

いわき明星大学における設計教育  
 —「コンカレントエンジニアリング」なる講義による一考察  
 Education of mechanical design at Iwaki Meisei University  
 –Considerations of it through a lecture of the concurrent engineering

桜井 俊明

Toshiaki SAKURAI

いわき明星大学 科学技術学部

要旨：設計にとって重要と思われる機能美を有する形の創生をこれまで行ってきた講義から考察する。著者は以前、大学における機械設計の基礎からみた図学教育のあり方を初等中等教育の幾何学的学習内容から調査した。調査結果から、小中学校で系統的に培ってきた空間図形に関する教育は高等学校で断絶していることが分かった。そこで大学初年度において設計に必要な形状創生能力を補うために図学教育の教育内容を提案し、2～3年次に繋げ、機械工学における製図設計教育を実践してきた。

本論文では、その実践を踏まえ、初年度からの一連の設計教育の中で学部3年次における纏めとなる企業における実践力を養うための「コンカレントエンジニアリング」なる講義の内容とその講義を通して図形創生力などについて考察をする。

キーワード：図学教育，設計教育，モデリング，データ変換，設計および最適設計

## 1. はじめに

以前報告<sup>①</sup>した高等学校教育における形状創生養成の欠落している調査結果を踏まえ、大学初年度教育では重点的に形状創生を中心に学習してきた。一方で、機械系における設計と言うよりむしろ基礎的な製図力を養うための従来までの実習も継続して実施しながら、いかに設計力が学習できるかについて腐心してきた。たまたま、コンピュータ教育に理解のある先生方と実践力を養う「コンカレントエンジニアリング」(以後、**CE(Concurrent Engineering)**と略す)講義あるいは実習からその機会を得たので内容と成果などについて関連科目と比較しながら紹介する。

## 2. 設計製図教育

### 2.1 現行概要

現在、本校における著者が担当している設計製図教育関連教科とその内容の概略を表1に示す<sup>②</sup>。表中**CE**を太字で示す。

1年生の基礎図形科学は必修である(学科の改組後、現在選択に変更)。教科書はこれまで報告してきた内容を踏まえ著作した<sup>③</sup>。

表1 製図および設計教育関連科目<sup>②</sup>

学年／教科名	主な項目	主な内容
1年前期／ 基礎図形科学 <sup>③</sup> 0.5 コマ	I. 形態 II. 形と図形 III. 投影図	自然界等の形 図形の作図 第三角法
2年前期／ 機械製図 座学 <sup>④</sup> と実習 1.5 コマ	I. JIS II. 機械要素 I. ねじ II. 歯車	共通言語としての製図 簡単な機械要素の製図
2年後期／ CAD演習 座学 <sup>⑤</sup> と実習 1.5 コマ	I. CADとは II. 企業では I. CAD使用 II. 操作法	NCとの関連 形の創生理論 石罫箱やクランク ャフト等の作成
3年前期／ 機械設計演習 座学と実習 1.5 コマ	I. 計算手法 II. 計算報告書の作成 I. 製図	手巻きウインチの設計 計算手法に基づいて製図
3年前期／ <b>CE</b> 0.5 コマ	I. <b>CAD</b> (II. <b>CAM</b> ) (III. <b>CAE</b> )  3名の教員が担当	1.要素設計復習と設計 2.位相最適法導入 3.設計 4.評価

まず形態を自然界や生物界に求め、美しさや造形美を学習する。デザインの学習に必要なバランスなどを幾何学的形状の美を紹介している。形態と図形および図面に繋げ、投影法に到達する。投影法の理解は本学習の最終目的である。

2 学年前期の機械製図演習は座学と実習で行う。このため2班に分け、1週間交代で実施する。座学は世界共通語としてのJIS規格に基づいた製図図法の学習、機械要素の理解、製図に必要な指示記号、機械要素設計の説明を行う。実習では座学の内容と関連させ、簡単な機械要素の製図を行う。座学用教科書<sup>(4)</sup>は用意されていて、実習では、機械要素関連資料を配布している。

