

# 歯車製作による 実践的機械加工技術の教育

東北職業能力開発大学校附属青森職業能力開発短期大学校 須永 浩一

## 1. はじめに

機械は、さまざまな部品を組み合わせて形作られている。部品がそれぞれの役割を果たすことで機械が動く。部品に求められる役割は多種多様であるが、使用頻度の高い部品は規格化され、機械要素と呼ばれている。

ポリテクカレッジ青森、生産技術科では、実践的な技術者育成のため、生産技術に関するさまざまな技術を学習している。特に機械加工技術を中心にカリキュラムが編成され、基礎から応用までの実学融合した授業により、現場に役立つ知識や技能を身に付けさせている。前述の機械要素についても十分に教育されており、例えば、「歯車」を取り上げると、その機能や設計に係る知識、製造法について実践的に教育している。

しかしながら、短期大学校の2年間という時間的制約から、多様化した基礎技術の習得に多くの時間を要するため、専門的に特化した機械加工技術について総合的に体験する機会が少ない感は否めない。最適加工方法の選定なども含め、製造時に起こり得る諸問題に学生が中心となって取り組むことは、平常のカリキュラム内では難しい。

そこで、総合制作実習として、機械要素部品の中で比較的身近な「歯車」の製作に着目し、当校で現有する機械を駆使した総合的な機械加工技術の教育が行える課題の検討を行った。本報では、学生にわかりやすく、かつできるだけ興味を示すように「機

械式の振り子時計」を製作テーマとし、製品の中心部品である歯車の歯切り作業について3つの加工方法を取り上げ、実践的な製造について検討・実施した訓練内容について、その教育効果と併せて報告する。

## 2. ポリテクカレッジ青森における機械加工教育の現状

近年の産業界における生産技術は多様化しており、機械加工技術を中心として、CAD・CAM技術やメカトロニクス技術など、幅広い技術を習得した人材が求められている。生産技術科では、学科にあわせて十分な実技・実験科目を学習するため、学生の習得度も高く、また、実際のさまざまな体験が就職後の応用力につながっていく。ここで、当科で実施している機械加工に関する教育科目（カリキュラムより抜粋）を表1に示す。このように基礎技術を中心としているが、多種多様な工作機械を用いた実践的な教育は、企業からの理解も得られており、就職率は毎年ほぼ100%である。

また、専門課程卒業後に進学できる応用課程では、上記2年間の教育修了者が、さらなるスキルアップを目指して学習する。学生だけで模擬的ファクトリを形成し、実製品の製作（開発）に向けて構想から完成までの一連の工程を開発課題等で学習できる。そのため、より専門的な加工技術や、実際に遭遇する問題点の解決能力が実践を通して習得できる。

一方、学生の半数以上が就職を希望する当校では、生産技術科に在籍する2年間で、ある程度の応用力

表1 生産技術科における主な機械加工技術関連科目

		科目名	内容または工作機械の種類
学科科目		機械加工(学科)	機械加工技術の概論
		加工技術(学科)	加工の歴史,最新加工技術
		機械工作	手仕上げ加工,塑性加工ほか
		数値制御(学科)	数値制御機械全般
実技・実験科目	汎用工作機械	機械加工実習	フライス盤,普通旋盤,鋸盤,両頭グラインダ,ほか
		機械工作実習	ボール盤,ドリル研削盤,フライス盤,普通旋盤
		機械加工実験	旋盤,フライス盤,研削盤
		精密加工実習	旋盤,フライス盤,研削盤
	NC工作機械	数値制御加工実習I	ワイヤカット放電加工機,(レーザ加工機)
		数値制御加工実習II	NC旋盤,マシニングセンタ
		CAD/CAM実習	マシニングセンタ,ラビッドプロッタイピング装置

(ポリテクカレッジ青森カリキュラムより抜粋)

