

歯車製作による 実践的機械加工技術の教育

— 第2報：ホブによる歯切り作業の実践と教育効果 —

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

本稿では、先の報告「歯車製作による実践的機械加工技術の教育¹⁾」にて用いていた歯車加工について、特にホブによる加工法を紹介する。

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、機械加工技術を中心にさまざまな技術を教育訓練している。実学融合した授業によって、機械技術者としての素養を身に付けさせている。企業からの理解も得られており、例年、就職率はほぼ100%を維持している。

短期大学校での、2年間にわたる教育訓練により、関連する技術・技能を習得させる。しかしながら、多様化した基礎技術の習得に多くの時間を要するため、特化された機械加工技術について経験する機会は限られている。そこで実習科目の「総合制作実習」として、身近な機械要素である「歯車」の製作に着目し、当校で現有する機械を用いた機械加工課題を検討した。学生にとってわかりやすく、できるだけ興味を持つことができるような課題として「機械式の振り子時計」を製作テーマに、3つの加工方法による歯車製作を検討・実施した訓練について、教育効果と併せて報告した¹⁾。

本稿では、学生が行った3通りの歯車加工（ホブ/フライス/NCワイヤ放電）のうち、ホブを用いた歯切りについて詳述する。以下、まず歯車形状について、次いでホブを用いた平歯車の歯切りについて、述べる。

2. 平歯車の形状と加工

歯車はその歯が互いにかみ合うことで確実な動力伝達を実現する。本実習では、歯形に用いられるいくつかの曲線のうち、工業的にも最も広範に用いられる、インボリュート曲線を歯の形状としたインボリュート歯車を採用した。

円に巻きつけた糸を張ったまま円から剥がしていく過程で、糸先端のたどる軌跡を図1に示す。この曲線はインボリュート曲線と呼ばれ、この形状は図2のように簡単に数値化できる。

図3に基準ラック形状（圧力角 $\alpha_0=20^\circ$ 歯車の基準として用いる）を示す。これはインボリュート歯車の形状とともにJIS B 1701に規定されている。ラックは、直径極大の歯車の一部とも解釈でき、ラックにかみ合うように成形した歯車は、それら同士も互換性を持ってかみ合う。

歯の大きさを決定しているのは「 m 」の値である（図3）。 m はモジュールと呼ばれ、圧力角 α_0 とともに

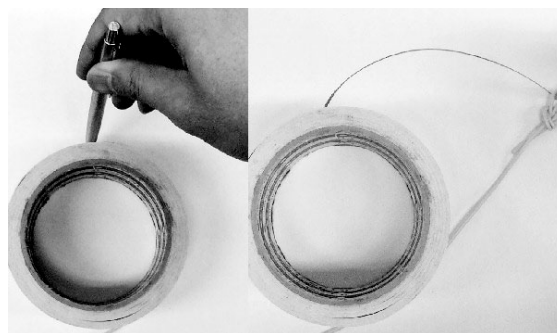


図1 インボリュート曲線

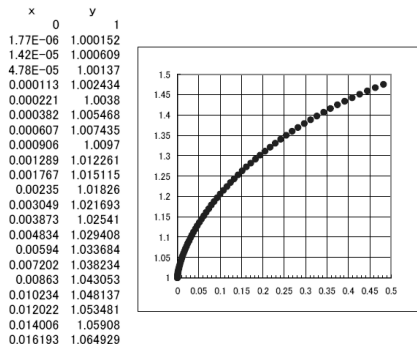


図2 インボリュート曲線の数値化
※(x, y)=(0, 0)を中心とした半径1の円を基とした場合

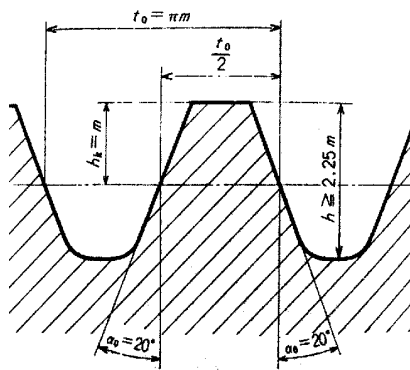


図3 基準ラック(圧力角20° JIS B 1701)

