| #SOL_PRS | 圧力行列ソルバ選択 |
| #SOL_TMP | 温度マトリックスソルバー選択 |
| #IDR_NS | IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ S 値 |
| #IDR_NL | IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ L 値 |
| #EPSIL_K | 乱流エネルギー場収束判定値 |
| #EPSIL_E | 乱流消散項場収束判定値 |
| #EPSIL_T | 温度場収束判定値 |
| #EPSRE_V | 速度場収束判定値 (相対、定常計算のみ) |
| #EPSRE_P | 圧力場収束判定値 (相対、定常計算のみ) |
| #EPSRE_K | 乱流エネルギー場収束判定値 (相対、定常計算のみ) |
| #EPSRE_E | 乱流消散項場収束判定値 (相対、定常計算のみ) |
| #EPSRE_T | 温度場収束判定値 (相対、定常計算のみ) |
| #ITRT_IN | 輸送方程式ソルバ内部反復中のオーバーセット処理間隔 |
| #ITRP_IN | 圧力行列ソルバ内部反復中のオーバーセット処理間隔 |
| #ITR_RCM | RCM の内部反復回数 |

Table 5.6: List of the optional parameters and keywords in control parameter file (2)

| キーワード | 機能 |
|-------------------------|-------------------------------|
| Refiner 関連 | |
| #RCAP_RF | マルチ要素ソルバー les3x の内部リファイン機能の制御 |
| #RF_MESH | 内部リファイン後のメッシュデータ出力の制御 |
| #RF_FLOW | 内部リファイン計算の初期値リファイン制御 |
| #DBLGRID | 倍精度メッシュデータの入力フラグ |
| 物性値等の設定 | |
| #PRO_TBL | 物性値テーブル |
| #GRAVITY | 重力加速度 |
| 流体力オブジェクトおよび流量調節 | |
| #FFOBJCT | 流体力オブジェクトの昇圧・減圧特性の指定 |
| #FR_CONT | 流量調節機能 |
| #RELAX_Q | 流量変更時の緩和係数 |
| 連成解析、ALE 関連 | |
| #RCAP_CP | 流体・構造連成解析の制御 |
| #USE_ALE | ALE 解析機能の制御 |
| #ALELYNG | 移動境界近傍メッシュのヤング率の制御 |
| 混相流解析機能関連 | |
| #MLPHASE | 混相流解析機能の制御 |
| 入れ子回転系計算機能関連 | |
| #MULTI_R | 入れ子回転系計算機能の制御 |
| 京チューニング関連 | |
| #RO_SORT | 節点データリオーダの制御 |
| #RO_COLR | 要素データリオーダの制御 |
| #AXUNROL | フルアンロール処理の制御 |
| その他 | |
| #PRS_ELM | 圧力要素定義フラグ |
| #FS_PRES | 圧力勾配計算フラグ |
| #GRDFILT | グリッドフィルターの計算方法の制御 |
| #COE_BTD | BTD 項係数 |
| #GFWRITE | GF ファイル出力モードの指定 |
| #DIV_ESC | 速度発散上限値の指定 |
| #DSM_OLD | ダイナミックスマゴリンスキーモデルの制御 |
| #BLK_NUM | オーバーセット(中間節点)データ検索用ブロックパラメータ |
| #EPS_MID | 中間節点作成用パラメータの制御 |
| #FIXFLOW | 流れ計算のスキップ機能 |
| #WRTOVST | オーバーセットデータ出力機能の制御 |

以下、表 5.5、5.6 にまとめたキーワードについて、機能および具体的な使用方法について説明します。

ジョブ制御

- キーワード #MONITOR

このキーワードが有効な場合、並列・単体に関わらず、オプションの値を監視しながら計算を実行します。この場合、PARMLES3X を書き換えることで制御機能を有効・無効に変更することができます。通常は問題ありませんが、何らかの理由でディスクアクセスが遅いシステムの場合、並列計算効率を下げる場合があります。

以降に示すジョブ制御関連の機能をは、計算開始時にキーワード #MONITOR が指定されている場合に限り有効になります。

- キーワード #STOPNOW

このキーワードを有効にした場合、有効にした時点で計算中の時間ステップが終了した後、直ちに計算を正常終了させることができます。この際、最終流れ場の出力や平均場の出力などの終了処理も通常通り行われます。

- キーワード #STOP_AT [整数値]

このキーワードを有効にすると、指定した整数値の時間ステップで計算を正常終了させることができます。この際、最終流れ場の出力や平均場の出力などの終了処理も通常通り行われます。

- キーワード #DUMP_FF [整数値]

このキーワードを有効にすると、指定した整数値の倍数となる時間ステップ終了時に流れ場を出力します。出力先ファイル名は、最終流れ場の出力ファイル名と同一です。既にファイルが存在していた場合、出力の度に上書きされます。

メモリの自動アロケーション機能設定

マルチ要素ソルバー les3x では、以下のキーワードに続く引数により、メモリ領域の自動アロケーション設定が可能です。要素数最大値など、コンパイル時に指定されていたメモリ領域のアロケーション設定をソルバーの起動時に行います。

- キーワード #SZ_GRID [整数値 ME] [整数値 MP]:

メッシュに関するメモリ領域の自動アロケーション設定です。引数として ME、MP を取ります。

– ME:要素数最大値です。(デフォルト値 : ME=300,000)

– MP:節点数最大値です。(デフォルト値 : MP=1,000,000)

これらの値は、計算に用いるメッシュに応じて設定して下さい。ソルバ実行時のメモリ消費量は、これらの値に概ね比例します。メッシュの要素数や節点数よりも大きい値であれば計算可能ですが、大きすぎる値を指定した場合にはメモリ消費が大きくなり、極端な場合はメモリ不足でソルバが実行不能になる(環境によりますが、「killed」「Out of Memory: Killed」な

どと表示されます) 可能性があります。領域を分割して並列計算を行う場合は、一つの領域あたりの大きさに対して十分な値が設定されていれば計算可能です。

- キーワード #SZ_CNCT [整数値 MEP] [整数値 MPP]:
メッシュの構造に関するメモリ領域の自動アロケーション設定です。引数として MEP、MPP を取ります。
 - MEP: 節点まわりの隣接要素数最大値です。(デフォルト値: MEP=50)
 - MPP: 節点まわりの隣接節点数最大値です。(デフォルト値: MPP=30)
- キーワード #SZ_BOUN [整数値 MB] [整数値 MBPDOM] [整数値 MDOM]:
引数として MB、MBPDOM、MDOM を取ります。MB および MBPDOM を指定しなかった場合のデフォルト値は、MP から自動的に設定されます。
 - MB: 境界節点数最大値です。通信境界を除く全ての境界に適用されます。(デフォルト値: MB=MP/5)
 - MBPDOM: 通信境界節点数最大値です。(デフォルト値: MBPDOM=MP/5)
 - MDOM: 隣接領域数最大値です。(デフォルト値: MDOM=32)

境界条件関連

- キーワード #BC_FREE
このキーワードを指定した場合、出口境界で逆流が発生した際に出口境界に垂直な速度成分を 0 セットする機能が働きます。
- キーワード #INLTVEL [実数値、実数値、実数値]
引数として速度 3 成分をとり、これにより、流入速度を指定することができます。本キーワードに指定は、境界条件ファイルで指定される流入速度よりも優先されます。

定常 RANS 解析の制御

- キーワード #DIAGVEL [1 または 2]
このキーワードを指定した場合、引数として与えた整数値に従って、SIMPLE(C) 法での運動方程式の緩和の際に対角項を以下の値で置き換えます。
 - #DIAGVEL 1: 各行の対角項について、行に含まれる全ての項の絶対値の和
 - #DIAGVEL 2: 各行の対角項について、行に含まれる全ての項の絶対値の最大値

DIAGVEL=1 の場合、常に対角優位な行列に緩和することが保証され、計算が安定化します。DIAGVEL=2 の場合は緩和後の対角優位性を保証しておらず、計算が不安定になりますが、一般には収束までに必要なステップ数が短縮されます。このキーワードを指定しなかった場合のデフォルト値は 1 となります。

- キーワード #RELAX_V [実数値]
キーワード #RELAX_P [実数値]
キーワード #RELAX_K [実数値]
キーワード #RELAX_E [実数値]
キーワード #RELAX_T [実数値]

これらのキーワードにより、それぞれ速度 U, V, W 、圧力 P 、乱流場 k 、乱流場 ε 、温度場 T についての緩和係数を指定できます。緩和係数 α は $1 \geq \alpha > 0$ の実数値を受け付けます。指定しなかった場合、デフォルト値として 1 (緩和係数による緩和を行わない) が与えられます。緩和係数が 0 に近いほど強い緩和を適用します。速度及び各乱流場については、行列を対角優位に緩和した後、さらに対角項を緩和係数で除算することで緩和を適用します。圧力場については、圧力の更新値を前ステップの値に加算する際、更新値に緩和係数を積算して緩和を適用します。

- キーワード #INLT_K [実数値]
キーワード #INLT_EP [実数値]

乱流場 k 及び乱流場 ε の流入境界値を指定します。加えて、後述する通り、キーワード #SETTURB が設定されている場合、乱流場は計算開始時に全領域でこのキーワードにより指定した値に設定されます。

キーワードを省略した場合のデフォルト値は、流入速度 U_0 に対し、乱れ度 β を用いて、

$$k = \frac{3}{2}(\beta U_0)^2, \quad (5.2)$$

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k^{\frac{3}{2}}}{L} \quad (5.3)$$

によって見積もります。ここで、 C_μ は乱流モデル定数であり、標準的には 0.09 を用います。

#INLT_K を省略した場合、 U_0 の代わりに代表速度を用い、乱れ度 $\beta = 3\%$ を仮定して求めた k を与えます。

#INLT_EP を省略した場合、 k の値（オプションによる入力またはデフォルト値）に対して上の式から求めた ε を使用します。

- キーワード #SETTURB

このキーワードを指定した場合、乱流場の初期設定を行います。層流計算で取得した流れ場を初期値として RANS 解析を行う場合などに利用します。逆に、乱流場を含む初期流れ場を取得して計算を行う場合は、このオプションを無効にしてください。

マトリックスソルバー関連

- キーワード #SOL_PRS [1,2,3]

このキーワードの引数により、連続の式（Poisson 方程式）を解くためのマトリックスソルバーを選択できます。キーワードを指定しなかった場合、デフォルトのソルバとして残差切除法を使用します。引数と選択するソルバーの対応は以下の通りです。

- #SOL_PRS 1: Bi-CGSTAB 法
- #SOL_PRS 2: 残差切除法（デフォルトの設定）
- #SOL_PRS 3: IDR マトリックスソルバー

本キーワードは圧力要素モードの場合のみ有効です。圧力節点モードの際は、連続の式は常に Bi-CGSTAB 法が適用されます。

- キーワード#SOL_TMP [1,3]

このキーワードの引数により、熱輸送方程式を解くためのマトリックスソルバーを選択できます。キーワードを指定しなかった場合、デフォルトのソルバとして Bi-CGSTAB 法を使用します。引数と選択するソルバの対応は以下の通りです。

- #SOL_TMP 1: Bi-CGSTAB 法
- #SOL_TMP 2: 使用不可
- #SOL_TMP 3: IDR 法

- キーワード#IDR_NS [1 以上 20 以下の整数值]

IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ S 値を指定します。このキーワードはマトリックスソルバーに IDR 法を指定している場合のみ有効となります。キーワードを指定しなかった場合のデフォルト値は 5 です。

- キーワード#IDR_NL [1 以上 10 以下の整数值]

IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ L 値を指定します。このキーワードはマトリックスソルバーに IDR 法を指定している場合のみ有効となります。キーワードを指定しなかった場合のデフォルト値は 2 です。

- キーワード#EPSIL_K [実数値]

キーワード#EPSIL_E [実数値]

キーワード#EPSIL_T [実数値]

このキーワードを指定した場合、乱流場 k 、乱流場 ε 、温度場 T の移流拡散方程式について、行列ソルバの収束判定値を指定します。指定しなかった物理量については、同じく移流拡散方程式である速度の行列ソルバの収束判定値 EPST を使用します。

- キーワード#EPSRE_V [実数値]

キーワード#EPSRE_P [実数値]

キーワード#EPSRE_K [実数値]

キーワード#EPSRE_E [実数値]

キーワード#EPSRE_T [実数値]

このキーワードを指定した場合、定常計算の場合について、速度 U, V, W 、圧力 P 、乱流場 k 、乱流場 ε 、温度場 T の行列ソルバの相対収束判定値を指定します。相対収束判定値が指定されている場合、行列ソルバは残差が初期の残差に対して相対収束判定値以下の比率に減少した時点で収束計算を終了します。定常計算の場合、相対収束判定値を大きめに取ると、各ステップにおいて緩く収束させながら定常解へと解き進めることによって総計算コストを小さくできる場合があります。非定常計算の場合、各時間ステップ

で十分な収束計算を行う必要がありますので、相対収束判定値は絶対収束判定値と同じ値となります。定常計算においても、これらオプションを省略した場合、省略した物理量については、相対収束判定値を絶対収束判定値と同じ値とします。

- キーワード#ITRT_IN [整数値]

流れソルバー les3x によるオーバーセット計算では、行列ソルバを用いて速度 3 成分に対する運動方程式を解く際、オーバーセット境界の値を更新するオーバーセット処理を一定回数の内部反復ごとに実行します。このキーワードにより、オーバーセット処理を行うまでの内部反復数を変更することができます。キーワードを指定しなかった場合の内部反復数のデフォルト値は 100 回です。

- キーワード#ITRP_IN [整数値]

流れソルバー les3x によるオーバーセット計算では、行列ソルバを用いて連続の式 (Poisson 方程式) を解く際、オーバーセット境界の値を更新するオーバーセット処理を一定回数の内部反復ごとに実行します。このキーワードにより、オーバーセット処理を行うまでの内部反復数を変更することができます。キーワードを指定しなかった場合の内部反復数のデフォルト値は 100 回です。

- キーワード#ITR_RCM [整数値]

RCM の内部反復回数を変更することができます。デフォルト値は 10 です。

内部リファイン機能制御

- キーワード#RCAP_RF [NRFN、NGRID] このキーワードを指定した場合、局所リファイン機能が使用できます。局所リファインはリファイン回数 NRFN と壁面境界からのレイヤー数 NGRID を指定して行います。それぞれの引数は以下の通りです。

- NRFN [1 以上の整数値]: リファイン回数

- NGRID [0 以上の整数値]: レイヤー数

(注意) 全体リファイン機能を使用する場合は、NGRID=-1 として下さい。

- キーワード#RF_MESH

このキーワードは、内部リファイン機能を使用する場合のみ有効です。このオプションが記述されていた場合、リファイン後のメッシュ及び境界データを出力します（デフォルトでは、リファイン後のメッシュは内部的にのみ使用され、解析終了後に破棄されます）。出力先は入力したメッシュ及び境界データと同じディレクトリです。ファイル名は元のファイル名に「.R」を追加したもの（並列計算時は、後に領域番号を示す「.Pxxxx」が付加されます）となります。

- キーワード#RF_FLOW

このキーワードは、内部リファイン機能を使用し、かつ初期流れ場を読み込む (ISTART=1) 場合のみ有効です。このオプションが記述されていた

場合、初期値として入力した流れ場データをリファインしたメッシュの節点上に内挿し、初期値として使用します。デフォルトでは、リファイン計算においては初期値の読み込みを行いません。

- キーワード#DBLGRID
倍精度のメッシュデータを読み込む場合、このキーワードを指定します。リファインされたメッシュデータは倍精度になりますのでこのキーワードを指定してください。

物性値等の設定

- キーワード#PRO_TBL [整数値:N]+その後 4 行の物性値指定
このキーワードにより部材番号 N の物性値（密度、比熱、粘性係数、熱伝導係数およびその温度係数）を指定することができます。物性値の具体的な指定方法は 16.4.3 節を参照ください。
- キーワード#GRAVITY [実数値、実数値、実数値]
重力加速度（3 成分）を指定します。重力加速度はデフォルトで 0 がセットされています。浮力項を考慮した自由対流計算を行う場合はこのキーワードを用いて重力加速度を指定してください。

流体力オブジェクトおよび流量調節

- キーワード#FFOBJCT [整数値:N]+その後 N 行の昇圧・減圧特性の指定
流体力オブジェクトの数を引数として指定します。その後、流体力オブジェクトの数だけ昇圧・減圧特性を指定します。具体的な指定方法は 15.3.2 節を参照してください。
- キーワード#FR_CONT [整数値]
このキーワードを指定した場合、流量調節機能が有効になります。引数として流量調節インターバルを指定できます。流量調節機能に関しては 15.3.2 節を参照してください。
- キーワード#ALPHA_Q [実数値]
流量調節機能に関する緩和係数を指定できます。流量調節機能に関しては 15.3.2 節を参照してください。

ALE 関連

- キーワード#RCAP_CP
REVOCAP_Coupler の使用キーワードです。REVOCAP_Coupler を介して流体・構造連成解析を行う場合はこのキーワードを指定します。
- キーワード#USE_ALE [IALE、NMAXA、EPSA、STPWR、NMODE、AOBJ、TOBJ]
このキーワードを指定した場合、ALE 解析機能が使用できます。ALE では移動境界を有する流れ場の解析を行うことができます。指定する引数は以下の通りです。

- IALE[整数値]: 境界移動速度指定モード
 - * 1: 流体・構造連成モード REVOCAP_Coupler から受信
 - * 2: 強制振動・伸縮モード NMODE、AOBJ、TOBJ のパラメータで指定
- NMAXA[整数値]: マトリックスソルバー最大反復回数
- EPSA[実数値]: 収束判定値
- STPWR[実数値]: Jacobian-based smoothing の次数
- NMODE[整数値]: 振動・伸縮モード（流体・構造連成モードの場合はダミー）
- AOBJ[実数値]: 振幅（流体・構造連成モードの場合はダミー）
- TOBJ[実数値]: 周期（流体・構造連成モードの場合はダミー）

ALE 解析機能を使用する場合、まず移動境界を BODY 境界として指定します。さらに、指定した移動境界に対する移動速度の与え方を上記パラメータ IALE で指定します。流体・構造連成解析で ALE 解析機能を使用する場合、IALE=1 とすれば構造解析からの結果を移動速度として REVOCAP_Coupler から受け取ります。この場合、キーワード #RCAP_CP を別途指定しておく必要があります。流体のみの解析で ALE 解析機能を使用する場合は IALE=2 とし、上記パラメータ NMODE、AOBJ、TOBJ を指定することにより移動速度を与えることができます。本機能では、メッシュのヤング率を要素体積に応じて与えており、上記パラメータ STPWR によりメッシュの制御を行います。このとき、各要素のヤング率は以下の式で与えられます。

$$E_i = E_0 \left(\frac{V_{ave}}{V_i} \right)^{STPWR}$$

ここで、 V_i は各要素の体積、 V_{ave} は要素体積の平均値、 E_0 はヤング率の基準値です。

- キーワード #ALELYNG [NLYNG、EYNG]

このキーワードを指定した場合、移動境界近傍メッシュに対して任意のヤング率を指定することができます。指定する引数は以下の通りです。

 - NLYNG[整数値]: 移動境界からのレイヤー数
 - EYNG [実数値]: ヤング率

混相流関連

- キーワード #MLPHASE [IVOF、NSCYC、RHOF2、VISCM2、NMAXVF、EPSVF]

このキーワードを指定した場合、VOF 法に基づく混相流解析機能が使用できます。指定する引数は以下の通りです。

 - IVOF[整数値] : 混相流解析モード IVOF=1 の場合、単相流解析モードとなる。本バージョンでは IVOF=1 のみに対応しています。

- NSCYC[整数値] : サブタイムステップ数
- RHOF2[実数値] : 気相密度
- VISCM2[実数値] : 気相動粘性係数
- NMAXVF[整数値] : マトリックスソルバー最大反復回数 (デフォルト 10)
- EPSVF[実数値] : 収束判定値 (デフォルト 1.0E-12)

入れ子回転系関連

- キーワード #MULTI_R [ID E1 E2 E3 R01 R02 R03]

入れ子回転系機能では、回転系の中で回転する形を扱うことができます。ここでは、静止系に対して回転する系を公転系、公転系において回転する系を自転系と称します。入れ子回転系機能を使用する場合、扱う系の分だけこのキーワードを用いてパラメータを設定します。指定する引数は以下の通りです。

- ID : 系の番号
- E1, E2, E3 : 公転系における自転系の回転軸方向。本バージョンでは、E3=0 である制約があります。公転系の回転軸は Z 軸を向いていますので、公転軸と自転軸は直行します。
- R01,R02,R03 : 公転系における自転軸の原点。本バージョンでは、現状では R01=0, R02=0, R03=0 のみサポートします。すなわち、公転軸と自転軸の原点は一致している必要があります。

京チューニング関連

- キーワード #RO_SORT [JSORT、NDIVX、NDIVY、NDIVZ]

このキーワードを指定した場合、節点のリオーダを行います。スーパーコンピュータ「京」で使用する場合はこのキーワードを指定します。指定する引数は以下の通りです。

- JSORT[整数値]: 節点リオーダの ON・OFF オプション (0:OFF、1:ON)
- NDIVX[整数値]: 節点リオーダ時の X 方向領域分割数 (推奨値 10)
- NDIVY[整数値]: 節点リオーダ時の Y 方向領域分割数 (推奨値 10)
- NDIVZ[整数値]: 節点リオーダ時の Z 方向領域分割数 (推奨値 10)

- キーワード #RO_COLR [NEIP(1)、NEIP(2)、NEIP(3)、NEIP(4)]

このキーワードを指定した場合、要素のリオーダを行います。スーパーコンピュータ「京」で使用する場合はこのキーワードを指定します。要素のリオーダは要素種類、領域分割およびカラーリングにより行われます。指定する引数は以下の通りです。

- JCOLOR[整数値] : 要素リオーダの ON・OFF オプション (0:OFF、1:ON)
- NEIP(1) [整数値] : 四面体要素リオーダ時の 1 領域内の要素数 (推奨値 2,000)
- NEIP(2) [整数値] : 四角錐要素リオーダ時の 1 領域内の要素数 (推奨値 2,000)
- NEIP(3) [整数値] : 三角柱要素リオーダ時の 1 領域内の要素数 (推奨値 2,000)
- NEIP(4) [整数値] : 六面体要素リオーダ時の 1 領域内の要素数 (推奨値 2,000)

- キーワード #AXUNROL

スーパー・コンピュータ「京」使用時にこのキーワードを指定した場合、AX 处理ループをフルアンロールします。これにより運動方程式および連続の式 (Poisson 方程式) を解くためのマトリックスソルバーの処理が高速化されます。「京」で使用する場合はこのキーワードを指定します。

その他

- キーワード #PRS_ELM

このキーワードを指定した場合、圧力を要素定義として計算します。特に定常計算の場合、節点定義した場合は振動モードが問題になる場合があります。但し、四面体要素では精度に問題が生じことがあります。四面体要素を含まない計算では圧力の要素定義を推奨します。圧力の定義位置に関しては 4.1.2 節の説明を参照ください。

- キーワード #FS_PRES

このキーワードを指定した場合、フラクショナルステップ法において予測速度の計算時に圧力勾配を追加します。

- キーワード #GRDFILT [1,2,3]

このキーワードを指定した場合、SGS モデルにおけるグリッドフィルター幅の計算方法を選択します。SGS モデルにより計算される渦粘性係数はグリッドフィルター幅の 2 乗に比例するため、特に標準スマゴリンスキーを使用した場合に、計算結果に影響を及ぼします。本システムでは、渦粘性係数の過大評価を避けるため、要素の辺の長さの最小値による計算 (引数 1) をデフォルトの設定としています。このキーワードを指定しなかった場合、グリッドフィルターとして要素の辺の長さの最小値が使用されます。引数は 1~3 のいずれかの値を設定し、グリッドフィルターとしては以下の値が使用されます。

- #GRDFILT 1: 要素の辺の長さの最小値 (デフォルトの設定)
- #GRDFILT 2: 要素の辺の長さの二乗の逆数の平均値
- #GRDFILT 3: 要素体積の三乗根

- キーワード#COE_BTD [COE1, COE2, COE3, COE4]

このキーワードにより、運動方程式において、BTD 項に基づく安定化項の係数を指定します。係数は要素タイプごとに指定することができ、0.0 から 1.0 の実数を取ります。BTD 項に基づく安定化項の追加は運動方程式に粘性を導入することに相当し、係数が小さいほど精度が向上しますが、計算が不安定になる傾向があります。それぞれの引数と要素タイプの関係は以下の通りです。

- COE1[実数値]: 四面体要素（デフォルトは 0.1）
- COE2[実数値]: 三角柱要素（デフォルトは 0.0）
- COE3[実数値]: ピラミッド要素（デフォルトは 0.0）
- COE4[実数値]: 六面体要素（デフォルトは 0.0）

- キーワード#GFWRITER [整数値]

GF ファイルの出力モードを指定します。引数と選択する出力モードの対応は以下の通りです。

- #GFWRITER 1: AICII モード
- #GFWRITER 2: UNFORMATED モード
- #GFWRITER 3: BINARY モード

- キーワード#DIV_ESC [実数値]

このキーワードにより最大許容発散値を変更することができます。流れ場の発散の最大値がこの値を超えると計算が終了します。デフォルト値は 1.0E+4 です。

- キーワード#DSM_OLD

LES のダイナミックスマゴリンスキーモデルにおけるフィルター処理はデフォルトでは陰的に計算されていますが、このキーワードを指定した場合、陽的に計算されます。ただし、六面体でのみ使用可能です。これまでのテスト計算において、六面体を用いた大規模解析では、陽的にフィルター処理するほうが計算が安定であることが確認されています。六面体で計算する場合は、このオプションを使用することを推奨します。

- キーワード#BLK_NUM [NBLKX, NBLKY, NBLKZ]

このキーワードによりオーバーセット節点および中間節点作成時に使用する背景格子の領域分割数を変更することができます。指定する引数は以下の通りです。デフォルトは各方向 50 ですが、これを 300 程度まで大きくすることにより、オーバーセットデータや中間節点の作成時間を短縮することができます。

- NBLKX[整数値] : X 方向領域分割数
- NBLKY[整数値] : Y 方向領域分割数
- NBLKZ[整数値] : Z 方向領域分割数

- キーワード #EPS_MID [実数値]
このキーワードにより中間節点作成時に使用するしきい値を変更することができます。デフォルト値は 2.0E-1 です。
- キーワード #FIXFLOW
このキーワードを指定した場合流れ計算をスキップします。同じ流れ場を用いて温度場の計算を行う場合、流れバーの計算を省略してオーバーセットデータのみ作成する場合に有用です。
- キーワード #WRTOVST
このキーワードを指定した場合、ソルバーが実行時に作成したオーバーセットデータをファイル出力します。

流れソルバー les3x で用いる解析条件ファイル中での、オプション機能の設定例を図 5.3 に示します。

設定ファイルの前半は基本部分であり、後半 5 行がオプション部分です。以下、オプション部分の 5 行に注目について説明します。

1 行目の "#OPTIONS" はオプション部分の開始を意味します。

2 行目の "#COE_BTD" は、計算を安定化させるための安定化項にかかる係数を指定するためのキーワードです。

係数はキーワードのあとに指定します。デフォルト値（推奨値）は 0.1 ですが、これを大きく（最大 1.0）することにより計算が安定化します。

3 行目の "#GRDFILT" はグリッドフィルターの種類を指定します。

キーワードに続く引数 IFILTR が 3 であるので、要素の体積の三乗根をフィルター幅に設定します。

4 行目のキーワード "#RCAP_RF" は、Refiner を使用するためのキーワードです。キーワードの後に Refine する回数および refine 層数（壁面から何層目まで refine するか）を指定します。

最終行の "#OPTIONE" はオプション部分の終了を意味します。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE DREFF UREFF TREFF TOUT
    1.0    1.0    1.0   300.0
#GIVE IHEAT ICAV ISOLID IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOF RHOS
    1.OE-3 0.0    1.2   10.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.OE-3 1.OE-1 1.0   10.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0     500    0.05   10     1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    20    200   1.OE-4 1.OE-4 1.OE-3
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0    0.00   0.00   0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    3
        1      -4.5      0.0     -6.5
        4      -4.5      0.0     -6.5
        3      0.5      0.5      0.0
#GIVE MESH FILE NAME
../../DATA/data.01/MESH
#GIVE B.C. FILE NAME
../../DATA/data.01/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
../../DATA/data.01/ATTR
#GIVE MID-NODE FILE NAME
../../DATA/data.01/MID
#GIVE OVERSET FILE NAME
../../DATA/data.01/OVER
#GIVE AVERAGE FILE NAME
AVE
#GIVE RMS FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#CDE_BTD 1.0 0.0 0.0 0.0
#GRDFILT 3
#RCAP_RF 2 2
#OPTIONE

```

Figure 5.3: A sample control parameter file with optional parameters for flow solver “les3x”

5.1.3 音響ソルバー (caa3d) の解析条件ファイル

音響ソルバー'caa3d' の解析条件ファイルは図 5.4 に示すように、単純なアスキーフォーマットになっております。各パラメータの配置は、表 5.7,5.8 を参照してください。

バージョン 2.2 (FFB-A.ver.2.2) より、機能拡充のためパラメータファイルの仕様は、その前の前バージョン (FFB-A ver.2.1) と異なっております。本節では、FFB-A ver.2.2 以降に関する説明をします。

本節における変更点は以下の通りです。

- 本バージョンよりマルチ要素（六面体、四面体、三角柱、四角錐）に対応します。これにより解析条件ファイルのフォーマットが変更になることはありません。
- 本バージョンより、中間節点を含むメッシュに対応します。中間節点を含むファイルを扱う場合は、JSET に 2 を指定し、別途中間節点ファイルを指定する必要があります。中間節点ファイルは周辺プログラム mkmid により作成します。
- 本バージョンより 2 重極（ダイポール）音源に対応します。2 重極音源は解析条件ファイル中に複数指定することができます。

```
#GIVE COMGEN
#STENCIL PARAMETER FILE FOR CAA3D
#GIVE USCALE LSCALE FREQ AO RHOO
    1.0      1.0    31.5   343.7  1.205
#GIVE EPSP NMAXP ISOLP NRCM IPRE JSET
    1.0E-6  10000     2     1000     0     2
#GIVE NMONO / XMONO YMONO ZMONO QRMONO QIMONO
    0
#GIVE NDIPO / XDIPO YDIPO ZDIPO FXRDIPO FYRDIPO FZRDIPO FXIDIPO FYIDIPO FZIDIPO
    1
        0.0    0.0    0.0    1.0    0.0    0.0    0.0    0.0    0.0
#GIVE MESH DATA FILE
mesh
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
boua
#GIVE SOUND SOURCE FILE IN FREQUENCY DOMAIN
dummy
#GIVE SOUND FIELD FILE
sound
#GIVE MID-NODE FILE
mid
#END OF BASIC INPUT DATA
```

Figure 5.4: sample of parameter file (PARMCAA3D)

以下に、各パラメータの内容を説明します。

- USCALE: 代表速度 [m/s]
- LSCALE: 代表長さ [m]
- FREQ: 周波数 [Hz]
- A0: 音速 [m/s]
- RHO0: 空気密度 [kg/m^3]
- RESP: マトリックスソルバー収束判定値
- NMAXP: マトリックスソルバー反復回数
- ISOLP: マトリックスソルバーフラグ

| ISOLP | マトリックスソルバー |
|-------|--------------------------|
| 1 | BCGSTAB 法 |
| 2 | BCGSTAB 法を内部ソルバーとする残差切除法 |

- NRCM: 残差切除法の内部反復回数
内部反復回数は総反復回数 (NMAXP) の $1/10 \sim 1/5$ 程度を推奨します。すなわち、総反復回数が 5000 の場合は、内部反復回数は 500 ~ 1000 程度が適当です。

- IPRE: 前処理フラグ

| IPRE | 前処理 |
|------|-----|
| 0 | OFF |
| 1 | ON |

メッシュの品質が悪い、並列領域数が多い等の場合、前処理が効果的に働かない場合があります。この場合、前処理機能をオフにしてください。

- JSET : オーバーセット・中間節点制御フラグ

| JSET | オーバーセット・中間節点制御フラグ |
|------|-------------------|
| 1 | オーバーセット計算 |
| 2 | 中間節点計算 |

- NMONO: モノポール音源数
- XMONO,YMONO,ZMONO : モノポール座標
- QRMONO, QIMONO : モノポール強さ 実部・虚部
- NDIPO: ダイポール音源数
- XDIPO,YDIPO,ZDIPO: ダイポール座標
- FXRDIPO,FYRDIPO,FZRDIPO,FXIDIPO,FYIDIPO,FZIDIPO: ダイポール強さ 実部・虚部

Table 5.7: パラメータファイル (PARMCAA3D) のデータフォーマット

| | | | | | | | |
|---------|--|-------|--------|--------|--------|--|------------------------------|
| comment | | | | | | | |
| COMGEN | | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| USCALE | LSCALE | RFREQ | A0 | RHO0 | IDUMMY | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| RESP | NMAXP | ISOLP | NRCM | IPRE | JSET | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| NMONO | | | | | | | DEFAULT |
| XMONO | YMONO | ZMONO | QRMONO | QIMONO | | | IF(NMONO.GE.0) |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| NDIPO | | | | | | | DEFAULT |
| XDIPO | YDIPO | ZDIPO | (etc) | | | | IF(NDIPO.GE.0) |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| FILEMS | (FILE NAME TO READ MESH DATA) | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| FILEBC | (FILE NAME TO READ BOUNDARY CONDITIOND) | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| FILEAS | (FILE NAME TO READ REAL SOURCE FILE) | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| FILEPS | (FILE NAME TO WRITE SOUND PRESSURE FILE) | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | | DEFAULT |
| FILEOS | (FILE NAME TO READ OVERSET FILE) | | | | | | IF(JSET.EQ.1 .OR. JSET.EQ.2) |

Table 5.8: パラメータファイル (PARMCAA3D) の内容説明

| 名前 | 内容 | 想定値 |
|---------|---------------------|----------------------------------|
| REFU | 代表周波数 | |
| REFL | 代表長さ | |
| FREQ | 周波数 | |
| A0 | 音速 | |
| RHO | 密度 | |
| RESP | マトリックスソルバー収束判定値 | $1.0^{-8} \sim 1.0^{-6}$ |
| NMAXP | マトリックスソルバー反復回数 | 1000 ~ 5000 |
| ISOLP | マトリックスソルバー制御フラグ | 1,2 |
| NRCM | 残差切除法内部反復回数 | NMAXP の 1/10 程度 |
| IPRE | マトリックスソルバー前処理フラグ | 0,1 |
| JSET | オーバーセット機能制御フラグ | 0,1,2 |
| NMONO | モノポール音源数 | |
| XMONO | モノポール音源 X 座標 | |
| YMONO | モノポール音源 Y 座標 | |
| ZMONO | モノポール音源 Z 座標 | |
| FRMONO | モノポール音源強さ (実部) | |
| FIMONO | モノポール音源強さ (虚部) | |
| NDIPO | ダイポール音源数 | |
| XDIPO | ダイポール音源 X 座標 | |
| YDIPO | ダイポール音源 Y 座標 | |
| ZDIPO | ダイポール音源 Z 座標 | |
| FXRDIPO | ダイポール音源強さ (実部:X 方向) | |
| FYRDIPO | ダイポール音源強さ (実部:Y 方向) | |
| FZRDIPO | ダイポール音源強さ (実部:Z 方向) | |
| FXIDIPO | ダイポール音源強さ (虚部:X 方向) | |
| FYIDIPO | ダイポール音源強さ (虚部:Y 方向) | |
| FZIDIPO | ダイポール音源強さ (虚部:Z 方向) | |
| FILEMS | GF メッシュファイル名 | デフォルト (IN) |
| FILEBC | GF 境界条件ファイル名 | デフォルト (IN) |
| FILESI | GF 音源ファイル名 | デフォルト (IN) |
| FILEPS | GF 履歴ファイル名 | デフォルト (OUT) |
| FILEOS | GF オーバーセットファイル名 | $JSET = 1 \text{ or } 2$ の場合のみ設定 |

注意

- モノポール音源情報 (XMONO,YMONO,ZMONO,FRMONO,FIMONO) は一行にまとめ、これを NMONO 行指定します。
- ダイポール音源情報 (XDIPO,YDIPO,ZDIPO,FRXDIPO,FRYDIPO,FRZDIPO,FXIDIPO,FIYIDIPO,FZIDIPO) は一行にまとめ、これを NDIPO 行指定します。

5.1.4 音響ソルバー (caa3d) のオプション設定

音響ソルバー caa3d の解析条件ファイルは前節で説明した基本設定の他にオプション設定機能があります。本節では、解析条件ファイルにおけるオプション設定機能を説明します。解析条件ファイルは 2 つの部分で構成されます。前半部分は前節で説明した説明した基本部分です。後半部分はオプション部分です。オプション機能を使用する場合には、基本部分に続けてオプション機能を使用するためのパラメータの指定します。

オプション機能の使用方法を以下にまとめます。

- 解析条件ファイルの中で、オプション部分は必ずキーワード“ #OPTIONS ”で始まり、キーワード“ #OPTIONE ”で終わらなければなりません。
- “ #OPTIONS ”と“ #OPTIONE ”の間にユーザーはオプション機能を指定するキーワードを加えます。1 行ごとにオプション機能の指定キーワード 1 つを記述します。
- すべてのキーワードは必ず行の先頭から始まり、先頭の文字が“ # ”である 8 文字の文字列です。指定するキーワードの種類によっては、キーワードに続けて引数を同じ行に記述する必要があります。引数の指定が必要なキーワードの場合、キーワードと引数を合わせた文字数は 1 行で 60 文字以内にします。
- オプション機能指定行はキーワード“ #OPTIONS ”とキーワード“ #OPTIONE ”の間に任意の数、指定できます。指定順序に制限はありませんが、同一のキーワードが指定された場合は、後から（ファイル後方部で）指定された内容が有効になるので注意してください。

音響ソルバー caa3d で使用できるオプション機能に関するパラメータとその引数を以下に示します。

- キーワード#APS_OUT

このキーワードを指定した場合、音圧パワーおよび粒子速度を出力することができます。

- キーワード#SOL_RCM

このキーワードの引数により、残差切除法の内部ソルバを選択できます。キーワードを指定しなかった場合、デフォルトのソルバとして Bi-CGSTAB 法を使用します。このキーワードはマトリックスソルバーに残差切除法を指定している場合のみ有効となります。引数と選択するソルバの対応は以下の通りです。

- #SOL_RCM 1: Bi-CGSTAB 法

- #SOL_RCM 2: IDR 法

- キーワード#IDR_NS [1 以上 10 以下の整数値]

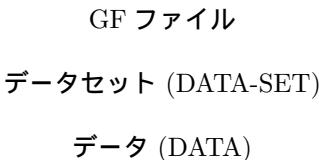
IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ S 値を指定します。このキーワードは残差切除法の内部ソルバに IDR 法を指定している場合のみ有効となります。キーワードを指定しなかった場合のデフォルト値は 5 です。

- キーワード#IDR_NL [1 以上 10 以下の整数値]

IDR マトリックスソルバーの制御パラメータ L 値を指定します。このキーワードは残差切除法の内部ソルバに IDR 法を指定している場合のみ有効となります。キーワードを指定しなかった場合のデフォルト値は 1 です。

5.2 GF フォーマットファイル

GF フォーマットのデータフォーマットは図 5.5 に示すように、



というデータ構造になっています。つまりひとつのファイルの中にひとつ以上のデータセットが存在し、それぞれのデータセットの中にひとつ以上のデータが存在します。

全ての GF ファイルは、ファイルデータ開始ヘッダで始まり、ファイル終了ヘッダ#ENDFILE で終了します。開始ヘッダとしては#A_GF_V1 もしくは#U_GF_V1 のいずれかが指定され、これらはファイルタイプ(アスキーもしくは Fortran の Unformatted)を示します。

開始ヘッダとファイル終了ヘッダの間にはひとつ以上のデータセットが存在します。データセットは必ず#NEW_SET で始まります。必要であればその後にコメントを書くことができます。データセットの終わりを示すヘッダはありませんが、次の#NEW_SET もしくは#ENDFILE があるところまでがデータセットの区切りです。

データセットの中にはひとつ以上のデータが存在します。データ (DATA) のフォーマットは以下の通りです。

- 配列タイプヘッダ
#FLT_ARY もしくは #INT_ARY のいずれかが指定されます。これらは配列のデータ種類を表し、それぞれ単精度実数、整数を示します。
- key word
データの内容を示すキーワード
- comment
データの名前
- element number of array
num2,num :: 配列のサイズ
- 2D-ARRY(num2,num)
2 次元データ

本システムにおいて主に使用されるファイルを以下に示します。

- メッシュデータファイル
- 境界条件データファイル（流れ解析用）
- 境界条件データファイル（音響解析用）
- 流れ場データファイル
- 音源データファイル
- 音場データファイル
- オーバーセットデータファイル
- 座標系データファイル
- ファイル分割データファイル
- 履歴データファイル

GF ファイルフォーマットの概要を図 5.5 に示す。これよりそれぞれの GF ファイルの詳細について説明します。本バージョン (ver.6.1) より、音響解析機能をサポートするのに伴い、(音響解析用) 境界データ、音源データ、音場データが新たに定義されました。新たに定義されたデータに関しては、5.2.3、5.2.5、5.2.6 を参照ください。

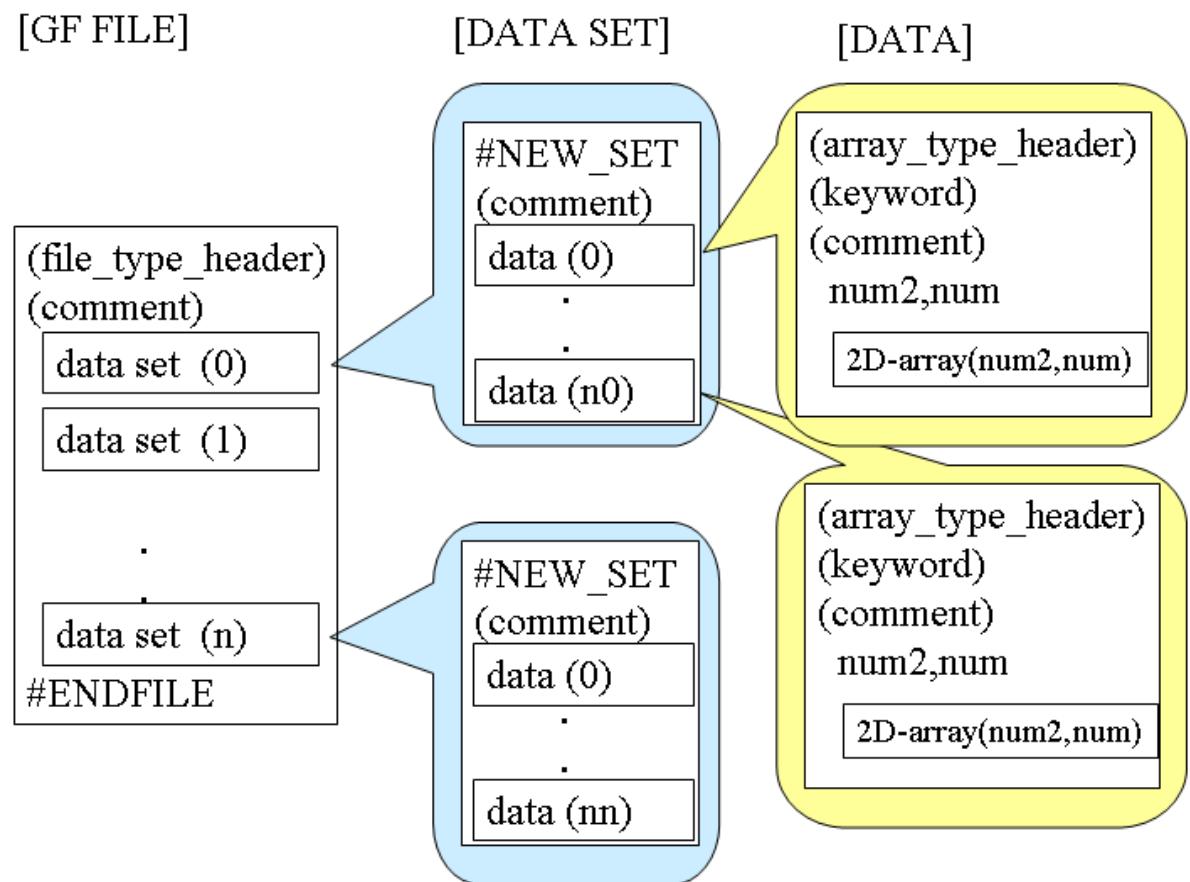


Figure 5.5: GF data format

5.2.1 メッシュデータファイル

'FFB' は 8 節点をもつ六面体有限要素もしくは 4 節点をもつ四面体有限要素を想定しています。GF メッシュデータファイルはノードの座標及び要素の接続情報をもちます。データフォーマットは以下の表 5.9 に示すとおりです。

Table 5.9: mesh data format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|-------------------------------|
| #FLT_ARY | *GRID_2D | 2 | NP | 節点 X 座標 節点 Y 座標 |
| #FLT_ARY | *GRID_3D | 3 | NP | 節点 X 座標 節点 Y 座標 節点 Z 座標 |
| #INT_ARY | *NODE_2D | 4 | NE | 要素接続データ (2D) |
| #INT_ARY | *NODE_3D | 8 | NE | 要素接続データ (3D) |
| #INT_ARY | *ELM_TYP | 1 | NE | 要素タイプデータ (未使用) |

ここで NP , NE はそれぞれ節点数及び要素数です。

GF メッシュデータファイルは二次元及び三次元のメッシュデータを想定しています。つまり*GRID_2D 及び*NODE_2D は二次元、*GRID_3D 及び*NODE_3D は三次元のデータに対応しています。ただし、流体解析プログラム'les3d' は三次元流れに対応しているので通常使用するデータは三次元データ (*GRID_3D 及び*NODE_3D) です。また現バージョンでは要素タイプデータ (*ELM_TYP) は未使用です。

5.2.2 境界条件データファイル（流れ解析用）

GF 境界条件データファイル（流れ解析用）は流れ場に対する境界条件および熱輸送に関する境界条件を含みます。流れ場に関する境界条件としては、流入境界条件、壁 (no-slip) 境界、対称境界 (slip)、周期境界、流体力計算境界、自由境界、移動壁境界及び領域間通信境界をサポートします。また、熱輸送に関しては、温度固定境界、熱流束固定境界をサポートします。

流れ場に関する各境界条件の内容は以下の通りです。

- **流入境界 (Inlet)**
流入速度 ($U, V, (W)$) が、各節点で指定されます。流入境界データはオーバーセットデータを作成するためのダミーデータとしても使用されます。詳細については 7 章を参照してください。
- **壁境界 (Wall)**
各節点で、すべりなし (no-slip) 条件が適用されます。
- **対称境界 (Symmetric)**
各節点で定義されるベクトルの法線成文は強制的に 0 にセットされます。
- **周期境界 (Cyclic)**
周期境界条件が適用されます。
- **流体力計算境界 (BODY)**
指定された境界にかかる流体力が計算されます。
- **自由境界 (Free)**
速度に対しトラクションフリー、圧力に対し 0 固定の自由境界条件が各節点に適用されます。自由境界データはオーバーセットデータを作成するためのダミーデータとしても使用されます。詳細については 7 章を参照してください。
- **移動壁境界 (Moving Wall)**
各節点において壁移動速度が指定されます。流体解析プログラム les3d は壁移動速度は壁表面に沿っていることを想定しています。この条件が満たされない場合、正しい計算結果は保証されません。
- **領域間通信境界 (Inter Connect)**
並列計算時に必要な通信情報データ。

熱輸送に関する各境界条件の内容は以下の通りです。

- **温度固定境界 (Temp)**
温度が、各節点で指定されます。
- **熱流束境界 (Heat)**
熱流束が、各節点で指定されます。

以下の表に GF 境界条件のデータフォーマットを示す。

Table 5.10: boundary data format (for flow)

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|--------|--|
| #INT_ARY | *BC_INLT | 1 | NPINLT | 流入境界条件節点リスト |
| #FLT_ARY | *BC_IV2D | 2 | NPINLT | X 方向流入速度 (U) Y 方向流入速度 (V) |
| #FLT_ARY | *BC_IV3D | 3 | NPINLT | X 方向流入速度 (U) Y 方向流入速度 (V) Z 方向流入速度 (W) |
| #INT_ARY | *BC_WALL | 1 | NPWALL | 壁境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_SYMT | 1 | NPSYMT | 対称境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_CYCL | 1 | NPCYCL | 周期境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_BODY | 1 | NPBODY | 流体力計算境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_FREE | 1 | NPFREE | 自由境界節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_MWAL | 1 | NPMWAL | 移動境界節点リスト |
| #FLT_ARY | *BC_WV2D | 1 | NPMWAL | X 方向壁速度 (U) Y 方向壁速度 (V) |
| #FLT_ARY | *BC_WV3D | 1 | NPMWAL | X 方向壁速度 (U) Y 方向壁速度 (V) Z 方向壁速度 (W) |
| #INT_ARY | *BC_INTR | 3 | NPINTR | 領域間通信境界節点リスト 通信する領域番号 相手側領域における節点番号 |
| #INT_ARY | *BC_TMPN | 1 | NPTEMP | 温度境界条件節点リスト |
| #FLT_ARY | *BC_TMPV | 1 | NPTEMP | 境界温度 |
| #INT_ARY | *BC_HFXN | 1 | NPTEMP | 熱流束境界条件節点リスト |
| #FLT_ARY | *BC_HFXV | 1 | NPTEMP | 境界熱流束 |

表において'NP'で始まる変数は、各境界条件に対応する節点数を表しています。

5.2.3 境界条件データファイル（音響解析用）

GF 境界条件データファイル（音響解析用）は音響解析に対する境界条件を含みます。音響解析に関する境界条件としては、完全反射境界、無反射境界、インピーダンス境界、圧力境界、速度境界、加速度境界、対称境界、周期境界および領域間通信境界をサポートします。これに加え、境界ファイル中には周波数に関する情報をストアします。また、オーバーセットデータを作成するさいのダミーデータとして、入口境界および出口境界を取り扱います。また、熱輸送に関しては、温度固定境界、熱流束固定境界をサポートします。

音響場に関する各境界条件の内容は以下の通りです。

- 完全反射境界 (AWALL)
完全反射境界が適用されます。
- 無反射境界 (NRBC)
無反射境界が適用されます。
- インピーダンス境界 (A-IMP)
各節点においてインピーダンスが指定されます。インピーダンスは実部、虚部から構成される 2 变数としてストアされます。
- 圧力境界 (A-PRS)
各節点において圧力が指定されます。圧力は実部、虚部から構成される 2 变数としてストアされます。
- 速度境界 (A-VEL)
各節点において速度が指定されます。速度は 3 成分についての実部、虚部から構成される 6 变数としてストアされます。
- 加速度境界 (A-ACC)
各節点において加速度が指定されます。加速度は 3 成分についての実部、虚部から構成される 6 变数としてストアされます。
- 対称境界 (Symmetric)
各節点で定義されるベクトルの法線成文は強制的に 0 にセットされます。
- 周期境界 (Cyclic)
周期境界条件が適用されます。
- 領域間通信境界 (Inter Connect)
並列計算時に必要な通信情報データです。

また、オーバーセットデータを作成するためのダミーデータとして以下の境界が定義されています。

- 入口境界 (Inlet)
- 自由境界 (Free)

以下の表に GF 境界条件のデータフォーマットを示す .

Table 5.11: boundary data format (for accoustics)

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|--------|----------------|
| #INT_ARY | *STEP_FR | 1 | 1 | 周波数番号 |
| #FLT_ARY | *FREQ_FR | 1 | 1 | 周波数 |
| #INT_ARY | *BC_INLT | 1 | NPINLT | 流入境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_FREE | 1 | NPFREE | 自由境界節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_SYMT | 1 | NPSYMT | 対称境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BC_CYCL | 1 | NPCYCL | 周期境界条件節点リスト |
| #INT_ARY | *BCA_WAL | 1 | NPAWAL | 完全反射境界節点リスト |
| #INT_ARY | *BCA_NOR | 1 | NPANOR | 無反射境界節点リスト |
| #INT_ARY | *BCA_PRS | 1 | NPAPRS | 圧力境界節点リスト |
| #FLT_ARY | *BCA_P3D | 2 | NPAPRS | 圧力 |
| #INT_ARY | *BCA_IMP | 1 | NPAPRS | インピーダンス境界節点リスト |
| #FLT_ARY | *BCA_I3D | 2 | NPAPRS | インピーダンス |
| #INT_ARY | *BCA_VEL | 1 | NPAPRS | 速度境界節点リスト |
| #FLT_ARY | *BCA_V3D | 6 | NPAPRS | 速度 |
| #INT_ARY | *BCA_ACC | 1 | NPAPRS | 加速度境界節点リスト |
| #FLT_ARY | *BCA_A3D | 6 | NPAPRS | 加速度 |
| #INT_ARY | *BC_INTR | 3 | NPINTR | 領域間通信境界節点リスト |
| | | | | 通信する領域番号 |
| | | | | 相手側領域における節点番号 |

5.2.4 流れ場データファイル

本システムは、六面体要素、三角柱要素、ピラミッド要素、四面体要素を想定しています。速度は節点で定義されます。圧力は、六面体ソルバーにおいては要素で定義され、四面体ソルバーおよびマルチ要素ソルバーにおいては節点で定義されます。キャビテーション解析、熱輸送解析、DES 解析で扱う液体体積率、温度、粘性係数⁶は全て節点で定義されますが、これらの変数も同一の GF 流れ場ファイルのなかで扱います。GF 流れ場データファイルは時間、時間ステップ、節点定義の速度、要素定義の圧力の情報をもちます。データフォーマットは以下の表に示すとおりです。

Table 5.12: flow data format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|---|
| #FLT_ARY | *TIME_PS | 1 | 1 | 時間 |
| #INT_ARY | *STEP_PS | 1 | 1 | 時間ステップ |
| #FLT_ARY | *VELO_2D | 2 | NP | 節点における X 方向速度 (U) 節点における Y 方向速度 (V) |
| #FLT_ARY | *VELO_3D | 3 | NP | 節点における X 方向速度 (U) 節点における Y 方向速度 (V) 節点における Z 方向速度 (W) |
| #FLT_ARY | *PRES_2E | 1 | NE | 要素における圧力 (2D) |
| #FLT_ARY | *PRES_3E | 1 | NE | 要素における圧力 (3D) |

ここで NP, NE はそれぞれ節点数及び要素数です。

GF 流れ場データファイルは二次元及び三次元の流れ場データを想定しています。つまり*VELO_2D 及び*PRES_2D は二次元,*VELO_3D 及び*PRES_3D は三次元のデータに対応しています。ただし、流体解析ソルバーは三次元流れに対応しているので通常使用するデータは三次元データ (*VELO_3D 及び*PRES_3D) です。

⁶厳密には、粘性係数を算出するための変数ですが、ここでは簡略化して粘性係数と呼びます。

流体解析ソルバーは、デフォルト設定として計算終了時の瞬時場を流れ場データとして出力します。さらにオプション出力として以下に示すファイルと同じフォーマットで出力します。

- GF average file (時間平均) :
速度と圧力場の時間平均
- GF RMS file (変動 : RMS) :
速度と圧力場の変動 (RMS)
- GF stress file (応力テンソル) :
応力テンソル $((vw)', (wu)', (uv)')$ 、及び粘性の時間平均です。ここで粘性は分子粘性と渦粘性の合計であり、要素で定義されます。

上記のファイルはデフォルトで出力される瞬時場の流れ場データファイルは同じフォーマットです。時間平均に関するファイル (GF average file) は、解析条件ファイル中のパラメータ 'IOUT' を 1 以上に設定することにより出力されます。変動に関するファイル (GF RMS file) 及び応力テンソルに関するファイル (GF stress file) は、解析条件ファイル中のパラメータ 'IOUT' を 2 以上に設定することにより出力されます。

オプショナル出力ファイルは解析条件ファイルにおいてユーザが指定する必要があります。

上記した各種 GF 流れ場データフォーマットの内容を以下の表にまとめます。

Table 5.13: flow-type data format

| file | node | | | element |
|-----------------------|------------|------------|------------|-------------------|
| GF-flow-file | U | V | W | P |
| GF-average-file | ave. of U | ave. of V | ave. of W | ave. of P |
| GF-RMS-file | rms of U | rms of V | rms of W | rms of P |
| GF-stress-file | $(vw)'$ | $(wu)'$ | $(uv)'$ | ave. of viscosity |
| GF-test-filtered-file | filtered U | filtered V | filtered W | C_s |

5.2.5 音源データファイル

GF 流れ音源データファイルは時間、時間ステップ、周波数、周波数番号および音源データ（時間定義、周波数定義）の情報を含みます。データフォーマットは以下の表に示すとあります。

Table 5.14: sound source data format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|----------------|
| #FLT_ARY | *TIME_PS | 1 | 1 | 時間 |
| #INT_ARY | *STEP_PS | 1 | 1 | 時間ステップ |
| #FLT_ARY | *SRC3D_T | 1 | NP | 音源（節点定義、時間定義） |
| #FLT_ARY | *FREQ_FR | 1 | 1 | 周波数 |
| #INT_ARY | *STEP_FR | 1 | 1 | 周波数番号 |
| #FLT_ARY | *SRC3D_F | 2 | NP | 音源（節点定義、周波数定義） |

5.2.6 音場データファイル

GF 音場データファイルは周波数、周波数番号および音圧、音圧パワー、粒子速度の情報を含みます。データフォーマットは以下の表に示すとあります。

Table 5.15: sound pressure data format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|------------------|
| #FLT_ARY | *FREQ_FR | 1 | 1 | 周波数 |
| #INT_ARY | *STEP_FR | 1 | 1 | 周波数番号 |
| #FLT_ARY | *APS3D_F | 2 | NP | 音圧（節点定義、周波数定義） |
| #FLT_ARY | *APW3D_F | 1 | NP | パワー（節点定義、周波数定義） |
| #FLT_ARY | *AVL3D_F | 6 | NP | 粒子速度（節点定義、周波数定義） |

5.2.7 オーバーセットデータファイル

GF オーバーセットデータファイルはオーバーセット計算を行うさいに，流体解析プログラム les3d が読み込むファイルである。実際 les3d は，解析条件ファイル中のパラメータ'JSET' が 1 以上に設定された場合に GF オーバーセットデータファイルよりオーバーセット処理に必要な情報を'JSET' ステップ毎に読み込むパラメータ設定の詳細は 5.1 節を参照されたい。

データフォーマットは以下の表に示すとおりである。

Table 5.16: flow overset format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|---|
| #FLT_ARY | *TIME_PS | 1 | 1 | 時間 |
| #INT_ARY | *STEP_PS | 1 | 1 | 時間ステップ |
| #INT_ARY | *BC_PSET | 3 | NBP | オーバーセット境界節点リスト 節点へのオーバーセット処理をする要素番号 節点へのオーバーセット処理をする要素が属する領域番号 |
| #FLT_ARY | *BC_PGET | 3 | NBP | オーバーセット節点の局所座標 (ξ) オーバーセット節点の局所座標 (ζ) オーバーセット節点の局所座標 (η) |
| #INT_ARY | *BC_ESET | 3 | NBE | オーバーセット境界要素リスト 要素へのオーバーセット処理をする要素番号 要素へのオーバーセット処理をする要素が属する領域番号 |
| #FLT_ARY | *BC_EGET | 3 | NBE | オーバーセット要素の局所座標 (ξ) オーバーセット要素の局所座標 (ζ) オーバーセット要素の局所座標 (η) |

ここで NBP , NBE はそれぞれオーバーセット節点数およびオーバーセット要素数である。

GF オーバーセットデータファイルは周辺プログラム'setsi' もしくは'setdi' を用いて作成できる。これらのプログラムの使用方法については 7 章を参照されたい。

5.2.8 座標系データファイル

GF 座標系データファイルは各要素の属する座標系のデータが含まれる。このファイルはマルチフレーム機能が使用される場合に'les3d'による読み込まれる。実際 les3d は、解析条件ファイル中のパラメータ'NFRAME' が 0 以外に設定された場合に GF 座標系データファイルを読み込む。

データフォーマットは以下の表に示すとおりである。

Table 5.17: attribute file format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|-----------|-----|------|----------|
| #INT_ARY | *ELM_ATRE | 1 | NE | 座標系番号 |

ここで NE は要素数である。

現バージョンでは以下に示す座標番号を指定することができます。

| frame num- ber(iframe) | type of reference frame |
|---------------------------|-------------------------|
| -1 | 回転系 (デフォルト) |
| 0 | 静止系 |
| 1,2,...,nframe | 移動系 |

パラメータ設定の詳細は 5.1 節の'NFRAME' の内容を参照されたい。

GF 座標系データファイルは周辺プログラム'attrs' を用いて作成できる。プログラムの使用方法については 7.3 節を参照されたい。

5.2.9 ファイル分割データファイル

GF ファイル分割データファイルは、並列計算のさいのファイル分割情報が含まれたファイルである。以降'DDD'='('Domain Decompose Description')'と呼ぶことにする。

DDD ファイルは GF メッシュデータファイル, GF 境界条件ファイル, GF オーバーセットデータファイル, GF 座標系ファイルを分割したり結合したりする時に参照される。

GF-DDD ファイルのフォーマットを以下の表に示す。

Table 5.18: flow domain decomposing description file format

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-----|------|---|
| #INT_ARY | *PT_NODE | 1 | NBP | 節点数 |
| #INT_ARY | *PT_ELEM | 1 | NBE | 要素数 |
| #INT_ARY | *BC_INTR | 3 | NBP | 領域間通信境界の節点番号 通信相手の領域番号 通信相手における節点番号 |

- NBP,NBE はそれぞれ各領域の節点数及び要素数である。
- 分割領域数及び GF ファイル中のデータセット数は同じである。
- GF-DDD ファイルは周辺プログラム'ddrgb' を用いて作成される。プログラムの使用方法は 8 章を参照されたい。

5.2.10 履歴データファイル

GF 履歴データファイルは流体解析プログラム les3d(les3c) のデフォルト出力ファイルです。このファイルはデフォルト出力変数及びユーザ指定によるオプション出力変数の時系列データを含みます。データフォーマットを表 5.21(5.20) 以下の表に示します。

以下、履歴データに関する注意点を示します。

- 'NSAMPL' はオプション出力データ数、'NTIME' は総時間ステップ数です。これらのパラメータは解析条件ファイル中で設定できる。詳細は 5.1 節を参照してください。
- ユーザはオプションデータとして解析領域内の任意の位置における流速 3 成分及び圧力の時系列データを GF 履歴データに出力することができます。場所や出力変数の指定方法の詳細は 5.1 節を参照してください。
- 周期境界の圧力差及び流量に関する情報はデフォルトで出力されますが、周期境界が存在する場合のみ意味のあるデータです。
- 流体力は流体力計算境界 (BODY) が設定されたときのみ計算されます。したがってこの境界が存在しない場合流体力は 0 です。詳細は 5.2.2 節を参照されたい。
- GF 履歴データはプログラム hscat で扱うことができる (hscat の使用方法は 18 章を参照してください。)。並列計算を実行した場合には GF 履歴データはそれぞれのプロセッサにより出力されます。その場合、hscat を使う前に出力ファイルを一つにまとめる必要があります。並列版プログラム les3x.mpi により出力される GF 履歴データファイルを一つにまとめるためには、プログラム hsmrgx を使います。les3c.mpi、les3ct.mpi の場合はそれぞれ、hsmrg および hsmrgi を使用します。プログラム hsmrg(hsmrgi) の使用方法は 18 章を参照してください。

Table 5.19: history file format by les3x

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|-------------|-------|-----------------------------------|
| #FLT_ARY | *HISTORY | 21 + NSAMPL | NTIME | 時間ステップ |
| | | | | 流速の発散の最大値 |
| | | | | 粘性の空間平均値 |
| | | | | 圧力方程式反復回数 |
| | | | | 圧力方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | X 方向流体力 |
| | | | | Y 方向流体力 |
| | | | | Z 方向流体力 |
| | | | | X 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | Y 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | Z 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | 温度方程式反復回数 |
| | | | | 乱流場 k の方程式反復回数 |
| | | | | 乱流場 ε の方程式反復回数 |
| | | | | X 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | Y 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | Z 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | 温度方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | 乱流場 k の方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | 乱流場 ε の方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | 温度の体積積分値 |
| | | | | (ユーザ指定情報) |

Table 5.20: history file format by les3c

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|----------------|-------|----------------------|
| #FLT_ARY | *HISTORY | 16 + NSAMPL | NTIME | 時間ステップ |
| | | | | 流速の発散の最大値 |
| | | | | 粘性の空間平均値 |
| | | | | 圧力方程式反復回数 |
| | | | | 圧力方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | X 方向流体力 |
| | | | | Y 方向流体力 |
| | | | | Z 方向流体力 |
| | | | | X 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | Y 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | Z 方向運動方程式反復回数 |
| | | | | X 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | Y 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | Z 方向運動方程式残差 (L2 ノルム) |
| | | | | 対流項に対する CFL 数 |
| | | | | 拡散に対する CFL 数 |
| | | | | (ユーザ指定情報) |

Table 5.21: history file format by les3ct

| type | keyword | num | num2 | contents |
|----------|----------|---------------|-------|------------|
| #FLT_ARY | *HISTORY | 8 + NSAMPL | NTIME | 時間ステップ |
| | | | | 流速の発散の最大値 |
| | | | | 粘性の空間平均値 |
| | | | | 周期境界間の圧力差 |
| | | | | 周期境界における流量 |
| | | | | X 方向流体力 |
| | | | | Y 方向流体力 |
| | | | | Z 方向流体力 |
| | | | | (ユーザ指定情報) |

Chapter 6

基本機能

本章では、本システムの基本機能を説明します。本章で使用するチュートリアルデータは、図 6 に示す単純な曲がりパイプ内部の流れです。6.1 節において、六面体要素について、6.2 節において四面体要素において説明します。使用方法についての説明の後、6.3 節において、流れソルバーを使用する際の一般的な注意事項について説明します。最後に、6.4 節において、六面体ソルバー les3c に実装される境界条件のオプション機能について説明します。

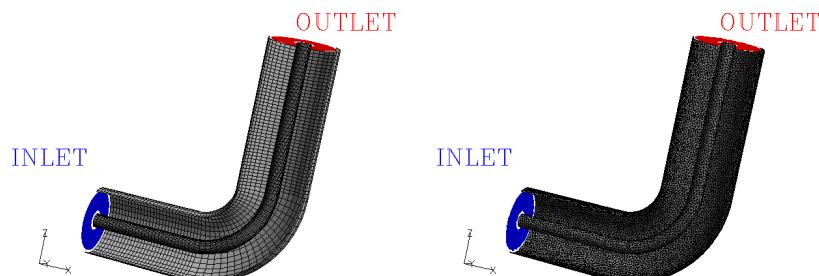


Figure 6.1: Computational models in this chapter (left:hexahedral mesh, right:tetrahedral mesh)

6.1 基本機能（六面体）

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイル¹の変換
3. 境界条件データの編集
4. 解析条件ファイルの作成
5. 流れ場の計算 (les3c の実行)
6. 可視化のためのデータ変換
7. 履歴データの編集

データフローを、表 6.1 及び図 6.2 に示します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

¹GF は General File の略です。GF ファイルの詳細は 5 章を参照してください。

Table 6.1: data flow of basic function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------|--|--------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (fva2gf6) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 5 | 流れ解析の実行 (les3c) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 6 | フォーマット変換 | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 7 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

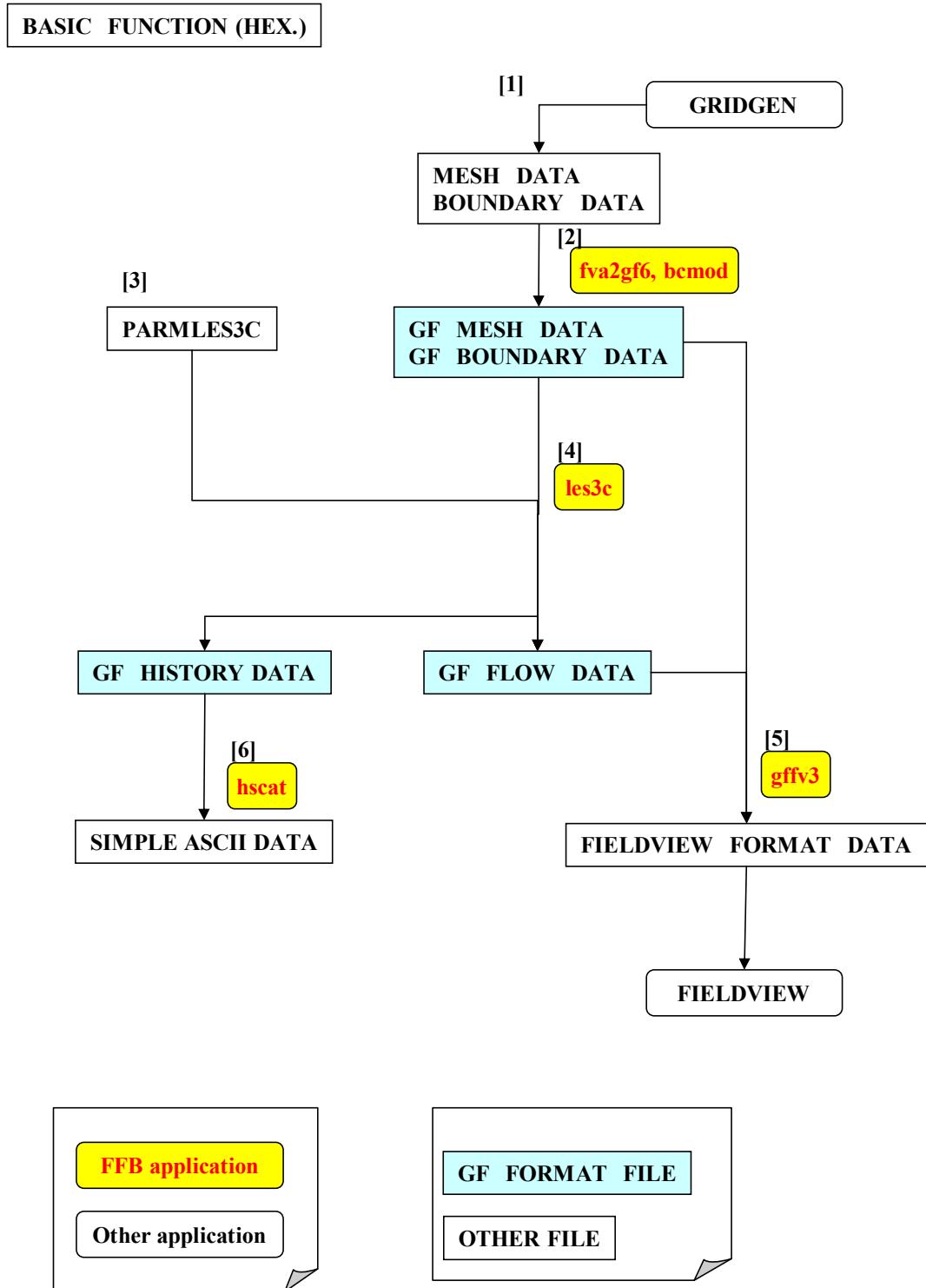


Figure 6.2: data flow of basic function (注意：Gridgen 及び FIELDVIEW は商用のソフトウェアであり、本システムに含まれているものでない。)

6.1.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本システムは六面体有限要素もしくは四面体要素に基づくメッシュデータを想定し、境界条件としては流入境界、壁境界、移動壁境界、対称境界、周期境界等をサポートします。本節では、六面体要素対応のソルバについて説明しますので、扱うデータは六面体要素です（メッシュデータ及び境界条件データの詳細は5章を参照してください。）。

本システムでは、メッシュデータの作成はサポートしていません。したがって、他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョンでは、GRIDGEN²で作成したデータの変換機能をサポートしています。GRIDGENで作成されたデータはGFフォーマットデータに変換されます（次節参照）。

本節では、単純な曲がりパイプ内の流れを計算します。メッシュ及び境界条件を図6.3に示します。

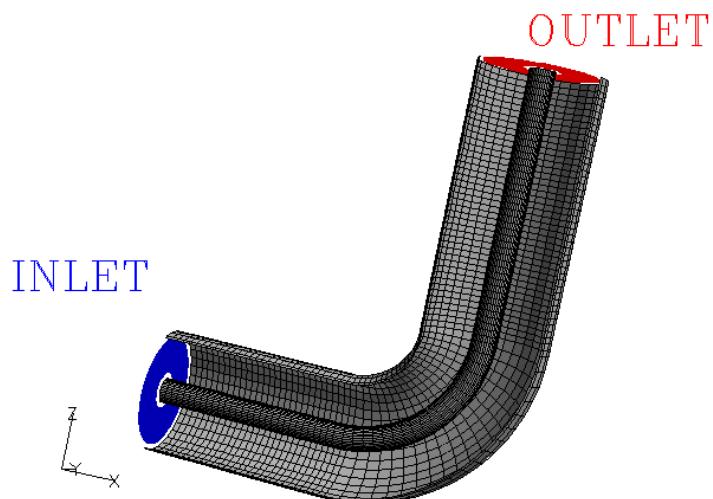


Figure 6.3: Mesh and boundary data used in this section (hexahedral mesh)

²GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

6.1.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'fva2gf6'を使用することにより、GRIDGEN³で作成したデータを GF メッシュデータ及び GF 境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'fva2gf6.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

fva2gf6.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRID は GRIDGEN で作成したファイル名、GF-MESH(GF-BOUN) は出力する GF メッシュ(境界条件)ファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

fva2gf6.pl ../data0/PIPE.A.grd MESH BOUN.D

とすることにより、GF メッシュファイル(MESH)および GF 境界条件ファイル(BOUN.D)が作成されます。なお、周辺プログラム'fva2gf6'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.1 節を参照してください。

³Gridgen は Pointwise Inc 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

6.1.3 境界条件データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

前節で作成した境界条件データを解析の実行に用いるためには、以下に示す二つの処理を境界条件データに施す必要があります。

- 重複する境界条件の削除
- 入り口境界速度の指定

これらの処理は、いずれも周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト(bcmmod.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本ケースの場合、実行するコマンドは以下に示す。2つです。

本節の処理を実行する場合は、

```
bcmmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp  
bcmmod.pl -in 1.0 0.0 0.0 MESH      tmp BOUN  
rm -f tmp
```

上記の2行のうち、1行目により重複する境界条件の削除が実行されます。また、2行目により入り口境界での速度成分が指定されます。

以下に、重複する境界条件の削除について補足説明をします。一般に、境界条件を面で定義した場合、異なる境界条件が接する辺に定義される節点において、境界条件が2重に定義されます。図6.4における左の拡大図では、入り口のパイプ壁面において、入り口境界と壁面境界の両方が定義されています。本システムにおける流れソルバーでは、節点に対して1種類の境界条件を定義しますので、図6.4における左の拡大図のように、重複する境界条件を削除する必要があります。

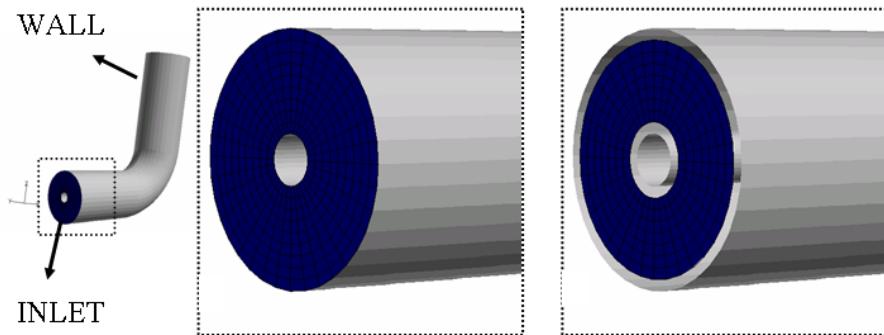


Figure 6.4: computation mesh for the curved pipe flow (left:whole domain, center: wall and inlet boundary which are duplicated, right: wall and inlet boundary which are not duplicated)

6.1.4 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3C)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。(解析条件ファイルの詳細は21.2.2節を参照してください。)

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報(時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ)
- 物理定数(分子粘性、回転系の角速度)
- 入出力ファイル名(ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。)

図6.5に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図6.5と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      4      0      0      0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2     0.06   0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6 40     1.0E-6 10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    1000   0       1.0     0.0     0.0     0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0       0       0.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    4
        1       0.5   0.0     0.15
        2       0.5   0.0     0.15
        3       0.5   0.0     0.15
        4       0.5   0.0     0.15
#GIVE MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 6.5: sample of parameter file (PARMLES3C)

6.1.5 流れ場計算の実行 (les3c)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した、解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3c'を入力します。

%les3c

本章に示すような最も基本的な実行の場合に必要となるファイルを以下に示すとあります。

- 解析条件データファイル (ファイル名は'PARMLES3C')
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3c'は図 6.6 に示すようなメッセージを出力して(標準出力)計算を開始します。問題がなければ'les3c'は以下のメッセージとともに終了します。

** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **

流れソルバー'les3c'はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル(瞬時)及び GF 履歴データファイルを出力します。さらにオプション出力として、平均場ファイル、変動場ファイル、応力テンソルファイル、非定常流れ場ファイル及び表面圧力場ファイルを出力します。オプション出力ファイルは解析条件ファイルのパラメータによって制御されます。出力ファイルの出力条件を表 6.2 にまとめます。

Table 6.2: Files to be output by 'LES3C'

| 出力ファイル | 出力条件 |
|--------|----------------------------------|
| 瞬時流れ場 | デフォルト出力 |
| 履歴データ | デフォルト出力 |
| 平均流れ場 | IOUT が 1 もしくは 2 の時出力 |
| 変動流れ場 | IOUT が 2 の時出力 |
| 応力テンソル | IOUT が 2 の時出力 |
| 非定常流れ場 | INTFSV が 1 以上の時, INTFSV ステップ毎に出力 |
| 表面圧力場 | INTPSV が 1 以上の時, INTPSV ステップ毎に出力 |

```

LES3C: VERSION 2007. 04. 20
    ** RUNNING IN SERIAL   MODE

    ||
    ||
(途中省略)
    ||
    ||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

STEP      2 N=  30 TIME= 2.00000E-02 MAXD= 4.57986E-02 RESP= 1.55467E-07
          CFL = 1.76162E-03 DIFF= 1.02561E-04
          HST1=-1.31052E-24 HST2= 7.70890E-24 HST3=-1.31190E-24
          HST4=-9.74015E-24 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

STEP      4 N=  30 TIME= 4.00000E-02 MAXD= 4.79861E-02 RESP= 2.09415E-07
          CFL = 3.66470E-03 DIFF= 1.02561E-04
          HST1= 1.13092E-20 HST2= 5.64244E-20 HST3=-5.12442E-20
          HST4=-9.94956E-21 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

    ||
    ||
(途中省略)
    ||
    ||

STEP    498 N=  20 TIME= 4.98000E+00 MAXD= 2.85685E-02 RESP= 7.14656E-07
          CFL = 1.98897E-01 DIFF= 6.36223E-03
          HST1=-3.23402E-03 HST2= 2.98494E-07 HST3= 9.54561E-01
          HST4= 3.01409E-02 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

STEP    500 N=  20 TIME= 5.00000E+00 MAXD= 2.77644E-02 RESP= 3.69440E-07
          CFL = 2.00144E-01 DIFF= 6.39803E-03
          HST1=-3.31150E-03 HST2= 2.73504E-07 HST3= 9.63657E-01
          HST4= 3.31665E-02 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

** TIME MARCH LOOP ENDED **

    ||
    ||
(途中省略)
    ||
    ||

DONE!

** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 6.6: les3c log output

6.1.6 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/POST/FV/FV.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW⁴ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3.pl' が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gffv3.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ(境界条件、流れ場)ファイルのファイル名です。

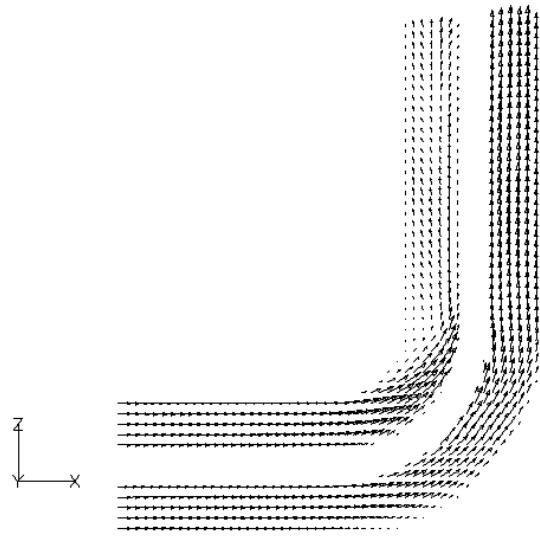
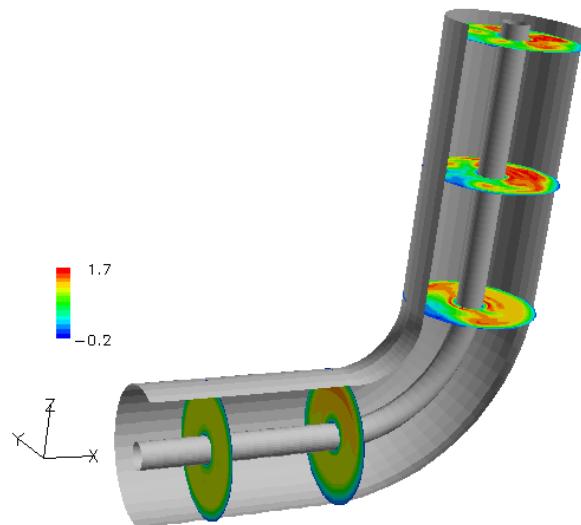
本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data1/MESH      ./MESH  
ln -s ../../DATA/data1/BOUN      ./BOUN  
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.01/FLOW ./FLOW  
gffv3.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

とすることにより、FIELDVIEW 用ファイル(res.uns)が作成されます。なお、周辺プログラム'gffv3' は起動スクリプトを使わずに、インターフェイブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.2 節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEW で出力された流れ場を図 6.7 及び図 6.8 に示します。

⁴FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

Figure 6.7: Velocity field at section: $y=0$ Figure 6.8: Pipe-aligned velocity contour at cross section at $x=-2.0, x=-4.0, z=-4.0, z=-2.0$ and $z=0.0$

6.1.7 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/POST/HISTORY/HISTORY.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、6.1.5 節において実行した les3c が出力した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。履歴データの編集は、周辺プログラム'hscat' およびその起動スクリプト (hscat.pl) を用いて、実行することができます。本プログラムは、履歴データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT`

ここで、GF-HISTORY-IN は入力する GF 履歴ファイルのファイル名です。GF-HISTORY-OUT は出力する GF 履歴ファイルのファイル名です。入力ファイルは複数指定することができます。たとえば GF 履歴ファイルのファイル名を 4 種類入力した場合、はじめの 3 個は入力ファイル名として、最後の 1 個は出力ファイル名として認識されます。出力ファイル名を指定し忘れる、最後に指定したファイルに処理結果が上書きされてしまいますので注意してください。本プログラムの処理内容は'[OPTION]' により制御されます。詳細は、hscat.pl のヘルプ機能を参照してください⁵。

本節の処理を実行する場合は、

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 19 ../../EXE/EXE.01/RES.01/HISTORY tmp  
tail -100 tmp > history.txt  
rm -f tmp
```

とすることにより、GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出することができます。オプション指定の'-interval 10' は、入力データを 10 ステップ毎に出力することを指定します。また、'-data 1 19' 入力データのうち、1 種類（19 番目のデータ）を出力することを指定します。2 行目の処理は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

これにより作成されたアスキーファイル'history.txt' の中身を図 6.9 に示します。

⁵hscat.pl -help と入力することにより、ヘルプ機能を参照することができます。

| | |
|----------|-----------|
| 0.600000 | 0.1862882 |
| 1.200000 | 0.9425833 |
| 1.800000 | 1.110256 |
| 2.400000 | 0.8506426 |
| 3.000000 | 0.9666202 |
| 3.600000 | 1.234570 |
| 4.200000 | 1.174132 |
| 4.800000 | 1.062757 |
| 5.400000 | 1.179395 |
| 6.000000 | 1.280007 |
| 6.600000 | 1.239257 |
| 7.200000 | 1.250257 |
| 7.800000 | 1.361225 |
| 8.400000 | 1.427905 |
| 9.000000 | 1.443031 |
| 9.599999 | 1.497157 |
| 10.20000 | 1.584722 |
| 10.80000 | 1.637267 |
| 11.40000 | 1.650252 |
| 12.00000 | 1.674842 |
| 12.60000 | 1.700823 |
| | |
| | |
| (以下省略) | |
| | |
| | |

Figure 6.9: history data of velocity near the outlet

6.2 基本機能（四面体）

四面体ソルバー (les3ct) を用いて基本計算の手順を以下に示します。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイル⁶の変換
3. 境界条件データの編集
4. 解析条件ファイルの作成
5. 流れ場の計算 (les3c の実行)
6. 可視化のためのデータ変換
7. 履歴データの編集

データフローを、表 6.3 及び図 6.10 に示します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

⁶GF は General File の略です。GF ファイルの詳細は 5 章を参照してください。

Table 6.3: data flow of basic function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------|--|--------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gft) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 5 | 流れ解析の実行 (les3ct) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 6 | フォーマット変換 (gffv3t) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 7 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

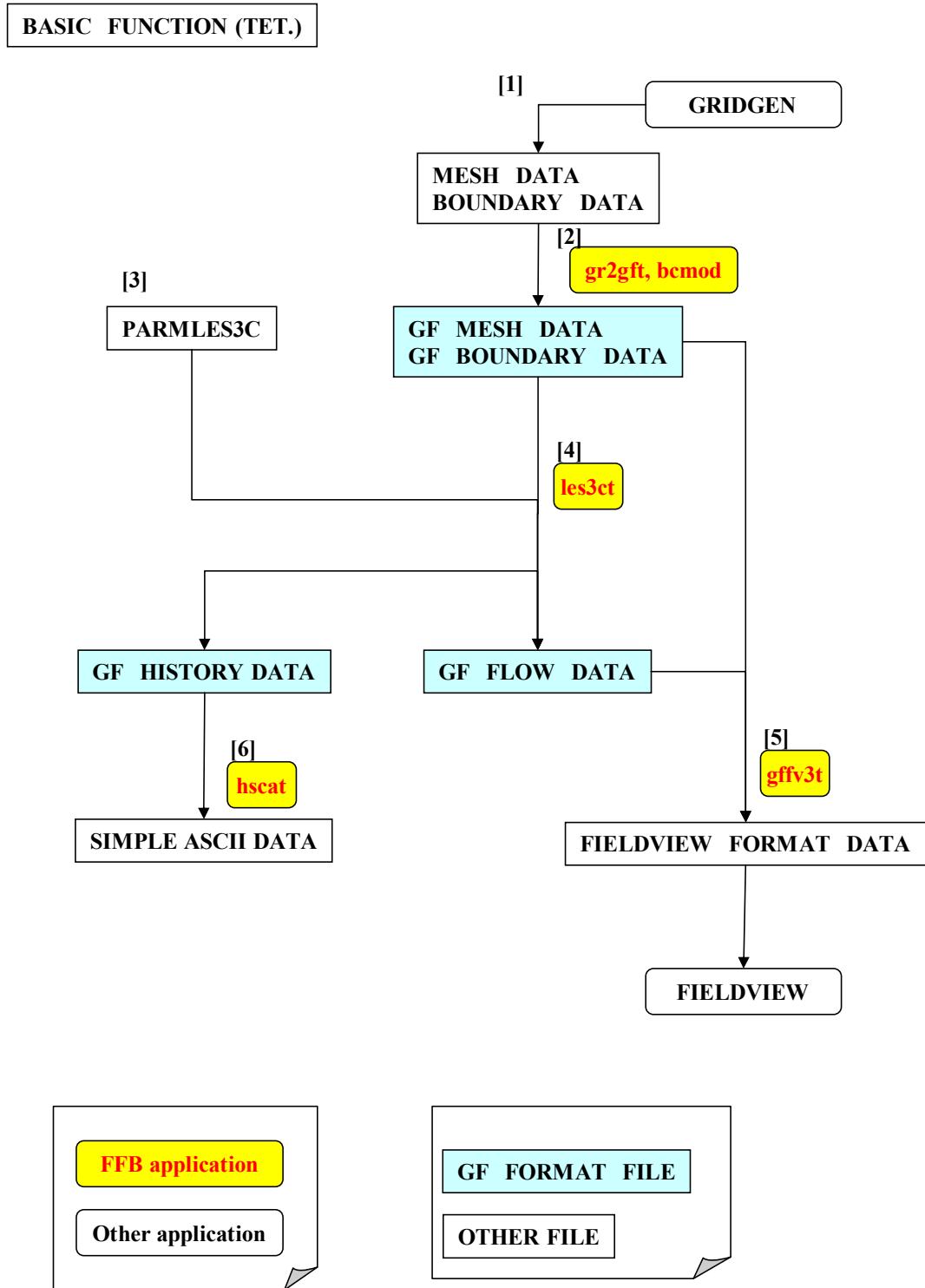


Figure 6.10: data flow of basic function (注意 : Gridgen 及び FIELDVIEW は商用のソフトウェアであり、本システムに含まれているものでない。)

6.2.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本システムは、六面体有限要素もしくは四面体要素に基づくメッシュデータを想定し、境界条件としては流入境界、壁境界、移動壁境界、対称境界、周期境界等をサポートします。本節では、四面体要素対応のソルバについて説明しますので、扱うデータは四面体です（メッシュデータ及び境界条件データの詳細は5章を参照してください。）。

本システムでは、メッシュデータの作成はサポートしていません。したがって、他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョンでは、GRIDGEN⁷で作成したデータの変換機能をサポートしています。GRIDGENで作成されたデータはGFフォーマットデータに変換されます（次節参照）。

本節では、単純な曲がりパイプ内の流れを計算します。メッシュ及び境界条件を図6.11に示します。

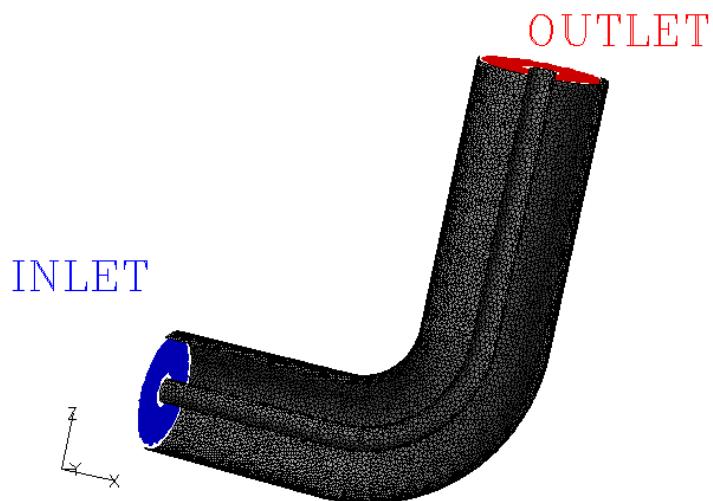


Figure 6.11: Mesh and boundary data used in this section (tetrahedral mesh)

⁷GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

6.2.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gr2gft'を使用することにより、GRIDGEN⁸で作成したデータを GF メッシュデータ及び GF 境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gr2gft.pl'が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gr2gft.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRID は GRIDGEN で作成したファイル名、GF-MESH(GF-BOUN) は出力する GF メッシュ(境界条件)ファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

gr2gft.pl .../data0/PIPE.A.grd MESH BOUN.D

とすることにより、GF メッシュファイル(MESH)および GF 境界条件ファイル(BOUN.D)が作成されます。なお、周辺プログラム'gr2gft'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.7 節を参照してください。

⁸Gridgen は Pointwise 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

6.2.3 境界条件データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

前節で作成した境界条件データを解析の実行に用いるためには、以下に示す二つの処理を境界条件データに施す必要があります。

- 重複する境界条件の削除
- 入り口境界速度の指定

これらの処理は、いずれも周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト(bcmmod.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本ケースの場合、実行するコマンドは以下に示す 2 つです。

本節の処理を実行する場合は、

```
bcmmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp  
bcmmod.pl -in 1.0 0.0 0.0 MESH      tmp BOUN  
rm -f tmp
```

上記の 2 行のうち、1 行目により重複する境界条件の削除が実行されます。また、2 行目により入り口境界での速度成分が指定されます。

以下に、重複する境界条件の削除について補足説明をします。一般に、境界条件を面で定義した場合、異なる境界条件が接する辺に定義される節点において、境界条件が2重に定義されます。図6.12における左の拡大図では、入り口のパイプ壁面において、入り口境界と壁面境界の両方が定義されています。本システムにおける流れソルバーでは、節点に対して1種類の境界条件を定義しますので、図6.12における左の拡大図のように、重複する境界条件を削除する必要があります。

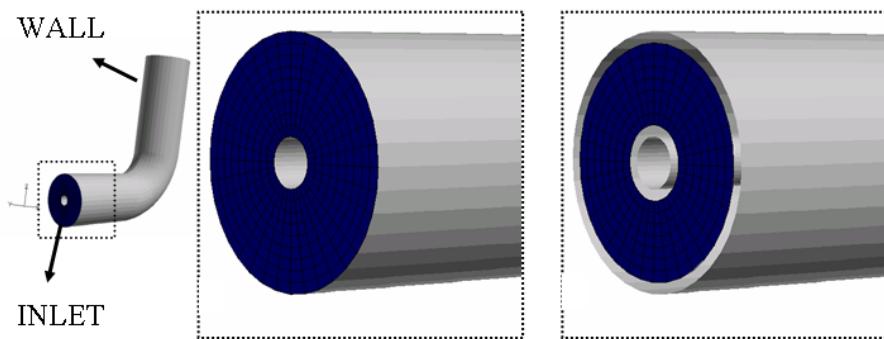


Figure 6.12: computation mesh for the curved pipe flow (left:whole domain, center: wall and inlet boundary which are duplicated, right: wall and inlet boundary which are not duplicated)

6.2.4 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3C)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。(解析条件ファイルの詳細は21.2.3節を参照してください。)

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報(時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ)
- 物理定数(分子粘性、回転系の角速度)
- 入出力ファイル名(ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。)

図6.13に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図6.13と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LESSCT
#GIVE IMODEL    IPRESS    IFORM      IOUT      NFRAME      JSET
      1          20         1          0          0          0
#GIVE FSMACH   FDUMMY    FDUMMY    FDUMMY
      0.05      0.0       0.0       0.0
#GIVE VISCM    C          DT          OMEGA
      1.0E-5    0.2       0.06      0.0
#GIVE EPS       NMAX      EPST      NMAXT
      1.0E-4    200      1.0E-4     20
#GIVE NTIME     ISTART    TFINAL    UFINAL      VFINAL      WFINAL
      1000       0          1.0       0.0       0.0       0.0
#GIVE INTFSV   INTPSV    QFCCL    DPCCL
      0          0          1.0       0.0
#GIVE NSMPL    / LSMPL    XSMPL    YSMPL      ZSMPL
      4
      1          0.5       0.0       0.15
      2          0.5       0.0       0.15
      3          0.5       0.0       0.15
      4          0.5       0.0       0.15
#GIVE MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 6.13: sample of parameter file (PARMLES3C)

6.2.5 流れ場計算の実行 (les3ct)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3ct'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した、解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3ct'を入力します。

%les3ct

本章に示すような最も基本的な実行の場合に必要となるファイルを以下に示すとあります。

- 解析条件データファイル (ファイル名は'PARMLES3C')
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3c'は図 6.14 に示すようなメッセージを出力して(標準出力)計算を開始します。問題がなければ'les3c'は以下のメッセージとともに終了します。

** LES3CT: SUCCESSFULLY TERMINATED **

流れソルバー'les3ct'はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル(瞬時)及び GF 履歴データファイルを出力します。さらにオプション出力として、平均場ファイル、変動場ファイル、応力テンソルファイル、非定常流れ場ファイル及び表面圧力場ファイルを出力します。オプション出力ファイルは解析条件ファイルのパラメータによって制御されます。出力ファイルの出力条件を表 6.4 にまとめます。

Table 6.4: Files to be output by 'les3ct'

| 出力ファイル | 出力条件 |
|--------|----------------------------------|
| 瞬時流れ場 | デフォルト出力 |
| 履歴データ | デフォルト出力 |
| 平均流れ場 | IOUT が 1 もしくは 2 の時出力 |
| 変動流れ場 | IOUT が 2 の時出力 |
| 応力テンソル | IOUT が 2 の時出力 |
| 非定常流れ場 | INTFSV が 1 以上の時, INTFSV ステップ毎に出力 |
| 表面圧力場 | INTPSV が 1 以上の時, INTPSV ステップ毎に出力 |

```

LES3CT: VERSION 2007. 04. 20
      ** RUNNING IN SERIAL    MODE

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

STEP      2 N=  19 TIME= 2.00000E-02 MAXD= 4.33913E-01 RESP= 8.92844E-05
          NUMU=           1 NUMV=           1 NUMW=           1
          RESU= 7.69483E-12 RESV= 1.37688E-13 RESW= 1.23192E-13
          HST1= 0.00000E+00 HST2= 0.00000E+00 HST3= 0.00000E+00
          HST4= 0.00000E+00 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

STEP      4 N=  21 TIME= 4.00000E-02 MAXD= 7.38036E-01 RESP= 8.15493E-05
          NUMU=           1 NUMV=           1 NUMW=           1
          RESU= 2.23811E-10 RESV= 3.63368E-11 RESW= 3.20589E-11
          HST1= 8.58966E-24 HST2= 1.61281E-24 HST3= 1.54426E-22
          HST4= 6.47068E-22 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

STEP    498 N=  16 TIME= 4.98000E+00 MAXD= 9.28306E+00 RESP= 1.61160E-03
          NUMU=           1 NUMV=           1 NUMW=           1
          RESU= 8.12036E-05 RESV= 4.67276E-05 RESW= 5.56440E-05
          HST1=-2.06640E-03 HST2= 6.27793E-04 HST3= 9.80328E-01
          HST4= 2.31699E-02 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

STEP    500 N=  16 TIME= 5.00000E+00 MAXD= 9.28315E+00 RESP= 1.46906E-03
          NUMU=           1 NUMV=           1 NUMW=           1
          RESU= 8.17570E-05 RESV= 4.71731E-05 RESW= 5.64733E-05
          HST1=-2.11463E-03 HST2= 6.41995E-04 HST3= 9.90279E-01
          HST4= 2.48639E-02 HST5= 0.00000E+00 HST6= 0.00000E+00

** TIME MARCH LOOP ENDED **

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

DONE!

