

## マルチメディア時代における機械系設計教育について — 3次元CADの活用

藤井 雅雄, 加藤 暢宏

### <要約>

半導体技術の飛躍的な進展は、製品の高集積化・高性能化・低消費電力化を促し、あらゆる分野でデジタル化を急速に押し進めている。この傾向は、同時に製品設計を行うインフラのデジタル化を促進し、製品設計の方法においてもマルチメディア技術を活用した飛躍的な変化をもたらされつつある。本論では、デジタル化に伴う機械系設計技術の進展について考察するとともに、マルチメディア時代において産学が連携してモノづくりにおける生産性向上を実現するための学校での機械系設計教育について検討した。その結果、下記の2点が重要であることを述べた。

- ① モノづくりにおいては、その情報伝達のためのコミュニケーションツールとして3次元CADを活用し、知的創造的作業を促進すること。
- ② その実現には、モノづくりの業務に精通した3次元CADの指導者の育成と業務に特化した教育内容を構築すること。

### 1. はじめに

半導体技術の飛躍的な進展は、製品の高集積化・高性能化・高機能化・低消費電力化を促し、あらゆる分野でデジタル化を急速に押し進めている。この傾向は、同時に製品設計を行うインフラのデジタル化を促進し、製品設計の方法自体にもマルチメディア技術を活用した飛躍的な変化をもたらしつつある(1,2)。特に、機械系設計の分野では、グローバルに複数の企業間で3次元CADを活用したコンカレントな協同作業が行われつつある。

一方、学校教育の現場でみると、米国においては、早い時期から3次元CADのベンダーが無償あるいは低価格で3次元CADを大学・高校などに配布し学生が独創的なモノづくりをしており(3)、また、就職時に3次元CADの学習が条件付けられている場合がある。日本でも最近同じような状況になりつつあるが、モノづくりにおける情報伝達のあり方に対する認識不足、指導者数不足、コンピュータなどの設備費用が高いことなどの理由から3次元CADが教育の現場に十分に取り込まれているとは言えない状況にある。

著者の一人は、企業において設計業務を中心とするホワイトカラーの生産性向上に取り組み、今回大学で設計教育にたずさわることになった。また、別の一人は大学にて設計教育にたずさわってきた。以上の経験を踏まえ、本論では、機械系設計技術の進展について考察するとともに、マルチメディア時代における学校での機械系設計教育への取り組みについて検

討したので報告する。

#### 記号の説明

CAD : Computer Aided Design

CIM : Computer Integrated Manufacturing

IT : Information Technology

EC : Electronic Commerce

CALS : Commerce At Light Speed

CAE : Computer Aided Engineering

CAM : Computer Aided Manufacturing

RP : Rapid Prototyping

PDM : Product Data Management

STEP : Standard for the Exchange of Product Model Data

OA : Office Automation

CAT : Computer Aided Testing

EOA : Engineering Office Automation

ERP : Enterprise Resource Planning

EDI : Electronic Data Interchange

XML : eXtensible Markup Language

MRP : Material Resource Planning

BPR : Business Process Reengineering

PC : Personal Computer

JIS : Japanese Industrial Standards

OJT : On the Job Training

FT : Family Tree

VA : Value Analysis

TA : Teaching Assistant

5 W1H : Who, Where, When, Why, What , How

## 2. 機械系設計技術の進展

企業では、1980年代の半ば頃から技能系と技術系の人員構成が逆転し、技術系が多数を占めるようになってきた(4)。技能系の生産性向上への取り組みは、工場設備の自動化(CIM化)などとともに継続して行われてきている。しかしながら、技術系については、そ

の業務内容が知的・創造的作業が主体であることから、人に依存するというのが大方であった。近年、CAD, CAE などの設計支援ツールが普及し、また情報通信技術 (IT) が発達したことにより、それらの活用によって技術系 (ホワイトカラー) の生産性向上がはかられつつある。本章では、企業における機械系設計技術の進展と課題について述べる。

## 2・1 製図器材と図面の進化

表 1. 製図器材と図面の進化

年代	製図器材	図面	媒体	特徴
～ 1960	製図板、T定規、からす口	2次元手書図	紙	青焼きの世界
1970	製図機械 (ドラフター)	2次元手書図	紙	鉛筆書きで、コピー機活用
1980	2次元CAD	2次元CAD図	紙 / データ	紙ベースデータから電子化データへの転換
1990	3次元CAD	3次元モデル	データ	2次元手法の踏襲
2000 ～	3次元CAD	3次元モデル	データ	本格的3次元設計

表 1 に企業で使用されてきた製図器材と図面の進化の一例を示す。狭義の設計作業は「製図」を示すことが多く、ここでは製図器材を中心に機械系設計技術の進展を整理した。なお、学校教育の現場では、企業での進化に比べて 5～10 年遅れて追隨している。

1960 年代までは、製図板と T 定規などを用いて製図が行われ、2次元の手書図面はからす口を使ってトレースされ、青焼きのコピー紙の媒体で図面が関係者に配布されていた。

1970 年代になると、ドラフターといわれる製図機械があらわれ、またコピー機の進歩とともに青焼きが減少し、同時に企業の現場からからす口が消え、コピー紙の媒体で図面が関係者に配布されるようになった。

1980 年代に入ると汎用の 2次元 CAD が使われるようになり、図面は 2次元の CAD 図で作成され、関係者への図面の配布は紙と電子化データで行われるようになってきた。この時代までは、原図は紙のまま図庫に保管され、入出図業務は紙の媒体で行われていた。

1990 年代に入って、2次元 CAD の図面が大半を占めるようになった。汎用の 2次元 CAD は国産にも優れた製品があり、後述する 3次元 CAD の普及と比較すると国内外での図面の 2次元 CAD 化率 (2次元 CAD を使って作図業務を実施する割合) の格差はほとんどなかったと考えられる。2次元 CAD の電子化データが普及するにつれ、原図の保管も電子図

