

総合制作実習における「機械式時計の設計・製作」の取り組み

Efforts in 'Design and Manufacturing of Mechanical Watches' in the Comprehensive Production Practice

日 與 川 輝 季 *1

HIYOKAWA Koki

要 約 2024年度総合制作実習において「機械式時計の設計・製作」をテーマとして設定し、時計の設計・製作に取り組んだ。本テーマは生産技術科で習得する技術を活用したものづくりを経験すること、製作した製品をオープンキャンパス等で展示することで広報に役立てることを目的としている。本稿では、総合制作実習において取り組んだ事柄について報告する。

1 はじめに

生産技術科は、機械加工を中心とした機械設計、精密測定などの基本的な機械の技術を身に付け、高度化する生産システムの革新に対応できる実践技術者の育成を教育訓練目標としている。標準カリキュラムは、それらの技術を要素ごとに各科目において習得する構成となっている。各技術を融合させ一連のものづくりを学ぶ科目が総合制作実習である。

本稿に述べる総合制作実習においては前述した内容を踏まえ、製作物をオープンキャンパス等で展示することで生産技術科や工業製品に興味を持ってもらうことを目指した。身近な製品でかつ動いて興味をひくものとして機械式時計の設計・製作をテーマとした。当該テーマの製作物は展示物として使用されるため、置き時計である。学生は時計の内部機構設計や難削材であるステンレス加工等を通じて技術力向上を目指した。

2 機械式時計の概要

図1に機械式時計の全体像を示す。時計の構造は動力部、調速部、変速部、フレーム等に分かれる。

動力部ではゼンマイばねを用いて力を溜め込みすべての機構を動かす。またラチェットとねじ巻きを用いた機構で少ない巻き数で力を溜め込みやすくする。

調速部は脱進機と呼ばれ、巻いたゼンマイばねが一気に巻き戻るのを防ぎ、一定間隔で解いて回転させる役目がある。脱進機は振り子を用いたものとひげゼン

マイを用いたものに大別される。前者は掛け時計や置き時計に使用され、後者は腕時計に多く使用されている。学生と検討した結果、興味を持ってもらえそうな

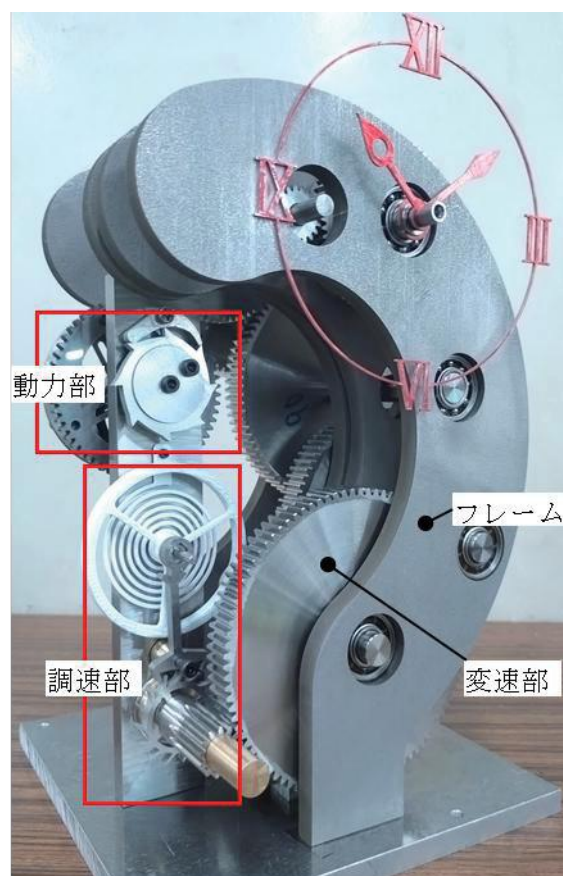


図1 製作した機械式時計の全体像

*1 生産技術科
Department of Production Technology

構造や動きはひげゼンマイを用いた時計という意見が
 できたことからそちらの脱進機を製作することにした。
 ひげゼンマイを用いた脱進機はひげゼンマイ、ガンギ
 車、アンクル、てんぷからなる。図2に脱進機の動き
 を示す。てんぷとひげゼンマイにより一定のリズム
 でアンクルを揺動させることができる。アンクルの爪
 がガンギ車を回転、停止と繰り返すことで時計の針が
 一定の速度で回ることができる。また、アンクルが揺動
 し、ガンギ車のブレーキを外す際にガンギ車がアン
 クルの爪を押すことでてんぷとひげゼンマイが揺動す
 るエネルギーを与え、減衰せずに動き続けけること
 ができる。この部分が時間の正確性を決める部分になる。