に歯車形状を規定するパラメータである。

インボリュート曲線を歯の形状として削り出すために、大きく2つの方法が用いられている。単純な形状の工具を用いて軌跡をたどらせる「創成歯切り」と、歯みぞ(歯の谷部分)の曲線で形作られた工具で歯みぞ形状を削り取る「成形歯切り」である。ほかに、自由形状の加工を可能とする数値制御工作機では、図2のように求めた座標から歯車形状を直接加工できる^{2) 3)}。

3. ホブによる創成歯切りのメカニズム

課題において、創成歯切りとして、ホブを用いている。

ホブはラック形状の刃をらせん状に配置した工具である(図4)。ホブを用いて歯切りを行う専用の工作機械(ホブ盤)に取り付け、被削材に歯みぞを刻むことで歯車とする。ホブ盤により、ホブと被削材の相対運動をインボリュート曲線とすることで、ホブの直線状の切れ刃を使いながら、滑らかな歯車曲線を形作ることができる。

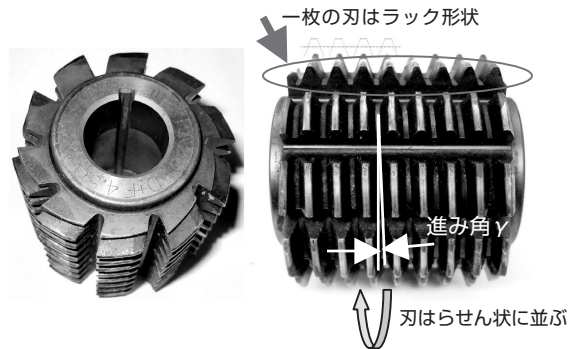


図4 ホブの形状
(ホブの刃はらせん状に並び、正面から見ると進み角 γ をもつ)



図5 ホブと被削材(このホブは1周10枚の刃をもつ)

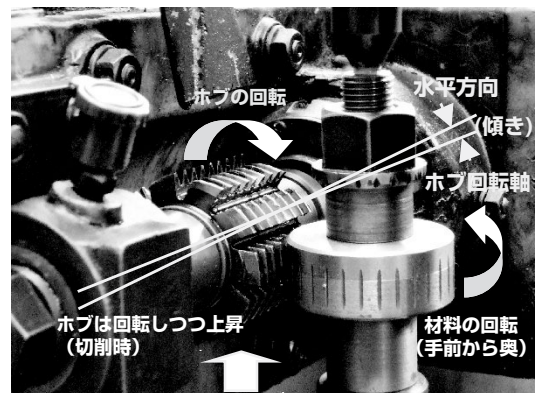


図6 ホブと被削材 取付け状態(刃すじ確認痕あり)

図4左のホブ上面(端面)には、仕様の刻印がある。このホブの刻印は m2 PA20° γ 2.05° であり、モジュール2 / 圧力角20° / 進み角 γ 2.05°を表している。モジュールと圧力角は刃となるラック形状のパラメータであり、進み角 γ は角度を付けて配置される刃すじの傾き角である。

ホブと被削材を図5に、双方をホブ盤に取り付けた状態を図6に示す。平歯車の切削ではホブの進み角を打ち消すようホブを保持するため、ホブ回転軸を支えるテーブルを進み角 γ (図4)分、傾けて用いる。

