

令和 6 年度(2024 年度)
卒業研究概要集



熊本県立技術短期大学校
Kumamoto Prefectural College of Technology

目 次

エンジン（内燃機関）の設計・製作 機械設計実習の教材作成 -----	1
精密機械技術科 浅野 心平, 藤本 由心, 牧野 漣世	
(指導教員) 中野 貴之	
卓上射出成形機の改良と成形実験 パージ工程の短縮 -----	5
精密機械技術科 佐田 修我, 田崎 謙成, 村上 風詩	
(指導教員) 中野 貴之	
四気筒ソレノイドエンジンの製作 -----	9
精密機械技術科 井原 璃空, 迫本 慧斗	
機械システム技術科 石原 航太	
(指導教員) 谷名 修	
プレス抜き金型の設計製作 -----	13
精密機械技術科 鍵本 舜斗, 山田 拓海, 石塚 善司, 岩本 勝也	
(指導教員) 田中 誠一郎, 源川 昇平	
機械設計・製図修得のための教材作成 機械設計編 -----	17
精密機械技術科 村本 卓士, 村上 楓	
(指導教員) 弓削 慶祐	
フライス盤加工の効率化と精度向上に向けた取組み エンドミル加工の研究 -----	21
精密機械技術科 木村 彌祿, 藤原 駆, 前田 晟也	
(指導教員) 弓削 慶祐	
マイコンカーの設計・製作 Camera Class -----	25
精密機械技術科 徳本 達哉	
機械システム技術科 田島 景柊	
(指導教員) 藤崎 毅	
マイコンカーの製作と競技会への挑戦 Basic Class -----	29
精密機械技術科 中原 蓮司	
機械システム技術科 宇野 琢磨	
(指導教員) 藤崎 毅	

リニアモーターカーの模型製作 -----	33
精密機械技術科 木山 隼汰 機械システム技術科 甲斐原 充輝	
	(指導教員) 谷名 修
ロボット競技会に向けた自律型ロボットの製作 -----	37
機械システム技術科 緒方 涼乃, 岡本 大空, 清田 真央	
	(指導教員) 田崎 和博
レゴを用いた工学教育教材の開発 -----	41
機械システム技術科 大坪 翔太郎, 塚本 悠介, 中野 光希斗	
	(指導教員) 田崎 和博
1 自由度振動系の強制振動実習装置の開発 -----	45
機械システム技術科 後藤 大輝, 田中 結翔, 岩本 望睦	
	(指導教員) 日野 満司
振動工学実習装置の開発 並んで回転するローラ上に置かれた板の振動実習装置 -----	49
機械システム技術科 東 漱磨, 森 玲雄	
	(指導教員) 日野 満司
プログラミング的思考育成教材のシステム設計 -----	53
機械システム技術科 上村 悠真, 北時 朋弥, 内田 秀司郎	
	(指導教員) 秀山 文彦
減圧状態での沸騰に関する研究 -----	57
機械システム技術科 内田 隼, 竹田津 渉, 中村 瑞貴	
	(指導教員) 秀山 文彦
移動型屋外お掃除ロボットの改良 -----	61
機械システム技術科 荒木 柊登, 乙丸 雄弥, 橋本 虎大	
	(指導教員) 坂田 祐二
技術短期大学校におけるサイバーセキュリティの強化 -----	65
機械システム技術科 戸田 碧, 瀧川 颯大	
	(指導教員) 坂田 祐二
切削による反りの改善 平面研削盤 -----	69
精密機械技術科 川口 研人, 比江島 弘輝	
	(指導教員) 源川 昇平

4つのアームを持つロボット競技会用ロボットの製作 -----	73
電子情報技術科 加治木 琥南, 相馬 翔, 渡邊 善飛 情報システム技術科 加來 涼雅	
	(指導教員) 江口 智弘
離床検知装置の通知方法の改善と機械学習手法の検討 -----	77
電子情報技術科 鶴田 健人, 廣瀬 龍輝 情報システム技術科 奈須 光希	
	(指導教員) 江口 智弘
MATLAB/Simulink×ラズパイを用いたライントレースPID制御安定化検討 -----	81
電子情報技術科 北村 昌太郎, 渡邊 天 情報システム技術科 米田 琉世	
	(指導教員) 塚本 晃史
マイコンを用いた外部デバイスとのシリアル通信ソフトの改良 -----	85
電子情報技術科 後藤 颯斗, 中村 清太郎 情報システム技術科 宮内 理玖斗	
	(指導教員) 塚本 晃史
準同型暗号を用いたデータ解析の応用 -----	89
電子情報技術科 松本 海星, 柳澤 宏樹 情報システム技術科 毛利 陸大	
	(指導教員) 里中 孝美
GLIP モデルを利用したテキスト生成とモーショングeneration -----	93
電子情報技術科 大塚 愛理, 佐野 勇太 情報システム技術科 藤野 敦大	
	(指導教員) 里中 孝美
電気探査用電極切替器の製作 -----	97
電子情報技術科 内田 紗会, 大西 涼太, 松田 賢晟	
	(指導教員) 池上 知顯
RTK-GNSS と IMU による自律走行ロボットカーの作製 -----	101
電子情報技術科 永石 陸翔, 松岡 拓実 情報システム技術科 栗屋 幸奈	
	(指導教員) 池上 知顯

加速度データ無線送信システムの開発 -----	105
電子情報技術科 高崎 柊也 情報システム技術科 鬼塚 夏鈴	
	(指導教員) 福田 真
移動体速度検出システムの開発 -----	109
電子情報技術科 藤本 脩平, 松本 昂大	
	(指導教員) 福田 真
RFID を用いた在庫管理システムの開発 -----	113
電子情報技術科 荒木 来伽, 村上 陽菜愛 情報システム技術科 小川 斗夢	
	(指導教員) 福田 真
LEGO SPIKE を用いたプログラミング教材の開発 -----	117
情報システム技術科 明石 滯斗, 三浦 功大, 上門 汰輝, 西川 奨真	
	(指導教員) 坂田 聡
toio と micro:bit を用いたプログラミング教材の作成 -----	121
情報システム技術科 岩下 大樹, 松村 亮汰, 宮本 凌太郎	
	(指導教員) 坂田 聡
ドローンを用いたプログラミング的思考を育むための教材開発 -----	125
情報システム技術科 相澤 由依子, 岩木 大河, 岩谷 聖也, 松山 惟生	
	(指導教員) 小田 信彦
Raspberry Pi を用いた節電対応デジタルサイネージの制作 -----	129
情報システム技術科 柿本 匠, 高田 湧真, 渡辺 晴斗	
	(指導教員) 坂田 聡

エンジン(内燃機関)の設計・製作 機械設計実習の教材作成

浅野心平, 藤本由心, 牧野漣世, 中野貴之(指導教員)
精密機械技術科

政府は2050年までに温室効果ガスの排出をゼロにする, カーボンニュートラルを目指すことを2020年10月に宣言した。今後, 内燃機関を持たない電気自動の普及が進むと思われるが, 充電設備が広く普及するまでは, ガソリンエンジンの製造は続くと考えられる。従って, 内燃機関の開発は, スーパーリーンバーン(超希薄燃焼)のように, 革新的な技術開発が求められる時代となっている。エンジンの構造や動作原理を理解することで, 理論だけでなく実践的な知識を身につけるため, エンジンの設計・製作に取り組んだ。

1. はじめに

近年, 脱炭素社会を目指している世の中で, 一番身近な車のエンジンに注目した。様々な形で自動車を動かす仕組みが考えられているが, 内燃機関においても水素エンジン等, 新たなものが開発されており, 内燃機関のことを理解することが必要だと感じた。本研究では, エンジンのことを深く学ぶことを目的としラジコンエンジンの模型を参考に設計・製作を行った。現在, 主流である4ストロークエンジンの設計・製作を考えたが, 構造上困難であると感じ, 簡易的な2ストロークエンジンの設計・製作に取り組んだ。

2. エンジンについて

2.1 2ストロークエンジン

2ストロークエンジンの行程を図1に示す¹⁾。2ストロークエンジンは, 1往復(吸気(掃気)/圧縮)-(爆発/排気)で1周期を完結するエンジンで, ピストン1往復, クランクシャフト1回転することに燃料が燃焼する。

- ① 上昇行程 : ピストンが上昇する間に排気と吸気の圧縮を行う。
- ② 下降行程 : 燃料の燃焼(爆発)によりピストンが下降し, その後半で排気を行う。

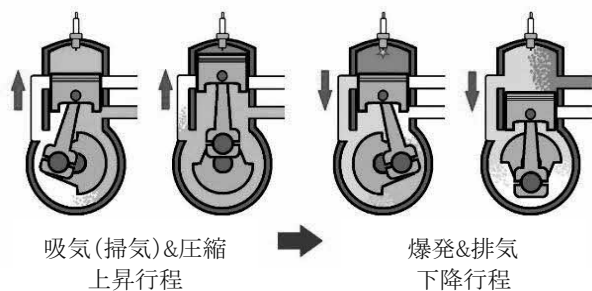


図1 2ストロークエンジンの行程

ここまでの行程で動力を伝達するクランクシャフトは1回転する。

掃気は2ストローク機関特有の動作で, 圧力のかかった新気(混合気または空気)をシリンダ内へ導入し, その勢いとピストンの圧縮力により燃焼ガスを排出するものであり, 掃気ポートがピストンの下降によって開かれ, 上昇によって閉じられるまで続く。掃気に圧力を与えることを一次圧縮と呼び, ピストンの下降に伴うエンジンブロックの容積変化による方法と, 外部に装備した圧縮機もしくは過給器による方法とがある。

2.2 4ストロークエンジン

4ストロークエンジンの行程を図2に示す²⁾。4ストロークエンジンは, 空気と燃料の混合気を燃焼室へ取り込み燃焼して燃焼ガスを排出するまでの一連の動作(サイクル)が, ピストンの上昇と下降が2回ずつの「4回の行程」で行われる容積型内燃機関である。1サイクルの間には, ピストンがシリンダ内を2往復してクランク軸は2回転する。

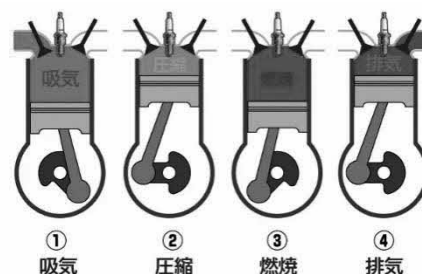


図2 4ストロークエンジン

- ① 吸入行程 : ピストンが下がり混合気をシリンダ内に吸い込む行程。
- ② 圧縮行程 : ピストンが上死点まで上がり混合気を

圧縮する行程.

- ③ 燃焼行程：点火プラグにより点火された混合気が燃焼し、燃焼ガスが膨張してピストンが下死点まで押し下げられる行程. 以前は爆発行程と言った.
- ④ 排気行程：慣性によりピストンが上がり燃焼ガスをシリンダ外に押し出す行程.

2.3 2ストロークと4ストロークの違い

燃料に同じガソリンを用いる場合について2ストロークエンジンと比較すると、未燃焼成分である炭化水素や潤滑油の燃焼に伴う粒子状物質の排出量が少なく、三元触媒を用いて窒素酸化物や一酸化炭素の排出を抑制しやすい. 燃焼効率や熱効率が良く、燃費が良好である. 排気の騒音が2ストローク機関より低い. 爆発(作用)ストロークが下死点近くまで続いて働き、他の3ストロークをこなすための慣性装置(フライホイール)の働きも強いので、低速回転の安定性や操作性は2ストローク機関に勝る.

一方で、クランクシャフトが2回転に1回の燃焼行程であり、2ストローク機関の半分になるため、同じ排気量で比較すると出力(軸トルク)が低い. 吸排気バルブやその駆動機構、エンジンオイルの循環機構などのために部品点数が多くなり、重量や価格の面で不利となる. 必要なメンテナンスは長くなるとしても整備には手間と費用が掛かる.

3. エンジンの設計・製作

3.1 製作するエンジンの仕組み

ラジコン2ストロークエンジンを模して製作した. 今回製作するエンジンは一般的なスパークプラグを用いず、グロープラグを使用する. グロープラグを図3に示す³⁾. グロープラグは熱面着火での点火を行う. 熱面着火とは高温になったものに燃料と空気の混合気が触れることで発火できるため、火種がなくても温度だけで点火できる.

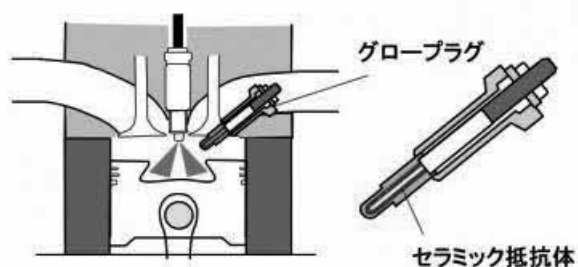


図3 グロープラグの仕組み

3.2 エンジンの仕様

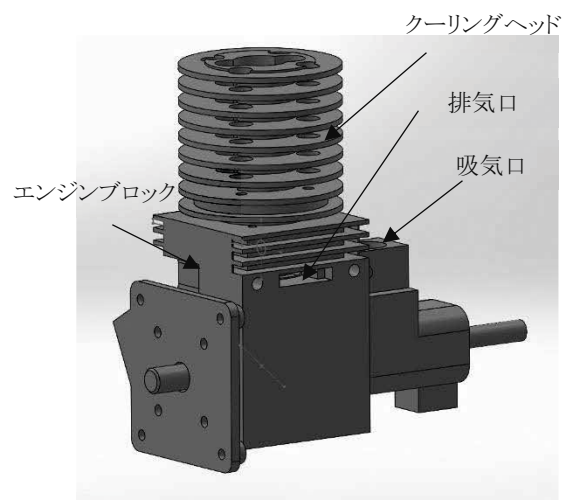
エンジンの仕様は以下のとおりである.

気筒数	単気筒
シリンダサイズ	φ15.5mm
ストローク	13.6mm
排気量	25cc
圧縮比	8.3:1
使用燃料	メタノール・ニトロメタン・潤滑油
エンジン冷却	空冷

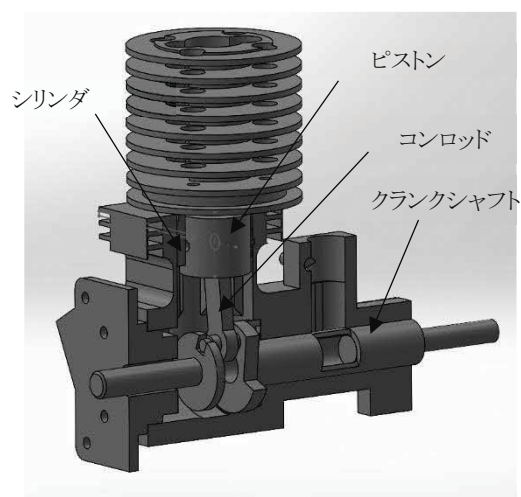
4. 設計

4.1 機構

設計した2サイクルエンジンを図2に示す.



(a) エンジン本体



(b) エンジン本体(ハウジング断面)

図4 3DCAD エンジン組立図

設計したエンジンの行程を図5～図7で説明する。

- ① シリンダが上死点に達したとき、圧縮された燃料がグロープラグにより引火し爆発してピストンを押し下げる。

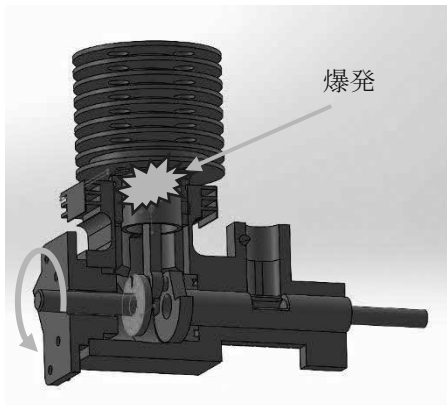


図5 上死点(圧縮・爆発)

- ② ピストンが押し下げられると同時に、クランクシャフトに設けられた吸気口から燃料がエンジンブロック内に充填される。また、燃焼室から排気される。

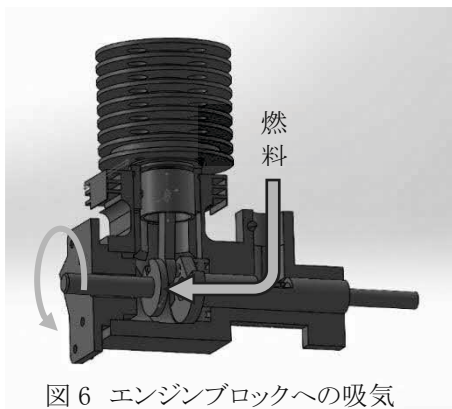


図6 エンジンブロックへの吸気

- ③ ピストンが上死点に向かって上昇するとき、エンジンブロック内の燃料が燃焼室へと充填され、上死点に達すると、燃料の引火・爆発となる。



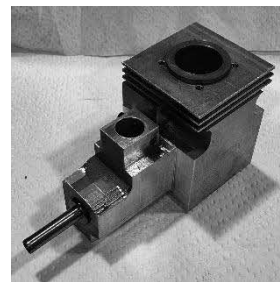
図7 圧縮(シリンダへの吸気・圧縮)

4.2 参考モデルと研究モデル

今回は、京商ラジコンの2サイクルエンジンを参考に設計を行った。京商のラジコンは、エンジンブロックは鋳造で製作されているが、本校には鋳造できる設備がないため、すべて機械加工で行う必要があった。そこで、機械加工を行いやすい形状にする必要があった。一例として、製作したエンジンブロックを図8に示す。エンジンブロックは、マシニングセンタとワイヤ放電加工で加工できること、また、治工具を製作することなく、加工できる形状を考え設計した。



(a) 参考モデル



(b) 研究モデル

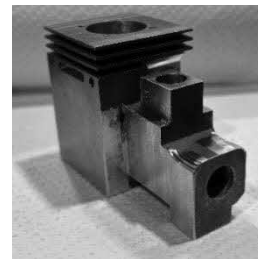
図8 エンジンブロック

5. 部品の製作

製作したエンジン部品6点を図9に示す。



(a) ピストン



(b) エンジンブロック



(c)コンロッド



(d) クランクシャフト



(e)クーリングヘッド

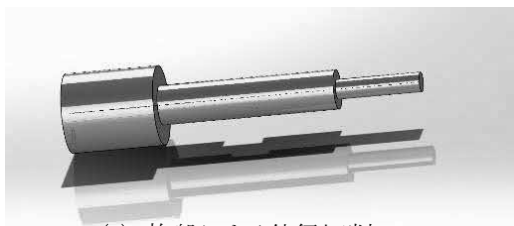


(f) エンジンライナ

図9 製作したエンジン部品

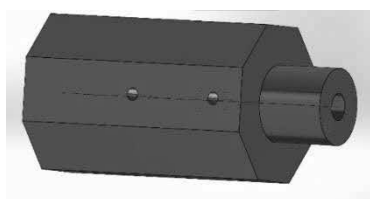
部品によっては、部品取り付け治具の製作が必要であった。その中でクランクシャフトについて、その製作過程を図 10 に示し、説明する。

- ① 旋盤で下の形に加工する。



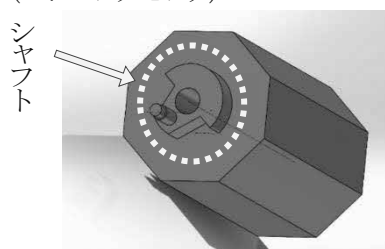
(a) 旋盤による外径切削

- ② 八角形の治具を作る。(ワイヤ放電加工)



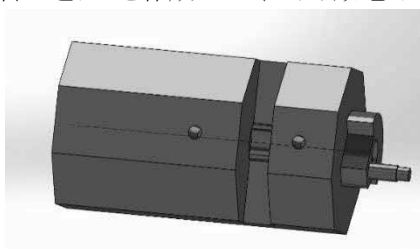
(b) 治具の制作

- ③ シャフトの頭の形・穴加工を行った。(マシニングセンタ)



(c) マシニング加工後

- ④ 燃料の通り口を作成した。(ワイヤ放電加工)



(d) ワイヤ放電加工

図 10 クランクシャフトの加工工程

6. エンジンの動作確認

完成したエンジンを図 11 に示す。実際に燃料を入れ動作を確認した。インパクトドライバーを使用してスター

ターを介し、クランクシャフトを回してピストン運動を行い、エンジンを始動させた。

排気音が変わるなど、変化はみられたが、エンジンの始動には至っていない。この原因として、シリンダとピストンの真円度に問題があると考えている。ピストンとシリンダを真円度測定機で測定すると、ピストンの真円度は $12\mu\text{m}$ 、シリンダの真円度は $5\mu\text{m}$ であり、燃料の吸気後の圧縮ができていないと考えられる。

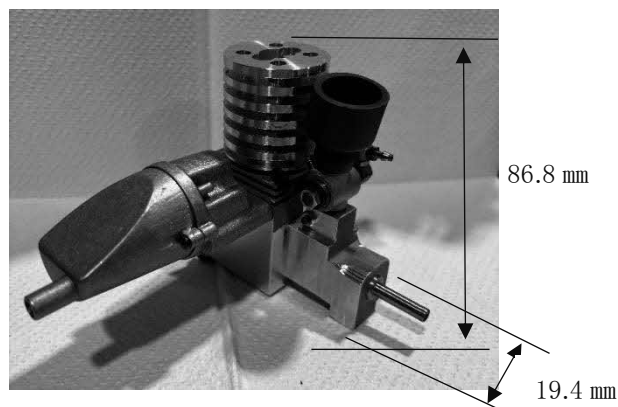


図 11 組立てたエンジン

7. おわりに

卒業研究でラジコンエンジンの設計・製作に取り組み、以下のことがわかった。

2ストロークエンジンは、4ストロークエンジンに比べ構造が単純で部品点数も少ないが、ピストンとシリンダのはめ合わせは精密さが重要であり、また、部品を作るためには、治工具の製作が必要であることがわかった。

NC データの作成は主として CAD/CAM で行ったが、工具の選択や加工後の寸法は、必ず確認する必要があるなど、考えるべきことが多くあった。

目標としていたエンジン始動には至らなかったものの、研究を通して自分たちでゼロからエンジンを作り上げることに満足感を得た。

参考文献

- 1) 2ストロークエンジンの仕組みを知ろう！
<https://young-machine.com/migliore/2022/09/13/356787>
(参照日 2024 年 10 月 24 日)
- 2) 4ストロークエンジンの仕組み,
<https://daradara.site/entry/differences-between-2strook-and-4strook> (参照日 2024 年 10 月 28 日)
- 3) WEB MAGAZINE Vol.19, エンジンプラグの種類と違いを理解して適切な使い分けを！「グロープラグ」の基礎知識(参照日 2024 年 10 月 17 日)

卓上射出成形機の改良と成形実験

ページ工程の短縮

佐田修我, 田崎謙成, 村上風詩, 中野貴之(指導教員)
精密機械技術科

射出成形機は、プラスチック材料を熱で溶融し、金型に流し込むことで製品を成形する機械である。本学では型締力 10080kN の射出成形機を教育用として導入しているが、金型製作に時間を要し、またロット数やコストなど手軽に使用できるものではない。そこで、机上で数個からでも製作できる小型の射出成形機が必要と思われ製作に取り組んでいる。昨年度の卒業研究終了後の課題として、メンテナンス性の向上が挙げられた。そこで、シリンダを容易に交換できる構造に改良を試みた。また、取り付ける簡易金型も新たに製作することにした。その結果、樹脂替えはシリンダを交換することで、ページ時間を短縮できることとなり、歩留まり率を高くすることができた。

1. はじめに

卓上射出成形機は、卓上における小型の射出成形機である。射出成形とは溶融したプラスチック材料を金型に流し込むことで金型の空洞部の形状に成形する加工方法であり、複雑な形状でも大量に製品を成形することが可能である。通常、プラスチック射出成形は、自動車の大きさ程の装置が必要で、また、金型の製作費の高さや製作期間の長さが課題となるため、金型についての導入教育としてはハードルが高い。そこで、プロトタイプ作製や小規模な製品生産に使用される卓上射出成形機を製作することとした。

本報告はその成果をまとめたものである。

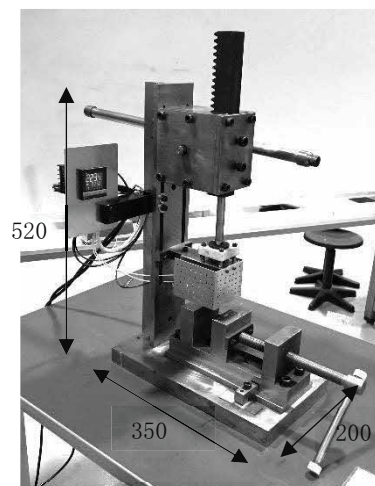


図1 昨年の射出成形機

2. 装置

2.1 昨年度の装置

昨年度の卓上射出成形機を図1に示す。大きさは、幅 200mm、奥行 350mm、高さ 520mm、重さ 42kg である。ピストンの上下はラック&ピニオン機構で行う。レバーを回すことでピニオンが回転しラックに取り付けたピストンが上下する。シリンダ部は、ピストンが上昇しているときはバネによってノズルが持ち上げられてノズル先端は金型と直接触れないが、ピストンが下降すると金型のスプルー(金型の入り口)にシリンダの射出口が密着し、更にピストンを押し下げると、シリンダ内のプラスチック樹脂が金型に射出される。シリンダ内の樹脂は、シリンダに取り付けた、30W のカートリッジヒータ2本で熱せられて溶融される。

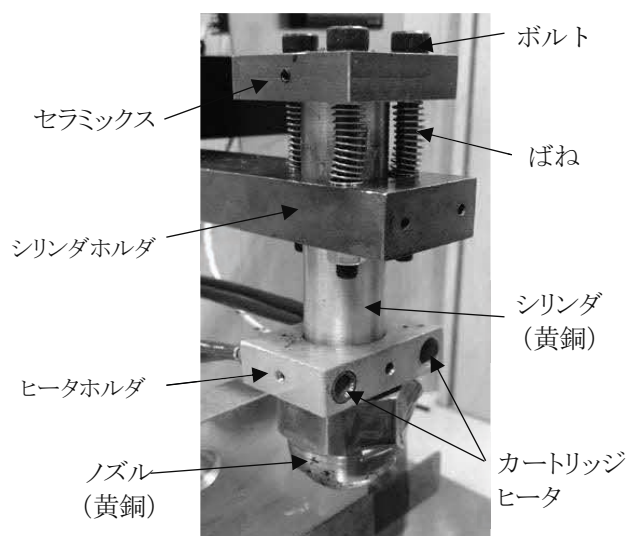


図2 シリンダ部の構造

2.2 昨年度の課題

完成した射出成形機を用いて、種々の樹脂で成形を行うと、図 3(a) のような製品に黒い斑点が付くことがあった。これは、シリンダ内に残った樹脂の炭化である。黒くコゲがついたシリンダの様子を図 3(b) に示す。この炭化物を取り除くためには、ページでは完全に取り除くことは難しく、シリンダ内を清掃するか交換が必要であった。そこで、今年度は射出成形機の整備性を向上させることを目標とした。具体的には、シリンダの交換を容易にするようにした。

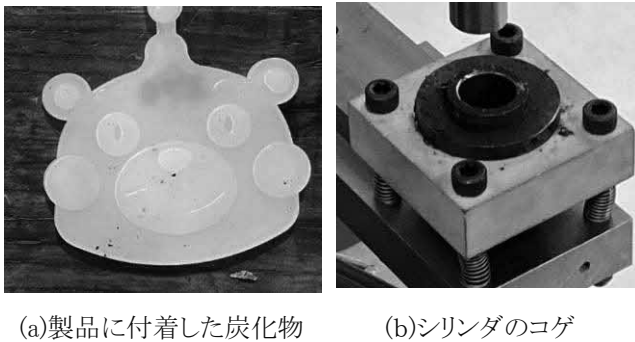


図 3 昨年度の課題

3. 射出成形機の改良と部品設計

3.1 構想

シリンダをできるだけ容易に交換できるように設計を行う。改良前のシリンダの取付けの様子と改良イメージ図を図 4 に示す。シリンダ、シリンダホルダ、カートリッジヒータホルダは分割してねじ止め式とし、シリンダは樹脂に応じて取り換え式にすることとした。

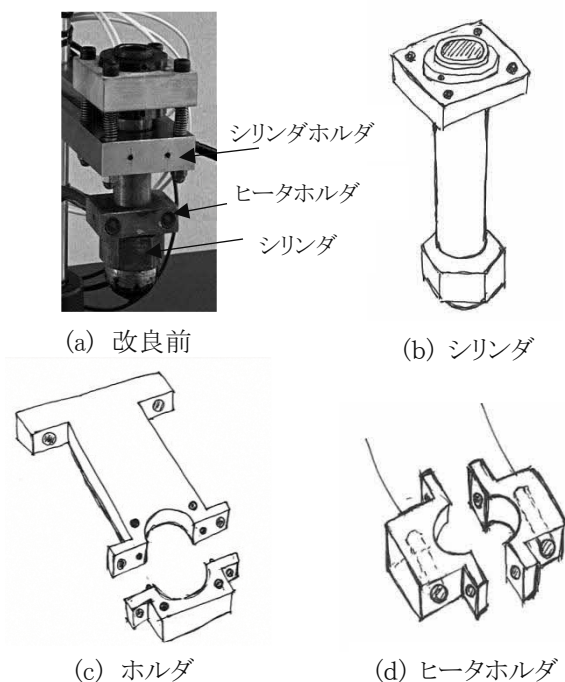


図 4 改良前と構想図

3.2 部品の設計・製作

構想図に基づき、部品の設計製作を行った。製作した部品を図 5 に示す。部品は構想どおりに分割し、ねじで組立てられるものを製作した。シリンダの先端はNC旋盤で削り出し、断熱用のセラミックスは加工が難しいため外注した。

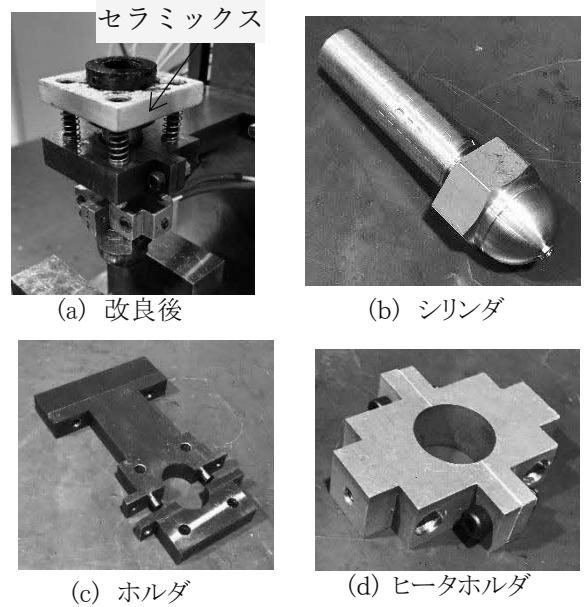


図 5 製作した部品

4. 金型

4.1 製品設計

以前まで使用していたくまモンストラップの金型は、射出後に穴あけやひもを通す作業など、射出成形だけで製品が完成していなかった。そこで、射出成形のみで製品が完成し、さらに実用性のあるものにしたいと考えペーパークリップを考案した。3DCAD で設計した猫のペーパークリップと3Dプリンタで試作した製品を図 6 に示す。デザインしたねこは、樹脂が焦げてもねこの模様として考え、この世に一つだけのオリジナルデザインと考える。本のしおりにもなるよう考慮して試作を行った結果、製品の厚みは 0.8mm とした。

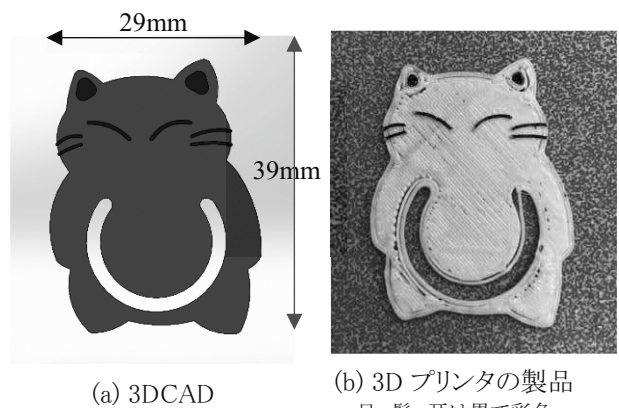


図 6 製品図

4.2 樹脂流動解析

金型を製作するにあたって、樹脂の流動解析を行った。解析を行うにあたり、スプルー、ランナー、ゲートを製品に付加したモデルを製作した。また、樹脂の流れを考慮して、追加ゲートを設けた製品とした。解析モデルを図7に示す。解析は SolidWorks Plastics を用いた。

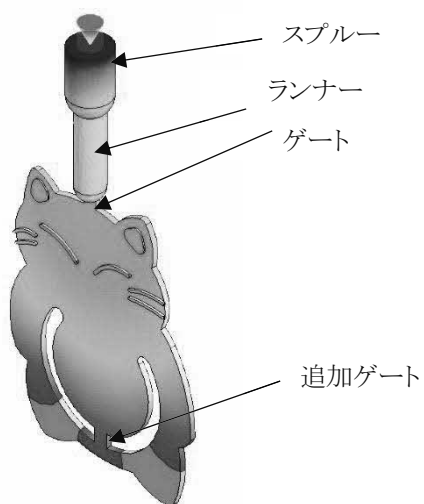


図7 解析モデルと樹脂充填解析の様子

樹脂 HDPE の解析結果を図8に示す。スプルーから充填開始する樹脂の温度が 230°C のとき、射出圧力は 49MPa であり、追加ゲートを通過する樹脂の温度は 200°C 未満になることがわかった。200°C 未満であると、樹脂の流れが悪くなり、充填不足となることが予想されたため、充填開始温度を 250°C に上げて解析を行った。その結果、射出圧力は 42MPa に下がり、追加ゲート通過後の樹脂の温度は 208°C を示した。したがって、この製品の場合、樹脂の射出温度を 250°C 以上に設定して行うこととした。

