

3次元CADの設計教育からデザイン教育への拡張

Expansion of Education Using 3D-CAD in the Design Program

朝比奈奎一¹⁾, 平野利幸¹⁾, 伊藤聡史¹⁾, 三隅雅彦¹⁾

Keiichi ASAHINA¹⁾, Toshiyuki HIRANO¹⁾, Satoshi ITOH¹⁾, Masahiko MISUMI¹⁾

The most important purpose of engineering is to design; however, one important upstream task is styling design. While sketches, clay models and other analog models are said to be the most common media for styling design, it is becoming more common for manufacturers to use 3-D CAD data at this stage of design for their own products. For this reason, our department has begun to apply 3-D CAD in styling design and is looking into further digitization of the design process. Two prominent aspects of this are surface CAD and reverse engineering.

Digitization of models, in either a 3-D surface model or during reverse engineering, will make the design available to users throughout the engineering process, and will enable users to shorten the time between development and commercialization. In addition, digitization provides more accurate data, enabling manufacturers to eliminate internal errors when it is time to make a model change.

This report details the design curriculum of our department, which takes advantage of up-to-date equipment in the field of mechanical design.

Key Words : 3D-CAD, Design Education, Education of Engineers, RP, Reverse Engineering

1. はじめに

東京都立産業技術高等専門学校 (TMCIT) 生産システム工学コースは機械系の学科であり、将来のモノづくりにおいては3次元CADをベースにしたいわゆる技術情報システムが不可欠となることを予測して、情報のわかる機械エンジニアの育成を目標として教育を行ってきた。この方針に沿って設備を整備し、設計・製図実習では早い時期から3次元CADによる教育を実践した。また、高専という実践技術者を育成するところにおいては、情報が一人歩きしてはならず、これが最終的な生産に有機的にリンクしていることを理解させなければならない。これらに対処するために、本コースでは3次元CADデータから加工に至る加工実習や型利用の成形加工の実習などを実践してきた^{1)~3)}。その意味で、設計から生産におけるエンジニアリングの部分での3次元CADを中核としたデジタル活用教育は完成域に入っていると考える。エンジニアリングの最上流業務は設計であるが、さらに川上の業務にスタイリングデザイン (意匠設計) がある。意匠設計ではまだまだスケッチやクレイモデルなど

のアナログモデルが主流であると言われている。現在3次元CADデータの利用拡張が、自社製品を持つ製造業で進められている。そこで本校でもエンジニアリング教育で使っていた3次元CAD関連技術をデザインに適用することで、デザインまでの教育範囲の拡張ができないかを検討している。具体的にはサーフェスCAD、ラピッドプロトタイピング (RP) やリバースエンジニアリングの活用が考えられる。

3次元サーフェスモデルにしてもリバースエンジニアリングにしても、デザイン工程で創成されたデジタルモデルが、エンジニアリング工程に一貫して活用できることは、開発から製品化までの期間を短縮できるだけでなく、モデル変換の都度内包される誤差を排除できるために、精度のよいデータを確保できるメリットは大きいことになる。

そこで本研究では、今まで試みてきた3次元CAD関連技術をデザインへ活用した事例を報告する。これらの試みを将来的には高専の教育に取り込み、学生にデジタル一貫システムの理解を持たせる実習を実現したいと考えている。

2. 3D-CAD関連技術のデザイン教育への活用方法

1) 東京都立産業技術高等専門学校, ものづくり工学科, 生産システム工学コース

エンジニアリングで利用してきた3次元CAD関連設備で、デザイン工程に活用できると考えられる技術について述べる。

2.1 サーフェスモデルの活用

サーフェスモデルとソリッドモデルのCADは、大きな違いは履歴を持つか否かである。現在、数種類の3次元CADを教育で使っているが、それらはソリッドモデルベースである。ソリッドモデルをサポートするCADは履歴を持つ、パラメトリック・フィーチャベース型システムである。つまり基本形状に穴とかフィレットとかの特徴（フィーチャ）を付加して形状定義を行っていくが、そのときの数字や式（パラメータ）を履歴（履歴）として残す。この履歴を後で編集することで形状を変化させ最適化を行う。機械設計では履歴の中に自動設計などのノウハウを入れ込んだり、部品管理のためにパラメータを利用したりと履歴によってデータ管理をすることは有効であると思われる。

