学生相互添削方式を取り入れた 展示用教材「ホブ盤」の設計・製作と有効性評価

Designing/Manufacturing of Educational Prototype Hobbing Machine for Exhibition
by Instructing Method to Check Each Other's Work and Its Effective Evaluation

畠 田 道 雄^{※1}
Michio UNEDA

後 閑 一 洋^{※2}
Kazuhiro GOKAN

石 川 憲 一^{※1}
Ken-ichi ISHIKAWA

Hob processing is an important machining method for fabricating the gear. However, many students and peoples cannot understand this machining mechanism because they don't have a chance to see the actual processing. With this background, we tried a creative and educational project entitled "Designing and manufacturing of hobbing machine". On the other hand, it might be a burden for the teaching staff to instruct the designing and manufacturing project. In this paper, we summarize and analyze the effect of practicing the above hobbing machine on the basis of the answers to a questionnaire provided by the guest of an exhibition. Moreover, we describe the effect of the instructing method to check each other's work to apply the designing and manufacturing project.

Keywords : Educational Prototype Machine, Hobbing Machine, Designing/Manufacturing Projects, Instructing Students to Check Each Other's Work

キーワード：展示用教材，ホブ盤，設計・製作プロジェクト，学生相互添削

1. 緒言

機械の動力を伝達する重要な機構並びにそれらの部品に歯車があり，一般的に，歯車はホブ加工¹⁾と称される加工法で製造されている．ところで，歯車の認知度は高いと考えられるが，歯車製造方法であるホブ加工となると，一般人のみならず工科系高等教育機関の学生であっても目の当りにする機会は少ないと考えられる．

一方，著者らが所属する金沢工業大学（工学部機械工学科）では，3軸2段ヘリカル歯車減速機の設計・製図を課題とした「機械設計演習」と題する3年次必修科目を開講する²⁾とともに，専用テキストを出版している³⁾．図1にこの授業において，著者の一人（後閑）が受講学生の立場で設計・製図したヘリカル歯車減速機の組立図を，図2にその部品の一つである入力歯車軸の図面を示す．ヘリカル歯車減速機の設計・製図においては，図2に示した入力歯車軸や中間歯車の加工法にホブ加工を指定し，それに沿った図面指示を行っている．また，当該科目では減速機に関する機構の理解度向上を目的に，市販の平歯車減速機の分解・

主要寸法測定・組立の実習も取り入れている．しかしながら，この実習を実施することによって歯車のかみ合いや固定方法については理解できるものの，歯車の加工法であるホブ加工の原理までを理解できる学生は少ないと考えられる⁴⁾．

そこで，著者らは平成20年度において，工科系学生に加えて一般人も対象にホブ加工の原理を理解してもらうことを目的に，展示用教材として「ホブ盤」の設計・製作プロジェクトを実施した．特に，このホブ盤では，学生（高校生を含む）をはじめとして，多くの一般人に機械への興味を持ってもらうことも一つの目的とし，歯車のみならずボールスプライン軸，ユニバーサルジョイントといった多くのメカニカル要素を取り入れるように工夫した．

ところで，指導教員の立場で考えると，設計・製作プロジェクトの実施は多くの設計計算書や設計図面，さらには発注部材リスト（価格含む）の確認を必要とするため，特に研究活動等の多数プロジェクトとの同時並行指導となる場合，指導負担は大きい．そこで，技術文章作成において有効と認められた学生相互添削方式⁵⁾を設計・製作プロジェクトにも導入し，学生同士で図面添削を行うようにしてプロジェクトを実践した．

