

3 次元直交曲線座標系不均一メッシュデータの確認

臼杵 達哉 *
My home, Tsukuba, Japan
(Dated: 2018 年 9 月 17 日)

電磁界数値計算に必要な全てのデータ生成を、本ドキュメント (“./SliceData/ChecDoc/ChecDoc.pdf”) に沿って確認する。3 次元直交曲線座標系の不均一メッシュの各格子点の位置を確認することから始めて、格子点で設定される媒質パラメータ、空間の曲がりや不均一性を含んだパラメータも確認する。これらのデータを生成する実行ファイルは 7 つ (“./testn.sh” に記述 $n = 1, 2, \dots, 7$)、3 次元データを可視化するために 2 次元断面を切り出す実行ファイル (“./testSlice.sh” に記述) を合わせた計 8 つを用いて検証を行う。8 つの実行ファイル作成直後からデータの検証に取り組んだ。凡そ 1 ヶ月の間、試行錯誤しながら纏めたのがこのドキュメントである。

I. はじめに

3 次元の座標軸は、一般に用いられる x, y, z に応じた 0, 1, 2 で番号付けられた名称を用いる。3 次元空間をデカルト座標で表す場合は座標軸を x_0, x_1, x_2 と表現し、導波路構造を考慮した直交曲線座標系では、座標軸を u_0, u_1, u_2 と表す。また、電磁波(光)の伝播方向は u_2 軸に沿うものとする。3 次元座標 $\mathbf{u} = (u_0, u_1, u_2)$ を整数で離散化した座標が (l_0, l_1, l_2) である。不均一メッシュを表現する為、媒介変数 ξ_j を導入して $u_j(\xi_j)$ のように u_j を関数とみなす。その上で ξ_j を等間隔に離散化したものが l_j である。

Yee cell は、 (l_0, l_1, l_2) で番号付けする。各セルは離散化した誘電率 ϵ_l と透磁率 μ_l を内包する。 ϵ_l と μ_l は、それぞれ下記の様に 2 階テンソルの対角成分で表す。

$$\boldsymbol{\epsilon}_l = \begin{pmatrix} \epsilon_{l00} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{l11} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{l22} \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\mu}_l = \begin{pmatrix} \mu_{l00} & 0 & 0 \\ 0 & \mu_{l11} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{l22} \end{pmatrix}.$$

図 1 に示す様に、 u_0 と u_1 の誘電率(電場)成分が Yee cell の u_2 方向に関して中央に配置されるように Yee cell 中の格子点を設定した。各セル内の格子点は計 6 つである。

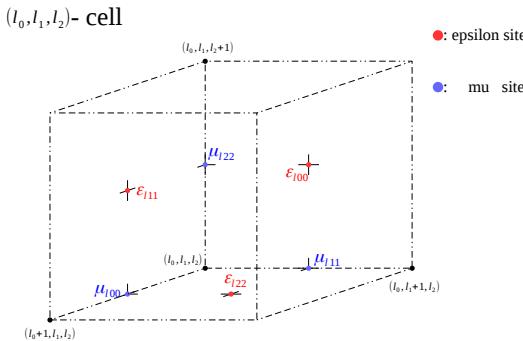


図 1: Yee cell.

u_a 軸上の点 l_a と $l_a + 1/2$ に於いて切断した断面をそれぞれ図 2 に示す。各セルの断面には 3 つの格子点が含まれるが、その番号付けは図 2 に従う。

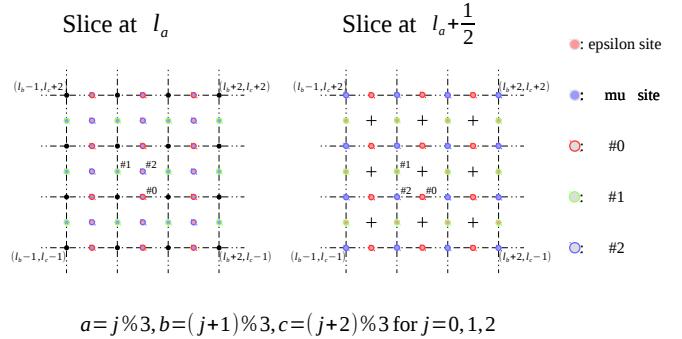


図 2: Sliced Yee cell.

II. ファイル “./INPUT.DAT” の設定

電磁界数値計算に必要な殆どの設定は、“./input.dat” に記述する。このファイルの一例を図 3 に示す。シェルスクリプトと同様に、行頭の “#” はコメント文を意味する。実行プログラムは、空白を除く行頭のコマンドを認識して行を選択し、その行の “=” に続く数値や文字を読み取る。数値に単位が必要な場合は、数値に続けて図 3 に示した文字列で単位を記述する。図 3 では、波数の基準値 k_0 の逆数を設定する制御コマンド “inv_k0” を 3 行目の行頭に記述している。この記述で $k_0 = 10 \mu\text{m}^{-1}$ に設定される。図 3 に示した “./input.dat” には、合計 12 種類の制御コマンドが記述されている。これらの制御コマンドとそれに続く設定パラメータを 8 つの実行ファイルが読み出す。その順番は任意で構わず、実行ファイル間で整合が取れる範囲で、“./input.dat” の内容を複数の設定ファイルに分割することも可能である。

次にメッシュの設定に焦点を絞って説明する。制御コマンド “Mesh” に続く 5 つの数値で散乱領域内メッシュの基本設定を定義する(図 4 の 12 行目から 14 行目)。

1 番目は座標軸の番号、2 番目はセルの数 L_j 、そして 3 番目は散乱領域の差渡しを設定。4 番目の整数値と 5 番目の実数(長さの次元)は、関数 $u_j(\xi_j)$ に関する設定パラメータ。図 4 の 23 行目から 24 行目は、直交曲線座標の設定に関する。行頭の制御コマンド “F_b” と “F_w” はそれぞれ曲率関数 $\kappa_b(u_2)$ と $\kappa_w(u_2)$ の設定パラメータを指示する。各行、1 番目の文字列で関数型(25 行目のコメントで 7 つの型を示す)を指定。2 番目の実数値で関数に与えるパラメータを設定。図 4 の 36 行目は、 u_2 軸に沿って散乱領域の両側に設定する外部領域(制御コマン

*Electronic address: usuki-tty@smatran.org; URL: <http://www.smatran.org/>; Thanks to you for your patience!

```

# means a comment text.

By recognizing "Inv_k 0" at the head of the line except the space, the numerical value after "=" can be read.
Read the unit of length after the number (in this case micron "um"). Space between numbers and units can be omitted.

Units of length, angle, temperature: "km", "m", "cm", "mm", "um", "micron", "nm", "deg", "rad", "K", "degC", "degF"

```

図 3: “./input.dat”.

```

"Mesh", "Mesh" or "MESH" at the beginning of the line except spaces is recognized and the (total 5) numerical values after "=" are read.
The third and fifth are given units of length.
Information gives coordinate numbers 0, 1, 2 one by one so that they do not overlap (in random order).
The second number is the number of cells, the third is the cell size (nonnegative real number).
Information on the unequal mesh at the 4th and 5th positions (if the 4th integer is not positive, it is equally spaced and the 5th is unnecessary or ignored).

"b" and "w" at the end of the line except the space are recognized, and informations on the changes in bending and width are given respectively.
The letters and numbers after "=" (Pi is a comment, it is not necessary) are math-function type and real number respectively.

By recognizing "outer" at the beginning of the line excluding space, the numerical value or character after "=" can be read.
The first number is number of outer cells on one side, and the second is the file name.

"Slice", "Slice" or "SLICE" at the head of the line except the space is recognized and the coordinate axis to be sliced by the numerical value 0, 1 or 2 just after it without space is selected.
The first number after "=" gives the nonnegative cell number (including outer in the third coordinate axis), and the second gives the sub-cell number 0 or 1.

This is the prefix of the file name, and it is ignored if "=" exists at the end of the prefix.
Three generated files are "prefix_0.dat", "prefix_1.dat", and "prefix_2.dat".
The information on the corresponding sub-cell number in the cell is included in the each file.


```

図 4: Description of mesh.

ドは“outer”)を設定する。図4の49行目から55行目は、3次元メッシュを確認するため座標軸 u_j に垂直に切断した2次元データを生成するための設定(制御コマンドは“Slice”)である。“Slice”直後の整数は切断する軸を指定、2番目は切断する0から始まるセル番号、3番目はセルと前のセルとの境界(=0)かセルの中央(=1)を指定、3番目は出力ファイル名の接頭詞(prefix)を指定する。図2に示した3つの格子点に対応した番号0, 1, 2を付加して、“prefix_0.dat”, “prefix_1.dat”, “prefix_2.dat”的3つのファイルを生成する。

上記で設定した数値に関する注釈を図5中に詳しく示す。散乱領域の u_0 方向のセル数は $L_0 = 14$ で差渡しが $2\mu\text{m}$ 、 u_1 方向のセル数は $L_1 = 20$ で差渡しが $3\mu\text{m}$ 、そして u_2 方向のセル数は $L_2 = 20$ で差渡しが $5\mu\text{m}$ に設定。36行目で、それぞれのouterの u_2 方向のセル数を5と設定した。従って、 u_2 方向のセル数は合計 $20 + 5 + 5 = 30$ となる。23行目から24行目に亘って、直交曲線座標系は u_2 軸に沿って角度が $-\pi/4$ から $+\pi/4$ に変化する。つまり u_2 軸は直角に曲がっていることになる。また外部

領域の u_0 方向の倍率は2に設定されている($u_2 = 0$ での u_0 方向の倍率は1に固定)。49行目から55行目で2次元

```

The number of cells along the first coordinate axis  $l_0$  is 14, the span is  $2 \mu\text{m} @ h = 0$ . The central cell length is about  $60 \mu\text{m}$ .
The number of cells along the second coordinate axis  $l_1$  is 20, the span is  $3 \mu\text{m}$ , and the central cell length is about  $60 \mu\text{m}$ .
The number of cells along the third coordinate axis  $l_2$  is 20, the span is  $5 \mu\text{m}$ , and the central cell length is about  $150 \mu\text{m}$ .