一方デザインにおいてはパラメータ編集でモデリングを行うことは無いし、難しい拘束条件を付けることも必要ないわけで、フィーチャモデリングの中でパラメータに依存しないノン履歴型CADが適していると言える。この仕組みでは形状を変更する際にパラメータと関係なく現状の形状からの変更が可能であるため、変更する手法の選択がフリーである。このために形状を作ることに際しての拘束が少なく、柔軟性に富んでいることになる。鉛筆と紙によってアイデアやコンセプトを、思考過程の中で顕在化していくデザイナーの業務を支援するためには、このCADの特徴は非常に重要である。このところを機械系の学生にも理解してもらうために、サーフェスモデルベースの3次元CADを10台導入した。

2.2 ラピッドプロトタイプング (RP) の活用

機械設計の結果に関しては、これが当初の要求仕様を満たしているかどうかを確認するために評価を行う必要がある。3次元CADで作成されたモデルではディスプレイ上で見た目の視覚的な評価を行うことができる点が優れている。しかし、持った感触、置いたときの安定性などの触覚的、物理的な評価はシミュレーションだけでは不可能である。そこで物理モデル（試作品）を用いた評価が必要となってくる。

物理モデルを作成するためにRPが有効であると考えられる。特に積層造形法が近年脚光を浴びて普及が拡大していることから、本校では初期段階で導入した光造形装置に加えて、粉体固化法である3次元プリンタやFDM（熱溶解積層法）のRP装置を要しているの、これらの特徴を生かした形でデザインの評価等に活用できると考えられる。

2.3 バーチャルモデリングの活用

サーフェスでもソリッドでもないボクセルという考え

方で、バーチャル上でクレイモデルを手作りに近いアナログ感覚で作成できる新しいシステムなどの開発もされており、デザイナー向けのデジタルシステムは多様性を増してきていると言える。本校でも図1に示すFree Formを導入している。



Fig. 1 Operation using “Free Form”

2.4 リバースエンジニアリングの活用

機械設計ではあまりないが、自動車の車体デザインのような意匠設計においては単純な直線や円・球ではない3次元の自由曲面を多く含むデザイン性を重視した製品が多い。デザイナーのデザインイラストを基に、設計者が3次元CAD上にデジタル化を行うのであるが、これらの自由曲線を多く含むモデルを正確に3次元CADで表現することは非常に難しい。

そこで、自由曲面を含むような形状を正確にモデリングするための機能を備えた機能や設備が必要となる。複雑な自由曲線を作成することが可能な先に述べたサーフェスマデラなどのCADソフトを利用して、デザイナー自身がCADソフト上でスタイリング設計を行う方法や、デザイナーがイメージ通りに作成したクレイモデルをもとに設計者が3次元CADを用いてデジタル化を行うという方法を用いている。特に後者の方法は「リバースマニュファクチャリング」や「リバースエンジニアリング」と呼ばれ、近年意匠設計以外の方面でも注目されている。

リバースエンジニアリングの実行には、物理モデルの表面形状を取り込む装置と入力されたデータから3次元モデルを作成するソフトウェア群が必要となる。本校では接触式の3次元デジタルライザの他に非接触型の3次元スキャナやハンディスキャナを導入した。

しかし、上述のいずれの方法をとってもCADソフト上で思い通りの自由曲線・自由曲面を創成することは非常に熟練を必要とする。また、できたとしてもこれがデザイナーの思い描く元のモデルと整合したものなのかどうか、物理モデルを作り検証する必要がある。さらに、始めからCADで作成したデジタルモデルでは、形状がはっきりとわからない部分については試作の物理モデルが必要なことがある。つまり3次元CADモデルから作った物理モデルから形状データを取り込み、再度3次元モデル作成することも行われる。当然修正箇所があれば物