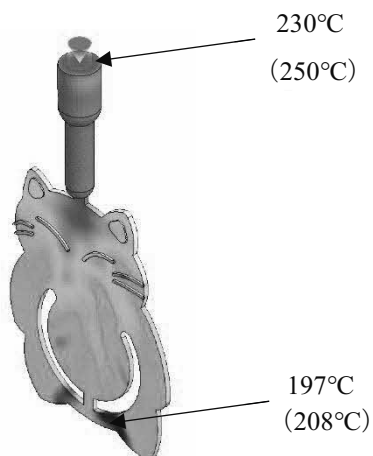


図8 流動フロント温度の解析

4.3 金型製作

樹脂の流動解析の結果に基づいて製作した金型を図9に示す。胴体はキャビティ側、目や髭等の顔の表情に関するものはコア側に彫り込んだ。

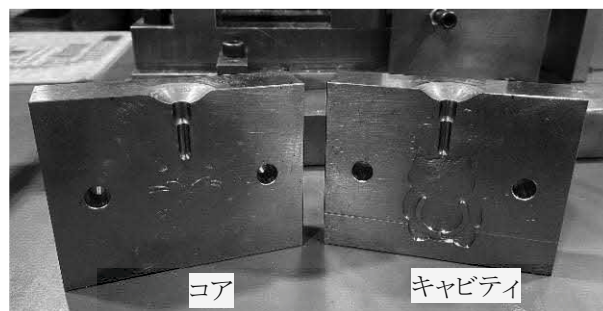


図9 製作した金型

5. 成形実験

5.1 樹脂の充填確認

製作した射出成形機と金型を使って、成形を行った。成形温度は 250°C である。ショートショットで少しずつ充填量を増やし、樹脂の流動の様子を観察した。その結果、流動解析と同じように樹脂が充填されていくことが確認できた。

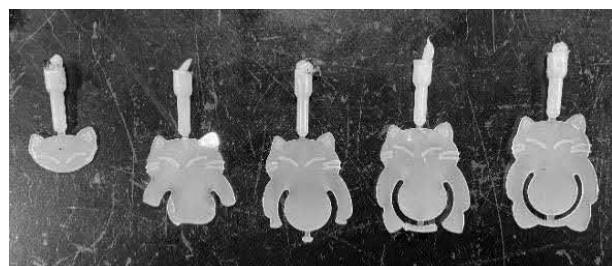


図10 樹脂流入の様子 (HDPE)

5.2 実験条件

成形実験は表1の条件で行った。成形温度は 220°C から 265°C まで 15°C ずつ変化させ、約 52 kg の体重の者が成形機のレバーに全体重を加えて行った。この時の金型の内圧は約 50MPa であった。

表1 成形条件

樹脂の種類	成形温度(°C) ¹⁾	実験温度(°C)
HDPE	200~300	220, 235, 250, 265
PS	170~280	
PP	200~300	

5.3 実験結果と考察

実験結果を図11～図13に示す。HDPEの場合、解析で250℃以上が適していると推測されており、実際の実験でも、その解析通りの結果となった。235℃以下では製品の下部が欠けた状態であり、250℃以上で完全に充填された製品が成形できた。

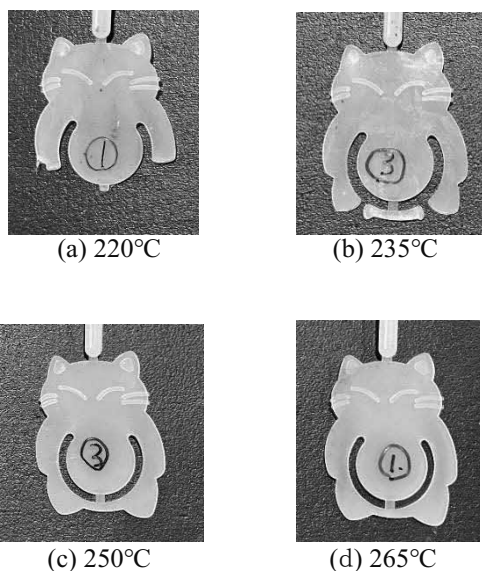


図11 成形結果 HDPE

PPの場合、220℃から265℃まで充填不足のない製品が成形できた。PPはHDPEに比べ同じ温度では、成形性が高く感じられ、小さな力で射出できた。また、製品はHDPEより硬く、製品が反り返ることはなかった。

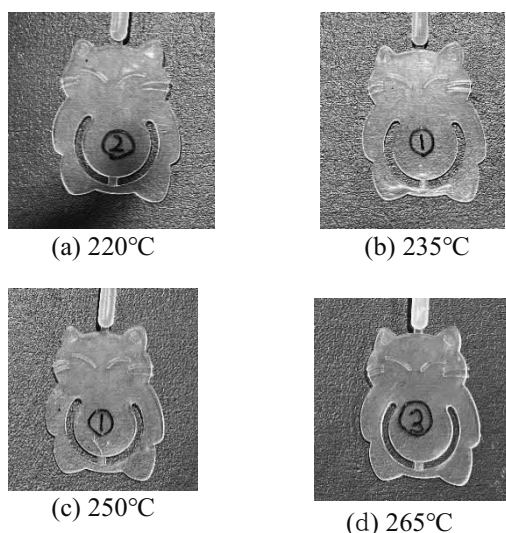


図12 成形結果 PP

PSの場合、220℃から265℃まで充填不足のない製品が成形できた。しかし、成形後、製品を金型から取り外しにくく、スプルーとランナーを持ち上げるとゲートで

折れてしまうことがあった。毎回、離型剤を金型に塗布する必要が生じた。

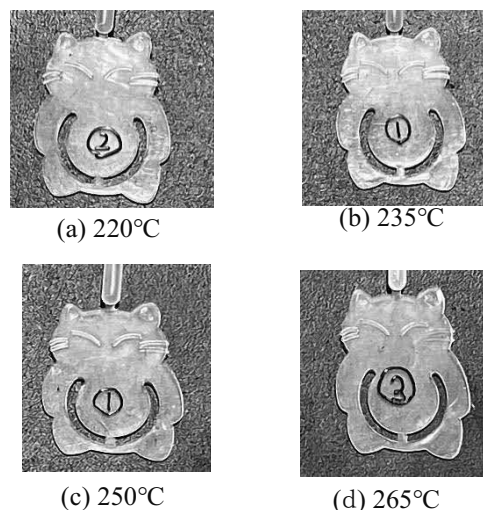
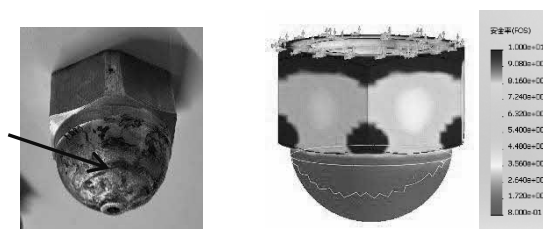


図13 成形結果 PS

5.4 課題

射出成形実験を行なうと、ノズルが破損することがあり、この破損が続いたため、ノズルの構造解析を行った。ノズルの破損の様子と構造解析の結果を図14に示す。解析の結果、HDPEを射出圧力50Mpa²⁾で射出すると、安全率は1程度で、強度が不足していることがわかった。



(a)破損したノズル (b)ノズルの解析結果(安全率)

図14 ノズルの破損と構造解析の結果

6. おわりに

目標にしていたシリンダを交換できる構造の射出成形機を製作することができた。実験の結果、HDPEに関しては流動解析どおり250℃以上で充填不足のない製品を成形することができた。PPとPSに関しては220℃から265℃まで成形することができた。今後の課題としては、ノズル部の強度を上げることである。

参考文献

- 1) 小松道尾:プラスチック射出成形金型設計マニュアル,(2006年),pp.146-151.
- 2) ㈱実践教育訓練研究協会:プラスチック金型の設計・製作と射出成形技術,(2002年),pp.44.

四気筒ソレノイドエンジンの製作

石原航太^{*}, 井原璃空^{*}, 迫本慧斗^{*}, 谷名修(指導教員)
機械システム技術科^{*} 精密機械技術科^{**}

企業活動における新製品開発においては原理から全くの新規の製品を開発するのではなく、既存の製品をベースとした低コスト化、生産性向上、高性能化、機能追加による高付加価値化等を行う場合が非常に多い。今回、私たちは昨年先輩方が作製したソレノイドエンジン模型をベースに四気筒ソレノイドエンジン製作に取り組み、高性能化、機能追加による高付加価値化等の検討と実施を行うことで企業における改良開発の進め方を学習することとした。特に現在いろいろな場面で活用が進んでいる 3D プリンタを活用したショートサイクルでの課題のフィードバックによる改良のスピードアップに注力した。

1. はじめに

ソレノイドエンジンは電磁石の原理を応用し、コイルに電流を流すことで鉄芯を引き寄せる原理を使っている。コイルに流す電流の ON/OFF を交互に繰り返すことでこの鉄芯の動きは往復運動となり、クランク機構を利用することで回転運動となる。今まで製作されたソレノイドエンジンは 3 つあり、それぞれの問題点を表1に示す。3Dプリンタで製作されたものを1号機、金属加工で製作されたものを 2 号機とする。また 3 号機の CAD 図を図1に示す。

表 1 過去に製作された製品の問題点

	問題点
1号機 (3D プリンタ)	電圧 24V で且つ潤滑油を塗布することで駆動した。
2号機 (金属製)	最低電圧 23V と高い電圧で駆動した。金属加工により手間がかかる。
3号機 (三気筒クランクシャフトなし)	クランクシャフトを使わないことで、完成品が大きくなってしまう。

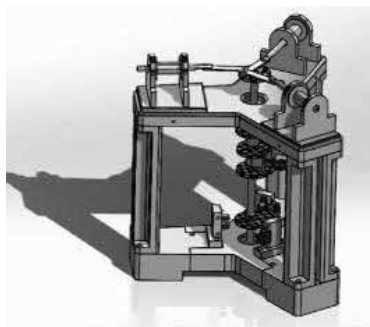


図1 3号機

2. 設計, 製作

2.1 目標

高性能化、機能追加による高付加価値化等を達成するために、今年度は以下を目標とし製作した。

- ① 高性能化,機能追加のため,クランクシャフトを使用する.
- ② 3DCAD 上でモデルを製作し正常に動作させる.
- ③ フィードバックサイクルを増加させるため,3Dプリンタを活用し, モデルの部品を製作した.
- ④ 高付加価値化のために, よりスムーズな動作が期待される四気筒モデルを製作する.

2.2 基礎検討

高性能化,機能追加による高付加価値等を達成するために,今年度は以下の項目について最適化の検討を行った(図 2,図 3).

- 1)四気筒化
- 2)クランクシャフトの使用
- 3)その他のパラメーター

1)四気筒化
シリンダーレイアウトの検討

以下の図 2,3 のような V 型と水平対向型を試すことにした。

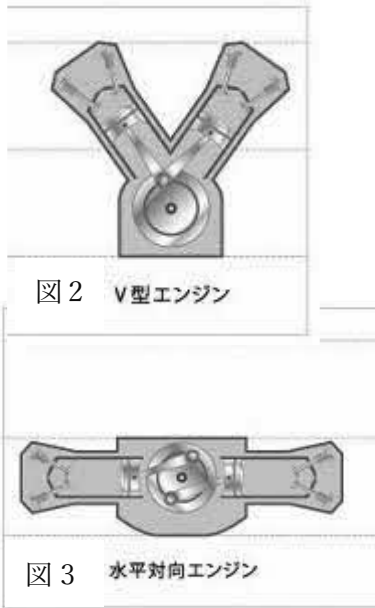


図2 V型エンジン

図3 水平対向エンジン

二つの型のメリットとデメリットを以下の表2に示す.

表2 V型と水平対向型のメリットとデメリット

	メリット	デメリット
V型	<ul style="list-style-type: none"> コンパクト 設計自由度が高い 高出力のための設計がしやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 振動が大きい 重心が高い メンテナンス, 修理の難易度が高い
水平対向型	<ul style="list-style-type: none"> 振動が小さい 低重心 安定性 耐久性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 全体的が大き 出力が劣る

今回は両方の型を試すことにした.

2) クランクシャフト

図4の様なクランクシャフト製作には、一体型と分割型での成形方法が考えられる.



図4 クランクシャフト

メリットとデメリットを以下の表3に示す.

表3 クランクシャフト製作方法別のメリットとデメリット

	メリット	デメリット
一体成形	<ul style="list-style-type: none"> 部品数が少ない 剛性向上 バランス向上 組立精度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 3Dプリンタでの製作が困難 修正・改善の難しい
分割成形	<ul style="list-style-type: none"> 製造の柔軟性 材料の有効活用が可能 一体型に比べて設計しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> バランスが悪い 接合部の強度が低い 部品点数が多い

以上のメリットとデメリットから設計のしやすさを優先し,分割型で製作することにした.

分割型のクランクシャフトとして,下記のパーツに分割し,製作した.

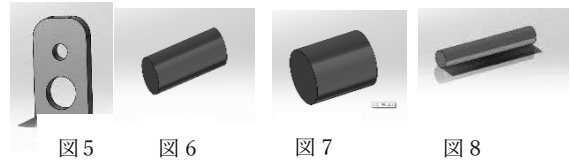


図5 リミットスイッチ ON/OFF 用板
 図6 留め具 1
 図7 留め具 2
 図8 留め具 3

3DCAD上でアセンブリすると以下のようなクランクシャフトになり,動作が確認できた.

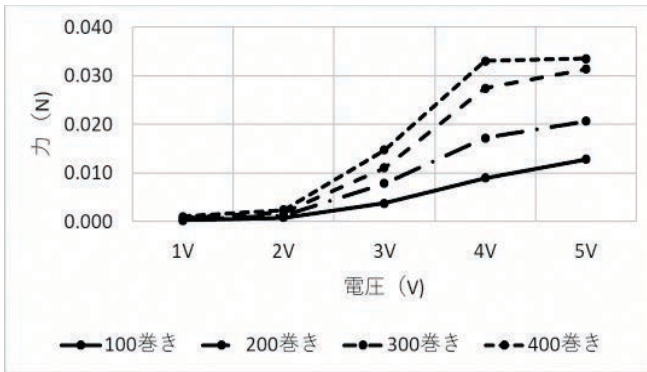


図9 3DCAD 上で作成したクランクシャフト

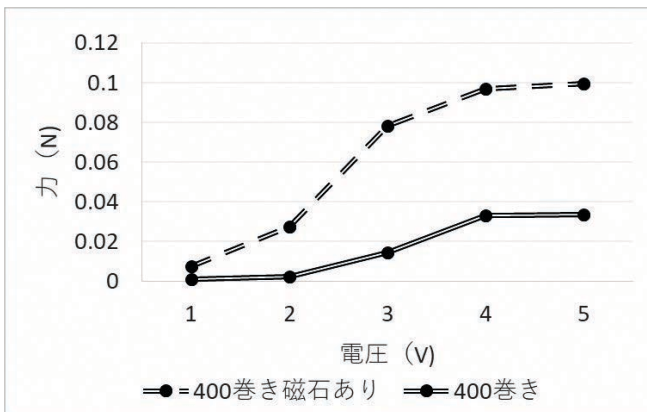
次に,3Dプリンタで印刷を行い組み立てを行った.

3) その他パラメーター

昨年までの実験でコイルの巻き数と磁石の有無による力の変化について調べてあり,以下のグラフ 1,2が実験結果である.



グラフ 1 コイルの巻数依存性



グラフ 2 鉄芯の磁化の効果

上記より,コイルは 400 巻,鉄芯には磁石をつけることとした。

2. 3実モデルの設計

次にV型,水平対向型ソレノイドエンジンの設計に取り組んだ。

3DCAD上で,以下の写真のパーツを製作した。

V型

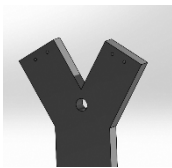


図 10 V型外枠

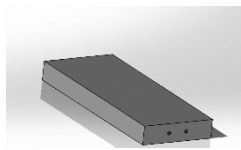


図 11 土台

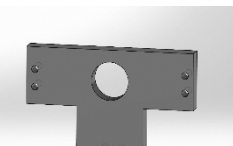


図 12 水平対向型外枠

共通しているパーツ

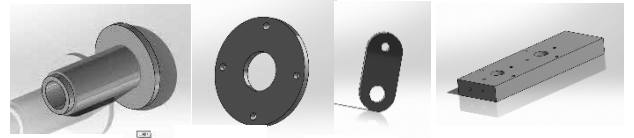


図 13

図 14

図 15

図 16

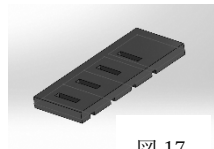


図 17



図 18

図 13 コイルボビン 図 17 スイッチ土台
 図 14 コイルふた 図 18 クランクシャフト
 図 15 コンロッド
 図 16 横カバー

購入品



図 19

図 20

図 21

図 22

図 19 ベアリング
 図 20 リミットスイッチ
 図 21 ねじ
 図 22 鉄芯

CAD上でアセンブリを行い,上手く動作することが確認できた(図 23,図 24)。

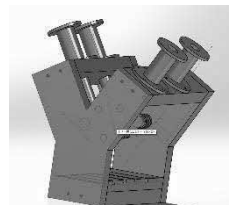


図 23 V型組立図

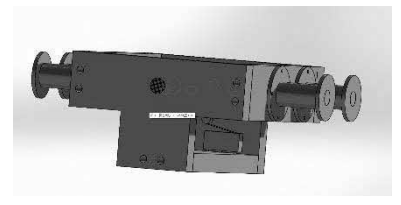


図 24 水平対向型組立図

2. 4製作

製作は 3DCAD で STL 形式で保存し,C 棟一階の砥粒加工室に設置されている,3D プリンタで出力した。サポート構成材の設定は出力したものによって違うため今回は説明を省略する。

サポート構成材をきれいに取り除くのは時間がかかるため 3DCAD でサポート材を使用しないために、出力時に穴の上に構造物が被らないようにすることや、斜め方向に部品を作らないように設計、設置することを心掛けた。

2. 5実モデルの組立

3Dプリンタでパーツ印刷を行い、組み立てを行った。以下が実際に組み立てた写真である。



図 25 水平対向型実モデル

組み立てた結果、手動で回す場合でも、引っ掛かりがありスムーズに回すことができなかったため、コイルに電流を流して確認することができなかった。

2. 6課題

V字型の課題として重力により、鉄心が落ちてしまい引っ掛かりが起きてしまうことがわかった。

水平対向型の課題として図 12 の水平対向型外枠を小さく作りすぎたため引っ掛かりが起きてしまうことが分かった。共通の課題として、クランクシャフトの強度が低いため、歪みができてしまうことが分かった。

2. 7再設計・再製作

上記の課題から、以降は水平対向型を改良して進めていくことにした。

改良する点として

シリンダーの大きさ変更。

コネクティングロッドの長さ変更。

クランクシャフトの強度向上。

が上がった。

以下が変更前と変更後を比較した画像である。

シリンダー

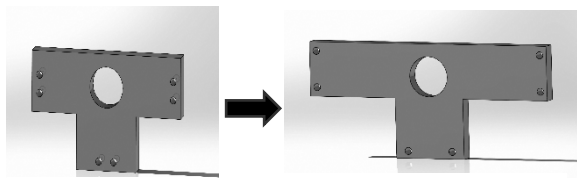


図 26.1 改善前

図 26.2 改善後の V 型外枠

コネクティングロッド

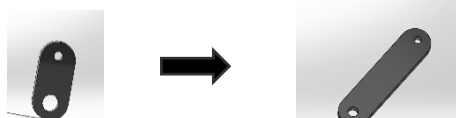


図 27.1 改良

図 27.2 改善後のコネクティングロッド

改良した結果、手動ではスムーズに動作することが確認できた。コイルに電流を流して確認を行ったがスイッチを押す時間が短く、電流が上手く流れない問題が分かり、クランクシャフトの設計変更を行った。

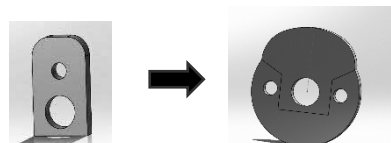


図 28.1 改良前

図 28.2 改善後のリミットスイッチ ON/OFF 用

スイッチに当たる突起(図 26)を変更前の約三倍の大きさに変更した。また最初にスイッチに当たる部分の丸みの部分を滑らかにし、引っ掛かりが少なくなるようにした。

結果として、電流を流して動作を確認するところまではできなかったが、組み立て、手動でスムーズに動作することまで確認することができた。

3.今後の課題

今後の課題として、最終的に電流を流して動作するか確認できなかったのも、コイルに電流を流して実際に動作するか確認する。

また低電圧で動作できるように改良する。

4.まとめ

今回四気筒ソレノイドエンジンの製作を行い、完成までさせることはできなかったが、トライアンドエラーの繰り返しを行い、長期間苦戦していたクランクシャフトのゆがみによる引っ掛かりを解決することができ、企業における改良開発の進め方を学べたと思う。

また、主に 3D プリンタを使用したため、授業では学べなかったことも学べたと考える。

参考文献

- 1) <https://www.youtube.com/watch?v=zE1O0Tl7lho>
(参照日 2024 年 2 月 27 日)
- 2) I produced original V8 solenoid engine - Takaha Kiko Co., Ltd.(参照日 2024 年 2 月 27 日)
- 3) 水平対向エンジン - 検索 画像
(参照日 2024 年 2 月 27 日)

プレス抜き金型の設計製作

鍵本舜斗,山田拓海,石塚善司,岩本勝也,田中誠一郎(担当教員),源川昇平(指導教員)
精密機械技術科

工業製品において金型は必要不可欠なモノとなっている。製作には設計から加工そして最終の手仕上げ・組立てまで多くの技術者の技術技能が含まれている。又金型の出来次第で製品の品質・コストに大きく影響を与えることもある。本研究の目的は、抜き加工金型を設計から製作まで行いプレス加工した際の抜き加工の過程において試験片がどのような挙動を示すかを理解し、飛行機 F16 の形状を製作することである。今年度は新規で金型の製作を行い、完成させることができた。プレス加工において 1 回目のプレスで、多少の曲がりこそあったが製品を取ることが出来た。

1. はじめに

プレス加工製品の精度と品質は金型で決まる。このため、金型に関する技術は μm の超精密加工を要するようになった。従来金型製作を行う際、熟練された技術技能の基、設計から加工、組立まで行われている。本学も 3DCAD を用いて設計することができ、尚且つ加工機も汎用機から NC 機と幅広くある為、金型を製作することが本学でも可能と判断した。

2. プレス金型

プレス金型の構造図を図 1 に示す。プレス金型は上型と下型の間に板状の素材を挟み、上方向からプレス機で圧力をかけることで、素材を伸ばし・圧縮・曲げ・切断といった加工を行う。製品の精度は金型で決まる為、金型は高精度な加工を行い製作される。また大量生産が可能のため、自動車などさまざまなジャンルの部品製造に広く用いられている。

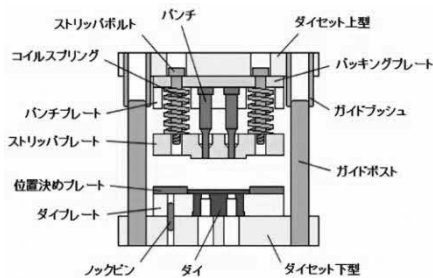


図1 プレス金型の構造図

3. 設計

3. 1 製品図設計

製品図を図 2 に示す。SolidWorks を用いて飛行機 F16 のモデル設計を行った。

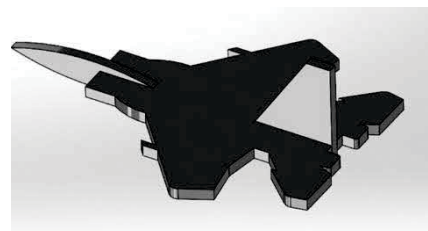


図 2 製品図

3. 2 加工力の計算

金型が製品を打ち抜く時の力のことを加工力という。この値がプレス機の力を上回ってしまうと加工が出来ない為、プレス金型製作において極めて重要な計算となる。また無理に加工を行えば負荷がかかり金型とプレス機の故障に繋がる。今回使用するプレス機の加圧能力は 441kN なので 441kN 以下の加工力で出来る材料を選定しなければならない。今回はアルミニウムを使用することを想定しその比較としてステンレスの計算も行った。

加工力の計算は以下の通りである。

$$P=L \times t \times S$$

P はせん断加工力 (N), L は加工周長 (mm), t は板厚 (mm), S はせん断抵抗 (MPa) となる。せん断抵抗はアルミニウムの値で計算を行う。実際の計算では $L=440.29\text{mm}$, $t=3\text{mm}$, $S=200\text{Mpa}$ として計算結果は $264174\text{N} \approx 26.4\text{t}$ となった。計算式のせん断抵抗をステンレスの値 530MPa に変更し計算を行う。結果 $700061\text{N} \approx 70\text{t}$ となった。

結果アルミニウムは 441kN を超えなかったため使用できることが分かった。また、パンチの飛行機の先端(ノーズコーン)が細いことから、パンチの変形を考慮してアルミニウムを打ち抜くことにした。

3.3 クリアランスの計算

クリアランスを図3に示す。パンチがダイに入った時に出来る隙間の事をクリアランスという。クリアランスは均一で適切な隙間を設ける必要がある。適切な場合、図4にあるようにせん断面と破断面のバランスが綺麗になる。適切ではない場合、製品にバリやダレといった不具合が生じる。クリアランスは計算式で求めることができる。計算式は以下になる。

$$c = t \times C / 100$$

cはクリアランス, tは材料の厚さ, Cはクリアランス割合となっている。クリアランス割合は材料ごとに変わるので、今回はアルミニウムの8~10%で計算を行う。実際の計算としてt=3mm, C=10%で計算を行った結果0.3mmとなった。

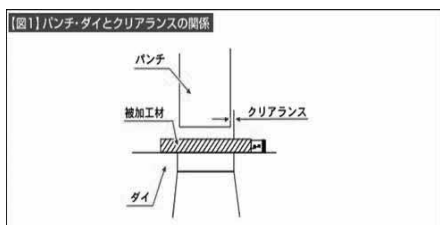


図3 パンチとダイのクリアランスの関係

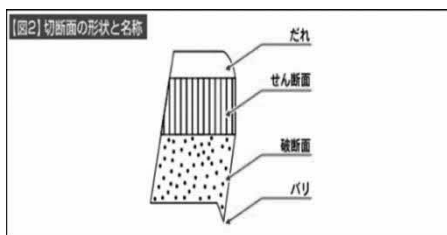


図4 切断面の形状と名称

3.4 金型設計

最初に3Dプリンターで製品モデル(図5)を製作し、はめあいやクリアランスの確認を行った。次に3DCADソフトのSolidWorksを用いて金型の設計(図6完成図)を行い、AutoCADで2Dへの図面製作を行った。ダイセット・ガイドポスト・ブッシュの仕様はプレス機の上死点と下死点が255mmから195mmなので全体のダイハイトを200mmにしガイドポスト105mmの寸法にあわせてセットをミスミで購入した。また、ノックピンは本学にあるものを使用した。パンチ(図7)とダイは上記の加工力とダイセットの幅に合わせて設計を行った。また、上記【3.3 クリアランスの計算】で出た0.3mmは設計段階で0.5mmと誤って設計していた。

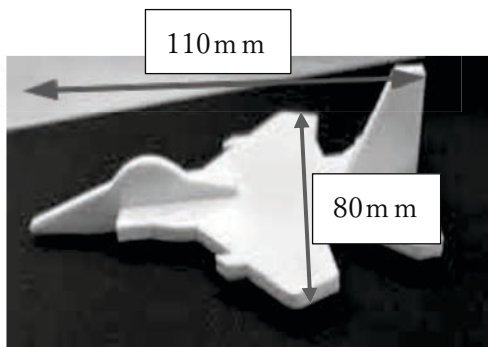


図5 3Dプリンター モデル

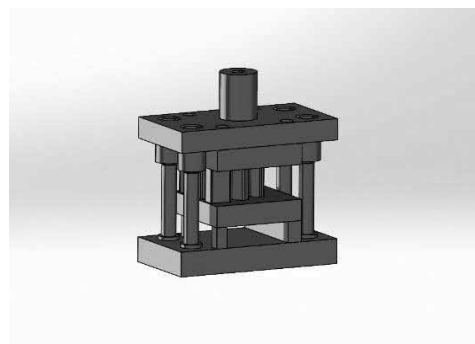


図6 3DCAD 完成図

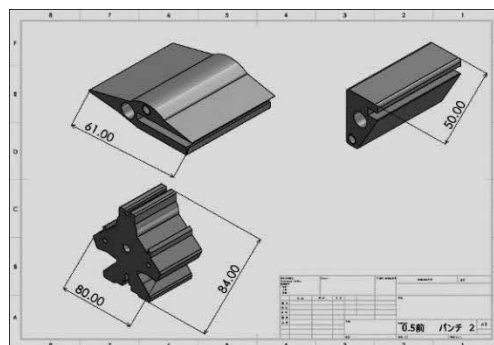


図7 パンチモデリング

3.5 ダイハイト・ガイドポスト

1) ダイハイト

ダイハイトを図8に示す。金型の組立図には、設計時に各プレートの厚み、材料の厚みなどから製品を打ち抜く高さが計算され、その数値が記入されている。これを「ダイハイト(DH)」と言う。

2) ガイドポスト

金型の上型と下型の位置精度や平行を確保するための部品。

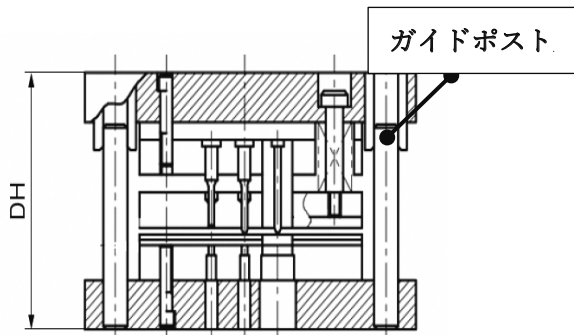


図8 ダイハイト・ガイドポスト

4. 機械加工

使用加工機一覧

ワイヤー放電機 MV1200R (三菱)

フライス盤 2MF (ETUKI)

平面研削盤 PSG63DX (Okamoto)

今回、製作したパンチを図9にダイを図10に示す。形状が複雑な為、ワイヤー放電加工で加工を行った。ワイヤー放電加工では0.01mm以下の寸法誤差精度が必要なことから荒加工、中仕上げ、仕上げと3回で仕上げた。ダイは加工時間短縮の為、打ち抜いた製品を逃がすための形状は入れておらず、全ストレート形状で加工を行っている。またその他の穴加工はフライス盤を使用しドリルで穴を開け、リーマを施し、パンチの刃先を鋭利にするため平面研削盤を用いて加工を行った。

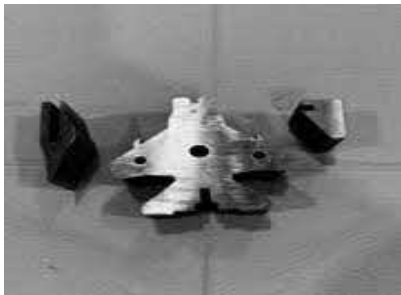


図9 パンチ



図10 ダイ

5. 金型組み立て

最初に仮組を行い問題が無いか確認を行った。結果を図11と図12に示す。パンチがダイ上面と同じ位置に来た時、ガイドポストとブッシュの間に5mm隙間が出来た。打ち抜いた際の負荷により上型がずれる可能性がある

為、平面研削盤でパンチを8mm研削し修正を行った。修正によりガイドポストがブッシュに3mm入るようになり(図12)、加工時に横へずれる可能性が無くなった。また、この修正箇所は3DCADの時点で気づくべきだったが、金型についての知識不足により確認できなかった。

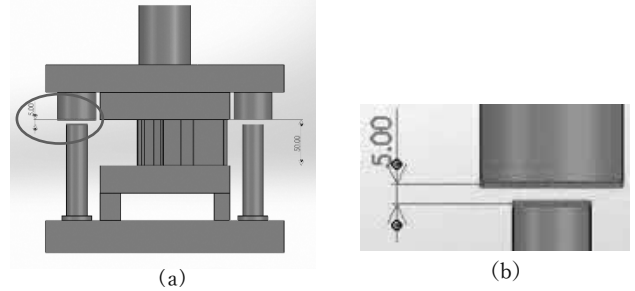


図11 ガイドポスト・ブッシュの隙間

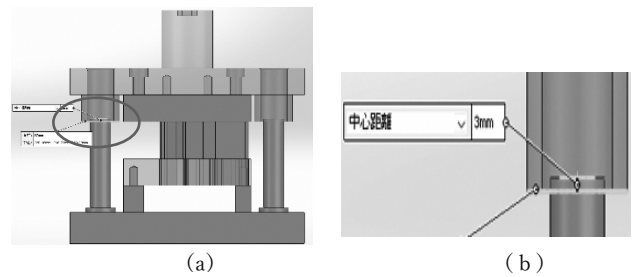


図12 ガイドポスト・ブッシュの隙間(修正後)

次にパンチとダイのクリアランスを確認しながら組み上げた。しかし、パンチの位置決めピンが1本しか無くボルトで止める際、回ってしまいクリアランスが均等に確保出来ない状態であった。図13はパンチとダイを正面から見た図である。丸印の部分にスキマゲージ4本を挿入しパンチが回らないように組み上げた。

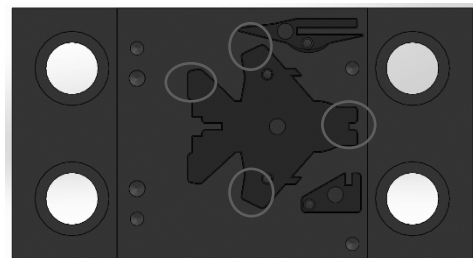


図13 スキマゲージの挿入箇所

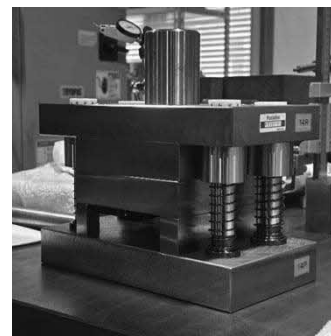


図14 完成した金型

6. プレス加工

使用機械

プレス機 TP45EX(アマダ)

実際に組みあがった金型で打ち抜き加工を行った。まずトルクバックプレス機に金型をセットする。次に上型のストロークを機械側で決める。ストロークは、パンチがダイ上面から1mm下がったところに設定した。

その後、実際に材料をセットしプレス加工を行ったが、製品がダイから抜け落ちなかった。又、打ち抜いた材料がパンチ側に付いてしまい、取れない状態になった。この時点で、パンチの細部が曲がり2回目の加工が困難と判断した。曲がったパンチを図15に示す。



図15 曲がったパンチの状態

7. 製品の完成度

完成した製品を図16に示す。完成度としてはせん断面のだれ(図17)、破断面に傾きが見られた。これはクリアランスを計算値から0.2mm大きく設計したため発生した過大によるダレである。特に機首パーツの先端や垂直尾翼などの角が立っている部分に多く見られた。

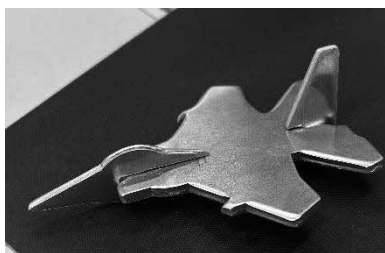


図16 完成品



図17 せん断面

8. 考察

1つ目、せん断面が場所により差が出たのは、設計段階でパンチの位置決めピンを1本で設定しており、ボルトを締めるとパンチが回ってしまい、ダイとの位置関係が狂いクリアランスが均一に保てていなかったと考える。

2つ目、打ち抜いた製品がダイから落ちなかった原因は製品を落とすための抜き勾配が施されていなかったと考える。この抜き勾配を加工していればストロークは短く設定できた。

3つ目、打ち抜いた材料がパンチ側に取られた原因は金型を簡易化していたためストリッパプレートをつけていなかった。これにより材料の食いつきが起きた。

9. おわりに

今回の実験では、クリアランスの重要性を理解できた。せん断面と破断面はクリアランスによってバランスが崩れ、ダレやバリといった不具合が起きる。今回、製図時にクリアランス0.3mmを0.5mmにしてしまいダレが生じた。またパンチの位置決めによる偏りでせん断面と破断面のバランスが全体的に悪かった。クリアランスの設計ミスは加工途中で分かった。修正を行うには材料発注から加工の工程を再度行う必要がある。修正には一ヶ月半程度の期間を要するため金型が完成しないのが分かった。金型の完成を優先しそのまま作業を進めることにした。

次回の課題として、クリアランスを0.3mmでパンチとダイの再製作、位置決めの方法を検討、ダイの逃がし加工、ストリッパプレートの検討、この4つを行ってみたい。

参考文献

- 1) 山口, 鱈淵, 小渡:「基本プレス金型実習テキスト」, 日刊工業新聞社, (1993), pp.87-107.
- 2) 上田, 光永:「プレス絞り金型の改良と加工実験」, 令和3年度業卒業研究概要集, (2021), pp.5-8.
- 3) 初心者必見! プレス金型とは? プレス金型の種類や構造,各部品の役割 - 精密プレス金型の南雲製作所 (nagumo-ss.com) (参照 2025年1月15日)
- 4) ガイドポスト - プレス金型用語集 - 南雲製作所 (参照 2025年2月13日)
- 5) プレス機械と金型の「ダイハイト」, 具体的にはどこの高さ? | MF-TOKYO2023 特設サイト (参照 2025年2月13日)

機械設計・製図修得のための教材作成 -機械設計編-

村本卓士, 村上楓, 弓削慶祐 (指導教員)
精密機械技術科

近年, 日本は少子高齢化が進み, 労働人口の高齢化が加速している. そのため若年層の人材確保が各企業の課題であり, その若年層のより早い技術の習得が求められる時代となっている. 本学の学生が就職する企業側からも即戦力により近い人材を確保したいという要望を受けることもある. また機械設計士の育成が急務となっている. 本研究はそのニーズを受け, 学生達が就職する企業で実際に使用されている 2DCAD や 3DCAD での機械設計に着目し, 技能検定試験機械プラント製図 (機械製図 CAD 作業) の試験対策教材を作成することで, 機械設計に関する技能を習得した.