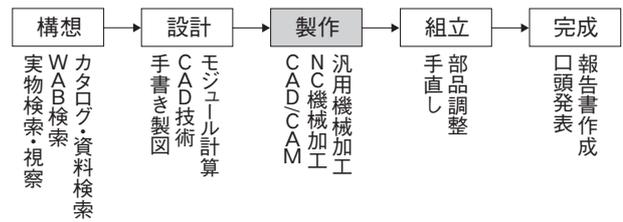


図1 総合制作実習の流れ

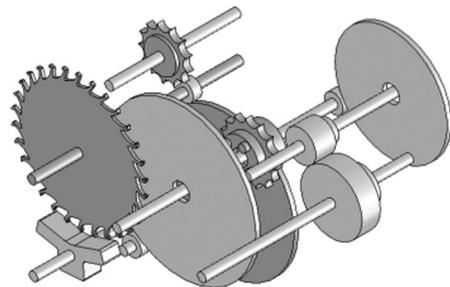


図2 振り子に利用した歯車機構

を備えた学生を育てる必要がある。そのため、例えば機械加工技術において、より専門的な技術や最新加工技術については、各研究室単位で行われる総合制作実習(卒業研究)で取り組まれることが多い。学生が実践的な課題に取り組む機会は、「総合制作実習」が最良である。そのため、年度当初に行う学生との打ち合わせでは、課題の難易度と実施期間などを考慮しながら、検討していく必要がある。特に気を使うのは、なるべく学生が興味を持てるもの、または身近なものを題材とすることであり、これが直接的に教育成果に結び付くことが多い。

今回設定した課題「振り子時計の製作」は、学生が主体的に提案してきた課題と教師側のねらい(著者の教育方針)がある程度マッチしたものであり、製品の製作過程において、設計から完成に至る工程の教育および十分な機械加工教育ができたものと考えている(図1)。本課題は、基盤技術である機械加工技術を中心に、CAD/CAMなどの最新加工技術を含め、学生が在籍中に習得した内容を総合的に包括的に復習して、さらに生産技術に対して興味を持って理解を深めることがもう1つのねらいである。

また、近年の製造現場では、技能の伝承<sup>1)</sup>が問題

視されており、学生は学校でさまざまな加工技術を実際に経験することで、企業に就職した際に応用力を発揮することが期待される。本報告では、今回実施した課題の中で、特に、専門的な加工技術と考える「歯切り(歯車製作)」について詳細に検討した内容を中心に報告する。

### 3. 振り子時計の構成部品と歯車の製作方法

#### (1) 振り子時計の部品構成

振り子時計の設計において、構想段階では学生に大まかな仕様を提示し、学生と一緒に全体的な機構を議論した。学生は自分たちが製品を設計する初めての体験に戸惑いと面白さを感じながら、さまざまなアイデアを出していた。学生が設計した振り子時計の駆動部の概略を図2に示す。回転を伝達する歯車は、インボリュート曲線を用いた平歯車が中心であり、モジュール、軸間距離、転位係数、および転位なしで使える最小歯数などを検討した<sup>2)</sup>。また、歯切り時に使用する工具によって制限される歯形条件を確認した。さらに、脱進機構(ペースを守る機構)として振り子の等時性を利用したアンクル、ガ

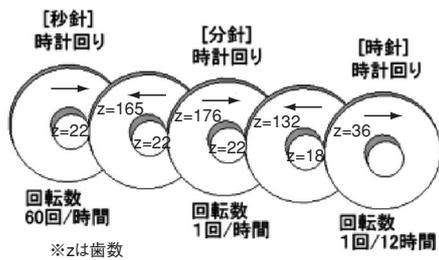


図3 歯車の組み合わせ（回転方向と歯数）

ンギ車を用い、動力はチェーンとスプロケットを介して錘を用いることとした。

その他の条件として、時・分・秒の3軸は右回り（時計回り）に揃えて回すこと、3軸を等間隔に配置すること、および標準的な時計の回転数（比）に合わせることを確認して設計した。設計時に用いた歯車の駆動方向および歯数の組み合わせを図3に示す。

## (2) 歯車の製作方法の検討

今回は、上記で検討して設計した歯車のすべてを、学生が自分たちの手で加工して製作することが最大の目的である。そこで、まずは歯車を製作するための加工方法を検討した<sup>3)</sup>。現在、実際の製造工程で実施されている主な歯車形状の作成法を表2に示す。大別すると、機械的除去加工による歯形成形と、成形加工・変形加工による歯形成形に分類される。当校の生産技術科のカリキュラムでは、機械的除去加工を中心に教育しているため、学生は前者が取り組

表2 主な歯車作成法

分類	加工法	主たる特徴
機械的除去加工による歯形成形	ホブ切り	ホブ盤上で回転する工具（ホブ）を用いて歯形を作成する創成法
	形削り（ギアシェーパ）	形削り盤上で往復運動する工具（カッター）を用いて歯形を作成する創成法
	フライス削り	歯溝形状と同一形状の回転カッターを用いて1歯ずつ加工する成形法
	ワイヤカット放電加工	歯形状の軌跡をNCデータで与え、放電除去で作成する方法
成形加工、変形加工による歯形成形	射出成型・鋳造・粉末焼結	金型を用いた歯形状の転写による方法
	転造・鍛造	材料の変形による歯形状の作成方法

