

デジタルエンジニアリング (DE)

開発から生産に至る製造活動の質の向上と、開発期間の短縮を目的とし、情報技術を活用して、開発プロセス全体のデジタル化を進めること、あるいは開発から生産までの一貫した情報の流れをいう。

- ・時間的な制約の縮小

→CAD,CAM,CAT,CAEのように各製造工程のデータを一元管理、包括的に結合

- ・空間的な制約の縮小

→遠隔地に点在する異部門間でデータを一元管理

CAD:Computer-Aided-Engineering数値解析、シュミレーション

広義：設計全般を支援するシステム

狭義：設計図面描画を支援するシステム

二次元(2D)CAD製図版をディスプレイ位置を換元

三次元(3D)CAD 3次元物体の形状および物理特性（体積、重心重量など）を評価検討可能

CAM:Computer-Aided-Manuufacturing

CAE:Computer-Aided-Engineering

シミュレーションあるいは解析技術

CAT:Computer-Aided-Testing

PDM:Product Data Management

PLM (Product Lifecycle Management)

製品の企画から設計や生産準備、資材調達、生産保守、廃棄、回収に至るまでのライフサイクル全体をデジタル技術により、包括的に管理する方法。

アディティブマニファクチャリングAM:Additive Manufacturing

- ・材料を付加しながらものをつくる技術装置の総称
- ・自由曲面等の複雑な形状でも造形可
- ・装置を操作するための特別な知識が不要
- ・治具等の加工準備が不要
- ・自動運転が可能
- ・3D-CADデータさえあれば製品を直接製造可能
- ・金型を必要としない小ロットの生産が可能

※他の加工法との比較

	切削加工	射出成形	AM
加工方法	除去	変形	付加
材料	金属，樹脂，木片	熱可塑性樹脂	樹脂，金属，セラミクス
最小加工単位	1 μ m～	金属に依存	10 μ m～
特徴	高精度な一品生産	大量生産 高速，安価	一品生産 試作

ラピッドプロトタイピング(RP)

目的・製品設計の効果と製造可能性の評価

- ・生産に至る前の製造方法の検討
- ・製品を製造(特に少量生産)
(型を製造)

ラピッドプロトタイピングの種類

- ・材料削除に基づく方法
- ・材料付加に基づく方法←3Dプリンタ

○AMの種類

- ・光造形法・シート積層法・結合剤噴射法・材料押出法・材料噴射法
- ・粉末床溶融結合法・指向エネルギー堆積法

光造形法(液槽光重合法) Stereolithography

- ・液体状の光硬化性樹脂に紫外線等のレーザーを照射し目的の形の層を作成
- ・モデルによっては支持材料が必要

シート積層法 Sheet Lamination

Laminated object manufacturing(LOM)

レーザを使って、材料（紙やプラスチックシート）を順番に断面形状に切り取り、接着剤で貼り重ねる

紙が水分を吸い込むため、経時変化が起きやすい

結合剤噴射法 Binder Jetting

セラミック粉末や金属粉末に結合剤をインクジェットで吹き付けて目的の形状の層を作成

Three Dimensional Printing (3DP) 3次元印刷

- ・コロイド状のシリカのような無機物の結合材料を排出する方法
- ・結合剤をセラミックや金属の粉末に噴射され、結合
- ・積層の高さを小さくして設定可

材料押出法 Material Extrusion

特に熱溶融積層法 Fused-Deposition Modeling (FDM)

- ・熱可塑性樹脂を高温で溶かして積層させる。
- ・簡易な気候で構成可能、廉価
- ・樹脂の熱収縮により精度管理が困難

材料噴射法 Material Jetting

材料を直接噴射して積層する

- ・熱可塑性樹脂の他に、光硬化性樹脂もあり
- ・1層の生成のたびにカッターで削って精度を保証

粉末床溶融結合法 Pouder Bed Fusion

特に Selective Laser Sintering

樹脂や特に金属の粉末の薄い層にレーザー等を当て、所望の部分を溶融・焼結させて層を形成する

指向エネルギー堆積法 Directed Energy Deposition

レーザーで金属の対象物を加熱し、加熱された部位に金属粉末をまぶすことで、付着させる

自由な部分、方向に新しく材料を付着させることが可能。

STL Standard Triangulated language

STereoLithography

三次元形状を表現するデータ形式

三次元形状を三角形の集合体で表現する

各三角形の頂点の座標と、面の向きのデータから成る

製品アーキテクチャ

○多様化理論

製品の種類が多いほど、売上は伸びる

種類を増やせばコストも上昇

売上増加には限界がある

統合型アーキテクチャ（インテグラル型）

1. 複数の部品の組み合わせで製品の機能が実現される
2. 1つの部品に多くの機能が割り当てられる
3. 部品間の関係は複雑、製品の機能との関係が複合的。1つの製品の機能を実現するために、複数の部品の機能を複合的に統合する。機能が高品位な製品によく見られる。