1. はじめに

現在の機械設計では PC を使用し, 2 次元平面に図面を作成する 2DCAD と, その図面の製品を 3 次元空間内で立体的に作成し, その製品について様々な検証を行う 3DCAD が用いられている. 本学では 2DCAD は AutoCAD2021, 3DCAD は SolidWorks2020 を使用している. そしてこの 2 つのソフトは多くの企業で活用されている. 図 1 に AutoCAD で作成した図面を, 図 2 に SolidWorks でのモデリングを示す.

今回, 技能検定試験機械プラント製図の試験対策教材を作成するにあたり, 事前に下記のトレーニングを実施した.

- ① 三面図の読解
- ② 立体図の読解
- ③ AutoCAD での図面作成
- ④ SolidWorks でのモデリング, アセンブリ
- ⑤ 技能検定試験・機械プラント製図 3 級の演習

機械設計をおこなううえで①~⑤の全ての技術, 技能が必要となる. その集大成が技能検定試験, 機械プラント製図を受験し, 合格することである. この検定試験は 1 級から 3 級まであり, 本学では 3 級の取得を推奨している. 3 級が取得できれば, 機械設計の基礎力は習得できていると判断される. 今回は受験対策の教材を作成することで, 技術, 技能の習得ができる環境を整えることを目的とするとともに, 研究生自身も機械設計の技術技能を習得することを目的とする. 図 3 に技能検定試験・機械プラント製図 3 級の課題図を示す.

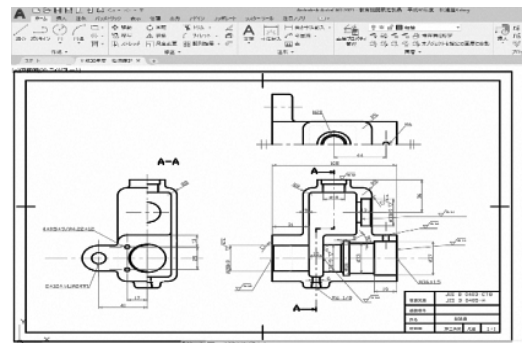


図 1 AutoCAD で作成した図面

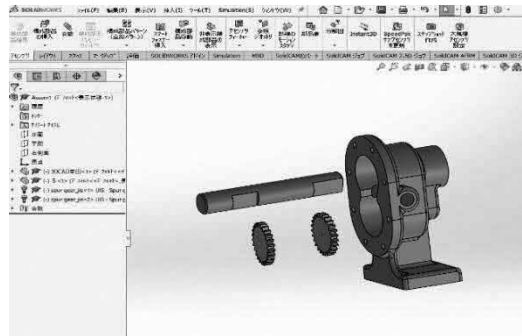


図 2 SolidWorks でのモデリング

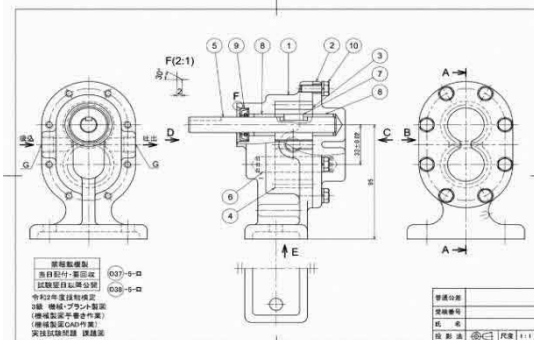


図 3 技能検定試験の課題図 (令和 2 年度)

2. 技能検定試験・機械プラント製図3級

2.1 技能検定試験について

機械プラント製図3級課題は、課題図(装置組立図)より指定された部品を抜き出し、スケールや分度器を使用し、実寸を計測してCADで製図を行う試験である。試験課題は当日に出題され、受験者は180分以内に製図し、指定の用紙に印刷して提出する。採点は主に形状が正確に抜き出されているか、適切な寸法が記入されているか、加工指示や精度など適切な設計がなされているか等を採点される。技能検定試験の中でも難易度が高く、3級の合格率は40%前後である。図4に課題図(図3の課題図を見やすく抜粋)を、図5に作成した回答図を示す。

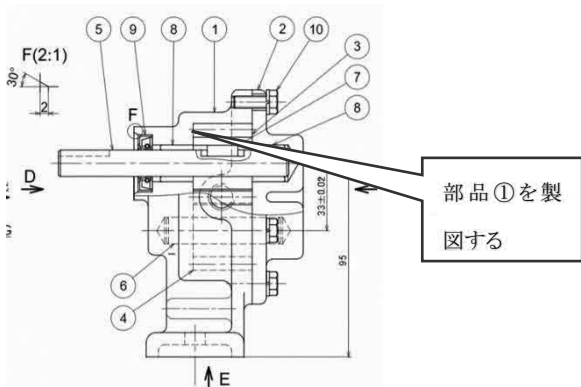


図4 技能検定試験の課題(抜粋)

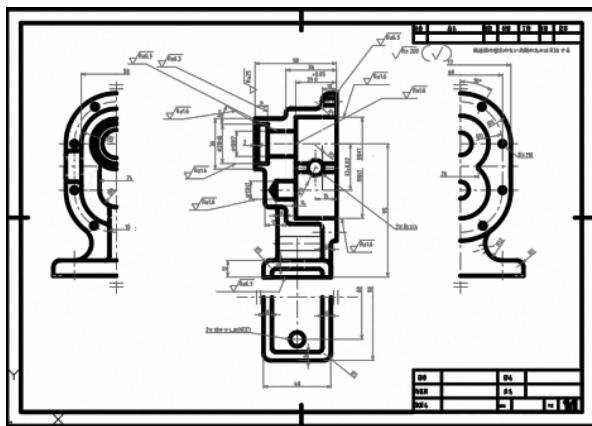


図5 技能検定試験の回答図(研究生作成)

2.2 トレーニングについて

前述①～⑤の事前トレーニングについて、教材を作成するとともにトレーニングを進めた。各トレーニング教材について次に述べる。

① 三面図の読解

三面図から立体を描く作業を繰り返した。はじめはフリーハンドで立体を描き、その後SolidWorksでモデリングをおこない、図面へと展開し、自身が描いたフリーハン

ドの立体と3Dモデルと図面が一致しているかを確認した。この作業は空間認識が必要なため上達することが難しく、多くの時間を要した。図6に課題の1つを、図7にフリーハンドで描いたものを、図8にSolidWorksでのモデルを示す。以上の様な課題を30課題作成できた。

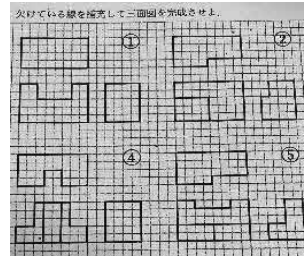


図6 トレーニング課題

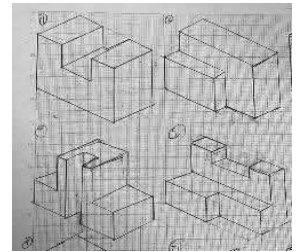


図7 フリーハンド図

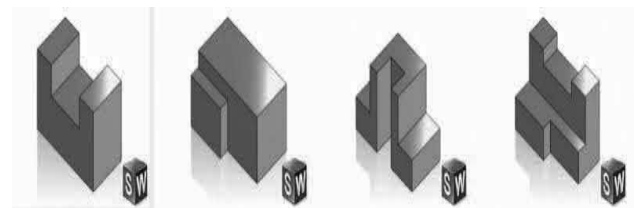


図8 SolidWorksでのモデル

② 立体図の読解

次は立体形状を3面図にするトレーニング教材を作成した。使用した立体形状はもともと製図用の教材として購入されていた木製モデルで、おそらくこのトレーニングのための教材であると思われる。しかし、図面や解答などの取り扱い説明書等もなく木製モデルだけがあった。そこでこの木製モデルをノギスで計測し、3面図を作成した。確認作業として、木製モデルの立体形状をSolidWorksでモデリングし、そのモデルを図面に変換し、自身が作成した図面と照らし合わせて確認をおこなった。図9に木製モデルの一部を、図10に作成した3面図を、図11にSolidWorksで作成した3Dモデル(1品のみ)を図12に2次元に変換した図面を示す。この課題を54課題作成することができた。

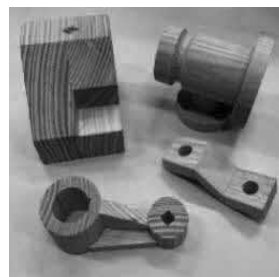


図9 木製モデル

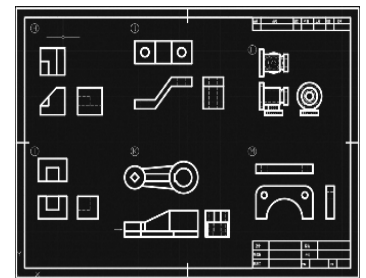


図10 作成した3面図

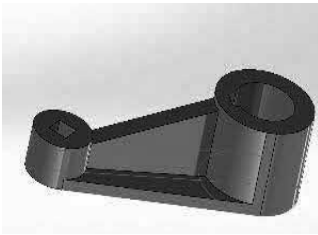


図 11 3D モデル

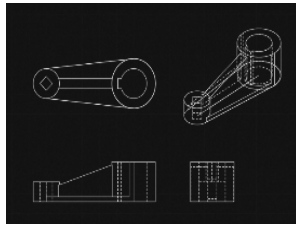


図 12 変換した図面

③ AutoCAD での図面作成

AutoCAD について「操作ハンドブック」¹⁾を使用し、様々な機能を習得した。基本的なことは授業で習得していたが、検定対策という観点で見えていくと多岐にわたる便利な機能が発掘できた。特に利便性が高かった機能は、画層コントロール機能、グループ化、ブロック機能であった。この 3 機能を駆使することで編集がとても簡単にできることがわかった。

④ SolidWorks でのモデリング、アセンブリ

SolidWorks については「図解 SolidWorks 実習第 3 版」²⁾を使用した。このテキストは授業で使用されているものであり、1通り学習したので、不明な点を確認する程度での使用となった。また 2 年次の通常授業でも、毎週本ソフトに触れる機会があるため、特段問題はなかった。

⑤ 技能検定試験・機械プラント製図 3 級の演習

過去の技能検定試験・機械プラント製図 3 級の試験問題を実際におこない、回答図を作成した。その後模範解答図より確認作業を行い、回答図の修正をおこなった。図 13 に R3 年度の試験問題図、図 14 に作成した回答図を示す。(課題図はウォーム減速機である)

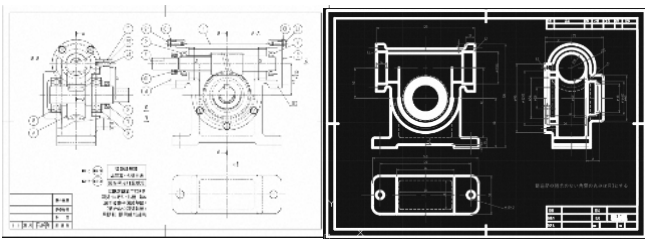


図 13 R3 年度試験問題

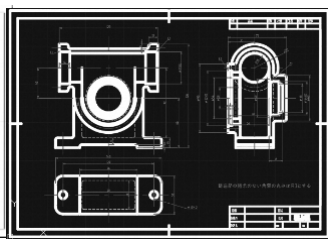


図 14 R3 年度回答図

2.3 教材の作成について

「①3 面図の読解」、「②立体図の読解」に関しては今回作成したデータがそのまま教材として使用できる(解答例として使用)。また「③AutoCAD での図面作成」、「④SolidWorks でのモデリング、アセンブリ」については既存のテキストが教材となる。「⑤技能検定試験・機械プラント製図 3 級」の教材については今回トレーニングした R3 年度の解答図や試験問題に記載

されている全ての部品のモデルファイル、アセンブリファイルを作成した。図 15 に各部品の 3D モデル(1部)を、図 16 にアセンブリモデルを示す。これらのモデルは SolidWorks 上での操作により部品の形状であったり、組み合わせがわかるようにしてある。そのデータの 1 つである拡散分解図を図 17 に示す。

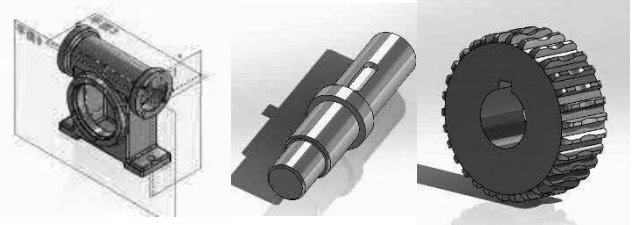


図 15 各部品の 3D モデル

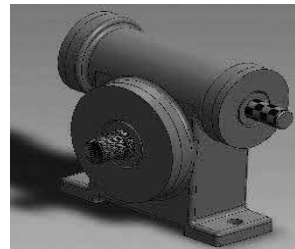


図 16 アセンブリモデル

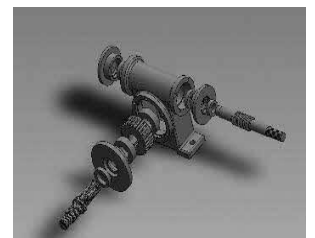


図 17 拡散分解図

2.4 トレーニングの応用

これまでの得た技能と教材を基に R4 年度技能検定試験・機械プラント製図 3 級の課題図を作成してみた。図 18 に R4 年度の課題図を、図 19 に自身で作成した回答図を示す(課題図は小型ポンプである)。その後模範解答図より確認作業をおこなった。全体の 7 から 8 割程度の出来であった。実際に作図している際には今までのトレーニングが役立っていると感じた。しかし作業時間がほぼ 1 日かかった。試験時間は 3 時間なので、作業時間には課題が残った。

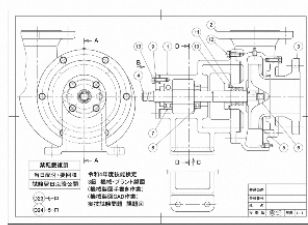


図 18 R4 年度試験問題

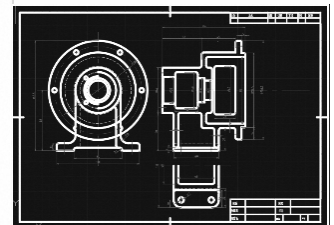


図 19 R4 年度回答図

また、この課題に関しても、解答図や試験問題に記載されている全ての部品をモデリングし、アセンブリをおこなった。図 20 に各部品の 3D モデル(1部)を、図 21 にアセンブリモデルを示す。また図 22 に拡散分解図を示す。



図 20 R4 各部品の 3D モデル



図 21 R4 アセンブリモデル 図 22 R4 拡散分解図

2.5 教材作成の応用

R3 年度の機械プラント製図 3 級課題のパーツモデルの模型の製作を 3D プリンタでおこなった。図 23 に R3 年度ウォーム減速機の部品を、図 24 に組立てた製品を示す。実寸で作成すると、大量の樹脂を消費することとなるので、尺度を 2:3 で作成した。またウォームギア³⁾が上手くプリントできなかつたので、少しずつ形状を変更して試作を繰り返し完成に導いた。



図 23 ウォーム減速機の部品



図 24 ウォーム減速機

次に R4 年度の機械プラント製図 3 級課題のパーツモデルの模型の製作を 3D プリンタでおこなった。図 25 に R4 年度小型ポンプの部品を、図 26 に組立てた製品を示す。こちらも実寸よりも小さく、尺度を 2:3 で作成し

た。またポンプの渦巻き管や吸い込みカバーなどはプリントができない箇所があったので、部品を 2 分割してプリントし、接着剤で結合させた。図 27 に渦巻き管を図 28 に吸い込みカバーを示す。



図 25 小型ポンプの部品



図 26 小型ポンプ



図 27 渦巻き管



図 28 吸い込みカバー

以上の教材, 3DCAD でのモデルファイル, アセンブリファイル, 3D プリンタで製作した部品, 組立て製品を確認することで, 課題の相互理解が可能となる。

3. おわりに

今回の研究に取り組むことで、機械設計、機械製図の奥の深さを実感した。また 2DCAD や 3DCAD については数多く触れることができたので、就職してからの実践で役に立つと思う。まだまだ知識不足なので、これからも学び続けなければならないと身をもって感じた。

謝辞

今回の研究にあたり、中野先生、谷名先生に助言をして頂きました。ここに記すことにより深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木 孝子:「AutoCAD LT 操作ハンドブック」, ソーテック社, (2018),
- 2) 株式会社プラナー, 栗山 晃治 他:「図解 SolidWorks 実習第 3 版」, 森北出版, (2019)
- 3) 大西 清:「JIS にもとづく機械設計製図便覧」, オーム社, (2018), p11.3-p11.10

フライス盤加工の効率化と精度向上に向けた取組み -エンドミル加工の研究-

木村彌祿, 藤原駆, 前田晟也, 弓削慶祐(指導教員)
精密機械技術科

近年,日本の製造業は多品種少量生産が増加する傾向にあり,国内の鉄鋼業は試作品の製作,開発などに力を入れ1品の付加価値を上げている.現在の機械加工(フライス・ミーリング加工)ではマシニングセンタ加工が主流であるが,今回テーマとしたフライス盤加工は試作品や開発,製品の細かい修正作業などには必要不可欠である.本取組みは学生が技術を身につけるとともに,例年開催されている競技大会の課題をもとに,フライス盤加工の効率化,精度向上を追求し,出場選手の上位入賞を目標とする.また今回は溝加工に着目し,エンドミルの様々な条件設定から実験をおこない,競技大会で高精度な溝加工ができる加工条件を導き出した.

1. 緒言

本研究において研究の対象となる「ポリテックビジョン 2025 機械加工コンテスト(フライス盤作業)」の課題図を図1に示す.本図面の赤丸部,溝幅24mm深さ28mm部分を対象とした加工条件の立案をおこなった.

本研究で使用する加工機械のフライス盤を図2に示す.フライス盤とは回転工具を利用して金属材料の平面切削や,輪郭切削,溝切削をおこなう工作機械である.また図3にエンドミルを示す.エンドミルはフライス盤に取り付け,輪郭切削や溝切削を機械加工する切削工具である.



図2 フライス盤



図3 エンドミル

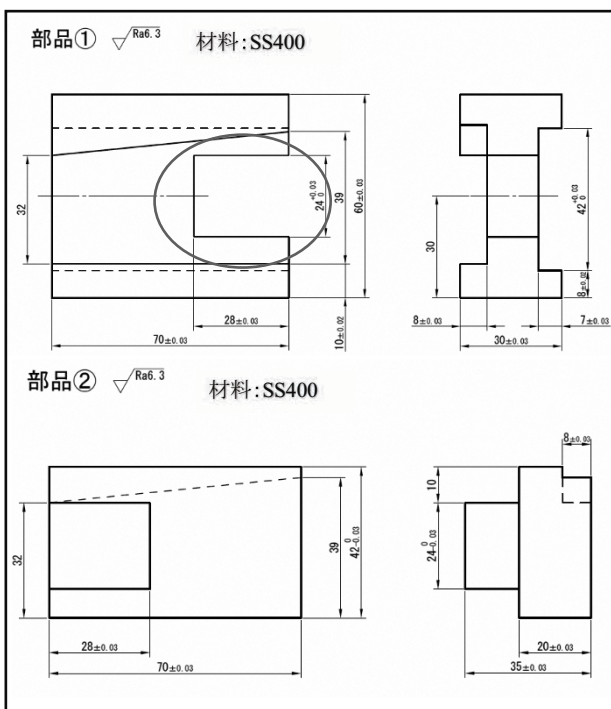


図1 ポリテックビジョン 2025 機械加工コンテスト課題図

2. エンドミル加工

2.1 加工工程

溝幅24mm深さ28mmに対してのエンドミルでの深溝加工の基本的な工程を①～⑤に示す.

- ① $\phi 20$ の荒用エンドミルで幅22mm×深さ27mmとなるように荒加工する.
 - ② $\phi 20$ の仕上げ用エンドミルで片側の側面と底面を中仕上げ.(幅22.5mm深さ27.5mmとなる)
 - ③ $\phi 20$ の仕上げ用エンドミルで片側の側面と底面を仕上げ.(幅23.0mm深さ28.0mmとなる)
 - ④ $\phi 20$ の仕上げ用エンドミルでもう片側の側面と底面を中仕上げ.(幅23.5mm深さ27.5mmとなる)
 - ⑤ $\phi 20$ の仕上げ用エンドミルで④加工部の側面と底面を仕上げ.(幅24.0mm深さ28.0mmとなる)
- ③, ⑤の仕上げ工程でエンドミルに対して深さが深すぎるため,エンドミルのたおれが生じる.その結果溝の上と下とで寸法の差が発生する.本研究ではこのエンドミルのたおれが出ないように切削条件を変更して実験をおこない,最適な切削条件を探索した.図4に①～⑤の工程図を,⑥にエンドミルのたおれの様子を示す.

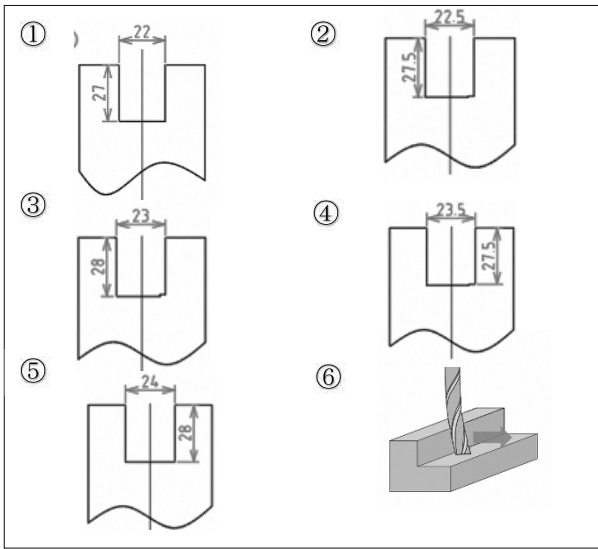


図4 ①～⑤の工程図と⑥エンドミルのたおれ

2.2 加工条件

仕上げ用エンドミルはφ20の①ハイススクエアエンドミル(4AGE20)と②パワーヘリカルエンドミル(ESMHKR20)を使用した。①はごく一般的に使用される仕上げ用のエンドミルであり、②は工具寿命を長くするために強ねじれとなっているものである。共に4枚刃である。以前の競技大会でこの2本を使用した経緯とコスト面を考え選定した。またエンドミル径の太いものを使用すればたおれは改善されるが、他の工程での利便性を考慮し、φ20を使用する。実験の初めの段階での加工条件の目安として、メーカーが公開している加工条件を参考にした。図5に今回使用するエンドミルとメーカー推奨の加工条件を示す。



図5 使用するエンドミルとメーカーの推奨条件

3 実験

3.1 実験1方法

- 1) 前述のφ20のエンドミル2本を使用する。
- 2) 2本のエンドミルに対しアップカット、ダウンカットの2種類の切削方法をおこなう。
- 3) 2)に対し、3種類の送りと回転数の組み合わせをおこなう。送りと回転数の組み合わせをメーカー推奨条件から約2割増し、と2割減での条件を設定した。
- 4) 1)～3)の条件の基、切込量を0.5mm～0.05mmまで変更して仕上がり寸法を計測する。

表1に1)～4)の実験方法をまとめたものを示す。また実験で加工した資材を図6に示す。材料はSS400で、計測はマイクロメータを使用し、0.001単位で加工面上と下の2カ所の計測をおこなった。

表1 実験方法のまとめ

エンドミル	切削方法	回転数	送り	切込み
エンドミル標準	アップカット	800	240	各回転数・送りに対して0.5/0.4/0.3/0.2/0.1/0.05の6回
		1000	330	
		600	200	
	ダウンカット	800	240	
		1000	330	
		600	200	
エンドミルねじれ	アップカット	1400	700	各回転数・送りに対して0.5/0.4/0.3/0.2/0.1/0.05の6回
		1200	600	
		1000	500	
	ダウンカット	1400	700	
		1200	600	
		1000	500	

※回転数min⁻¹、送りmm/min、切込みmm



図6 加工した資材

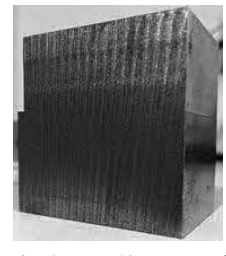


図7 実験2で使用した資材

3.2 実験1の結果

実験1の結果の一部であるエンドミル標準を使用してアップカットでの各条件(18回)の実験結果を表2に示す。またこの結果をグラフにしたものを図8に示す。

この結果は予想に反して計測結果にばらつきが生じた。本来ならば切込量が減ればエンドミルのたおれは減少するはずである。しかし計測値はバラバラで信頼性に欠けるものとなった。他の結果も同様で切込量との互換性が欠落していた。そこで様々な観点から理由を追求していくと、資材の6面体の精度が悪かったことが判明した。そこでこの考察を基に再度実験をおこなった。

表2 実験1の結果の一部

回転数800 送り速度240				
切り込み	測定X1	測定X2	たおれ	
0.5	42.579	42.565	0.004	・エンドミル:標準 ・アップカット ・計測単位:mm
0.4	42.167	42.153	0.004	
0.3	41.863	41.85	0.003	
0.2	41.662	41.645	0.007	
0.1	41.556	41.544	0.002	
0.05	41.505	41.49	0.005	
回転数1000 送り速度330				
切り込み	測定X1	測定X2	たおれ	
0.5	41.014	40.997	0.007	
0.4	40.615	40.599	0.006	
0.3	40.307	40.292	0.005	
0.2	40.11	40.091	0.009	
0.1	40.01	39.991	0.009	
0.05	39.961	39.945	0.006	
回転数600 送り速度200				
切り込み	測定X1	測定X2	たおれ	
0.5	39.463	39.443	0.01	
0.4	39.065	39.044	0.011	
0.3	38.76	38.741	0.009	
0.2	38.561	38.542	0.009	
0.1	38.46	38.44	0.01	
0.05	38.415	38.392	0.013	

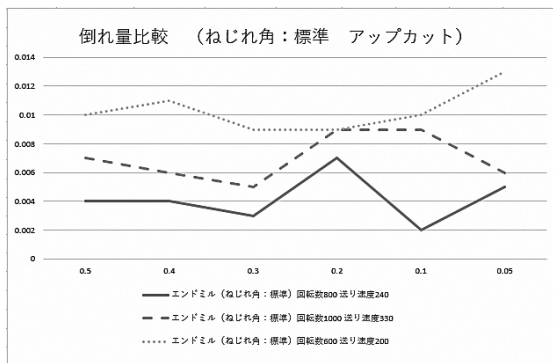


図8 実験1の結果の一部のまとめ

次の実験では資材を機械に取り付けた後に実験で加工する面と逆側の側面を1度加工し、そこを基準面とした。これにより資材に垂直な面を設定して次の実験に臨んだ。実験2で使用した資材を図7に示す。また実験方法は実験1と同様である。

3.3 実験2の結果

実験2の結果をまとめた表とグラフを表3から表6、図9から図12に示す。たおれについては加工面の上の計測値から下の計測値を引いた値である。よって負の値(-)がエンドミルが材料から逃げており、正の値は材料側に食い込んでいることとなる。全体的に切込み量を減らすとたおれも少なくなり、予想どおりの傾向となった。この結果から最適な条件を考察した。

表3 エンドミル標準・アップカットの実験結果

<ul style="list-style-type: none"> エンドミル:標準 アップカット 計測単位mm 	回転数800 送り速度240			
	切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ
	0.5	68.86	68.867	-0.007
	0.4	68.461	68.462	-0.001
	0.3	68.162	68.162	0
	0.2	67.966	67.966	0
	0.1	67.865	67.866	-0.001
	0.05	67.815	67.816	-0.001
	回転数1000 送り速度330			
	切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ
0.5	67.325	67.328	-0.003	
0.4	66.925	66.926	-0.001	
0.3	66.629	66.629	0	
0.2	66.43	66.43	0	
0.1	66.331	66.331	0	
0.05	66.281	66.281	0	
回転数600 送り速度200				
切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ	
0.5	65.795	65.796	-0.001	
0.4	65.392	65.393	-0.001	
0.3	65.095	65.096	-0.001	
0.2	64.895	64.895	0	
0.1	64.795	64.795	0	
0.05	64.75	64.75	0	

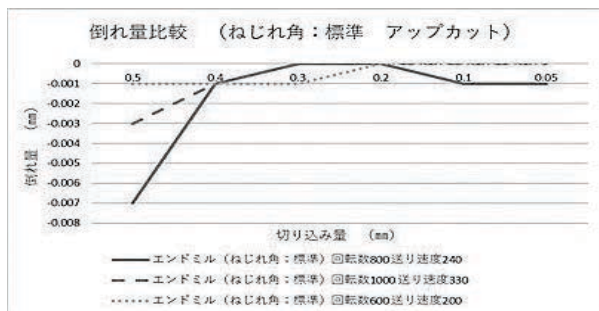


図9 エンドミル標準・アップカットの実験結果のグラフ

表4 エンドミル標準・ダウンカットの実験結果

<ul style="list-style-type: none"> エンドミル:標準 ダウンカット 計測単位mm 	回転数800 送り速度240			
	切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ
	0.5	64.252	64.26	-0.008
	0.4	63.849	63.852	-0.003
	0.3	63.251	63.255	-0.004
	0.2	63.047	63.05	-0.003
0.1	62.856	62.856	0	
0.05	62.805	62.805	0	
回転数1000 送り速度330				
切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ	
0.5	62.312	62.316	-0.004	
0.4	61.912	61.915	-0.003	
0.3	61.611	61.613	-0.002	
0.2	61.412	61.412	0	
0.1	61.309	61.309	0	
0.05	61.26	61.26	0	
回転数600 送り速度200				
切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ	
0.5	60.571	60.576	-0.005	
0.4	60.171	60.175	-0.004	
0.3	59.868	59.871	-0.003	
0.2	59.665	59.666	-0.001	
0.1	59.56	59.561	-0.001	
0.05	59.511	59.511	0	