```

The angle changes from $-\pi/4$ to $+\pi/4$, that is, the bending is right angle. The width doubled at both ends.

The number of one side cells in outer region is 5 along the coordinate axis l_2 . Therefore, the total number of cells along the coordinate axis l_2 is 30.

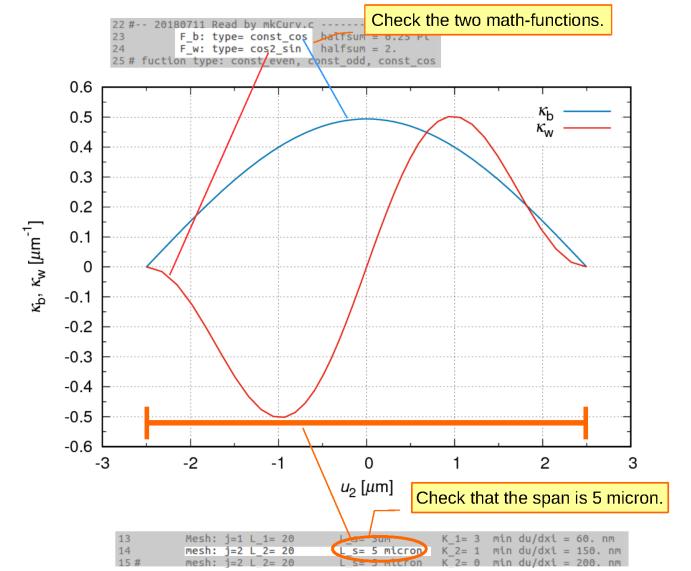
Total of slices are 7.
The coordinate axes l_0 and l_1 are sliced at the center and more sliced at the point where one sub-cell is shifted (subtotal 4).
The coordinate axis l_2 is sliced at the center and more sliced at the points where one sub-cell are shifted at the outer both sides (subtotal 3).

図 5: Details of 3D mesh.

断面ファイルを指定しているが、各行の指定でそれぞれ3つのファイルを出力するので合計21の2次元断面ファイルを確認することになる。各軸の中央($u_j = 0$)での断面が $3 * 3 = 9$ 、 u_0 と u_1 軸については中央から $1/2$ セルずれた位置での断面が $2 * 3 = 6$ 、 u_2 軸に沿った外部領域(左側をBottomの“B”，右側をTopの“T”をprefixの最後に付加)のセル中央での断面が $2 * 3 = 6$ ファイルそれぞれ作られる。

III. 格子点の位置

図4と2の23行目から24行目で示した曲率関数 κ_b (u_2)と κ_w (u_2)の関数型を図6で確認する。23行目で指定した

図6: κ_b (u_2) and κ_w (u_2) from “./kappa.eps”.

“const_cos”は κ_b (u_2) $\propto \cos(\pi u_2/L_s)$ 、24行目で指定した“cos2_sin”は κ_w (u_2) $\propto \cos^2(\pi u_2/L_s) \sin(\pi u_2/L_s)$ を

意味する。ここで L_s は差渡しで、14 行目で $L_s = 5 \mu\text{m}$ に設定。図 6 のグラフから関数型や u_2 方向の差渡しが適切に設定されていることが確認できる。直交曲線座標系を $\mathbf{u} = (u_0, u_1, u_2)$ 、デカルト座標系を $x = (x_0, x_1, x_2)$ と表記するが、他に中間座標として非直交の $\mathbf{r} = (r_0, r_1, r_2)$ を用いる。座標変換は u_1 軸に垂直な面内で行うので、 $u_1 = r_1 = x_1$ であることに注意。“./SliceData/plot.g.sh”によって“./SliceData/Slicej_g.plt”($j = 0, 1, 2$) ファイルを “gnuplot” で起動し、eps 形式の画像ファイルを生成する。

A. u_0 軸を切断した断面

先ず $u_0 = 0$ に於いて u_0 軸に垂直に切断した断面 (u_0 面) の格子点を図 7 に示す。横軸は u_1 、縦軸は r_2 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを確認。“./Slice-

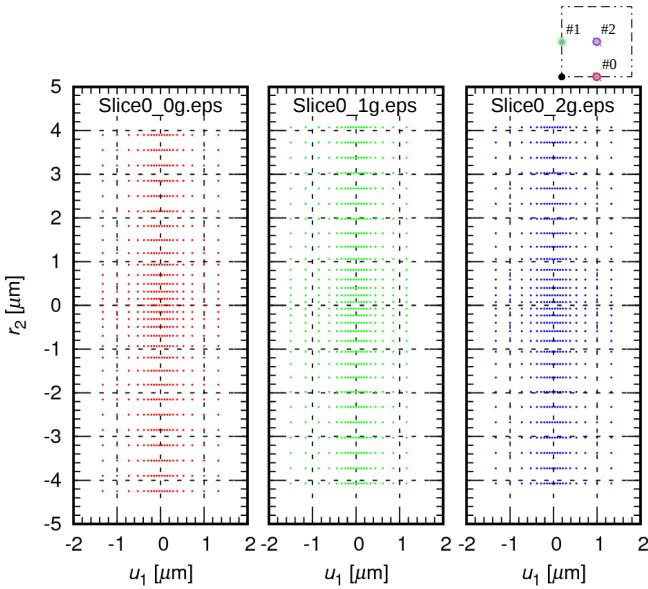


図 7: “./SliceData/Slice0_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0_g.plt”.

Data/Slice0_2g.eps の格子点 #2 はセル断面の中央に位置し、“./SliceData/Slice0_0g.eps”的 #0 は下のセル境界に、“./SliceData/Slice0_1g.eps”的 #1 は左のセル境界に位置する。 r_2 方向のセル数は 30、図面を拡大すると u_1 方向のセル数は 20 であることが確認できる。 u_1 方向と r_2 方向の最小セルサイズが $u_1 = 0$ と $r_2 = u_2 = 0$ に位置しているのが確認できる。数値は図面から判別しづらいが“./SliceData/Slice0_2.dat”からそれぞれ $0.06 \mu\text{m}$ と $0.150 \mu\text{m}$ であり、図 5 の 13 行目と 14 行目の右端で設定した数値と整合する。“./SliceData/Slice0_2g.eps”的格子点が $u_1 = 0$ と $r_2 = 0$ を中心として左右と上下に対称に位置していることも判る。“./SliceData/Slice0_1g.eps”的左端の格子が $u_1 = -1.5 \mu\text{m}$ に位置していることから u_1 方向の差渡しが $3 \mu\text{m}$ 、“./SliceData/Slice0_0g.eps”的下から 6 番目の格子が $r_2 = u_2 = -2.5 \mu\text{m}$ に位置していることから u_2 方向の差渡しが $5 \mu\text{m}$ であることも確認。

$u_0 = \xi_0 = 0$ から少しずれた $\xi_0 = 1/2$ で切断した u_0 面を図 8 に示す。図 7 と比較して格子点 #2 が左下に

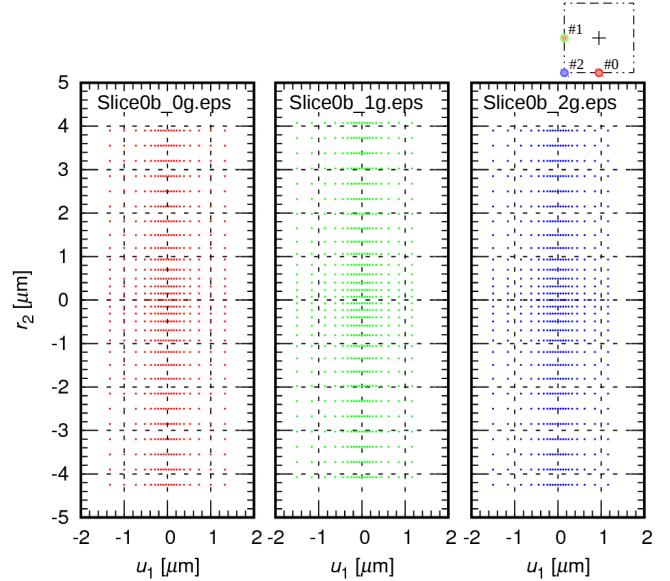


図 8: “./SliceData/Slice0b_j.dat” $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0_g.plt”.