モジュール型アーキテクチャ

1. 部品ごとに1つまたは少数の機能が割り当てられる
 2. 部品ごとの関係がはっきりしている。部品の機能が製品の機能に直結。
- ・個々の部品を別々に設計可能
 - ・個々の部品の改良も容易
 - ・部品の共通化が容易

局所性能

個くの部品によって決定される性能、自動車ライトの光度エンジン出力

大域性能

複数の部品の関係によって決定される性能

モジュールのタイプ

・スロット型

モジュールはその種類によって装着できるスロットが決まっている。

自動車のインテリアのCD、カーナビ、テレビ交換可

・バス型

同じ型のインターフェイスに異なるモジュールを装着可

パソコンのUSB、照明

・分割型

プラットフォームがない、モジュールを繋げていくことでひとつの部品が出来上がる

パイプ、ソファ、積み重ね式本棚

アーキテクチャ決定時に考慮すべきこと

・部品の共通化

部品の規格化、共通化によりコスト低減と品質向上の効果が見込める

複数の製品の共通の基盤のことをプラットフォームと呼ぶ。

・アップグレードや部品交換、リユースなど、製品の変化

製品の変化のたびにプラットフォームが変化することは受け入れられない

・製品の種類

モジュールを置き換えれば別の製品になる。組み合わせの数だけ製品数が存在する。

・製品性能の向上

統合型アーキテクチャで製品性能が向上（機能の複合化）

・DFMA

アーキテクチャが決定すると部品構造が決まる

DFMAがモジュール単位でしか実施できなくなる

・開発体制

モジュール型アーキテクチャでは、開発管理を分離しやすいが、システムレベルの

決定は慎重に行う必要がある。

DSM(Design Structure Matrix)

1. 設計情報の流れをマトリクスで表示
整流型の場合：左下部にのみ×が入る
ループ型の場合：右上部にも×が入る
2. 全体の流れを整理することで、ループ型の部分を数箇所にとめる

3. まとめられた部分はモジュール化の候補となる

マーケットセグメンテーション

・垂直展開

地域ごとの特色に合わせてプラットフォームを用意

・水平展開

製品の性能ごとに世界共通でプラットフォームを用意し、モジュールの差異により地域ごとのニーズに合わせる

製品分化の後回し戦略

図 10-10 アーキテクチャとサプライチェーンの効率の関係

シナリオ A：組み立て段階で3段階の製品に分けられ、それぞれ在庫として積み上げられる

シナリオ B：途中まで組み立てておく。注文に応じて製品の種類を分ける

図 10-11 アーキテクチャの設計指針

1. 製品の差異を出来るだけ少ない製品で実現する
2. サプライチェーンの出来るだけ後ろの段階で差異を作り出せるようにする

製品の多様化と性能コストとの競合

- ・他の製品上の部品の共通性を確保しすぎによる
- ・新製品の魅力が低下を回避すべき
- ・感度解析:市場占有率を1%向上させた場合上その多様性確保のための必要コストを見積もる
- ・部品共通化の成果が最大となるように入念にアーキテクチャを設計する

アーキテクチャの設計法（例）

1. 図 10-6 製品の模式図を書く
機能と情報やモノの流れを把握する
全体の分析を行うため30要素くらいまでに抑える
代替案があれば記入しておく
2. 図 10-7 模式図の要素を分けて実体化
関連するものをまとめる→モジュール化が可能
 - ・相対運動しないもの
 - ・ユーザーインタフェースなどの機能の複合化
 - ・1つの外部ベンダーに任せてしまえる考え方
 - ・設計プロセスや製造プロセスが同じもの（電気回路）変動が予測される部分は独立化
他の製品と共通化する部分の検討
3. 図 10-8 構造レイアウトのラフスケッチ
 - ・幾何学的に成り立つのか？
 - ・感性、インターフェイスの検討
（場合によってはstep2に戻る）
4. 図 10-9 要素間の関係の把握

・機能実現のための基本関係

・機能実現を妨げる付随関係

要素間の関係を完全に記述出来れば、部品は別々に設計検討が可能。

○DFMA(Design for X)という考え方.

