

# 東京都立産技高専におけるインダストリアルデザイン教育

## A study of Industrial Design Education in Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

三隅 雅彦<sup>1)</sup>

Masahiko MISUMI<sup>1)</sup>

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では、平成10年よりCAD/CAMシステムやラピッドプロトタイプング、リバーエンジニアリング等の機器を導入し、3D-CADデータを中心としたものづくり教育を行っている。また平成22年には、インダストリアルデザインをカリキュラムに加えることで、ものづくりの上流である「デザイン」から下流の「設計」、「生産管理」までのプロセスを学習する環境が整い、各開発部門での考え方や進め方、さらにデザインとデジタル技術に関する教育を行っている。本稿では、インダストリアルデザインと工学の協働の理解を目的とした教育内容を概説する。

keywords: インダストリアルデザイン, 工学, デザイン教育, 協働, 3D-CAD

### 1. はじめに

我々の生活は多くの工業製品に囲まれ、これらの製品開発にはほとんどの場合インダストリアルデザイナーが関わっている。また製品は、人間の機能拡張ための道具として生活を豊かにしていることから、インダストリアルデザイン（以下ID）には、新しい価値の創造や身の周りの様々な問題を改善できる機能（可能性）があると考えられる。例えば表面処理のデザインでは、C(color),M(material),F(finish)という専門分野がある。色は視覚から感性に訴えかけ、素材と仕上げは触覚や聴覚からモノに個性を与える機能がある。最近の自動車の室内音は、音響メーカーと共同開発される例もあり、これまでの静粛性の追求から聴覚を刺激する新しい感性の開発が行われている。

1950年代、日本のものづくりにIDが導入され、意匠デザインが付加価値を生むことで、生活者（消費者）の心を掴みヒット製品になった例は多くある。また、1957年にはGマーク商品選定制度が制定され、IDが生活者の身近なものになっている。しかし、カッコいい形でも高価格であったり、多機能でも使い辛い製品は販売数を伸ばすことはできないため、インダストリアルデザインと工学の専門家の協働によるものづくりが不可欠である。

一方、教育機関の取り組みとしては、工学がもつべき力とは、化学・機械・情報・建築等のそれぞれの専門知識とともに、技術開発に向かって新しいことを考えていく力、複雑な様相をもつ課題を理論的に捉える分析・記述する力、グループの中でコミュニケーションし相互の理解を形成す

る力など、実にさまざまな力がある。さらに、人や環境に対するものづくりやデザインは、それを実現する優れた能力とともに高い倫理観も必要とされる<sup>[1]</sup>、として専門領域の総合力が重要だとしている。また、2013年4月に開始された京都大学の「デザイン学大学院連携プログラム」では、異なる分野の専門家と協働して、社会のシステムやアーキテクチャをデザインできる人材の育成を目標としている<sup>[2]</sup>。など、新しい教育プログラムの取り組みが始まっている。海外では、フィンランド工科大学、ヘルシンキ経済大学、ヘルシンキ芸術デザイン大学が合併してアールト大学が設立された。またアメリカのオーリン工科大学の授業では、必要とされる三つの要素を、「技術」、人や社会を深く理解してニーズを知るために「芸術・人文社会科学」、そして解決策を社会で実現するために必要な「ビジネスや起業家精神」<sup>[3]</sup>としている。

### 2. 授業概要

本コースでは、「デザインのわかる機械技術者教育」を教育目標の一つとして掲げ、平成22年度より、第5学年の選択科目「生産システム工学II（インダストリアルデザイン）」を実施している。また、平成27年度からは、4年生5年生の必修科目「インダストリアルデザインI（半期1単位）」「インダストリアルデザインII（通年2単位）」として授業を行っている。IDを学ぶ事で、インダストリアルデザイナーの造形（意匠）に対する意味やこだわりばかりでなく、優れたデザインが誕生する背景にある要素の理解、さらには、今後さらに複雑多様化する社会に

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

対応するための「ID +工学」の、ハイブリッドな技術者の育成を目的としている。

デザイン関連の授業は、大きく2つに分かれる。1つ目は、デザイン系や美術系大学で実施されている「デザイナー教育」である。特徴としては、低学年のデザイン基礎教育でのデッサンや平面構成、様々な材料を使った作品制作などがある。これらの教育手法は、1919年ドイツで開校されたバウハウスでの教育内容を受けたものであるが、高学年の課題に対応するためには重要なカリキュラムである。また、デッサンやスケッチから習得する空間認識力は、立体のデザイナーを目指す者にとって素早く形を捉える能力として必須となる。