** LES3CT: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 6.14: les3ct log output

6.2.6 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/POST/FV/FV.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3t'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW⁹ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3t.pl' が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`gffv3t.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV`

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ (境界条件、流れ場) ファイルのファイル名です。

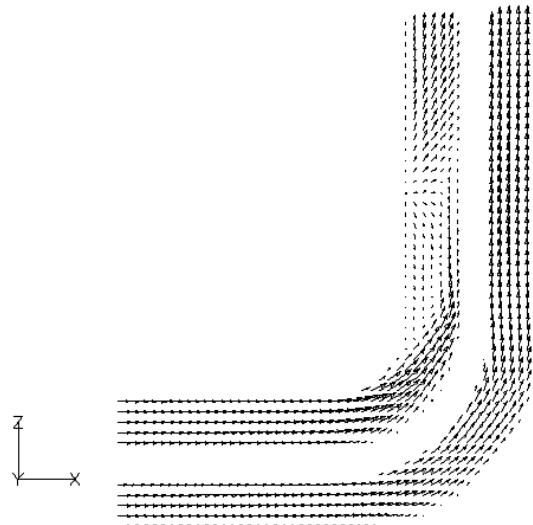
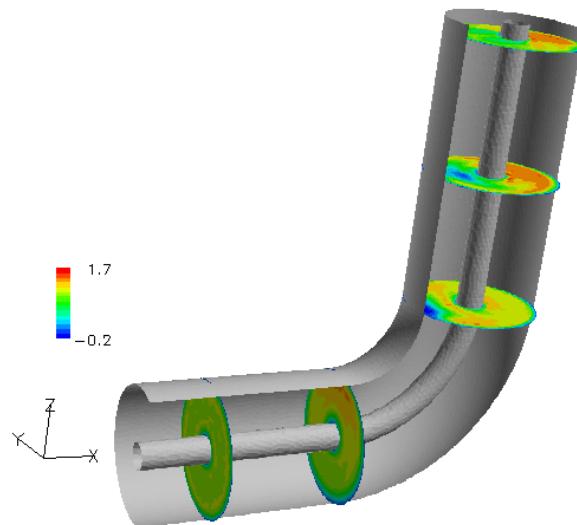
本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data1/MESH      ./MESH  
ln -s ../../DATA/data1/BOUN      ./BOUN  
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.01/FLOW ./FLOW  
gffv3t.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

とすることにより、FIELDVIEW 用ファイル (res.uns) が作成されます。なお、周辺プログラム'gffv3t' は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.3 節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEW で出力された流れ場を図 6.15 及び図 6.16 に示します。

⁹FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

Figure 6.15: Velocity field at section: $y=0$ Figure 6.16: Pipe-aligned velocity contour at cross section at $x=-2.0, x=-4.0, z=-4.0, z=-2.0$ and $z=0.0$

6.2.7 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/POST/HISTORY/HISTORY.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、6.2.5 節において実行した les3ct が出力した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。履歴データの編集は、周辺プログラム'hscat' およびその起動スクリプト (hscat.pl) を用いて、実行することができます。本プログラムは、履歴データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT`

ここで、GF-HISTORY-IN は入力する GF 履歴ファイルのファイル名です。GF-HISTORY-OUT は出力する GF 履歴ファイルのファイル名です。入力ファイルは複数指定することができます。たとえば GF 履歴ファイルのファイル名を 4 種類入力した場合、はじめの 3 個は入力ファイル名として、最後の 1 個は出力ファイル名として認識されます。出力ファイル名を指定し忘れると、最後に指定したファイルに処理結果が上書きされてしまいますので注意してください。本プログラムの処理内容は '[OPTION]' により制御されます。詳細は、hscat.pl のヘルプ機能を参照してください¹⁰。

本節の処理を実行する場合は、

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 11 ../../EXE/EXE.01/RES.01/HISTORY tmp  
tail -100 tmp > history.txt  
rm -f tmp
```

とすることにより、GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出することができます。オプション指定の '-interval 10' は、入力データを 10 ステップ毎に出力することを指定します。また、'-data 1 19' 入力データのうち、1 種類（11 番目のデータ）を出力することを指定します。2 行目の処理は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

これにより作成されたアスキーファイル'history.txt' の中身を図 6.17 に示します。

¹⁰hscat.pl -help と入力することにより、ヘルプ機能を参照することができます。

| | |
|----------|-----------|
| 0.600000 | 0.1933713 |
| 1.200000 | 0.9380067 |
| 1.800000 | 1.067202 |
| 2.400000 | 0.8088585 |
| 3.000000 | 0.9495476 |
| 3.600000 | 1.199687 |
| 4.200000 | 1.101178 |
| 4.800000 | 1.005805 |
| 5.400000 | 1.141624 |
| 6.000000 | 1.215471 |
| 6.600000 | 1.153621 |
| 7.200000 | 1.167844 |
| 7.800000 | 1.254756 |
| 8.400000 | 1.268350 |
| 9.000000 | 1.245130 |
| 9.599999 | 1.283355 |
| 10.20000 | 1.331854 |
| 10.80000 | 1.331649 |
| 11.40000 | 1.336372 |
| 12.00000 | 1.368216 |
| 12.60000 | 1.386572 |
| | |
| | |
| (以下省略) | |
| | |
| | |

Figure 6.17: history data of velocity near the outlet

6.3 流れソルバー実行時の注意事項

6.3.1 流体解析ソルバー les3d/les3c 使用方法

本システムでは3種類の流体解析ソルバー(les3d, les3c, les3ct)をサポートします。これらのプログラムを使用する際に、適切な数値条件を設定することで、計算は安定に実行され、物理的に正しい計算結果が期待できます。しかしながら計算条件の設定が不適切の場合には、計算された流れ場は非物理的となり、計算自体が発散してしまう可能性があります。本節では、いくつかの起こりうる問題に対する対処法や、物理的に正しい結果を得るためにの設定方法を説明します。

本節で紹介するほとんどの方法は、各流体解析ソルバーに共通であり、また、実行が単体計算であるか並列計算であるかには依存しません。それゆえ、単体計算または並列計算を行うすべてのユーザーにとって本節の内容は重要です。

流れ解析ソルバーは、“異常な流れ場”を発見した場合には計算を終了します。本システムでは、流れ場の発散 $\frac{\partial u_i}{\partial x_i}$ が 2.0×10^4 を超える状態を“異常な流れ場”と定義します。実際このような場合、計算された流れ場は現実的なものではなく、計算を続けることは意味がありません。例として、流れ場計算が正常終了した場合と発散した場合に、プログラム les3c が標準出力(ログファイル)の最後に表示するメッセージを図 6.18, 6.19 に示します。流れ場が発散して終了した場合には、その理由を調べる必要があります。発散の本質的な理由を見つけ出せれば、適切な対応策をとり、意味のある計算結果を得ることが容易になります。典型的な原因を以下に示します。

- コントロールパラメータの単純な設定ミス
- 出口境界における逆流
- CFL 条件の破綻
- 不適切なコントロールパラメータの設定

流れ場の発散の問題に直面した場合には、上記の順番で流れ解析ソルバーの計算結果を確認することで発散の原因をさぐる手助けになります。以下、各原因の詳細について説明します。

6.3.2 コントロールパラメータの単純な設定ミス

コントロールパラメータの単純な設定ミスのほとんどは、流れ解析ソルバーのエラートラップによりチェックされます。すなわち、流体解析ソルバーは、不適切なパラメータが入力された場合、計算が始まる前に実行がストップします。例えば、パラメータ IMODEL を 5 と指定する(コントロールパラメータの詳細については 5.1 節を参照してください。)と、この値は 0, 1, 2, 3 のどれかでなければならぬので、プログラムの実行はストップします。しかしながら、設定ミスの種類によってはソルバーに判断がつかないものもあります。例えば、間違ったファイル名を指定した場合には、プログラムはストップせずに動き続けます。それゆえに、適切でない計算結果が出力されたときは、他の原因を考える前に注意深く設定パラメータを検討することを推奨します。表 21.4, 21.7 に各パラメータのデフォルト値を示します。

6.3.3 出口境界における逆流

コントロールパラメータの単純な設定ミスがないことを確認した後にも問題が解決しない場合には、出口境界における逆流が生じている可能性を検討してください（もし計算領域に出口境界が存在しないならば、逆流の可能性の検討は必要ありません。）。出口境界で逆流が起こり始めると、初期設定では逆流の成長を止める処理は何もなされないので、逆流は非物理的に成長を続けます。出口境界近傍での流れ場を見ることで、逆流を容易に確認できます。本システムは流れ場を可視化するための独自の機能を備えていないので、他の可視化ソフトウェア（FIELDVIEW、TECPLOT、Micro/AVS）を用いて流れ場の可視化を行います。可視化のためのデータ変換のためのプログラムについては、22章を参照してください。

逆流を防止するためには、二つの解決方法があります。一つは計算領域を広げることです。計算領域を広げることで逆流の問題が解決した例を図 6.20 に示します。出口境界では、traction-free 条件を課しているために、計算領域が十分広くないと逆流が生じます。どの程度の計算領域の広さが必要になるかは解くべき問題に依存します。

二つ目の逆流防止策は、zero-reverse flow の機能を使うことです。この機能を使うと、出口境界における逆流の速度成分は強制的にゼロにセットされます。この機能の使用は、解析条件ファイルにて設定することができます。詳細は 21.2.5 節を参照してください。

逆流を防止する方法としては、計算領域を広げるよりも zero-reverse flow 機能を使う方が容易であります。計算領域を広げる場合は、計算格子を修正する必要がありますが、zero-reverse flow 機能は解析条件ファイルを編集するだけで、使用可能です。しかしながら、まずは計算領域を広げることを推奨します。なぜならば、十分な計算領域を持たない場合に速度の逆流成分をゼロにセットすると、出口境界において流体に力を加えることになり、これにより非物理的な流れ場となることがあるからです。

最後に逆流による発散を避ける方法を以下にまとめます。

- 計算領域を拡張する。
- 逆流ゼロセット機能を使用する。（21.2.5 参照）

6.3.4 CFL 条件

流れ場の発散の原因として、Courant-Friedrichs-Lowy (CFL) 条件の破綻は逆流と同様に典型的です。陽解法による計算を安定に実行するためには CFL 条件は常に満足されなければなりません。CFL 条件は以下の式で表されます。

$$\alpha = U \Delta t / \Delta$$

ここで、 U 、 Δt 、 Δ はそれぞれローカルな速度の絶対値、時間刻み、ローカルなグリッド長です。流体解析ソルバーは GF 履歴ファイルとして、発散の最大値を出力します。CFL 条件の破綻が起こると流れ場は突然発散するので、発散の最大値も突然増加します。ユーザーは GF 履歴ファイルをチェックすることで、発散の原因が CFL 条件の破綻にあることを確認することができます。図 6.21 に流れ場の発散の最大値が突然増加すると共に流れ場が発散する例を示します。GF 履

歴データはプログラム hscat でを扱うことができます (hscat の使用方法は 18 章を参照してください。)。並列計算を実行した場合には GF 履歴データはそれぞれのプロセッサにより出力されます。その場合、hscat を使う前に出力ファイルを一つにまとめる必要があります。並列版プログラム les3c.mpi(または les3ct.mpi、les3d.mpi) により出力される GF 履歴データファイルを一つにまとめるためには、プログラム hsmrg(hsmrgi) を使います。プログラム hsmrg(hsmrgi) の使用方法は 18 章を参照してください。

CFL 条件の破綻を避けるためには、三つの方法が考えられます。最初の方法は、計算格子を修正することです。速度スケール U と時間刻み Δt から、CFL 条件を保つための最小格子サイズ Δ_{min} は以下のように決まります。

$$\Delta_{min} > U \Delta t$$

使用している計算格子サイズがこの条件を満たさない場合は、格子を修正しなければなりません。後述するように、時間刻みを小さくすることによって上記式を満たすこともできますが、この場合計算ステップ数が増えるため計算コストが非現実的に大きくなることがあります。使用している計算格子の最小サイズは、プログラム chknd で確認することができます (chknd の使用方法は 18 章を参照してください。)。

二番目の方法は、運動方程式に陰解法を適用することです。陰解法を用いる場合には CFL 条件が満たされる必要はありません。しかしながら、極端に時間刻みを大きくすることは適切ではありません。ソルバー開発時に行った基礎検証の結果、計算精度を保つためには CFL 数 α が 5 以下になるように、時間刻みを選ぶのが適当であることがわかっております。CFL 数が 5 以上の計算では、精度と安定性が保証できません。陰解法を利用するには、les3c における計算の際にコントロールパラメータ IFORM を 3 または 4 とします (コントロールパラメータの設定については 5.1 節を参照してください。)。なお les3d においては陰解法の使用はできません。また、四面体要素用のソルバー les3c では、陰解法のみをサポートします。

最後の方法は最も簡単で、時間刻みを小さくすることです。計算の発散の原因が CFL 条件の破綻にあることが分かった場合に、単純に時間刻みを小さくすることは避けるべきです。刻み幅を変更する前に、chknd を用いて最小格子サイズを確認して、およそその時間刻み幅の見当をつけることを推奨します。

最後に CFL 条件の破綻を避ける方法を以下にまとめます。

- 計算格子の修正
- 運動量方程式の数値解法に陰解法を使用する
- 時間刻みを小さくする

6.3.5 不適切なコントロールパラメータの設定

前節までに計算の発散 (または非物理的な結果) のいくつかの典型的な原因を説明しました。本節では、計算の発散や不適切な結果を導きうる他の要因を説明します。

Fractional-Step 法 (les3c) のコントロールパラメータ

流体解析ソルバー les3c では、圧力方程式の解法に fractional-step 法が適用されていると同時に低マッハ数近似がなされています。低マッハ数近似により非圧縮性流体のソルバーにおいて圧縮性を考慮することが可能となります。低マッハ数近似はキャビテーション流れを計算するのに適用されます。またこれにより、圧力方程式のエラーを緩和することができます。特に、オーバーセット境界を含む計算を行う場合、オーバーセット境界で行う補間処理において圧力方程式を厳密に満たすことができないので、この数値エラーに起因する圧力振動を避けるため、数値エラーの緩和が必要となります。

低マッハ数近似を用いることで計算領域に圧力波が発生します。それゆえに発生した圧力波と計算境界との相互作用が問題となる場合があります。典型的な解析例として、図 6.23、6.24 に、NACA0015 翼周りの流れ場の計算結果を示します。この場合、圧力が時間的かつ空間的に非物理的に振動しています。これは入口境界と翼の間の距離が十分でないために、翼で発生した圧力波が、減衰しないまま、入口境界に到達してしまうために起こっています。したがって、この問題を避ける唯一の可能な方法は計算領域を広げることです。実際、図 6.23 の右図に示す通り、領域を広げることにより非物理的な圧力振動を解消することができます。また、無反射境界の適用することも有効な手段です (6.4 節参照)。

境界条件の時間方向の緩和 (les3d/les3c)

5.1 節で述べたように、本システムは流体に急激な加速がかかり、これにより場が振動することを避ける機能をサポートします。流体解析ソルバーによる計算では、慣性力、入口速度、角速度、moving wall の速度等、流れを駆動する全てのパラメータに、計算のはじめから指定した値がセットされるのではなく、指定した値に徐々に近づくよう設定されます。パラメータ TFINAL がこの機能を制御しています。(パラメータ TFINAL の詳細は 5.1 節を参照してください。)。TFINAL を 0 に指定するとこの機能は働きません。TFINAL は 1.0 ~ 3.0 に指定することを推奨します。本機能によって、計算の初期段階で発生することがある非物理的な振動を避けることができます。初期段階で発生する振動は計算を発散に導く可能性もあり、また減衰せずに残ることで計算結果を汚染することも考えられます。

行列ソルバーの不安定性 (les3c)

流体解析ソルバー les3c は、連続の式を解くために Bi-CGSTAB 法のソルバーを実装しています。連続の式を説くために Bi-CGSTAB 法を用いた場合、問題が生じる場合があります。具体的には行列ソルバーの残差が突然増加し、流れ場が非物理的なものとなり最悪な場合には計算が発散します。これは行列ソルバー自身の不安定性が原因であります。この問題は低マッハ数近似を用いない場合(一般に行列方程式が解きにくくなる)に起こる傾向にあります。行列ソルバーの安定性を保つために、代わりの行列ソルバーとして Residual Cutting Method (RCM) が利用できます。RCM を使う場合には行列ソルバーの安定性は保証され、行列ソルバーの不安定性によって起こる問題は回避できます。しかしながら計算コストが約 10% 増加します。les3c において低マッハ数近似を用いない計算を行う場合には、RCM を使うことを推奨します。連続の式を解くための行列ソルバーは

デフォルトで RCM となっています。ソルバーの変更は解析条件ファイルにおいて指定することができます。指定方法は 21.2.5 節を参照してください。

ABMAC 法 (les3d) のコントロールパラメータ

流体解析ソルバー les3d では、圧力方程式の解法に ABMAC 法を採用しています。以下に示す二つのパラメータが ABMAC 法のコントロールパラメータです。(les3d のコントロールパラメータに関しては 5.1 節を参照してください。)。

- ALF: 緩和係数
5.1 節に示すように、緩和係数 ALF は指定した時間刻み幅の 2 倍よりも小さくしなければなりません。
- NMAX: 繰り返し数
連続の式の解法の精度は繰り返し数 NMAX に依存します。推奨する値は 40 ~ 50 です。これより小さい値を用いた場合、ある計算ケースでは問題が生じます。図 6.22 に流れ場の中の円柱に働く抗力の時系列データを示します。この計算ケースにおいては、非物理的な圧力波が伝播し抗力係数が非物理的な振動を起こしています。設定した NMAX の値は 20 です。この結果は圧力方程式を解く際のエラーが原因であり、NMAX を大きくすることで回避することができます。実際、NMAX を 50 と設定することで非物理的な圧力波の伝播は取り除かれました。

```
** WRITING HISTORY DATA **

GFHIST: WRITING      HISTORY DATA
FILENAME      = HISTORY.PO001

FILE COMMENT 1: NACA0015 ATK8 RE=12E5
FILE COMMENT 2: TIME HISTORY DATA
FILE COMMENT 3:      TIME: 1.60000D+01 - 2.40000D+01
FILE COMMENT 4:      STEP:     80000 - 120000

SET COMMENT 1: TIME
SET COMMENT 2: MAXIMUM DIVERGENT
SET COMMENT 3: AVERAGE ELEMENT EDDY VISCOSITY
SET COMMENT 4: ITERATIONS DONE FOR PRESSURE EQUATION
SET COMMENT 5: L2-NORM RESIDUAL OF PRESSURE EQUATION
SET COMMENT 6: FLUID FORCE ACTING IN X DIRECTION
SET COMMENT 7: FLUID FORCE ACTING IN Y DIRECTION
SET COMMENT 8: FLUID FORCE ACTING IN Z DIRECTION
SET COMMENT 9: VELOCITY-U ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 10: VELOCITY-V ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 11: VELOCITY-W ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 12: PRESSURE ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 13: LIQUID FRACT.; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
** WRITING ** TIME HISTORY DATA ; NTIME = 40000
                           NHST = 13
GFHIST: SUCCESSFULLY RETURNING

DONE!

** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

Figure 6.18: les3c のログファイルの最後の部分 (正常終了時)

```
** WRITING HISTORY DATA **

GFHIST: WRITING      HISTORY DATA
FILENAME      = HISTORY.PO001

FILE COMMENT 1: NACA0015 ATK8 RE=12E5
FILE COMMENT 2: TIME HISTORY DATA
FILE COMMENT 3:      TIME: 3.25731E+01 - 3.25731E+01
FILE COMMENT 4:      STEP:     171461 - 171461

SET COMMENT 1: TIME
SET COMMENT 2: MAXIMUM DIVERGENT
SET COMMENT 3: AVERAGE ELEMENT EDDY VISCOSITY
SET COMMENT 4: ITERATIONS DONE FOR PRESSURE EQUATION
SET COMMENT 5: L2-NORM RESIDUAL OF PRESSURE EQUATION
SET COMMENT 6: FLUID FORCE ACTING IN X DIRECTION
SET COMMENT 7: FLUID FORCE ACTING IN Y DIRECTION
SET COMMENT 8: FLUID FORCE ACTING IN Z DIRECTION
SET COMMENT 9: VELOCITY-U ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 10: VELOCITY-V ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 11: VELOCITY-W ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 12: PRESSURE ; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
SET COMMENT 13: LIQUID FRACT.; X= 0.50000 Y= 0.50000 Z= 0.50000
** WRITING ** TIME HISTORY DATA ; NTIME = 40000
                                NHST = 13
GFHIST: SUCCESSFULLY RETURNING

DONE!

** LES3C: TERMINATED **
```

Figure 6.19: les3c のログファイルの最後の部分 (計算発散時)

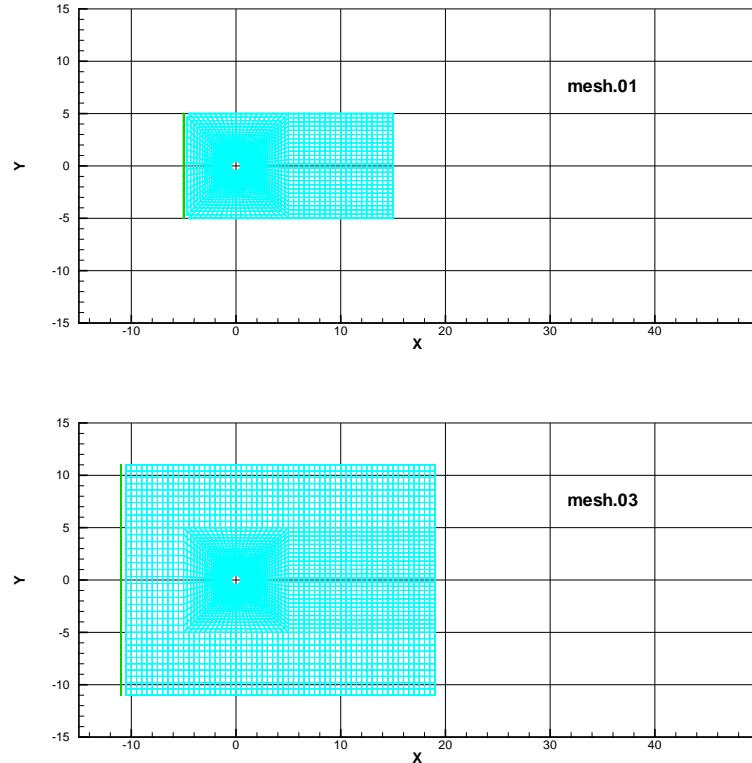


Figure 6.20: 円柱まわり流れ解析に用いた計算格子 (図中の左端が流入条件), (上: 領域が小さいため逆流が生じた. 右:領域が大きいため逆流は生じなかつた.)

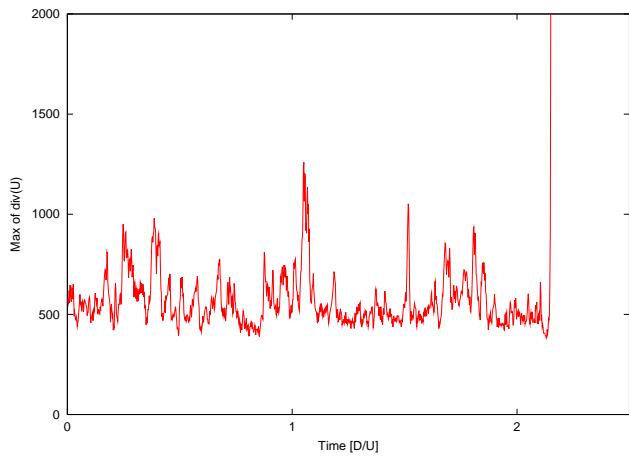
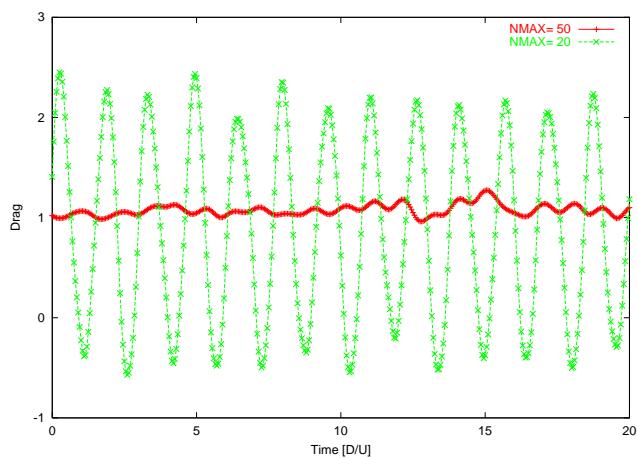
Figure 6.21: 流れ場が発散した場合の $(\frac{\partial u_i}{\partial x_i})$ の時間履歴

Figure 6.22: 円柱にかかる抵抗係数の時間履歴

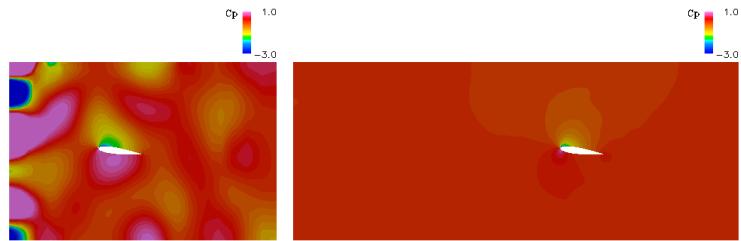


Figure 6.23: 2 次元翼 NACA0015 周り流れにおけるミッドスパン平面内の圧力分布 (図中の左端が流入条件), (左: 入り口と翼が近すぎるため圧力振動が生じた . 右:入り口と翼の距離を十分とったので振動は生じなかった.)

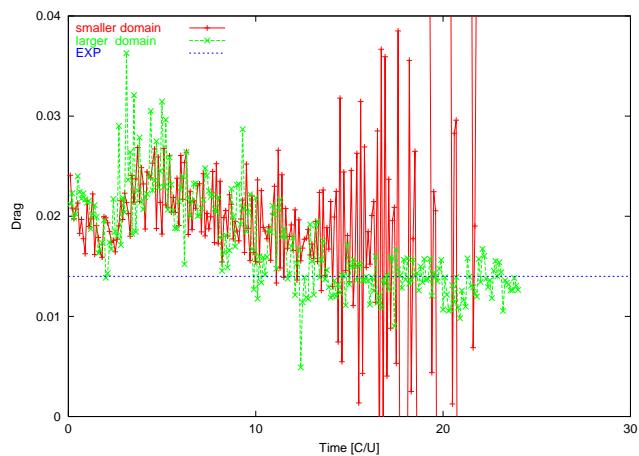


Figure 6.24: 2 次元翼 NACA0015 にかかる抵抗係数の時間履歴

6.4 境界条件のオプション機能

流体解析ソルバー les3c では、2つのオプション境界条件機能をサポートしています。1つ目は対流流出境界条件であり、自由境界における非物理的な流れ場を避けることができます。特に、旋回流れや渦が自由境界近傍に存在する場合を扱うのに効果的です。2つ目は無反射境界条件であり、低マッハ数近似を用いる場合に圧力波が境界で非物理的に反射するのを避けるために使われます。

6.4.1 対流流出境界条件

非圧縮性流れにおける出口境界面において、トラクションフリーおよび圧力ゼロ設定をすることは計算領域を十分広くとれる場合には全く問題がありません。しかしながら、ある条件のもとでは問題が生じる場合があります。例えば、出口境界において流速に旋回成分がある場合、半径方向の圧力勾配のために、圧力ゼロの境界条件の設定では矛盾することになります。そのような問題に対処するために対流流出境界条件が用意されています。

対流流出境界条件においては、出口境界面における対流速度は空間的に一様であると仮定されますが、時間的な変化は許されます。対流流出境界条件により、渦は出口境界面を滑らかに通過することができます。出口境界面における対流速度はプログラムの中で自動的に計算されるため、ユーザーが陽に指定する必要はありません。現バージョンでは、出口境界面が一つである解析ケースのみをサポートしています。

対流流出境界条件は、解析条件ファイルにおいてキーワード #BC_NRBC を指定し、引数 "INRBC" を 2 とすることにより有効になります。対流流出境界条件は、非圧縮性流れの場合またはマッハ数が十分小さい場合（パラメータ "EPSM" より小さい場合）にのみ有効であることに注意してください。キーワード #BC_NRBC や #BC_EPSM に関連したオプション機能の設定方法の詳細については 21.2.5 節を参照してください。

対流境界条件機能は、渦が通過する出口境界面において有効です。出口境界面で旋回速度成分がある場合は、対流境界条件は圧力ゼロの境界条件よりもはるかに有効です。渦が自由境界面を通過しない場合には、その境界面で一様な対流速度を定義できません。そのような場合には、局所速度を対流速度として用い、自由境界においては圧力勾配ゼロの条件を使用します。その場合、引数 "INRBC" を 1 に設定します。

対流境界条件を使用する場合、領域全体の圧力がずれることができます。本システムでは、この問題を避けるために圧力の参照点を設定します。時間ステップ毎に参照点における圧力の値を各点における圧力から差し引く処理をします。デフォルトの設定では、出口境界面における平均圧力を参照圧力として用います。ユーザーが適当な圧力の参照点を設定する場合には、キーワード #BC_PREF で表されるオプション機能を使用します。オプション機能の詳細は 21.2.5 節を参照してください。対流境界を設定した場合の計算コストは、圧力ゼロ境界条件の場合と比較してほぼ同じであります。

計算例を図 6.25 にします。ここでは、円管内を流れる旋回流に対する対流境界条件の効果をテストしています。図 6.26 は、 $x=0$ 平面での圧力分布です。図 6.26 左の出口境界面での圧力ゼロの場合には、出口境界近傍において、圧力分布

が明らかに非物理的なものとなります。対流境界を用いた図 6.26 右では、領域全体において妥当な圧力分布となります。

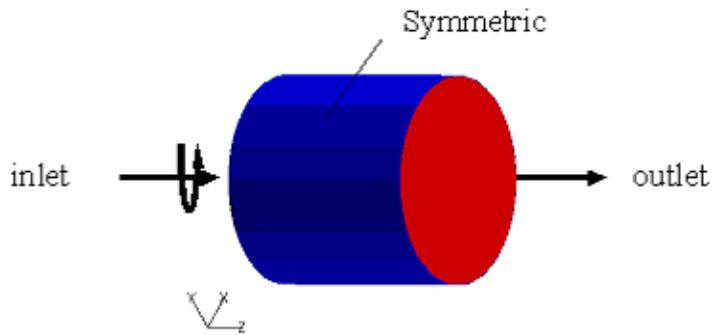


Figure 6.25: Computational model of inviscid pipe flow

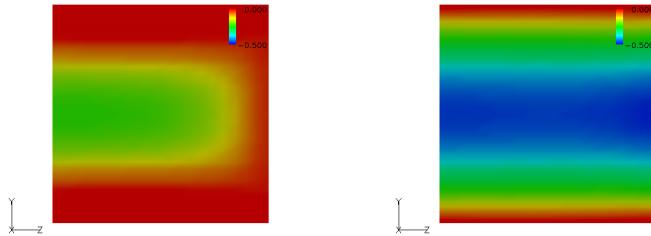


Figure 6.26: Pressure distributions at $x=0$ plane in inviscid pipe flow , 左:压力 0 セット, 右:対流境界

6.4.2 無反射境界条件

本コードは基本的に非圧縮流体を扱いますが、低マッハ数近似が必要となる場合があります。例えばキャビテーション流れの解析が、その一例です。この場合、弱圧縮性が許容され、その結果圧力波が発生します。圧力波が入口境界または出口境界に到達した際に、境界条件の設定が適切でないと非物理的な反射が起こります。このような問題を回避するためには、無反射境界条件を使用するのが有効です。

無反射境界条件のために現バージョンでは近似手法を用いています。すなわち Okita et al. (2002)¹¹によって提唱されている圧力に関する準対流条件 (quasi-convective condition) です。本手法では、速度成分と圧力を 2 つの部分 (非圧縮

¹¹大阪大学学位論文 数値シミュレーションによる非定常キャビテーション流れに関する研究

性部分と圧縮性部分)に分けます。非圧縮性部分は 6.4.1 節で説明した手法で扱い、圧縮性部分を準対流条件で扱します。

無反射境界条件の設定は、次の 3 つの条件を満たすときに有効になります。すなわち、

1. 低マッハ数近似の使用
2. マッハ数が最小マッハ数 "EPSM" よりも大きい
3. パラメータ "INRBC" が 1 か 2 に設定されている

を満足する場合です。パラメータ "EPSM" と "INRBC" はキーワード #BC_EPSM と #BC_NRBC、またそれらの引数を指定することで設定できます。無反射条件の機能を使用する場合には、パラメータ "INRBC" を 1 とすることを推奨します。オプション機能のパラメータに関する詳細は、21.2.5 節を参照してください。

本バージョンでは、無反射境界条件を用いる場合には、計算の安定性を上げるために圧力方程式にオイラー陰解法を導入しています。また、対流境界条件の設定で行ったように、領域全体で圧力のずれが生じるのを避けるために圧力の参照点を設定する必要があります。

本バージョンにおける無反射境界条件の扱いは、厳密な方法ではありません。無反射境界条件を使用する場合には、入口境界と出口境界での計算格子の品質が良くなければなりません。また、両境界における流れ構造は単純である必要があります。流れ構造が複雑である場合には、バッファー領域を設けて複雑な流れを減衰させてから無反射境界条件の設定することを推奨します。無反射境界条件を用いると、10%から 20% 計算コストが増加します。どの程度増加するかは全節点数に対する入口境界の節点数と出口境界の節点数の比に依存します。

無反射境界条件の計算例を図 6.27 に示します。円柱周りの流れ解析であり、ミッドスパン平面における瞬時の静圧分布を描いたものです。本ケースでは、無反射境界条件を使わない場合、図 6.27 左に示されているように、入口境界面での圧力波により、入り口境界付近に発散が生じます。無反射境界条件を使うことで圧力波の反射を避けることができます。図 6.27 右に示した静圧分布から無反射境界条件が有効に機能していることが分かります。

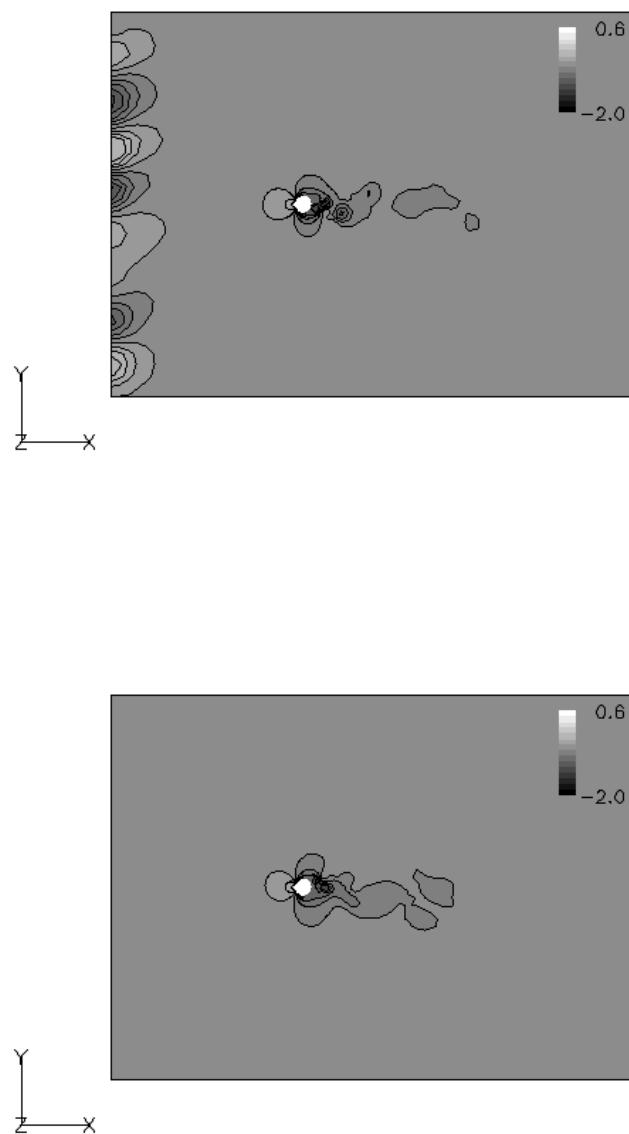


Figure 6.27: Effects of boundary conditions of pressure equation on instantaneous static pressure at mid-span plane for flow around a circular cylinder at $R_e = \times 10^5$ and $M=0.2.$, 上 : NRBC なし, 下 : NRBC あり

Chapter 7

オーバーセット計算

7.1 オーバーセット計算概要

本システムの流体解析ソルバーは、オーバーセット計算機能をサポートしています。オーバーセット計算とは、互いにオーバーラップする計算領域間で、情報を交換しながら流れ場を計算することにより、全体の流れ場を計算する手法です。オーバーセット計算は、以下の場合に有用です。

- 異なる座標系（マルチフレーム）を扱う場合
ターボ機械の内部流れ解析のように、計算領域に回転体を有する場合、静止系と回転系を同時に扱います。このようなケースでは、オーバーセット機能およびマルチフレーム機能の使用が必要となります。例として、内部に回転体をもつ曲がりパイプ内部流れで使用したオーバーセットメッシュを図 7.1 に示します。
- 異なる解像度のメッシュを使用する場合
乱流境界層を含む外部流れ解析では、解析領域の大部分において、ポテンシャル流れであるが、壁面のごく近傍のみ、流れ場のスケールが小さいので、全体の計算コストがおおきくなってしまいます。このようなケースでは、翼面近傍と境界層の外側に対して、別々のメッシュを作成し、オーバーセット計算することにより、計算コストを減らすことが可能です。例として、2 次元翼まわり流れを解析したオーバーセットメッシュを図 7.2 に示します。

本章では、図 7.1 に示すような、回転体を含む曲がりパイプの内部流れをチュートリアルデータとして説明します。

- 7.2 節：六面体要素ソルバーでのオーバーセット計算
- 7.3 節：四面体要素ソルバーでのオーバーセット計算
- 7.4 節：マルチ要素ソルバーでのオーバーセット計算

なお、マルチ要素ソルバーは本バージョン（ver.6.0）よりサポートする新機能です。

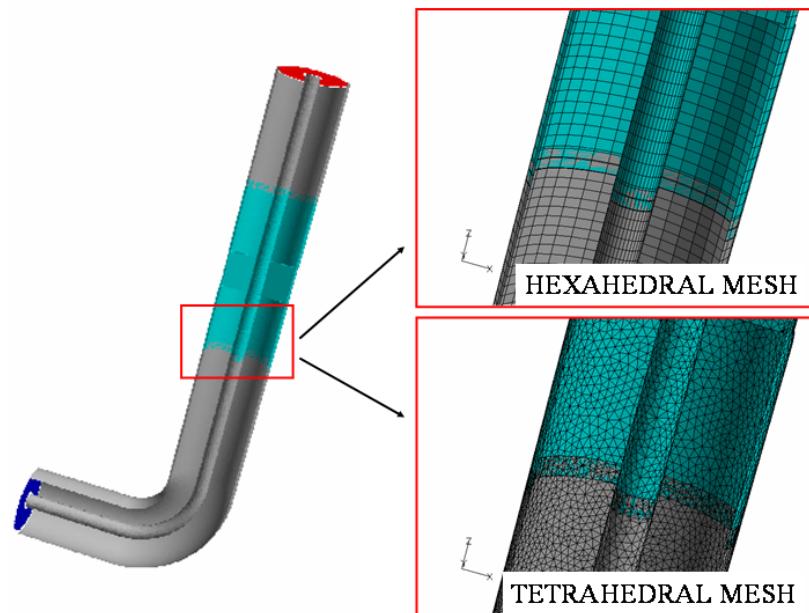


Figure 7.1: Sample data (1) of overset execution

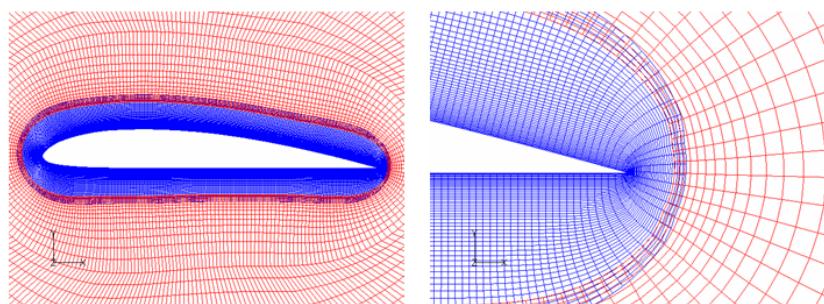


Figure 7.2: Sample data (1) of overset execution

7.2 オーバーセット計算(六面体)

本節では、回転体を有するパイプ内部流れ(図 7.3)の解析を六面体ソルバーを用いて行います。本システムにおいて、六面体要素を用いたオーバーセット計算をする手順を以下に示します。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイルへの変換
3. 境界条件データの編集
4. メッシュデータ及び境界条件データの結合
5. オーバーセットデータの作成
6. 座標系データの作成
7. 解析条件ファイルの作成
8. 可視化のためのデータ変換
9. 履歴データの編集

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

データフローを表 7.1 及び図 7.4 に示します。

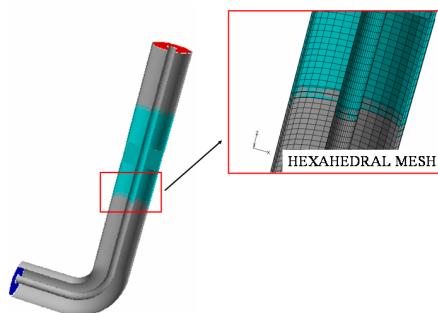


Figure 7.3: Computational models in this section

Table 7.1: data flow of overset computation (hexahedral mesh)

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------------|--|--------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (fva2gf6) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stack) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsi) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setdi) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 8 | 流れ解析の実行 (les3c) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 9 | フォーマット変換 (gffv3) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 10 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

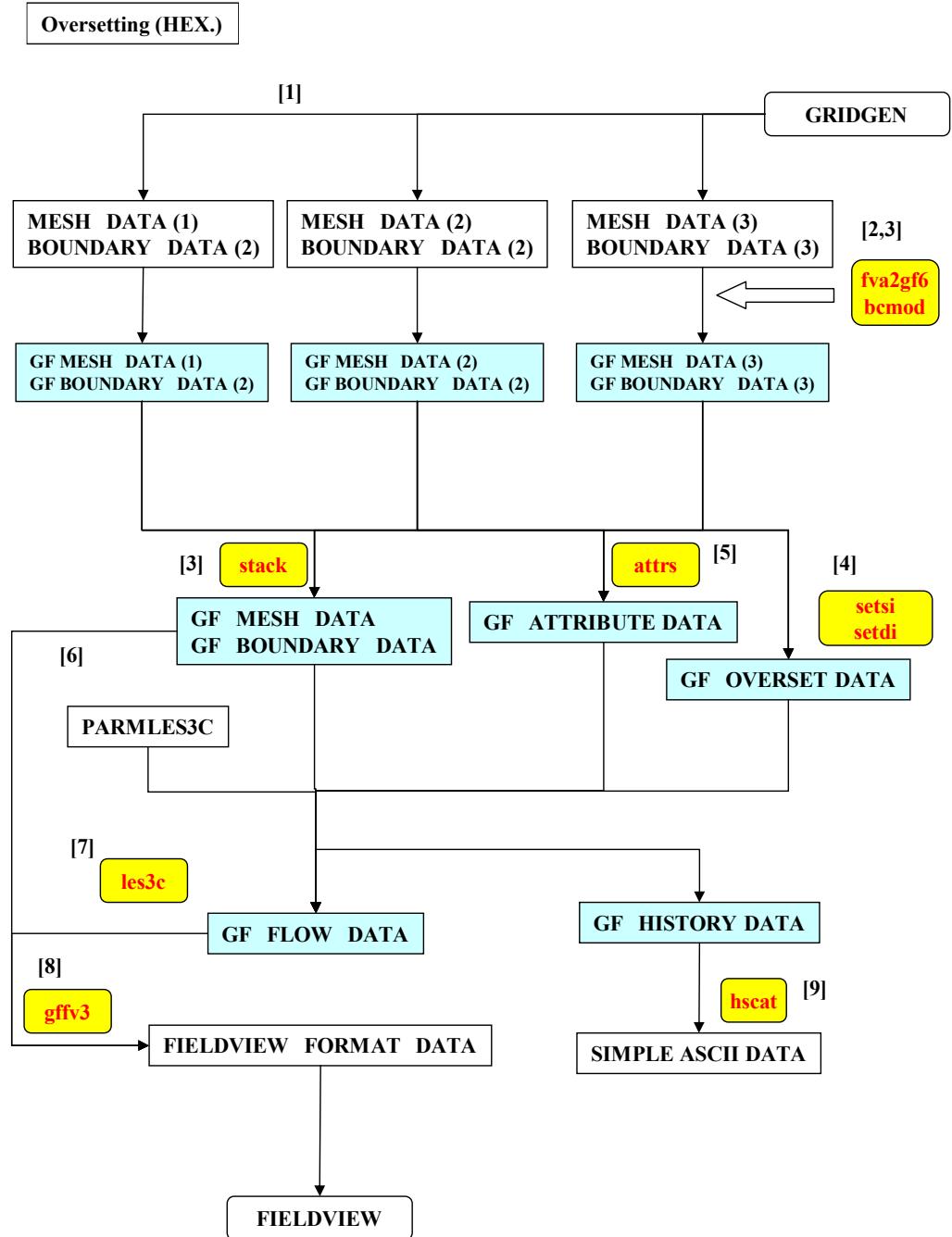


Figure 7.4: data flow of overset (Gridgen and FIELDVIEW are commercial softwares. Note that these softwares are not included in FrontFlow.Blue system.)

7.2.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本システムはマルチ要素（六面体、四面体、三角柱、ピラミッド）に基づくメッシュデータをサポートしますが、ここでは六面体のみのメッシュを使用します。境界条件としては流入境界、壁境界、移動壁境界、対称境界、周期境界等をサポートします。（メッシュデータ及び境界条件データの詳細は5章を参照してください。）

本システムメッシュデータの作成はサポートしていません。したがってユーザは他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョン'FFB'はGRIDGEN¹で作成したデータをサポートしています。（他のソフトウェアとの接続について20章を参照してください。）GRIDGENで作成されたデータはGFフォーマットデータに変換されます。（次節参照）。

本節では以下に示すような、3部分の計算領域を想定します（図7.5）。

- Frame A: 曲がったパイプ（図7.5：左）
- Frame B: 内部に障害物をもつまっすぐなパイプ（図7.5：中央）
- Frame C: まっすぐなパイプ（図7.5：右）

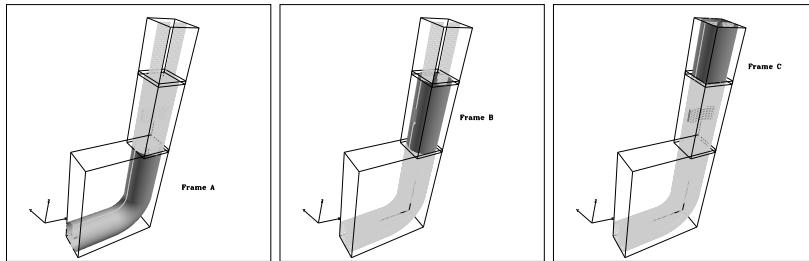


Figure 7.5: Each frame data used in this section

¹GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

オーバーセットする各領域に対応するメッシュデータおよび境界条件データは、独立に作成することができます。作成されたデータは流体解析ソルバー'les3c'の実行の前に結合され一組のメッシュデータ、境界条件データとして扱われます（7.2.4節参照）。またこれらの領域間の接続情報を含むオーバーセットデータも'les3c'の実行の前に作成されます（7.2.5節参照）。

オーバーセットデータは以下に示す情報に基づき作成されます。（図7.6参照）。

- 上流領域にオーバーセットされた下流領域に属する流入境界節点
- 下流領域にオーバーセットされた上流領域に属する自由境界節点

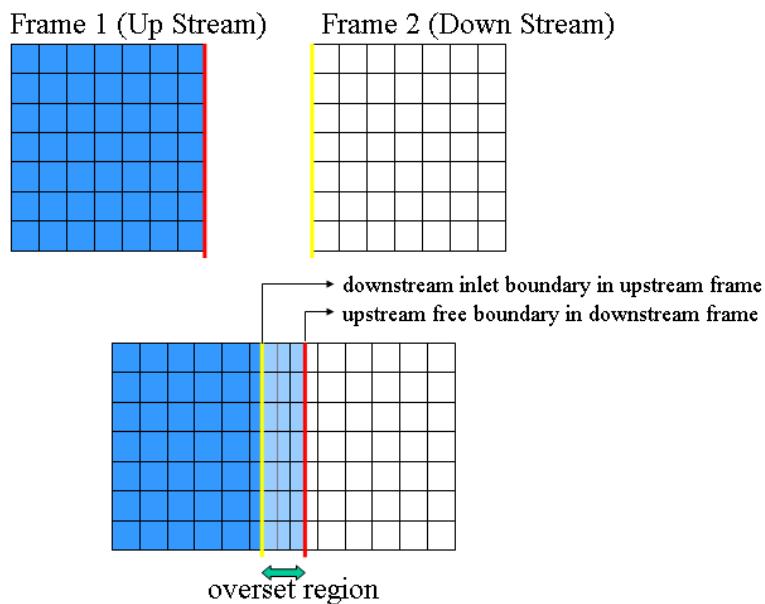


Figure 7.6: referred information to make overset data

本節で扱われるデータでは、以下に示す情報に基づきオーバーセットデータが作成されます(図 7.7 参照)。

- FrameB にオーバーセットされた FrameA に属する自由境界節点
- FrameA にオーバーセットされた FrameB に属する流入境界節点
- FrameC にオーバーセットされた FrameB に属する自由境界節点
- FrameB にオーバーセットされた FrameC に属する流入境界節点

したがってオーバーセット計算をする際には、オーバーセットデータ作成のために図 7.7 に示すダミーの境界条件を設定しておく必要があります。なおダミーの境界条件は境界条件を結合するさいには削除しなくてはならないことに注意してください。ダミーの境界条件の削除について、7.2.4 節において説明します。

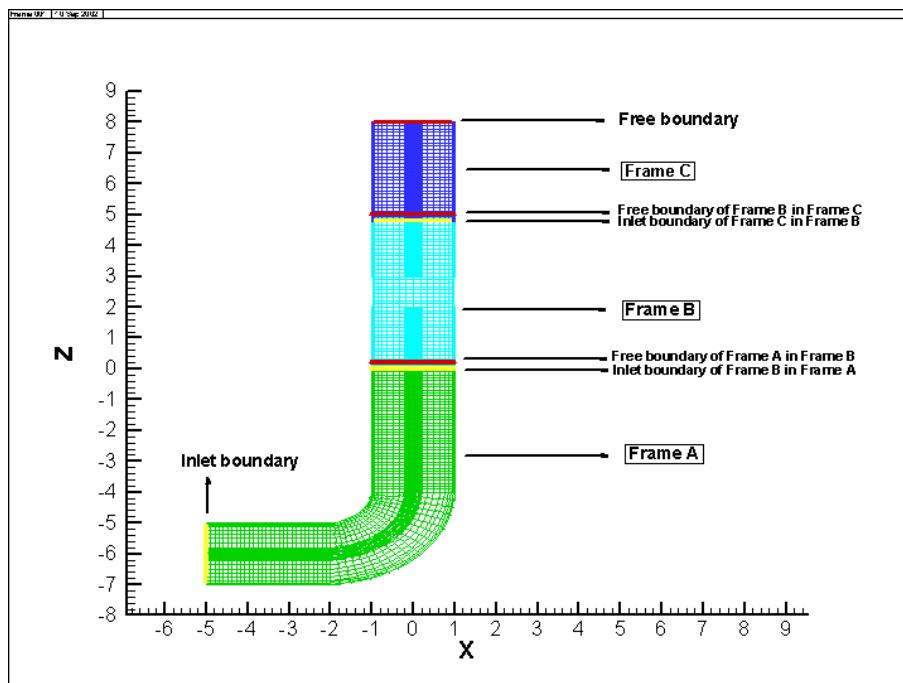


Figure 7.7: dummy boundary condition referred when stacking mesh data

7.2.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'fva2gf6'を使用することにより、GRIDGEN²で作成したデータをGFメッシュデータ及びGF境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'fva2gf6.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

fva2gf6.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRIDはGRIDGENで作成したファイル名、GF-MESH(GF-BOUN)は出力するGFメッシュ(境界条件)ファイルのファイル名です。

節6.1.2では1領域に対応するメッシュ(境界条件)データを作成しましたが、本節では、3領域に対応するデータを作成することに注意してください。ここでは、

fva2gf6.pl ../data0/PIPE.A.grd MESH.01 BOUN.01.D
fva2gf6.pl ../data0/PIPE.B.grd MESH.02 BOUN.02.D
fva2gf6.pl ../data0/PIPE.C.grd MESH.03 BOUN.03.D

とすることにより、GFメッシュファイル(MESH.01、MESH.02、MESH.03)およびGF境界条件ファイル(BOUN.01.D、BOUN.02.D、BOUN.03.D)が作成されます。なお、周辺プログラム'fva2gf6'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.1節を参照してください。

²GridgenはPointwise Inc.社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

7.2.3 境界条件データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、前節で作成した境界条件データに対し、以下に示す処理を実行する方法を示します。

- 重複する境界条件の削除
- オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除
- 入り口境界速度の指定
- 壁面移動速度の指定

これらの処理は、いずれも周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト(bcmmod.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本ケースの場合、まず以下のコマンドにより、境界条件の重複を削除します³。

```
bcmmod.pl -rd MESH.01 BOUN.01.D BOUN.01.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.02 BOUN.02.D BOUN.02.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.03 BOUN.03.D BOUN.03.DD
```

³境界条件の重複に関しては 6.1.3 を参照してください。

この後に、ここで作成された境界ファイル (BOUN.01.DD、BOUN.02.DD、BOUN.03.DD) に対し、オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除をするとともに、流入速度および壁面回転速度を指定します。具体的なコマンドは以下のとおりです。

```
bcmod.pl -rm fr      MESH.01 BOUN.01.DD tmp1
bcmod.pl -in 1 0 0   MESH.01                 tmp1      BOUN.01
bcmod.pl -rm fr      MESH.02 BOUN.02.DD tmp1
bcmod.pl -rm in       MESH.02                 tmp1 tmp2
bcmod.pl -mw1 -0.1   MESH.02                 tmp2 BOUN.02
bcmod.pl -rm in       MESH.03 BOUN.03.DD      BOUN.03
rm -f tmp1 tmp2
```

上記のスクリプトが、各境界ファイルに対して行う処理をまとめると以下のようになります。

- Frame-A の境界：
ダミー境界である自由境界を削除し (1 行目)、流入速度を指定します (2 行目)。
- Frame-B の境界：
ダミー境界である自由境界、流入境界を削除し (3、4 行目)、壁面移動速度を指定します (5 行目)。壁面移動速度は、オプション'-mw1' に続き、無次元角速度を指定します。Frame-B の境界の壁面は、静止系でとまっているので、回転系からみて、逆方向の角速度をもちます。
- Frame-C の境界：
ダミー境界である流入境界を削除します (6 行目)。

7.2.4 メッシュ、境界条件データのスタック

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'stack'を用いて、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュ(境界)ファイルをひとつのメッシュ(境界)ファイルにスタックします。境界条件ファイルをスタックする際には、前節で作成したダミー境界なしの境界ファイルを使用することに注意してください。本プログラムには、起動スクリプト(*.pl)が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

stack<<EOF
2
MESH.01          : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01          : Frame-A の境界ファイル名
0.0,0.0,0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.02          : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02          : Frame-B の境界ファイル名
0.0,0.0,0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.03          : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03          : Frame-C の境界ファイル名
0.0,0.0,0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
                  : リターン入力により、入力情報の指定を終了させる。
MESH             : 出力するメッシュファイル名
BOUN             : 出力する境界ファイル名
1                : 1を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもしくはメッシュ名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ⁴において以下のコマンドを実行してください。

./script/go.stack

これにより、計算領域全体が含まれるGFメッシュファイル(MESH)およびGF境界ファイル(BOUN)が作成されます。

⁴'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

7.2.5 オーバーセットデータファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

オーバーセット計算に必要な情報（オーバーセットデータ）は、流体解析ソルバーの実行の前に、作成しておく必要があります。

オーバーセットデータは GF オーバーセットファイルに格納されますが、オーバーセットファイルには、静的オーバーセットファイルおよび動的オーバーセットファイルの 2 種類があります。静的オーバーセットとは、計算中にオーバーセットデータが変わらないことを意味します。一方、動的オーバーセットでは、計算の途中でオーバーセットデータが変わっていきます。ターボ機械内部流れ解析における制止系と回転系では、時間とともに領域の位置関係がかわりますので、動的オーバーセットが必要となります。

本節では、オーバーセットデータの作成方法について説明します。静的オーバーセットデータ、動的オーバーセットデータの作成では、使用する周辺プログラムが異なります。ここでは、静的、動的の順にその作成方法を説明します。

静的オーバーセットデータは周辺プログラム'setsi' を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した 3 種類のメッシュおよび境界ファイルが必要です。境界条件ファイルには 7.2.1 節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。すなわち、7.2.3 節においてダミー境界を削除する前の境界ファイルを入力しなくてはなりません。本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

setsi<<EOF
3          : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
MESH.01    : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D  : Frame-A の境界ファイル名
MESH.02    : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D  : Frame-B の境界ファイル名
MESH.03    : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D  : Frame-C の境界ファイル名
OVER       : 出力する GF オーバーセットファイル名
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
1          : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ⁵ において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setsi
```

これにより、静的 GF オーバーセットファイル (OVER) が作成されます。

⁵'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

動的オーバーセットデータは周辺プログラム'setdi' を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した 3 種類のメッシュおよび境界ファイルのほか、静的オーバーセットファイルが必要です。周辺プログラム setdi は、静的オーバーセットデータを初期値として入力し、入力されたコントロールパラメータに従い、回転系のメッシュを回転させながら、オーバーセットデータを作成しファイルに格納します。境界条件ファイルには、静的オーバーセットファイルを作成した時と同様に、7.2.1 節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。

本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

setdi<<EOF
3          : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
2000 0.0 3.1416E-2 10 : NTIME、TINIT、DT、INTSV :意味は後で説明する。
MESH.01    : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D  : Frame-A の境界ファイル名
0,0,0,0    : Frame-A の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.02    : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D  : Frame-B の境界ファイル名
0,0,0,0.1  : Frame-B の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.03    : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D  : Frame-C の境界ファイル名
0,0,0,0    : Frame-C の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
OVER.DYN   : 出力する静的 GF オーバーセットファイル名
OVER       : 入力する動的 GF オーバーセットファイル名
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
1          : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ⁶において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setdi
```

これにより、動的 GF オーバーセットファイル(OVER.DYN)が作成されます。

⁶'LESS3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

周辺プログラム' setdi' に関する注意事項:

- スクリプトにおけるコントロールパラメータの意味は以下のとおりです。
 - NTIME: 総時間ステップ
 - TINIT : 初期時刻
 - DT : 時間刻み
 - INTSV : オーバーセットデータ出力インターバル
 - U,V,W: 各領域 (座標系) の移動速度
 - OMEGA: 各領域 (座標系) の回転角速度 (z 方向)
- オーバーセットデータは指定された'INST' ステップ毎に出力されます。一方、流体解析ソルバー'les3c' は'JSET'⁷ ステップ毎にオーバーセットデータを入力します。したがって両者の間には以下の関係がなりたつていなければなりません。

$$dt_{setdi} \times INST = dt_{les3d} \times JSET$$

ここで dt_{setdi} , dt_{les3d} それぞれのプログラム' setdi' , 'les3c' で指定される時間刻みです。

- 回転系を含む計算を行う場合、一回転に相当する動的オーバーセットデータファイルを作成しておくことを推奨します。複数回転の解析を行う場合は、流体解析プログラムのリスタート機能を使用します⁸。一回転に相当する動的オーバーセットデータを作成するためには以下の関係がなりたつている必要があります。

$$dt_{setdi} \times NTIME \times \Omega = 2\pi$$

- 参考のため、実際に本節のデータに対してセットされたパラメータを以下にします。

- NTIME= 2000 [-]
- TINIT = 0.0 [T]
- DT = 3.141592E-02 [T]
- INTSV = 10 [-]
- U,V,W, Ω of frame A = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.0 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame B = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.1 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame C = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.0 [rad/T]

ここで T、L はそれぞれ時間および空間の特徴的スケールです。

⁷'JSET' は解析条件ファイル (PARMLES3D) で指定されるパラメータです。詳細は 5 章を参照してください。

⁸リスタート計算を行う場合は、解析条件ファイル (PARMLES3C) のパラメータ'ISTART' を 1 にセットしてください。詳細は 5 章を参照してください。

7.2.6 座標系データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'
```

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本ケースのように、静止系と回転系を同時に扱うマルチフレーム計算では、各領域がどの座標にいるかを指定する座標1系データを作成する必要があります。座標系データは、周辺プログラム'attrs'を用いて作成します。入力ファイルは、各領域に対して、別々に作成した3種類のGFメッシュファイルで、出力ファイルはGF座標系ファイル(5.2.8節参照)です。本プログラムには、起動スクリプト'attrs.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

```
attrs.pl GF-MESH-LIST FRAME-NUM-LIST GF-ATTR
```

ここで、GF-MESH-LISTは入力するGFメッシュファイルのファイル名リストで、複数のファイル名を指定することができます。FRAME-NUM-LISTは、各領域の座標系を表すリストで、入力する領域と同じ数を指定します。座標系は0もしくは-1のどちらかを指定します。静止系に対しては0、回転系に対しては-1を指定してください。最後のGF-ATTRは出力するGF座標系ファイルのファイル名です。

ここでは、

```
attrs.pl MESH.01 MESH.02 MESH.03 0 -1 0 ATTR
```

とすることにより、GF座標系ファイル(ATTR)が作成されます。上記スクリプトにおいて、Frame-B(2番目のデータ)に対してのみ、回転系(-1)を指定していることに注意してください。なお、周辺プログラム'attrs'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.6.1節を参照してください。

7.2.7 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3C)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

解析条件ファイル (PARMLES3C) を作成します。本ファイルの詳細は 5.1 節を参照してください。本ケースで使用する解析条件ファイルのサンプルを図 7.8 にします。図 7.8 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.01/RES.01'

基本機能の章で示した解析条件 (図 6.5) とは、以下に示す点において異なっています。

- JSET が非 0
これにより、オーバーセット計算機能がオンになります。この場合、'les3c' は JSET ステップ毎にオーバーセットデータを読み込みます。
- GF オーバーセットファイル名の指定
オーバーセット計算機能がオンであるため、GF オーバーセットファイル名が指定されています。
- NFRAME が-1
これにより、マルチフレーム機能がオンになります。この場合、'les3c' は GF 座標系データを読み込みます。
- GF 座標系ファイル名の指定
マルチフレーム機能がオンであるため、GF 座標系ファイル名が指定されています。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      4      0     -1      20
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0    0.0    0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2 6.283E-02 0.1
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6 200 1.0E-6 10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    3000   0    10.0   0.0   0.0   0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0      0    0.0    0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1    -4.5   0.0   -6.5
        1    -3.5   0.0   -6.5
        1    -2.5   0.0   -6.5
        3     0.5   0.5    1.5
        3     0.5   0.5    2.5
        3     0.5   0.5    3.5
        3     0.5   0.5    4.5
        3     0.5   0.5    5.5
        3     0.5   0.5    6.5
#GIVE MESH DATA FILE
../../DATA/data2/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../DATA/data2/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE ATTRIBUTE DATA FILE
../../DATA/data2/ATTR
#GIVE OVERSET DATA FILE
../../DATA/data2/OVER
#END OF INPUT DATA
```

Figure 7.8: sample of PARMLES3C

7.2.8 流れ場の計算実行 (les3c)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行される
ことを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.02/RES.02'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.02/RES.03'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.02/RES.04'
```

本節の処理を実行する前には、ディレクトリ

```
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.02/RES.01'
```

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算では、オーバーセットする場所が時間とともに変化するので、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では、静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については、本節の最後で説明します。本チュートリアルでは、パイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.02'には、4個のディレクトリ RES.0[1,2,3,4] がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|--------|------------|
| RES.01 | 静的オーバーセット | 0~3 回転 | 速度 0、圧力 0 |
| RES.02 | 動的オーバーセット | 3~4 回転 | RES.01 の結果 |
| RES.03 | 動的オーバーセット | 4~5 回転 | RES.02 の結果 |
| RES.04 | 動的オーバーセット | 5~6 回転 | RES.03 の結果 |

各ディレクトリにおいて、

les3c

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.0[2,3,4] の計算は、RES.0[1,2,3] のリスタート計算なので、RES.01 から順に計算をしなければならないことに注意してください。

初期計算において静的オーバーセットデータを使用する理由

流体解析ソルバー'les3c'においては急激な加速による数値不安定をさけるため、流入速度、角速度、移動壁速度といった流れの駆動に影響を与える量に対して時間的な緩和を施します。すなわち、これらの量は以下に示す式にしたがって徐々に指定値に達します。

$$\text{Function} = 1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

ここで'TIME'は計算実行における時間であり、'TFINAL'は解析条件ファイル中の時間緩和に関するパラメータです。詳細は5章を参照してください。

周辺プログラム'setdi'は上記の時間緩和を考慮せず、角速度は一定であるとして動的オーバーセットデータを作成します。したがって、計算のはじめより時間緩和機能を用いると同時に、動的オーバーセットデータを参照すると矛盾が生じます。上記の問題を避けるため、動的オーバーセット計算をする際には、以下に示す二段階の計算を行う必要があります。

- STEP-1: 静的オーバーセット計算
緩和時間'TFINAL'より長い計算を行う必要があります。
すなわち計算時間を'TIME'とした場合、 $1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$ がほぼ1でなくてはなりません。
- STEP-2: 動的オーバーセット計算
(STEP-1の結果を初期値データに用います。)

第1段階の計算(STEP-1: 静的オーバーセット計算)を行うことにより、発達した流れを得ることができる。ただし、この段階ではオーバーセットデータに回転の効果はありません。第2段階の計算(STEP-2: 動的オーバーセット計算)において回転の効果が適切に考慮された計算が実現されます。複数回転の計算を行いたい場合は、STEP-2を必要なだけ繰り返します。

7.2.9 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/POST/FV/FV.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW⁹ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3.pl' が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gffv3.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ (境界条件、流れ場) ファイルのファイル名です。

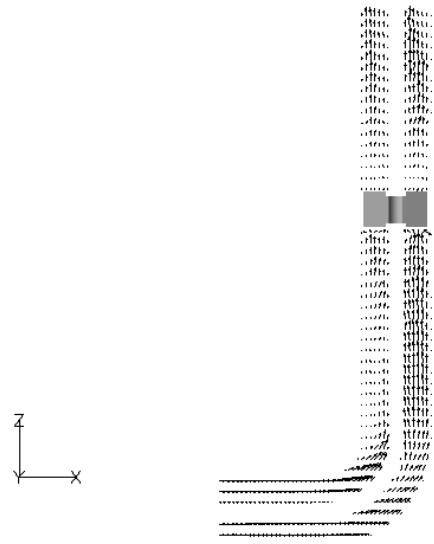
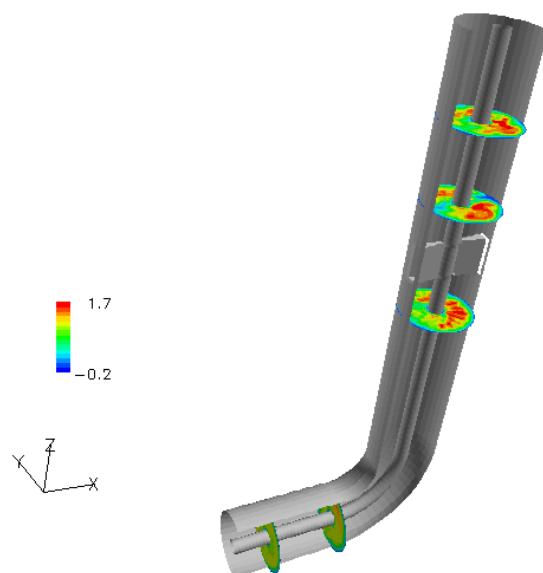
本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data2/MESH ./MESH  
ln -s ../../DATA/data2/BOUN ./BOUN  
ln -s ../../EXE/EXE.02/RES.01/FLOW ./FLOW  
gffv3.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

とすることにより、FIELDVIEW 用ファイル (res.uns) が作成されます。なお、周辺プログラム'gffv3' は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.2 節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEW で出力された流れ場を図 7.9 及び図 7.10 に示します。

⁹FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

Figure 7.9: Velocity field at section: $y=0$ Figure 7.10: Pipe-aligned velocity contour at cross section at $x=-2.0, x=-4.0, z=1.0, z=4.0$ and $z=6.0$

7.2.10 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/POST/HISTORY/HISTORY.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、7.2.9 節において les3c が output した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。

履歴データの編集は、周辺プログラム'hscat'およびその起動スクリプト(hscat.pl)を用いて、実行することができます。本プログラムは、履歴データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT`

ここで、GF-HISTORY-IN は入力する GF 履歴ファイルのファイル名です。GF-HISTORY-OUT は出力する GF 履歴ファイルのファイル名です。入力ファイルは複数指定することができます。

本プログラムの処理内容は'[OPTION]'により制御されます。詳細は、hscat.pl のヘルプ機能を参照してください¹⁰。

本節の処理を実行する場合は、

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 25 ../../EXE/EXE.02/RES.0*/HISTORY tmp  
tail -600 tmp >hist  
rm -f tmp
```

とすることにより、GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出することができます。本スクリプトでは、UNIX (Linux) のコマンドと同様に、ワイルドカード'*'によるファイル指定が可能です。実際には、以下に示すファイルが入力ファイルとなります。

```
../../EXE/EXE.02/RES.01/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.02/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.03/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.04/HISTORY
```

¹⁰hscat.pl -help と入力することにより、ヘルプ機能を参照することができます。

入力ファイルは、以下のように指定しても同じ結果になります。

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 25 \
.../.../.../EXE/EXE.02/RES.0?/HISTORY tmp
```

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 25 \
.../.../.../EXE/EXE.02/RES.0[1,2,3,4]/HISTORY tmp
```

オプション指定の' -interval 10 'は、入力データを 10 ステップ毎に出力することを指定します。また、' -data 1 25 ' 入力データのうち、1 種類 (25 番目のデータ) を出力することを指定します。2 行目の処理は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

上記スクリプトで作成したアスキーファイル 'hist' を用いて、出口流速の履歴データをプロットした結果を図 7.11 に示します。

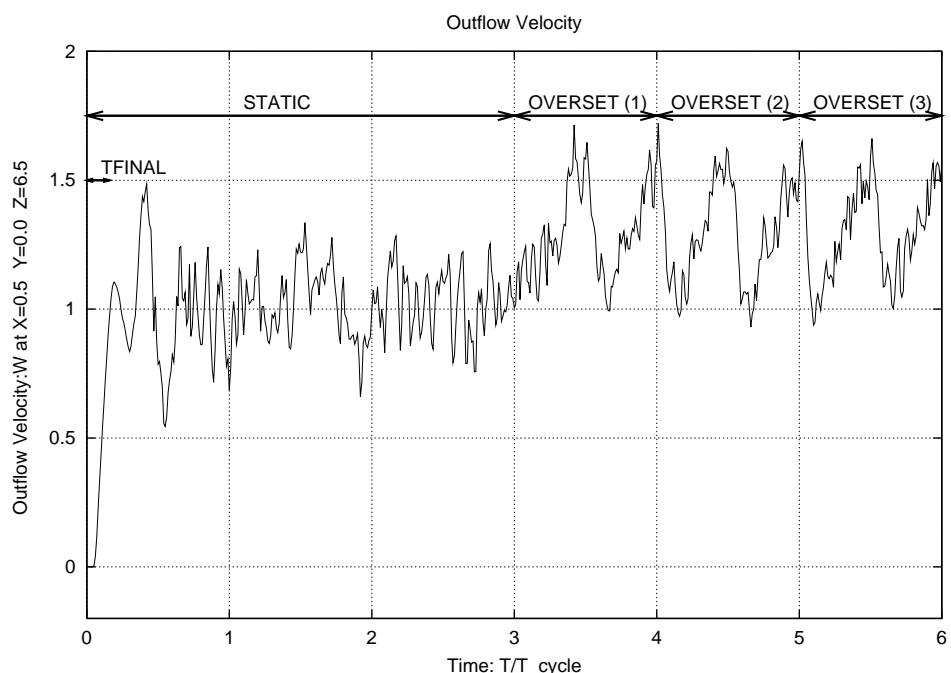


Figure 7.11: history data of calculated outflow velocity

7.3 オーバーセット計算(四面体)

本節では、回転体を有するパイプ内部流れ(図 7.12)の解析を四面体ソルバーを用いて行います。本システムにおいて、四面体要素を用いたオーバーセット計算をする手順を以下に示します。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイルへの変換
3. 境界条件データの編集
4. メッシュデータ及び境界条件データの結合
5. オーバーセットデータの作成
6. 座標系データの作成
7. 解析条件ファイルの作成
8. 可視化のためのデータ変換
9. 履歴データの編集

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

データフローを表 7.2 及び図 7.13 に示します。

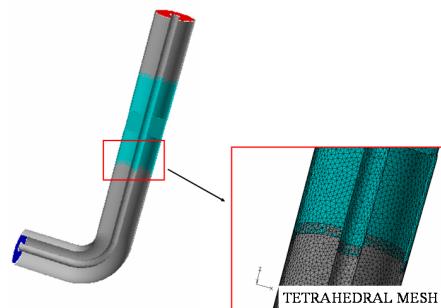


Figure 7.12: Computational models in this section

Table 7.2: data flow of overset computation (hexahedral mesh)

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-------------------------------|--|--------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gft) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stackt) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsit) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setedit) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 8 | 流れ解析の実行 (les3ct) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 9 | フォーマット変換 (gffv3t) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 10 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

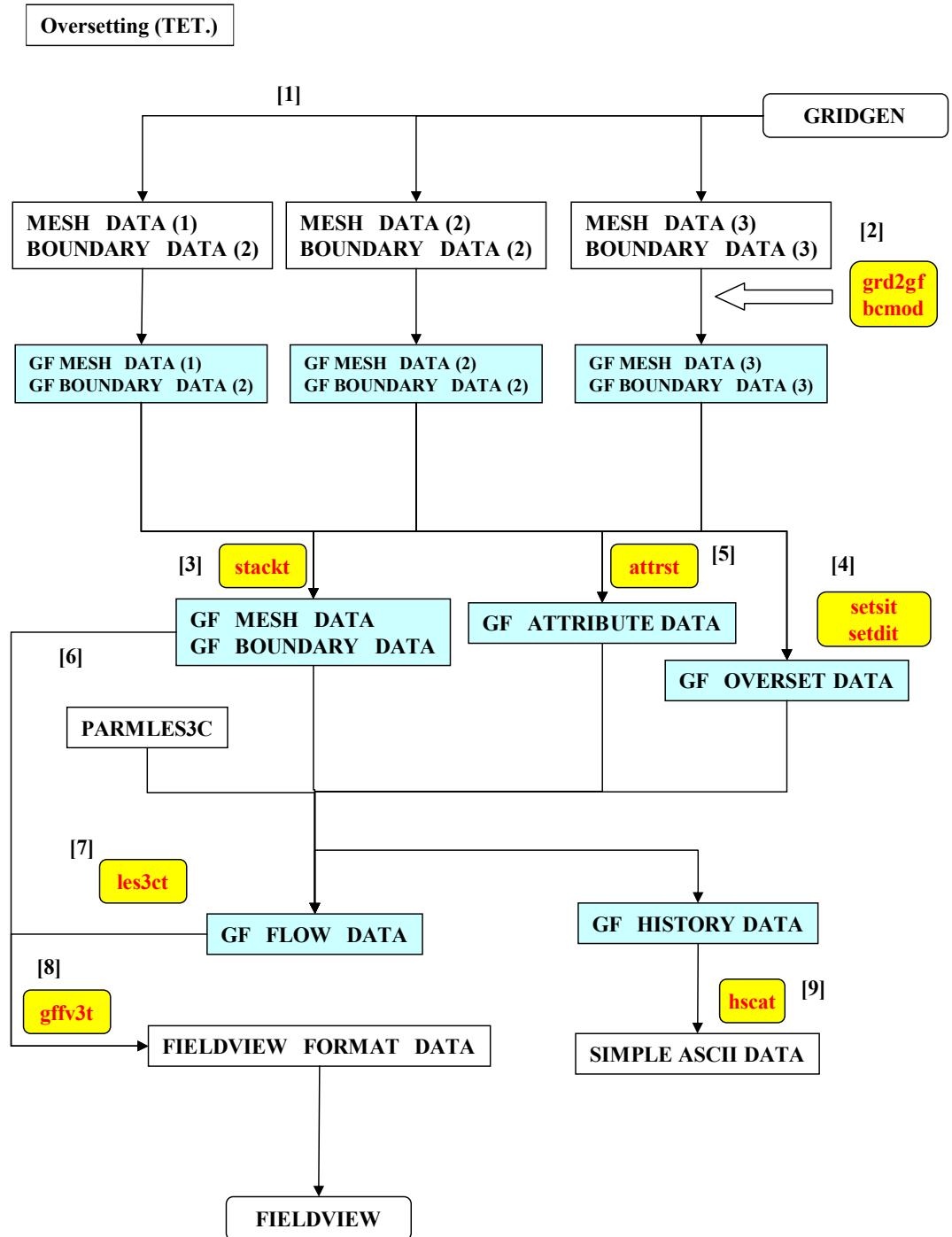


Figure 7.13: data flow of overset (Gridgen and FIELDVIEW are commercial softwares. Note that these softwares are not included in FrontFlow.Blue system.)