DFMA(Design for Manufacturing and Assembly)

製品の製造工程・組立工程がより効率的になるように設計を行うこと. またはそのための評価ツール. (図 1.5, 1.6)

1980 年ごろ, Boothroyd が評価方法を発表してから重要な設計方法として認知されるようになった.

Design For Environment. Design For Disassembly などに発展それらを総称して Design For X と呼ぶ(DFX)

手組製品のための設計

部品ハンドリングのためのガイドライン(図 3.1)

- 部品を線対称, 回転対称にする
- 対称にできない時は, 非対称性をわかりやすくする
- ジャミング, 絡まり防止
- 小さい・すべりやすい・危険・曲がりやすいといった形状を避ける

挿入と締め付けのガイドライン(図 3.4~3.12)

- 抵抗をなくす
- 一方向からのアクセス
- 仮持ちの不要化
- 容易な位置決め
- 締め付け方法の検討(図 3.11)
- 標準化(部品)

組み立て時間の定量的評価

- ハンドリング標準時間(図 3.15)
- $\alpha - \beta$ (図 3.17)
 - α 回転対称性…挿入方向に垂直な軸を中心とする回転軸対称性
 - β 回転対称性…挿入軸を中心とする回転軸対称性
- 挿入と締め付けの標準時間(図 3.16)

標準時間は, 実際に部品をハンドリング・挿入する時間を計測して算出している.

ワークシート分析

NH 最小部品数

理論的に最小な部品数

チェックリストの利用

1. 他の部品と相対運動するか?
2. 他の部品と異なる材料にする必要があるか?
3. 組み立て・分解のために他の部品と分離しておく必要はあるか?

レイアウトとの関係

作業者の体の回転, 部品を取り出す動作に時間が必要

大きさや重さによって, 取り出す時間が変化(図 3.51, 3.52)

自動組立のための設計

把持, 位置決め of のしやすさに手組と同様の評価

E: 位置決め of の効率係数

Cr: フィーダの価格係数

専用装置 フィーダ等の投資教示のような立ち上げコストの考慮に入れた評価が必要

自動組立のための製品設計指針

- 部品にガイドを設け自動位置しやすくする面取りなど

- 同じ把持機構を用いて作業が行えるようにする.
- 同じ方向から作業が行えるようにする
- 部品箱から絡みなどがなく部品を簡単に取り出せるようにするフィーダなどで正しい方向に供給できるようにする

DFA の指針

部品数を削減調整作業をなくす. ケーブルをなくす. 自動的に固定できる, 構を採用位置決めを容易に, 位調整をなくす.

ハンドリングを容易に, モジュール化.

Design for Manufacturing (DFM)

機械加工, 射出成形, 板金加工等, それぞれの加工法に対してガイドラインや評価法が定められている.

DFMA まとめ

製造コストの低減

製品の品質の向上, 開発時間の短縮, 開発コストの低減

サプライヤや製造部門の技術者など, 多数の部門が設計に参加

評価するコストは推定値でよい

直接費だけでなく間接費への影響も考慮

製造コスト, 開発時間 (コスト), 製品性能には競合関係

3D CAD におけるモデリングの基本方針

1. 実際の部品と同様に, 部品モデルの組み合わせでアセッフリーモデルを表現
2. 部品モデルは単純形状の「フィーチャー」の組み合わせで表現
3. フィーチャーで作るための基本的なオペレーションに挿入
4. パラメトリックモデリング

境界表現モデル (-rep モデル)

問題点

検索(query)

例: ある面を構成する頂点は何か?

ある稜線はどの面を構成しているか?

どの面とどの面が接続しているか?