一方、本コースでの授業は、デザイナー育成を目的とはしていないため、「デザイン教育」を実施している。4年生と5年生の授業を連続したものとし、4年生では、他の工学系の科目との関連が深い項目を対象としている。5年生では、デザイン全般の情報を網羅しながら、IDと工学の協働によるものづくりを意識した内容としている。また、可能な限り現物を提示し、ヒット作と言われる製品が一部のデザイナーのみの意見で生まれるのではなく、その背景に新技術や流行、地域性などの要素が関連していることの重要性を伝えている。

4年生の授業内容を以下に示す。

- ①デザインと工学の協働
- ②デザインとアートの違い
- ③生活とデザイン
- ④加工と成形技術
- ⑤ユニバーサルデザイン

5年生の授業内容を以下に示す。

- ①製品（商品）の開発プロセス
- ②CGの歴史と有効性
- ③ブランドマネジメント
- ④安全とデザイン
- ⑤産業革命
- ⑥アーツアンドクラフツ運動
- ⑦ドイツ工作連盟とバウハウス
- ⑧アメリカのデザイン
- ⑨インターナショナルスタイル

### 3. 授業アンケート調査

平成30年度の授業の初回に、授業に対するイメージや重要度の意識調査のために、4年生と5年生に同じアンケート

表1 アンケートの設問内容

Q1	インダストリアルデザインに興味はありますか
Q2	工学系の学生がインダストリアルデザインを学ぶ必要があると思いますか
Q3	インダストリアルデザインとはどんなことだと認識していますか
Q4	授業ではどんなことを勉強したいですか