7.3.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本システムはマルチ要素（六面体、四面体、三角柱、ピラミッド）に基づくメッシュデータをサポートしますが、ここでは四面体のみのメッシュを使用します。境界条件としては流入境界、壁境界、移動壁境界、対称境界、周期境界等をサポートします。（メッシュデータ及び境界条件データの詳細は5章を参照してください。）

本システムメッシュデータの作成はサポートしていません。したがってユーザは他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョン'FFB'はGRIDGEN¹¹で作成したデータをサポートしています。（他のソフトウェアとの接続に付いては20章を参照してください。）GRIDGENで作成されたデータはGFフォーマットデータに変換されます。（次節参照）。

本節では以下に示すような、3部分の計算領域を想定します（図7.14）。

- Frame A: 曲がったパイプ（図7.14：左）
- Frame B: 内部に障害物をもつまっすぐなパイプ（図7.14：中央）
- Frame C: まっすぐなパイプ（図7.14：右）

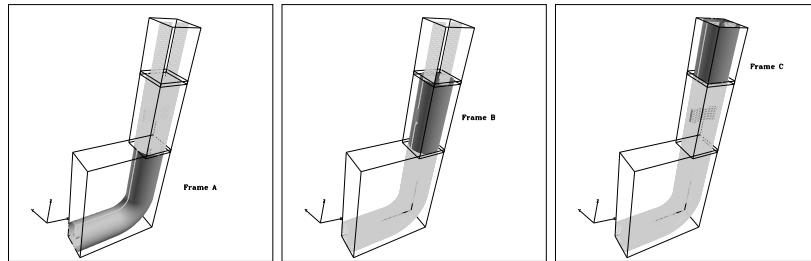


Figure 7.14: Each frame data used in this section

¹¹GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

オーバーセットする各領域に対応するメッシュデータおよび境界条件データは、独立に作成することができます。作成されたデータは流体解析ソルバー'les3ct'の実行の前に結合され一組のメッシュデータ、境界条件データとして扱われます（7.3.4節参照）。またこれらの領域間の接続情報を含むオーバーセットデータも'les3ct'の実行の前に作成されます（7.3.5節参照）。

オーバーセットデータは以下に示す情報に基づき作成されます。（図7.15参照）。

- 上流領域にオーバーセットされた下流領域に属する流入境界節点
- 下流領域にオーバーセットされた上流領域に属する自由境界節点

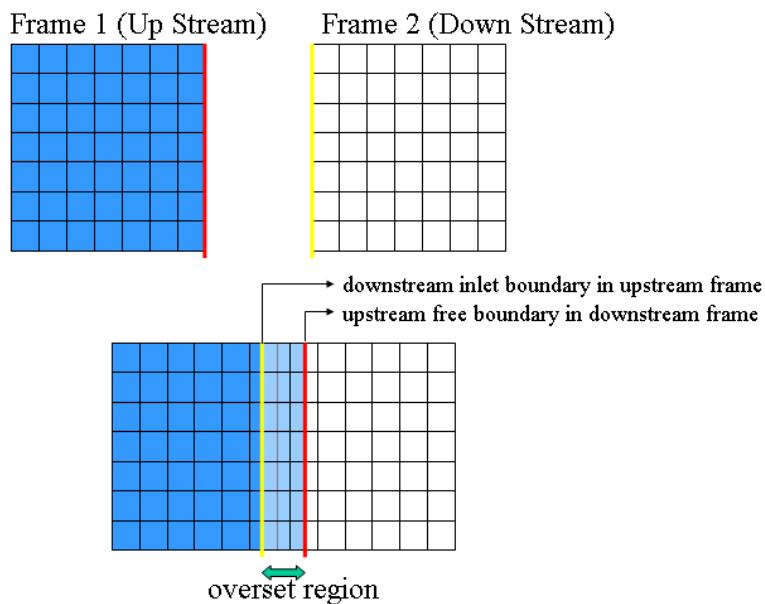


Figure 7.15: refered information to make overset data

本節で扱われるデータでは、以下に示す情報に基づきオーバーセットデータが作成されます(図 7.16 参照)。

- FrameB にオーバーセットされた FrameA に属する自由境界節点
- FrameA にオーバーセットされた FrameB に属する流入境界節点
- FrameC にオーバーセットされた FrameB に属する自由境界節点
- FrameB にオーバーセットされた FrameC に属する流入境界節点

したがってオーバーセット計算をする際には、オーバーセットデータ作成のために図 7.16 に示すダミーの境界条件を設定しておく必要があります。なおダミーの境界条件は境界条件を結合するさいには削除しなくてはならないことに注意してください。ダミーの境界条件の削除について、7.3.4 節において説明します。

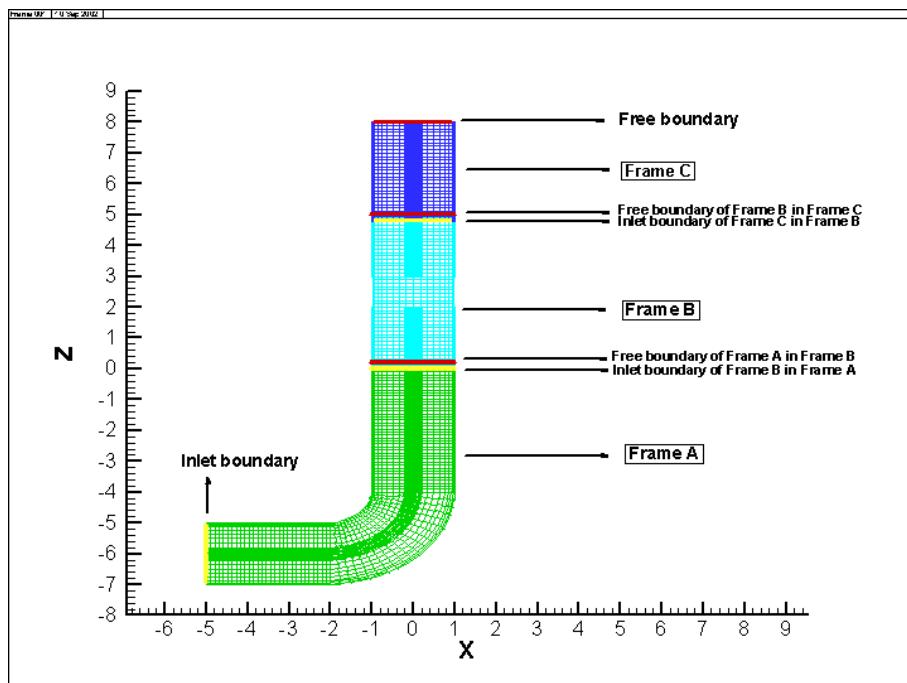


Figure 7.16: dummy boundary condition referred when stacking mesh data

7.3.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gr2gft'を使用することにより、GRIDGEN¹²で作成したデータをGFメッシュデータ及びGF境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gr2gft.pl'が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gr2gft.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRIDはGRIDGENで作成したファイル名、GF-MESH(GF-BOUN)は出力するGFメッシュ(境界条件)ファイルのファイル名です。

節6.1.2では1領域に対応するメッシュ(境界条件)データを作成しましたが、本節では、3領域に対応するデータを作成することに注意してください。ここでは、

gr2gft.pl ../data0/PIPE.A.grd MESH.01 BOUN.01.D
gr2gft.pl ../data0/PIPE.B.grd MESH.02 BOUN.02.D
gr2gft.pl ../data0/PIPE.C.grd MESH.03 BOUN.03.D

とすることにより、GFメッシュファイル(MESH.01、MESH.02、MESH.03)およびGF境界条件ファイル(BOUN.01.D、BOUN.02.D、BOUN.03.D)が作成されます。なお、周辺プログラム'gr2gft'は起動スクリプトを使わずに、インターフェイブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.7節を参照してください。

¹²GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

7.3.3 境界条件データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、前節で作成した境界条件データに対し、以下に示す処理を実行する方法を示します。

- 重複する境界条件の削除
- オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除
- 入り口境界速度の指定
- 壁面移動速度の指定

これらの処理は、いずれも周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト(bcmmod.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本ケースの場合、まず以下のコマンドにより、境界条件の重複を削除します¹³。

```
bcmmod.pl -rd MESH.01 BOUN.01.D BOUN.01.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.02 BOUN.02.D BOUN.02.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.03 BOUN.03.D BOUN.03.DD
```

¹³境界条件の重複に関しては 6.2.3 を参照してください。

この後に、ここで作成された境界ファイル (BOUN.01.DD、BOUN.02.DD、BOUN.03.DD) に対し、オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除をするとともに、流入速度および壁面回転速度を指定します。具体的なコマンドは以下のとおりです。

```
bcmod.pl -rm fr      MESH.01 BOUN.01.DD tmp1
bcmod.pl -in 1 0 0   MESH.01                 tmp1      BOUN.01
bcmod.pl -rm fr      MESH.02 BOUN.02.DD tmp1
bcmod.pl -rm in       MESH.02                 tmp1 tmp2
bcmod.pl -mw1 -0.1   MESH.02                 tmp2 BOUN.02
bcmod.pl -rm in       MESH.03 BOUN.03.DD      BOUN.03
rm -f tmp1 tmp2
```

上記のスクリプトが、各境界ファイルに対して行う処理をまとめると以下のようになります。

- Frame-A の境界：
ダミー境界である自由境界を削除し (1 行目)、流入速度を指定します (2 行目)。
- Frame-B の境界：
ダミー境界である自由境界、流入境界を削除し (3、4 行目)、壁面移動速度を指定します (5 行目)。壁面移動速度は、オプション'-mw1' に続き、無次元角速度を指定します。Frame-B の境界の壁面は、静止系でとまっているので、回転系からみて、逆方向の角速度をもちます。
- Frame-C の境界：
ダミー境界である流入境界を削除します (6 行目)。

7.3.4 メッシュ、境界条件データのスタック

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'stackt'を用いて、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュ(境界)ファイルをひとつのメッシュ(境界)ファイルにスタックします。境界条件ファイルをスタックする際には、前節で作成したダミー境界なしの境界ファイルを使用することに注意してください。本プログラムには、起動スクリプト(*.pl)が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意してあります。

```
#!/bin/csh -f

stackt<<EOF
2
MESH.01          : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01          : Frame-A の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.02          : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02          : Frame-B の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.03          : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03          : Frame-C の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
                  : リターン入力により、入力情報の指定を終了させる。
MESH             : 出力するメッシュファイル名
BOUN             : 出力する境界ファイル名
1                : 1を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもしくはファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ¹⁴において以下のコマンドを実行してください。

./script/go.stackt

これにより、計算領域全体が含まれるGFメッシュファイル(MESH)およびGF境界ファイル(BOUN)が作成されます。

¹⁴'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

7.3.5 オーバーセットデータファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

オーバーセット計算に必要な情報（オーバーセットデータ）は、流体解析ソルバーの実行の前に、作成しておく必要があります。

オーバーセットデータは GF オーバーセットファイルに格納されますが、オーバーセットファイルには、静的オーバーセットファイルおよび動的オーバーセットファイルの 2 種類があります。静的オーバーセットとは、計算中にオーバーセットデータが変わらないことを意味します。一方、動的オーバーセットでは、計算の途中でオーバーセットデータが変わっていきます。ターボ機械内部流れ解析における制止系と回転系では、時間とともに領域の位置関係がかわりますので、動的オーバーセットが必要となります。

本節では、オーバーセットデータの作成方法について説明します。静的オーバーセットデータ、動的オーバーセットデータの作成では、使用する周辺プログラムが異なります。ここでは、静的、動的の順にその作成方法を説明します。

静的オーバーセットデータは周辺プログラム'setsit'を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュおよび境界ファイルが必要です。境界条件ファイルには、7.3.1節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。すなわち、7.3.3節においてダミー境界を削除する前の境界ファイルを入力しなくてはなりません。本プログラムには、起動スクリプト(*.pl)が用意されていませんので、ここでは本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意してあります。

```
#!/bin/csh -f

setsit<<EOF
3          : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
MESH.01    : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D  : Frame-A の境界ファイル名
MESH.02    : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D  : Frame-B の境界ファイル名
MESH.03    : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D  : Frame-C の境界ファイル名
OVER       : 出力する GF オーバーセットファイル名
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
1          : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ¹⁵において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setsit
```

これにより、静的 GF オーバーセットファイル (OVER) が作成されます。

¹⁵'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

動的オーバーセットデータは周辺プログラム'setdit'を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュおよび境界ファイルのほか、静的オーバーセットファイルが必要です。周辺プログラム setdit は、静的オーバーセットデータを初期値として入力し、入力されたコントロールパラメータに従い、回転系のメッシュを回転させながら、オーバーセットデータを作成しファイルに格納します。境界条件ファイルには、静的オーバーセットファイルを作成した時と同様に、7.3.1節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。

本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

setdit<<EOF
3 : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
2000 0.0 3.1416E-2 10 : NTIME、TINIT、DT、INTSV :意味は後で説明する。
MESH.01 : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D : Frame-A の境界ファイル名
0,0,0,0 : Frame-A の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.02 : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D : Frame-B の境界ファイル名
0,0,0,0.1 : Frame-B の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.03 : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D : Frame-C の境界ファイル名
0,0,0,0 : Frame-C の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
OVER.DYN : 出力する静的 GF オーバーセットファイル名
OVER : 入力する動的 GF オーバーセットファイル名
0 : 0 を入力
0 : 0 を入力
0 : 0 を入力
1 : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ¹⁶において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setdit
```

これにより、動的 GF オーバーセットファイル (OVER.DYN) が作成されます。

¹⁶LESS3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

周辺プログラム' setdit' に関する注意事項:

- スクリプトにおけるコントロールパラメータの意味は以下のとおりです。
 - NTIME: 総時間ステップ
 - TINIT : 初期時刻
 - DT : 時間刻み
 - INTSV : オーバーセットデータ出力インターバル
 - U,V,W: 各領域 (座標系) の移動速度
 - OMEGA: 各領域 (座標系) の回転角速度 (z 方向)
- オーバーセットデータは指定された'INST' ステップ毎に出力されます。一方、流体解析ソルバー'les3ct' は'JSET'¹⁷ ステップ毎にオーバーセットデータを入力します。したがって両者の間には以下の関係がなりたつていなければなりません。

$$dt_{setdit} \times INST = dt_{les3ct} \times JSET$$

ここで dt_{setdit} , dt_{les3ct} それぞれのプログラム' setdit' , 'les3ct' で指定される時間刻みです。

- 回転系を含む計算を行う場合、一回転に相当する動的オーバーセットデータファイルを作成しておくことを推奨します。複数回転の解析を行う場合は、流体解析プログラムのリスタート機能を使用します¹⁸。一回転に相当する動的オーバーセットデータを作成するためには以下の関係がなりたつている必要があります。

$$dt_{setdit} \times NTIME \times \Omega = 2\pi$$

- 参考のため、実際に本節のデータに対してセットされたパラメータを以下にします。

- NTIME= 2000 [-]
- TINIT = 0.0 [T]
- DT = 3.141592E-02 [T]
- INTSV = 10 [-]
- U,V,W, Ω of frame A = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.0 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame B = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.1 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame C = 0.0,0.0,0.0 [L/T] , 0.0 [rad/T]

ここで T、L はそれぞれ時間および空間の特徴的スケールです。

¹⁷'JSET' は解析条件ファイル (PARMLES3D) で指定されるパラメータです。詳細は 5 章を参照してください。

¹⁸リスタート計算を行う場合は、解析条件ファイル (PARMLES3C) のパラメータ'ISTART' を 1 にセットしてください。詳細は 5 章を参照してください。

7.3.6 座標系データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'
```

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本ケースのように、静止系と回転系を同時に扱うマルチフレーム計算では、各領域がどの座標にいるかを指定する座標1系データを作成する必要があります。座標系データは、周辺プログラム'attrs'を用いて作成します。入力ファイルは、各領域に対して、別々に作成した3種類のGFメッシュファイルで、出力ファイルはGF座標系ファイル(5.2.8節参照)です。本プログラムには、起動スクリプト'attrs.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

```
attrs.pl GF-MESH-LIST FRAME-NUM-LIST GF-ATTR
```

ここで、GF-MESH-LISTは入力するGFメッシュファイルのファイル名リストで、複数のファイル名を指定することができます。FRAME-NUM-LISTは、各領域の座標系を表すリストで、入力する領域と同じ数を指定します。座標系は0もしくは-1のどちらかを指定します。静止系に対しては0、回転系に対しては-1を指定してください。最後のGF-ATTRは出力するGF座標系ファイルのファイル名です。

ここでは、

```
attrs.pl MESH.01 MESH.02 MESH.03 0 -1 0 ATTR
```

とすることにより、GF座標系ファイル(ATTR)が作成されます。上記スクリプトにおいて、Frame-B(2番目のデータ)に対してのみ、回転系(-1)を指定していることに注意してください。なお、周辺プログラム'attrs'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.6.1節を参照してください。

7.3.7 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3C)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

解析条件ファイル (PARMLES3C) を作成します。本ファイルの詳細は 5.1 節を参照してください。本ケースで使用する解析条件ファイルのサンプルを図 7.17 にします。図 7.17 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'

基本機能の章で示した解析条件 (図 6.13) とは、以下に示す点において異なっています。

- JSET が非 0
これにより、オーバーセット計算機能がオンになります。この場合、'les3c' は JSET ステップ毎にオーバーセットデータを読み込みます。
- GF オーバーセットファイル名の指定
オーバーセット計算機能がオンであるため、GF オーバーセットファイル名が指定されています。
- NFRAME が-1
これにより、マルチフレーム機能がオンになります。この場合、'les3c' は GF 座標系データを読み込みます。
- GF 座標系ファイル名の指定
マルチフレーム機能がオンであるため、GF 座標系ファイル名が指定されています。

```

#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPRESS IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      20      1      0     -1      10
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISC M C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2   3.141592E-02 0.1
#GIVE EPS NMAX EPST NMAXT
    1.0E-4 200   1.0E-4   20
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    6000   0     10.0    0.0    0.0    0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0       0     1.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1     -4.5   0.0    -6.5
        1     -3.5   0.0    -6.5
        1     -2.5   0.0    -6.5
        3     0.5    0.5    1.5
        3     0.5    0.5    2.5
        3     0.5    0.5    3.5
        3     0.5    0.5    4.5
        3     0.5    0.5    5.5
        3     0.5    0.5    6.5
#GIVE MESH DATA FILE
../../../../DATA/data2/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../../../DATA/data2/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE ATTRIBUTE DATA FILE
../../../../DATA/data2/ATTR
#GIVE OVERSET DATA FILE
../../../../DATA/data2/OVER
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#BC_FREE
#ITRT_IN 10
#ITRP_IN 20
#OPTIONE

```

Figure 7.17: sample of PARMLES3C

7.3.8 流れ場の計算実行 (les3ct)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.02'
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.03'
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02/RES.04'

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算では、オーバーセットする場所が時間とともに変化するので、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では、静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については、本節の最後で説明します。本チュートリアルでは、パイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.02'には、4個のディレクトリRES.0[1,2,3,4]がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|-------|-----------|
| RES.01 | 静的オーバーセット | 0~3回転 | 速度0、圧力0 |
| RES.02 | 動的オーバーセット | 3~4回転 | RES.01の結果 |
| RES.03 | 動的オーバーセット | 4~5回転 | RES.02の結果 |
| RES.04 | 動的オーバーセット | 5~6回転 | RES.03の結果 |

各ディレクトリにおいて、

les3ct

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.0[2,3,4]の計算は、RES.0[1,2,3]のリストアート計算なので、RES.01から順に計算をしなければならないことに注意してください。

初期計算において静的オーバーセットデータを使用する理由

流体解析ソルバー'les3ct'においては急激な加速による数値不安定をさけるため、流入速度、角速度、移動壁速度といった流れの駆動に影響を与える量に対して時間的な緩和を施します。すなわち、これらの量は以下に示す式にしたがって徐々に指定値に達します。

$$\text{Function} = 1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

ここで'TIME'は計算実行における時間であり、'TFINAL'は解析条件ファイル中の時間緩和に関するパラメータです。詳細は5章を参照してください。

周辺プログラム'setedit'は上記の時間緩和を考慮せず、角速度は一定であるとして動的オーバーセットデータを作成します。したがって、計算のはじめより時間緩和機能を用いると同時に、動的オーバーセットデータを参照すると矛盾が生じます。上記の問題を避けるため、動的オーバーセット計算をする際には、以下に示す二段階の計算を行う必要があります。

- STEP-1: 静的オーバーセット計算
緩和時間'TFINAL'より長い計算を行う必要があります。
すなわち計算時間を'TIME'とした場合、 $1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$ がほぼ1でなくてはなりません。
- STEP-2: 動的オーバーセット計算
(STEP-1の結果を初期値データに用います。)

第1段階の計算(STEP-1: 静的オーバーセット計算)を行うことにより、発達した流れを得ることができます。ただし、この段階ではオーバーセットデータに回転の効果はありません。第2段階の計算(STEP-2: 動的オーバーセット計算)において回転の効果が適切に考慮された計算が実現されます。複数回転の計算を行いたい場合は、STEP-2を必要なだけ繰り返します。

7.3.9 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/POST/FV/FV.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3t'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW¹⁹ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3t.pl' が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`gffv3t.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV`

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ (境界条件、流れ場) ファイルのファイル名です。

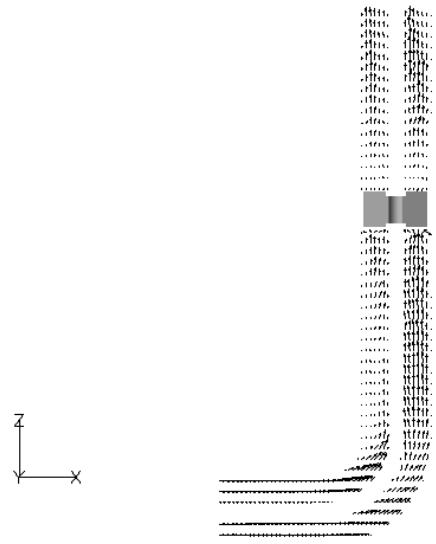
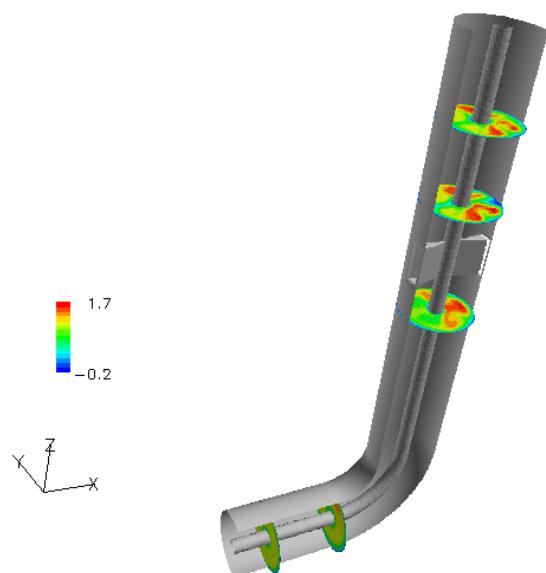
本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data2/MESH      ./MESH  
ln -s ../../DATA/data2/BOUN      ./BOUN  
ln -s ../../EXE/EXE.02/RES.01/FLOW ./FLOW  
gffv3t.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

とすることにより、FIELDVIEW 用ファイル (res.uns) が作成されます。なお、周辺プログラム'gffv3t' は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.3 節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEW で出力された流れ場を図 7.18 及び図 7.19 に示します。

¹⁹FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

Figure 7.18: Velocity field at section: $y=0$ Figure 7.19: Pipe-aligned velocity contour at cross section at $x=-2.0, x=-4.0, z=1.0, z=4.0$ and $z=6.0$

7.3.10 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/POST/HISTORY/HISTORY.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、7.3.9 節において les3ct が output した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。

履歴データの編集は、周辺プログラム'hscat'およびその起動スクリプト(hscat.pl)を用いて、実行することができます。本プログラムは、履歴データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT`

ここで、GF-HISTORY-IN は入力する GF 履歴ファイルのファイル名です。GF-HISTORY-OUT は出力する GF 履歴ファイルのファイル名です。入力ファイルは複数指定することができます。

本プログラムの処理内容は'[OPTION]'により制御されます。詳細は、hscat.pl のヘルプ機能を参照してください²⁰。

本節の処理を実行する場合は、

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 17 ../../EXE/EXE.02/RES.0*/HISTORY tmp  
tail -1200 tmp >hist  
rm -f tmp
```

とすることにより、GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出することができます。本スクリプトでは、UNIX (Linux) のコマンドと同様に、ワイルドカード'*'によるファイル指定が可能です。実際には、以下に示すファイルが入力ファイルとなります。

```
../../EXE/EXE.02/RES.01/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.02/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.03/HISTORY  
../../EXE/EXE.02/RES.04/HISTORY
```

²⁰hscat.pl -help と入力することにより、ヘルプ機能を参照することができます。

入力ファイルは、以下のように指定しても同じ結果になります。

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 17 \
.../.../.../EXE/EXE.02/RES.0?/HISTORY tmp
```

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 17 \
.../.../.../EXE/EXE.02/RES.0[1,2,3,4]/HISTORY tmp
```

オプション指定の'`-interval 10'` は、入力データを 10 ステップ毎に出力することを指定します。また、'`-data 1 17'` 入力データのうち、1 種類（17 番目のデータ）を出力することを指定します。2 行目の処理は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

上記スクリプトで作成したアスキーファイル'hist' を用いて、出口流速の履歴データをプロットした結果を図 7.20 に示します。

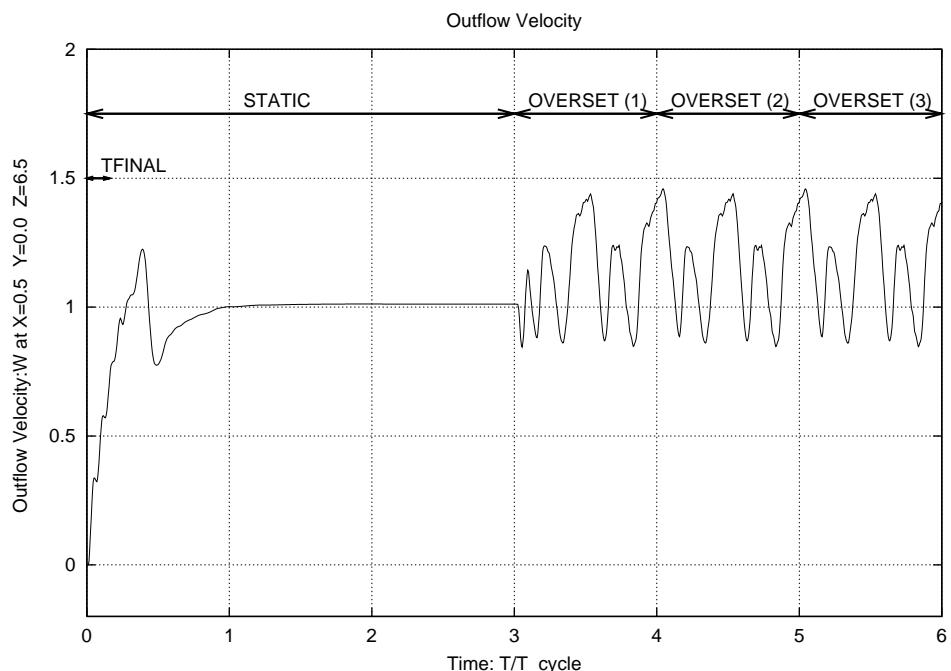


Figure 7.20: history data of calculated outflow velocity

7.4 オーバーセット計算(マルチ要素)

本節では、回転体を有するパイプ内部流れ(図 7.21)の解析をマルチ要素ソルバーを用いて行います。本システムにおいて、マルチ要素を用いたオーバーセット計算をする手順を以下に示します。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイルへの変換
3. 境界条件データの編集
4. メッシュデータ及び境界条件データの結合
5. オーバーセットデータの作成
6. 座標系データの作成
7. 解析条件ファイルの作成
8. 可視化のためのデータ変換
9. 履歴データの編集

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

データフローを表 7.3 及び図 7.22 に示します。

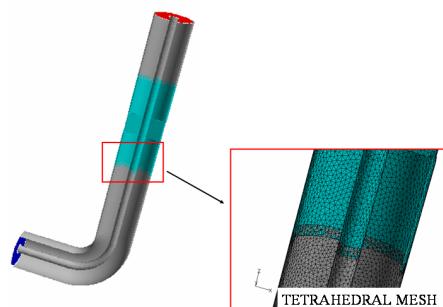


Figure 7.21: Computational models in this section

Table 7.3: data flow of overset computation (hybrid mesh)

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|------------------------------|--|--------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gfx) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stackx) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsix) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setdix) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 8 | 流れ解析の実行 (les3cx) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 9 | フォーマット変換 (gffv3x) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 10 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

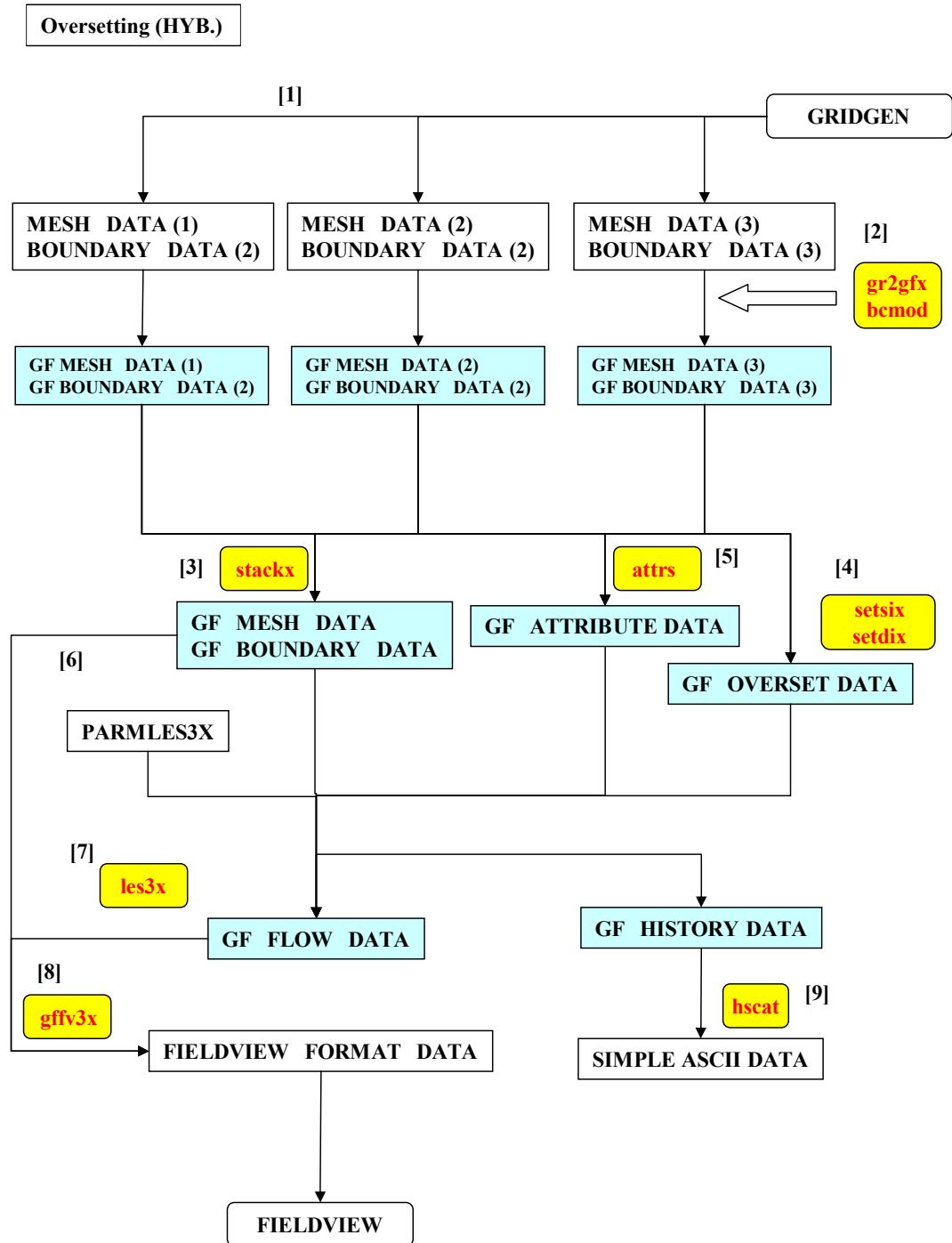


Figure 7.22: data flow of overset (Gridgen and FIELDVIEW are commercial softwares. Note that these softwares are not included in FrontFlow.Blue system.)

7.4.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本システムはマルチ要素（六面体、四面体、三角柱、ピラミッド）に基づくメッシュデータをサポートしますが、ここでは四面体のみのメッシュを使用します（7.3節と同じメッシュを使用します）。境界条件としては流入境界、壁境界、移動壁境界、対称境界、周期境界等をサポートします。（メッシュデータ及び境界条件データの詳細は5章を参照してください。）

本システムメッシュデータの作成はサポートしていません。したがってユーザは他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョン'FFB'はGRIDGEN²¹で作成したデータをサポートしています。（他のソフトウェアとの接続に付いては20章を参照してください。）GRIDGENで作成されたデータはGFフォーマットデータに変換されます。（次節参照）。

本節では以下に示すような、3部分の計算領域を想定します（図7.23）。

- Frame A: 曲がったパイプ（図7.23：左）
- Frame B: 内部に障害物をもつまっすぐなパイプ（図7.23：中央）
- Frame C: まっすぐなパイプ（図7.23：右）

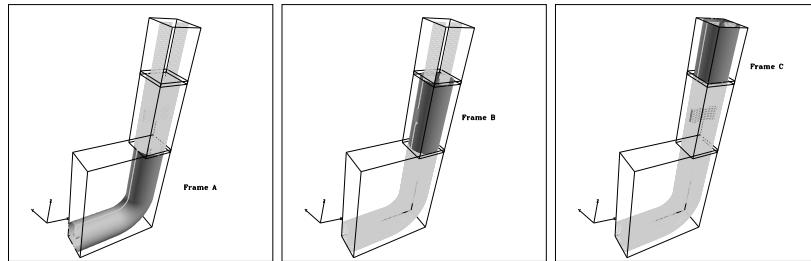


Figure 7.23: Each frame data used in this section

²¹GridgenはPointwise社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

オーバーセットする各領域に対応するメッシュデータおよび境界条件データは、独立に作成することができます。作成されたデータは流体解析ソルバー'les3cx'の実行の前に結合され一組のメッシュデータ、境界条件データとして扱われます（7.4.4節参照）。またこれらの領域間の接続情報を含むオーバーセットデータも'les3cx'の実行の前に作成されます（7.4.5節参照）。

オーバーセットデータは以下に示す情報に基づき作成されます。（図7.24参照）。

- 上流領域にオーバーセットされた下流領域に属する流入境界節点
- 下流領域にオーバーセットされた上流領域に属する自由境界節点

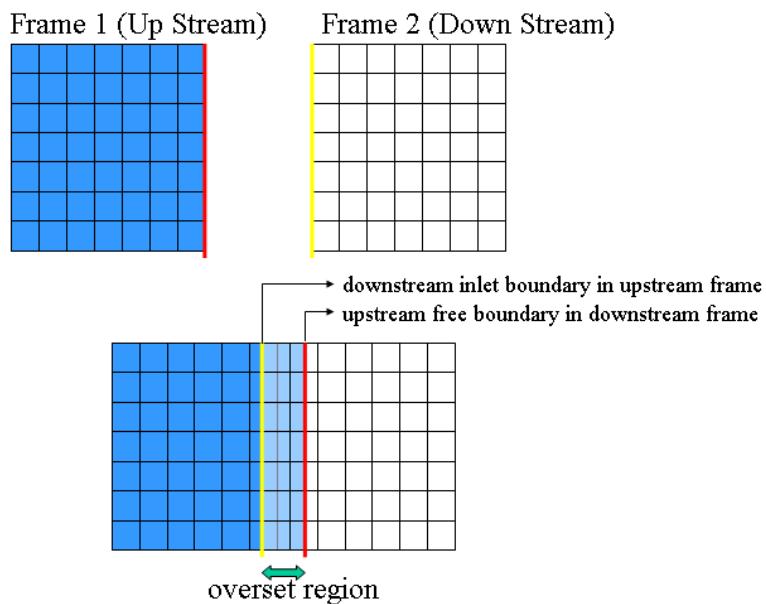


Figure 7.24: refered information to make overset data

本節で扱われるデータでは、以下に示す情報に基づきオーバーセットデータが作成されます(図 7.25 参照)。

- FrameB にオーバーセットされた FrameA に属する自由境界節点
- FrameA にオーバーセットされた FrameB に属する流入境界節点
- FrameC にオーバーセットされた FrameB に属する自由境界節点
- FrameB にオーバーセットされた FrameC に属する流入境界節点

したがってオーバーセット計算をする際には、オーバーセットデータ作成のために図 7.25 に示すダミーの境界条件を設定しておく必要があります。なお、ダミーの境界条件は境界条件を結合する際には削除しなくてはならないことに注意してください。ダミーの境界条件の削除については 7.4.4 節において説明します。

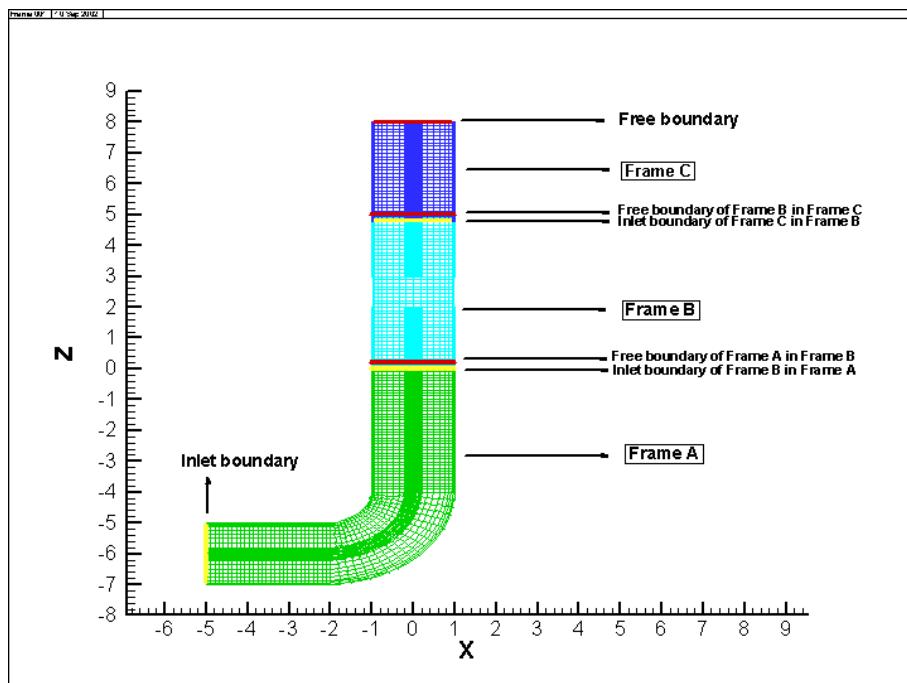


Figure 7.25: dummy boundary condition referred when stacking mesh data

7.4.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gr2gfx'を使用することにより、GRIDGEN²²で作成したデータを GF メッシュデータ及び GF 境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gr2gfx.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gr2gfx.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRIDはGRIDGENで作成したファイル名、GF-MESH(GF-BOUN)は出力する GF メッシュ(境界条件)ファイルのファイル名です。

本節では、3領域に対応するデータを作成することに注意してください。ここでは、

```
gr2gfx.pl ../data0/PIPE.A.grd MESH.01 BOUN.01.D  
gr2gfx.pl ../data0/PIPE.B.grd MESH.02 BOUN.02.D  
gr2gfx.pl ../data0/PIPE.C.grd MESH.03 BOUN.03.D
```

とすることにより、GF メッシュファイル(MESH.01、MESH.02、MESH.03)および GF 境界条件ファイル(BOUN.01.D、BOUN.02.D、BOUN.03.D)が作成されます²³。なお、周辺プログラム'gr2gfx'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.8 節を参照してください。

²²Gridgen は Pointwise 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

²³ここで使用しているメッシュデータ PIPE.A.grd, PIPE.B.grd, PIPE.C.grd は、7.3 で使用したメッシュと同じものです。

7.4.3 境界条件データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、前節で作成した境界条件データに対し、以下に示す処理を実行する方法を示します。

- 重複する境界条件の削除
- オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除
- 入り口境界速度の指定
- 壁面移動速度の指定

これらの処理は、いずれも周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト(bcmmod.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本ケースの場合、まず以下のコマンドにより、境界条件の重複を削除します²⁴。

```
bcmmod.pl -rd MESH.01 BOUN.01.D BOUN.01.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.02 BOUN.02.D BOUN.02.DD  
bcmmod.pl -rd MESH.03 BOUN.03.D BOUN.03.DD
```

²⁴境界条件の重複に関しては 6.1.3 を参照してください。

この後に、ここで作成された境界ファイル (BOUN.01.DD、BOUN.02.DD、BOUN.03.DD) に対し、オーバーセット境界作成のためのダミー境界条件の削除をするとともに、流入速度および壁面回転速度を指定します。具体的なコマンドは以下のとおりです。

```
bcmod.pl -rm fr      MESH.01 BOUN.01.DD tmp1
bcmod.pl -in 1 0 0   MESH.01                 tmp1      BOUN.01
bcmod.pl -rm fr      MESH.02 BOUN.02.DD tmp1
bcmod.pl -rm in       MESH.02                 tmp1 tmp2
bcmod.pl -mw1 -0.1   MESH.02                 tmp2 BOUN.02
bcmod.pl -rm in       MESH.03 BOUN.03.DD      BOUN.03
rm -f tmp1 tmp2
```

上記のスクリプトが、各境界ファイルに対して行う処理をまとめると以下のようになります。

- Frame-A の境界：
ダミー境界である自由境界を削除し (1 行目)、流入速度を指定します (2 行目)。
- Frame-B の境界：
ダミー境界である自由境界、流入境界を削除し (3、4 行目)、壁面移動速度を指定します (5 行目)。壁面移動速度は、オプション '-mw1' に続き、無次元角速度を指定します。Frame-B の境界の壁面は、静止系でとまっているので、回転系からみて、逆方向の角速度をもちます。
- Frame-C の境界：
ダミー境界である流入境界を削除します (6 行目)。

7.4.4 メッシュ、境界条件データのスタック

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'stackx'を用いて、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュ(境界)ファイルをひとつのメッシュ(境界)ファイルにスタックします。境界条件ファイルをスタックする際には、前節で作成したダミー境界なしの境界ファイルを使用することに注意してください。本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

stackx<<EOF
2
MESH.01          : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01          : Frame-A の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.02          : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02          : Frame-B の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
MESH.03          : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03          : Frame-C の境界ファイル名
0.0 0.0 0.0      : メッシュを移動できる。通常(0 0 0)を入力する。
                  : リターン入力により、入力情報の指定を終了させる。
MESH             : 出力するメッシュファイル名
BOUN             : 出力する境界ファイル名
1                : 1を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ²⁵において以下のコマンドを実行してください。

./script/go.stackx

これにより、計算領域全体が含まれるGFメッシュファイル(MESH)およびGF境界ファイル(BOUN)が作成されます。

²⁵'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

7.4.5 オーバーセットデータファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

オーバーセット計算に必要な情報（オーバーセットデータ）は、流体解析ソルバーの実行の前に、作成しておく必要があります。

オーバーセットデータは GF オーバーセットファイルに格納されますが、オーバーセットファイルには、静的オーバーセットファイルおよび動的オーバーセットファイルの 2 種類があります。静的オーバーセットとは、計算中にオーバーセットデータが変わらないことを意味します。一方、動的オーバーセットでは、計算の途中でオーバーセットデータが変わっていきます。ターボ機械内部流れ解析における制止系と回転系では、時間とともに領域の位置関係がかわりますので、動的オーバーセットが必要となります。

本節では、オーバーセットデータの作成方法について説明します。静的オーバーセットデータ、動的オーバーセットデータの作成では、使用する周辺プログラムが異なります。ここでは、静的、動的の順にその作成方法を説明します。

静的オーバーセットデータは周辺プログラム'setsix'を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュおよび境界ファイルが必要です。境界条件ファイルには7.4.1節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。すなわち、7.4.3節においてダミー境界を削除する前の境界ファイルを入力しなくてはなりません。本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意します。

```
#!/bin/csh -f

setsix<<EOF
3          : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
MESH.01    : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D  : Frame-A の境界ファイル名
MESH.02    : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D  : Frame-B の境界ファイル名
MESH.03    : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D  : Frame-C の境界ファイル名
OVER       : 出力する GF オーバーセットファイル名
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
0          : 0 を入力
1          : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ²⁶において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setsix
```

これにより、静的 GF オーバーセットファイル (OVER) が作成されます。

²⁶'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

動的オーバーセットデータは周辺プログラム'setdix'を用いて作成します。入力データとしては、各領域に対して、別々に作成した3種類のメッシュおよび境界ファイルのほか、静的オーバーセットファイルが必要です。周辺プログラム setdix は、静的オーバーセットデータを初期値として入力し、入力されたコントロールパラメータに従い、回転系のメッシュを回転させながら、オーバーセットデータを作成しファイルに格納します。境界条件ファイルには、静的オーバーセットファイルを作成した時と同様に、7.4.1節で説明したオーバーセットデータのためのダミー境界条件が含まれている必要があります。

本プログラムには、起動スクリプト (*.pl) が用意されていませんので、ここでは、本プログラムを実行するためのシェルスクリプトを用意してあります。

```
#!/bin/csh -f

setdix<<EOF
3 : 扱う領域の数、本ケースの場合 3
2000 0.0 3.1416E-2 10 : NTIME、TINIT、DT、INTSV :意味は後で説明する。
MESH.01 : Frame-A のメッシュファイル名
BOUN.01.D : Frame-A の境界ファイル名
0,0,0,0 : Frame-A の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.02 : Frame-B のメッシュファイル名
BOUN.02.D : Frame-B の境界ファイル名
0,0,0,0.1 : Frame-B の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
MESH.03 : Frame-C のメッシュファイル名
BOUN.03.D : Frame-C の境界ファイル名
0,0,0,0 : Frame-C の (U,V,W,OMEGA) :意味は後で説明する。
OVER.DYN : 出力する静的 GF オーバーセットファイル名
OVER : 入力する動的 GF オーバーセットファイル名
0 : 0 を入力
0 : 0 を入力
0 : 0 を入力
1 : 1 を入力
EOF
```

上記スクリプトの右側に示したコメントは、説明のために示したものであり、実際のスクリプトにはコメントはありません。ファイル名の指定の行に、コメントを書くと、コメントもふくめてファイル名と認識されますので注意してください。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ²⁷において以下のコマンドを実行してください。

```
./script/go.setdix
```

これにより、動的 GF オーバーセットファイル (OVER.DYN) が作成されます。

²⁷LESS3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

周辺プログラム'setdix'に関する注意事項:

- スクリプトにおけるコントロールパラメータの意味は以下のとおりです。
 - NTIME:総時間ステップ
 - TINIT :初期時刻
 - DT :時間刻み
 - INTSV :オーバーセットデータ出力インターバル
 - U,V,W:各領域(座標系)の移動速度
 - OMEGA:各領域(座標系)の回転角速度(z方向)
- オーバーセットデータは指定された'INST'ステップ毎に出力されます。一方、流体解析ソルバー'les3x'は'JSET'²⁸ステップ毎にオーバーセットデータを入力します。したがって両者の間には以下の関係がなりたつていなければなりません。

$$dt_{setdix} \times INST = dt_{les3x} \times JSET$$

ここで dt_{setdix} , dt_{les3x} それぞれのプログラム'setdix', 'les3x'で指定される時間刻みです。

- 回転系を含む計算を行う場合、一回転に相当する動的オーバーセットデータファイルを作成しておくことを推奨します。複数回転の解析を行う場合は、流体解析プログラムのリスタート機能を使用します²⁹。一回転に相当する動的オーバーセットデータを作成するためには以下の関係がなりたつている必要があります。

$$dt_{setdix} \times NTIME \times \Omega = 2\pi$$

- 参考のため、実際に本節のデータに対してセットされたパラメータを以下にします。

- NTIME= 2000 [-]
- TINIT = 0.0 [T]
- DT = 3.141592E-02 [T]
- INTSV = 10 [-]
- U,V,W, Ω of frame A = 0.0,0.0,0.0 [L/T], 0.0 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame B = 0.0,0.0,0.0 [L/T], 0.1 [rad/T]
- U,V,W, Ω of frame C = 0.0,0.0,0.0 [L/T], 0.0 [rad/T]

ここで T、L はそれぞれ時間および空間の特徴的スケールです。

²⁸'JSET'は解析条件ファイル(PARMLES3X)で指定されるパラメータです。詳細は5章を参照してください。

²⁹リスタート計算を行う場合は、解析条件ファイル(PARMLES3X)のパラメータ'ISTART'を1にセットしてください。詳細は5章を参照してください。

7.4.6 座標系データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本ケースのように、静止系と回転系を同時に扱うマルチフレーム計算では、各領域がどの座標にいるかを指定する座標系データを作成する必要があります。座標系データは、周辺プログラム'attrs'を用いて作成します。入力ファイルは、各領域に対して、別々に作成した3種類のGFメッシュファイルで、出力ファイルはGF座標系ファイル(5.2.8節参照)です。本プログラムには、起動スクリプト'attrs.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

attrs.pl GF-MESH-LIST FRAME-NUM-LIST GF-ATTR

ここで、GF-MESH-LISTは入力するGFメッシュファイルのファイル名リストで、複数のファイル名を指定することができます。FRAME-NUM-LISTは、各領域の座標系を表すリストで、入力する領域と同じ数を指定します。座標系は0もしくは-1のどちらかを指定します。静止系に対しては0、回転系に対しては-1を指定してください。最後のGF-ATTRは出力するGF座標系ファイルのファイル名です。

ここでは、

attrs.pl MESH.01 MESH.02 MESH.03 0 -1 0 ATTR

とすることにより、GF座標系ファイル(ATR)が作成されます。上記スクリプトにおいて、Frame-B(2番目のデータ)に対してのみ、回転系(-1)を指定していることに注意してください。なお、周辺プログラム'attrs'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.6.1節を参照してください。

7.4.7 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3X)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

解析条件ファイル (PARMLES3X) を作成します。本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。以下に補足説明を示します。本ケースで使用する解析条件ファイルのサンプルを図 7.26 にします。図 7.26 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.02/RES.01'

オーバーセット計算を行う場合に特別な設定が必要な項目は以下の通りです。

- JSET が非 0
これにより、オーバーセット計算機能がオンになります。この場合、'les3x' は JSET ステップ毎にオーバーセットデータを読み込みます。
- GF オーバーセットファイル名の指定
オーバーセット計算機能がオンであるため、GF オーバーセットファイル名が指定されています。
- NFRAME が -1
これにより、マルチフレーム機能がオンになります。この場合、'les3x' は GF 座標系データを読み込みます。
- GF 座標系ファイル名の指定
マルチフレーム機能がオンであるため、GF 座標系ファイル名が指定されています。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      1      2      2      0.05
#GIVE D000 U000 T000 TOUT
    1.0    1.0    1.0    1.0E-8
#GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    -1     0     10    0.1
#GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
    1.OE-5 0.0    1.2    10.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.OE-3 1.OE-1 1.0    10.0
#GIVE ISTART NTIME DT          NMAXSE NMAXSI
    0      6000  3.141592E-02  10      1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST   EPSP   EPSS
    20     200   1.OE-4  1.OE-4  1.OE-3
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    10.0   0.00   0.00   0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1      -4.5    0.0    -6.5
        1      -3.5    0.0    -6.5
        1      -2.5    0.0    -6.5
        3      0.5     0.5    1.5
        3      0.5     0.5    2.5
        3      0.5     0.5    3.5
        3      0.5     0.5    4.5
        3      0.5     0.5    5.5
        3      0.5     0.5    6.5
#GIVE MESH      FILE NAME
../../DATA/data03/MESH
#GIVE B.C.      FILE NAME
../../DATA/data03/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
../../DATA/data03/ATTR
#GIVE MID-NODE FILE NAME
MID
#GIVE OVERSET FILE NAME
../../DATA/data03/OVER
#GIVE AVERAGE FILE NAME
AVE
#GIVE RMS      FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS   FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#SZ_CNST 50 30
#ITRT_IN 10
#ITRP_IN 20
#MONITOR
x#STOPNOW
#OPTIONE

```

Figure 7.26: sample of PARMLES3X

7.4.8 流れ場の計算実行 (les3x)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.04'
```

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算では、オーバーセットする場所が時間とともに変化するので、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では、静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については、本節の最後で説明します。本チュートリアルでは、パイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.02'には、4個のディレクトリ RES.0[1,2,3,4] がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|--------|------------|
| RES.01 | 静的オーバーセット | 0~3 回転 | 速度 0、圧力 0 |
| RES.02 | 動的オーバーセット | 3~4 回転 | RES.01 の結果 |
| RES.03 | 動的オーバーセット | 4~5 回転 | RES.02 の結果 |
| RES.04 | 動的オーバーセット | 5~6 回転 | RES.03 の結果 |

各ディレクトリにおいて、

les3x

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.0[2,3,4] の計算は、RES.0[1,2,3] のリストアート計算なので、RES.01 から順に計算をしなければならないことに注意してください。

初期計算において静的オーバーセットデータを使用する理由

流体解析ソルバー'les3x'においては急激な加速による数値不安定をさけるため、流入速度、角速度、移動壁速度といった流れの駆動に影響を与える量に対して時間的な緩和を施します。すなわち、これらの量は以下に示す式にしたがって徐々に指定値に達します。

$$\text{Function} = 1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

ここで'TIME'は計算実行における時間であり、'TFINAL'は解析条件ファイル中の時間緩和に関するパラメータです。詳細は5章を参照してください。

周辺プログラム'setdix'は上記の時間緩和を考慮せず、角速度は一定であるとして動的オーバーセットデータを作成します。したがって、計算のはじめより時間緩和機能を用いると同時に、動的オーバーセットデータを参照すると矛盾が生じます。上記の問題を避けるため、動的オーバーセット計算をする際には、以下に示す二段階の計算を行う必要があります。

- STEP-1: 静的オーバーセット計算
緩和時間'TFINAL'より長い計算を行う必要があります。
すなわち計算時間を'TIME'とした場合、 $1.0 - \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$ がほぼ1でなくてはなりません。
- STEP-2: 動的オーバーセット計算
(STEP-1の結果を初期値データに用います。)

第1段階の計算(STEP-1: 静的オーバーセット計算)を行うことにより、発達した流れを得ることができます。ただし、この段階ではオーバーセットデータに回転の効果はありません。第2段階の計算(STEP-2: 動的オーバーセット計算)において回転の効果が適切に考慮された計算が実現されます。複数回転の計算を行いたい場合は、STEP-2を必要なだけ繰り返します。

7.4.9 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/POST/FV/FV.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3x'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW³⁰用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3x.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gffv3x.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ(境界条件、流れ場)ファイルのファイル名です。

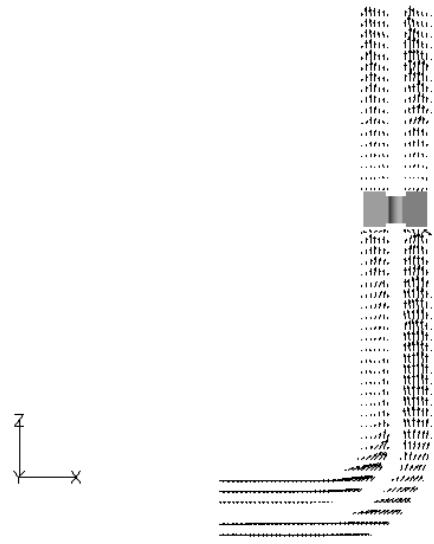
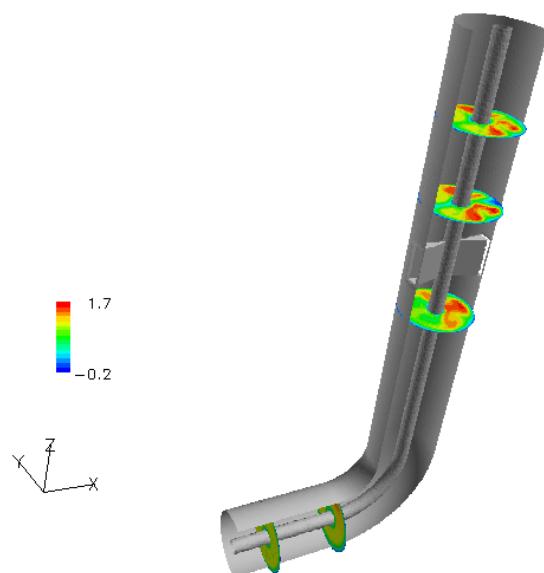
本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data2/MESH      ./MESH  
ln -s ../../DATA/data2/BOUN      ./BOUN  
ln -s ../../EXE/EXE.02/RES.01/FLOW ./FLOW  
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

とすることにより、FIELDVIEW 用ファイル(res.uns)が作成されます。なお、周辺プログラム'gffv3x'は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.4 節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEW で出力された流れ場を図 7.27 及び図 7.28 に示します。

³⁰FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

Figure 7.27: Velocity field at section: $y=0$ Figure 7.28: Pipe-aligned velocity contour at cross section at $x=-2.0, x=-4.0, z=1.0, z=4.0$ and $z=6.0$

7.4.10 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/POST/HISTORY/HISTORY.02'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、7.4.9 節において les3x が output した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。

履歴データの編集は、周辺プログラム'hscat'およびその起動スクリプト(hscat.pl)を用いて実行することができます。本プログラムは、履歴データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT`

ここで、GF-HISTORY-IN は入力する GF 履歴ファイルのファイル名です。GF-HISTORY-OUT は出力する GF 履歴ファイルのファイル名です。入力ファイルは複数指定することができます。

本プログラムの処理内容は'[OPTION]'により制御されます。詳細は、hscat.pl のヘルプ機能を参照してください³¹。

本節の処理を実行する場合は、

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 30 ../../EXE/EXE.03/RES.0*/HISTORY tmp  
tail -1200 tmp >hist  
rm -f tmp
```

とすることにより、GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出することができます。本スクリプトでは、UNIX (Linux) のコマンドと同様に、ワイルドカード'*'によるファイル指定が可能です。実際には、以下に示すファイルが入力ファイルとなります。

```
../../EXE/EXE.03/RES.01/HISTORY  
../../EXE/EXE.03/RES.02/HISTORY  
../../EXE/EXE.03/RES.03/HISTORY  
../../EXE/EXE.03/RES.04/HISTORY
```

³¹hscat.pl -help と入力することにより、ヘルプ機能を参照することができます。

入力ファイルは、以下のように指定しても同じ結果になります。

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 30 \
.../.../.../EXE/EXE.03/RES.0?/HISTORY tmp
```

```
hscat.pl -interval 10 -data 1 30 \
.../.../.../EXE/EXE.03[1,2,3,4]/HISTORY tmp
```

オプション指定の'interval 10'は、入力データを10ステップ毎に出力することを指定します。また、'data 1 17'入力データのうち、1種類(17番目のデータ)を出力することを指定します。2行目の処理は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

上記スクリプトで作成したアスキーファイル'hist'を用いて、出口流速の履歴データをプロットした結果を図7.29に示します。比較のため、図7.29には7.3.10節で作成した四面体ソルバles3ctの結果も示しています。ほぼ一致していることを確認してください。

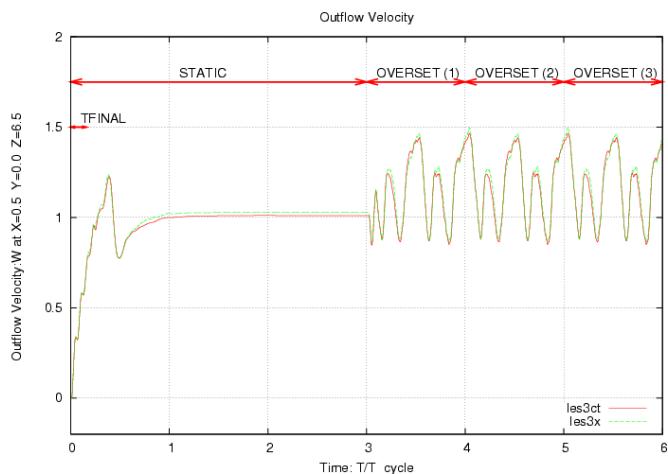


Figure 7.29: history data of calculated outflow velocity

Chapter 8

並列計算

本システムの解析ソルバー'les3c、les3ct'は領域分割に基づく並列計算をサポートしています。本章では、はじめに、本システム共通の並列計算概要を説明した後に、チュートリアルデータを用いて、具体的な処理方法を説明します。

チュートリアルデータには、6.1節、6.2節、7.2節で説明したデータを使用し、並列計算の方法を説明します。具体的には、以下に示す順序で説明します。

- 8.2 節：六面体要素を用いた基本並列計算
- 8.3 節：四面体要素を用いた基本並列計算
- 8.4 節：六面体要素を用いたオーバーセット、並列計算
- 8.5 節：四面体要素を用いたオーバーセット、並列計算

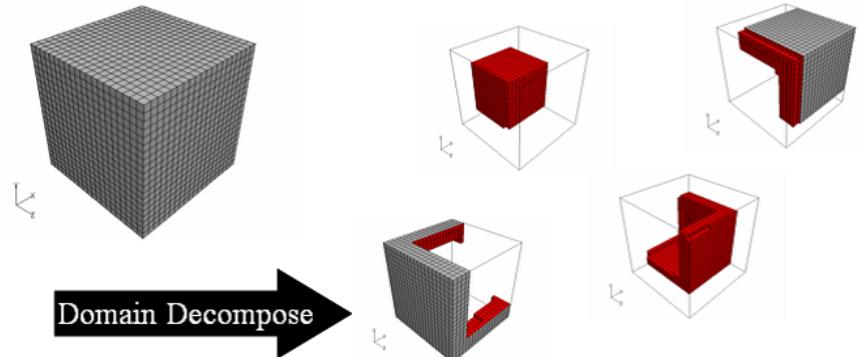


Figure 8.1: Computational Grid (left:whole domain, right:decomposed domains)

8.1 並列計算の概要

8.1.1 処理流れ

本システムにおいて、並列計算機能を使用しない場合の処理流れは以下のようになります。

1. 入力データの作成
2. 流れ解析の実行
3. 出力データの分析

本システム並列機能は領域分割に基づいていますので、並列計算機能を使用する場合は、流れ解析の実行の前後において、ファイルの領域分割（図 8.1 参照）および領域統合の処理が必要となります。並列計算を使用する場合の処理流れをまとめると、以下のようになります。

1. 入力データの作成
2. 入力データファイルの領域分割
3. 流れ解析の実行
4. 出力データファイルの領域統合
5. 出力データの分析

流れ解析の実行前に領域分割されるファイルは、6.1 節、6.2 節において示したような最も基本的なケースの場合、GF メッシュファイルおよび GF 境界ファイルの 2 種類です。また、7.2 節、7.3 節において示したようなオーバーセット計算を含む場合では、これらに加え、GF 座標ファイルおよび GF オーバーセットファイルの 2 種類（計 4 種類）が領域分割されます。

一方、流れソルバーが出力するファイルは、使用する機能に関係なく 2 種類（GF 流れ場ファイルおよび GF 履歴ファイル）なので、常にこの 2 種類の結果ファイルに対して、領域統合の処理を行います。

8.1.2 DDD ファイルについて

本システムでは、ファイルを領域分割する際に、以下に示す 2 段階の手順で行います。

1. 分割情報を含むデータファイルを作成する
2. 作成した分割データおよび分割対象を入力して、分割する。

本システムでは、分割データを'Domain Decompose Discription'ファイル(DDD ファイル、5.2.9 節参照)に格納されます。図 8.2 に示すとおり、流れ場ソルバーの入力データである各 GF データ(メッシュ、境界、座標、オーバーセット)は、DDD ファイルに格納されている分割データに基づいて、分割されます。DDD ファイルの作成には、全領域のメッシュデータが必要です。本システムでは、領域間の通信を最小化するように、最適化された領域分割情報が作成され、DDD ファイルに格納されます。DDD ファイルは、領域分割されたファイル(流れ場ファイル)を領域統合する際にも必要です。

DDD ファイルの作成方法、各 GF ファイルの分割、統合方法に関しては、次節以降のチュートリアルを参照してください。

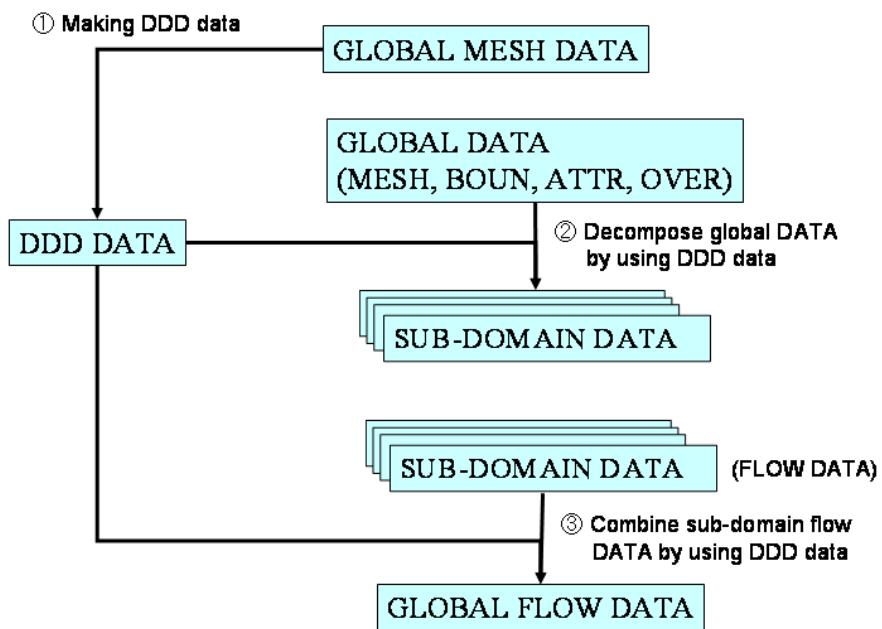


Figure 8.2: DDD (Domain-Decompose-Description) file

8.2 基本並列計算(六面体)

四面体要素並列ソルバー (les3c.mpi) を用いた基本的な計算の手順を以下に示します。

1. 入力データの作成
2. DDD ファイルの作成
3. メッシュ、境界ファイルの領域分割
4. 解析条件ファイルの作成
5. 流れ場の計算 (les3c.mpi の実行)
6. 流れ場ファイルの領域結合
7. 履歴ファイルの領域結合
8. 計算結果の分析

データフローを、表 8.1 に示します。また、本節で説明するデータ（図 8.3 参照）は 6.2 節で使用したデータと同一です。上記の手順のうち、はじめの入力データの作成に関しては、6.1.1 節～6.1.3 節で説明した内容と、同内容なのです。本章では、上記の入力データの作成について、簡単に説明します。また、計算結果の分析方法に関しては、6.1.6 節、6.1.7 節で説明した内容と同じです。本章では、結果の分析方法の説明を省略します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

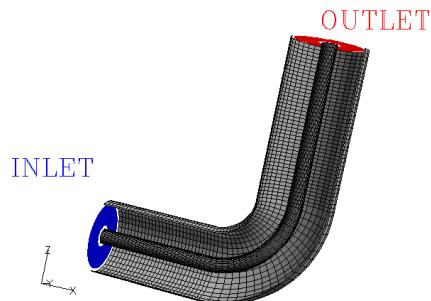


Figure 8.3: Computational models in this section

Table 8.1: data flow of basic parallel function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|----------------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (fva2gf6) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | DDD データの作成 (ddrgb) | GF メッシュファイル | GFDDD ファイル |
| 5 | メッシュ、境界データ の領域分割 (partd) | GF DDD ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (全体) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) |
| 6 | 流れ解析の実行 (les3c.mpi) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル (分割) |
| 7 | 流れデータの領域統合 (unifu) | GFDDD ファイル GF 流れファイル (分割) | GF 流れファイル (全体) |
| 8 | 履歴データの領域統合 (hsmrgi) | GF 履歴ファイル (分割) | GF 履歴ファイル (全体) |
| 9 | フォーマット変換 (gffv3) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 10 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

8.2.1 入力データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

6.1.1 節～6.1.3 節の説明に従い、計算に必要な入力データを作成します。入力データの作成に必要な手順を以下にまとめます。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成（6.1.1 節参照）
2. GF フォーマットファイルへの変換（6.1.2 節参照）
3. 境界条件データの編集（6.1.3 節参照）

入力データ作成をするためのスクリプトが用意してありますので、これを使用することにより上記の一連の処理を実行することができます。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ¹において以下のコマンドを実行してください。

./go.all

これにより、計算に必要なメッシュデータ（MESH）および境界データ（BOUN）が作成されます。

¹'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1'

8.2.2 DDD ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'ddrbg'を使用することにより、GF DDD ファイルを作成します。本プログラムは、GF メッシュファイルを入力し、領域通信が最小となるような最適化された領域分割情報を生成し、GF DDD ファイルに格納します。本プログラムには、起動スクリプト'ddrbg.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

ddrgb.pl GF-MESH GF-DDD NUM-DOMAINS

ここで、GF-MESH は入力する GF メッシュファイルのファイル名、GF-DDD は出力する GF DDD ファイルのファイル名、NUM-DOMAINS は領域の数です。

本節の処理を実行する場合は、

ddrgb.pl .. /MESH DDD 4

とすることにより、4 領域に分割するための GF DDD ファイル(DDD)が生成されます。なお、周辺プログラム'ddrbg'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.5.2 節を参照してください。

8.2.3 メッシュ、境界ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'partd'を使用することにより、8.2.1 節で作成した GF メッシュファイルおよび GF 境界ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの領域分割を行います。上記 3 種類の領域分割対象は、必要がなければ省略することができます。実際、本節における処理では、GF 流れファイルは扱いませんので、GF 流れ場ファイルの分割は省略されます。本プログラムには、起動スクリプト'partd.pl' が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`partd.pl [OPTION] GF-DDD GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW`

ここで、GF-DDD、GF-MESH、GF-BOUN、GF-FLOW は入力する GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルのファイル名です。また、オプションとしては、'-nm'、'-nb'、'-nf' が指定できます。これらのオプションを指定することにより、それぞれ GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルの入力およびその分割を省略することができます。オプションは、複数同時に使用することも可能です。オプションの使用例を以下に示します。

- GF 流れファイルの分割を省略する場合

`partd.pl -nb GF-DDD GF-MESH GF-BOUN`

- GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの分割を省略する場合

`partd.pl -nb -nf GF-DDD GF-MESH`

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ..../MESH ./MESH
ln -s ..../BOUN ./BOUN
partd.pl -nf DDD MESH BOUN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにあるメッシュファイルおよび境界条件ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に 1、2 行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は 4 衔であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、MESH に対し、MESH.P0001 ~ MESH.P0004 が生成され、同様に BOUN に対し、BOUN.P0001 ~ BOUN.P0004 が生成されます。

8.2.4 解析条件ファイル

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。（解析条件ファイルの詳細は21.2.2節を参照してください。）

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報（時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ）
- 物理定数（分子粘性、回転系の角速度）
- 入出力ファイル名（ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。）

図8.4に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図8.4と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

なお、図8.4に示す内容は6.1.4節における図6.5の内容と同一です。ひとつだけ異なるのは、入力ファイルの場所です。単体計算用の入力ファイルがディレクトリ

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1'

にあるのに対し、本節で使用する並列計算用の入力ファイルは、ディレクトリ

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

にあります。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      4      0      0      0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2     0.06   0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6 40     1.0E-6 10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    1000    0     1.0     0.0     0.0     0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0       0     0.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    4
        1       0.5   0.0     0.15
        2       0.5   0.0     0.15
        3       0.5   0.0     0.15
        4       0.5   0.0     0.15
#GIVE MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/DDD.04/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/DDD.04/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 8.4: sample of parameter file (PARMLES3C)

8.2.5 並列計算の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した、解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、以下のコマンドを入力します。

```
mpirun -np 4 les3c.mpi
```

このコマンドで計算を実行した場合、領域'P0001'を担当する1番CPUは、単体計算の場合と同様に、ログメッセージを画面（標準出力）に出力します。

領域'P0002'以降を担当する各CPUは、ログメッセージをファイルに出力します。ファイル名は、領域'PXXXX'に対して'les3c.log.PXXXX'です。ここで、XXXXは領域番号を示します。本節で行う処理の場合、'les3c.log.P0002'～'les3c.log.P0004'の3つのログファイルが出力されます。

1番CPUのログメッセージを、他のCPUと同様にファイルへ出力した場合は、以下に示すスクリプトを実行してください。

```
#!/bin/csh -f  
mpirun -np 8 les3c.mpi > les3d.log.P0001 &
```

本章に示すような、最も基本的な実行の場合に必要となるファイルは、以下に示す通りです。

```
#!/bin/csh -f  
mpirun -np 4 les3c.mpi > les3d.log.P0001 &
```

本節に示すような基本的な計算の場合に必要となるファイルは、以下に示す通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3c.mpi'は図8.5に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3c.mpi'は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

```
LES3C: VERSION 2007. 04. 20
      ** RUNNING IN PARALLEL MODE
      NPART =           4      IPART=          1

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

STEP    2 N=  30 TIME= 2.00000E-02 MAXD= 4.57986E-02 RESP= 1.41682E-07
        CFL = 1.76162E-03 DIFF= 8.31740E-05

STEP    4 N=  30 TIME= 4.00000E-02 MAXD= 4.79861E-02 RESP= 1.87392E-07
        CFL = 3.66470E-03 DIFF= 9.48405E-05

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

STEP   498 N=  20 TIME= 4.98000E+00 MAXD= 2.85681E-02 RESP= 4.80657E-07
        CFL = 1.09391E-01 DIFF= 4.55166E-03

STEP   500 N=  20 TIME= 5.00000E+00 MAXD= 2.77642E-02 RESP= 5.80120E-07
        CFL = 1.09650E-01 DIFF= 4.55260E-03

** TIME MARCH LOOP ENDED **

      ||
      ||
(途中省略)
      ||
      ||

DONE!

** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

Figure 8.5: les3c.mpi log output

8.2.6 流れ場ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。流れ場の出力ファイル名として、'FLOW'とした場合、出力されるファイルは以下の名前になります。

FLOW.P0001 FLOW.P0002 FLOW.P0003 FLOW.P0004

本節では、周辺プログラム'unifu'を使用することにより、領域ごとに出力したGF流れファイルを統合します。本プログラムは、GF DDD ファイル、領域ごとの GF 流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、領域ごとの GF 流れファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'unifu.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

unifu.pl GF-DDD GF-MESH

ここで、GF-DDD、GF-MESHは入力する GF DDD ファイルおよび GF メッシュファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

unifu.pl ../../DATA/data1/DDD.04/DDD FLOW

とすることにより、各領域の GF 流れファイルは全体の GF 流れファイルに統合されます。ここで入力する GF-DDD ファイルは、8.4.3 で、GF メッシュファイルと GF 境界ファイルを分割するのに使用したファイルでなくてはなりませんので、注意してください。

8.2.7 履歴ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。履歴データの出力ファイル名として'HISTORY'を指定した場合、'HYSTORY.P0001'～'HYSTORY.P0004'の4個のファイルがoutputされます。

本節では、周辺プログラム'hsmrgi'を使用することにより、領域ごとに出力したGF履歴ファイルを統合します。本プログラムは、領域ごとのGF履歴ファイルおよび、領域数を入力し、GF流履歴ファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'hsmrgi.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

hsmrgi.pl GF-HISTORY NUM-DOMAINS

ここで、GF-HISTORY、NUM-DOMAINSは入力するGF履歴ファイルのファイル、領域数です。本節の処理を実行する場合は、

hsmrgi.pl HISTORY 4

とすることにより、各領域のGF履歴ファイルは全体のGF履歴ファイルに統合されます。

8.3 基本並列計算(四面体)

四面体要素並列ソルバー (les3ct.mpi) を用いた基本的な計算の手順を以下に示します。

1. 入力データの作成
2. DDD ファイルの作成
3. メッシュ、境界ファイルの領域分割
4. 解析条件ファイルの作成
5. 流れ場の計算 (les3ct.mpi の実行)
6. 流れ場ファイルの領域結合
7. 履歴ファイルの領域結合
8. 計算結果の分析

データフローを、表 8.2 に示します。また、本節で説明するデータ（図 8.6 参照）は 6.2 節で使用したデータと同一です。上記の手順のうち、はじめの入力データの作成に関しては、6.2.1 節～6.2.3 節で説明した内容と、同内容なのです。本章では、上記の入力データの作成について、簡単に説明します。また、計算結果の分析方法に関しては、6.2.6 節、6.2.7 節で説明した内容と同じです。本章では、結果の分析方法の説明を省略します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

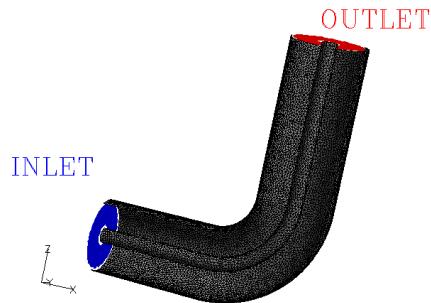


Figure 8.6: Computational models in this section

Table 8.2: data flow of basic parallel function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gft) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | DDD データの作成 (ddrgbt) | GF メッシュファイル | GFDDD ファイル |
| 5 | メッシュ、境界データ の領域分割 (partdt) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (全体) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) |
| 6 | 流れ解析の実行 (les3ct.mpi) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル (分割) |
| 7 | 流れデータの領域統合 (unifuf) | GFDDD ファイル GF 流れファイル (分割) | GF 流れファイル (全体) |
| 8 | 履歴データの領域統合 (hsmrg) | GF 履歴ファイル (分割) | GF 履歴ファイル (全体) |
| 9 | フォーマット変換 (gffv3t) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 10 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

8.3.1 入力データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

6.2.1～6.2.1の説明に従い、計算に必要な入力データを作成します。入力データの作成に必要な手順を以下にまとめます。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成（6.2.1節参照）
2. GF フォーマットファイルへの変換（6.2.2節参照）
3. 境界条件データの編集（6.2.3節参照）

入力データ作成をするためのスクリプトが用意してありますので、これを使用することにより上記の一連の処理を実行することができます。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ²において以下のコマンドを実行してください。

```
./go.all
```

これにより、計算に必要なメッシュデータ（MESH）および境界データ（BOUN）が作成されます。

²'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1'

8.3.2 DDD ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'ddrGBT'を使用することにより、GF DDD ファイルを作成します。本プログラムは、GF メッシュファイルを入力し、領域通信が最小となるような最適化された領域分割情報を生成し、GF DDD ファイルに格納します。本プログラムには、起動スクリプト'ddrGBT.pl' が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとあります。

ddrGBT.pl GF-MESH GF-DDD NUM-DOMAINS

ここで、GF-MESH は入力する GF メッシュファイルのファイル名、GF-DDD は出力する GF DDD ファイルのファイル名、NUM-DOMAINS は領域の数です。

本節の処理を実行する場合は、

ddrGBT.pl ../MESH DDD 4

とすることにより、4 領域に分割するための GF DDD ファイル(DDD)が生成されます。なお、周辺プログラム'ddrGBT'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.5.2 節を参照してください。

8.3.3 メッシュ、境界ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'partdt'を使用することにより、8.5.1で作成したGFメッシュファイルおよびGF境界ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDDファイル、GFメッシュファイル、GF境界ファイルおよびGF流れファイルを入力し、GF DDDファイル内の領域分割データに従って、GFメッシュファイル、GF境界ファイルおよびGF流れファイルの領域分割を行います。上記3種類の領域分割対象は、必要がなければ省略することができます。実際、本節における処理では、GF流れファイルは扱いませんので、GF流れ場ファイルの分割は省略されます。本プログラムには、起動スクリプト'partdt.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

partdt.pl [OPTION] GF-DDD GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW

ここで、GF-DDD、GF-MESH、GF-BOUN、GF-FLOWは入力するGF DDDファイル、GFメッシュファイル、GF境界ファイル、GF流れ場ファイルのファイル名です。また、オプションとしては、'-nm'、'-nb'、'-nf'が指定できます。これらのオプションを指定することにより、それぞれGFメッシュファイル、GF境界ファイル、GF流れ場ファイルの入力およびその分割を省略することができます。オプションは、複数同時に使用することも可能です。オプションの使用例を以下に示します。

- GF流れファイルの分割を省略する場合

partdt.pl -nb GF-DDD GF-MESH GF-BOUN

- GF境界ファイルおよびGF流れファイルの分割を省略する場合

partdt.pl -nb -nf GF-DDD GF-MESH

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../MESH ./MESH  
ln -s ../BOUN ./BOUN  
partdt.pl MESH DDD 4
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにあるメッシュファイルおよび境界条件ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に1、2行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号'が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001'から始まります。本節の処理の場合、MESHに対し、

MESH.P0001 ~ MESH.P0004 が生成され、同様に BOUN に対し、BOUN.P0001 ~ BOUN.P0004 が生成されます。

8.3.4 解析条件ファイル

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。（解析条件ファイルの詳細は21.2.3節を参照してください。）

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報（時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ）
- 物理定数（分子粘性、回転系の角速度）
- 入出力ファイル名（ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。）

図8.7に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図8.7と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

なお、図8.7に示す内容は6.2.4節における図6.13の内容と同一です。ひとつだけ異なるのは、入力ファイルの場所です。単体計算用の入力ファイルがディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1'

にあるのに対し、本節で使用する並列計算用の入力ファイルは、ディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data1/DDD.04'

にあります。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3CT
#GIVE IMODEL IPRESS IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      20      1      0      0      0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2    0.01   0.0
#GIVE EPS NMAX EPST NMAXT
    1.0E-4 200    1.0E-4 20
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    500     0       1.0     0.0     0.0     0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0       0       1.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    4
        1       0.5   0.0    0.15
        2       0.5   0.0    0.15
        3       0.5   0.0    0.15
        4       0.5   0.0    0.15
#GIVE MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 8.7: sample of parameter file (PARMLES3C)

8.3.5 並列計算の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3ct.mpi'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した、解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、以下のコマンドを入力します。

```
mpirun -np 4 les3ct.mpi
```

このコマンドで計算を実行した場合、領域'P0001'を担当する1番CPUは、単体計算の場合と同様に、ログメッセージを画面（標準出力）に出力します。

領域'P0002'以降を担当する各CPUは、ログメッセージをファイルに出力します。ファイル名は、領域'PXXXX'に対して'les3ct.log.PXXXX'です。ここで、XXXXは領域番号を示します。本節で行う処理の場合、'les3ct.log.P0002'～'les3ct.log.P0004'の3つのログファイルが出力されます。

1番CPUのログメッセージを、他のCPUと同様にファイルへ出力した場合は、以下に示すスクリプトを実行してください。

```
#!/bin/csh -f  
mpirun -np 4 les3ct.mpi > les3ct.log.P0001 &
```

本節に示すような基本的な計算の場合に必要となるファイルは、以下に示す通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3ct.mpi'は図8.5に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3ct.mpi'は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3CT: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

Figure 8.8: les3ct.mpi log output

8.3.6 流れ場ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3ct.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。流れ場の出力ファイル名として、'FLOW'をした場合、出力されるファイルは以下の名前になります。

FLOW.P0001 FLOW.P0002 FLOW.P0003 FLOW.P0004

本節では、周辺プログラム'unifu'を使用することにより、領域ごとに出力したGF流れファイルを統合します。本プログラムは、GF DDD ファイル、領域ごとの GF 流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、領域ごとの GF 流れファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'unifu.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

unifu.pl GF-DDD GF-MESH

ここで、GF-DDD、GF-MESH は入力する GF DDD ファイルおよび GF 流れファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

unifu.pl .../.../.../DATA/data1/DDD.04/DDD FLOW

とすることにより、各領域の GF 流れファイルは全体の GF 流れファイルに統合されます。ここで入力する GF-DDD ファイルは、8.5.3 で、GF メッシュファイルと GF 境界ファイルを分割するのに使用したファイル出なくてはなりませんので、注意してください。

8.3.7 履歴ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.11/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3ct.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。履歴データの出力ファイル名として'HISTORY'を指定した場合、'HYSTORY.P0001'～'HYSTORY.P0004'の4個のファイルがoutputされます。

本節では、周辺プログラム'hsmrg'を使用することにより、領域ごとに出力したGF履歴ファイルを統合します。本プログラムは、領域ごとのGF履歴ファイルおよび、領域数を入力し、GF流履歴ファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'hsmrg.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

hsmrg.pl GF-HISTORY NUM-DOMAINS

ここで、GF-HISTORY、NUM-DOMAINSは入力するGF履歴ファイルのファイル、領域数です。本節の処理を実行する場合は、

hsmrg.pl HISTORY 4

とすることにより、各領域のGF履歴ファイルは全体のGF履歴ファイルに統合されます。

8.4 オーバーセット計算を含む並列計算（六面体）

六面体要素並列ソルバー (les3c.mpi) を用いたオーバーセット計算の手順を以下に示します。

1. 入力データの作成
2. DDD ファイルの作成
3. メッシュ、境界ファイルの領域分割
4. オーバーセットファイルの領域分割
5. 座標系ファイルの領域分割
6. 解析条件ファイルの作成
7. 流れ場の計算 (les3c.mpi の実行)
8. 流れ場ファイルの領域結合
9. 履歴ファイルの領域結合
10. 計算結果の分析

データフローを、表 8.3 に示します。また、本節で説明するデータ（図 8.9 参照）は 7.3 節で使用したデータと同一です。上記の手順のうち、はじめの入力データの作成に関しては、7.2.6 節～7.2.6 節で説明した内容と、同内容なのです。本章では、上記の入力データの作成について、簡単に説明します。また、計算結果の分析方法に関しては、7.2.9 節、7.2.10 節で説明した内容と同じです。本章では、結果の分析方法の説明を省略します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data2/HEX/PIPE'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められてるスクリプトも同時に参照してください。

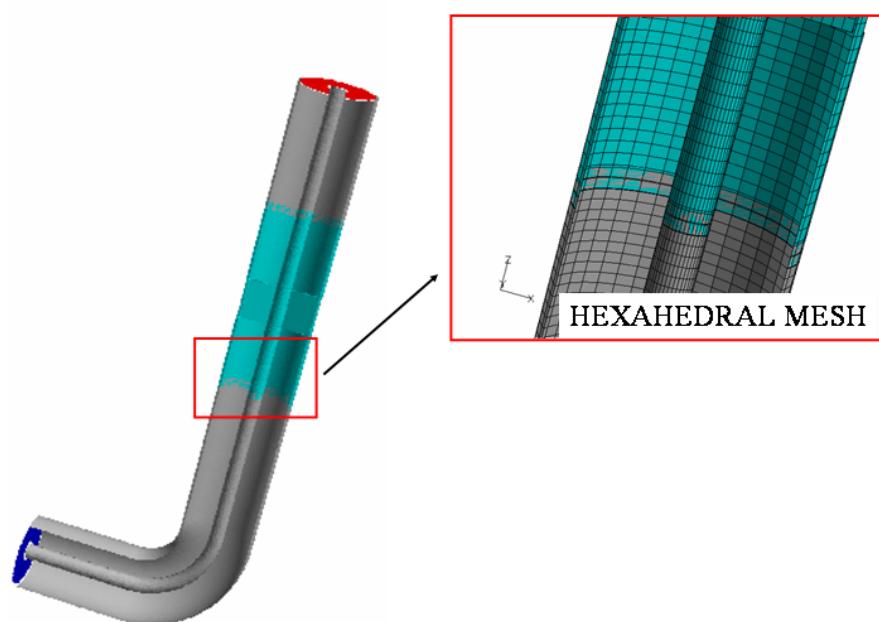


Figure 8.9: Compuautional models in this section

Table 8.3: data flow of basic parallel function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|--------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (fva2gff6) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stack) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsi) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setdi) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | DDD データの作成 (ddrgb) | GF メッシュファイル | GFDDD ファイル |
| 8 | メッシュ、境界データ の領域分割 (partd) | GF DDD ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (全体) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) |
| 9 | オーバーセットデータ の領域分割 (overd) | GF DDD ファイル GF オーバーセットファイル (全体) | GF オーバーセットファイル (分割) |
| 10 | 座標系データ の領域分割 (attrd) | GF DDD ファイル GF 座標系ファイル (全体) | GF 座標系ファイル (分割) |
| 11 | 流れ解析の実行 (les3c.mpi) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル (分割) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル (分割) |
| 12 | 流れデータの領域統合 (unifu) | GFDDD ファイル GF 流れファイル (分割) | GF 流れファイル (全体) |
| 13 | 履歴データの領域統合 (hsmrgi) | GF 履歴ファイル (分割) | GF 履歴ファイル (全体) |
| 14 | フォーマット変換 (gffv3) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 15 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

8.4.1 入力データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

7.2.1 節～7.2.6 節の説明に従い、計算に必要な入力データを作成します。入力データの作成に必要な手順を以下にまとめます。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成（6.1.1 節参照）
2. GF フォーマットファイルへの変換（6.1.2 節参照）
3. 境界条件データの編集（6.1.3 節参照）
4. メッシュ、境界データのスタック（6.1.4 節参照）
5. オーバーセットデータの作成（6.1.5 節参照）
6. 座標系データの作成（6.1.6 節参照）

入力データ作成をするためのスクリプトが用意してありますので、これを使用することにより上記の一連の処理を実行することができます。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ³において以下のコマンドを実行してください。

./go.all

これにより、計算に必要なメッシュデータ（MESH）、境界データ（BOUN）、オーバーセットデータ（OVER、OVER.DYN）および座標系データ（ATTR）が作成されます。

³'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

8.4.2 DDD ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'ddrbg'を使用することにより、GF DDD ファイルを作成します。本プログラムは、GF メッシュファイルを入力し、領域通信が最小となるような最適化された領域分割情報を生成し、GF DDD ファイルに格納します。本プログラムには、起動スクリプト'ddrbg.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

ddrgb.pl GF-MESH GF-DDD NUM-DOMAINS

ここで、GF-MESH は入力する GF メッシュファイルのファイル名、GF-DDD は出力する GF DDD ファイルのファイル名、NUM-DOMAINS は領域の数です。

本節の処理を実行する場合は、

ddrccb.pl ../MESH DDD 8

とすることにより、8 領域に分割するための GF DDD ファイル(DDD)が生成されます。なお、周辺プログラム'ddrbg'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.5.2 節を参照してください。

8.4.3 メッシュ、境界ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'partd'を使用することにより、8.4.1 節で作成した GF メッシュファイルおよび GF 境界ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの領域分割を行います。上記 3 種類の領域分割対象は、必要がなければ省略することができます。実際、本節における処理では、GF 流れファイルは扱いませんので、GF 流れ場ファイルの分割は省略されます。本プログラムには、起動スクリプト'partd.pl' が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

partd.pl [OPTION] GF-DDD GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW

ここで、GF-DDD、GF-MESH、GF-BOUN、GF-FLOW は入力する GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルのファイル名です。また、オプションとしては、'-nm'、'-nb'、'-nf' が指定できます。これらのオプションを指定することにより、それぞれ GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルの入力およびその分割を省略することができます。オプションは、複数同時に使用することも可能です。オプションの使用例を以下に示します。

- GF 流れファイルの分割を省略する場合

partd.pl -nb GF-DDD GF-MESH GF-BOUN

- GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの分割を省略する場合

partd.pl -nb -nf GF-DDD GF-MESH

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ..../MESH ./MESH  
ln -s ..../BOUN ./BOUN  
partd.pl -nf MESH DDD BOUN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにあるメッシュファイルおよび境界条件ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に 1、2 行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は 4 衔であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、MESH に対し、MESH.P0001 ~ MESH.P0008 が生成され、同様に BOUN に対し、BOUN.P0001 ~ BOUN.P0008 が生成されます。

8.4.4 オーバーセットファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOMe/data/HEX/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'overd'を使用することにより、8.4.1 節で作成した GF オーバーセットファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイルおよび GF オーバーセットファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF オーバーセットファイルの領域分割を行います。

overd.pl GF-DDD GF-OVER

ここで、GF-DDD、GF-OVER は入力する GF DDD ファイル、GF オーバーセットユーファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../OVER .  
ln -s ../OVER.DYN .  
overd.pl DDD OVER  
overd.pl DDD OVER.DYN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある 2 種類のオーバーセットファイル（静的：OVER、動的：OVER.DYN）の領域分割ファイルが、カレントディレクトリ（作業ディレクトリ）に展開されます。上記スクリプト中に 1、2 行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は 4 桁であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、OVER に対し、OVER.P0001 ~ OVER.P0008 が生成され、同様に OVER.DYN に対し、OVER.DYN.P0001 ~ OVER.DYN.P0008 が生成されます。

8.4.5 座標系ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOMe/data/HEX/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'attrd'を使用することにより、8.4.1節で作成した GF 座標系ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイルおよび GF 座標系ファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF 座標系ファイルの領域分割を行います。

attrd.pl GF-DDD GF-ATTR

ここで、GF-DDD、GF-ATTR は入力する GF DDD ファイル、GF 座標系ファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

ln -s/ATTR .
attrd.pl DDD ATTR

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある座標系ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に1行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、ATTR 对し、ATTR.P0001 ~ ATTR.P0008 が生成されます。

8.4.6 解析条件ファイル

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.11'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。（解析条件ファイルの詳細は21.2.2節を参照してください。）

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報（時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ）
- 物理定数（分子粘性、回転系の角速度）
- 入出力ファイル名（ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。）

図8.10に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図8.10と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.01'

なお、図8.10に示す内容は7.2.7節における図7.8の内容と同一です。ひとつだけ異なるのは、入力ファイルの場所です。単体計算用の入力ファイルがディレクトリ

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2'

にあるのに対し、本節で使用する並列計算用の入力ファイルは、ディレクトリ

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

にあります。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      4      0      -1      20
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5 0.2   6.283E-02 0.1
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6 40    1.0E-6   10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    3000   0     10.0    0.0    0.0    0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0       0     0.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1     -4.5    0.0    -6.5
        1     -3.5    0.0    -6.5
        1     -2.5    0.0    -6.5
        3     0.5     0.5     1.5
        3     0.5     0.5     2.5
        3     0.5     0.5     3.5
        3     0.5     0.5     4.5
        3     0.5     0.5     5.5
        3     0.5     0.5     6.5
#GIVE MESH DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../DATA/data2/DDD.08/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE ATTRIBUTE DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/ATTR
#GIVE OVERSET DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/OVER
#END OF INPUT DATA
```

Figure 8.10: sample of parameter file (PARMLES3C)

8.4.7 並列計算の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12/RES.01'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12/RES.02'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12/RES.03'  
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12/RES.04'
```

本節の処理を実行する前には、ディレクトリ

```
'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12/RES.01'
```

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算では、オーバーセットする場所が時間とともに変化するので、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では、静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については、本節の最後で説明します。本チュートリアルでは、パイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE.12'には、4個のディレクトリ RES.1[1,2,3,4] がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|--------|------------|
| RES.11 | 静的オーバーセット | 0~3 回転 | 速度 0、圧力 0 |
| RES.12 | 動的オーバーセット | 3~4 回転 | RES.11 の結果 |
| RES.13 | 動的オーバーセット | 4~5 回転 | RES.12 の結果 |
| RES.14 | 動的オーバーセット | 5~6 回転 | RES.13 の結果 |

各ディレクトリにおいて、

```
mpirun -np 8 les3c.mpi
```

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.1[2,3,4] の計算は、RES.0[1,2,3] のリストアート計算なので、RES.01 から順に計算をしなければならないことに注意してください。

このコマンドで計算を実行した場合、領域'P0001'を担当する1番CPUは、単体計算の場合と同様に、ログメッセージを画面（標準出力）に出力します。

領域'P0002'以降を担当する各CPUは、ログメッセージをファイルに出力します。ファイル名は、領域'PXXXX'に対して'les3c.log.PXXXX'です。ここで、XXXXは領域番号を示します。本節で行う処理の場合、'les3c.log.P0002'～'les3c.log.P0008'の7つのログファイルがoutputされます。

1番CPUのログメッセージを、他のCPUと同様にファイルへ出力した場合は、以下に示すスクリプトを実行してください。

```
#/bin/csh -f  
mpirun -np 8 les3c.mpi > les3d.log.P0001 &
```

本節に示すようなオーバーセット計算の場合に必要となるファイルは、以下に示す通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF オーバーセットデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 座標系データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3c.mpi'は図 8.11 に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3c.mpi'は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

```

LES3C: VERSION 2007. 04. 20
** RUNNING IN PARALLEL MODE
NPART =           8      IPART=           1

|||
(途中省略)
|||
||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET          ( 3-D )
FILENAME      = ../../DATA/data2/DDD.08/OVER.P0001

** READING ** PRESENT TIME             ; TIME = 0.000000E+00
** READING ** PRESENT STEP            ; STEP =          0
** READING ** OVERSET BOUNDARY NODES ; NPSET =          0
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NPSET =          0
** READING ** OVERSET BOUNDARY ELEMENTS ; NESET =          0
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NESET =          0

GFOVER: SUCCESSFULLY RETURNING

STEP      15 N=  40 TIME= 9.42450E-01 MAXD= 1.75516E-02 RESP= 5.60024E-07
          NU =          2 NV =          1 NW =          1
          RESU= 7.18055E-10 RESV= 4.09077E-07 RESW= 3.02383E-07
          CFL = 5.42152E-02 DIFF= 1.44649E-03
          HST1= 8.03770E-02 HST2= 8.72880E-09 HST3=-2.04918E-09

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET          ( 3-D )
FILENAME      = ../../DATA/data2/DDD.08/OVER.P0001

GFOVER: INCOMPLETE READ (END OF FILE)

STEP      30 N=  40 TIME= 1.88490E+00 MAXD= 1.62359E-02 RESP= 5.76099E-07
          NU =          2 NV =          2 NW =          1
          RESU= 4.39645E-09 RESV= 3.42294E-09 RESW= 6.41657E-07
          CFL = 1.04435E-01 DIFF= 3.74945E-03
          HST1= 1.63688E-01 HST2= 3.87641E-04 HST3= 9.03588E-05

|||
(途中省略)
|||
||

STEP  2985 N=  40 TIME= 1.87548E+02 MAXD= 1.51190E-01 RESP= 5.00464E-07
          NU =          6 NV =          6 NW =          5
          RESU= 1.54798E-07 RESV= 4.01107E-07 RESW= 6.27732E-07
          CFL = 1.36747E+00 DIFF= 6.84820E-02
          HST1= 1.06412E+00 HST2= 1.06566E+00 HST3= 1.12921E+00

STEP  3000 N=  30 TIME= 1.88490E+02 MAXD= 1.51823E-01 RESP= 9.73612E-07
          NU =          6 NV =          6 NW =          5
          RESU= 2.56609E-07 RESV= 6.44782E-07 RESW= 7.92353E-07
          CFL = 1.36612E+00 DIFF= 7.00949E-02
          HST1= 1.06529E+00 HST2= 1.07304E+00 HST3= 1.10477E+00

** TIME MARCH LOOP ENDED **

|||
(途中省略)
|||
||

DONE!

