

## 論文 Original Paper

## 3次元CADを用いた実践的技術者の教育手法

大高 敏男\*・朝比奈奎一\*\*

## Concurrent Education using 3D-CAD/CAE in the field of Mechanical Design

Toshio OTAKA\*, Keiichi ASAHINA\*\*

**Abstract:** Department of Production Systems Engineering in Tokyo Metropolitan College of Technology was established as a new department descendent from Department of Mechanical Engineering at 1996. It is the purpose of the department to foster creative and promising production systems engineers. A core of curriculum is 3D-CAD skill in the field of designing and drafting course, because it is an increasing interest in manufacturing systems as concurrent engineering used 3D-CAD in the recent industrial world.

This paper is intended as a proposition of concurrent education which is a new practical education system used 3D-CAD/CAE in the field of a mechanical design.

**Key Words:** 3D-CAD, CAE, Concurrent engineering, Education, Mechanical design

## 1. 緒 論

モノづくり，特に機械を設計して製作するためには時間がかかる。それを製品にするならばなおのこと経済的，物理的な負担が大きくなる。設計者は設計室にいて図面のみ描けば機械ができあがるというものでなく，ある時は手を汚し，体を使い，またある時は作業者や企画者，あるいは電気回路技術者，材料技術者など多くの人の間に入り意見調整して集約してまとめ上げるのである。この醍醐味と達成感を知った設計技術者はさらなるチャレンジに向かっていくはずである。実務として機械設計を行うには，大学や高等専門学校における機械設計教育で習得する知識の他に多くの知識と経験を必要とする。一般に，QCD（Quality, Cost, Delivery）をバランスよく考慮しながら設計を行う必要があり，場合によっては製品の廃却時における材料リサイクルにも配慮する。設計者は，製作工程を考慮し，加工機や材料調達を念頭に製作図面を出図する必要がある。このような実務としての機械設計に関する教育は，これまで企業内におけるOJTや企業内研修により行われることが多かった。しかし，最近では製品のリードタイムの短縮やコスト削減の必要性から企業内での教育が困難な状況にあ

り，高等教育機関に対する実践的な機械設計教育が要求されるようになってきた。大学においても，少子化社会における入試倍率の維持の方策のひとつに実践的教育カリキュラムを学部あるいは学科の特色として取り込む風潮が多い。しかし，大学の教育スタッフは実務経験が乏しいことが多く，また科目間や教員間の連携が取りにくいといった組織上の弊害もあるため，実践的技術者教育を実際に実施するには課題が多い。さらに，近年若者がモノづくりに興味を抱かなくなり，理工学離れが顕著になっているとの指摘がある。我国は，資源が少なくモノづくりを放棄することはできない。したがって，高等教育機関における，学生や企業の新人技術者を対象とした魅力ある実践的技術者教育に対する社会的要求が高まっている。

ところで，海外特にアジア諸国のモノづくり技術は年々進歩しており，これらに対抗していくためにはより効率的で高度なモノづくり手法が不可欠となってきた。効率的なモノづくり手法のひとつとしてコンカレントエンジニアリング（Concurrent Engineering）がある。これは，これまでのモノづくり手法が企画，設計，生産までの各工程での作業をこの流れで順に行うのに対して，各部門でコンピュータを用いて同時に並行して進めていく手法である。具体的には図1に示すように3次元CADで作成されたモデルデータを中心として，企画，設計，試験，製造，解析などの各作業を並列して進めるものである。最近の我国のモノづくりの現場では，コンピュータを用いた情報技術が広く取り入れられ，3

\* 国土館大学理工学部理工学科機械工学系  
Kokushikan University, Mechanical Engineering Course,  
School of Science & Engineering