変速部は歯車を用いている。時計に使用されている
 歯車はサイクロイド歯車が一般的であるが、製作す
 る時計は入手がしやすいインボリュート平歯車を用い
 て設計を行った。

フレーム等は歯車を支えるフレームやベースプレ
 ート、時刻を知らせる針や文字盤などがある。

3 製作過程

機械式時計全体の設計は新規で行った。市販されて
 いる時計から大きさやデザインの検討から行った。時
 計本体やゼンマイばねの構造は安価な樹脂製の機械式
 時計の製品を参考にした。歯車は加工に時間がかか
 ると考えたため既製品の購入とした。

3. 1 動力部の設計・製作

動力部にはゼンマイばねを含んだ歯車、ラチェット
 を3DCADで設計した。図3に製作した動力部を示す。
 ゼンマイの巻き上げはラチェット側から六角レンチで
 巻き上げられるように設計した。ゼンマイばねは前
 述した製品を参考に厚さ0.5mmのSUS301のシム
 プレートを購入して使用した。ラチェット、ラチェット
 爪や歯車の形状はワイヤ放電加工機で加工を行った。

3. 2 調速部の設計・製作

脱進機は「動く模型(時計)の設計と製作について」¹⁾
 や無料でダウンロードできるSTLデータ²⁾などを参
 考に設計した。STLデータから実際に3Dプリンター
 で出力し動きや大きさを確認した。参考文献1)より
 ガンギ車の歯数は15枚、ガンギ車のはさみ歯数2.5枚
 の大きさのアンクルとした。ガンギ車、アンクルの爪
 の角度や歯の角度の作図方法を参考文献1)から参考
 にし、3Dプリンターで試作をしながら滑らかに動く
 よう爪や歯の角度を微調整した。ガンギ車、アンクル

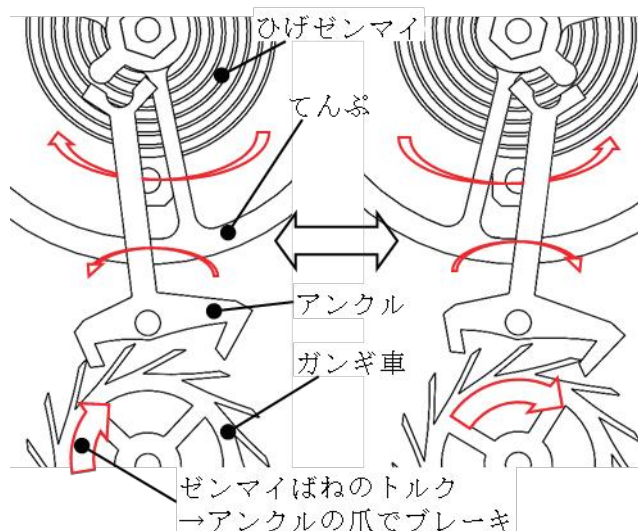


図2 脱進機の仕組み



ラチェット側

ゼンマイ側

図3 製作した動力部

は形状が複雑なため2DCAMを用いたプログラミング
 を行い、ワイヤ放電加工機で加工を行った。アンク
 ルはワイヤ放電加工後に組やすりや紙やすりを用い
 て表面を磨くことにより、ブレーキ動作やガンギ車
 がアンクルの爪を押す動きが滑らかになるようにした。

ひげゼンマイとてんぷの振動数は一般的に早いほ
 ど時計の精度が良いとされており、近年の腕時計は
 4Hzが多い³⁾。展示することを考慮し、少し遅めの3Hz
 とした。

ひげゼンマイは既存の製品で対応が難しいことや
 製作が困難であるため3Dプリンターでの製作とし
 た。てんぷは金属で作成してしまうと設計した振動
 数とすることが困難なため、こちらも3Dプリンター
 での製作とした。

3. 3 変速部の設計・製作

歯車の必要な数を決定するためにガンギ車と分針
 の周速比を計算した。時計の分針は1時間に1回転す

ることから 1/3600(回転/秒)である。脱進機はガンギ車の歯数や振動数から 6/15(回転/秒)となる。上記の条件から分針を基準とした時の周速比は 1440 となる。図 4 に歯車の配置を示す。歯車を配置する範囲は販売されている置き時計のサイズを参考に 200mm × 250mm とした。この範囲に収まるよう市販の平歯車を用いて周速比 1440 になる歯車の歯数を検討した。結果、脱進機から分針への歯車はモジュール 1、歯数は 13,13,17,17,90,90,92,95 枚とした。分針から時計の周速比は 12 であるため歯車はモジュール 0.8、歯数は 19,19,66,66 枚とした。