** LES3C: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 8.11: les3c.mpi log output

8.4.8 流れ場ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.11'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。流れ場の出力ファイル名として'FLOW'を指定した場合、'FLOW.P0001'～'FLOW.P0008'の8個のファイルが出力されます。

本節では、周辺プログラム'unifu'を使用することにより、領域ごとに出力したGF流れファイルを統合します。本プログラムは、GF DDDファイル、領域ごとのGF流れファイルを入力し、GF DDDファイル内の領域分割データに従って、領域ごとのGF流れファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'unifu.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

unifu.pl GF-DDD GF-MESH

ここで、GF-DDD、GF-MESHは入力するGFDDDファイルおよびGF流れファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

unifu.pl .../.../.../DATA/data2/DDD.08/DDD FLOW

とすることにより、各領域のGF流れファイルは全体のGF流れファイルに統合されます。ここで入力するGF-DDDファイルは、8.4.3で、GFメッシュファイルとGF境界ファイルを分割するのに使用したファイルでなくてはなりませんので、注意してください。

8.4.9 履歴ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.11'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。履歴データの出力ファイル名として'HISTORY'を指定した場合、'HYSTORY.P0001'～'HYSTORY.P0008'の8個のファイルがoutputされます。

本節では、周辺プログラム'hsmrgi'を使用することにより、領域ごとに出力したGF履歴ファイルを統合します。本プログラムは、領域ごとのGF履歴ファイルおよび、領域数を入力し、GF流履歴ファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'hsmrgi.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

hsmrgi.pl GF-HISTORY NUM-DOMAINS

ここで、GF-HISTORY、NUM-DOMAINSは入力するGF履歴ファイルのファイル、領域数です。本節の処理を実行する場合は、

hsmrgi.pl HISTORY 8

とすることにより、各領域のGF履歴ファイルは全体のGF履歴ファイルに統合されます。

8.5 オーバーセット計算を含む並列計算（四面体）

四面体要素並列ソルバー (les3ct.mpi) を用いたオーバーセット計算の手順を以下に示します。

1. 入力データの作成
2. DDD ファイルの作成
3. メッシュ、境界ファイルの領域分割
4. オーバーセットファイルの領域分割
5. 座標系ファイルの領域分割
6. 解析条件ファイルの作成
7. 流れ場の計算 (les3ct.mpi の実行)
8. 流れ場ファイルの領域結合
9. 履歴ファイルの領域結合
10. 計算結果の分析

データフローを、表 8.4 に示します。また、本節で説明するデータ（図 8.12 参照）は 7.3 節で使用したデータと同一です。上記の手順のうち、はじめの入力データの作成に関しては、7.3.1 節～7.3.6 節で説明した内容と同内容です。本章では、上記の入力データの作成について、簡単に説明します。また、計算結果の分析方法に関しては、7.3.9 節、7.3.10 節で説明した内容と同じです。本章では、結果の分析方法の説明を省略します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data2/TET/PIPE'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められてるスクリプトも同時に参照してください。

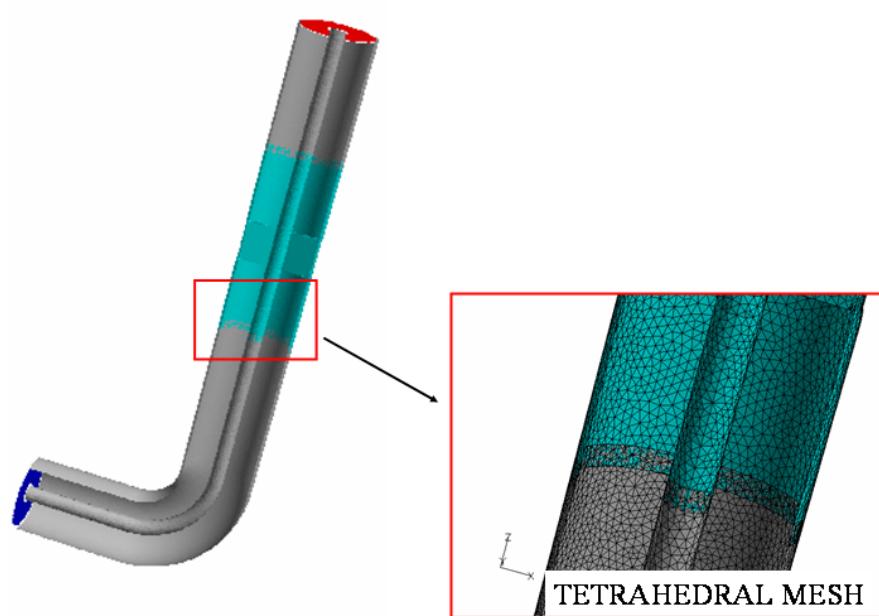


Figure 8.12: Computational models in this section

Table 8.4: data flow of basic parallel function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (grtgft) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stackt) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsit) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setdi) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | DDD データの作成 (ddrgbt) | GF メッシュファイル | GFDDD ファイル |
| 8 | メッシュ、境界データ の領域分割 (partdt) | GF DDD ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (全体) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) |
| 9 | オーバーセットデータ の領域分割 (overd) | GF DDD ファイル GF オーバーセットファイル (全体) | GF オーバーセットファイル (分割) |
| 10 | 座標系データ の領域分割 (attrd) | GF DDD ファイル GF 座標系ファイル (全体) | GF 座標系ファイル (分割) |
| 11 | 流れ解析の実行 (les3c.mpi) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル (分割) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル (分割) |
| 12 | 流れデータの領域統合 (unifu) | GFDDD ファイル GF 流れファイル (分割) | GF 流れファイル (全体) |
| 13 | 履歴データの領域統合 (hsmrg) | GF 履歴ファイル (分割) | GF 履歴ファイル (全体) |
| 14 | フォーマット変換 (gffv3) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 15 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

8.5.1 入力データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

7.3.1 節～7.3.6 節の説明に従い、計算に必要な入力データを作成します。入力データの作成に必要な手順を以下にまとめます。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成（6.2.1 節参照）
2. GF フォーマットファイルへの変換（6.2.2 節参照）
3. 境界条件データの編集（6.2.3 節参照）
4. メッシュ、境界データのスタック（6.2.4 節参照）
5. オーバーセットデータの作成（6.2.5 節参照）
6. 座標系データの作成（6.2.6 節参照）

入力データ作成をするためのスクリプトが用意してありますので、これを使用することにより上記の一連の処理を実行することができます。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ⁴において以下のコマンドを実行してください。

./go.all

これにより、計算に必要なメッシュデータ（MESH）、境界データ（BOUN）、オーバーセットデータ（OVER、OVER.DYN）および座標系データ（ATTR）が作成されます。

⁴'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

8.5.2 DDD ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'ddrGBT'を使用することにより、GF DDD ファイルを作成します。本プログラムは、GF メッシュファイルを入力し、領域通信が最小となるような最適化された領域分割情報を生成し、GF DDD ファイルに格納します。本プログラムには、起動スクリプト'ddrGBT.pl' が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとあります。

ddrGBT.pl GF-MESH GF-DDD NUM-DOMAINS

ここで、GF-MESH は入力する GF メッシュファイルのファイル名、GF-DDD は出力する GF DDD ファイルのファイル名、NUM-DOMAINS は領域の数です。

本節の処理を実行する場合は、

ddrGBT.pl ../MESH DDD 8

とすることにより、8 領域に分割するための GF DDD ファイル(DDD)が生成されます。なお、周辺プログラム'ddrGBT' は起動スクリプトを使わずに、インタラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.5.3 節を参照してください。

8.5.3 メッシュ、境界ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'partdt'を使用することにより、8.5.1 節で作成した GF メッシュファイルおよび GF 境界ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF メッシュファイル、GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの領域分割を行います。上記 3 種類の領域分割対象は、必要がなければ省略することができます。実際、本節における処理では、GF 流れファイルは扱いませんので、GF 流れ場ファイルの分割は省略されます。本プログラムには、起動スクリプト'partdt.pl' が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

partdt.pl [OPTION] GF-DDD GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW

ここで、GF-DDD、GF-MESH、GF-BOUN、GF-FLOW は入力する GF DDD ファイル、GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルのファイル名です。また、オプションとしては、'-nm'、'-nb'、'-nf' が指定できます。これらのオプションを指定することにより、それぞれ GF メッシュファイル、GF 境界ファイル、GF 流れ場ファイルの入力およびその分割を省略することができます。オプションは、複数同時に使用することも可能です。オプションの使用例を以下に示します。

- GF 流れファイルの分割を省略する場合

partdt.pl -nb GF-DDD GF-MESH GF-BOUN

- GF 境界ファイルおよび GF 流れファイルの分割を省略する場合

partdt.pl -nb -nf GF-DDD GF-MESH

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ..../MESH ./MESH  
ln -s ..../BOUN ./BOUN  
partdt.pl -nf MESH DDD BOUN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにあるメッシュファイルおよび境界条件ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に 1、2 行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は 4 衔であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、MESH に対し、MESH.P0001 ~ MESH.P0008 が生成され、同様に BOUN に対し、BOUN.P0001 ~ BOUN.P0008 が生成されます。

8.5.4 オーバーセットファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOMe/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'overd'を使用することにより、8.5.1 節で作成した GF オーバーセットファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイルおよび GF オーバーセットファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、GF オーバーセットファイルの領域分割を行います。

overd.pl GF-DDD GF-OVER

ここで、GF-DDD、GF-OVER は入力する GF DDD ファイル、GF オーバーセットユーファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../OVER .  
ln -s ../OVER.DYN .  
overd.pl DDD OVER  
overd.pl DDD OVER.DYN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある 2 種類のオーバーセットファイル（静的：OVER、動的：OVER.DYN）の領域分割ファイルが、カレントディレクトリ（作業ディレクトリ）に展開されます。上記スクリプト中に 1、2 行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は 4 桁であり、'0001' から始まります。本節の処理の場合、OVER に対し、OVER.P0001 ~ OVER.P0008 が生成され、同様に OVER.DYN に対し、OVER.DYN.P0001 ~ OVER.DYN.P0008 が生成されます。

8.5.5 座標系ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOMe/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'attrd'を使用することにより、8.5.1節で作成したGF座標系ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDDファイルおよびGF座標系ファイルを入力し、GF DDDファイル内の領域分割データに従って、GF座標系ファイルの領域分割を行います。

attrd.pl GF-DDD GF-ATTR

ここで、GF-DDD、GF-ATTRは入力するGF DDDファイル、GF座標系ファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

ln -s/ATTR .
attrd.pl DDD ATTR

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある座標系ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に1行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号'が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001'から始まります。本節の処理の場合、ATTRに対し、ATTR.P0001 ~ ATTR.P0008が生成されます。

8.5.6 解析条件ファイル

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE/EXE.12/RES.11'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3ct.mpi'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は固定されていて'PARMLES3C'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。（解析条件ファイルの詳細は21.2.3節を参照してください。）

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報（時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ）
- 物理定数（分子粘性、回転系の角速度）
- 入出力ファイル名（ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。）

図8.13に解析条件ファイル'PARMLES3C'のサンプルを示します。図8.13と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.01'

なお、図8.13に示す内容は7.3.7節における図7.17の内容と同一です。ひとつだけ異なるのは、入力ファイルの場所です。単体計算用の入力ファイルがディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

にあるのに対し、本節で使用する並列計算用の入力ファイルは、ディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

にあります。

```

#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      4      0      -1      20
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY
    0.05   0.0     0.0     0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5  0.2   6.283E-02  0.1
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6  40    1.0E-6   10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    3000    0    10.0    0.0    0.0    0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
    0        0    0.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1      -4.5    0.0    -6.5
        1      -3.5    0.0    -6.5
        1      -2.5    0.0    -6.5
        3      0.5     0.5     1.5
        3      0.5     0.5     2.5
        3      0.5     0.5     3.5
        3      0.5     0.5     4.5
        3      0.5     0.5     5.5
        3      0.5     0.5     6.5
#GIVE MESH DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../DATA/data2/DDD.08/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE ATTRIBUTE DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/ATTR
#GIVE OVERSET DATA FILE
../../DATA/data2/DDD.08/OVER
#END OF INPUT DATA

```

Figure 8.13: sample of parameter file (PARMLES3C)

8.5.7 並列計算の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.12/RES.01'  
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.12/RES.02'  
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.12/RES.03'  
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.12/RES.04'
```

本節の処理を実行する前には、ディレクトリ

```
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.12/RES.01'
```

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算では、オーバーセットする場所が時間とともに変化するので、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では、静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については、本節の最後で説明します。本チュートリアルでは、パイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.02'には、4個のディレクトリ RES.0[1,2,3,4] がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|--------|------------|
| RES.01 | 静的オーバーセット | 0~3 回転 | 速度 0、圧力 0 |
| RES.02 | 動的オーバーセット | 3~4 回転 | RES.01 の結果 |
| RES.03 | 動的オーバーセット | 4~5 回転 | RES.02 の結果 |
| RES.04 | 動的オーバーセット | 5~6 回転 | RES.03 の結果 |

各ディレクトリにおいて、

```
mpirun -np 8 les3ct.mpi
```

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.1[2,3,4] の計算は、RES.0[1,2,3] のリストアート計算なので、RES.01 から順に計算をしなければならないことに注意してください。

このコマンドで計算を実行した場合、領域'P0001'を担当する1番CPUは、単体計算の場合と同様に、ログメッセージを画面（標準出力）に出力します。

領域'P0002'以降を担当する各CPUは、ログメッセージをファイルに出力します。ファイル名は、領域'PXXXX'に対して'les3ct.log.PXXXX'です。ここで、XXXXは領域番号を示します。本節で行う処理の場合、'les3ct.log.P0002'～'les3ct.log.P0008'の7つのログファイルがoutputされます。

1番CPUのログメッセージを、他のCPUと同様にファイルへ出力した場合は、以下に示すスクリプトを実行してください。

```
#/bin/csh -f  
mpirun -np 8 les3ct.mpi > les3ct.log.P0001 &
```

本節に示すようなオーバーセット計算の場合に必要となるファイルは以下に示すとおりです。

- 解析条件データファイル (ファイル名は'PARMLES3C')
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF オーバーセットデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 座標系データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3ct.mpi' は図 8.14 に示すようなメッセージを出力して(標準出力) 計算を開始します。問題がなければ'les3ct.mpi' は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3CT: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

```

LES3CT: VERSION 2007.04.25
    ** RUNNING IN PARALLEL MODE
        NPART =           8      IPART=          1
        ||
        ||
(途中省略)
        ||
        ||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET          ( 3-D )
FILENAME      = .../.../DATA/data2/DDD.08/OVER.P0001

** READING ** PRESENT TIME ; TIME = 0.000000E+00
** READING ** PRESENT STEP ; STEP = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY NODES ; NPSET = 1072
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NPSET = 1072
** READING ** OVERSET BOUNDARY ELEMENTS ; NESET = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NESET = 0

GFOVER: SUCCESSFULLY RETURNING

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET          ( 3-D )
FILENAME      = .../.../DATA/data2/DDD.08/OVER.P0001

GFOVER: INCOMPLETE READ (END OF FILE)

STEP      30 N= 200 TIME= 9.42478E-01 MAXD= 5.99894E-01 RESP= 1.64423E-04
          NUMU= 1 NUMV= 1 NUMW= 1
          RESU= 2.24700E-07 RESV= 2.53035E-07 RESW= 2.47884E-07

STEP      60 N= 31 TIME= 1.88496E+00 MAXD= 2.45746E+00 RESP= 1.89985E-04
          NUMU= 1 NUMV= 1 NUMW= 1
          RESU= 1.86616E-05 RESV= 4.78456E-05 RESW= 4.66208E-05

        ||
        ||
(途中省略)
        ||
        ||

STEP 6000 N= 0 TIME= 1.88496E+02 MAXD= 1.52770E+01 RESP= 2.56369E-04
      NUMU= 2 NUMV= 3 NUMW= 2
      RESU= 9.48622E-04 RESV= 1.88356E-04 RESW= 3.74713E-03

** TIME MARCH LOOP ENDED **

        ||
        ||
(途中省略)
        ||
        ||

** LES3CT:SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 8.14: les3c.mpi log output

8.5.8 流れ場ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOMEDATA/TET/PIPE/EXE/EXE.12/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。流れ場の出力ファイル名として'FLOW'を指定した場合、「FLOW.P0001」～「FLOW.P0008」の8個のファイルが出力されます。

本節では、周辺プログラム'unifu'を使用することにより、領域ごとに出力したGF流れファイルを統合します。本プログラムは、GFDDDファイル、領域ごとのGF流れファイルを入力し、GFDDDファイル内の領域分割データに従って、領域ごとのGF流れファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'unifu.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

unifu.pl GF-DDD GF-MESH

ここで、GF-DDD、GF-MESHは入力するGFDDDファイルおよびGF流れファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

unifu.pl .../.../.../DATA/data2/DDD.08/DDD FLOW

とすることにより、各領域のGF流れファイルは全体のGF流れファイルに統合されます。ここで入力するGFDDDファイルは、8.5.3で、GFメッシュファイルとGF境界ファイルを分割するのに使用したファイルでなくてはなりませんので、注意してください。

8.5.9 履歴ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/HEX/PIPE/EXE/EXE.12/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3c.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。履歴データの出力ファイル名として'HISTORY'を指定した場合、'HYSTORY.P0001'～'HYSTORY.P0008'の8個のファイルがoutputされます。

本節では、周辺プログラム'hsmrg'を使用することにより、領域ごとに出力したGF履歴ファイルを統合します。本プログラムは、領域ごとのGF履歴ファイルおよび、領域数を入力し、GF流履歴ファイルを統合します。本プログラムには、起動スクリプト'hsmrg.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

hsmrg.pl GF-HISTORY NUM-DOMAINS

ここで、GF-HISTORY、NUM-DOMAINSは入力するGF履歴ファイルのファイル、領域数です。本節の処理を実行する場合は、

hsmrg.pl HISTORY 8

とすることにより、各領域のGF履歴ファイルは全体のGF履歴ファイルに統合されます。

8.6 オーバーセット計算を含む並列計算（マルチ要素ソルバー）

マルチ要素並列ソルバー (les3x.mpi) を用いたオーバーセット計算の手順を以下に示します。

1. 入力データの作成
2. DDD ファイルの作成
3. メッシュ、境界ファイルの領域分割
4. オーバーセットファイルの領域分割
5. 座標系ファイルの領域分割
6. 解析条件ファイルの作成
7. 流れ場の計算 (les3x.mpi の実行)
8. 流れ場ファイルの領域結合
9. 履歴ファイルの領域結合
10. 計算結果の分析

データフローを表 8.5 に示します。また、本節で説明するデータ（図 8.15 参照）は 7.4 節で使用したデータと同一です。上記の手順のうち、はじめの入力データの作成に関しては、7.4.1 節～7.4.6 節で説明した内容と同内容です。本節では、上記の入力データの作成について簡単に説明します。また、計算結果の分析方法に関しては、7.4.9 節および 7.4.10 節で説明した内容と同一ですので、説明を省略します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

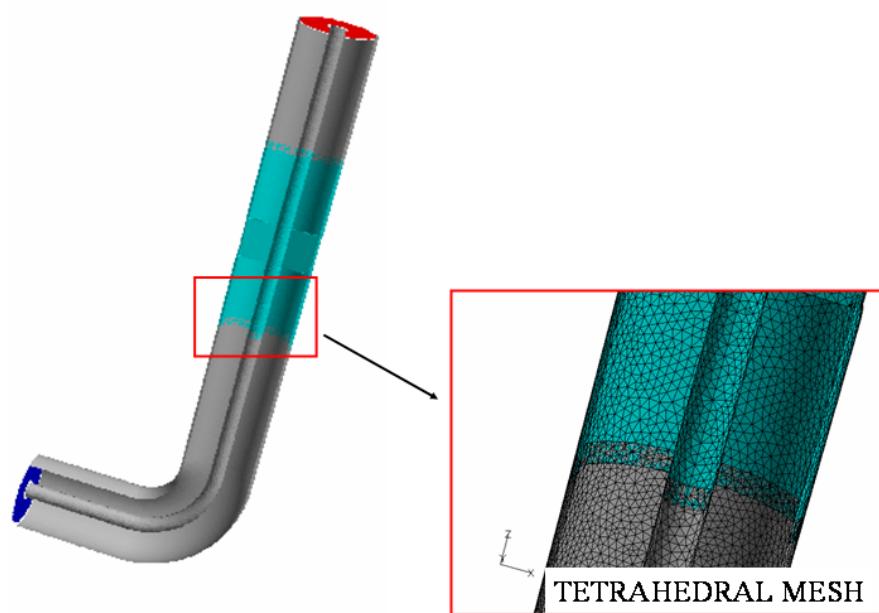


Figure 8.15: Computational models in this section

Table 8.5: data flow of basic parallel function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|---------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (grtgfx) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | メッシュ、境界データ のスタック (stackx) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 5 | 静的オーバーセット データの作成 (setsix) | GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 静的 GF オーバーセット ファイル |
| 5 | 動的オーバーセット データの作成 (setdix) | 静的 GF オーバーセット GF メッシュファイル (3種類) GF 境界ファイル (3種類) | 動的 GF オーバーセット ファイル |
| 6 | 座標系データの作成 (attrs) | GF メッシュファイル (3種類) | GF 座標系ファイル |
| 7 | DDD データの作成 (ddrgbx) | GF メッシュファイル | GFDDD ファイル |
| 8 | メッシュ、境界データ の領域分割 (partdx) | GF DDD ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (全体) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (分割) |
| 9 | オーバーセットデータ の領域分割 (overd) | GF DDD ファイル GF オーバーセットファイル (全体) | GF オーバーセットファイル (分割) |
| 10 | 座標系データ の領域分割 (attrd) | GF DDD ファイル GF 座標系ファイル (全体) | GF 座標系ファイル (分割) |
| 11 | 流れ解析の実行 (les3x.mpi) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF オーバーセットファイル GF 座標系ファイル (分割) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル (分割) |
| 12 | 流れデータの領域統合 (unifu) | GFDDD ファイル GF 流れファイル (分割) | GF 流れファイル (全体) |
| 13 | 履歴データの領域統合 (hsmrg) | GF 履歴ファイル (分割) | GF 履歴ファイル (全体) |
| 14 | フォーマット変換 (gffv3x) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 15 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

8.6.1 入力データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

7.4.1 節～7.4.6 節の説明に従い、計算に必要な入力データを作成します。
入力データの作成に必要な手順を以下にまとめます。

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成（7.4.1 節参照）
2. GF フォーマットファイルへの変換（7.4.2 節参照）
3. 境界条件データの編集（7.4.3 節参照）
4. メッシュ、境界データのスタック（7.4.4 節参照）
5. オーバーセットデータの作成（7.4.5 節参照）
6. 座標系データの作成（7.4.6 節参照）

7.4 節のチュートリアルをすでに実行済みの場合、以上のデータはすでに作成済みですので、次節以降の単体計算の準備を直ちに開始することができます。

7.4 節のチュートリアルを省略する場合（または、再度データの作成が必要な場合）、入力データ作成をするためのスクリプトが用意してありますので、これを使用することにより上記の一連の処理を実行することができます。このスクリプトを実行するためには、作業ディレクトリ⁵において以下のコマンドを実行してください。

`./go.all`

これにより、計算に必要なメッシュデータ（MESH）、境界データ（BOUN）、オーバーセットデータ（OVER、OVER.DYN）および座標系データ（ATTR）が作成されます。

⁵'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03'

8.6.2 DDD ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.08'
```

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.16'
```

以上の 2 つのディレクトリは、それぞれ 8CPU で並列計算をする場合と 16CPU で計算する場合とに対応しています。本節では 16 分割の場合について説明していますが、計算環境に応じてどちらかを使用するか、あるいは分割数を示す部分を変更して計算環境に適した計算を行ってください。

周辺プログラム'ddrgbx' を使用することにより、GF DDD ファイルを作成します。本プログラムは、GF メッシュファイルを入力し、領域通信が最小となるように最適化された領域分割情報を生成し、GF DDD ファイルに格納します。本プログラムには、起動スクリプト'ddrgbx.pl' が用意されています。起動スクリプトの使用方法は以下の通りです。

```
ddrgbx.pl GF-MESH GF-DDD NUM-DOMAINS
```

ここで、GF-MESH は入力する GF メッシュファイルのファイル名、GF-DDD は出力する GF DDD ファイルのファイル名、NUM-DOMAINS は領域の数です。

16 分割で本節の処理を実行する場合は、

```
ddrggbt.pl ../MESH DDD 16
```

とすることにより、16 領域に分割するための GF DDD ファイル (DDD) が作成されます。分割数を変更する場合、適切な数値に変更してください。なお、周辺プログラム'ddrgbx' は起動スクリプトを使わずに、インターフェイスに使用することも可能です。これに関しては、18.5.3 節を参照してください。

8.6.3 メッシュ、境界ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.08'
```

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.16'
```

以上の2つのディレクトリは、それぞれ8CPUで並列計算をする場合と16CPUで計算する場合とに対応しています。本節では16分割の場合について説明していますが、計算環境に応じてどちらかを使用するか、あるいは分割数を示す部分を変更して計算環境に適した計算を行ってください。

周辺プログラム'partdx'を使用することにより、8.6.1節で作成したGFメッシュファイルおよびGF境界ファイルを領域分割します。本プログラムは、GFDDDファイル、GFメッシュファイル、GF境界ファイルおよびGF流れファイルを入力し、GFDDDファイル内の領域分割データに従って、GFメッシュファイル、GF境界ファイルおよびGF流れファイルの領域分割を行います。分割数はGFDDDファイルに従って自動的に設定されますので、8.6.2節で指定した分割数がそのまま有効になります。上記3種類の領域分割対象は、必要がなければ省略することができます。例えば、本節における処理ではGF流れファイルは扱いませんので、GF流れ場ファイルの分割は省略されます。本プログラムには起動スクリプト'partdt.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は以下の通りです。

```
partdx.pl [OPTION] GF-DDD GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW
```

ここで、GF-DDD、GF-MESH、GF-BOUN、GF-FLOWは入力するGFDDDファイル、GFメッシュファイル、GF境界ファイル、GF流れ場ファイルのファイル名です。また、オプションとしては、'-nm'、'-nb'、'-nf'が指定できます。これらのオプションを指定することにより、それぞれGFメッシュファイル、GF境界ファイル、GF流れ場ファイルの入力およびその分割を省略することができます。オプションは、複数同時に使用することも可能です。オプションの使用例を以下に示します。

- GF流れファイルの分割を省略する場合

```
partdx.pl -nb GF-DDD GF-MESH GF-BOUN
```

- GF境界ファイルおよびGF流れファイルの分割を省略する場合

```
partdx.pl -nb -nf GF-DDD GF-MESH
```

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../MESH ./MESH  
ln -s ../BOUN ./BOUN  
partdx.pl -nf MESH DDD BOUN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにあるメッシュファイルおよび境界条件ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ（作業ディレクトリ）に展開されます。上記スクリプト中に1、2行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P 領域番号' が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001' から始まります。分割数16としたGF DDD ファイルを用いて本節の処理を行った場合、MESH に対して MESH.P0001 ~ MESH.P0016 が生成され、同様に BOUN に対して BOUN.P0001 ~ BOUN.P0016 が生成されます。

8.6.4 オーバーセットファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.08'

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.16'

以上の2つのディレクトリは、それぞれ8CPUで並列計算をする場合と16CPUで計算する場合とに対応しています。本節では16分割の場合について説明していますが、計算環境に応じてどちらかを使用するか、あるいは分割数を示す部分を変更して計算環境に適した計算を行ってください。

周辺プログラム'overd'を使用することにより、8.6.1節で作成したGFオーバーセットファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDD ファイルおよびGFオーバーセットファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従ってGFオーバーセットファイルの領域分割を行います。

overd.pl GF-DDD GF-OVER

ここで、GF-DDD、GF-OVERは入力するGF DDD ファイル、GFオーバーセットファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../OVER .
ln -s ../OVER.DYN .
overd.pl DDD OVER
overd.pl DDD OVER.DYN
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある2種類のオーバーセットファイル(静的:OVER、動的:OVER.DYN)の領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に1、2行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'.P領域番号'が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001'から始まります。分割数を16としたGF DDD ファイルを用いて本節の処理を行った場合、OVERに対してOVER.P0001～OVER.P0016が生成され、同様にOVER.DYNに対してOVER.DYN.P0001～OVER.DYN.P0016が生成されます。

8.6.5 座標系ファイルの領域分割

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.08'

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.16'

以上の2つのディレクトリは、それぞれ8CPUで並列計算をする場合と16CPUで計算する場合とに対応しています。本節では16分割の場合について説明していますが、計算環境に応じてどちらかを使用するか、あるいは分割数を示す部分を変更して計算環境に適した計算を行ってください。

周辺プログラム'attrd'を使用することにより、8.6.1節で作成したGF座標系ファイルを領域分割します。本プログラムは、GF DDDファイルおよびGF座標系ファイルを入力し、GF DDDファイル内の領域分割データに従ってGF座標系ファイルの領域分割を行います。

attrd.pl GF-DDD GF-ATTR

ここで、GF-DDD、GF-ATTRは入力するGF DDDファイル、GF座標系ファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ..../ATTR .  
attrd.pl DDD ATTR
```

とすることにより、ひとつ上のディレクトリにある座標系ファイルの領域分割ファイルが、カレントディレクトリ(作業ディレクトリ)に展開されます。上記スクリプト中に1行目は、ひとつ上のディレクトリにあるファイルをカレントディレクトリにリンクするための処理です。領域分割後のファイル名は、全体のファイル名のあとに、'P 領域番号'が追加されます。領域番号は4桁であり、'0001'から始まります。分割数を16としたGF DDDファイルを用いて本節の処理を行った場合、ATTRに対し、ATTR.P0001～ATTR.P0016が生成されます。

8.6.6 解析条件ファイル

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.08'

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/DATA/data03/DDD.16'

以上の2つのディレクトリは、それぞれ8CPUで並列計算をする場合と16CPUで計算する場合とに対応しています。本節では16分割の場合について説明していますが、計算環境に応じてどちらかを使用するか、あるいは分割数を示す部分を変更して計算環境に適した計算を行ってください。

流体解析ソルバー'les3x.mpi'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルのファイル名は'PARMLES3X'と定められています。解析条件ファイルには、以下に示すような基本的な解析条件情報が含まれています。(解析条件ファイルの詳細は21.2.3節を参照してください。)

- 乱流モデル、出力ファイル、オーバーセット条件等を指定するフラグ
- 履歴データのサンプリングに必要な情報
- 時間積分に関する情報(時間刻み、ステップ数、時間緩和パラメータ)
- 物理定数(分子粘性、回転系の角速度)
- 入出力ファイル名(ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。)

図8.16に解析条件ファイル'PARMLES3X'のサンプルを示します。図8.16と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.01'

なお、図8.16に示す内容は、入力ファイルの場所を除き、7.4.7節における図7.26の内容と同一です。本節の手順に従う場合、単体計算用の入力ファイルはディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2'

にあり、本節で使用する並列計算用の入力ファイルはディレクトリ

'LES3DHOME/data/TET/PIPE/DATA/data2/DDD.08'

にあります。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
    1      22      1      0      -1      20
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
    0.05    0.0    0.0    0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
    1.0E-5  0.2  6.283E-02  0.1
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
    1.0E-6  40   1.0E-6   10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    3000    0    10.0    0.0    0.0    0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCCL
    0      0    0.0    0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    9
        1      -4.5    0.0   -6.5
        1      -3.5    0.0   -6.5
        1      -2.5    0.0   -6.5
        3      0.5     0.5    1.5
        3      0.5     0.5    2.5
        3      0.5     0.5    3.5
        3      0.5     0.5    4.5
        3      0.5     0.5    5.5
        3      0.5     0.5    6.5

#GIVE MESH DATA FILE
../../../../DATA/data03/DDD.16/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../../../DATA/data03/DDD.16/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE ATTRIBUTE DATA FILE
../../../../DATA/data03/DDD.16/ATTR
#GIVE OVERSET DATA FILE
../../../../DATA/data03/DDD.16/OVER
#END OF INPUT DATA
```

Figure 8.16: sample of parameter file (PARMLES3X)

8.6.7 並列計算の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.01'
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.02'
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.03'
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.04'
```

本節の処理を実行する前には、ディレクトリ

```
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.03/RES.01'
```

に移動してください。

回転系を含むマルチフレーム計算ではオーバーセットする場所が時間とともに変化するため、動的オーバーセットデータが必要となります。初期計算では静的オーバーセットデータを使用することを推奨します。この理由については本節の最後で説明します。本チュートリアルではパイプ内部の回転体が3回転するまでの時間を静的オーバーセットで計算し、次の3回転を動的オーバーセットで計算します。

ディレクトリ'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03'には4個のディレクトリRES.0[1,2,3,4]がありますが、これらのディレクトリにおける計算条件は以下の通りです。

| ディレクトリ名 | オーバーセット | 時間 | 初期データ |
|---------|-----------|-------|-----------|
| RES.01 | 静的オーバーセット | 0~3回転 | 速度0、圧力0 |
| RES.02 | 動的オーバーセット | 3~4回転 | RES.01の結果 |
| RES.03 | 動的オーバーセット | 4~5回転 | RES.02の結果 |
| RES.04 | 動的オーバーセット | 5~6回転 | RES.03の結果 |

各ディレクトリにおいて、

```
mpirun -np 16 les3x.mpi
```

を入力することにより、流れ解析が実行されます。RES.1[2,3,4]の計算はRES.0[1,2,3]のリストアート計算ですので、RES.01から順に計算をしなければならないことに注意してください。

このコマンドで計算を実行した場合、領域'P0001'を担当する1番CPUは、単体計算の場合と同様に、ログメッセージを画面（標準出力）に出力します。

領域'P0002'以降を担当する各CPUは、ログメッセージをファイルに出力します。ファイル名は、領域'PXXXX'に対して'les3x.log.PXXXX'です。ここで、XXXXは領域番号を示します。本節で行う処理の場合、'les3x.log.P0002'～'les3x.log.P0016'の15個のログファイルが出力されます。

1番CPUのログメッセージを、他のCPUと同様にファイルへ出力した場合は、以下に示すスクリプトを実行してください。

```
#/bin/csh -f  
mpirun -np 16 les3ct.mpi > les3ct.log.P0001 &
```

本節に示すようなオーバーセット計算の場合に必要となるファイルは以下に示すとおりです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF オーバーセットデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 座標系データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x.mpi'は図 8.17 に示すようなメッセージを標準出力へ出力して計算を開始します。問題がなければ'les3x.mpi'は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

'les3x' の性能測定機能を有効にしてインストールした場合、図 8.17 に示す通り、上記終了メッセージの直前に実効効率に関する情報が出力されます。

```

LES3X:VER. 11.05 :2010.05.14
** RUNNING IN PARALLEL MODE
NPART = 16 IPART= 1

||
||
(途中省略)
||
||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET ( 3-D )
FILENAME = ../../DATA/data12/DDD.16/OVER.P0001

** READING ** PRESENT TIME ; TIME = 0.000000000E+00
** READING ** PRESENT STEP ; STEP = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY NODES ; NPSET = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NPSET = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY ELEMENTS ; NESET = 0
** READING ** OVERSET BOUNDARY COORDINATES ; NESET = 0

GFOVER: SUCCESSFULLY RETURNING

GFOVER: LOOKING FOR THE NEXT OVERSET DATA SET ( 3-D )
FILENAME = ../../DATA/data12/DDD.16/OVER.P0001

GFOVER: INCOMPLETE READ (END OF FILE)

STEP 30 N= 200 TIME= 9.42478E-01 MAXD= 5.97577E-01 RESP= 2.15644E-04
      NU = 1 NV = 1 NW = 1
      RESU= 3.96834E-07 RESV= 3.77307E-07 RESW= 2.50400E-07

STEP 60 N= 31 TIME= 1.88496E+00 MAXD= 1.73340E+00 RESP= 1.96029E-04
      NU = 1 NV = 1 NW = 1
      RESU= 4.56964E-05 RESV= 6.21355E-05 RESW= 4.68344E-05

||
||
(途中省略)
||
||

STEP 6000 N= 0 TIME= 1.88496E+02 MAXD= 1.27982E+01 RESP= 2.19989E-04
      NU = 2 NV = 3 NW = 2
      RESU= 1.00006E-03 RESV= 2.01800E-04 RESW= 3.92844E-03

** TIME MARCH LOOP ENDED **

||
||
(途中省略)
||
||

DONE!
***** SUMMARY OF CPU TIME *****
(1) CPU TIME / TIME LOOP (SEC/STEP)
TOTAL (sec/step): 0.344
MOMENTUM EQ. (set/step),(%): 0.159 46.3
PRESSURE EQ. (set/step),(%): 0.145 42.1
OTHER (set/step),(%): 0.040 11.5
AX OPERATION (set/step),(%): 0.027 7.9

(2) CPU TIME / AX-OPERATION (SEC/AX)
NUM. OF CAL-AX 324804
NUM. OF POINTS 96908
MFLOP (MFLOPS) 0.194
CPU-TIME (AVE.) (msec) 0.504
CPU-TIME (RMS ) [%] 10.6
SASTAINED FLOPS (GFLOPS) 0.385
*****
** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 8.17: les3c.mpi log output

8.6.8 流れ場ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE.03/RES.04'
```

本節の処理を実行する際は、ディレクトリ

```
'LES3DHOME/data/TET/PIPE/EXE.03/RES.01'
```

に移動してください。

流体解析ソルバー'les3x.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に自動的に、領域番号を付け加えます。流れ場の出力ファイル名として'FLOW'を指定した場合、'FLOW.P0001'～'FLOW.P0016'の16個のファイルが出来られます。

本節では、周辺プログラム'unifu'を使用して、領域ごとに出力したGF流れファイルを統合します。本プログラムは、GF DDD ファイルと領域ごとの GF流れファイルを入力し、GF DDD ファイル内の領域分割データに従って、領域ごとの GF流れファイルを統合します。本プログラムには起動スクリプト'unifu.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は以下のとおりです。

```
unifu.pl GF-DDD GF-MESH
```

ここで、GF-DDD、GF-MESHは入力する GF DDD ファイルおよび GF流れファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

```
unifu.pl .../.../.../DATA/data03/DDD.16/DDD FLOW
```

とすることにより、各領域の GF流れファイルは全体の GF流れファイルに統合されます。ここで入力する GF-DDD ファイルは、8.6.3 節において GF メッシュファイルと GF 境界ファイルを分割する際に使用したファイルと同一である必要があり、異なるファイルを入力すると正しく結合できませんので、注意してください。

8.6.9 履歴ファイルの領域結合

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/PIPE/EXE/EXE.03/RES.04'
```

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3x.mpi'は、ファイルを出力する際、解析条件ファイルにて指定された出力ファイル名に領域番号を付け加えます。履歴データの出力ファイル名として'HISTORY'を指定した場合、'HYSTORY.P0001'～'HYSTORY.P0016'の16個のファイルが 出力されます。

本節では、周辺プログラム'hsmrg'を使用することにより、領域ごとに出力したGF 履歴ファイルを統合します。本プログラムは、領域ごとの GF 履歴ファイルと領域数を入力し、GF 履歴ファイルを統合します。本プログラムには起動スクリプト'hsmrg.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は以下のとおりです。

```
hsmrg.pl GF-HISTORY NUM-DOMAINS
```

ここで、GF-HISTORY、NUM-DOMAINSは入力する GF 履歴ファイルのファイル、領域数です。本節の処理を実行する場合は、

```
hsmrg.pl HISTORY 8
```

とすることにより、各領域の GF 履歴ファイルは全体の GF 履歴ファイルに統合されます。

Chapter 9

マルチ要素ソルバーでのリファイン機能

本章では、マルチ要素ソルバーにおけるリファイナー機能について解説します。本章で使用するチュートリアルデータは、図 9.1 に示す単純なチャネル流れです。9.1 節では、あらかじめリファイナー機能を適用したデータをソルバーに入力して計算する場合（外部リファイン）について解説し、9.2 節では、リファイン前のデータをソルバーに渡してソルバー内でリファインする場合（内部リファイン）について解説します。

外部リファインおよび内部リファインそれぞれの場合について、六面体メッシュ、三角柱メッシュ、四面体メッシュ、および六面体・四面体・ピラミッドの混合メッシュの 4 通りのメッシュを用いて計算を行います。ここではマルチ要素ソルバー les3x および周辺プログラムを使用しますので、4 通りのメッシュ全てについて同じ手順で計算を実行することができます。

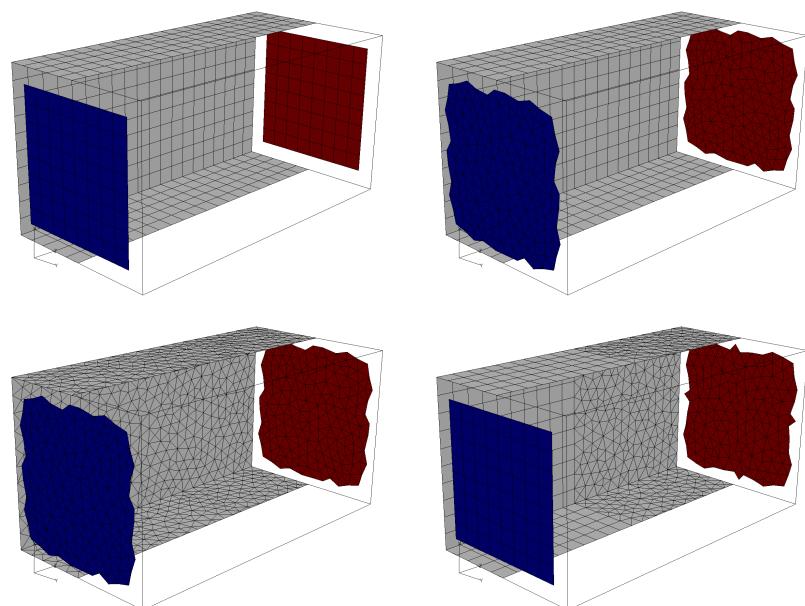


Figure 9.1: Computational models in this chapter (upper-left:hexahedral mesh, upper-right:prism mesh, lower-left:tetrahedral mesh, lower-right:hybrid mesh (hexahedral+tetrahedral+pyramid))

9.1 外部リファインを使用したマルチ要素メッシュの計算

外部リファイン機能を適用し、マルチ要素ソルバー les3x を用いて流れ場の計算を行う手順を以下に示します。但し、GF フォーマットのメッシュおよび境界条件ファイルを作成するまでの手順は六面体要素ソルバー les3c と概ね共通しますので、本章では簡単な解説を行うにとどめます。

1. GF フォーマットのメッシュおよび境界条件ファイルの作成
2. 外部リファインの適用
3. 解析条件ファイルの作成
4. 流れ場の計算 (les3x の実行)
5. 可視化のためのデータ変換
6. 履歴データの編集

データフローを、表 9.1 に示します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

Table 9.1: data flow of basic function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------|--|--|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gfx) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 5 | 外部リファインの適用 | GF メッシュファイル GF 境界ファイル | GF メッシュファイル (リファイン後) GF 境界ファイル (リファイン後) |
| 6 | 流れ解析の実行 (les3x) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル (リファイン後) GF 境界ファイル (リファイン後) | GF 流れ場ファイル GF 履歴ファイル |
| 7 | フォーマット変換 (gffv3x) | GF メッシュファイル (リファイン後) GF 境界ファイル (リファイン後) GF 流れ場ファイル | FieldView ファイル |
| 8 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

9.1.1 GF フォーマットのメッシュおよび境界条件ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリ下にて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA'

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

GF フォーマットのメッシュ及び境界データファイルを作成するまでの手順は、6.1.1 から 6.1.3 までと同様です。

本節のチュートリアルにおいても、メッシュデータは GRIDGEN¹ によって作成済みです。'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data01' 以下に、

- 六面体メッシュ : box.01.grd
- 三角柱メッシュ : box.02.grd
- 四面体メッシュ : box.03.grd
- 混合メッシュ : box.04.grd

の 4 つのメッシュデータがあります。

混合要素ソルバー'les3x' での計算の行う場合、GRIDGEN² で作成したデータから GF メッシュデータ及び GF 境界条件データへの変換には、周辺プログラム'gr2gfx' を使用します。六面体のみのメッシュの場合や四面体のみのメッシュの場合であっても、同じプログラムで les3x での計算を行う際に必要なファイルを作成できます。このプログラムは、以下のように起動スクリプト'gr2gfx.pl' から実行することができます。

gr2gfx.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

続けて、必要に応じて境界条件の編集を行います。境界条件の編集を行うプログラムは、六面体および四面体の場合と同様、周辺プログラム'bcmmod' およびその起動スクリプト'bcmmod.pl' です。機能、使用方法の詳細は 18.3.2 節を参照してください。

本節のチュートリアルでは、ディレクトリ'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data01' 下で以下のコマンドを順次実行し、六面体メッシュのメッシュファイルおよび境界データファイルを生成します。

```
gr2gfx.pl ../../data01/box.01.grd MESH BOUN.D      > log.gr2gfx
bcmmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp           > log.bcmmod
bcmmod.pl -in 0.0 0.0 1.0 MESH                 tmp BOUN >> log.bcmmod
rm -f tmp
```

¹ Gridgen は Pointwise Inc 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

² Gridgen は Pointwise Inc 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

その他のメッシュについても、GF データを格納するディレクトリをメッシュごとに変更することと、gr2gfx に入力する'GRID' ファイル名の番号が異なること (box.0X.grd) 以外、手順は全て同一です。

- 三角柱メッシュの場合 :

実行ディレクトリ : 'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data02'

```
gr2gfx.pl ../data0/box.02.grd MESH BOUN.D      > log.gr2gfx
bcmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp        > log.bcmod
bcmod.pl -in 0.0 0.0 1.0 MESH      tmp BOUN >> log.bcmod
rm -f tmp
```

- 四面体メッシュの場合 :

実行ディレクトリ : 'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data03'

```
gr2gfx.pl ../data0/box.03.grd MESH BOUN.D      > log.gr2gfx
bcmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp        > log.bcmod
bcmod.pl -in 0.0 0.0 1.0 MESH      tmp BOUN >> log.bcmod
rm -f tmp
```

- 混合メッシュの場合 :

実行ディレクトリ : 'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data04'

```
gr2gfx.pl ../data0/box.04.grd MESH BOUN.D      > log.gr2gfx
bcmod.pl -rd          MESH BOUN.D tmp        > log.bcmod
bcmod.pl -in 0.0 0.0 1.0 MESH      tmp BOUN >> log.bcmod
rm -f tmp
```

9.1.2 外部リファインの適用

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

- (六面体メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data01'
- (三角形メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data02'
- (四面体メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data03'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data04'

本節の処理を実行する際は、指示に従って上記の各ディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'rfndtx'を使用することにより、メッシュにリファイン機能を適用することができます。リファイン機能を適用すると、メッシュの全要素について節点間隔を1/2に分割し、長さスケールで2倍の解像度を持つメッシュを新しく生成します。このとき、リファイン後に生成されるメッシュの要素数は元のメッシュの8倍となります。境界のメッシュもリファインされるため、境界データファイルについてもリファイン後にあわせたファイルが生成されます。

本プログラムには、起動スクリプト'rfndtx.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

```
fva2gf6.pl GRID GF-MESH GF-BOUN
```

ここで、MESHおよびBOUNはリファイン前のメッシュおよび境界ファイル名、MESHRおよびBOUNRはリファイン後に生成するメッシュおよび境界ファイル名です。

本節の処理を実行する場合、以下の処理を各ディレクトリで実行します。実行後、各実行ディレクトリにGFメッシュファイル(MESHR)およびGF境界条件ファイル(BOUNR)が作成されます。

- 六面体メッシュ :

実行ディレクトリ : 'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data01'

```
rfndtx.pl -nf MESH BOUN MESHR BOUNR > log.rfndtx
```

- 三角柱メッシュ :

実行ディレクトリ : 'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data02'

```
rfndtx.pl -nf MESH BOUN MESHR BOUNR > log.rfndtx
```

- 四面体メッシュ：

実行ディレクトリ：'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data03'

```
rfndtx.pl -nf MESH BOUN MESHR BOUNR > log.rfndtx
```

- 混合メッシュ：

実行ディレクトリ：'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/DATA/data04'

```
rfndtx.pl -nf MESH BOUN MESHR BOUNR > log.rfndtx
```

なお、周辺プログラム'rfndtx'は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、18.3.13節を参照してください。

9.1.3 解析条件ファイルの作成 (PARMLES3X)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示す各ディレクトリにて実行されることを想定しています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.01'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.01'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.01'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.01'

本節の処理を実行する際は、上記の各ディレクトリに移動してください。

6.1.3 と同様に、流体解析ソルバー'les3x'への入力データなどの設定を解析条件ファイル'PARMLES3X'に記述します。本節では、リファイン後のメッシュおよび境界データファイル MESH.R および BOUNR を入力に使用する点を除き、6.1.3 と同様に設定を準備します（計算モデル自体が異なりますので、細部には異なる点があります）。解析条件ファイルの詳細は 21.2.2 節を参照してください。

図 9.2 に六面体メッシュの場合のファイル'PARMLES3C' のサンプルを示します。

以下の各ディレクトリに、それぞれのメッシュについての計算条件ファイルが格納されています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.01'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.01'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.01'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.01'

```
#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE D000 U000 T000 TOUT
    1.0    1.0    1.0   1.0E-8
#GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
    1.00E-3 0.0    1.0    1.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.0E0  1.0E0  1.0E0  1.0E0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0     100   0.10   10     1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    20    40    1.0E-4 1.0E-4 1.0E-4
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    1.0    0.00  0.00   1.00
#GIVE IOUT INTFSV INTTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    3
            3      0.5      0.5      0.5
            3      0.5      0.5      1.0
            3      0.5      0.5      1.5
#GIVE MESH      FILE NAME
../../DATA/data01/MESHR
#GIVE B.C.      FILE NAME
../../DATA/data01/BOUNR
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
DUMMY
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
ATTR
#GIVE MID-NODE FILE NAME
MID
#GIVE OVERSET FILE NAME
OVER
#GIVE AVERAGE FILE NAME
AVE
#GIVE RMS FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#MONITOR
x#STOPNOW
#OPTION
```

Figure 9.2: sample of parameter file (PARMLES3X)

9.1.4 流れ場計算の実行 (les3x)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示す各ディレクトリにて実行されることを想定しています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.01'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.01'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.01'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.01'

本節の処理を実行する際は、上記の各ディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3x'を用いて流れ場の計算を行うためには、上述の各ディレクトリにおいてコマンド'les3x'を入力します。

```
%les3x
```

本章に示すような基本的な計算の場合、必要となるファイルは以下に示す通りです。

- 解析条件データファイル(ファイル名は'PARMLES3C')
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x'は計算を開始し、計算の進行に伴って図 9.3 に示すようなメッセージが標準出力へ出力されます(ここでは、六面体メッシュの場合のみ示します)。問題がなければ、'les3x'は以下のメッセージとともに終了します。

```
** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

'les3x'の性能測定機能を有効にしてインストールした場合、図 9.3 に示す通り、上記終了メッセージの直前に実効効率に関する情報が出力されます。

流れソルバー'les3x'はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル(瞬時)及び GF 履歴データファイルを出力します。さらにオプション出力として、平均場ファイル、変動場ファイル、応力テンソルファイル、非定常流れ場ファイル及び表面圧力場ファイルを出力します。オプション出力ファイルは解析条件ファイルのパラメータによって制御されます。出力ファイルの出力条件を表 9.2 にまとめます。

```

LES3X:VER. 11.05 :2010.05.14
** RUNNING IN SERIAL MODE

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

STEP      1 N= 40 TIME= 1.00000E-01 MAXD= 5.29074E-01 RESP= 9.88348E-03
          NU = 0 NV = 0 NW = 2
          RESU= 0.00000E+00 RESV= 0.00000E+00 RESW= 1.38559E-06
          HST1= 4.91344E-02 HST2= 5.45267E-02 HST3= 5.94517E-02

STEP      2 N= 40 TIME= 2.00000E-01 MAXD= 7.37671E-01 RESP= 2.51106E-03
          NU = 1 NV = 1 NW = 2
          RESU= 6.47353E-06 RESV= 6.47378E-06 RESW= 1.47681E-05
          HST1= 8.89996E-02 HST2= 8.92960E-02 HST3= 8.88423E-02

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


STEP     99 N=  3 TIME= 9.90000E+00 MAXD= 4.53318E-01 RESP= 9.54940E-05
          NU = 3 NV = 3 NW = 1
          RESU= 1.28513E-05 RESV= 1.28520E-05 RESW= 2.29885E-03
          HST1= 5.17613E-01 HST2= 5.43455E-01 HST3= 5.65931E-01

STEP    100 N=  2 TIME= 1.00000E+01 MAXD= 4.53317E-01 RESP= 9.00517E-05
          NU = 3 NV = 3 NW = 1
          RESU= 1.28006E-05 RESV= 1.28011E-05 RESW= 2.30139E-03
          HST1= 5.17623E-01 HST2= 5.43463E-01 HST3= 5.65971E-01

** TIME MARCH LOOP ENDED **

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


DONE!
***** SUMMARY OF CPU TIME *****
(1) CPU TIME / TIME LOOP (SEC/STEP)
TOTAL      (sec/step): 0.055
MOMENTUM EQ. (set/step),(%): 0.031 56.0
PRESSURE EQ. (set/step),(%): 0.023 42.7
OTHER      (set/step),(%): 0.001 1.3
AX OPERATION (set/step),(%): 0.026 47.4

(2) CPU TIME / AX-OPERATION (SEC/AX)
NUM. OF CAL-AX      5764
NUM. OF POINTS      450241
MFLOP              0.900
CPU-TIME (AVE.) (msec) 0.451
CPU-TIME (RMS ) [%] 110.3
SASTAINED FLOPS (GFLOPS) 1.996
*****



** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 9.3: les3x log output

Table 9.2: Files to be output by 'LES3X'

| 出力ファイル | 出力条件 |
|--------|----------------------------------|
| 瞬時流れ場 | デフォルト出力 |
| 履歴データ | デフォルト出力 |
| 平均流れ場 | IOUT が 1 もしくは 2 の時出力 |
| 変動流れ場 | IOUT が 2 の時出力 |
| 応力テンソル | IOUT が 2 の時出力 |
| 非定常流れ場 | INTFSV が 1 以上の時, INTFSV ステップ毎に出力 |
| 表面圧力場 | INTPSV が 1 以上の時, INTPSV ステップ毎に出力 |

9.1.5 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/POST/FV'

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3x'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW³ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3x.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

`gffv3x.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV`

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ(境界条件、流れ場)ファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合、以下のコマンドを順次実行します。参照先のデータ及び出力する FIELDVIEW 用ファイルの名前が異なる以外は、全く同一の手順です。

- 六面体メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data01/MESHR ./MESHR
ln -s ../../DATA/data01/BOUNR ./BOUNR
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.01/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESHR BOUNR FLOW res.01.01.uns
rm -f MESHR BOUNR FLOW
```

- 三角柱メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data02/MESHR ./MESHR
ln -s ../../DATA/data02/BOUNR ./BOUNR
ln -s ../../EXE/EXE.02/RES.01/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESHR BOUNR FLOW res.02.01.uns
rm -f MESHR BOUNR FLOW
```

- 四面体メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data03/MESHR ./MESHR
ln -s ../../DATA/data03/BOUNR ./BOUNR
ln -s ../../EXE/EXE.03/RES.01/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESHR BOUNR FLOW res.03.01.uns
rm -f MESHR BOUNR FLOW
```

³FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

- 混合メッシュの場合：

```
ln -s ../../DATA/data04/MESHR      ./MESHR
ln -s ../../DATA/data04/BOUNR      ./BOUNR
ln -s ../../EXE/EXE.04/RES.01/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESHR BOUNR FLOW res.04.01.uns
rm -f MESHR BOUNR FLOW
```

これらを実行することで、FIELDVIEW用ファイル(res.01.01.unsからres.04.01.uns)を作成することができます。

なお、周辺プログラム'gffv3x'は起動スクリプトを使わずに、インターフェイブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.4節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEWで出力された流れ場を図9.4に示します。

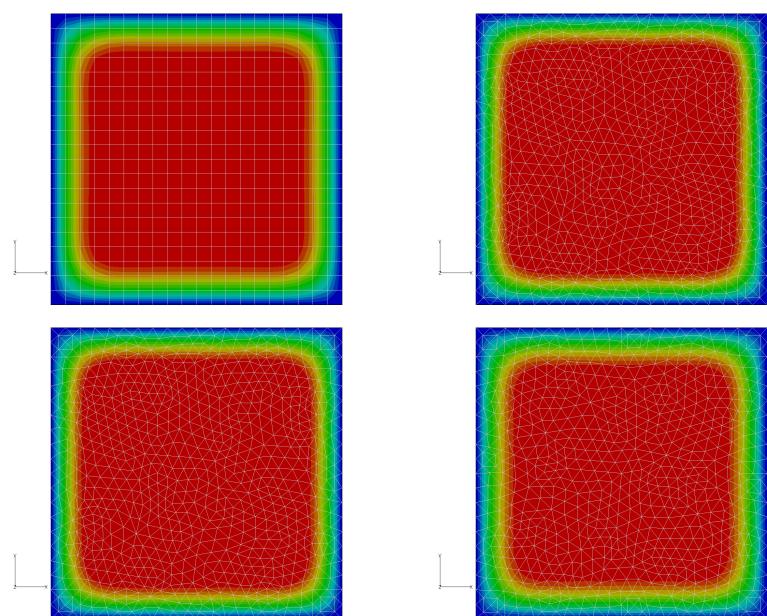


Figure 9.4: W-Velocity field at section:z=2.0, upper-left: hexahedral mesh, upper-right: wedge mesh, lower-left: tetrahedral mesh, lower-right: mixed mesh

9.1.6 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/POST/HISTORY'

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、9.1.4 節において les3x が output した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。履歴データの編集には、6.1.5 節と同様、周辺プログラム'hscat' およびその起動スクリプト (hscat.pl) を使用します。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

hscat.pl [OPTION] GF-HISTORY-IN GF-HISTORY-OUT

本節では、

```
hscat.pl -data 2 2 24 ../../EXE/EXE.01/RES.01/HISTORY h0101
hscat.pl -data 2 2 24 ../../EXE/EXE.02/RES.01/HISTORY h0201
hscat.pl -data 2 2 24 ../../EXE/EXE.03/RES.01/HISTORY h0301
hscat.pl -data 2 2 24 ../../EXE/EXE.04/RES.01/HISTORY h0401
rm -f tmp
```

を順次実行し、4 つの計算結果の GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出します。今回は'-interval' オプションを指定していませんので、入力データを 1 ステップ毎に出力しています。出力データとしては 2 番目と 11 番目の 2 つを指定しており、今回の場合、それぞれ連続の式の誤差最大値と指定した点での速度の z 方向成分を示します。偶数行目 ('grep' 以下) は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

これにより作成されたアスキーファイルのうち、'h0101' の中身を図 9.5 に示します。

```
# PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#   TIME HISTORY DATA
#     TIME: 0.00000E+00 - 1.00000E+01
#       STEP:          0 -           100
#
#   TIME
#   MAXIMUM DIVERGENT
# VELOCITY-W ; X=    0.50000 Y=    0.50000 Z=    1.50000
1.000000E-01 4.294662E-01 8.710212E-02
2.000000E-01 6.082819E-01 1.647106E-01
3.000000E-01 6.521263E-01 2.358374E-01
4.000000E-01 6.579843E-01 3.008783E-01
5.000000E-01 6.414549E-01 3.606928E-01
6.000000E-01 6.053378E-01 4.152476E-01
7.000000E-01 5.601460E-01 4.652917E-01
8.000000E-01 5.117815E-01 5.111168E-01
9.000000E-01 4.634670E-01 5.529476E-01
1.000000E+00 4.168661E-01 5.917295E-01
1.100000E+00 3.798001E-01 6.269812E-01
1.200000E+00 3.623257E-01 6.597259E-01
```

Figure 9.5: history data of velocity near the outlet

9.2 内部リファインを使用したマルチ要素メッシュの計算

内部リファイン機能を適用し、混合要素ソルバー les3x を用いて、メッシュのリファインを行いつつ流れ場の計算を行う手順を以下に示します。メッシュ及び境界データとしては、外部リファインの場合に生成したリファイン前のメッシュ（作成手順は 9.1.1 節参照）を使用しますので、本節ではこれらを生成するまでの手順は省略します。

1. 内部リファインの場合の解析条件ファイルの作成
2. 流れ場の計算 (les3x の実行)
3. 可視化のためのデータ変換
4. 履歴データの編集

データフローを、表 6.1 に示します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

Table 9.3: data flow of basic function

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------|---|---|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (gr2gfx) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 5 | 流れ解析の実行 (les3x) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル | GF 流れ場ファイル GF 流れ場ファイル (リファイン後) GF 履歴ファイル GF メッシュファイル (リファイン後) GF 境界ファイル (リファイン後) |
| 6 | フォーマット変換 (gffv3x) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル GF 流れ場ファイル リファイン後のものも可 | FieldView ファイル |
| 7 | 履歴データ編集 (hscat) | GF 履歴ファイル | 履歴データに関する アスキーファイル |

9.2.1 内部リファインの場合の解析条件ファイルの作成 (PARMLES3X)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示す各ディレクトリにて実行されることを想定しています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.02'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.02'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.02'
- (混合メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.02'

本節の処理を実行する際は、上記の各ディレクトリに移動してください。

6.1.3 と同様に、流体解析ソルバー'les3x'への入力データなどの設定を解析条件ファイル'PARMLES3X'に記述します。本節では、9.2.1 節で作成したリファイン前のメッシュおよび境界データファイル MESH および BOUN 入力に使用し、ソルバー内でリファインを実行します。解析条件ファイルの詳細は 21.2.2 節を参照してください。図 9.6 に六面体メッシュの場合のファイル'PARMLES3X'のサンプルを示します。図 9.6 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。9.2.3 節と比較すると、末尾にオプション '#RCAP_RF 1 200 および#RF_MESH が追加されています。これらは、それぞれ「内部リファインを実行する」「リファイン後のメッシュ及び境界データファイルも出力する」オプションです。このほかの部分は、リファイン前のメッシュ及び境界データファイルを入力に使用していることを除いて、9.2.3 節で使用したものと同様です。

以下の各ディレクトリに、それぞれのメッシュについての計算条件ファイルが格納されています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.02'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.02'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.02'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.02'

の各ディレクトリに、それぞれのメッシュについての計算条件ファイルが格納されています。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE D000 U000  T000   TOUT
    1.0    1.0    1.0   1.OE-8
#GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0     0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
    1.OOE-3 0.0    1.0    1.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.OEO  1.OEO  1.OEO  1.OEO
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0     100   0.10   10      1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST  EPSP  EPSS
    20     40   1.OE-4 1.OE-4 1.OE-4
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    1.0    0.00  0.00   1.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    3
            3      0.5      0.5      0.5
            3      0.5      0.5      1.0
            3      0.5      0.5      1.5
#GIVE MESH      FILE NAME
../../../../DATA/data01/MESH
#GIVE B.C.      FILE NAME
../../../../DATA/data01/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
DUMMY
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY      FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE    FILE NAME
ATTR
#GIVE MID-NODE    FILE NAME
MID
#GIVE OVERSET     FILE NAME
OVER
#GIVE AVERAGE     FILE NAME
AVE
#GIVE RMS         FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS      FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#MONITOR
x#STOPNOW
#RCAP_RF 1 200
#RF_MESH
#OPTIONE

```

Figure 9.6: sample of parameter file (PARMLES3X)

9.2.2 流れ場計算の実行 (les3x)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示す各ディレクトリにて実行されることを想定しています。

- (六面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.01/RES.02'
- (三角形メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.02/RES.02'
- (四面体メッシュ):
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.03/RES.02'
- (混合メッシュ) :
'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/EXE/EXE.04/RES.02'

本節の処理を実行する際は、上記の各ディレクトリに移動してください。

本章に示すような最も基本的な実行の場合、必要となるファイルは以下に示す通りです。

- 解析条件データファイル (ファイル名は'PARMLES3X')
- GF メッシュデータファイル
(リファイン前のもの、ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(リファイン前のもの、ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x' は図 9.7 に示すようなメッセージを標準出力へ出力して計算を開始します (ここでは、六面体メッシュの場合のみ示します)。問題がなければ'les3x' は以下のメッセージとともに終了します。

** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

計算開始前にリファインを適用していることが確認できます。また、本ユーザーガイドの設定に従ってインストールした場合、'les3x' の性能測定機能が有効となっています。この場合、図 9.3 に示す通り、ログの末尾に実効効率に関する情報が出力されます。

流れソルバー'les3x' はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル(瞬時) 及び GF 履歴データファイルを出力します。さらにオプション出力として、平均場ファイル、変動場ファイル、応力テンソルファイル、非定常流れ場ファイル及び表面圧力場ファイルを出力します。今回は内部リファイン機能を使用しているため、リファイン後のメッシュで計算した流れ場ファイル FLOW.R を出力すると共に、リファイン前のメッシュにマッピングした流れ場ファイル FLOW も出力します。加えて、#RF_MESH オプションが有効な場合、リファイン適用後のメッシュおよび境界データも出力されます。オプション出力ファイルは解析条件

ファイルのパラメータによって制御されます。出力ファイルの出力条件を表 9.4 にまとめます。

Table 9.4: Files to be output by 'LES3X'

| 出力ファイル | 出力条件 |
|------------------|------------------------------------|
| 瞬時流れ場 (リファイン前) | デフォルト出力 |
| 瞬時流れ場 (リファイン後) | デフォルト出力 |
| 履歴データ | デフォルト出力 |
| 平均流れ場 | IOUT が 1 もしくは 2 の時出力 |
| 変動流れ場 | IOUT が 2 の時出力 |
| 応力テンソル | IOUT が 2 の時出力 |
| 非定常流れ場 | INTFSV が 1 以上の時, INTFSV ステップ毎に出力 |
| 表面圧力場 | INTPSV が 1 以上の時, INTPSV ステップ毎に出力 |
| メッシュデータ (リファイン後) | 内部リファイン適用時 #RF_MESH オプションが有効な場合 |
| 境界データ (リファイン後) | 内部リファイン適用時 #RF_MESH オプションが有効な場合 |

```

LES3X:VER. 11.05 :2010.05.14
** RUNNING IN SERIAL MODE

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


** REFINING MESH, B.C. FLOW **

RFNMSX: REFINER INITILIZATION

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

STEP      1 N= 40 TIME= 1.00000E-01 MAXD= 5.29074E-01 RESP= 9.88348E-03
          NU = 0 NV = 0 NW = 2
          RESU= 0.00000E+00 RESV= 0.00000E+00 RESW= 1.38559E-06
          HST1= 4.91344E-02 HST2= 5.45267E-02 HST3= 5.94517E-02

STEP      2 N= 40 TIME= 2.00000E-01 MAXD= 7.37671E-01 RESP= 2.51106E-03
          NU = 1 NV = 1 NW = 2
          RESU= 6.47353E-06 RESV= 6.47378E-06 RESW= 1.47681E-05
          HST1= 8.89996E-02 HST2= 8.92960E-02 HST3= 8.88423E-02

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


STEP      99 N= 3 TIME= 9.90000E+00 MAXD= 4.53318E-01 RESP= 9.54940E-05
          NU = 3 NV = 3 NW = 1
          RESU= 1.28513E-05 RESV= 1.28520E-05 RESW= 2.29885E-03
          HST1= 5.17613E-01 HST2= 5.43455E-01 HST3= 5.65931E-01

STEP     100 N= 2 TIME= 1.00000E+01 MAXD= 4.53317E-01 RESP= 9.00517E-05
          NU = 3 NV = 3 NW = 1
          RESU= 1.28006E-05 RESV= 1.28011E-05 RESW= 2.30139E-03
          HST1= 5.17623E-01 HST2= 5.43463E-01 HST3= 5.65971E-01

** TIME MARCH LOOP ENDED **

|||
|||
(途中省略)
|||
|||


DONE!
***** SUMMARY OF CPU TIME *****
(1) CPU TIME / TIME LOOP (SEC/STEP)
TOTAL      (sec/step): 0.055
MOMENTUM EQ. (set/step),(%): 0.031 55.9
PRESSURE EQ. (set/step),(%): 0.023 42.8
OTHER      (set/step),(%): 0.001 1.3

AX OPERATION (set/step),(%): 0.026 47.3

(2) CPU TIME / AX-OPERATION (SEC/AX)
NUM. OF CAL-AX      5764
NUM. OF POINTS      450241
MFLOP              0.900
CPU-TIME (AVE.) (msec) 0.449
CPU-TIME (RMS ) [%] 110.7
SASTAINED FLOPS (GFLOPS) 2.004
*****



** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 9.7: les3x log output

9.2.3 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/POST/FV'

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3x'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW⁴ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3x.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

`gffv3x.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV`

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUN、FLOW) は入力する GF メッシュ(境界条件、流れ場)ファイルのファイル名です。

本節の処理を実行する場合、以下のコマンドを順次実行します。参照先のデータ及び出力する FIELDVIEW 用ファイルの名前が異なる以外は、全く同一の手順です。

- 六面体メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data01/MESH      ./MESH
ln -s ../../DATA/data01/BOUN      ./BOUN
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.02/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.01.02.uns
rm -f MESH BOUN FLOW
```

- 三角柱メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data02/MESH      ./MESH
ln -s ../../DATA/data02/BOUN      ./BOUN
ln -s ../../EXE/EXE.02/RES.02/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.02.02.uns
rm -f MESH BOUN FLOW
```

- 四面体メッシュの場合 :

```
ln -s ../../DATA/data03/MESH      ./MESH
ln -s ../../DATA/data03/BOUN      ./BOUN
ln -s ../../EXE/EXE.03/RES.02/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.03.02.uns
rm -f MESH BOUN FLOW
```

⁴FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

- 混合メッシュの場合：

```
ln -s ../../DATA/data04/MESH      ./MESH
ln -s ../../DATA/data04/BOUN      ./BOUN
ln -s ../../EXE/EXE.04/RES.02/FLOW ./FLOW
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.04.02.uns
rm -f MESH BOUN FLOW
```

これらを実行することで、FIELDVIEW用ファイル(res.01.02.unsからres.04.02.uns)を作成することができます。

なお、周辺プログラム'gffv3x'は起動スクリプトを使わずに、インターフェイブに使用することも可能です。これに関しては、18.1.4節を参照してください。

可視化結果の一例として、FIELDVIEWで出力された流れ場を図9.8に示します。

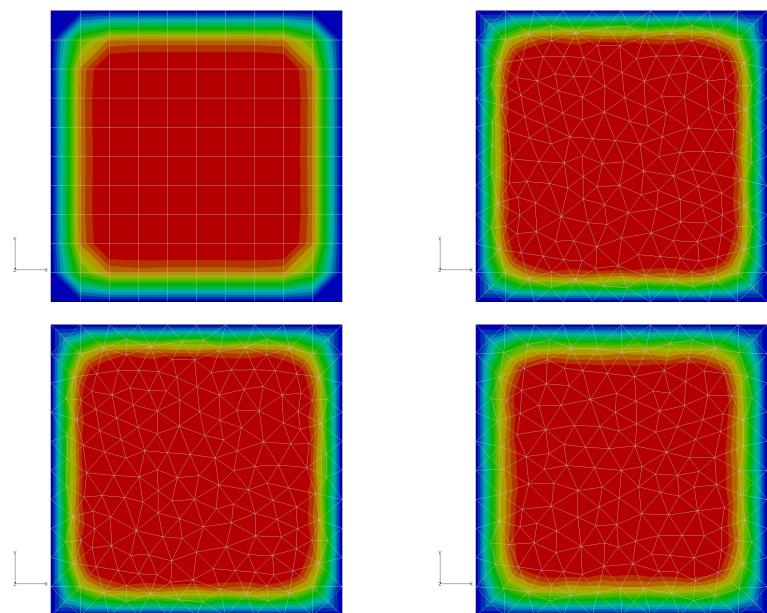


Figure 9.8: W-Velocity field at section: $z=2.0$, upper-left: hexahedral mesh, upper-right: wedge mesh, lower-left: tetrahedral mesh, lower-right: mixed mesh

9.2.4 履歴データの編集

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BOX/POST/HISTORY'

本節の処理を実行する際は、上記のディレクトリに移動してください。

本節では、9.2.2 節において les3x が output した GF 履歴データを編集し、出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴をプロットします。履歴データの編集には、6.1.5 節と同様、周辺プログラム'hscat' およびその起動スクリプト (hscat.pl) を使用します。機能、使用方法の詳細は 18.4.2 節を参照してください。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

本節では、

```
hscat.pl -data 2 2 11 ../../EXE/EXE.01/RES.02/HISTORY tmp
fgrep -v "%" tmp > h0101
hscat.pl -data 2 2 11 ../../EXE/EXE.02/RES.02/HISTORY tmp
fgrep -v "%" tmp > h0201
hscat.pl -data 2 2 11 ../../EXE/EXE.03/RES.02/HISTORY tmp
fgrep -v "%" tmp > h0301
hscat.pl -data 2 2 11 ../../EXE/EXE.04/RES.02/HISTORY tmp
fgrep -v "%" tmp > h0401
rm -f tmp
```

を順次実行し、4 つの計算結果の GF 履歴データから出口付近の点における流速の Z 方向（出口面に垂直方向）成分の時間履歴を抽出します。今回は'-interval' オプションを指定していませんので、入力データを 1 ステップ毎に出力しています。出力データとしては 2 番目と 11 番目の 2 つを指定しており、今回の場合、それぞれ連続の式の誤差最大値と指定した点での速度の z 方向成分を示します。偶数行目 ('fgrep' 以下) は、ファイル中のヘッダ部分を取り除くための処理です。

これにより作成されたアスキーファイルのうち、'h0102' の中身を図 9.9 に示します。

また、ここまで抽出して作成した履歴データは、グラフをプロットするための外部ソフトウェアを使用することで用意にグラフ化することができます。本チュートリアルでは、gnuplot 用のスクリプトファイルを作成してあります。gnuplot が使用可能な環境であれば、

./go.plot

を実行することで、前節および本節での結果のうち、連続の式の誤差最大値と出口付近の z 方向速度のグラフを作成できます。図 9.10 および図 9.11 にこれらのグラフを示します。リファインを外部で行うか内部で行うかに関わらず、ほぼ同等の結果が得られていることが確認できます。

| | | |
|----------|-----------|---------------|
| 0.100000 | 0.5290740 | 5.9451718E-02 |
| 0.200000 | 0.7376713 | 8.8842317E-02 |
| 0.300000 | 0.8681456 | 0.1227254 |
| 0.400000 | 0.9283508 | 0.1545056 |
| 0.500000 | 0.9472939 | 0.1837088 |
| 0.600000 | 0.9420241 | 0.2112228 |
| 0.700000 | 0.9226800 | 0.2355168 |
| 0.800000 | 0.8957904 | 0.2585920 |
| 0.900000 | 0.8650351 | 0.2790712 |
| 1.000000 | 0.8328614 | 0.2988124 |
| 1.100000 | 0.8004498 | 0.3163308 |
| 1.200000 | 0.7689338 | 0.3323902 |
| 1.300000 | 0.7384926 | 0.3472213 |
| 1.400000 | 0.7094793 | 0.3609206 |
| 1.500000 | 0.6819649 | 0.3739689 |
| 1.600000 | 0.6559954 | 0.3854966 |
| 1.700000 | 0.6316833 | 0.3962378 |
| 1.800000 | 0.6089206 | 0.4062872 |
| 1.900000 | 0.5876750 | 0.4155520 |
| 2.000000 | 0.5679071 | 0.4243924 |

||
||
(以下省略)
||
||

Figure 9.9: history data of velocity near the outlet

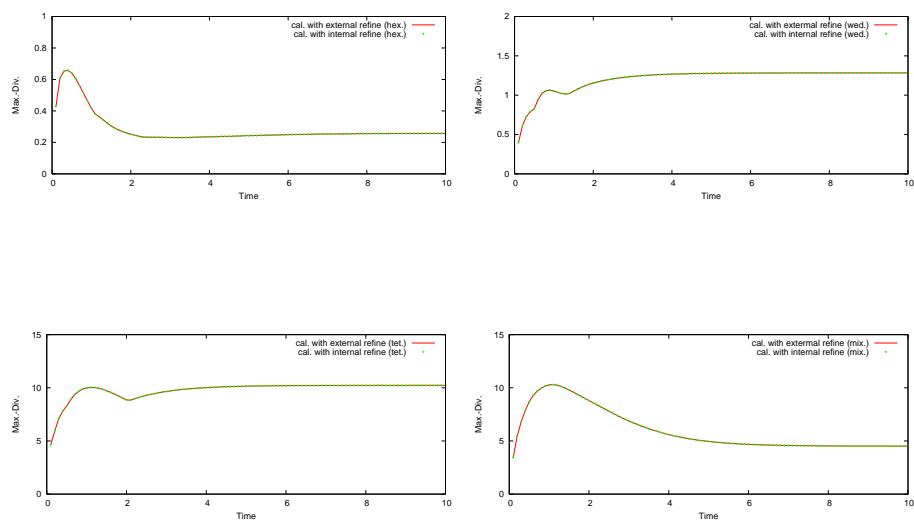


Figure 9.10: evolution of maximum divergence. upper-left: hexahedral mesh, upper-right: wedge mesh, lower-left: tetrahedral mesh, lower-right: mixed mesh

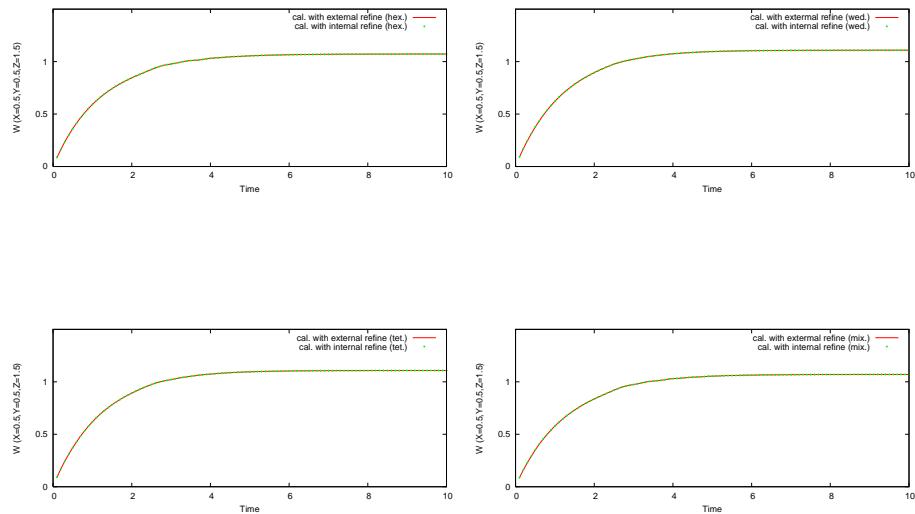


Figure 9.11: evolution of W-velocity field at outlet. upper-left: hexahedral mesh, upper-right: wedge mesh, lower-left: tetrahedral mesh, lower-right: mixed mesh

Chapter 10

乱流音解析プログラム（カールの式）

本システムは乱流音解析機能をもつ。物体から放射される音圧 (SP = sound pressure) 及び音圧レベル (SPL = sound pressure level) は、流体解析プログラム'les3d' が計算する物体表面の圧力変動より計算される。本章では、物体から放射される乱流音の音圧及び音圧レベルの計算方法について説明する。

本システムにおける、乱流音解析の手続は以下のとおりである。

- 物体周りの流れ場の計算 (流体解析プログラム'les3d' の実行)。
流体解析プログラム'les3d' の実行のさい、物体にかかる流体力の履歴データもしくは物体表面の非定常圧力データを出力することが必要となる。流体力の履歴データを出力するためには、対象となる物体にたいして流体力計算境界を設定する。さらに解析条件ファイル中のパラメータ'INTPSV' を 1 以上に設定することにより流体力計算境界表面の圧力データが'INTPSV' ステップ毎に出力される。境界条件及びパラメータの詳細は 5 章を参照されたい。
- 音圧の計算
音圧は Curle の式に基づいて計算される。本プログラムの音圧計算においては、標準状態¹ の空気の自由空間に放射された音を想定しており、音の反射、屈折、吸収を無視する。
本プログラムでは音圧の計算のために以下に示す 2 通りの方法がある。
 - 流体力の履歴データより音圧を計算する
周辺プログラム'spcalf' を用いる。周辺プログラム'spcalf' は流体解析プログラム'les3d' が output した GF 履歴データファイルを入力し、音圧データファイルを出力する。
この計算において、物体は直交座標系原点に位置する点音源として考えられる。物体から放射された圧力振動の位相差は全て無視される。

¹ 密度=1.206 [kg/m³]、音速=340.0 [m/s]

つまり，物体のスケールは注目する周波数領域における音の波長よりも充分短いことが想定されている (compact body assumption).

- 物体表面の非定常圧力データより音圧を計算する
周辺プログラム'spcals' を用いる。周辺プログラム'spcals' は流体解析プログラム'les3d' が output した GF 表面データファイルを入力し，音圧データファイルを出力する。
この計算において，観測点と音源との距離は，注目する周波数領域における音の波長よりも充分長いことが想定されている (far-field sound assumption) .
- 音圧レベルの計算 (周辺プログラム'spl' の実行)
周辺プログラム'spl' を用いる。周辺プログラム'spl' は周辺プログラム'spcalf' もしくは'spcals' が output した音圧データファイルを入力し，音圧レベルデータファイルを出力する。

これより，上記手続の詳細を説明する。

10.1 流れ場の計算

物体から放射される乱流音の音圧及び音圧レベルを計算するためには、物体周りの流れ場のデータを計算する必要がある。実際には、流体解析プログラムが出力する GF 履歴データファイルもしくは GF 表面データファイルのどちらかが必要となる。

GF 履歴データファイルは流体解析プログラム'les3d' の実行のさいに自動的に出力されるファイルである。このファイルには流体力計算境界にかかる流体力のデータが含まれる。GF 履歴データファイルのファイル名は解析条件ファイル'PARMLES3D' 中でユーザが指定する。詳細は 5 章を参照されたい。

GF 表面データファイルは流体解析プログラム'les3d' の実行のさいに解析条件ファイル'PARMLES3D' 中のパラメータ'INTPSV' を 1 以上に設定することによって出力される。GF 表面データファイルは流体力計算境界の表面座標、接続データ及び各ステップに表面圧力データが含まれる。解析条件ファイル'PARMLES3D' 中のパラメータ'INTPSV' を 1 以上に設定した場合、'INTPSV' ステップ毎に圧力データが outputされる。このさいには解析条件ファイル'PARMLES3D' に GF 表面ファイルのファイル名を指定しなくてはならない。詳細は 5 章を参照されたい。

音源解析を行う場合、必ず対象物体に流体力計算境界条件を設定しなくてはならない。例えば図 10.1 に示すように、円柱から放射される乱流音の解析を行う場合、円柱表面のノードを流体力計算境界として設定する必要がある。詳細は 5.2 節の境界条件の欄を参照されたい。

流体力計算境界は流体の計算には影響を与えないため、流体力計算境界として設定された境界には別の境界条件を同時に設定しなくてはならない。例えば図 10.1 に示す円柱周りの計算の場合、円柱周りは流体力計算境界である同時に壁 (no-slip) 境界としても設定されている。

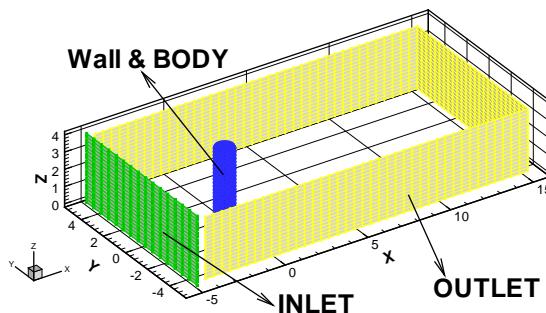


Figure 10.1: Sample data to set body surface boundary. (flow around a cylinder)

10.2 音圧の計算

前述したとおり、音圧の計算には二通りの方法がある。ひとつめは物体にかかる流体力の時系列データ (GF 履歴データ) を使用する方法であり、一方は物体表面の非定常圧力データ (GF 表面データ) を使用する方法である。上記の計算はそれぞれ周辺プログラム'spcalf' 及び'spcals' により行われる。本節ではこれら周辺プログラムの使用方法を説明する。

10.2.1 プログラム'spcalf' による計算

点音源としてみなすことができる物体から放射される音圧の計算は周辺プログラム'spcalf' によって行なうことができる。周辺プログラム'spcalf' の実行には GF 履歴データが必要であることに注意されたい。周辺プログラム'spcalf' の使用方法は以下の通りである。

使用方法:

- コマンド'spcalf' を入力
- 入力される GF 履歴データファイル名を入力
- 出力される音圧データファイル名を入力
デフォルトファイル名を使用する場合はリターンを入力。音圧データファイルのデフォルト名は'SP' である。
- 長さスケールを入力 (単位 メートル) : H
- 速度スケールを入力 (単位 メートル/秒) : V
- 観測位置を入力 (単位 メートル)²: XP, YP, ZP
- 音圧データの出力間隔を入力: INTSPV
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力ができる。)

使用方法の詳細については図 10.2 も参照されたい。

計算された音圧データは音圧データファイル (SP-file) に出力される。音圧データファイルはアスキーファイルとして出力される。具体例を図 10.3 に示す。

音圧データファイルの一行目は GF 履歴データから入力されたコメント行が出力される。2 行目にはデータ数及び時間刻み (単位: メートル) が出力される。3 行目以降は実際の音圧データであり、各時間の音圧データ (単位: Pa) が出力される。

²物体は原点にあるとする。

```
!spcalf

** SPCALF: COMPUTING FAR-FIELD SOUND FROM
FLUID FORCES ON A BODY BY CURLES EQUATION

SPECIFY FILE NAME OF HISTORY DATA
    NOTE: TIME, FX, FY, FZ ARE ASSUMED
          1ST, 6TH, 7TH, AND 8TH COMPONENTS
.../data/HIST.20

SPECIFY FILE NAME TO OUTPUT FAR-FIELD SOUND
(PRESS RETURN TO USE DEFAULT FILE NAME)

SPECIFY LENGTH  SCALE (IN M) : H
1.0E-2
SPECIFY VELOCITY SCALE (IN M/S): V
15.0
SPECIFY OBSERVATION POINT(IN M): XP, YP, ZP
0.0
1.0
0.01
SPECIFY SOUND OUTPUT INTERVAL : INTPSV
1
** CONFIRMING THE INPUT PARAMETERS **
INPUT  DATA FILE:.../data/HIST.20
OUTPUT DATA FILE:SP
LENGTH  SCALE = 9.999998E-03
VELOCITY SCALE = 15.00000
OBSERV. POINT = 0.000000E+00 1.000000 9.999998E-03
OUTPUT INTERVAL = 1

ENTER 1 IF ABOVE PARAMETERS ARE OK
GFHIST: SUCCESSFULLY RETURNING
```

Figure 10.2: execution sample 'spcalf'

```

STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3D
 24000  3.3264159E-06
 0.1029447   0.0000000E+00
 0.1029480   0.0000000E+00
 0.1029513   0.0000000E+00
 0.1029547   -1.9518393E-03
 0.1029580   -2.1848616E-03
 0.1029613   -2.4162792E-03
 0.1029647   -2.6455338E-03
 0.1029680   -2.8708109E-03
  ||
  ||
  ||
 0.1829047   -1.1457854E-02
 0.1829080   -1.1471699E-02
 0.1829113   -1.1492989E-02
 0.1829146   -1.1521966E-02
 0.1829180   -1.1558917E-02
 0.1829213   -1.1603842E-02
 0.1829247   -1.1657011E-02
 0.1829280   -1.1718011E-02
 0.1829313   -1.1785903E-02
 0.1829347   0.0000000E+00
 0.1829380   0.0000000E+00
 0.1829413   0.0000000E+00

```

Figure 10.3: sample of SP-file

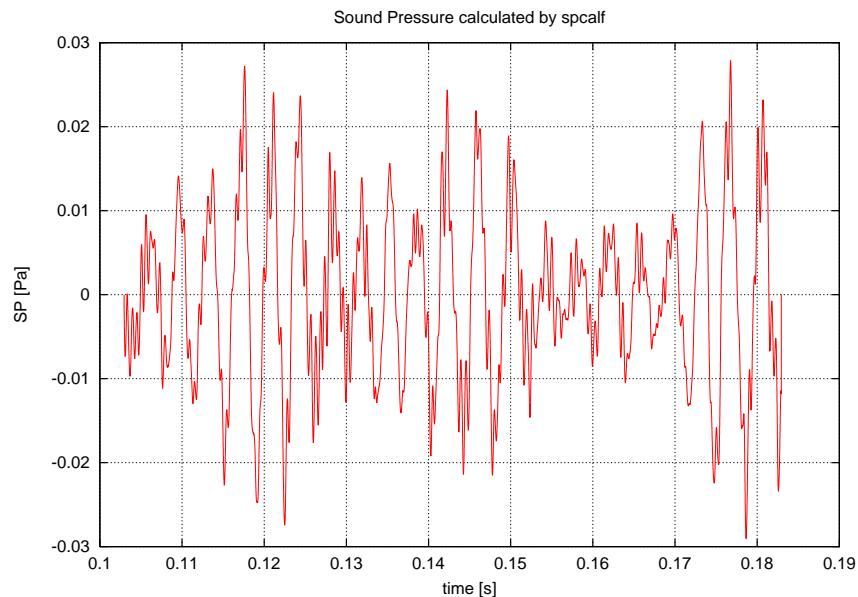


Figure 10.4: Sound Pressure calculated by spcalf

10.2.2 プログラム 'spcals' による計算

観測点と音源との距離が注目する周波数領域における音の波長よりも充分長い場合, 'far-field sound assumption'に基づき音圧が計算される。上記計算は周辺プログラム'spcals'で行うことができる。周辺プログラム'spcals'の実行には GF 表面データが必要であることに注意されたい。周辺プログラム'spcals'の使用方法は以下の通りである。

使用方法:

- コマンド'spcals'を入力
- 入力される GF 表面データファイル名を入力
- 出力される音圧データファイル名を入力
デフォルトファイル名を使用する場合はリターンを入力。音圧データファイルのデフォルト名は'SP'である。
- 長さスケールを入力 (単位 メートル) : H
- 速度スケールを入力 (単位 メートル/秒) : V
- 観測点の位置を入力
- 観測位置を入力 (単位 メートル) : XP, YP, ZP
- 計算モードを入力: ISOUND (0 or 1 or 2)
(各モードの説明については後述する。)
- 物体中心に決定方法を入力
 - 0 — 内部で計算する。
 - 1 — ユーザ入力

ここで 1 を入力した場合は、ユーザが物体の中心位置を入力する。

- 音圧データの出力間隔を入力: INTSPV
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力ができる。)

使用方法の詳細については図 10.5 も参照されたい。

ここで出力される音圧データのフォーマットは周辺プログラム'spcalf'が出力するファイルを同一である。音圧データのフォーマットについては前節を参照されたい。

周辺プログラム'spcals'は想定する物体の長さスケールに従って、3種類の音圧計算モードをサポートする。各モードの選択はパラメータ'ISOUND'によって制御されており、ユーザはこれを周辺プログラム'spcals'の実行時に選択することができます。以下に各モードの説明を示す。

- ISOUND=0:: COMPACT BODY ASSUMPTION
物体は点音源として想定され、物体から放射される圧力振動の時間差は無視される。この想定は物体の長さスケールが注目する周波数領域における音の波長よりも充分短い場合に妥当である。もちろんこのような場合、物体の長さスケールは物体と観測位置の距離に比べ充分小さい。
- ISOUND=1::NON-COMPACT, BUT SMALL BODY ASSUMPTION
物体から放射される圧力振動の時間差を考慮する。ただし、音圧計算における微分演算において物体の長さスケールは無視される。この想定は物体の長さスケールが注目する周波数領域における音の波長と同程度であるが、物体と観測位置の距離に比べ充分小さい場合に妥当である。
- ISOUND=2::NON-COMPACT, NON-SMALL BODY ASSUMPTION
物体から放射される圧力振動の時間差を考慮する。上記'ISOUND=1'の場合と異なり、音圧計算の微分演算のさいに物体表面の厳密な位置が考慮される。この想定は物体の長さスケールが物体と観測位置の距離と同程度である場合に妥当である。

```

%spcals

** SPCALS: COMPUTING FAR-FIELD SOUND FROM
SURFACE PRESSURE ON A BODY BY CURLS EQUATION

SPECIFY FILENAME OF SURFACE PRESSURE DATA
(PRESS RETURN IF ALL THE FILES SPECIFIED)
./data/SURF.04
SPECIFY FILENAME OF SURFACE PRESSURE DATA
(PRESS RETURN IF ALL THE FILES SPECIFIED)
./data/SURF.05
SPECIFY FILENAME OF SURFACE PRESSURE DATA
(PRESS RETURN IF ALL THE FILES SPECIFIED)

SPECIFY FILENAME TO OUTPUT FAR-FIELD SOUND
(PRESS RETURN TO USE DEFAULT FILENAME)

SPECIFY LENGTH SCALE (IN M) : H
1.0E-2
SPECIFY VELOCITY SCALE (IN M/S): V
15.0
SPECIFY NUMBER OF OBSERVATION POINTS: NO
1
SPECIFY POINT: 1 XP, YP, ZP
0.0 1.0 0.02
SPECIFY SOUND COMPUTING ASSUMPTION: ISOUND
0 --- COMPACT BODY ASSUMPTION
1 --- NON-COMPACT SMALL BODY ASSUMPTION
2 --- NON-SMALL BODY ASSUMPTION
1
SPECIFY BODY CENTER COMPUTING MODE: IMODE
0 --- COMPUTE IT INTERNALLY
1 --- SPECIFY
0
SPECIFY SOUND OUTPUT INTERVAL: INTPSV
1
** CONFIRMING THE INPUT PARAMETERS **

INPUT DATA FILE:./data/SURF.04
INPUT DATA FILE:./data/SURF.05
OUTPUT DATA FILE:SP
LENGTH SCALE = 9.999998E-03
VELOCITY SCALE = 15.00000
OBSERV. POINT = 0.000000E+00 1.000000 2.000000E-02
ASSUMPTION USED :NON-COMPACT SMALL BODY ASSUMPTION
BODY CENTER COOR:COMPUTE INTERNALLY
OUTPUT INTERVAL = 1

ENTER 1 IF ABOVE PARAMETERS ARE OK
1
|||
|||
|||


SAVING SOUND PRESSURE HISTORY TO FILE...
FILENAME:SP
DONE!
NSAVE = 2992
NO = 1
DT = 2.6672364E-05 (S)

```

Figure 10.5: execution sample 'spcals'

10.3 音圧レベルの計算

物体から放射される音圧データを計算したのちに，周辺プログラム'spl'を用いて音圧レベルの計算を行うことができる．音圧レベルの計算を行うためには周辺プログラム'spcalf'もしくは'spcals'が出力する音圧データファイルが必要である．周辺プログラム'spl'の使用方法は以下の通りである．

使用方法:

- コマンド'spl'を入力
- 入力される音圧データファイル名を入力
デフォルトファイル名を使用する場合はリターンを入力．音圧データファイルのデフォルト名は'SP'である．
- FFTを行うデータ数を入力 :NFFT
データ数'NFFT'は以下に従わなくてはならない．

$$NFFT = 2^n \quad , \quad 3 \leq n \leq 12$$

実際'NFFT'として入力できる値は'8,16,32,64,128,256,512,1024,2048,4096'のうちのいずれかである．

- データ間隔を入力：NSKIP
データ間隔'NSKP'は以下に従わなくてはならない．

$$NSKIP \times NFFT \leq NTIME$$

ここで'NTIME'は音圧データのデータ数である．上記ふたつのパラメータ'NSKIP'，'NFFT'に従って，以下に示す周波数領域の音圧レベルが計算される．

$$\begin{aligned} f &\equiv \Delta f \times n \\ n &= 1 \sim \frac{NFFT - 1}{2} \\ \Delta f &= \frac{1}{\Delta t} \frac{1}{NSKIP \times NFFT} \end{aligned}$$

上記の式が示すように周波数の解像度をあげたい場合，パラメータ'NSKIP'もしくは'NFFT'を大きくする必要がある．これは音圧データのデータ数'NTIME'を大きくすることを示している．つまり，周波数解像度をあげるために長時間の流れ場の計算(流体解析プログラム'les3d'の実行)である．

- 時間範囲を指定する場合は1を入力
ここで1を入力した場合，時間の範囲を秒の単位で入力する必要がある．

- 出力される音圧レベルデータファイル名を入力
デフォルトファイル名を使用する場合はリターンを入力。音圧レベルデータファイルのデフォルト名は'SPL'である。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ1を入力、0を入力すればパラメータの再入力をすることができる。）

使用方法の詳細については図 10.6 も参照されたい。

計算された音圧レベルデータは音圧レベルデータファイル (SPL-file) に出力される。音圧レベルデータファイルはアスキーファイルとして出力される。具体例を図 10.7 に示す。

音圧レベルデータファイルの一行目は音圧データファイルから入力されたコメント行が出力される。2 行目にはデータ数及び周波数解像度（単位:Hz）が出力される。3 行目以降は実際の音圧レベルデータであり、各周波数の音圧レベルデータ（単位:dB）が出力される。

