

「機械設計製図およびDTPD D」の現状分析と課題の検討

内 野 泰 伸^{*1}・神 野 誠^{*2}・山 口 恭 平^{*3}

The Analysis of Current State and Consideration of Educational Issues for “Machine Design Drafting and Digital Technical Product Documentation D”

Yasunobu Uchino^{*1}, Makoto Jinno^{*2} and Kyohei Yamaguchi^{*3}

Abstract: 2D drafting has been the primary technical document in mechanical design for the past few decades. Over the years, several companies have introduced 3D-CAD and started to utilize 3D models. Therefore, 3D annotated models (3DA model) and Digital Technical Product Documentation (DTPD) have recently broad attention due to the standardization of 3D drafting. However, In Japan, the situation persists where 2D drawings and 3D models, which have been in use for a while, coexist in the process from design to manufacturing. The Department of Mechanical Engineering, School of Science and Technology Kokushikan University offers drafting education that is compatible with DTPD, aiming to train engineers who can comprehend and use the fundamentals of creating 3D product information addition models and Digital Technical Product Documentation in mechanical design education. In this paper, we analyze the current state of ‘Machine Design Drafting and Digital Technical Product Documentation’ at our university, consider the use of 3D-CAD in mechanical design education, and discuss future issues in mechanical design education.

Key words: Mechanical design Education, 3D-CAD, DTPD, 3D Annotated Model

1. 緒 言

機械設計における技術文書の主役は、長い間3次元の物体を正投影によって平面上に表した2D図面であった。2000年代に入り3D-CADが台頭してくると多くの企業が3D-CADを導入し、3Dモデルを活用するようになってきた。しかし、我が国においては設計から製造にいたる過程において以前から主流であった2D図面と3次元のデータを有する3Dモデルが共存するような状況が続いている。これは3D図面に関する明確な規定が十分でなかったことが要因であると考えられる。

一方、ASME (The American Society of Mechanical Engineers) は3Dモデルにアノテーション (寸法・公差・表面性状・幾何公差等) を加えた3DAモデル (3D Annotated Model) の規格となる「ASME Y14.41」を2003年に発行するなど規格化にいち早く取り組んでいる。これを受け我が国でも3D図面の標準化活動を始め、

その活動成果としての3D図面ガイドラインの発行と改訂を行ってきた日本自動車工業会 (JAMA) / 日本自動車部品工業会 (JAPIA) および日本電子情報技術協会 (JEITA) の協力を得て2013年あたりから3D図に関する日本工業規格 (現: 日本産業規格) を開発する委員会が発足し現在に至っている¹⁾。

大学における機械設計教育においても多くの大学で3D-CADが導入され、その有効性を実感させるために、3D-CAD図面から直接部品を加工できるCAM装置を導入し機械製図から機械加工の実習までを体系的に行っている事例^{2) 3)} などが報告されているが、部品図および組立図は旧来通り2D図面を作図している状態にある。

国士舘大学理工学部理工学科機械工学系 (以後、“本学系”と称す) では機械設計教育において3次元製品情報付加モデルを作成する場合の基本的事項および総括的なデジタル製品技術文書情報DTPD (Digital Technical Product Documentation) を理解し活用できる技術者育成を目標にDTPDに対応した製図教育を行っている⁴⁾。本稿では本学系での「機械設計製図およびDTPD D」の現状を分析し機械設計教育における3D-CADの活用について考察することで、今後の機械設計教育課題を検

^{*1} 国士舘大学 理工学部理工学科機械工学系, 非常勤講師

^{*2} 国士舘大学 理工学部理工学科機械工学系, 教授

^{*3} 国士舘大学 理工学部理工学科機械工学系, 准教授

討した。

2. 現代の機械設計製図をとりまく状況

これまで2D図面により製品情報を定義されてきたが、2003年のASMEY14.41の発行を受け2006年にはISO16792 2006 (Technical product documentation-Digital product definition data practices)が発行されデジタル製品定義データの規格化が進んだ。これらを受け国内でも日本自動車工業会 (JAMA) と日本自動車部品工業会 (JAPIA) が2003年から3D図面の標準化活動を始め、その活動成果としての3D図面ガイドラインの発行と改訂を行った。またJAMAは、この活動で得た知見と3D図面ガイドラインをもとに「3D-DTPDの基本図示および基本情報に関するJISの開発委員会」(日本規格協会)に参加し、JIS B 0060-デジタル製品技術文書情報 (DTPD) 第1部から第10部までのJIS B 0060シリーズ (以下、DTPD規格という) が発行されている⁵⁾。