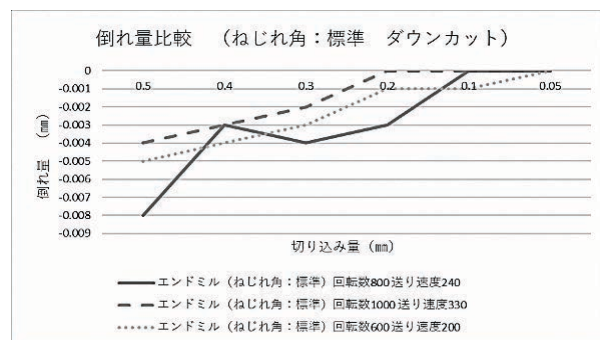


図10 エンドミル標準・ダウンカットの実験結果のグラフ

表5 エンドミル強ねじれ・アップカットの実験結果

<ul style="list-style-type: none"> エンドミル:強ねじれ アップカット 計測単位mm 	回転数1200 送り速度600			
	切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ
	0.5	58.822	58.823	-0.001
	0.4	58.418	58.419	-0.001
	0.3	58.123	58.123	0
	0.2	57.92	57.92	0
	0.1	57.82	57.82	0
	0.05	57.77	57.77	0
	回転数1400 送り速度700			
	切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ
0.5	57.283	57.283	0	
0.4	56.89	56.89	0	
0.3	56.591	56.591	0	
0.2	56.395	56.395	0	
0.1	56.29	56.29	0	
0.05	56.241	56.241	0	
回転数1000 送り速度500				
切り込み	測定 X ₁	測定 X ₂	たおれ	
0.5	55.756	55.755	0.001	
0.4	55.355	55.355	0	
0.3	55.055	55.055	0	
0.2	54.855	54.855	0	
0.1	54.75	54.75	0	
0.05	54.7	54.7	0	

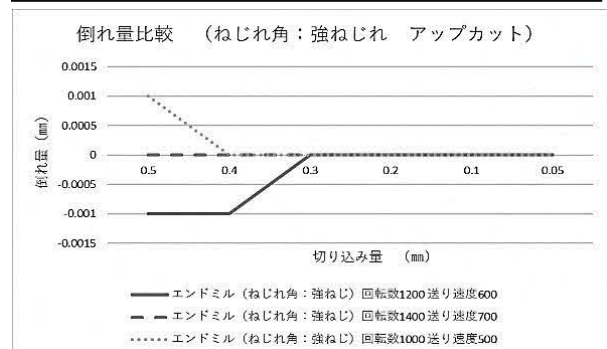


図11 エンドミル強ねじれ・アップカットの実験結果のグラフ

表 6 エンドミル強ねじれ・ダウンカットの実験結果

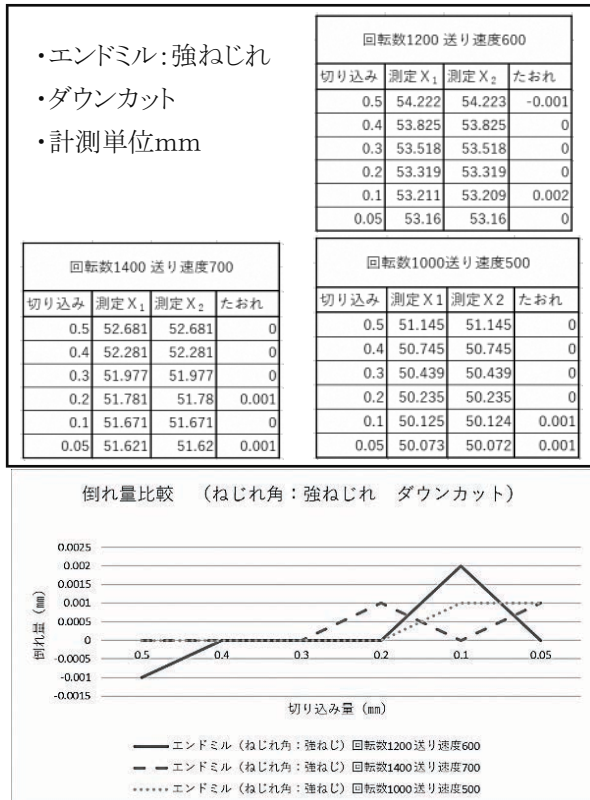


図 12 エンドミル強ねじれ・ダウンカットの実験結果のグラフ

4. 考察³⁾

表 5 の回転数 1400 送り速度 700 の結果に注目して欲しい。この条件であれば全くだおれが発生していない。信頼性を上げるために、この条件での実験を更に 2 回実施した。結果はほぼ同じであり、最大のたおれでも 0.002mm もなかった。また全体を通して強ねじれエンドミルのたおれが少ないことがわかる。もともと強ねじれエンドミルは被削材と同時に接触する切れ刃が多いことから、1 枚にかかる負荷が分散されて工具寿命が長くなるメリットがある。そのためエンドミルにかかる切削抵抗が少なく設計されているため、たおれが少なくなるものであると考えられる。また基本的にエンドミルの仕上げ加工はダウンカットが推奨されている。しかしダウンカットはエンドミルの構造上たおれが生じやすい。だからアップカットで仕上げた方がたおれは生じず、寸法精度の向上が得られる。しかし、アップカットは工具寿命が短くなり、表面性状も荒くなる欠点がある。今回は競技大会での加工に着目し、量産をおこなうわけではないので、工具寿命に関しては問題ないとする。また表面性状については、この条件で加工した仕上げ面を表面粗さ試験機で計測した。計測値は Ra0.723 を計測できた。課題図の指定数値以下 (Ra1.6) なのでこちら

も問題ないと判断できる。図 13 に表面粗さ試験機での計測グラフと計測値を示す。よって、下記の条件設定で競技大会はエンドミルの仕上げ加工をおこなう。

- ・使用工具: (ESMHKR20) MOLDINO 製
- ・回転数 1400min⁻¹
- ・送り速度 700mm/min
- ・切込み量 0.5mm 以内
- ・加工方法: アップカット

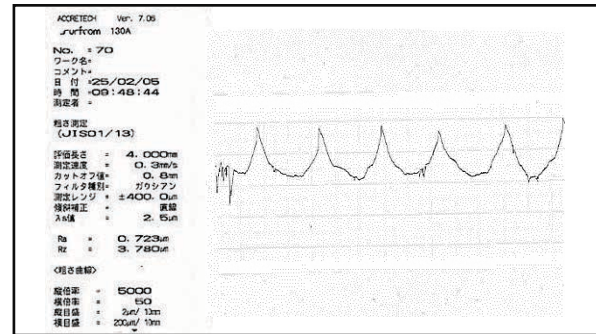


図 13 表面粗さ試験機での計測結果

5. おわりに

今回の研究に取り組むことで、実験の条件を揃える難しさ、また少しの条件の違いが大きな結果の誤差に関わることがわかった。また大まかな予想は今までの機械加工の経験から推測することができたが、細かな結果は経験からはわからず、今回の様な実証実験の必要性を実感できた。実験回数がとても多く、時間もかかった。またデータの集計や管理も大変ではあったが、面白みややりがいを感じる事ができた。今回の結果を競技大会の練習から活用してもらい、本番では高精度な製品を完成させてくれることを望む。

謝辞

今回の研究にあたり、部品加工において中野先生、上田先生に助言をして頂きました。ここに記すことにより深く感謝いたします。

参考文献

- 1) NACHI「AG ミル スクエア」p10 <https://www.nachi-fujikoshi.co.jp/web/pdf/2266-4.pdf>
- 2) オーエスジー株式会社「エンドミル加工」p46-p51 https://www.osg.co.jp/media_dl/technical/file/t_8.pdf
- 3) 狩野 勝吉:「切削加工の技術&技能」, 日刊工業新聞社, (2008), p10-p15, p58-p70

マイコンカーの設計・製作

Camera Class

徳本達哉^{*}, 田島景柊^{**}, 藤崎毅^{*}(指導教員)

^{*}精密機械技術科, ^{**}機械システム技術科

マイコンカーとはマイコンボードを搭載し、独自に車体を製作、プログラムに基づき車をコントロールするものである。また、毎年行われるマイコンカーの大会(マイコンカーラリー)では毎年中高生から一般の数多くの人が参加する大会も実施される。本研究では、技大初となるカメラクラスを設計・製作し、車体の完成及び大会に出場し、完走を目標として活動してきた。本資料では製作過程から大会参加までの活動の記録を記す。

1. マイコンカーについて

1. 1. マイコンカーラリーとは

マイコンカーラリー¹⁾とは、マイコンカーがコースを自動走行し、そのタイムを競う競技である。競技には3部門あり、それぞれ(i)Advanced Class, (ii)Basic Class, (iii)Camera Classに分かれている。共通規格として3部門共に、車幅 300mm, 車高 150mm 以内であり、車重や車長に制限はない。また、駆動モータは指定モータ(RC260RA18130)を使用し、ルネサスエレクトロニクス製のR8C/38Aマイコンが搭載されたRY_R8C38ボードを使用しなければならない。以下各クラスの説明を簡単に記す。

(i)Advanced Class: マシンの製作に制限がなく、カスタマイズ性が高いので、参加台数も多い。3部門の中で1番スピードが速い部門である。

(ii)Basic Class: 基板、サーボ、電池の本数等の仕様などが規定で定められており、限定された条件の下でタイムを競う部門である。

(iii)Camera Class: コースセンサの代わりに、カメラでコースの状態を読み取って自動走行するマシンを用いた部門である。例を図1に示す。カメラは図中の➡に装着されている。

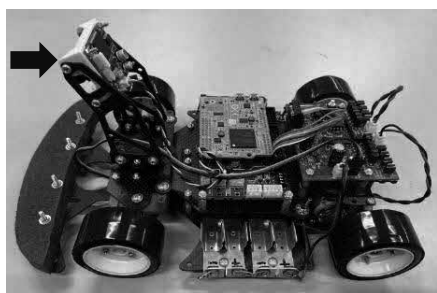


図1 Camera Class

1. 2. マイコンカーラリー Camera Class について

マイコンカーラリーのCamera Classでは、上記の通りコースの状態をカメラで読みとって自動走行するマシンを用いる。カメラを利用した画像処理の技術が必要となる他、チップ抵抗等といった細かいパーツを用いた基板の作製が必要になるため、Basic Classよりも比較的難易度が上がる。しかし、画像処理や車体の構造を追求することで、より実車に近い制御が可能となり、安定性や高速化を図れるようになる。

1. 3. 大会概要とルールについて

基本ルールとしてジャパンマイコンカーラリーでは、1回の競技で2台のマイコンカーが同時に走行する。同じコースの内側(IN)と外側(OUT)のスタート位置から、ゲートが開くと同時にスタートし、タイムの計測は自動で行われる(図2)。



図2 スタートゲート・スタートバー

また、今大会のコースは図3に示す。



図3 コースレイアウト

1. 4. マイコンカーラリーのコース



図4 競技コース

コース²⁾は幅 300mm, 高さ 30mm で, 地は黒色. コース中央には幅 20mm の白色のセンターラインがあり, その両脇には幅 10mm の灰色ラインがある(図4). コースの両端には 30mm の白線が施され, この白, 灰, 黒をマイコンカーのカメラが判断しながら進んでいく. 直線コースの他にクランク(図5), 最小半径 450mm の S 字カーブ(図6), 傾斜角度 10 度以内の立体交差(図7), レーンチェンジコース(図8)という難易度の高い要素を含み構成されている. クランクとレーンチェンジの手前 500mm~1000mm には白線がコースを横切るように引かれ, その先にクランクとレーンチェンジがあることをマイコンカーに伝える.

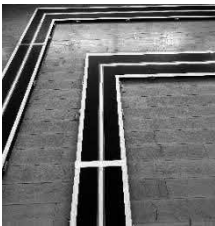


図5 クランク



図6 S字カーブ



図7 立体交差

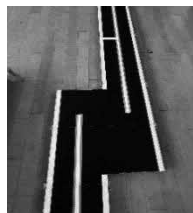


図8 レーンチェンジ

2. 車体の製作について

2. 1. 車体の構想

カメラにより白と黒の輝度を判別する画像処理が行われるため, この部品を軸として3つの基板(GR-PEACH, GR-MCR 基板 Rev.1.0, モータドライブ基板 Ver.5) やカーボンフレーム及び配線や3Dプリンタでの部品製作を行い, 大会用コースの完走を目指す.

2. 2. 車体データの作成

車体のデータ作成には主に 3DCAD を利用した. フレームはインターネットで様々な形状を調査し, 大まかなデザインを決定した. フレームの軽量化を図るためにカーボンを用いてねじなどを締める箇所以外に肉抜き加工を行った. また, ステアリング機構はアッカーマン方式を採用した(図9).

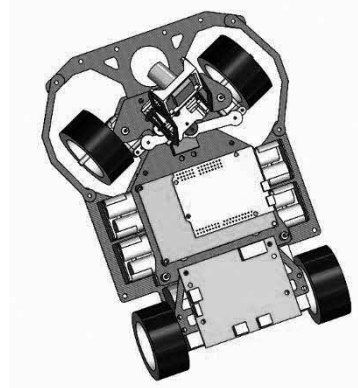


図9 車体データの完成形

2. 3. 車体の部品及び組み立てについて

2. 3. 1. 部品の詳細

車体の部品として, カメラ, タイヤ, GR-PEACH(カメラ用基板), モータ, モータドライブ基板は購入し, CPU 基板のはんだ付け, カーボンフレームの切削(図10), タイヤにシリコンシートの貼り付け, ギアボックスを用い指定のタミヤ製ハイスピードギアボックスは自分たちで組み立てた. カーボンフレームの切削には専用の機械を使用した. また, 3D プリンタの精度で十分と判断した部品については, CAD データをもとに 3D プリンタでの出力を行った.

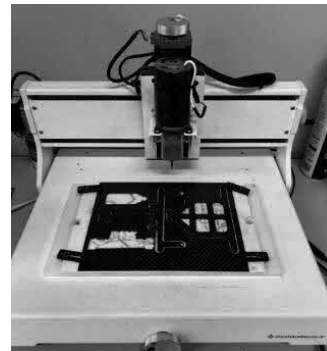


図10 カーボンフレームの切削

2. 3. 2. カメラについて

カメラ³⁾から取得した情報は, 32×24 画素のモノクロ濃淡データに変換し, このモノクロ濃淡データから中央線の位置を検出している. そのため, 太陽光などの外乱があると正常に動作しなくなる恐れがあるので, 環

境に配慮する必要がある。また、カメラを使用するためには別部品の GR-PEACH(次に説明)が必要となる。

2. 3. 3.GR-PEACH(カメラ用基板)について

GR-PEACH⁴⁾は、RZ ファミリ RZ/A1H グループ用の GR ボードで、Arduino UNO の接続ピンと互換性があり、ARM 社が提供する mbed 開発環境を使用するためのものである(図 11)。

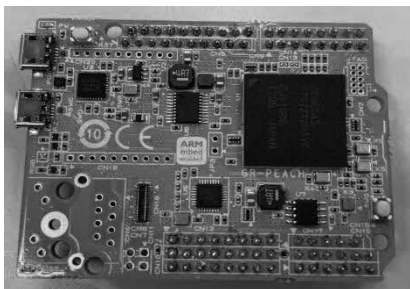


図 11 GR-PEACH

本研究ではカメラを使用の際に使用した。また、ベースのプログラムはサンプルプログラム(kit20_gr-peach.zip)をダウンロードし GR-PEACH にインストールした(図 12)。

本体制作	GR-MCR基板	モータドライブ基板	動作確認	プログラム解説	プログラム
画像処理マイコンカー製作キットVer.1.0 本体組み立てマニュアル 第1.00版 2018.10.02	GR-MCR基板 Rev.1.0 製作 マニュアル 第1.02版 2018.09.14	モータドライブ基板Ver.5 製作 マニュアル 第1.05版 2015.04.20 ※「IM350追加セット」、 「フリー追加セット」についても本マニュアルをご覧ください。	準備中	準備中	kit20-gr-peach 2020.09.01

図 12 サンプルプログラム(kit20_gr-peach.zip)

2. 3. 3.モータドライブ基板 Ver.5 について

モータドライブ基板 Ver.5⁵⁾はモータ2つを正転、逆転、停止する制御のほかに、ステアリングサーボの制御、LED ランプの点灯、消灯を行うためのものである(図 13)。

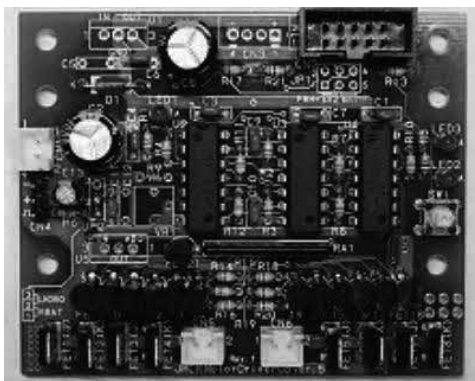


図 13 モータドライブ基板 Ver.5

2. 3. 3.GR-MCR 基板 Rev.1.0 について

GR-MCR 基板 Rev.1.0⁶⁾は、GR-PEACH のコネクタを 10 ピンコネクタに変換し、モータドライブ基板 Ver.5 に接続するための基盤である(図 14)。

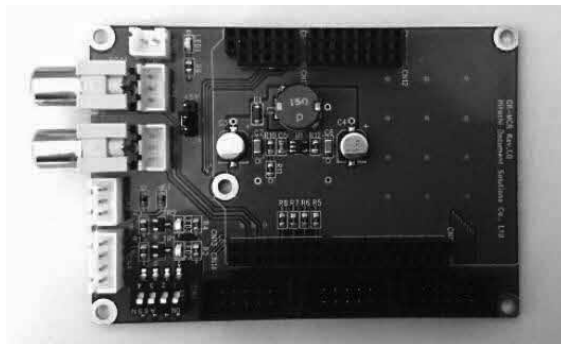


図 14 GR-MCR 基板 Rev.1.0

2. 3. 4.カメラモジュール(MTV-54K0N)について

カメラモジュール(MTV-54K0N)⁷⁾は、GR-PEACH と接続することで、画像取得を実行するための部品である(図 15)。



図 15 カメラモジュール(MTV-54K0N)

2. 4.パラメータ設定について

マイコンカーの Camera Class での走行を行うには以下のような各種パラメータを設定して走行を行う必要がある(図 16)。

```

:Camera Class マイコンカーの設定値
:-----
:基本パラメータ
id 100 : マシンID
sv_center 3200 : サーボのセンター値
sv_gain 18 : サーボのゲイン
sv_max 100 : オブジェクト出力制限値
handLimit 20 : cam.Centerによる切り角ゲイン 23 25
timeLimit 40 : 時間制限(s)

detect_LL 4 : 1:Sens, 2:halfLine, 4:vertical (OFF設定可)
detect_LR 3 : 1:center_line, 2:side_line, 3:Both
detect_UL 3 : 1:center_line, 2:side_line, 3:Both

:センター値の差報
re_center1 5 : centerがこの値を超えたらアンダーステア発生と判定

:カメラ関連
threshold 50 : 閾値(0-100) この値を超えたら白線検出
thresholdL 30 : 閾値(0-100) この値を超えたらhalfLine検出
th_max 1 : 白線検出用閾値
th_min -1 : ハーフライン検出用閾値
th_max2 3 : ハーフライン検出用閾値
th_min2 -3 : ハーフライン検出用閾値
hPos 8 : ハーフライン検出用閾値を定める横の位置
vPos 18 : 中央線検出用閾値の位置
diff_max 7 : 速方の誤り位置
diff_min 50 : スターター検出用

:ハンドル角
h1 4 : center値がこの値未満であれば直線と判断
h2 0 : (未使用)
h3 0 : (未使用)
h4 0 : (未使用)
h5 20 : クラッシュ処理1:最大42 24
h6 27 : クラッシュ処理2
h7 14 : (未使用) クラッシュ処理3 8
h8 10 : (未使用) クラッシュ処理4 4
h9 15 : (未使用) クラッシュ処理1 13
h10 0 : (未使用) クラッシュ処理2
h11 0 : (未使用) クラッシュ処理3 14
h12 10 : (未使用) クラッシュ処理4 14

:モータドライブ

```

図 16 各種パラメータ設定

ここでのパラメータ設定では、GR-PEACH (カメラ用基板) に専用 SD カードからデータを読み込ませる。今回、主に変更した点はハンドル角 (H9~H12)、モータ出力 (S1.S2.S7~S12) の 2 つである。ハンドル角 (H9~H12) についてはレーンチェンジを行う際のハンドル角の調整で、変更することによりレーンチェンジの際にハンドルの切れ角の調整を行うことができる。モータ出力 (S1.S2.S7~S12) ではコース上の直線やヘアピン、クランク、レーンチェンジの際にモータ出力の調整を行うことが出来る。また、プログラムを導入するために e²studio⁸⁾ という統合開発環境を導入する必要がある (図 17)。



図 17 e²studio

3. 走行前準備について

3.1. 電圧管理

今回は、急速充電器 (EOS0606i AC/DC) を、主に充電式の電池をチャージ、ディスチャージする際に使用し、電池はニッケル・水素電池 (Panasonic 製 エネルーブ) を使用した。急速充電器を用いてニッケル・水素電池をディスチャージし、放電が終了した後にチャージしなおす事で出力電圧の最大化を図った。また、ニッケル・水素電池はメモリ効果が起こってしまうため、本番用は新品電池を購入し、使用した。

3.2. ギアボックス

ギアボックス内のギアのかみ合わせは走行中の速度面において非常に重要である。かみ合わせがうまくいかないと抵抗が生じてしまい、その分タイムが落ちる。そのため、ギアボックスのネジを適切な締め具合にする、走行前にギア部分にグリスを塗る等の作業を行った。

4. 大会結果

2025 年 2 月 22 日 (土) に東海大学で行われた東海大学 CHALLENGE CUP に出場した。本大会は基本ルールと少し異なり、走行回数に制限がないため、合計 8 回の走行を行った。走行前には満充電にすること、

タイヤのごみを除去することを徹底し、走行後はデータの微調整を行った。走行については、8 回中 3 回完走に成功し、全体で 4 位 (31.60 秒) という結果になった。また、モータ出力は 85% まで上げることに成功した。

5. おわりに

技大でマイコンカーの Camera Class を製作することは今回初の試みであり、前例のない中、車体の完成及び大会コースの完走を成し遂げることができた。今回のモータの最大出力は 85% となったため、次年度の卒業研究ではモータ出力を 100% に近づけるためのデータ作り、及び車体の改良に努めることが目的となる。今回のマイコンカーの Camera Class を設計・製作し車体の完成、及び大会に参加し、完走するという目標を達成できた。

参考文献

- 1) ジャパンマイコンカーラリー実行委員会, マイコンカーラリーとは, マイコンカーについて
<https://j-mcr.net/whatmcr/about/main01.html>, (参照 2024 年 12 月 18 日).
- 2) ジャパンマイコンカーラリー実行委員会, マイコンカーラリーとは, 競技コースについて
<https://j-mcr.net/whatmcr/games/main01.html>, (参照 2024 年 12 月 18 日).
- 3) 画像処理マイコンカーキットに関する資料
<https://www2.himdx.net/mcr/product/download.html> (参照 2025 年 1 月 9 日).
- 4) 商品一覧: マイコンカーラリー販売
<https://www2.himdx.net/mcr/commodity/comlist.asp> (参照 2025 年 1 月 16 日).
- 5) モータドライブ基板 Ver.5 製作マニュアル
https://www2.himdx.net/mcr/product/download/motor5_seisaku.pdf (参照 2025 年 1 月 16 日).
- 6) GR-MCR 基板 Rev.1.0 本体組み立てマニュアル
https://www2.himdx.net/mcr/product/download/image_ho_ntai_kumitate10.pdf (参照 2025 年 2 月 6 日).
- 7) 超小型カメラ MTV-54K0N
<https://akizukidenshi.com/catalog/g/g100053/> (参照 2024 年 2 月 6 日).
- 8) 統合開発環境 e²studioRZ ファミリー向け情報
<https://www.renesas.com/ja/software-tool/e2studio-information-rz-family> (参照 2024 年 2 月 12 日).

マイコンカーの製作と競技会への挑戦

Basic Class

中原蓮司^{*}, 宇野琢磨^{**}, 藤崎毅^{*}(指導教員)
精密機械技術科^{*}, 機械システム技術科^{**}

マイコンカーとはマイコンボードを搭載し、独自に車体を製作、プログラムに基づき車をコントロールするものである。また、毎年行われるマイコンカーの大会(マイコンカーラリー)では毎年中高生から一般の数多くの人が参加する大会も実施される。本研究では、マイコンカー(Basic Class)を一から製作・設計し大会に出場し、上位入賞を目標として活動してきた。本資料では製作過程から大会参加までの活動の記録を記す。

1. はじめに

マイコンカーとは上記に示した通り、マイコンボードを搭載した車であり、自立型ロボットで、光センサ等でコースを感知しながら黒いボードの上に白線の引かれたコースの上を走る。

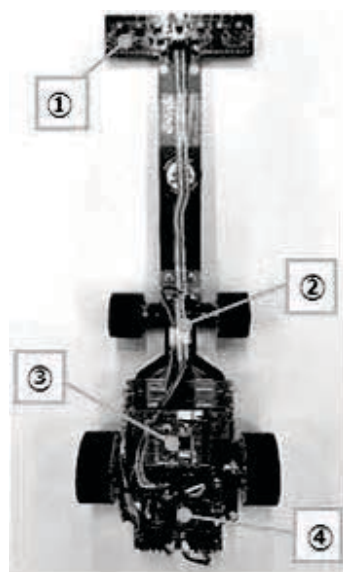


図1 マイコンカー

2. 車体の構成

マイコンカーラリーの車体構成¹⁾を図1に示す。車体の先端部に取り付けられているのはコースセンサ(図1①)と呼ばれるもので、白線(コース中央)の位置情報をマイコンに送る役割をする。次に、ステアリングセンサ(図1②)の説明をする。ステアリングセンサは角度情報をマイコンに送ることでハンドルを切る角度の情報をマイコンに送る。スピード計測センサ(図1③)はスピード計測センサで車輪が回転することにより、速さ、走行距

離の情報をマイコンに送る。また、(図1④)はCPUと接続されており、人間でいう「脳」の部分にあたる。以上4つのセンサやモータを使用しマイコンカーの制御を行う。制御処理の順序としては先ずコースからの信号を光センサが検知し、マイコンへと信号が送られる。ここで送られてきた信号をマイコンが処理し、車体が走行する仕組みとなっている。

3. 設計

3.1. フレーム材質の選定

フレームは走行中に衝撃や振動を受けるため強度が重要である。また適切な強度を保ちながらも、軽量化を図ることが求められる。今回は軽量かつ強度が高いカーボンファイバーを使用することにした。フレーム剛性が高いと車体の動きが正確に反映され、操作性が向上し競技中に車体が外的な衝撃や振動に耐えやすくなる。フレーム剛性が低いと車体に変形しやすくなり、走行が不安定になり、コースアウトの原因になる。今回はフレームのたわみによる柔軟性の向上や車体の安定性などからフレームの厚さは2mmにした。

3.2. フロントトレッドについて

車体の左右のタイヤの距離が広い設計をワイドトレッドといい、この設計は高速走行時の直線コースでの安定性やコーナリング性能を向上させる。トレッドが広すぎると取り回しが難しくなるため適切なバランスを保つ必要がある。走行タイムの比較を行うため図2に示すトレッド幅が70mmと90mmの2種類を準備した。その後走行練習を行い、90mmの方は安定した走行をすることができたが、70mmの方がタイムを縮めることができたためトレッド幅は70mmとした。

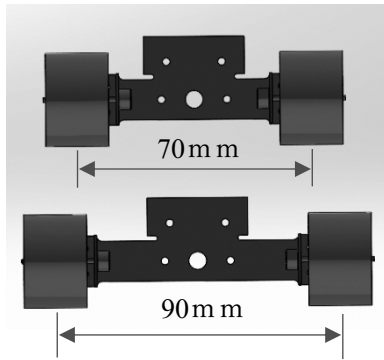


図2 フロントトレッド幅

3.3. ハンドルの切れ角について

フロントハンドルの切れ角とは、前輪が最大でどれだけ角度を変えられるか、つまりタイヤが左右にどれだけ動くかを指す。切れ角が大きければ、車体は急な方向転換が可能となり切れ角が小さければ、方向転換が鈍くなるためコースに応じた調整が求められる。前年度のフレームでは前輪がフレームに接触しハンドルの切れ角に余裕がなかった。そのため強度を保ちつつ、ハンドルの切れ角が大きくなるように AUTOCAD を用いて左のフレームから右のフレームに設計変更した(図3)。その後、SOLID WORKS を用いてハンドルの切れ角を検証した。変更後のフレームの方でハンドルの切れ角が最大で 45° になることがわかった(図4)。

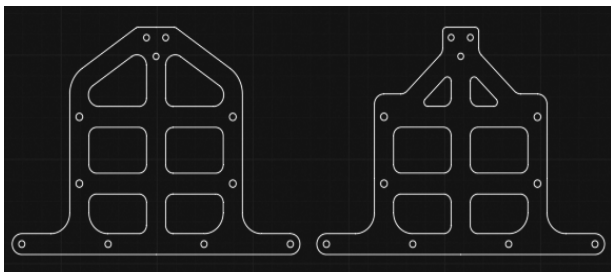


図3 2DCAD フレーム変更

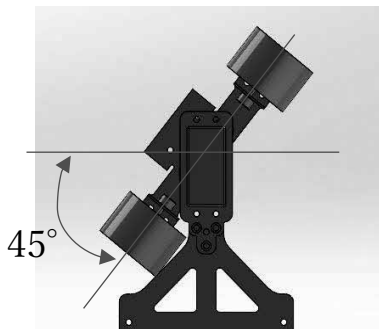


図4 SOLID WORKS での検証

3.4. ホイールベースについて

ホイールベースとは、車両の前輪と後輪の間の距離のことを指す。ホイールベースを長くすることで直進安定性が増すが小回りが利きにくくなるという欠点がある。走行練習を行い、挙動を観察しコーナリング性能の向上を図るため前年度よりホイールベースを 10 mm 短くした。

4. 車体製作

4.1. フレーム加工

ORIGINALMIND 社製の、卓上 CNC フライス KitMill CL200 によりフレーム加工を行った。図5に示す加工機に接続したパソコンに CAD データをインストールし、パソコン上で様々な切削条件等を入力し加工を行った。また、足りない部品や加工が困難なパーツは、3D プリンタにより製作を行った。

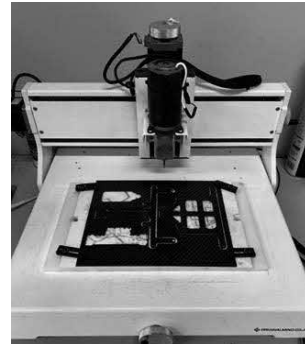


図5 フレーム加工

4.2. 基板製作

市販の基板を用いた回路製作では、図6に示すコースセンサ、図7に示すモータドライブ基板をそれぞれ製作マニュアルに従いはんだ付けを行った。抵抗やIC等の各パーツが熱に弱いため、注意を払いながら作業を行った。

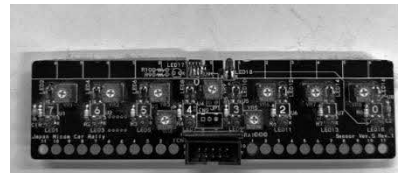


図6 コースセンサ

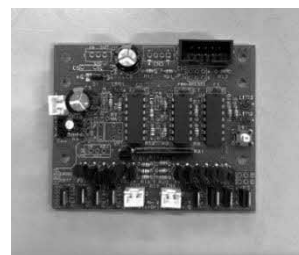


図7 モータドライブ基盤

4. 3. 組み立て

組み立ては、マイコンカーの走行を大きく左右するため、各パーツを精密に組み付けるように作業を行った。また、ねじの締め付けも歯車がスムーズに回転する程度にトルク管理し作業を行った。使用するねじは、車体の軽量化を考え、全てアルミ製を使用した。それぞれ製作・加工した部品等を組み立て、以上の工程を経て図 8 に示すように車体を完成させた。

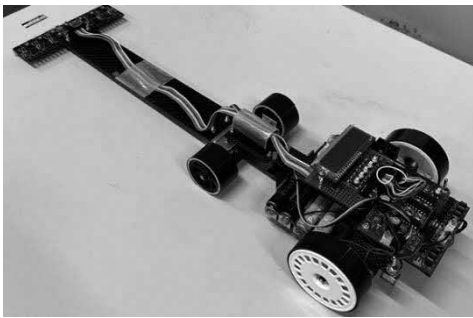


図 8 完成した車体

5. マイコンカーラリーについて

5. 1. マイコンカーラリー²⁾とは

マイコンカーがコースを自動走行し、そのタイムを競う競技である。規格として、車幅 300mm、車高 150mm 以内であり、車重や車長に制限はない。また、駆動モータは指定モータ(RC260RA18130)を使用し、ルネサスエレクトロニクス製の R8C/38A マイコンが搭載された RY_R8C38 ボードを使用しなければならない。完成したマイコンカーのマイコンボードに図 9 に示すルネサス統合開発環境 HEW (High-performance Embedded Workshop) により C 言語で記述されたプログラムをインストールし、試走と調整を繰り返した。

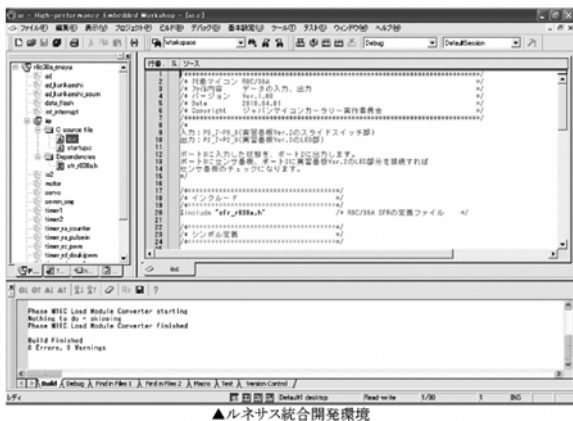


図 9 ルネサス統合開発環境(HEW)

5. 2. マイコンカーラリーのコース



図 10 競技コース

コース³⁾は幅 300mm、高さ 30mm で、地は黒色。コース中央には幅 20mm の白色のセンターラインがあり、その両脇には幅 10mm の灰色ラインがある。コースの両端には 30mm の白線が施され、この白、灰、黒をマイコンカーの光センサが判断しながら進んでいく。図 10 に示すコース自体は、直線コースの他にクランク(図 11)、傾斜角度 10 度以内の立体交差(図 12)、最小半径 450mm のスラローム(図 13)、レーンチェンジ(図 14)という難易度の高い要素を含み構成されている。そのため、どのようなコースレイアウトにも対応するマイコンカーを作ることが求められる。



図 11 クランク



図 12 立体交差



図 13 スラローム



図 14 レーンチェンジ

5. 3. マイコンカーのセッティング

Basic Class のマイコンカーはハンドル角、モータ出力、ブレーキ力等を変更することでコースにあったセッティングをすることができる。

本研究ではタイムを縮めるために主にクランクとレーンチェンジでのブレーキとモータ出力のセッティング(図 15)を重視して行った。まずクランクではオーバースピードで侵入するとコース外側にコースアウトするた

め初めに、モータ出力を抑えブレーキを強くかけるようにした。そうすることで、コースアウトすることなく走行ができるようになった。しかし、そのままではクランクで大きく減速してしまうためブレーキを弱めモータ出力を大きくするように設定を変更し、ベストな設定になるようにした。レーンチェンジでもパラメータの値を下げた状態から走行をさせ、それから曲がる角度やブレーキ力を変更していった。

本研究ではパラメータの設定と車体の作製に加え、より早いマイコンカーの作製に取り組んできた。その一つの取り組みとして電池の放電を行った。オートディスチャージ機能を持つ充電器を使用し充電電池を最後まで放電した後、再充電を行った。電池の放電を行なった後再充電を行うことでメモリ効果を発生させるべく、電池の容量を維持できるようにした。それから電池の電圧を一つずつ測定することで、電圧の管理も行った。練習走行でマイコンカーを走行させた後で電圧を測定し電圧とタイムの相関関係について調べた。本学で練習走行したコースでは一回 20 秒の走行で電池4本分の電池の電圧が 1.0V~1.2V減少することが分かり、タイムは 0.2 秒ほど落ちることが分かった。このことから電池の充電は毎回行い電池の電圧を低下させないことが重要になると分かった。



図 15 液晶基板を用いた各種パラメータ設定

6. 大会への出場

令和 7 年 2 月 22 日(土)東海大学 CHALLENGE CUP マイコンカーラリー熊本県大会 2025 に出場した。本大会は公式大会とは少々ルールが異なり、走行回数に制限はなく、時間内であれば何回でも走行させることができる。本大会の Basic Class のエントリー台数は 18 台(昨年度 11 台)であった。大会時のコースレイアウトを図 16 に示す。

私たちは Basic Class に 2 台出場し、1 台は 7 回走行して 5 回完走、結果は 3 位(21 秒 50)だった。もう 1 台

は 5 回走行して 2 回完走、結果は 8 位(24 秒 25)だった。



図 16 大会コースレイアウト

7. おわりに

本研究ではフレームの設計変更やマイコンカーの性能向上に取り組んだ。走行練習ではレーンチェンジやクランクの攻略に苦勞することもあったが、最初の走行から 2 秒ほどタイムを縮めることができた。また東海大のチャレンジカップでは目標である上位入賞を果たすことができた。しかし、1 位との差は 4 秒弱あり、まだまだ改善すべき点があることを感じた。次年度はモータの性能向上や電池の内部抵抗を測定した選別、前輪駆動の製作及びアッカーマン方式によるステアリング機構の考案を行うなど、より緻密な研究を行い、優勝できるマイコンカーを製作してほしいと考える。

参考文献

- 1) ジャパンマイコンカーラリー実行委員会, マイコンカーラリーとは, マイコンカーについて, <https://j-mcr.net/whatmcr/about/main01.html>, (参照 2024 年 5 月 20 日)
- 2) ジャパンマイコンカーラリー実行委員会, マイコンカーラリーとは, ルールについて, <https://j-mcr.net/whatmcr/rules/main01.html>, (参照 2024 年 10 月 2 日)
- 3) ジャパンマイコンカーラリー実行委員会, マイコンカーラリーとは, 競技コースについて, <https://j-mcr.net/whatmcr/games/main01.html>, (参照 2024 年 10 月 2 日)

リニアモーターカーの模型製作

木山隼汰*, 甲斐原充輝**, 谷名修(指導教員)
精密機械技術科*, 機械システム技術科**

JR 東海のリニアモーターカーをベースとして, 車体の動力なしで進むリニアモーターカーの模型を製作することを目的にし, 製作に取り組んだ. 初めに, 車体を浮かせるための永久磁石とその車体に推進力を与えるためのフォトセンサを用いた回路を用意した. 次に, 車体を浮かせることができる磁石の配列を最適化し, フォトセンサを使った回路を改良させた. この磁石配列とフォトセンサを用いた回路で直線レール上を 40[cm]程度動力なしで動かすことができた.