理モデルを直接修正し、それを取り込むことも可能である。これがもうひとつのリバースエンジニアリングの活用方法である。具体的事例に関しては、次節に述べることにする。

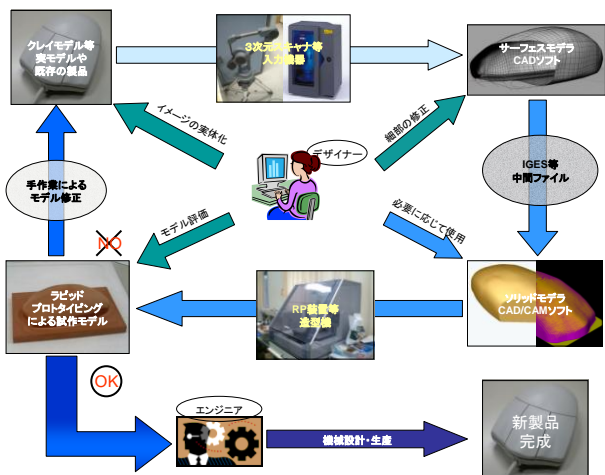


Fig.2 Use of reverse-engineering in design stage

3. デザイン教育の実践

3.1 サーフェスマデリングによるデザイン

現在市場にあるサーフェスマデルとソリッドモデルのCADは、同じような形状生成機能を有している。しかし、実際に学生に使い比べてもらいながら体験してもらった結果、細かいところで機能の差が見られ、スタイリングなどのデザインに関してはサーフェスが優れていることも理解できた。それぞれの特徴を生かしたサーフェスとソリッドを統合させたモデリング実習も考えられる⁴⁾。サーフェスマデルとソリッドモデルの統合化を考えると、まず必要となるのがモデル間のデータ交換である。実習の中では数回のIGES交換行われるが、交換に際してのミスは許されないことも学生自身が理解できることになった。デザイン工程で作成したサーフェスマデルを設計のソリッドモデルに変換するときにモデルデータ変換の確実性が不可欠であることも留意しなければならない。

3.2 ラピッドプロトタイピングによるデザイン評価と量産工程への活用

(1) RPによるデザイン評価

3次元CADでモデリング(デザイン)を行ったモデルから切削RP、光造形RPさらには粉体固化法である3次元プリンタで造形を行う。作成したテープホルダーのアセンブリモデルを図3(a)に、また実際に造形されたものを同図(b)に示す。

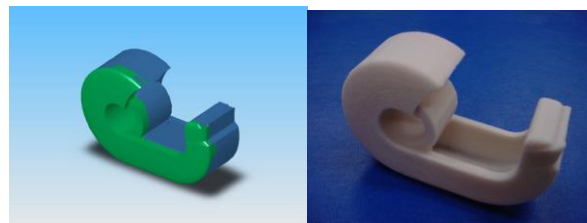
3次元プリンタによる造形は以下の手順で行う。

- ① 3次元CADデータを対応データに変換
- ② 3次元プリンタ用ソフトウェアにてスライスデータに

変換

- ③ 3次元プリンタがスライスデータを読み込み、1層ずつパウダーにバインダーを塗布し、モデルをプリント
- ④ 造形終了後、余計なパウダー除去
- ⑤ 必要に応じ、含浸剤による後処理
- ⑥ 乾燥後、モデル完成

造形自体は40分46秒で終了するが、強度補強のための後処理としてワックス含浸処理を行ったので、全体で1時間半ほどの時間を要する。



(a) 3D-CAD model (b) Physical model

Fig.3 Tape-holder

一連の作業に関して、その評価をまとめると以下のようになる。

①粉体固化法3次元プリンタの一番の長所としては、造形時間の早い点が挙げられる。レイヤーなどの設定で異なるが、光造形RPで同じモデルを造形したところ6~8時間の時間を要した。それに比べると粉末固化法RPは遥かに高速である。

②サポートとなる部分が粉末のため、光硬化樹脂造形に比べ、取り除きが容易である。

③モデルを触ってみると、材料に粉末を使用しているため、ややザラザラとした触感ではあるが、色は鮮やかで見た目は良い。

④後処理のワックス含浸は、処理方法は簡単であるが、それほど高い強度は得られていないように感じた。

粉体固化法3次元プリンタの造形スピードを生かし、製品の形状確認など強度を必要としない場合には、数時間でモデルを造形することができるため、テープホルダー本体の握りやすさなどの人間工学的評価の素早いフィードバックによって意思決定が可能となる。また、塗装が容易であるため、アセンブリモデル検証やデザイン検証などに大いに有効と思われる⁵⁾。