\*\* 東京都立産業技術高等専門学校  
Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

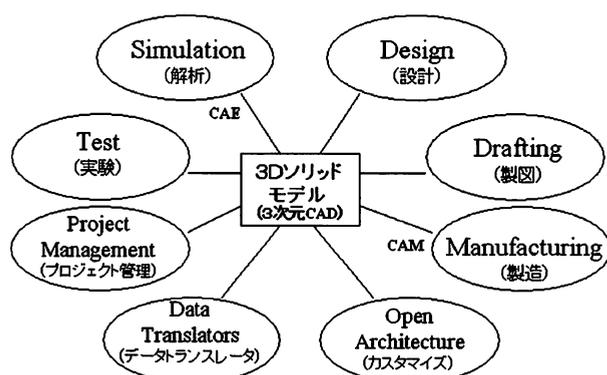


Fig. 1 Concurrent engineering

次元 CAD を中心とするコンカレントエンジニアリングが実践されるようになってきた。したがって、3次元 CAD を使いこなすことは、モノづくりに必要な機械設計、加工技術、材料、解析といった実践的な技術や知識を習得することに繋がるのである。

このような背景から、著者らは効率的で魅力ある実践的機械技術者教育手法の構築を最終目標としてプログラム開発を行ってきた。これまでに、3次元 CAD を中核とした技術者教育プログラムを開発し、東京都立工業高等専門学校生産システム工学科において運用し、その教育効果を確認している<sup>(1)(2)</sup>。これらの成果は、2005年度日本機械学会教育賞受賞に繋がっている。現在では、3次元 CAD を用いた教育を設計のみでなく、加工や意匠デザインの分野にまで拡張して、それらを有機的に結びつけた総合的なモノづくり教育カリキュラムの構築を進めている<sup>(3)</sup>。

本稿では、これまでに行ってきた3次元 CAD を中核とする機械設計教育手法について整理し、学生のアンケート結果を踏まえて考察を行うことにより、3次元 CAD/CAE を用いた機械技術者教育の次ステップへの展開方向を見定めることを試みる。

## 2. 機械設計関連科目の教育カリキュラム概要

### 2.1 コンカレント教育体系

機械設計は総合的な知識と経験が必要であるので、効率的な教育を行うには、材料力学や機械力学といった工学基礎科目、工作機械に関する知識と加工実習、工学実験といった科目において、お互いに関連づけながら同時並行的に学習する学習方法が効果的である。したがって、共通の学習テーマを設定し、それに関係する講義や実験を並列して進めるように教育プログラムを構成するようにした。このように、複数科目を関連づけながら同時並行的に進める教育体系をコンカレント教育と定義する。

図2に機械設計分野におけるコンカレント教育の模式図を示す。機械設計分野におけるコンカレント教育

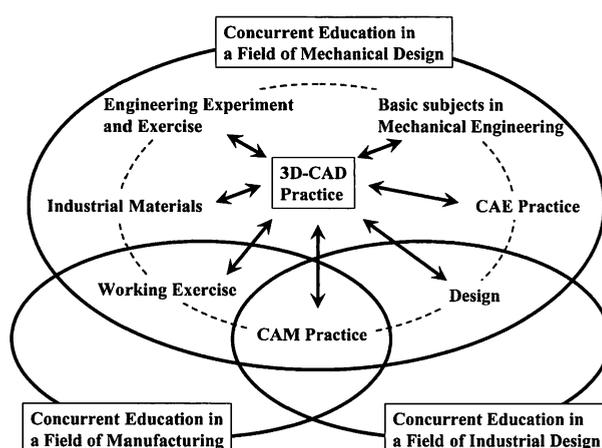


Fig. 2 Concurrent education

は、工業デザイン分野のコンカレント教育と生産分野のコンカレント教育と関連している。このようにコンカレント教育はその教授分野ごとに体系立てることができる。機械設計分野のコンカレント教育の中には、機械工学の基礎科目、CAE実習、CAM実習、工学実験実習、工業材料、設計製図といった科目があり、これらで取り扱う課題は互いに関連した共通課題を取り上げるようにする。例えば、基礎科目の中の振動工学において、固有値に関する講義を進める場合、同じ時期の工学実験実習では固有周波数求める実験を行い、CAE実習では構造解析の固有値に関する課題を取り上げるようにする。これにより、学生は繰り返し同一課題に触れる機会を得るため理解度が向上する。そして、機械設計教育における中核に3次元 CAD を用いた機械設計教育を位置づけている。この教育体系を実施するためには、コンカレントエンジニアリングを意識した強力な3次元 CAD 設備、例えば、①フィーチャーベースのモデリング、②パラメトリックモデリング、③部品とアセンブリの間あるいは2次元図面との双方向関連機能、④多彩なデータ変換ツールを有する設備が必要である。