1. はじめに

今回の模型製作でベースとした JR 東海のリニアモーターカーの原理を図 1, 図 2 を用いて説明する. 図 1 は, 磁気の利用し車体を浮上させたものである. 上側に設置されたコイルが「引き合い」下側に設置されたコイルが「反発」することで車体を浮上させている. 図 2 はリニアモーターカーの原理を直線的に適用させている図である. 磁石の S 極と N 極が交互に入れ替わることでコイルが引き合い, 浮かせた車体が前進する仕組みである.

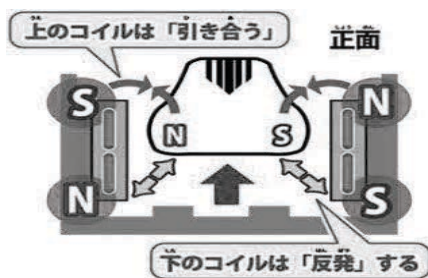


図 1 車体の浮上の原理

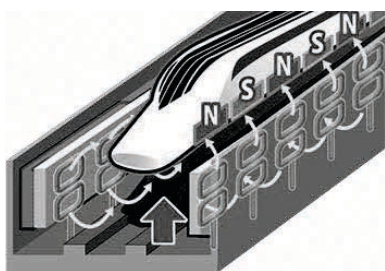


図 2 前進の原理

2. 目的と目標

2.1 目的

設計から製作までのものづくりの一連の流れを体験し, その中で電子制御や部品の設計製作などについて理解を深める.

2.2 目標

リニアモーターカーの模型の製作を達成するために, 今年度は以下の目標を設定し, 研究を開始した.

- ① 研究を通して電子制御についての理解を深める.
- ② 昨年度の課題を解決し, リニアモーターカーの模型を完成させる.

3. 製作する模型の原理

3.1 浮上の原理

レール上に 2 列, 車体の底の 1 列で磁石を取り付けることでレール上と車体の底に取り付けた磁石の反発で浮上させる(図 3).

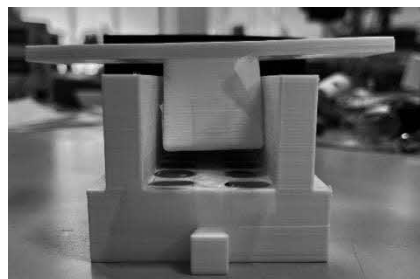


図 3 実際に浮上している様子

3.2 前進の原理

車体がセンサの上を通過するとコイルに電流が流れ電磁石となり、車体の羽に付けられた永久磁石とコイルが引き付け合うことで前進する。

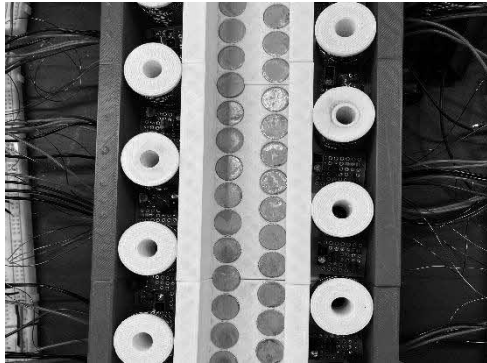


図4 完成したレール

4. 昨年度の問題点とその改善

4.1 昨年度の問題

昨年度からの申し送り事項や、改めて走行させることでいくつかの問題点が見つかった。

昨年度の問題点を以下にまとめた。

- ① 土台についている穴が小さく、配線がしづらい。
- ② 跳ねるように進みスムーズに走行しない。
- ③ レールのつなぎ目やカーブに引っ掛かり停止した。
- ④ 引き付ける力が弱く安定して走行しなかった。
- ⑤ フォトセンサがうまく動作せず、コイルに電流が流れなかった。

4.2 問題の改善

① 土台の改良

土台についている穴が小さく、配線をうまく通すことが出来ずコイルやセンサの位置調整が難航していた。そのため 3DCAD で土台を設計し直し、穴を広げて配線を通しやすくした(図 5,6)。

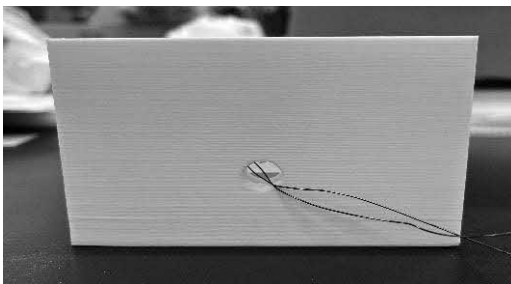


図5. 改良前の土台の穴

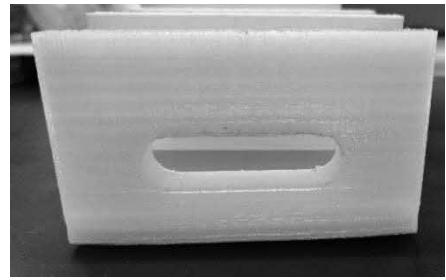


図6. 改良後の土台の穴

② レールの改良

車体を浮上させるために設置していた磁石が横並びになっていて反発する部分にムラがあったため跳ねるように走行し、スムーズに進まなかった。

そのため磁石の位置を横並びから交互になるように変更した(図 7)。こうすることで反発力にムラがなくなり、跳ねることなくスムーズに走行するようになった。

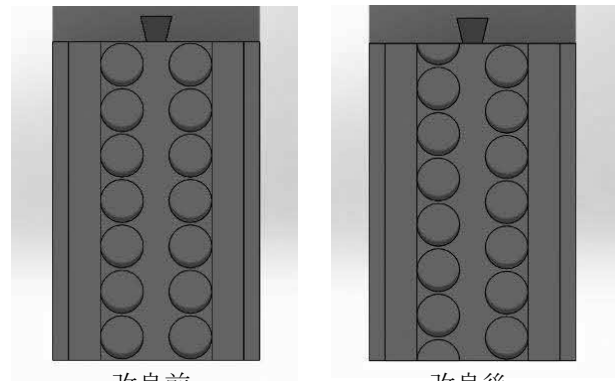


図7. 改良前と改良後のレール

③ 車体の改良

昨年度は車体の片側の羽にのみ磁石を付けていたが、両側の羽に磁石を取り付けられるように改良した(図 8)。こうすることで両側からコイルに永久磁石が引き付けられ前進しやすくなった。

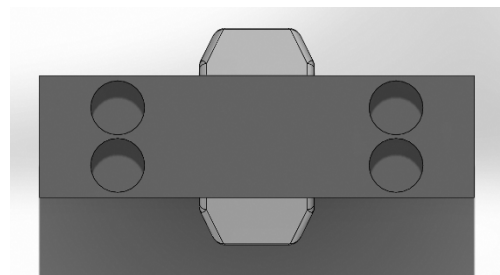


図8. 羽の両側に磁石を追加した状態

また、コイルと磁石が引き付け合った際、車体が傾き次のセンサと羽の距離が遠くなり反応しにくくなっていたことや次のコイルに引き付けにくくなっていたことも問題となっていた(図 9)。そのため、車体の高さを低くして傾きを抑えることでセンサが反応しやすく、コイルに引き付けやすくなるようにした(図 10)。さらに、フォトセンサの赤外線をより反射し、感度を上げるために車体の羽の裏にアルミホイルを取り付けた。

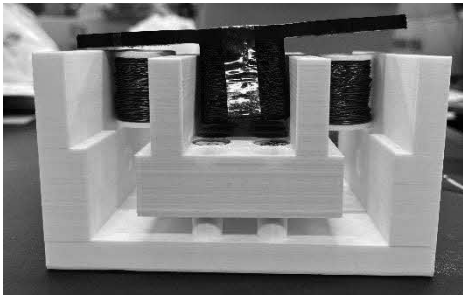


図 9. 車体が傾いている様子

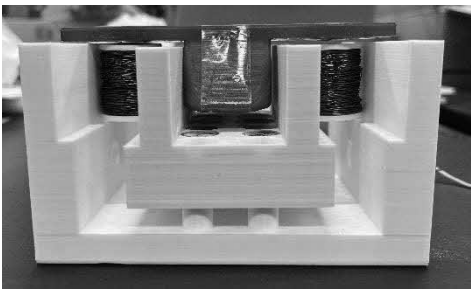


図 10. 車体の傾きが抑えられた様子

④ 電子回路の改良

コイルが ON になるときの感度が鈍いことや ON になっても流れる電流の量が少ないことが問題となっていた。そこで、従来使用していた増幅回路(図 12)と新たに考案した増幅回路(図 13)の電流を計測することにした(図 11)。

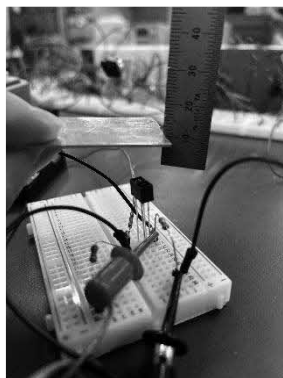


図 11. 実験の様子

負荷抵抗 100Ω の実験より、最初に使用していた増幅回路では $40[\text{mm}]$ までは抵抗器に最大の $50[\text{mA}]$ 流れていたがそこを超えた辺りから徐々に電流値が下がり $60[\text{mm}]$ を超えた辺りからは電流が流れなくなり、フォトセンサは一切反応しなくなった。

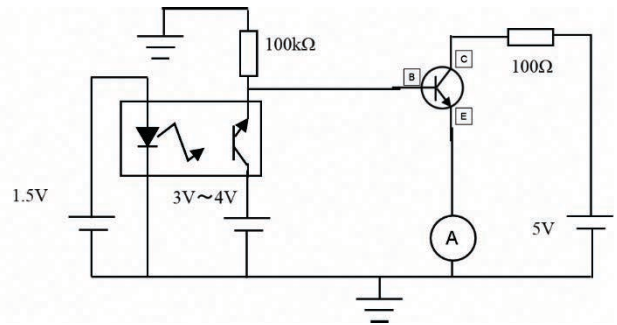


図 12. 従来使用していた増幅回路図

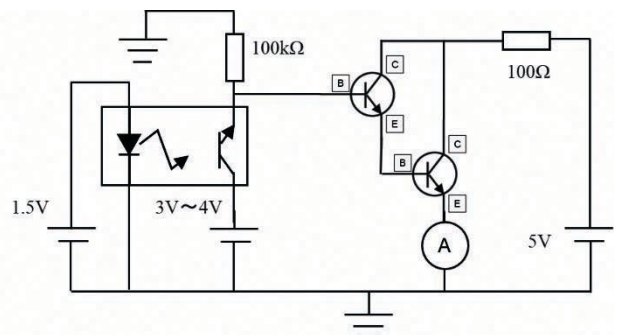
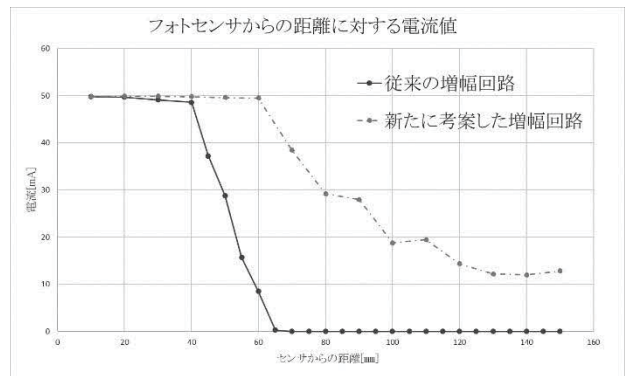


図 13. 新しく考案した増幅回路図



グラフ 1. 実験結果

一方で、新たに考案した増幅回路では、従来の増幅回路でフォトセンサが反応していた $60[\text{mm}]$ まで抵抗器に電流が最大の $50[\text{mA}]$ 流れてその後徐々に下がっていった。このことから、新たな増幅回路ではフォトセンサが ON になっている間は電流がより多く流れることが分かった。負荷抵抗 10Ω の場合には更に感度が低くなるため、以降の電子回路は新たに考案した増幅回路を使用することにした。

⑤ コイルの改良

製作した電子回路の動作確認中にコイルに電流が流れないという問題が何度か確認された。これは、コイルをブレッドボードに接続する際に先端を細いエナメル線のまま挿していたことで接触不良が起きていたことが原因だった。この問題を解決するためにコイルの先端をリード線に巻き、はんだ付けをすることにした(図 14)。こうすることで、接触不良を抑え安定して電流を流すことが出来た。

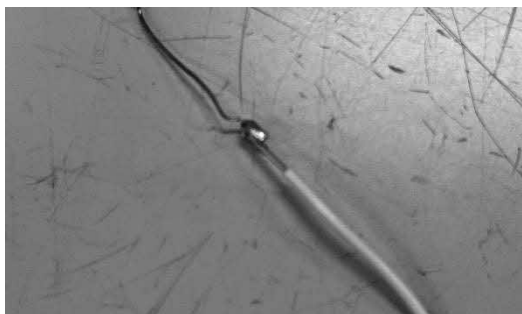


図 14. はんだ付けしたコイルの先端

5. 最終動作確認

昨年度の課題や自分たちで発見した課題を解決した後、レールや車体の出力、電子回路やコイルの量産、組み立てを行った(図 15)。実際に走行してみたところ、組み立てた直線部分 40[cm]と直線で勢いに乗ったままカーブを少し走行することができた。カーブ部分はコイルやセンサの位置調整が難しく電磁石の切り替えがうまくできなかつたこと、コイルが土台に固定できず車体の磁石に引き付けられて浮き上がってしまったことが問題となり、カーブ部分全部を走行できなかつたと考えられる。

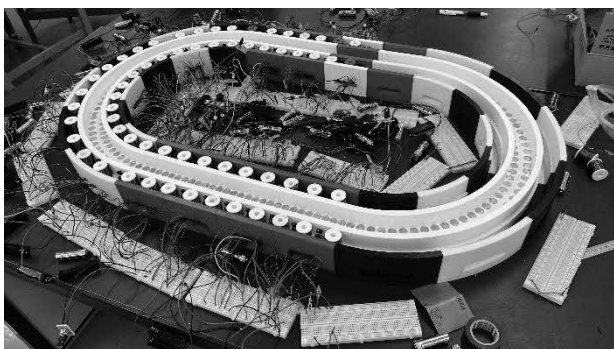


図 15. 実際に組んだ土台とレール

6. おわりに

6.1 実際に製作してみて

模型製作を通して電子回路による制御、電子部品の仕組みや役割、部品の設計や製作のノウハウについて改めて学ぶことができた。理想通りに一発で製作することはとても難しいことも分かったため、様々な角度からアプローチできる広い視野を持つものづくりに挑むことが大切だと思った。

6.2 今後の課題

製作を進める過程で問題が 2 点あった。

1 つ目は乾電池を大量に使っていたことである。フォトセンサを発光させるための電源、トランジスタのベースに流す電源にそれぞれ乾電池を使用していたため使用量が多くなってしまった。並列に繋ぎ使用量を減らすようにしていたがそれでも多くなってしまったため、もっと纏める方法を考える必要がある。2 つ目は煩雑な配線である。製作した電子回路をレールに組み込む際、リード線が多く絡まり合うことや線同士が接触してしまうこともあった。そのため、リード線を上手く纏めることやリード線を使わずに接続するなどの方法を考える必要がある。

参考文献

- 1) リニアの仕組み ~キッズページ~
<http://kyoto-linear.com/kids> 参照日 12.6
- 2) フォトセンサの仕様書
<https://akizukidenshi.com/download/ds/unisonic/2SC945.pdf>
- 3) レギュレーターの仕様書
<https://akizukidenshi.com/download/lbr127hld.pdf>
- 4) トランジスタの仕様書
<https://akizukidenshi.com/download/lbr127hld.pdf>
- 5) 超電導のひみつ | 発見!リニア未来シティ | リニア中央新幹線 | JR東海
<https://linear-chuo-shinkansen.jr-central.co.jp/linearfuturecity/secret/>
- 6) 【初級者向】ダーリントン接続とは?
<https://ana-dig.com/darlington/>

ロボット競技会に向けた自律型ロボットの製作

緒方 涼乃, 岡本 大空, 清田 真央, 田崎 和博(指導教員)
機械システム技術科

この研究では, 九州ポリテックビジョンロボット競技会に参加し, チームで一つのロボットを製作することで, ロボットを完成させることの難しさや, 制御することの難しさを学び, その課題をグループで解決することを学んだ. 競技会では他校の工夫している点や改良点を見つけることで, 自らの技術や知識の向上を目的とし研究を進めていった. 大会に出場するロボットにはライトレース, ピンポン玉の取得, 発射をする機能を備える必要がある.

1. 緒言

九州ポリテックビジョン 2025 で開催されるロボット競技会に参加し, 上位入賞することを目標に, 競技用自律型ロボットの製作を行った. 製作したロボット外観を図1に示す.

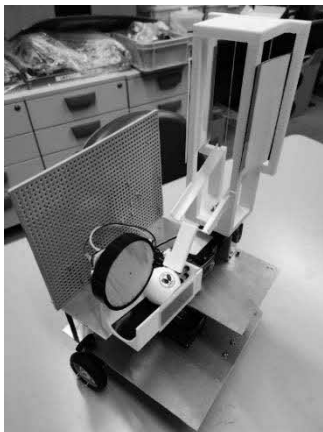


図1 ロボット外観

インのあるフィールドで行われる. 図2にフィールドの平面図を示す. また, 実際の大会で使用されたフィールドを図3に示す.

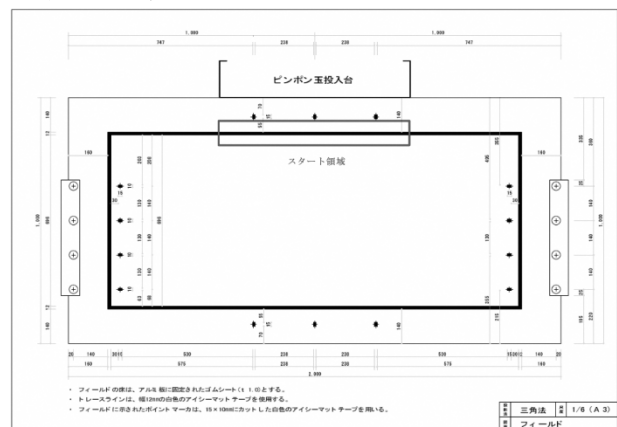


図2 フィールド平面図

2. 大会概要

2.1 競技内容

競技は, 2つのフィールドを設け, 各フィールドの定位置にセットされたピンポン玉をロボットが確保して, 投入口に入れる競技である. 投入口, 取得ピンポン玉位置の情報は随時タブレットPCを介して無線でロボットに送ることができる.

2.2 フィールドの仕様

フィールドの左右には, ピンポン玉をセットする柱が4本あり, それぞれ2種類の高さがある. 中央には, 9つの的が設置されており, 的にはそれぞれ1~9の番号が振られている. 黒色のゴムシートの床に白色のトレースラ

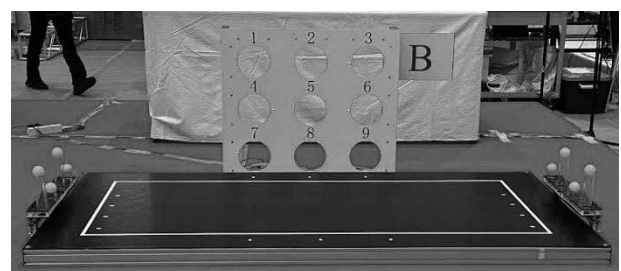


図3 フィールド

2.3 競技ルール

2.3.1 予選競技

予選競技は競技時間内に, 5か所の指定投入口にピンポン玉を入れ, その得点とタイムを競う. 予選では各チーム2回競技を行い, 1ラウンド分の点数の高いものから順に順位を決め, 上位8チームが 決勝トーナメントに出場することができる.

2.3.2 決勝競技

決勝競技は競技時間内に、各投入口にピンポン玉を入れ、番号を取得し、縦横斜めいずれかの列を揃えることを競うものとする。他チームが投入した投入口にピンポン玉を投入した場合は後のチームが番号を取得したこととなる。3ラウンド勝負で先に2ラウンドを制したチームが試合の勝者とする。

2.4 ロボットの仕様

競技用ロボットの仕様は以下の通りである。

- ① 本体にマイクロコンピュータを必ず搭載する。
- ② 大きさは、その外周長さを1200mm 以内とする。
- ③ 重量は、10kg 以内とする。
- ④ 最低地上高を3mm 以上とする(取り付けねじも含む)

3. ロボットの製作

3.1 土台製作

ロボットの基礎となる土台は200×200mm にのアルミ板を使用した。そのまま使用すると角を曲がる際にピンポン玉設置台に接触するため、図4のように左前の角を切り落とし、接触しないようにした。

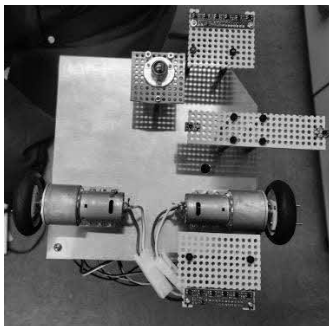


図4 土台

3.2 駆動部

車体の駆動用モータはタミヤの AO-8008タミヤギヤードモーター3633K75を使用した。タイヤはタミヤのナロータイヤセット(58mm 径)を使用した。モータとタイヤを固定する部品が無かったため3D プリンタでモータの軸径(6mm)に合わせて図5の固定部品を作製した。この部品を図6のようにタイヤの両側に取り付けた。



図5 タイヤ固定部品



図6 固定

3.3 取得部

ピンポン玉取得部はベースを前年度製作されたものと同じにしたが、一部設計を変更して図7に示すように3DCAD で設計し直し、3D プリンタを用いて製作を行った。一面の上下に輪ゴムをかける部分を作り、ピンポン玉を取得した後、逆側に落ちないようにしている。また、底面にサーボモータ取り付け用のネジ穴を設け、サーボモータを取り付けることで前後に動かし取得を行えるようにした。さらに、ピンポン玉が確実に発射部に入るよう、スロープを取り付けた。また取得部は形状的に一度に作るができなかったため上面と底面で分けて作製した。図8に取得部の輪ゴムを取り付けた状態を示す。

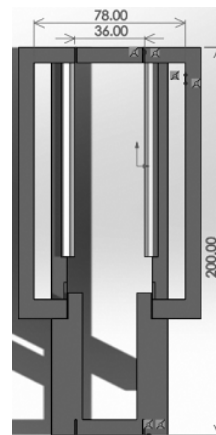


図7 取得部



図8 輪ゴム取り付け

3.4 発射部

発射部は3D プリンタで作製した部品に図9のようにDCモータを固定し、DCモータに取り付けたローラと発射部品で挟み込んで打ち出すものである。

押し出し部はサーボモータで回転しボールを押し出し、ローラの回転によって発射するようになっている。また、ローラとピンポン玉の接触面積を増やすために、クッション性のあるテープを1巻きしてその周りに薄いゴムテープをピンポン玉の大きさに合わせて巻いて、ローラと発射部品間の幅調整を行った。その結果、ローラの直径はテープ込みで67.40mm となった。図10に発射部の外観を示す。

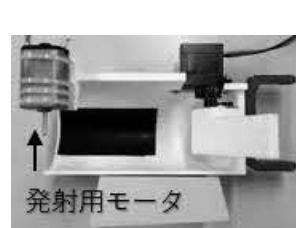


図9 DCモータ取り付け

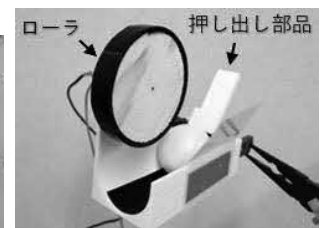


図10 発射部外観

3.5 電気回路

3.5.1 センサ部

センサには、フィールドの白黒の反射率を検出してラインの位置を判断することができるフォトリフレクタを使用した。

ラインレース用のセンサとして、ロボットの前方と後方に Pololu 社製の QTR-8RC Reflectance Sensor Array (図11(上))を取り付けた。このセンサは6個のフォトリフレクタが並んでいる。そのうちトレースラインを読み取るセンサとして2つ、角を検知するセンサとして1つを使用した。また、Pololu 社製の QTR-1RC Reflectance Sensor (図11(下))を取得位置マーカ検知用、発射位置マーカ検知用にそれぞれ1つずつ使用した。

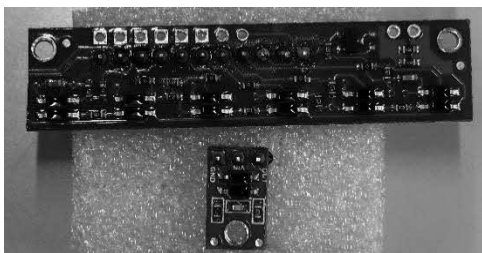


図11 QTR-8RC Reflectance Sensor Array (上), QTR-1RC Reflectance Sensor (下)

3.5.2 モータ制御部

今回のロボットには DC モータを3つ、サーボモータを3つ使用した。モータを Arduino で直接制御するためには電流が足りないので、モータコントローラを用いた。

3.5.3 DC モータ

DC モータを制御するためのモータコントローラは、Pololu 社製の Motoron M3S256 Triple Motor Controller Shield for Arduino を使用した。この製品は、最大3つの DC モータを独立して制御でき、Arduino とは I2C 通信を行うモータシールドである。ロボットでは、このシールドにラインレース用のモータ2つと発射用のモータ1つを接続し駆動させた。

3.5.4 サーボモータ

ピンポン玉の取得、発射角度の調整、ピンポン玉の押し出し用として3つのサーボモータを使用した。サーボモータの制御には、Pololu 社製の Mini Maestro 1 2-Channel USB Servo Controller を2つ使用し、Arduino とは UART 通信を行った。

3.5.5 電源部

DC モータ駆動用電源は 7.2V のニッケル水素電池を使用し、サーボモータの駆動用電源としては、9V のリチウムイオン電池と単三乾電池4本(6V)を使用した。また、センサの電源は Arduino の 5V 端子から取得している。さらに、Arduino やサーボコントローラの電源はそれぞれのモータ駆動用の電源から供給した。

3.5.6 ピン割付と各コントローラの配線略図

Arduino のピン割付を表1に示し、各コントローラの配線略図を図12に示す。

表1 I/O 割付表(Arduino デジタルピン側)

ピン番号	接続機器
SCL	モーターシールド (I2C)
SDA	モーターシールド (I2C)
13	フォトリフレクタ(前方の角検知用)
12	フォトリフレクタ(前方ラインレース用)
11	フォトリフレクタ(前方ラインレース用)
10	フォトリフレクタ(後方の角検知用)
9	フォトリフレクタ(後方ラインレース用)
8	フォトリフレクタ(後方ラインレース用)
4	サーボコントローラ (RX)
3	フォトリフレクタ(取得位置マーカ検知用)
2	フォトリフレクタ(発射位置マーカ検知用)
1 (TX)	XBee (DIN)
0 (RX)	XBee (DOU)

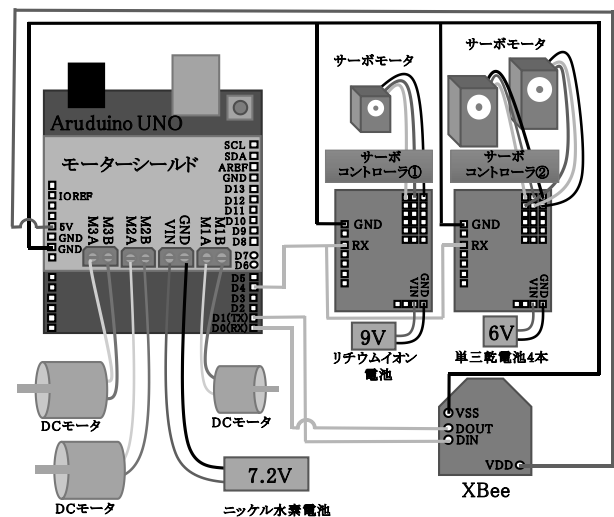


図12 Arduino と各コントローラの配線略図

3.6 プログラム部

3.6.1 ラインレースプログラム

各センサの読み取り値を基にしきい値を決めた。if 文を使用して、片方のモータの基本速度を加算し、もう一方のモータの基本速度を減算させることで左右の駆動用モータの速度を調整しラインレースを可能にした。

前進用のライントレースと比べて、後退用のライントレースは駆動用モータとセンサまでの距離が短いため、後退用の基本速度の増減幅を少し大きくすることで後退用のライントレースを可能にした。プログラムは図13のフローチャートのように行い、①には角までのライントレース、直角曲がり、取得までのライントレース、取得、発射までのライントレース、発射などの関数を入れ、while文の条件から外れるまで繰り返し処理をさせた。

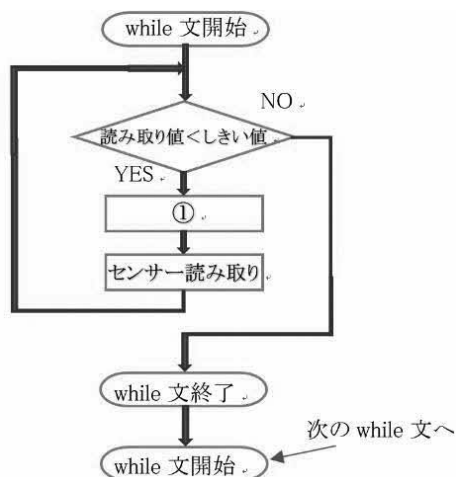


図13 プログラムの簡易フローチャート

3.6.2 直角を曲がるプログラム

ライントレースに使用する2個のセンサと角を検出するセンサがラインを読むことで直角に曲がるための関数が起動するようにした。前進用では駆動用モータとセンサまでの距離が後退用と比べて長いので delay を使って一定時間だけ駆動用モータを前進させ、角を曲がり、再び前進用のライントレースをさせた。後退用では駆動用モータとセンサまでの距離が前進用と比べて短いため delay を短時間使用して後退させ、前進用の直角曲がりのように動作させ、後退用のライントレースに繋がるようにした。delay 時間の長さによって直角を曲がり終えた後のロボットの向きを図14に示す。

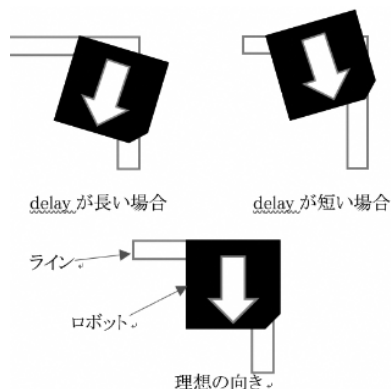


図14 直角を曲がり終えた時のロボットの向きの違い

駆動用モータの電源の残量に応じてモータの速度が変わるためロボットを動かしてから delay の長さを変え、理想の向きになるよう調整した。

3.6.3 取得と発射について

取得用センサがマーカを読み取り取得部を回転させるが、ピンポン玉の高さは上下二種類あるので、どちらの位置で停止してもピンポン玉が取得できるように取得部の回転を調整した。次に発射位置まで移動しセンサがマーカを読み取ることで発射用サーボ2つと発射用モータが動き出す。発射したピンポン玉が必ず右に寄っていたので、マーカを読み取ってからロボットを少し前進させることで綺麗に投入口に入れることができた。

4. 大会結果

車検は、重さ2.04kg、外周長1200mm以下、最低地上高3mm以上であったため車検を通過することができた。予選1回目は指定の投入口5個のうち3つに入れ、9点を獲得した。予選2回目では、指定の5つ全てにピンポン玉を投入し、タイムは145秒で予選を4位通過であった。本選は予選5位のチームと対戦し、ピンポン玉が取得部の輪ゴムに挟まり、発射部にピンポン玉を供給できないまま2度目の取得を行い、ピンポン玉を2個保持した状態となったため失格条件で敗退となった。

5. 結言

大会に出場するという目標を立ててロボットの製作を始め、見事予選を突破し本戦への出場を果たすことができた。しかし、本選では取得部にピンポン玉が挟まるという想定外の事態が発生してしまい緊急対応することができなく敗退してしまった。取得機構に改良を行ったり発射の正確さを上げたり、さらには移動スピードのアップや停止位置の正確さなど、大会に出場してみてロボットの改良すべき点を改めて考えることができた。

参考文献

- 1) 九州ポリテックビジョン 2025 ロボット競技会規則
- 2) Pololu Co. Pololu Motoron Motor Controller User's Guide (2025)
- 3) Pololu Co. Pololu Maestro Servo Controller User's Guide (2025)

レゴを用いた工学教育教材の開発

大坪翔太郎, 塚本悠介, 中野光希斗, 田崎和博(指導教員)
機械システム技術科

制御工学とは, 私たちの身の回りにあふれている様々な機械やシステムを思い通りに動かすための技術を研究する学問である. しかし, 多くの人にとって理解することが難しいと感じる学問でもある. それは, システムの言動を数学的に表現し, 複雑な計算や理論を駆使して制御方法を設計する必要があるからだ. そこで, 制御工学を理解するために, レゴマインドストームを用いて実際に動き, 制御方法を理解しやすい教材を開発に取り組んだ. その中でも一般に広く使用されている PID 制御についての教材開発について報告する.