(2) RPの量産工程への活用

RPの活用として型製作への利用を考えてみた。一つは造形モデルをシリコンゴムに転写し硬化させることで、同一形状のキャビティを有する樹脂成型型を作成する。これにウレタン樹脂を流入することで多量の製品を製作することを行う。もう一つは、造形モデルを砂型に転写させることでアルミニウム鋳造型を作成することを行った。さらに造形モデルをバキューム成形用の型に活用した。

これらの体験を通じて学生は単なるデザイン評価だけ

でなく、ラインにおけるモノづくりに RP が利用できることを理解できる⁶⁾。

3.3 バーチャルCADによるモデリング

ボクセルという新しい概念を用いたバーチャル CAD を用いて、歯科医療器具のデジタルモデルをバーチャル上で直接作成することを次に実践してみた。モデリングは、デバイスによってクレイを削り取るような感覚で3次元的にモデリングすることが可能である。スケッチやコンセプトなどを元に、始めからデジタル一貫でモデルを作成したい場合に適しており、実際にクレイモデルなどからCADデータを取り込みリバースエンジニアリングに比べて、いくつもの工程を省略してモデリングを行うことができる。完成したモデルを図4に示す。



Fig. 4 Voxel modeling of dental tool

図6のボクセルモデルをSTLデータに変換した後、3次元プリンタで実モデルを作成した。その結果、ほとんどの作業を形状修正ツールだけで行ったためか、実際にできたデジタルモデルは製作しようとしていた歯科医療器具とは自由曲面の形状がかなり異なってしまった。今回は実際のモデルを参考に作業を行ったが、一から目的のものをバーチャル的に削りだしていくのはかなり困難だということが分かった。このソフトにかなり熟練し、中間データの受け渡しによって他のソフトとの連携を取れるようになってはじめて、実際に扱えるレベルのモデルが製作できるようになるのではないかと思われる。

そこで、Planeというスケッチ平面を作成し、前項で作成したモデルの輪郭線を自由曲線にてなぞり、それを直方体モデルに重ねることで上面、正面、前面で両端の輪郭線を参考にして作業を行うものである。作業途中の様子を図5に示す。作成したボクセルモデルは、そのままSTLデータに変換することができる。そのデータを用いて試作モデルを作成したところ比較的良好な形状が製作できた⁷⁾。

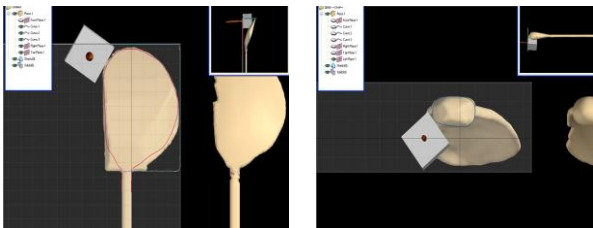


Fig. 5 New operation using cutting model

3.4 3次元CADモデリングとリバースエンジニアリングの併用によるデザインの迅速化

自動車の車体のデザインを対象に、3次元CADとリバースエンジニアリングのコラボレーションによる作業を行ってみた⁸⁾⁹⁾。

CADでの始めのデザインはベースとなる単調な自由曲面の集合だけで迅速にモデリングを行う。図6に示すようにベースモデルはロングノーズの2人乗りクーペで、頭の中で描いたイメージを元に3次元CADの自由曲面を用いたカットフィーチャーでデザインしている。