### 2.2 3次元 CAD を用いた機械設計教育

#### 2.2.1 機械設計入門者向けプログラム

大学1年生や高等専門学校1年生といった高等教育機関の低学年学生、あるいは機械設計をこれから学ぼうとする企業の新人技術者は機械要素に関する基礎知識をほとんど有していないので、3次元 CAD の演習課題の内容には十分な配慮が必要である。例えば、形状が単純なVブロックやスパナなどであっても、鋳造や鍛造で製作されることが多い課題であるので、金型、砂型、抜き勾配といった加工上の知識が必要となり、これらを3次元 CAD モデルに反映させていく必要がある。ところが、そのような知識を修得していなければ、3次元 CAD モデルに織り込むべき自らの設計の意図も理解し得ないのである。結局、学生は教科書に描かれている形

状を模倣するのみとなり、また教員も3次元CADのオペレーション教育のみになってしまいがちで、機械設計技術の教育を行うことができない。この時期に最初に取り組むべき課題は、設計意図を意識できる課題であり、さらにオペレーションを同時に学べる課題でなくてはならない。本プログラムでは、この段階の課題として図3に示すようなスペースシャトルをイメージした飛行機の外観のモデリングを題材として取り上げている。このモデルは、基本となるデータ平面3枚に2次元断面をスケッチして断面形状を押し出すのみで作成可能である。飛行機であるので、左右全く同一形状とする必要があり、片翼、片側エンジンのみをモデリングしたのちに対称の反対側にフィーチャーのミラーコピーを行い、もう片翼とエンジンを同じ形状で作成するという設計意図を実現させるようにする。さらに直感的に空気抵抗を低減するために角部を丸めて流線型とする設計意図を喚起し、全体として空気抵抗が少なくなるような形状として仕上げられる。このような題材は、機械部品や金型モデルとかけ離れており、機械設計と関係ないように思われがちであるが、実際には学生が最終形態を想像しやすい題材であり、モデリングに自らの設計意図を織り込む良好な練習課題である。3次元CAD入門期の学生にはその特長や機能、モデル作成の概念を理解する上で適しており、オペレーティング技術習得の促進にも大きな効果を上げている。また、胴体部のモデリングではカットフィーチャーを用いるが、他の科目である工学実験実習の

加工実習に関連づけしながら進めている。機械要素の基礎知識の習得や機械加工実習が進んでくる2年次には、図4に示すような先に述べたVブロックやスパナ、軸や軸受けなどの機械部品のモデリングを行っている。この時期学生は、機械設計に関する設計意図のある程度織り込めるようになっている。

### 2.2.2 高学年向けプログラム

大学や高等専門学校の高学年の学生や企業の中堅技術者においては、部品単位の基本的なモデリング以外に、図5に示すピストンクランク機構のような、3次元CADのアセンブリ機能を利用して部品ごとに拘束条件をどのように付加してアセンブリすればよいかを理解させる課題も用意している。この課題は、学生各々違った仕様の課題を与えて、ピストン、ピストンピン、コンロッド、軸、バランスを設計したのちに、モデリングを実施させている。また、設計工学の講義科目と関連づけながら機械設計課題を与えて、機械設計技術者として3次元CADを活用できる能力の育成にも努めている。図は機械力学や材料力学といった講義科目と同時期に関連づけながら進めている課題であり、機構部の設計としては理解度が高い。しかし、バランスやクランク軸の形状、設置方法に関しては、製造方法に関連する知識が乏しいために無理のある構造となっている。ただし、この図の例では、組立順序まで配慮された構造となっており、この時期の学生の作品としては良好である。