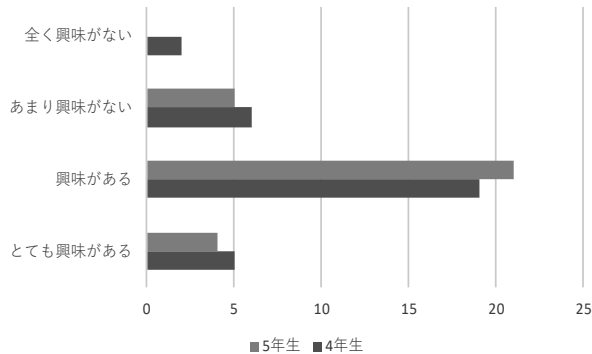


図1 Q1 アンケート結果

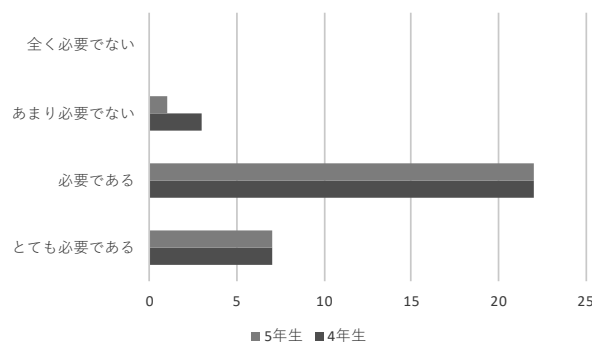


図2 Q2 アンケート結果

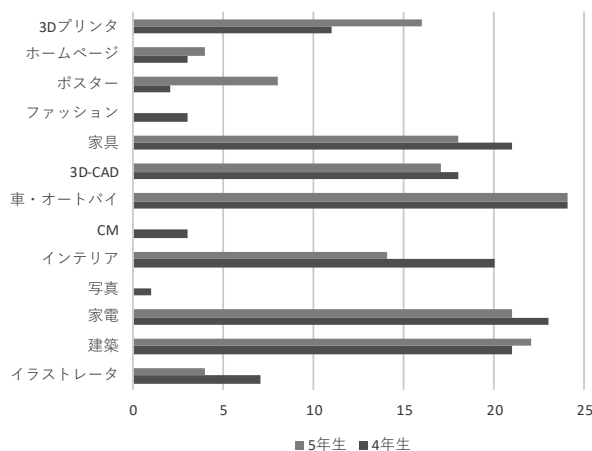


図3 Q3 アンケート結果

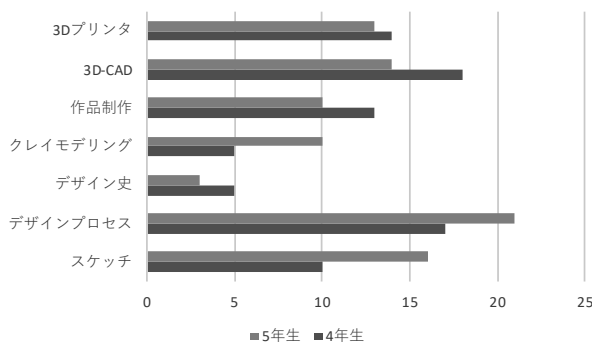


図4 Q4 アンケート結果

トを実施した。対象は、4年生 32名、5年生 33名である。選択式と記述式の計 8 問の中から、選択式アンケートの設問内容を表 1 に、アンケート結果を図 1 から図 4 に示す。

アンケート結果の Q1 と Q2 からは、80% 程度の学生が授業を肯定的に捉えていると考えられる。しかし、20% 強の学生が興味がなく必要性を感じていない。ID と工学の協働の重要性からスタートしたカリキュラムであるため、この部分の解消が授業を進める上でのテーマである。

Q3 は、ID に対するイメージ調査で複数回答が可であるが、ポスターやイラストレータなどの 2 次元の分野を回答している学生が多い。また、50% 強が 3D-CAD や 3D プリンタと答えていることから、製品開発プロセスと ID、さらにデジタル機器との関係を具体的に指導する必要性が感じられる。

Q4 は、学びたい内容の調査である。結果からは、Q3 同様に 3D-CAD や 3D プリンタと多くの学生が回答している。また、作品制作を 10 名前後が希望していることがわかった。デザイン系や美術系大学の進め方とは違った方法で、新しい授業方法を考えるきっかけとなる結果であるが、デザインの基礎教育を受けていない学生に対して、課題設定から制作のための環境、評価基準など、実際に進めるとなると検討項目は多い。

#### 4. デザインのデジタル化

実務のスクーターの開発では、以下のプロセスを経てデザインが決定されていた。

- ①縮尺スケッチ
- ②現尺レンダリング
- ③現尺クレイモデリング
- ④クレイモデリングの 3 次元測定
- ⑤測定データをベースに手描き曲面線図製作  
(手描き曲面線図を使って木型製作)
- ⑥手描き曲面線図のデジタイザ入力による 3D-CAD データ化
- ⑦ CAD オペレータによる入力データの 3D-CAD 処理

①から③と⑤をデザイナーが担当していた。3D-CAD が進歩したとしても、進め方は大きく変わっていないと考えられる。理由としては、広い 3 次曲面で構成された形状を 3D-CAD で作成するのは非常に難しいため、クレイモデリングが必須だからである。また、手の感覚で作られた形状と 3D-CAD で作られた立体には明らかな違いがあり、デザイナーが強くこだわる部分でもある。

しかし、最終データは CAD であり、面の情報はディスプレイ上の断面線や寸法数値で確認することになる。そのためデザイナーは、CAD オペレータに的確な指示を出すために、製造方法に準じたデータ作成の理解が必要となる。一方 CAD オペレータは、クレイモデリングの豊かで心地よい柔らかい面の再現には、滑らかな曲線だけではなく、処理方法やデザイナーの思いを理解しなければならない。

#### 5. R 処理と形態の個性

3D-CAD では、フィレットやラウンドなどの機能を使って、立体の角部分を丸く処理(以下 R)をする。稜線部に一定や変化する R、さらに交差する面と面にかけるものがあり、単純な R 処理であれば操作は簡単で、結果を確認しながら設定変更が可能である。

しかし販売されている多くの製品には、「形の動き」を意識した処理が施されている。図 5 に、処理の一例である「静と動」を示す。(a)では、3本の稜線の全てに同じ寸法の R がかかっている。この処理の結果、立体は上下前後左右に動きだそうとはしない「静」のデザインである。(b)では、長方形の稜線に違う寸法の R がかかっている。この立体が左手前に移動すると仮定した場合、空気の流れは、左右の側面に流れることがイメージできる。同様に(c)では、空気は立体の上部に流れ自動車のデザインなどがこの処理と同じである。また(d)には、面と面が交差する角度が違う場合、同じ寸法の R でも違った表情になる例を示す。自動車やスクーターなどでは、大きな面の交差角は変化することが多く、R の設定の難易度が上がる。指示としては、面と面から構成される稜線(キャラクターライン)に対して一定の R を指示したり、各断面ごとの R 尻と呼ばれる R と断面が交差する点をあらかじめ指定し、R を徐々に変化させる例などがある。さらに、R 処理は凹部にも必要であり、凸部とのバランスが重要となる。

