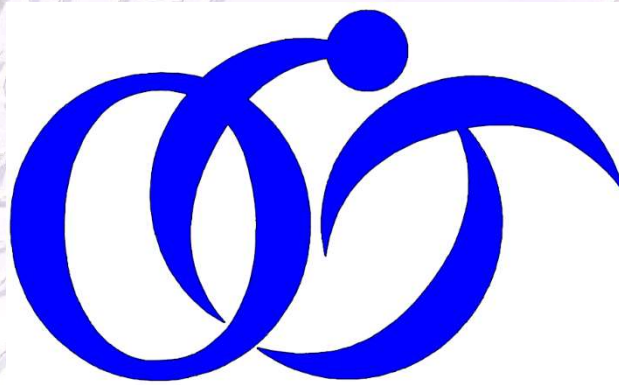


大分県立工科短期大学校

機械システム系

卒業研究発表会

予稿集



Oita Institute of Technology

2023年3月

大分県立工科短期大学校

令和4年度 大分県立工科短期大学校 公開卒業研究発表会（機械システム系1）

日時：令和5年3月7日(火) 8:55～11:30(予定)

場所：講堂

No.	研究テーマ	学生氏名	指導教員	コース	開始	終了
	開会挨拶	学科主任 栗林 仁			8:55	
1	小径ボールエンドミル工具による微細精密3次元形状加工	木村光佑 橋口晏空	栗林 仁	デジタルメカ	9:00	9:13
2	ヒットアンドミスエンジンの設計・製作	岩尾 駿希 小林 大斗 佐藤 匠	十河 英二	デジタルメカ	9:13	9:28
3	メカニカル装置の設計・製作	清原 莊一朗 久田 玲大 松井 誠尚	山木 崇正	デジタルメカ	9:28	9:43
4	機械構造用合金鋼において不完全焼入れ組織の機械的性質の調査	中島和哉 伊藤滉真	入部 久志	デジタルメカ	9:43	9:56
休憩						
5	エアホッケーの設計・製作	春岡 祐輝 横濱 凌央 吉村 洋喜	渡邊 亮	デジタルメカ	10:06	10:21
6	各種機構の組み合わせ模型の設計・製作	荒石 侑輝 長野 太飛	小南 健治	デジタルメカ	10:21	10:34
6	スコヤマスタの設計・製作	福島大空 吉田祐希	宮本 敏明	デジタルメカ	10:34	10:47
	ポスターセッション				11:00	11:30

※発表時間⇒1人(発表10分、質疑2分)、2人(発表11分、質疑2分)、3人(発表12分、質疑3分)

小径ボールエンドミル工具における 微細精密 3次元形状加工

機械システム系デジタルメカエンジニアコース 2021112 木村 光佑
2021124 橋口 晏空
指導教員 栗林 仁

1. はじめに

近年では、製造業のグローバル化に伴い、スマートフォンや情報通信機器部品・自動車部品などの微小部品加工において、小径工具での精密加工の要求が増えている。精密加工では、加工の製品評価として、表面性状、形状精度、寸法精度の3つが挙げられる。

そこで、今回の研究では、これまでの数年間の実験結果を踏まえて、微細精密3次元形状加工を行う。加工モデルは昨年同様に複数の文字に対して、それぞれの文字の高さを2 μm ごとに変化させた形状とする。文字高さが2 μm ごとに微細な変化が伴っているかどうか評価を行う。さらに、ワーク形状は角度を変化させ、その角度ごとの表面性状、形状精度についても評価することとした。

2. 研究概要

本研究の目的は、過去の卒業研究の結果を参考にし、最適な条件下で加工、評価を行い、精密加工を進める上で加工精度に影響を与える因子について研究する。今年度は0~40度の角度のモデルに対して微細な段差をモデル化し、精密加工を行う。微細な段差の文字は、大分県立工科短期大学のロゴマークと同校の英語名「OITA INSTITUTE OF TECHNOLOGY」から「O」、「I」、「T」の4文字を左から2 μm 、4 μm 、6 μm 、8 μm (図1)と文字を浮かせるような加工を行う。また、50~70度は材料とホルダが干渉することから、文字は入れず表面性状、形状精度のみを測定するために加工を行う。

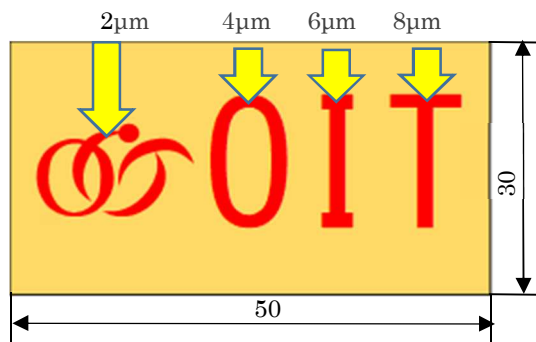


図1 文字高さ

3. 加工モデル及び加工条件について

3.1 加工モデルについて

今年度は図2のようにワークに0~70度の角度を設け、40度まで昨年度と同様に図1の文字を浮かせるようにした。

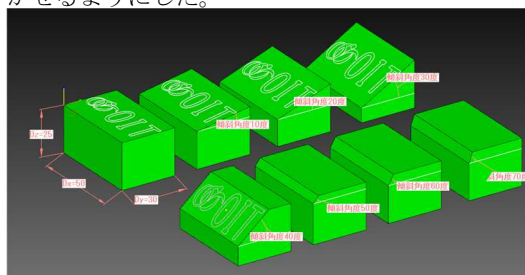


図2 0~70度のモデル

図2が今回のワーク寸法である。30度と40度は高さを25mmにして加工する際のワークの掴み代が無くなってしまったため、30度と40度のワークは、縦と横のサイズは変えず、高さを30mmのサイズで行うことにした。

3.2 測定条件及び加工条件について

10度の場合の加工条件と、加工に関する仕様を表1、表2に示す。

表1 加工条件(10度の場合)

加工順序	工具径 (mm)	回転数 (min ⁻¹)	仕上げ代 (mm)	カスプ高さ (μm)	理論カタログ上 切削速度 (m/min)	実切削速度角度 10° (m/min)	ピックフィード 量(mm)	刃数 (枚)	1刃当たりの送り量 (mm/刃)	送り速度 (mm/min)	突き出し長さ (mm)	L/D
1	φ6	10,000	0.15		180	33(18%)	切り込み量 Z方向0.5 XY方向3.0	2	0.1	2,000	15	2.5
2	φ2	24,000	0.1	H=1	180	27(15%)	0.089	2	0.0445	2,136	10	5
3	φ2	24,000	0.03	H=1	180	27(15%)	0.089	2	0.0445	2,136	10	5
4	φ2	24,000	0	H=1	180	27(15%)	0.089	2	0.0445	2,136	10	5

表 2 仕様

工作機械	安田工業(株)製マシニングセンタ(YBM950VIII)
主軸回転数	(MAX)24,000min ⁻¹
使用工具	日進工具(株)製(MSBH230)
切刃数	2(teeth)
ホルダ	ハイドロチャック式ホルダ(大昭和精機(株)製)
測定器	微細工具測定器(OPTECH-MES/MES-D50)
	ユニオンツール(株)製
	表面粗さ計(株)東京精密製
	デジタルマイクロスコープVHX-S15((株)キーエンス製)
被削材	NAK80 50×30×25/50×30×30(HRC40程度)

加工は4工程で行い、ホルダはハイドロチャック式ホルダを使用した。振れ量が小さく安定している。また、締め付けが容易で、締め付け強さが重要であることから、六角レンチを使用し強締めで行った。工具長の測定はレーザー式で行った。仕上げ加工の切り込み量は、スリップ現象を起こさないように工具径の1.5%以上の量で行った。スリップ現象とは、切り込み量が極小の場合、被削材に刃が切り込まずに擦るような切削になってしまう現象のことである。さらに、工具の突き出し長さは極力小さくし、L/Dは5以下を目標とした。加工方向は、全てダウンカット¹⁾で行った。

4. 加工(外観評価)

図3は完成した加工品である。外観評価としては、良好に加工できていることを表す虹面が確認できたことから、加工条件がほぼ最適であったことが伺えるが、文字のある箇所とない箇所において、表面の仕上がりに差があることが分かった。

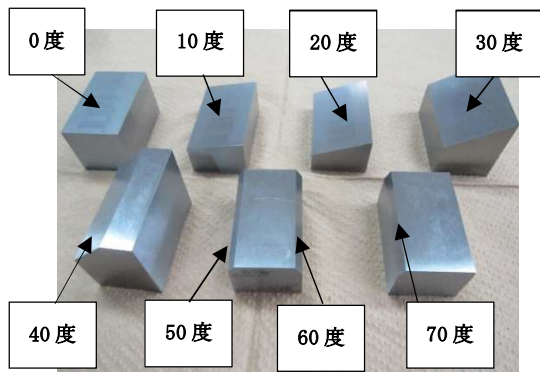


図3 加工後のモデル

5. 測定評価

表面粗さ計とデジタルマイクロスコープで測定した表面性状・形状精度・寸法精度の結果を以下に示す。

5.1 表面性状

表面性状²⁾の測定結果は図4に記す通りである。文字のある箇所とない箇所の差を観察するた

め、文字「O」の箇所と文字の下部を測定した。

表面性状の最大高さ粗さ(Rz)の測定結果は図5に示す。理論上の表面性状は、 $H=Rz=1\mu\text{m}$ に対して、送り方向=ピックフィード方向=理論最大高さ粗さは $1\mu\text{m}$ 以内である。

$$H \approx Pf^2/8R \quad (1)$$

$$H \approx (Zf \cdot f)^2/8R \quad (2)$$

H :山の高さ Pf :ピックフィード量 Zf :刃数
 R :工具半径 f :1刃あたりの送り量(mm/刃)
 $Zf \cdot f$:一回転あたりの送り量(mm/rev)

上記(1)(2)はピックフィード方向と送り方向のカスプ高さ算出式である。

$$Rz \approx (Pf^2 + (Zf \cdot f)^2)/8R \quad (3)$$

Rz 最大高さ粗さ

(3)は(1),(2)の合成式(3次元曲面理論最大高さ)³⁾である。今回の切削では、(1),(2)の算出式を使用せず、(3)の合成式を用いた。カスプ高さ $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度の精密加工では、ピックフィード方向のカスプ高さ、送り方向のカスプ高さの両方を考慮した場合の3次元加工面における理論最大高さの近似式(3)を用いることが望ましいと考える。このことから、最大高さ粗さの理論値は $1\sim 2\mu\text{m}$ となり、図5の測定結果はほぼ理論値の許容内となっている。このことから、表面性状の値に角度による大きな差はなかったと言える。

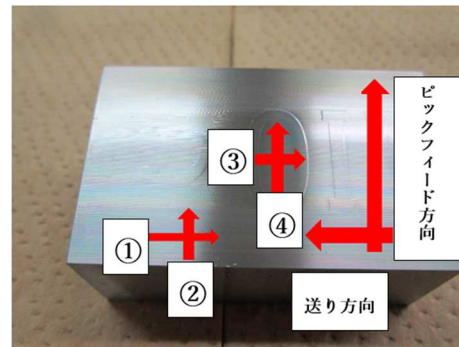


図4 表面性状(測定箇所)

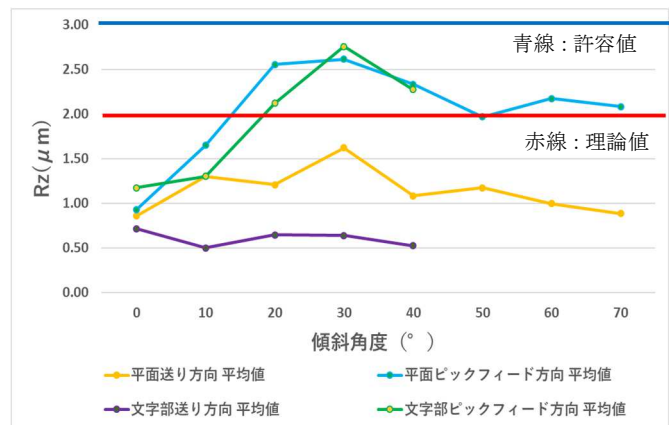


図5 表面性状(Rz)の測定結果

図 6, 図 7, 図 8, 図 9 は表面粗さ計で測定した結果の一例を示す。すべての図でほぼ均等な凹凸が出ているが、文字部の送り方向は平面部と比較すると凹凸が小さくなっていた。考えられる原因は、文字のある箇所では文字の段差ごとに送り速度を加減速しながら加工しており、設定値よりかなり減速されているため、理論値よりも凹凸が小さくなったと考えられる。