さらに、創造力豊かな学生の育成を目指して、3次元CADをバーチャルなモックアップ作成ツールとして利用することにより、仮想ロボットのモデル作成課題（創造設計課題）を与えている。この課題において、学生に自由な視点と発想によりロボットをモデリングさせ、その機能や特長について発表会でプレゼンテーションを行うことで、アイデアを分かりやすく説明できる能力育成にも努めている。

図6は、高層ビル窓ふきロボットであり、また図7は自動お料理ロボットである。学生は社会のニーズを考えながらロボットの機能を考え、3次元CADによって

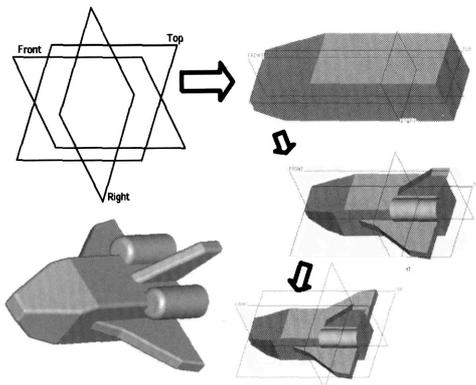


Fig. 3 3D-CAD model (in the 1st grade)

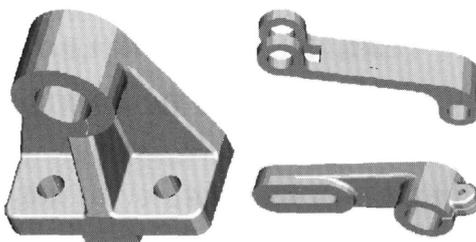


Fig. 4 3D-CAD model (in the lower grades)

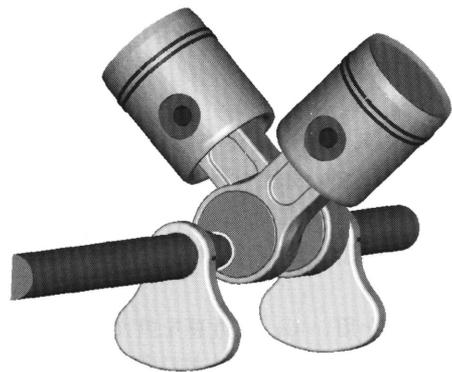


Fig. 5 3D-CAD model (piston-crank model)

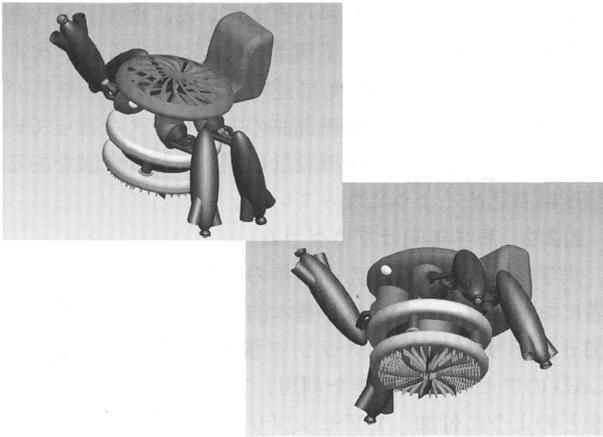


Fig. 6 3D-CAD model 1 (in the creative design exercise)

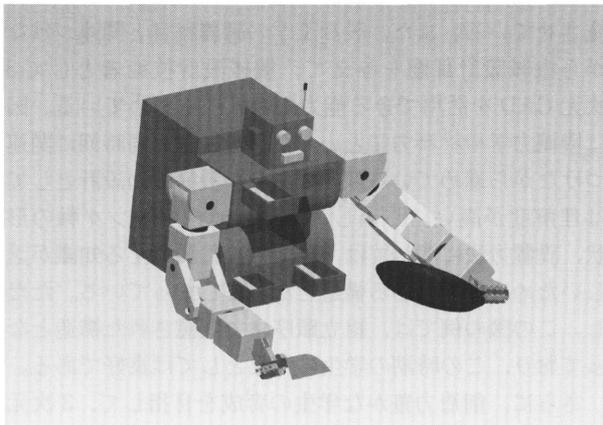


Fig. 7 3D-CAD model 2 (in the creative design exercise)