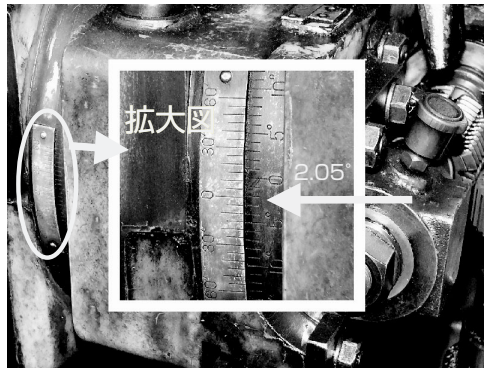


図7 ホブ回転軸の傾き 2.05° (図4の進み角 γ を打消す)
※図6の左側にあたる

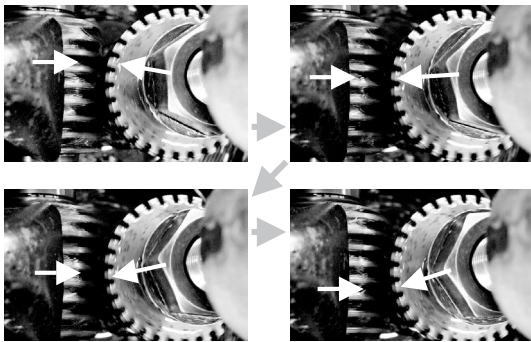


図8 ホブとかみ合い削り出される歯車

図7は、モジュール $m=2$ 、歯数30枚の平歯車切削の例である。ホブの進み角 γ を打ち消すよう、ホブ回転軸を傾けている。この傾きにより、図6のように、被削材の軸に平行な、平歯車の歯みぞを削ることができる。

図8に切削中の材料直上からの連続写真を示す。撮影間隔はホブ1回転程度で、1山ずつかみ合いがずれていく。図中に、対応する歯とホブの谷間を矢印で示した。らせん状に配置されたホブの刃の間に歯車の歯が入り、また出る様子が見てとれる。

ホブの刃はラック形状(図3)で、らせん状に配置されているので、ホブと被削材の回転比は、ホブ1回転につき被削材を(1/歯数)回転とする。この例では、ホブ1回転当たり、刃は $\pi m = 2\pi = 6.283$ [mm] 移動し、被削材は $1/30$ 回転 $=360^\circ/30=12^\circ$ 向きを変える。この間、1回転に10枚の刃を持つこのホブでは、直近の2枚の刃による切削領域はその10分の1に相当する影響を受け、変化する。ある刃がある歯みぞを切削した後に、次の刃の切削位置は 0.6283 [mm] ずれ、材料は 1.2° 回転し、わずかに異なる領域を切削する。図9に、その切削領域変化を

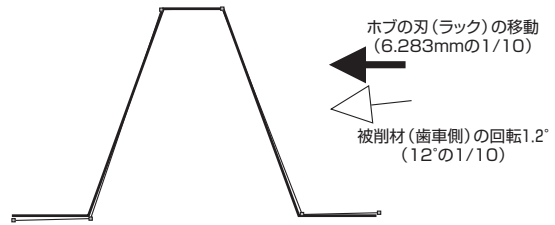


図9 直近2枚の切れ刃による切削領域の差

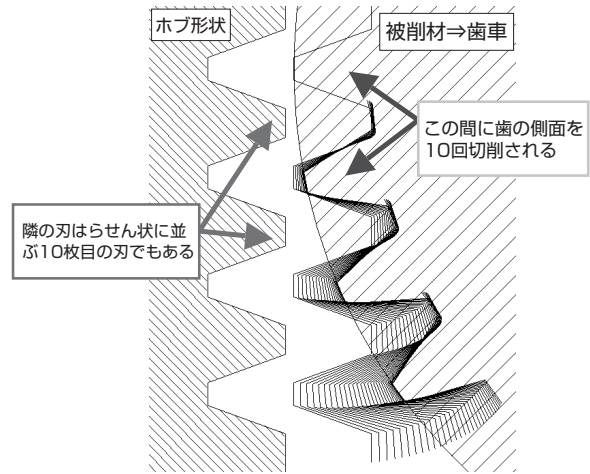


図10 ホブによる歯形創成

示す。

図10に、図8と同一の視点から見た、歯車になりつつある被削材周辺にホブの刃が描く軌跡を示す。図には下側半分を示すが、上側にも対称であり、形作られる歯は図11のように対称である。歯面を切削する一刃一刃の形状は直線状だが、微小に向きを変えながら多くの刃が切削していくことで滑らかな歯形を得られることがわかる。

ホブ盤(日本機械製作所 NJ-300)では、ホブ軸と被削材軸は歯車により接続されている(図12)。歯数変更の際はこの2軸間に配される歯車を組み替えることで、ホブと被削材の回転比を調整する。

ホブ盤付属の早見表に記載された歯数を切削する際には、歯車セットの歯数を記載どおりにするだけでよい。計算式も与えられており、表に記載されていない歯数にも広く対応できる。例えば、記載のない165枚歯の歯車を作ろうとした際には、与えられた式「 $12/N = A/B \times C/D$ 」(Nは歯数)により、 $A=24$, $B=80$, $C=24$, $D=99$ とすることで、加工している。図12は、このときの歯数割り出し歯車セットである。式から、この機械は、A軸とD軸が同一の