庫で行われるようになってきた (5)。

一方、3次元CADの先進開発国である欧米では、1990年代に入ると汎用の3次元CADが企業および学校教育などで使われるようになった。他方、国内では国産の汎用3次元CADの開発が行われなかったことも一因となり、国内での3次元CADの普及は1990年代の後半まで待たねばならなかった。著者の経験では、1990年代の前半に突如国外の関係企業からインターネットを通して3次元CADデータが伝送され、3次元CADデータを用いた製品設計が開始されることになり、まさに黒船ならぬ電子化データが押し寄せ、EC、CALSという言葉を実感した経験がある。電子化データを用いた協業への取り組みは、1991年発足の日本電子工業振興協会のCALS研究会などでも検討が開始されていた(6)が、この時点ですでに米国に10年以上遅れていた。表1で3次元モデルを図面の欄に記述しているのは、「図面とは、開発・設計者の考えた創造的な技術を表現するために、製品や部品の形状・寸法・加工方法・配線などの図面機能を図面方式・製図方式に基づいて平面または立体として表現したものである」という考え(7)に準拠している。

表1の1990年代、2000～年代の特徴にある「2次元手法の踏襲、本格的3次元設計」については、2.4項で述べる。ここで、「3次元設計とは3次元CADを活用した設計手法」と定義する。

## 2・2 2次元から3次元への移行

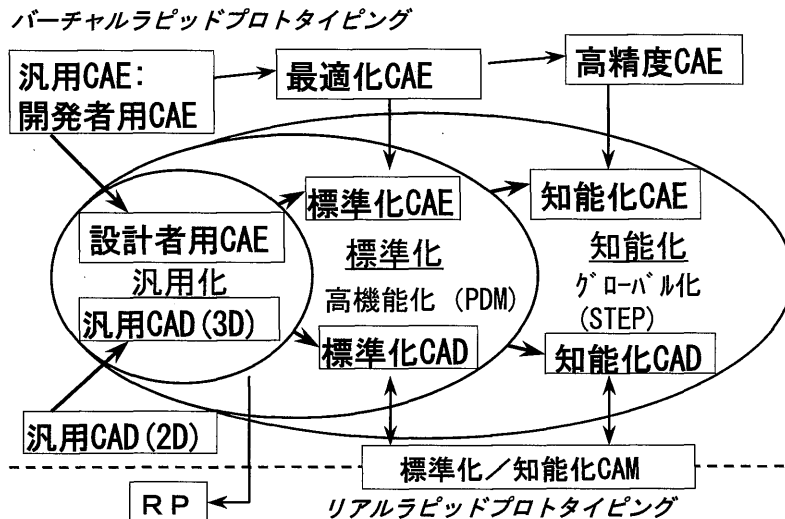


図1. 機械系設計技術の進展 (3次元化の進展)

3次元CADの普及を核とした機械系設計技術の進展を図1に示す。中心部の3つの円で示したのが、設計の現場で活用されている設計支援ツールの進展の段階を示したものである。

円内にある CAD, CAE は 3 次元モデルの共有などにより電子的に結合され, 設計支援ツールとして統合されていることを示す. 設計支援ツールは, 汎用化, 標準化, 知能化 (インテリジェント化) と進展している. この進展の内容を次に述べる.

国内での 3 次元モデルを使った設計は汎用の CAE を用いた解析分野で先行していた. ただし, CAE のユーザインターフェイスの未成熟などの理由から 3 次元モデルを扱えるのは一部の解析の専門家であって, 一般の設計者が容易に扱える段階にはなかった. そのため, CAE 解析も解析の専門家が使う「開発者用 CAE」と一般の設計者が日常的に使う「設計者用 CAE」に分類する考え方が生まれてきた (8). 設計者用 CAE では, 出来る限り操作マニュアルを読まずに簡単に解析が出来るような工夫がなされている. 後述する標準化とともに, 現在では, 設計者用を目的とした汎用の CAE ソフトが市販されている (9).

開発者用 CAE は, 形状, 機能の最適化を解析する「最適化 CAE」, 解析の精度向上を目指した「高精度 CAE」と進展し, 各段階での成果は設計業務に適宜取り入れられている.

1990 年代の後半になり, 汎用の 3 次元 CAD が設計業務で使われるようになると, 3 次元 CAD で作成した 3 次元モデルを使って CAE 解析が行われるようになった. 図 1 に示したように汎用の 3 次元 (3D) CAD と設計者用 CAE が融合された設計支援ツールが設計業務で用いられるようになった. 更に, 電子系の基板 CAD のデータと機械系の 3 次元 CAD のデータが相互に利用されるようになり, 情報端末機器などの高密度実装設計に有効に利用されるようになった. また, 3 次元データは光造形, 紙造形などのラピッドプロトタイピング (RP) のデータとしても活用され, 試作段階での CAD/CAM 一貫化が実現できる段階になった (10). 3 次元 CAD, CAE が活用され始めると, 製品の標準化と同時に設計における 3 次元モデリングにおける標準化などが進められた. CAE 解析におけるメッシュの自動分割, 境界条件などの簡易設定, CAE 解析用の部品のライブラリ化 (11), ねじ, ボルトなどの標準部品の 3 次元モデルの標準化とライブラリ化, 3 次元設計におけるトップダウン設計手法 (12) の導入, PDM を用いた 3 次元モデルの管理などによる設計支援ツールの高機能化 (13) など生産性向上のためのあらゆる手法が検討され導入されはじめた. ここで設計されたデータは CAM と連携して, 量産段階での 3 次元 CAD/CAM 一貫化も実現されつつある (14). コンピュータ上での試作をバーチャルラピッドプロトタイピング (あるいはデジタルモックアップ), 3 次元データを活用した実試作をリアルラピッドプロトタイピングという.