みやすいと思われる。したがって、当校の設備で実施することができる①ホブ切り、②フライス削り、および③ワイヤカット放電加工の3工程を用いて歯車を製作することにした。

ホブ切りはホブカッターが歯車素材に対して歯車の噛みあう軌跡を描き歯形を作り出す加工で創成法と呼ばれる。制限として、ホブ盤（工作機）の素材支持軸は径が20であり素材側寸法を設計段階で合わせるかまたは治具を作る必要があった。

フライス削りは横フライス盤に取り付けた歯溝形状のカッターにより、カッター形状そのものの溝を削り取る加工で成形法と呼ばれる。切削点の強度を考慮した際、素材は短くしたいが、割出し台チャックとカッターの干渉のため、加工できるのはある程度大きい素材に限られる。

ワイヤカット放電加工ではプログラムにより任意形状を切り取ることができるが、今回は電極に歯車形状の軌跡を描かせ、歯車を作成している。前2つの加工と異なり、歯形作成前に素材形状を刃先円まで加工しておく必要がないため、ほぼ段取り時間＝プログラム作成時間である。歯車軸心の穴形状も同一座標系で加工できるため、加工軌跡を作ってしまうば機械任せである。

それぞれの加工方法の得失を表3に示す。それぞれに一長一短があるが、上記3つの加工法を、それぞれの特徴に適した歯車の加工に使い分けて製作を

表3 実施した歯切り方法の主たる特徴

	ホブ切り	フライス削り	ワイヤ放電加工
形状精度	○	△	◎
歯形のサイズ・形状への対応	△	△	◎広範
加工面粗さ	○	◎	◎平滑
判り易さ	○	◎	○
段取りの煩雑さ	△	×	○簡素
総製作時間	○短い	×	○
必要な技術要素	機械加工	機械加工	機械加工・NC技術

開始した。

#### 4. 歯車および部品類の製作

##### (1) ホブによる加工

図4にホブによる加工イメージを示す。ホブ加工ではホブにらせん状に配されたラック形状のカッターで被削材を削る。このときホブ1回転について被削材は歯車の1歯分回転している。ホブ1回転に配されているカッターは多いほうがより歯車曲線に近づくことができる。仮にホブ1周に10枚の刃があるのであれば歯車の歯面は10の直線で構成される。

図5はホブによる歯車加工中の状況を示している。ホブと被削材の回転は同期している必要があり、同期を取るために複数の歯車セットを人手で軸から差し替える機械を用いるため、特に初めて削る歯数の場合は同期が取れていないミスが起こる。

今回は平歯車の製作なので、ホブのカッターによって削られる歯溝は垂直である。歯車の組み合わせを取り違えた場合でも、当たり始めに斜めのカッターマークが付くので気づくことができる。

また、肉厚の薄い歯車切削時には一回り径の小さい材料を補強として使って加工し、ビビリを防いだ。

##### (2) フライスによる加工

歯溝形状フライス（インボリュートフライス）による加工を図6に示す。被削材の向きを変えては、フライス加工で一本ずつ歯溝を削る方法である。

切削抵抗と熱，仕上がり面から，一度の切削で歯溝を作ることはせず，数回に分けて切り込みを行った。

フライスによる歯車加工では，製作する歯車の歯数とモジュールにより歯溝の形状（工具自体）を変える必要がある。例えば同じモジュールで歯数が小さくなると歯溝の開きは大きくなる。図7にインボリュートフライスカッターを示す。拡大図は同一モジュールのカッターを正面から見たもので左はNo.2（歯数55～134枚用），右はNo.5（歯数21～25枚用）