具体的な形へとモデリングを進めていく。

### 2.3 CAE を用いた機械設計教育

高等教育機関の高学年の学生や企業の機械系技術者は、一通りの構造解析や機構解析を行うための基礎知識を習得している。したがってこの時期にこうした専門科目と関連づけをしながら CAE の実習を行うことは有効である。

本プログラムでは、習熟度別に 5 段階のレベルに分け、初めて解析を行う初心者でも効率よく CAE の概念を習得できるようにしている。各レベルは概ね次のように設定している。

#### (1) 導入編

CAE 実習に入る前に必要である CAE 解析の流れや有限要素法の基本的な知識を習得することを目的とする。CAE 概要を理解することにより、CAE に興味を持たせ、実習に取り組む上での意欲の向上を図る。

#### (2) 入門編

身近な題材を用いて、親近感を持たせながら簡単な CAE 解析の実習を進め、基本的な解析の流れを実際に行うことにより理解を深めることを目的とする。

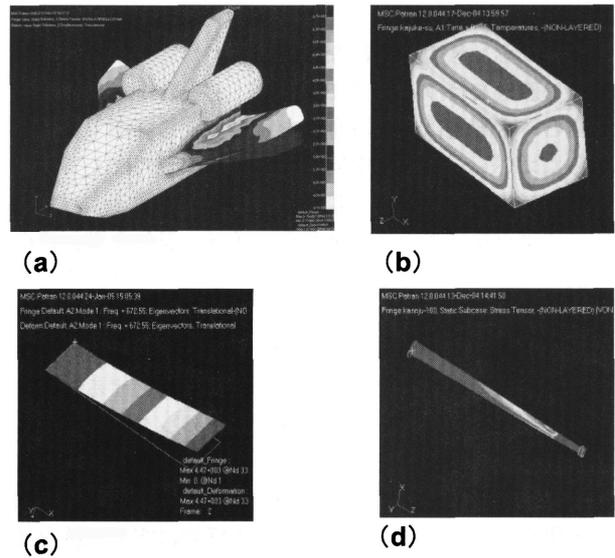


Fig. 8 3D-models as CAE analysis

#### (3) 初級編

構造解析、固有値解析、熱解析、機構解析などの解析を行うことで CAE に慣れると同時に、境界条件や物性値の設定といった、解析実行の上で重要な設定項目について理解することを目的とする。

#### (4) 中級編

FEM におけるメッシュの品質、トレランス、トポロジといった解析実務として注意を払わなければならない項目に関して理解を深めることを目的とする。また、解析結果の整理方法や評価方法についても習得することを目的とする。

#### (5) 上級編

実際に企業などで実施されているような CAE 解析の内容を題材とし、実務に近い解析を行うことで実践的な解析能力を養うことを目的とする。

これら 5 つの段階のなかで、導入編から初級編までは、受講生が何度でも復習することができるように e-learning システムとして構築している<sup>(4)</sup>。

入門編による CAE 解析題材の例を図 8(a)，初級編による例を図 8(b)(c)(d) に示す。入門編題材では、3 次元 CAD の課題で作成した飛行機モデルを用いて、翼にかかる応力に関する構造解析課題、初級編では熱伝導解析としてアイスクリームの溶け方、平板の固有値解析、バットでボールを打ち返すときの一点集中荷重による構造解析といった課題を課して効率的な学習を進めている。

### 3. 3次元 CAD/CAE を用いた教育事例

本教育プログラムは、高等専門学校の学生と企業の初級技術者を対象として実施し展開している。本章では、その教育事例の一部を述べる。

### 3.1 都立高専生産システム工学科の概要とカリキュラム

高等専門学校は実践的技術者を養成することが最大の任務であり、高度経済成長期から多くの技術者を社会に送り出してきた。その中で、東京都立工業高等専門学校（以下、都立高専いう）生産システム工学科は、平成8年に機械工学科から分離発足した学科であり、従来の機械工学科との差別化をはかるためにコンピュータ技術を核としたハード・ソフト両面からのトータルなモノづくり教育を行ってきた。現在は学校名を産業技術高等専門学校と改め、生産システム工学コースとして継続してものづくり教育を行っている。