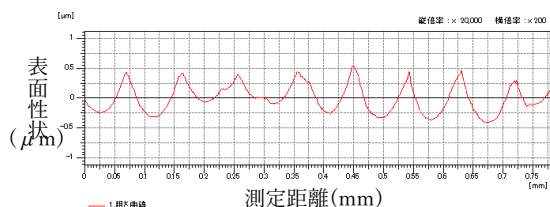


図 6 40度平面部送り方向①

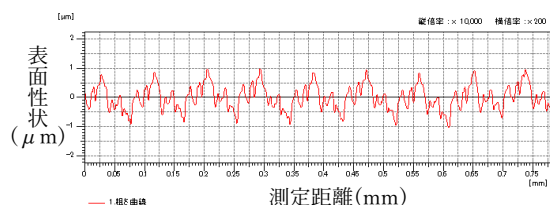


図 7 40度平面部ピックフィード方向②

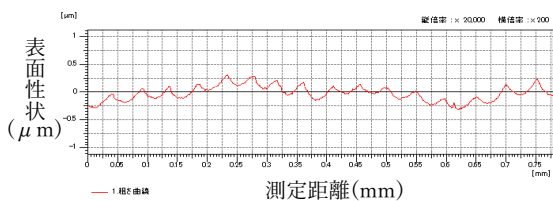


図 8 40度文字部送り方向③

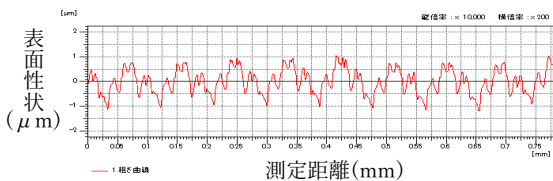


図 9 40度文字部ピックフィード方向④

5.2 形状精度

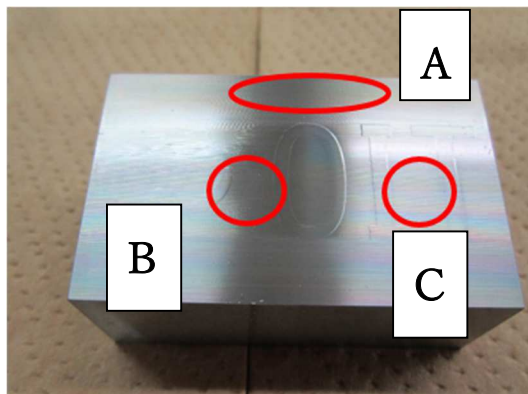


図 10 形状精度(撮影箇所)

形状精度の測定箇所は図 10 に示す通りである。表面性状同様、文字のある箇所とない箇所の差を観察するため、ロゴと O の間, I と T の間, 文字のない平面部をそれぞれ測定した。平面部が A, 文字部(左)が B, 文字部(右)が C とする。文字部を分けた理由は、同じ文字部でも測定箇所によって違いがないか確認するためである。

図 11, 図 12, 図 13 は倍率 250 倍のデジタルマイクロスコープで撮影した結果を示している。A の切削痕は正方形の形となっているが、B と C の部分は送り方向の切削痕の長さが短くなっている。また、B と C の部分だけで比較すると、C の部分の切削痕が鮮明になっている。原因は、ロゴと O の間よりも I と T の間の距離が長いから、送り速度の加減速が比較的安定し、設定値に近い送り速度が得られたと考えられる。

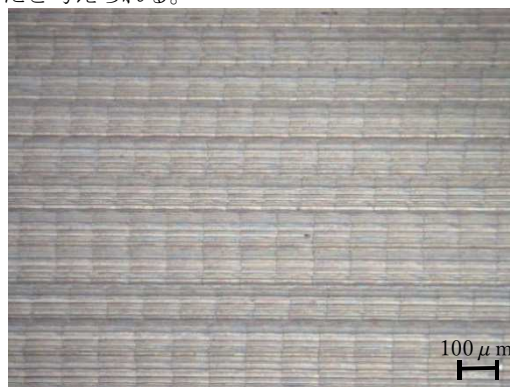


図 11 40度 A(×250)

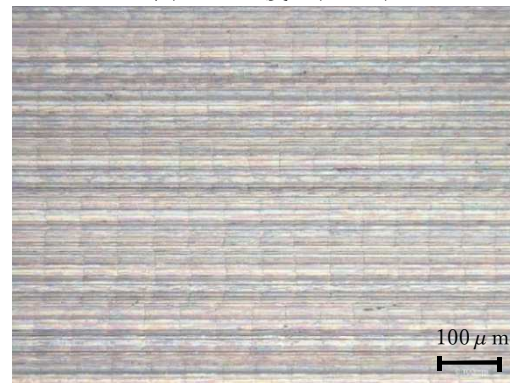


図 12 40度 B(×250)

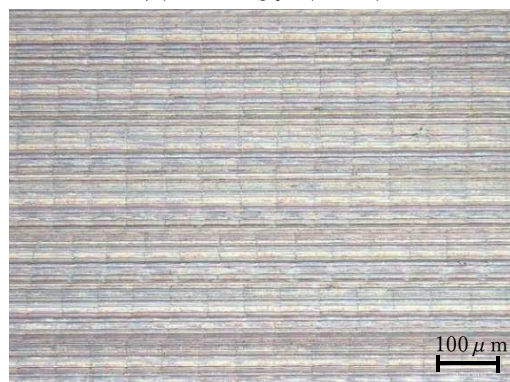


図 13 40度 C(×250)

表面粗さ計で測定した結果の一部を図 14, 図 15 に示す。平面部, 文字部, どの箇所でも角度が大きくなるにつれて, 切削痕が鮮明になり, ピックフィード方向と送り方向の切削痕の長さが均等になっている。表面粗さ計で凹凸を見ると, 角度が大きくなるほど凹凸も鮮明になっている。このような結果になった理由は, 角度が上昇していくにつれて実切削速度が理論上の切削速度に近づいていくため, このような結果になったと考察する。

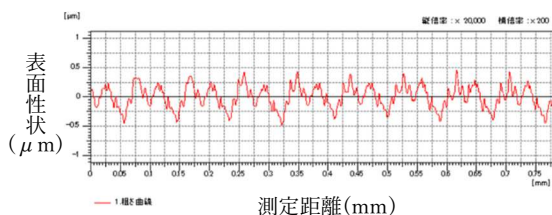


図 14 0度送り方向(平面部)

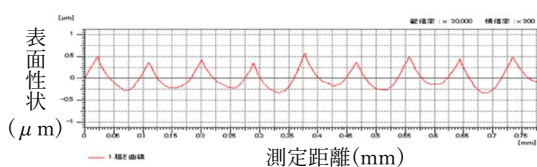


図 15 70度送り方向(平面部)

5.3 寸法精度

測定方向は, 図 1 に示す矢印方向に測定を行い, それぞれの文字に対して 3 回測定した。その平均値を表 3 に示す。図 16 に示すように断面曲線の評価で浮き出された断面高さを微細な段差として測定した。文字高さはどの角度も概ね理論許容範囲内となった。実験前は角度が大きくなるほど寸法精度が良くなると予想したが, 結果を見ると必ずしも角度が大きいくほど寸法精度が良くなるわけではないという結果が得られた。

表 3 寸法結果

	0度	10度	20度	30度	40度
①(2μm)	2.1	2.8	3.7	1.8	3.7
②(4μm)	6.7	4.7	3.7	4.1	5.5
③(6μm)	5.4	6.3	7.2	5.2	6.6
④(8μm)	8.2	8.6	9.1	9.4	9.4

表 4 総合評価

角度	振れ(μm)	加工面(外観)	寸法精度	表面性状(送り方向)	表面性状(ピック方向)	形状精度(送り方向)	形状精度(ピック方向)	文字部形状精度(送り方向)	文字部形状精度(ピック方向)	総合評価
0度	△	△	△	○	○	×	×	×	×	×
10度	○	○	○	○	○	△	△	×	△	△
20度	○	○	○	○	○	○	○	×	○	△
30度	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
40度	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
50度	○	○	△	○	○	○	△	△	△	○
60度	△	○	△	○	○	○	○	△	△	○
70度	△	○	△	○	○	○	○	△	△	○

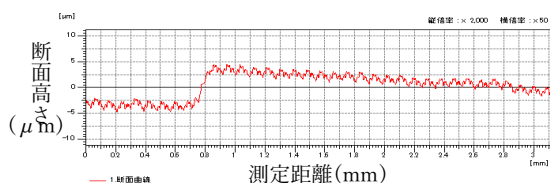


図 16 40度 (文字高さ 8μm の場合)

5.4 総合評価

9 つの評価項目により判断した総合評価を表 4 に示す。工具回転振れ量, 寸法精度, 表面性状は数値目標で「○」「△」「×」の 3 段階評価を行った。また, 加工面(外観)と形状精度については, 目視判断で同様の評価基準とした。今回の研究では, 主に表面性状, 寸法精度, 形状精度で評価を行ったが, 分析した結果, 形状精度以外は, 角度の違いによる大きな違いは出ないことが分かった。総合的に評価すると, 30 度以降の角度が良好なデータとなり, 文字のある角度だけで評価すると, 40 度が最も総合評価が高いという結果になった。この結果を踏まえると, 良好な面を得るためには切削速度は理論値の約 40%以上が必要であると考えられる。

6. おわりに

今回の実験では, 切削速度の違いが形状精度の評価を左右し, 総合評価にも影響を与えるという結果が得られた。このことから, 1~2μm の表面性状で良好な面を得るためには, 表面性状, 寸法精度, 形状精度の全てを満たすことが重要であり, 工作機械の最高回転数や送り速度, 切削速度などの切削条件が精度に与える影響について正しく認識し, 加工を行う必要があることを確認できた。

参考文献

- 1) 栗林仁: ボールエンドミル工具の加工特性が加工面に及ぼす影響について
- 2) 吉田一朗: 表面粗さ-その測定方法と規格に関して-, 精密工学会誌 Vol. 78, No. 4, (2012) pp301-304
- 3) 栗林仁: 小径ボールエンドミル工具における加工精度の評価-工具回転振れ量の影響について-

ヒットアンドミスエンジンの設計・製作

機械システム系デジタルメカエンジニアコース

2021107 岩尾 駿希

2021114 小林 大斗

2021116 佐藤 匠

指導教員 十河 英二

1. はじめに

私たちは卒業研究において、「デジタルツールを用いたものづくり」をテーマに、ものづくりの一連の流れを経験し、製作物の機械や構造などの理解を深め、さまざまな工作機械を使用することで就職先に役立つ技術を学ぶことを目的とした。また、テクニカルスキルはもちろんのこと、報告・連絡・相談などの企業で働くために必要なヒューマンスキルの向上を常に意識し、身に付けることを目的とした。

2. ヒットアンドミスエンジンについて

今回製作したエンジンは、4サイクルガソリンエンジンである。過去の卒業研究テーマでは、圧縮空気エネルギーを利用し、回転力を得るエンジンを製作しており、今回はそのノウハウを生かして、圧縮空気エネルギーの代わりに、爆発エネルギーを利用して回転力を得るエンジンの製作をテーマとした。ヒットアンドミスエンジンは一定の速度で回転し続けるエンジンであり、設定された回転数以下にならないと爆発はおこらず、爆発から爆発までの間はフライホイールの慣性で回り続ける。この動作を繰り返し行うことで一定の回転数で回転し続けることが可能となる。

3. 設計

3.1 構造

設計を始めるにあたり、インターネットや参考にしたモデルを利用して、エンジン内部の仕組みや、吸気、排気、点火のタイミング、ピストンとクランクについて調べ、その構造を理解した上で外観や内部構造をスケッチし、それをもとに3次元モデルを作成した。

ヒットアンドミスエンジンはスライダクランク機構で構成されており、図1で示すように、回転するクランクと往復運動をするピストンをコンロッドで連結することによって、ピストンの往復運動をクランクの回転運動に変えることができる仕

組みとなっている。

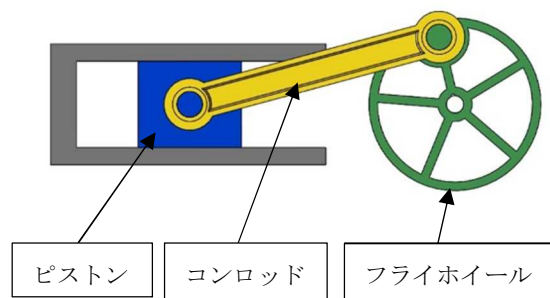


図1 スライダクランク機構

次に点火方法を調べるため、参考とするエンジンモデルを使用し、どのように点火が行われているのかを検証した。点火装置ではCDIと点火プラグを使用し、回転軸に取り付けられた磁石を図2のホールセンサーが検知し、CDIからの高電圧を火花に変え、点火させる仕組みになっていることを確認した。

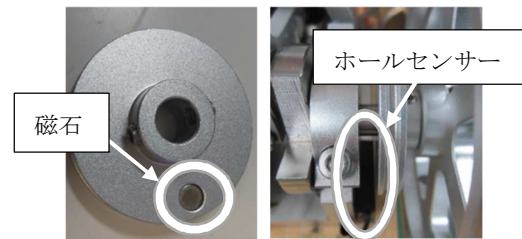


図2 磁石とホールセンサー

吸気についてはピストンが上死点から下死点に移動するタイミングで、負圧により吸気バルブ（図3）が開き、混合気が流入されていることを確認した。

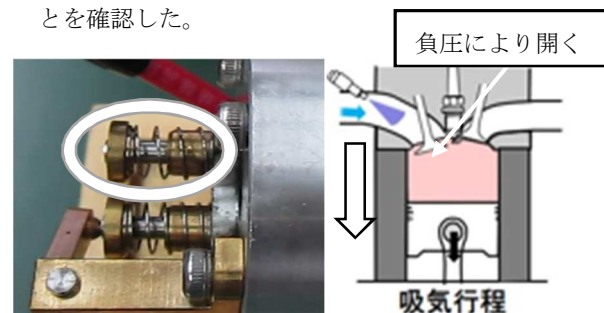


図3 吸気バルブ

3.2 ガバナ機構について

ガバナとは、機械において回転などの運動の速度を自律的に調整する機構である。回転数が一定速度以上に達すると、はずみ車中央部のスプリングで留められたガバナウエイトが図4のように遠心力により開き、ガバナガイド、アームに連動する。