このように、R 処理は形態に個性や表情を持たせることが可能であるが、スキルの習得には実物を見たり触ることで、視覚的效果や触覚としての柔らかさを実際に知る体験が重要となる。例としては、3D-CAD と 3D プリンタの連携でも可能であるが、クレイモデリングに専用のフィルムを貼り、曲面に映り込むハイライトラインを確認することも効果的である。一方で、R 処理による形状表現は、感性で評価されることも多く、的確な処理を指示したり結果を共有するための手法も必要と考えられる。

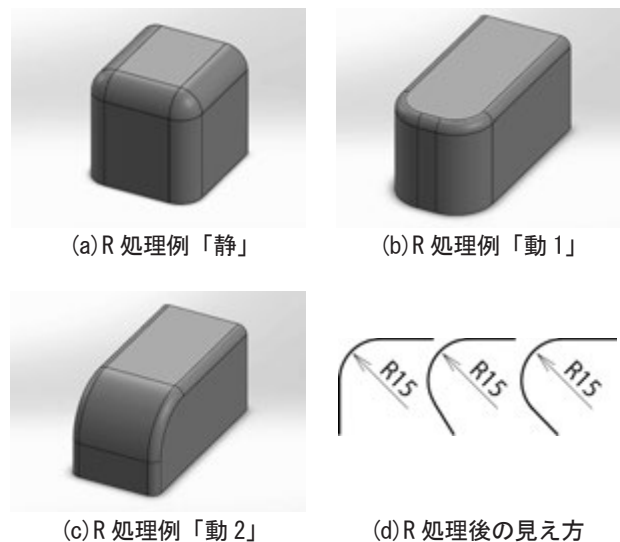


図 5 R 処理による形態変化

## 6. 3D-CAD データと錯視

スクーターのデザインでは、2次元によるスケッチ表現の段階から、立体の断面（線）を意識して描いている。またクレイモデリングでは、R処理を行わず角を残した状態で3次元測定を行うため、断面の構成による面表現のイメージが重要となる。しかし、3D-CADでは、前述のR処理による個性の表現だけでなく、錯視が発生することがある。図6に断面線による形状表現の例を示す。(a)は、直交する線に単純Rを指示したものであるが、直線部とRが交差する箇所は、凹んで見える錯視が発生する。(b)は、単純Rではなくスプラインカーブで指示したものである。(a)より断面線とのつながりは滑らかになるが、厳密にはRそのものが指定した寸法とは違ってしまふ。(c)は、錯視を回避するために手描き図面で寸法指示をしたものである。しかしこの指示でも、デジタルデータで確認すれば、RとRの交差する部分は滑らかでない。このような図面指示で滑らかに連続する曲線（曲面）の造形が可能であったのは、図面から全体の形をイメージし、さらにデザイナーの思いをくみ取り形状に反映できる木型職人の高い技術であったからである。

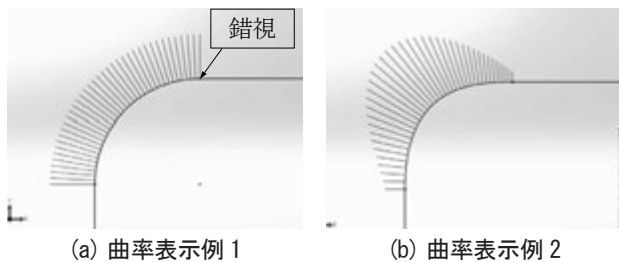


図6 断面線による形状表現

## 7. クレイモデリングと曲面線図

クレイとは、ワックス成分と粉体成分から作られた粘土を加温で柔らかくし、冷えて硬くなった状態でスクレーパーを用いて造形するものである。特徴は、繰り返しの作業でも廃棄するクレイが少なく、造形能力の育成には効果的な材料である。造形後は、専用のフィルムや塗装により、実物に近いプロトタイプを製作することが可能である。自