```
%spl

** SPL: CALCULATING SOUND PRESSURE LEVEL FROM
SOUND PRESSURE HISTORY DATA

SPECIFY FILE NAME OF SOUND PRESSURE DATA
(PRESS RETURN TO USE DEFAULT FILE NAME)

SPECIFY NUMBER OF SAMPLE DATA SET: NFFT
1024
SPECIFY DATA SAMPLING INTERVAL: NSKIP
8
ENTER 1 TO SPECIFY DATA RANGE TO BE PROCESSED
0

SPECIFY FILE NAME TO OUTPUT CALCULATED SPL
(PRESS RETURN TO USE DEFAULT FILE NAME)

** CONFIRMING THE INPUT PARAMETERS **
INPUT DATA FILE:SP
NUMBER OF SAMPLE=          1024
SAMPLE INTERVAL =           8

OUTPUT DATA FILE:SPL

ENTER 1 IF ABOVE PARAMETERS ARE OK
1

READING SOUND PRESSURE HISTORY DATA...
DONE!
      NTIME =        24000

CALCULATING POWER SPECTRUM OF SOUND PRESSURE...
DONE!
      NFFT   =        511
      NSAMPL =         16

OUTPUTTING CALCULATED SOUND PRESSURE LEVEL...
DONE!
FILE NAME=SPL
O.A.      =    51.52829      DB
```

Figure 10.6: execution sample 'spl'

```
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3D
 511 36.69725
 36.69725      2.242288
 73.39450      10.14582
110.0918       21.89527
146.7890       27.55266
183.4863       32.95181

  ||
  ||
  ||

18532.11      -53.99400
18568.81      -51.69125
18605.51      -53.75553
18642.20      -54.00189
18678.90      -51.95316
18715.60      -51.65082
18752.29      -51.28876
```

Figure 10.7: sample of SPL-file

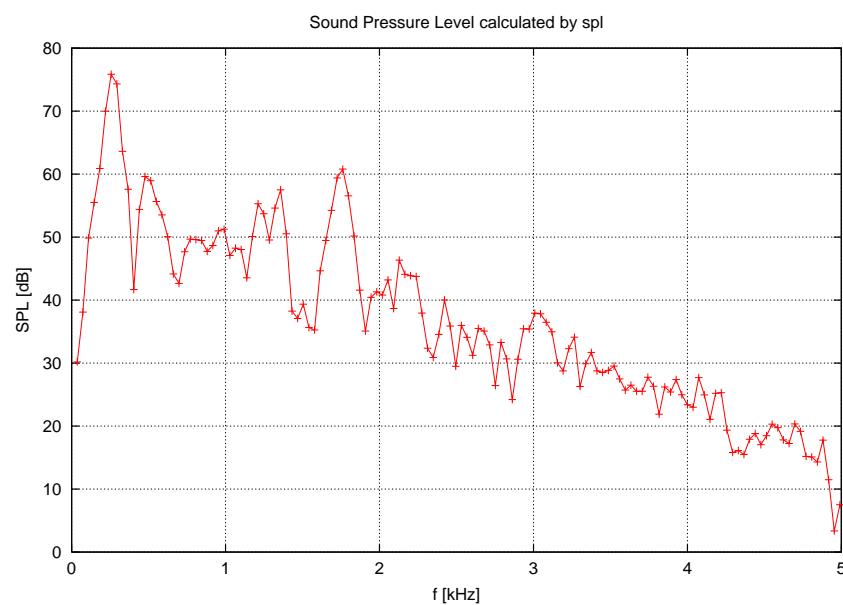


Figure 10.8: Sound Pressure Level calculated by spl

Chapter 11

音響解析機能

本システムはライトヒル方程式に基づく音響解析機能をサポートします。本機能は FFB のサブシステム FFB-A として提供されます。本機能を使用する場合は、FFB のほか、FFB-A をインストールしてください。本機能のインストール方法およびファイルシステムに関してはそれぞれ 3 章および 5 章を参照ください。本章では、はじめに 11.1 節にて、基本機能の説明として、モノポールを壁で囲んだ内部音響問題に対する、データ作成、計算実行、POST 処理という一連の流れを記述します。また、11.2 節にて、本機能の基本検証として、内部ならびに外部音響問題の計算結果を既存商用コードの結果と比較評価します。

11.1 基本機能

1. メッシュデータ及び境界条件データの作成
2. GF フォーマットファイルの変換
3. 境界条件データの処理（変換、チェック、修正）
4. 音源データの作成
5. 解析条件ファイルの作成
6. 音場の計算 (caa3d の実行)
7. 可視化のためのデータ変換
8. 音場のサンプリング

本節では、11.1 に示す内部音響場の計算方法について説明します。データフォーマットを表 11.1 に示します。

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

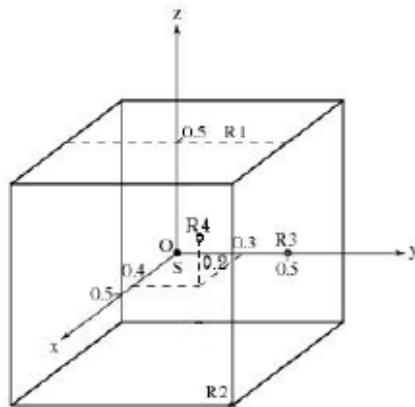


Figure 11.1: Setting For internal acoustic problem

Table 11.1: data flow of basic function of acoustic computation

| 番号 | 処理内容 (プログラム) | 入力データ | 出力データ |
|----|-----------------------|---|-------------------------------|
| 1 | メッシュ作成 (GRIDGEN) | CAD データ等 | GRIDGEN データ |
| 2 | フォーマット変換 (fva2gfa) | GRIDGEN データ | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (音響) |
| 3 | 境界条件データの編集 (bcmod) | GF 境界ファイル | GF 境界ファイル |
| 4 | パラメータ設定 | | 解析条件ファイル |
| 5 | 音響解析の実行 (les3c) | 解析条件ファイル GF メッシュファイル GF 境界ファイル (音響) GF 音源ファイル | GF 音場ファイル |
| 6 | フォーマット変換 (gffv3a) | GF メッシュファイル GF 境界ファイル (音響) GF 音源ファイル GF 音場ファイル | FieldView ファイル |
| 7 | 音場のサンプリング (sampla) | GF メッシュファイル GF 音場ファイル サンプリングファイル | サンプリングされた 音場データファイル |

11.1.1 メッシュデータ及び境界条件データの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本システムの音響解析ソルバーは六面体有限要素に基づくメッシュデータを想定しています。境界条件としては壁境界、無反射境界、対称境界、周期境界等をサポートします。本システムでは、メッシュデータの作成はサポートしていません。したがって、他のソフトウェアを用いてメッシュデータ及び境界条件データを作成する必要があります。現バージョンでは、GRIDGEN で作成したデータの変換機能をサポートしています。図 11.2 に、本章で取り上げる内部音響問題用に作成したメッシュ及び境界条件を示します。wall は壁境界として設定されていることを示しています。GRIDGEN で作成されたデータは GF フォーマットデータに変換された後、音響メッシュデータならびに音響境界条件データに変換されます（次節以降）。

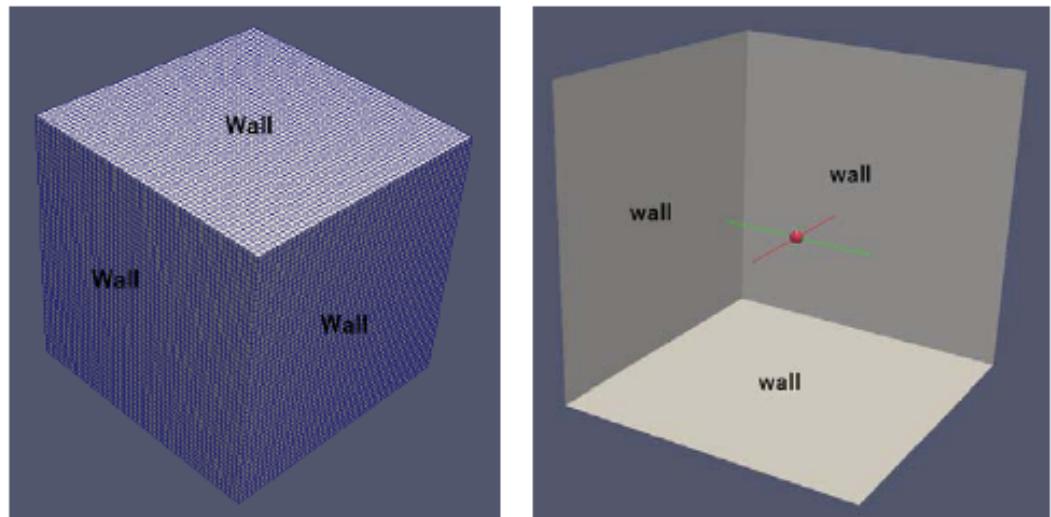


Figure 11.2: Computational mesh for internal acoustic problem

11.1.2 GF フォーマットファイルへの変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'fva2gfa'を使用することにより、GRIDGEN で作成したデータを GF メッシュデータ及び GF 境界条件データに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'fva2gfa.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

fva2gfa.pl GRID GF-MESH GF-BOUN

ここで、GRID は GRIDGEN で作成したファイルの名称、GF-MESH (GF-BOUN) は出力する GF メッシュ (境界条件) ファイルの名称です。例えば、

- GRIDGEN ファイル名 : MESH.grd (入力)
- GF メッシュ名 : MESA :(出力)
- GF 音響境界ファイル名 : BOUN.D :(出力)

の場合の具体的なコマンドは以下のようになります。

fva2gfa.pl MESH.grd MESA BOUN.D

なお、本チュートリアルでは、GF ファイル、MESA および BOUN.D を用意していますので、ここでは fva2gfa の実行は必要ありません。

11.1.3 境界条件データの処理

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

境界条件データの変換

本システムでは、流れ解析に用いた流体境界ファイルを音響解析用の音響境界ファイルに変換する機能をサポートします。流体境界データと音響境界データは別々に定義されていることに注意ください(5.2.2、5.2.3 参照)。境界データの変換には周辺プログラム `bcconv` を用います。本プログラムは表 11.2 の変換規則に従って、流れ場境界条件データを音響境界条件データへ変換する機能をサポートします。

Table 11.2: conversion of CFD boundary condition data to CAA ones

| 流れ場境界 | 音響境界 |
|--------------------|------------------|
| INLET (流入境界) | A-NRBC (無反射境界) |
| WALL (壁面) | A-WALL (反射境界) |
| MOVING-WALL (移動壁面) | A-WALL (反射境界) |
| SYMMETRIC (対称境界) | SYMMETRIC (対称境界) |
| FREE (流出境界) | A-NRBC (無反射境界) |
| CYCLIC (周期境界) | CYCLIC (周期境界) |

本プログラムには、起動スクリプト'bcconv.pl' が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

`bcconv.pl GF-BOUN.D GF-BOUA frequency frequency_number`

ここで、GF-BOUN.D は (GRIDGEN で作成した後に GF フォーマット化した) 流れ場境界データファイル名、GF-BOUA は出力すべき GF 音響境界条件データのファイル名、frequency は所要の周波数 [Hz]、frequency_number は周波数に割り当てる番号です。本節の処理を実行する場合は、

`bcconv.pl ../data0/BOUN.D BOUA 31.5 1`

とすることにより、周波数 31.5Hz、周波数番号 1 に対応する GF 音響境界条件ファイル (BOUA) が作成されます。

図 11.3 に、本節の内部音響問題に対して、`bcconv` を用いた結果を示します。流れ場用の壁境界条件データ (wall) は、音響用の壁境界条件データ (AWAL) に変換されています。

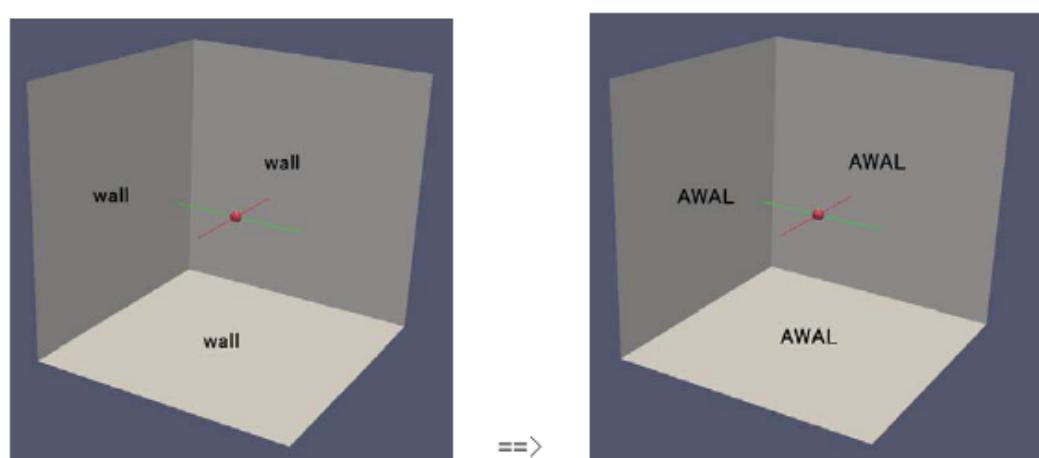


Figure 11.3: Conversion of CFD boundary condition to CAA one left: CFD boundary condition right : CAA boundary condition

境界条件データのチェック

前節で作成した境界条件データを用いて解析を実行する前に、境界条件データのチェックを行う必要があります。チェックするのは、重複する境界条件の有無および境界値を課されていない境界節点の有無です。この処理は、周辺プログラム'chkbc'a' およびその起動スクリプト (chkbc'a.pl) を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し、境界条件を重複して定義している節点および境界条件が未指定の節点の有無などを調べる汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 19.3.2 節を参照してください。本ケースの場合、実行するコマンドは以下のようになります。

```
chkbc'a.pl GF-MESH GF-BOUA
```

ここで、GF-MESH は音響メッシュファイルの名称であり、GF-BOUA は GF 音響境界条件ファイルの名称です。本節の処理を実行する場合は、

```
chkbc'a.pl MESA BOUA
```

とすることにより、GF 音響境界条件ファイル (BOUA) 中のデータがチェックされます。なお、周辺プログラム'chkbc'a' は起動スクリプトを使わずに、インターラクティブに使用することも可能です。これに関しては、19.2.1 節を参照してください。参考のために、簡単な例題に対して chkbc'a を適用した際の標準出力を以下に示します。

```
** SUMMARY OF BOUNDARY CONDITIONS DATA CHECK **
```

| TYPE | | NODE | ELEM | DUPL. | INNER | ISOLATE |
|--------------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| WALL | BOUNDARY NODES | 15002 | 15000 | 0 | 0 | 0 |
| TYPE | | NODE | ELEM | DUPL. | FREE | |
| ALL BOUNDARY | | 15002 | 15000 | 0 | 0 | |

境界条件データの編集

前節までの境界条件データを解析の実行に用いるためには、以下に示す処理を境界条件データに施す必要があります。

【重複する境界条件の削除】前節のチェックにおいて、境界節点において重複する境界条件が見つかった場合は、削除する必要があります。この処理は、周辺プログラム'bcmoda' およびその起動スクリプト (bcmoda.pl) を用いて実行することができます。本プログラムは、境界条件データに対し様々な処理をする汎用的なプログラムです。機能、使用方法の詳細は 14 章を参照してください。実行するコマンドは以下のようになります。

```
bcmoda.pl -rd MESA BOUA tmp
cp tmp BOUA
rm -f tmp
```

1 行目により重複する境界条件の削除が実行されます。

11.1.4 音源情報ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL/DATA/data1'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本システムの音響ソルバーは音源情報を以下の二通りの方法で入力します。

- GF 音源ファイルを作成しこれを入力する (method-1)
- 解析条件ファイルに音源情報（複数モノポール）を入力する (method-2)

本節では、method-1 について説明します。GF 音源ファイルを作成するには周辺プログラム mksrc およびその起動スクリプトを使用します。実行するコマンドは以下のようになります。

mksrc.pl GF-MESH ASCII-ASRC GF-ASRC

ここで、GF-MESH は音響メッシュファイルの名称であり、ASCII-ASRC は音源情報を記述したアスキーファイル、GF-ASRC は出力する GF 音響境界条件ファイルの名称です。音源情報のファイルには、1 行目にモノポールの数、2 行目以降に音源情報（音源の位置 3 成分および音源の強さ、実部、虚数）を指定します。具体的な内容は以下のようになります。

1

0.0 0.0 0.0 1.0 0.0

す。

本節の処理を実行する場合は、

mksrc.pl MESA s_inf.txt SOUR

を実行してください。図 11.413.2.7 に内部音響問題における音源分布図を示します。原点付近にモノポールのもたらす音源、すなわち音圧分布を確認することができます。

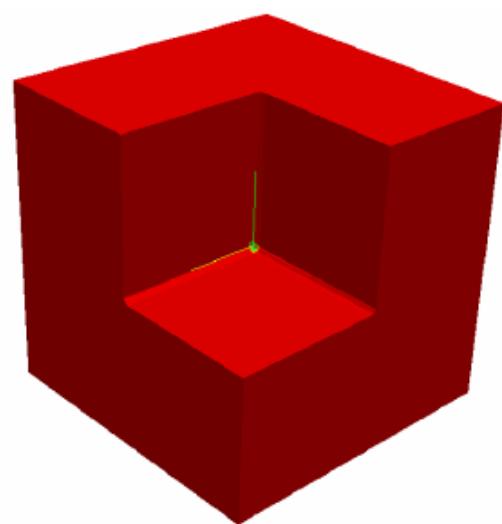


Figure 11.4: Acoustic source distribution (real part)

11.1.5 解析条件ファイルの作成 (PARMCAA3D)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/EXE/EXE.01/RES.01' ,

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

音響解析ソルバー'caa3d'はいくつかのGFフォーマットファイル及び解析条件ファイルを入力データとします。解析条件ファイルの名称は固定されていて'PARMCAA3D'です。解析条件ファイルは以下に示すような、基本的な解析条件情報が含まれています。(解析条件ファイルの詳細は5.1.3節を参照してください。)

- 周波数条件(周波数及び周波数番号)
- 物理定数(密度、音速)
- 行列計算の制御情報(反復回数、収束判定値)
- 音源情報(モノポール数、各モノポールの位置と強さ)
- 入出力ファイル名(ファイル名の長さは54文字以下でなくてはならないので注意してください。)

本システムは、流体音源の特別な場合としてモノポール音源をサポートします。モノポール音源は、解析条件ファイルと音源データファイルで指定する(11.1.4で述べた)方法(method1)の他に、解析条件ファイルのみで指定する方法(method2)が可能です。前者の方法をmethod1、後者の方法をmethod2と呼ぶことにします。図11.5にmethod1、図11.6にmethod2の場合の解析条件ファイル'PARMCAA3D'のサンプルを示します。

```

#GIVE COMGEN
#STENCIL PARAMETER FILE FOR CAA3D
#GIVE    REFU    REFL    FREQ.   AO      RHOO
        1.0     1.0    31.5   340.0  1.225
#GIVE    EPSP    NMAXP   ISOLP   NRCM    IPRE    JSET
        1.OE-8  10000   2       1000    1       0
#GIVE    NMONO / XMONO   YMONO   ZMONO   FRMONO   FIMONO
        0
#GIVE    MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/MESA
#GIVE    BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/BOUA
#GIVE    SOUND SOURCE FILE
.../..../DATA/data1/SOUR
#GIVE    RESULT DATA FILE
APRS
#END OF INPUT DATA

```

Figure 11.5: sample of parameter file (PARMCAA3D: method-1)

```

#GIVE COMGEN
#STENCIL PARAMETER FILE FOR CAA3D
#GIVE    REFU    REFL    FREQ.   AO      RHOO
        1.0     1.0    31.5   340.0  1.225
#GIVE    EPSP    NMAXP   ISOLP   NRCM    IPRE    JSET
        1.OE-8  10000   2       1000    1       0
#GIVE    NMONO / XMONO   YMONO   ZMONO   FRMONO   FIMONO
        1
        0.0     0.0     0.0     1.0     0.0
#GIVE    MESH DATA FILE
.../..../DATA/data1/MESA
#GIVE    BOUNDARY CONDITIONS FILE
.../..../DATA/data1/BOUA
#GIVE    REAL PART OF SOUND SOURCE FILE
dummy
#GIVE    IMAG. PART OF SOUND SOURCE FILE
dummy
#GIVE    RESULT DATA FILE
APRS
#END OF INPUT DATA

```

Figure 11.6: sample of parameter file (PARMCAA3D: method-2)

11.1.6 音響解析の実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/EXE/EXE.01/RES.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

本章に示すような最も基本的な実行の場合に必要となるファイルを以下に示すとあります。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMCAA3D'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル（音響）
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 音源データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

本章の内部音響問題のように音源がモノポールである場合、Method1（前節参照）を適用すると、GF 音源データファイルは不要となります。

音響解析ソルバー'caa3d' を用いて音場の計算を行うためには、(前節において説明した) 解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'caa3d' を入力します。

% caa3d

上記データが全て正しく用意されていれば、'caa3d' は以下に示すようなメッセージを出力して(標準出力) 計算を開始します。

CAA3D : VERSION 2010.05.30

計算実行中のログ内容の例を図 11.7 に示します。問題がなければ'caa3d' は以下のメッセージとともに終了します。

** CAA3D : SUCCESSFULLY TERMINATED **

音響ソルバー'caa3d' はデフォルトで計算終了時の GF 音場データファイルを出力します。さらにオプション出力として、音圧パワーファイル、粒子速度ファイルを出力します。オプション出力の設定方法は 5.1.4 を参照ください。

```
CAA3D: VERSION 2010. 05. 26
      ** RUNNING IN SERIAL    MODE

** INTERNAL VARIABLE SETTINGS **

-----
(4) CONSTANTS REGARDING NUMERICAL METHOD
NUMBER OF GAUSS POINTS      : IGAUSS=          4
WALL FUNCTION     ITERATIONS: NITRWL=          6
SAMPLE-ELEMENT SEARCH ITERATIONS: NITRES=        4

(5) CONSTANTS REGARDING OUTPUT
FILE WRITING MODE FLAG       : IWRITE=           2
MAX. TIMESTEPS TO BE PRINTED-OUT: MAXPRN=        200
EMERGENLY ESCAPE DIVERGENT LIMIT: DIVESC= 10000.00

** READING CALCULATION PARAMETERS **
LESCRP: READING CALCULATION PARAMETERS AND FILE NAMES
COMGEN=#STENCIL PARAMETER FILE FOR CAA3D
REFU = 1.00000E+00 REFL = 1.00000E+00 F0 = 3.15000E+01 A0 = 3.40000E+02 RH00 =
-----

** WRITING **  FREQUENCY           ; FREQ   = 31.50000
** WRITING **  FREQUENCY NUMBER    ;NFREQ  =          0
** WRITING **  SOUND PRESSURE      ;NP     = 132651
** WRITING **  SOUND POWER        ;NPPWR= 132651
** WRITING **  PRESSURE GRADIENT   ;NPGRDP= 132651
GFAPRS: SUCCESSFULLY RETURNING

DONE!

** CAA3D: SUCCESSFULLY TERMINATED **
```

Figure 11.7: sample of execution log of caa3d

11.1.7 可視化のためのファイル変換

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/POST/FV/FV.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3a'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW¹用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3a.pl'が用意されております。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

`gffv3a.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV`

ここで、FV は FieldView 用ファイルのファイル名、GF-MESH (GF-BOUA、GF-PRES) は入力する GF メッシュ (境界条件、音場) ファイルのファイル名です。本節の処理を実行する場合は、

```
ln -s ../../DATA/data1/MESA ./MESA
ln -s ../../DATA/data1/BOUA ./BOUA
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.01/APRS ./APRS
gffva.pl MESA BOUA APRS res.uns
rm -f MESA BOUA APRS
```

とすること

により、FIELDVIEW 用ファイル(res.uns)が作成されます。

図 11.8 は、本章の内部音響問題に対する実行結果を可視化したものです。計算の結果として得られる音場は複素数表現であるため、左側に実数部分を、右側に虚数部分を表示しています。

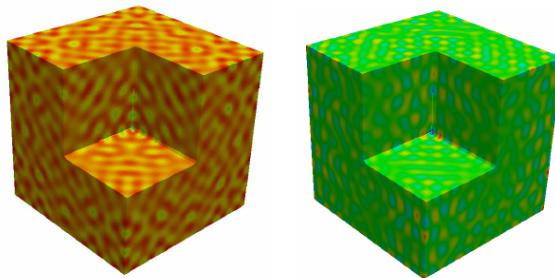


Figure 11.8: Pressure distributions at 4 kHz left:real part, right:imaginary part.

¹FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

11.1.8 音圧分布の取得

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

```
'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/POST/PLOT/PLOT.01'
```

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'sampla'を使用することにより、計算結果である GF 音場データファイルから指定した座標における音圧データを取得することができます。本プログラムには、起動スクリプト 'sampla.pl' が用意されてあります。起動スクリプトの使用方法は、以下の通りです。

```
sampla.pl GF-MESH GF-PRES SAMP POUT
```

ここで、GF-MESH は解析で使用した音響メッシュファイル（入力）、GF-PRES は解析の結果ファイル（入力）、SAMP は音場をサンプリングしたい点列の座標を記したファイル（入力）、POUT は抽出したデータ用ファイル（出力）です。本章の内部音響問題に対して、プログラム sampla を適用することにより、音場のサンプリングを行います。それと同時に、SAMP ファイルと POUT ファイルのフォーマットを説明します。まず、サンプリング点として、図 11.9 の上面に見える白線上の点列（181 点）を指定します。

SAMP ファイルは、単純なアスキーフォーマットファイルです。1 行目に指定するサンプル点数、2 行目以降に、サンプリング点列の x 座標、y 座標、z 座標が続きます。ここでは、次のように数値が並びます。

```
101
-0.50 0 0.5
-0.49 0 0.5
-0.48 0 0.5
  ||
  (省略)
  ||
  0.48 0 0.5
  0.49 0 0.5
  0.50 0 0.5
```

以下のコマンドを実行することにより、MESA データファイルと APRS データファイルから SAMP で指定したサンプル点列における音圧データを抽出し、p.out ファイルに出力します。

```
ln -s ../../DATA/data1/MESA ./MESA
ln -s ../../EXE/EXE.01/RES.01/APRS ./APRS
sampla.pl MESA APRS SAMP p.out
rm -f MESA APRS
```

SAMP ファイルと同様、p.out ファイルも単純なアスキーフォーマットファイルです。これには、指定した線分上の音場データが次のように出力されます。各行は各サンプリング点に対応しています。各行における数値の並びは、左から右

に向かって、x 座標、y 座標、z 座標、音圧の実部、音圧の虚部の順になっています。

```
0.50000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36779+E01 0.13656E-8
-0.49000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36779+E01 0.13678E-8
-0.48000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36778+E01 0.13700E-8
-0.47000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36775+E01 0.13780E-8
  ||
  (省略)
  ||
0.48000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36778+E01 0.11632E-8
0.49000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36779+E01 0.11607E-8
0.50000E+00 0.00000E+00 0.50000E+00 0.36779+E01 0.11581E-8
```

最後に、p.out のデータを EXCEL 等の描画ソフトでグラフ表示します。図 11.10 は、EXCEL で表示したものです。同様の解析条件下で得られる他コードの計算結果を併記することで、本解析ソルバーの精度評価が可能となります。

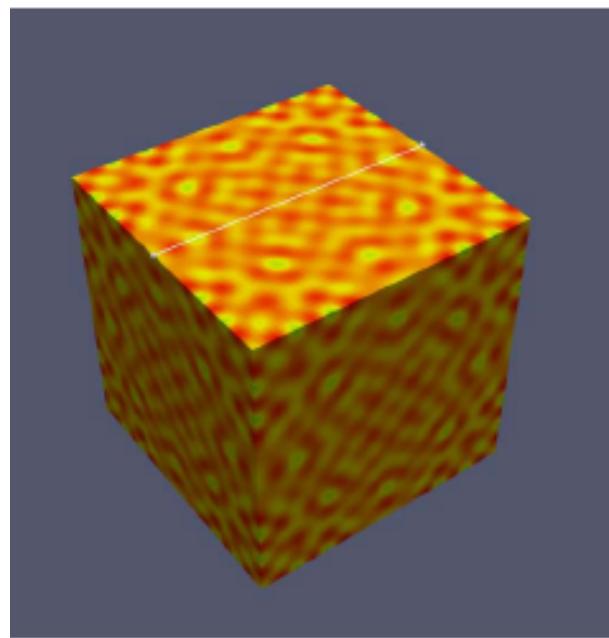


Figure 11.9: sampling points

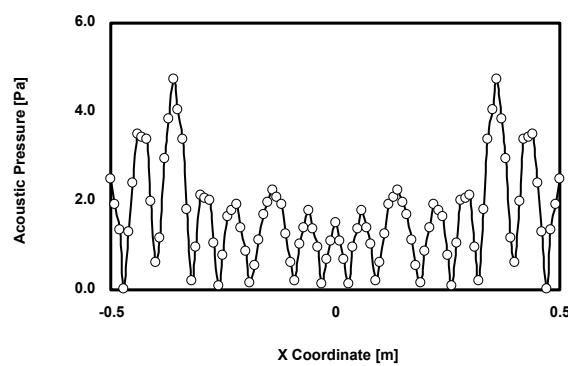


Figure 11.10: Acoustic Pressure at sampling points : 4 kHz

11.2 検証

音響ソルバーの精度検証を行うために、内部ならびに外部音響に関連するベンチマーク問題を各一題ずつ取り上げます。解析領域中に指定したサンプリング点での音圧分布を計算し、結果を商用コードの結果と比較することにより、当ソルバーの解析精度を評価します。

11.2.1 内部音響問題

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/INTERNAL'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

内部音響例として、図 11.11 に示すように、音源を囲んだ立方体キャビティ中の音響問題を取り上げます²。

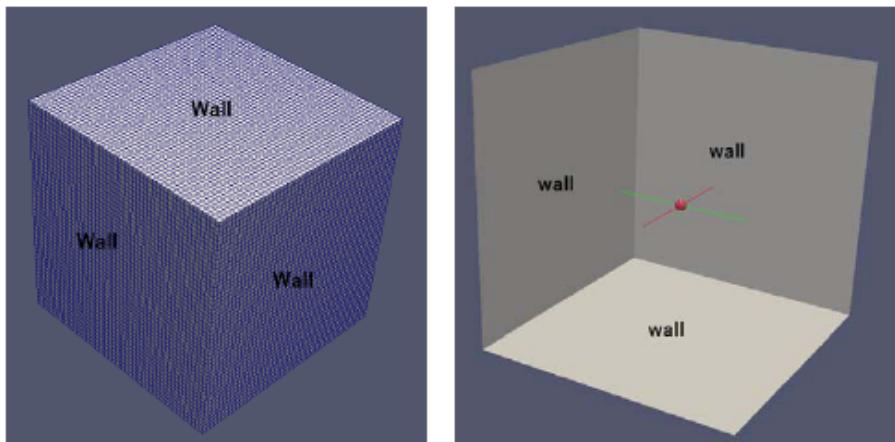


Figure 11.11: Computational mesh for internal acoustic problem

²参考 URL <http://gacoust.hwe.oita-u.ac.jp/AIJ-BPCA/B0-1F/index.html> です。

問題設定

音源を囲んだ立方体キャビティの一辺長を 1m とします(図 11.11 参照)。音源は、モノポール点音源(S)とし、キャビティ中心位置($x,y,z)=(0,0,0)$ に置かれて います。これは、特定の振動周波数で体積加速度振幅 $Q=1.04\ m^3/s^2$ で定常振動しているとします。振動周波数はオクターブバンド中間周波数の中から $f=31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000\ Hz$ を選択します。境界条件は全ての境界面を音響壁と します。すなわち、音波は境界において完全反射するとします。音圧分布評価のためのサンプリング点として、直線 $x=0, z=0.5$ の交線上に 0.01m 間隔に置いた 101 点(R1)($y=-0.5, \dots, 0.5$)とします。

計算概要

計算領域は立方体キャビティ内部です。内部はメッシュ幅 $\Delta x = 0.02$ で一様分割して おり、節点数は 13,2651、要素数は 125,000 です。各周波数に対応する波長 λ および波長/メッシュ幅は、表 11.3 のようになります。使用するメッシュは、1000Hz までは十分な波長解像度を有することが分かります。長さスケールは 1[m]、速度スケールは 1[m/s] と設定します。

Table 11.3: mesh resolution in internal problem

| 周波数 $f[Hz]$ | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|--------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 波長 $\lambda[m]$ | 10.8 | 5.40 | 2.72 | 1.36 | 0.68 | 0.34 | 0.17 | 0.085 |
| $\lambda/\Delta x$ | 539.7 | 269.8 | 136.0 | 68.0 | 34.0 | 17.0 | 8.5 | 4.3 |

解析条件ファイルの設定

11.1.5 節を参照してください。

計算実行

音響解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル(ファイル名は'PARMCAA3D')
- GF メッシュデータファイル
- GF 境界条件データファイル
- GF 音源データファイル
- 音場サンプリング点ファイル

コマンド'caa3d'で計算が実行されます。ファイル及びコマンドについての詳細は 11.1.6 を参照してください。

計算結果

音響解析の結果として GF 音場データファイルが得られます。このファイルを周辺プログラム gffva を用いて FIELDVIEW ファイル (res.uns) へ変換することで、可視化が可能となります。キャビティ内部及び表面の音圧分布については図 11.8 を参照してください。

音場のサンプリング

GF 音場データファイルとサンプリング点ファイルから、周辺プログラム 'sampla' により、サンプリング点列における音圧データファイル p.out を取得することができます。サンプリング点については、既に図 11.9 に示しました。

精度検証

p.out ファイルを EXCEL でグラフ化し、他コードの結果を併記することで、本ソルバーの精度検証を行います。他コードの結果として、商用コードと Mode method(具体的には P.Svenson による Mode summation method) を選びました。図 11.12、11.13、11.14 において、各周波数ごとに、サンプリング点上の音圧分布を表しています。本音響解析ソルバーは、商用コードと比べて遜色のない結果を与えることが分かります。Table 13.3.1 が予測するような波長分解能が不足する周波数 (2000 及び 4000Hz) では、両者の相違が観察されるようになります。

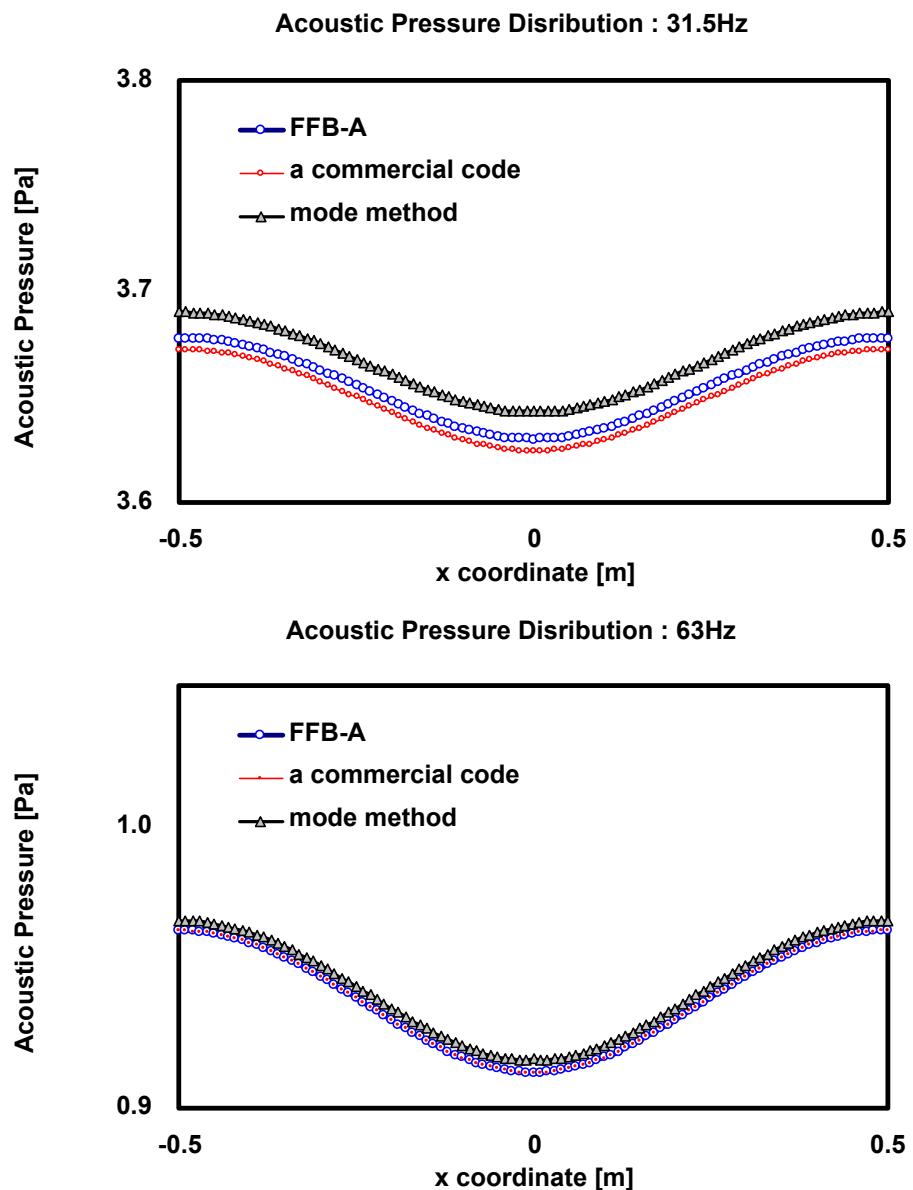


Figure 11.12: Comparison of FFB-A, a commercial code, and mode method (1/3), top:31.5Hz bottom:63Hz

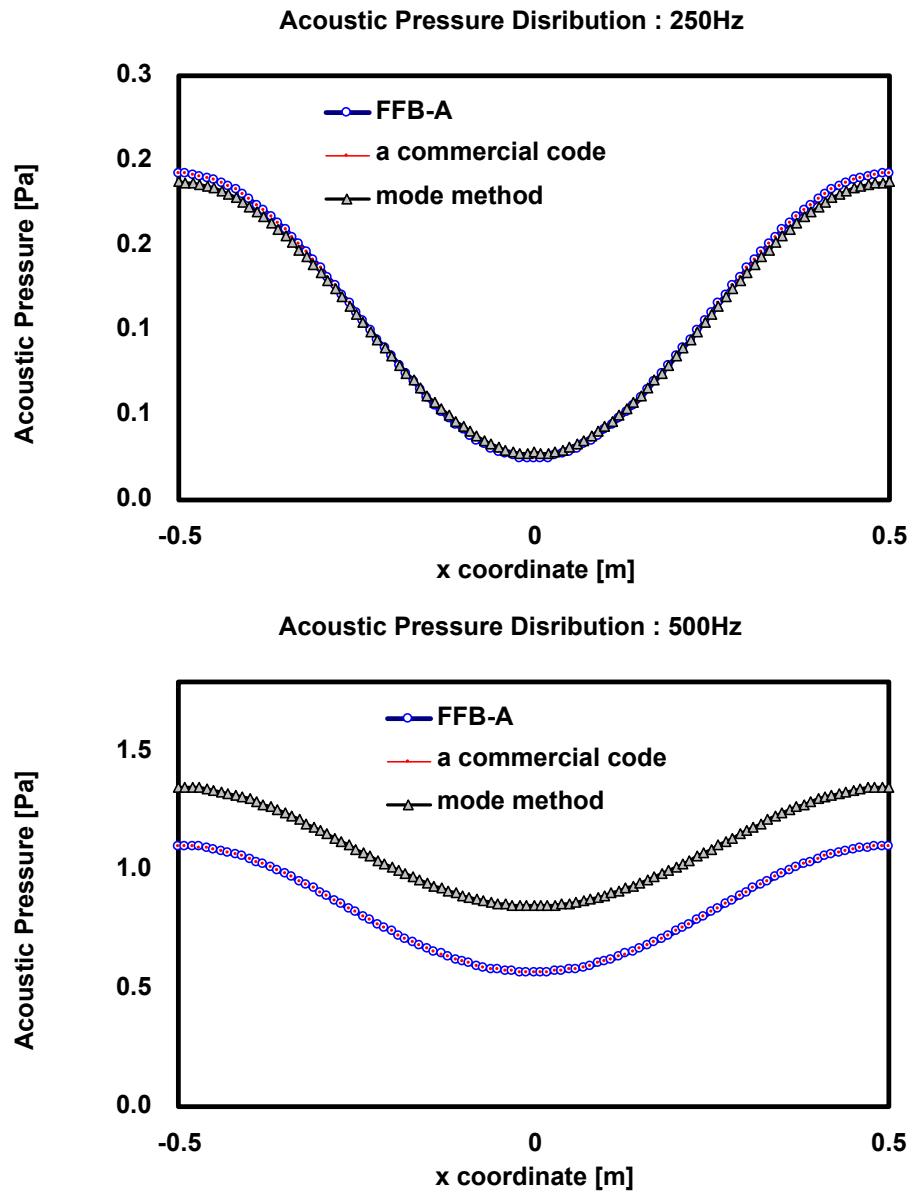


Figure 11.13: Comparison of FFB-A, a commercial code, and mode method (2/3), top:250Hz bottom:500Hz

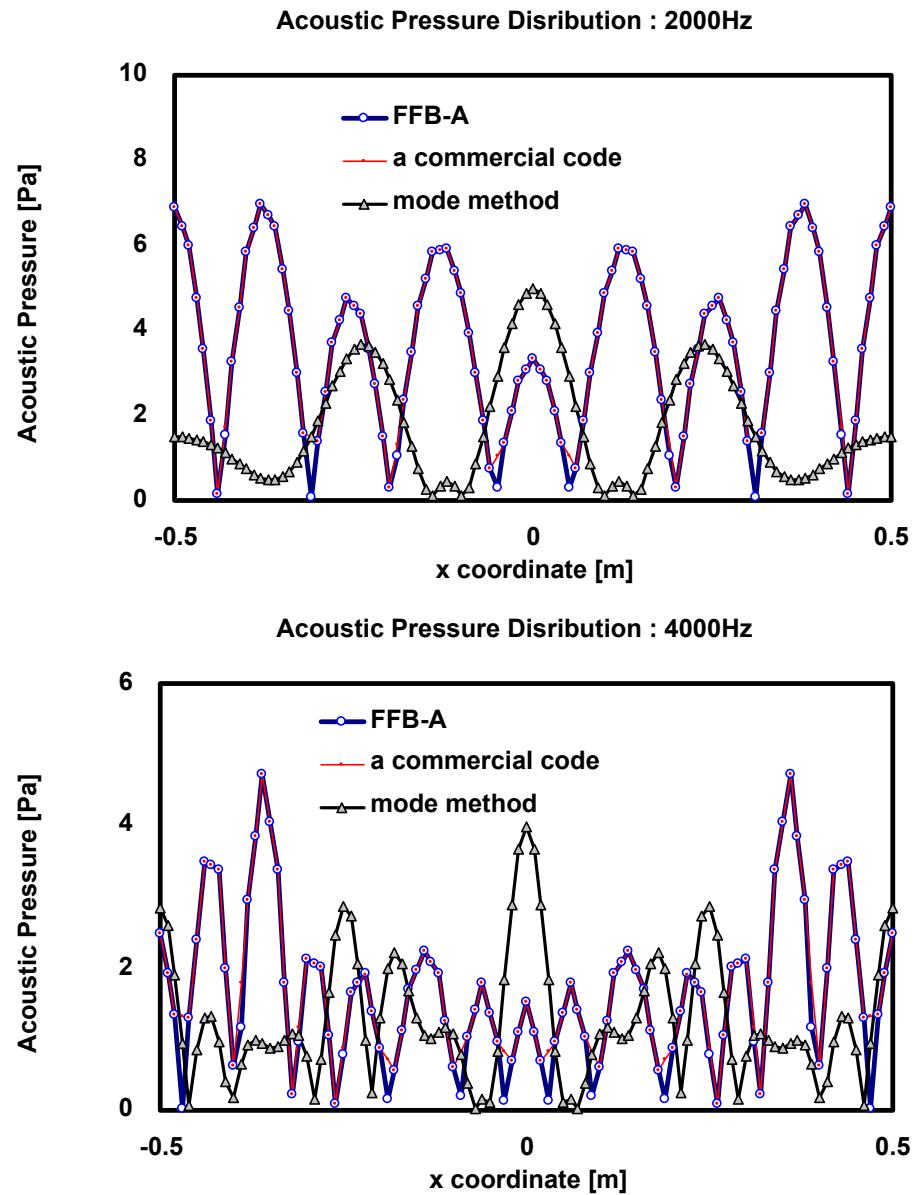


Figure 11.14: Comparison of FFB-A, a commercial code, and mode method (3/3), top:2000Hz bottom:4000Hz

11.2.2 外部音響問題

重要注意事項

本節で示す計算の実行に必要なデータ、スクリプト等は、本システム内の以下の場所に納められています。

'LES3DHOME/data/ACOUSTICS/EXTERNAL'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際に、ユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。実際の実行の際には、納められているスクリプトも同時に参照してください。

外部音響例として、図 11.15 に示すように、剛体球上に点音源が置いた時の音響伝搬問題を取り上げます³。

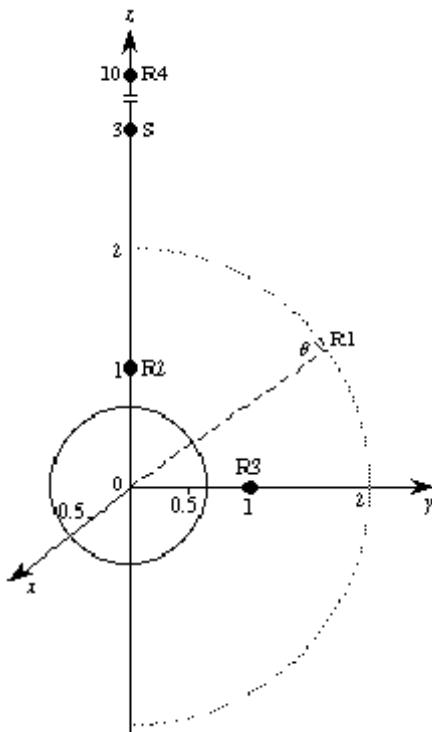


Figure 11.15: Setting for external acoustic problem

³参考 URL は、<http://gacoust.hwe.oita-u.ac.jp/AIJ-BPCA/A0-3F/index.html> です。

計算概要

計算領域は、直径 1m の球内部を除いた、各辺の長さ $L_x=L_y=9.5\text{m}$, $L_z=13.5\text{m}$ の直方体内部です。計算領域内部は約 0.178m のメッシュ幅 Δx で分割しており、節点数は 84,184、要素数は 78,408 です。各周波数に対応する波長 λ および波長/メッシュ幅は、表 11.4 のようになります。

Table 11.4: mesh resolution in external problem

| 周波数 $f[\text{Hz}]$ | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 波長 $\lambda[m]$ | 10.8 | 5.40 | 2.72 | 1.36 | 0.68 | 0.34 | 0.17 | 0.085 |
| $\lambda/\Delta x$ | 60.6 | 30.3 | 15.3 | 7.6 | 3.8 | 1.9 | 1.0 | 0.5 |

表 11.4 より、使用するメッシュで解像できるのは 125Hz 位までの音波と考えられます。本節では、31.5Hz のみを解析する周波数とします。長さスケールは 1m、速度スケールは 1 m/s と設定します。図 11.16 に使用する計算メッシュを示します。図 11.17 に bcconv を用いて変換される境界条件を示します。bcconv は、流れ場計算用境界条件として設定した FREE(自由流出) と WALL(壁) を、それぞれ ANOR(無反射境界) と AWAL(音響壁) に変換しています。

音源ファイルの設定

図 11.18 に音源分布図を示します。モノポール部分の音圧が高くなっています。処理については 11.1.4 節を参照してください。

解析条件ファイルの設定

11.1.5 節を参照してください。

計算実行

音響解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル (ファイル名は 'PARMCAA3D')
- GF メッシュデータファイル
- GF 境界条件データファイル
- GF 音源データファイル
- 音場サンプリング点ファイル

コマンド 'caa3d' で計算が実行されます。ファイル及びコマンドについての詳細は 11.1.6 を参照してください。

計算結果

計算領域内の音圧分布を図 11.19 に示します。モノポール部分をはじめとしてそれを含む周囲部分の音圧が高くなっています。使用ファイルや処理方法については前節を参照してください。

音場のサンプリング

図 11.20 に、音場のサンプリング点列を示します。このサンプリング点上の、31.5Hz における音圧分布を図 11.21 にグラフ表示しています。使用ファイルや処理方法については前節を参照してください。

精度検証

図 11.21 には商用コードの計算結果を併記しています。本音響解析ソルバーは、商用コードと比べてあまり変わらない結果を与えることが分かります。ただし、球から見てモノポールと反対側の音場領域になるにつれて、二つのコードの相違が出てきているといえます。

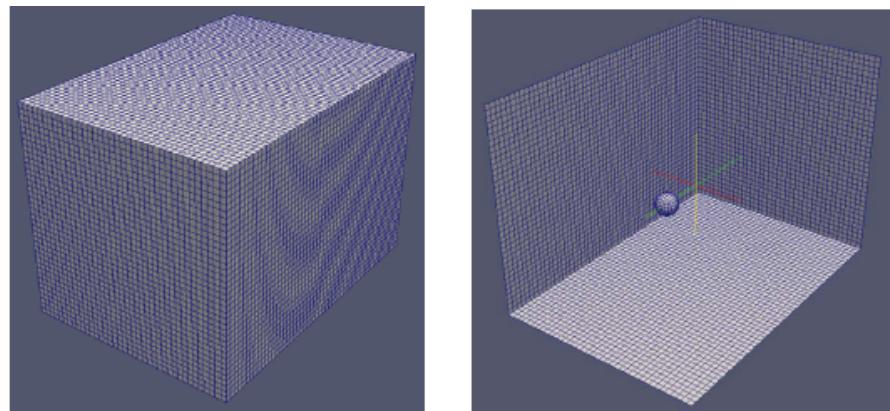


Figure 11.16: Computational mesh for external acoustic problem

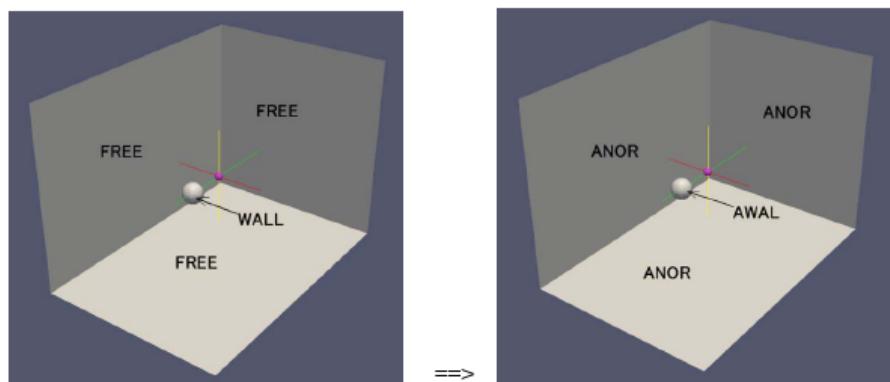


Figure 11.17: Conversion of Boundary conditions
left: CFD boundary condition
right : CAA boundary condition

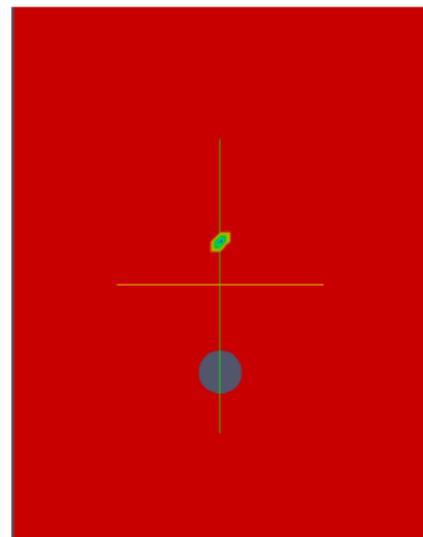


Figure 11.18: Acoustic source distribution (real part)

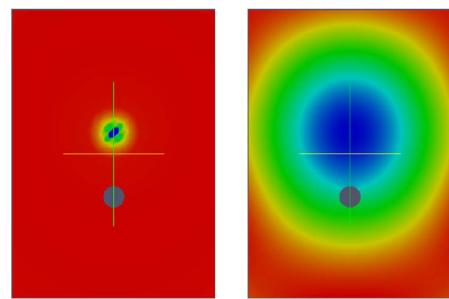


Figure 11.19: Pressure Distribution at 31.5Hz left: real part ,right: imaginary part

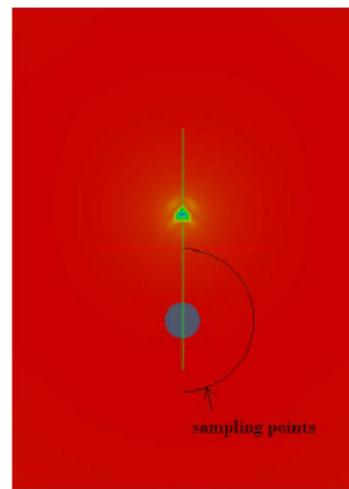


Figure 11.20: Pressure sampling points

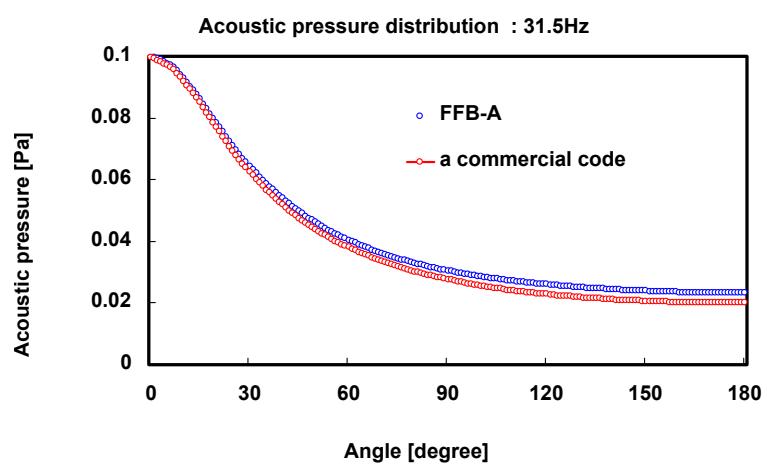


Figure 11.21: Comparison of FFB-A, a commercial code, and a mode method : 31.5Hz

Chapter 12

定常・RANS解析機能

マルチ要素流体解析ソルバー les3x は本バージョンより定常解析および RANS 解析機能をサポートします。定常解析機能としては、SIPPLE 法および SIMPLEC 法が実装されています。また、剥離点などの評価に一定の成果が得られている低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルに基づいた RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) 解析が実装されています。低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルには様々なバリエーションが存在していますが、現在実装されているのは以下の 2 つのモデルです。

- Launder-Sharma による低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデル¹
- Chien による低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデル²

本章では、チュートリアルデータとしてバックステップ流れ解析（図 12.1）のデータを用いて、RANS 解析機能の使用方法を説明します。

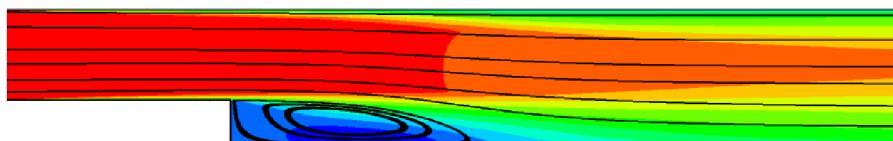


Figure 12.1: Flow over a back-step

¹Lauder, B.E. and Sharma, B.I. (1974):Application of energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc. Letters in Heat and Mass Transfer, 1:131-138

²Chien, K. Y. (1982): Predictions of channel and boundary-layer flows with a low-Reynolds number. J. Fluid. Engng., 103:456-460

12.1 機能概要

RANS 解析について $k - \varepsilon$ モデルに基づく RANS 解析では、乱流を乱流エネルギー密度 k や乱流エネルギー密度の消散項 ε といった統計量によって代表させ、これら統計量のモデル化した輸送方程式を解くことで乱流の発展を解析します。流れ場への乱流の影響は、これら統計量に依存する乱流粘性係数を Navie-Stokes 方程式に導入する形で考慮されます。

RANS 解析の利点の一つは、計算コストを抑えて乱流解析を行うことができる点にあります。乱流場を直接解像するのではなく、モデル化した統計量の発展を解析するため、乱流場を解像できないような荒いメッシュでも乱流を取り扱うことができます。

RANS 解析の適用条件 RANS 解析を行うには、乱流エネルギー密度などの統計量が物理的に意味を持つことが必要となります。このため、解となる場は乱流の発展の時刻歴を示したものではなく、モデル化された統計量を示しているものと解釈する必要があります。多くの場合は定常な状態を求める定常解析において利用されます。³

また、RANS のモデルによって、適用可能なメッシュなどにも条件が生じます。流れソルバー les3x に実装されている低レイノルズ数型モデルでは、壁面付近の乱流粘性に減衰関数を導入するなどして、壁付近の低レイノルズ数領域も乱流エネルギー場 k と散逸項 ε によってモデル化しています。このモデルでは、壁付近を経験的な速度分布などから与える壁関数を用いる必要がなく、壁付近まで乱流挙動を解く事が可能となっていますが、一方で粘性低層までメッシュで解像しなければならず、壁付近に十分な解像度のメッシュを用意する必要があります。

粘性低層の厚さは乱流の状況に依存するため、解析に先立って予測することは困難です。経験的には、平板表面の境界層の実験及び解析結果より、以下の式から壁面第一節点の距離 y より無次元化した壁座標 y^+ を求め、 $y^+ < 1 \sim 4$ を満たすように壁面付近のメッシュ解像度を調整します。

$$y = C \times Ly^+ \quad (12.1)$$

ここで、 L は代表長さであり、係数 C はレイノルズ数 Re に対して凡そ表 12.1 のような値を取ることが経験的に知られています。

実際の y^+ は乱流の状況に依存して大きく異なりますので、解析終了後に y^+ の分布を求めて使用したメッシュの解像度が十分であったか否かを再確認する、といった手順が重要となります⁴。

³乱流統計量が解析時間に対して十分短い時間で平行に達することを仮定するなどして、非定常解析において RANS を用いる例もあります。

⁴現在の FFB ではこの機能はサポートしていません。今後の更新で対応する予定です。

Table 12.1: Empirical estimation for $y+$

| Re | C |
|--------|--------------------|
| 1000 | 1×10^{-2} |
| 2000 | 6×10^{-3} |
| 5000 | 3×10^{-3} |
| 10000 | 2×10^{-3} |
| 20000 | 8×10^{-4} |
| 50000 | 4×10^{-4} |
| 100000 | 2×10^{-4} |
| 200000 | 1×10^{-4} |

乱流エネルギー場と散逸項 低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルでは k および ε の輸送方程式を解きますが、流れが複雑な箇所では不安定な挙動を示しやすく、これらの流入境界での値や初期値が計算の安定性に対して重要な影響を及ぼします。

通常、流入速度 U_0 に対し、乱れ度 β を用いて、

$$k = \frac{3}{2}(\beta U_0)^2, \quad (12.2)$$

$$\varepsilon = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k^{\frac{3}{2}}}{L} \quad (12.3)$$

によって初期値および流入境界値を見積もります。ここで、 C_μ は乱流モデル定数であり、標準的には 0.09 を用います。

乱れ度 β は平均流速に対する乱流速度変動の比率として定義され、解析条件に依存しますが、内部流れで 1~5%、外部流れで 0.1~1% などがしばしば用いられます。

但し、このように求めた値も推測値でしかなく、厳密さを期す場合は k および ε の流入境界値に対する依存性が小さいことを確認する必要があります。

現在実装されている 2 つの低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルでは、壁面境界条件はいずれも $k = 0$ および $\varepsilon = 0$ によって与えられます⁵。

⁵より正確には、いずれも定義上 0 以上の値を取る物理量であり、かつ数値計算上は 0 が許容されないため、無視できる程度に小さい値を与えています。

12.2 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BS'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際にユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

ここでは、レイノルズ数 5500 のバックステップ流れを Launder-Sharma による低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルで解きます。ここでレイノルズ数は、流入側の一様流速 U_0 とバックステップの高さ H を基準としています。

計算領域は、 x 、 y 、 z 方向にそれぞれ $[0, 20D] \times [0, 3D] \times [0, 0.1D]$ です。ここで、 x は流れ方向、 y は高さ方向、 z はスパン方向です。

図 12.2 に $x - y$ 平面での計算格子を示します。スパン方向は等間隔に 10 要素をとり、 $\Delta z = 0.01D$ となります。総要素数は約 330,000 です。 $x - y$ 平面状でのメッシュは、拡大図に示す通り、各壁面とその延長線上で間隔を狭めています。壁面近傍の第一格子点は壁面から $5 \times 10^{-3}D$ の位置にあり、 y^+ の予測値は 2 以下となります。

図 13.3 に境界条件を示します。乱れなしの一様な速度を入口境界で与えます。出口境界では FREE 境界とし、壁境界ではノースリップの速度条件(速度が固定でゼロ)が指定されています。

k 、 ε には、乱れ度 5% を仮定して推測した値として、初期値 $k = 3.75 \times 10^{-3}$ [m^2/s^2] 及び $\varepsilon = 3.77 \times 10^{-5}$ [m^2/s^3] としています。

z 方向の境界面は周期境界条件としています。周期境界条件の設定の際にはいくつか手順が必要ですが、ここでは予め用意しているため、説明は省略します。

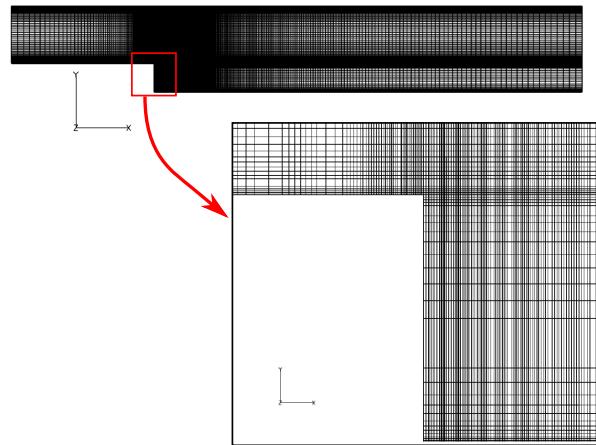


Figure 12.2: Computational mesh for backstep flow at $Re = 5500$

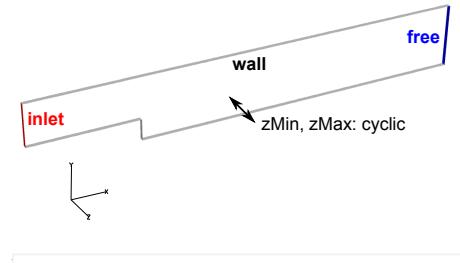


Figure 12.3: Boundary conditions for backstep flow at $Re = 5500$

12.3 解析条件ファイルの設定

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BS/EXE/EXE.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

図 12.4 に解析条件ファイル'PARMLES3X' のサンプルを示します。図 12.4 と同内容のファイルが、本システム内に格納されています。本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。

以下に補足説明を示します。

- 解析条件ファイルにおいて ITRANS が 3 の場合に、SIMPLEC 法を用いた定常解析機能が有効になります。
- Launder-Sharma による低レイノルズ数型 $k - \varepsilon$ モデルを使用する場合、IRANS は 12 とします。
- RANS 解析の場合、出口境界で逆流が生じてしまうと、流入してくる k および ε の値が不定となってしまうために解析が非常に不安定となります。これを回避するため、初めに VISCM=0.01 の層流解析を行い、十分安定した時点での流れ場を読み込んだ後 (ISTART=1)、乱流場のみ初期化して (#SETTURB オプション付加) RANS 解析を開始する方法が有効な場合があります。今回のチュートリアルでは、既に途中まで RANS 解析を行った結果を作成済みですので、乱流場のデータも読み込んで (#SETTURB オプション無し) 続きの RANS 解析のみを実行します。
- オプション指定部分のキーワード "#PRS_ELM" は圧力を要素で定義して計算しています。圧力の定義方法に関しては 4.1.2 節を参照ください。
- オプション指定部分のキーワード "#RELAX_*"、"#EPSIL_*"、"#EPSRE_*" はそれぞれ各変数の緩和係数、マトリックスソルバーの絶対残差収束判定値および相対残差収束判定値です。詳細は 5.1.2 節を参照ください。本テスト計算では、各種緩和パラメータに対して、安定して計算を実行できる値を選択しています。また、マトリックスソルバー収束判定は若干緩い条件で行っています。
- オプション指定部分のキーワード "#INLT__K"、"#INLT_EP" で、 k および ε の流入境界における値を指定しています。また、キーワード "#SETTURB" により、 k および ε に対して初期値として、流入境界と同じ値がセットされます。今回は k 及び ε についても初期値として読み込みますので、キーワード "#SETTURB" を無効にしています。
- 本バージョンの les3x より有次元パラメータを入力する仕様となっていますが、長さ、速度、温度の特長スケールである D000、U000、T000 に 1.0 を

指定することによりこれまで通り無次元量を扱うことも可能です。本節の計算は無次元量を扱っています。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    3      12      4      1      0.00
#GIVE D000 U000 T000 TOUT
    1.0      1.0      1.0      1.0
#GIVE IHEAT ICAV ISOLID IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOF RHOS
    1.818e-4 0.0 1.0 1.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.0E-0 1.0E-0 1.0 1.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0      20      1.0E+0 500 2
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    50     100      1.0E-6 1.0E-6 1.0E-20
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0      0.00      0.00      0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    12
        1      0.1      2.0      0.1
        1      5.0      2.0      0.1
        1      10.0      2.0      0.1
        4      0.1      2.0      0.1
        4      5.0      2.0      0.1
        4      10.0      2.0      0.1
        8      0.1      2.0      0.1
        8      5.0      2.0      0.1
        8      10.0      2.0      0.1
        9      0.1      2.0      0.1
        9      5.0      2.0      0.1
        9      10.0      2.0      0.1
#GIVE MESH FILE NAME
../../../../DATA/data.01/MESH
#GIVE B.C. FILE NAME
../../../../DATA/data.01/BOUN.C
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
../../../../DATA/data.01/FLOW
#GIVE FINAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
    ||
    [中略] (ダミーのファイル名指定部分)
    ||
#END OF INPUT DAT

#OPTIONS
#PRS_ELM
#SZ_BOUN 100000 100000 8
#SZ_CNCNT 100 100
#MONITOR
#RELAX_P 0.3
#RELAX_V 0.7
#RELAX_K 0.7
#RELAX_E 0.7
#EPSIL_K 1.0E-8
#EPSIL_E 1.0E-8
#EPSRE_V 1.0E-5
#EPSRE_P 1.0E-5
#EPSRE_K 1.0E-5
#EPSRE_E 1.0E-5
#INLT_K 0.00375
#INLT_EP 3.77E-5
#OPTIONE

```

Figure 12.4: A parameter file for the solver 'les3x' with LS low-Re k-epsilon model

12.4 計算実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/BS/EXE/EXE.01/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3x'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3x'を入力します。

%les3x

RANS 解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は 'PARMLES3X'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）

RANS 解析を行う場合であっても、追加の境界データを指定する必要はありません。リスタート計算の場合には、流れ場データファイルが必要となります。十分収束するまでにはかなり長い期間の解析が必要となりますので、ここでは既に発達した計算結果を用意し、リスタート計算を行います。この場合、 k と ε を初期化しないために、オプション#SETTURB は無効にする必要があります。

上記のファイルをすべて用意した後、コマンド'les3x'で計算を開始できます。

並列計算に関しては 8 章を参照ください。付属のデータには 4 並列計算用に分割したデータが含まれています。読み込み先を以下のように変更することで、4 並列での計算を行うことができます。

```
#GIVE MESH      FILE NAME  
./.../.../DATA/data.01/DDD.04/MESH  
#GIVE B.C.      FILE NAME  
./.../.../DATA/data.01/DDD.04/BOUN.C  
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME  
./.../.../DATA/data.01/DDD.04/FLOW
```

12.5 計算結果

バックステップ流れを RANS で計算した結果の可視化例を示します。図 12.5,12.6,12.7 は、それぞれ流れ方向速度 U 、圧力 P 、乱流エネルギー場 k の分布です。

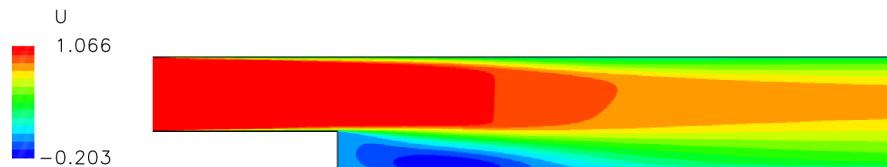


Figure 12.5: Normalized x -direction velocity field of backstep flow.

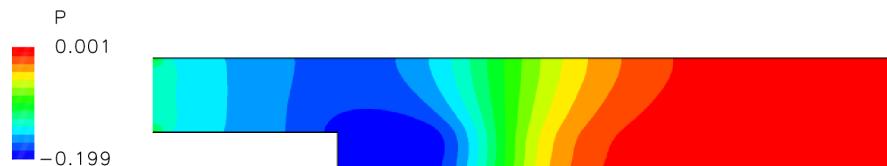


Figure 12.6: Normalized Pressure field of backstep flow.

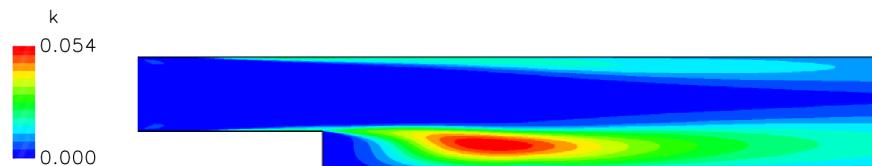


Figure 12.7: Normalized k field of backstep flow.

Chapter 13

DES 解析機能

六面体流体解析ソルバー les3c では、Spalart-Allmaras(SA) モデル [2] に基づいた DES(Detached-eddy simulation)[1] 機能が実装されています。DES-SA モデルは、RANS-SA モデルの destruction 項を修正したものです。これにより、壁近傍で乱流場を計算するのに RANS-SA モデルを使い、壁から離れた領域では渦の挙動を精度よく計算するために LES モデルを適用することができます。DES-SA モデルを使うことで、比較的粗い計算格子であっても乱流境界層の時間平均的な特性を捉えることが可能となります。

本章では、チュートリアルデータとして円柱回りの流れ解析 13.1 のデータを用いて、DES 解析機能の使用方法を説明します。

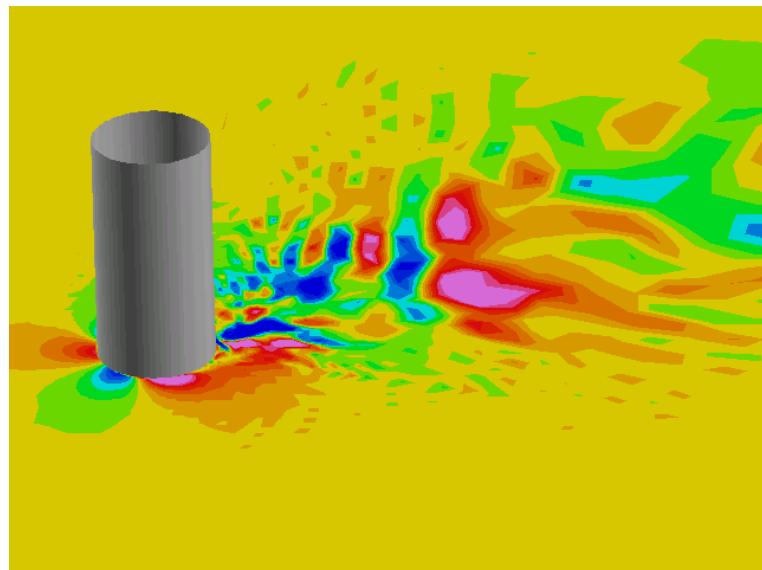


Figure 13.1: Flow around a Cylinder

13.1 機能概要

壁に囲まれた乱流場を LES で解析する場合に大きな問題となるのが、計算コストです。レイノルズ数が非常に大きい流れでは、壁近傍で微小な渦がエネルギー伝達にとって重要な役割を果たすため、LES では計算格子を細かくすることによって渦を解像することが必要です。Spalart et al.[1] によると、レイノルズ数 10^7 の翼周り流れにおける最小スケールの渦を解像するためには、少なくとも 10^{11} の格子点が必要となります。したがって、レイノルズ数が $10^7 \sim 10^8$ 程度の工学的な応用問題に LES 手法を適用するのは、計算コストの点から非常に難しくなります。

流体解析プログラム les3c では、高レイノルズ数の壁周りの流れ場の計算に DES-SA モデルを使用することができます。SA モデルでは、渦粘性係数と関係する変数の輸送方程式を解いています。DES の計算では、壁近傍領域で destruction 項の長さスケールとして壁までの距離 d が使われ、壁から離れた領域ではローカルなグリッド長 Δ に比例する長さスケールが代わりに使われます。ですので、1 方程式 SGS モデルが壁から離れた領域では適用されています。高レイノルズ数の計算では、LES に比べて DES での計算コストはかなり小さくすることができます。

流体解析ソルバー les3c では、DES-SA モデルの輸送方程式を解くのに陽解法と陰解法をサポートします。DES を使用する際は、陰解法を選択することを推奨します。RANS 領域では渦粘性係数が大きくなる可能性があるためです。

本システムにおける DES 手法の扱いには次の点を考慮してあります。まず、SA モデルの source 項ですが、Spalart and Allmaras [3] が提唱している手法を採用しています。その手法では、source 項の一部が計算を安定化させる目的で陰的に扱われています。もう一つは、最近傍の壁までの距離の計算についてです。距離を求めるのにポアソン方程式を解く、Tucker[4] の方法を使っています。

DES で輸送方程式を解くための追加コストは、全計算コストの約 15% 以下です。つまり、DES 解析の追加コストはそれほど大きくはありません。

13.2 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/HEX/CYLINDER'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際にユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

レイノルズ数 1×10^4 の円柱周りの流れを DES-SA モデルで解きます。ここでレイノルズ数は、一様流速 U_0 と円柱の直径 D を基準としています。計算領域は、 x 、 y 、 z 方向にそれぞれ $[-11D, 19D] \times [-11D, 11D] \times [0, 4D]$ です。ここで、 x は流れ方向、 y は側面方向、 z はスパン方向です。座標原点は、スパン方向端の円柱面の円中心にあります。図 13.2 に $x - y$ 平面での計算格子を示します。スパン方向は、等間隔に 20 要素をとっています。つまり、 $\Delta z = 0.2D$ です。総要素数は約 130,000 の計算格子です。図 13.3 に境界条件を示します。乱れなしの一様な速度を入口境界で与えます。出口境界ではトラクションがゼロ、壁境界ではノースリップの速度条件が指定されています。渦粘性は、入口境界と壁表面でゼロと設定されます。

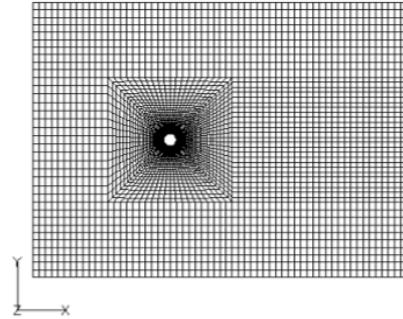


Figure 13.2: Computational mesh for flow around a circular cylinder at $Re = 1 \times 10^4$

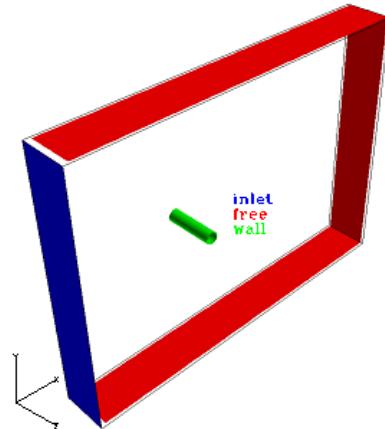


Figure 13.3: Boundary conditions for flow around a circular cylinder at $Re = 1 \times 10^4$

13.3 解析条件ファイルの設定

解析条件ファイルにおいて変数 IMODEL が 3 に設定された場合に、DES 解析機能が有効になり、渦粘性係数を計算するのに DES-SA モデルが使われます。円柱周り流れを計算するための解析条件ファイルの設定例を図 13.4 に示します。

本バージョン (Ver.5.0) より更新された GF データファイルフォーマットでは、速度成分、圧力、その他のスカラー量（もしあれば）を含む流れ場のデータは一つの GF ファイルに納められています。そのため、渦粘性の分布を記録するために新たなファイル名を指定する必要はありません。

LES 解析で得られた流れ場を初期条件として DES 解析を行う場合には、キーワード '#VT_INIT' を指定して渦粘性を再初期化することを推奨します（オプション機能の詳細は 21.2.5 節を参照ください）。この機能のためには、追加のパラメータは必要ありません。この機能が有効になると、局所平衡の仮定に基づいてソルバーが渦粘性をリセットします。DES 解析で得られた流れ場を初期条件として DES 解析を行う場合には、このオプションは必要ありません。

ユーザは RANS-SA モデルを使うことができます。RANS-SA モデルを使用するには、キーワード '#MOD_DES' で指定するオプション機能を有効にします（オプション機能の詳細は 21.2.5 節を参照ください）。さらにフラグ 'IDES' を 1 に設定してください。'IDES' のデフォルトは 0 となっています。そのため 'IMODEL' が 3 の場合には、デフォルトで DES-SA モデルが有効になっています。

```
#GIVE COMGEN
BENCHMARK ON CYLINDER FLOW FOR LES3D AND LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
 3      12      4      2      0      0
#GIVE FSMACH SIGMA CGAS CLQD
 0.1     1.0   1000.0   1.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
 1.0E-4   0.15   5.0E-3   0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NMAXT
 1.0E-6    50   1.0E-6    10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
 10000     0    10.0     1.0     0.0     0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
 0       0    0.0     0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
 6
 7     -1.0     0.0     2.0
 7     -2.0     0.0     2.0
 7     -3.0     0.0     2.0
 7      1.0     0.0     2.0
 7      2.0     0.0     2.0
 7      3.0     0.0     2.0
#GIVE MESH DATA FILE
MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#GIVE AVERAGE DATA FILE
AVE
#GIVE RMS DATA FILE
RMS
#GIVE STRESS DATA FILE
STR
#END OF INPUT DATA
```

Figure 13.4: A parameter file for the solver 'les3c' with DES function opened

13.4 計算実行

DES 解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は 'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）

DES 解析を行う場合であっても、追加の境界データを指定する必要はありません。リスタート計算の場合には、流れ場データファイルが必要となります。ソルバーは、流れ場データから渦粘性を読み込みます。流れ場データファイルが古い（Ver.4.2 以前で作成されたファイル）渦粘性が格納されていませんので、ソルバーが読み込むことができないので、渦粘性は 0 がセットされます。

上記のファイルをすべて用意した後、コマンド'les3c'で計算が開始されます。応用計算を行う場合に、オーバーセット機能や並列計算機能を利用することができます。オーバーセット計算に関しては 7 章、並列計算に関しては 8 章を参照ください。

13.5 計算結果

円柱周りの流れを DES で計算した結果を示します。図 13.5 は、DES-SA で計算された瞬時の流れ方向速度、静圧、渦粘性の分布です。図 13.7 は、図 13.6 に示すサンプリング線に沿った流れ方向速度の時間平均 (a) と RMS 変動 (b) を表しています。

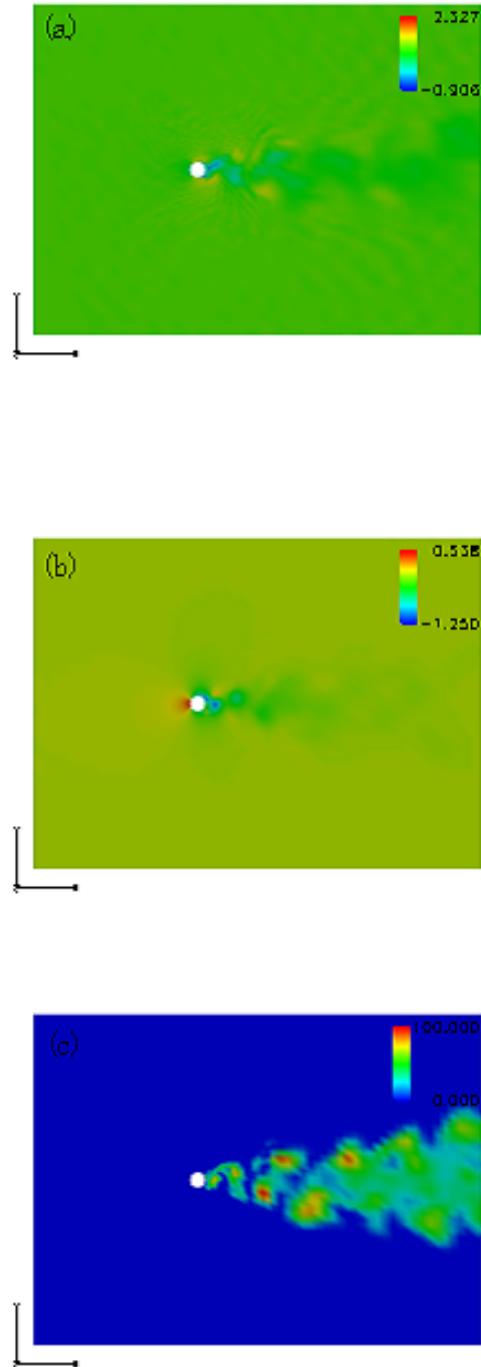


Figure 13.5: Instantaneous flow field at non-dimensional time 510 (Top: streamwise velocity, center: static pressure, bottom: turbulent viscosity normalized by molecular viscosity)



Figure 13.6: Position of a sampling line

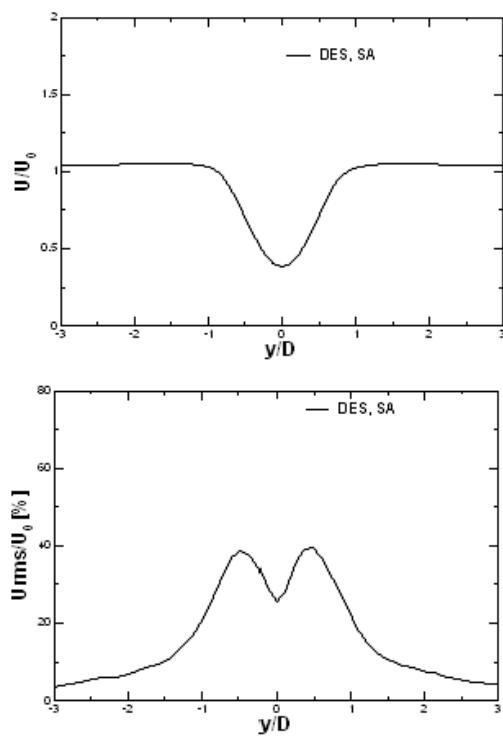


Figure 13.7: Distribution of time-averaged streamwise velocity and r.m.s. of streamwise velocity at the sampling line

Chapter 14

ボクセルメッシュ計算

本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x により、図 14.1 に示すようなボクセルメッシュを用いた計算機能をサポートします。本機能を用いることにより必要な領域に効率的にメッシュを配置することが可能になります。

本節では、ボクセルメッシュを含む計算例として、図 14.1 に示すキャビティ流れ計算の計算方法を説明します。

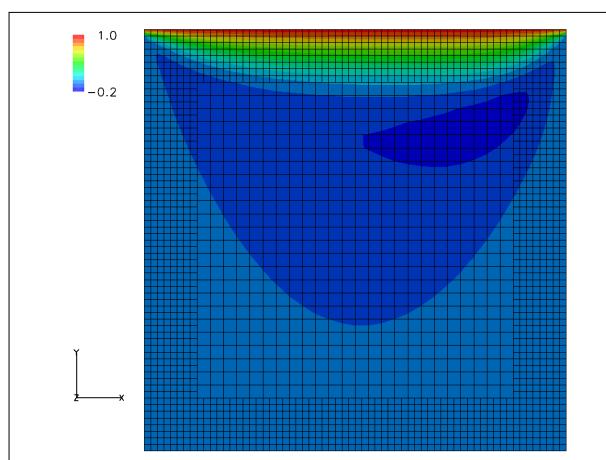


Figure 14.1: ボクセルメッシュを用いた計算例

14.1 機能概要

解像度不連続を含むメッシュでは、図 14.2 における節点 4 のように、辺（もしくは面）の中間に配置される節点が存在します。本システムではこのような節点を中間節点と称します。

中間節点を含む計算では、中間節点およびそれを含む要素の接続情報を流れソルバーに入力する必要があります。図 14.2 の四角形要素を例に説明すると、中間節点”4”は、要素 2、3 のノードテーブルに登録されていますが、要素 1 のノードテーブルには登録されませので、節点 4 と要素 1 の接続情報が、ノードテーブルとは別に必要になります。

本システムでは、中間節点を含むメッシュ情報から中間節点に関する接続情報を作成し、中間節点ファイルとして出力する機能をサポートします（14.3 節参照）。ボクセルメッシュを用いた計算では、中間節点ファイルを用意する必要がありますが、その他の処理方法は通常の計算と共通となります。

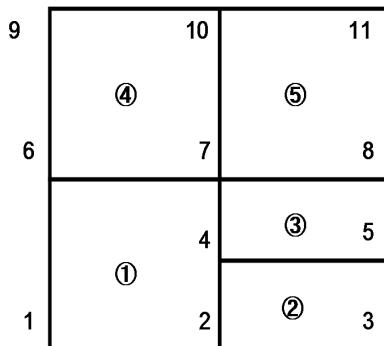


Figure 14.2: 中間節点を含む四角形要素の例（図中丸付き数字は要素番号、丸なし数字が節点番号）

なお、流れソルバー les3x で扱う中間節点は辺や面の中央に配置される必要はなく、要素境界の任意の位置に中間節点を配置できるよう実装されております。したがって、8 分木構造のボクセルメッシュだけでなく、壁面付近のみ局所細分化されたメッシュにも適用可能です。また、境界面において、節点が一致したメッシュ同士が接する場合に必要になるスライディングメッシュにも適用できます。本機能に関しては、今後、局所細分メッシュやスライディングメッシュへの応用機能を実装するとともに、これらのメッシュを作成するための周辺プログラムを整備する予定です。

14.2 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/VOXCAV'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際にユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

本節では、図 14.3 に示すような一辺 1 の立方体であり、Y が最大値をとる平面で X 方向の一様な流速が与えられそのほかの境界は壁面となります。本計算では、計算領域内部に粗いメッシュを設置する。図 14.4 に中央断面におけるメッシュを示します。

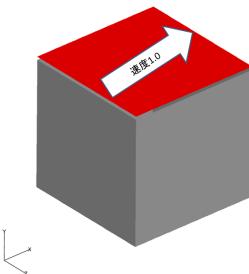


Figure 14.3: 計算モデル

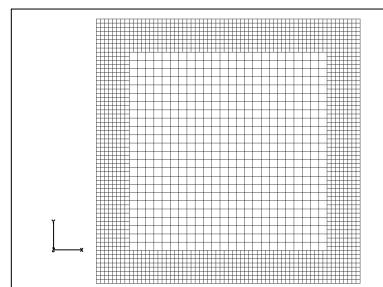


Figure 14.4: 中央断面における計算格子

14.3 中間節点ファイルの作成

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/VOXCAV/DATA/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

14.1 節にて述べた通りボクセルメッシュを用いた計算では、中間節点に関する接続情報を格納した中間節点ファイルを作成する必要があります。中間節点ファイルは周辺プログラム'setmid'を用いて作成することができます。周辺プログラム'setmid'は、GF メッシュファイルおよび GF 境界ファイル¹を入力し、GF 中間節点ファイルを出力します。具体的な処理方法は以下の通りです。

setmid.pl MESH BOUN MID

上記の処理により GF 中間節点ファイル'MID'が作成されます。

¹ 中間節点の情報は基本的にはメッシュファイル中のノードテーブルを参照して作成しますが、領域境界に中間節点が存在する場合に対応するため境界条件ファイルの入力が必要になります。

14.4 解析条件ファイルの設定

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/VOXCAV/EXE/EXE.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

図 14.5 にキャビティ流れ解析用の解析条件ファイル'PARMLES3X' のサンプルを示します。図 14.5 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/MULTI/VOXCAV/EXE/EXE.01'

本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。以下に補足説明を示します。

- ボクセルメッシュ機能を利用する場合は解析条件ファイル中のパラメータ ISET を 1 に設定する必要があります。
- ボクセルメッシュを用いる場合は、中間節点の接続情報が記述された中間節点ファイルを準備する必要があります。²。上記パラメータ”ISET”に 1 がセットされている場合、中間節点ファイルを入力します。
- 本バージョンの les3x より有次元パラメータを入力する仕様となっていますが、長さ、速度、温度の特長スケールである D000、U000、T000 に 1.0 を指定することによりこれまで通り無次元両を扱うことも可能です。本節の計算は無次元量を扱っております。

²本バージョンでは、中間節点ファイルを作成する周辺プログラムが整備されておりません。今後、ボクセルメッシュ関連の周辺プログラムを整備する予定です。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      4      1      0.02
#GIVE DOOOF UOOOF T000 TOUT
    1.0    1.0    1.0    1.0E-8
#GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    0      0      0      0 0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      1      0      0.1
#GIVE VISCM SIGMA RHOF RHOS
    1.0E-2 0.0    1.2    10.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.0E-2 1.0E-1 1.0    10.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0      50     0.01   100    1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    30    500    1.0E-4 1.0E-4 1.0E-8
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0    0.00   0.00   0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    6
        1      0.49    0.85    0.5
        2      0.49    0.85    0.5
        4      0.49    0.85    0.5
        1      0.51    0.85    0.5
        2      0.51    0.85    0.5
        4      0.51    0.85    0.5
#GIVE MESH FILA NAME
../../DATA/MESH
#GIVE B.C. FILE NAME
../../DATA/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
DUMMY
#GIVE MID-NODE FILE NAME
../../DATA/MID
#GIVE OVERSET FILE NAME
DUMMY
#GIVE AVERAGE FILE NAME
AVE
#GIVE RMS FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#SZ_CNST 50 40
#MONITOR
x#STOPNOW
#OPTIONE

```

Figure 14.5: A parameter file for the solver 'les3c' with voxel function

14.5 計算実行

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/VOXCAV/FANMODEL/EXE/EXE.01/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3x'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した、解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3x'を入力します。

%les3x

ボクセルメッシュ計算で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLESX'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）
- GF 中間接点データファイル（サンプルデータのファイル名は'MID'）

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x'は図 14.6 に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3x'は以下のメッセージとともに終了します。流れソルバー'les3x'はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル（瞬時）及び GF 履歴データファイルを出力します。

```

LES3X:VER. 20.05 :2011.05.25
** RUNNING IN SERIAL MODE

|||
(途中省略)
|||


** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

** SEARCHING WALL ADJACENT ELEMENTS **
CHECKING ERR FLAG: 0:OK, NOT-0:FAIL
 0
DONE!
WALL-ADJACENT ELEMENTS:      23816

** SEARCHING WALL ADJACENT NODES **
DONE!
WALL-ADJACENT NODES:        23066

** CALCULATING INITIAL ELEMENT VALUES **

STEP      1 N= 269 TIME= 1.00000E-02 MAXD= 4.56325E+00 RESP= 9.99127E-05
          NU =           5 NV =           0 NW =           0
          RESU= 3.51348E-03 RESV= 0.00000E+00 RESW= 0.00000E+00
          HST1=-8.60508E-03 HST2= 1.19121E-04 HST3=-1.03504E-02
          HST4=-8.60508E-03 HST5=-1.19104E-04 HST6= 1.03491E-02

|||
(途中省略)
|||


STEP      50 N=   9 TIME= 5.00000E-01 MAXD= 8.80294E+00 RESP= 9.63007E-05
          NU =          10 NV =           7 NW =          10
          RESU= 1.89755E-02 RESV= 1.89922E-02 RESW= 4.77664E-04
          HST1=-1.57733E-02 HST2= 1.87216E-02 HST3=-2.87186E-02
          HST4=-1.42315E-02 HST5= 1.52600E-02 HST6=-2.43872E-02

** TIME MARCH LOOP ENDED **

|||
(途中省略)
|||


** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 14.6: les3x log output

14.6 計算結果

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/VOXCAV/EXE/EXE.01/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3x'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW³ 用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gffv3.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV

また、周辺プログラム'gfvtkx'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを VTK に変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gfvtkx.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gfvtkx.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW VTK-FILE