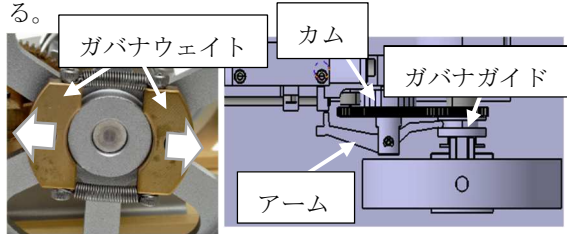


図4 ガバナウエイトとガバナ機構

ガバナガイドとアームが連動することで、図5のように、ロッカーアームにより排気バルブが強制解放状態になり、回転数が落ちると、ガバナガイドは閉じ、アームのロッド固定が外れカムと連動した通常排気となる。この一連の動作により回転数を一定に保っていることが分かった。

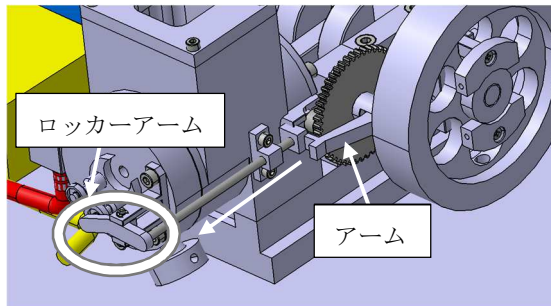


図5 ロッカーアームによる排気

3.3 仕様

市販のヒットアンドミスエンジンを参考に今回製作するヒットアンドミスエンジンの仕様を表1のように決定した。

表1 エンジン仕様

ピストン径 D	22 (mm)
回転数 N	1700 (rpm)
排気量	7.6 (cc)
はずみ車径	78 (mm)
ストローク	20 (mm)
燃料	混合ガソリン
点火方式	無接点 CDI バッテリー点火
点火信号	ホール IC 磁気センサー

3.4 回転数の計算式

ガバナ機構の引張りばねによる理論回転数を求めた。

フックの法則

$$F = kx \quad \dots ①$$

$$\left[\begin{array}{ll} F : \text{ばね張力 (N)} & K : \text{ばね定数 (N/m)} \\ x : \text{自然からの伸び量 (m)} & \end{array} \right]$$

円運動の公式

$$F = mr\omega^2 \quad \dots ②$$

$$\left[\begin{array}{ll} F : \text{遠心力 (N)} & m : \text{質量 (kg)} \\ r : \text{回転半径 (m)} & \omega : \text{角速度 (rad/s)} \end{array} \right]$$

ウエイトが広がる直前の時、外側に広がろうとすると遠心力とばねが縮もうとする張力が釣り合う。この時の釣り合い式を求める。

①,②式により以下の式が成り立つ。

$$mr\omega^2 = 2kx$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2kx}{mr}} \quad \dots ③$$

したがって、理論回転数を N とすると、

$$N = \omega \times \frac{30}{\pi} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2kx}{mr}} \quad \dots ④$$

と求められる。③, ④式より回転数を求めた結果、理論値としては、ばね定数 272N/m のときに 1700rpm 前後の回転数を得られることが分かった。

3.5 3Dモデル作成

3Dモデルを部品ごとに作成し、使用したCADソフト(CATIA)のアセンブリ機能を用い、3DCAD上で組み立てを行った。組み立て後、機構解析コマンドで、動作の確認と干渉がないかを確認した。作成した全体図を図6に示す。

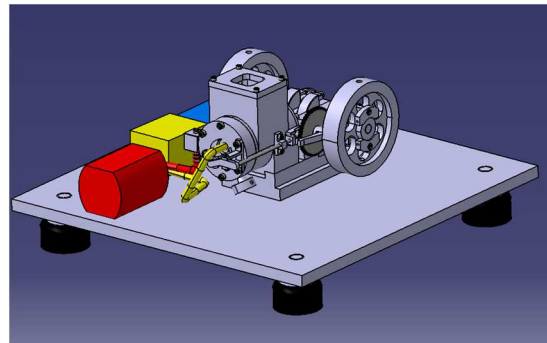


図6 作成した3Dモデル

3.6 2次元図面の作成

作成した3Dモデルから、組立図と部品図の2次元図面を作成し、製作図とした。

4. 加工

4.1 加工概要

加工ミスをなくすため加工工程表を作成し、NC 工作機械を使用するものは CAM システム等を利用し NC プログラムを作成した。

加工に使用する機械はワーク形状により分類した。マシニングセンタ・NC 旋盤・ワイヤー放電加工機・汎用旋盤・フライス盤を使用し、加工が必要な部品 41 点のうち、多くをマシニングセンタにて加工を行った。

4.2 マシニングセンタでの加工

マシニングセンタでは、本体や土台などの、製品の輪郭や穴あけ加工を行った。はめあい公差用箇所には、工具補正機能を利用し、公差の中央値を狙い加工を行った。また、バイスで固定できない部品等は専用の固定治具を使用した。

4.3 NC 旋盤での加工

NC 旋盤では、シリンダやピストンなどの丸物の加工を行った。NC プログラムに関してはマニュアルで行い、シミュレーションソフトウェアでプログラムの確認を行った。また、今回使用する材料に合う生爪がなかった場合は新たに生爪の加工を行った。

4.4 ワイヤー放電加工機での加工

ワイヤー放電加工機では、ガバナ機構に用いられる細かい構成部品などを主に加工を行った。

5. 組み立て

5.1 クランクシャフトの組み立て

しまりばめで作成したクランクシャフト中央を接合するために、はめ合い用嫌気性接着剤を塗り、万力を用いて圧入を行った。この時クランクが傾かないように 2 本の位置決めピン(図 7)で同心が取れるように組み立てをした。

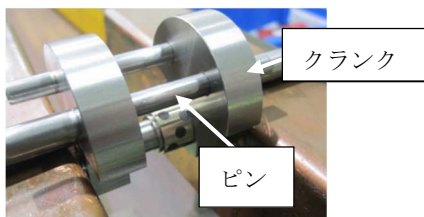


図 7 クランクシャフト組み立て

5.2 部品の組み立て

ピストンをシリンダに装着し、軸が滑らかに回転するようにクランク軸にころがり軸受を取り付け、土台に固定した。両側には、はずみ車やガバナ機構、ホールセンサーなどの構成部品を取り付けた。

完成後、ガソリンを入れ、動作の確認を行った。図 8 に完成した製品を示す。

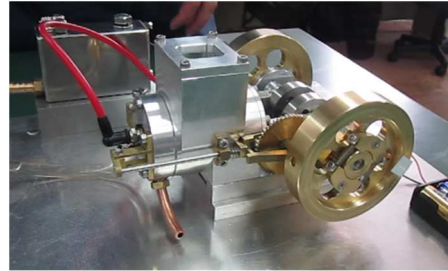


図 8 ヒットアンドミスエンジンの全体像

6. 調整

全体の組み立てが終了し、正常な爆発をし、滑らかな回転を得るために、点火タイミングや排気タイミングの調整を行った。

点火のタイミングは、ホールセンサーの磁石が取り付けられた部品の、固定用止めねじを図 9 のように六角レンチでゆるめ、ホールセンサーと磁石がすれ違うタイミングを調整した。

排気のタイミングは、点火タイミングと同様にカムが固定された歯車の位置をずらして調整をした。

また、キャブレターの混合比については、完全に閉めたニードルを 20°程度回し、ガソリンの供給量を調整したことで安定した燃焼をするようになった。

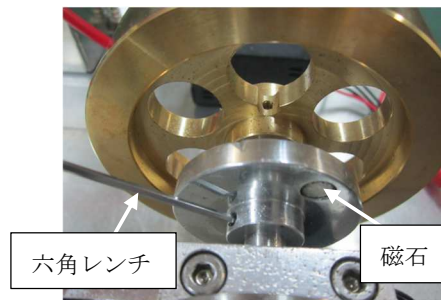


図 9 タイミング調整

調整を行う際、目盛りとして CAD を用いて描いた分度器を印刷した紙(図 10)をピストンの上死点位置を 0°として、はずみ車に貼り付け 10°ごとにタイミングをずらして点火と排気の調整を行った。

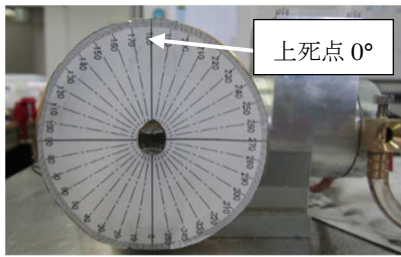


図 10 分度器を用いた調整

調整した結果、排気のタイミングは2回転を同期として200~450°であることが分かり、点火のタイミングは0°であることが分かった。この結果を「藤沢式バルブタイミング図」を参考にして2回転720°を1つの円グラフにまとめた。

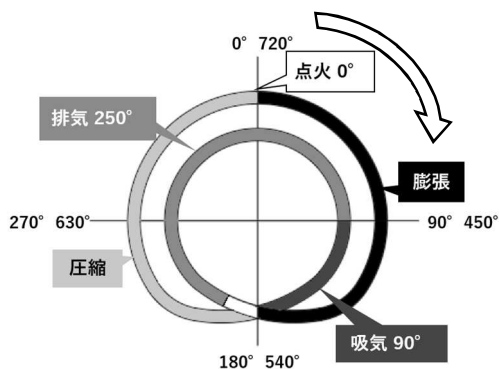


図 11 4サイクル工程円

7. 評価

7.1 回転数の測定

回転数測定には、デジタルハンドタコメータを用いて図12のように測定をした。また、ガバナ機構の引張りばねを交換し、回転数の変化をまとめた。

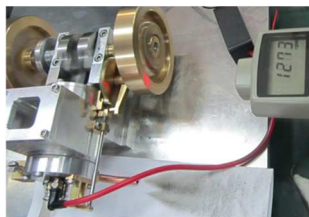


図 12 回転数測定の様子

7.2 回転数の調整

理論値で計算した結果をもとに、ガバナ機構についている引張りばねを変えながら適切な回転数を調べた。ばね定数が大きくなることでガバナ機構の重りが遠心力に耐える力が大きくなり回転数が上昇する。

図13を見る限り、ばね定数213N/mの引張りばねでは理論値と実測値に200rpmの差が発生し

た。これはガバナ機構の動作が正常に行われなかったため、重りに遠心力がうまく伝わらなかったのではないかと考えられる。また、ばね定数が479N/mから理論回転数より実測回転数が低いのは、回転数に対し、空気とガソリンの量が不足し、燃焼がうまくいかないためと考える。

ばね定数による回転数の変化

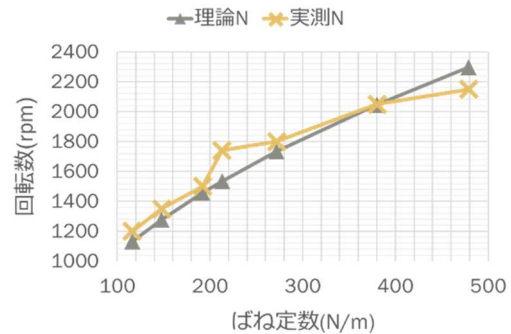


図 13 理論回転数と実測回転数

8 おわりに

今回製作した「ヒットアンドミスエンジン」について、回転数は1700rpm前後での安定した回転を目標としていたが、結果として1800rpm前後で安定した回転を得ることができた。

このように、目標の数値に近い値を出せた要因として、空気量とガソリン量の混合比をキャブレターで調整し燃焼しやすくした点、点火・排気のタイミングを変更し圧縮を調整した点、ガバナ機構に使用されている引張りばね定数から回転数を計算により求め、変更した点の3つの要素にあると考えられる。

このことにより、吸気時の混合気のガソリンと空気の割合の適正さ、圧縮時の点火のタイミングや排気時のタイミングの重要性を理解することが出来た。また、ガバナ機構については、重りと繋がっているばねの強さを変えることによる回転数への影響について検証した。今回製作したエンジンでは、272N/mのばね定数を持つ引張りばねが理論値1732rpmと計算でき、実測値もおおよそ理論通りの1800rpmとすることができた。したがって、今回製作を行ったエンジンは、仕様を満足するものであると考える。

本研究を通して、3人で協力し、ものづくりを行うことの難しさや楽しさを学び、工作機械の知識・技術を身につけることが出来たため、就職後に役立つ経験をすることが出来たと思う。

メカニカル装置の設計・製作

機械システム系デジタルメカエンジニアコース	2021113	清原 莊一朗
	2021126	久田 玲大
	2021130	松井 誠尚
		指導教員 山木 崇正

1. はじめに

1.1 目的

今回の卒業研究の目的は、メカニカル装置の設計・製作を通じてモノづくりの一連の流れを理解・習得し、加工技術や組立の知識、技能の向上とヒューマンスキルの向上を図ることである。

1.2 メカニカル装置について

製作するメカニカル装置について私たちは歯車やリンク機構により特定の動作をする装置だと考え、参考モデルとして Ugears 社のメカニカルキットを用いた。今回は、機構学で学んだ歯車列や4節リンクなどが用いられているタコメーターを選択した。

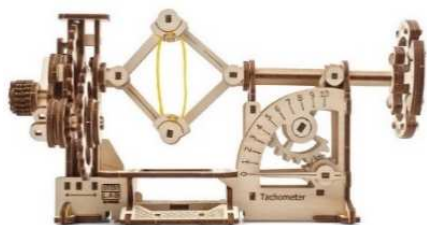


図1 参考モデル

2. 仕様

2.1 構想

メカニカル装置を製作するにあたり、モデルの耐久力の向上などを考慮し金属材料を使用するとともに、参考モデルをそのまま製作するのではなく、モデルにない機構の追加やモータ駆動などを検討した。

2.2 仕様

装置の仕様として以下の6項目に定めた。

1. 主要部品を金属で製作
2. 大きさ：約 600×200×250

3. 動力を手動とモータの両方に対応
4. 安全面を考慮し、装置をケースで覆う
5. メインシャフトの回転数を 2000min⁻¹ まで測定可能なものとする
6. 回転数の目盛の表記にラックとピニオン機構を用いる