動車のデザインでは、縮尺のモデルを経て最終的には現尺のクレイモデルを製作し形状確認を行う。以前のヨーロッパでは、クレイではなく石膏（プラスター）を使ったモデリングが行われ、削るのみで盛ることができないという特徴から、モデラーの技術力が意匠に大きく影響したとも言われる。

クレイモデルの3次元データを2次元の3面図に置き換えるのは、曲面線図である。曲面で構成された立体形状をX,Y,Z (L,H,W とする場合もある)の断面線によって表わし、複数の断面線から曲面をイメージする技術が必要となる。曲面線図の作業では、立体物を50mmや100mmピッチでカットし、X,Y,Z全ての断面線が意図する曲線になるように調整を行う。図7に、自動車の曲面線図を示す。さらに前述のように、立体造形の習得にはクレイモデリングが有効であるが、図面化の作業では空間認識能力が必要となる。特に断面線の修正では、主となる1断面に変更を加えることで他の2断面線も変化するため、形状の修正作業による全体の形状変化を事前にイメージできることによ

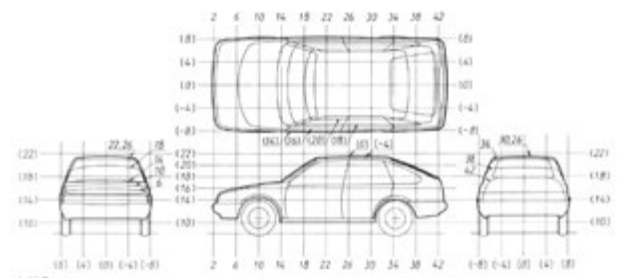


図7 自動車の曲面線図<sup>[4]</sup>

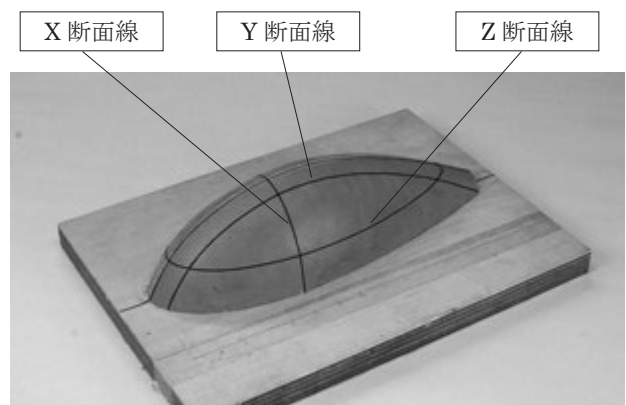


図8 クレイモデルに断面線を追加



図9 断面形状確認のためのイメージモデル

て、修正の作業量に違いが出る。図8にクレイモデルに断面線を追加したものを示す。数ミリの形状変更では、クレイモデリングによる確認が必要となるが、最終的にはデジタルデータに変換するため、CADオペレータへの指示でも空間認識能力が重要となる。

曲面図面による断面線の表示は、X,Y,Zの断面であるが、人間が形状を認識する際は、曲面の放線上の断面から情報を得ている場合もあるのではないかと考えている。図9に断面形状確認のためのイメージモデルを示す。(a)は通常のX断面であるが、複数のX断面から得られる断面線を面直方向から見ると、概ね同じ傾向の曲線となる。(b)は、人間が形状を確認すると想定している断面の切り方である。(b)から得られる複数の断面線には、曲線の傾向は見られない。しかし、現行の3D-CADでは、(b)の断面線を同一画面上に表す機能はなく、それぞれの断面を重ね合わせて確認する方法しかない状況である。さらに、射出成形による製作を前提とした場合、金型の抜き方向の断面形状と(b)による断面形状の両方の確認は、コストアップにつながる作業となる。

## 8. デザインと Additive Manufacturing

デザイン系教育機関での作品制作課題では、アイデアスケッチの展開→絞り込み→展開→絞り込みを繰り返し、立体の制作に入る。この進め方のメリットは、スケッチのスキルがあることで、イメージしたものを素早く表現できることである。一方、本コースの学生は、スケッチは描けないが3D-CADを使ったモデリングのスキルは高いレベルにあるため、複数案を作成しAdditive Manufacturing(以下AM)で出力し選択する手順で進めている。このように、3D-CADとAMによる創造活動の展開は、デザインした物の可視化やワーキングプロトタイプが短時間で可能になることである。図10に学生のモデリング図を、図11に出力した作品例を示す。