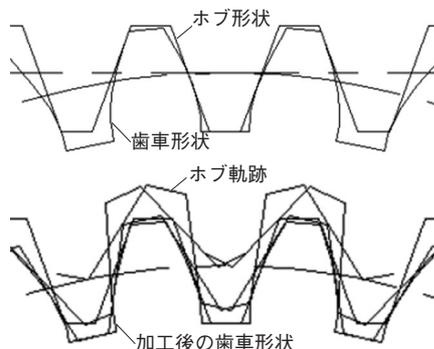


図4 ホブ形状（ラック形状）と歯車形状およびホブ軌跡

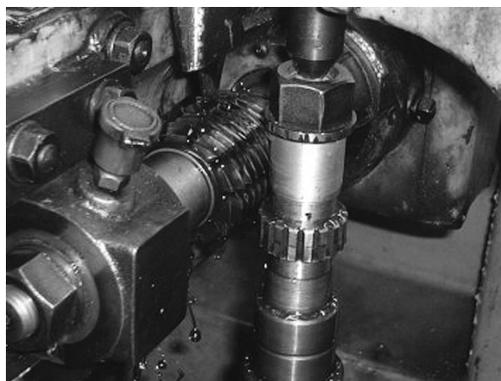


図5 ホブによる加工（加工中）

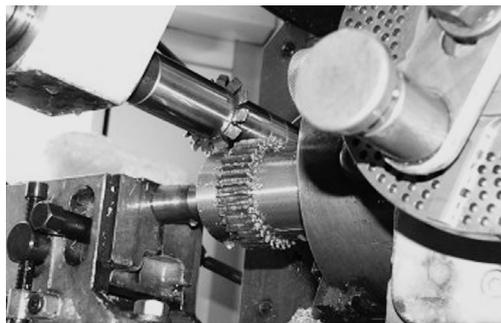


図6 インボリュートフライスによる加工

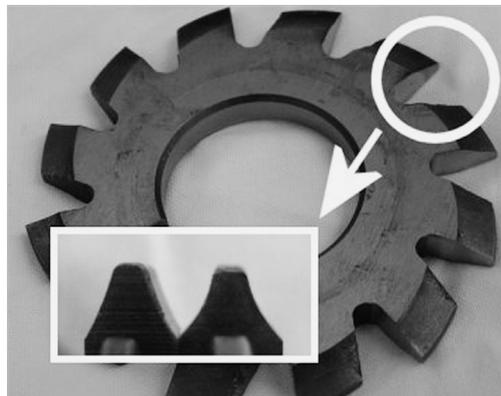


図7 インボリュートフライスカッター（全体図と拡大図）

である。

また、歯溝を1つ切削するごとに軸の向きを正確に変えるために割り出し台を用いている。手前のハンドルの先にはピンがあり、その先のプレートに開けられた多数の穴との組み合わせにより正確な角度の割り出しができる。しかし不慣れな割り出し作業であり、試し削りの際には角度を誤った歯溝を作ることもあった。

切り込み4回で30の歯溝を作るとすれば120回割り出し操作をする必要があるが、前述の失敗もあり集中しての作業が必要であった。

### (3) ワイヤカット放電加工による加工

CAD/CAMシステムにより歯形形状をNCプログラム化し、プログラム上で中心穴加工と切り落とし処理を修正したのち、放電加工機に入力する。加工自体は水中で電極・素材間の間隙に発生する放電により行われ加工条件以外は人手を離れる(図8)。失敗しづらい加工だが、素材の取り付け時に傾いていたか取り付け後に傾いたかは不明ながら、初期の歯車には斜めに作られた失敗作があった。

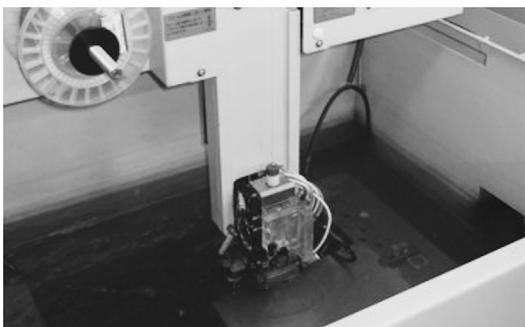


図8 ワイヤカット放電加工機による加工(加工中)

## 5. 完成した製品および教育効果

加工品の1つであるガンギ車(ワイヤカット放電加工により製作)を図9に示す。必要な歯車をすべて学生が自作した。これらを組み立てて製品とした全体図を図10および図11に示す。組立・調整作業で



図9 ワイヤカット放電加工による形状(ガンギ車)

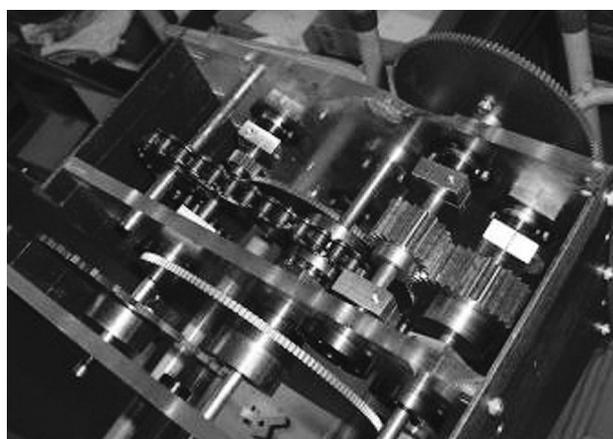


図10 製作品(組み立て中)