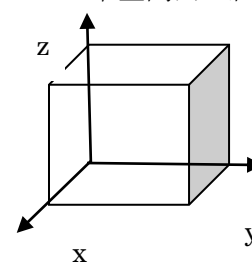
・Winged-Edge モデル

Build モデルの問題点

- ・形状の検索 query に時間がかかる
- ・内部構造の矛盾の判定が難しい
- ・線の消去, 面の分割などが難しい

CSG モデル

- 基本形状立体の組み合わせ
- 半空間内の組み合わせでプリミティブを表現.



$$a_1x + b_1y + c_1z + d_1 \leq 0$$

$$A \cup (B - C) - D \quad (\text{slide2})$$

$$A \quad 000$$

$$B \quad \cup 10$$

1 個目…直前の演算子

2 個目…直前の (の数

3 個目…直後の) の数

CSG モデルの特徴

- プリミティブの積み上げは形状判定が有利
 - 冗長性が少なく, コンパクト
 - CSG→B-rep への変換は容易, その逆は困難
- 実際の形状モデリングは両者の組み合わせ.

Bezier 曲線

$$n=1 \text{ のとき, } r(t) = (1-t)P_0 + tP_1 \quad (t: 1-t \text{ に内分する点})$$
$$r(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i P_i$$
$$n=2 \text{ のとき,}$$
$$\binom{n}{i} = nCi$$
$$r(t) = (1-t)\{(1-t)P_0 + tP_1\} + t\{(1-t)P_1 + tP_2\}$$
$$= (1-t)Q_1 + tQ_2$$

曲線はレジュメ参照.

直線の内分点を順次計算し, 最終的な点を曲線上の点とする.

de Casteljau のアルゴリズム

特徴

- 両端は必ず通る.
- その他の制御点は一般に通らない.
- 曲線は制御点群の最小の凸多角形に入る.
- 制御点 P_i の曲線に対する影響は, $t=i/n$ のとき最大で, これから外れるほど減少するが, ゼロにはならない.

B-spline 曲線

$$r(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(t) P_i \quad (P_i \in R^3)$$

B-Spline 基底関数

$$N_{i,1}(t) = 1(t_i \leq t \leq t_{i+1}), 0(\text{それ以外})$$

$$N_{i,k}(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+k-1}-t_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{t_{i+k}-t}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t)$$

$t_i = i(i=0,1,2,\dots)$ のとき, uniform B-spline 基底関数と呼ぶ.

等間隔な整数でない時 non-uniform

$k=2$ のとき,

$$N_{0,2}(t) = \frac{t-0}{1-t} N_{0,1}(t) + \frac{2-t}{2-1} N_{1,1}(t)$$

$$= t(0 \leq t \leq 1), 2-t(1 \leq t \leq 2), 0$$

$$N_{1,2}(t) = t-1(1 \leq t \leq 2), 3-t(2 \leq t \leq 3), 0$$

$N_{i,k}(t)$ は $N_{i-1,k}(t)$ を t 軸方向に 1 だけずらしたもの.

B-spline 曲線の特徴

- 制御点 P_i が曲線に及ぼす影響は $N_{i,k}(t)$ が非ゼロである範囲に限定される

- 次数 k が高くなると, 曲線は制御点から離れていく.
 - k 次 B-spline 曲線は, すべての点で $k-1$ 次微分可能
 - 曲線に関与している制御点の作る convex hull に入る
 - B-spline, Bezier 曲線は 2 次曲線を等価に表現できない (近似になる)
- NURBS(non-uniform rational B-spline)により, 2 次曲線も表現できる.

3 次元の曲面

Bezier 曲面

$$r(u, v) = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} \binom{n}{j} (1-u)^{m-i} u^i (1-v)^{n-j} v^j P_{i,j}$$

$$0 \leq u, v \leq 1$$

$$= \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} (1-v)^{n-j} v^j \left\{ \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} (1-u)^{m-i} u^i P_{i,j} \right\}$$

5 軸加工機を使うメリット

1. 5 軸加工でないと加工できない部品がある.

例) インペラ, ブリスク, ウイングリブ→航空機部品に多い

2. 工程集約
1 回のセッティングであらゆる方向から工作物にアプローチできるため, 段取り替えが削減できる
3. 加工の自由度を利用して, 有利な加工が行える.
例) 立ち壁の加工
ワークの段取替えの低減による高精度化
工具の切削点の制御

→CAM ソフトウェアは, これらの長所を積極的に活用する工具パスを作る必要がある.

等高線パスの生成アルゴリズム

1. 逆オフセット法
工具中心が加工面を移動するときの包絡線＝等高線パス
2. Voronoi 線図を利用する方法
S: 点と線分の集合
Voronoi 線図 VD(s): S の中の 2 つの線分 (点) と等距離にあり, かつその他全ての線分はそれよりも離れた距離にあるような点の集合