3. 設計

3.1 基本設計

各部品の材質としては、ベースプレートやケースの土台、軸台といった大型部品は軽量化するためにアルミプレートを選定し、シャフト類は加工するため、他の材料と比べ、汎用性が高く切削加工性が良いため炭素鋼を選定した。部品同士が接触した際の耐久性を考慮し、リンクの腕部分やラックとメインシャフトとの連結を担う部品は SUS304 を選定した。

3.2 ばねの選定

リンクの開きは、遠心力とばねの張力が釣り合うことで調整し、回転が停止したのちリンクを初期状態まで復帰させる役割がある。

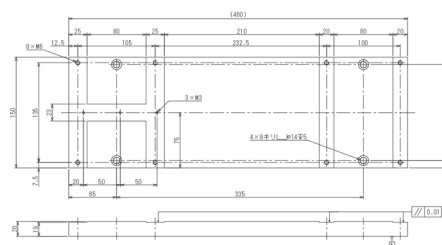


図4 2D図面

目盛板の各目盛当たりのシャフトのスライド量からリンクの開き量を計算し、回転半径を求めた。リンクに発生する遠心力 F は、回転数 N を角速度 ω に変換することで、式(1)で計算し、式

(2)のフックの法則よりばね定数 k を求めた。算出したばね定数のグラフをもとに 5 目盛と 6 目盛の平均値であるばね定数 0.765 [N/mm] のばねを用いることにした。

$$\text{遠心力} : F = mr\omega^2 \quad (1)$$

$$\text{フックの法則} : f = kx \quad (2)$$

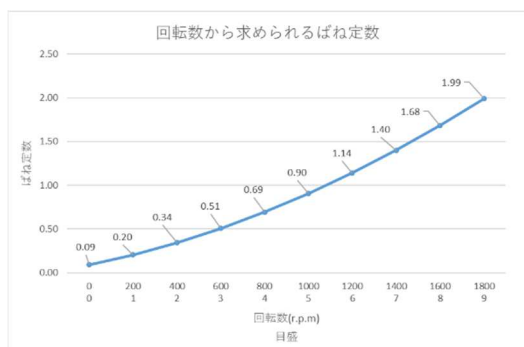


図 2 回転数から求められるばね定数

3.3 はめあいの適用

機械要素部品としてシャフト、歯車、ベアリング、ブッシュ等を使用するため、規格品に設定されたはめあい公差を調べ適用した。また加工部品のはめあいについては、独自に公差を検討した。

3.4 全体設計

参考モデルをもとに歯車のギア比や回転数を測定し、構想図を作成、3DCAD(CATIA)でパーツモデルを作成、アセンブリで各部品の干渉確認を行ったうえで 2D 図面化した。また、2D 図面化を進めると同時に部品に番号を振り分け、部品表を作成した。今回使用した部品点数は 295 点となった。

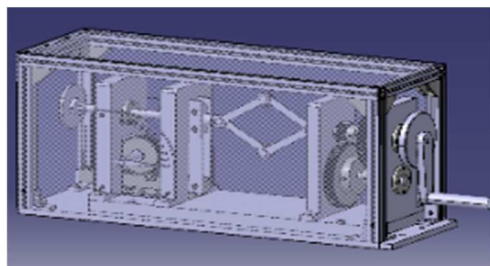


図 3 3D モデル

4. 加工

部品形状に応じて、汎用旋盤、汎用フライス

盤、ワイヤカット放電加工機、マシニングセンタを用いて加工した。

4.1 汎用旋盤

軸形状部品の加工に用いた。旋盤では端面加工と外径加工と穴加工を行った。

4.2 汎用フライス盤

主に板材やシャフトの平面加工、溝加工、穴あけに用いた。



図 5 旋盤加工



図 6 フライス盤加工

4.3 ワイヤカット

汎用機で加工することが難しい金属材料の R 形状加工や板材からの切り落とし加工に用いた。

4.4 マシニングセンタ

精度の高い穴位置の加工や、R 形状、配列形状を加工するために用いた。



図 7 ワイヤ加工



図 8 マシニング加工

5. 組立・調整

加工した部品から組立を行った。組立を終え、ハンドルによる手動動作時に抵抗が大きく安定した回転が得られなかったため、分解を行い、主要部分の計測を行った。ダイヤルゲージによる軸高さの計測により、メインシャフトが最大で 0.06mm 上方向に傾いていることが判明したため、 0.06mm のシムテープを土台と軸台の間に挟み軸台の軸高さの調整を行い、動作時の抵抗力が小さくなった。

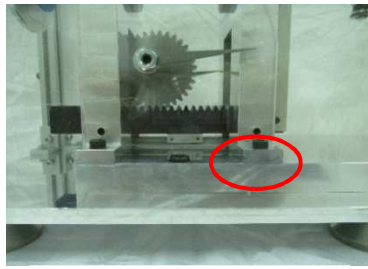


図9 シムテープ調整

試運転を継続すると、メインシャフトから摩擦音が生じたため、メインシャフト部を再度分解すると、L字板と軸止めワッシャが干渉していたことが判明した。

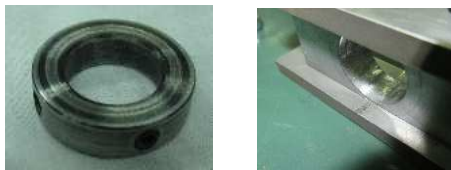


図10 干渉部品 (左) 干渉場所 (右)

対策として、L字板の軸止めワッシャ干渉箇所をグラインダで削り、軸止めワッシャの外径を紙やすりで削った。調整後、手動動作において安定した回転を得ることができた。

動作方法を手動からモータ駆動へ変更すると、歯車同士が干渉して回転しなかった。手動では問題なく回転を行えたため、モータ側に問題があるのではないかと考え、モータとシャフトの軸高さをそれぞれ測定したところモータ側がシャフトより0.51mm高いことが判明した。そこでモータの形状と土台の都合上、モータを土台に固定した場合に発生する約0.3mmのすきまを考慮し軸高さの差と合わせて0.8mmの切削を行った。

対策後、モータ駆動による回転が可能となったが、低速回転では、大歯車の重さによるギア入力シャフトが振れ、歯車の干渉が解決しなかった。

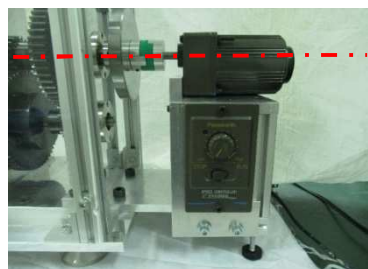


図11 モータ軸高さ調整

ギア入力シャフトは1つのベアリングで支えているため、大歯車の重量により傾いてしまうことが判明した。対策として、大歯車との釣り合いを取るためにカウンターウェイトを付けたところ、15分以上の回転を維持することができた。

以上の調整を行い、安定した回転を得ることができた。

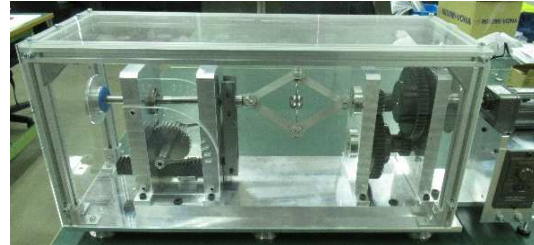


図12 装置完成

6. 評価

メカニカル装置の評価として設定した仕様を満たしているかを確認した。

アジャスタの追加により本体とモータとの高さ合わせや土台を安定させる役割を持たせたため仕様より約60mm高くなった。

装置の安全に関しては装置本体をケースで覆うことで回転部の巻き込み防止対策を施し、安全面にも考慮した。

装置の回転数の計測は、デジタルタコメータを使用した。目盛板の5～7目盛目で1000～1200min⁻¹付近の値は測定できたが2000min⁻¹の測定はできず、仕様の未達となってしまった。

そこで、回転数の計測範囲について改善案を検討した。装置の構造として参考モデルをもとに構想検討したため、構造上2000min⁻¹まで測定可能と考えてしまったが、選定したばね定数による想定回転数を算出すると1400min⁻¹までしか計測できないことが判明した。

表1 選定したばねでの回転数

回転数\目盛	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
実測回転数	694	847	944	1009	1061	1098	1137	1159	1181	1209
想定回転数	809	1023	1145	1226	1284	1326	1359	1385	1405	1420

10目盛目が約1400min⁻¹となる原因は、ばね定数が小さく、高回転での遠心力とばねの伸びでつり合いがとれなくなり、リンクの開き量が最大と

なってしまうためである。そのため、ばね定数の大きい強いばねに変更することを検討した。

2000min⁻¹まで測定するために必要なばね定数を算出するとばね定数は1.58N/mmとなった。このばねを用いた場合の各目盛の想定回転数も算出したところ、10目盛目で2000min⁻¹を測定可能となるが、1000min⁻¹以下の測定が困難となることがわかった。

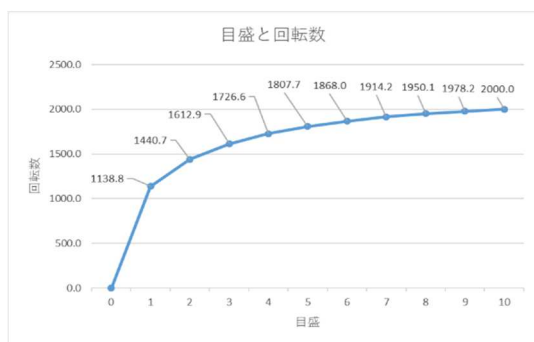


図 14 目盛と回転数-理論値

現在の構造では、ラックとピニオンの関係により、1目盛当たりのスライド量が一定となっていることから低回転域でのばねの伸びとの釣り合いを表すことができないのではないかと考えた。そのため、目盛の表示構造にスライダ機構などを用いて歯車対を動かすことで、低回転域では1目盛当たりのリンクの開き量を小さくし、高回転域ではリンクの開き量を大きくすることで、回転数10目盛の計測範囲を広げることができるのではないかとと思われる。

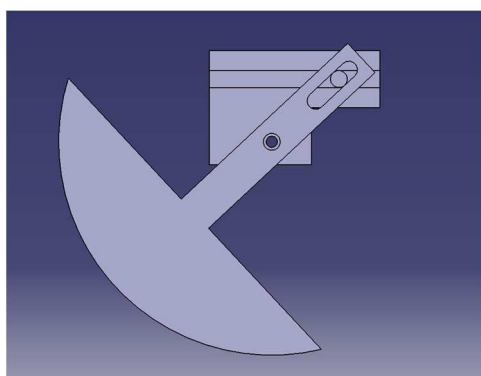


図 15 スライダ機構

7. まとめ

7.1 製品の完成について

今回、仕様を満たすことができない点はあった

が、装置を完成させることができた。目的の動作を部分的に達成できたため、発生した問題を解決するための時間が確保できなかった点が残念である。

スケジュールについては本来予定していたものと比べ、完成まで2週間の遅れが発生した。スケジュールの遅れの中で、最も長引いたものが加工工程である。原因として設計が遅れてしまい加工と同時進行で作業を行うことができなかったためである。これは、あらかじめスケジュールを決めた際、その後発生しうる設計変更等を想定できていなかったことが原因である。しかし、部品を加工する機械ごとに分担を決め、手分けして加工を行うことで期間内に完成させることができた。

表 2 スケジュール

スケジュール		9月	10月	11月	12月	1月	2月
仕様・構想	計画	■	■				
	実績	■	■				
設計	計画		■	■	■	■	
	実績		■	■	■	■	
部品加工	計画			■	■	■	■
	実績			■	■	■	■
組立	計画					■	■
	実績					■	■
評価・修正	計画					■	■
	実績					■	■

7.2 技能・ヒューマンスキルの向上について

ヒューマンスキルについては、報告、連絡、相談を徹底し大きな事故、ケガ等なく最後まで作業することができた。工作機械についても用途、使用法を学ぶことができ、今後の糧として活かしていきたい。

謝辞

今回、メカニカルキットの製作において、設計製図、組立、加工の際には、宮本先生、小南先生、川崎先生、十河先生にご指導いただき完成させることができた。この場を借りてお世話になった先生方に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. “Ugears ホームページ” <[Ugears ユーギアーズ](http://ugearsmodels.jp/) タコメーター | [Ugears ユーギアーズ](http://ugearsmodels.jp/) (ugearsmodels.jp)>

機械構造用合金鋼における不完全焼入れ組織の 機械的性質の調査

機械システム系デジタルメカエンジニアコース 2020128 中島 和哉
2021104 伊藤 滉真
指導教員 入部 久志

1. はじめに

鋼を焼入れ、焼戻しをして使用する場合には完全な焼入れ組織にすることが鉄則とされている。しかし、実際問題として鋼の焼入れ性によっては完全な焼入れ組織を得られない場合がある。また、目的によっては完全な焼入れ組織を生成しなくてもよい場合がある。なので、不完全な焼入れ組織を焼戻した場合には、完全焼入れを焼戻したものと、どの程度の機械的性質の差異があるのかということが重要である。

そこでいくつかの不完全焼入れ焼戻しを再現し機械的性質の測定を行うことで、文献に記載されている内容と比較し^{(1),(2)}、不完全焼入れでの機械的性質の差異について調査することを目的とする。

2. 試験片の作成

本研究では、機械的性質を引張試験で求めるため、引張試験片を汎用旋盤で製作した。また、最初に熱処理をした材料の硬さを測定するため、引張試験片を作成した際の端材を硬さ試験片として利用した。