しかしながら、JAMA/JAPIAに加盟する各社の図面様式の適用比率を調査した結果によれば、2008年に2D図主体 (2D図および2D図+3D形状図) の割合が81%であったものが2019年には61%と減少傾向にあり、3D図主体の中でも3D図+簡易2D図の割合が5%から31%と年々増加している。一方で3D単独図および3D単独図+管理情報の割合は3%から4%とほぼ変化していない。さらに「3D図面適用率」が高いグループのコメントをみると、3D図面の適用により、図面作成工数の低減や業務の効率化などの効果が上がっているとしているが、部品によっては「3D Annotationによる表現が困難」⁶⁾とあるように3D単独図にはまだ多くの課題がある現状である。

3. 本学系における機械設計製図教育とPBL・アクティブラーニング

3.1 本学系における機械設計製図教育とPBL・アクティブラーニング

本学系では機械設計教育においてもPBLをカリキュラムの柱に位置付け、アクティブラーニングとの連携を図った教育に取り組んでいる。機械設計と機械製図に関する科目が「機械設計製図およびDTPD A～E」である。PBL・アクティブラーニングに関する科目が「機械設計製作プロジェクトA～C」でありプロジェクトは少人数の班に分かれて、複数での協調作業を経験しながら実施されている。

3.2 機械設計製図およびDTPD A～E

「機械設計製図およびDTPD A～E」は1年次春期から半期ごとに科目名末尾のアルファベットが進行して科目名が変わり3年次春期の「機械設計製図およびDTPD E」までの5科目で構成される必修科目である。「機械設

計製図およびDTPD A～E」は機械設計に関する総合科目であり、機械工学のあらゆる科目に関する幅広い知識が必要である。それら5科目を通じて、最も基礎的な機械設計法を習得する。また、ものづくりの情報伝達に重要な役目を果たす製図技法を習得する。5科目の中でも機械設計製図およびDTPD EではCAEの基本概念と原理、CAEの活用法、コンカレントエンジニアリングについて理解を深めることを狙いとする。

3.3 機械設計製作プロジェクトA～C

2年次春期に開講される「機械設計製作プロジェクトA」ではロボット競技を念頭に、機構設計とサーボモータや画像認識、センサーなどの制御プログラミングを組み合わせて、課題解決を図るための独自のロボットを検討し、製作する。プロジェクトは少人数の班に分かれて、複数での協調作業を経験しながら実施されている。「機械設計製作プロジェクトB」は「機械設計製作プロジェクトA」よりも複雑なシステムを対象とし、機械系に関する知識と理論の必要性を理解してもらう。そのために、基本的な機構や原理を活用する課題を与え、課題に関するものづくりを通して、基礎を学修してもらう。テーマは「手回し発電機」の設計製作であり、7名程度のチームで仮想製造会社を想定して、企画から設計製作までを行い、最終的には、プレゼンテーション形式で成果報告する。「機械設計製作プロジェクトC」では3つの研究室をローテーションしながら、3つのPBLプロジェクトに取り組み、機械工学に関する幅広い知識と経験を習得する。

4. 機械設計製図およびDTPD Dにおける3D-CAD活用

4.1 機械設計製図およびDTPD Dの教育内容

2年次秋期に開講される「機械設計製図およびDTPD D」では、歯車減速機をテーマとして産業界における基本的な設計手法に則り、学生は各々決められた設計仕様に基づき概念設計として設計対象の基本的な構成などを検討する。次に基本設計として部品の強度計算を行い、設計計算書を作成して計画図を作図する。ここで部品の寸法および形状などを決定し、詳細設計として組立図および部品図の作成を行っている。学生が3D-CADでモデリングした歯車減速機を図1に示す。