更に進んだ設計の考え方としては「知能化 (インテリジェント化)」がある. 企業で培われたノウハウなどを知識データベースとして整理し日常の設計業務で 3 次元 CAD, CAE, CAM にリンクさせて活用するものである (15,16). 知能化は, エキスパートシステム (17) などで研究開発されているが, 3 次元 CAD と連携し設計業務で日常的に使われるのはこれからである. 企業内で知識を経営資本 (18) の一つとして考えることの普及に伴って, 「知

能化」の重要性はますます増大すると考えられる。また、グローバル化の進展とともに、STEP などの適用による異なる CAD 間、PDM 間などシステム間の統合が今後ますます進むと予想される。

### 2・3 グローバル化への対応

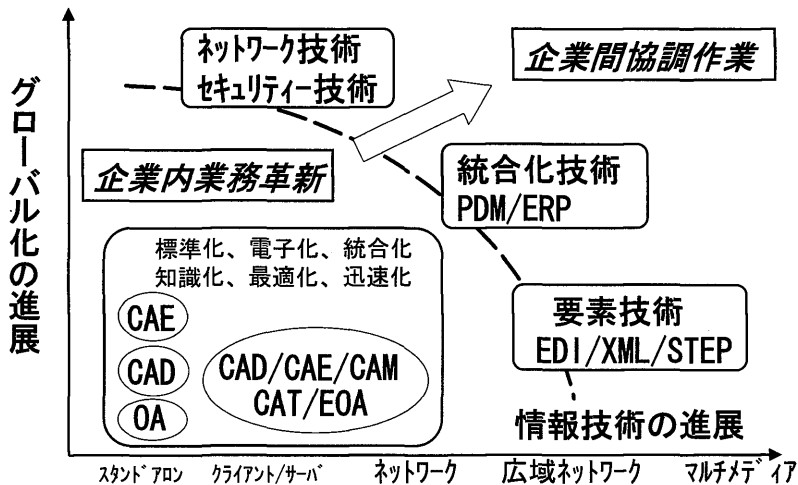


図2. 設計技術のグローバル化への対応

製品設計技術のグローバル化への対応を図2に示す。グローバル化への対応は情報技術の進展とともに進行している。

コンピュータを使った環境がスタンドアロンの時代は、CAD、CAE、OAがそれぞれ単独で使われていた。1990年代にクライアント/サーバ技術が実用化され、ネットワーク技術が進歩するにつれて、CAD/CAE/CAM/CAT/EOAの各ツールが同じ設計環境で一貫して使うことが指向されるようになった。すなわち、一度作成されたデータが重複して作成されずに多様に同時に活用できる環境構築が進められてきた。そしてインターネットなど広域ネットワーク技術、セキュリティ技術の進歩とデータの統合化技術であるPDM、ERP技術の進歩、また情報化の要素技術であるEDI、XML、STEP技術の進歩などによって企業間協調作業がグローバルな環境で可能になってきた。自動車、航空機、人工衛星など部品点数が数万レベルの製品では一社での開発は不可能で、複数の企業間にまたがって電子化データを共有した製品開発が行われている。

3次元CADを用いた3次元モデルは、言語の障壁を越えて設計者以外の関係者がその形状や構成を容易に認識できることから、企業内、企業間での設計・生産業務のコンカレント化と同時にグローバル化を進展させている。

2・4 機械系設計技術の進展に伴う課題

2・4・1 2次元時代の足かせ

表1の1990年代の特徴で「2次元手法の踏襲」、2000年代以降の特徴で「本格的3次元設計」と書いた。本格的とは何か — 生産性向上のために、3次元CADを用いた設計手法が様々な観点から検討されているが、現状ではその解は容易に出せていない。逆に、その解をもったものが企業優位性を確保できるとも言える。

ただ、3次元CADの有用性が認識できない2次元の世界にどっぷりつかった設計経験者、管理者、教育者は、2次元手法を踏襲し単に2次元CADを3次元CADにおきかえたのみで、その有用性を議論していることが多い。

成熟した2次元設計の世界の特徴(問題点)は、①分業による機能設計者と構造設計者の分離、②構造設計は作図作業という考えに基づく(これは、CAD以前のトレース作業を作図作業と誤認している感がある)低級化思考、③主に改良(流用)開発が行われることから、詳細な部品設計から全体設計へというボトムアップ指向、④ベテラン設計者しかわからない2次元図面を用いた製品開発のレビュー会議の開催などである。

その弊害は、設計作業の細分化による設計業務間(意匠、機能、構造、金型、電気・電子、ソフトなど)でのコミュニケーション不足、モノづくりの関係者(設計、生産、営業、資材、経理、人事など)間でのコミュニケーション不足、計画図や部品・組立の全体構成図が総合的に考えられる設計者の不足、製品開発の最終段階近くでの見直し業務の増大、新入社員の新鮮で創造的なアイデアを活用できる場の設定不足などがあげられる。これらの弊害はすべて製品の品質(Quality)、価格(Cost)、開発期間(Delivery)に影響する。

2・4・2 設計業務革新の実現

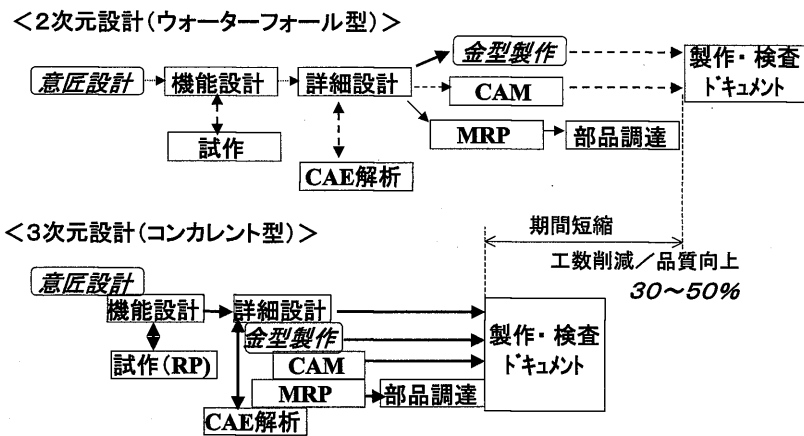


図3. 3次元設計の導入効果

図3は、量産系の製品設計における2次元設計と3次元設計での製品開発業務の流れを示し、その導入効果を比較したものである。

従来の2次元設計では前述したように分業が進み、意匠設計、機能設計、詳細（構造）設計、金型製作、CAM、MRP、部品調達、製作・検査、ドキュメント作成などの各業務が独立して進められる、いわゆる「ウォーターフォール型」の業務フローになっていることが多い。更に、2次元CADの電子化データは、破線で示したようにCAE解析や試作、ドキュメント作成などに直接利用できないことから、各業務間での電子化データの直接的活用は限られている。一方、3次元設計では、開発業務の上流から各業務部門が理解しやすい3次元モデルを共有化して活用できる「コンカレント型」の業務フローに変えることにより、製品の開発期間の短縮（19）、工数削減、品質向上が実現される。更に、3次元CADの電子化データはあらゆる業務での活用が可能である（13）。