本論文では，設計・製作した「ホブ盤」の特徴と効

平成 23 年 2 月 21 日受付

※1 金沢工業大学

※2 金沢工業大学大学院

図1 歯車減速機組立図

図2 入力歯車軸部品図

果についてホブ加工の概要と合わせて述べるとともに、学生相互添削方式を設計・製作プロジェクトに取り入れた場合における効果についても言及する。

2. 一般的なホブ盤とホブ加工の概要

ホブ盤とは、ホブと呼ばれる回転型専用切削工具を用いて材料から歯車を削り出す工作機械である。ホブの切れ刃はらせん状に設けられており、ホブを用いた歯切り加工法を一般にホブ加工と呼ぶ。当該加工の原理を図3に示す。図3に示すようにホブの切れ刃の断面はラック形状であり、切れ刃のモジュールは創製される歯車のモジュールと等しい。そして、ホブを回転させることによってラックは回転につれて連続的に移動する¹⁾。このとき、ホブの切れ刃が1条である場合には、ホブが1回転することで断面のラック形状は1ピッチ（1歯分）移動することになる。したがって、ホブ盤を設計・製作する上では、ホブの回転数と歯車素材の回転数を同期させる必要がある。

3. ホブ盤の設計条件と特徴

展示用教材「ホブ盤」は様々な場所（教室や学外展示会等）で展示を行うことを目的に、「(1)運搬が容易であること」を設計条件とした。したがって、展示用ホブ盤は小型・軽量化を目指した設計を行い、台車

図3 ホブ加工の原理

表1 モータの仕様

定格動力	3.7kW
定格回転数	1700rpm

表2 歯車の仕様

歯車の種類	標準平歯車
モジュール	5
歯数	20
歯幅	10mm

表3 切削条件

切り込み量	11.25mm
歯車素材の回転数	4.72rpm
ホブの回転数	94.4rpm
送り速度	0.0083mm/rev
切削時間	255min

によって移動可能な寸法とした。また、「(2)ホブ加工の観察を容易にする」ため切削速度を減速させることに加えて、「(3)機械に興味を持ってもらう」ために、メカニカル要素を多く取り入れることも設計条件とした。これらの設計条件を踏まえた設計・製作を行うに当たり、本プロジェクトでは通常の設計工程とは異なることになるが、創製する歯車の仕様よりも先にモータの仕様を表1のように決定した。この理由は、モータの大きさや動力が、ホブ盤の大きさを決定する大きな要因となるためである。この仕様を基に切削動力や強度を計算し、この計算結果から製造できると判断した歯車の仕様を表2に、切削条件を表3のように決定した。なお、製造する歯車の材質はドライ切削が可能であり、大きな切削力を必要としないナイロンMC901とした。また、歯車のモジュールは切削の様子が目視によって確認できるレベルのものとした。

設計・製作したホブ盤を図4に、歯車を削り出す前の材料を図5に、当該ホブ盤によって創製した歯車を図6に示す。また、歯車の製造（切削）過程中的写真を図7に示す。図7ではホブ加工により、歯車の溝が段階的に切削されている様子が確認できる。以下、本プロジェクトで設計・製作したホブ盤の特徴を示す。

3.1 ホブ加工の観察を考慮した切削速度の減速

本研究では設計計算に基づき、定格回転数が

図4 設計・製作した展示用教材ホブ盤
(安全カバーを外した状態)

図5 歯車素材

図6 創製した平歯車

図7 切削中の様子

1700rpm, 出力が3.7kWの標準三相モータ（三菱電機株式会社：SB-JR 112M 4極）を選定した。しかしながら、当該モータの定格回転数をそのまま使用する場合、歯車を1つ創製するための加工時間は短くなり、加工機構を目視によって確認することは困難である。そこで、当該モータにインバータを取り付け、モータの回転数を1/12に減速した。これにより、ホブの回転やホブの送り速度などのすべての運動が減速され、加工機構の観察が容易となる。さらには、送り速度は波動歯車装置を用いて1/32000に減速させている。送り速度を大幅に減速させることによって歯車1つを創製するための加工時間は4時間程度となり、終日に亘る加工展示を行う場合でも、歯車素材の交換を数回に抑えることができる。