本ケースの場合、以下のコマンドを実行することにより FIELDVIEW 用ファイル(res.uns)、VTK ファイル(res.vtk)を作成することができます。図 14.7 に本ケースの可視化結果例を示します。

```
ln -s ../../DATA/data1/MESH ./MESH  
ln -s ../../DATA/data1/BOUN ./BOUN  
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
gfvtkx.pl MESH BOUN FLOW res.vtk  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

³FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

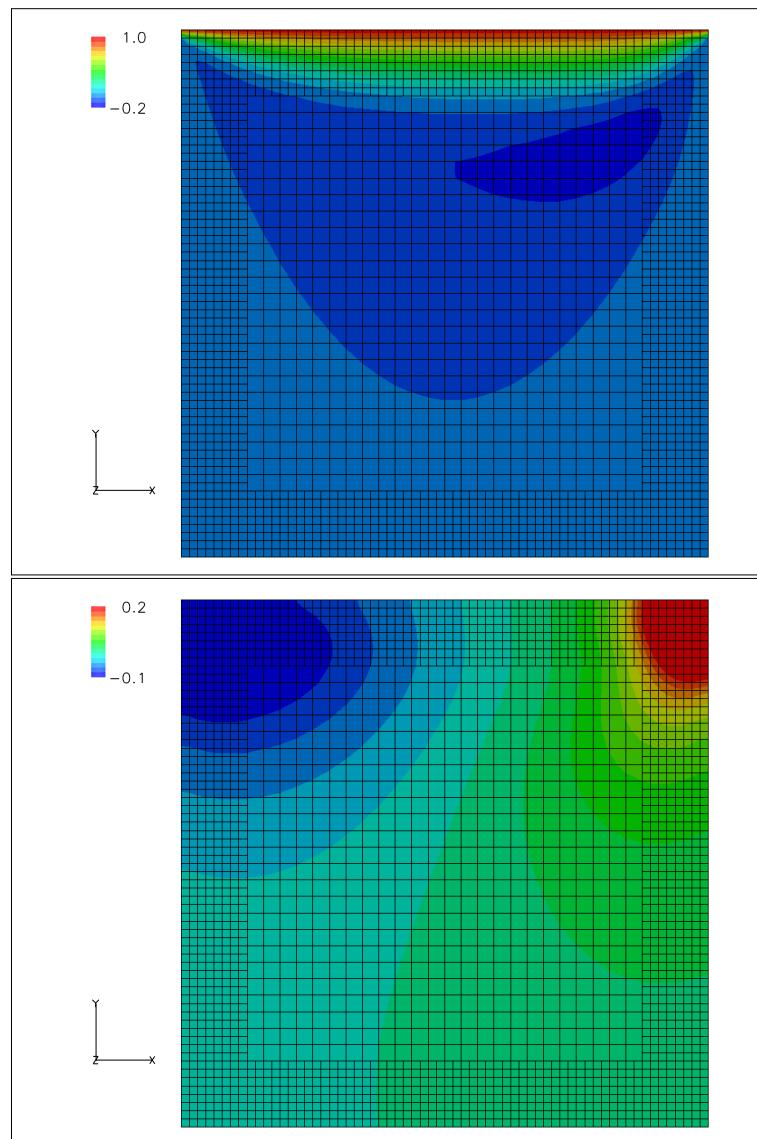


Figure 14.7: ボクセルメッシュによるキャビティ計算の可視化結果

Chapter 15

ファンモデル・ポーラスモデル

本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x により、ファンモデルおよびポーラスモデルをサポートします。これらのモデルではユーザが指定した領域に対して、領域を流れる流体の平均速度の関数として体積力を付加することにより、ファンによる昇圧やポーラスマディアによる減圧をモデル化します。これらのモデルはファンやポーラスマディア等を含む装置全体の流れを計算する際に有効です。このような計算では、装置に流入する流量があらかじめ分からないので、FFB の流れソルバー (les3x) では装置内のファンによる昇圧とポーラスおよびその他流路の圧力損失がバランスする流量を自動計算する機能（流量調節機能）を有しています。具体的には、解析領域の入口、出口の圧力をモニターし、これらがバランスするよう、流量を変更します。本節では、ファンモデル、ポーラスモデルおよび流量調節機能に関するテスト計算を行います。

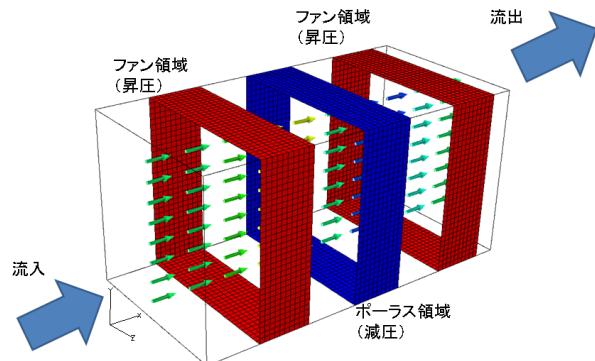


Figure 15.1: ファンモデル・ポーラスモデルテスト計算の計算モデル概要

15.1 機能概要

15.1.1 ファンモデル・ポーラスモデル

FFB システムでは、ファンモデルおよびポーラスモデルが設定される領域を流体力オブジェクトと称します。流れソルバーでは、ファンによる昇圧もポーラスによる減圧も、流体力オブジェクト内に作用する流体力に一般化されて取り扱われます。流れソルバーが流体力オブジェクトを取り扱う場合に必要な情報は、流体力オブジェクトの位置情報とその昇圧・減圧特性です。これらはそれぞれ境界条件ファイルおよび解析条件ファイルにて指定します。

位置情報

流体力オブジェクトの位置情報は境界条件ファイルに記述されます。表 15.1 に GF 境界条件ファイル中のキーワードとその内容についてまとめます。流体力オブジェクトデータは境界条件ファイルに格納されます。現状では流体力オブジェクトデータを作成する周辺プログラムが整備されていませんが、今後、ファン・ポーラスモデル関連のデータを作成し、境界条件ファイルに格納する周辺プログラムを整備する予定です。

昇圧・減圧特性

流体力オブジェクトに作用する流体力は平均流束の多項式として表されています。多項式の係数は解析条件ファイルにおいて指定できます。具体的な指定方法は 15.3.1 節を参照ください。

15.1.2 流量調節機能

前述した通り、ファンモデルやポーラスモデルを用いる計算では、あらかじめ装置への流量が決まらない場合が多いため流れソルバー les3x は流量調節機能をサポートします。流量調節機能では、ファンによる昇圧とポーラスによる減圧がバランスする流量を流れソルバーが自動に求めます。具体的には、入口と出口の圧力差をモニターし、出口圧力が小さい場合は流量を減らし¹、出口圧力が大きい場合は流量を増やします²。流量調節機能の制御方法に関しては 15.3.2 節を参照ください。

Table 15.1: GF 境界条件ファイルにおける流体力オブジェクトの位置情報指定

| キーワード | データ内容 |
|----------|--|
| #BC_FORC | (1) 流体力オブジェクトが設定される要素番号 (2) 流体力オブジェクト要素の流体力オブジェクト番号 |
| #BC_FOIN | (1) 流体力オブジェクト入口が設定される節点番号 (2) 流体力オブジェクト入口節点の流体力オブジェクト番号 |

¹この場合、ファンの昇圧が増え、ポーラスによる減圧が減るため出口圧力が大きくなります。

²この場合、ファンの昇圧が減り、ポーラスによる減圧が増えるため出口圧力が小さくなります。

15.2 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/FANMODEL'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールする際にユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

ファンモデル・ポーラスモデルの機能テストを行うための計算モデルとしてX方向に長い直方体領域をとります。計算領域はXが0~6.4、YおよびZは0~3.2とします。X=0を流入境界、X=6.4を流出境界とし、直方体の側面(Y=Z=0、Y=Z=3.2)を壁面とします。図15.1に計算モデル概要を示します。ここでは、Xが1.0~2.0の領域および5.0~6.0の領域に圧力が上昇するファン領域(図中の赤い壁面で囲まれた領域)を設置し、Xが3.0~4.0の領域(図中の青い壁面で囲まれた領域)に圧力が減少するポーラス領域を設置します。

15.3 解析条件ファイルの設定

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/FANMODEL/EXE/EXE.01'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

図 15.2 に解析条件ファイル'PARMLES3X' のサンプルを示します。図 15.2 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

'LES3DHOME/data/MULTI/FANMODEL/EXE/EXE.01'

本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。以下に補足説明を示します。

- 解析条件ファイルにおいて、ファンの流量特性（流量と圧力の関係）およびポーラスの圧力損失係数を設定することができる。詳細 15.3.1 は節に示す。
- 解析条件ファイルにおいて、流量調節機能の制御をすることができる。詳細は 15.3.2 節に示す。
- 本バージョンの les3x より有次元パラメータを入力する仕様となっていますが、長さ、速度、温度の特長スケールである D000、U000、T000 に 1.0 を指定することによりこれまで通り無次元値を扱うことも可能です。本節の計算は無次元量を扱ってあります。

また、昇圧・減圧特性の指定および流量調節機能の詳細については、それ 15.3.1 節、15.3.2 節に示します。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE D000 U000 T000 TOUT
    1.0    1.0    1.0    1.0E-8
#GIVE IHEAT ICAV ISOLID IBUSNQ
    0      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
    1.0E-3 0.0   1.2   10.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    1.0E-3 1.0E-1 1.0   10.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0      1000  0.05  10     1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    20     200   1.0E-4 1.0E-4 1.0E-3
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0    0.00  0.00  0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    6
        4      0.4    1.6    1.6
        1      0.4    1.6    1.6
        1      0.8    1.6    1.6
        1      1.2    1.6    1.6
        1      1.6    1.6    1.6
        1      2.4    1.6    1.6
#GIVE MESH FILE NAME
../../DATA/MESH
#GIVE B.C. FILE NAME
../../DATA/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
DUMMY
#GIVE MID-NODE FILE NAME
DUMMY
#GIVE OVERSET FILE NAME
DUMMY
#GIVE AVERAGE FILE NAME
AVE
#GIVE RMS FILE NAME
RMS
#GIVE STRESS FILE NAME
STR
#GIVE CURRENT FLOW FILE NAME
FLOWS
#GIVE SURFACE PRS. FILE NAME
SURF
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#SZ_BOUN 100000 20000 8
#SZ_CNST 50 30
#MONITOR
x#STOPNOW
#FFOBJCT 3
    1 1.0 -0.5
    2 0.0  0.0 -1.0
    1 1.0 -0.5
#FR_CONT 020
#RELAX_Q 0.10
#OPTIONE

```

Figure 15.2: A parameter file for the solver 'les3x' with fan model and porous model

15.3.1 流体力オブジェクトについてのパラメータ設定

本計算モデルでは、以下に示す3種類の流体力オブジェクトが設定されています。

1. 流体力オブジェクト1：ファン： $X = 1.0 \sim 2.0$
2. 流体力オブジェクト2：ポーラス： $X = 3.0 \sim 4.0$
3. 流体力オブジェクト3：ファン： $X = 5.0 \sim 6.0$

解析条件ファイルでは、各流体力オブジェクトの昇圧・減圧特性を指定することができます。ここでは、圧力の変化量（各流体力オブジェクト領域の出口圧力-入口圧力）を流体力オブジェクト入口断面の平均速度の多項式として表現します。具体的にはキーワード“#FFOBJCT”を用いて以下のように指定します。

- #FFOBJCT NFFO
- #NDIM_1 (NDIM_1 +1個の係数)
- #NDIM_2 (NDIM_2 +1個の係数)
- (中略)
- NDIM_NFFO (NDIM_NFFO +1個の係数)

ここで”NFFO”がオブジェクト数で、続く”NFFO”行は各オブジェクトの係数です。各行の先頭の#NDIM_*は係数の次数で、その右に#NDIM_* +1個の係数が、0次、1次…#NDIM_*次の順に指定できます。

本ケースの場合、圧力変化 ΔP^* は、平均速度 U^* を用いて以下のように表現されています。

1. 流体力オブジェクト1： $\Delta P^* = 1 - U^*/2$
2. 流体力オブジェクト2： $\Delta P^* = -U^{*2}$
3. 流体力オブジェクト3： $\Delta P^* = 1 - U^*/2$

圧力変化 ΔP^* は昇圧が正として定義されています。したがって、上記(2)のポーラスの圧力変化は負の値をとります。

15.3.2 流量調節機能についてのパラメータ設定

流量調節インターバル

流量調節機能は、解析条件ファイルにキーワード "#FR_CONT" を指定することによりアクティブになります。キーワードの後には正数値とひとつ指定する必要があります。この正数値は流量変更のインターバル数になります。一般に流量（入口速度）を変更すると、流れが数値的に収束するまで時間がかかります。本機能では、流量を毎ステップ変更するのではなく、指定されたインターバル毎に流量調節する仕様になっています。適切なインターバル数は計算規模によって異なりますが、100万以下の比較的法規模な計算なら20程度、数百万以上の計算なら100程度がインターバル数の推奨値です。

流量調節の緩和処理

流量ソルバーは解析領域の入口・出口の圧力をモニターすることにより次の流量を決定しますが、流量の変化量が大きすぎると、数値的な振動が生じる場合があります。これを避けるために、流量の変化を緩和する機能があります。流量の変更は以下の式であらわされます。

$$Q_{NEXT} = Q_{NOW} + \alpha_Q \times \Delta Q$$

ここで、 Q_{NOW} 、 Q_{NEXT} はそれぞれ更新前後の流量、 ΔQ は流れソルバーが計算した流量変化、 α_Q は緩和係数で 0 ~ 1 の値を指定します。緩和係数は解析条件ファイルにおいてキーワード "#ALPHA_Q*" で指定できます。図 15.2 に示すように、緩和係数はキーワード "#ALPHA_Q*" の右側に指定します。緩和係数のデフォルト値は 0 です。推奨値は 0 ですが、流量や全体の圧力差が振動する場合は 0.3 程度まで緩和係数を大きくすることを推奨します。

15.4 計算実行 (les3x)

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/FANMODEL/EXE/EXE.01/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

流体解析ソルバー'les3x'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3x'を入力します。

%les3x

ファンモデル・ポーラスモデルのテスト計算する場合に必要となるファイルを以下に示すとおりです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLESX'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x'は図 15.3 に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3x'は以下のメッセージとともに終了します。流れソルバー'les3x'はデフォルトで計算終了時の GF 流れ場データファイル（瞬時）及び GF 履歴データファイルを出力します。

```

LES3X:VER. 20.05 :2011.05.25
** RUNNING IN SERIAL MODE

|| (途中省略)
||

** PREPARING FFO CAL. **
** SUMMARY OF FLUID FORCE OBJECTS **
ID      VOLUME     SURFACE    LENGTH   X-DIR.    Y-DIR.    Z-DIR.
1       10.2405    10.2400   1.0001    1.00      0.00      0.00
2       10.2405    10.2400   1.0001    1.00      0.00      0.00
3       10.2405    10.2400   1.0001    1.00      0.00      0.00
****

|| (途中省略)
||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

** SEARCHING WALL ADJACENT ELEMENTS **
CHECKING ERR FLAG: 0:OK, NOT-0:FAIL
0
DONE!
WALL-ADJACENT ELEMENTS:      7936

** SEARCHING WALL ADJACENT NODES **
DONE!
WALL-ADJACENT NODES:         7800

** CALCULATING INITIAL ELEMENT VALUES **

STEP      5 N= 70 TIME= 2.50000E-01 MAXD= 8.82090E-01 RESP= 1.77024E-04
          NU =           2 NV =           2 NW =           2
          RESU= 2.17466E-03 RESV= 8.12053E-05 RESW= 8.11956E-05
          HST1=-1.08868E-01 HST2= 1.00145E+00 HST3= 1.00622E+00
          HST4= 1.003339E+00 HST5= 1.00250E+00 HST6= 1.00238E+00
          QIN = 9.000007E+00 QOUT= 9.04635E+00 DP = -1.56910E-01
          IFFO= 1 Q = 9.57972E+00 DP = 5.32240E-01
          IFPO= 2 Q = 9.65700E+00 DP = -8.89375E-01
          IFFO= 3 Q = 9.58007E+00 DP = 5.32223E-01
          QMIN= 0.00000E+00 QNOW= 1.00000E+00 QMAX= 2.00000E+00

|| (途中省略)
||

STEP    200 N= 67 TIME= 1.00000E+01 MAXD= 4.26478E-01 RESP= 5.15640E-05
          NU =           2 NV =           2 NW =           2
          RESU= 2.75024E-03 RESV= 4.01102E-05 RESW= 4.01064E-05
          HST1=-1.62611E-01 HST2= 1.02633E+00 HST3= 1.03160E+00
          HST4= 1.03789E+00 HST5= 1.04503E+00 HST6= 1.06004E+00
          QIN = 9.21641E+00 QOUT= 9.49657E+00 DP = -5.05926E-01
          IFFO= 1 Q = 9.78295E+00 DP = 5.22317E-01
          IFPO= 2 Q = 9.94264E+00 DP = -9.42767E-01
          IFFO= 3 Q = 9.78602E+00 DP = 5.22166E-01
          QMIN= 1.02265E+00 QNOW= 1.02403E+00 QMAX= 1.02517E+00

|| (途中省略)
||

** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 15.3: les3x log output

図 15.3 に示したログのうち、ファン・ポーラスモデルおよび流量調節機能に関する説明を以下に示します。

流体力モジュールに関する情報出力

境界条件に流体力モジュールが含まれているとその領域に関する情報がログに出力されます。具体的には各領域の体積 (VOLUME)、入口面積 (SURFACE)、長さ (LENGTH)、作用する流体力の向き (X,Y,Z-DIR) が出力されます。本ケースの場合、流体力の向きは全て X 方向で、この方向に昇圧、減圧されることを示しています。

| ** SUMMARY OF FLUID FORCE OBJECTS ** | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| ID | VOLUME | SURFACE | LENGTH | X-DIR. | Y-DIR. | Z-DIR. |
| 1 | 10.2405 | 10.2400 | 1.0001 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 10.2405 | 10.2400 | 1.0001 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 10.2405 | 10.2400 | 1.0001 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |

流量、圧力変化等の出力

流れソルバー les3x は計算進行中に計算の状況をログ出力します。デフォルトで出力される情報としては、ステップ数 (STEP)、マトリックスソルバーの反復数 (N、NU、NV、NW)、速度発散の最大値 (MAXD)、マトリックスソルバーの残差 (RES*)、ユーザ指定のサンプリング点における計算結果 (HST*) があります。また、本ケースのように計算領域に入口境界、出口境界が含まれる場合は入口における流量 (QIN)、出口における流量 (QOUT)、出口と入口の圧力差 (DP) を出力します。さらに、流体力オブジェクトが含まれる場合は、各オブジェクトの流量および圧力差を、IFFO で始まる行に出力します。本ケースの場合、IFFO=1,3 がファンであり、圧力差は正（昇圧）となり、IFFO=2 はポーラスであり、圧力差は負（減圧）になっています。最後に、流量調節機能がアクティブの場合、現在の流量 (QNOW) が初めに設定した値との比として出力されます。

```

STEP 200 N= 67 TIME= 1.00000E+01 MAXD= 4.26478E-01 RESP= 5.15640E-05
NU = 2 NV = 2 NW = 2
RESU= 2.75024E-03 RESV= 4.01102E-05 RESW= 4.01064E-05
HST1=-1.62611E-01 HST2= 1.02633E+00 HST3= 1.03160E+00
HST4= 1.03789E+00 HST5= 1.04503E+00 HST6= 1.06004E+00
QIN = 9.21641E+00 QOUT= 9.49657E+00 DP = -5.05926E-01
IFFO= 1 Q = 9.78295E+00 DP = 5.22317E-01
IFFO= 2 Q = 9.94264E+00 DP = -9.42767E-01
IFFO= 3 Q = 9.78602E+00 DP = 5.22166E-01
QMIN= 1.02265E+00 QNOW= 1.02403E+00 QMAX= 1.02517E+00

```

15.5 計算結果

本節で説明する処理は、本システム内の以下に示すディレクトリにて実行されることを想定しています。

'LES3DHOME/data/MULTI/FANMODEL/EXE/EXE.01/'

本節の処理を実行する前には、上記のディレクトリに移動してください。

周辺プログラム'gffv3x'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを FIELDVIEW³用のデータに変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gffv3.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gffv3.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW FV

また、周辺プログラム'gfvtkx'を使用することにより、計算結果である GF 流れ場データファイルを VTK に変換することができます。本プログラムには、起動スクリプト'gfvtkx.pl'が用意されています。起動スクリプトの使用方法は、以下のとおりです。

gfvtkx.pl GF-MESH GF-BOUN GF-FLOW VTK-FILE

本ケースの場合、以下のコマンドを実行することにより FIELDVIEW 用ファイル(res.uns)、VTK ファイル(res.vtk)を作成することができます。図 15.4 に本ケースの可視化結果例を示します。

```
ln -s ../../DATA/data1/MESH ./MESH  
ln -s ../../DATA/data1/BOUN ./BOUN  
gffv3x.pl MESH BOUN FLOW res.uns  
gfvtkx.pl MESH BOUN FLOW res.vtk  
rm -f MESH BOUN FLOW
```

³FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

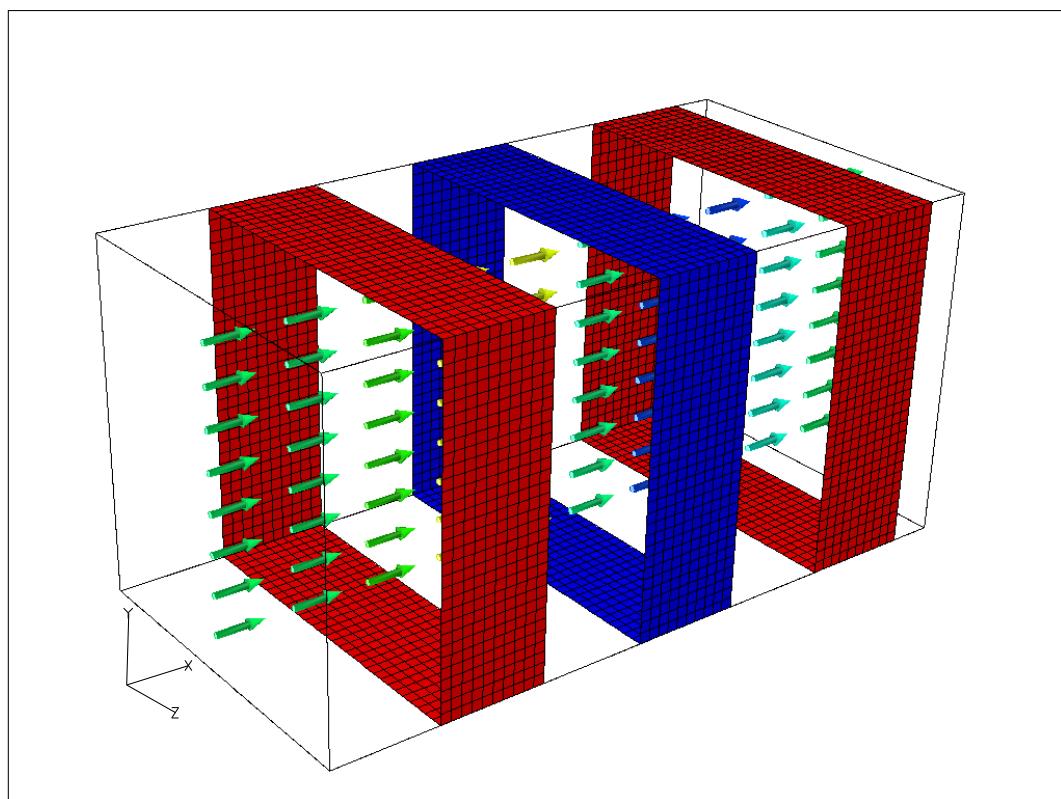


Figure 15.4: ファンモデル・ポーラスモデルの計算結果可視化

Chapter 16

熱輸送解析機能

本バージョン（ver.5.0）より、流体中の熱輸送解析機能をサポートします。温度場はパッシブスカラとして扱うことも可能であるが、浮力項もしくは散逸による内部加熱項を介して、流れ場にフィードバックさせることもできます。なお、本バージョンではふく射解析機能はサポートしていません。

本章では、熱輸送解析機能の計算例として図 16.1 に示すような 2 次元サーマルキャビティ ($R_a = 10^6$) の計算方法を六面体、四面体ソルバーについて、それぞれ 16.1 節、16.2 節において説明します。

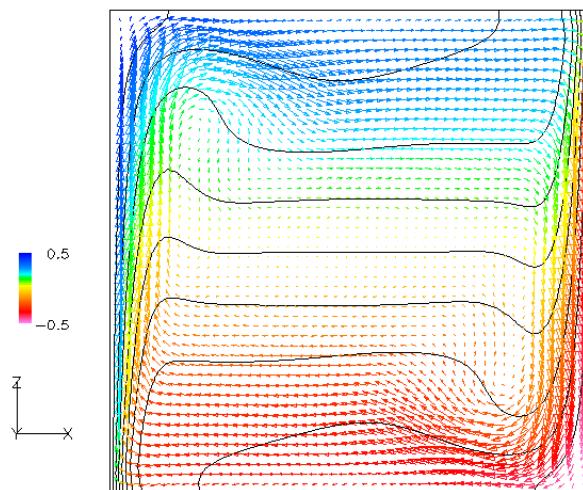


Figure 16.1: Thermal cavity flow

16.1 サーマルキャビティ解析（六面体）

16.1.1 計算概要（六面体）

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/HEX/THERMALCAVI'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

計算領域は、一辺が長さ 1 の立方体です。計算領域を図 16.2 に示します。節点数は 59,049、要素数は 51,201 です。速度場の境界条件としては、 x 方向、 z 方向の境界面それぞれノースリップ条件を指定しています。 y 方向は、周期境界条件となっています。温度場の境界条件は、 $x = 0$ で $T = T_1$ 、 $x = 1$ で $T = T_2$ で温度を固定しています。 $z = 0, 1$ の境界面は断熱条件です。 y 方向は速度と同様、周期境界条件としています。レイリー数は 10^6 で計算を行います。

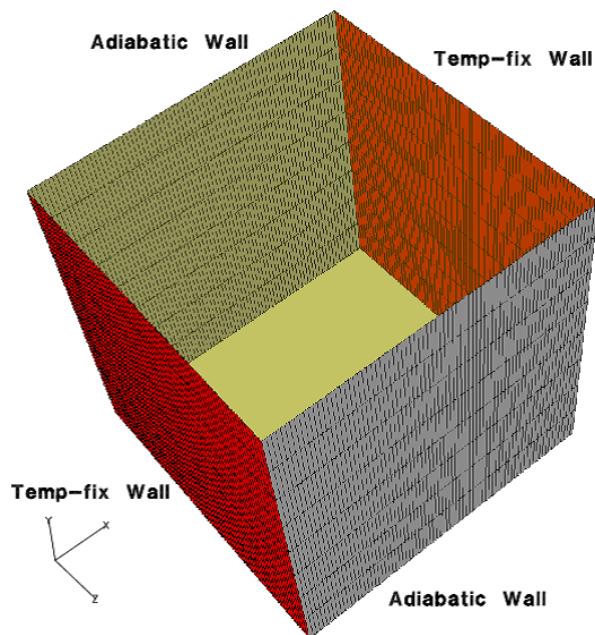


Figure 16.2: Computational mesh for thermal cavity

本計算における物理定数および代表スケールは以下の通りです。

Table 16.1: サーマルキャビティ計算における物理定数および代表スケール

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 温度伝導率 κ | $2.19 \times 10^{-5} [m^2/s]$ |
| 動粘性係数 ν | $1.56 \times 10^{-5} [m^2/s]$ |
| 重力加速度 g | $9.8 [m/s^2]$ |
| 体膨張率 $\beta = 1/T_0$ | 3.33×10^{-3} |
| 温度差 ΔT | $10 [K]$ |
| 長さスケール D | 1.016×10^{-1} |
| 速度スケール $U_0 = R_a^{1/2} \kappa / D$ | 2.19×10^{-1} |

これらによって以下の無次元パラメータが決まります。

Table 16.2: サーマルキャビティ計算における無次元パラメータ

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| プラントル数 $P_r = \nu/\kappa$ | 0.71 |
| ガリレイ数 $G_a = gD^3/\nu^2$ | 4.22×10^7 |
| グラスホフ数 $G_r = G_a \beta \Delta T$ | 1.41×10^6 |
| レイリー数 $R_a = G_r P_r$ | 10^6 |

また、計算の設定で必要となる無次元量は次のものです。

Table 16.3: 入力される無次元量

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 温度 $T^* = (T - T_0)/\Delta T$ | $-0.5 \sim 0.5$ |
| 参照温度 $T_0^* = T_0/\Delta T$ | 30.0 |
| 温度伝導率 $\kappa^* = \kappa/(U_0 D)$ | 1.0×10^{-3} |
| 動粘性係数 $\nu^* = \nu/(U_0 D) = P_r$ | 0.71×10^{-3} |
| 重力加速度 $g^* = gD/U_0^2$ | 20.76 |

16.1.2 解析条件ファイルの設定（六面体）

熱輸送解析のパラメータを解析条件ファイル'PARMLES3C'で指定するためには、まずファイルの1行目に'#FFB_V05'というキーワードを記入します。このキーワードがない場合には、ソルバーは熱輸送解析を行うことを認識しないため、熱輸送解析用のパラメータを読み込む時点でエラー終了します。解析条件ファイル'PARMLES3C'で設定するパラメータの詳細に関しては、4.1.3節を参照ください。

サーマルキャビティ流れ解析用の解析条件ファイルの設定例を図16.3に示します。自由対流の計算ですので、IHEAT=3とします。さらにブシネスク近似で計算しますので、IBUSNQ=1としています。その他の主要な設定パラメータとしては、参照温度をTREF=30.0、温度伝導率をTDIFF= 1.0×10^{-3} 、動粘性係数をVISCM= 0.71×10^{-3} 、重力加速度を($GRVX, GRVY, GRVZ$)=(0.0, 0.0, -20.76)で与えています。

今回のバージョンで更新されたGFデータファイルフォーマットでは、速度成分、圧力、温度(熱輸送解析を行う場合)を含む流れ場のデータは一つのGFファイルに納められています。そのため、温度の分布を記録するために新たなファイル名を指定する必要はありません。

```

#FFB_V05
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPRESS IFORM IOUT NFRAME JSET
0 20 4 0 0 0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
0.001 0.0 0.0 0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
0.71E-3 0.15 1.0E-1 0.0
#GIVE EPS NMAX EPST NMAXT
1.0E-6 200 1.0E-6 50
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
1000 0 1.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QCCLF PCCLF
0 0 0.0 0.0
#GIVE IHEAT ISOLID IBUSNQ
3 0 1
#GIVE RCPF RCPS TDIFF TDIFS
1.0 1.0 1.0E-3 1.0E-3
#GIVE PRT TREF
0.71 3.0E1
#GIVE GRVX GRVY GRVZ
0.0EO 0.0EO -20.76
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
6
3 0.05 0.0 0.50
1 0.50 0.0 0.95
3 0.95 0.0 0.50
6 0.05 0.0 0.50
6 0.50 0.0 0.95
6 0.95 0.0 0.50
#GIVE MESH DATA FILE
../DATA/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../DATA/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA

```

Figure 16.3: A parameter file for the solver 'les3c' with heat transport analysis function opened

16.1.3 計算実行（六面体）

熱輸送解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）

リスタート計算の場合には、流れ場データファイルが必要となります。ソルバーは、流れ場データから温度を読み込みます。流れ場データファイルが古いバージョンであるような場合には、温度が記録されていませんので、ソルバーが読み込むことができません。その場合、温度は 0 と設定されます。

上記のファイルをすべて用意した後、コマンド'les3c'で計算が開始されます。応用計算を行う場合に、オーバーセット機能や並列計算機能を利用することができます。オーバーセット計算に関しては 7 章、並列計算に関しては 8 章を参照ください。

16.1.4 計算結果（六面体）

計算が正常に終了すると、履歴データファイル HISTORY (またはユーザが定義したファイル名) と流れ場データファイル FLOW (またはユーザが定義したファイル名) が出力されます。それらデータファイルから必要な情報を得るためにの処理方法の詳細は、四面体の結果を参照ください。ここでは得られた結果のみを示します。

- FieldView 可視化用ファイルの作成

FieldView フォーマットの可視化用ファイルを作成するときは、プログラム gffv3 を使います。今回の計算結果を FieldView で可視化した結果を紹介します。図 16.4 は、 $x - z$ 断面における流速ベクトルの分布です。

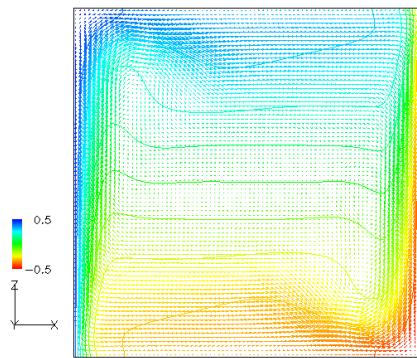


Figure 16.4: Velocity distribution at $x - z$ plane

- HISTORY データから時系列データを作成

次にサンプリング点として指定した座標での温度の時系列データを出力します。'PARMLES3C' で指定したサンプリング点での温度は HISTORY ファイルに記録されています。HISTORY ファイルに記録されているデータを抽出するには、プログラム hscat を使います。図 16.5 に座標 (0.5, 0.0, 0.95) における温度の時間変化を示します。

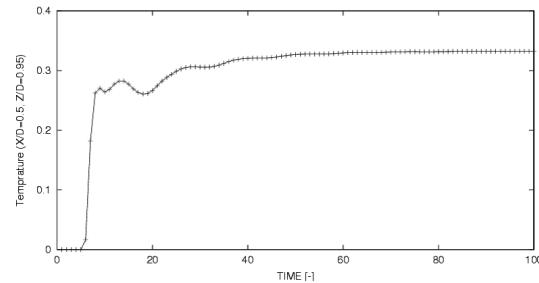


Figure 16.5: History data of temperature at (9.5, 0.00, 0.95)

16.2 サーマルキャビティ解析（四面体）

16.2.1 計算概要（四面体）

計算領域は、一辺が長さ 1 の正方形および厚み 0.2 からなる直方体です。計算領域を図 16.6 に示します。節点数は 80,881、要素数は 450,081 です。速度場の境界条件としては、 x 方向、 z 方向の境界面それぞれでノースリップ条件を指定しています。 y 方向は、周期境界条件となっています。温度場の境界条件は、 $x = 0$ で $T = T_1$ 、 $x = 1$ で $T = T_2$ で温度を固定しています。 $z = 0, 1$ の境界面は断熱条件です。 y 方向は速度と同様、周期境界条件としています。レイリー数は 10^6 で計算を行います。

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/TET/THERMALCAVI'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。

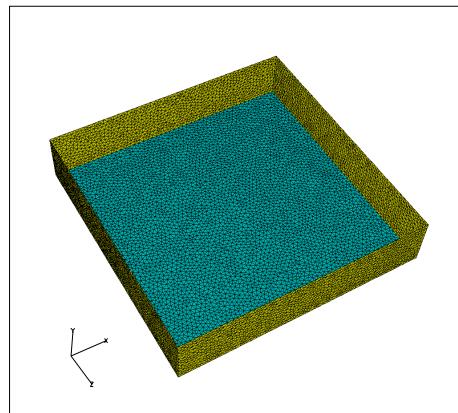


Figure 16.6: Computational mesh for thermal cavity

本計算における物理定数および代表スケールは以下の通りです。

Table 16.4: サーマルキャビティ計算における物理定数および代表スケール

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 温度伝導率 κ | $2.19 \times 10^{-5} [m^2/s]$ |
| 動粘性係数 ν | $1.56 \times 10^{-5} [m^2/s]$ |
| 重力加速度 g | $9.8 [m/s^2]$ |
| 体膨張率 $\beta = 1/T_0$ | 3.33×10^{-3} |
| 温度差 ΔT | $10 [K]$ |
| 長さスケール D | 1.016×10^{-1} |
| 速度スケール $U_0 = R_a^{1/2} \kappa / D$ | 2.19×10^{-1} |

これらによって以下の無次元パラメータが決まります。

Table 16.5: サーマルキャビティ計算における無次元パラメータ

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| プラントル数 $P_r = \nu / \kappa$ | 0.71 |
| ガリレイ数 $G_a = gD^3 / \nu^2$ | 4.22×10^7 |
| グラスホフ数 $G_r = G_a \beta \Delta T$ | 1.41×10^6 |
| レイリー数 $R_a = G_r P_r$ | 10^6 |

また、計算の設定で必要となる無次元量は次のものです。

Table 16.6: 入力される無次元量

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 温度 $T^* = (T - T_0) / \Delta T$ | $-0.5 \sim 0.5$ |
| 参照温度 $T_0^* = T_0 / \Delta T$ | 30.0 |
| 温度伝導率 $\kappa^* = \kappa / (U_0 D)$ | 1.0×10^{-3} |
| 動粘性係数 $\nu^* = \nu / (U_0 D) = P_r$ | 0.71×10^{-3} |
| 重力加速度 $g^* = g D / U_0^2$ | 20.76 |

16.2.2 解析条件ファイルの設定（四面体）

熱輸送解析のパラメータを解析条件ファイル'PARMLES3C'で指定するためには、まずファイルの1行目に'#FFB_V05'というキーワードを記入します。このキーワードがない場合には、ソルバーは熱輸送解析を行うことを認識しないため、熱輸送解析用のパラメータを読み込む時点でエラー終了します。解析条件ファイル'PARMLES3C'で設定するパラメータの詳細に関しては、4.1.3節を参照ください。

サーマルキャビティ流れ解析用の解析条件ファイルの設定例を図16.7に示します。自由対流の計算ですので、IHEAT=3とします。さらにブシネスク近似で計算しますので、IBUSNQ=1としています。その他の主要な設定パラメータとしては、参照温度をTREF=30.0、温度伝導率をTDIFF= 1.0×10^{-3} 、動粘性係数をVISCM= 0.71×10^{-3} 、重力加速度を($GRVX, GRVY, GRVZ$)=(0.0, 0.0, -20.76)で与えています。

今回のバージョンで更新されたGFデータファイルフォーマットでは、速度成分、圧力、温度(熱輸送解析を行う場合)を含む流れ場のデータは一つのGFファイルに納められています。そのため、温度の分布を記録するために新たなファイル名を指定する必要はありません。

```

#FFB_V05
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL    IPRESS    IFORM      IOUT      NFRAME      JSET
    0          20         4           0           0           0
#GIVE FSMACH   FDUMMY    FDUMMY    FDUMMY
    0.001     0.0        0.0        0.0
#GIVE VISCM    C          DT          OMEGA
    0.71E-3   0.15      1.0E-1      0.0
#GIVE EPS       NMAX      EPST      NMAXT
    1.0E-4    200       1.0E-6      50
#GIVE NTIME    ISTART    TFINAL    UFINAL    VFINAL    WFINAL
    1000      0          1.0        0.0        0.0        0.0
#GIVE INTFSV   INTPSV    QCCLF    PCCLF
    0          0          0.0        0.0
#GIVE IHEAT    ISOLID    IBUSNQ
    3          0          1
#GIVE RCPF     RCPS      TDIFF    TDIFS
    1.0        1.0        1.0E-3    1.0E-3
#GIVE PRT      TREF
    0.71      3.0E1
#GIVE GRVX    GRVY      GRVZ
    0.0E0     0.0E0     -20.76
#GIVE NSMPL    / LSMPL    XSMPL    YSMPL    ZSMPL
    6
    3      0.05  0.0  0.50
    1      0.50  0.0  0.95
    3      0.95  0.0  0.50
    6      0.05  0.0  0.50
    6      0.50  0.0  0.95
    6      0.95  0.0  0.50
#GIVE MESH DATA FILE
./././DATA/data/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
./././DATA/data/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA

```

Figure 16.7: A parameter file for the solver 'les3ct' with heat transport analysis function opened

16.2.3 計算実行（四面体）

熱輸送解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）

リスタート計算の場合には、流れ場データファイルが必要となります。ソルバーは、流れ場データから温度を読み込みます。流れ場データファイルが古いバージョンであるような場合には、温度が記録されていませんので、ソルバーが読み込むことができません。その場合、温度は 0 と設定されます。

上記のファイルをすべて用意した後、コマンド'les3ct'で計算が開始されます。応用計算を行う場合に、オーバーセット機能や並列計算機能を利用することができます。オーバーセット計算に関しては 7 章、並列計算に関しては 8 章を参照ください。

16.2.4 計算結果（四面体）

計算が正常に終了すると、履歴データファイル HISTORY (またはユーザが定義したファイル名) と流れ場データファイル FLOW (またはユーザが定義したファイル名) が出力されます。それらデータファイルから必要な情報を得るために処理方法を説明します。

- FieldView 可視化用ファイルの作成

FieldView フォーマットの可視化用ファイルを作成するときは、プログラム gffv3t を使います。gffv3t を起動して、インタラクティブに入力パラメータの指定をするのが基本的な使用法ですが、ここでは Perl スクリプトを使った方法をご紹介します。ディレクトリ 'LES3DHOME/data/TET/THERMALCAVI/POST/FV' (ここで 'LES3DHOME' は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です) にシェルスクリプト go があります。以下に、スクリプトの内容示します。

```
gffv3t.pl ../../DATA/MESH ../../DATA/BOUN ../../EXE/FLOW res.uns
```

ここで、gffv3t.pl がプログラム gffv3t を起動する Perl スクリプト名です。第 1 引数にメッシュデータファイル名をパスを含めて指定します。第 2 引数に境界条件データファイル名をパスを含めて指定します。第 3 引数には同様に流れ場ファイル名を指定します。第 4 引数は FieldView フォーマットの出力ファイル名です。

このシェルスクリプト go を実行すると、res.uns が作成されます。

今回の計算結果を FieldView で可視化した結果をご紹介します。図 16.8 は、 $x - z$ 断面における流速ベクトルの分布です。

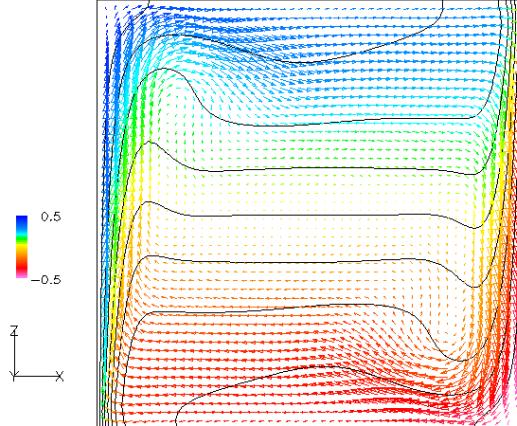


Figure 16.8: Velocity distribution at $x - z$ plane

- HISTORY データから時系列データを作成

次にサンプリング点として指定した座標での温度の時系列データを出力してみます。'PARMLES3C'で指定したサンプリング点での温度は HISTORY ファイルに記録されています。HISTORY ファイルに記録されているデータを抽出するには、プログラム hscat を使います。hscat はコマンドラインから起動して、インタラクティブに必要なパラメータを入力するのが基本的な使用法ですが、ここでは、Perl スクリプトを用いて実行する方法をご紹介します。ディレクトリ'LES3DHOME/data/TET/THERMALCAVI/POST/HISTORY'（ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です）にシェルスクリプト go があります。以下にスクリプトの内容を示します。

```
#!/bin/csh -f  
  
hscat.pl -interval 10 -data 1 13 HISTORY tmp  
tail -100 tmp > hist
```

hscat.pl が Perl スクリプト名です。オプション'-interval'には、データを出力する間隔を指定します。ここでは、10 とっています。履歴データは計算ステップ毎に HISTORY ファイルに記録されていますが、この中から 10 ステップ毎の値を抽出するという意味です。次のオプション'-data'は、出力するデータの番号を意味します。ここでは、1 番目と 13 番目のデータだけを抽出します。1 番目のデータは時刻、13 番目のデータは座標(0.5, 0.0, 0.95)における温度に対応しています（何番目のデータが何に対応しているかは、ソルバーを実行したときに得られるログファイルの最後の部分 "*** WRITING HISTORY DATA ***" 以降で確認することができます）。引数'HISTORY'は履歴データファイル名です。引数'tmp'は、結果を出力するファイル名です。ファイル名は自由に指定することができます。次の行の'tail -100 tmp & hist'は、'tmp' ファイルの最後から 100 行目までを抜き出して、ファイル hist に出力するという操作です。ファイル tmp の余分なヘッダー部分を削除するためのものですが、必要でなければ無視して構いません。得られた hist ファイルはアスキーフォーマットですので、適当なツールでグラフを作ることができます。図 16.9 に結果を示します。

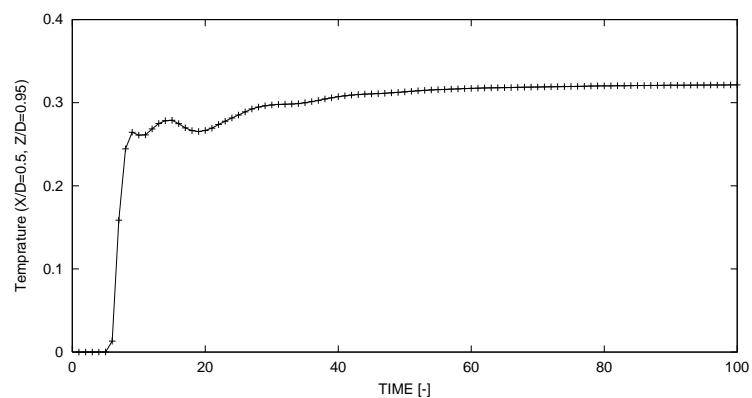


Figure 16.9: History data of temperature at (9.5, 0.00, 0.95)

- 流れ場データから温度をサンプリングする

流れ場データファイルから、空間のいくつかの点における物理量をサンプリングする場合には、プログラム samplt を使用します。samplt はコマンドラインから起動して、インターフェイブに必要なパラメータを入力するのが基本的な使用法ですが、ここでは、シェルスクリプトを用いて実行する方法をご紹介します。ディレクトリ'LES3DHOME/data/TET/THERMALCAVI/POST/SAMPLE'（ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です）にシェルスクリプト go があります。以下に、スクリプトの内容を示します。

```
#!/bin/csh -f

set MESH = ../../DATA/data/MESH
set FLOW = ../../EXE/RES.01/FLOW

samplt<<EOF
${MESH}
${FLOW}
input
res.txt
1
EOF
```

最初に変数 MESH と FLOW に値を与えます。これはそれぞれメッシュデータファイルの場所と流れ場データファイルの場所を示しています。ユーザは自分の環境に合わせて変更してください。起動するプログラム名は、'samplt' です。この'samplt' にヒアドキュメントを使って値を渡しています。'EOF' で囲まれた部分の値が'samplt' へ入力されます。ここでファイル'input' はサンプリング点の座標が記録されています。ファイル名'res.txt' は、以下に'input' ファイルを示します。

最初の番号 41 が、サンプリング点の総数です。以下続けて、各サンプリング点で x 、 y 、 z 座標を記入します。

出力ファイル res.txt には、(1) サンプリング点の x 座標、(2) サンプリング点の y 座標、(3) サンプリング点の z 座標、(4) サンプリング点での速度成分 u 、(5) サンプリング点での速度成分 v 、(6) サンプリング点での速度成分 w 、(7) サンプリング点での圧力、(8) サンプリング点での温度、が 1 行に渡って記述されます。

得られた res.txt ファイルはアスキー形式ですので、適当なツールでグラフを作ることができます。図 16.11 に結果を示します。

```
41
0.500 0.000 0.000
0.500 0.000 0.025
0.500 0.000 0.050
0.500 0.000 0.075
0.500 0.000 0.100
0.500 0.000 0.125
0.500 0.000 0.150
0.500 0.000 0.175
0.500 0.000 0.200
0.500 0.000 0.225
0.500 0.000 0.250
0.500 0.000 0.275
0.500 0.000 0.300
0.500 0.000 0.325
0.500 0.000 0.350
0.500 0.000 0.375
0.500 0.000 0.400
0.500 0.000 0.425
0.500 0.000 0.450
0.500 0.000 0.475
0.500 0.000 0.500
0.500 0.000 0.525
0.500 0.000 0.550
0.500 0.000 0.575
0.500 0.000 0.600
0.500 0.000 0.625
0.500 0.000 0.650
0.500 0.000 0.675
0.500 0.000 0.700
0.500 0.000 0.725
0.500 0.000 0.750
0.500 0.000 0.775
0.500 0.000 0.800
0.500 0.000 0.825
0.500 0.000 0.850
0.500 0.000 0.875
0.500 0.000 0.900
0.500 0.000 0.925
0.500 0.000 0.950
0.500 0.000 0.975
0.500 0.000 1.000
```

Figure 16.10: A shellscript file for samplt

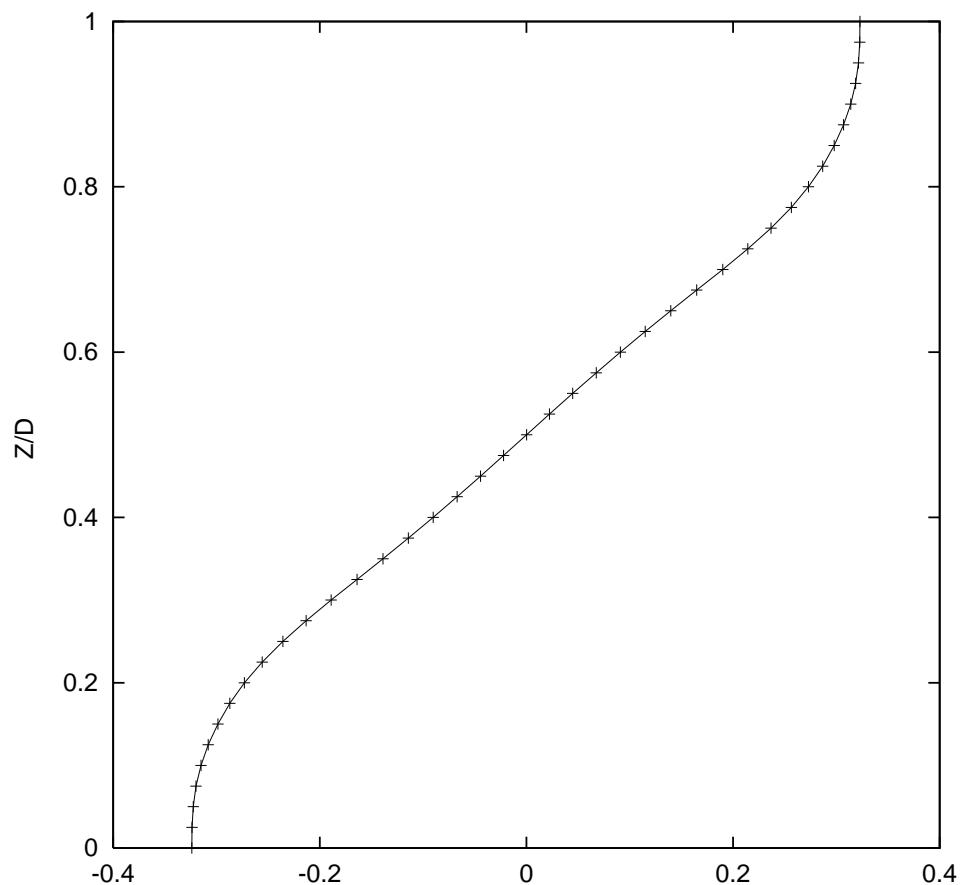


Figure 16.11: Temperature distribution along the sampling points

16.3 サーマルキャビティ解析（マルチ要素ソルバー：有次元パラメータ入力）

16.3.1 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/THERMALCAVI'

ここで'LES3DHOME'は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です(2.1.1 参照)。

本節では、16.1 節、16.2 節と同様にレイリー数 10^6 のサーマルキャビティ流れについて説明します図 16.12 に、本節で使用する計算格子を示します。

流れソルバーとしては les3x を使用します。旧ソルバー les3c、les3ct では規格化された量を入力仕様となっていたため、16.1 節、16.2 節に示すように、ユーザーが規格化されたデータを作成する必要がありました。本バージョン(ver.7.1)より、流れソルバー les3x では有次元量を入力する仕様に変更となったため、以下に示す通り有次元パラメータを直接指定することができます。

計算領域は、一边が長さ $0.1[m]$ の立方体です。計算領域を図 16.12 に示します。節点数は 59,049、要素数は 51,201 です。速度場の境界条件としては、 x 方向、 z 方向の境界面それぞれノースリップ条件を指定しています。 y 方向は、周期境界条件となっています。温度場の境界条件は、 $x = 0[m]$ で $295[K]$ 、 $x = 0.1[m]$ で $305[K]$ で温度を固定しています。 $z = 0, 0.1[m]$ の境界面は断熱条件です。 y 方向は速度と同様、周期境界条件となっています。レイリー数は 10^6 で計算を行います¹。

表 16.7 に本計算のパラメータを示します。

Table 16.7: サーマルキャビティ計算における物理定数

| | |
|----------------|------------------------------|
| 計算領域大きさ D | $0.1[m]$ |
| 温度伝導率 κ | $2.19 \times 10^{-5}[m^2/s]$ |
| 温度差 ΔT | $10[K]$ |
| 動粘性係数 nu | $1.56 \times 10^{-5}[m^2/s]$ |
| 重力加速度 g | $9.8[m/s^2]$ |

¹レイリー数 10^6 のサーマルキャビティ流れは、媒体として水および室温 ($300[K]$) を想定した場合、領域の大きさ $0.1[m]$ 、温度差 $10[K]$ の条件に相当します。

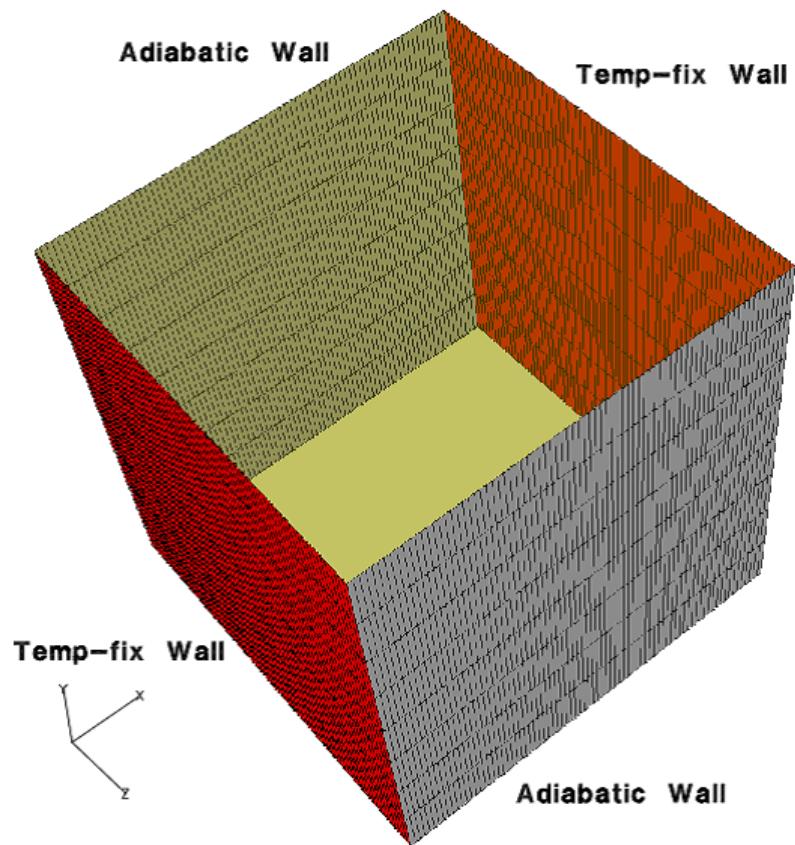


Figure 16.12: Computational mesh for thermal cavity

16.3.2 解析条件ファイルの設定

サーマルキャビティ流れ解析用の解析条件ファイルの設定例を図 16.13 に示します。本バージョンより流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。

```
#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE DREFF UREFF TREFF TOUT
    1.0    1.0   10.0   300.0
#GIVE IHETAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    1      0      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOF RHOS
    1.583E-5 0.0    1.1763 1.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    2.614E-2 1.0E-3 1007.0 1.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0     1000  0.10   10      1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    20    200   1.0E-4 1.0E-4 1.0E-3
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0    0.00  0.00   0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
    0.095 0.0  0.050
    ||
    [中略]  (サンプリング指定およびファイル名指定部分)
    ||
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#SZ_BOUN 20000 20000 8
#MONITOR
#PRS_ELM
#GRAVITY 0.0 0.0 -9.8
#OPTIONE
```

Figure 16.13: A parameter file for the solver 'les3x' with heat transport analysis function opened

16.3.3 計算実行

熱輸送解析で必要なファイルは以下の通りです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLES3X'）
- GF メッシュデータファイル（サンプルデータのファイル名は'MESH'）
- GF 境界条件データファイル（サンプルデータのファイル名は'BOUN'）

リスタート計算の場合には、流れ場データファイルが必要となります。ソルバーは、流れ場データから温度を読み込みます。

上記のファイルをすべて用意した後、コマンド'les3x'で計算が開始されます。応用計算を行う場合に、オーバーセット機能や並列計算機能を利用することができます。オーバーセット計算に関しては7章、並列計算に関しては8章を参照ください。

16.3.4 計算結果

計算が正常に終了すると、履歴データファイル HISTORY (またはユーザが定義したファイル名) と流れ場データファイル FLOW (またはユーザが定義したファイル名) が出力されます。ここでは得られた結果のみを示します。

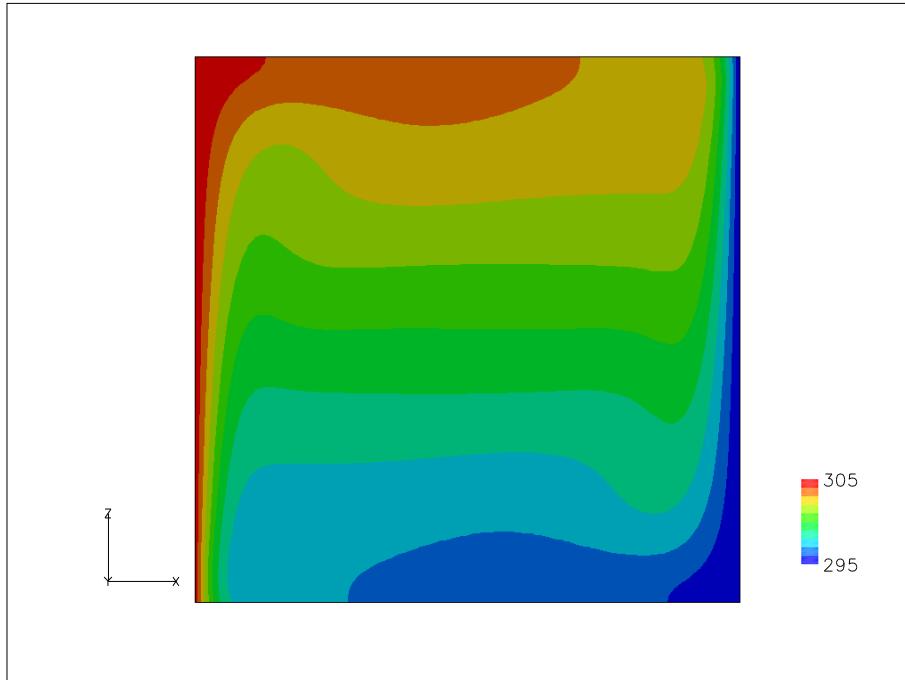


Figure 16.14: Velocity distribution at $x - z$ plane

16.4 固体内熱伝導テスト計算（マルチ要素ソルバー：有次元パラメータ入力）

16.4.1 機能概要

本バージョンより、流れソルバー les3x で複数の物性値を入力する機能をサポートします。部材は要素に部材番号として定義され、GF 属性ファイルに登録されます²。部材番号 0 はデフォルト流体、1 はデフォルト固体でありこれらに対する物性値（密度、比熱、熱伝導係数、動粘性係数）は解析条件ファイルの基本設定部分で指定します。部材番号はデフォルト流体、デフォルト固体の他に 2 ~ 1000 の値とすることができます。デフォルトでない部材の物性値はオプション指定部分にて指定できます（16.4.3 節参照）。

本節では複数物性値入力機能のテストとして複数の部材（表 16.8）から構成される固体内部の熱伝導計算を行います。

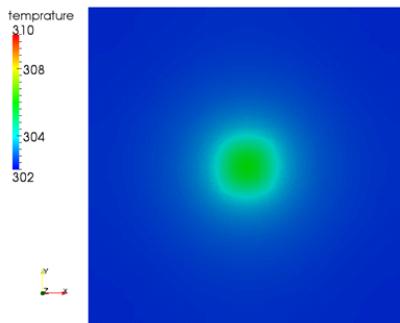


Figure 16.15: 固体内部温度分布の可視化結果例

Table 16.8: 物性値まとめ

| 部材名 | 密度 [kg/m ³] | 比熱 [J/Kg/K] | 熱容量 [J/m ³ /K] | 熱伝導係数 [W/(mK)] |
|--|----------------------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| アルミニウム (Al) | 2693 | 905 | 2.437E+06 | 237.0 |
| スズ (Sn) | 7170 | 228 | 1.635E+06 | 66.6 |
| 銅 (Cu) | 8880 | 386 | 3.428E+06 | 398.0 |
| アルミナ (Al ₂ O ₃) | 3890 | 779 | 3.030E+06 | 36.0 |

²現状では部材番号を GF 属性ファイルに登録する周辺プログラムが整備されていませんが、今後、部材番号関連の周辺プログラムを整備する予定です。

16.4.2 計算概要

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID'

本節では、本バージョンより流れソルバー les3x より実装された複数物性値入力機能のテスト計算のため複数の部材（表 16.8）から構成される固体内部熱伝導計算を行います。計算領域は長さ 32mm の立方体領域の中央に長さ 4mm の立方体領域の発熱領域を設置します。発熱領域の部材は銅とし、発熱量を 20[W] とします。発熱領域以外に異なる部材を設置します。本テスト計算のテスト条件を以下にまとめます。

1. 計算領域

- 全体領域 32mm の立方体：体積 3.2768E-5[m³]
- 発熱領域 4mm の立方体：体積 6.4E-8 [m³]

2. 境界条件

- 計算領域中央の 4mm 立方体に発熱領域：発熱量 20[W]、発熱密度 3.125E-8 [W/m³]
- 計算領域境界は 6 面とも断熱

3. 計算格子

- 計算格子 長さ 1[mm] の立方体
- 要素数 : 32768 (=32³)

4. 部材

- 発熱領域はアルミニウムとする。
- 発熱領域の外側に関しては以下に示す。4 通りをテストする。
 - (a) CASE.01: アルミニウム
 - (b) CASE.02: スズ
 - (c) CASE.03: 銅
 - (d) CASE.04: アルミナ
ただし発熱領域と外側領域の間に厚さ 2mm のアルミナを配置する。

5. 物性値 部材の密度、比熱、熱伝導率に関しては 16.8 を参照。

6. 時間積分 時間刻みを 0.1[sec] として、100 ステップ、10 秒間の計算を実施する。

16.4.3 解析条件ファイルの設定

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.04'
```

図 16.16 に解析条件ファイル'PARMLES3X' のサンプルを示します。図 16.16 と同内容のファイルが、本システム内の以下に示すディレクトリにて格納されています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.04'
```

本バージョン (ver.7.1) より流れソルバー les3x の解析条件ファイルのフォーマットが大きく変更されています。詳細は 5.1.1 節および 5.1.2 節を参照ください。以下に補足説明を示します。

- 熱輸送解析を行う場合は”IHEAT”に 1 をセットします。
- 固体熱伝導を含む熱連成解析を行う場合は”ISOLID”に 1 をセットします。GF 属性ファイルが読み込まれます。今回の場合、GF 属性ファイルには流体・固体フラグおよび部材番号がそれぞれ要素属性データとして含まれています。本計算では、全ての要素が固体であり、16.4.2 節に示した通り中央に発熱体である銅、そのまわりに他の部材番号が登録された 4 種類の GF 属性データが用意されています。
- 各部材の物性値は解析条件ファイルで指定されます。物性値を指定する場合はキーワード”#PRO_TBL”を指定します。キーワードに続く整数は部材番号であり、GF 属性ファイルに登録されている全ての部材番号について、物性値を指定する必要があります。これに続く 4 行は物性値データです。物性値データの表現方法の詳細は次のページに示します。

物性値の表現方法

流れソルバー les3x では、物性値として密度 ρ 、比熱 C_p 、粘性係数 ν 、熱伝導係数 $\lambda_{i,j}$ を登録します。熱伝導係数は異方性を考慮できるようテンソル(6成分)で指定することに注意してください。物性値は温度依存性を温度の2次関数としてあらわすことができます。物性値は以下の式で表されます。

$$\begin{aligned}\rho &= \rho_0 + A_\rho(T - T_{ref,\rho}) + B_\rho(T - T_{ref,\rho})^2 \\ C_p &= C_{p0} + A_{Cp}(T - T_{ref,Cp}) + B_{Cp}(T - T_{ref,Cp})^2 \\ \nu &= \nu_0 + A_\nu(T - T_{ref,\nu}) + B_\nu(T - T_{ref,\nu})^2\end{aligned}$$

図 16.16 に示す物性値指定部分のフォーマットと上記の式の記号の対応関係を以下に示します。

```
#PRO_TBL [部材番号]
rho Cp0 nu0 lambda0,XX lambda0,YY lambda0,ZZ lambda0,XY lambda0,YZ lambda0,XZ
A_rho A_Cp A_nu A_lambda
B_rho B_Cp B_nu B_lambda
Tref,rho Tref,Cp Tref,nu Tref,lambda
```

現状の流れソルバー les3x には熱伝導率の異方性を考慮する機能は実装されておらず、テンソルとして入力された熱伝導率のうち λ_{XX} を代表値として使用しております。今後、異方性を考慮した熱伝導計算機能をサポートする予定です。

```

#FFB_V07
PARAMETER FILE FOR LES3X IN FFB VER.7.1
#GIVE ITRANS IMODEL IFORM IPRESS FSMACH
    1      0      2      1      0.05
#GIVE DREFF UREFF TREFF TOUT
    1.0    1.0    1.0    300.00
#GIVE IHEAT ISOLID ICAV IBUSNQ
    1      1      0      0
#GIVE NFRAME ISET JSET OMEGA
    0      0      0      0.0
#GIVE VISCM SIGMA RHOFL RHOS
    1.5E-5 0.0    1.2    2693.0
#GIVE CONDF CONDS CPF CPS
    2.6E-2 237.0  1007.0 905.0
#GIVE ISTART NTIME DT NMAXSE NMAXSI
    0      100    0.10   10     1
#GIVE NMAXT NMAXP EPST EPSP EPSS
    20     200    1.0E-4 1.0E-4 1.0E-3
#GIVE TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
    0.0    0.00   0.00   0.00
#GIVE IOUT INTFSV INTSFV
    0      0      0
#GIVE NSMPL LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
    3
        6      0.01E-2 1.6E-2 1.6E-2
        6      1.60E-2 1.6E-2 1.6E-2
        6      3.19E-2 1.6E-2 1.6E-2
#GIVE MESH FILE NAME
../../DATA/MESH
#GIVE B.C. FILE NAME
../../DATA/BOUN
#GIVE INITIAL FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE FINALE FLOW FILE NAME
FLOW
#GIVE HISTORY FILE NAME
HISTORY
#GIVE ATTRIBUE FILE NAME
../../DATA/ATTR.01
    ||
    [中略] (ダミーのファイル名指定部分)
    ||
#END OF INPUT DATA

#OPTIONS
#SZ_BOON 20000 20000 8
#SZ_CNCT 50 30
#ITRT_IN 10
#ITRP_IN 20
#MONITOR
x#STOPNOW
#PRO_TBL 2
2693.0 905.0 1.0 237.0 237.0 237.0 237.0 237.0
    0.0    0.0    0.0
    0.0    0.0    0.0
300.0 300.0 300.0 300.0
#PRO_TBL 3
7170.0 228.0 1.0 66.6 66.6 66.6 66.6 66.6 66.6
    0.0    0.0    0.0
    0.0    0.0    0.0
300.0 300.0 300.0 300.0
#PRO_TBL 4
8880.0 386.0 1.0 398.0 398.0 398.0 398.0 398.0 398.0
    0.0    0.0    0.0
    0.0    0.0    0.0
300.0 300.0 300.0 300.0
#PRO_TBL 5
3890.0 779.0 1.0 36.0 36.0 36.0 36.0 36.0 36.0
    0.0    0.0    0.0
    0.0    0.0    0.0
300.0 300.0 300.0 300.0
#OPTION

```

Figure 16.16: A parameter file for the solver 'les3x' for heat conduction test in solid

16.4.4 計算実行

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

```
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.01'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.02'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.03'  
'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.04'
```

流体解析ソルバー'les3x'を用いて流れ場の計算を行うためには、前節において説明した解析条件ファイルがあるディレクトリにおいて、コマンド'les3x'を入力します。本節では4ケースをテストしますので、操作は以下のようになります。

```
%cd ${LES3DHOME}/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.01  
%les3x  
%cd ${LES3DHOME}/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.02  
%les3x  
%cd ${LES3DHOME}/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.03  
%les3x  
%cd ${LES3DHOME}/data/MULTI/SOLID/EXE/EXE.04  
%les3x
```

固体内部熱伝導計算をする場合に必要となるファイルを以下に示すとおりです。

- 解析条件データファイル（ファイル名は'PARMLESX'）
- GF メッシュデータファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定、サンプルデータでは" MESH"。)
- GF 境界条件データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定、サンプルデータでは" BOUN"。)
- GF 束縛データファイル
(ファイル名は解析条件ファイル内にユーザが指定、サンプルデータでは" ATTR(1,2,3,4)"。)

上記データが全て正しく用意されていれば'les3x'は図16.17に示すようなメッセージを出力して（標準出力）計算を開始します。問題がなければ'les3x'は以下のメッセージとともに終了します。流れソルバー'les3x'はデフォルトで計算終了時のGF 流れ場データファイル（瞬時）及びGF 履歴データファイルを出力します。

```

LES3X:VER. 20.05 :2011.05.25
** RUNNING IN SERIAL MODE

|| (途中省略)
||

PROPERTY-ID      2
RHO_0           2693.000
CP_0            905.0000
NU_0            1.000000
LAMBDA_0        237.0000    237.0000    237.0000    237.0000
237.0000        237.0000
COEF. (1)       0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00
COEF. (2)       0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00 0.0000000E+00
C-TREF.         300.0000    300.0000    300.0000    300.0000
LESROP:
LESROP: "#RELAX_K" IS DETECTED.

|| (途中省略)
||

** NOW ENTERING TIME MARCH LOOP **

** SEARCHING WALL ADJACENT ELEMENTS **
CHECKING ERR FLAG: 0:OK, NOT=0:FAIL
      0
DONE!
WALL-ADJACENT ELEMENTS:      5768

** SEARCHING WALL ADJACENT NODES **
DONE!
WALL-ADJACENT NODES:         5402

** CALCULATING INITIAL ELEMENT VALUES **

STEP      1 N=   0 TIME= 1.00000E-01 MAXD= 0.00000E+00 RESP= 0.00000E+00
          NU =           0 NV =           0 NW =           0
          RESU= 0.00000E+00 RESV= 0.00000E+00 RESW= 0.00000E+00
          NT =     15 REST= 1.29477E-04 TSUM= 8.20495E-07
          HST1= 3.00001E+02 HST2= 3.03927E+02 HST3= 3.00001E+02

|| (途中省略)
||

*****
** LES3X: SUCCESSFULLY TERMINATED **

```

Figure 16.17: les3x log output

16.4.5 計算結果

本テストにおける温度変化率 [K/sec] は発熱量および熱容量より手計算することができます。CASE.01 では全領域がアルミニウムであり熱容量が一定であるため、温度上昇平均値は正確に計算することができ、温度変化率は 0.2504[K/sec] です。一方、CASE.01 以外は異なる部材が混在するため、手計算による温度変化率は、中央の発熱領域の物性の違いを無視した近似値となります。表 16.9 に平均温度変化率の FFB 結果・理論値・推定値および誤差を示します。各ケースの誤差は以下のように解釈できます。

- CASE.01 : 打ち切り誤差等の数値誤差。本熱伝導計算で温度差に生じる誤差は 0.01% 程度です。
- CASE.02 : 推定値では全領域にスズを想定していますが、実際の計算では、スズよりも熱容量が大きいアルミニウムがあるため平均温度変化率は小さくなり、誤差の符号はこれに整合します。
- CASE.03 : 推定値では全領域に銅を想定していますが、実際の計算では、銅よりも熱容量が小さいアルミニウムがあるため平均温度変化率は大きくなり、誤差の符号はこれに整合します。
- CASE.04 : 推定値では全領域にアルミニウムを想定していますが、実際の計算では、アルミニウムよりも熱容量が大きいアルミナがあるため平均温度変化率は小さくなり、誤差の符号はこれに整合します。

Table 16.9: 温度空間平均値、理論値および予測値

| ケース | 平均温度変化率 [K/sec] | | | 誤差 |
|---------|-----------------|--------|--------|---------|
| | 計算結果 | 理論値 | 予測値 | |
| CASE.01 | 0.2504 | 0.2504 | - | -0.01 % |
| CASE.02 | 0.3722 | - | 0.3734 | -0.32 % |
| CASE.03 | 0.1782 | - | 0.1781 | +0.10 % |
| CASE.04 | 0.2482 | - | 0.2504 | -0.87 % |

温度場の可視化

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/POST'

図 16.18 に各ケースの中央断面における温度分布を示します。図作成のための可視化用ファイル作成のためには周辺プログラム”gfvtk”を使用します。具体的には以下のスクリプトを実行してください。

```
%go.gfvtk.all
```

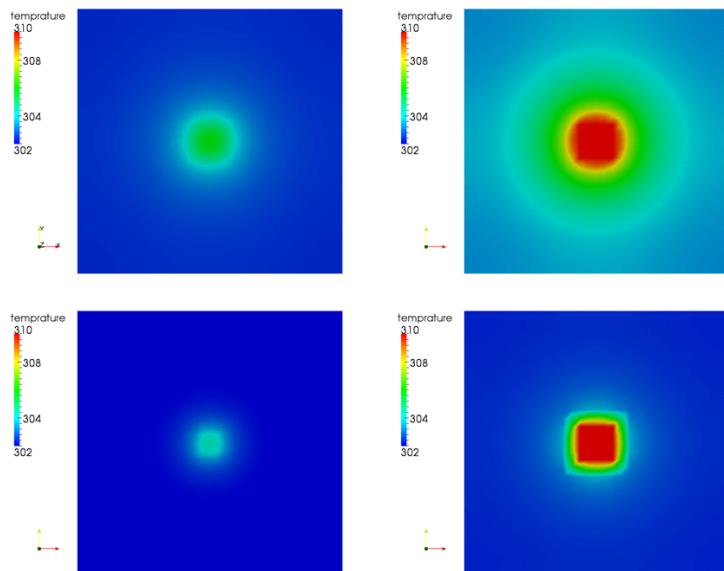


Figure 16.18: 固体内部温度分布の可視化結果例（左上:CASE.01、右上:CASE.02、左下 : CASE.03、右下 : CASE.04）

温度データの抽出

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/MULTI/SOLID/POST'

図 16.19 に中央線における温度分布の比較を示します。周辺プログラム”samplx”を用いることにより、ユーザが指定する位置における流れ場を抽出することができます。図 16.19 を作成するためには、以下のスクリプトを実行してください。

```
%go.samplx.all
```

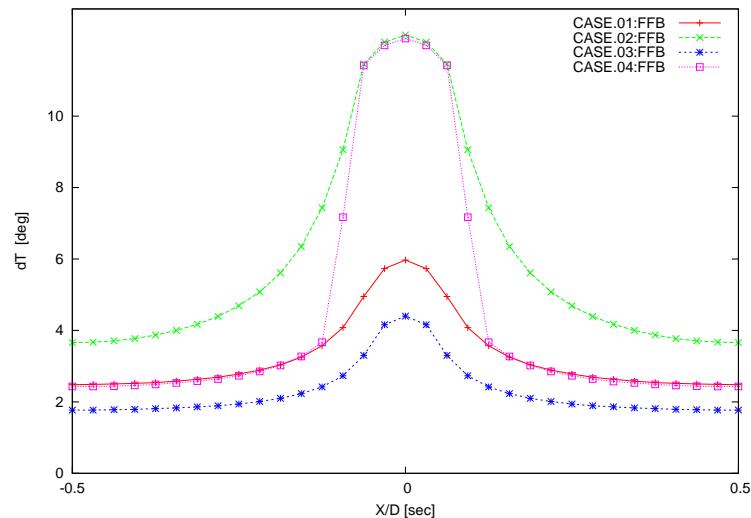


Figure 16.19: 固体内部中央線における温度分

Chapter 17

キャビテーション流れ解析

17.1 機能概要

流体解析プログラム les3c は均質流モデルに基づいたキャビテーションモデルを実装しています。キャビテーション流れ解析では、流体を気液 2 相の混合流体として扱い、新たに液相の体積率を導入することによりこれを表現します。キャビテーションモデルとしては、圧力と飽和蒸気圧の関係に基づく経験的なキャビテーションの生成・消滅モデルを導入し、これを圧力方程式（連続の式）とカップリングすることにより、キャビテーションと流れ場の相互作用を解析します。本章ではキャビテーション流れ解析の手順を説明します。

17.2 計算概要

本章では角柱周りのキャビテーション流れ解析を例として取り上げます。用いる計算格子を図 17.1 と 17.2 に示します。角柱はアスペクト比が 2.8 であり、全要素数は 112,000 です。スパン方向には角柱幅の 2 倍の長さをとり、要素数は 10 です。境界条件は図 17.3 に示した通りです。流入速度は $+x$ 方向成分のみを持ち一定とします。メッシュデータ、境界条件データの作成方法に関しては 6 章を参照してください。

重要注意事項

本節で示す計算例に対応する入力データ及び実行のためのスクリプトは、本システム内の以下の場所におさめられています。

'LES3DHOME/data/HEX/PRISM'

ここで'LES3DHOME' は本システムをインストールするさいにユーザが設定する環境変数です (2.1.1 参照)。

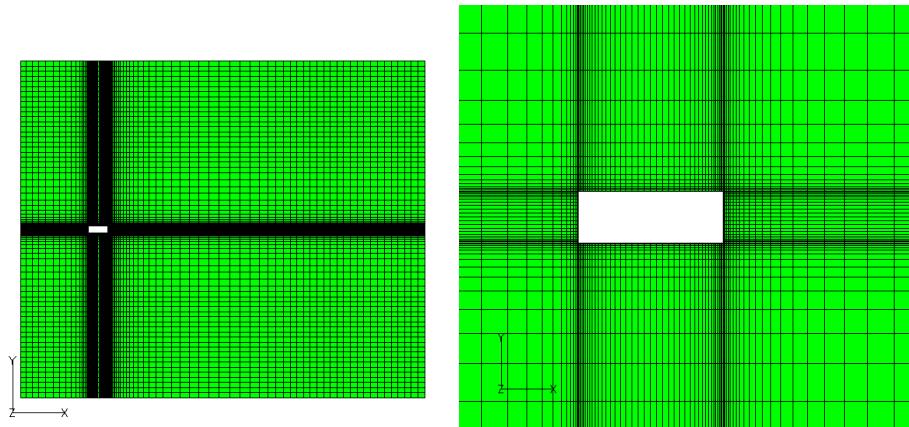


Figure 17.1: Computational mesh of prism flow calculation (1)

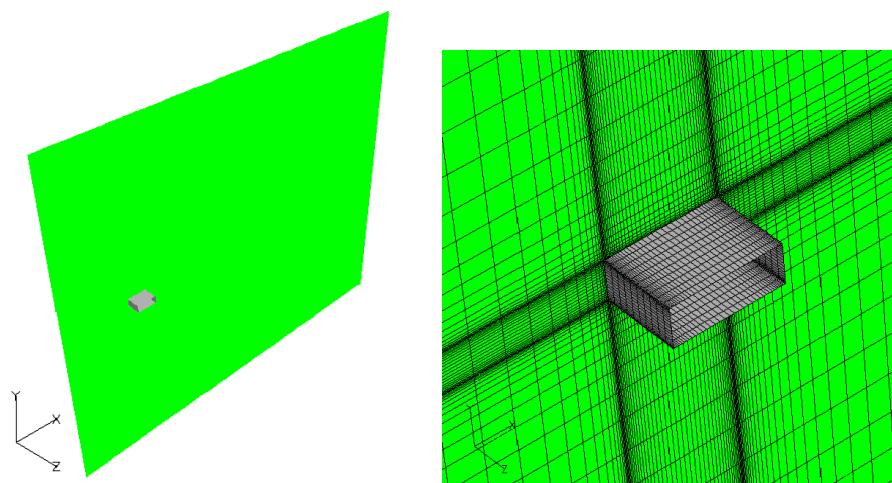


Figure 17.2: Computational mesh of prism flow calculation (2)

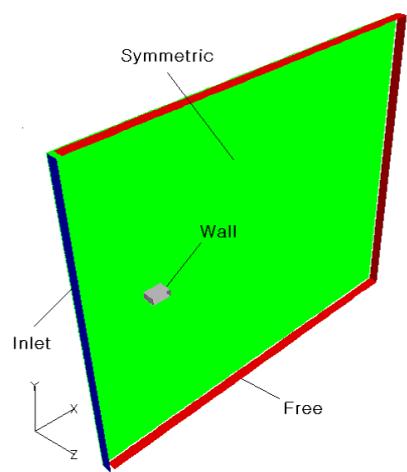


Figure 17.3: Boundary conditions

17.3 解析条件ファイルの設定

本節では、キャビテーション流れの計算を行う際の解析条件ファイルの設定方法について説明します。キャビテーション流れを安定に計算するためには、キャビテーション流れの計算を開始する前にキャビテーションなしの流れ計算を行い、十分に流れが発達した状態を初期条件としてキャビテーション流れの計算を行うことを推奨します。キャビテーションなし流れ計算における解析条件ファイルの設定例を図 17.2 に示します。設定の詳細は 5.1 節を参照してください。キャビテーション流れの解析を行う場合には、解析条件ファイル中の以下のパラメータの設定に注意する必要があります。

1. IPRESS: 圧力方程式フラグ

圧力解法については必ず以下に示す項目から選択してください。推奨値は 32 ですが、時間刻みが大きい場合 (CFL-Number が 1 以上の場合) は計算が不安定になることがあるため、この場合は 33 を推奨します。

- IPRESS = 30
低マッハ数近似を施した圧力方程式において圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。
- IPRESS = 32
低マッハ数近似を施した圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陽的に扱います。
- IPRESS = 33
低マッハ数近似を施した圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陰的に扱います。

2. FSMACH: マッハ数

キャビテーション解析を行う場合、数値解析上の困難を避けるために有限なマッハ数の設定が必要となります。推奨値は 0.1 です。

3. SIGMA: キャビテーション数

キャビテーション数 σ は次式で定義します。

$$\sigma = \frac{P_{ref} - P_v}{\rho u_0^2 / 2}$$

ここで、 P_{ref} は圧力の基準値、 P_v は飽和蒸気圧、 u_0 は基準速度です。

4. CGAS, CLQ: キャビテーションのモデル定数 (C_g, C_l)

これら 2 つのモデル定数は、液体体積率 f の発生・消滅を表す、液体体積率に関する以下の方程式中で使われます。

$$\frac{Df}{Dt} = \{C_g(1-f) + C_l f\}(P - P_v)$$

つまり、液体体積率が大きい場合には f の変化率は C_l の影響を受け、液体体積率が小さい場合には f の変化率は C_g の影響を受けることになります。モデル定数 (C_g, C_l) は、実験を再現するように適当に与えます。具体的な推奨値は以下の通りです。

$$\begin{aligned} \text{CGSA} &= 1,000 \\ \text{CLIQ} &= 0.1 \end{aligned}$$

5. ISTART: リスタートフラグこのフラグの意味は3章を参照してください。キャビテーション流れ計算においてリスタート計算を実行する場合には、液体体積率の初期値をもつ流れ場データファイルが必要であることに注意してください。つまり、本例題のようにキャビテーションなし流れの計算を最初に行い、流れが十分発達してからキャビテーション流れ計算をリスタートする場合にも液体体積率の初期値ファイルが必要となります。そのためなんらかの方法により、液体体積率の初期値ファイルを作成する必要があります。液体体積率の初期値ファイルを作成する方法としては以下の二通りがあります。

- ISTART=0としてキャビテーション流れの計算を1ステップのみ実行します。こうすれば液体体積率のデータファイルが出力されます。このファイルを初期値ファイルとして使用することができます。
- 周辺プログラム setff を用いて速度(1.0,0.0,0.0)の流れ場ファイルを作成します。液体体積率は、流れ場ファイルと同じフォーマットのファイルに速度成分Uとしてストアされるので、上記の方法で作成されたファイルは液体体積率(F=1.0)、すなわちキャビテーションなしの初期条件として使用することができます。

キャビテーション流れ解析のための解析条件ファイルの設定例を図6.5示します。

```
#GIVE COMGEN
BENCHMARK ON PRISM FLOW FOR LES3C (NON-CAVI FLOW)
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
 2 22 2 0 0 0
#GIVE FSMACH SIGMA CGAS CLQD
 1.0E-1 0.00 1.0E03 1.0E00
#GIVE VISCM C DT OMEGA
 1.0E-4 0.15 1.0E-2 0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NMAXT
 1.0E-6 50 1.0E-6 50
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
 10000 0 10.0 1.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
 0 0 0.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
 4
 1 14.0 0.0 1.0
 2 14.0 0.0 1.0
 3 14.0 0.0 1.0
 4 14.0 0.0 1.0
#GIVE MESH DATA FILE
PRSM.MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
PRSM.BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 17.4: les3c の解析条件ファイル (PARMLES3C):キャビテーション解析をしない場合

```
#GIVE COMGEN
BENCHMARK ON PRISM FLOW FOR LES3C (CAVITATING FLOW)
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
2 32 2 0 0 0
#GIVE FSMACH SIGMA CGAS CLQD
1.0E-1 1.00 1.0E03 1.0E00
#GIVE VISCM C DT OMEGA
1.0E-4 0.15 1.0E-2 0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NMAXT
1.0E-6 50 1.0E-6 50
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
5000 1 10.0 1.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
0 0 0.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
6
5 14.0 0.0 1.0
5 25.0 0.0 1.0
5 38.0 0.0 1.0
5 14.0 15.0 1.0
5 25.0 15.0 1.0
5 38.0 15.0 1.0
#GIVE MESH DATA FILE
PRSM.MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
PRSM.BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
FLOW_0
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HIST
#END OF INPUT DATA
```

Figure 17.5: les3c の解析条件ファイル (PARMLES3C):キャビテーション解析をする場合

17.4 計算実行

キャビテーション流れの解析を行う場合、必要となる基本的なファイルをまとめます。

- 解析条件データファイル（ファイル名は 'PARMLES3C'）
- GF メッシュデータファイル
- GF 境界条件データファイル

リスタート計算の場合には、上記に加えて以下のデータが必要です。

- 流れ場データファイル

本バージョンからは、流れ場データファイルには、速度と圧力に加えて液体体積率のデータも記録されるように改良されました。前バージョンでは、速度と圧力の流れ場データファイルと、液体体積率の流れ場データファイルは別々のものが必要でしたが、今回は一つの流れ場データファイルだけでリスタート計算が行えます。計算の結果として出力される流れ場データファイルも一つだけです。そのファイルには、速度、圧力、液体体積率がすべて記録されます。

コマンド 'les3c' で計算が実行されます。応用計算に関しては、オーバーセット計算は 7 章、並列計算は 8 章をそれぞれ参照してください。

17.5 計算結果

角柱周りのキャビテーション流れの計算結果を示します。無次元時間で 400 までキャビテーションなし流れの計算を行い、キャビテーション数を 0.75 としてキャビテーション流れの計算を無次元時間で 450 まで行ったものです。図 17.6 にはサンプリング点（座標は (1.4,0.0,1.0)）での液体体積率と静圧の時系列データを示します。瞬時の流れ場の様子を図 17.7 に示します。

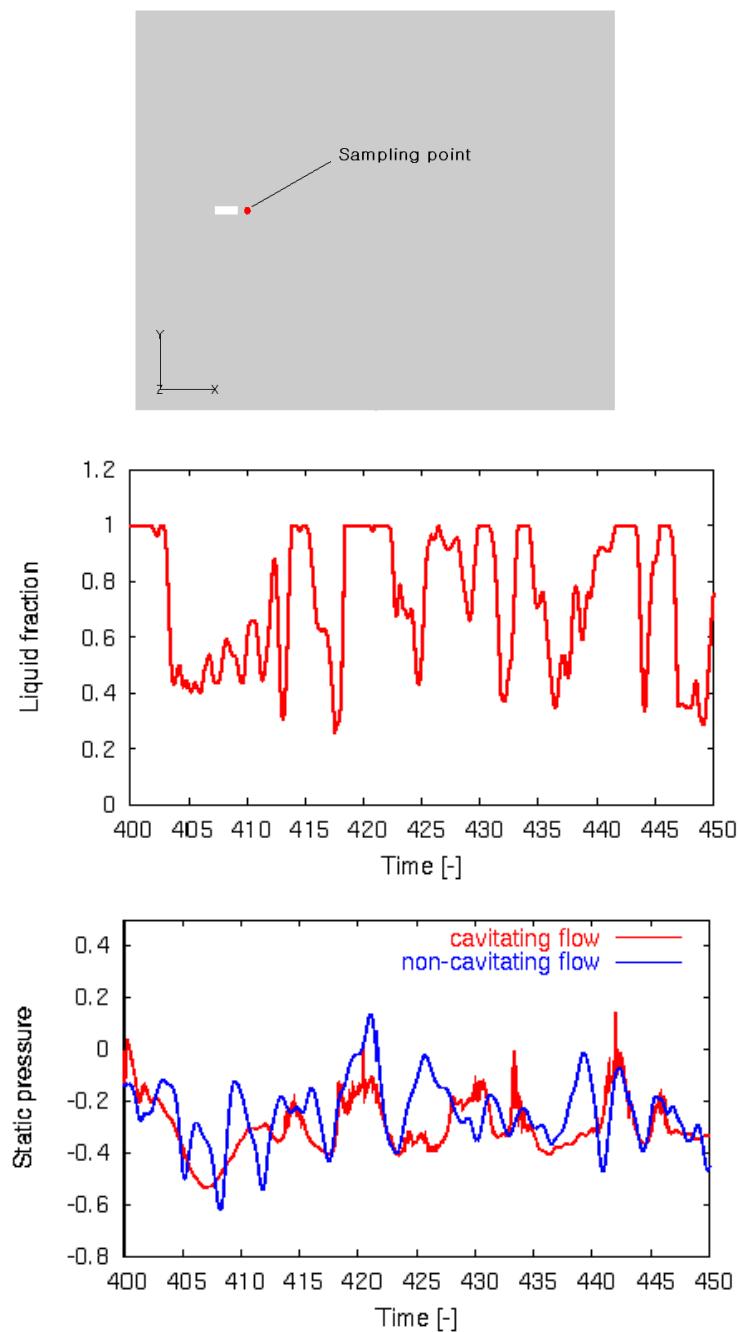


Figure 17.6: Temporal evolutions of liquid fraction (left) and static pressure (right) at (1.4, 0.0, 1.0).

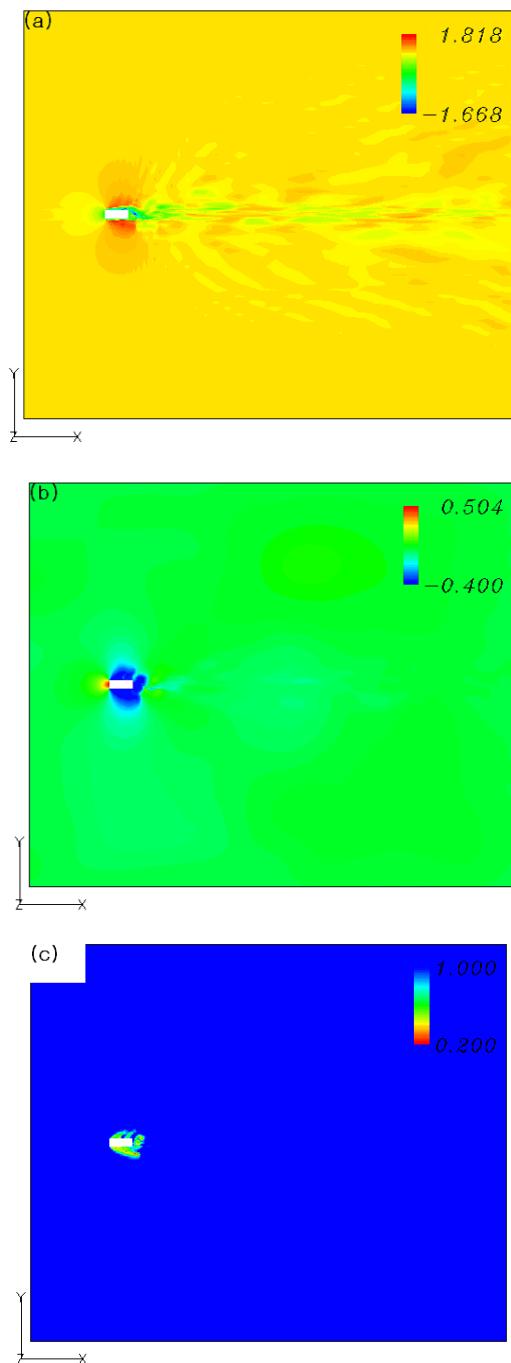


Figure 17.7: Instantaneous flow field at time=450, (top:Streamwise-velocity, center:Static pressure, bottom:Liquid fraction).