例えば、重電機器の2次元図面の読図には10年以上かかると言われている。ベテラン技術者・技能者が不足する傾向にあり、また海外での生産を前提にした場合に、理解しにくい2次元図面を用いるよりも、理解が容易で誤解の少ない3次元モデルを用いる方が生産性はあがる。他の例では、携帯電話のような高密度実装が進む電子機器では、構造が機能の一部になっている場合が多い。機能（機械系、電子系）設計者と構造（金型設計も含む）設計者が融合して開発を迅速に行うためには、お互いに理解が容易で情報伝達に間違いの少ない3次元モデルを用いて行う方がはるかに迅速な開発が行われる。

以上のように、3次元設計を有効に活用するためには、各業務部門が協調して作業が行える場の設定や業務フローの見直し（コンカレント型の業務フローへの変更）などのBPRの作業が必須となる。グローバル化、素人工化、高密度実装化などが進む中、2次元の世界で企業が生き残れるか再度検討する必要がある。

また、市販の3次元CADは、様々な分野で使用可能であることを前提にしているため機能が豊富である。豊富な機能を全て理解するには、月単位のスキル教育が必要となる。自部門の業務を見直し、当該設計に必要なCAD機能のみを選定し、最小限の機能を学習して早期に業務に適用することが重要である。それには、モノづくりの業務と3次元CADに精通した少数精鋭の企業内技術者を早期に育成するか、企業外で設計に精通した3次元CADのコンサルタントを活用するなどして、自部門に特化した3次元CAD教育カリキュラムを作成し、教育を実施することも有効な方法である。教育はCADのベンダーに丸投げでは3次元CADを用いた設計の早期の立上げは困難である。自部門に特化した教育では、対象とする製品にも依存するが、おおよそ1週間以内で実設計に適用できるレベルに達することが可能である。

3次元CAD導入による生産性向上が進まない企業や部門では、単に3次元CADのみを購入するだけで、上述したことが十分に理解できていないことが多い。3次元CADの早期立



上げにはリーダの育成，設計業務プロセスの変革（BPR），設計スキルの向上が不可欠である（20）。

進化する機械系設計技術を取り入れ生産性を向上するには，モノづくりの全業務プロセスを見直し，再構築する革新（BPR）が伴われねばならない。3次元設計の3つの特徴である，①モノ（製品）の可視化，②業務の流れの可視化，③課題の可視化を十分に活用したBPRがトップダウンで実施されることが望ましい。

### 2・4・3 企業間協調作業の促進

前述したように，汎用の2次元CADは国産もあったが，汎用の3次元CADは欧米で開発され，国内での実用化は欧米に約10年遅れることになった。PC用の3次元CADなどが普及し始めているが，モノづくりにおける情報伝達のあり方に対する認識不足，指導者数が少ないこと，コンピュータなどの設備費用が高いことなどの理由からいまだ中小企業や学校教育の現場では3次元設計の導入があまり進んでいない状況にある。大企業から中小企業に至る我が国の製造業の発展のためには，ハードとソフトを含めた情報通信技術が十二分に活用できる社会資本の整備が急務である。グローバル化が進む製造業では，3次元CADのデータが扱えないことはビジネスチャンスをのがすことにもつながる。

更に企業間協調作業を進展させるためには，3次元CAD，PDMなどの設計支援ツールの普及やセキュリティ技術，ネットワーク技術の進歩とともに，電子化データの「正」の保証が重要である。現状では，グローバルに電子化データの正の保証が困難な状況にあり，業種ごと，製品ごとに電子化データの取り扱いなどの取り決めを行う企業間協調作業の範囲に限定されている（6）。

## 3. 学校での設計教育

前章で，企業における機械系設計技術の進展とその課題について述べた。企業の設計現場では生産性向上のためにあらゆる努力がなされている。その努力の成果を具現化し結実させるのは「人」である。企業における機械技術系の生産性向上では，前章で述べたように3次元設計が今後広く利用されるようになる。そのための企業内教育が，年齢別，業種別などに分類され効率的に行われつつある（21）。また，企業では1980年代の半ば頃から技能系と技術系の人員構成が逆転し，技術系が多数を占めるようになってきたと述べた。これは，大学など高等教育機関への進学率の増大と新卒採用者の高学歴化とも関係していると考えられる。欧米に見られるように産学の緊密な連携を構築するためには，産業界の動向をよく見極め学校での設計教育も進化させねばならない。

現在，2次元CADを用いた設計教育は学校で多く取り入れられ，公的な資格制度なども

存在する。しかし、グローバルに見ると世の中はすでに3次元設計が教育の現場でも普及し始めている。産業界においては、3次元設計の有効活用とそのため教育、動機づけのための資格制度のあり方などが先行して試行されている。学校教育における3次元設計教育のあり方については今後とも更に深掘されねばならないが、学校での3次元設計を中心とした設計教育内容を列挙すると以下が考えられる。

### 3・1 モノづくりの流れとルールの教育

学校の卒業生はなんらかの形でモノづくりに関係する。特に理工系の卒業生の大半が製造業に従事する。モノづくりに関する設計の役割、環境・社会と設計・生産のかかわり(22)とコミュニケーションの重要性などが十分に教育されねばならない。また、学校で学ぶ専門科目(技術)の統合としてモノづくりのための設計技術があることを理解させ、専門科目を学ぶ理由の一つを明確化させることが必要である。従来は、主にJISに準拠した製図法(ルール)の教育が設計製図の演習などでよく行われているが、上述した設計の役割と各専門科目、3次元CADのスキル教育など、技術教育と技能教育がバランスよく有機的なつながりをもって教育されることが望まれる。特に3次元CADのスキル教育以外の講義内容は、ハードウェアの製造に限らず、ソフトウェア開発、システム設計、サービス業などあらゆる設計業務で必須となる内容である。また、3次元CADのデータ(3次元モデル)をコンピュータを介して読み取れることは、コンカレント型の業務を進める上で技術部門に限らず経理、営業、資材、保守部門などにも要求されるようになる。