2.1 引張試験片

本研究で用いた引張試験の総数は、三十本を超えるため、汎用旋盤のチャックを四つ爪から三つ爪チャックに変更することで、つかみの力は弱くなるが、トースカンなどで心出しをする手間を省き、作業効率を向上させた。加工の際に R 部の切削にはヘール式の R バイトを宮本先生が準備してくださり、加工中の監督もしてくださったので安全に加工することができた。

2.2 硬さ試験片

丸棒 300mm のうち、両側の 35mm ずつを実習場の鋸盤を用いて切断し、その材料を硬さ試験片とした。焼入れ温度、焼戻し温度を決定する際の熱処理実験では、この試験片を熱処理し、材料実験室にある精密切断機を用いて切断し、断面の硬さを測定した。硬さ測定には同じく材料実験室にあるロックウェル硬さ試験機を用いた。測定箇所は、質量効果の影響をあまり受けないように、外形から 3mm の位置で等間隔に 5 か所測定し、その平均値を材料の硬さとして試験値とした。

3. 硬さ試験による熱処理条件の設定

3.1 焼入れ温度の設定

まず今回の焼入れ温度を決めるために、各温度での焼入れ硬さの測定を、完全焼入れ温度である 850℃を 1 ケース、不完全焼入れの条件で 810℃、780℃、760℃、750℃、745℃、740℃、735℃の 7 ケースの計 8 ケースで行った。以下の図 1 は各焼入れ温度での焼入れ結果である。

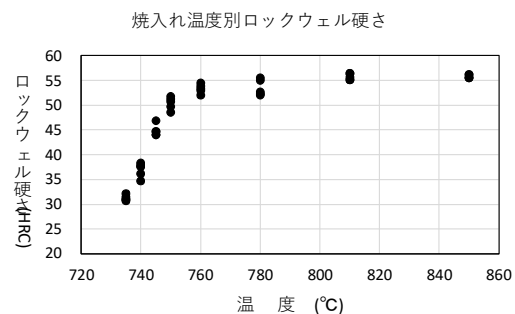


図 1 各温度焼入れによる HRC

上図から 850℃と変わらなかった 810℃を除いた計 7 ケースを焼入れ温度として採用する。

3.2 焼戻し温度の設定

次に図 1 の硬さを基にそれぞれの焼入れ温度における焼戻し温度を表 1 の通りとし、各焼戻し温度での硬さを測定した結果を図 2 に記す。

表 1 各焼戻し温度

焼入れ温度°C	850	780	760			750		
焼戻し温度°C	600	590	590	570	550	530	510	
焼入れ温度°C	760		740	735				
焼戻し温度°C	530	510						

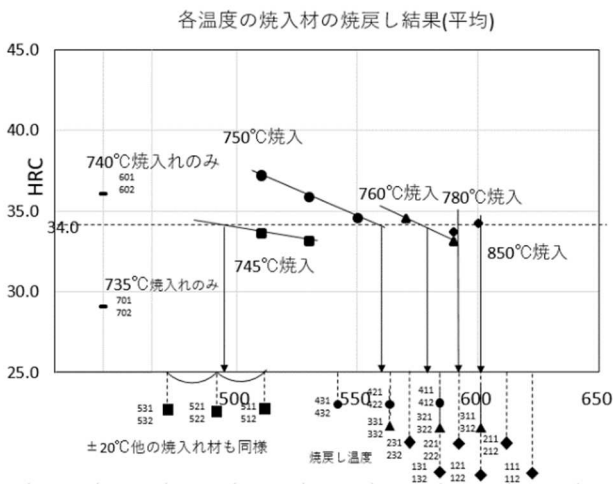
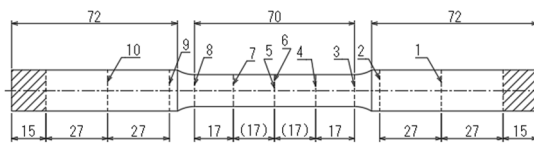


図 2 各焼戻し温度における HRC

この図より、それぞれの硬さには直線性が認められるので、内挿、外挿を用いて HRC34 にあたる焼戻し温度を決め、さらにその上下 20°C を含めた 3 条件を焼戻し温度の条件とし、次ページの表 2 に示す。

4. 熱処理をしていく上での問題点

昨年での引張実験で試験片の平行部の端で破断するという現象が起きた。その原因を長手方向の硬さの不均等だと考え、図 3 のように切り分け、番号を当てている箇所を測定した。



ハッチング線は切り捨てる

図 3 硬さ測定の切り分け

その結果、図 4 のようなデータを得ることが

できた。このグラフを見てわかるように材料の端の硬さが明らかに低くなっていた。

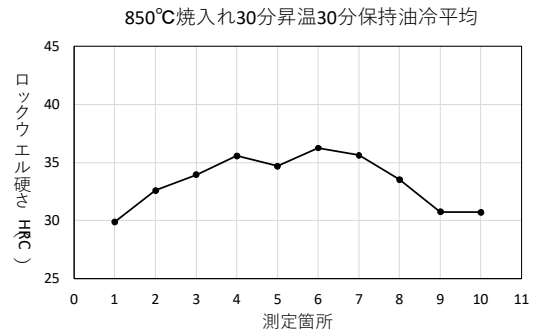


図 4 S45C 長手方向硬さ

考えられる原因として二つ挙がった。一つ目は硬さが低い部分は電気炉に入れた際に壁側に近い位置にあり、加熱が足りてなかったのではないかと。二つ目は、材料の端の掴み部は径が太く中央に熱が溜まっているため油冷時に冷え辛く、柔らかくなっているのではないかと。二つ目である。

一つ目の問題の対策は、昇温時間を 30 分から 60 分に変更し、熱がしっかり通るようにするという。その結果少しの差ではあるが硬さを均一に近づけることができた。

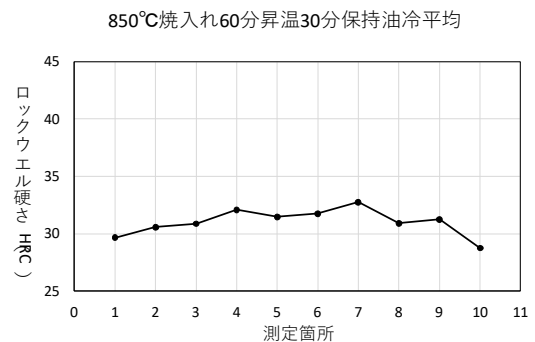


図 5 昇温時間 60 分での焼入れ硬さ

二つ目の対策は、材料の太さにより焼入れの度合いに差が生じるのであれば加工前の太さが一定の条件で熱処理を行い、その後加工することで、太さの影響をなくすことである。この実験は二月の中ごろに実施をするので、そのための超硬バイトの手配は済んでいる。

また、中間発表では試験片の長さや加熱コイル

の位置についての質問があった。熱処理を行う際に、材料をまっすぐに入れていたところを、斜めに入れることにした。その結果、加熱コイルに掴み部が近い状態で熱処理を行うことができ、熱の通りがよくなり、図6のような均一な結果が得られた。そのため、今後の実験では材料を斜めに入れて熱処理を行うようにした。

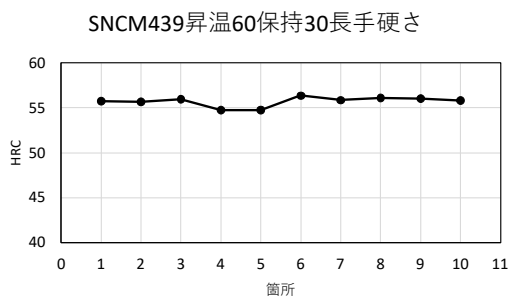


図6 斜めに焼入れした際の焼入れ硬さ

5. 各焼入れ、焼戻し温度の違いによる機械的性質の変化

5.1 試験結果

表2は今回行った熱処理の条件表である。試験は建築科の万能試験機を用いて建築科の吉田先生の指導のもと引張試験を行った。図7は条件通りに実験した結果を平均値でグラフに表したものである。

表2 熱処理条件表

焼入れ温度	850	試験片番号		750	試験片番号	
焼戻し温度	620	111	112	580	411	412
	600	121	122	560	421	422
焼戻し温度	580	131	132	540	431	432
	780	試験片番号		745	試験片番号	
焼戻し温度	610	211	212	510	511	512
	590	221	222	490	521	522
焼戻し温度	570	231	232	470	531	532
	760	試験片番号		焼入れのみ		
焼戻し温度	600	311	312	740	601	602
	580	321	322	735	701	702
	560	331	332			

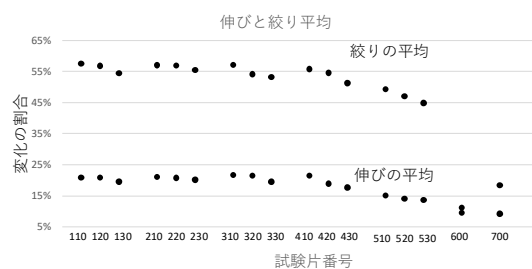


図7 各焼き戻し温度の平均伸び絞り

表3は表2の条件でとった値を平均で表し、その中で引張強さ1070MPaに最も近い二つのデータを選び記したものである。そこから得られた二つのデータを用いて内挿・外挿でHRC34相当の伸び・絞りの値、そしてその硬さになりえる焼戻し温度を導き出し、表4のグラフにした。

表3 引張試験平均データ

No.	焼入れ温度	焼戻し温度	伸び	絞り	引張強さ
100	850°C	600°C	16.07%	56.80%	1032.55
		580°C	14.79%	54.45%	1074.79
200	780°C	590°C	15.93%	56.96%	1029.62
		570°C	14.64%	55.46%	1071.96
300	760°C	580°C	14.79%	54.08%	1040.21
		560°C	15.21%	53.18%	1086.16
400	750°C	560°C	13.86%	54.57%	1036.9
		540°C	12.71%	51.26%	1077.4
500	745°C	490°C	10.14%	47.01%	1081.7
		470°C	9.36%	44.84%	1116.12
700	735°C		6.14%	18.14%	1071.781
			6.29%	18.66%	1049.35

表4 平均データより求めた内挿・外挿データ

No	焼入れ温度	焼戻し温度	伸び	絞り
100	850 °C	580 °C	14.77%	54.42%
200	780 °C	568 °C	14.54%	55.35%
300	760 °C	565 °C	15.11%	53.40%
400	750 °C	541 °C	12.78%	51.44%
500	745 °C	494 °C	10.29%	47.42%
700	735 °C		6.12%	18.06%

5.2 結果から

図8のグラフから、焼戻し温度が下がるとそれぞれの機械的性質が少しずつではあるが低下していることがわかる。また、焼入れ温度に関しては850°Cから760°Cまでは機械的性質の変化があまり見受けられない。そして、焼入れのみになると機械的性質が極端に劣っていることがわかった。

6. 焼入れ温度での HRC34 に値する機械的性質について

6.1 HRC34 での機械的性質

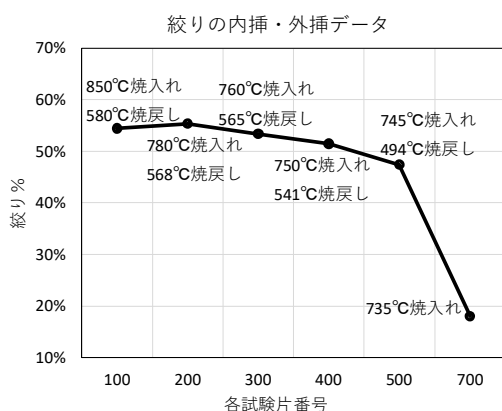


図 8 HRC34 での伸びデータ

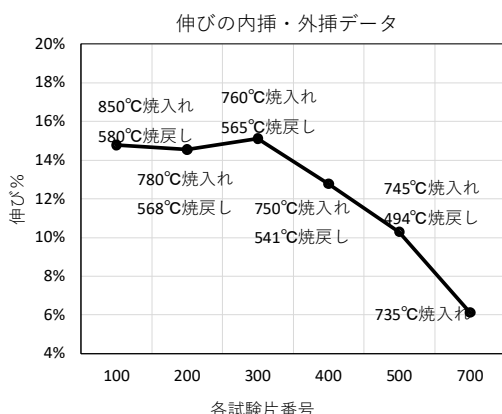


図 9 HRC34 での絞りデータ

図 8, 図 9 のグラフから, 850°C から 760°C までは機械的性質の変化が少なく, 750°C からは伸び絞りとともに減少していることがわかる。このことから SNCM439 は不完全焼入れ状態でも 760°C までは機械的性質に大きな変化は見られず, 750°C からを境に機械的性質が劣り始めるといえる。伸びは 760°C から下がり始めた。絞りは 745°C まで下がり方は緩やかであるが 735°C から急激に下がった。

6.2 考察

過去の文献⁽⁴⁾によると, SNCM439 の A3 変態点は 760°C であるとのことだった。また, 今回の実験

からも 760°C と 750°C の間で明らかに機械的性質が劣り始めていることがわかる。このことから, 760°C 以上の焼入れでは, 組織がマルテンサイトに変化し, マルテンサイトを焼戻しすることでトランスタイトやソルバイトに組織が変化し, 靱性を得ることによって伸びと絞りが得られる。また, 750°C 以下での焼入れではフェライトがマルテンサイトにならないため⁽²⁾, 焼戻しをしてもトランスタイトやソルバイトに変化する組織が少ない, その結果靱性を得ることができないので伸びや絞りが劣っているのではないかと考えられた。