またゼミナールでは、デザインとCAE解析をコラボレーションした作品制作を行っている。図12に作品の使用状況を示す。天板を支える脚のデザイン条件は、意外性があり上下左右アシンメトリ、デジタルツールが得意とするパターン等は極力避ける。さらに、約200Nの荷重に対して荷重方向に1mm以下の変位(縮み)とし、3D-CADとCAE解析の連携を行わせている。図13に解析結果を示す。この制作作業の前には、材料力学で行った手計算の例題をCAE解析で行うことで妥当性を確認させている。また、3Dプリンタで使用する材料(ABS樹脂)の機械特性を曲げ試験や引張試験等で求め、解析精度を上げている。これらの学習から、予想とは違う部分に応力が集中したり、細い柱状の構造体でも変位が少ないなど、新しい形状の発見や材料力学の理解の深化に繋がっている。

AMは、切削加工では不可能な形状の製作を可能とするが、材料や積層方法、特にサポート部の新しい造形

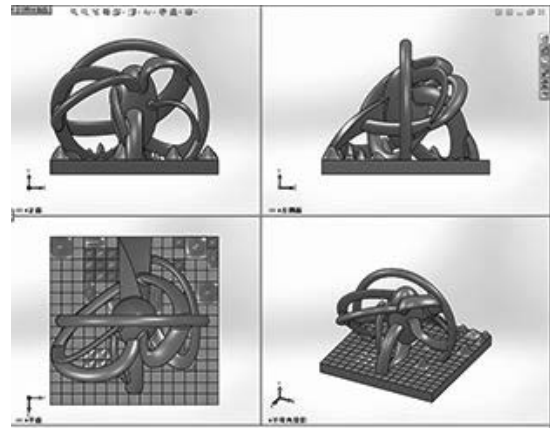


図10 モデリング図

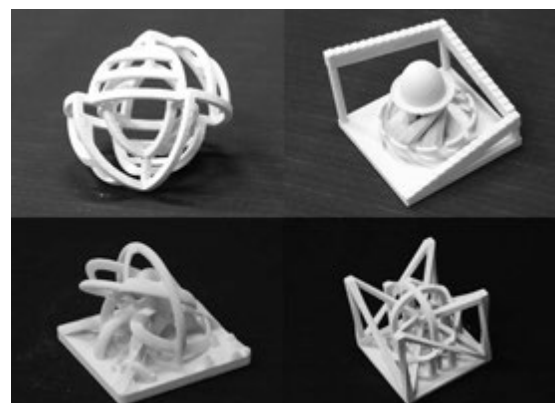


図11 出力した作品例

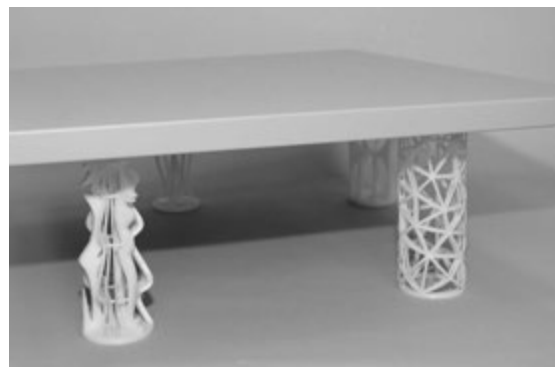


図12 使用状況

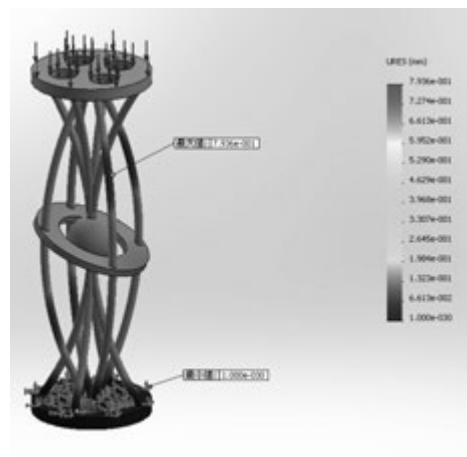


図13 解析結果

方法が機器メーカーによって開発中である。高精度で再現性の高い出力を条件とした場合、機械特性の検証や、AM特徴である付加価値を生かした製品開発、試作分野の研究・開拓が必要である。