### 3・2 3次元設計製図教育

限られた時間内での3次元CADのスキル教育は限度がある。また、就職した企業によって使用するCADツールは異なっている。スキルは企業内のOJTで十分に身につけることができる(21)。企業での設計業務を見ると、CADを使用している時間は少なく、大半がコンセプトメイキング、機能定義、仕様書作成、樹形図(FT)と部品表の作成、価値分析(VA)、設計計算であり、次にCADを用いた3次元モデリング、2次元図面作成(3次元データの補完図として用いられる)の流れになる。学校教育ではこれらの一連の狭義の設計業務が体験できることが望ましい。

また、3次元モデリングでは、機能重視でフィーチャー(単純な形状要素)数を限定し、形のみ追求にとらわれないように注意すべきである(23)。従来の2次元設計の世界(企業内)では改良(流用)設計が多く、詳細な部品図の作成にすぐに入るために3次元モデルの修正作業などに手間取り、3次元設計を導入することにより生産性が落ちる場合が良く見受けられる。2次元設計に慣れきったベテラン設計者にこの傾向がよく見られ、3次元設計

の習熟期間が長くなる傾向にもつながる場合が多い。

3次元設計では、設計の基本は全体の概念設計から始まり詳細設計に移ること（トップダウン設計）、詳細設計に入る以前から設計者用 CAE を活用すること、詳細モデリングの稚拙が設計期間を長くすること（20）などを教え、効率の良い3次元設計技術が創造でき、グローバル化しつつある製造現場の生産性向上に貢献できる人材を育成することが重要である。3次元 CAD の活用技術は未成熟の段階にある。CAD は道具であり、それを使いこなすのは人であることを忘れてはならない。

### 3・3 チームデザイン教育

現場の設計では、一人で設計作業をすることはない。複数人でのチームデザイン（協調設計）が基本になる。3次元モデルがモノづくりにおけるコミュニケーション手段として有効なことを実体験させる意味でも、例えば、3次元 CAD のアセンブリ機能を活用しチームデザインを経験させることが重要である。

また、自由設計課題を与え、コンセプトづくりからチームで行わせることは効果的である。自由設計課題を与える前に、3次元 CAD の機能（フィーチャーなど）を追加して教え、学生は自由に駆使してモデル化を行う。学校でも企業内でも経験したことであるが、学生や技術者が一度3次元 CAD の魅力に触れると、彼らは自主的にスキルをアップさせる。前述したようにスキルアップは学生の自主性に任せ、本来の設計の流れと業務を理解させる教育に重点を置いた方がよい。チームデザインでは、役割分担を明確にさせ、プレゼンテーションを行わせて設計結果を互選で評価させることによりコミュニケーションの活性化を図ることが出来る。

### 3・4 設計教育事例

表 2. 3次元 CAD を用いた設計教育事例

課題	学習内容	備考(目的など)
(1) 文鎮	①コンセプトメイキング (5W1H、機能定義/企画仕様) ②詳細設計(寸法決定と根拠/設計仕様) ③3次元モデル作成(フィーチャー限定:突起) ④2次元図面作成(JIS製図法)	(a)規定課題(CAD操作を学ぶ) (b)自由設計(機能の再定義) ・マニュアル作成
(2) 照明灯	①～④(フィーチャー:シェル) ⑤設計書(フォーマット指定)作成	(a)、(b) 同上 (c)材料力学による設計計算
(3)カメラ	・3DCADの追加機能(カット、フレット)	(a) 同上
(4)自由設計	・1チーム4人編成でチームデザインを実施 ・自由設計(一連の設計作業を実施) ・プレゼンテーション(設計結果の発表と相互評価)	・役割分担の徹底 ・自主性、創造性

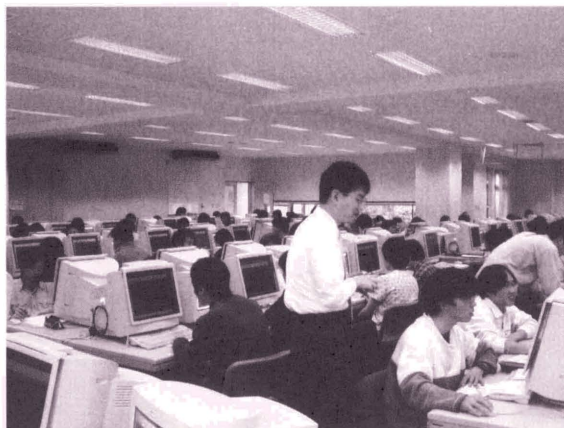


図4. 3次元設計授業風景

3次元CADを用いた設計教育は、企業においても試行錯誤の段階にある。教育の現場では、学生が設計に興味をもち、その自主性と創造性を発揮する工夫が重要と考え、表2にある課題を設定した。毎回、授業に対する感想文を書かせ興味を調査した。3次元CADを操作すること自体は授業の最初から全員が興味を示し、最期まで落伍者を出さず授業を修了した。実施対象の学生は3年生約100人である。授業時間の総数は45時間（半年の講義で、週1回、180分/回の授業）であるが、3次元CADは定時以外でも自由に使える環境にある。指導側は、教員2人、大学院生2人（事前に予習を完了）の4名である。3次元設計の授業風景を図4に示す。教員とTAである大学院生が受講学生のサポートをしている。なお、本授業の前に、JISに準拠した設計製図法と手書製図（2次元作図）の学習は終了している。授業は、規定課題でCAD操作を最小限教え、自由設計で設計の流れの理解とCAD操作の習熟を目的とした。3次元CADには、学生が無償で入手できる簡便さからSolid Edge Origin（エグザフィックス・ソリューションズ社の製品名）を用いた。ただし、本ソフトにはアセンブリ機能はない。

#### 3・4・1 課題「文鎮」

3次元CADの操作を短時間で学習させる目的で、図5に示した規定課題を用いた。

フィーチャーは突き出し（突起）だけを教え、概念設計が十分出来ることを学ばせた。わかりやすい文章を書く練習もかねて、CADの操作マニュアルも学生に作成させた。2次元図面の作成では、すでに学習したJISに準拠した製図法の実践を目的とした。製造の現場では、3次元モデルと2次元図面が混在することから、2次元図面の作成も重要な課題である。