7. まとめ

本研究では, 完全焼入れ焼き戻し, 不完全焼入れ焼戻し, 不完全焼入れのみの機械的性質の差異を表とグラフにして, 傾向を考察した。熱処理条件の決定, 熱処理予備試験, 本試験は, 予定より時間がかかってしまい, それにより全体的に遅れが出ってしまった。また, 熱処理は温度を少し変えた際に, A3 変態点を超える温度だとあまり変化は見られないが, A3 変態点以下での熱処理では機械的性質が大きく減少するということがわかった。また, 今回の研究では金属組織の観察やシャルピー衝撃試験での靱性の調査などが実施できなかったため, 今後の課題として残しておくこととする。

参考文献

- (1) 日本鉄鋼協会「鋼の熱処理」改訂第 5 版 丸善出版, 1992 年, P70
- (2) 不二越熱処理研究会 『新・知りたい熱処理』ジャパンマシニスト社, 2001 年 P30, 54, 122, 123
- (3) 門間 改三 「大学基礎機械材料」実教出版株式会社, 1993 年, P50, 84
- (4) 西原 守 構造用低合金鋼 (SNCM8) の焼入れ性におよぼす合金元素の効果について
- (5) 硬さ換算表 株式会社ブルータス [硬さ換算表 | 株式会社ブルータス \(plutus.co.jp\)](http://www.plutus.co.jp)

エアホッケーの設計・製作

機械システム系デジタルメカエンジニアコース

2021125 春岡 祐輝

2021136 横濱 凌央

2021138 吉村 洋喜

指導教員 渡邊 亮

1. はじめに

1.1 目的

アミューズメント機器の設計・製作を本卒業研究のテーマとして手掛ける事とし、幅広い年齢層で楽しめ、かつ、安全性と保守性を考慮した製作物とする。

製作物には設計、加工、溶接、組立、制御を取り入れ、就職先である保全や設計・溶接職種に必要な基礎力を向上させる。また、報告・連絡・相談を徹底して行い、チームで動き、協力し合うことで、社会人に必要なヒューマンスキルを高めることを目的として本研究に取り組む。

1.2 エアホッケーについて

エアホッケーとは、ゲームセンター等に設置されているアミューズメント機器のことである。

マレットと呼ばれる器具を用い、盤上の多数の穴から排出される空気流によってパック(円盤)を浮遊させ、パックが滑るように動き、相手ゴールに入れて得点を競うゲームである。

2. 設計

2.1 実際の流れ

プレイヤーの操作は、ボタンを押すことでゲーム開始とする。実際の制御の動きは、図1に示す。

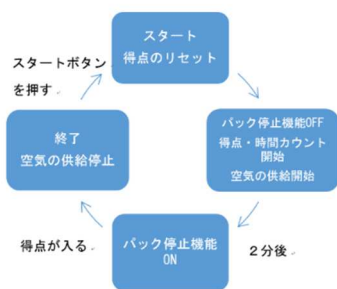


図1 実際の流れ

2.2 仕様

校内での使用を前提とし、校内の扉から運び出せるサイズ、かつ、対象年齢を小学1年生以上とし、盤上の高さを800mmとした。

動作・装飾等の制御は、有接点リレーとPLCの2つの方法を取り入れた。

エア供給装置は、校内使用を前提としており、連続使用時間や風量を検討した結果、コンプレッサーとした。表1に仕様一覧を示す。


表1 仕様一覧

全体項目	仕様
寸法	盤上高さ800×横幅1100×奥行1900mm 最大高さ1350mm
パックサイズ	直径80mm、厚さ6mm
マレットサイズ	直径105mm、高さ60mm
操作部	押しボタンスイッチ
制御	PLC
得点表示方法	7セグメントLED
風量機器	コンプレッサー
風速	2-3m/s以上

2.3 フレーム

表2に使用材料のサイズ、本数を示す。メインフレームは、角パイプに比べ約40%減の軽量化、約30%安価となるため、L鋼とした。また、密閉空間は箱型設計となり上部にアクリルを設置するため、鉄板、角パイプを使用した。図2にフレーム構造を示す。

表2 L鋼・角パイプ・鉄板の仕様

材料			
材料	L鋼	角パイプ	鉄板
材質	SS400	STKR490	SS400
サイズ	40×40×3mm	20×75×2.3mm	t=2.3mm
使用数	4000mm×7本 3500mm×1本	3000mm×2本	1000mm×1780mm×1枚 1000mm×1700mm×1枚

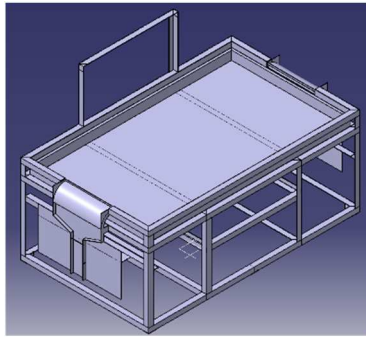


図2 フレーム構造

2.4 アクリル板

アクリル板に開ける穴のサイズとピッチは実際の製品を参考としたが、既存機器では、加工できないため業者発注とした。表3にアクリル板の仕様を示す。

表3 アクリル板の仕様

サイズ	1700×1000 mm
厚さ	5 mm
穴のサイズ	φ1 mm
穴のピッチ	25 mm

2.5 得点表示・制限時間

得点表示は、7セグメントLED（以下、「7セグ」と言う。）をPLCにて制御した。

制限時間は、予算の都合上7セグを断念した。そのため、視覚的にわかりやすいLEDテープライトにて制限時間内中は発光し、終了時に消灯することとした。

2.6 得点カウント

ゴール入口から排出口までの内部に取り付けることや得点カウントの検出精度から材質、色に関係なく検出できる透過型光電センサを選定した。

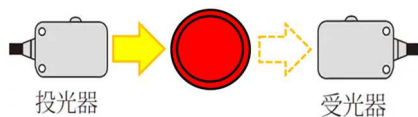


図3 センサ取り付けイメージ

2.7 パック停止機能

ゲーム終了時にパック取り出し口からパックの排出を停止させるためのもので、停止方法はシリンダにより排出通路を狭める。駆動方式は、構造を

簡潔化し保守性向上のため電気式を採用した。

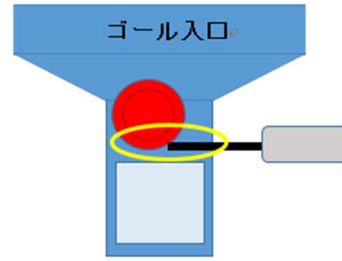


図4 パック停止機能

2.8 キャスター

CATIAによる重量計算により総重量180kgと算出した。キャスターは、中央のたわみを考慮し、6ヶ所に設置した。なお、自重及びプレイヤーの体重負荷がかかることを想定し、1つあたりの許容重量100kg以上とし、ゲーム中に動かないようストッパー付きの物を選定した。

2.9 風速実験

製作予定機器の1/10モデルを作成し、コンプレッサー送付口からエアーストックまでの距離による風速の変化を調べた。

実験結果より約200mmの距離では風速の影響がないことが判明した。そのため、約200mm間隔でエアーストックが排出される設計とした。また、同実験により重量約32gのパックを浮遊するのに必要な風速は2~3m/sで十分であることが分かった。実験結果をまとめたグラフを図5に示す。

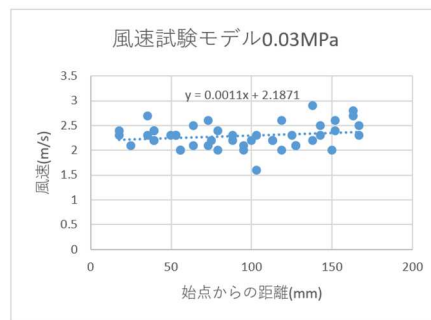


図5 風速試験結果

3. 加工・溶接・組み立て

フレーム関係等は、TIG溶接機、半自動溶接機、高速切断機、ボール盤、動力シャワー、サンダー等を使用し、外壁等については、パネルソーやノコギリ

等を使用した。マレット・パックは、3Dプリンタとなる。

3.1 溶接

密閉部分を溶接仕上げとし、部品点数減、軽量化、作業効率の点からフレームも全て溶接にて行った。表4に溶接条件表を示す。

表4 溶接条件表

溶接方法	TIG 溶接	TIG 溶接	半自動溶接
溶接種類	突合せ溶接	隅肉溶接	隅肉溶接
材料	SS400 (L鋼)	SS400 (L鋼)	STKR490 (角パイプ)
肉厚	3 mm	3 mm	2.3 mm
電流	直流 80A	直流 100A	60A
溶加棒	φ2 mm	φ2 mm	φ1.2 mm (ワイヤー径)

溶接後、密閉部分へ水漏れチェックを行った。漏れ発生箇所には、溶接補修を行い、尚且つシーリングで補強した。



図6 補修 (左：漏れ箇所, 右：シーリング)

3.2 I/O 割付表

出力点数が多いため、左右別々で制御させることで、プログラムの簡素化、メンテナンス性の向上に繋がるため2台使用し、出力点数を補った。

表5 I/O 割付表

PLC1		PLC2	
入力	出力	入力	出力
X0 押しボタン	Y0 7セグ1	X0 押しボタン	Y0 7セグ1
X1 光電センサー-1	Y1 7セグ2	X1 光電センサー-2	Y1 7セグ2
X2 非常停止	Y2 7セグ3	X2 非常停止	Y2 7セグ3
X3 光電センサー-2	Y3 7セグ4	-	Y3 7セグ4
-	Y4 7セグ5	-	Y4 7セグ5
-	Y5 7セグ6	-	Y5 7セグ6
-	Y6 7セグ7	-	Y6 7セグ7
-	Y7 7セグ8	-	Y7 7セグ8
-	Y10 電動シリンダー(開)	-	-
-	Y11 電動シリンダー(閉)	-	-
-	Y12 電磁弁	-	-

3.3 光電センサー・電動シリンダ取り付け

パック経路を挟む形で光電センサーを取り付け、検出時にパックがセンサーに反応するよう検出位置に「パックすり抜け防止」を設置した。

電動シリンダは、固定箇所が一箇所しかなかったため、アルミのカバーにて固定した。また、シリンダの先端にパックを止めるための鉄板を取り付けることでパック停止機構とした。

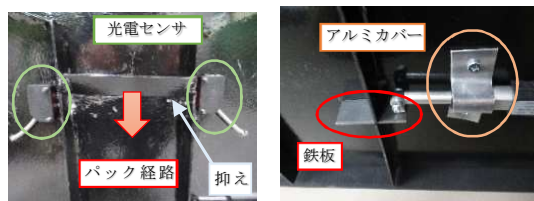


図7 光電センサー・電動シリンダ取り付けの様子

3.4 7セグ取り付け

7セグは、はんだごてを使用し、I/O 割付表に従い図8に示すように PLC と配線をつないだ。

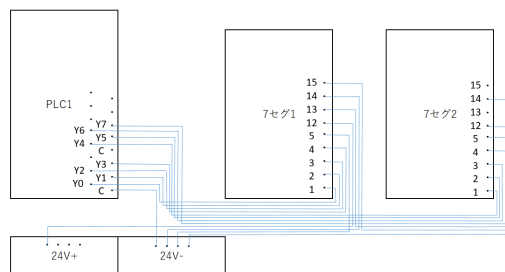


図8 7セグ配線

3.5 配管部品取り付け

風速実験結果をもとに8か所に配管を設置した。T字継手と天板の隙間をシーリング剤で埋めることで空気が漏れ防止とした。

コンプレッサーまでの配管は安価、かつ配管作業が容易であるエアホースを使用した。

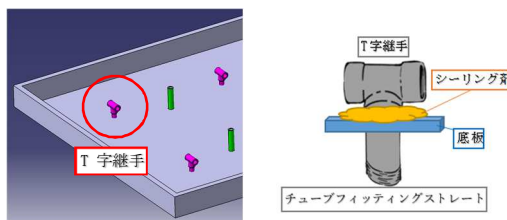


図9 エアホース・T字継手取り付け

3.6 パック・マレットの作成

3Dプリンタの性能に伴い、マレットは製作予定の80%減のサイズとした。図10に製作過程を示す。

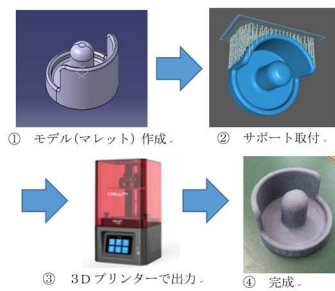


図 10 3D プリンタによる製作過程

4. 制御

ラダー図は、大きく 6 つの回路に分けられる。特徴の一つに、光電センサからの信号が断続的に出力される現象が発生した。そのため、ワンショット回路を組み込み、バック通過毎に確実に 1 点がカウントされる [INCP D0] を使用した。

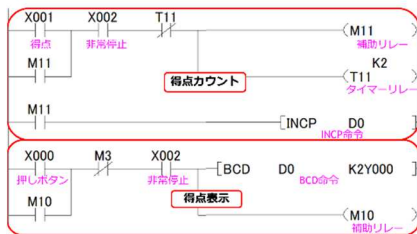


図 11 ラダー図 (ワンショット得点回路)