1. 緒言

1.1 制御工学とは

機械やシステムを意図したとおりに動作させるための学問である. 身近な例としては, エアコンの温度調整, 自動車の自動運転, 工場のロボット制御などがあげられる.

1.2 レゴマインドストームとは²⁾

レゴブロックとプログラミングを組み合わせたロボット製作キットである. 子供から大人まで, 想像力とプログラミングのスキルを楽しみながら学ぶことができる. レゴマインドストームの特徴として, 自由な組み立てができ, プログラミングによる制御が可能で, 自分で組み立てて自分で動かすことができるようになっている. 基本的な性能を表1に示す.

表1 レゴマインドストーム EV3 の主な性能

項目	EV3
プロセッサー	ARM9 300MHz
メモリー	16MB Flash 64MB RAM
オペレーティングシステム	Linux ベース
ディスプレイ	178×128pixels
出力ポート	出力ポート4つ
入力ポート	アナログ デジタル 460.8kbit/s
プログラミングサイズ例 ライントレースの場合	0.950KB
動力	リチャージブルバッテリー

1.3 プログラミングについて

レゴマインドストーム EV3 Student edition というアプリを用いた. ブロックで簡単にできるプログラミングができ, 視覚的にわかりやすくブロック線図のようなプログラムを組むことができる. 例として P 制御のライントレースのプログラミングを図1に示す.

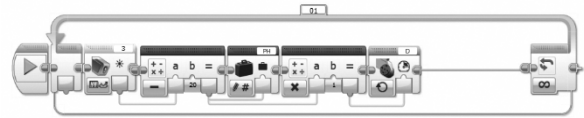


図 1 プログラミング例(ライントレース P 制御)

このプログラムは, スタートするとカラーセンサの値を読み取り, 目標値との差に比例したモータの出力値を得るものである.

1.4 PID 制御につて

この研究で用いる PID 制御について説明を行う. P 制御とは, 現在の誤差のみについて制御することで, 単純で容易であるという利点はあるが, 応答が遅く振動しやすいという欠点がある. P 制御では, ライントレースなどの直線などの簡単な制御を行うことができる.

PD 制御とは, 現在の誤差と誤差の変化率に基づいて制御することで, P 制御より応答が速く, 振動が抑制されるが, 積分がないため, 定常偏差が残る場合がある. PD 制御ではライントレースの直角などもきれいに曲がるなど P 制御よりも使いやすい.

PID 制御は, 現在の誤差, 誤差の変化率, 誤差の積分値について基づいて制御するため, 応答が速く, 振動が少なく, 定常偏差も解消されるため, 倒立振子のよ

うな複雑な制御を要するものでも制御することが可能である。

2. 実験

2.1 実験装置

私たちが、実験した装置として挙げられるのが主に5つある。それを図2から図6に示す。



図2 ライントレース用ロボット



図3 ウォールトレース用ロボット

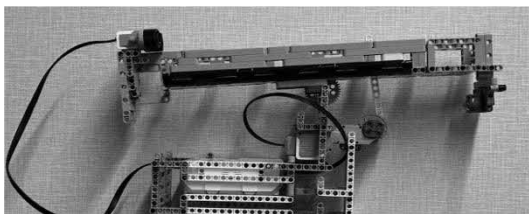


図4 シーソー型倒立振り子用ロボット

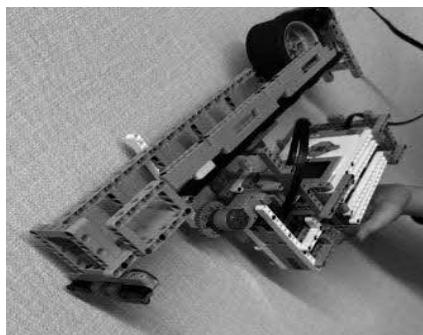


図5 シーソー型倒立振り子 全体

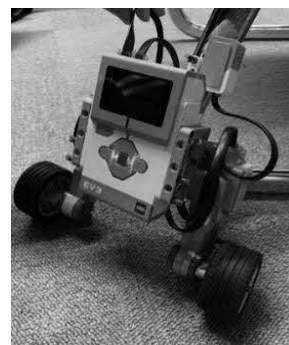


図6 倒立振り子用ロボット

2.2 実験方法

上図の4つを使い LEGO MINDSTORMS Education EV3 を使う。そこにプログラミングを入れることで動かす。

① ライントレース

ラインレースとは、線などに沿ってロボットを移動させる制御である。床に白色の線で図7のような楕円のコースを作成し、図1のロボットに線を読み取るカラーセンサを取り付け、白色と黒色の色を判別させた。

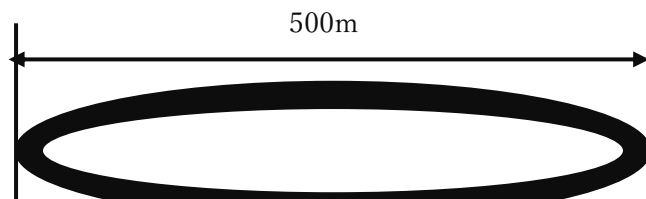


図7 ライントレースコース

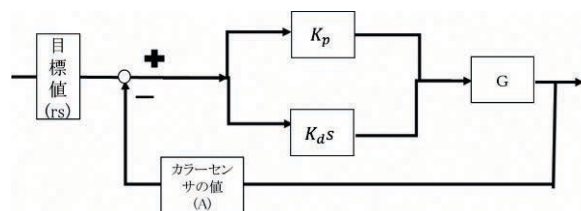


図8 ライントレースのブロック線図

図8のブロック線図を数式に変換すると

$$Y = (rs - A)(K_p + K_d s) \times G$$

となる。これを、プログラミングで示すと図9のようになる

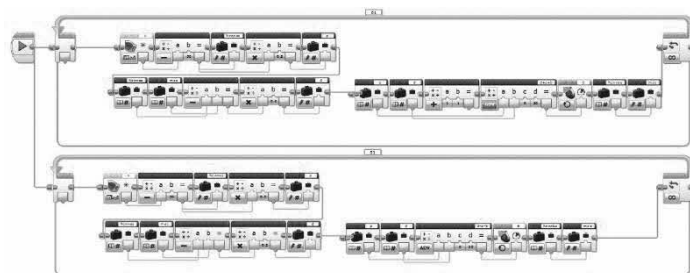


図9 ライントレースプログラミング

このプログラミングは、上のループで左のモータを下のループで右のモータを制御している。ブロック線図のようにカラーセンサの値から、目標値を引いてその値に P, D のゲイン値をかけてモータに出力するプログラミングである。

② ウォールトレサ

ウォールトレサとは、壁に沿って走行するロボットである。段ボールで簡単な壁のコースを作成した。ロボットは、先端についている超音波センサを使って壁との距離を測定することで位置制御を行う。

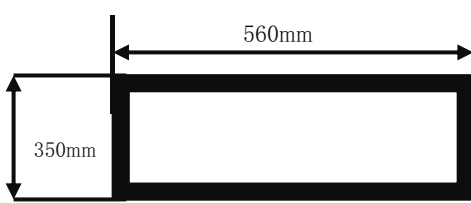


図10 ウォールトレサコース

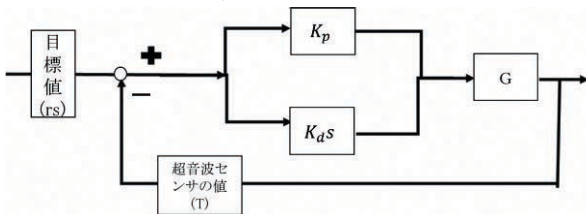


図11 ウォールトレサのブロック線図

図11のブロック線図を数式に変換すると、

$$Y = (rs - T)(K_p + K_d s) \times G$$

となる。これをプログラミングで示すと図12となる。

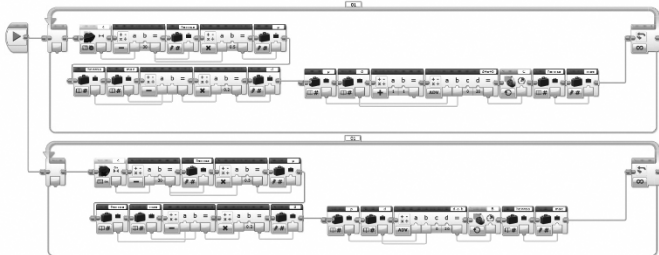


図12 ウォールトレサのプログラミング

このプログラミングは、ラインレースの制御と同じもので、カラーセンサの値を超音波センサの値に入れ替えたものである。

③ シーソー型倒立振り子

シーソー型倒立振り子は、まず、図4のように、シーソーの中央にある溝の隙間にタイヤを入れる。シーソーが傾くとタイヤが左右に移動するので、シーソーの傾きを制御し、タイヤを中央に保つ制御である。

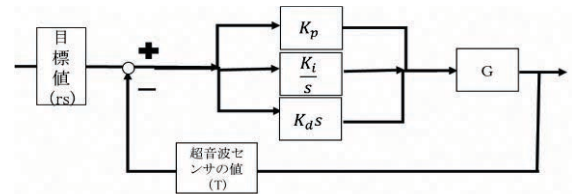


図13 シーソー型倒立振り子のブロック線図

図13のブロック線図を数式に変換すると

$$Y = (rs - T)(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s) \times G$$

となる。これをプログラミングで示すと図14となる。

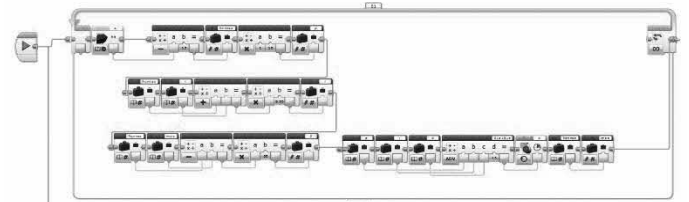


図14 シーソー型倒立振り子のプログラム

このプログラムは、タイヤの位置を、超音波センサを使うことで測定し、それに P, I, D のゲインを掛けモータ出力としている。

④ 倒立振り子

倒立振り子とは、支点より重心が高い不安定な振り子のことであり、適切な制御を行うことでバランスを保つことができる。図5のような装置を使い倒立振り子の実験を行った。

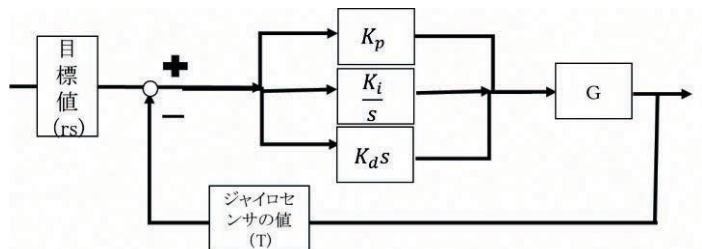


図15 倒立振り子のブロック線図

図15のブロック線図を数式に変換すると次式

$$Y = (rs - B)(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s) \times G$$

となる。これをプログラムで示すと図16になる。

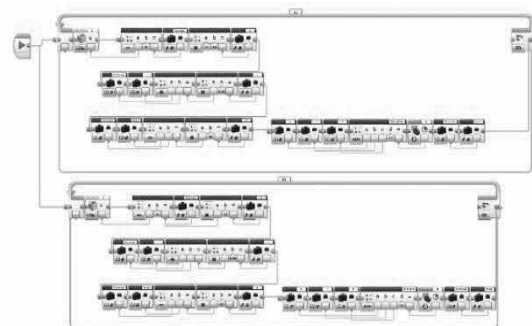


図16 倒立振り子のプログラミング

このプログラムはシーソー型倒立振子と同形で、ジャイロセンサを使って装置の傾きを検出している。PID 制御を用いているが、他の装置のように制御を行うことはできず、ゲインの値を調整するのは非常に困難であった。

2. 2. 実験結果

実験結果を以下に示す。

① ライントレース

まず、P 制御だけでライントレースを行ったところ、直線のラインや、滑らかな曲がりには、何の問題もなく、制御することができていた。しかし、直角のラインを曲がろうとしたときには、大きく、ラインを外れてしまう結果になった。次に、PD制御でライントレースを行った。直線のラインもスピードを上げてきれいにライン上を走行できるようになった。また、P制御だけでは曲がれなかった直角のラインも膨らみを最小限にして曲がることに成功した。このことから、直角のラインを曲がろうとすると、 K_p の値を大きくしなければならず、偏差に対する制御量が大きくなり、応答速度は向上するが制御系が不安定になることがわかった。これは、制御系における微分方程式の解の振る舞いと関連しており、 K_p が大きいほど解が無限大に発散してしまい、不安定になっていると考えた。

② ウォールトレース

まず、P 制御のみで制御を行った場合は、うまく直線や曲線の壁の周りを走ることができた。ライントレースと同じで直角に曲がるときに大きく外れてしまうことが多かった。

次に PD 制御でウォールトレースを行った場合には、ライントレースと同じで P 制御のみよりもきれいに壁の周りを走ることができた。

③ シーソー型倒立振子

シーソー型倒立振子では、タイヤが左右に移動した場合に、シーソーを傾けて中央付近へタイヤを移動させることには成功した。しかし、タイヤを中央付近に留めるような制御を行うことはできず、中央を超えて左右に移動する結果になってしまった。これは、タイヤの転がりが一定ではなく、摩擦の影響があると考えられる。また、タイヤの移動範囲が狭すぎて、タイヤの位置検出が難しかったと考えられる。これらの理由からシーソー

型倒立振子の制御がPID でできなかつたと考えられる。

④ 倒立振子

倒立振子は、P 制御だけで行った場合は、倒立しようとして、傾きに合わせて移動を行い、制御を行ってはいないが測定値が限界を超えてしまい制御できなくなっていた。しかし、ID を入れて PID 制御にすることで、開始位置によっては倒立できる場合があった。開始位置が垂直な状態で、あまり外乱がない場合は倒立振子を制御することができる。しかし、開始位置が傾いていて始まった場合、もしくはタイヤの回転などの外乱が発生した場合、倒立できずに倒れてしまう結果となってしまった。倒立振子を更に安定させるには、現代制御が必要である。そのためには、入力値を増やしたりタイヤの回転角度を知る必要がある³⁾。

3. 結論

レゴ EV3 を使用して 4 種類のロボットや装置を作製し、ON-OFF, P, PD, PID の 4 つの制御を行った。それぞれのロボットにおいて制御の違いが分かるように動画を用いて比較を行った。ロボットの実際の動きを見ることができた教材で、制御が可能か不可能かの違いを確認することができた。特に、パラメータの設定においてはライントレースのロボットの動きを観察することでより深く制御工学を学ぶことができると考えている。

参考文献

- 1) LEGO, レゴマインドストームについて, <https://www.lego.com/ja-jp/themes/mindstorms/about>
- 2) LEGO EV3 性能, <https://afrel.co.jp/technology-info/information-ev3/ev3-hardware/ev3-intelligent-block/15493/>
- 3) 二輪倒立振子の数値趣味レーション, <https://okasho-engineer.com/linear-inverted-pendulum-pid-control/#toc1>
- 4) EV3 の性能について, <https://afrel.co.jp/technology-info/information-ev3/ev3-hardware/ev3-intelligent-block/15493/>
- 5) パラメータ不足について, <https://okasho-engineer.com/linear-inverted-pendulum-pid-control/#toc1>

1 自由度振動系の強制振動実習装置の開発

後藤大輝, 田中 結翔, 岩本 望睦, 日野満司(指導教員)
機械システム技術科

「振動工学」を学習する際, 実体験できる実習装置で振動現象を体験できれば, 感覚として振動現象を捉えることができるため, 学習効果の向上が期待できる. そのような観点から, 一昨年度から片持ち梁からなる一自由度系の強制振動を対象とした実習装置の開発に着手し, 実習装置の製作, 振動系の諸元の測定, およびフィードバック制御による不釣合いロータの回転数制御までの報告を行った. しかし, 物体の振動変位と調和外力を発生するロータ速度の計測までには至らなかった. さらに, 片持ち梁では, 長手方向にねじれが発生する場合があります, 物体の変位の計測に不都合が発生することもわかった.

そこで本研究では, 片持ち梁を見直した新たな機構を考案するとともに, 計測システムの構築を試みた. その結果, 開発の目的であった振動系の変位倍率と位相差に対して, 実測値と理論値の結果が比較検討できたので報告する.

1. 緒言

振動工学は身の回りに起こる振動現象を運動方程式で表して, その解から振動現象の有様を解析して振動の低減や応用につなげる学問である. 授業においては, 教科書に記載されている振動系を基にした理論的展開があるだけであり, 本当に理論通りの挙動が発生するかどうかの確認ができない. もし, 実習装置があれば, 振動の挙動と理論解析による数値シミュレーション等の比較検討が可能となり, 理論の整合性を実体験できる. 実際の現象と人間の頭の中で考えた理論が結びつくという意味では非常に意味のあることである.

本研究では, 一自由度系の強制振動を対象とした実習装置の開発に着手している^{1),2)}. これは, 片持ち梁の先端に調和外力を印加することで, 先端が振動するときの変位倍率と位相差を計測して理論と比較検討を行うとともに, 共振現象を体験しようとするものである.

昨年度までに, 計測の精度を高めるために, 振動系を支持する囲いは振動実習装置自体の防振効果を配慮した堅牢な構造とし, かつ, 振動変位の計測データを正確に取り込むためのノイズ対策を行った²⁾. また, 調和外力は偏心したロータをモータで回転させることで実現しているが, 変動する回転数を安定にするために, フィードバック制御系を構成して, 回転数変動を抑制させることも試みた²⁾.

しかし, 調和外力発生のためにロータを偏心させる仕組みに問題があり, 正確な偏心量を計測することが困難であった. さらに, 片持ち梁では, 長手方向にねじ

れ振動が発生する場合があります, 物体の変位の計測に不都合が生じることもわかった.

そこで本研究では, 片持ち梁を見直した新たな機構を考案するとともに, 計測システムの構築を試みた. その結果, 開発の目的であった振動系の変位倍率と位相差に対して, 実測値と理論値の結果を比較検討できたので報告する.

2. 実験装置と理論解析

2.1 実験装置

昨年度までの片持ち梁を用いた実習装置を図1に示す. この実習装置では, 偏心したロータを回転させたとき, 特定の回転数で梁の長手方向にねじれ振動が発生することで, レーザー変位計で正確な計測ができなくなるのが判明した. 改良した実習装置を図2に示す. 壁に梁を支持する箇所は蝶つがいとし, 長手方向のねじれ振動が発生しにくい構造とした. また, 梁の先端に設置した物体を天井から吊したバネで支持している.

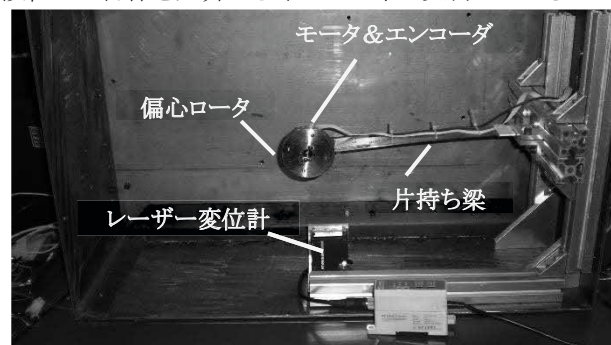


図1 昨年度までの実習装置

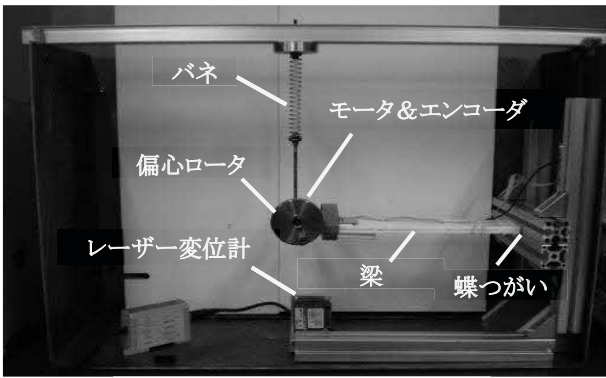


図2 改良した実習装置

ロータを偏心させる方法は図3に示すようにモータ軸直結のボスの軸中心からロータの軸中心をずらすことで実施していたため、偏心量 e の測定が困難であった。そこで、図4のようにモータ軸直結のボスの軸中心とロータの軸中心は一致させ、偏心は不釣合いボルトを取り付けることとした。この結果、正確な偏心量 e の測定が可能となった。

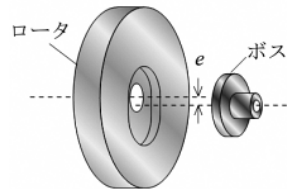


図3 従来の偏心法

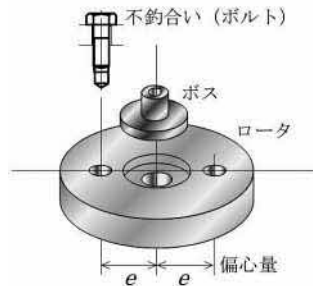


図4 改良した偏心法

2.2 理論解析

物体は偏心ロータとエンコーダ付きモータおよび梁からなり、合計の質量を M とする。不釣合いボルトの質量を m 、バネ定数を k 、バネ等の粘性抵抗を c とする。

物体の中立点からの変位を $x(t)$ とし、下向きを正とする。ロータが角速度 ω で回転することにより不釣合いボルトにより上下方向に調和外力である $me\omega^2 \cos\omega t$ の遠心力が発生する。このとき、運動方程式は次式となる。

$$M\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = me\omega^2 \cos\omega t$$

この微分方程式の強制振動解は次式となる。

$$x(t) = B\cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{cases} B = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + c^2\omega^2}} \\ \phi = \tan^{-1} \frac{c\omega}{k - M\omega^2} \end{cases}$$

強制振動解を基準変位(me/M)で除し、固有角振動数 $\omega_n = \sqrt{k/M}$ 、振動数比 $u = \omega/\omega_n$ 、減衰係数比 $\zeta = c/2\sqrt{Mk}$ を用いると、次の無次元化された表現を得る。

$$\frac{x(t)}{me/M} = \mu\cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{cases} \mu = \frac{B}{me/M} = \frac{u^2}{\sqrt{(1-u^2)^2 + (2\zeta u)^2}} \\ \phi = \tan^{-1} \frac{2\zeta u}{1-u^2} \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

ここで、 μ は変位倍率であり、 ϕ は位相差である。減衰係数比 ζ が求まれば、振動数比 u に対してこれらの理論値が計算できる。実習の目的は理論値が実際に計測した値に近いことを検証することである。

3. 実験準備

3.1 振動系パラメータの測定

変位倍率と位相差の実測値を求めるためには、振動系パラメータの各諸元を事前に測定しておく必要がある。表1にそれらの各諸元を示す。

表1 振動系パラメータの各諸元

パラメータ名	記号	諸元
物体の質量	M	0.430[kg]
不釣合いの質量	m	0.008[kg]
偏心量	e	22.4[mm]
バネ定数	k	0.29[N/mm]
固有角振動数	ω_n	25.9[rad/s]
減衰係数比	ζ	0.00265

なお、物体および不釣合いの質量は上皿天秤で、偏心量はノギスで計測し、バネ定数は仕様書のデータによる。また、減衰係数比 ζ は物体の自由振動の時刻歴応答のデータから対数減衰率を求めることにより算出した¹⁾。

3.2 モータの動特性の計測

偏心ロータの回転数を低く設定する時はモータに印加する指令電圧値を下げることになるが、0.8[V]以下に下げると、不釣合いの影響で偏心ロータの回転数が回転数に応じて変動が無視できなくなる。そのため、一定の回転数を得るために、文献2に基づいて極配置によるフィードバック制御系を構成する。

モータの伝達関数を二次遅れ系で近似する。

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{v(s)} = \frac{K\omega_m^2}{s^2 + 2\zeta_m\omega_m s + \omega_m^2}$$

ここで、 ω [rad/s] はモータの角速度、 v [V] はモータに印加する電圧である。また、 ω_m [rad/s]は固有角振動数、 ζ_m は減衰係数比、 K [rad/s/V]はゲイン定数である。

ステップ応答法によりパラメータ同定を行った結果、次の結果を得た。

$$\omega_m = 4.0 \text{ rad/s}, \zeta_m = 0.90, K = 15.5 \text{ rad/s/V}$$

制御手法は極配置法とし、指定する閉ループ系の3つの極($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)をすべて-6.0と設定した。

4. 実験

4.1 振動計測プログラム

調和外力の角振動数 ω [rad/s]を設定して実験データを取得するが、ある角振動数 $\omega_i (i = 1, \dots, n)$ を設定すると、それに対応して振動数比 u_i 、変位倍率 μ_i 、位相差 ϕ_i が求まる。したがって、振動数比 u に対する変位倍率 μ と位相差 ϕ のグラフを求めるためには、低周波数から高周波数までを適当にカバーする必要がある。それを実現するために、Visual Basic 6.0で作成した振動計測プログラムを図5に示す。

計測するときに必要なサンプリングタイムとして設定可能で最速の25[ms]とした。第3章で示した振動系パラメータとモータの特性の諸元、およびフィードバック制御で必要となる極を設定する。調和外力の角振動数の設定については、モータへの指令電圧が0.8[V]を下回ると回転数の変動が目立つようになるため、それを境

にフィードバック制御を行うのか、直接指令電圧を与えるのかを切り替えるようにしている。計測結果はロータの角速度、制御入力電圧、および物体の変位と調和外力である不釣り合い振動波形を重ねて表示することで、取り込みのデータ確認が可能である。さらに必要となるデータを保存できるだけでなく、保存されたデータを読み出して表示し、確認することも可能である。

実験方法は、データの取得を繰り返し実施することになる。低周波数から高周波数までモータの角速度 ω [rad/s]を変えてデータを取得する。振動工学のテキスト³⁾に合わせて、高周波数は固有角振動数 ω_n の3倍までの角振動数 $\omega = 3\omega_n$ までとする。この区間を $i = 1, \dots, n$ と実行し n 種類のデータを取得する。

データの取得が終了したら、保存したデータをEXCELに取り込み、物体の変位と調和外力の時刻歴応答データから、以下の手順でこのときの位相差 ϕ_i 、変位倍率 μ_i 、および角振動数 ω_i から振動数比 u_i を求める。ただし、 $i = 1, \dots, n$ である。

- (1) 図6に示すように、物体の変位と調和外力の時刻歴データをグラフで同時に表示して振動波形の遅れ時間 Δ_i より位相差 ϕ_i を次式で求める。

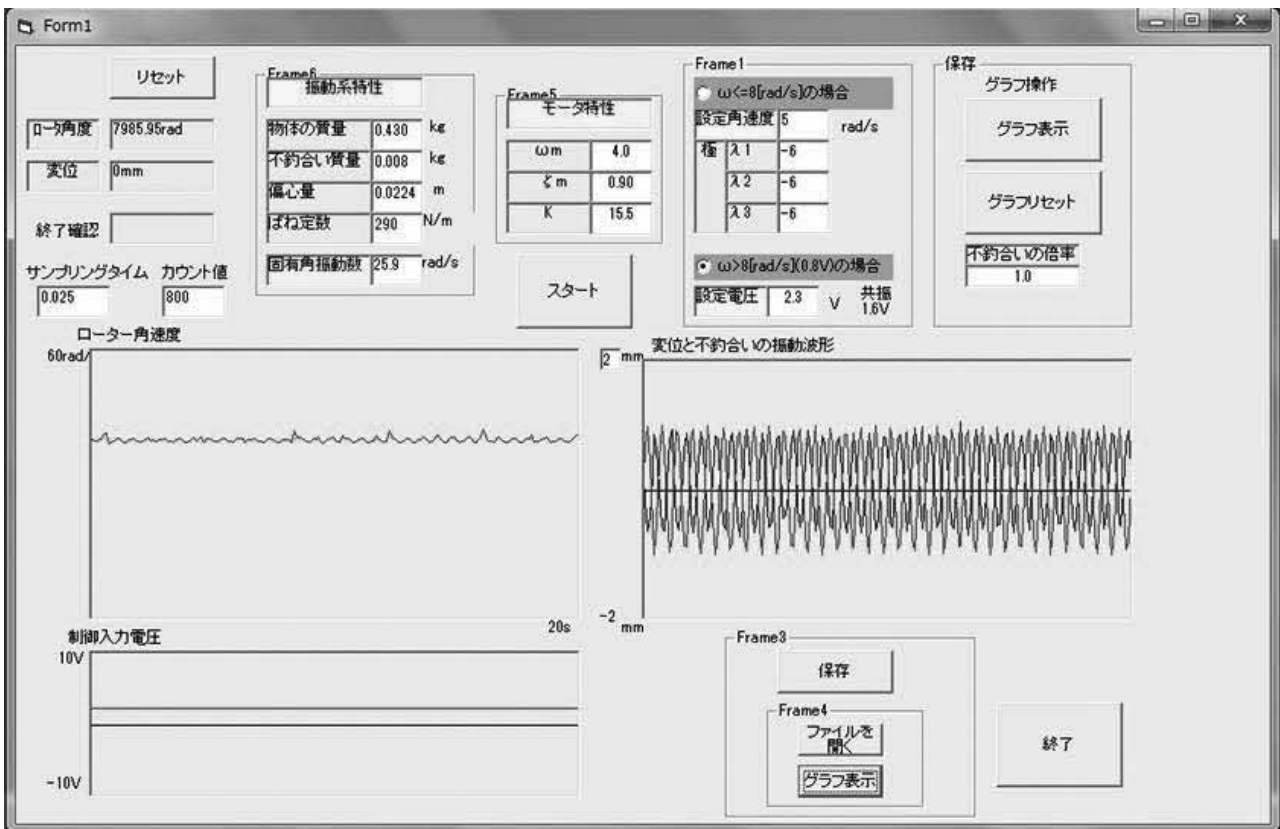


図5 振動計測プログラム

$$\phi_i = \omega_i \Delta_i$$

(2) 変位倍率 μ_i を次式で計算する。なお、 B_i は物体の変位波形の振幅である。

$$\mu_i = \frac{B_i}{me}$$

(3) 周期 T_i [s]を計測して角振動数 ω_i を求め、振動数比 u_i を計算する。

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}, \quad u_i = \frac{\omega_i}{\omega_n}$$

(4) 以上を $i = 1, \dots, n$ まで繰り返す。

4.2 実験値と理論値の比較検討

前節で求めた周期 T_i [s]、変位倍率 μ_i および遅れ時

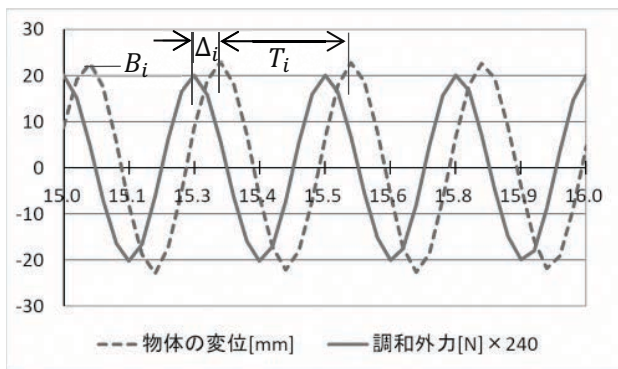


図6 物体の変位と調和外力の時刻歴応答

間 Δ_i を入力して、変位倍率と位相差をプロットすると共に、理論値曲線で表示するプログラムを図6に示す。なお、計算の手間を省くため、実際は周期 T_i 、振幅 B_i 、遅れ時間 Δ_i を入力するようにしている。

図より、実験値と理論値がほぼ一致しており、理論の整合性が確認できた。今回、実験の一連の工程を体験できたことで、振動現象に対する理解が深まった。

5. 結言

工学の授業の理解を促進する目的で、振動工学の基礎である一自由度強制振動系について実習装置の製作を行い、実験値と理論値の整合性が検証できた。

今後の課題は、データ収集を連続して実施できるソフトウェアの開発などが挙げられる。

参考文献

- 1) 岩部朔弥, 藤川勇人, 永田喬士郎: 振動工学実習装置の開発 一自由度強制振動系実習装置の開発, 令和4年度卒業研究概要集, 熊本県立技術短期大学校(2022), p.41-44.
- 2) 前田功晟, 渡邊莉雄: 振動工学実習装置の開発 不釣り合いを利用した強制振動実習装置の製作と回転数制御, 令和5年度卒業研究概要集, 熊本県立技術短期大学校(2023), p.49-52.
- 3) 岩井善太, 日野満司, 水本郁朗: 振動工学の講義と演習, 日新出版(2000), p.52.