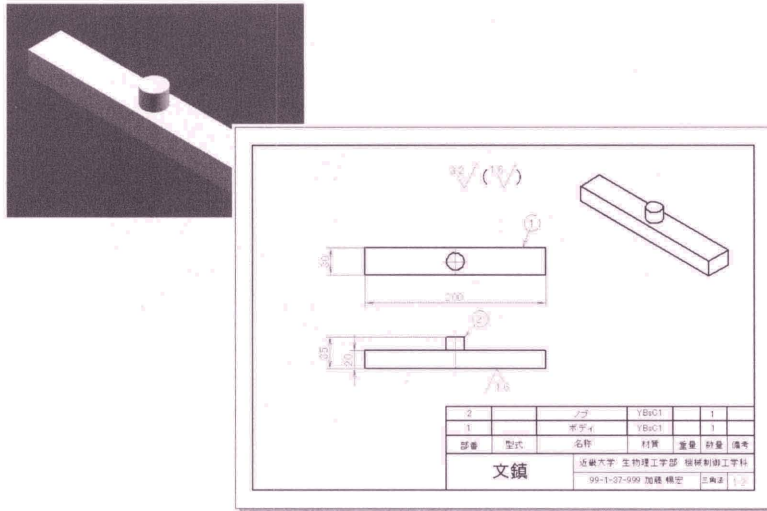


図5. 規定課題「文鎖」

学生にとって、3次元モデルにより製品のイメージが出来上がると達成感が得られ、その喜びはかなり大きいものようであった。時間をかけてCADの機能を多く教えるよりも、短時間で機能を限定して教え、単純でもよいから3次元モデルを完成させる達成感を早く感じさせたほうが良い。

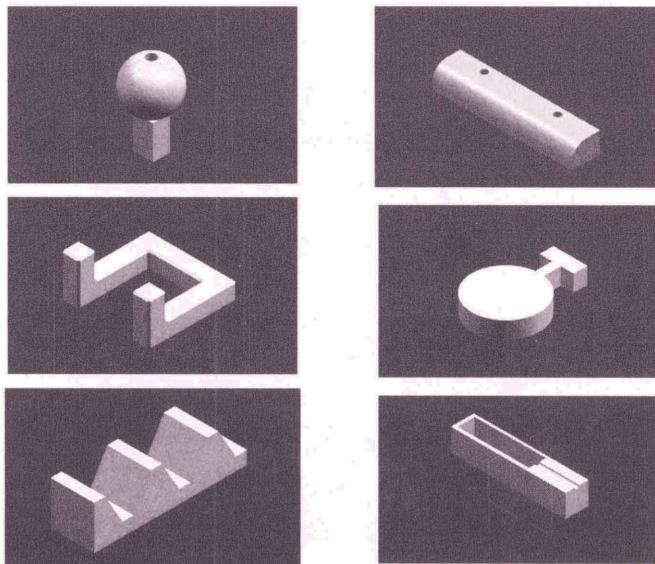


図6. 文鎖の自由設計（機能の再定義含む）

次に、自由設計では、表2の学習内容の①～④を実施した。コンセプトメイキングでは、5W1Hと機能の再定義（文鎖という既成概念にとらわれずに、例えば「モノを固定す

る道具」と再定義し、基本機能と二次機能を検討させた)をさせて、設計仕様(寸法, 重量の決定とその根拠の明確化)を作成させた。文鎮(モノを固定する道具)という一見単純な形状のものでも, 100人100色の機能定義がなされ, 図6に一例を示すようにさまざまな形態が提案された。3次元モデリングの楽しさが理解できると, 学生の自主性, 創造性が発揮されることが体験できた。

### 3・4・2 課題「照明灯」

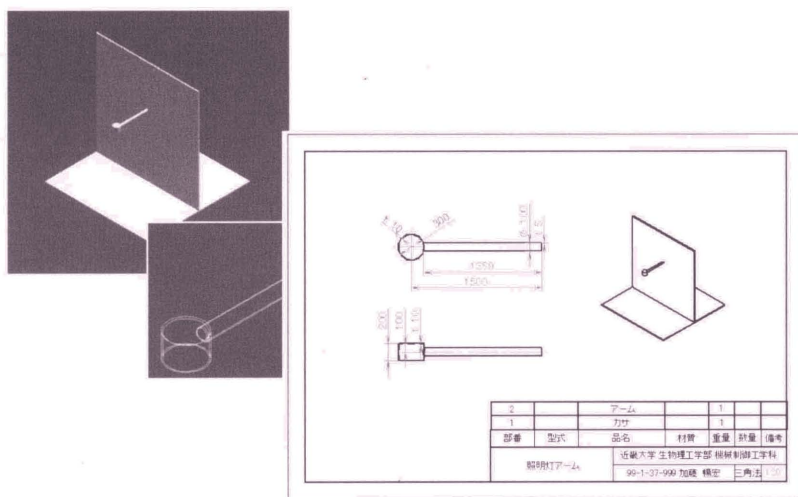


図7. 規定課題「照明灯」

規定課題の「照明灯」を図7に示す。フィーチャーとしては, シェル化が追加されたのみである。照明灯のアーム部分の設計計算(オーダ計算)について材料力学を復習させた。

表3. 設計書の項目例

1. コンセプト(売れる商品を目指す)
2. 仕様書
  - 企画仕様(5W1H)、設計仕様(寸法、重量など数字と決定の根拠)
3. 機能定義(基本機能、二次機能)
4. スケッチ図(主要寸法を含む)
5. 詳細設計
  - (材料、寸法、重量、許容応力、断面形状)
  - 詳細設計表、詳細設計計算書、計算過程、計算結果

自由設計では, 表3に示した項目を含む設計書を作成させた。これは, 設計は自らが責任

をもって具体的な寸法などを判断して決め、その結果を記録・保存することの重要性を教えるためである。記述内容を成績評価の対象とすることを学生に説明しその重要性を理解させた。設計書が完成したものから CAD の操作を許可した。