5. 配置及び配線図

配線するための部品点数は、全部で 30 点以上あり、機器にはリレーコイルを介し安全性を向上させるなどの対策を行った。

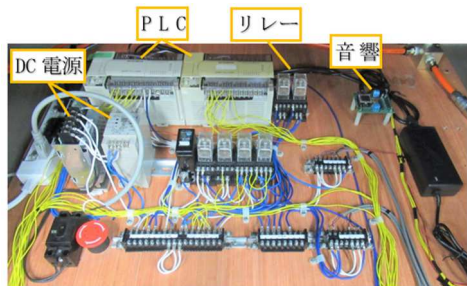


図 12 配線図

6. 結果・考察

組み立て後に持ち運び用コンプレッサーでは、エア容量が不足するため、校内設置のコンプレッサーとした。

次に 0.6MPa のエアを供給した場合、十分な風速が得られなかった。検証した結果、下記のとおり電磁弁での圧力損失が原因と考えられた。

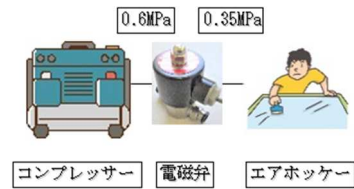


図 13 圧力測定結果

電磁弁の取り付け時、取り外し時の風速結果は、図 14 のとおりである。

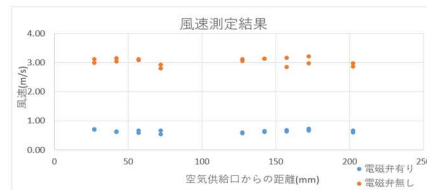


図 14 風速測定結果

これより、圧力損失に関係するオリフィス径が小さいことが考えられるため、長納期のため断念した当初購入予定の電磁弁を次年度に購入することとした。また、エア供給経路を 1 か所から 2 か所に変更することで、エア流量を増やし風速 2~3m/s 以上を確保した。

7. まとめ

本卒業研究で、一から仕様やコンセプトを考案し、成果物を作り上げることで達成感とやりがいを得ることができた。また、就職先に関連する保全や設計・溶接職種に多くの時間を割くことで技術の習熟につながった。

グループによる作業把握の難しさから、リーダーを据え、日報や担当教官への報告・連絡・相談を徹底することで、3 人の意思疎通を図ることができた。作業の見直しやスケジュール管理の難しさなど、社会人として大切なことを学ぶことができ、今後は、就職先の企業でも活かしていきたい。



図 15 完成品

各種機構の組み合わせ模型の設計・製作

機械システム系デジタルエンジニアコース 2021102 荒石 侑輝

2021122 長野 太飛

指導教員 小南 健治

1 はじめに

本卒業研究の目的は、各種機構の組み合わせ模型を製作し、連続で動作させる製品を設計・製作することである。

選択した機構は、スライダクランク、オルダム継手、スコッチヨーク、歯車組み合わせ、ゼネバ歯車、リンクであり、主に機構学の教科書に載っている機構を参考に、機構を初めて見る人に興味を持ってもらうことや機構を学ぶ人の理解を深めることを考えている。

2 研究目標

研究目標は以下の通りである。

- ・各種機構模型を製作し、それらを連続して動作させる製品を完成させる。
- ・各機構の特徴・基礎知識を習得する。
- ・問題解決に向けて担当教官とコミュニケーションを図り、自身の問題解決能力の向上を図る。
- ・報告、連絡、相談を徹底してヒューマンスキルの向上を目指す。

3 各機構の模型について

機構とはメカニズムとも呼ばれ、機械装置に多くの機構が組み合わさることで、求められる動作を実現させる。

以下、今回取り組む各種機構の模型について説明する。

3.1 スライダクランク機構について

スライダクランク機構とは、円板クランクの回転運動をスライダの往復直線運動に変換する機構である。円板クランクが1回転すると、リンクにより繋がれたスライダが1往復する。スライダの移動距離はクランクの長さの2倍となる。

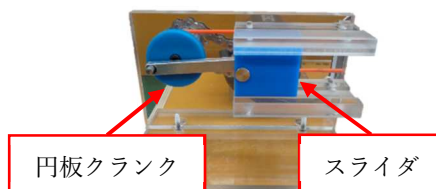


図1 スライダクランク機構 完成品

3.2 オルダム継手について

オルダム継手とは、両軸が平行で軸中心がずれている時に使用される継手である。偏心があってもインサート部

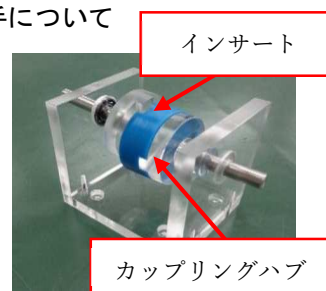


図2 オルダム継手完成品

部分がカップリングハブのスロットを滑ることにより偏心を吸収することが出来る仕組みである。

3.3 スコッチヨーク機構について

スコッチヨーク機構とは、偏心して取り付けられた円板カムが回転することで接触するヨークが往復運動する機構である。機械装置において動きを伝える側を原節、伝えられ仕事をする側を従節と呼びカムは原節にあたる。

また、ヨークとは馬具のくびきのことであり、形状が似ていることからこの名称が付けられた。

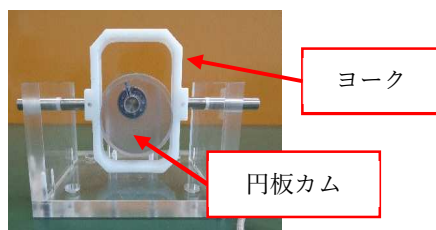


図3 スコッチヨーク機構完成品

3.4 歯車組み合わせ機構について

歯車組み合わせ機構は、平歯車、傘歯車、ウォームギアを組み合わせた機構である。

歯車は伝動車の外周に歯を設けることで滑りのない確実な動力伝達ができる機械要素である。

3.4.1 平歯車について

平歯車は、円筒面に歯をつけた歯車の中で歯筋に平行な直線となっている歯車である。

3.4.2 かさ歯車

かさ歯車は、円錐面に歯が付けられており、広げた傘のような形状になっているから傘歯車と呼ばれるようになった。

3.4.3 ウォームギア

ウォームギアとは、円筒形でねじ状のウォームとこれに噛み合うウォームホイールからなる歯車対の総称である。軸角は直角とすることが多く、一段で大きな減速比を得ることが出来る

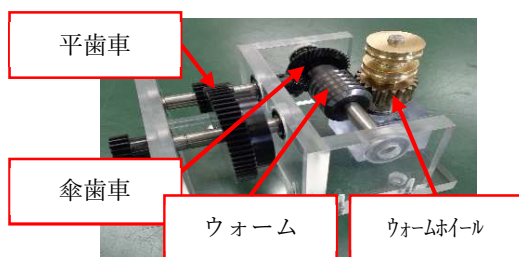


図4 歯車組み合わせ機構 完成品

3.5 ゼネバ機構について

ゼネバとは、機械式時計に使用する目的で考案された機構です。ゼネバ歯車の動きは、間欠運動と呼ばれている。間欠運動とは運動が時間とともに持続するのではなく、停止と運動を一定の間隔を繰り返すものを言う。ゼネバ歯車では連続して回転する原動車のピンがゼネバ歯車の溝に入っている間はゼネバ歯車が回転し、ピンが抜けると回転は停止するという動作をする。

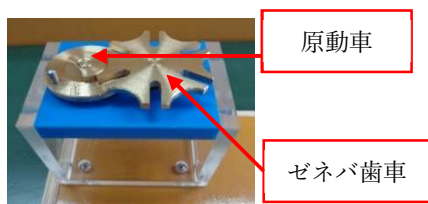


図5 ゼネバ機構完成品

3.6 鳥が羽ばたく機構(リンク機構)

リンク機構を応用した鳥が羽ばたく動きをする模型である。羽を振り上げるときには空気抵抗を小さくするため羽を小さく広げ、振り下ろす際に大きく広げ空気を捉えるという実際の鳥が羽ばたく動きを再現している。

リンク機構とは、主に板状の部材であるリンク同士を回り対偶や滑り対偶によりつないだ機構である。



図6 鳥が羽ばたく機構 完成品

4 各機構の設計・加工

4.1.1 各機構の寸法

製品全体の寸法

縦:300mm 横 600mm 高さ 145mm

各機構の寸法(リンク機構以外)

最大 縦:120mm 横 170mm 高さ 100mm

鳥が羽ばたく機構(リンク機構)の寸法

縦:113mm 横 356mm 高さ 145mm

4.1.2 使用材料

使用材料は下記の通りである。展示することを考慮して錆びにくい材料を選択して使用する。

アクリル樹脂 アルミニウム MC ナイロン
真鍮 ステンレス鋼

4.2 各種機構の部品加工

4.2.1 スライダクランク機構の加工

(1)円板クランク

アクリル材を使用し、旋盤、フライス盤で図7のように仕上げる。厚さ 9mm、円の中心に $\phi 4.5\text{mm}$ の穴と $\phi 8\text{mm}$ の座繰りを行う。また、クランクを

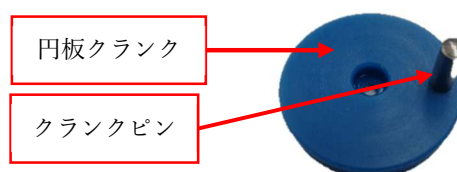


図7 円板クランク完成品

繋ぐためのピン穴をあけ、平行ピンを圧入する。

4.2.2 オルダム継手の加工

(1)カップリングハブ

アクリル材を使用し、旋盤で図8のように仕上げ

る。
外径 50mm、段付き部仕上げは、凸の幅は 10mm、高さ 4.8mm。固定のための M3 の固定ネジ。



図8 カップリングハブ完成図

(2)インサート

青色の MC ナイロンを使用し、旋盤で図9のように仕上げ

る。フライス盤で両面の溝部を加工。両溝は、直角になるように加工。



図9 インサート完成図

4.2.3 スコッチヨーク機構

(1)円板カムの加工

アクリル材を使用し、図10のように加工。 $\phi 60\text{mm}$ 、幅 20mm。段付き加工は $\phi 50\text{mm}$ 、幅 15mm。中心から 10mm の所に $\phi 10$ のリーマ加工。



図10 円板カム完成図

(2)ヨークの加工

MC ナイロン材を使用し、図11のようにポケット加工、形状加工、穴加工をした。



図11 ヨーク完成図

4.2.4 歯車組み合わせ機構

(1)プーリーの加工

真鍮材を使用し、図12のように段付き形状に仕上げる。さらに先丸の突っ切りバイトでR溝加工をし、プーリーを仕上げた。



図12 プーリー完成図

4.2.5 ゼネバ歯車

(1)ゼネバ歯車の加工

真鍮を使用し、旋盤で段付き加工を行い、フライス盤のエンドミルを使っ



て6枚歯を加工した。図13 ゼネバ歯車完成図
加工する場所を中心からそれぞれの座標位置を計算しR加工、溝加工を行った。

(2)ゼネバ原動車の加工

真鍮を使用し、旋盤で段付き加工をし、フライス盤で座標位置を計算しながら、上面をポーリングヘッドで半月加工を行った。



図14 ゼネバ原動車完成図

4.2.6 鳥が羽ばたく機構

(1)フレームマウントの加工

アクリル材を使用し、図15のように穴加工、形状加工を行い、フレームマウントを製作し



図15 フレームマウント完成図

(2)リンク A, B, C, D, E, F の加工



図16 リンク A, B, C, D, E, F の

リンク A から F の 6 種類のリンクをアクリル材で製作した。完成リンクを使い、図16にある形状のものを組み立てた。各部品は、キリ穴とネジ穴で構成されている。ネジ穴は自由度がなく、キリ穴は自由度があるため、リンクの動きを制限し、鳥の羽の動作をすることができた。図17は、羽根の完成図である。



図17 鳥機構の完成図

5 伝動部品について

各機構の動作を伝動するための要素

チェーン伝動 (チェーンとスプロケット)

ベルト伝動 (タイミングベルトとタイミングベルト)

(丸ベルトと丸プーリ)

歯車伝動 (平歯車、傘歯車、ウォーム歯車)

6 組み立て・動作の検証

各機構の部品の加工・組み立てを行った。加工・組み立ての結果、問題点が出た。解決するため、設計変更を行った。



図 18 組立完成図

6.1 クランクシャフトの中止について

スライダクランク機構の往復運動から回転運動に変換する目的で使用したクランクシャフトを製作したが、回転させることができなかった。計画変更し、スライダクランク機構は単独で動作させて、スライダクランク機構回転軸と歯付きベルトの軸を直接丸ベルトでつないだ。

6.2 鳥が羽ばたく機構への伝達について

歯車組み合わせ機構プーリーと鳥が羽ばたく機構のプーリーに丸ベルトをかけて回転させる予定だったが回転させることが出来なかった。原因は片持ち梁になり軸に荷重がかかり回転しなかった。解決策として歯車組み合わせ機構のウォームのついた軸の先端に傘歯車をつけて鳥機構の大きな傘歯車と伝動させ、鳥が羽ばたく機構を動作させた。

6.3 スコッチヨークの振れについて

ヨークが左右に往復動するときに前後に振れるため、振れないようにヨークの下にレールを取り付け、安定した動作ができるようになった。

6.4 オルダム継手の振れについて

オルダム継手が回転しているとき、揺れが生じた。ベアリングの嵌合わせ及びオルダム継手のインサートとカップリングハブとの間に隙間があった。インサートの再加工を行い、円滑に動くようにした。

7 目標の評価

7.1 達成目標

7.1.1 各種機構模型の製作について

3次元CADソフトを活用して、各機構の配置等を考えながら連続して動作させる設計を行った。部品数が多く加工時間が多くなった。組み立て調整では、途中の機構で不具合があり、すべての機構を連続して動作できなかった。再加工や調整を重ね、各種機構を連続して動作させる製品が完成した。

7.1.2 各機構の特徴・基礎知識について

製作する機構を選択する過程で、インターネットや書籍の調査を行うことで、設計に必要な計算も含めて習得することができた。製品の完成後も論文作成に当たり、機構の知識や製作に関する知識を習得することができた。