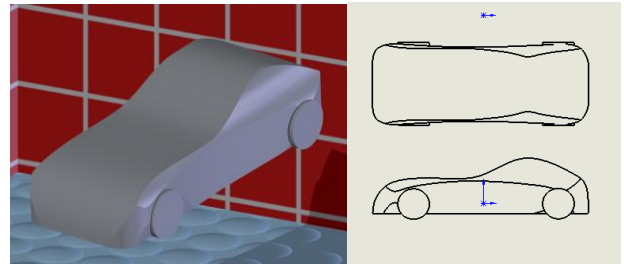


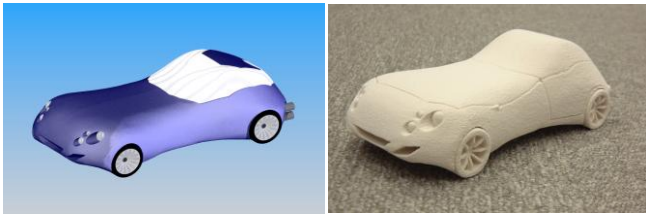
Fig. 6 Base-model generated by 3D-CAD

次に3次元プリンタを用いて物理ベースモデルの造形を行う。デザイナーが自分の感性におもむき、物理モデル(アナログモデル)を彫刻用ナイフを用いて作りこむ。削りすぎた部分への石膏粉の肉盛りそして最後に乾燥させた後にサンドペーパーで仕上げを行う。

作成した物理モデルの形状データの取り込みを3次元スキャナで行う。3次元スキャナでは上下の面にレーザーが届かず、モデルデータに穴が開いてしまうことがあるため平面スキャンを上下、左右の2方向から行うことで点群データを作成する。スキャンした2つのデータをパソコンにインポートしポリゴンメッシュデータとし、手動位置あわせした後に最適化し、ポリゴンメッシュの合成を行うことで穴のないデータを作成する。ノイズ除去、不正ポリゴンの検出および削除、ポリゴン穴埋め、ポリゴン削減、スムージング、ポリゴン分割、再構築を用いデータのサイズを小さくし、より滑らかなモデルを作成する。曲面自動生成を用いサーフェイスデータに変換しIGES形式でエクスポートする。

IGES形式でエクスポートしたデータを3次元CADで開き、物理モデルでは製作が難しい細部形状や3次元スキャナでは読み取れない凹凸部分を修正してボディのベースを作成する。

以上の作業を繰り返すことで理想のデザインを追求する。完成したモデルを図7に示す。また、完成したCADモデルからRPによって作成した物理モデルを同図に示しておく。手作業で修正したモデルと比べると細部の精度に若干誤差が見受けられたが、自由曲面は再現されていた。



(a) Final assembly-model (b) Physical-model

Fig.7 Design and modelling of car-body

今回の実験によってリバースエンジニアリングによる車体デザインは自由曲面を用いたボディを高精度に効率よく作成することができる可能性が十分にあることがわかった。しかし、エッジが立った部分などに関してはCADによるモデリングの方が断然優位性をもっていた。そのため迅速なモデリングを行うためには手作業と3次元CADの優位性を生かしたコラボレーションが不可欠であることがわかった。

本作業はすべて学生に実施してもらったが、一連の業務を通じて機械系の学生においても工作のように興味を持ってデザインにかかわることができたようであった。様々な学生向けデザインコンテストに本手法は利用できるだけでなく、機械系のデジタルモノづくり実習にも取り入れることで学生に魅力を持たせるような授業展開が可能になると期待している。

3.4 デザインコンテストへの挑戦

高専低学年のころから3次元CADを教育の中で普通に取り扱う中で、これらをデザインに活用するために、デザイン研究会を発足させ仲間達とデザイン活動を試行する学生も出てきた。彼はその活動のテーマとして「社会問題解決のためのデザイン」を掲げ、大気汚染、森林伐採、資源枯渇、貧困等の社会的課題に対してデザイン/技術を用いることで解決策を模索し、各種コンテストに挑戦することで成果をあげた^{10) 11)}。その一部を紹介する。

高齢者や要介護者、入院患者など入浴に負担が大きい人々のためにデザインしたのが、図8に示す水を使わずオゾンによってキレイにするシャワー「Air Shower」である。高齢者や病人等、握力の弱い人にも持ちやすいようにグリップは手に沿った形をしており、誰もが気楽に使えるように複雑なインターフェイスを取り除き、スイッチを一つにした。形態としてフックになっているため、浴室ではなく、リビングなどどこでもシャワーを浴びることが可能になる。これも、RP(ラピッドプロトタイピング)を活用して、幾度もプロトタイプを制作し修正を繰り返し、最終的に塗装をして完成させていった。