回転であれば、ホブ1回転につき被削材を1/12回転する機械（12枚歯を切削する比率）であることがわかる。A軸とD軸間をむすぶABCDの歯車を組み替えることで、幅広い歯数の切削に対応する⁴⁾。

4. ホブによる歯車加工課題と教育効果

総合制作実習全体を通じての効果として、機械加工技術の1つを十分に経験させることができた。これは、自分たちで部品設計から取り組んだ製作品に愛着を持ち、卒業式の間際まで調整に勤しんでいた学生たちの取り組みに見てとることができる。

ホブによる加工について限定して見れば、学生たちは当初、扱いに慣れたフライス・旋盤に比べて複雑な、歯車切削専用であるホブとホブ盤の見慣れないパラメータに戸惑っていた。しかし、一度どのように歯が削りだせるのか理解した後は、自在に歯車を削り出すことができた。切削速度・切り込み・送りといった、切削の基本は2年生の彼らにとって既に身近なものであり、例えば薄板に歯切りをしようとしてビビリが出れば、薄板を補助するジグを別に作るような工夫も、自分たちの常識に照らし合わせることで自発的に行うことができた。

旋盤・フライスを修めた学生たちにとって、ホブによる切削は、機構上の姿としてやや複雑で新鮮に見える、一方で馴染み深い切削加工でもあり、汎用工作機後の題材として興味深く迎えられたと思われる。

5. おわりに

総合制作実習において、平歯車を3つの加工法を用いて製作させた。本稿では、そのうちのホブを用いた歯車製作について詳述した。

「機械式の振り子時計」を課題とすることにより、学生の興味関心を引き、内容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、という目標を達成することができた。

複数の歯車製法によって作られた歯車は、表面性状や、理論形状に対するズレが異なることから、潤滑性や寿命にも違いがある。これらについては、

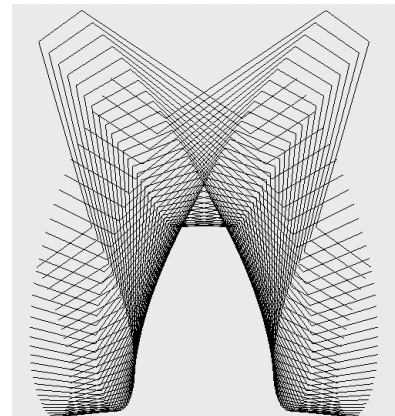


図11 歯1枚の周辺工具軌跡
※削り残された中央部が歯となる

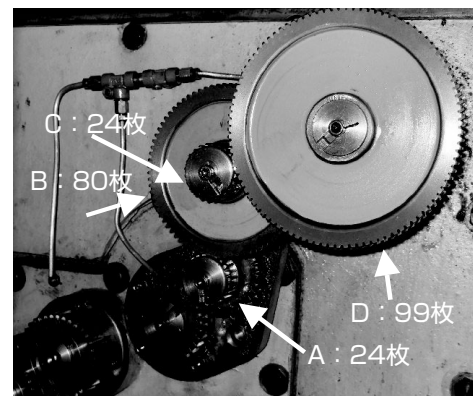


図12 歯数割り出し用換え歯車
(A~D軸間で増減速し被削材軸を駆動する)

実習内で評価にまで至らなかったが、加工に加えて材料による差異や破壊を含めた実習として今後検討していきたいと考えている。

なお本稿は、2006年3月に卒業した山内浩司君、奈良貴行君、佐々木健佑君が総合制作実習として取り組んだものである。

また、本稿作成に際し、当校の渡邊龍三校長をはじめ、当校機械系および弘前大学知能機械工学科の先生方に多くのご助言をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 須永浩一：「技能と技術」, 第252号(2008), (社)雇用問題研究会, p33-38
- 2) 技能士の友編集部(編著)：「歯車のハタラキ, 大河出版」, 1973
- 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, 1965
- 4) 株式会社日本機械製作所：NJ-300ホブ盤使用説明書