Chapter 18

周辺プログラム（流体）

本システムは流体解析ソルバー及びその実行をサポートする周辺プログラムで構成されています。本章では周辺プログラムの機能及び使用方法を説明します。本システムがサポートする周辺プログラムを機能別にわけると以下の7種類になります。

1. データフォーマット変換
2. メッシュデータ、境界条件、流れ場データのチェック
3. メッシュデータ、境界条件、流れ場データの変更
4. 履歴データ関係の処理
5. 並列計算関係の処理
6. マルチフレーム・オーバーセット関係の処理
7. その他

なお、上記リストこのなかには乱流音解析関連の周辺プログラムは含まれていません。乱流音解析機能（カールの式）に関しては10章を参照してください。また、本バージョン(ver.6.1)よりサポートする音響解析関連の周辺プログラムに関しては、19を参照してください。

表18.1に、各周辺プログラムがどのグループに属しているかを示します。

Table 18.1: 周辺プログラムの機能別分類

| | | | | | |
|-------------|--|--|---|-------------------------------------|--|
| 1. フォーマット変換 | fva2gf gffv3x | fva2gf2 gfmavs | fva2gf6 gfplt | gffv3 gr2gft | gffv3t gr2gfx |
| 2. データのチェック | chk chkfrx chknidx | chkbc chkft chkrt | chkbct chkif cwall | chkbcx chknd diff | chkfr chkndt |
| 3. データの変更 | averf initf order rmnd1 samplt updown | bcmod mapff ofsetx rmnd2 samplx scale | cpcal mapffx renum rmsff rotate scalet | distf mapff2 rfndtx rotate | frame merge rmelm sample setff |
| 4. 履歴データ | frameh | hscat | hsmrg | hsmrgi | |
| 5. 並列計算関係 | attrd ddrgbx partdt unifu | ddelm metish partdx unify | ddelmt metist partdx_rcap unifyt | ddrgb overd setcc | ddrgbt partd unifp |
| 6. マルチフレーム | attrs stackx | setdi unstack | setsi unstackx | setsix | stack |
| 7. その他 | cavty | cavtyt | gfcat | gfsep | |

18.1 データフォーマット変換

Table 18.2: 周辺プログラム機能 (1/7)

| 名前 | 機能 |
|---------|---|
| fva2gf | GRIDGEN で生成した六面体格子データを GF フォーマットに変換する. |
| fva2gf2 | GRIDGEN で生成した六面体格子データを GF フォーマットに変換する. (回転体を想定した移動壁境界速度の設定に対応) |
| fva2gf6 | GRIDGEN で生成した六面体格子データを GF フォーマットに変換する. (境界のエッジにおいて境界条件が重複している場合, ユーザが優先順位を指定できる.) |
| gffv3 | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する . |
| gffv3t | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する .(四面体要素版) |
| gffv3x | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する .(マルチ要素版) |
| gfmavs | GF フォーマットファイルを AVS のフォーマットに変換する . |
| gfplt | GF フォーマットファイルを TECPLOT のフォーマットに変換する . |
| gr2gft | GRIDGEN で生成した四面体格子データを GF フォーマットに変換する. (四面体要素版) |
| gr2gfx | GRIDGEN で生成したマルチ要素格子データを GF フォーマットに変換する. (マルチ要素版) |

18.1.1 fva2gf

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | fva2gf |
| 機能 | GRIDGEN で生成した六面体格子データを GF フォーマットに変換する。 |
| 入力 | 標準入力 grid data made by GRIDGEN |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル (GF 流れ場データファイル) |

使用方法

- コマンド'fva2gf' を入力する。
- GRIDGEN¹ で作成したファイル名を指定する。GRIDGEN データの出力方法に関しては 20.1 を参照してください。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- GRIDGEN データ内に流入境界条件が存在する場合のみ、流入速度の指定を要求されるので、この場合、流入速度 (=一定値)3 成分を入力します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)
- GRIDGEN データ内に移動壁境界条件が存在する場合のみ、壁移動速度の指定を要求されるので、この場合、壁移動速度 (=一定値)3 成分を入力します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

¹Gridgen は Pointwise Inc 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

18.1.2 gffv3

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gffv3 |
| 機能 | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | Field View file |

使用方法

- コマンド'gffv3' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- FIELDVIEW データファイル名を指定²
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

FIELDVIEW データファイル中でそれぞれの物理量は次の FUNCTION 名で記録されています。

速度 x 成分: U-VELOCITY

速度 y 成分: V-VELOCITY

速度 z 成分: W-VELOCITY

圧力: PRESSURE

液体体積率: LIQUID FRACTION

温度: TEMPERATURE

渦粘性係数: GENERAL VARIABLE AT NODES

²FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

18.1.3 gffv3t

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gffv3t |
| 機能 | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する。(四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | Field View file |

使用方法

- コマンド'gffv3t' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- FIELDVIEW データファイル名を指定する。³
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

³FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

18.1.4 gffv3x

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gffv3x |
| 機能 | GF フォーマットファイルを FIELDVIEW のフォーマットに変換する。(マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | Field View file |

使用方法

- コマンド'gffv3x' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場の入力を省略したい場合ここでリターンを入力)
- FIELDVIEW データファイル名を指定する。⁴
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

⁴FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

18.1.5 gfmavs

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gffv3 |
| 機能 | GF フォーマットファイルを AVS フォーマットに変換する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | AVS file |

使用方法:

- コマンド'gfmavs' を入力する。
- 入力される GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 入力される GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 入力される GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 出力される AVS 用のファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.1.6 gfplt

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gffv3 |
| 機能 | GF フォーマットファイルを TECPLOT フォーマットに変換する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | TECPLOT 用データ |

使用方法:

- コマンド'gfplt' を入力する。
- 入力される GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 入力される GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 入力される GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 出力される TECPLOT 用のファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.1.7 gr2gft

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gr2gft |
| 機能 | GRIDGEN で生成した四面体格子データを GF フォーマットに変換する。(四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 grid data made by GRIDGEN |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル (四面体要素) GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'gr2gft' を入力する。
- GRIDGEN で作成したファイル名を指定する。
- 出力される GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力される GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.1.8 gr2gfx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | gr2gfx |
| 機能 | GRIDGEN で生成したマルチ要素格子データを GF フォーマットに変換する。(マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 grid data made by GRIDGEN |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル (マルチ要素) GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'gr2gfx' を入力する。
- GRIDGEN で作成したファイル名を指定する。
- 出力される GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力される GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.2 メッシュデータ , 境界条件 , 流れ場データのチェック

Table 18.3: 周辺プログラム機能 (2/7)

| 名前 | 機能 |
|--------|-----------------------------|
| chk | 要素の中心座標をチェックする . |
| chkbc | 境界条件データのチェック |
| chkbct | 境界条件データのチェック (四面体要素版) |
| chkbcx | 境界条件データのチェック (マルチ要素版) |
| chkfr | 流れ場の流量のチェック |
| chkfrx | 流れ場の流量のチェック (マルチ要素版) |
| chkftr | 流れ場データのチェック (四面体要素版) |
| chknd | メッシュデータのチェック |
| chkndt | メッシュデータのチェック (四面体要素版) |
| chkndx | メッシュデータのチェック (マルチ要素版) |
| chkif | 動的オーバーセットデータのパラメータをチェックする . |
| cwall | コーナーに属する節点を探す. |
| difff | ふたつの流れ場データの差位を計算する . |

18.2.1 chk

| | |
|-------|--------------------------------|
| コマンド名 | chk |
| 機能 | 要素の中心座標をチェックする。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (六面体要素) |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chk' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定 (ステップ-1)
注意 : 本プログラムは六面体要素のみサポートします。
- 要素番号を指定 → 指定要素の中心座標が出力されます。
- 1 を指定すればステップ-1 に戻り、0 を指定すれば終了します。

図 18.1 に 'chk' の実行例を示します。

```
** CHK: CHECKING ELEMENT CENTER POSITION **
SPECIFY FILENAME OF MESH DATA
MESH
SPECIFY ELEMENT NUMBER
1000

GFMESH: LOOKING FOR MESH DATA                               ( 3-D )
FILENAME      = MESH

** READING ** GRID COORDINATES (3-D)      ; NP    =     130620
** READING ** NODE TABLE (3-D)           ; NE    =     121600
GFMESH: SUCCESSFULLY RETURNING

IE=          1000   XG=  -3.250000     YG=  -7.700000     ZG=  0.1000000
ENTER 1 TO CONTINUE
1
```

Figure 18.1: execution sample of 'chk'

18.2.2 chkbcl

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | chkbc |
| 機能 | 境界条件データのチェック |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル（六面体要素） GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkbc' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
注意：本プログラムは六面体要素のみサポートします。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- GF-mrk3d データファイル名を指定
本バージョンでは GF-mrk3d データは使用しませんので、ここではダミー ファイル名を指定し、作成されたファイルは適宜削除してください。
- 強制壁境界機能を用いる場合 1 を指定する。
この機能を用いると、境界に存在するがなんの境界条件も指定されていない節点に対し壁境界が設定されます。この機能を使用しない場合はここで 0 を指定してください。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。）

本プログラム'chkbc' 以下に示す情報を出力します。

1. 境界条件の節点数とそれに対応した要素数
2. 重複する境界条件情報
3. 解析領域内部に定義された境界条件情報
4. 孤立した境界条件節点

図 (18.2) 、'chkbc' の実行例を示します。

```
** SUMMARY OF BOUNDARY CONDITIONS DATA CHECK **  
TYPE           NODE    ELEM   DUPL.   INNER ISOLATE  
-----+-----  
WALL BOUNDARY NODES      481     460      0      0      0  
MOVING WALL BOUNDARY NODES 121     100      0      0      0  
  
TYPE           NODE    ELEM   DUPL.   FREE  
-----+-----  
ALL BOUNDARY      602     600      0      0
```

Figure 18.2: execution sample of 'chkbc'

18.2.3 chkbct

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | chkbct |
| 機能 | 境界条件データのチェック (四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (四面体要素) GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkbct' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
注意 : 本プログラムは四面体要素のみサポートします。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

本プログラム'chkbct' は以下に示す情報を出力します。

1. 境界条件の節点数とそれに対応した要素数
2. 重複する境界条件情報
3. 解析領域内部に定義された境界条件情報
4. 孤立した境界条件節点

18.2.4 chkbmx

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | chkbmx |
| 機能 | 境界条件データのチェック (マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (マルチ要素) GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkbmx' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
注意 : 本プログラムはマルチ要素をサポートします。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

本プログラム'chkbmx' は以下に示す情報を出力します。

1. 境界条件の節点数とそれに対応した要素数
2. 重複する境界条件情報
3. 解析領域内部に定義された境界条件情報
4. 孤立した境界条件節点

18.2.5 chkfr

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | chkfr |
| 機能 | 流れ場の流量のチェック |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkfr' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- GF 流れ場ファイル名を指定
- 境界面判別方法を以下の項目より選択する。
 - IMODE = 0 — 標準モード
 - IMODE = 1 — 拡張モード

注意

標準モードでは、面を構成する 4 点全てが入り口(自由)境界条件であった場合にその面を入り口(自由)境界条件面として判別します。一方、拡張モードでは面を構成する 4 点が入り口(自由)境界条件、壁境界条件もしくは対称境界条件であり、かつそのうちの少なくともひとつが入り口(自由)境界条件であった場合にその面を入り口(自由)境界条件面として判別します。

- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

図 (18.3) に'chkfr' の実行例を示します。

```
(1) CROSS SECTION AREA
INLET      =  4.000001
OUTLET     =  6.000014

(2) FLOW RATE
INLET      =  3.488624
OUTLET     =  2.958294
MASS ERROR(%) = -15.20170

(3) STATIC PRESSURE
INLET      = -0.2006791
OUTLET     =  2.0329254E-03
INCREASE   =  0.2027120

(4) TOTAL PRESSURE
INLET      =  0.2190936
OUTLET     =  0.1374022
INCREASE   = -8.1691444E-02
```

CHKFR: SUCCESSFULLY TERMINATED

Figure 18.3: execution sample of 'chkfr'

18.2.6 chkfrx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | chkfrx |
| 機能 | 流れ場の流量のチェック (マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (マルチ要素) GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkfrx' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- GF 流れ場ファイル名を指定
- 境界面判別方法を以下の項目より選択する。
 - IMODE = 0 — 標準モード
 - IMODE = 1 — 拡張モード

注意

標準モードでは、面を構成する 4 点全てが入り口 (自由) 境界条件であった場合にその面を入り口 (自由) 境界条件面として判別します。一方、拡張モードでは面を構成する 4 点が入り口 (自由) 境界条件、壁境界条件もしくは対称境界条件であり、かつそのうちの少なくともひとつが入り口 (自由) 境界条件であった場合にその面を入り口 (自由) 境界条件面として判別します。

- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

図 (18.4) に'chkfrx' の実行例を示します。

```
(1) CROSS SECTION AREA
    INLET      =   4.000001
    OUTLET     =   6.000014

(2) FLOW RATE
    INLET      =   3.488624
    OUTLET     =   2.958294
    MASS ERROR(%) = -15.20170

(3) STATIC PRESSURE
    INLET      = -0.2006791
    OUTLET     =  2.0329254E-03
    INCREASE   =   0.2027120

(4) TOTAL PRESSURE
    INLET      =   0.2190936
    OUTLET     =   0.1374022
    INCREASE   = -8.1691444E-02

CHKFR: SUCCESSFULLY TERMINATED
```

Figure 18.4: execution sample of 'chkfrx'

18.2.7 chkft

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | chkft (四面体要素版) |
| 機能 | 流れ場の流量のチェック |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (四面体要素) GF 流れ場データファイル (四面体要素) |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkft' を入力
- 入力する GF メッシュファイル名を指定する。 (四面体要素)
- 入力する GF 流れ場ファイル名を指定する。 (四面体要素)
- 出力する GF 流れ場ファイルを指定する。 (四面体要素)

本プログラム'chkft' は、入力した速度場の発散 ($\frac{\partial u_i}{\partial x_i}$) を計算し、これを GF 流れ場ファイルに出力します。速度場の発散は、本来圧力がストアされる領域にストアされます。計算が発散した際は、速度場の発散をチェックすることにより、どの領域で発散したかを知ることができます。また 18.5 に示すように、速度 3 成分、圧力、速度の発散の絶対値の最大値を標準出力に出力します。

図 18.5 に 'chkft' の実行例を示します。

```
||  
[log output]  
||  
  
(1) VELOCITY-U  
AVERAGE : 3.825E-01  
MAX. OF ABS1. : 1.220E+00  
AT A NODE OF : 8967 2.334E+00 1.194E+00 2.369E-01  
  
(2) VELOCITY-V  
AVERAGE : 1.779E-02  
MAX. OF ABS2. : 1.094E+00  
AT A NODE OF : 7592 1.950E+00 9.969E-01 2.437E-01  
  
(3) VELOCITY-W  
AVERAGE : -2.621E-05  
MAX. OF ABS3. : 5.260E-01  
AT A NODE OF : 7847 1.935E+00 8.089E-01 1.121E-01  
  
(4) PRESSURE  
AVERAGE : 8.824E-02  
MAX. OF ABS4. : 6.194E-01  
AT A NODE OF : 8521 1.940E+00 3.431E-01 1.954E-01  
AT A NODE OF : 2648 2.000E+00 3.373E-01 2.472E-01  
AT A NODE OF : 2674 2.000E+00 2.500E-01 2.500E-01  
AT A NODE OF : 2676 2.000E+00 2.989E-01 1.686E-01  
  
(5) VEL. DIVERGENCE  
AVERAGE : -1.182E-01  
MAX. OF ABS5. : 2.277E+01  
AT A NODE OF : 7569 1.935E+00 9.279E-01 4.306E-01  
AT A NODE OF : 534 1.923E+00 9.671E-01 5.000E-01  
AT A NODE OF : 147 2.000E+00 9.000E-01 5.000E-01  
AT A NODE OF : 2620 2.000E+00 9.247E-01 4.215E-01  
  
||  
[log output]  
||
```

Figure 18.5: execution sample of 'chkft'

18.2.8 chkif

| | |
|-------|------------------------------------|
| コマンド名 | chkif |
| 機能 | 動的オーバーセットデータのパラメータをチェックする。 |
| 入力 | 標準入力 |
| 出力 | 標準出力 Coordinate Trace Data-File |

使用方法

- コマンド'chkif' を入力する。
- パラメータ'NTIME、 TINIT、 DT、 OMEGA' を指定する。
上記パラメータは周辺プログラム'setdi'、もしくは'setdit'に対して与えるパラメータです。本プログラムはこれらのパラメータをチェックします。詳細については 7.3 を参照してください。
- 基準座標 (X,Y) を入力する。
- 出力データ名を入力する。
基準座標より、指定されたパラメータに従って回転した場合の座標の軌跡がファイルに出力されます。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、 0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.2.9 chknd

| | |
|-------|--------------------------|
| コマンド名 | chknd |
| 機能 | メッシュデータのチェック |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 (GF メッシュデータファイル) |

使用方法

- コマンド'chknd' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
注意：本プログラムは六面体要素のみサポートします。
- 最接近節点情報を計算する場合 1 を指定する。(必要なければ 0 を指定)
- メッシュデータ補正機能を用いる場合 1 を指定する。(必要なければ 0 を指定)

本プログラム'chknd' は、以下に示す情報を出力します。

1. 節点に対する隣接要素数の最大数
2. minimum vertex angle
3. maximum face skewness
4. 要素の最小サイズ
5. 解析領域範囲 (XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX)
6. 節点間の最小距離
7. 要素中央における determinants の最小値, 最大値

図 (18.6) に'chknd' の実行例を示します。

```
(1) CHECKING NODE DEFINITIONS...
DONE!
      MAX. NUMBER OF ADJACENT ELEMENTS =           8
      IP=          134

(2) CHECKING MINIMUM VERTEX ANGLE...
DONE!
      MINIMUM VERTEX ANGLE =   90.00000    DEGREES
      IE=          1   I=          4

(3) CHECKING MAXIMUM FACE SKEWNESS...
DONE!
      MAXIMUM SKEW ANGLE =  0.000000E+00 DEGREES
      IE=          1   IS=          4

(4) CHECKING MINIMUM ELEMENT SIZE...
DONE!
      MINIMUM ELEMENT SIZE =  9.9999964E-02
      IE=          7
      X =  0.6500000
      Y =  0.0000000E+00
      Z =  0.0000000E+00

(5) CHECKING COMPUTATIONAL DOMAIN BOUNDS...
DONE!
      XRANGE =  0.0000000E+00 -  1.000000
      YRANGE =  0.0000000E+00 -  1.000000
      ZRANGE =  0.0000000E+00 -  1.000000

(6) CHECKING MINIMUM NODE DISTANCE...
DONE!
      MINIMUM NODE DISTANCE =  9.9999964E-02
      X =  0.6500000
      Y =  0.0000000E+00
      Z =  0.0000000E+00

(7) CHECKING ELEMENT CENTER DETERMINANTS...
DONE!
      MINIMUM DETERMINANTS =  1.2499985E-04
      IE=          1000
      MAXIMUM DETERMINANTS =  1.2500015E-04
      IE=          888
```

Figure 18.6: execution sample of 'chknd'

18.2.10 chkndt

| | |
|-------|--------------------------------|
| コマンド名 | chkndt |
| 機能 | メッシュデータのチェック (四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (四面体要素) |
| 出力 | 標準出力 (GF メッシュデータファイル) |

使用方法

- コマンド'chkndt' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。注意：本プログラムは四面体要素のみサポートします。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。

本プログラム'chkndt' は、以下に示す情報を出力します。

1. 節点に対する隣接要素数の最大数
2. minimum vertex angle
3. 要素の最小長さ
4. 解析領域範囲 (XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX)
5. 要素の体積 (最小、最大、全体)
6. 要素のアスペクト比 (最小、最大、平均、分布)

四面体要素のアスペクト比は四面体の外接球と内節球の半径の比の 3 倍で定義されます。正四面体のアスペクト比は最小値の 1 となります。本システムの流れソルバー les3ct を実行する際には、全要素のアスペクト比が 5 以下になるように、メッシュを作成することを推奨します。

図 18.7 に'chkndt' の実行例を示します。

```
(1) CHECKING NODE DEFINITIONS...
DONE!
    MAX. NUMBER OF ADJACENT ELEMENTS =          42
    IP=      12360

(2) CHECKING MINIMUM VERTEX ANGLE...
DONE!
    MINIMUM VERTEX ANGLE =  0.9526520      DEGREES
    IE=      56499   I=        4
    11865  0.35018E+01  0.19398E+01  0.30115E+00
    11425  0.34896E+01  0.19343E+01  0.19881E+00
    3717   0.35000E+01  0.20000E+01  0.25000E+00
    10784  0.35058E+01  0.18974E+01  0.24473E+00

(4) CHECKING MINIMUM ELEMENT SIZE...
DONE!
    MINIMUM ELEMENT SIZE =  3.8227756E-02
    IE=      46126
    X =     3.318302
    Y =     0.8562616
    Z =     0.5000000

(5) CHECKING COMPUTATIONAL DOMAIN BOUNDS...
DONE!
    XRANGE =  0.0000000E+00 -  5.000000
    YRANGE =  0.0000000E+00 -  2.000000
    ZRANGE =  0.0000000E+00 -  0.5000000

(7) CHECKING ELEMENT VOLUME ...
DONE!
    MINIMUM VOLUME =  1.1212503E-05
    IE=      56580
    MAXIMUM VOLUME =  2.3883209E-04
    IE=      18889
    TOTAL VOLUME =  4.500000336757694

(8) CHECKING ELEMENT ASPECT RATIO ...
DONE!
RMAX:  4.385195
AT :  3.499310      1.942879      0.2486717
RAVE:  1.263386
RMIN:  1.001890
DISTRIBUTION OF ELEMENT ASPECT RATIO
    1.0  - 1.1      8959
    1.1  - 1.2     20048
    1.2  - 1.3     16853
    1.3  - 1.4     10417
    1.4  - 1.5      6073
    1.5  - 2.0      6200
    2.0  - 5.0       152
    5.0  -10.0        0
   10.0  -50.1        0
   50.0  -           0
```

Figure 18.7: execution sample of 'chkndt'

18.2.11 chkndx

| | |
|-------|--------------------------------|
| コマンド名 | chkndx |
| 機能 | メッシュデータのチェック (マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (マルチ要素) |
| 出力 | 標準出力 (GF メッシュデータファイル) |

使用方法

- コマンド'chkndx' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。注意：本プログラムはマルチ要素をサポートします。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。

本プログラム'chkndx' は、以下に示す情報を出力します。

1. 節点に対する隣接要素数の最大数
2. minimum vertex angle
3. 要素の最小長さ
4. 解析領域範囲 (XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,ZMIN,ZMAX)
5. 要素の体積 (最小、最大、全体)
6. 要素のアスペクト比 (最小、最大、平均、分布)
本システムの流れソルバー les3x を実行する際には、全要素のアスペクト比が 5 以下になるように、メッシュを作成することを推奨します。

図 18.8 に'chkndx' の実行例を示します。

```
(1) CHECKING NODE DEFINITIONS...
DONE!
    MAX. NUMBER OF ADJACENT ELEMENTS =          42
    IP=      12360

(2) CHECKING MINIMUM VERTEX ANGLE...
DONE!
    MINIMUM VERTEX ANGLE =  0.9526520      DEGREES
    IE=      56499   I=        4
    11865  0.35018E+01  0.19398E+01  0.30115E+00
    11425  0.34896E+01  0.19343E+01  0.19881E+00
    3717   0.35000E+01  0.20000E+01  0.25000E+00
    10784  0.35058E+01  0.18974E+01  0.24473E+00

(4) CHECKING MINIMUM ELEMENT SIZE...
DONE!
    MINIMUM ELEMENT SIZE =  3.8227756E-02
    IE=      46126
    X =     3.318302
    Y =     0.8562616
    Z =     0.5000000

(5) CHECKING COMPUTATIONAL DOMAIN BOUNDS...
DONE!
    XRANGE =  0.0000000E+00 -  5.000000
    YRANGE =  0.0000000E+00 -  2.000000
    ZRANGE =  0.0000000E+00 -  0.5000000

(7) CHECKING ELEMENT VOLUME ...
DONE!
    MINIMUM VOLUME =  1.1212503E-05
    IE=      56580
    MAXIMUM VOLUME =  2.3883209E-04
    IE=      18889
    TOTAL VOLUME =  4.500000336757694

(8) CHECKING ELEMENT ASPECT RATIO ...
DONE!
RMAX:  4.385195
AT :  3.499310      1.942879      0.2486717
RAVE:  1.263386
RMIN:  1.001890
DISTRIBUTION OF ELEMENT ASPECT RATIO
    1.0  - 1.1      8959
    1.1  - 1.2     20048
    1.2  - 1.3     16853
    1.3  - 1.4     10417
    1.4  - 1.5      6073
    1.5  - 2.0      6200
    2.0  - 5.0       152
    5.0  -10.0        0
   10.0  -50.1        0
   50.0  -           0
```

Figure 18.8: execution sample of 'chkndx'

18.2.12 chkrt

| | |
|-------|------------------------------------|
| コマンド名 | chkrt |
| 機能 | 動的オーバーセットデータのパラメータをチェックする。 |
| 入力 | 標準入力 |
| 出力 | 標準出力 Coordinate Trace Data-File |

使用方法

- コマンド'chkrt' を入力する。
- パラメータ'NTIME、 TINIT、 DT、 OMEGA' を指定する。
上記パラメータは周辺プログラム'setdi' にもしくは'setdit' に対して与えるパラメータです。本プログラムはこれらのパラメータをチェックします。詳細については 7.3 を参照してください。
- 基準座標 (X,Y) を入力する。
- 出力データ名を入力する。
基準座標より、指定されたパラメータに従って回転した場合の座標の軌跡がファイルに出力されます。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、 0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.2.13 cwall

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | cwall |
| 機能 | コーナー節点を検出する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 境界条件ファイル (Corner Boundary) |

使用方法

- コマンド'cwall' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- コーナーを定義する角度を変更したい場合 1 を指定
デフォルトでは辺のなす角度が -110° 以下である節点をコーナー節点と判別します。デフォルト値を使用する場合 0 を指定します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.2.14 diff

| | |
|-------|-----------------------|
| コマンド名 | diff |
| 機能 | ふたつの流れ場データの差位を計算する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンドを'diff' 入力する。
- GF 流れ場データファイル名 (1) を指定する。
- GF 流れ場データファイル名 (2) を指定する。
- 流れ場の差位が出力される GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 3 を入力する。(3 次元の意味)
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3 メッシュデータ，境界条件，流れ場データの変更

Table 18.4: 周辺プログラム機能 (3/7)

| 名前 | 機能 |
|---------|------------------------------------|
| averf | 複数の GF 流れ場データに対し，その時間平均を計算する。 |
| bcmod | 境界条件ファイル編集用の汎用プログラム：要素タイプによらず使用可能 |
| cpcal | 流れ場データを規格化する。 |
| distf | 流れ場に乱れ成分を加える。 |
| frame | メッシュデータ及び流れ場データの座標系変換を行う。 |
| initf | 初期流れ場を作成する(マルチフレーム機能に対応)。 |
| mapff | 流れ場データのマッピングを行う。 |
| mapffx | 流れ場データのマッピングを行う(マルチ要素をサポート)。 |
| mapff2 | 流れ場データのマッピングを行う(四面体・六面体をサポート)。 |
| merge | メッシュデータ中の節点を結合する。 |
| order | GF 表面データの並び換えを行う。 |
| renum | メッシュデータ中の要素を，位置情報に従って並べ換える。 |
| rfndtx | メッシュデータにリファイン機能を適用する(マルチ要素をサポート)。 |
| rmelm | メッシュデータ中の要素より，特定の要素を削除する。 |
| rmnd1 | メッシュデータ中の参照されていない節点と境界条件を削除する。 |
| rmnd2 | メッシュデータ中の他の節点と接続していない節点を削除する。 |
| rmsff | 流れ場の RMS データの時間平均をとる。 |
| rotate | レイノルズストレスを Z 軸まわりで回転させる。 |
| sampl | 流れ場データよりをサンプリング点のデータを抽出する。 |
| samplt | 流れ場データよりをサンプリング点のデータを抽出する。(四面体要素版) |
| sampler | 流れ場データよりをサンプリング点のデータを抽出する。(マルチ要素版) |
| scale | メッシュデータ及び流れ場データをスケーリングする。 |
| scalet | メッシュデータ及び流れ場データをスケーリングする(四面体要素版) |
| setff | 流速および圧力として一定値をもつ流れ場データを作成する。 |
| updown | メッシュ上下を逆転させる。 |

18.3.1 averf

| | |
|-------|-------------------------------|
| コマンド名 | averf |
| 機能 | 複数の GF 流れ場データに対し、その時間平均を計算する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'averf' を入力する。
- GF 流れ場データファイル名を順に入力し最期にリターンを入力する。例えば、3つの流れ場データの時間平均を平均を計算したい場合ははじめに3つの GF 流れ場データファイル名を入力したの後にリターンを入力してください。
- 時間平均流れ場データファイル名を指定する。
(時間平均データが必要でない場合リターンを入力する。)
- 流れ場 RMS データファイル名を指定する。
(RMS データが必要でない場合リターンを入力する。)
- レイノルズ応力データファイル名を指定する。
(レイノルズ応力データが必要でない場合リターンを入力する。)
- 3 を入力。(3 次元の意味)
- 平均操作を施す時間幅を指定したい場合は 1 を入力する。ここで 1 を入力した場合は統いて、時間幅(開始時間、終了時間)を指定する。時間幅の指定をする必要がなければ 0 を入力する。
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

注意

時間平均データ、RMS データ、レイノルズ応力データは全て GF 流れ場データとして出力されます。データ定義については 5.2.4 を参照してください。

18.3.2 bcmod

| | |
|-------|-------------------------------|
| コマンド名 | bcmod |
| 機能 | 境界データに対して様々な処理を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (省略可能) |
| | GF 境界データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 境界データファイル |

本プログラムは GF 境界データファイルを入力し、ある処理をした後に GF 境界データファイルを出力します。速度（入口流速もしくは壁面移動速度）の処理をメッシュに基づいて指定する場合は、GF メッシュファイルを入力する必要があります。他の場合は、入力を要求された際にリターンを入力することにより省略することができます。本バージョンでサポートする境界条件は、Moving wall、Wall、Symmetric、Inlet、Free、Body 条件の 6 種類です。境界の意味に関しては 5.2.2 を参照してください。本プログラムは、これらの境界条件に対して以下に示す処理をサポートします。

- ファイルコメントの変更
- 重複する境界条件の削除
- 境界条件のコピー
- 境界条件の追加
- 境界条件の削除
- 流入境界条件の指定
- 移動壁面速度の指定

以下に、それぞれの処理についての詳細を示します。

1. ファイルコメントの変更

この機能により、ファイルコメントの変更が可能です。ユーザはコメント行数とコメントを入力します。ファイルコメント数の最大数は 10 です。

2. 重複する境界条件の削除

境界面が接するエッジにおいて、境界条件を重複して指定できません。エッジにおいて境界条件が重複している例を図 18.9 の左図に示します。重複した場合、プログラム bcmod においてエラーとして認識されます。また、このような境界条件は本プログラムを用いて取り除くことができます。重複を取り除いた後の境界条件を 18.9 の右図に示します。境界条件を取り除くための境界条件の優先順位はデフォルト設定されているので、通常これを変更する必要はありません。

3. 境界条件のコピー

ある境界条件の節点リスト A(以下では、境界リストとします)を、別の境界リスト B にコピーできます。境界リスト B は境界リスト A により上書きされます。ユーザは境界リスト A、B に対応する境界条件の種類を以下に示す番号に基づいて指定します。

1. moving wall boundary
2. wall boundary
3. symmetric boundary
4. inlet boundary
5. free boundary
6. body boundary

4. 境界条件の追加

ある境界リスト A を、別の境界リスト B に追加することができます。境界リスト B のオリジナルの情報は上書きされません。ユーザは境界リスト A、B に対応する境界条件の種類を [3.] に示した番号に基づいて指定します。

5. 境界条件の削除

ある境界リスト削除することができます。ユーザは削除する境界リストに対応する境界条件の種類を [3.] に示した番号に基づいて指定します。

6. 流入境界条件の指定

入口の速度を指定することができます。指定方法として以下の二通りをサポートしています。

1. 一定速度
ユーザは速度 3 成分を一定値として指定します。
2. Z 方向の一定速度+旋回成分
ユーザは Z 方向の速度 (W) および角速度 (Ω) を指定します。流入速度の成分 $U_{INLET}, V_{INLET}, W_{INLET}$ は、以下のように算出されます。

$$\begin{aligned} U_{INLET} &= -Y\Omega \\ V_{INLET} &= X\Omega \\ W_{INLET} &= W \end{aligned}$$

この場合、GF メッシュデータの入力が必要になります。

7. 移動壁面速度の指定

移動壁面の速度を指定することができます。指定方法として以下の二通りをサポートしています。

1. 一定速度
ユーザは速度 3 成分を一定値として指定します。

2. Z 方向の一定速度+旋回成分

ユーザは Z 方向の速度 (W) および角速度 (Ω) を指定します。

$$U_{MWALL} = -Y\Omega$$

$$V_{MWALL} = X\Omega$$

$$W_{MWALL} = W$$

この場合、GF メッシュデータの入力が必要になります。

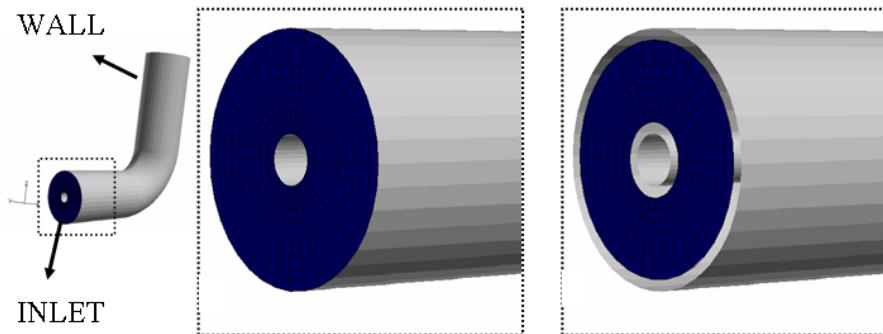


Figure 18.9: computation mesh for the curved pipe flow (left:whole domain, center: wall and inlet boundary which are duplicated, right: wall and inlet boundary which are not duplicated)

18.3.3 cpcal

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | cpcal |
| 機能 | 流れ場データを規格化する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'cpcal' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 動圧を参照する座標 (X, Y, Z) を指定する。
- 3 を入力する。(3 次元の意味)
- 出力する GF 流れ場データファイル名を指定する。

18.3.4 distf

| | |
|-------|-----------------------|
| コマンド名 | distf |
| 機能 | 流れ場に乱れ成分を加える . |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'distf' を入力する。
- 入力する GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 出力する GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 3 を入力する。(3 次元の意味)
- 速度 U に対する乱れ成分を入力する。
- 速度 V に対する乱れ成分を入力する。
- 速度 W に対する乱れ成分を入力する。
- 圧力 P に対する乱れ成分を入力する。
- 圧力に対してスケーリングが必要であれば 1 を指定し、その後スケーリング係数を入力する。スケーリングの必要がなければ 0 を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.5 frame

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | frame |
| 機能 | メッシュデータ及び流れ場データの座標系変換を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'frame' を入力する。
- 変換モードを以下の項目より選択する。
 - IMODE = 0 — 流速を変換します。
 - IMODE = 1 — 流速と格子座標を変換します。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 座標系データファイル名を指定する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 出力する GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.6 initf

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | initf |
| 機能 | 初期流れ場を作成する (マルチフレーム機能に対応) . |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 座標系データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

18.3.7 mapff

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | mapff |
| 機能 | 流れ場データのマッピングを行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (オリジナルのメッシュ) GF メッシュデータファイル (マッピングされるメッシュ) GF 流れ場データファイル (オリジナルに流れ場) |
| 出力 | 標準出力 マッピングされた GF 流れ場ファイル |

使用方法

- コマンド'mapff' を入力する。
- オリジナルの GF メッシュデータファイル名を指定する。
- マッピングされる GF メッシュデータファイル名を指定する。
- オリジナルの GF 流れ場データファイル名を指定する。
- マッピングされる GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- 領域外メッシュ検出時の処理について以下の項目より選択する。
 - 0 — 終了する。
 - 1 — 一定値を与える。

ここで 1 をした場合、(U,V,W,P) に対する一定値を指定する必要があります。

- 流れ場ファイルの時間を 0 セットしたい場合 1 を指定する。0 を指定すれば時間は変更しません。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.8 mapffx

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | mapffx |
| 機能 | 流れ場データのマッピングを行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (オリジナルのメッシュ、マルチ要素) GF メッシュデータファイル (マッピングされるメッシュ、マルチ要素) GF 流れ場データファイル (オリジナルに流れ場) |
| 出力 | 標準出力 マッピングされた GF 流れ場ファイル |

使用方法

- コマンド' mapffx ' を入力する。
- オリジナルの GF メッシュデータ (マルチ要素) ファイル名を指定する。
- マッピングされる GF メッシュデータファイル名を指定する。
- オリジナルの GF 流れ場データファイル名を指定する。
- マッピングされる GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- 領域外メッシュ検出時の処理について以下の項目より選択する。
 - 0 — 終了する。
 - 1 — 一定値を与える。

ここで 1 をした場合、(U,V,W,P) に対する一定値を指定する必要があります。

- 流れ場ファイルの時間を 0 セットしたい場合 1 を指定する。0 を指定すれば時間は変更しません。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.9 mapff2

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | mapff |
| 機能 | 流れ場データのマッピングを行う。(六面体・四面体を両方サポート) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (オリジナルのメッシュ) GF メッシュデータファイル (マッピングされるメッシュ) GF 流れ場データファイル (オリジナルに流れ場) |
| 出力 | 標準出力 マッピングされた GF 流れ場ファイル |

使用方法

- コマンド' mapff2' を入力する。
- オリジナルの GF メッシュデータの種類を指定する。 (1:六面体、:2 四面体)
- オリジナルの GF メッシュデータファイル名を指定する。
- マッピングされる GF メッシュデータの種類を指定する。 (1:六面体 , :2 四面体)
- マッピングされる GF メッシュデータファイル名を指定する。
- オリジナルの GF 流れ場データファイル名を指定する。
- マッピングされる GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- 領域外メッシュ検出時の処理について以下の項目より選択する。
 - 0 — 終了します。
 - 1 — 一定値を与えます。
 - 2 — 最も近い点の値を適用します。

ここで 1 とした場合 , (U,V,W,P) に対する一定値を指定する必要があります。

- 流れ場ファイルの時間を 0 セットしたい場合 1 を指定する。0 を指定すれば時間は変更しません。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.10 merge

| | |
|-------|---------------------------------------|
| コマンド名 | merge |
| 機能 | メッシュデータ中の節点を結合する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

18.3.11 order

| | |
|-------|---------------------|
| コマンド名 | order |
| 機能 | GF 表面データの並び換えを行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF 表面圧力ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 表面圧力ファイル |

使用方法

- コマンド'order' を入力する。
- 機能について、以下の項目より選択する。
 - 0 — ノードデータを表示します。
 - 1 — データの並び換えを行います。
- 入力する GF 表面データファイル名を指定する。
- 出力する GF 表面データファイル名を指定する。
この処理は、データの並び換えを行った場合のみ必要になります。
- 出力モードを以下の項目より選択する。
 - 1 — アスキー
 - 2 — バイナリー (Fortran の Unformatted)

この処理は、データの並び換えを行った場合にのみ必要です。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータを再入力することができます。)

18.3.12 renum

| | |
|-------|-----------------------------|
| コマンド名 | renum |
| 機能 | メッシュデータ中の要素を、位置情報に従って並べ換える。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル |

使用方法

- コマンド'renum'を入力する。
- 入力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータ の再入力することができます。)

18.3.13 rfndtx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | rfndtx |
| 機能 | メッシュにリファイン機能を適用し、2倍の解像度を持つメッシュを生成する（メッシュの要素数は8倍となる）。（マルチ要素版） |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | リファイン後 GF メッシュデータファイル リファイン後 GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'rfndtx' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 出力するリファイン後の GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力するリファイン後の GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ1を入力、0を入力すればパラメータの再入力することができます。）

18.3.14 rrmelm

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | rrmelm |
| 機能 | メッシュデータ中の要素より、特定の要素を削除する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 座標系データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'rrmelm' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
- GF 座標系データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

メッシュデータ及び境界条件データは上書きされるので注意してください。

18.3.15 rmnd1

| | |
|-------|---------------------------------------|
| コマンド名 | rmnd1 |
| 機能 | メッシュデータ中の参照されていない節点と境界条件を削除する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'rmnd1' を入力する。
- 入力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 入力する GF 境界条件データファイル名を指定する。
- 出力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力する GF 境界条件データファイル名を指定する。

18.3.16 rmnd2

| | |
|-------|---------------------------------------|
| コマンド名 | rmnd2 |
| 機能 | メッシュデータ中の他の節点と接続していない節点を削除する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'rmnd2' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- 処理を続行するために 1 を入力する。
メッシュデータ及び境界条件データは上書きされるので注意してください。
ここで 0 を入力すれば、プログラムは終了します。

18.3.17 rmsff

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | rmsff |
| 機能 | 流れ場の RMS データの時間平均をとる . |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データ (流体解析プログラムにより出力された RMS データ) |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データ (流体解析プログラムにより出力された RMS データ) |

使用方法

- コマンド'rmsff' を入力する。
- ファイル中に RMS データを含んだ GF 流れ場データを必要な数だけ入力する。最期にリターンを入力することによりファイル名の入力が終了する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.18 rotate

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | rotate |
| 機能 | レイノルズ応力を回転する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF-RMS データファイル GF-STRESS データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF-RMS データファイル GF-STRESS データファイル |

使用方法

- コマンド'scale' を入力する。
- 入力する GF メッシュデータファイルを指定する。
- 入力する GF-RMS データファイルを指定する。
- 入力する GF-STREE データファイルを指定する。
- 出力する GF-RMS データファイルを指定する。
- 出力する GF-STREE データファイルを指定する。
- 回転角度を入力する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.3.19 scale

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | scale |
| 機能 | メッシュデータ及び流れ場データをスケーリングする。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'scale' を入力する。
- GF メッシュデータファイルを指定する。
- GF 流れ場データファイルを指定する。
- 座標に対するスケールファクターを入力する。
- 速度場に対するスケールファクターを入力する。
- 圧力場に対するスケールファクターを入力する。
- 温度場に対するスケールファクターを入力する。
- 液体体積率に対するスケールファクターを入力する（キャビテーション解析の場合に必要となります。液体体積率のデータを扱っていないければ0を入力してください）。
- 湍粘性に対するスケールファクターを入力する（熱輸送解析の場合に必要となります。温度のデータを扱っていないければ0を入力してください）。
- 流れ場データの時間データに関して以下の項目より選択する。
 - 0— 0 セットします。
 - 1— 変更しません。
- 出力する GF メッシュデータファイルを指定する。
- 出力する GF 流れ場データファイルを指定する。

18.3.20 scalelet

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | scalet |
| 機能 | メッシュデータ及び流れ場データをスケーリングする。(四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'scale' を入力する。
- GF メッシュデータファイルを指定する。
- GF 流れ場データファイルを指定する。
- 座標に対するスケールファクターを入力する。
- 速度場に対するスケールファクターを入力する。
- 圧力場に対するスケールファクターを入力する。
- 圧力場に対するスケールファクターを入力する。
- 液体体積率に対するスケールファクターを入力する(キャビテーション解析の場合に必要となります。液体体積率のデータを扱っていないければ0を入力してください)。
- 温度に対するスケールファクターを入力する(熱輸送解析の場合に必要となります。温度のデータを扱っていないければ0を入力してください)。
- 涡粘性に対するスケールファクターを入力する(DES 解析の場合に必要となります。渦粘性のデータを扱っていないければ0を入力してください)。
- 流れ場データの時間データに関して以下の項目より選択する。
 - 0—0 セットします。
 - 1—変更しません。
- 出力する GF メッシュデータファイルを指定する。
- 出力する GF 流れ場データファイルを指定する。

18.3.21 sampl

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | sampl |
| 機能 | 流れ場データよりサンプリング点のデータを抽出する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 流れ場データファイル サンプリング点データ (アスキーファイル) |
| 出力 | 標準出力 サンプリング結果 (アスキーファイル) |

使用方法

- コマンド'sampl' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- サンプリング点ファイル名を指定する。
- サンプリング結果ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

本プログラム'sampl' で入力されるサンプリング位置に関するファイルおよびサンプリング結果に関する出力ファイルはいずれも、単純なアスキーファイルである。図 18.10、18.11 にその例を示します。入力データファイルにおいては、1 行目にサンプリングデータ数を示し、この後に座標 3 成分を指定します。出力データファイルにおいては、座標 3 成分、速度 3 成分、圧力、液体体積率、温度、渦粘性係数が出力されます。図 18.11 の結果は熱輸送解析のデータからサンプリングしたものです。図 18.11 では、紙面の都合で、5 列目以降を省略 しています。

```

5
0.5 0.5 0.01
0.5 0.5 0.20
0.5 0.5 0.40
0.5 0.5 0.60
0.5 0.5 0.80

```

Figure 18.10: sample data of sampling coordinate of 'sampl'

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|---------|
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.10000E-01 | -0.76083E-02 | |
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.20000E+00 | -0.57419E-01 | |
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.40000E+00 | -0.97693E-02 | 5列目以降省略 |
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.60000E+00 | 0.11253E-01 | |
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.80000E+00 | 0.56872E-01 | |

Figure 18.11: sample data of output data of 'sampl'

18.3.22 samplt

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | samplt |
| 機能 | 流れ場データよりをサンプリング点のデータを抽出する。(四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (四面体要素) GF 流れ場データファイル サンプリング点データ (アスキーファイル) |
| 出力 | 標準出力 サンプリング結果 (アスキーファイル) |

使用方法

- コマンド'samplt' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定 (四面体要素) する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- サンプリング点ファイル名を指定する。
- サンプリング結果ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

本プログラム'samplt' で入力されるサンプリング位置に関するファイルおよびサンプリング結果に関する出力ファイルはいずれも、単純なアスキーファイルであり、フォーマットはプログラム'sampl' と同じです。フォーマットに関しては 18.3.21 節を参照ください。

18.3.23 samplx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | samplx |
| 機能 | 流れ場データよりサンプリング点のデータを抽出する。(マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル (マルチ要素) GF 流れ場データファイル サンプリング点データ (アスキーファイル) |
| 出力 | 標準出力 サンプリング結果 (アスキーファイル) |

使用方法

- コマンド'samplx' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定 (マルチ要素) する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- サンプリング点ファイル名を指定する。
- サンプリング結果ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

本プログラム'samplx' で入力されるサンプリング位置に関するファイルおよびサンプリング結果に関する出力ファイルはいずれも、単純なアスキーファイルであり、フォーマットはプログラム'sampl' と同じです。フォーマットに関しては 18.3.21 節を参照ください。

18.3.24 setff

| | |
|-------|------------------------|
| コマンド名 | setff |
| 機能 | 一定の値をもつ流れ場データを作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド' setff' を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 速度、圧力に関する一定値を入力する。:U0,V0,W0,P0

18.3.25 updown

| | |
|-------|------------------------|
| コマンド名 | updwon |
| 機能 | メッシュ上下を逆転させる。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル |

使用方法

- コマンド' updown' を入力する。
- 入力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 出力する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.4 履歴データ関係の処理

Table 18.5: 周辺プログラム機能 (4/7)

| 名前 | 機能 |
|--------|--|
| frameh | 計算された流体力の座標変換を行う。 |
| hscat | 履歴データに対して様々な処理を行う。 |
| hsmrg | 並列計算のさい各 CPU が出力した履歴データをひとつの履歴データにまとめる。(les3d.mpi 用) |
| hsmrgi | 並列計算のさい各 CPU が出力した履歴データをひとつの履歴データにまとめる。(les3c.mpi 用) |

18.4.1 frameh

| | |
|-------|----------------------|
| コマンド名 | frameh |
| 機能 | 計算された流体力の座標変換を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF 履歴データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 履歴データファイル |

使用方法

- コマンド'frameh' を入力する。
- 入力する GF 履歴データファイル名を指定する。
- 角速度 Ω を入力する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)
- 出力する GF 履歴データファイル名を指定する。

実際、流体力 (F_x, F_y, F_z) に対して以下に示す変換が行われます。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}_{rotational} = \begin{pmatrix} \cos(\Omega t) & -\sin(\Omega t) & 0 \\ \sin(\Omega t) & \cos(\Omega t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}_{statinal}$$

ここで Ω は角速度です。

18.4.2 hscat

| | |
|-------|--------------------------------------|
| コマンド名 | hscat |
| 機能 | 履歴データに対して様々な処理を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF 履歴データ GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 履歴データ (もしくは単純なアスキーデータ) |

プログラム 'hscat' はひとつもしくは複数の GF 履歴データファイルを読み込み、入力データに様々な処理を施し後に GF 履歴データファイルもしくは単純なアスキーデータを出力します。以下に本プログラムがサポートする処理を示します。

0. 処理なし

GF 履歴データファイルのフォーマットの変換(アスキー バイナリ)を行ったり、連続する GF 履歴データファイルをつなげあわせたりする場合にこの機能を用います。

1. 数式処理

入力したデータに対して、以下に示す数式処理を行うことができます。

- (1) 三角関数 $\cos':: \cos(F_i)$
- (2) 三角関数 $\sin':: \sin(F_i)$
- (3) 指数計算 :: $\exp(F_i)$
- (4) 対数計算 :: $\log_{10}(F_i)$
- (5) 足し算 :: $a + \sum_j (b_j F_{i,j})$
- (6) かけ算 :: $a F_i^b$

ここで F_i , $F_{i,j}$ は入力した履歴データであり、'a', 'b' はユーザが必要に応じて入力するパラメータです。また'i' は時間方向の添字を意味し、'j' は履歴データの種類を示す添字です。

2. スムージング

多項式近似曲線を用いて、履歴データのスムージングを行います。ユーザは多項式近似を行う際の点数 (=NPOINT) を指定する必要があります。点数 (=NPOINT) は 5 から 25 の値で設定可能です。履歴データの両端から (NPOINT/2) 点はスムージングされないので注意してください。

3. 微分演算

多項式近似曲線を用いて、履歴データの微分演算を行います。ユーザは多項式近似を行う際の点数 (=NPOINT) を指定する必要があります。点数 (=NPOINT) は 5 から 25 の値の奇数でなくてはなりません。誤った値が指定された場合自動的に修正されます。履歴データの両端から (NPOINT/2) 点は微分演算は行われず 0 がセットされるので注意してください。

4. 自己相関

履歴データの自己相関を計算します。自己相関の定義は以下の通りです。

$$\begin{aligned}\Phi_j &= \frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} F_i F_{i+j-1} \quad (1 \leq j \leq N') \\ N' &= \frac{NTIME}{2}\end{aligned}$$

ここで Φ は自己相関、 $NTIME$ は履歴データの時間方向のデータ数、 F は履歴データです。また ' j ' は時間差に対応しており、' $j = 1$ ' は時間差 0 を意味し、' $j = N'$ ' は最大の時間差を意味します。

5. 相互相関

履歴データの相互相関を計算します。相互相関の定義は以下の通りです。

$$\begin{aligned}\Phi_j &= \frac{1}{N'} \sum_{i=\frac{NTIME}{4}}^{\frac{NTIME}{4}+N'} F_i G_{i+j} \quad (-\frac{NTIME}{4} \leq j \leq \frac{NTIME}{4}) \\ N' &= \frac{NTIME}{2}\end{aligned}$$

ここで Φ は相互相関、 $NTIME$ は履歴データの時間方向のデータ数、 F, G は履歴データです。また ' j ' は時間差に対応しており、' $j = -\frac{NTIME}{4}$ ' は負の方向の最大の時間差を意味し、' $j = \frac{NTIME}{4}$ ' は正の方向の最大の時間差を意味します。

相互相関を計算するために、ユーザは履歴データのペア数及びそのデータ番号を指定する必要があります。

6. パワースペクトル

履歴データのパワースペクトルを計算します。本プログラムはパワースペクトルの計算方法として以下に示す 3 通りの方法をサポートしています。

- (1) 履歴データのフーリエ変換
- (2) 自己相関のフーリエ変換
- (3) Burg のアルゴリズムに基づく Maximum-Entropy 法

ユーザは以下に示すパラメータを指定することにより、パワースペクトルの計算方法を制御できます。

- ITYPE
パワースペクトル計算アルゴリズムの上記の項目より選択
- JBOUND
時間幅の設定フラグ。ここで 1 が指定された場合、ユーザは取扱う時間幅設定することができます。
- NSKIP
処理を行う前にデータを間引きすることができます。ここで NSKIP=1 なら、間引きはされません。

- NDATA

1回のパワースペクトル計算する用いる履歴データ数。データ数'NDATA'は以下に従わなくてはなりません。

$$NDATA = 2^n \quad , \quad 3 \leq n \leq 12$$

実際'NDATA'として入力できる値は'8,16,32,64,128,256,512,1024,2048,4096'のうちのいずれかです。またデータ数'NDATA'は実際の履歴データ以下でなくてはなりません。

- JSMT

スムージングフラグ。ここで1が指定された場合、処理を行う前に多項式曲線近似によるスムージングが行われます。この場合ユーザは多項式近似に必要なデータ数(5→25)を指定する必要があります。

- JWIND

ウインドウ関数フラグ。ここで1が指定された場合、処理を行う前にHanning-Windowが施されます。このフラグは履歴データのフーリエ変換を行う場合のみ指定する必要があります。

7. コヒーレンス

履歴データのコヒーレンスを計算します。ユーザはパラメータ'JBBOUN, NSKIP, NDATA, JSMT, JWIND'を指定する必要があります。パラメータの意味はパワースペクトルに対するパラメータと同一です。また上記パラメータに加え、履歴データのペア数及びそのデータ番号を指定する必要があります。

18.4.3 hsmrg

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | hsmrg |
| 機能 | 解析ソルバー les3d.mpi による並列計算のさい各 CPU が出力した履歴データをひとつの履歴データにまとめる。 |
| 入力 | 標準入力 GF 履歴データ |
| 出力 | 標準出力 GF 履歴データ |

使用方法

- コマンド' hsmrg ' を入力する。
- GF 履歴データファイル名を指定する。
 注意
 ここでは、分割ファイルの拡張子'.PXXXX' を指定する必要はありません。
- 結合した GF 履歴データファイル数を指定する。

18.4.4 hsmrgi

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | hsmrgi |
| 機能 | 解析ソルバー les3c.mpi による並列計算のさい各 CPU が出力した履歴データをひとつの履歴データにまとめる。 |
| 入力 | 標準入力 GF 履歴データ |
| 出力 | 標準出力 GF 履歴データ |

使用方法

- コマンド' hsmrgi ' を入力する。
- GF 履歴データファイル名を指定する。
 注意
 ここでは、分割ファイルの拡張子'.PXXXX' を指定する必要はありません。
- 結合した GF 履歴データファイル数を指定する。

18.5 並列計算関係の処理

Table 18.6: 周辺プログラム機能 (5/7)

| 名前 | 機能 |
|-------------|---|
| attrd | 座標系データの領域分割を行う . |
| ddelm | |
| ddelmt | |
| ddrgb | 領域分割データを自動作成する . |
| ddrgbt | 領域分割データを自動作成する . (四面体版) |
| ddrgbx | 領域分割データを自動作成する . (マルチ要素版) |
| overd | オーバーセットデータを領域分割する . |
| partd | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを領域分割する . |
| partdt | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを領域分割する . (四面体要素版) |
| partdx | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを領域分割する . (マルチ要素版) |
| partdx_rcap | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを領域分割する . (マルチ要素版、REVOCAP フォーマット用) |
| setcc | 周期境界条件の情報を GF 領域分割ファイル (DDD ファイル) に反映させる . (周期条件を含む並列計算にはこの処理が必須) |
| unifp | 領域分割された GF 表面圧力ファイルを結合する . |
| unifu | 領域分割された流れ場データを結合する . 流れ場データとして非定常データにも対応する . |
| unify | 領域分割されたメッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを結合する . |
| unifyt | 領域分割されたメッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを結合する . (四面体要素版) |

18.5.1 attrd

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | attrd |
| 機能 | 座標系データの領域分割を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF 座標系データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 座標系データファイル |

使用方法

- コマンド'attrd' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF 座標系ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.2 ddrgb

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | ddrgb |
| 機能 | Recursive Graph Bisection(RGB) 法に基づき領域分割データを自動作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'ddrgb' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.3 ddrgbt

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | ddrgbt |
| 機能 | Recursive Graph Bisection(RGB) 法に基づき領域分割データを自動作成する。(四面体版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'ddrgbt' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。(四面体要素データ)
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.4 ddrgbx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | ddrgbx |
| 機能 | Recursive Graph Bisection(RGB) 法に基づき領域分割データを自動動作成する。(マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'ddrgbx' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。(マルチ要素データ)
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.5 ddelm

| | |
|-------|-------------------------|
| コマンド名 | ddrgb |
| 機能 | 要素番号に基づき領域分割データを自動作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'ddelm'を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ1を入力、0を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.6 ddelmt

| | |
|-------|-------------------------------|
| コマンド名 | ddrgb |
| 機能 | 要素番号に基づき領域分割データを自動作成する。(四面体版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'ddelmt' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。(四面体要素データ)
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.7 metish

| | |
|-------|-------------------------------------|
| コマンド名 | metish |
| 機能 | METIS に基づき領域分割データを自動作成する (六面体要素版) . |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'metish' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。 (六面体要素データ)
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。 (省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、 0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.8 metist

| | |
|-------|---------------------------------|
| コマンド名 | metist |
| 機能 | METIS に基づき領域分割データを自動作成する。(四面体版) |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'metist'を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。(四面体要素データ)
- GF 領域分割データファイル名を指定する。
- 分割数を指定する。
- GF 領域分割データファイル名に書きこまれるコメントを入力する。(省略したければリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.9 overd

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | overd |
| 機能 | オーバーセットデータを領域分割する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF オーバーセットデータファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF オーバーセットデータファイル |

使用方法

- コマンド'overd' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF オーバーセットデータファイル名を入力する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.10 partd

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | partd |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを領域分割する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF メッシュデータファイル 領域分割された GF 境界条件ファイル 領域分割された GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'partd' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を指定する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 0 を入力
- 0 を入力
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.11 partdt

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | partdt |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを領域分割する。 (四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF メッシュデータファイル 領域分割された GF 境界条件ファイル 領域分割された GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'partdt' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を指定する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 0 を入力
- 0 を入力
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.12 partdx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | partdx |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを領域分割する。 (マルチ要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF メッシュデータファイル 領域分割された GF 境界条件ファイル 領域分割された GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'partdx' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を指定する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 0 を入力
- 0 を入力
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.13 partdx_rcap

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | partdx_rcap |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを領域分割する。 (マルチ要素版、REVOCAP フォーマット用) |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF メッシュデータファイル 領域分割された GF 境界条件ファイル 領域分割された GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'partdx_rcap' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を指定する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 0 を入力
- 0 を入力
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.14 setcc

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | setcc |
| 機能 | 周期境界条件の情報を GF 領域分割ファイル (DDD ファイル) に反映させる。 (周期条件を含む並列計算にはこの処理が必須) |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF 境界条件ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 領域分割データファイル |

使用方法

- コマンド'`setcc'` を入力する。
- GF 領域分割データファイル名を入力する。
- 入力する GF 境界条件データファイル名を入力する。
- 出力する GF 境界条件データファイル名を入力する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、 0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.15 unifp

| | |
|-------|---------------------------|
| コマンド名 | unifp |
| 機能 | 領域分割された GF 表面圧力ファイルを結合する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 表面圧力ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 表面圧力ファイル |

使用方法

- コマンド'unifp' を入力する。
- GF 表面圧力ファイルを指定する。
- 結合するファイル数を入力する。
- 結合する GF 表面圧力ファイルの領域番号を入力する。
- 0 を入力する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

18.5.16 unifu

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | unifu |
| 機能 | 領域分割された流れ場データを結合する。流れ場データとして非定常データにも対応する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'unifu' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF 流れ場データファイル名を入力する。
- 0 を入力する。
- 指定したパラメータの確認（0 を入力すればパラメータを再入力することができます。ここまで入力したパラメータに変更の必要がなく、流れ場データにオプション変数（液体体積率、温度、渦粘性）が記録されていなければ1 を入力します。オプション変数が記録されている流れ場データであれば2 を入力します。以後の操作はここで2 を入力した場合にだけ必要です。）
- 液体体積率を読み込む場合、1 を指定する。
- 温度を読み込む場合、1 を指定する。
- 渦粘性係数を読み込む場合、1 を指定する。

18.5.17 unify

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | unify |
| 機能 | 領域分割されたメッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを結合する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'`unify`' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.5.18 unifyt

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | unify |
| 機能 | 領域分割されたメッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを結合する。(四面体要素版) |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'unifyt' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF メッシュデータファイル名を指定する。
(メッシュデータの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 境界条件データファイル名を指定する。
(境界条件データの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- GF 流れ場データファイル名を指定する。
(流れ場データの結合を省略したい場合ここでリターンを入力してください。)
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.6 マルチフレーム・オーバーセット関係の処理

Table 18.7: 周辺プログラム機能 (6/7)

| 名前 | 機能 |
|----------|---|
| attrs | 座標系データを作成する. |
| setdi | 動的オーバーセットファイルを作成する . |
| setsi | 静的オーバーセットファイルを作成する . |
| setsix | 静的オーバーセットファイルを作成する (マルチ要素用) . |
| stack | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを結合する . |
| stackx | メッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを結合する (マルチ要素用) . |
| unstack | 周辺プログラム`stack`により結合されたメッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを分割する . |
| unstackx | 周辺プログラム`stackx`により結合されたメッシュデータ, 境界条件データ及び流れ場データを分割する (マルチ要素用) . |

18.6.1 attrs

| | |
|-------|------------------------|
| コマンド名 | attrs |
| 機能 | 座標系データを作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 座標系データファイル |

使用方法

- コマンド'attrs' を入力する。
- GF メッシュファイル名及び座標系番号を指定する。(座標系番号の定義は 21.2.2 節を参照してください。)
- 上記操作を全てのメッシュデータについて行う。(メッシュデータの指定順序は'stack' する時と同じ順序にします。)
- 全てのメッシュデータについての指定が終了したらリターンキーを入力する。
- GF 座標系データファイル名を指定する。

18.6.2 setdi

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | setdi |
| 機能 | 動的オーバーセットファイルを作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル 静的 GF オーバーセットデータファイル |
| 出力 | 標準出力 動的 GF オーバーセットデータファイル |

使用方法

- コマンド' setdi ' を入力する。
- オーバーセットする領域数を入力する。
- パラメータ'NTIME'、'TINIT'、'DT'、'INTSV' を入力する。
パラメータの意味については 7.2.5 で詳しく説明しているのでそちらを参照ください。
- GF メッシュデータファイル名、GF 境界条件データファイル名及び指定した領域に対する座標系の速度、角速度 ('U'、'V'、'W'、'OMEGA') を指定する。
上記の入力を全てのデータ (=領域数) に関して繰り返します。
- 入力する静的オーバーセットデータファイル名を指定する。
動的オーバーセットデータを作成する場合、必ずそれに対応する静的オーバーセットデータが必要です。詳しくは 7.2.5 を参照してください。
- 出力する動的オーバーセットデータファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- オーバーセット領域のマージンが十分でない場合の処置について、以下の項目から選択する。
 - 0— 終了します。
 - 1— 無視して続行します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.6.3 setsi

| | |
|-------|---------------------------|
| コマンド名 | setsi |
| 機能 | 静的オーバーセットファイルを作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 静的 GF オーバーセットファイル |

使用方法

- コマンド'setsi' を入力する。
- オーバーセットする領域数を入力する。
- GF メッシュデータファイル名、GF 境界条件データファイル名を指定する。
上記の入力を全てのデータ (=領域数) に関して繰り返します。
- 出力する静的オーバーセットデータファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- オーバーセット領域のマージンが十分でない場合の処置について、以下の項目から選択する。
 - 0— 終了します。
 - 1— 無視して続行します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

18.6.4 setsix

| | |
|-------|-------------------------------|
| コマンド名 | setsix |
| 機能 | 静的オーバーセットファイルを作成する (マルチ要素用) . |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 静的 GF オーバーセットファイル |

使用方法

- コマンド'setsix' を入力する。
- オーバーセットする領域数を入力する。
- GF メッシュデータファイル名、GF 境界条件データファイル名を指定する。
上記の入力を全てのデータ (=領域数) に関して繰り返します。
- 出力する静的オーバーセットデータファイル名を指定する。
- 0 を入力する。
- 0 を入力する。
- オーバーセット領域のマージンが十分でない場合の処置について、以下の項目から選択する。
 - 0— 終了します。
 - 1— 無視して続行します。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

18.6.5 stack

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | stack |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを結合する。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'stack' を入力する。
- 結合するデータ種類を以下の項目より選択する。
 - 1 — メッシュデータのみ
 - 2 — メッシュデータ及び境界条件データ
 - 3 — メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データ
- 上記選択に応じて、必要な入力ファイル名を指定する。また、この際メッシュデータのオフセット値を指定することができる。オフセットが必要な場合はオフセット値として(0.0,0.0,0.0)を入力する。上記の入力を、全てのデータ(=領域数)に関して繰り返す。
- 必要なファイルを全て指定したら、リターンを入力することによりファイル名の入力を終了する。
- 結合する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- (必要に応じて) 結合する GF 境界条件データファイル名を指定する。
- (必要に応じて) 結合する GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認(パラメータが正しければ1を入力、0を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.6.6 stackx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | stackx |
| 機能 | メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを結合する (マルチ要素用) . |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'stackx' を入力する。
- 結合するデータ種類を以下の項目より選択する。
 - 1 — メッシュデータのみ
 - 2 — メッシュデータ及び境界条件データ
 - 3 — メッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データ
- 上記選択に応じて、必要な入力ファイル名を指定する。また、この際メッシュデータのオフセット値を指定することができる。オフセットが必要な場合はオフセット値として(0.0,0.0,0.0)を入力する。上記の入力を、全てのデータ (=領域数) に関して繰り返す。
- 必要なファイルを全て指定したら、リターンを入力することによりファイル名の入力を終了する。
- 結合する GF メッシュデータファイル名を指定する。
- (必要に応じて) 結合する GF 境界条件データファイル名を指定する。
- (必要に応じて) 結合する GF 流れ場データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.6.7 unstack

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | unstack |
| 機能 | 周辺プログラム'stack'により結合されたメッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを分割する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データファイル GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'unstack' を入力する。
- 結合された GF メッシュデータファイル名を入力する。
- (ステップ-1)GF メッシュデータファイル名を入力する。
- 上記した GF メッシュデータに対応する GF 流れ場データファイル名を入力する。
- ステップ-1 にもどる。リターンを入力すればプログラムは終了する。

注意 :

プログラム'unstack'においては、指定する GF メッシュデータファイル名の順番が重要です。ファイル指定の順番はプログラム'stack'で GF メッシュデータを結合した時と同じ順番を指定しなければなりません。

18.6.8 unstackx

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | unstackx |
| 機能 | 周辺プログラム'stackx'により結合されたメッシュデータ、境界条件データ及び流れ場データを分割する(マルチ要素用)。 |
| 入力 | 標準入力 GF 流れ場データファイル GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 流れ場データファイル |

使用方法

- コマンド'unstackx'を入力する。
- 結合された GF メッシュデータファイル名を入力する。
- (ステップ-1)GF メッシュデータファイル名を入力する。
- 上記した GF メッシュデータに対応する GF 流れ場データファイル名を入力する。
- ステップ-1にもどる。リターンを入力すればプログラムは終了する。

注意 :

プログラム'unstackx'においては、指定する GF メッシュデータファイル名の順番が重要です。ファイル指定の順番はプログラム'stack'で GF メッシュデータを結合した時と同じ順番を指定しなければなりません。

18.7 その他

Table 18.8: 周辺プログラム機能 (7/7)

| 名前 | 機能 |
|--------|---|
| cavty | 立方体の計算領域をもつ cavity-flow を計算するためのメッシュデータ及び境界条件を作成する . |
| cavtyt | 立方体の計算領域をもつ cavity-flow を計算するためのメッシュデータ及び境界条件を作成する . (四面体版) |
| gfcat | 汎用的に GF ファイルの編集 , 接続 , 変換 (バイナリ アスキー) を行う . |
| gfsep | GF ファイルをデータセット毎に分割する . |

18.7.1 cavty

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | cavty |
| 機能 | 立方体の計算領域をもつ cavity-flow を計算するためのメッシュデータ及び境界条件を作成する。 |
| 入力 | 標準入力 |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'cavty' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- 分割数 N を指定する。
上記分割数 N は立方体計算領域の一辺について定義されています。従って要素数及び節点数の総数はそれぞれ $N_d^3, (N_d + 1)^3$ です。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

18.7.2 cavtyt

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | cavty |
| 機能 | 立方体の計算領域をもつ cavity-flow を計算するためのメッシュデータ及び境界条件を作成する。 (四面体版) |
| 入力 | 標準入力 |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル |

使用方法

- コマンド'cavtyt' を入力する。
- GF メッシュファイル名を指定する。
- GF 境界条件ファイル名を指定する。
- X , Y , Z 方向の分割数 (N_x, N_y, N_z) を指定する。
四面体要素は $N_x \times N_y \times N_z$ の六面体要素をそれぞれ 6 分割して作成される。従って要素数及び節点数の総数はそれぞれ $6N_x N_y N_z, (N_x+1)(N_y+1)(N_z+1)$ です。
- X , Y , Z 方向の格子幅 (d_x, d_y, d_z) を指定する。

18.7.3 gfcat

| | |
|-------|--------------------------------------|
| コマンド名 | gfcat |
| 機能 | 汎用的に GF ファイルの編集、接続、変換(バイナリ アスキイ)を行う。 |
| 入力 | 標準入力 GF file |
| 出力 | 標準出力 GF file |

使用方法

- コマンド'gfcat' を入力する (ステップ-00)。
- ファイル出力モードを以下の項目より選択する (ステップ-01)。
 - 0— なにも出力しない。
 - 1— ユーザが選択したデータのみ出力する。
 - 2— 全ての入力データを出力する。
 - 999— (ここで'gfcat' を終了する。)
- 入力するファイル数を指定する (ステップ-02)。
- ステップ-02 で指定した数だけ入力 GF ファイル名を指定する (ステップ-03)。
- 出力 GF ファイル名を指定する (ステップ-04)。
出力ファイルがない場合、すなわちステップ-01 で 0 を指定した場合この処理はスキップされます。
- 出力モードを以下の項目より選択する (ステップ-05)。
 - 1— アスキイ
 - 2— バイナリー (Fortran の Unformatted)
 - 999— (ここで'gfcat' を終了する。)

出力ファイルがない場合、すなわちステップ-01 で 0 を指定した場合この処理はスキップされます。
- 入力データ概要の出力について、以下の項目より選択する (ステップ-06)。
 - 1— 出力しない。
 - 2— 出力する。
 - 999— (ここで'gfcat' を終了する。)
- GF ファイル中のコメントについて、以下の項目より選択する (ステップ-07)。
 - 0— 出力しない。
 - 1— ファイルよりコメントを入力する。

- 2— 入力ファイルのコメントをそのまま使用する。
 - 3— 標準入力よりコメントを入力する。
 - 999— (ここで'gfcat' を終了する。)
- コメントを入力するための GF ファイル名を指定する (ステップ-08)。
この処理はステップ-07において 1 を指定した場合のみ必要であり、その他の場合はスキップされる。
 - GF ファイル中に Not-A-Number があった場合の処理について、以下の項目より選択する (ステップ-09)。
 - 0— なにもしない。
 - 1— Not-A-Number のかわりの 0 をセットする。
 - データを出力するかしないか選択する (ステップ-10)。
GF ファイル中の各データセット⁵のコメント及びヘッダ情報が出力されるのでデータセットを出力するなら 1 を指定し、出力しないなら 0 を指定する。上記処理を GF ファイル中の全てのデータセットについて行う。ただしこの処理はステップ-1において 1 を選択した場合のみ必要である。ステップ-1において 2 を選択した場合、自動的に全ての入力したデータが出力される。
 - 自動的にステップ-01 にもどる (ステップ-11)。
ここで 999 を指定すれば'gfcat' は終了します。

⁵GF ファイル中のデータセットの定義は 5.2 を参照してください。

18.7.4 gfsep

| | |
|-------|-----------------------|
| コマンド名 | gfsep |
| 機能 | GF ファイルをデータセット毎に分割する。 |
| 入力 | 標準入力 GF ファイル |
| 出力 | 標準出力 GF ファイル |

使用方法

- コマンド'gfsep' を入力する。
- GF ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます。)

プログラム'gfsep' は指定された GF ファイルを読み込み、ファイル中に存在するデータセット⁶をそれぞれ異なるファイルに出力します。出力ファイル名は入力ファイル名に拡張子'.Pxxxx' を加えたものです。ここで、'xxxx' は'0001' から始まる番号です。入力した GF ファイルが 10000 以上のデータセットを含んでいた場合、このプログラムはエラーメッセージを出して終了します。

⁶データセットの定義については 5.2 を参照してください。

Chapter 19

周辺プログラム（音響）

本章では、本バージョンよりあたらにサポートする音響解析機能に関連する周辺プログラムについて説明します。本機能は FFB のサブシステム FFB-A として提供されます。本機能を使用する場合は、FFB のほか、FFB-A をインストールしてください。本機能のインストール方法およびファイルシステムに関してはそれぞれ 3 章および 5 章を参照ください。

表 19.1 に音響解析関連のプログラムリストを示します。

Table 19.1: 音響解析関連の周辺プログラム機能

| 名前 | 機能 |
|---------|---|
| fva2gfa | GRIDGEN で作成したの六面体格子データを GF フォーマットに変換する。 |
| gffva3 | GF フォーマット FieldView ファイルフォーマットに変換する。 |
| gfvtka | GF フォーマットを VTK ファイルフォーマットに変換する。 |
| chkbca | 音響境界ファイルのチェック |
| bccconv | GF 境界ファイル（流体）を GF 境界ファイル（音響）に変換する。 |
| bcmoda | 境界データ（音響）の編集 |
| mksrc | 複数のモノポール音源データから音源ファイルを作成します。 |
| flfft | 流れ場データファイルから音源データファイルを作成します。 |
| partda | メッシュデータ、境界条件データ及び音源データを領域分割する。 |
| unifa | 領域分割された音場データを結合する。 |
| smpla | 指定した位置における音場を抽出する |

19.1 データフォーマット変換

19.1.1 fva2gfa

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | fva2gfa |
| 機能 | GRIDGEN で作成したの六面体格子データを GF フォーマットに変換する。 |
| 入力 | 標準入力 GRIDGEN で作成したアスキーデータ形式の六面体格子データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF メッシュデータファイル GF メッシュ境界ファイル（音響） |

使用方法

- コマンド'fva2gfa' を入力する。
- GRIDGEN で作成したのアスキーフорматで作成したファイル名を指定する。
- 指定したファイル名の確認（ファイル名が正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。）
- GF メッシュファイル名を指定する。
- 境界条件ファイル名を指定する。
- 重複した境界節点を取り除かないときは 0 を入力する。（1 を入力した場合、取り除く境界条件の優先度をデフォルト設定にするかどうかを聞かれます 0 を入力するとデフォルト設定になります（1 を入力すると境界条件の優先度を順次指定することができます）。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。）

19.1.2 gffv3a

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | attrs |
| 機能 | GF フォーマット FieldView ファイルフォーマットに変換する |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界データファイル（音響） GF 音源ファイル GF 音場ファイル |
| 出力 | 標準出力 Field View File |

使用方法

- コマンド'gffv3a' を入力する。
- GF 音響メッシュデータファイルを指定する。
- GF 音響境界データファイルを指定する。（境界条件の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- GF 音源データファイルを指定する。（音源の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- GF 音場データファイルを指定する。（音場の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- FIELDVIEW データファイル名を指定する。
- 入力ファイル間の整合性をチェックするかを指定する(0を指定するとチェックせず、それ以外はチェックする)。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ1を入力、0を入力すればパラメータの再入力することができます）。

FIELDVIEW データファイル中でそれぞれの物理量は次の FUNCTION 名で記録されています。

1. 音圧実部: REAL-PRESSURE
2. 音圧虚部: IMAG-PRESSURE
3. 音源実部: REAL-SOURCE
4. 音源虚部: IMAG-SOURCE

19.1.3 gfvtk

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | gfvtk |
| 機能 | GF フォーマットを VTK ファイルフォーマットに変換する |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュファイル GF 境界ファイル（音響） GF 音源ファイル（周波数） GF 音場ファイル |
| 出力 | 標準出力 VTK フォーマットファイル |

使用方法

- コマンド 'gfvtk' を入力する。
- GF 音響メッシュデータファイルを指定する。
- GF 音響境界データファイルを指定する。（境界条件の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- GF 音源データファイルを指定する。（音源の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- GF 音場データファイルを指定する。（音場の入力を省略したい場合ここでリターンを入力）
- VTK データファイル名を指定する。
- 入力ファイル間の整合性をチェックするかを指定する（0 を指定するとチェックせず、それ以外はチェックする）。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます）。

FIELDVIEW データファイル中でそれぞれの物理量は次の FUNCTION 名で記録されています。

1. 音圧実部: REAL-PRESSURE
2. 音圧虚部: IMAG-PRESSURE
3. 音源実部: REAL-SOURCE
4. 音源虚部: IMAG-SOURCE

19.2 データチェック

19.2.1 chkbca

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | chkbca |
| 機能 | 音響境界ファイルのチェック |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 境界データファイル（音響） |
| 出力 | 標準出力 |

使用方法

- コマンド'chkbca' を入力する。
- GF 音響メッシュファイル名を指定する。
- GF 音響境界条件ファイル名を指定する。
- 強制音響壁境界機能を用いる場合、1 を指定する。この機能を用いると、境界に存在するのに境界条件が指定されていない節点に対し、壁境界が設定されます。この機能を使用しない場合はここで0 を指定してください。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ1 を入力、0 を入力すればパラメータの再指定が可能となります。）

本プログラム 'chkbca' は以下に示す情報を出力します。

1. 境界条件の節点数とそれに対応した要素数
2. 重複する境界条件情報
3. 解析領域内部に定義された境界条件情報
4. 孤立した境界条件節点

19.3 境界条件関連

19.3.1 bccconv

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | bccconv |
| 機能 | GF 境界ファイル(流体)を GF 境界ファイル(音響)に変換する。 座標系データを作成する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 境界データファイル(流体) |
| 出力 | 標準出力 GF 境界データファイル(音響) |

使用方法

- コマンド'bccconv' を入力する。
- GF 流れ境界条件ファイル名を指定する。
- GF 音響境界条件ファイル名を指定する。
- 境界指定モードを入力する。
 - 自動モード(境界条件の変換はプログラムが自動的に行います: デフォルト)
 - 手動モード(境界条件の変換はユーザー指定します)
- 境界指定モードが 2 の場合、流体境界ごとに、音響タイプ(ITYPE)を指定して値を確認する、という処理を行います。
- 周波数を指定する。
- 周波数番号を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。)

注意 1:境界指定モードについて

自動モードでは、次に示すルール（流体境界および音響境界の対応関係）に従つて、自動的に音響境界データファイルが作成されます。

| 流れ場境界 | 音響境界 |
|-------------------|-----------------|
| INLET（流入境界） | A-NRBC（無反射境界） |
| WALL（壁面） | A-WALL（反射境界） |
| MOVING WALL（移動壁面） | A-WALL（反射境界） |
| SYMMETRIC（対称境界） | SYMMETRIC（対称境界） |
| FREE（流出境界） | A-NRBC（無反射境界） |
| CYCLIC（周期境界） | CYCLIC（周期境界） |

手動モードでは、ユーザーが、流体境界ごとに、音響境界タイプを選択することによって、音響境界データファイルを作成しなければなりません。ただし、流体の CYCLIC 境界には音響の CYCLIC 境界が自動的に選択されますので、ユーザーは指定できません。例として、流体の INLET 境界を、音響の無反射境界に指定したい場合は、以下のようなメッセージに従うことになります。

```
**IBOUN = 1 PROCESSING: 35 INLET BOUNDARY
<==流れ境界"INLET"を音響境界において何にするか選択します。

SELECT "ITYPE" (ACOUSTIC B.C. TYPE),
ITYPE=0 : NO CONVERSION TO CAA B.C.,
ITYPE=1 : REFLECTING WALL B.C.,
ITYPE=2 : NO REFLECTING WALL B.C.,
ITYPE=3 : PRESSURE B.C.,
ITYPE=4 : IMPEDANCE B.C.,
ITYPE=5 : SYMMETRIC B.C.,
ITYPE=6 : INLET B.C. (DUMMY FOR OVERSET),
ITYPE=7 : FREE B.C. (DUMMY FOR OVERSET),
2 <==音響境界として無反射境界を選択します

SELECT FROM (0,1,2)
0 : RE-SPECIFY PARAMETERS ,
1 : ABOVE PARAMETERS IS OK ,
2 : STOP WITHOUT DOING ANYTHING,
1 <==確定します
```

注意 2:周波数情報の指定について

FREQ、NFREQ に負の値を指定した場合、周波数情報は境界ファイルに出力されません。こうすることにより、境界ファイルの情報が周波数に依存しない場合、ひとつの境界条件ファイルで全ての周波数の計算に対応することが可能になります。

19.3.2 bcmoda

| コマンド名 | |
|-------|--|
| 機能 | 音響境界ファイルの編集 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル（省略可能） GF 境界データファイル（音響） |
| 出力 | 標準出力 GF 境界データファイル（音響） |

本プログラムは GF 境界データファイル（音響）を入力し、ある処理をした後に GF 境界データファイル（音響）を出力します。本バージョンでサポートする境界条件は、A-WALL（音響完全反射）、A-NRBC（音響無反射）、A-PRES（音響圧力固定）、A-IMP（音響インピーダンス）、SYMMETRIC、CYCLIC、INLET（オーバーセット作成用ダミー）およびFREE（オーバーセット作成用ダミー）条件の 8 種類です。圧力境界、インピーダンス境界に関しては、節点リストの他に、圧力、インピーダンスの値を出力します。本プログラムは、これらの境界条件に対して以下の処理をサポートします

- 周波数情報の変更
- 重複する境界条件の削除
- 境界条件のコピー
- 境界条件の追加
- 境界条件の削除
- 圧力境界条件の指定
- インピーダンス境界条件の指定

以下に、それぞれの処理についての詳細を示します。

周波数情報の変更

このプログラムによって、ユーザーは周波数及び周波数番号を再設定することができます。いずれかに負の値をセットすることにより、周波数情報をファイル出力しなくすることができます。

重複する境界条件の削除

境界面が接するエッジにおいて、境界条件を重複して指定できません。エッジにおいて境界条件が重複している例を図 12.7 の左図に示します。重複した場合、プログラム bcmoda においてエラーとして認識されます。また、このような境界条件は本プログラムを用いて取り除くことができます。重複を取り除いた後の境界条件を 12.7 の右図に示します。境界条件を取り除くための境界条件の優先順位はデフォルト設定されているので、通常これを変更する必要はありません。

境界条件のコピー

ある境界条件の節点リスト A(以下では、境界リストとします) を、別の境界リスト B にコピーできます。境界リスト B は境界リスト A により上書きされます。ユーザは境界リスト A、B に対応する境界条件の種類を以下に示す番号に基づいて指定します。

- reflect boundary
- no reflect boundary
- pressure boundary
- impedance boundary
- symmetric boundary

境界条件の追加

ある境界リスト A を、別の境界リスト B に追加することができます。境界リスト B のオリジナルの情報は上書きされません。ユーザは境界リスト A、B に対応する境界条件の種類を 3. に示した番号に基づいて指定します。

境界条件の削除

ある境界リスト削除することができます。ユーザは削除する境界リストに対応する境界条件の種類を 3. に示した番号に基づいて指定します。

圧力境界条件の指定

ユーザーは、圧力境界面の圧力値を一定値として指定することができます。

インピーダンス境界条件の指定

ユーザーは、インピーダンス境界面のインピーダンス値を一定値として指定することができます。

注意：重複削除、コピー、アペンド、削除の対象となるのは、A-WALL、A-NRBC、A-PRES、A-IMP、SYMMETRIC です。

19.4 音源作成

19.4.1 mksrc

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | mksrc |
| 機能 | 複数のモノポール音源データから音源ファイルを作成します。 |
| 入力 | 標準入力 GF 音響メッシュデータファイル モノポール音源データ（アスキーファイル） |
| 出力 | 標準出力 GF 音源データファイル |

使用方法

- コマンド'mksrc'を入力する。
- GF 音響メッシュデータファイル名を指定する。
- モノポール音源データファイル名を指定する。
- GF 音源データファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力をすることができます）。

本プログラム'mksrc'で入力されるモノポール音源情報に関するファイルは、単純なアスキーファイルです。1行目にモノポール音源データ数を示し、この後に座標3成分、モノポール音源実部、モノポール音源虚部を指定します。

```
5
0.50000E+00 0.50000E+00 0.50000E+00 1.00000E-01 0.00000E+00
0.10000E+01 0.50000E+00 0.50000E+00 2.00000E-01 0.00000E+00
0.15000E+01 0.50000E+00 0.50000E+00 3.00000E-01 0.00000E+00
0.20000E+01 0.50000E+00 0.50000E+00 2.00000E-01 0.00000E+00
0.25000E+01 0.50000E+00 0.50000E+00 1.00000E-01 0.00000E+00
```

19.4.2 flfft2

| | |
|-------|------------------------------|
| コマンド名 | flfft2 |
| 機能 | 流れ場データファイルから音源データファイルを作成します。 |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 座標系データファイル |

使用方法

- コマンド'flfft2' を入力する。
- GF CFD メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 音響メッシュデータファイル名を指定する。
- 読み込む GF 流れ場データファイル数を指定する。
- GF 流れ場データファイル名を入力する数だけ指定する。
- GF 音源データファイル名を指定する。
- 0 を入力
- 0 を入力
- 1 を入力
- サンプルデータ数を指定する。
- サンプルデータの間隔を指定する。
- 出力するデータセット数を指定する。
- 出力するデータセットの番号を指定する。
- 指定したパラメータの確認 (0 を入力すればパラメータを再入力することができます。ここまで入力したパラメータに変更の必要がない場合は 1 をしています)。

19.5 並列計算関連の処理

19.5.1 partda

| | |
|-------|---|
| コマンド名 | partda |
| 機能 | 座標系データを作成する。 |
| 入力 | GF 領域分割データファイル GF メッシュデータファイル GF 境界条件ファイル（音響） GF 音源データファイル |
| 出力 | 標準出力 領域分割された GF 音響メッシュデータファイル 領域分割された GF 音響境界条件ファイル 領域分割された GF 音源データファイル |

使用方法

- コマンド'partda' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を指定する。
- GF 音響メッシュデータファイル名を指定する。（音響メッシュデータの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。）
- GF 音響境界条件データファイル名を指定する。（音響境界条件データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。）
- GF 音源データファイル名を指定する。（音源データの入力を省略したい場合ここでリターンを入力してください。）
- 0 を入力
- 0 を入力
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます。）

19.5.2 unifa

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | unifa |
| 機能 | 領域分割された音場データを結合する。 |
| 入力 | 標準入力 GF 領域分割データファイル GF 音場データファイル |
| 出力 | 標準出力 GF 音場データファイル |

使用方法

- コマンド'unifa' を入力する。
- GF 領域分割ファイル名を入力する。
- GF 音場データファイルを入力する。
- 指定したパラメータの確認 (0 を入力すればパラメータを再入力することができます。ここまで入力したパラメータに変更の必要がない場合は 1 をしています)。

19.6 その他

19.6.1 sampla

| | |
|-------|--|
| コマンド名 | smpla |
| 機能 | 指定した位置における音場を抽出する |
| 入力 | 標準入力 GF メッシュデータファイル GF 音場データファイル サンプリング点データ（アスキーファイル） |
| 出力 | 標準出力 サンプリング結果（アスキーファイル） |

機能: 入力: 標準入力 GF 音響メッシュファイル GF 音圧ファイル
出力: 標準出力

使用方法

- コマンド 'sampla' を流力する。
- GF 音響メッシュデータファイル名を指定する。
- GF 音圧データファイル名を指定する。
- サンプリング点ファイル名を指定する。
- サンプリング結果ファイル名を指定する。
- 指定したパラメータの確認（パラメータが正しければ 1 を入力、0 を入力すればパラメータの再入力することができます）。

単純なアスキーファイルです。入力データファイルにおいては、1行目にサンプリングデータ数を示し、この後に座標 3 成分を指定します。

```
5
0.5 0.5 0.5
1.0 0.5 0.5
1.5 0.5 0.5
2.0 0.5 0.5
2.5 0.5 0.5
```

出力データファイルにおいては、座標 3 成分、座標 3 成分、音圧の実部、音圧の虚部が出力されます。

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 4.29676E-04 | 1.00372E-04 |
| 0.10000E+01 | 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 1.08225E-04 | 1.32987E-04 |
| 0.15000E+01 | 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 2.14785E-03 | 1.46948E-04 |
| 0.20000E+01 | 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 3.04180E-03 | 6.87058E-03 |
| 0.25000E+01 | 0.50000E+00 | 0.50000E+00 | 5.23506E-03 | 8.22505E-03 |

Chapter 20

外部プログラムとの接続

20.1 入力

本システムは汎用格子生成ソフトウェア'GRIDGEN'¹ のデータフォーマットをサポートしている。ユーザは周辺プログラム'fva2gf' を用いることにより'GRIDGEN' から出力されたファイルを GF フォーマットファイルに変換することができる。

以下に周辺プログラム'fva2gf' の使用方法を示す。

使用方法:

- コマンド'fva2gf' を入力
- GRIDGEN 作成したファイル名を指定
- ファイル名が正しければ 1 を入力 , 0 を入力すればファイル名を入力しなおすことができる。
- 出力される GF メッシュデータファイル名を指定 .
- 出力される GF 境界条件データファイル名を指定.
- 流入境界に対する流入速度を指定 (入力データに流入境界条件が存在する場合のみ) .
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力 , 0 を入力すればパラメータの再入力をすることができる.)

使用方法の詳細については図 18.1.1 も参照されたい。

メッシュ及び境界条件を作成するさいには以下の点に注意されたい。

¹Gridgen は Pointwise Inc 社の格子生成ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

- 作成される格子データは 8 節点をもつ六面体要素でなくてはならない .
- 作成されたデータは 'Star-CD'² モードで出力 'Star-CD' モードで出力する.
'Star-CD' モードでの出力は以下の手順で行う .
 - 'Main Menu' より 'AS/W' を選択
 - 'ANALYSIS S/W COMMANDS' より 'Select Analysis S/W' を選択
 - 'Star-CD' を選択
- 'Star-CD' と 'GF' で定義される境界条件の名前付けには表 20.1 に示される
ような違いがある .
- 作成されたデータは 'UNS/ASCII/block' フォーマットで出力する.
具体的には以下に示す作業を行う .
 - 'Main Menu' より 'Input/Output' を選択
 - 'Main Menu-Input/Output commands' より 'Grid pts/Export' を選択
 - 'SELECT GRID ENTRY' より 'FV UNS/ASCII', 'block' を選択

Table 20.1: boundary condition names corresponding to GF format

| Star-CD | GF |
|----------|--------------|
| Inlet | inlet |
| Symmetry | symmetric |
| Outlet | free |
| Wall | wall |
| Baffle | body surface |
| Transit | moving wall |

²Star-CD は英国 ComputationalDynamics 社の開発する汎用流体解析ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意されたい。本システムで GRIDGEN からデータを出力するさい、便宜上 Star-CD のデータフォーマットで出力することとする。

20.2 出力

本システムは可視化ソフトウェア'FIELDVIEW'³ , 'TECPLOT'⁴ 及び'AVS'⁵ のデータフォーマットをサポートしている. ユーザは'FFB'の周辺プログラムを用いることにより流体解析プログラム'les3d'から出力されたファイルをそれぞれの可視化ソフトウェア用のデータに変換することができる .

以下に，各可視化ソフトウェアにおける入力情報を説明する.

20.2.1 FIELDVIEW

可視化ソフトウェア FIELDVIEW 用のデータは周辺プログラム'gffv3' を用いて作成することができる . 以下に周辺プログラム'gffv3' の使用方法を示す. 使用方法:

- コマンド'gffv3' を入力
- 入力される GF メッシュデータファイル名を指定 .
- 入力される GF 境界条件データファイル名を指定 .
- 入力される GF 流れ場データファイル名を指定 .
- 出力される FIELDVIEW 用のファイル名を指定 .
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力 , 0 を入力すればパラメータの再入力をすることができる.)

使用方法の詳細については図 18.1.2 も参照されたい .

作成したデータの'FIELDVIEW'において入力する方法を以下に示す.

- 'Main Menu' より'Data Files' を選択
- 'Data Files' より'Unstructured Data Input' を選択
- 周辺プログラム'gffv3' により作成したファイルのファイル名を指定する

20.2.2 TECPLOT

可視化ソフトウェア TECPLOT 用のデータは周辺プログラム'gfplt' を用いて作成することができる . 以下に周辺プログラム'gfplt' の使用方法を示す.

使用方法:

³FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

⁴TECPLOCT は米国'AMTEC engineering' 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意されたい .

⁵AVS は米国'Advanced Visual System' 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意されたい .