2 学年後期のCAD演習は座学と実習で行う。座学では、NC (Numerical Control)と関連するCADの生い立ちや自由曲面の理論の説明、平行移動や回転、スイープ、集合論に基づく理論的物体創生などの説明を行う。実習では、本学に導入されているCADソフトウェアの一つ、3次元Pro-Engineerを用いて3次元形状の作成を行う。Pro-Engineerの導入されたコンピュータが1人ずつ与えられている。基本的操作法を学習し、その後シェルやソリッドモデルの代表例として石鹸箱やエンジンクランクシャフトの作成を行う。設計というよりむしろ操作の訓練である。教科書<sup>(5)</sup>と説明資料を用意している。

3 学年前期の機械設計演習は座学と実習から成る。手巻きウインチの設計を座学と実習で行う。座学では機械要素設計計算書の作成が狙いである。機械要素の軸、軸受、歯車の設計をこれまで学習してきた材料力学の梁の計算手法を中心に、標準部品から適切な軸の径や歯車のモジュールを決める手法を紹介する。実習では学生はその計算結果を基に、寸法や公差などを考慮して設計する。ただし、製図の見本は既に出てきている。

## 2.2 CE

CEは講義ないし実習によって行う。現在ものづくりを中心とする企業では、製品開発過程はコンピュータによる設計・計算（あるいは実験）・生産が行われている。そこで本講義CEの

目的は上記の状況を踏まえ、その仕方を実践することであり、将来技術者としての必要な素養を会得させたい狙いがある。

このコンピュータによる設計・計算・製造はCAD/CAM/CAEと呼ばれることもある。

ここに、CAE(Computer Aided Engineering) CAM(Computer Aided Manufacturing)である。

CAD/CAM/CAEとCEと関連付けて行うことは簡単に言えば、設計・計算（実験）・生産とさらに計画販売を含めて同時に行うことを意味する<sup>(6)</sup>。

また本来の設計とは、形の創生で、機能美に基づくもので無ければならない。設計には、図面を描く能力とその形を保証する計算力（実験）が必要である。さらに企業では製品の開発期間や品質向上が重要視されている。

そこで著者はこのような製品開発環境下において製品開発は図4に示すように最適設計などCAEを活用して同時に並行して行うことを主張してきた<sup>(7)</sup>。具体的な内容については文献<sup>(8)~(9)</sup>を参照してほしい。

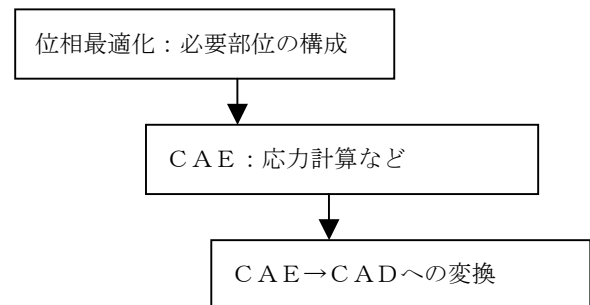


図4 CAE leads to design<sup>(7)</sup>

ここで最適設計とは、次のように定義する。

目的関数  $f(x) \rightarrow \text{Maximum or Minimum}$

制約条件  $h_i(x) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$

$g_j(x) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$

なお、位相最適手法および応力計算プログラムは市販されているFEMAP<sup>(10)</sup>およびNASTRAN<sup>(11)</sup>を使用した。

上記のように現在の製品開発過程を踏まえ、CEの講義ないし実習は先に示した表1のような

内容である。ここでは著者が担当する CAD について述べる。教員 3 名で担当するため学生を 3 グループに分け、CAD、CAM および CAE で各 4 週間ずつ与えられている。

4 日間の手順は表 1 を参照して目標と内容はおおよそ次のようになる。

1) 第 1 週

- ・機械工学科における関連教科の説明 (表 1)。
- ・機械要素の設計手法 (ボルトの径を求め、標準からボルトを選択)。
- ・ブラケット形状の最適化→ポンチ絵

まず、設計関連の教科を表 1 に基づいて内容を学生に説明する。次に、これまで行ってきた機械製図の設計への応用を同時に進めている手巻きウインチ設計を考慮しつつ説明する。図 1 に典型的な機械要素設計の一例でボルトの径を求める例を示す。設計要件を表 2 に示す。