表1に示すように、これまでDTPD Dでは2D-CAD (AutoCAD) で作図した計画図 (2D図) を基に組立図および部品図を2D図で作図し、その後3D-CAD (Creo 4.0) で3Dモデルを作成していた。2022年度からは2D-CADで作図した計画図 (2D図) を基に3D-CADで3Dモデルを作成して部品の詳細設計を行い、その後3Dモデルから組立図および部品図 (2D図) を作図する指導を行った。なお、3Dモデルから組立図および部品図

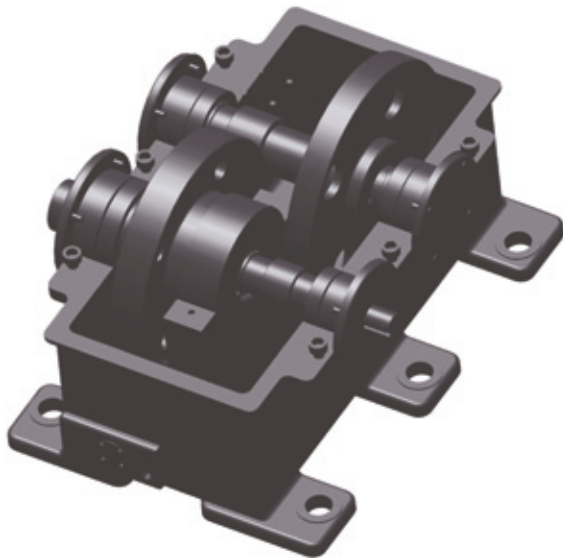


図1 学生が3D-CADでモデリングした歯車減速機

表1 機械設計製図およびDTPD Dにおける2021年度と2022年度での設計手順の比較

	2021年度	2022年度
概念設計	設計する減速機の構成を検討	
設計仕様	個別に設定した設計仕様を与える	
基本設計	構成部品の強度計算	
	2DCADによる計画図の作図	
詳細設計	2DCADによる部品図・組立図の作図	3DCADによる部品・組立状態のモデリング
	3DCADによるモデリング	2DCADによる部品図・組立図の作図

の2D図を作図するにあたっては寸法記入等に慣れていることを考慮し3D-CAD上では行わず2D-CADで行った。

4.2 3D-CADの活用効果

機械製図において学生の立体形状理解をもっとも困難にしている点は、3次元形状を有する部品を2次元に投影した状態の投影図で理解しなければならないことである。したがって基本設計としての計画図（2D図）から詳細な部品図を作図せずに3D-CADで3Dモデルを作成する最大のメリットは学生が部品の立体形状を把握しやすいことであると考えられる。そこで、部品の詳細設計を2D-CADで行っていた2021年度と3D-CADを活用した2022年度で、学生が提出した部品図の数を標本数N（2021年度N=44、2022年度N=54）とし図2に示すようにリム・抜き穴・ハブ部分が書かれていた学生数を度数*i*としたときの割合（ i/N ）を比較したものを表2に示す。リム・抜き穴・ハブのいずれの場合においても部

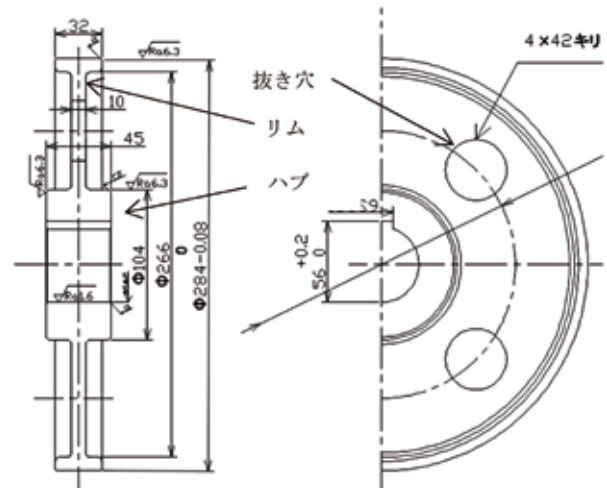


図2 リム・抜き穴・ハブが作図された部品図の例

表2 リム・抜き穴・ハブいずれの場合の部品図中で表現されていた割合

リム		抜き穴		ハブ	
2021年度	2022年度	2021年度	2022年度	2021年度	2022年度
56%	85%	44%	79%	56%	92%

品図中で表現されていた割合が増加していた。このことから2D図よりも3Dモデルで詳細設計を行うことで、学生は立体形状の把握が容易となり、より詳細な部品設計に取り組めたと考えられる。また、部品の詳細設計において2D図を作図せずに3Dモデルを作成することで時間的な余裕が出来たことも挙げられる。