にずれていることが確認できる。散乱領域に於いて #0 と #1 の格子点も図 7 と比較して r_2 方向に位置がずれるが図面からは判別できない。“./SliceData/Slice0_j.dat”と“./SliceData/Slice0b_j.dat”($j = 0, 1$) の数値から直接確認しなければならない。例えば $j = 0$ の 130 行目で $k_0 r_2 = -21.5164, -21.5152$ と僅かにずれる。

B. u_1 軸を切断した断面

次に $u_1 = 0$ に於いて u_1 軸に垂直に切断した断面 (u_1 面) の格子点を図 9 に示す。横軸は x_2 、縦軸は x_0 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを確認。格子点 #2 はセル断面の中央に位置することが“./SliceData/Slice1_2g.eps”的 $x_2 = 0$ 付近の格子点を見ると判る。同様に“./SliceData/Slice1_0g.eps”的 $x_2 = 0$ 付近の格子点 #0 は下のセル境界に、“./SliceData/Slice1_1g.eps”的格子点 #1 は左右両端を比較して左のセル境界に位置することが判る。格子点 #2 と #0 は左右対称に配置され、#1 は $x_2 = 0$ 上に並ぶ。 u_2 方向のセル数は $30 = 5 + 20 + 5$ 、 u_0 方向のセル数は 14 であることが確認できる。図 5 の 23 行目で設定したように、図 9 の直交曲線座標系は u_2 軸に沿って角度が $-\pi/4$ から $+\pi/4$ に変化することが明らか。 $x_2 = 0$ に於いて、 u_0 方向の差渡し $2 \mu\text{m}$ であることを確認。幅の変化は数値ではわかりにくいが、図 5 の 24 行目で設定したように両端で倍の $4 \mu\text{m}$ を確認できる。図 9 の $u_0 = 0$ の u_2 軸は点 $(x_2, x_0) = (0, 2 \mu\text{m})$ を中心とした半径 $2 \mu\text{m}$ の円弧(図 9 “./SliceData/Slice1_2g.eps”的橙色)に接していることが確認できる。図 6 に示した様に、 $u_2 = 0$ で κ_b は最大値 $\kappa_b = 0.5 \mu\text{m}^{-1}$ であることと整合する。

$u_1 = \xi_1 = 0$ から少しずれた $\xi_1 = 1/2$ で切断した u_1 面を図 10 に示す。図 9 と比較して格子点 #2 が左下にずれていることが確認できる。格子点 #0 と #1 の配

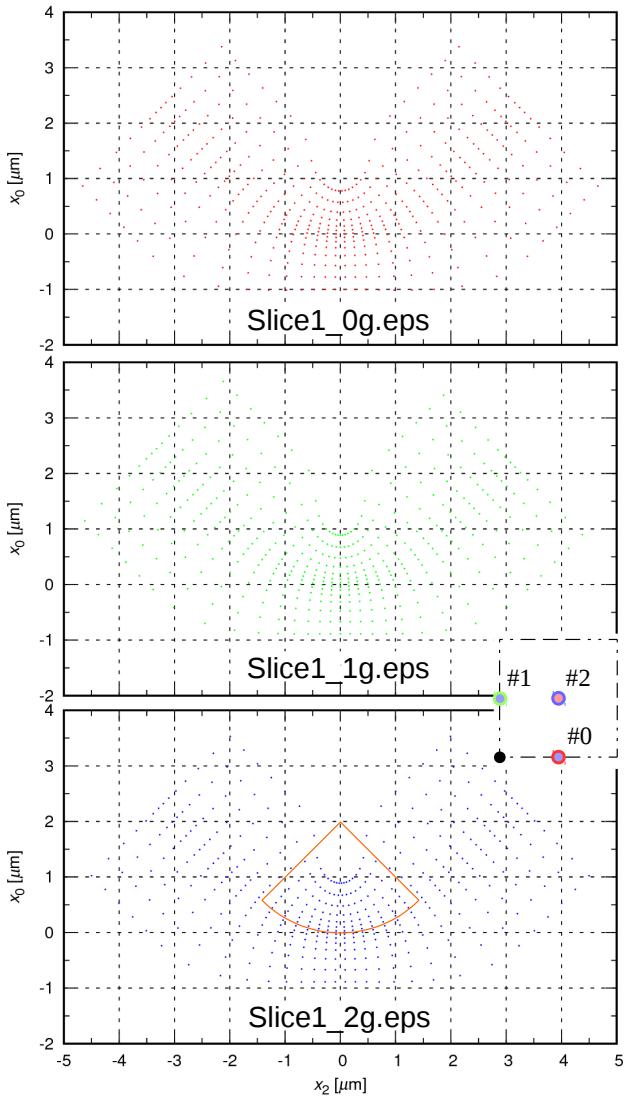


図 9: “./SliceData/Slice1₋j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1_g.plt”.

置は図 10 と 9 で同一である。“./SliceData/Slice1₋j.dat”と“./SliceData/Slice1b₋j.dat”($j = 0, 1$)の数値で直接確認。図 6 に示した様に、 κ_w の関数は“./input.dat”的 24 行目で指定した“cos2_sin”なので $u_2 = \pm 2.5 \mu\text{m}$ に於いて κ_w は 2 次で変化する。従って、図 10 “./SliceData/Slice1b_0g.eps”的橙色で示した 2 つの直線に接する格子点列は散乱領域内 ($|u_2| \leq 2.5 \mu\text{m}$) に於いて 2 次でずれていくことが確認できる。 $\pi/4$ 傾いた橙色の長方形で囲われた領域は左端の“outer”である。また、図 10 “./SliceData/Slice1b_2g.eps”的橙色で示した半径 $2 \mu\text{m}$ の円弧に沿って、点 $(x_2, x_0) = (1 \mu\text{m}, 0)$ 付近の格子点が列んでいるのが確認できる。図 6 に示した様に、 $u_2 = 1 \mu\text{m}$ で κ_w は最大値 $\kappa_w = 0.5 \mu\text{m}^{-1}$ であることと整合する。

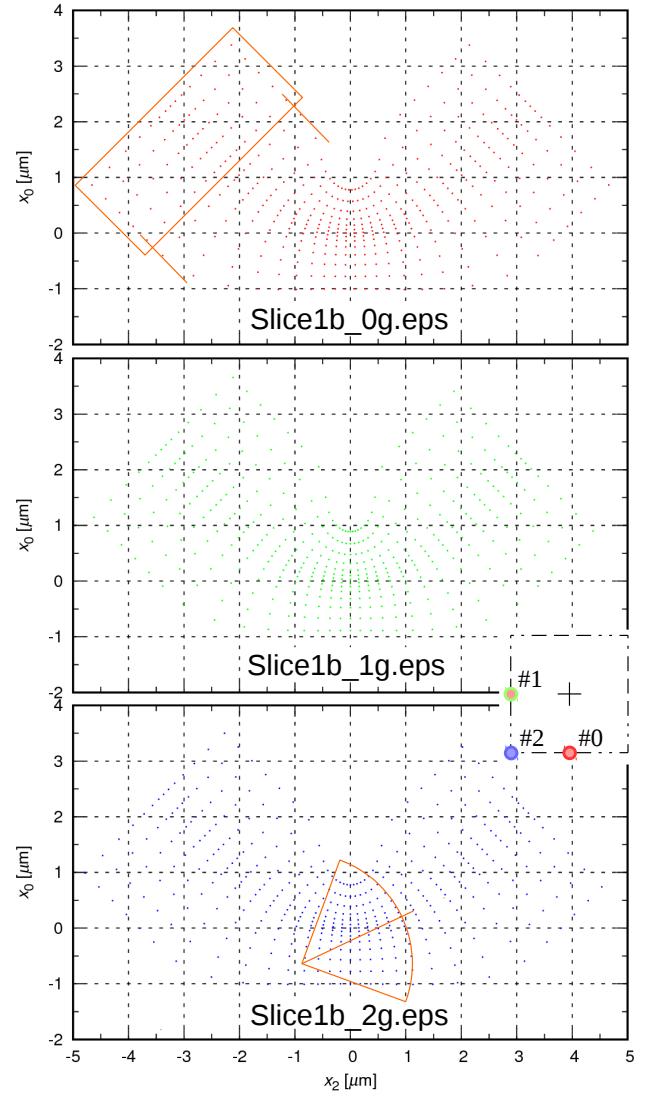


図 10: “./SliceData/Slice1b₋j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1_g.plt”.

C. u_2 軸を切断した断面

最後に $u_2 = 0$ に於いて u_2 軸に垂直に切断した断面 (u_2 面) の格子点を図 11 に示す。横軸は $r_0 = u_0$ 、縦軸は u_1 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを確認。格子点 #2 はセル断面の中央に位置することが“./SliceData/Slice2_2g.eps”的 $r_0 = 0$ と $u_1 = 0$ を #2 がまたいで配置されていることから判る。“./SliceData/Slice2_0g.eps”的格子点 #0 は $u_1 = 0$ 上に、“./SliceData/Slice1_1g.eps”的格子点 #1 は $r_0 = 0$ 上に並ぶ。“./SliceData/Slice2_2g.eps”的格子点 #2 と“./SliceData/Slice2_0g.eps”的格子点 #0 は左右対称に配置され、“./SliceData/Slice2_1g.eps”的格子点 #1 と“./SliceData/Slice2_2g.eps”的格子点 #2 は上下対称に配置される。 u_0 方向のセル数は 14、 u_1 方向のセル数は 20 であることが確認できる。“./SliceData/Slice2_1g.eps”的左端の格子が $r_0 = -1 \mu\text{m}$ に位置していることから u_0 方

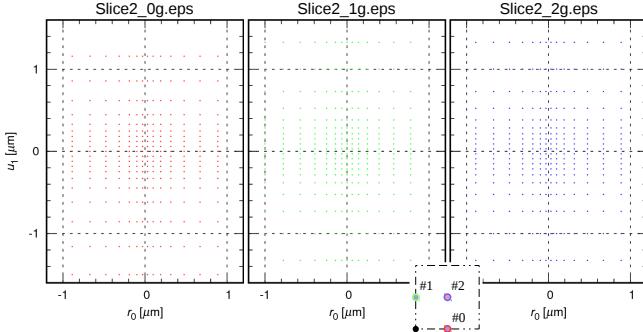


図 11: “./SliceData/Slice2_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2_g.plt”.