入力および支持条件、寸法が分かれば単純な計算からボルトの径を求めることができ、標準品の中から安全率を考慮して径の近いボルトを選択する。機械要素設計ではこのような手順が一般的である。なお、機械要素設計では図中のブラケット形状は与えられている。

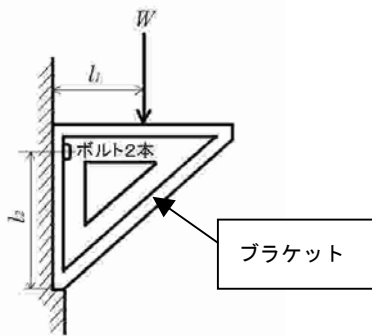


図 1 機械要素設計(4)

表 2 機械要素設計の例

荷重: $W=20,000\text{N}$
壁から荷重までの距離: $l_1=400\text{mm}$
ボルトからブラケット下端までの距離: $l_2=300\text{mm}$
許容引張応力 $\sigma_a=60\text{N/mm}^2$

一般的な設計の最終目標はある形的设计, すなわち入力および支持条件, および領域を与えられたとき, 形状の最適形状を求めることである。そこで学生に, 図 1 で示した負荷条件や支持条件, 大きさの領域が与えられたとき, 強度が一定となり, 重量が軽い構造を求めるものとする課題を出し, 各自の考えるブラケット形状を手書きによるポンチ絵で示しレポートの提出をしてもらう。これが第 1 週目の課題である。なお, 最適化設計ソフトウェアは 1 個しか導入していないので, 教員が持ち帰り, 計算を実行することになる。理想は各自 1 台与えられることである。

2) 第 2 週

- ・教員側で求めた位相最適形状を提示。
- ・上述形状と前週提出したレポートの形状と比較する。
- ・ブラケット形状の再度の最適化→ポンチ絵

教員側で位相最適化プログラムを用いて計算した結果と各自の第 1 週目で提出した予測形状と比較検討 (プログラム一式しか用意できず, 教員が実施) をする。それを参照にして, 応力一定になると推定される形状&重量最小化する最適化設計を自分自身で再検討し, レポートとして提出する。第 2 週目の課題である。

3) 第 3 週

- ・教員側で代表的な形状を CAE モデルにして, 計算を実行。
- ・上記解析結果を参考にしながら, 最終形状を求める。重量計算も含む→ポンチ絵

教員側で学生のレポートの中から代表的な形状を CAE モデル化<sup>(12)</sup>し, 応力計算を行う。この結果を踏まえ, 学生は最終形状を設計する。

4) 第 4 週

- ・最終形状に至った経緯の発表。  
考え方, 得られたヒントからの修正感想などが含まれている。
- ・評価

発表と評価とを行う。発表内容はその形状にし

た理由，設計結果とその結果の自己評価，について各自報告する．評価はその総合点で行う．

### 3. 結果および考察 一図形創生一

ある学生の図形創生過程を各段階で示す．また，その図に関する教員側が各段階で計算した結果を同様に示す．

#### 1週目（学生のポンチ絵）

図2に学生が創造し，スケッチした図を示す．

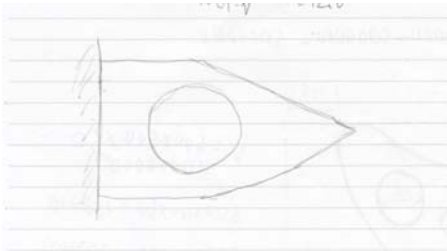


図2 学生によるポンチ絵（初期）

境界条件は守られていて，軽量化のための穴が空けられているが，構造物として直感的に決して最適化形状としては言いがたい．

#### 2週目（教師側の計算結果提示と学生の対応）

図3に教師側で行った位相最適計算の結果を学生に示す．この計算結果と第1週目の自分で提出結果と比較し，改良された形状創生の提出が第2週目の課題となる．

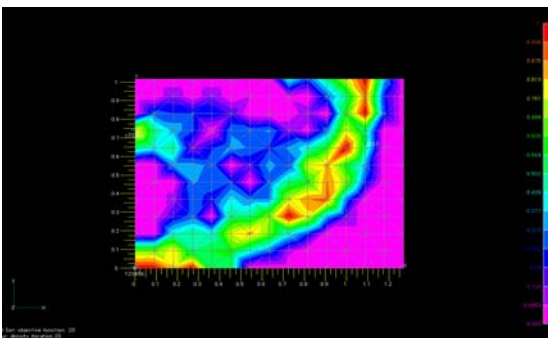


図3 位相最適計算結果（初期）

学生が想定した図2の形状と，位相最適化計算による結果を比較すると，今回たまたま形状に相当の差異が認められる．そこで，学生は位相最適化の計算結果をもとに再度，形を見直すことになる．