4.3 3Dモデルから2D図を作図する際の課題

2D-CADで作図した計画図（2D図）では正しく表現されていたにも関わらず、3Dモデルから2D図を作図する際にJISB0001（機械製図）など製図則に沿わない表現などが確認された例を以下にまとめる。

i. 部品の簡略表現との不一致

JISに基づく2D図において、ネジやベアリングといった部品は簡略表現を用いるが、3D-CADでは実際のモデルの投影図となるため略式表現との不一致が生じる。図3(a)に示す。2D-CADで作図したベアリングは正しく表現されているが、図3(b)の3Dモデルから2D図を作図

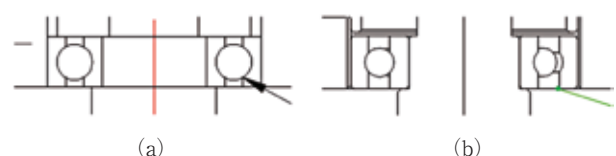


図3 ベアリングの投影図

した場合には、実際の形状からの投影となり投影面の工夫が必要となっている。

ii. 中心円上に配置する穴の表示

2D図において歯車の抜き穴のように中心円上に配置されるいくつかの穴を示す場合、図4(a)のように丸く現れない投影図では図形の中心線と中心円の交点の位置に穴形状を図示するが、3Dモデルから作図した2D図では図4(b)のように実際の穴位置での投影となるため断面に工夫が必要となる。

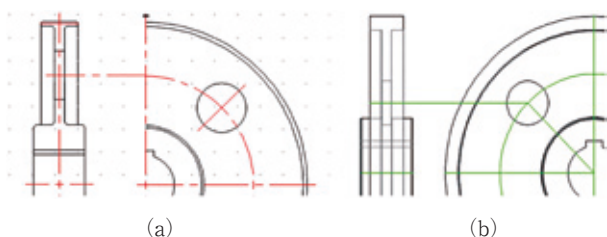


図4 中心円上に配置する穴の表示

iii. 3D-CADによる表示の問題

2D図では曲面から平面が滑らかに接合する場合外形線を書かないが、一般に3D-CADにおける3Dモデルではモデル形状を理解しやすいように外形線を描画する。そのため図5(a)は2D-CADで作図した計画図(2D図)は正しく表現されているが図5(b)3Dモデルから2D図を作図した組立図では余計な外形線が見られた。

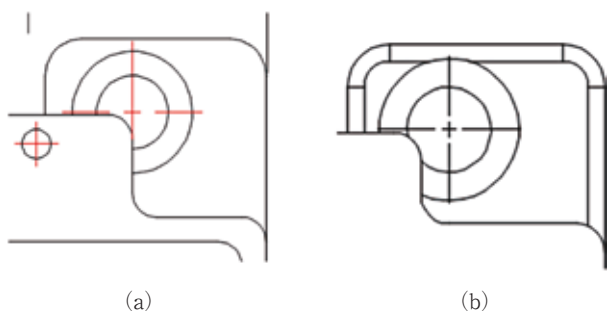


図5 曲面から平面が滑らかに接合する場合の外形線

4.4 アノテーションの理解に対する課題

製品の組み立てや追加加工を要する部品では必須となるはめ合いや公差について、部品図(入力側大歯車)での記入状況を2021年度と2022年度で比較したものを表3に示す。3Dモデルによる詳細設計を先に実施することで時間的な余裕が出来たと述べたが、はめ合いや公差の記入状況は詳細設計を2D図で行った場合の方が高い傾向にあった。いずれにせよ、はめ合いや公差を記入した学生は2割程度であり、部品形状の製図で手いっぱいの学生に対して、本来必須となるはめ合いや公差について