3. 4 フレーム等の設計・製作

歯車を支える柱は脱進機の動きを見せやすいように柱がかぶらない形状としてフック形状に設計をした。図 5 に CAE 画面を示す。取り付ける歯車の重さをもとに静解析を行ったわみの大きさを確認した。変位は 0.001mm 以下であり、組み立て後のたわみで軸の回転に影響はないと考えた。

歯車と軸が重なる部分などは軸に溝加工を施すことで干渉を回避した。フック形状の柱は汎用フライス盤でワイヤを通す穴と土台プレートに取り付けるためのねじ下穴を加工した。フック形状の柱等は普段の実習で使用しているバイスでは挟めないため、ステップクランプを用いた取り付けを指示した。汎用フライス盤での穴加工後、ワイヤ放電加工機で加工を行った。土台プレートは 6 面フライス加工の材料を購入し、ざぐり穴加工を行った。また、脱進機や動力部が取り付けられるプレートは汎用フライス盤でドリル及びリーマ加工にて仕上げた。

フック形状の柱や土台プレートなどは SUS304 を購入し加工を行った。学生にはドリルの先端角 118° と 130° のものでそれぞれ同じ切削条件で加工を行ってもらい、加工時の音の違いや切りくずの出方などの違いを体験してもらった。

文字盤や時計の針は厚み 1mm のアルミニウム合金で製作をした。文字盤は細穴放電加工機でφ1.5mm の穴を開けたのちに 2DCAM を用いたプログラミングでワイヤ放電加工機にて加工を行った。時計の針は軸に対してしまりばめではまるように設計をした。切り欠きを作ることで金属の弾性を利用し取り付けができるようにした。また、時計の時刻合わせは針を直接触って動かして合わせる設計にした。

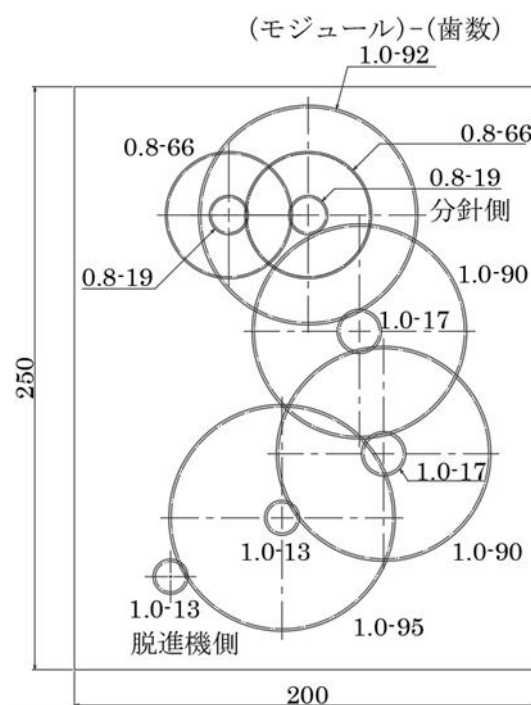


図4 歯車の配置

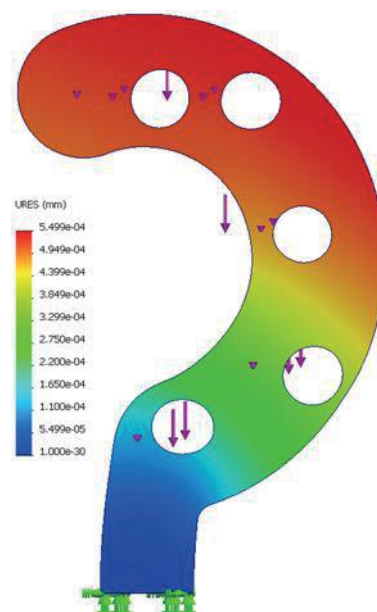


図5 CAE画面

3. 5 組み立ておよび調整

図 1 に示したように各部の組み立てを行うことができた。図 6 に時計側面を示す。各部のクリアランスが狭く歯車、ベアリング等の取り付けがしにくかった。またフック形状の柱は土台プレートと六角穴付きボルトで締結しているが、土台プレートの下側からボルトを締める構造のため各種調整のしにくさが増すことになった。脱進機を除いての動きはゼンマイからの動力