図4にその結果を示す．第1週目の形状と比較してかなりの進歩が見られる．一方，力学的な見方，すなわち，応力集中などを考慮した，形状が反映されていない．応力集中などは，材

料力学で学習している．ただし，実際の形状創生にはなかなか，反映しにくいようである．

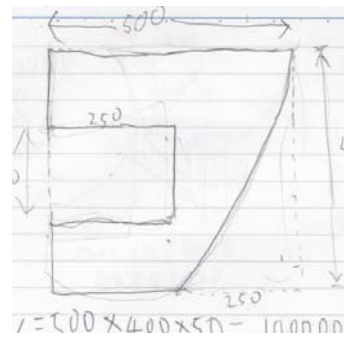


図4 学生のポンチ絵（位相最適計算結果を参考にして製作）

#### 3週目（教師側による応力解析結果の提示）

第2週目では創生した形状の応力解析を教師側で実行し，その計算結果を学生に示す．ただし，全員の解析は無理なので代表的な形状のみ解析する．データは直接CAEデータとして作成する．図5に応力解析結果を示す．その結果と比較して，さらに改良した形状創生が第3週目の課題となる．

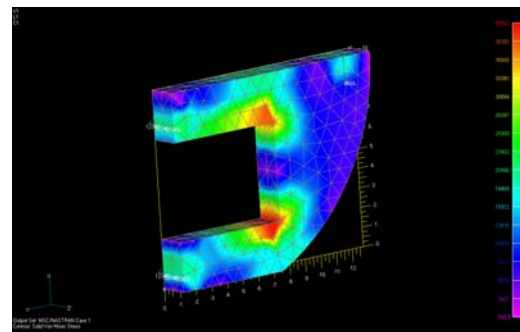


図5 学生が創生した形状の応力解析

図5を参照し，さらに洗練された形状を創生するのが第3週の最終課題である．図6にその結果を示す．この時，凡その重量計算を実行することが学生に課せられている．結果を見るとさらに形状に関する進歩が見られる．すなわち，この図形から応力集中箇所は見られなくなった．しかし，負荷点や支持点近傍の部材配置が他の箇所に比べ少し貧弱でバランスの点から課題が残りそうであった．また，軽量穴の大きさや位置は初期と変わらず，かなりのこだわりが見られる．