### 3・4・3 課題「カメラ」

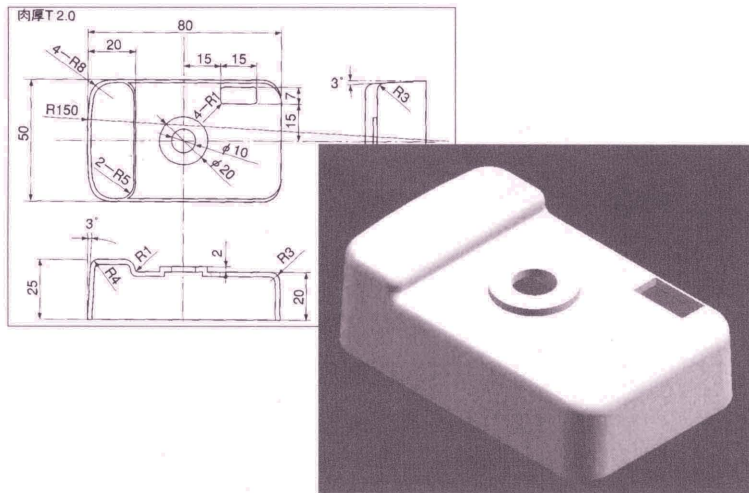


図8. 規定課題「カメラボディ」

図8に示したカメラの筐体（ボディ）のモデリング手法を教えた。ここで、フィーチャーとしては、カット、フィレットが追加教育された。本物に近い3次元モデルが出来る段階に到達したことで、後述する授業に対するアンケート調査結果でもわかるが、学生の授業に対する満足度はかなり向上した。

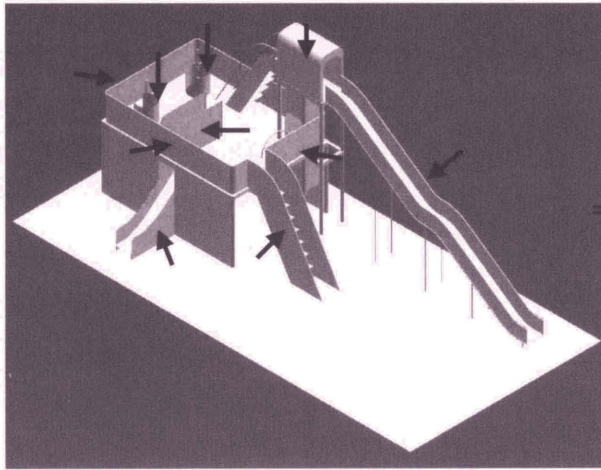
### 3・4・4 課題「自由設計」

## 鍋



図9. 自由設計の作品例（1）

## 校庭に設置する遊具



### ⇒複数の通路を設置

- ①階段(1ヶ所)
- ②はしご(2ヶ所)
- ③登り棒(1ヶ所)
- ④滑り台(2ヶ所)

### ⇒柵・手すりの設置

- ①上下通路周辺
- ②2階の四方
- ③3階の六方

図10. 自由設計の作品例 (2)

3次元CADの機能は表2の(1)～(3)の課題で学習できたと考える。自由設計では、1チーム4名でチームデザインを実施させた。最初に役割分担を明確化させ各人に責任をもたせるようにした。設計結果の評価は、①コンセプトの明確化、②仕様の明確化、③プレゼンテーションで行うことを説明し、学生の自主性、創造性に期待した。プレゼンテーションでは、学生に相互評価させた。各評価項目を3点満点で評価させた。評価の高かった作品を図9、図10に示す。学生の評価と教師側の評価はおおよそ一致している。CADの操作学習時間が限られていたにもかかわらず、かなりのレベルの3次元モデルが作成されている。CAD操作は段階的に教え、先ず形が作れるレベルに達することを先行させると学生の興味が喚起でき、自然にCADの操作スキルは向上する。

### 3・4・5 授業に対するアンケート調査結果

授業に対する学生の評価(顧客満足度)をアンケート調査で実施した。本授業は必修科目であり出席率は100%で、総じて意欲的に受講できたことがわかった。図11に示すように授業に対する評価は普通以上が90%以上になっており、学生の満足度も十分かなえられた評価が得られた。評価は5段階評価である。進む速さ、レベル(Q6, Q7)は普通の評価になっており、特に問題がなかったと考えられる。ノート取りやすさ(Q10)は悪い評価になっていた。これは、完成したマニュアルを配布するのではなく、学生自らにマニュアル作りを課した結果で、教師側の意図とおりの評価である。ノートを取ることが不得手な学生の教育の一環である。



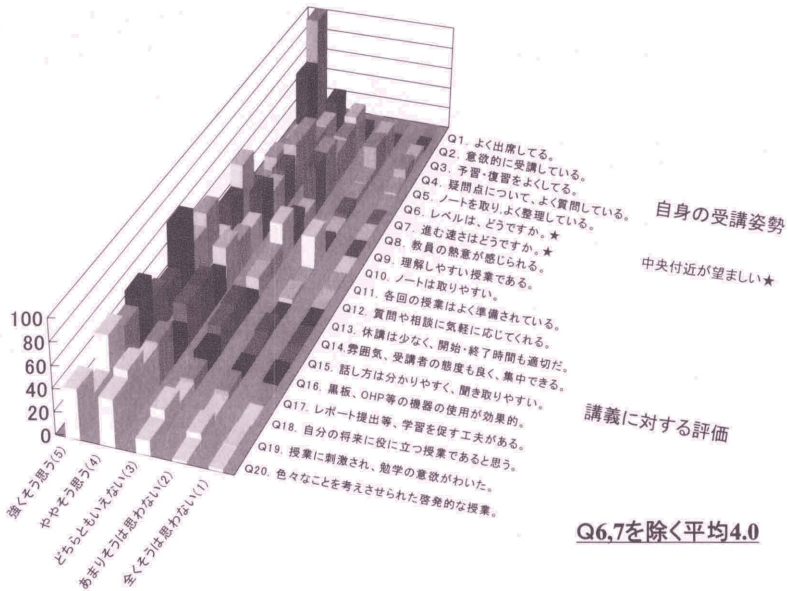


図11. アンケート調査結果

3・4・6 今後の予定

今回（2001年後期）の授業では、学生が入手しやすいミッドレンジCADであるSolid Edge Originを授業に用いた。機能上の制約はある（アセンブリ機能がないなど）ものの、課題を工夫することで3次元設計の基礎教育はある程度行えることがわかった。2002年4月からの授業では、ハイエンドCADであるPro/Engineer（パラメトリックテクノロジー社の製品名）を用い、CADの機能制約を受けない状況で授業内容を刷新した産学連携での3次元設計教育にチャレンジしている。