本学科における、3次元CADを用いた機械設計教育は、モデルデータを用いた加工（CAM）、解析（CAE）へと繋がる重要な技術教育と位置付け、低学年の設計製図の授業から3次元CADに触れる機会を設け、フィーチャーベースによるモデリング手法に慣れるとともに、立体図形認識力の育成にも役立てている。また本学科では、単に3次元CADのオペレーション習得に教育の重点を置くのではなく、機械設計のツールとして学生個々のアイデアを活かしながらモデリングやアセンブリを行えるよう、教育内容を工夫しながら設計製図教育を行っている。さらに、設計製図の教授内容と工学の講義科目の教授内容や実験科目の課題を統一したコンカレント教育を実施し、学生の工学的理解度向上を図っている。

都立高専生産システム工学科における機械設計関連科目の年次進行を図9に示す。1年生の頃より3次元CADの実習を取り入れ、3次元CADを活用して機械設計の習得を進めるようにしている。この学習方法は、従来の機械系の学生が図面の基礎知識を習得し、手描き図面作成実習を経て最後に2次元CADや3次元CADのオペレーション体験を行うといった手順とは異なり、できる限り早い時期に3次元CADの概念を理解させて、

高学年ではこれを使った実際の機械や装置の設計に活用できるように配慮している。単位数は1・2年次が2単位、3・4年次は3単位を課している。低学年ではJISにおける機械製図の基礎事項を中心に授業を進めている。1年の後期から3年前期までに2次元CADを用いた設計実習を行い、機械設計の基礎知識と2次元図面の基本的な知識を習得する。最初は2次元CADの基本操作方法の習得から始まり、ネジなどの機械要素の製図を経て、歯車ポンプや手巻きウィンチの部品図と組立図の製図実習を行っている。

3次元CAD実習は1年次から行っており、各学年に応じて他の科目と関連づけをしながら進めている。部品単位の基本的なモデリング手法は2年次までにはほぼ習得できるようにしている。この時期の学生には、設計意図を図面に織り込むことを考えながら実習できる課題を用意している。これは同時に進めている工学実験実習の科目の工作機械の基本的な加工実習に関連づけている。3年次にはアセンブリ機能を習得する。このときには工学実験実習で加工製作してきた部品を実際に組み立てて評価する。学生は、組み立て工程の実際とコンピュータ上での組み立てを対比させながら実習を進めることになる。4年次には、材料力学や工業材料学などの機械工学の基礎科目の習得が進んでくるので、これらに関連づけてCADデータを活用する実習としてCAEを実習している。また、ピストンクランク機構など実際の機械を設計して3次元CADを用いて製図する。このときには、双方向関連機能を活用して、3次元の部品モデルとアセンブリ、2次元図面を同時に作成することを実習する。さらに、機械設計技術者に必要な創造力の養成を目的として4年次には創造機械設計の課題も取り入れている。3次元CADは直接的に頭の中に浮かんだ立体形状を視認可能なモデルにモデル化することに優れているため、創造力の養成に適している。

ところで、3次元CADのモデル作成方法の概念は2次元CADと全く異なっている。3次元CADは設計者の設計意図（フィーチャー）ごとに立体化していくフィーチャーベースのモデリングを行っているため、例えば、設計変更が生じた際には、各々のフィーチャーの相関関係が保たれたままで自動的に形状修正が可能である。しかし、最終的に見た目の形状が同じでも、もし不用意なモデリングを行っていったら、形状修正の際に意図した形状に仕上がらなくなる。つまりモデリングの際に素材の加工手順や加工法、加工時の段取りを同時に意識していかなければならない。このフィーチャーベースのモデリングは1年次から並行して進めている工学実験実習に役立っている。また、3年次で行っているCAM実習、5年次で行っているX-Yステージの設計・製作を進める上で必要な基本的な考え方が、3次元CAD実習を用いた設計・製図実習により自然に身につけることが可能