3.2 回転数の同期方法の機械化

ホブ加工では、既述のとおり工具であるホブと歯車素材をそれぞれ同期回転させて切削を行う必要があ

る¹⁾。このためホブ加工では、ホブの回転数と歯車素材の回転数の同期精度が重要となる。汎用ホブ盤では、ホブと歯車素材にそれぞれ別々のモータが使用され、数値制御によって同期を行うCNC形式が主流となっている。しかしながら、この形式ではホブ加工において重要となる同期を目視によって確認することが困難である。そこで、本研究では敢えてモータの使用個数を1つとし、その動力を分岐することによってホブ盤の主な運動であるホブの回転運動、歯車素材の回転運動及びホブの送り運動の3つを行う機構とした。これによりメカニカル要素のみでホブと歯車素材の同期を行うため、同期を行っている様子や機構が目視によって確認できるようになっている。

3.3 安全性の考慮

設計・製作したホブ盤にはホブや多くの歯車が使用され、それぞれ回転運動を行っている。これらのメカニカル要素には、ホブ加工や同期の観察を容易に行うことができるように、個々のカバーを設置していない。そこで、展示の際の安全面を考慮し、ホブ盤全体を透明アクリル製カバーによって覆い、ホブ盤自体には触れられないようにしている。これにより、ホブ盤並びにホブ加工の観察を行う上での安全性を確保している。

4. アンケート結果に基づくホブ盤の評価

設計・製作したホブ盤によって創製される歯車は図6で示したように、仕様通りの平歯車となっている。一方、当該ホブ盤の主目的は、創製した歯車の精度向上やその使用ではなく、あくまでもホブ加工の原理を理解してもらうことにある。そのため当該ホブ盤の評価は、創製した歯車の精度や生産性で行うものではなく、ホブ加工を観察してもらい、ホブ加工の理解度をもって行うこととした。また、ホブ加工に使用されている多くのメカニカル要素を観察してもらうことを通して、機械に興味を持てるかという点も評価項目に加えた。評価を行うにあたり、2009年5月に開催された機械工業見本市金沢（主催：社団法人石川県鉄工機電協会）において大学生を中心に高校生や一般人（その多くが工業系企業に従事）を対象に、当該ホブ盤とそれによる加工状況を説明した上でアンケート調査を行った（図8）。アンケートの内容とアンケート結果を図9に示す。ここで、アンケートの回答人数は67人であった。

図9の結果から、歯車の製造方法であるホブ加工を知っていた人は半分程度であることがわかる。この数値は意外に大きいと思われるが、アンケート調査を行った場所が機械工業見本市金沢であり、その参加者の殆どが機械系学生や工業系企業に従事する人達であったためと考えられる。また、実際にホブ加工を観察してもらうことを通じて、多くの見学者にホブ加工

を理解してもらうことができた。さらに、当該ホブ盤に使用されているメカニカル要素を見てもらうことによって、機械の機構に興味を持つ学生が増えたという

図8 機械工業見本市金沢

1. 歯車はどのように作られるか知っていますか。
2. ホブ盤というものを知っていますか。
3. ホブ加工を実際に見たことがありますか。
4. 今回、ホブ盤で歯車がができる様子を見学して歯車がどのように作られるかわかりましたか。
5. 機械の機構を面白いと思いますか。
6. 機械について興味を持ちましたか。

(a) 全体の結果 (回答数: 67)

(b) 学生 (高校生を含む) の結果 (回答数: 40)

(c) 一般人の結果 (回答数: 27)

図9 アンケート結果

結果を得た。

以上の結果より、設計・製作したホブ盤は目的を達成し、展示用教材としての性能を有していると考えられ、現在は既述の必修科目「機械設計演習」における教材として使用している。今後も授業や多くの展示会においてホブ加工を実演することを通して、学生並びに一般人のホブ加工に対する知識を深められるよう努力する所存である。