次が空中を泳ぐ空気清浄機というコンセプトの下デザインした「Swim cleaner」(図9)は産業技術大学院大学が主催するデザインコンテストにおいて最優秀賞を受賞した。クジラをイメージしたバルーンが移動するため効率的に空気を浄化するが、併せて訪れる人にきれいな空気環境を保っているという印象を与えることができ、そ

の施設や企業のイメージアップにも繋がるものである。また、クジラやイルカをモチーフとしデザインしたので、「目で見た人々を楽しませることもできる」というものである。ここにおいても主役のクジラは3次元CADとRPを駆使して検討を行っている。



(a) Final product

(b) Estimated model

Fig.8 Design and modeling of "Air-shower"



(a) Poster



(b) RP-model

Fig.9 Swim-cleaner

4. まとめ

従来、機械系学科で推進してきた3次元CADを活用したエンジニアリング教育を、さらに上流にある意匠設計(スタイリングデザイン)に活用する試みを行ってきた。その結果以下のことが明確となった。

- (1) デザイン教育に関しては、機械設計で使用してきたソリッドモデルに加えて、サーフェス系の3次元CADの活用が有効となる。
- (2) RPはデザインの評価に有効となる。
- (3) アナログ感覚でデジタルモデルを創成できるバーチャルモデリングはデザイナーに有効なツールとなる可能性がある。
- (4) 自由曲面を多く持つ形状デザインに対しては、3次元CADでの直接モデリングには手間がかかるが、リバースエンジニアリングを併用することで能率的にデザインが可能となる。
- (5) 3次元CADで機械設計を学んでいる学生の中にも、デザインに対して興味を持っているものが少なくなく、機会を与えることで成果を出すことができる。

以上の成果を踏まえて、正規の実習等にデザイン領域

を取り組むことで、デザイン・機械設計・製造・検査の一貫デジタル生産の流れを理解できるようになると考えている。

5. 参考文献

- 1) 朝比奈奎一：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), 設計工学, 35, 12(2000), 18
- 2) 大高敏男, 朝比奈奎一：都立高専における3次元CADを利用した設計教育, 設計工学, 39, 5(2004), 17
- 3) 朝比奈奎一, 大高敏男：3次元CADを中核としたモノづくり教育(3次元CADによる加工実習)、平成16年度日本設計工学会春季研究発表講演会講演論文集, 5(2004), 17
- 4) 朝比奈奎一, 大高敏男：3次元CADを中核とした設計教育のデザインステージへの拡張(サーフェスマデルとソリッドモデルの連携)、平成16年度日本設計工学会秋季研究発表講演会講演論文集, 9(2004), 127
- 5) 朝比奈奎一, 大高敏男：3次元CADを中核とした設計教育のデザインステージへの拡張(ラピッドプロトタイプング実習)、平成17年度日本設計工学会秋季研究発表講演会講演論文集, 8(2005), 19
- 6) 朝比奈奎一, 大高敏男：光造形RPのモノづくり実習への応用、平成19年度日本設計工学会秋季研究発表講演会講演論文集, 9(2007), 101
- 7) 朝比奈奎一, 平野利幸, 大高敏男：デザインステージにおける3次元CADの活用(デジタルクリエイティブシステムの利用)、平成21年度日本設計工学会秋季研究発表講演会講演論文集, 10(2009), 125
- 8) 朝比奈奎一, 大高敏男：3次元CADを中核とした設計教育のデザインステージへの拡張(リハブ・センシティブ・エレクトロニクスの活用)、平成19年度日本設計工学会春季研究発表講演会講演論文集, 5(2007), 19
- 9) 朝比奈奎一, 平野利幸, 大高敏男：3次元CADを活用したデザイン教育の試み、平成20年度日本機械学会講演論文集, 9(2008), 37
- 10) 朝比奈奎一, 赤間康弘：機械系学生のデザインコンテストへの挑戦、デザインシンポジウム2008講演論文集, 11(2008), 203
- 11) 朝比奈奎一, 赤間康弘：社会問題解決のためのデザイン、平成21年度日本設計工学会春季研究発表講演会講演論文集, 5(2009), 147