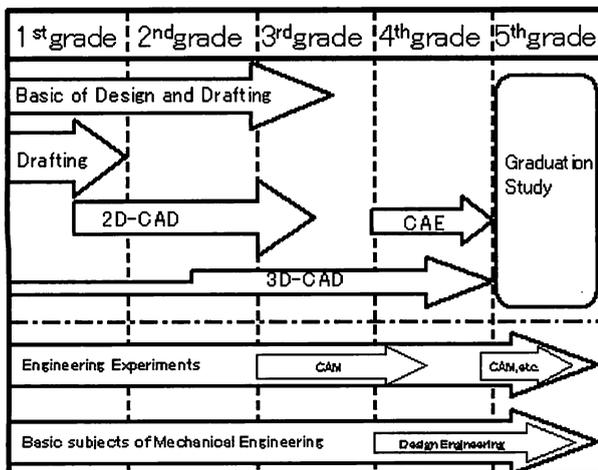


Fig. 9 Education System of Design and Drafting Course



Fig. 10 CAE Room

である。このように都立高専における設計教育は3次元CAD実習を中核として、機械製図の基礎、図学、機械工学の基礎、機械設計などの講義科目や機械加工の実習、CAE/CAM実習などの実験科目と結びつけながら進めている。

設備に関しては、負荷の大きなモデリング実習にも柔軟に対応可能である高機能のワークステーションをCAD実習用に47台、CAE実習用に23台導入しており、学生1人に1台の割合で40人クラスが運営できるようにしている。図10にCAE室の授業風景を示す。なお、付帯ソフトとして2次元CAD、オフィス系ソフト、画像処理ソフトを導入し、2次元CADの実習、3次元CAD/CAEで作成したモデルを利用したプレゼンテーション資料の作成ができる。3次元CADソフトはPro Engineer Wildfire、CAE実習では構造解析ソルバMSC.Nastran、機構解析ソルバMSC.ADAMS、非線形構造解析ソルバMSC.Marc、3D流体解析ソルバSCRYU/Tetraを導入して運用している。

3.2 3次元CAD/CAEを用いた教育のアンケート

都立高専の5年生に対して、3次元CADによる機械設計教育に関するアンケート調査を実施した。その結果、図11に示すように、3次元CAD実習が楽しく学べたと回答する割合が8割以上あり、学生の興味関心が高いことが明らかになった。また、CAEに関しては煩雑なオペレーション操作があるにもかかわらず、受講生の関心が高くなっている。こうした結果はコンカレント教育手法が有効であることを示すものである。一方、図12に示すように3次元CADの活用技術が身に付いているかどうか分からない学生が多く、学生に自信を持たせていくことが必要である。

3.3 企業の初級技術者向け教育のアンケート

企業の初級技術者を対象とした3次元CAD/CAE講習会<sup>5)</sup>は、2001年から2008年までの間に、社団法人精密工学会、社団法人日本設計工学会、東京都若手技術者

Q. それぞれの内容についてどう感じましたか？

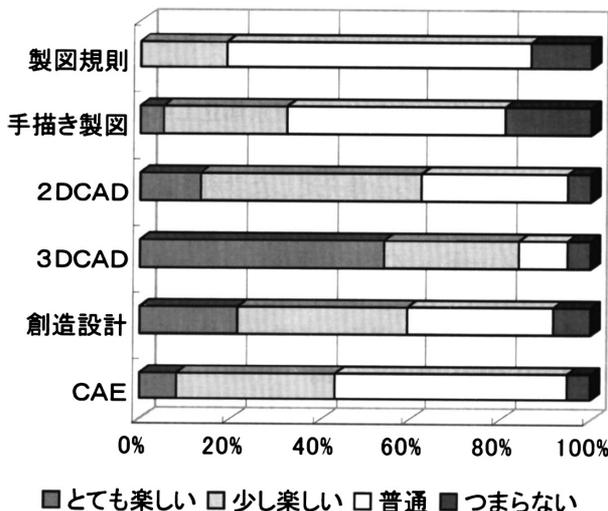
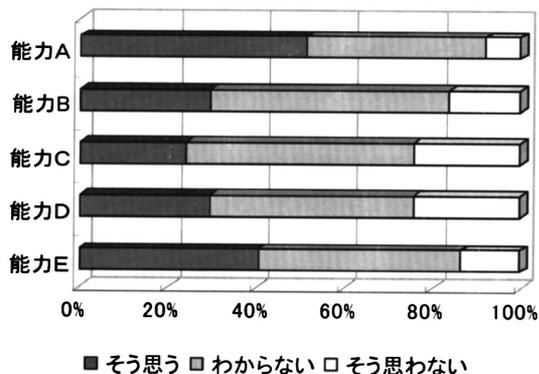