7.1.3 担当教員とのコミュニケーションと問題解決能力向上について

製作を進める過程において、指導教官とのコミュニケーションを積極的に行うことが出来た。進捗状況やスケジュールについては、指導教員や学生同士の相談の中で進めることができた。卒業研究終盤には、自分たちで考えて行動することができ、問題解決能力向上ができた。

8 終わりに

今回の卒業研究で各種機構の組み合わせ模型の設計・製作ができた。製作する機構を選択する過程で、インターネットや書籍の調査を行い、設計に必要な計算方法等を含めて習得することが出来た。

加工が難しい部品などは先生に指導を仰ぎながら製品を形にすることが出来た。ものづくりの一連のプロセスを体験することで、スケジュール管理の大切さやものづくりの大変さを感じた。また組み立てた製品が完成した時の達成感を得ることができた。

参考

1) 『絵ときでわかる機構学』 オーム社

スコヤマスタの設計・製作

機械システム系デジタルメカエンジニアコース 2021127 福島 大空
2021137 吉田 祐希
指導教員 宮本 敏明

1. はじめに

今回の卒業研究では、設計から製作・組立・調整・評価までの生産の流れを学ぶことと汎用旋盤、フライス盤等を使用し技能を向上させることを主軸としている。生産現場におけるものづくりの一連の流れを知り汎用機を使いこなすことによってNC工作機やその他の機械にも対応でき社会に出た際に即戦力となれる人材となれることを目的とする。

2. スコヤマスタの構想と全体イメージ

2.1 スコヤマスタの製品仕様

スコヤマスタとは、直角度を高精度に測定する測定器であり全体イメージを基に製品仕様を考えた。

測定ストローク 250mm で直角度精度 6 μ m以内（ミツトヨ製と同等レベル）を満たすこと。直角度の補正・調整を可能とする「直角度調整機構」を組み入れること。防錆のため錆びない材料にて製作すること。両手で持てるように総重量 20 kg以内とする。この4つを製品仕様とした。

部品構成は、土台となるベースプレートに側板・背板を立て、ボールネジとガイドバーを垂直に並列配置し上フタを被せボールネジには上部にハンドルを取付け、ガイドバー上部には直角度を調整できるキャップを取付ける仕様とした。

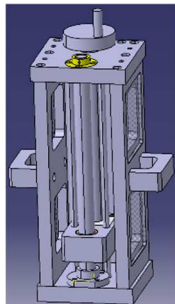


図1 スコヤマスタの構想図

各部品の材質は、重量の関係と防錆や耐摩耗性を考え上フタやスライダーにはジュラルミンを採用し左右・背側板にはアルミニウム合金である A5052 を

使用した。(表1参照)

表1 構成部品と材質選択

部品名	材質
ハンドル	A5052
上フタ	A7075 (シ*15 μ m)
ボールネジ (購入)	クロムモリブデン鋼
ガイドバー (購入)	SUS440Cクロムメッキ
ガイドブッシュ	黄銅
左・右・背側板	A5052
ベースプレート	SUS303
軸受け	S45C
スライダ	A7075 (シ*15 μ m)
垂直度調整キャップ	S45C
ダイヤル止め板	S45C
スラスト玉軸受け (購入)	高炭素軸受鋼
ガイドロッド	SUS304

2.2 主要部品について

スコヤマスタの主要部品であるネジ機構については、ネジのバックラッシュによる戻り誤差を最小にするため精密ボールネジを採用した。

ガイドバーは、曲がりがなく真円度及び真直度に優れたリニヤシャフトを採用し、耐摩耗防錆を考慮し、高周波焼入れと硬質クロムメッキを施したものを購入した。

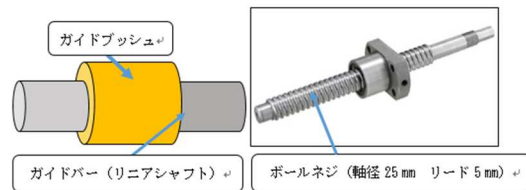


図2 ガイドバー・ブッシュ・精密ボールねじ

3. スコヤマスタの設計と図面化

3.1 設計手順

設計は製品仕様にある測定ストロークや重量、組付け時の直角度調整機能を満たすよう、慎重に各部品の寸法を考えた。

3.2 直角度調整機構について

ガイドバーを直接上ふたに固定するのではなくガイドバーの頭部の固定を4本のイモネジで行ってガイドバーの傾きを調整できるようにした。

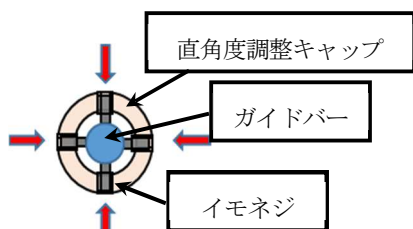


図3 直角度調整機構

3.4 2次元 CAD 部品図の作成

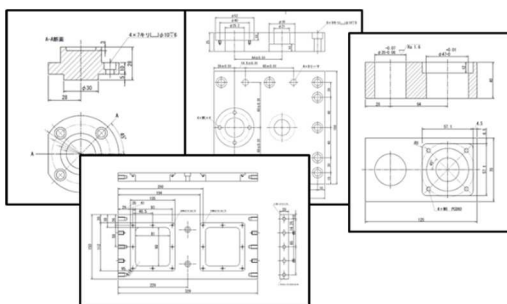


図4 2次元 CAD 図面

3.5 3次元部品図と加工手順書の作成

CATIA で 3次元図面の作成を行い、加工形状の把握と加工方法の検討に入った。

加工手順書の作成では、加工の流れを考えて、ただ文字を並べるだけではなく、図や注意点などを記入し誰から見ても理解しやすいように作成することに心掛けた。

4. 部品製作

4.1 側板・背板の加工

側板・背板は高さが同一寸法になっていないと上フタを被せた際に傾いてしまい直角度が出なくなる。そのため全長寸法はデジタルスケールを用いて±0.01mm 以内の精度を確保した。

直接バイスに挟むとフライス盤の上下ストロークが足りず加工できないためテーブル上柵ブロック用いて直接側板を立て、段取りを行った。



図5 柵ブロックを使用した段取り

4.2 スライドベース・上フタの加工

スライドベース・上フタの製作では、フライス盤で、各 부품の位置決め用の高精度の穴の加工を行った。製品設計上、穴同士の距離が重要であったためフライス盤に備え付けのデジタルスケールで位置を追い、0.01 mm 以内の公差で仕上げた。



図6 スライドベース・上フタの加工作業

4.3 ガイドバー・ボールねじの追加工

ガイドバーの追加工では、シャフトの端部を細め、端面にボルト穴を加工した。荒加工は、シャフト材質の問題から高硬度用チップを使用した。

ボールねじの追加工では、チャッキング時の突き出し量が多くなるため、固定振れ止めを使用して振れの抑制をした上で追加工を行った。



図7 固定振れ止めを使用した加工

4.4 直角度調整キャップ・軸受けの加工

直角度調整キャップ・軸受けの製作は上フタの穴位置、スライドベースの穴位置との関係が重要であり、はめ合いも h7 公差とした。



図8 直角度調整キャップ(左)と軸受け(右)

4.5 スライダの加工

スライダの加工はフライス盤で行った。

精度的にはガイドバーが入るガイドブッシュ穴とボールネジのメネジ部分が入る穴が重要である。

2つの穴のピッチが重要で±0.01mmの公差に収まるようにデジタルスケールで正確に移動させて精度を確保した。



図9 ガイドブッシュ挿入後の完成状態

4.6 その他の製作部品

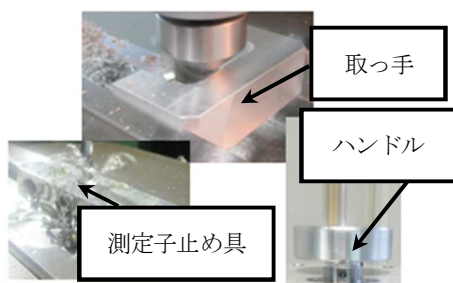


図10 その他の加工部品

5. 組付けと1次評価

5.1 組付け状態の評価

主要部品の完成を受け各部品の組み立てを行う。組立過程では、特に問題なく各部品を組み立てることができた。



図11 組付け状態図

組立後ハンドルを廻して上下スライド時の動きを確認したが、回した感触が重たいように感じた。

また、両手で持った際に少し重たく感じ重量測定の結果19.72kgあり軽量化が必要である。

5.2 上下スライド時の不具合について

スライド時の重さについては、その原因を追求した。考えられる要因として、上フタとガイドバーと

のクリアランスが足りず直角度の調整が利かなくなっていることとガイドロッドをステンレスの残材で作ったため、反りの影響を受けているのではないかと2つを挙げた。

5.3 スライドの不具合対策

2つの原因に対してそれぞれ解決策を講じた。上フタとガイドバーとのクリアランスについては、上フタに開けたガイドバー挿入穴の径を1mm広げガイドロッドについては、新たに購入したリニアシャフトと交換し反りを無くし、スライダーに座ぐりを行うことで接触面積を小さくすることで改善した。

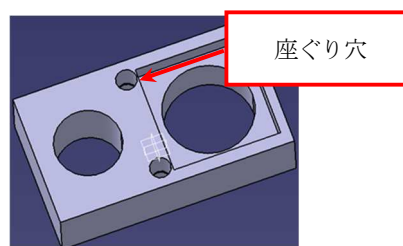


図12 追加した座ぐり加工

5.4 軽量化対策

軽量化については、両側板に窓を開け重量の低減を図り、16.92kgに軽量化できた。測定器内部の構造が見えるようになり2次的効果も図れた。



図13 軽量化窓加工と可視化

6. 製品評価と問題点

6.1 直角度の検証と評価

この製品の直角度は、ガイドバーの直角度が影響するためミットヨのスコヤマスタでガイドバーの直角度を確認しながら調整を行った。

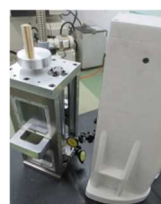


図14 ガイドバー直角度の計測状態図

調整後、直角度の検証を行ったところ、直角度そのものは5 μ m以内に出ているが、スライダの上下可動時に0.05mmの振れがあることが分かった。

6.2 測定子先端の振れについて

スライダは、ボールねじの回転運動をガイドロッドとガイドバーで抑制して姿勢を保って上下に可動するため各部のはめ合いにクリアランスが大きいと回転運動を抑制しきれず測定先端部は振れが大きくなる。そのため振れを抑制するため側板とスライダ側面が突っ張るように追加部品を設計することにした。

6.3 振れの対策と検証

スライダの側面へ押し当てコマを組み付け側板の壁を使って横振れを抑制する方法である。押し当てコマは、側板のガイド溝底面を押し当てた状態で上下する。押し当てコマと側板ガイド溝底面のスキマを調整できるようにし、動きの滑らかさを保ったまま振れを抑える設計を行い押し当てコマを製作し取付けた。

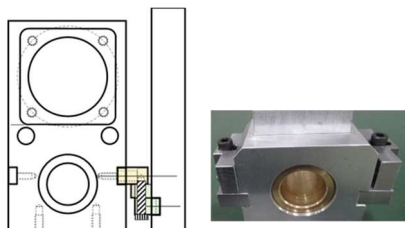


図15 押し当てコマの装着状態図

更に各部のクリアランスの極小化は、ガイドバーの公差g6からh5に変更しボールネジ先端部が入る穴は、真鍮でブッシュを挿入しクリアランス0.05mmから0.01mmに最小化した。



図16 各部のクリアランス最小化対策

6.4 製品の最終評価

すべての対策を終了し製品の最終評価を行うことにした。直角度評価は、150mm円筒スコヤの側面にインジケーターを走らせ測定した値と振れ量をもと

に行った。また、ハンドルを廻して上下させた時の手に伝わる感触で上下可動時の重たさも評価した。



図17 製品の最終評価検証図

製品の最終評価は、直角度0.003mm（150mm円筒スコヤ）・振れ量0.01mm、可動時の重たさは良好で3項目についてすべて目標値以内で収めることができた。スコヤマスタの完成を受けて今後実習で実際に使用するため、専用の石定盤を購入し定盤受け台を製作して機械加工実習室に設置した。

7. まとめ

7.1 スケジュール評価

1次組み立て後の改善・対策・調整で少し手間取ったが、ほぼ計画通りに進めることが出来た。

表2 全体スケジュール表

	2/1	2/15	2/29	3/14	3/28	4/11	4/25	5/9	5/23
メーゾ図・組図から部品構成と部品記	計画								
2次元部品図作成並版・上フタの作成	計画								
2次元部品図の作成メソッド・軸	計画								
受け側板・底板の作成	計画								
購入品発注手配	計画								
2次元部品図の特長書調整機構・ハンドルダイヤル止め板の作成	計画								
3次元図面作成	計画								
部品毎の加工手順書作成	計画								
ボールネジ・ガイドバー加工	計画								
輪受け・スライダ加工	計画								
側板・背板・底板・上フタ加工	計画								
中間発表ペラ作成	計画								
ハンドル・重富調整部の手配の取	計画								
エ	計画								
全体組付け・調整	計画								
音響度精度検査調整・製品評価	計画								
卒研論文・予稿作成	計画								

7.2 まとめ

この卒業研究を通してものづくりの流れを学ぶことができ、設計に関しては現物が無い状態から、実際に一から設計を行うことで設計の難しさや加工者に対して適切な図面とはどういうことなのかを考えて作成することができた。加工に関しても最初は失敗して苦手意識を感じることもあったが、失敗の原因を考え、改善策を考えて対応することができた。卒業研究で学び習得した知識や技能を就職先の仕事で活かせるように今後も精進していきたい。