向の差渡しが $2\mu\text{m}$ で、図 5 の 12 行目の設定値と整合する。また、“./SliceData/Slice2_0g.eps” の左端の格子が $u_1 = -1.5\mu\text{m}$ に位置していることから u_1 方向の差渡しが $3\mu\text{m}$ で、図 5 の 13 行目の設定値と整合する。“./SliceData/Slice2_2g.eps” の格子点 #2 の配置から、 r_0 方向と u_1 方向の最小セルサイズが $r_0 = u_0 = 0$ と $u_1 = 0$ に位置しているのが確認できる。数値は図面から判別しづらいが“./SliceData/Slice2_2.dat”からそれぞれ $0.061\mu\text{m}$ と $0.060\mu\text{m}$ であり、図 5 の 13 行目と 14 行目の右端で設定した数値と整合する。

$|u_2| > 2.5\mu\text{m}$ を満たす “outer” 領域で u_2 面を図 12 に示す。横軸は $r_0 = 2u_0$ である。 $u_2 < -2.5\mu\text{m}$ の

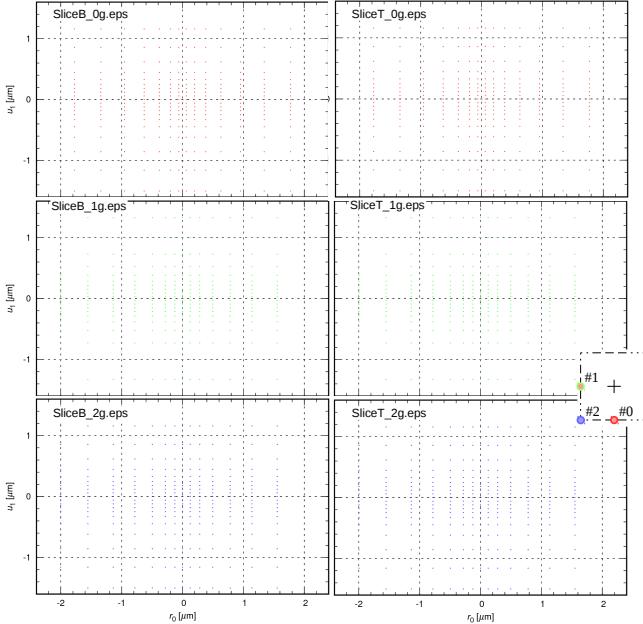


図 12: “./SliceData/Slice2b_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2_g.plt”.

“SliceB_{jg}.eps” と $u_2 > 2.5\mu\text{m}$ の “SliceT_{jg}.eps” の格子点の配置は同一である。“./SliceData/SliceB_2g.eps”的左端の格子が $r_0 = -2\mu\text{m}$ に位置していることから r_0 方向の差渡しが $4\mu\text{m}$ で、図 5 の 12 行目の設定値である $u_2 = 0$ での差渡し $2\mu\text{m}$ 及び κ_w に関する両端の差渡し

と $u_2 = 0$ での差渡しの比を 2 とする 24 行目の設定値と整合する。

r_0 方向と u_1 方向の最小セルサイズは “./SliceData/SliceB_0.dat” (“./SliceData/SliceT_0.dat”) 或いは “./SliceData/SliceB_1.dat” (“./SliceData/SliceT_1.dat”) からそれぞれ $0.121\mu\text{m}$ と $0.060\mu\text{m}$ であり、図 5 の 13 行目と 14 行目の右端で設定した数値及び 24 行目の設定値と整合する。

IV. 媒質の分布

2 つの設定を経て、媒質の分布を格子点上に配置する。図 13 の上部に “./input.dat” の一部を表示した。その 39 行目の行頭に、光学構造に関する制御コマンド “StrMap” を記述している。その行内 “=” の後に設定ファイル名 “./3d_str.txt” を指定する。46 行目の行頭に、光学媒質に関する制御コマンド “Mediumpara” を記述している。波長や温度の指定の後、媒質の表を記述したファイル名 “./trans_med.txt” を指定する。“./input.dat” 中の 2 つの設定 “StrMap” と “Mediumpara” の順番は他の制御コマンドを含めて任意である。

```
./input.dat
12 # Mesh: x=0 L_x=14 m=14 micron K_x= 1 min du/dxL = 0.0 nm
13 Mesh: j=0 L_y=14 m=14 micron K_y= 1 min du/dxL = 60. nm
14 Mesh: j=1 L_y=20 m=20 micron K_j= 3 min du/dxL = 60. nm
15 Mesh: j=2 L_y=20 m=20 micron K_j= 5 micron K_z= 1 min du/dxL = 150. nm
16 Mesh: j=3 L_y=20 m=20 micron K_z= 5 micron K_x= 0 min du/dxL = 200. nm
37 #
38 # - 20180711 Read by StrMap.c
39 StrMap: InputFile = ./3d_str.txt; RecursiveDepth = 6, Region = all,
40 # Region = l / outer
45 # - 20180711 Read by MediumPara.c
46 MediumPara: wavelength= 1.55um, temperature= 25 degC, medium table = ./trans_med.txt
57 #
```

```
./3d_str.txt
1 //media no.: 1: S102, 2: S1, 3: n-Si, 4: p-Si
2 //Clad
3 //Background
4 media no.= 1
5 shape block A= 5.0 micron B= 5.0 um C= 5 mm Theta_x= 0. deg Theta_y= 0. rad Theta_z = 0. deg
6 origin x= 0.0 micron y= -4.0 micron z= 0.0 um
7 end
8
9 //Waveguide
10 begin
11 media no.= 2
12 shape block Ax= 0.2 um By= 0.2 um Cz= 100. um Theta_x= 0. deg Theta_y= 0. rad Theta_z = 0. deg
13 origin x= 0.0 um y= 0.0 um z= 0.0 nm
14 end
24 Grating n= doped
25 begin
26 media no.= 3
27 shape block Ax= 0.80 um By= 0.2 um Cz= 1. micron Theta_x= 0. deg Theta_y= 0. rad Theta_z = 0. deg
28 origin x= 0.0 um y= 0.0 um z= 0.0 nm
29 //array x= 2.0 um y= 0.0 um z= 0.0 nm start= 0 end= 0
31 end
./trans_med.txt
1 #medium no., name/index/epsilon
2 #
3 #background
4 0 name Vacuum //0 means no. for default.
5 #clad layer
6 0 name S102
7 #waveguide layer
8 2 name S1
9 #doped
10 3 name d-Si A= 1.e19 //p+ doped region
11 3 epsilon real= 10.0 imag= 1.
12 End
```

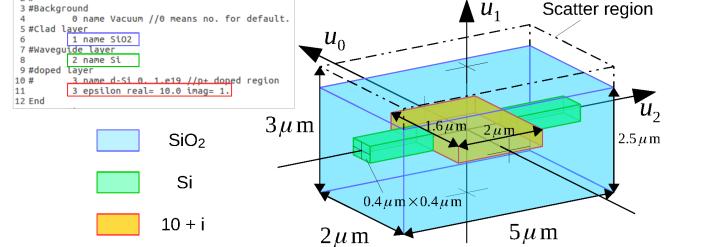


図 13: Optical structure.

図 13 の中段に “./3d_str.txt” の内容を示す。構造は制御コマンド “begin” と “end” に挟まれた行で 1 つ指定する。この “./3d_str.txt” では u 空間に 3 つの構造物を指定する。図 13 には、青、緑、赤の長方形で囲われた行にそれぞれの構造物を記述している。構造物を記述するコマンドの説明は別の機会に行いここでは省略した。具体的な構造は、図 13 の右下に示す。図 13 上部 “./input.dat” の 12、13、14 行目に散乱領域の差渡しが設定されているが、“./3d_str.txt” の光学構造の設定はその領域内で有効

である。但し、 u_2 方向の散乱領域両端には“outer”領域が付加されるので、構造物はこれらの領域も含めた u_2 方向の長さを考慮する。“./3d.str.txt”的 4、11、26 行目に示す様に、それぞれの構造物には“media no.”を 1 以上の整数で番号付けする。尚、これら 3 つの構造物で設定されていない領域は予め背景として 0 番が設定されている。構造物の記述の順番で上書きしていく。つまり青と緑で重複した領域は緑で上書きされ、更に赤で指定した領域で上書きされる。“./input.dat”とは異なり“./3d.str.txt”では“begin”と“end”に挟まれた構造物の順番が重要である。“./3d.str.txt”では“media no.”は上書きの順に番号付けされているが、番号が 1 以上の整数であること以外は任意に番号付けても構わず、複数の構造に同じ番号(つまり同じ媒質)も与えられる。

図 13 の下段に“./trans_med.txt”的内容を示す。“./trans_med.txt”では“./3d.str.txt”的“media no.”が行番号である媒質の表を記述する。“./trans_med.txt”は、空白を除く行頭の 0 以上の整数を認識して、その行内の後のコマンドを読み込む。“./trans_med.txt”は表の形式なので、この整数値は 0 から順に与える必要がある。先ず“./trans_med.txt”的 4 行目行頭に背景を意味する 0 番を与える、次に設定方法として“name”を指定した後、媒質として“Vacuum”を設定。つまり背景の比誘電率は $\epsilon = 1$ になる。青の長方形で囲われた 6 行目で 1 番の媒質を“SiO2”を設定。青い構造物の比誘電率は $\epsilon \sim 2.09$ になる。緑の長方形で囲われた 8 行目で 2 番の媒質を“Si”を設定。緑の構造物の比誘電率は $\epsilon \sim 12.1$ 。赤の長方形で囲われた 11 行目で 3 番の媒質の設定方法として“epsilon”を指定した後、誘電率を直接数値として設定。赤の構造物の比誘電率は損失を伴う複素数 $\epsilon = 10 + i$ である。12 行目の行頭に制御コマンド“End”(“end”, “END”でもよい)を記述、読み込みを終了する。行頭に、整数や“End”以外が記述されている場合、コメント行として無視される。光学媒質なので比透磁率は全て $\mu = 1$ に設定していることに注意。“./SliceData/plot.sh”によって“./SliceData/Slicej.dat”($j = 0, 1, 2$)ファイルを“gnuplot”で起動し、eps 形式の画像ファイルを生成する。