は、脱進機構のガンギ車とアングルは形状と潤滑にノウハウが必要で最後まで試行錯誤していた。

本課題の教育効果としては、昼夜を問わず学生が時間を忘れて取り組んでくれたことに反映されていると考える。卒業研究発表会を終えた後も、修了式の直前まで製品の手直しをしていた。部品の設計から取り組んできた製品に対して愛着を持ち、また、どうすればさらに改善できるかを学生自身が理解していたようである。

また、2006年2月には、青森職業能力開発短期大学校で開催された東北地区実践教育訓練施設参加の技術研究発表会である東北ポリテクニックビジョンにて発表・展示をする機会を得た。学生は、大勢の聴衆の前で発表することで少々緊張していたが、すべて自分たちで取り組んでいる自信から堂々とした

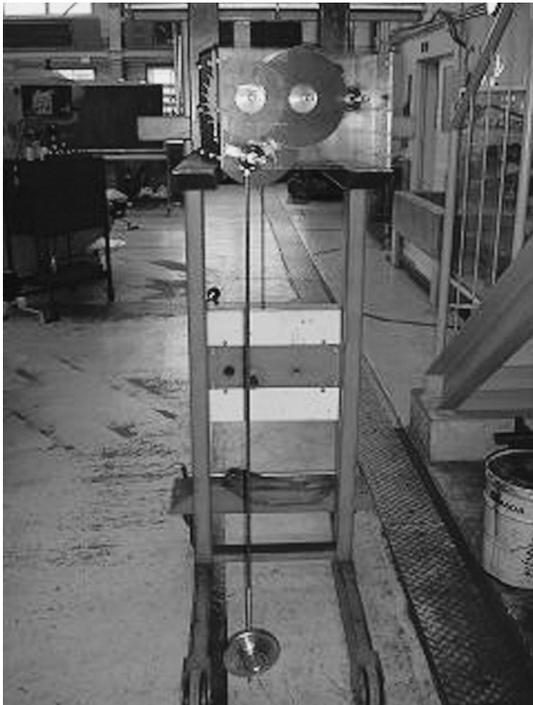


図11 製作品（リフトで持ち上げた全体形状）

発表内容であった。学生にとって大変有意義な経験であったと思われる。

学生からの直接的な感想は、「もう少しだけ時間が欲しかった」「良く悩んで良く作った」というものであった。

余談ではあるが、ホブ切りの際は、他の作業をしていたゼミ生が見に来ていた。注目を浴びながらの作業は、学生たちの士気の向上につながっていた。刃それ自体は直線で構成されたホブカッターが滑らかな曲線の歯車歯形を削り出していく様をしばらくの間、飽きずに眺めていた。

## 6. おわりに

本報告では、学生にわかりやすく、かつできるだけ興味を示すように「機械式の振り子時計」を製作テーマとして、必要な構成部品および製造方法について学習させ、検討させた事例について紹介した。

学生の興味関心を引き、内容面の充実と共に士気を維持して総合制作実習で製作物を作り上げる、という目標はほぼ達成できた。

今後も、学生自身が主体性を持って取り組み、実践力が身に付くような総合制作実習の課題を検討していきたいと考えている。

なお本報は、当時の学生であった山内浩司氏、奈良貴行氏、佐々木健佑氏が総合制作実習として取り組んだものである。

また、本報作成に際し、青森職業能力開発短期大学の二ノ宮進一講師（現：武蔵工業大学機械工学科）、渡邊龍三校長に多大な助言をいただき、ここに深く謝意を表したく存じます。

### <参考文献>

- 1) 海野邦昭：「次世代への高度熟練技能の継承」、アグネ承風社、1999
- 2) 林洋次：「機械要素概論 2 機構・伝達・ブレーキなど」、実教出版、1998
- 3) 歯車工作技術研究会（編）：「よくわかる歯車と歯切り作業法」、理工学社

## 詳解 職業能力開発の現状 ——キャリア形成支援のために—— 改訂3版

### ■主な内容

日本の職業能力開発／雇用の安定・拡大のための職業能力開発施策の枠組みの構築／第8次職業能力開発基本計画の策定と職業能力開発促進法の改正／「若者自立・挑戦のためのアクションプランに基づく職業能力開発施策」の推進／参考



職業能力開発研究会 編

A5判／380ページ  
定価 3,150円（本体3,000円）  
ISBN978-4-87563-243-6



■発行所 〒104-0033 東京都中央区新川1-16-14 電話 03-3523-5181（代表）FAX 03-3523-5187 <http://www.koyoerc.or.jp> 社団法人 雇用問題研究会