を滑らかに伝達し大きな問題はない。しかし、脱進機の稼働が連続で行うことができず時計としての機能を持たない結果となった。

4 製作した機械式時計の動作結果の考察

製作した機械式時計は脱進機の動きのみに問題があったためその原因をいくつか考察していった。

脱進機の試作には前述したとおり 3D プリンターを使用し滑らかに動くよう設計を調整していった。しかし、3D プリンターで稼働する設計となっており、ワイヤ放電加工機により製作したアンクルはやすりによる修正や調整がしきれなかったことが考えられる。またガンギ車は 15 枚すべての歯に同じ調整をすることは困難であるため、調整を行っていない。試作用のフレームやてんぷ、ひげゼンマイは 3D プリンターで製作し、アンクル、ガンギ車はワイヤ放電加工で試作を行うことでこの問題は回避できると考えた。

参考文献 1) を参考にアンクルやガンギ車の爪、歯などの作図を行ったが、参考文献 1) に記載されている時計は振り子時計である。振り子用の脱進機設計をひげゼンマイ用の脱進機に置き換えて設計したことが原因のひとつと考えられる。参考文献 1) の作図方法は角度の情報のみを使用して作図しているため大きさや歯数が異なっても相似な図形を作図可能と学生は判断したことが背景にある。時計設計に関する文献探しに苦勞しており、ノウハウがない中でこの参考文献は学生にとって非常に参考になったことは確かである。

図 7 にガンギ車の軸の傾きを示す。今回の設計では脱進機の動きを見せるためガンギ車の軸を片持ちにしている。軸に取り付けられた歯車の分、長く突き出た軸を使用することとなった。その結果、図 7 に示したようにガンギ車がわずかに傾きアンクルの爪やガンギ車の歯が本来想定する接触をしなかった。そのため脱進機が動かなかったと考えられる。

5 おわりに

学生は時計に関する知識が何もない状態で始めたため設計に非常に苦勞をしていた。8 月の夏季休暇までには設計を終えて欲しかったところであるが 10 月までかかってしまった。その後、加工や組み立てなど行いポリテックビジョンまでには形にすることはできた。しかし、時計として動くことはできずオープンキャンパス等で展示する物としての目標は達成できなかった。もう一つの目標である時計の内部機構設計や難削材であるステンレス加工等を通じて学生の技術力向

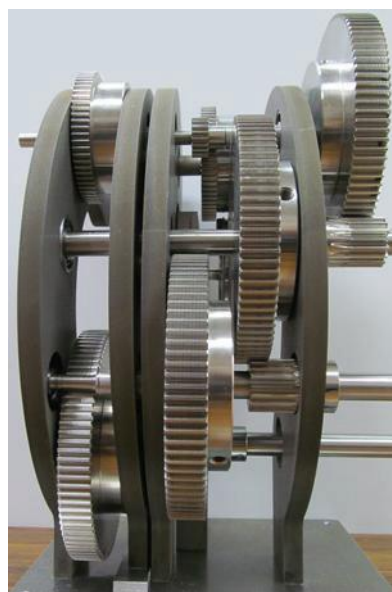


図6 時計側面

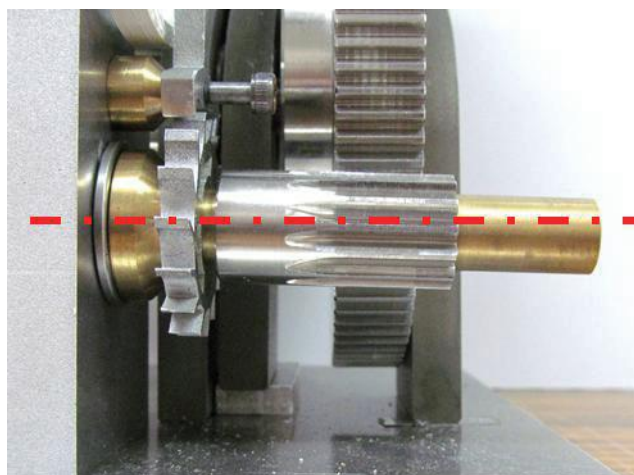


図7 ガンギ車軸の傾き

上は達成できたのではないかと考えている。また、組み立てのことを考えて設計を行うことや動かない原因の究明、改善案の策定などを検討することができたのも学生にとって大きな収穫であると確信している。

参考文献

- 1) 小島勤, 「動く模型(時計)の設計と製作について」, 茨城大学教育学部紀要, 第24号
- 2) Thingiverse, Flying Tourbillon Model 1.5 Remixed
<https://www.thingiverse.com/thing:4317411>
- 3) 小牧昭一郎, 「機械式時計講座」, 東京大学出版会