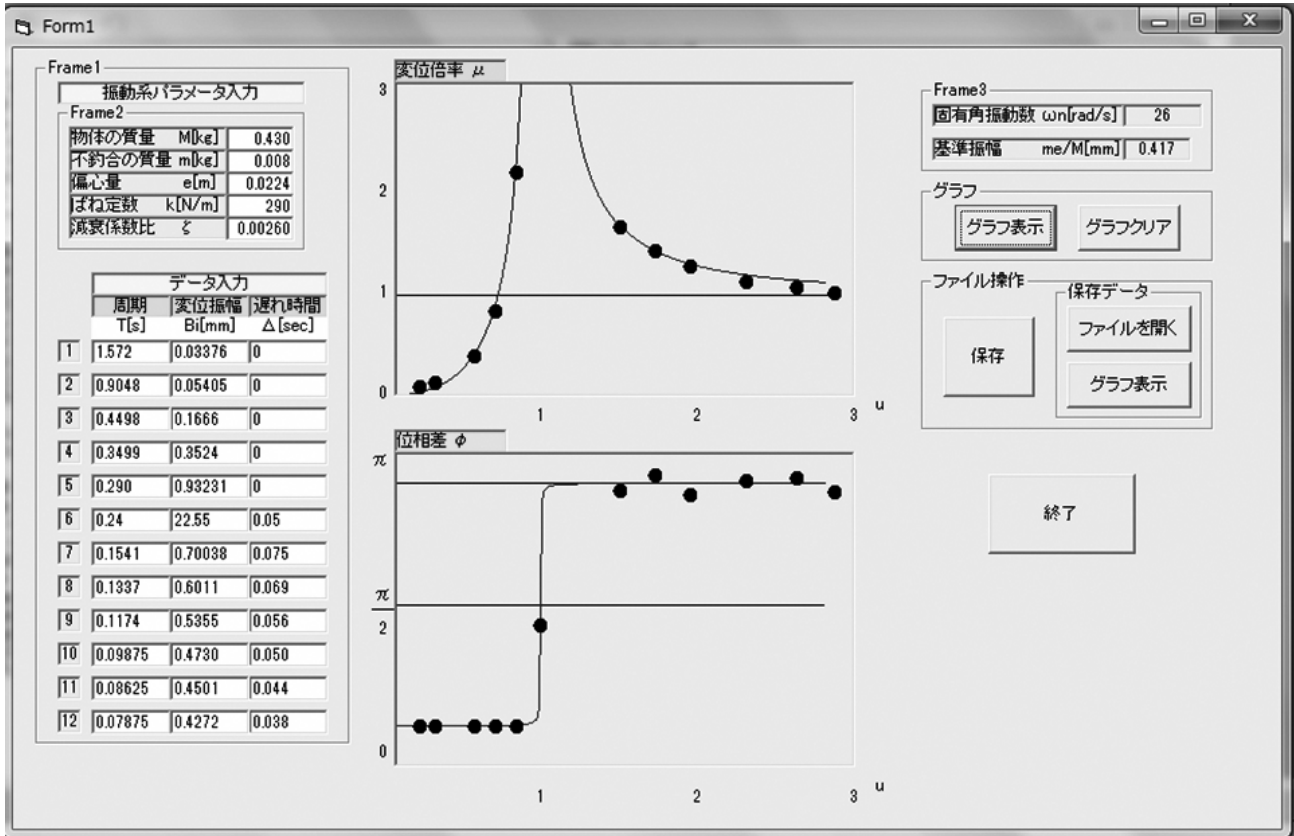


図7 実験と理論値の比較プログラム

振動工学実習装置の開発

並んで回転するローラ上に置かれた板の振動実習装置

東 漱磨, 森 玲雄, 日野満司(指導教員)
機械システム技術科

振動は身近に現存し, 常日頃 体験するにもかかわらず, 授業における「振動工学」は理論が中心であるため理解しづらく, 学生にとって馴染みにくい学問でもある. もし, 授業の理解を促すための手頃な実習装置があればよいが, あまり見受けられず, あっても高価で, かつメカトロニクスを構築する際に必要となる多くのノウハウがブラックボックス化されている.

このことに鑑み, 手頃な実習装置として振動工学のテキストに記載されている振動装置を製作することとした. これは, 並んで互いに逆向きに回転するローラ上に置かれ板が左右に振動するというもので, 理論解析により振動の周期から摩擦係数を求めることができる. 本研究では, この実習装置を試作し動作を確認できたとともに, 動摩擦係数に関する興味深い結果が得られたので報告する.

1. はじめに

振動工学の授業は, 実際の振動現象を体現できないままに理論が先行し, その結果, 理解しづらい学問という印象が強い. また, 本当に実在の振動系が理論通りの挙動を示すのかも疑問でもある. もし, 振動に関する実習装置があれば, 実際の振動現象と理論解析の整合性を確認できるため, 振動に関する理解が極めて高まるはずである.

以上のことに鑑み, 授業で使用されているテキスト¹⁾の中から, 学生が興味を引き, かつ理論解析が分かりやすい振動系として, 「並んで回転するローラ上に置かれ板が左右に移動するという振動実習装置」を製作し, 理論解析を試みることにした. さらに, 試作した振動実習装置により摩擦係数を求めたところ, 興味深い結果が得られた.

2. 対象とする実習装置と理論解析

参考としたテキストは, 授業で使用している文献 1 の書籍である. 今回, 対象とした振動系はテキストの演習問題に記載された装置とした.

2.1 実習装置

図1に, 対象とする振動実習装置¹⁾を示す. テキストの問題は, 同じ直径で互いに逆向きに回転するローラの上に細長い板を乗せると, 板が左右方向に振動する現象が発生するというもので, その時の摩擦係数を求めるというものである.

本研究では, できる限りテキストに忠実に振動系を構築するとともに, 摩擦係数を求めてみることにした.

2.2 理論解析

理論解析のために, 物体に作用する力関係を示したのが図2である. ここで, ローラの軸間の距離を a , 板の質量を m , 摩擦係数を μ , 重力加速度を g とする. また, ローラ軸の中間を中立点として, 板の重心が x だけ変位しており, ローラは角速度 ω で回転しているものとする.

左右のローラが支える荷重をそれぞれ F_1, F_2 とすると,

$$mg = F_1 + F_2 \quad (1)$$
 という関係が成り立つ. また, 板の重心回りのモーメント

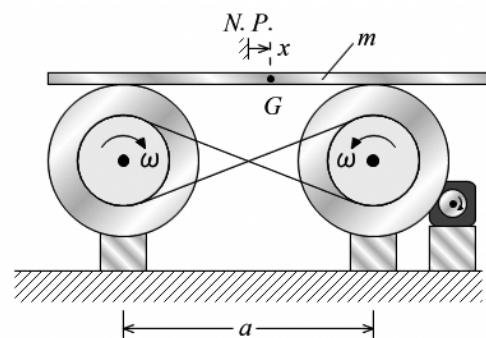


図1 振動実習装置の概要

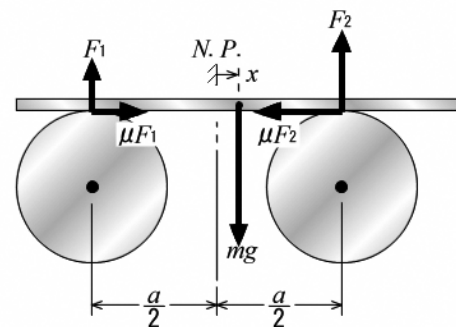


図2 振動実習装置の力関係

の釣合から,

$$F_1 \left(\frac{a}{2} + x \right) = F_2 \left(\frac{a}{2} - x \right) \quad (2)$$

という関係が成り立つ. 式(1)と式(2)から F_1, F_2 が次のように求まる.

$$F_1 = \frac{(a/2) - x}{a} mg, \quad F_2 = \frac{(a/2) + x}{a} mg \quad (3)$$

また, 左右のローラと板間の摩擦力は, それぞれ μF_1 および μF_2 であるから, 右方向を正とすると, 板に関する運動方程式は次式となる.

$$m\ddot{x} = \mu F_1 - \mu F_2$$

この運動方程式に上の式(3)を代入して整理すると, 次式となる.

$$m\ddot{x} + \frac{2\mu mg}{a} x = 0$$

それゆえ, 板の左右の振動に関する固有角振動数 ω_n は

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2\mu g}{a}}$$

となる. これより, 摩擦係数 μ を逆算すると

$$\mu = \frac{a}{2g} \omega_n^2$$

となる. したがって, ローラ間の距離 a と板の左右方向振動の固有角振動数 ω_n を求めれば, 板とローラ間の摩擦係数 μ が求まる.

3. 実習装置の概要

3.1 メカニズム

図1の実習装置を, 機能を損なわないように構成したメカニズムの概略構成を図3に示す.

二つのローラの回転が逆向きで同じ回転数でなければならないので, 動力軸に取り付けた歯車と従動軸の同じサイズの歯車をかみ合わせることにした. 動力軸と従動軸の回転は, それぞれ同じサイズのタイミングプーリからタイミングベルトを介して各ローラに取り付けられているタイミングプーリからローラに伝達される.

3.2 実習装置の詳細

動力軸の駆動は AC モータを使用し, 一定の角速度を得るために, 専用のスピードコントロールユニットを採用することとした. AC モータはスピードコントロール機能付きで 6W のインダクションモータ(オリエンタルモータ社製, US206-401)で, 減速比 3 のギヤヘッド(オリエンタルモータ社製, 2GN3)を採用した.

板の左右方向の変位を計測するために, 非接触で計測が可能なレーザ変位計を使用してパソコンにデータを取り込むこととし, 基準距離 100mm で測定範囲が $\pm 40\text{mm}$ のセンサ(キーエンス社製, センサヘッド:LB-01, アンプユニット:LB60(アナログタイプ))を採用した. アナログアンプからのアナログ出力は AD 変換器(コンテック社製, AIO160802AY-USB)でデジタル信号に変

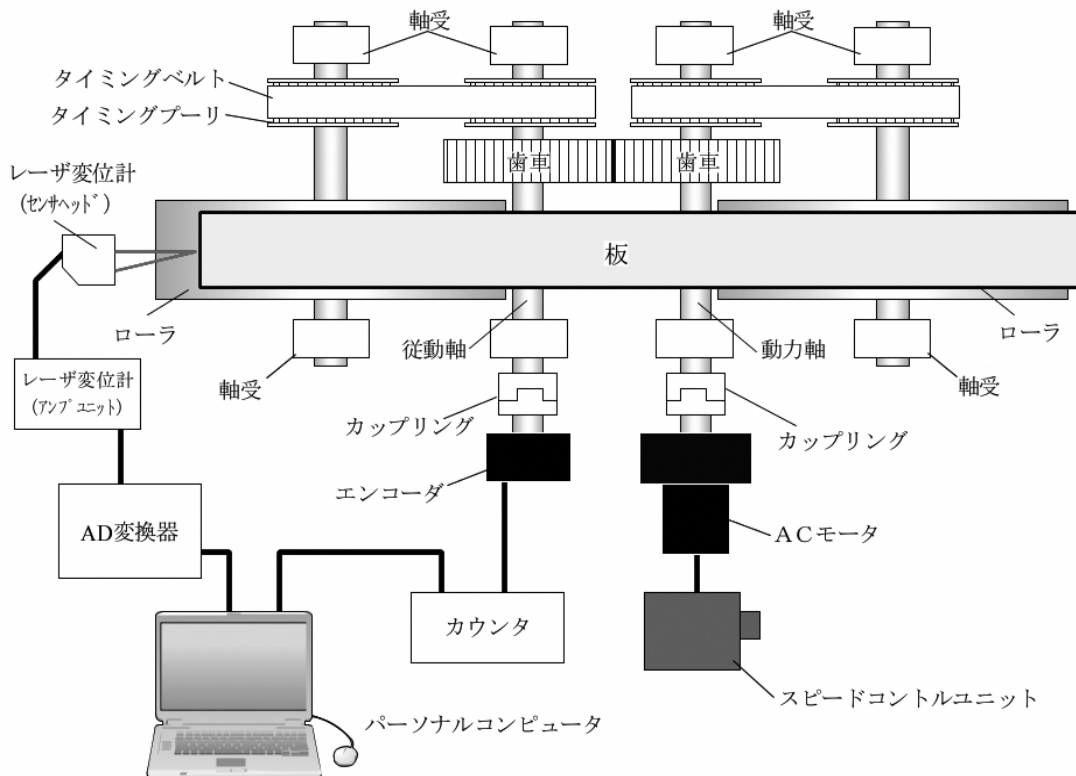


図3 メカニズムの概略構成

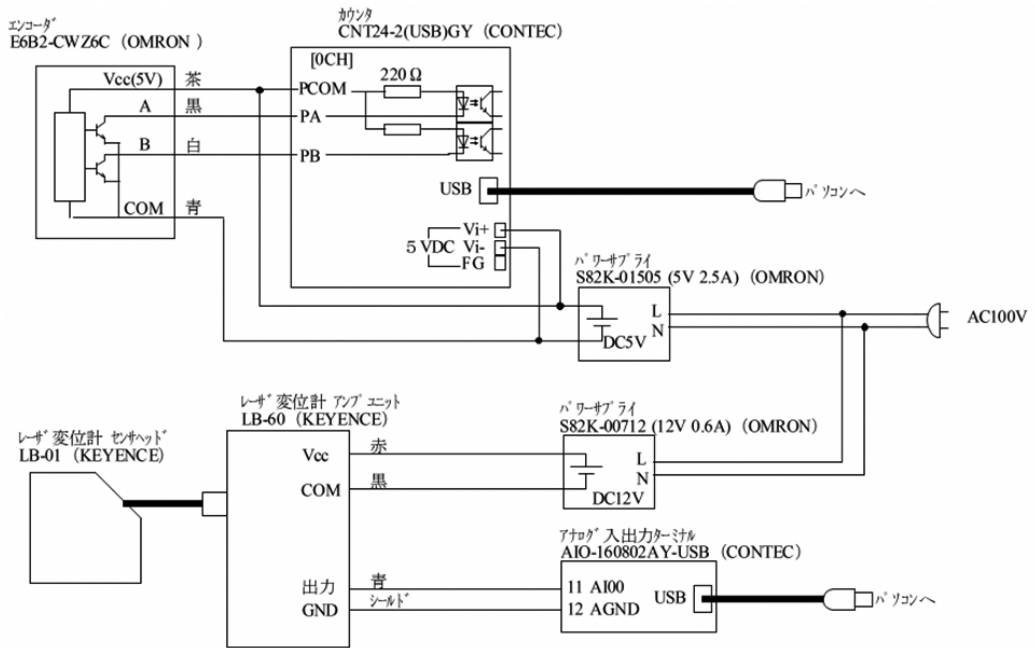


図4 センサの配線

換され、パーソナルコンピュータに取り込まれる。

ローラの角速度を計測するために、従動軸に2000P/Rのエンコーダ(オムロン社製, E6B2-CWZ6C)を取り付け、エンコーダからのパルスをカウンタ(コンテック社製, CNT24-2(USB)GY)でカウントして回転角度を計測する。パーソナルコンピュータに取り組み込まれたカウント値を数値微分することでローラの角速度を算出することとした。

3.3 センサの配線

エンコーダおよびレーザ変位計の配線を図4に示す。

エンコーダでは正逆転が計測できるように、A相とB相をカウンタに接続している。なお、カウンタへの供給電源がDC5V, 2.5Aのパワーサプライ(オムロン社製, S82K-01505)を採用した。レーザ変位計のアンプユニットには12V, 0.6Wのパワーサプライ(オムロン社製, S82K-00712)を採用した。

3.4 計測システム

Visual Basic 6.0を用いて作成した、板の変位とローラの角速度の計測システムを図5に示す。スタートを押すとそれらの時刻歴応答が取り込まれる。なお、ローラ

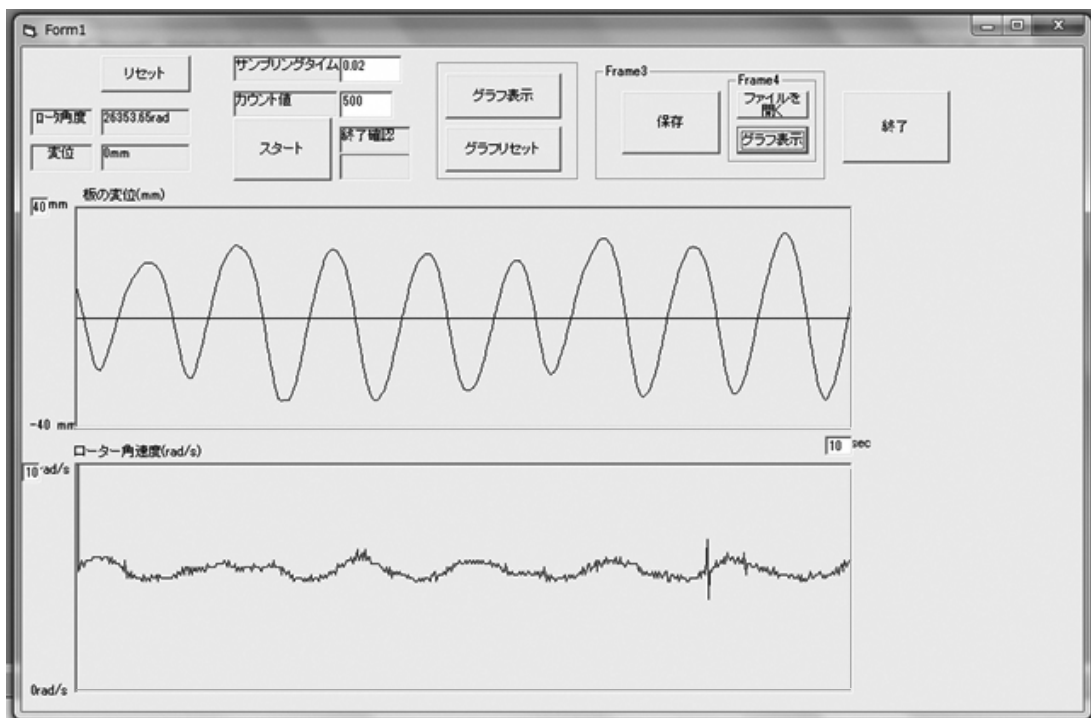


図5 計測システム

の角速度はエンコーダで計測したローラの角度を数値微分することで計算している。取り込んだデータは保存することができ、さらに保存したデータを読み出して表示することも可能である。

4. 実験

完成した実習装置の写真を図6に示す。

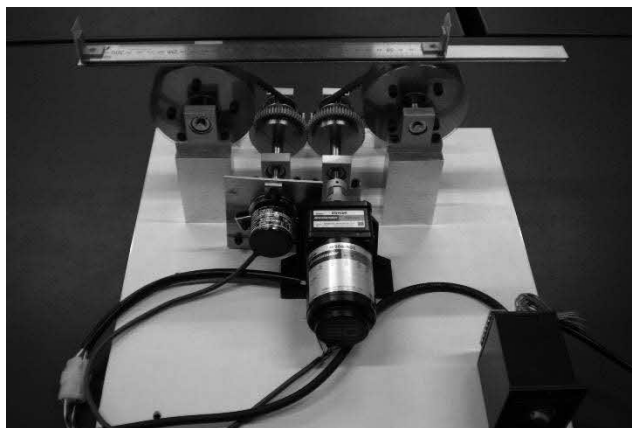


図6 振動実習装置の力関係

ローラの角速度を変化させたときの板の変位の時刻歴応答を図7に示す。また、そのときの固有角振動数とその時の摩擦係数を表1に示す。

表1 ローラの角速度と板の振動の関係

ローラの角速度 [rad/s]	板の固有角振動数 [rad/s]	摩擦係数
4.22	4.19	0.182
5.54	5.51	0.315
8.28	7.48	0.581

ローラの角速度と板の固有角振動数がほぼ一致している。また、ローラ角速度が大きくなると摩擦係数も大きくなるのがわかる。さらに、ローラの角速度が大きくなると板の振幅が小さくなるという結果が得られた。

一般に動摩擦係数は一定であるため、動摩擦係数が増えることは考えにくい。メカニズムの特徴上、転がり摩擦の要因も少なからず含まれると考えられる。転がり摩擦の場合は、転がりの速度が大きくなると動摩擦係数が増えるという報告がある²⁾ため、本実習教材においてはより厳密な理論解析が必要であろう。

なお、試作機を動作させた時に、左右に動作する板がずれ、ローラのつばに接触することがあったため改良が必要であることが判明した。

5. おわりに

振動工学は分かりにくいということから、授業で使われているテキストの中で学生が興味を引き、かつ理論解析が分かりやすい振動実習装置を試作し、理論解析と実験を試みた。得られた結果は、動摩擦係数が増えるという興味深いものであった。

今後の課題としては、転がり摩擦も含めた理論解析が必要であるということ、正確なデータが得られるようにメカニズムを改良することが挙げられる。

参考文献

- 1) 岩井善太, 日野満司, 水本郁朗: 振動工学の講義と演習, 日新出版(2000), p.p.34-35.
- 2) 佐々木, 他 3 名: 転がり摩擦トルクを基礎とした円柱の回転運動の分析, 日本機械学会論文集, Vol.88, No.916, 2022.

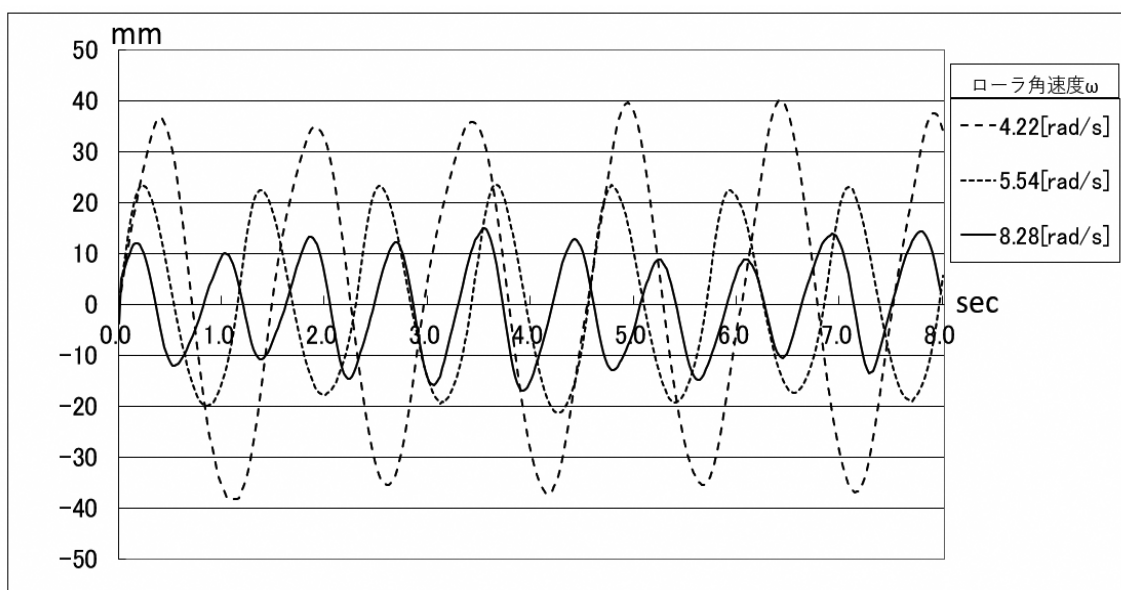


図7 板の変位の時刻歴応答

プログラミング的思考育成教材のシステム設計

上村悠真, 北時朋弥, 内田秀司郎, 秀山文彦(指導教員)
機械システム技術科

情報化が進む現在において、プログラミング的思考(論理的思考・問題解決能力)を育成するため、小学校では 2020 年からプログラミング教育が必修化されている。しかし、具体的な指導方法が確立していないことが現状である。そこで、本研究では情報システム技術科と共同で小学生のプログラミング的思考を育成できる教材開発を行った。機械システム技術科では、ドローンを用いたプログラミング教材のシステム設計を担当した。情報システム技術科と一緒に考えたコース案を基に、小学生にドローンプログラミングを楽しみながら学んでもらえるようなシステムを設計した。

1. 緒言

近年、小学校におけるプログラミング教育が必修化され、その目的として「プログラミング的思考の育成」「論理的な問題解決能力の向上」「情報化・グローバル化社会に対応できる人材の育成」「将来的な IT 人材の不足解消」などが挙げられている。また、「これからの社会では、コンピュータを理解し、適切に活用する力が不可欠である」とも指摘されている¹⁾。

しかし現状では、プログラミング教育がアプリ内での操作にとどまり、学習の面白さが十分に引き出せていないという課題がある。本研究では、この課題を解決するために小学生向けのより魅力的なプログラミング学習教材の開発に取り組むことを目的とする。情報システム技術科の学生と共同で研究を行い、機械システム技術科はドローンのコースにおけるシステム設計を行った。

2. ドローンについて

ドローンとは、遠隔操作や自動制御で飛ばせる小型の無人航空機のことであり、今回はプログラムできるコマンドが多く、タブレットで簡単に操作できる、(株) Ryze Technology 社製の Tello EDU のドローンを使用した。図1に使用したドローンを示す。



図1 使用したドローン²⁾

3. コースの説明について

情報システム技術科と共同で製作した4つの障害物から2つを自由に選択してタイムアタックを行うコースを製作した。障害物は以下の通りである。

- ① 3段の箱の空洞部分を通過する。
- ② 三角コーンのバーを上下に避けながら進む。
- ③ ランダムに表示される3色のうち、いずれか1つを読み取りその色に応じた動作行う。
- ④ 柱を2本設置して8の字に避けながら進む。

生徒に自由にコースの走行ルートを選択させることにより、プログラミング的思考を育成できると考え、このコースの製作およびシステム製作に取り組んだ。

4. M5StickCPlus とセンサの選定について

4.1 M5StickCPlus

ドローンのコースのシステム設計には、M5StickCPlus (M5Stack Technology Co. Ltd)というマイコンを使用した。M5StickCPlus を用いる利点として、本体にバッテリーと液晶画面が内蔵されていることが挙げられる。また、Wi-Fi と Bluetooth による無線通信が可能である。プログラミングは Arduino IDE という統合開発環境を使いC言語で行った。図2に M5StickCPlus を示す。



図2 M5StickCPlus

4.2 超音波センサ

超音波の反射時間を利用して、非接触で距離を測定するセンサである。右目から送信した超音波が物体へぶつかり、跳ね返ったのを左目で受信することで距離を測定する。コースの中でドローンの通過を検知するために選定した。図3に超音波センサ、図4にイメージ図を示す。

4.3 CdSセル(光センサ)

CdSセルとは、当たる光の量に従って抵抗値が変化する性質で、セルに当たる光が多ければ、抵抗値が低くなる³⁾。ドローンが離陸した際に光がスタートを検知するシステムを作るためにCdSセルを選定した。図5にCdSセルを示す。

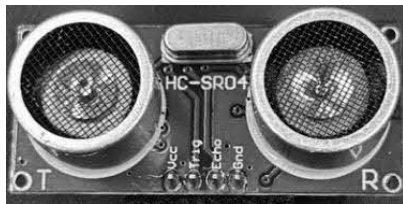


図3 超音波センサ HC-SR04

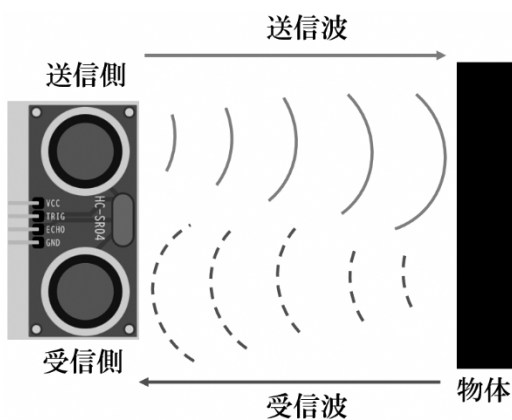


図4 超音波センサのイメージ図



図5 光センサ CdSセル

5. 製作したシステムについて

今回は以下のシステムを製作した。

- ① ドローンがフラフープを通過した際にLEDが点灯するシステム
- ② 2つの超音波センサが共に検知した場合のみLEDが点灯するシステム
- ③ M5StickCPlus2台を使い、4つの超音波センサが初めて検知した際にLEDが点灯するシステム
- ④ ドローンが離陸したら時間を計測して、ゴールを検知したら計測を停止、結果を表示するシステム
- ⑤ ランダムで色を表示させるシステム

M5StickCPlusと各種センサの基本的な接続は、ジャンパー線、リレー、ブレッドボードを用いて接続した。また、配線については昨年のを参考にし、超音波センサの数が増えても使用できるように改良した。

5.1 ①フラフープ通過時のシステムについて

超音波センサの検知範囲を広げるため、2つのセンサを設置し、どちらかがドローンの通過を検知するとLEDテープライトが点灯するよう改良した。コースのイメージを図6に示す。センサの指向角を考慮し、確実に検知できる配置を工夫した。Arduino IDEを利用してM5StickCPlusにプログラムを書き込み、フラフープ周囲に取り付けたLEDでドローンの通過が一目でわかるようにした。接続法を図7、ピンの組み合わせを表1に示す。

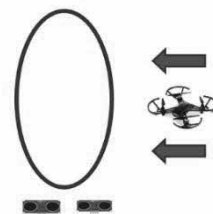


図6 フラフープ通過のイメージ図

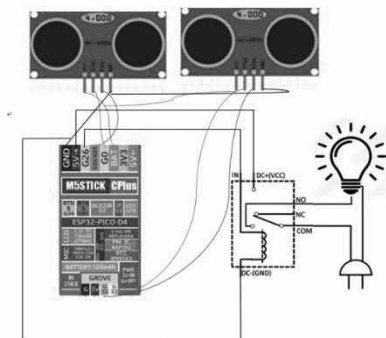


図7 超音波センサの接続図

表 1 配線表

超音波センサ1	M5StickCPlus	リレー
Gnd	Gnd	DC-
Echo	G36/G25	
Trig	G0	
VCC	BAT	
	G26	IN
	5V	DCC(VCC)
超音波センサ2		
Gnd	Gnd	
Echo	G32	
Trig	G33	
VCC	VCC	

5.2 ②バーの横を通過して LED 点灯するシステムについて

2 つの超音波センサを使用し、1 つ目を検知後に 2 つ目を検知すると LED が点灯するシステムを構築した。コースのイメージを図 8 に示す。これにより、2 本のバーの横をドローンが決められた経路で通過すると LED が点灯するようになった。しかし、ドローンの通過する範囲を制限していなかったため、検知範囲外を通過し、点灯しないという課題が見つかった。改善策として、バーの横の通過可能範囲を制限しておくことを考えた。配線、接続方法は①と同じである。

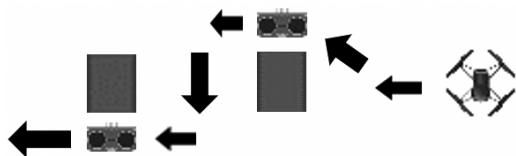


図 8 バーの横を通過するコースのイメージ図

5.3 ③4本のバーを通過して LED 点灯するシステム

M5StickCPlus2 台に超音波センサを各 2 つ接続し、計 4 つのセンサが検知した際に LED が点灯するシステムを製作した。ESP-NOW のブロードキャスト通信で検知情報を共有する仕組みを試みた。しかし、通信反応は見られたが、情報の受信は未確認であった。今後の課題とする。

5.4 ④時間計測と結果表示のシステムについて

M5StickCPlus を 2 台用いてスタートとゴールに分け、

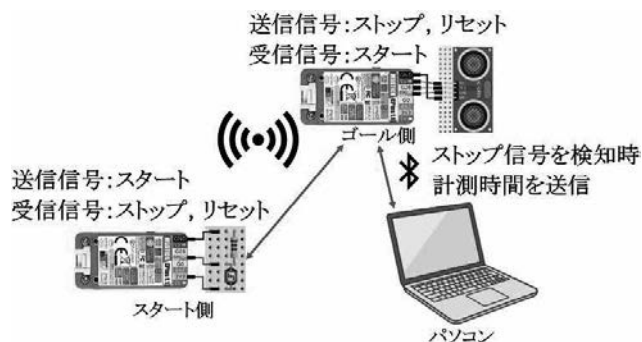


図 9 時間計測と結果表示のイメージ図

スタートは光センサを使用してドローンが離陸したらブロードキャストでスタート信号を送信、ゴールは超音波センサを使用してドローンを検知したらブロードキャストでストップ信号を送信するシステムを製作した。