A. u_0 軸を切断した断面

先ず $u_0 = 0$ に於いて u_0 軸に垂直に切断した断面(u_0 面)の媒質分布を図 14 に示す。横軸は u_1 、縦軸は r_2 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを媒質の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice0_0.eps”的 #0 は下のセル境界に、“./SliceData/Slice0_1.eps”的 #1 は左のセル境界に位置し、“./SliceData/Slice0_2.eps”的 #2 はセル断面の中央に位置する。“./SliceData/Slice0_0.eps”と“./SliceData/Slice0_1.eps”は透磁率の絶対値の分布なので、分布表示域全体が 1 を表示。“./SliceData/Slice0_2.eps”的分布は誘電率の絶対値を示す。図 13 の右下の構造物を参考に検証する。構造物の境界を灰色の点線で図示している。“./SliceData/Slice0_2.dat”から $u_1 = 1.327 \mu\text{m}$ のみ $\epsilon = 1$ 、 $u_1 = -1 \mu\text{m}$ 附近で $\epsilon = 2.085$ を確認。 $u_1 = 0 \mu\text{m}$ 且つ $r_2 = 0 \mu\text{m}$ 附近で $|\epsilon| = \sqrt{10^2 + 1^2} \simeq 10.05$ 、 $u_1 = 0 \mu\text{m}$ 且つ $r_2 = \pm 3 \mu\text{m}$ 附近で $\epsilon = 12.09$ を確認。

$u_0 = \xi_0 = 0$ から少しずれた $\xi_0 = 1/2$ で切断した u_0 面を図 15 に示す。セルの断面に含

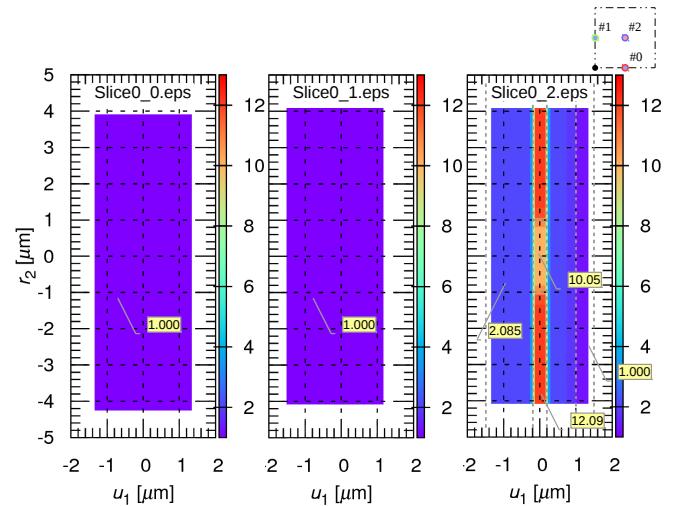


図 14: “./SliceData/Slice0_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0.plt”.

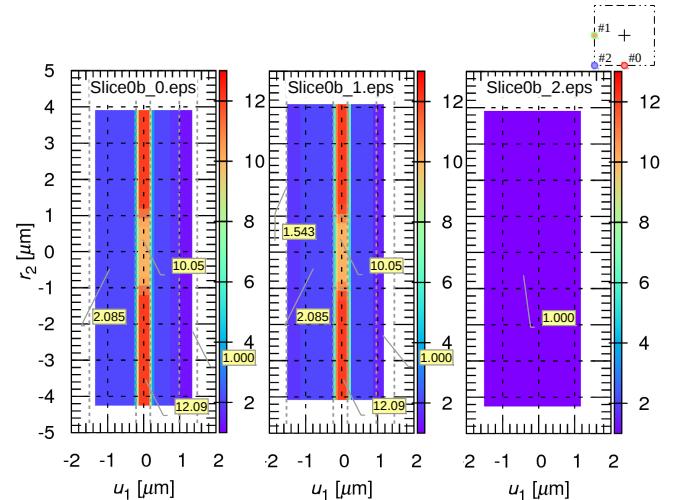


図 15: “./SliceData/Slice0b_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0.plt”.

まれる 3 点の位置の違いを媒質の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice0b_0.eps”的 #0 は下のセル境界に、“./SliceData/Slice0b_1.eps”的 #1 は左のセル境界に位置し、“./SliceData/Slice0b_2.eps”的 #2 は左下のセル境界に位置する。“./SliceData/Slice0b_2.eps”的み透磁率の絶対値の分布。“./SliceData/Slice0b_0.eps”と“./SliceData/Slice0b_1.eps”的誘電率分布は図 14 “./SliceData/Slice0_2.eps”的分布とほぼ同じ。“./SliceData/Slice0b_1.eps”に於いて異なる点は、 $u_1 = 1.159 \mu\text{m}$ のみ $\epsilon = 1$ 、また $u_1 = -1.5 \mu\text{m}$ が $\epsilon = 1.543$ となっている。特に $u_1 = -1.5 \mu\text{m}$ での変化は、媒質に対して u_1 方向は散乱領域の境界で周期境界条件を課しているために起こっている。 $(u_0$ 方向も周期境界条件を課している。)格子点上の値は、点を中心とした 1 セル分の立方体で平均化している。また、グラフは隣接する格子 4 点の平均値をその 4 点で構成される長方形で表示している。これらを

留意すると構造の境界付近で、図示されている値の変化が理解できる。

B. u_1 軸を切断した断面

次に $u_1 = 0$ に於いて u_1 軸に垂直に切断した断面 (u_1 面) の格子点を図 16 に示す。横軸は x_2 、縦軸は x_0 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを

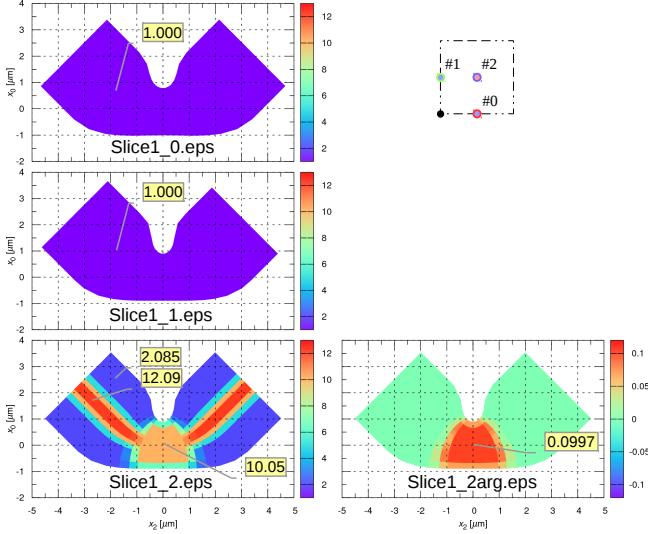


図 16: “./SliceData/Slice1-j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1.plt”.

媒質の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice1_2.eps” 表示域の左右両端を見ると左右対称であることで判る。同様に“./SliceData/Slice1_0.eps” の左右両端は左右対称であるが“./SliceData/Slice1_2.eps” と比べ u_0 方向に少し下がり、“./SliceData/Slice1_1.eps” の左右両端は左に少しずれている。“./SliceData/Slice1_0.eps” と“./SliceData/Slice1_1.eps” は透磁率の絶対値の分布なので、分布表示域全体が 1 を表示。“./SliceData/Slice1_2.eps” と“./SliceData/Slice1_2arg.eps” の分布は誘電率の絶対値と偏角をそれぞれ示す。図中の数値は“./SliceData/Slice1-j.dat” $j = 0, 1, 2$ から直接読み取った。

$u_1 = \xi_1 = 0$ から少しずれた $\xi_1 = 1/2$ で切断した u_1 面を図 17 に示す。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを媒質の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice1b_0.eps” 表示域の左右両端を見ると左右対称であることで判る。、“./SliceData/Slice1b_1.eps” の左右両端は左にずれ、“./SliceData/Slice1b_0.eps” と比べ u_0 方向に少し上がり、“./SliceData/Slice1b_2.eps” の表示域は再び下がる。“./SliceData/Slice1b_2.eps” のみ透磁率の絶対値の分布。“./SliceData/Slice1b_1.eps” の左右の分布は図 16 の“./SliceData/Slice1_2.eps” と同じである。“./SliceData/Slice1b_0.eps” の $(x_2, x_0) = (0.0752 \mu\text{m}, -1 \mu\text{m})$ での誘電率が $\varepsilon = 2.085$ と“./SliceData/Slice1b_1.eps” より若干小さくなっている点に注意。

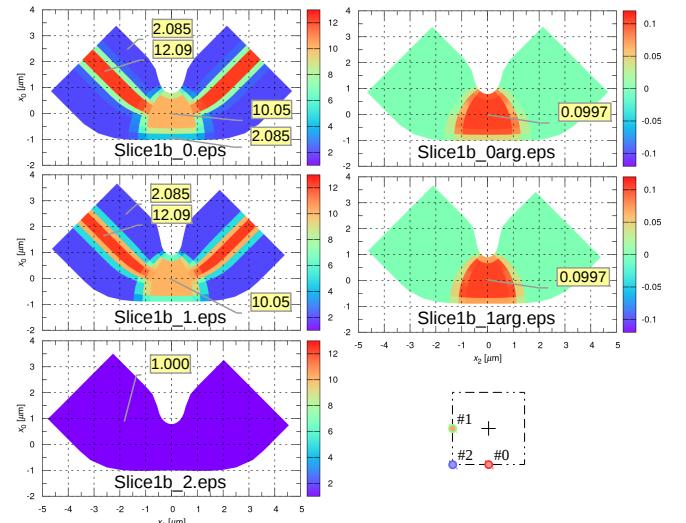


図 17: “./SliceData/Slice1b-j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1.plt”.