## 9. Additive Manufacturing の有効性と課題

図 14 は、企業との共同研究でデザインした医療用ギグリソーである。約 4 ヶ月の開発期間では、3D プリンタで 3 個のワーキングプロトタイプを製作し、医療現場（手術室）での検証結果をフィードバックしながら進めた。製品化を前提とした開発であったため、精度と強度、操作性をデザインに織り込んだ試作品を早い段階から製作したことが、開発期間の短縮にもつながったと考える。また、完成度の高さから、医療用器具の国際展示会への出品や、実際に使用している映像による情報発信でも有効性が確認できた。製品の樹脂にはポリプロピレンを予定していたのに対し、試作品では ABS を使用したが、基本機能の検証は問題なく行うことができた。

5 年生の実験実習では、製品形状の確認や 3D プリンタによる出力データ作成のためのモデリングを通して、デジタルデータの特徴を学ぶ。2次元や3次元のデザインのデジタル化が進むなかで、ディスプレイに表示された画像はあくまでもバーチャルであって、サイズ感やバランスは、出力された最終形状を確認するまでは判断することができない。しかし、マテリアルの管理や出力設定は機器によって違うため、これらの理解だけでも難易度は高く経験値に頼ることも少なくない。また、マテリアルの種類が少ないため、材質感から得られる情報や印象は限られたものになってしまう。ID の特徴である視覚に触覚を加えた情報を得るには、特に表面の造形精度も重要となる。



図 14 医療用ギグリソーのモデリング図

## 10. おわりに

平成 22 年より開始した授業の中で、学生の反応が良い内容は、3D-CAD と AM の組み合わせによる作品制作である。特にディスプレイで見ているサイズ感と実物のサイ

ズのギャップは大きいらしく、出力された作品を見て、「こんな感じになるのか」と驚きの感想を述べる学生も少なくない。このような場面で 1 万円札の厚みを質問した場合、最も多い回答は 1mm であり次に多いのは 0.01mm であるなど、実寸感覚の劣化を強く感じる。身近にあるシャープペンシルの芯の太さを例に挙げると、アナログ感覚での長さの比較ができる場合もあるが、総じて反応は芳しくない。また、空間認識力が不足していることを実感する者もあり、向上が難しいとされるこのスキルの習得が課題の一つとして確認できた。このような実寸感覚や空間認識力の強化のための対策としては、エンジンなどの分解組み立て実習による実物の確認と記録のためのスケッチ（ポンチ絵）が効果的ではないかと考えている。また、設計と加工を連携させることも対策の一つと考えられる。中学校の技術家庭で、図面を描き木材を切るなどの体験が少なくなっている現状において、工具の使い方も含めて経験しておくべき項目は多いと考えられる。

座学では、インダストリアルデザインと工学の協働の理解を目的に授業を進めているが、現物にこだわり可能な限り実物を提示してきた。さらに、レジメや教科書に掲載されていない情報に触れさせるために、図書や映像等の紹介することで画一的な情報の提供にならないようにしているが、アンケート結果に現れているほど教科書としての重要度や興味の対象にはなっていないように感じられる。

かつて建築家ルイス・サリヴァンは、「形態は機能に従う (Form Follows Function)」という言葉で形状と機能の関係を表現した。しかし、技術や素材が進化し操作方法が変化した現代では、必ずしもこの関係が成り立つとは限らず、ブラックボックス化された製品の細部への関心が減少することは、時代の流れとも言える。使用者のニーズが高度化・複雑化する中でものづくり教育が、インダストリアルデザインと工学の協働による技術系ジェネラリストの育成であるとすれば、製品開発のための「形態と機能」や「外部と内部」の理解はこれまで以上に重要となり、教育内容の対応も必要となる。

## 参考文献

- [1] 仙谷正和 他：『工学力のデザイン』 pp.44-45, 2007, 丸善
- [2] 石田亨 他：京都大学デザインスクールテキストシリーズ 1 『デザイン学概論』 p.246, 2016, 共立出版
- [3] 辻篤子：「社会をデザインする工学」、『朝日新聞』 2012 年 12 月 21 日付朝刊, 13(35)
- [4] 堤浪夫：『美術系 図学・製図』 p.12, 1994, 鳳山社