この図をもとに教師側でCAEデータを作成し，

応力計算を実施する。その結果を次週示す。

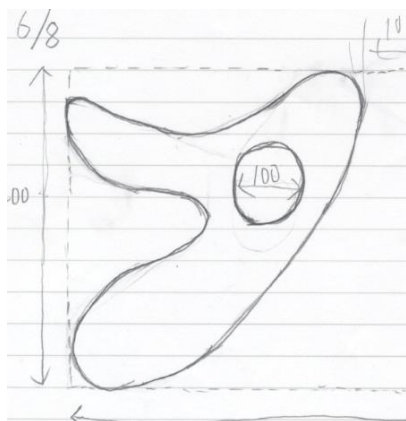


図 6 最終形状

#### 第 4 週目

教師側が計算した結果を図 7 に示す。

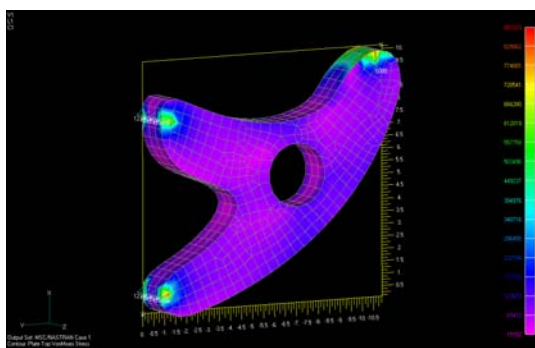


図 7 最終形状の応力解析結果

図 7 の結果は心配したバランスの点でさらに改良点は認められるものの初期形状から見ると格段の進歩が見られる。

このように学生の 4 週間の設計過程に関する感性の資質をトレーニングすることによって向上することが分かった。

今回のコンカレントエンジニアリングから学生の講義に対する定性的な傾向を箇条書きで下記に示す。

##### 1) 授業態度

- ・最初総じて形の美しさにはあまり興味が無いようであったが、回数を経るに従い興味を持つ学生が多くなってきた。

##### 2) 1 年生の基礎図形科学成果の反映

- ・学習した内容を忘れていた。
- ・回数を重ねるごとに思い出してきた。
- ・最初は自在に形状を形成する学生は少なかったが、徐々に増えてきた。

##### 3) CE 講義

- ・関心は高い。当初期待した解答は数少なかった。

たが、回を重ね効果があつた。

- ・力の流れを考慮して形状を決める学生もでてきた。

### 3. 結論および今後の課題

形を作る喜び、機能美の重要性を認識してもらうために、1 年生から系統的なカリキュラムのもと実践してきた。学生の設計への実践力は今後企業などにおいて問われることになるだろうが、大学の CE 教育として段階的に形状創生ができるようになってきた。それなりの成果があつたと推察する。

ただ単なる機械要素設計だけでなく、CE のような講義と実践的実習はものづくりにおける設計教育には必要と思われる。今後も何らかの形で授業に反映し、学生に伝えたい。

講義後のアンケート（感想）調査結果から、

- ・自分で考えさせられたので良かった。
- ・力の流れからどのように軽量化すればよいか、友達と相談しながら考えた。それによって形状の造り方が理解できたと思う。
- ・最初はどのようによいか分からなかった。最後の方で少し理解できた。

等々であった。

いずれにしても、評価は良かった。なお、CE のカリキュラム提案検討段階では機械工学科全員の教員がコンピュータを用いて各自の専門分野を通して座学と実習をする提案であった。協議の結果、結局コンピュータを得意あるいは専門とする 3 人の教員で担当することに至った経緯がある。さらに、来年度から、著者一名で担当する予定となっている。

#### 謝辞

当研究室大学院の学生の中で、FEM に関する研究と関連するテーマを選択した学生にはモデル化作成の際、様々な協力をいただいた。特に、小山智大（現、三和工機(株)）、鈴木康司（現、理工学研究科修士課程 2 年）の両君にここに感謝します。

## 参考文献

- (1) 桜井俊明, 初等中等教育内容からみた大学での機械設計の基礎としての図学教育, 日本図学会東北支部講演会, 2001.3
- (2) いわき明星大学, SYLLABUS シラバス, 2006
- (3) 桜井俊明著, 実用理工学入門講座, よくわかる基礎図形科学, 日新出版, 2003.5
- (4) 桜井俊明, 野田英彦, 八戸和男共著, 実用理工学入門講座, よくわかる機械製図, 日新出版, 2003.4
- (5) 桜井俊明, 井原之敏, 矢田直之共著, 実用理工学入門講座, よくわかるコンピュータによる製図—CAD/CAM—, 日新出版, 2003.4
- (6) 桜井俊明, 「コンカレントエンジニアリング —21世紀に向けた製品開発—」発刊に際して, 日本機械学会誌, Vol.98, No.916
- (7) Toshiaki Sakurai, Development of productions by “A New Smart Compact Method” based on CAE- CAE leads to design- Proceedings of ICDE 2005
- (8) 猪狩政勝, 桜井俊明, 坂内由昌, 「小さな開発室」によるせん断加工工具の最適設計, 日本機械学会, 第 13 回設計工学・システム部門講演会, 2003
- (9) 桜井俊明, CAE を基礎とした新たな提案「小さな開発室」による製品開発, いわき明星大学理工学部研究紀要, 2005
- (10) Top Solid , クイントマニュアル
- (11) NASTRAN, マニュアル
- (12) 鈴木康司, 桜井俊明, 機械設計における CAD-CAE モデリングに関する研究, 日本図学会東北支部講演会, 2006-12