C. u_2 軸を切断した断面

最後に $u_2 = 0$ に於いて u_2 軸に垂直に切断した断面 (u_2 面) の格子点を図 18 に示す。横軸は $r_0 = u_0$ 、縦軸は u_1 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを媒質の分

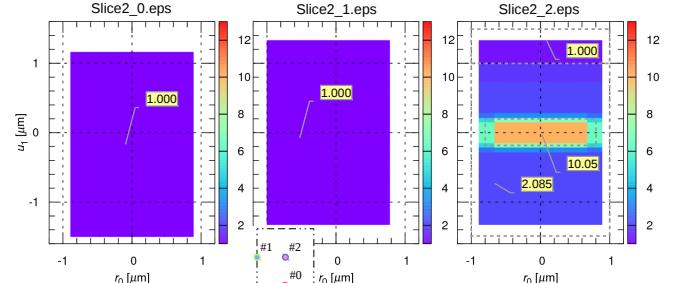


図 18: “./SliceData/Slice2-j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2.plt”.

布表示域で確認。“./SliceData/Slice2_0.eps” 表示域は下にずれ、“./SliceData/Slice2_1.eps” 表示域は左にずれている。“./SliceData/Slice2_2.eps” 表示域は中央に位置する。“./SliceData/Slice2_0.eps” と“./SliceData/Slice2_1.eps” は透磁率の絶対値の分布なので、分布表示域全体が 1 を表示。

$|u_2| > 2.5 \mu\text{m}$ を満たす “outer” 領域の u_2 面を図 19 に示す。横軸は $r_0 = 2u_0$ である。 $u_2 < -2.5 \mu\text{m}$ の“SliceB-j.eps” と $u_2 > 2.5 \mu\text{m}$ の“SliceT-j.eps”的媒質分布は同一である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを媒質の分布表示域で確認。“SliceB_2.eps” 表示域は図 18 “./SliceData/Slice2_2.eps” と比べ左下にずれている。図中の数値は“./SliceData/SliceB-j.dat” と“./SliceData/SliceT-j.dat” $j = 0, 1, 2$ で直接確認した。“SliceT_0.eps”的 $u_1 = -1.5 \mu\text{m}$ に於いて、周期境界条件

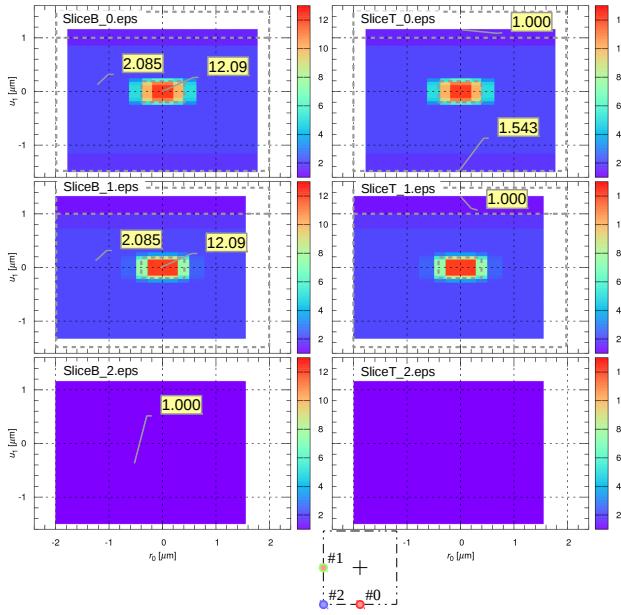


図 19: “./SliceData/Slice2_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2.plt”.

のため $\varepsilon = 1.543$ であることに注意。

V. u 座標の曲げ情報

最後に直交曲線座標系の検証を行う。直交曲線座標の scale-factor h_0 と h_2 の u_1 面内分布を図 20 に示す。ここ

From “./urx.dat” and “./outer.dat”

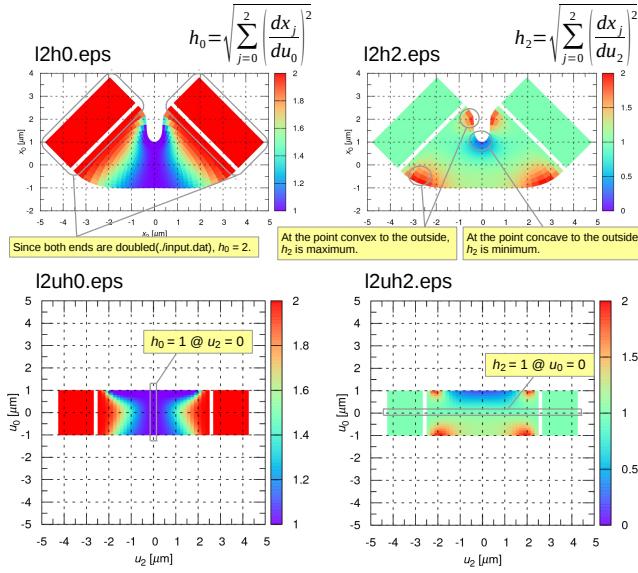


図 20: Distribution of h_0 and h_2 . These are created by “./l2h0.plt”, “./l2uh0.plt”, “./l2h2.plt” and “./l2uh2.plt” through “test4.sh”.

で、scale-factor h_j は下記のように与えられる。

$$h_j = \sqrt{\sum_{m=0}^2 \left(\frac{dx_m}{du_j} \right)^2}.$$

u_1 面内ののみ曲線座標変換を行うので $h_1 = 1$ に注意。図 5 の κ_w に関する両端の差渡しと $u_2 = 0$ での差渡しの比を 2 とする 24 行目の設定と図 20 の “l2h0.eps” の “outer” 領域とその近傍が $h_0 = 2$ であることが整合する。 h_0 と h_2 の情報は “./urx.dat” と “./outer.dat” に記載 (図 20 に図示) されているが、数値計算に於いて以下の式で定義される因子 fx_{jj} を直接用いる。

$$fx_{jj} = \frac{h_m u'_m h_n u'_n}{h_j u'_j}, \quad \text{where } u'_j = \frac{du_j}{d\xi_j}, \\ m = (j+1) \% 3, \quad \text{and} \quad n = (j+2) \% 3.$$

fx_{jj} は長さの次元を持つ物理量だが、数値データ上の fx_{jj} や u'_j は k_0 を用いて無次元化されていることに注意。格子点上の fx_{jj} の配置を図 21 に示す。

Slice at l_a Slice at $l_a + \frac{1}{2}$



$$\varepsilon_{jj} = fx_{jj} * \varepsilon, \mu_{jj} = fx_{jj} * \mu \quad \text{for } j=0, 1, 2$$

$$a = j \% 3, b = (j+1) \% 3, c = (j+2) \% 3$$

図 21: Configuration of fx_{jj} .

Scale-factor h_j が 1 や 2 に等しい場所で、粗く fx_{jj} を見積もってみた結果を “./SliceData/est.txt” (図 22) に纏めた。“./non_uniform.dat” の数値を基にして計算している。見積もった値と実際の断面データが整合しているかを以下で検証する。“./SliceData/plot_fx.sh” によって “./SliceData/Slicej_fx.plt” ($j = 0, 1, 2$) ファイルを “gnuplot” で起動し、eps 形式の画像ファイルを生成する。

A. u_0 軸を切断した断面

先ず $u_0 = 0$ に於いて u_0 軸に垂直に切断した断面 (u_0 面) の fx_{jj} 分布を図 23 に示す。横軸は u_1 、縦軸は u_2 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを fx_{jj} の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice0_0fx.eps”的表示域は下のセル境界に、“./SliceData/Slice0_1fx.eps”的表示域は左のセル境界に位置し、“./SliceData/Slice0_2fx.eps”的表示域はセル断面の中央に位置する。 fx_{11} と fx_{22} はそれぞれの分母と分子の $h_1 u_1$ と $h_2 u_2$ が交換した定義と