Fig. 11 Answers for Question 1

Q. 3D-CADで以下の能力が身につきましたか？



能力A: 立体図形認識力, 能力B: アイデアを具現化する創造力  
能力C: 構造や機構を設計する力  
能力D: 製品をデザインする力, 能力E: プレゼンテーション力

Fig. 12 Answers for Question 2

支援制度や公開講座制度と共催して9回開催している。延べ参加人数は約300名ほどである。参加した年齢層は20代30代の他に、50代60代も多い。参加目的は、実際の業務への活用とする人が多いが、自己啓発や3次元CAD/CAEの設備導入のための調査のために参加する人も多い。さらに、女性技術者や建築分野の技術者参加も多く、幅広く3次元CAD/CAEが企業における業務に活用されていることを示している。本講習会では、機械設計入門者向けプログラムとCAE初級編を教材として用いているが、テキストの難度は適切であるとの回答が多く、良好な教材であることを確認している。本講習会参加者の満足度は90%を超えており、ほとんどの参加者が有意義な講習会であったと回答している。

#### 4. ま と め

これまでに開発して運用してきた3次元CAD/CAEを用いた技術者教育手法に関して、設計製図教育に対する学生の興味を引き出し、その教育効果が十分高いことが、都立高専生産システム工学科と企業の初級技術者を対象とした教育事例により明らかになった。

また、教育効果の向上のために導入したコンカレント教育手法は機械設計教育に有効な手法である。今後、これまでの3次元CAD教育を中心とした設計製図教育のノウハウを活かし、有効な設計製図教育システムの構築についてさらに検討していきたい。

我国におけるモノづくりの方法は、今後コンピュータを活用した効率的かつ高品質なモノづくり手法にますます傾倒していくことが予想され、3次元CADによる製品形状のデジタルデータ化とその活用技術の重要度が高まっている。これは、3次元CAD/CAEを用いた効率的な技術者教育の必要性がますます重要になることを示しており、このことは企業向け講習会の関心の高さからも示される。今後、大学や高等専門学校のような高等教育機関では、これらの社会的要求に応えうるような、技

術者教育プログラムの提供がますます必要となるであろう。高等教育機関は、CAD/CAEシステムのオペレータではなく、これらを活用することができる技術者を育成することが可能なのである。今後、実践的技術者教育において、CADとCAEのそれぞれが有する長所と短所をより明確に意識し、習熟効率のよい教育カリキュラムへ充実させていく予定である。

#### 参 考 文 献

- (1) 都立高専生産システム工学科における設計教育（3次元ベースのモノづくり教育）、朝比奈奎一、設計工学、35-12, pp. 464-471, (2000)
- (2) 都立高専における3次元CADを利用した設計教育、大高敏男、朝比奈奎一、設計工学、39-5, pp. 17-22, (2004)
- (3) デザインからの一貫デジタルものづくり教育、朝比奈奎一、大高敏男、Design シンポジウム2006講演論文集、pp. 313-316, (2006)
- (4) 3次元CAD/CAEを用いた機械設計技術者のコンカレント教育に関する研究、平船 研、岡田優輝、南海佑太、大高敏男、朝比奈奎一、技術と社会の関連を巡って：過去から未来を訪ねる講演論文集、(2006)
- (5) 例えば、第298回講習会 3次元CADの徹底活用術—3次元CADを中心とする設計の上流から下流まで、(社)精密工学会、2004年3月9日開催