4月からの開講にあたって、すでにSolid Edge Originで3次元CADの基礎教育を受講した学生も参加して予備的にPro/Engineerのスキル教育（半年で教える授業内容を2日間で実施）を試行した。CADが異なるにもかかわらず、その習熟度がかなり早くなることが確認できた。少しでも早く3次元CADに慣れておけば、社会に出た時点での対応力は相当な程度になることが期待できる。

今後は、CAD/CAE/CAM一貫化授業、産学一体となった3次元設計教育などを試行していく予定である。特に後者の場合、次のような利点がある。

- ① 学校教育と企業内教育を相互理解し、互いの教育内容の充実をはかることにより、産学連携の円滑な教育の流れが実現できる。
- ② モノづくりの現場から遊離せずに、学校内教育の充実がはかれる。
- ③ 学生がインターンシップの一貫として、企業内教育を体験できる。

#### 4. まとめ

限られた経験をもとに、企業における機械系設計の進展と学校における設計教育の内容について検討した。3次元CADをモノづくりにおけるコミュニケーションツールとして用いた知的創造的作業「3次元設計」の本格稼動はこれからである。製造業における3次元CADの本格的な導入は欧米に10年ほど遅れたと考えられるが、すでに欧米に負けない成果が多方面で報告されている。学生を含む若い人材の創造性は与えられたツールに興味を覚えると際限なく発揮される。その芽を摘むことなく魅力ある教育を行い、産学連携が円滑に行えるよう今後とも試行錯誤を続けねばならない。

高価な3次元CADでなくても、課題を工夫することでかなりのレベルまで教育ができる。少しでも早く若い人に3次元設計に慣れ親しむ機会を与えることこそ急務と考える。CADはあくまで道具（ツール）であって、道具はその場にあった教育があってはじめて真価を発揮する。産学共通して言えるのは、「モノづくりの業務に精通した3次元CADの指導者の育成と業務に特化した教育内容の構築」である。学校内教育においても、その学校・学部・学科の特徴、時間・設備の制約、卒業後の活躍分野などを考慮して教育内容を厳選せねばならない。

本論で述べたことが21世紀の「本格的3次元設計」への移行に少しでも貢献でき、我が国の製造業を活性化する一つの突破口になれば幸いである。

#### 参考文献

- (1) 藤井雅雄ほか, 特集「設計業務を革新する設計システム技術」ほか, 三菱電機技報, Vol.73, No.9 (1999), 1-34.
- (2) 工藤勲ほか, 特集「機械系設計業務の革新」ほか, 三菱電機技報, Vol.75, No.2 (2001), 1-37.
- (3) 坂井佐千穂, 学校教育から見直す必要がある, NIKKEI DIGITAL ENGINEERING, No.47 (2001), 88-89.
- (4) 研究開発マネジメント, 全社単位で設計システムを統合した三菱電機の設計システム技術センター (1994), 6-13.
- (5) 田中満・前川宗久・大野文人, 図面情報管理システム, 三菱電機技報, Vol.67, No.12 (1993), 34-37.
- (6) 水田浩・三橋堯, CALSの実践, 共立出版株式会社 (1997).
- (7) 前川宗久, 図面の進化と社内PPDM, CALS Expo INTERNATIONAL 論文集 (1997)

- 
- (8) 藤井雅雄・ほか5名, 冷凍・空調・換気機器の設計支援システム, 三菱電機技報, Vol.67, No.4 (1993), 57-60.
- (9) 例えば, サイバネットシステム(株)「Design Space」など
- (10) 川辺伸・ほか5名, Pedionの筐体実装設計, 三菱電機技報, Vol.72, No.4 (1998), 94-97.
- (11) 羽下誠司・ほか3名, 設計技術者用CAEシステム利用環境, 三菱電機技報, Vol.75, No.2 (2001), 26-29
- (12) 坂井英明・佐藤正雄, 三次元トップダウン設計と人工衛星開発への適用, CALS / EC Japan 論文集 (1998)
- (13) 勝山恒吉・ほか3名, 三次元CADデータ管理システム, 三菱電機技報, Vol.75, No.2 (2001), 30-33.
- (14) 宮崎政行・ほか4名, 携帯電話機機構設計の革新, 三菱電機技報, Vol.75, No.2 (2001), 14-17.
- (15) 長江雅史・ほか4名, 知識ベース応用デザインレビューシステム, 三菱電機技報, Vol.69, No.9 (1995), 51-54.
- (16) 隅田幸子・ほか3名, 人工衛星搭載用電子回路モジュール配置設計システム, 三菱電機技報, Vol.70, No.2 (1996), 28-32.
- (17) 赤木新介・藤田喜久雄, 設計ワークステーションの基礎と応用, コロナ社 (1990).
- (18) 野中郁次郎・竹内弘高, 知識創造企業, 東洋経済新報社 (1996).
- (19) 横山雅哲・竹内和史, テレビの三次元設計システム, 三菱電機技報, Vol.71, No.6 (1997), 56-59.
- (20) 筒井真作, 3次元CAD早期仕上げには, リーダーの育成・設計スキルの向上, 設計プロセスの変革が不可欠, 機械設計, 日刊工業新聞社, 第45巻, 第4号 (2001), 2-15.
- (21) 岡田克巳・ほか2名, 三次元CADの利用普及推進策, 三菱電機技報, Vol.75, No.2 (2001), 34-37.
- (22) 畑村洋太郎, 設計の方法論, 岩波講座・現代工学の基礎, 岩波書店 (2000)
- (23) 西川誠一, ホッチキスを設計してみよう, 機械設計, 日刊工業新聞社, 第45巻, 第4号 (2001), 16-27.

---

Education of Product design at multimedia age  
— Practical use of 3dimensional computer aided design (3DCAD)

Masao Fujii and Nobuhiro Kato

The rapid progress of semiconductor technology has been promoting the digitalization of a product, and also the digitalization of infrastructure of product design by using a computer, a CAD software and so on. This paper describes the progress of mechanical design technology and the importance of the education by using 3dimensional computer aided design (3DCAD) system at multimedia age. In the product design, it is important to promote the creative and intelligent design operation and also to construct the effective educational curriculum by using 3DCAD.