“./SliceData/est.txt”

```

18 Case |k0*u2| >= 23.252
19 k0* dr2/dx12 = 3.483631643
20
21 k0* dr0/dx10 = 1.213872632 @ k0*u0 = 0
22 k0* dr0/dx10 = 4.459212868 @ k0*u0 = 8.8749(1)
23
24 k0* dr1/dx11 = 0.600000096 @ k0*u1 = 0
25 k0* dr1/dx11 = 3.410322364 @ k0*u1 = 13.269(1)
26
27 @ (k0*u0, k0*u1) = (0, 0)
28 k0* fx00 = 0.600000096 * 3.483631643 / 1.213872632 = 1.721909915 + 1.7
29 k0* fx11 = 3.483631643 * 1.213872632 / 0.600000096 = 7.047887391 + 7.0
30 k0* fx22 = 1.213872632 / 0.600000096 / 3.483631643 = 0.209970238 + 0.21
31
32 @ (k0*u0, k0*u1) = (8.8749, 0)
33 k0* fx00 = 0.600000096 * 3.483631643 / 4.459212868 = 0.468732797 + 0.47
34 k0* fx11 = 3.483631643 * 4.459212868 / 0.600000096 = 25.890426941 + 26
35 k0* fx22 = 4.459212868 * 0.600000096 / 3.483631643 = 0.768028432 + 0.77
36
37 @ (k0*u0, k0*u1) = (0, 13.269)
38 k0* fx00 = 3.410322364 * 3.483631643 / 1.213872632 = 9.787111586 + 9.8
39 k0* fx11 = 3.483631643 * 1.213872632 / 3.410322364 = 1.23996639 + 1.2
40 k0* fx22 = 1.213872632 / 3.410322364 / 3.483631643 = 1.188327989 + 1.2
41
42 @ (k0*u0, k0*u1) = (8.8749, 13.269)
43 k0* fx00 = 3.410322364 * 3.483631643 / 4.459212868 = 2.664216141 + 2.7
44 k0* fx11 = 3.483631643 * 4.459212868 / 3.410322364 = 4.555069402 + 4.6
45 k0* fx22 = 4.459212868 * 3.410322364 / 3.483631643 = 4.365373532 + 4.4
46
47 Case k0*u2 = 0.0
48 k0* dr2/dx12 = 1.504107265 @ k0*u0 = 0
49
50 @ (k0*u0, k0*u1) = (0, 0)
51 k0* fx00 = 0.600000096 * 1.504107265 / 0.606936316 = 1.486917951 + 1.5
52 k0* fx11 = 3.410322364 * 1.504107265 / 0.606936316 = 1.52149594 + 1.5
53 k0* fx22 = 0.606936316 * 0.600000096 / 1.504107265 = 0.242111621 + 0.24
54
55 @ (k0*u0, k0*u1) = (0, 13.269)
56 k0* fx00 = 3.410322364 * 1.504107265 / 0.606936316 = 8.451447884 + 8.5
57 k0* fx11 = 1.504107265 * 0.606936316 / 3.410322364 = 0.267686519 + 0.27
58 k0* fx22 = 0.606936316 * 3.410322364 / 1.504107265 = 1.376130905 + 1.4
59

```

The slice data for fx_{jj} are checked by using the 18 numbers estimated from “./non_uniform.dat”.

図 22: Estimation of fx_{jj} from “./non_uniform.dat”

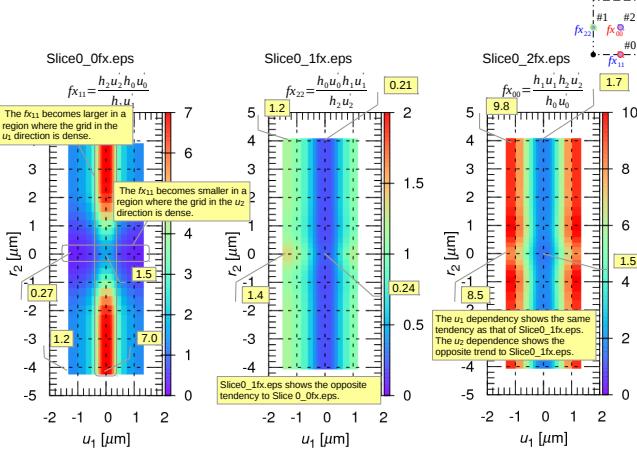


図 23: $k_0 f_{x_{jj}}$ in “./SliceData/Slice0_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0_fx.plt”.

なっているため “./SliceData/Slice0_0fx.eps” と “./SliceData/Slice0_1fx.eps” の分布は互いに相補的である。また $fx_{11}fx_{22} = (h_0u'_0)^2$ は u_1 依存性がなく図 20 “l2uh0.eps” から判るように、 $r_2 = 0$ と比べ $|r_2| > 2.5 \mu\text{m}$ の値が 4 倍である。同様に $fx_{22}fx_{00} = (h_1u'_1)^2 = (u'_1)^2$ は u_1 依存性が見られる。また図 20 “l2uh2.eps” から判るように、 $fx_{00}fx_{11} = (h_2u'_2)^2 = (u'_2)^2$ は u_2 依存性が確認される。格子点が $1/2$ ずれているため粗い見積もりであることを注意。

$u_0 = \xi_0 = 0$ から少しずれた $\xi_0 = 1/2$ で

切断した u_0 面を図 24 に示す。セルの断面に含ま

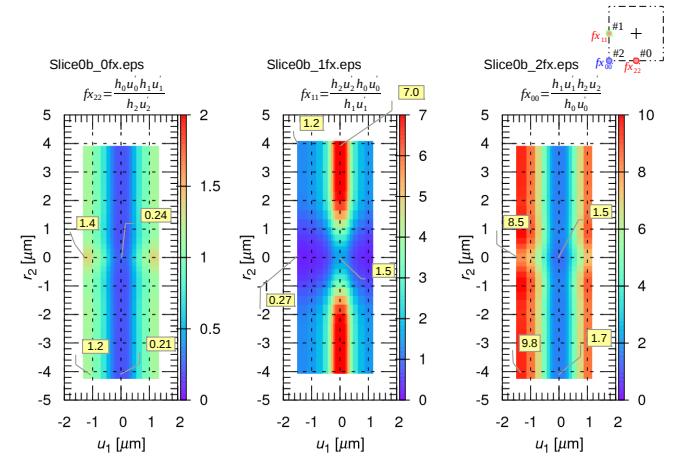


図 24: $k_0 f_{x_{jj}}$ in “./SliceData/Slice0b_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice0_fx.plt”.

れる 3 点の位置の違いを fx_{jj} の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice0b_0fx.eps” の表示域は下のセル境界に、“./SliceData/Slice0b_1fx.eps” の表示域は左のセル境界に位置し、“./SliceData/Slice0b_2fx.eps” の表示域は左下のセル境界に位置する。格子点が入れ替わっていることを除くと図 23 と確認する箇所は同じである。

B. u_1 軸を切断した断面

次に $u_1 = 0$ に於いて u_1 軸に垂直に切断した断面 (u_1 面) の fx_{jj} 分布を図 25 に示す。横軸は x_2 、縦軸は x_0 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを fx_{jj} の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice1_2fx.eps” 表示域の左右両端を見ると左右対称であることで判る。同様に “./SliceData/Slice1_0fx.eps” の左右両端は左右対称であるが “./SliceData/Slice1_2fx.eps” と比べ u_0 方向に少し下がり、“./SliceData/Slice1_1fx.eps”的左右両端は左に少しずれている。 fx_{22} と fx_{00} はそれぞれの分母と分子の $h_2u'_2$ と $h_0u'_0$ が交換した定義となっているため “./SliceData/Slice1_0fx.eps” と “./SliceData/Slice1_1fx.eps” の分布は互いに相補的である。“./SliceData/Slice1_1fx.eps” $u_0 = 0$ 付近の値が大きいのは、格子間隔が u_0 方向に狭ばっており fx_{00} の分母が $h_0u'_0$ である為。同様に “./SliceData/Slice1_0fx.eps” と “./SliceData/Slice1_2fx.eps” で $u_0 = 0$ 付近の値が小さいのは、格子間隔が u_0 方向に狭ばっており fx_{22} や fx_{11} の分子に $h_0u'_0$ が含まれる為。“./SliceData/Slice1_2fx.eps” で $u_2 = 0$ 付近の値が小さいのは、 u_0 方向の幅が両端 (“outer” 領域) に比べ $1/2$ であり、且つ u_2 方向にも格子間隔が狭ばっている為、 fx_{11} の分子が小さくなっていることに起因。

$u_1 = \xi_1 = 0$ から少しずれた $\xi_1 = 1/2$ で切断した u_1 面を図 26 に示す。

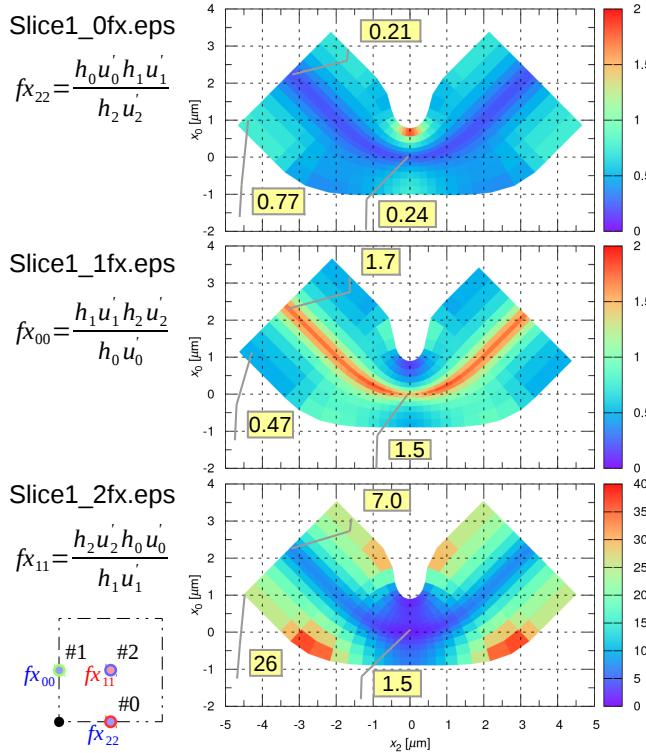


図 25: $k_0 f_{jj}$ in “./SliceData/Slice1_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1_fx.plt”.