表3 はめ合いや公差の記入状況比較

軸はめ合い		キー溝はめ合い		歯車交差		キー交差	
2021年度	2022年度	2021年度	2022年度	2021年度	2022年度	2021年度	2022年度
19%	21%	23%	21%	21%	15%	28%	19%

伝えきれていない状況にある。

5. 今後の機械設計製図教育

日本の自動車工業会と電機・精密業界は2D図から3D図への移行を推進しデジタル製品技術文書情報(DTPD)の規格となるJIS B 0060シリーズが発行され、機械設計製図は転換期を迎つつある。一方、大学教育の場において3D図主体の教育を行っている例を見ない。本稿では3Dモデルから2D図を作成した場合の問題点を指摘したが、3D単独図となる3DAモデルを導入することにより解決できる点も多い。例えば、図6に示すような平行度公差の公差域は「距離 t だけ離れたデータム軸直線に平行な平行2平面によって規則される」が、立体形状の理解が乏しい学生には図6(a)の2D図では単に2つの直線が平行と考えるが、図6(b)の3D図の場合、3Dモデルを回転させることで平行2平面の規則であることがたやすく理解されるであろう。このようにこれまで製図で手いっぱいとなる学生に対して2D図では理解の難しい幾何公差の教育において3DAモデルは有効であると考えられる。また、3Dモデルから2D図を再作成するという無駄な労力が必要ではなくなる。

3D単独図を「機械設計製図およびDTPD D」で取り上げるにはまだ多くの課題がある。しかし3D-CADの活用は学生の立体形状理解と言う点において秀でている。そこで、機械設計の課題に対し3D-CADのオペレーションを中心に展開している「機械設計製図およびDTPD D」のカリキュラムに3DAモデルを活用するプログラムを取り入れてみてはどうだろうか。

これを実現するためには3DAモデルに必要な3D-CADの操作に加え、実施時期や課題作成等の検討が必要になるが、新たな機械設計製図教育の実現に向け本

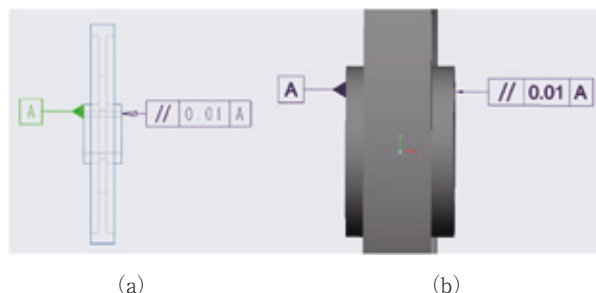


図6 2D図と3DAモデルにおける幾何公差(平行度公差)の例

学系として取り組む必要があると考える。

6. 結 言

現代の機械設計製図をとりまく状況を見据え、現在の「機械設計製図およびDTPD D」の現状分析から機械設計教育における3D-CADの活用について考察した結果を次のようにまとめておきたい。

- i. 3D-CADを活用することで学生は立体形状の理解・把握が容易となり、より詳細な部品設計に取り組めた。
- ii. 3Dモデルから2D図を作図する際、製図則に沿わない表現などが確認された。
- iii. より効果的な機械設計製図教育の実現に向け機械工学系教育機関として取り組む必要がある。

参考文献

- 1) 金田徹：DTPD（3D製図）規格（その現状と今後）、精密工学会誌, Vol83, No8, 2017
- 2) 野口昭治：東京理科大学における機械設計製図教育の事例について、設計工学, Vol55, No5, (2020年5月), pp. 302-306.
- 3) 金沢大学設計教育グループ：3次元CAD・CAE・CAMを活用した創造的な機械設計、日刊工業新聞社, (2009年8月)
- 4) 大高敏男, 平野利幸：国土館大学における機械設計製図教育の事例について、設計工学, Vol55, No5, (2020年5月), pp. 297-301
- 5) JAMA/JAPIA 3DA モデルガイドライン V2.0 2021/12/16 一般社団法人日本自動車工業会総合政策委員会ICT部会DE分科会
- 6) 2019年度3D図面普及調査レポート（JAMA各社の状況）2020年5月一般社団法人日本自動車工業会電子情報委員会デジタルエンジニアリング部会