5. 設計・製作プロジェクトへの相互添削方式の導入効果

5.1 本研究室の指導体制と平成20年度の概要

本研究室では精密工学及び振動応用工学を主たる専門分野とし、設計・製作プロジェクトのみならず、多くの研究指導を実践している。具体的には、(1)大学でこそ可能となる基礎・応用・展開型研究の推進をはじめ、(2)産官等との連携による共同研究や公的機関からの助成研究を実践するとともに、(3)ものづくり教育、のプロジェクトを実践している。そして、平成20年度においては10のプロジェクトのうち、(1)2テーマ (修士2名、学部1名)、(2)5テーマ (修士1名、学部5名)、(3)3テーマ (学部3名) という内訳で実践してきた。

そして、平成20年度においては既述した「ホブ盤」とともに、「3軸2段ヘリカル歯車減速機」、並びに「マイクロホンアレーシステム」の設計・製作に学部各1名で取り組んだ。図10にそれぞれの完成写真を示す。

5.2 学生相互添削の有効性の評価

少人数の指導体制で比較的多数のプロジェクトを実施する場合、設計・製作プロジェクトの細部までを確認することは難しい。そこで本研究室では、平成18年度から技術文章作成における学生相互添削方式⁵⁾を導入しているが、それを設計・製作プロジェクトにおける、特に設計解 (設計計算書、設計図面、価格を含む発注部材リスト) の相互添削にも適用した。表4は平成20年度に実施した3つの設計・製作プロジェクトを完成させるまでの年間活動フローであり、図11は相互に設計解を確認・添削し合う学生の様子である。こ

図10 設計・製作したヘリカル歯車減速機とマイクロホンアレーの外観

表4 年間活動フロー

	1/四			2/四			3/四			4/四		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
ホブ盤	調査			3D設計			2D図面化		加工・組立・調整		評価・完成	
減速機	調査		2D設計・図面化					加工・組立・調整		評価・完成		
アレー		調査			電気回路設計・製作				アレー設計・製作		評価・完成

図11 相互添削する学生

のように、いずれも設計に非常に多くの時間を要しているが、特にメカニカル要素を多く含む「ホブ盤」、並びに「3軸2段ヘリカル減速機」のプロジェクト遂行には進行度合いをできる限り揃えるようにして指導・実践した。その結果、いずれのプロジェクトでも活動目標について計画通りの成果を修めることができている。これらのことから、学生相互添削方式は技術文章作成のみならず、設計・製作プロジェクトを円滑に進めるためにも有効な方策であると言える。

6. 結言

本論文で得た結果を要約すると、以下ようになる。

- 1) 安全性を考慮しつつ、メカニカル要素を多く取り入れ、ホブ加工並びに同期の原理を理解しやすい展示用教材であるホブ盤を設計・製作した。
- 2) アンケート調査から、当該ホブ盤は教材に資するという結果を得た。

3) 学生相互添削方式は、設計・製作プロジェクトの指導に適用しても有効である。

参 考 文 献

- 1) 歯車工作技術研究会：よくわかる歯車と歯切り作業法, 理工学社, 3.10-3.13, 1977
- 2) 畝田道雄, 藤木信彰：機械系設計・製図科目における授業改善活動とその効果検証, KIT-Progress (工学教育研究), 12, 69-77, 2007
- 3) 畝田道雄, 藤木信彰, 津軽武彦, 堀 利正：機械設計演習(ヘリカル減速機編), パワー社, 2009
- 4) 山田高三, 李 和樹：工業教育用ホブ盤の開発とその実習, 工学・工業教育研究講演会講演論文集, 714-715, 2007
- 5) 畝田道雄, 石川憲一：論文作成指導の高効率化を目的とした技術文章作成能力向上のための試みと有効性評価, 工学教育, 58-2, pp.58-63, 2010

著 者 紹 介

畝田 道雄

2000年金沢工業大学大学院工学研究科博士後期課程機械工学専攻修了, 博士(工学)。2000年防衛庁技術研究本部, 防衛庁技官。2002年金沢工業大学助手。現在, 同准教授。九州大学客員准教授(兼務)。専門は精密工学(精密加工, 精密計測), 振動応用工学。所属学会は日本機械学会, 精密工学会, 砥粒加工学会, 日本設計工学会など。上級教育士(工学・技術)。