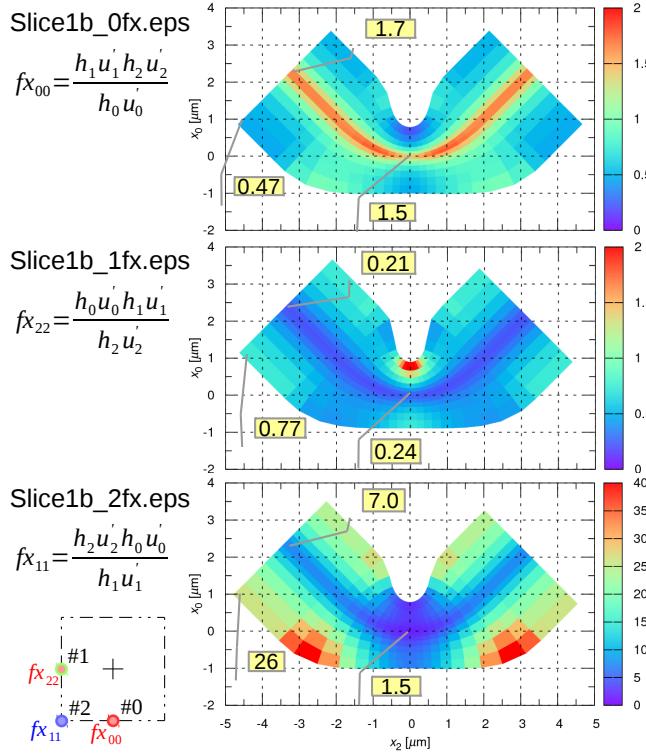


図 26: $k_0 f_{jj}$ in “./SliceData/Slice1b_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice1_fx.plt”.

セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを f_{xjj} の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice1b_0fx.eps” 表示域の左右両端を見ると左右対称であることで判る。 “./SliceData/Slice1b_1fx.eps” の左右両端は左にずれ、“./SliceData/Slice1b_0fx.eps” と比べ u_0 方向に少し上がり、“./SliceData/Slice1b_2fx.eps” の表示域は再び下がる。格子点が入れ替わっていることを除くと図 25 と確認する箇所は同じである。“./SliceData/Slice1b_1fx.eps” (x_2, x_0) = (0, 1 μm) 付近の値が大きいのは、格子間隔が u_2 方向に狭ばっており f_{x22} の分母が $h_2 u_2'$ である為。同様に“./SliceData/Slice1b_2fx.eps” (x_2, x_0) = ($\pm 3 \mu\text{m}$, -1 μm) 付近の値が大きいのは、格子間隔が u_2 方向に広がって大きくなつた f_{x22} が $h_2 u_2'$ の分子に含まれている為。

C. u_2 軸を切断した断面

最後に $u_2 = 0$ に於いて u_2 軸に垂直に切断した断面 (u_2 面) の f_{xjj} 分布を図 27 に示す。横軸は $r_0 = u_0$ 、縦軸は u_1 である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを f_{xjj}

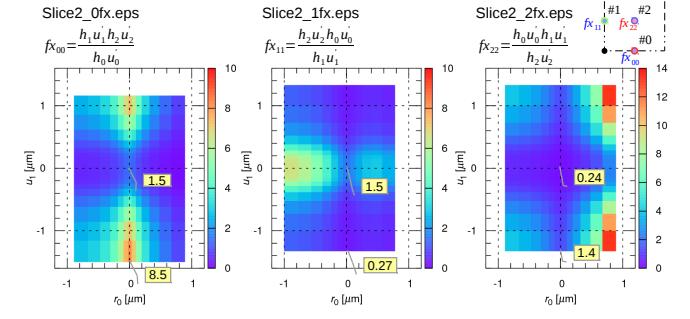


図 27: $k_0 f_{jj}$ in “./SliceData/Slice2_j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2_fx.plt”.

の分布表示域で確認。“./SliceData/Slice2_0fx.eps” 表示域は下にずれ、“./SliceData/Slice2_1fx.eps” 表示域は左にずれている。“./SliceData/Slice2_2fx.eps” 表示域は中央に位置する。 f_{x00} と f_{x11} はそれぞれの分母と分子の $h_0 u_0$ と $h_1 u_1'$ が交換した定義となっているため“./SliceData/Slice2_0fx.eps” と“./SliceData/Slice2_1fx.eps” の分布は互いに相補的である。また $f_{x00} f_{x11} = (h_2 u_2')^2$ は u_1 依存性がなく横軸の r_0 依存性のみ存在する。“./SliceData/Slice2_1fx.eps”的右側が左に比べ値が大きいのは図 26 の“./SliceData/Slice1b_1fx.eps” (x_2, x_0) = (0, 1 μm) 付近の値が大きいと同じ理由。逆に“./SliceData/Slice2_0fx.eps” と“./SliceData/Slice2_1fx.eps” は左側が右に比べ値が大きい。

$|u_2| > 2.5 \mu\text{m}$ を満たす “outer” 領域の u_2 面を図 28 に示す。横軸は $r_0 = 2u_0$ である。 $u_2 < -2.5 \mu\text{m}$ に於ける “SliceB_jfx.eps” と $u_2 > 2.5 \mu\text{m}$ に於ける “SliceT_jfx.eps” の f_{xjj} 分布は同一である。セルの断面に含まれる 3 点の位置の違いを媒質の分布表示域で確認。“SliceB_2fx.eps” 表示域は図 27 “./SliceData/Slice2_2fx.eps” と比べ左下にずれている。 u 空間に於いても、“outer” 領域はデカルト座標なので f_{xjj} の

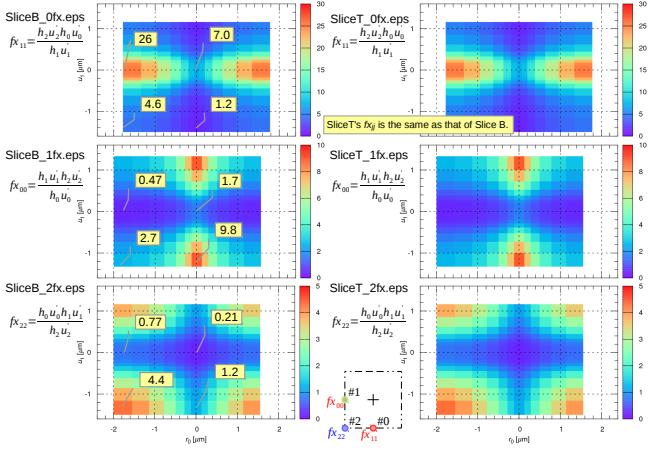


図 28: $k_0 f_{x,jj}$ in “./SliceData/Slice2b-j.dat” for $j = 0, 1, 2$. These are created by “./SliceData/Slice2_fx.plt”.

変化は u'_j に起因する。従って格子点が $1/2$ ずれていることを除けば、図 28 の各図面は左右や上下について対称である。また “./SliceData/SliceB_0fx.eps” と “./SliceData/SliceB_1fx.eps” の分布は互いに相補的である。

VI. まとめ

ここまでデータを作成するために必要な実行ファイルは下記の 8 つ。

1. “xi2u”: 不均一メッシュ $u_j(l_j)$ を生成。本検証では “./non_uniform.dat” を出力。Version 18.08.03.
2. “mkCurv”: 曲率関数 $\kappa_b(l_2)$ と $\kappa_w(l_2)$ を生成。本検証では “./kappa.dat” を出力。Version 18.08.03.
3. “u2r2x”: 直交曲線座標の不均一格子 $(x_2(l_2, l_0), x_0(l_2, l_0))$ を生成。本検証では “./urx.dat” を出力。Version 18.08.10.
4. “outer”: 外部領域デカルト座標の不均一格子 $(x_2(l_2, l_0), x_0(l_2, l_0))$ を生成。本検証では “./outer.dat” を出力。“outer” を起動するシェルスクリプト “./test1.sh” は引き続き “gnuplot” も起動し、eps 形式の画像ファイルを生成する。Version 18.08.04.

5. “StrMap”: 光学構造を 3 次元格子上にマッピング。本検証では “./outer.dat” を出力。Version 18.08.03.

6. “Med3D”: 光学構造の 3 次元マッピングデータから媒質の誘電率や透磁率を生成。本検証では prefix “./Data/joint” の後に番号と拡張子 “.dat” をつけたファイルを出力。外部領域は番号の前に “B” 或いは “T” をつける。Version 18.08.08.

7. “BindData”: 3 次元格子上の誘電率や透磁率データに $k_0 f_{x,jj}$ のデータを統合。本検証では prefix “./Data/joint” と “_Med” の後に番号と拡張子 “.dat” をつけたファイルを出力。外部領域は番号の前に “B” 或いは “T” をつける。Version 18.08.31→18.09.17. 出力データのコメント “ $f_{x,jj}$ ” を “ $k_0 f_{x,jj}$ ” に変更。

8. “YeeSlice”: 3 次元格子上のデータから、2 次元格子 u_j 面データを生成。本検証では “./SliceData/” 内にデータを出力。ファイル名に図 5 の 49 行目から 55 行目で指定した prefix と “_” の後に番号と拡張子 “.dat” をつける。Version 18.08.29→18.09.17. 出力データのコメント “ $f_{x,jj}$ ” を “ $k_0 f_{x,jj}$ ” に変更。

そして実行ファイルのバージョンはオプション “-v” で確認できる。今回の検証の為に、それぞれの実行ファイルに対応した “./test1.sh”, …, “./test7.sh”, “./testSlice.sh” で実行。

ドキュメントで用いた 3 次元データは “./input.dat”, “./3d_str.txt” と “./trans_med.txt” の設定ファイルと上記 8 つの実行ファイルから生成された出力ファイル。特に最後の “YeeSlice” が生成した断面データで細かな検証を行った。設定ファイルが同じであれば、生成データはこのドキュメントの内容を再現するはずである。3 次元データの生成過程は複雑で、検証項目は多岐にわたる。検証作業をドキュメントに纏めておかないと、作成した本人でも勘所を忘れてしまう。実行ファイルのバージョンアップ、コンパイルや計算環境の変更毎に、この検証レポートをガイドにした検証を勧める。

ドキュメント作業を含めた検証作業に時間がかかったため、英訳作業は後回しにする。明日から、モード解析、FDFD 法による S 行列解析、摂動法、perfectly matched layer (PML) の導入、FDTD 法の順に半年の予定でプログラムを作成する。