- コマンド'gfplt' を入力
- 入力される GF メッシュデータファイル名を指定 .
- 入力される GF 境界条件データファイル名を指定 .
- 入力される GF 流れ場データファイル名を指定 .
- 出力される TECPLOT 用のファイル名を指定 .
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力 , 0 を入力すればパラメータの再入力をすることができる.)

作成したデータの'TECPLOT'において入力する方法を以下に示す.

- 'Main Menu' より 'File' を選択
- 'File' より 'Load Data File(s)' を選択
- 周辺プログラム'gfplt' により作成したファイルのファイル名を指定する

20.2.3 AVS

可視化ソフトウェア AVS 用のデータは周辺プログラム'gfmavs' を用いて作成することができる . 以下に周辺プログラム'gfmavs' の使用方法を示す.

使用方法:

- コマンド'gfmavs' を入力
- 入力される GF メッシュデータファイル名を指定 .
- 入力される GF 境界条件データファイル名を指定 .
- 入力される GF 流れ場データファイル名を指定 .
- 出力される AVS 用のファイル名を指定 .
- 指定したパラメータの確認 (パラメータが正しければ 1 を入力 , 0 を入力すればパラメータの再入力をすることができる.)

作成したデータの'AVS'において入力する方法を以下に示す.

- 'Main Menu' より 'File' を選択
- 'File' より 'データの読み込み' を選択
- 周辺プログラム'gfmavs' により作成したファイルのファイル名を指定する

Chapter 21

Appendix A

21.1 A. インストール時の推奨オプション

本システムはこれまで以下に示すプラットフォームでの動作実績がある .

- AIX
- HI-UX
- HI-UX/MPP on C-CUT 1024PE SR2201 (HI-UXMPP2)
- HI-UX/MPP on C-CUT 128-Node SR8000 (HI-UXMPP8)
- HP-UX
- IRIX
- 64-bit object code on IRIX (IRIX64)
- OSF1
- SunOS
- UNIX_System_V

本節では , 各プラットフォームへのインストールのさいの推奨オプションを示す .
ユーザが指定すべきオプションは以下に示すとおりである .

1. C 言語プリプロセッサおよびそのオプション (CPP,POPT) (table 21.1)
2. C 言語コンパイラ及びそのオプション (CCOM,COPT) (table 21.2)
3. Fortran コンパイル及びそのオプション (FCOM,FOPT) (table 21.3)

以下それぞれに対する推奨オプションを示す.

Table 21.1: C 言語プリプロセッサおよびそのオプション (CPP,POPT)

| system | CPP | POPT |
|---------------|------------------|--------------|
| AIX | /lib/cpp | -P |
| HI-UX | /lib/cpp | -DERR7 -P -C |
| HI-UXMPP2 | /lib/cpp | -DERR7 -P -C |
| HI-UXMPP8 | /lib/cpp | -DERR7 -P -C |
| HP-UX | /lib/cpp | -DERR7 -P |
| IRIX | /lib/cpp | -P |
| IRIX64 | /lib/cpp | -P |
| OSF1 | /lib/cpp | -P |
| SunOS | /usr/ccs/lib/cpp | -P |
| UNIX_System_V | /lib/cpp | -P |

Table 21.2: C 言語コンパイラ及びそのオプション (CCOM,COPT)

| system | CCOM | COPT |
|---------------|------|------|
| AIX | cc | |
| HI-UX | cc | -A a |
| HI-UXMPP2 | cc | -A a |
| HI-UXMPP8 | cc | -A a |
| HP-UX | cc | -A a |
| IRIX | cc | |
| IRIX64 | cc | |
| OSF1 | cc | |
| SunOS | cc | |
| UNIX_System_V | cc | |

Table 21.3: Fortran コンパイル及びそのオプション (FCOM,FOPT)

| system | FCOM | FOPT |
|---------------|--------|---|
| AIX | f77 | -O3 -qtune=pwr2 |
| HI-UX | f90 | -W0,"opt(O(s),prefetch(1))" |
| HI-UXMPP2 | f90 | -W0,"opt(O(s),fold(2)),pvec(diag(1))" |
| HI-UXMPP8 | f90 | -parallel -64 -W0,"opt(o(ss)),pvec(diag(1)),mp(procnum(8),diag(2))" |
| HP-UX | fort77 | +O4 |
| IRIX | f77 | -O2 |
| IRIX64 | f77 | -64 -O3 -C -G 0 -xgot -TENV:no_page_offset |
| OSF1 | f77 | -O5 |
| SunOS | f77 | -xarch=native64 -O5 |
| UNIX_System_V | frt | -Of -Os,-x |

21.2 B. 解析条件ファイル

21.2.1 解析条件ファイル (les3d)

流体解析プログラム'les3d'の解析条件ファイルのフォーマット及び内容を表 21.4,21.5,21.6 にまとめます。これより、各パラメータの詳細について説明します。

- IMODEL : 乱流モデルフラグ

現バージョンでは以下の乱流モデルが用意されている。

| | |
|--------|------------------------|
| IMODEL | turbulence model |
| 0 | 乱流モデルなし |
| 1 | LES: 標準スマゴリンスキーモデル |
| 2 | LES: ダイナミックスマゴリンスキーモデル |

'Large Eddy Simulation (LES)' は IMODEL=1 もしくは 2 とすることを選択されます。LES は空間平均にもとづいているため非定常な解を得ることができます。ただし、LES を行なうためには流れ場において支配的な渦を解像するだけの、空間解像度が必要となる。また流れ場の統計量を計算するために長い計算時間¹が必要となります。したがって LES を行なうためには非常に長い CPU-time が必要となります。

LES を行なうためには、数値的に最も精度のよい設定をする必要があります。² この設定及び適切な時間刻みを用いた計算において、数値発散が起きた場合次に示す順序でチェックしてください。

1. 計算領域は適切あるか。狭すぎないか。
2. 境界条件は適切であるか。
3. 格子データは適切か。

数値的な不安定に関しては、より数値的に安定な設定 (IFORM=1) に切り替えることにより抑えられます。ただし、この場合大きな渦の運動は数値粘性により抑えられてしまうので、本当の意味での LES とはいえなくなってしまい、果として得られる解は、非物理的な乱流場となってしまいます。

- IFORM : 対流項フラグ

現バージョンでは対流項の離散化に対して以下のものが用意されています。

| | |
|-------|--|
| IFROM | 対流項離散化手法 |
| 0 | normal galerkin type |
| 1 | streamline upwind petrov-galerkin type |
| 2 | time-accurate streamline upwind type |

IFORM=2 の場合が最も精度のよい解を与えますが、数値不安定を起こす場合もあります。この場合 IFORM=1 を試してください。IFORM=1 の場合、数値的には安定であるが、数値拡散が大きいため平均的な解となります。IFORM=0 は最も処理が速いですが、対流項に対し安定化処理の必要がない低レイノルズ流れの場合のみ使用が可能です。

¹一般的にいって最低数千から数百万ステップ

²具体的には対流項フラグ IFORM=2 とします。詳細は後述します。

- IOUT : 出力ファイルフラグ

IOUT に応じて以下に示すファイルが追加出力される。

| IOUT | 出力ファイルフラグ |
|------|---------------------------------------|
| 0 | 追加出力なし |
| 1 | 平均場データが追加出力される |
| 2 | 平均場データ,RMS データ及び STRESS データが追加出力されます。 |

ここで 'RMS' とは' 平均二乗平均 (root-mean-square)' のことで、'STRESS' とはレイノルズ応力のことです。

- NFRAME : マルチフレーム機能フラグ

マルチフレーム機能を制御するフラグです。本フラグには 0, -1, 1 のいづれかの値をセットします。NFRAME=0 の場合は、シングルフレームモードとなります。すなわち、全ての計算格子が同一の座標系に存在することを想定します。一方、それ以外の場合は、マルチフレームモードとなります。すなわち、計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系（もしくは加速度系）に存在することを想定します。以下に、各入力値（0, -1, 1）についての説明を示します。マルチフレームモード（NFRAME=-1 or 1）の際には、追加のパラメータ設定が必要になりますので、注意してください。

- NFRAME=0 : シングルフレームモード

全ての計算格子は、回転系に存在することを想定します。回転の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。この値を 0 にセットすれば、全ての計算格子が静止系に存在することになります。通常の計算を実行する（つまり、静止系を想定する）場合には、パラメータ'OMEGA'が 0 にセットされていることを確認してください。

- NFRAME=-1 : マルチフレームモード（静止系 + 回転系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系に存在することを想定します。シングルフレームモードと同様に、回転系の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。マルチフレーム機能を使用する場合は、各計算格子（正確には要素）がどちらの座標系に存在するかを指定する必要があります。この指定は座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）により指定しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7,21.8,21.9 を参照してください。

- NFRAME=1 : マルチフレームモード（静止系 + 加速度系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は加速度に存在することを想定します。NFRAME=-1 の場合と同様に、各計算格子の座標系を指定するため、座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）を入力しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7,21.8,21.9 を参照してください。

加速度系を扱う場合は、さらに追加のパラメータとして、加速度系における加速度ベクトルが必要となります。

- UFRAME,VFRAME,WFRAME : 座標系の速度 (もしくは加速度)

- JSET : 1 以上の場合 , オーバーセット計算が行なわれる
JSET が-1 以下の場合、想定外であるためエラー終了します。

JSET が 0 の場合、オーバーセット計算は行なわれません。

JSET が 1 以上の場合、流体解析プログラム les3d はオーバーセットファイルより、JSET ステップ毎に、あらたなオーバーセットデータを読みこみオーバーセット計算を行ないます。計算の途中で、もしオーバーセット条件ファイルに新たなデータがない(つまり最後迄読み終わった) 場合、les3d は計算終了まで、最期に読み込んだデータに基づきオーバーセット計算を行います。

- VISCM : 分子動粘性係数

- C : スマゴリンスキーニ定数

スマゴリンスキーニ定数は対象となる流れ場により異なり、一般に以下に示す値が使われています。

| C | 対象とする流れ場 |
|------|----------------------------------|
| 0.1 | for boundary layers |
| 0.15 | for wakes / jets / mixing layers |
| 0.2 | for homogeneous turbulence |

ダイナミックスマゴリンスキーモデル (IMODEL=2) ではスマゴリンスキーニ定数は局所的に決定されるのでこのパラメータは参照されません。

- DT : 時間刻み

時間刻みは計算の間、つねに一定に保たれます。

- OMEGA : (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度

座標系番号 (IFRAME=-1) である座標系は、NFRAME=0 とすることによって実行される単一座標系モードにおけるデフォルト座標系であり、z 軸の回りに角速度 OMEGA をもっていると想定されます。もちろんここで OMEGA=0.0 とすれば静止系となります。座標系番号 (IFRAME=-1) の座標系には OMEGA に応じた慣性力 (=遠心力+コリオリ力) が加えられます。

- EPS : 圧力方程式の収束判定値

- NMAX : 圧力方程式のくり返し最大数

大きな NMAX を用いれば、圧力方程式の精度はよくなるがその分計算時間は増えます。³ NMAX の想定される設定値は 20 ~ 200 である。

- ALF : 圧力方程式の緩和係数

時間刻みの 2 倍もしくはそれ以下の値を設定します。

³流体解析プログラム les3d の 1 ステップあたり、1 要素あたりの演算回数は $5000 + 100 \times NMAX$ 回です。

- NTIME : タイムステップ数
- ISTART : リスタートフラグ
ISTART=0 の場合、リスタート機能はつかわす全領域にわたって圧力 0、速度 0 の静止状態を初期条件とします。一方、ISTART=1 の場合、GF 流れ場ファイルを入力し、これを初期状態とします。
- TFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ
本システムの流れソルバーでは、流体に急な力を作用させることによる非物理的な振動や計算不安定をさけるため、時間緩和機能を備えています。すなわち、全ての境界条件を時間的に緩和します。具体的には、以下に示す境界条件が緩和されます。
 - 流入速度
 - moving-wall 境界の壁移動速度
 - 周期境界における flow-rate
 - 周期境界における圧力差
 - 角速度
 - 平行移動座標系の速度 (もしくは加速度)

時間的な緩和処理とはすなわち、次式で定義される関数をかけあわせることです。

$$1.0 - \exp \{ -\text{TIME}/\text{TFINAL} \}$$

ここで TIME は現時刻で、TFINAL は時間発展を制御するユーザ入力パラメータであります。このような諸条件の時間緩和を必要としない場合は、単純に TFINAL=0 と設定してください。この場合、上記の関数は 1 にセットされます。また、次式に示す加速度項が加えられます。

$$(U_{\text{FINAL}} - U_{\text{FRME0}}(\text{IFRM})) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(V_{\text{FINAL}} - V_{\text{FRME0}}(\text{IFRM})) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(W_{\text{FINAL}} - W_{\text{FRME0}}(\text{IFRM})) / \text{TFINAL} * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

ここで UFINAL, VFINAL 及び WFINAL はユーザ入力パラメータで UFRME0, VFRME0 及び WFRME0 は各座標系の速度です。この加速度項は前述した時間緩和する量と整合がとれています。

- UFINAL,VFINAL,WFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ
- INTFSV : 流れ場データ出力インターバル数
流れ場データ、すなわち節点定義の U,V,W および要素定義の圧力が INTFSV ステップごとに出力されます。INTFSV=0 とした場合、計算途中の流れ場データは出力されません。

- INTPSV : 物体表面圧力場データ出力インターバル数
圧力場データ、すなわち物体表面に隣接する要素で定義される圧力がINTPSVステップごとに出力されます。INTPSV=0とした場合、計算途中の圧力場データは出力されません。
 - QCCLF : 周期境界条件に対する流量
 - PCCLF : 周期境界条件に対する圧力差
流量 (QCCLF) 及び圧力差 (PCCLF) は、境界条件ファイルの周期境界条件が設定されたときのみ必要な (参照される) パラメータです。そうでない場合はダミー値を設定してください。
周期境界における圧力差 (PCCL) は、流量 (QCCL) が 0 に設定された場合意外は、与えられた流量 (QCCL) を保つように内部で決定されます。そのためパラメータファイルにおける PCCL は参照されません。流量 (QCCL) に 0 がセットされた場合は、与えられた圧力差 (PCCL) が周期境界に与えられます。
 - NSMPL : サンプリングデータ数
 - LSMPL : サンプリングデータタイプ
以下に示すサンプリングデータタイプが用意されています。
- | LSMPL | データタイプ |
|-------|------------|
| 1 | X 方向速度 (U) |
| 2 | Y 方向速度 (V) |
| 3 | Z 方向速度 (W) |
| 4 | 圧力 |
- XSMPL,YSMPL,ZSMPL : データサンプリングする位置 (X,Y,Z)

Table 21.4: パラメータファイル (PARMLES3D) のデータフォーマット

| | | | | | | |
|---------|---|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| comment | | | | | | |
| COMGEN | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| IMODEL | IDUMMY | IFORM | IOUT | NFRAME | JSET | DEFAULT |
| IFRAME | UFRAME | VFRAME | WFRAME | | | IF(NFRAME.GT.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FDUMMY | FDUMMY | FDUMMY | FDUMYY | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| VISCM | C | DT | OMEGA | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| EPS | NMAX | ALF | IDUMMY | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NTIME | ISTART | TFINAL | UFINAL | VFINAL | WFINAL | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| INTFSV | INTPSV | QCCLF | PCCLF | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NSMPL | | | | | | DEFAULT |
| LSMPL | XSMPL | YSMPL | ZSMPL | | | IF(NSMPL.GT.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEMS | (FILE NAME TO READ MESH DATA) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEBC | (FILE NAME TO READ BOUNDARY CONDITIOND) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEIF | (FILE NAME TO READ INITIAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEFF | (FILE NAME TO WRITE FINAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEHS | (FILE NAME TO WRITE TIME HISTORIES) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | IF(NFRAME.NE.0) |
| FILEAT | (FILE NAME TO READ ELEMENT ATTRIBUTE) | | | | | IF(NFRAM.GT.0) |
| comment | | | | | | IF(JSET.GE.1) |
| FILEOS | (FILE NAME TO READ OVERSET DATA) | | | | | IF(JSET.GE.1) |
| comment | | | | | | IF(IOUT.GE.1) |
| FILEAV | (FILE NAME TO WRITE AVERAGE FIELD) | | | | | IF(IOUT.GE.2) |
| comment | | | | | | |
| FILERM | (FILE NAME TO WRITE RMS FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | |
| FILEST | (FILE NAME TO WRITE STRESS FIELD) | | | | | IF(INTFSV.GE.1) |
| comment | | | | | | |
| FILEFS | (FILE NAME TO WRITE CURRENT FIELD) | | | | | IF(INTPSV.GE.1) |
| comment | | | | | | |
| FILEPS | (FILE NAME TO WRITE SURFACE PRESSURE) | | | | | |

Table 21.5: パラメータファイル (PARMLES3D) の内容説明 (1)

| 名前 | 内容 | 想定値 |
|--------|-------------------------|------------|
| IMODEL | 乱流モデルフラグ | 0,1,2 |
| IFORM | 対流項フラグ | 0,1,2 |
| IOUT | 出力ファイルフラグ | 0,1,2 |
| NFRAME | 平行移動座標系の数 | -1,0,1,2~N |
| JSET | オーバーセットフラグ | 0,2~N |
| IFRAME | 座標系番号 | |
| UFRAME | 座標系の x 方向速度 (もしくは加速度) | |
| VFRAME | 座標系の y 方向速度 (もしくは加速度) | |
| WFRAME | 座標系の z 方向速度 (もしくは加速度) | |
| VISCM | 分子粘性係数 | |
| C | スマゴリンスキーファクタ定数 | 0.1 ~ 0.2 |
| DT | 時間刻み | |
| OMEGA | (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度 | |
| EPS | 圧力方程式の収束判定値 | 0.01 |
| NMAX | 圧力方程式のくり返し最大数 | 20 ~ 200 |
| ALF | 圧力方程式の緩和係数 | DT と同じ値 |
| NTIME | タイムステップ数 | |
| ISTART | リスタートフラグ,(境界条件の時間緩和も制御) | 0,1,2 |
| TFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| UFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| VFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| WFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| INTFSV | 流れ場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| INTPSV | 物体表面圧力場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| FCCLF | 周期境界条件にたいする流量 | |
| PCCLF | 周期境界条件にたいする圧力差 | |
| NSMPL | サンプリングデータ数 | |
| LSMPL | サンプリングデータタイプ | 1,2,3,4 |
| XSMPL | サンプリングする位置 (x 座標) | |
| YSMPL | サンプリングする位置 (y 座標) | |
| ZSMPL | サンプリングする位置 (z 座標) | |

注意

- サンプルファイル中の IDUMMY,FDUMMY は将来の機能拡張のために用意されたものであり現バージョンではこの値を参照しません。それぞれダミーの整数および実数を設定してください。
- IFRAME,UFRAME,VFRAME,WFRAME は NFRAME ≥ 1 の時のみ NFRAME 行入力します。

Table 21.6: パラメータファイル (PARMLES3D) の内容説明 (2)

| 名前 | 内容 | (IN/OUT) | 条件 |
|--------|--------------------|----------|-------------------------|
| FILEMS | GF メッシュファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEBC | GF 境界条件ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEIF | GF 初期値ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEFF | GF 流れ場ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEHS | GF 履歴ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEAT | GF-attribute ファイル名 | IN | NFRAME $\neq 0$ の場合のみ設定 |
| FILEOS | GF オーバーセットファイル名 | IN | JSET ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEAV | GF 平均流れ場ファイル名 | OUT | IOUT ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILERM | GF-RMS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEST | GF-STRESS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEFS | GF-流れ場データファイル名 | OUT | INTFSV ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEPS | GF 表面圧力場データファイル名 | OUT | INTPSV ≥ 1 の場合のみ設定 |

注意

- 初期値ファイル名は常に設定の必要がありますが、実際に初期値ファイルが参照されるのは ISTART=1,2 のときであり ISTART=0 の時はダミーファイル名を設定してください。
- 計算終了時流れ場は FILEFF に出力され、計算途中の流れ場は FILEFS に INTFSV ステップ毎に出力されます。
- ファイル名の長さは 54 文字以下でなくてはならないので注意してください。

21.2.2 解析条件ファイル (les3c)

流体解析ソルバー'les3c'の解析条件ファイルは図 21.1 に示すように、単純なアスキーフォーマットになっております。各パラメータの配置は、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。これより、各パラメータの詳細について説明します。

```
#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
1 22 1 0 0 0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
0.05 0.0 0.0 0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
1.0E-5 0.2 0.01 0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
1.0E-6 40 1.0E-6 10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
500 0 1.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
0 0 0.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
4
1 0.5 0.0 0.15
2 0.5 0.0 0.15
3 0.5 0.0 0.15
4 0.5 0.0 0.15
#GIVE MESH DATA FILE
../../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA
```

Figure 21.1: sample of parameter file (PARMLES3C)

- IMODEL : 乱流モデルフラグ
現バージョンでは以下の乱流解析機能がサポートされています。

| IMODEL | turbulence model |
|--------|-------------------------|
| 0 | 乱流モデルなし |
| 1 | LES: 標準スマゴリンスキーモデル |
| 2 | LES: ダイナミックスマゴリンスキーモデル |
| 3 | DES: SA モデルに基づくハイブリッド計算 |

IMODEL=3 の DES は本バージョン (Ver.5.0) からの新機能です。DES 解析機能に関しては、13 章を参照してください。

- IFORM : 運動方程式解法フラグ
現バージョンでは運動方程式の解法に対し、以下に示す 5 種類の方法をサポートします。このうち、IFORM=0,1,2 では陽解法が適用され、それぞれ対流項の離散化方法が異なります。また IFORM=3,4 では陰解法が適用されます。

| IFROM | 対流項離散化手法 |
|-------|--|
| 0 | 陽解法 : normal galerkin type |
| 1 | 陽解法 : streamline upwind petrov-galerkin type |
| 2 | 陽解法 : time-accurate streamline upwind type |
| 3 | 陰解法 : Euler Backward Method |
| 4 | 陰解法 : Clank Nicolson Method |

陽解法では、IFORM=2 の場合が最も精度のよい解を与えますが、数値不安定を起こす場合もあります。この場合 IFORM=1 を試してください。IFORM=1 の場合、数値的には安定ですが、数値拡散が大きいため平均的な解となります。IFORM=0 は最も処理が速いですが、対流項に対し安定化処理の必要がない低レイノルズ流れの場合のみ使用が可能です。

陰解法では、オイラー陰解法 (IFORM=3) およびクランク・ニコルソン法 (IFORM=4) をサポートします。オイラー陰解法はクランク・ニコルソン法に比べて、計算時間は節約できますが、計算精度は落ちます。オイラー陰解法は 1 次の時間精度をもち、時間刻みの 2 乗と局所的な速度の積に比例する数値散逸を伴います。一方でクランク・ニコルソン法は時間に対して 2 次の精度を持ち、数値散逸はありません。LES の計算を行う際は、クランク・ニコルソン法を用いることを推奨します。

- IPRESS : 圧力方程式フラグ

圧力解法について以下の示す項目より選択ができます。

- IPRESS=10 Fractional-Step 法
- IPRESS=20 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力方程式において圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。
- IPRESS=22 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陽的に扱います。
- IPRESS=23 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陰的に扱います。
- IPRESS=30 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。また、キャビテーション流れ解析機能がオンになります。
- IPRESS=32 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陽的に扱います。また、キャビテーション流れ解析機能がオンになります。
- IPRESS=33 低マッハ近似を施した Fractional-Step 法
圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陰的に扱います。また、キャビテーション流れ解析機能がオンになります。

低マッハ近似を用いない場合は'10'を設定し、低マッハ近似を用いる場合のデフォルト値を'22'とします。

- IOUT : 出力ファイル制御フラグ

IOUT に応じて以下に示す GF 流れファイルが追加出力されます。

| IOUT | 出力ファイルフラグ |
|------|---------------------------------------|
| 0 | 追加出力なし |
| 1 | 平均場データが追加出力される |
| 2 | 平均場データ,RMS データ及び STRESS データが追加出力されます。 |

ここで 'RMS' とは' 平均二乗平均 (root-mean-square)' のことで、'STRESS' とはレイノルズ応力のことです。出力される GF 流れ場ファイルの内容に関しては、5.2.4 節を参照してください。

IOUT=1とした場合、出力される平均場データに対するファイル名の指定が必要になります。同様に、IOUT=2とした場合、出力される平均場、RMS、STRESS データに対するファイル名の指定が必要になります。解析条件ファイルにおけるファイル名の指名方法に関しては、表 21.7,21.8,21.9 を参照してください。

- NFRAME : マルチフレーム機能フラグ

マルチフレーム機能を制御するフラグです。本フラグには 0、-1、1 のいづれかの値をセットします。NFRAME=0 の場合は、シングルフレームモードとなります。すなわち、全ての計算格子が同一の座標系に存在することを想定します。一方、それ以外の場合は、マルチフレームモードとなります。すなわち、計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系（もしくは加速度系）に存在することを想定します。以下に、各入力値（0、-1、1）についての説明を示します。マルチフレームモード（NFRAME=-1 or 1）の際には、追加のパラメータ設定が必要になりますので、注意してください。

- NFRAME=0 : シングルフレームモード

全ての計算格子は、回転系に存在することを想定します。回転の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。この値を 0 にセットすれば、全ての計算格子が静止系に存在することになります。通常の計算を実行する（つまり、静止系を想定する）場合には、パラメータ'OMEGA'が 0 にセットされていることを確認してください。

- NFRAME=-1 : マルチフレームモード（静止系 + 回転系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系に存在することを想定します。シングルフレームモードと同様に、回転系の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。マルチフレーム機能を使用する場合は、各計算格子（正確には要素）がどちらの座標系に存在するかを指定する必要があります。この指定は座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）により指定しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

- NFRAME=1 : マルチフレームモード（静止系 + 加速度系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は加速度に存在することを想定します。NFRAME=-1 の場合と同様に、各計算格子の座標系を指定するため、座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）を入力しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

加速度系を扱う場合は、さらに追加のパラメータとして、加速度系における加速度ベクトルが必要となります。

- UFRAME,VFRAME,WFRAME : 加速度ベクトル

本パラメータは、加速度系を扱うマルチフレームモード（NFRAME=1）の場合にのみ指定が必要となるオプションパラメータです。この場合、NFRAME を指定した行に続く 1 行において、加速度ベクトル（3 成分）を指定してください。図 21.2 に本パラメータを指定する場合の例を示します。

```

#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
 1 22 1 0 1 0
 1.0 0.0 0.0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
 0.05 0.0 0.0 0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
 1.0E-5 0.2 0.01 0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NAMXT
 1.0E-6 40 1.0E-6 10
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
 500 0 1.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
 0 0 0.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
 4
        1 0.5 0.0 0.15
        2 0.5 0.0 0.15
        3 0.5 0.0 0.15
        4 0.5 0.0 0.15
#GIVE MESH DATA FILE
../../../../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../../../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA

```

Figure 21.2: sample of parameter file (PARMLES3C):NFRAME=1

- JSET : オーバーセット機能制フラグ

JSET が 0 の場合、オーバーセット計算は行なわれませんが、JSET が 1 以上の場合、オーバーセットモードとなります。オーバーセットモードでは、オーバーセットにおける補間処理に必要なデータが入力されます。このデータはオーバーセットファイル（5.2.7 節参照）により指定しますので、追加パラメータとしてオーバーセットファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

流体解析ソルバー'les3c' はオーバーセットファイルより、JSET ステップ毎に、あらたなオーバーセットデータを読みこみオーバーセット計算を行ないます。計算の途中で、もしオーバーセット条件ファイルに新たなデータがない（つまり最後迄読み終わった）場合、ソルバーは計算終了まで、最期に読み込んだデータに基づきオーバーセット計算を行います。

なお、JSET が -1 以下の場合、エラートラップにより、エラー終了します。

- FSMACH : マッハ数

低マッハ近似におけるマッハ数。圧力方程式フラグに 20, 22, 23, 30, 32, 33 のいずれかを設定することで低マッハ近似機能を用いることができます。本来、低マッハ数近似は流れに弱い圧縮性を導入するために用いますが、本システムでは、行列ソルバーの不安定性解消のために用いる場合もあります。マッハ数近似は 0.01~0.2 程度の値を設定します。デフォルト値は 0.1 とします。

キャビテーション解析を行う場合、数値解析上の困難を避けるために有限なマッハ数の設定が必要となります。0.1 程度が妥当な値です。

- SIGMA: キャビテーション数

キャビテーション数 σ は次式で定義します。

$$\sigma = \frac{P_{ref} - P_v}{\rho u_0^2 / 2}$$

ここで、 P_{ref} は圧力の基準値、 P_v は飽和蒸気圧、 u_0 は基準速度です。キャビテーション流れ解析機能に関しては 17 章を参照してください。

- CGAS, CLQ: キャビテーションのモデル定数 (C_g, C_l)

これら 2 つのモデル定数は、液体体積率 f の発生・消滅を表す、液体体積率に関する以下の方程式中に現れます。

$$\frac{Df}{Dt} = \{C_g(1-f) + C_l f\}(P - P_v)$$

つまり、液体体積率が大きい場合には液体体積率の変化率は C_g の影響を受け、液体体積率が小さい場合には、液体体積率の変化率は C_l の影響が大きくなります。モデル定数 (C_g, C_l) は、実験を再現するように適当に与えます。具体的な推奨値は以下の通りです。

$$\begin{aligned} \text{CGSA} &= 1,000 \\ \text{CLIQ} &= 0.1 \end{aligned}$$

キャビテーション流れ解析機能に関しては 17 章を参照してください。

- VISCM : 分子粘性係数

本システムでは、無次元化量を扱います。流れ場の無次元化には、速度スケール U_0 および長さスケール D を、ユーザが定義します。分子粘性係数には、以下に示す無次元量を指定してください。

$$VISCM = \nu^* = \frac{\nu}{U_0 D}$$

ここで、 ν は有次元の分子粘性です。つまり、ここで指定する無次元量は速度スケール U_0 および長さスケール D を基準とするレイノルズ数の逆数です。

- C : スマゴリンスキーモデル

スマゴリンスキーモデルは対象となる流れ場により異なり、一般に以下に示す値が使われています。

| C | 対象とする流れ場 |
|------|----------------------------------|
| 0.1 | for boundary layers |
| 0.15 | for wakes / jets / mixing layers |
| 0.2 | for homogeneous turbulence |

ダイナミックスマゴリンスキーモデル (IMODEL=2) ではスマゴリンスキーモデルは局所的に決定されるのでこのパラメータは参照されません。

- DT : 時間刻み

時間刻みは速度スケール U_0 および長さスケール D により無次元化されます。すなわち、以下に式で定義される時間刻みを指定してください。

$$DT = dT^* = \frac{dT U_0}{D}$$

ここで dT は有次元の時間刻み [sec] です。なお、時間刻みは計算の間、つねに一定に保たれます。

- OMEGA : 回転座標系の角速度

角速度は速度スケール U_0 および長さスケール D により無次元化されます。すなわち、以下に式で定義される角速度を指定してください。

$$OMEGA = \omega^* = \frac{\omega D}{U_0}$$

ここで ω は有次元の角速度 [rad/sec] です。パラメータ NFRAME の欄で説明しましたが、シングルフレームモード (NFRAME=0) で静止系の計算を実行する場合は、このパラメータが 0 になっていることを確認してください。

なお、ターボ機械内部流れ解析を実施する際、本システムでは、長さスケールに動翼直径 (D_t)、速度スケールに動翼チップ周速 ($U_t = \omega D_t / 2$) を使用します。この場合無次元角速度は $\omega^* = \omega D_t / U_t = 2$ となります。つまり、上記のような代表スケールをとった場合、パラメータ OMEGA には 2.0 を指定します。

- EPSP : 圧力方程式の行列ソルバー収束判定値
行列ソルバーにおいて、残差ベクトルのノルムが'EPSP' 以下になった場合に収束したと判定します。デフォルト値は 10^{-6} です。
- NMAXP : 圧力方程式の行列ソルバー最大反復回数
大きな NMAX を用いれば、より安定な解が保証されるが、その分計算時間は増えます。⁴ NMAX の想定される設定値は 50~ 200 です。
- EPST : 運動方程式の行列ソルバー収束判定値
行列ソルバーにおいて、残差ベクトルのノルムが'EPST' 以下になった場合に収束したと判定します。デフォルト値は 10^{-6} です。
- NMAXT : 運動方程式の行列ソルバー最大反復運動回数
- NTIME : タイムステップ数
最大値を 40,000 とします。時間ステップがこれを越える場合、次に説明するリスタート機能を用いてください。
- ISTART : リスタートフラグ
ISTART=0 の場合、リスタート機能はつかわず全領域にわたって圧力 0、速度 0 の静止状態を初期条件とします。一方、ISTART=1 の場合、GF 流れ場ファイルを入力し、これを初期状態とします。
- TFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ
本システムの流れソルバーでは、流体に急な力を作用させることによる非物理的な振動や計算不安定をさけるため、時間緩和機能を備えています。すなわち、全ての境界条件を時間的に緩和します。具体的には、以下に示す境界条件が緩和されます。
 - 流入速度
 - moving-wall 境界の壁移動速度
 - 周期境界における flow-rate
 - 周期境界における圧力差
 - 角速度
 - 平行移動座標系の速度 (もしくは加速度)

時間的な緩和処理とはすなわち、次式で定義される関数をかけあわせることです。

$$1.0 - \exp \{ -\text{TIME}/\text{TFINAL} \}$$

ここで TIME は現時刻で、TFINAL は時間発展を制御するユーザ入力パラメータであります。このような諸条件の時間緩和を必要としない場合は、単純に TFINAL=0 と設定してください。この場合、上記の関数は 1 にセットされます。また、次式に示す加速度項が加えられます。

⁴流体解析プログラム les3c の 1 ステップあたり、1 要素あたりの演算回数は $5000 + 230 \times \text{NMAX}$ 回です。

$$(UFINAL-UFRME0(IFRM))/TFINAL*\exp(-TIME/TFINAL)$$

$$(VFINAL-VFRME0(IFRM))/TFINAL*\exp(-TIME/TFINAL)$$

$$(WFINAL-WFRME0(IFRM))/TFINAL*\exp(-TIME/TFINAL)$$

ここで UFINAL, VFINAL 及び WFINAL はユーザ入力パラメータで UFRME0, VFRME0 及び WFRME0 は各座標系の速度です。この加速度項は前述した時間緩和する量と整合がとれています。

- UFINAL,VFINAL,WFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ

- INTFSV : 流れ場データ出力インターバル数

流れ場データ、すなわち節点定義の U,V,W および要素定義の圧力が INTFSV ステップごとに出力されます。この場合、出力される流れ場データに対するファイル名の指定が必要になります。解析条件ファイルにおけるにファイル名の指名方法に関しては、表 21.7,21.8,21.9 を参照してください。なお、INTFSV=0 とした場合、計算途中の流れ場データは出力されません。

- INTPSV : 物体表面圧力場データ出力インターバル数

圧力場データ、すなわち物体表面に隣接する要素で定義される圧力が INTPSV ステップごとに出力されます。この場合、出力される表面圧力データに対するファイル名の指定が必要になります。解析条件ファイルにおけるにファイル名の指名方法に関しては、なお、INTPSV=0 とした場合、計算途中の圧力場データは出力されません。

- NSMPL : サンプリングデータ数

- LSMPL : サンプリングデータタイプ

以下に示すサンプリングデータタイプが用意されている。

| LSMPL | データタイプ |
|-------|------------|
| 1 | X 方向速度 (U) |
| 2 | Y 方向速度 (V) |
| 3 | Z 方向速度 (W) |
| 4 | 圧力 |
| 5 | 液体体積率 |

- XSMPL,YSMPL,ZSMPL :

データサンプリングする位置 (X,Y,Z)

Table 21.7: パラメータファイル (PARMLES3C) のデータフォーマット

| | | | | | | |
|---------|---|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| comment | | | | | | |
| COMGEN | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| IMODEL | IPRESS | IFORM | IOUT | NFRAME | JSET | DEFAULT |
| IFRAME | UFRAME | VFRAME | WFRAME | | | IF(NFRAME.GT.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FSMACH | SIGMA | CGAS | CLIQ | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| VISCM | C | DT | OMEGA | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| EPSP | NMAXP | EPST | NMAXT | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NTIME | ISTART | TFINAL | UFINAL | VFINAL | WFINAL | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| INTFSV | INTPSV | FDUMMY | FDUMMY | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NSMPL | | | | | | DEFAULT |
| LSMPL | XSMPL | YSMPL | ZSMPL | | | IF(NSMPL.GE.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEMS | (FILE NAME TO READ MESH DATA) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEBC | (FILE NAME TO READ BOUNDARY CONDITIOND) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEIF | (FILE NAME TO READ INITIAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEFF | (FILE NAME TO WRITE FINAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEHS | (FILE NAME TO WRITE TIME HISTORIES) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | IF(NFRAME.NE.0) |
| FILEAT | (FILE NAME TO READ ELEMENT ATTRIBUTE) | | | | | IF(NFRAM.GT.0) |
| comment | | | | | | IF(JSET.GE.1) |
| FILEOS | (FILE NAME TO READ OVERSET DATA) | | | | | IF(JSET.GE.1) |
| comment | | | | | | IF(IOUT.GE.1) |
| FILEAV | (FILE NAME TO WRITE AVERAGE FIELD) | | | | | IF(IOUT.GE.2) |
| comment | | | | | | |
| FILERM | (FILE NAME TO WRITE RMS FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | |
| FILEST | (FILE NAME TO WRITE STRESS FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | |
| FILEFS | (FILE NAME TO WRITE CURRENT FIELD) | | | | | IF(INTFSV.GE.1) |
| comment | | | | | | |
| FILEPS | (FILE NAME TO WRITE SURFACE PRESSURE) | | | | | IF(INTPSV.GE.1) |

Table 21.8: パラメータファイル (PARMLES3C) の内容説明 (1)

| 名前 | 内容 | 想定値 |
|--------|-------------------------|----------------------|
| IMODEL | 乱流モデルフラグ | 0,1,2,3 |
| IPRESS | 圧力方程式フラグ | 10,20,22,23,30,32,33 |
| IFORM | 運動方程式解法フラグ | 0,1,2,3,4 |
| IOUT | 出力ファイルフラグ | 0,1,2 |
| NFRAME | 平行移動座標系の数 | -1,0,1,2~N |
| JSET | オーバーセットフラグ | 0,2~N |
| IFRAME | 座標系番号 | |
| UFRAME | 座標系の x 方向速度 (もしくは加速度) | |
| VFRAME | 座標系の y 方向速度 (もしくは加速度) | |
| WFRAME | 座標系の z 方向速度 (もしくは加速度) | |
| FSMACH | マッハ数 | 0.01 ~ 0.2 |
| VISCM | 分子粘性係数 | |
| C | スマゴリンスキー定数 | 0.1 ~ 0.2 |
| DT | 時間刻み | |
| OMEGA | (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度 | |
| EPSP | 行列ソルバーの収束判定値 | 1.0E-6 |
| NMAX | 行列ソルバーの最大反復回数 | 50 ~ 200 |
| NTIME | タイムステップ数 | |
| ISTART | リスタートフラグ,(境界条件の時間緩和も制御) | 0,1,2 |
| TFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| UFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| VFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| WFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| INTFSV | 流れ場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| INTPSV | 物体表面圧力場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| NSMPL | サンプリングデータ数 | |
| LSMPL | サンプリングデータタイプ | 1,2,3,4,5 |
| XSMPL | サンプリングする位置 (x 座標) | |
| YSMPL | サンプリングする位置 (y 座標) | |
| ZSMPL | サンプリングする位置 (z 座標) | |

注意

- IFRAME,UFRAME,VFRAME,WFRAME は NFRAME ≥ 1 の時のみ
NFRAME 行入力する .

Table 21.9: パラメータファイル (PARMLES3C) の内容説明 (2)

| 名前 | 内容 | (IN/OUT) | 条件 |
|--------|--------------------|----------|-------------------------|
| FILEMS | GF メッシュファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEBC | GF 境界条件ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEIF | GF 初期値ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEFF | GF 流れ場ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEHS | GF 履歴ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEAT | GF-attribute ファイル名 | IN | NFRAME $\neq 0$ の場合のみ設定 |
| FILEOS | GF オーバーセットファイル名 | IN | JSET ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEAV | GF 平均流れ場ファイル名 | OUT | IOUT ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILERM | GF-RMS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEST | GF-STRESS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEFS | GF-流れ場データファイル名 | OUT | INTFSV ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEPS | GF 表面圧力場データファイル名 | OUT | INTPSV ≥ 1 の場合のみ設定 |

注意

- 初期値ファイル名は常に設定の必要がありますが、実際に初期値ファイルが参照されるのは ISTART=1,2 のときであり ISTART=0 の時はダミーファイル名を設定してください。
- 計算終了時流れ場は FILEFF に出力され、計算途中の流れ場は FILEFS に INTFSV ステップ毎に出力されます。
- ファイル名の長さは 54 文字以下でなくてはならないので注意してください。

21.2.3 解析条件ファイル (les3ct)

流体解析ソルバー'les3ct'の解析条件ファイルは図 21.3 に示すように、単純なアスキーフォーマットになっております。各パラメータの配置は、表 21.10, 21.11, 21.12 を参照してください。これより 各パラメータの詳細について説明します。

```

#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3CT
#GIVE IMODEL IPRESS IFORM IOUT NFRAME JSET
1 20 1 0 0 0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
0.05 0.0 0.0 0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
1.0E-5 0.2 0.01 0.0
#GIVE EPS NMAX EPST NMAXT
1.0E-4 200 1.0E-4 20
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
500 0 1.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QFCCL DPCCL
0 0 1.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
4
1 0.5 0.0 0.15
2 0.5 0.0 0.15
3 0.5 0.0 0.15
4 0.5 0.0 0.15
#GIVE MESH DATA FILE
../../DATA/data1/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../../DATA/data1/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY

```

Figure 21.3: sample of parameter file (PARMLES3C)

- IMODEL : 乱流モデルフラグ
現バージョンでは以下の乱流モデルが用意されています。

| | |
|--------|-------------------------|
| IMODEL | turbulence model |
| 0 | 乱流モデルなし |
| 1 | LES: 標準スマゴリンスキーモデル |
| 2 | LES: ダイナミックスマゴリンスキーモデル |
| 3 | DES: SA モデルに基づくハイブリッド計算 |

'Large Eddy Simulation (LES)' は IMODEL=1 もしくは 2 とすることを選択されます。LES は空間平均にもとづいているため非定常な解を得ることができます。ただし、LES を行なうためには流れ場において支配的な渦を解像するだけの、空間解像度が必要となる。また流れ場の統計量を計算するために長い計算時間⁵が必要となります。したがって LES を行なうためには非常に長い CPU-time が必要となります。

- IFORM : 運動方程式解法フラグ
流体解析プログラム'les3ct' では、運動方程式に対しデフォルトではクランク・ニコルソン法を使用します (IFORM=1)。これに加え、計算安定性を確保するため、以下に示す二つの機能をサポートします。

- Blancing Tensor Diffusivity:
四面体計算格子は、基本的に自動作成されるので、形状が複雑になると一般的に品質の悪い計算格子をさけることができません。このような計算格子を含む計算においては、計算安定性を保つため'Blancing Tensor Diffusivity (BTD)' 項を使用することを推奨します。BTD 項は、時間刻みに比例して大きくなるため、大きな時間刻み (CFL-numer が 1 以上) を用いた計算では、人工的な粘性が大きくなることに注意してください。本プログラムでは、これを避けるため BTD 項に 1 以下の係数をかける機能をサポートしています。計算安定性と計算精度の両者を保つためには、係数として 0.1 を推奨します。BTD にかける係数は 21.2.5 に示すオプション機能を用いて変更することができます。
- 拡散項に対するオイラー陰解法:
レイノルズ数 100 程度の低レイノルズ数流れの計算をする場合は、拡散項をオイラー陰解法で扱うことを推奨します。

上記の機能は、パラメータ IFORM で以下のように制御されます。

| | |
|-------|--------------------------------------|
| IFROM | 対流項離散化手法 |
| 1 | クランク・ニコルソン法 |
| 2 | クランク・ニコルソン法 + BTD 項 |
| 3 | クランク・ニコルソン法 (ただし拡散項はオイラー陰解法) |
| 4 | クランク・ニコルソン法 + BTD 項 (ただし拡散項はオイラー陰解法) |

⁵一般的にいって最低数千から数百万ステップ

- IPRESS : 圧力方程式フラグ

圧力解法について以下の示す項目より選択ができます。

- IPRESS=10
Fractional-Step 法
- IPRESS=20
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。
- IPRESS=22
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陽的に扱います。
- IPRESS=23
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陰的に扱います。
- IPRESS=30
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項はガラーキン法に基づき離散化し、陽的に扱います。
- IPRESS=32
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陽的に扱います。
- IPRESS=33
低マッハ近似を施した Fractional-Step 法。圧力方程式において圧力の対流項は風上化を施し、陰的に扱います。

低マッハ近似を用いない場合は'10'を設定し、低マッハ近似を用いる場合のデフォルト値を'22'とします。

- IOUT : 出力ファイルフラグ

IOUT に応じて以下に示すファイルが追加出力される。

| IOUT | 出力ファイルフラグ |
|------|---------------------------------------|
| 0 | 追加出力なし |
| 1 | 平均場データが追加出力される |
| 2 | 平均場データ,RMS データ及び STRESS データが追加出力されます。 |

ここで 'RMS' とは' 平均二乗平均 (root-mean-square)' のことで、'STRESS' とはレイノルズ応力のことです。

- NFRAME : マルチフレーム機能フラグ

マルチフレーム機能を制御するフラグです。本フラグには 0、-1、1 のいづれかの値をセットします。NFRAME=0 の場合は、シングルフレームモードとなります。すなわち、全ての計算格子が同一の座標系に存在することを想定します。一方、それ以外の場合は、マルチフレームモードとなります。すなわち、計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系（もしくは加速度系）に存在することを想定します。以下に、各入力値（0、-1、1）についての説明を示します。マルチフレームモード（NFRAME=-1 or 1）の際には、追加のパラメータ設定が必要になりますので、注意してください。

- NFRAME=0 : シングルフレームモード

全ての計算格子は、回転系に存在することを想定します。回転の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。この値を 0 にセットすれば、全ての計算格子が静止系に存在することになります。通常の計算を実行する（つまり、静止系を想定する）場合には、パラメータ'OMEGA'が 0 にセットされていることを確認してください。

- NFRAME=-1 : マルチフレームモード（静止系 + 回転系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は回転系に存在することを想定します。シングルフレームモードと同様に、回転系の角速度は、パラメータ'OMEGA'により指定します。マルチフレーム機能を使用する場合は、各計算格子（正確には要素）がどちらの座標系に存在するかを指定する必要があります。この指定は座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）により指定しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

- NFRAME=1 : マルチフレームモード（静止系 + 加速度系）

計算格子の一部は静止系、他の計算格子は加速度に存在することを想定します。NFRAME=-1 の場合と同様に、各計算格子の座標系を指定するため、座標系指定ファイル（5.2.8 節参照）を入力しますので、追加パラメータとして座標系ファイル名を指定します。ファイル名の指定方法に関しては、表 21.7, 21.8, 21.9 を参照してください。

加速度系を扱う場合は、さらに追加のパラメータとして、加速度系における加速度ベクトルが必要となります。

- UFRAME,VFRAME,WFRAME : 座標系の加速度

本パラメータは、加速度系を扱うマルチフレームモード（NFRAME=1）の場合にのみ指定が必要となるオプションパラメータです。この場合、NFRAME を指定した行に続く 1 行において、加速度ベクトル（3 成分）を指定してください。

- VISCM : 分子粘性係数

本システムでは、無次元化量を扱います。流れ場の無次元化には、速度スケール U_0 および長さスケール D を、ユーザが定義します。分子粘性係数には、以下に示す無次元量を指定してください。

$$VISCM = \nu^* = \frac{\nu}{U_0 D}$$

ここで、 ν は有次元の分子粘性です。つまり、ここで指定する無次元量は速度スケール U_0 および長さスケール D を基準とするレイノルズ数の逆数です。

- C : スマゴリンスキーモデル

スマゴリンスキーモデルは対象となる流れ場により異なり、一般に以下に示す値が使われています。

| C | 対象とする流れ場 |
|------|----------------------------------|
| 0.1 | for boundary layers |
| 0.15 | for wakes / jets / mixing layers |
| 0.2 | for homogeneous turbulence |

ダイナミックスマゴリンスキーモデル (IMODEL=2) ではスマゴリンスキーモデルは局所的に決定されるのでこのパラメータは参照されません。

- DT : 時間刻み

時間刻みは計算の間、つねに一定に保たれます。

- OMEGA : (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度

座標系番号 (IFRAME=-1) である座標系は、NFRAME=0 とすることによって実行される単一座標系モードにおけるデフォルト座標系であり、z 軸の回りに角速度 OMEGA をもっていると想定されます。もちろんここで OMEGA=0.0 とすれば静止系となります。座標系番号 (IFRAME=-1) の座標系には OMEGA に応じた慣性力 (=遠心力+コリオリ力) が加えられます。

- EPSP : 圧力方程式の行列ソルバー収束判定値

大きな NMAX を用いれば、より安定な解が保証されるが、その分計算時間は増えます。⁶ NMAX の想定される設定値は 50~200 です。

- NMAXP : 圧力方程式の行列ソルバー最大反復回数

大きな NMAX を用いれば、より安定な解が保証されるが、その分計算時間は増える。NMAX の想定される設定値は 50~200 である。

- EPST : 運動方程式の行列ソルバー収束判定値

行列ソルバーにおいて、残差ベクトルのノルムが 'EPST' 以下になった場合に収束したと判定します。デフォルト値は 10^{-6} です。

- NMAXT : 運動方程式の行列ソルバー最大反復運動回数

⁶流体解析プログラム les3c の 1 ステップあたり、1 要素あたりの演算回数は $5000 + 230 \times \text{NMAX}$ 回です。

- NTIME : タイムステップ数

- ISTART : リスタートフラグ

ISTART=0 の場合、リスタート機能はつかわす全領域にわたって圧力 0、速度 0 の静止状態を初期条件とします。一方、ISTART=1 の場合、GF 流れ場ファイルを入力し、これを初期状態とします。

- TFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ

本システムの流れソルバーでは、流体に急な力を作用させることによる非物理的な振動や計算不安定をさけるため、時間緩和機能を備えています。すなわち、全ての境界条件を時間的に緩和します。具体的には、以下に示す境界条件が緩和されます。

- 流入速度
- moving-wall 境界の壁移動速度
- 周期境界における flow-rate
- 周期境界における圧力差
- 角速度
- 平行移動座標系の速度 (もしくは加速度)

時間的な緩和処理とはすなわち、次式で定義される関数をかけあわせることです。

$$1.0 - \exp \{ -\text{TIME}/\text{TFINAL} \}$$

ここで TIME は現時刻で、TFINAL は時間発展を制御するユーザ入力パラメータであります。このような諸条件の時間緩和を必要としない場合は、単純に TFINAL=0 と設定してください。この場合、上記の関数は 1 にセットされます。また、次式に示す加速度項が加えられます。

$$(UFINAL - UFRME0(IFRM)) / TFINAL * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(VFINAL - VFRME0(IFRM)) / TFINAL * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

$$(WFINAL - WFRME0(IFRM)) / TFINAL * \exp(-\text{TIME}/\text{TFINAL})$$

ここで UFINAL, VFINAL 及び WFINAL はユーザ入力パラメータで UFRME0, VFRME0 及び WFRME0 は各座標系の速度です。この加速度項は前述した時間緩和する量と整合がとれています。

- UFINAL,VFINAL,WFINAL : 境界条件の時間緩和制御パラメータ

- INTPSV : 物体表面圧力場データ出力インターバル数

圧力場データ、すなわち物体表面に隣接する要素で定義される圧力が INTPSV ステップごとに出力されます。INTPSV=0 とした場合、計算途中の圧力場データは出力されません。

- NSMPL : サンプリングデータ数
- LSMPL : サンプリングデータタイプ
以下に示すサンプリングデータタイプが用意されている。

| LSMPL | データタイプ |
|-------|------------|
| 1 | X 方向速度 (U) |
| 2 | Y 方向速度 (V) |
| 3 | Z 方向速度 (W) |
| 4 | 圧力 |
| 5 | 液体体積率 |

- XSMPL,YSMPL,ZSMPL :
データサンプリングする位置 (X,Y,Z)

Table 21.10: パラメータファイル (PARMLES3C) のデータフォーマット

| | | | | | | |
|---------|---|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| comment | | | | | | |
| COMGEN | | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| IMODEL | IPRESS | IFORM | IOUT | NFRAME | IDUMMY | DEFAULT |
| IFRAME | UFRAME | VFRAME | WFRAME | | | IF(NFRAME.GT.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| BTDO | FDUMMY | FDUMMY | FDUMYY | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| VISCM | C | DT | OMEGA | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| EPSP | NMAXP | EPST | NMAXT | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NTIME | ISTART | TFINAL | UFINAL | VFINAL | WFINAL | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| INTFSV | INTPSV | FDUMMY | FDUMMY | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| NSMPL | | | | | | DEFAULT |
| LSMPL | XSMPL | YSMPL | ZSMPL | | | IF(NSMPL.GE.0) |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEMS | (FILE NAME TO READ MESH DATA) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEBC | (FILE NAME TO READ BOUNDARY CONDITIOND) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEIF | (FILE NAME TO READ INITIAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEFF | (FILE NAME TO WRITE FINAL FLOW FIELD) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | DEFAULT |
| FILEHS | (FILE NAME TO WRITE TIME HISTORIES) | | | | | DEFAULT |
| comment | | | | | | IF(NFRAME.NE.0) |
| FILEAT | (FILE NAME TO READ ELEMENT ATTRIBUTE) | | | | | IF(NFRAM.GT.0) |
| comment | | | | | | IF(IOUT.GE.1) |
| FILEAV | (FILE NAME TO WRITE AVERAGE FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | IF(IOUT.GE.2) |
| FILERMF | (FILE NAME TO WRITE RMS FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | |
| FILEST | (FILE NAME TO WRITE STRESS FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | IF(INTFSV.GE.1) |
| FILEFS | (FILE NAME TO WRITE CURRENT FIELD) | | | | | |
| comment | | | | | | IF(INTPSV.GE.1) |
| FILEPS | (FILE NAME TO WRITE SURFACE PRESSURE) | | | | | |

Table 21.11: パラメータファイル (PARMLES3C) の内容説明 (1)

| 名前 | 内容 | 想定値 |
|--------|-------------------------|-------------|
| IMODEL | 乱流モデルフラグ | 0,1,2,3 |
| IPRESS | 圧力方程式フラグ | 10,20,22,23 |
| IFORM | 運動方程式解法フラグ | 0,1,2,3,4 |
| IOUT | 出力ファイルフラグ | 0,1,2 |
| NFRAME | 平行移動座標系の数 | -1,0,1,2~N |
| IFRAME | 座標系番号 | |
| UFRAME | 座標系の x 方向速度 (もしくは加速度) | |
| VFRAME | 座標系の y 方向速度 (もしくは加速度) | |
| WFRAME | 座標系の z 方向速度 (もしくは加速度) | |
| FSMACH | マッハ数 | 0.01 ~ 0.2 |
| VISCM | 分子粘性係数 | |
| C | スマゴリンスキーフィルタ定数 | 0.1 ~ 0.2 |
| DT | 時間刻み | |
| OMEGA | (IFRAM=-1 の座標系がもつ) 角速度 | |
| EPSP | 行列ソルバーの収束判定値 | 1.0E-6 |
| NMAX | 行列ソルバーの最大反復回数 | 50 ~ 200 |
| NTIME | タイムステップ数 | |
| ISTART | リスタートフラグ,(境界条件の時間緩和も制御) | 0,1,2 |
| TFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| UFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| VFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| WFINAL | 境界条件の時間緩和制御パラメータ | |
| INTFSV | 流れ場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| INTPSV | 物体表面圧力場データ出力インターバル数 | 0,1,2~N |
| NSMPL | サンプリングデータ数 | |
| LSMPL | サンプリングデータタイプ | 1,2,3,4 |
| XSMPL | サンプリングする位置 (x 座標) | |
| YSMPL | サンプリングする位置 (y 座標) | |
| ZSMPL | サンプリングする位置 (z 座標) | |

注意

- IFRAME,UFRAME,VFRAME,WFRAME は NFRAME ≥ 1 の時のみ
NFRAME 行入力する .

Table 21.12: パラメータファイル (PARMLES3C) の内容説明 (2)

| 名前 | 内容 | (IN/OUT) | 条件 |
|--------|--------------------|----------|-------------------------|
| FILEMS | GF メッシュファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEBC | GF 境界条件ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEIF | GF 初期値ファイル名 | IN | デフォルト |
| FILEFF | GF 流れ場ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEHS | GF 履歴ファイル名 | OUT | デフォルト |
| FILEAT | GF-attribute ファイル名 | IN | NFRAME $\neq 0$ の場合のみ設定 |
| FILEOS | GF オーバーセットファイル名 | IN | JSET ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEAV | GF 平均流れ場ファイル名 | OUT | IOUT ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILERM | GF-RMS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEST | GF-STRESS データファイル名 | OUT | IOUT ≥ 2 の場合のみ設定 |
| FILEFS | GF-流れ場データファイル名 | OUT | INTFSV ≥ 1 の場合のみ設定 |
| FILEPS | GF 表面圧力場データファイル名 | OUT | INTPSV ≥ 1 の場合のみ設定 |

注意

- 初期値ファイル名は常に設定の必要がありますが、実際に初期値ファイルが参照されるのは ISTART=1,2 のときであり ISTART=0 の時はダミーファイル名を設定してください。
- 計算終了時流れ場は FILEFF に出力され、計算途中の流れ場は FILEFS に INTFSV ステップ毎に出力されます。
- ファイル名の長さは 54 文字以下でなくてはならないので注意してください。

21.2.4 热輸送解析パラメータ (les3c,les3ct)

本バージョン (ver.5.0) より热輸送解析機能をサポートします。この機能は、流体解析プログラム les3c および les3ct で利用可能です。热輸送解析を実行する場合、解析方法や物性値に関するパラメータを、解析条件ファイルにおいて指定する必要があります。本節では、热輸送解析のためのパラメータの設定方法を説明します。これらのパラメータを指定する場合、解析条件ファイルの 1 行目にキーワード“#FFB_VER5”を入力します。流体解析プログラムはこのキーワードを認識すると、解析条件ファイルのフォーマットを変更し、热輸送解析に関するパラメータを読み込みます。図 21.4 に、热輸送解析のパラメータを含む解析条件ファイルを示します。以下に热輸送解析を行う場合の、解析条件の注意事項を示します。

- 热輸送解析を行う場合、解析条件ファイルの 1 行目に、キーワード“#FFB_VER5”を指定します。
- 1 行目にキーワード“#FFB_VER5”を指定した場合、15 行目～22 行目に、新たに指定項目が増えます。
- 1 行目にキーワード“#FFB_VER5”を指定したにもかかわらず、热輸送解析のパラメータを指定しなかった場合、プログラムは異常終了します。
- キーワード（および热輸送解析のパラメータ）を含む解析条件ファイルはバージョン 5.0 の流れ解析ソルバーでないと使用できません。ただし、キーワード（および热輸送解析のパラメータ）を含まない解析条件ファイルは、バージョン 5.0 以前の全てのプログラムで使用することができます。

```

#FFB_V05
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPRESS IFORM IOUT NFRAME JSET
0 20 4 0 0 0
#GIVE FSMACH FDUMMY FDUMMY FDUMMY
0.001 0.0 0.0 0.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
0.71E-3 0.15 1.0E-1 0.0
#GIVE EPS NMAX EPST NMAXT
1.0E-6 200 1.0E-6 50
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
1000 0 1.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV QCCLF PCCLF
0 0 0.0 0.0
#GIVE IHEAT ISOLID IBUSNQ
3 0 1
#GIVE RCPF RCPS TDIFF TDIFS
1.0 1.0 1.0E-3 1.0E-3
#GIVE PRT TREF
0.71 3.0E1
#GIVE GRVX GRVY GRVZ
0.0EO 0.0EO -20.76
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
6
3 0.05 0.0 0.50
1 0.50 0.0 0.95
3 0.95 0.0 0.50
6 0.05 0.0 0.50
6 0.50 0.0 0.95
6 0.95 0.0 0.50
#GIVE MESH DATA FILE
../DATA/MESH
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
../DATA/BOUN
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
DUMMY
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
FLOW
#GIVE HISTORY DATA FILE
HISTORY
#END OF INPUT DATA

```

Figure 21.4: A parameter file for the solver 'les3c' with heat transport analysis function opened

以下に、各パラメータの内容を説明します。

- IHEAT: 热輸送算フラグ (温度計算のオン・オフ)
热輸送解析のモードを指定します。現バージョンでは以下のモードをサポートします。

| IHEAT | |
|-------|-----------------------|
| 0 | 热輸送解析をしない。 |
| 1 | 热輸送解析をする。内部発熱ありの強制対流。 |
| 2 | 热輸送解析をする。内部発熱なしの強制対流。 |
| 3 | 热輸送解析をする。自由対流。 |

- ISOLID: ダミーフラグ
将来の機能拡張のためのダミーフラグです。

- IBUSNQ: ブジネスク近似フラグ

| IBUSNQ | |
|--------|--------------|
| 0 | ブジネスク近似をしない。 |
| 1 | ブジネスク近似をする。 |

デフォルト値は 1 です。

- RCPF: 热容量

热容量は、比熱 C_p と密度 ρ の積です。ここでは、ユーザが定める基準温度差 ΔT および速度スケール U で以下の式で無次元化された热容量を指定します。

$$(\rho C_p) * = \frac{C_p \Delta T}{U^2}$$

- RCPS : ダミーパラメータ

将来の機能拡張のためのダミーパラメータです。

- TDFF: 温度伝導率

ここでは、ユーザが定める速度スケール U および長さスケールで以下の式で無次元化された温度伝導率 $\kappa^* = \kappa / UD$ を指定します。

- TDFS: ダミーパラメータ

将来の機能拡張のためのダミーパラメータです。

- PRT: 乱流プラントル数

- TREF 参照温度

ソルバー内では、ユーザが定める基準温度差 ΔT および参照温度 T_{ref} を用いて表される無次元温度 $(T - T_{REF}) / \Delta T$ を扱います。ここでは、無次元参照温度 $T_{REF} / \Delta T$ を指定します。

- DIRGRV(3): 重力加速度ベクトル

重力加速度ベクトル g_i は、ユーザが定める速度スケール U および長さスケールで以下の式で無次元化されます。すなわち、ここでは、重力加速度ベクトル $g_i^* = (g_i D) / U^2$ の 3 成分を入力します。

21.2.5 オプション機能の設定

本節では、流れ流体解析プログラム(les3d,les3c,les3ct)のオプション機能(例えばグリッドフィルターの幅、出口境界で逆流を強制的にゼロとする設定、行列ソルバーとして何を使うか、等々)を設定するパラメータの指定方法を説明します。

解析条件ファイルは2つの部分で構成されます。前半部分は前節までの21.2.2節、21.2.3節で説明した基本部分です。後半部分はオプション部分です。オプション機能を使用する場合には、基本部分に続けてオプション機能を使用するためのいくつかのパラメータの指定します。

オプション機能の使用方法を以下にまとめます。

- 解析条件ファイルの中で、オプション部分は必ずキーワード“#OPTIONS”で始まり、キーワード“#OPTIONE”で終わらなければなりません。
- “#OPTIONS”と“#OPTIONE”的間にユーザーはオプション機能を指定するキーワードを加えます。1行ごとにオプション機能の指定キーワード1つを記述します。
- すべてのキーワードは必ず行の先頭から始まり、先頭の文字が“#”である8文字の文字列です。指定するキーワードの種類によっては、キーワードに続けて引数を同じ行に記述する必要があります。引数の指定が必要なキーワードの場合、キーワードと引数を合わせた文字数は1行で60文字以内にします。
- オプション機能指定行はキーワード“#OPTIONS”とキーワード“#OPTIONE”的間に任意の数、指定できます。指定順序に制限はありませんが、同一のキーワードが指定された場合は、後から(ファイル後方部で)指定された内容が有効になるので注意してください。
- 本バージョンで使用できるオプション機能に関するパラメータとその引数の一覧を表21.13にまとめます。
- 表21.13で示されるオプション機能は、流体解析プログラムの種類によって有効でない場合があります。

Table 21.13: List of the optional parameters and keywords in control parameter file

| キーワード | 機能 |
|----------|-------------------------------|
| #LIM_DSM | ダイナミックスマゴリングキーにおける Cs 値の最大値 |
| #GRDFILT | グリッドフィルターの計算方法の制御 |
| #OVERROP | オーバーセットファイルの入力制御 |
| #BC_FREE | 出口逆流の強制 0 セット機能 |
| #BC_NRBC | 無反射境界条件機能の制御 |
| #BC_NRIO | 無反射境界条件機能の制御 |
| #BC_EPSM | 無反射境界条件機能の制御 |
| #BC_PREF | 無反射境界条件機能の制御 |
| #BC_MICX | 流量補正機能の制御 |
| #CALHEAD | 全揚程計算機能 |
| #SOL_TRA | 輸送方程式に使用するマトリックスソルバーの選択 |
| #SOL_PRS | 連続の式に使用するマトリックスソルバーの選択 |
| #ITR_NRX | ニュートン・ラブソン法の反復回数 |
| #ITR_RCM | 残差切除法の内部反復回数 |
| #CAVPREF | キャビテーション数の定義方法 |
| #MOD_DES | DES 解析機能の制御 |
| #VT_INIT | DES 解析機能の制御 |
| #RCAP_RF | マルチ要素ソルバー les3x の内部リファイン機能の制御 |
| #RF_MESH | 内部リファイン後のメッシュデータ出力の制御 |
| #SZ_GRID | メッシュに関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| #SZ_CNCT | メッシュの構造に関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| #SZ_BOUN | メッシュ境界に関するメモリ領域の自動アロケーション設定 |
| #STOPNOW | 実行中ジョブの停止フラグ |
| #STOP_AT | ジョブの停止ステップ数設定 |
| #DUMP_FF | 曲がればダンプ機能設定 |

表 21.13 の項目を、機能別に分類すると、以下のようになります。

- SGS モデル制御
- 計算安定化項の制御
- オーバーセットファイルの入力
- 全揚程計算機能
- 境界条件機能制御
- マトリックスソルバー制御
- ニュートン・ラプソン法の反復回数
- キャビテーション数の定義方法
- DES 解析機能制御

これより、表 21.13 にまとめたキーワードおよびその機能および具体的な使用方法について説明します。

SGS モデル制御

キーワード #LIM_DSM により、ダイナミックスマゴリンスキー (DSM) で計算される C_s に上限値を設定することができます。DSM を、オーバーセット計算とともに使用すると、計算が不安定になる場合があります。 C_s が局所的に大きくなっていることが、理由のひとつとしてあげられることが確認されております。本システムでは、 C_s の最大値をデフォルトで 0.3 に設定しています。具体的には、キーワードの後に C_s の最大値を指定します。

```
#OPTIONS
#LIM_DSM 0.3
#OPTIONE
```

キーワード #GRDFILT により、SGS モデルにおけるグリッドフィルター幅の計算方法を選択します。SGS モデルにより計算される渦粘性係数はグリッドフィルター幅の 2 乗に比例するため、特に標準スマゴリンスキーを使用した場合に、計算結果に影響をおよぼします。本システムでは、渦粘性係数の過大評価を避けるため、要素の辺の長さの最小値による計算をデフォルトの設定にしています。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS
#GRIDFLT 1
#OPTIONE
```

引数としては、のいづれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 1: 要素の辺の長さの最小値 (デフォルトの設定)
- 2: 要素の辺の長さの二乗の逆数の平均値
- 3: 要素体積の三乗根

計算安定化項の制御

四面体コードでは、計算の安定化のため、運動方程式に BTD 項に基づく安定化項を加えてあります。キーワード #COE_BTD により、安定化項にかける係数を指定できます。係数は 0.0 から 1.0 の実数でしてください。係数が小さいほど、精度のよい計算ができますが、計算が不安定になる傾向にあります。係数のデフォルト値は 0.1 です。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に係数を指定します。

```
#OPTIONS  
#COE_BTD 0.1  
#OPTIONE
```

なお、本機能は四面体ソルバー les3ct でのみ利用可能です。

オーバーセットファイルの入力

キーワード #OVERROP により、オーバーセットファイルの巻き戻し機能が使用できます。本システムでは、オーバーセットファイルを最後まで読むと、最後に読み込んだオーバーセット情報を計算終了まで使用しますが、本機能を利用すると、再度オーバーセットファイルの先頭からデータを入力します。ターボ機械内部流れ解析で、複数回転の計算を一度に行う場合は、この機能を利用すると便利です。具体的な、指定方法は以下の通りです。

```
#OPTIONS  
#OVERROP  
#OPTIONE
```

なお、本機能は六面体ソルバー les3c でのみ利用可能です。

全揚程計算機能

キーワード #CALHEAD により、全揚程計算機能が利用できます。全揚程は、計算領域の入り口、出口のにおける全圧を流量平均により計算されます。計算された値は、ログ出力されるとともに、GF 履歴データファイルへ出力されます。具体的な、指定方法は以下の通りです。

```
#OPTIONS  
#CALHEAD  
#OPTIONE
```

なお、本機能は六面体ソルバー les3c でのみ利用可能です。

境界条件機能制御

キーワード #BC_FREE により、出口で逆流が生じた場合に、これを 0 セットする機能が働きます。具体的な、指定方法は以下の通りです。

```
#OPTIONS  
#BC_FREE  
#OPTIONE
```

キーワード #BC_MICX により、流量エラー補正機能が利用できます。これは、オーバーセット計算において、各領域に生じた数値的な流量エラーを補正する機能です。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に補正方法を指定する整数およびオーバーセット領域数を示す整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#BC_MICX 1 3  
#OPTIONE
```

本バージョンでは、補正方法として以下の二通りの方法をサポートします。

- 1: それぞれの領域の入口と出口の流量エラーに基づき、流量を補正します。
- 2: 計算領域全体の入口での流量に一致するように、流量を補正します。

なお、本機能は六面体ソルバー les3c でのみ利用可能です。

キーワード #BC_NRBC により、無反射境界条件もしくは対流境界条件を制御できます。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#BC_NRBC 0  
#OPTIONE
```

でのみ利用可能です。

なお、本機能は六面体ソルバー les3c

でのみ利用可能です。

引数としては、0、1、2 のいずれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 0: 特別な境界条件処理をしない（デフォルトの設定）
- 1: 無反射境界条件
- 2: 対流境界条件

なお、本機能は六面体ソルバー les3c でのみ利用可能です。

キーワード #BC_NRI0 により、無反射境界条件の適用場所を指定することができます。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#BC_NRI0 3  
#OPTIONE
```

引数としては、0、1、2、3 のいずれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 0: どこにも適用しない。
- 1: 入り口境界にのみ適用する。
- 2: 出口境界にのみ適用する。
- 3: 入り口境界および出口境界に適用する。（デフォルトの値）

なお、本機能は四面体ソルバー les3ct でのみ利用可能です。

無反射境界条件もしくは対流境界を使用すると、出口での圧力が固定されないため、圧力場全体がシフトする場合があります。この問題を解消するため、流れソルバーでは、圧力参照点を決め、そこを基準に圧力場をシフトさせます。圧力参照点の指名はキーワード#BC_PREFで行います。

圧力参照点をセットしない場合、すなわち、圧力のシフトを行わない場合は以下のようにセットします。

```
#OPTIONS  
#BC_PREF 0  
#OPTIONE
```

圧力参照点の座標を指定する場合は、以下のようにセットします。

```
#OPTIONS  
#BC_PREF 1 XREF YREF ZREF  
#OPTIONE
```

ここで、XREF YREF ZREFは、圧力参照点の座標です。

圧力参照値として、出口の平均圧力を使用する場合は以下の陽にセットします。（デフォルトの設定）

```
#OPTIONS  
#BC_PREF 2  
#OPTIONE
```

マトリックスソルバー制御

キーワード #SOL_TRA により、六面体ソルバーが扱う輸送方程式を解くためのマトリックスソルバーを選択することができます。本システムでは、デフォルトのソルバーとして Bi-CGSTAB 法を使用しています。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#SOL_TRA 1  
#OPTIONE
```

引数としては、1 もしくは 2 のいずれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 1: Bi-CGSTAB 法 (デフォルトの設定)
- 2: ヤコビ法

なお、四面体ソルバーでは、上記の指定に関わらず Bi-CGSTAB 法が使用されます。

キーワード #SOL_PRS により、連続の式 (Poisson 方程式) を解くためのマトリックスソルバーを選択することができます。本システムでは、デフォルトのソルバーとして 残差切除法を使用しています。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#SOL_PRS 3  
#OPTIONE
```

引数としては、0、1、3 のいずれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 1: Bi-CGSTAB 法
- 2: ヤコビ法
- 3: 残差切除法 (デフォルトの設定)

なお、四面体ソルバーでは、上記の指定に関わらず Bi-CGSTAB 法が使用されます。

キーワード#ITR_RCMにより、残差切除法の内部反復回数を指定することができます。本システムにおけるデフォルトの内部反復回数は10回です。具体的には、キーワードの後に反復回数を指定します。

```
#OPTIONS  
#ITR_RCM 10  
#OPTIONE
```

なお、残差切除法は六面体ソルバーles3cでのみ使用しているので、他のソルバーの解析条件において、上記指定をしても、計算に影響を与えません。

四面体ソルバーでは、オーバーセット計算において、運動方程式を解くさいに、数ステップ（内部反復数）に一回、マトリックスソルバーからぬけ、オーバーセット処理をし、オーバーセット境界の値を更新しています。キーワード#ITRT_IN+により、この内部反復数を変更することができます。内部反復数のデフォルト値は5回です。具体的には、キーワードの後に反復回数を指定します。

```
#OPTIONS  
#ITRT_IN 10  
#OPTIONE
```

なお、本機能は四面体ソルバーles3ctでのみ利用可能です。

四面体ソルバーでは、オーバーセット計算において、連続の式（Poisson方程式）を解くさいに、数ステップ（内部反復数）に一回、マトリックスソルバーからぬけ、オーバーセット処理をし、オーバーセット境界の値を更新しています。キーワード#ITRP_IN+により、この内部反復数を変更することができます。内部反復数のデフォルト値は20回です。具体的には、キーワードの後に反復回数を指定します。

```
#OPTIONS  
#ITRP_IN 10  
#OPTIONE
```

なお、本機能は四面体ソルバーles3ctでのみ利用可能です。

ニュートン・ラブソン法の反復回数

キーワード #ITR_NRX により、運動方程式の非線形項を計算するために実装されているニュートン・ラブソン法の反復回数を指定することができます。本システムにおけるデフォルトの内部反復回数は 0 回です。すなわち、ニュートン・ラブソン法による計算を行っておりません。ニュートン・ラブソン法を使用すると、計算コストが増加しますが、わずかに精度が向上することが確認されております。反復回数を 2 にした場合、計算コストはおよそ倍になります。具体的には、キーワードの後に反復回数を指定します。

```
#OPTIONS  
#ITR_NRX 2  
#OPTIONE
```

なお、ニュートン・ラブソン法は六面体ソルバー les3c でのみ使用しているので、他のソルバーの解析条件において、上記指定をしても、計算に影響を与えません。

キャビテーション数の定義方法

キーワード #CAVPREF により、キャビテーション数の定義式における参照圧力を選択することができます。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#CAVPREF 1  
#OPTIONE
```

引数としては、のいづれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 0: 出口境界での圧力を参照圧力とする (デフォルトの設定)
- 1: 入口境界での圧力を参照圧力とする

なお、キャビテーション流れ解析機能は六面体ソルバー les3c でのみ利用可能です。

DES 解析機能制御

解析条件ファイルの前半部分において、IMODE=3 を指定すると、乱流モデルとして SA モデルが使用されます⁷。キーワード #MOD_DES は SA モデルを制御するためのパラメータです。具体的には、以下に示すようにキーワードの後に整数を指定します。

```
#OPTIONS  
#MOD_DES 0  
#OPTIONE
```

引数としては、0、1 のいずれかの値を設定します。それぞれの意味は以下の通りです。

- 0:DES 解析 (SA モデルと LES のハイブリッド)(デフォルトの設定)
- 1:RANS 解析 (SA モデル)

キーワード '#VT_INIT' を指定して渦粘性を再初期化することができます。本システムでは、この処理をすることを推奨します。この機能が有効になると、局所平衡の仮定に基づいてソルバーが渦粘性をリセットします。DES 解析で得られた流れ場を初期条件として DES 解析を行う場合には、このオプションは必要ありません。具体的な、指定方法は以下の通りです。

```
#OPTIONS  
#VT_INIT  
#OPTIONE
```

⁷本キーワードを用いなければデフォルトで DES 解析になりますので、21.2.2 では、簡単のため、IMODE=3 が DES 解析に対応すると説明しています。

流体解析プログラム "les3c" で用いる解析条件ファイル中での、オプション機能の設定例を図 21.5 に示します。設定ファイルの前半は基本部分であり、後半 5 行がオプション部分です。以下、オプション部分の 5 行に注目について説明します。1 行目の "#OPTIONS" はオプション部分の開始を意味します。2 行目の "#BC_FREE" は、出口境界における逆流をゼロに設定する機能を有効にするものです。キーワード "#BC_FREE" では、引数を指定する必要はありません。3 行目の "#GRDFILT" はグリッドフィルターの種類を指定します。キーワードに続く引数 IFILTR が 3 であるので、要素の体積の三乗根をフィルター幅に設定します。4 行目のキーワード "#BC_PREF" は、対流流出境界条件と無反射境界条件における参照圧力を制御するものです（対流境界と無反射境界条件に関しては、それぞれ 6.4 節を参照してください）。引数 "IPREF" が 1 であるから、参照点 (xref, yref, zref) での圧力が参照圧力とされます。続いて参照点 (xref, yref, zref) を指定する必要があり、ここでは (1.0, 1.0, 1.0) を参照点としています。最終行の "#OPTIONE" はオプション部分の終了を意味します。

```

#GIVE COMGEN
STENCIL PARAMETER FILE FOR LES3C
#GIVE IMODEL IPSDUM IFORM IOUT NFRAME JSET
2 12 2 0 0 0
#GIVE FSMACH SIGMA CGAS CLQD
0.0 0.0 1000.0 1.0
#GIVE VISCM C DT OMEGA
5.5556E-3 0.1 1.0E-3 0.0
#GIVE EPSP NMAXP EPST NMAXT
1.0E-6 50 1.0E-6 50
#GIVE NTIME ISTART TFINAL UFINAL VFINAL WFINAL
10 0 0.0 0.0 0.0 0.0
#GIVE INTFSV INTPSV
0.0 0.0
#GIVE NSMPL / LSMPL XSMPL YSMPL ZSMPL
4
1 1.0 5.5556e-3 1.0
2 1.0 5.5556e-3 1.0
3 1.0 5.5556e-3 1.0
4 1.0 5.5556e-3 1.0
#GIVE MESH DATA FILE
mesh
#GIVE BOUNDARY CONDITIONS FILE
boun
#GIVE INITIAL CONDITIONS FILE
flow
#GIVE FINAL CONDITIONS FILE
flow
#GIVE HISTORY DATA FILE
history
#END OF BASIC INPUT DATA
#OPTIONS
#BC_FREE
#GRDFILT 3
#BC_PREF 1 1.0 1.0 1.0
#OPTIONE

```

Figure 21.5: A sample control parameter file with optional parameters for flow solver "les3c"

Chapter 22

Appendix B 旧バージョンの 更新内容

What 's new in ver.7.2

1. 局所 refine 機能

メッシュを局所的にリファインする機能をサポートします。本バージョンでは壁面境界から指定したレイヤー内にあるメッシュに対して指定した回数のリファインを行います。本機能については 4.4.1 節を参照してください。

2. ALE 解析機能

移動・変形メッシュを取り扱う ALE 解析機能をサポートします。本機能は流体・構造連成解析時に使用できるほか、物体を強制的に振動・伸縮させることも可能です。本機能については 4.4.2 節を参照してください。

3. IDR マトリックスソルバー

¹ (熱輸送方程式、音響ソルバー) IDR マトリックスソルバーをサポートします。本バージョンでは流れソルバーの熱輸送方程式及び音響ソルバーで使用可能です。本機能については 4.4.3 節を参照してください。

4. 音響解析ソルバーの利便性向上

- 音響ソルバーにおいてマルチ要素（六面体、四面体、三角柱、四角錐）およびボクセルメッシュが利用可能となりました。
- 音響ソルバーにおいて、二重極音源が利用可能となりました。

¹Tanio, M., and Sugihara, M., Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 235, Issue 3 (2010), pp. 765-784.

What 's new in ver.7.1

1. ボクセル計算機能

解像度の不連続を含むメッシュを用いた計算機能をサポートします。本バージョンでは本機能のプロトタイプを公開します。本機能のチュートリアルとしては 14 章を参照してください。

2. 定常・RANS 解析機能

定常解析機能として SIMPLE 法および SIMPELC 法、RANS 解析機能として低レイノルズ数型 $k - \epsilon$ モデル (Launder-Sharma モデル² および Chine モデル³) をサポートします。本機能のチュートリアルとしては 12 章を参照してください。

3. 熱輸送解析機能の強化

マルチ要素ソルバー les3x において固体中の熱伝導解析機能と連成した熱輸送解析機能をサポートするとともに、複数種類の物性値を入力する機能をサポートします。

4. ファンモデル、ポーラスモデル

ファンモデル、ポーラスモデルをサポートします。本モデルでは指定領域の断面における平均速度の関数として体積力を作用させることによりファンによる圧力上昇およびポーラスによる圧力損失をモデル化します。本機能のチュートリアルとしては 15 章を参照してください。

5. その他の変更

- 本バージョンよりユーザーの指定する入力データはすべて SI 単位系の有次元量として扱うことが可能となります。⁴
- 流れソルバーは多機能化に伴い解析条件パラメータのフォーマットを改訂しました。新フォーマットに関しては節を参照ください。

²Lauder, B.E. and Sharma, B.I. (1974):Application of energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc. Letters in Heat and Mass Transfer, 1:131-138

³Chine, K. Y. (1982): Predictions of channel and boundary-layer flows with a low-Reynolds number. J. Fluid. Engng., 103:456-460

⁴旧ソルバーである六面体ソルバー les3c および四面体ソルバー les3c に関しては従来通り無次元量を取り扱います。また、有次元量をサポートする新ソルバー les3x においても従来通り無次元量での取り扱いも可能です。

What 's new in ver.6.1

1. マルチ要素対応流れソルバー

六面体、三角柱、ピラミッド、四面体の混在に対応した流れソルバー (les3x, les3x,mpi) が新たに使用可能になりました。本ソルバーは、並列計算機能、オーバーセット機能、マルチフレーム機能といった従来の流れソルバーがサポートする基本機能を具備しております。また、従来のソルバーと同等の乱流予測精度を確認済です。(チュートリアとして 9 章および 8.6 節参照)

2. 音響解析ソルバー

音響ソルバー (caa3d) および関連周辺プログラムを FrontFlow/blue-acoustic として公開します。本音響ソルバーは FFB 流れソルバーで計算した音源情報を入力データとする大規模な音響解析を実行するために開発されました。具体的には、最大で流体 1000 億メッシュ、音響 10 億メッシュ(ただし音源は 1 億)の大規模流体音響解析を想定したシステム設計になっています。現状で、約 6000 万グリッドの音響解析が可能であることが確認されております。本機能を使用する場合は本体システム FFB の他に FFB-A をダウンロードしてください。FFB-A の使用方法については、本資料の以下を参照してください。

- インストール 3 章
- チュートリアル 11 章
- 周辺プログラム 19 章

3. 流れソルバーコアルーチンの高速化

流れソルバー (les3x, les3x,mpi) のコアルーチンは従来ソルバーを比較し高速化されております。特に、六面体を使用する場合、従来流れソルバー (les3c) と比較して、最大 2 倍の高速化を実現しました。

4. Refiner 機能⁵ メッシュを細分化 (Refine) する機能をサポートします。本機能を用いると、ひとつの要素が 8 要素に分割されます。要素タイプとしては、六面体、三角柱、ピラミッド、四面体をサポートしています。本機能は、流れソルバー (新ソルバーのみ対応) および周辺プログラムから利用可能であり、流れソルバーでは、並列動作をサポートします。(チュートリアとして 9 章を参照)

5. メモリ容量管理に関する改良

従来の FFB では、ユーザが取り扱うデータサイズに応じて、流れソルバーおよび周辺プログラムの再コンパイルが必要でした。本バージョンより、これを解決するため流れソルバーおよび周辺プログラムに対して以下の改良を行いました。

⁵Refiner 機能は REVOCAP システムにおける REVOCAP_refiner が提供する機能です。 FFB システムは REVOCAP_refiner を内包しております。

- (a) 流れソルバー⁶
ダイナミックアロケーション機能を実装しました。これにより、ユーザは実行時にアロケートするサイズを必要に応じて変更できるようになり再コンパイルの必要はなくなりました。(21.2.5節参照)
- (b) 周辺プログラム
本バージョンより、取り扱うデータの最大数⁷を一括管理します。全ての周辺プログラムは同じ設定ファイルを参照するため、ユーザは取り扱うデータサイズをインストール前に一度設定すれば、全ての周辺プログラムがこれに対応するため、再コンパイルの作業負荷が大幅に削減されます。(2章参照)

6. 領域分割機能の拡充

領域分割ライブラリ METIS⁸を導入しました。METIS の導入および周辺プログラムの改良により、最大 1 億要素のメッシュ分割処理が可能となりました。

⁶本機能は新ソルバーでのみサポートします。

⁷MP:節点数の最大数、ME:要素数の最大数、MPART:領域数の最大数

⁸METIS はミネソタ大学が開発された領域分割ライブラリです。FFB はこれを内包します。

What 's new in ver.5.3

1. アルゴリズムの変更により、四面体ソルバーを約 2 倍高速化しました。ソルバーの利用方法に変更はありません。
注意事項：今回の高速化はスカラマシン限定の手法であるため、本バージョンの四面体ソルバーをベクトルマシンで動作させることはできません。ベクトルマシンにおいて四面体ソルバーを使用する場合は ver.5.2 のソルバーを利用ください。また、本バージョンの四面体ソルバーは DES 解析機能をサポートしておりません。DES 解析機能を利用する場合も ver.5.2 のソルバーを利用ください。
2. 四面体の GF データを可視化ソフト FieldView⁹ 用のデータに変換するプログラム'gffv3t' におけるバグを修正しました。これにより、壁面の境界表示において生じていた問題が解決します。

⁹FIELDVIEW は Intelligent Light 社の可視化ソフトウェアであり、本システムに付属するソフトウェアではないことに注意してください。

What 's new in ver.5.2

1. ver.5.1 では、六面体ソルバーにおいて逆流 0 セット機能を使用する場合、NRBC 機能と同時に使用しなければ機能しない問題がありましたがこれを解消しました。
2. 六面体ソルバーの DES 解析における DES 渦粘性の初期化方法を改良しました。
3. ver.5.1 では、四面体ソルバーロードモジュールのファイルサイズが大きくなる問題がありましたが、これを解消しました。

What 's new in ver.5.1

1. 四面体ソルバーによる Detached Eddy Simulation (DES) 解析機能 FFB ver.5.0 より六面体ソルバーに実装された DES 解析機能を四面体ソルバーにも実装しました。
2. 数値安定性の向上
六面体ソルバーがサポートする無反射境界条件機能 (6.4 節、参照) の実装方法を改良し、数値安定性が向上しました。使用方法に変更はありません。
3. 計算スピードの向上
四面体ソルバーをベクターマシン上で高速化しました。バンクコンフリクトを解消することにより、約 2 割、性能向上しました。
4. SR シリーズにおける自動並列化
FFB ver.5.0 では、SR シリーズ (SR8000,SR11000) において、自動並列化機能が使えませんでしたが、この問題を解消しました。

What 's new in ver.5.0

1. Detached Eddy Simulation (DES) 解析機能

Spalart ら [1] が提案する乱流解析手法である DES による乱流解析機能をサポートします。DES は RANS と LES のハイブリッド手法であり、壁面近傍の境界層内部の乱流場を RANS (S-A モデル [2]) でモデル化し、壁面からはなれた渦の挙動を LES により直接計算します。DES 解析機能は六面体ソルバー (les3c) のみで利用可能です。DES 解析機能については、13 章を参照してください。

2. 热輸送解析機能

流体中の热輸送解析機能をサポートします。温度場はパッシブスカラとして扱うことも可能ですが、浮力項もしくは散逸による内部加熱項を介して、流れ場にフィードバックさせることもできます。なお、本バージョンではふく射解析機能はサポートしていません。热輸送解析機能については、16 章を参照してください。

3. 四面体ソルバーによるオーバーセット計算機能

四面体ソルバーによるオーバーセット計算機能をサポートします。四面体ソルバーに実装されたオーバーセット計算手法は、六面体ソルバーとほぼ同じです。この機能により、四面体ソルバーを用いたより実用的な計算（例えばターボ機械内部流れ解析）が可能になりました。四面体要素を用いたオーバーセット計算については、7.3 節、8.5 節を参照してください。

4. 計算スピードの向上

六面体ソルバー (les3c) を高速化しました。これにより、六面体ソルバーは、スカラマシン・ベクトルマシンにおいて 2 倍以上の性能向上を実現しました。四面体ソルバーの高速化は現在実施中です。四面体ソルバーについては、スカラマシン用限定で高速化版を公開します。

5. 操作性の向上

周辺プログラムを起動するためのスクリプトを実装することにより、操作性を向上させました。これにより、本システムの周辺プログラムは UNIX (Linux) のコマンドのように使用することができます。スクリプトを使用する前に、2.3.2 節、4.2 節を参照ください。

Bibliography

- [1] Spalart, P. R., Jou, W.-H., Strelets, M. and Allamaras, S. R., Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach. in: Liu, C. and Liu, Z. (eds), *Advances in DNS/LES*, Proceedings, Columbus, OH (1997) pp. 137-147
- [2] Spalart, P. R. and Allamaras, S. R., A one-equation turbulence model for aerodynamic flows, *La Rech Aerospatiale* 1 (1994) pp. 5-21.
- [3] Spalart, P.R., Allmaras, S.R., AIAA paper (1992) pp. 92-0439.
- [4] Ucker, P.G., *J. Comput. Phys.*, 190 (2003), pp.229-248.
- [5] Curle, N., *The influence of solid boundaries upon aerodynamic sound*, *Proceedings of the Royal Society, Series A*, 231 (1955) , 505-514.
- [6] 沖田浩平、数値シミュレーションによる非定常キャビテーション流れに関する研究、大阪大学学位論文 (2002)
- [7] Kato, C., Ikegawa, M., *Large eddy simulation of unsteady turbulent wake of a circular cylinder using the finite element method*, ASME-FED, 117 (1991), pp. 49-56.
- [8] Kato, C., Kaiho, M., Manabe, A., *An overset finite-element large-eddy simulation method with application to turbomachinery and aeroacoustics*, *Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics*, 70 (2003), pp. 32- 43.
- [9] Kato, C., et al., *Numerical prediction of sound generated from flows with a low mach number*, *Computers & Fluids*, 36 (2007), pp. 53-68.
- [10] 西村香純、他 4 名、日本機械学会流体工学部門講演論文集、(2005) pp. 1515.
- [11] Wang, H., et al., *Large eddy simulation of unsteady flow around a door mirror model and prediction of resulting far-field sound*, *Proceeding of ASME IMECE*, (2005), IMECE2005-80698.
- [12] Kato, C., et al., *Prediction of the noise from a multi-stage centrifugal pump* *Proceeding of ASME FEDSM*, (2005), FEDSM2005-77312.

- [13] Yamade, Y. et al., *Large eddy simulation and acoustical analysis for prediction of aeroacoustics noise radiated from an axial-flow fan*, Proceeding of ASME FEDSM, (2006), FEDSM2006-98303.
- [14] Guo, Y., et al., *Proceedings of the 23rd I.A.H.R. Hydraulic Machinery*, (2006) No. F195.
- [15] Smagorinsky, J., *General circulation experiments with the primitive equations. I: the basic experiment*, Month. Weath. Rev. Vol. 91(3) (1963), pp. 99-165.
- [16] Germano, M., et al., *A dynamic subgrid-scale eddy viscosity model*, Phys. Fluid., A 13 (1992), pp. 1760-1765.
- [17] Lilly, D. K., *A proposed modification of the germano subgrid-scale closure method*, Physy. Fluids, A 3 (1991), pp. 1760-1765.
- [18] Uddin, A., et al., *Large eddy simulation of homogeneous isotropic turbulent flow using the finite element method*, JSME International Journal, 49 B (2006), pp. 102-114.
- [19] 山出吉伸、他 2 名、四面体要素による乱流解析、生産研究 , vol. 59 (2007)、no. 1-654、 pp. 77.
- [20] Van der Vorst, H. A., *BI-CGSTAB-a fast and smoothly converging varient of bi-cg for the solution of nonsymmetric linear system*, SIAM J Sci Stat Comput, 13, 2 (1992), pp.631-644.
- [21] Tamura A., Kikuchi K., Takahashi T., *Residual cutting method for elliptic boundary value problems: application to poisson's equation*. J Computat Phys, vol. 137,(1997), pp. 247
- [22] 山出吉伸、他 3 名、2 次元物体周りのキャビテーション流れ LES 解析、第 18 回数値力学シンポジウム講演論文集、(2004)