また、ゴールはパソコンと Bluetooth 接続を可能にしてゴールを検知した時間をパソコンに表示させた。図 9 に、時間計測と結果表示のイメージ図を示す。

5.5 ⑤ランダム 3 色を表示する装置の製作

ランダムで 3 色のうちいずれかを表示し、ドローンの前方のカメラで色を識別してその色に応じてドローンの進路を変更するコースを作りたいという要望を実現できる装置の製作に取り組んだ。

5.5.1 色を表示させる方法の検討

製作初期の段階では、LED ライトとカラーフィルターを組み合わせて色を表示しようと考えていたが、ドローンのカメラの画像処理の性能では色の輪郭の判断が難しいという結論に至り、モータで直接色付きのパネルを回転させて表示することにした。

5.5.2 モータの選定

ステッピングモータ (28BYJ-48) とサーボモータ (SG-90) のどちらを使うか検討した。回転制御について比較したところ、ステッピングモータはステップ制御という方式が使われており、サーボモータは PWM 制御という方式が使われている。ステップ制御は、1 ステップごとの角度が指定されており、正確な位置を制御することができる。しかし、フィードバックが行われない開ループ制御のため、外乱 (外部の影響) による位置の誤差を修正できないという点があった。一方、PWM 制御は、一定周期の中でパルス幅 (信号が ON の時間) を変化させることで、モータの回転角度や速度を制御することができる。また、SG-90 には可変抵抗が組み込まれているので、実際の位置をフィードバックして目標位置に調整する閉ループ制御が可能である。また、SG-90 には、M5StickCPlus

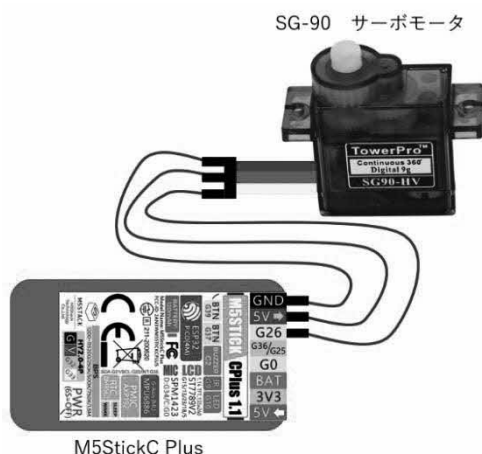


図 10 SG-90 接続図



図 12 装置の完成図

との接続が容易である点や最大トルクの大きさ、電子工作で広く使われている点から、SG-90を使うことにした。

その他のサーボモータは角度を正確に指定するために Arduino IDE のパルス幅を設定する必要があるため今回は使用しなかった。図 10 に SG-90 の接続図を示す。

5.5.3 装置の製作

装置はアクリル板、3D プリンタ及び赤、青、黄の 3 枚のパネルを用いて製作した。3D プリンタではサーボモータを固定するケースとパネルを立てるための柱を製作した。アクリル板は 2 枚使用し、1 枚目はサーボモータのケースをねじで締結するための穴を開けた。また、2 枚目はモータの回転軸のサーボホーンとアクリル板をねじで締結できるように穴を開けた。図 11 に装置のイメージ図を、図 12 に装置の完成図を示す。

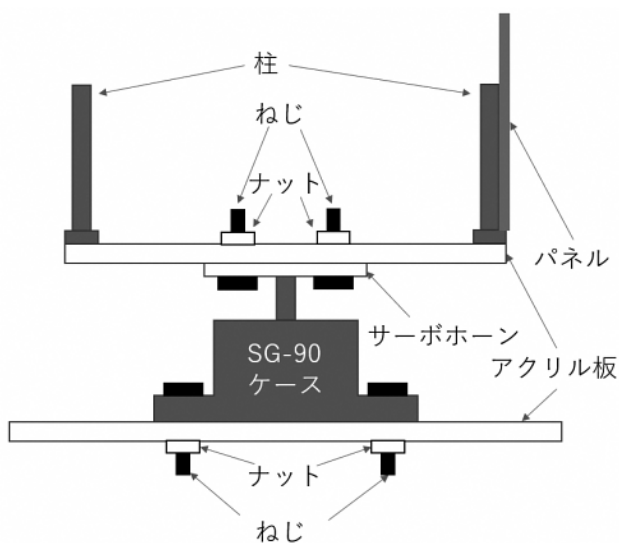


図 11 装置のイメージ図

5.5.4 プログラムの製作

プログラムは M5StickCPlus 本体の中央のボタンを押すと、サーボモータがランダムで 0° 、 90° 、 180° のいずれかに回転し、それに応じた色が表示されるプログラムを製作した。

6. 小学校での実施

菊陽北小学校の小学 4~6 年生を対象に、プログラミング教室を実施した。コースの説明をして、小学生には実際に「Scratch」でプログラミングをしてもらい、製作したコースを実走してもらった。生徒は試行錯誤しながら、コースを完走するために一生懸命取り組んでいた。

7. 結言

本研究では小学生にプログラミングを楽しく学んでもらうことを目的に、小学生向けプログラミング学習教材の開発に取り組んだ。様々なセンサを使用して、ゴールまでの時間とドローンの通過を検知できるシステムの製作を行った。またそれらを視覚的にも確認できるようにそれぞれに LED テープを設置し、ドローン通過時に点灯するシステムとした。

参考文献

- 1) 文部科学省, 小学校プログラミング教育の趣旨と計画的な準備の必要性について, https://www.mext.go.jp/content/20200210-mxt_jogai01-100013292_01.pdf, (参照 2025 年 2 月 24 日)
- 2) Tello 公式ウェブサイト, <https://www.ryzerobotics.com/jp/tello-edu>, (参照 2025 年 2 月 23 日)
- 3) フォトレジスタ, <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A9%E3%83%88%E3%83%AC%E3%82%B8%E3%82%B9%E3%82%BF>, (参照 2025 年 2 月 20 日)

減圧状態での沸騰に関する研究

内田隼, 竹田津渉, 中村瑞貴, 秀山文彦(指導教員)
機械システム技術科

情報空間と人とのインターフェースとして, スマートフォンをはじめとするモバイル端末やウェアラブル端末は, 人々の生活に欠かせないものとなっている. これらの機器では, 薄さや軽さなどが重要視されていると共に, 高性能化に伴い電子デバイスに関する熱輸送技術の開発も進められている¹⁾. その中でも, 現在は軽量かつ成形が比較的容易であるプラスチックを使用した熱輸送デバイスの開発が行われている. しかし, プラスチックの表面からの沸騰に関しては明らかになっていないことがほとんどである. そこで本研究ではプラスチックの表面からの沸騰を観察するために, 減圧状態で沸点を下げプラスチックの融点以下での沸騰の観察を行うための装置を製作した. 今年度は装置の改良を行い今後の実験装置の確立を主な目的として研究を行った.

1. 緒言

スマートフォンをはじめとする電子デバイスは, コンパクト化が進んでおり, 手軽に使えることを重視して進化している. しかし, 高性能化に伴い電子デバイスの発熱量が増加しており, 過剰な熱が蓄積されることで, 機器が安定して動作しなくなることがある. 過度の熱が蓄積されると, 性能低下や最悪の場合, 機器の故障や損傷を引き起こしてしまう. 現在, こうした熱問題への対策として, 熱輸送デバイスが, 電子機器の効率的な冷却に広く使用されている. これらのデバイスの一つにヒートパイプと呼ばれるものがある. このデバイスは液体が気体になる際に熱を吸収し, 気体が液体に戻る際に放出する熱エネルギーを利用して, ある場所の熱を離れた別の場所に高速で伝えることができる熱輸送デバイスである. 最近では, 軽量かつ加工が容易であるプラスチックを使用したヒートパイプの開発も進んでいるが, プラスチック表面での沸騰現象については, まだ解明されていない点が多い.

昨年度は, プラスチック表面での沸騰現象を観察することを目指して, 実験装置の気密性の向上やヒータの電力不足解決に取り組んでいたが, 気密性の向上が見られず, 沸騰現象の観察には至らなかった. そこで本研究では, 昨年度の課題であった気密性の問題や実験装置の確立を目標に実験装置の改良を行い, 伝熱性に優れている銅での沸騰観察を行った.

2. 沸騰について

沸騰が発生する伝熱面の熱流束 q [W/m^2]と伝熱面過熱度 ΔT_s [$^{\circ}\text{C}$]の関係を示すグラフは沸騰曲線と

呼ばれる²⁾. 図1に沸騰曲線を示す. 熱流束は, 単位面積を通過する熱量を表す物理量であり, 伝熱面過熱度は沸騰熱伝達過程で, 伝熱面の表面温度 T_s [$^{\circ}\text{C}$]と飽和温度 T_{sat} [$^{\circ}\text{C}$]の差のことであり, 次式で求めることができる.

$$\Delta T_s = T_s - T_{\text{sat}} \quad (1)$$

沸騰曲線に基づき, 伝熱面過熱度を次第に増加させると現れる, プール沸騰の各過程とその熱伝達特性は以下のように説明することができる.

A の領域は非沸騰領域で初期加熱時には伝熱面温度が低く, 沸騰が起こらず自然対流による熱伝導が続く. この時, 伝熱面で気泡が発生し始める.

B の領域は核沸騰領域で水の温度が上昇し, 部分的に沸点に達すると, 沸騰が始まり, 急激に熱流束が増加する.

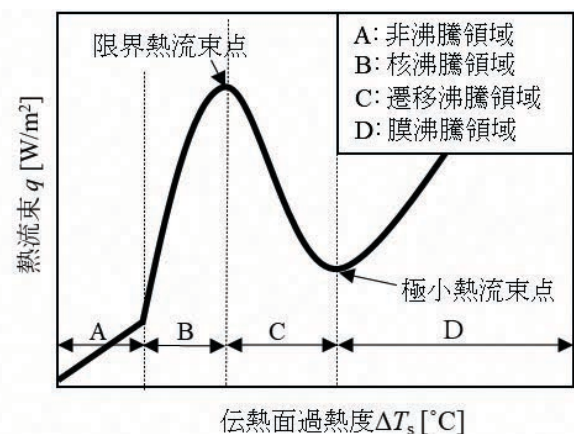


図1 沸騰曲線

核沸騰では、伝熱面での微小な気泡の生成と離脱が繰り返し続き、この状態が限界熱流束点まで継続する。限界熱流束点とは、沸騰熱伝達が最大に達し、それ以上熱流束を加えても沸騰が激しくならず、落ち着いた状態になる点を指す。

C の領域は遷移沸騰領域であり限界熱流束点を超えると、熱流束は急激に減少し、核沸騰が不安定化して遷移沸騰に移行する。この時、気泡の数が増加し発泡周期が短くなり、より沸騰が激しく部分的に蒸気膜が繋がった形態に変化する。この段階で熱流束 q は限界熱流束点から極小熱流束点まで減少し続ける。極小熱流束点は、沸騰曲線における流束の最小値であり、遷移沸騰と膜沸騰の境界を示す。

D の領域は膜沸騰領域で液体と伝熱面の間に薄い蒸気膜が形成され、この膜が伝熱面と液体を隔てるため、伝熱効率が低下する。気泡は蒸気膜と液体界面から生成され、伝熱面と直接接触せず離脱する。この時、熱流束 q は極小熱流束点から再び増加し始める。

一般的に、核沸騰は膜沸騰に比べ効率的に熱を伝えることができるため、多くの工学的制御に利用されている。そのため、限界熱流束点を特定することが重要となる。

3. 実験装置の改良

3.1 配線の整理

今年度の装置の改良点として配線の複雑さが挙げられた。昨年度までの装置ではワニロクリップが使用されており、配線がむき出しになっていたため回路を組んだ際に他の配線と重なりショートが起こる可能性が見受けられた。本実験では、100 V 以上の電圧を使用するため安全性を考慮し、ターミナルブロックを使用して配線がむき出しにならないように改良を行った。

3.2 加熱ブロックの改良

今年度の実験では、以前に使用されていた加熱ブロックを引き継ぎ実験を行うことを予定していた。しかし装置の試運転の段階で接着剤の劣化による空気漏れが確認されたため各部品を一度分解し、再接着を検討したが、銅、アルミ、耐熱プラスチックともにテーパ加工がされており分解が難しいと判断したためブロックの追加工を行った。改良点として、今後の実験を円滑に進めるために加工難度を考慮しテーパ加工を段付き加工に変更した。

4. 実験装置及び実験方法

4.1 実験装置概要

図 2 に本研究で使用した減圧沸騰実験装置の概略図を示す。本研究の実験装置は、昨年度まで製作されてきたものを引き継いでいる³⁾。真空容器は沸騰面の観察を行うためにアクリル材を使用している。実験装置下部には加熱部を設け、加熱ブロックには伝熱性に優れている銅を使用した。真空容器と装置上部の蓋、および装置下部の底、装置下部の底と加熱ブロックの筒、各部品の接置面には気密性を保持するため O リングを設置した。

本装置では、真空ポンプを用いて容器内を減圧し、作動液の沸点を下げることでプラスチックの融点以下の沸騰現象を観察できるようにした。今回の内部圧力も昨年と同じく、プラスチックの融点以下の沸点(約 53.2 °C)になるように 14.5 kPa (abs) で一定に保つような制御を行なっている。実験装置上部には、容器内部の圧力を測定するための真空計が設置されている。容器内部が所定の圧力に達すると真空計から電磁弁に信号が送られて、電磁弁が閉じ、真空ポンプによる減圧が一時停止する。また、容器内部が所定の圧力よりも高くなると、電磁弁が開き、減圧が再開

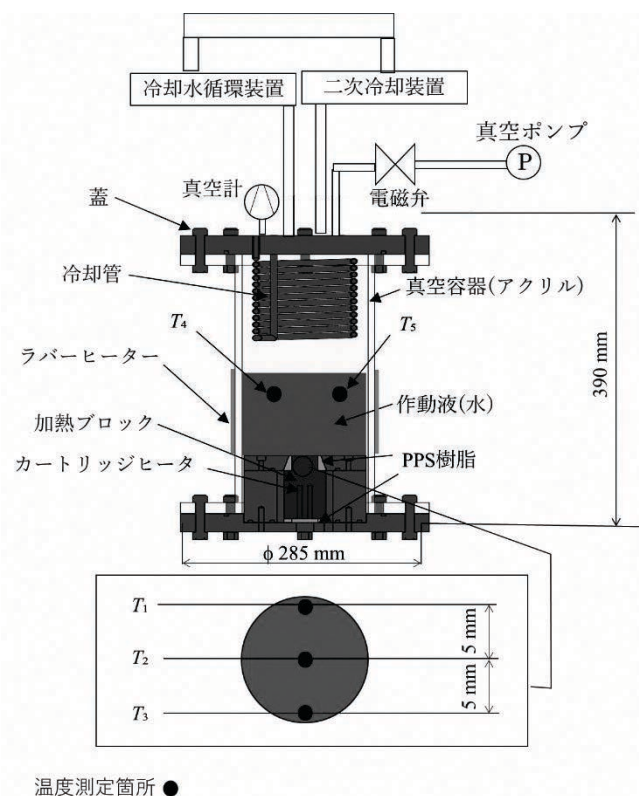


図 2 実験装置概略図

される。この開閉を繰り返し容器内は一定の圧力に保たれる。作動液内上部にはラバーヒーターを巻き付け、さらにその周りに断熱材を巻くことで作動液の温度低下を防いでいる。容器の上部にはコイル状の冷却管が設置されており冷却水循環装置を用いて冷却水を循環させた。これらの冷却装置により沸騰で発生した水蒸気が冷却凝縮されるため内部圧力の上昇を抑制することができる。しかし、実験を長時間行うと、しだいに冷却水の温度が上昇し水蒸気を凝縮しきれないため、図 2 に示すように二次冷却を行い、冷却水の温度上昇を制御した。加熱ブロックの筒は、アルミニウムを加工して製作した。本実験では加熱ブロックからの熱の逃げを防ぐために、加熱ブロックと加熱ブロックの筒との間に断熱材として、PPS 樹脂を設置した。加熱ブロック内には伝熱面温度および熱流束を算出するために、線径 1 mm の K 型熱電対を 5 mm 間隔で 3 本 ($T_1 \sim T_3$) 挿入した。また作動液内に 2 本の熱電対を設けて、それぞれの温度を T_4, T_5 とし、以下の式より作動液の飽和温度 T_{sat} を算出した。

$$T_{sat} = \frac{T_4 + T_5}{2} \quad (2)$$

K 型熱電対 5 本 ($T_1 \sim T_5$) の温度は、データロガーを用いて記録した。

4.2 実験方法

初めに、実験中の温度低下を防ぐためにアクリル容器内に沸騰したお湯を注ぎ、実験装置を温めておく。一定時間経過後に初めに注いだお湯を捨て新たに沸騰したお湯を注ぎ保温のためにラバーヒーターに 50 W の電力を加える。その後、真空装置上部の蓋を取り付ける。真空ポンプの電源を入れ 14.5 kPa (abs) まで減圧を行う。減圧を行った際は急沸が起こるため落ち着くまで待機し、作動液と加熱ブロックの定常状態が確認できたらカートリッジヒーターに 50 W の熱量を加える。その後は加熱ブロックが定常状態になってからカートリッジヒーターの熱量を 50 W ずつ増加させ 600 W までくり返す。何度か実験を行ったところ限界熱流束点は 650 W 付近で見られると考えられたため、詳しく観察するために 600 W からは 25 W ずつ増加させ 700 W まで実験を行う。熱量を増加させたときの加熱ブロック表面からの沸騰の様子と、データロガーで計測した温度変化の観察を行う。膜沸

騰に移行し加熱ブロックの温度が急激に上昇を始めたら装置の電源をすべて切り、実験を終了する。

5. 実験結果の算出方法

加熱ブロック内に流れる熱量 Q' [W] は熱損失を考慮して、測定した温度 ($T_1 \sim T_3$) より以下のフーリエの法則を用いて算出した²⁾。

$$Q' = -\lambda \frac{(T_3 - T_1)}{x} A_1 \quad (3)$$

ここで、 λ [W/(m·K)] は銅の熱伝導率、 $x (= x_1 + x_2)$ [m] は熱電対間の距離 ($= 1.0 \times 10^{-2}$ m)、 A_1 [m²] は加熱ブロックの下部の断面積 ($= 1.47 \times 10^{-3}$ m²) である。

伝熱面温度 T_s の算出のために図 3 の熱回路モデルを考える。熱回路とは熱の移動を電気回路と同様に考える回路であり、電気回路における電流、電圧差および電気抵抗は、熱回路の熱量、温度差および熱抵抗に置き換えることができる⁴⁾。加熱ブロックに熱量 Q' が流れたときに生じる温度差 $T_3 - T_s$ [°C] は熱量 Q' に比例し、その比例定数を熱抵抗 R_1 および R_2 [K/W] と定義すると、次式で表すことができる。

$$T_3 - T_s = (R_1 + R_2) Q' \quad (4)$$

ここで加熱ブロックの熱抵抗 R_1 および R_2 は次式で表すことができる。

$$R = \frac{x}{\lambda A} \quad (5)$$

熱抵抗 R_1 および R_2 を算出する際の x および A は、対応する箇所値 (x_3, A_1 および x_4, A_2) を使用した。以上より式(1)を用いて伝熱面過熱度 ΔT_s を算出した。

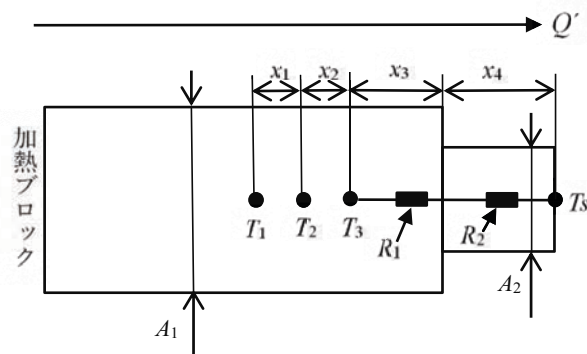


図 3 熱回路モデル

熱流束 q [W/m^2]は、以下の式により算出した。

$$q = Q'/A_2 = \lambda \frac{(T_3 - T_1) A_1}{x A_2} \quad (7)$$

6. 実験結果及び考察

図4に本実験で得られた加熱ブロックの温度変化を示す。実験では3本($T_1 \sim T_3$)の熱電対で温度を計測しているが、温度変化の様相は同じため T_3 の変化を代表して示している。図の横軸は時間 t [min]、縦軸は加熱開始からの温度 T_3 [$^{\circ}\text{C}$]である。図より、熱量を増加させると温度は上昇するが、いずれの熱量においても数分後には温度が定常になっていることが確認できる。以降はこの定常温度で検討を行った。

図4で得たデータを基に熱流束 q および伝熱面過熱度 ΔT_s を算出し沸騰曲線を作成した。作成した沸騰曲線を図5に示す。図の縦軸は熱流束 q 、横軸は伝熱面過熱度 ΔT_s である。図5より、実験開始後、熱流束 q は伝熱面過熱度 ΔT_s が 55°C に達するまで増加していることがわかる。その後、熱流束は急激に減少している。カメラで記録した動画より、熱流束が急激に減少した時に膜沸騰に移行していることが確認された。このことから、本実験装置における限界熱流束点は伝熱面過熱度が 55°C 付近に存在すると考えられる。また、記録した動画より、加熱量 50 W の時から気泡の生成が確認されたことから、本実験で観察された伝熱面過熱度が 55°C までの沸騰現象は核沸騰であると考えられる。さらに、本実験では核沸騰から遷移沸騰を経ずに膜沸騰へと移行した。これは「2. 沸騰について」で述べた沸騰メカニズムと異なるが、この現象は多くの研究者からも報告されており、遷移沸騰は不安定な領域で電気ヒータでの加熱のように、熱流束を制御する加熱方法では観察できないとされている⁵⁾。

7. 結論

本研究では、減圧装置の改良および減圧状態での加熱面からの沸騰観察及び限界熱流束点の確認を目的とした実験を行った。実験では減圧装置の改良により昨年度までは観察することができなかった加熱面からの膜沸騰現象を観察できた。また実験結果を基に沸騰曲線を作成し限界熱流束点の大まかな位置を確認することができた。このように本研究では昨年課題としていた部分を参考に装置の改良を行い、

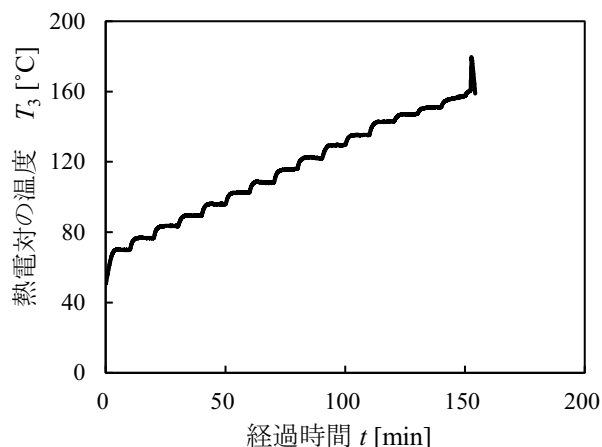


図4 銅ブロックの温度変化

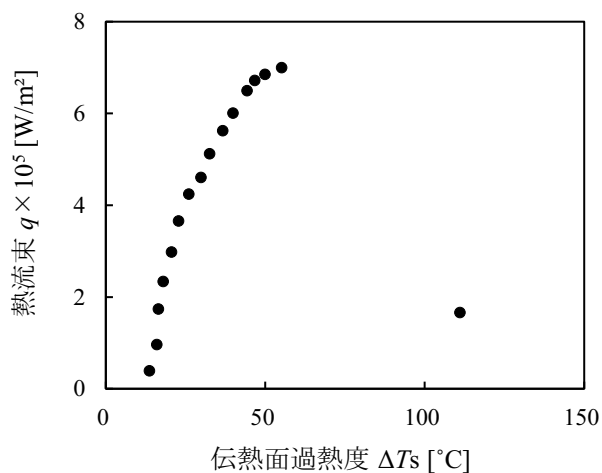


図5 沸騰曲線

実験では膜沸騰の観察をすることができた。しかし限界熱流束点の大まかな位置は分かったものの具体的な数値を求めることができなかった。これは、遷移沸騰が観察できなかったためであるが、遷移沸騰は不安定な領域で電気ヒータでの加熱のように、熱流束を制御する加熱方法では観察できないとされている。

参考文献

- 1) 中出口真治:伝熱面への微細凹凸形成による沸騰熱伝達促進に関する研究,長崎大学大学院工学研究科(2017), p.1.
- 2) 例題でわかる伝熱工学:平田哲夫・田中誠・羽田喜昭:著, P83.
- 3) 西川泰史, 斉藤優河, 橋爪尋己:プラスチック表面からの沸騰に関する研究—実験装置—,令和5年度卒業研究概要集,熊本県立技術短期大学校.
- 4) Flow Designer—熱設計トレーニング-軸方向熱伝導 https://www.akl.co.jp/training/basic/1_1_2/theory.php (参照日 2025年2月24日).
- 5) 原村嘉彦, 酒井太誠:遷移沸騰における面内温度不均一に関する研究,日本機械学会, No.94, (2021), p2, p3.

移動型屋外お掃除ロボットの改良

荒木柊登, 乙丸雄弥, 橋本虎大, 坂田祐二(指導教員)
機械システム技術科

技大は今年で創立 28 年を迎え, 開校当時のキャンパスの美しさを失いつつある. そのためキャンパス内を清掃し, 開校当時の美しさを取り戻すことを目的として, 2021 年度から自動走行型洗浄装置を製作している. 2022 年度, 高压洗浄による清掃の試行はできたが, 学内の清掃には課題があった. 昨年度は, 高压洗浄機とテラスクリーナーによる洗浄を試行した. 清掃の効率は上がったが, 技大全体の清掃の自動化に向け, あるべき姿を考え, 実現に向け, 要素技術の検証に着手する.

1. はじめに

自動走行型洗浄装置を製作して 4 年目になる. これまでの取り組みを振り返りまとめてみた. その結果, 課題が見えてきた.

去年まで使用していた高压洗浄機が故障したということもあり, いい機会だと考え, 新たに高压洗浄機を調達するとともに, 新しくスーパーを使った掃除方法も考えることにした. また, 汚れも目立つが, 枯れ葉や枝, そのほか食べ物の包装ごみなども目立つので, スーパー清掃を優先して自動化をおこなう.

2. 実験内容

高压洗浄とスーパーで以下の清掃を行った

- ・バス停付近の壁の清掃
- ・体育館前ステージ及び周りの階段等の清掃
- ・周辺歩道の吸殻回収
- ・学校外の門付近の清掃
- ・実験室, 廊下など室内清掃

3. 実験方法

高压洗浄機, (図 1).

洗浄水供給のホースが準備できなかったので, コンテナと台車を用意し, 水道水で満たし, 清掃位置に移動する. 電源は, コードリールを継ぎ足して供給した.

コンテナと台車により, 電源供給ができれば, 清掃が可能になり, 本学外の作業になるバス停付近の外壁清掃など, 準備, 撤去の時間を短縮できた.



図 1 高压洗浄機

図 2 スーパー

スーパースーパー(図 2)

スーパースーパー本体を掃除したい位置にもっていく

動力源は人力であり, タンクに收容したごみの廃棄を注意すればよい.

4. 実験結果

高压洗浄機は壁などには適しているが平面は泥などが残るためあまり適してはいない. しかし, 昔から残っているとされる濃い汚れを落とすことができる. 洗浄はできるが, 洗浄後の汚水は別途回収する必要がある.

スーパースーパーは汚れを落とすより落ちていた固形物のごみを掻き上げて, 回収する. 回収した固形物は, 内部のタンクに收容し, まとめて廃棄することができる.

これらの結果から,

- ① 高压洗浄機作業後, 汚水を掃除機やスーパースーパーで回収する必要がある.
- ② スーパースーパーで清掃する場合, ムラは少なく, 固形物もタンクに回収される. 回収固形物は, まとめて廃棄することができる.

また、回収した固形物は、水たまりなどに廃棄することで、効果的な作業ができる。

一方、高圧洗浄は、汚れは落ちるが、洗浄幅が狭く、洗浄力が強いがゆえに、ムラが残る。

この特性を活かし、アカデミックプラザにくまモンが描かれている(図 6)。

今回、各種イベントにあわせて効果的な清掃を行った(図 3～5)。

- ① 正門前バス停車帯設置工事にあわせ、バス停から見える本学の壁面を高圧洗浄機で清掃した。流出した汚水は、スーパーで回収した。
- ② 学園祭にあわせ、体育館前のステージ、広場、階段、壁、ベンチを高圧洗浄機で清掃し、清掃後の汚水は、洗い流し、スーパーで回収した。
- ③ 本学周辺の歩道で喫煙が問題になり、速やかにスーパーで歩道の吸殻を清掃回収した。



図 3 清掃作業前



図 4 壁面清掃作業



図 5 清掃作業後

5. 方向性

・高圧洗浄→壁や階段を手動で行うことに適している。水や電気の補給等の制約があるが、壁や階段では、汚水は流れ落ちる。一方、平面の清掃では、汚水の回収が必要になる。

・スーパー→平面洗浄に適している

スーパーのみでゴミの回収まで行うことができ、自動化に向けては、操舵を含めた動力が課題である。

今回は、これらの清掃を組み合わせることを考えた

1. 高圧洗浄で壁、階段を手動清掃する。

2. スーパーで平面を繰り返し清掃する。

これらを組み合わせることで有効な清掃ができる。

広範囲の平面を、繰り返し清掃するべく、スーパーによる自動化をすすめる。

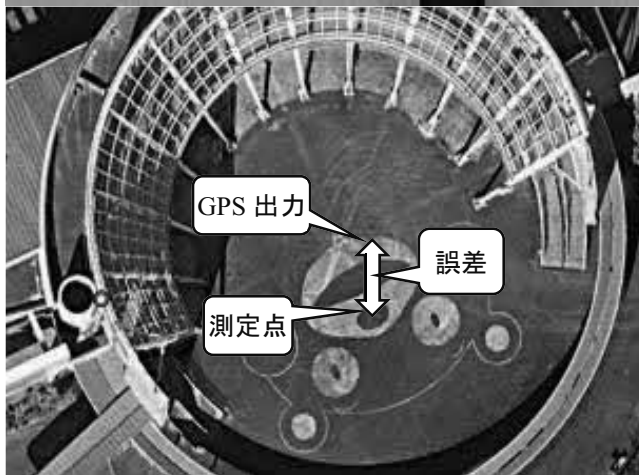
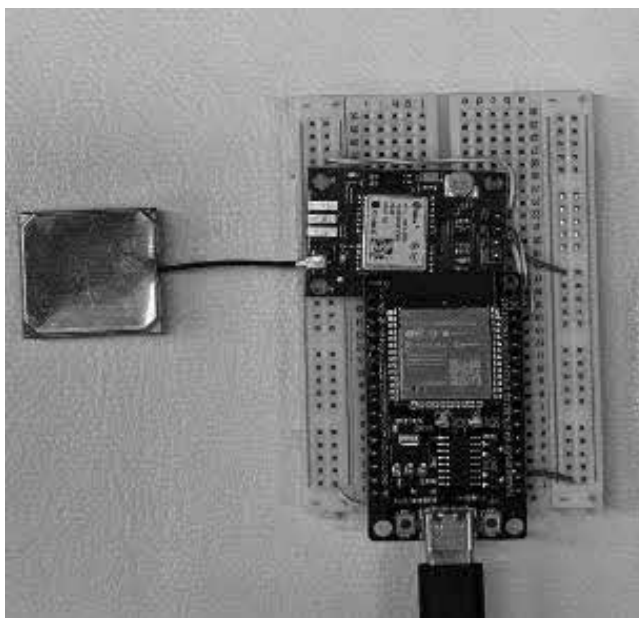


図 6 GPS 検証

6. 自動化の取り組み

スイーパーの自動化を構想し、実現に向け GPS を検証した(図 6).

GPS は、以下の構成で行った.

- ① GPS:u-blox 社製 NEO-7M
- ② アンテナ:セラミック指向性アンテナ
- ③ MPU:Espressif 社製 ESP32-WROOM-32

これらをブレッドボードでシリアル接続し、ArduinoIDE でプログラムし、GPS 検出値を取得し、精度を検証した。くまモンの鼻の位置で測定した GPS 値は、図 6 のピン位置であった。およそ 5m の誤差であり、通常の GPS 誤差と考える。RTK-GNSS については、電子情報技術科の卒業研究の取組を参考に⁴⁾。

自動車の自動運転では、超音波近接センサーや、ミリ波レーダー、レーザーによる形状計測(LiDAR)などがあるが、Tesla 社の Tesla Vision にある「カメラのみを用いた自動運転システム」のように、カメラの画像解析に一本化される動向も注目したい⁵⁾。

7. 自動化に向けての要素技術検証

以下の要素技術の検証を進めた。

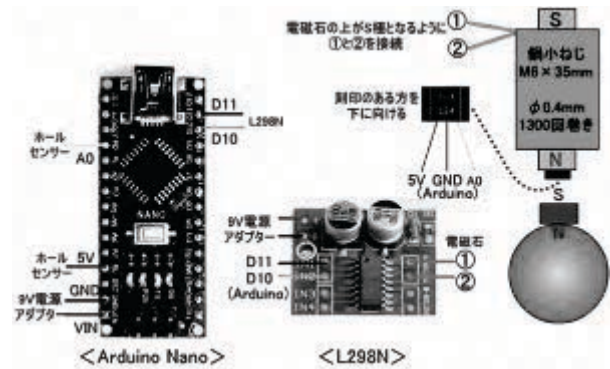


図 7 磁気浮上の検証

- ・ワイヤレス LED の電力供給

AGV の給電を実現すべく、非接触で、コイルにより電力を送る。このワイヤレス機能により少し離れた位置からでも充電を可能にする

- ・磁気浮上の設計及び制御

PID 制御の操舵を行うために、磁気による浮上を PID 制御で行うことを考えた。

コイル試作にあたっては、巻き数により、流す電力が大きすぎると発熱する温度が高くなりすぎるので注意を払いながら行う。コイルの特性を、FNIRSI 製 DSO-TC3(マルチファンクションテスター)を用いて特性と巻き数を測定し、作成した。

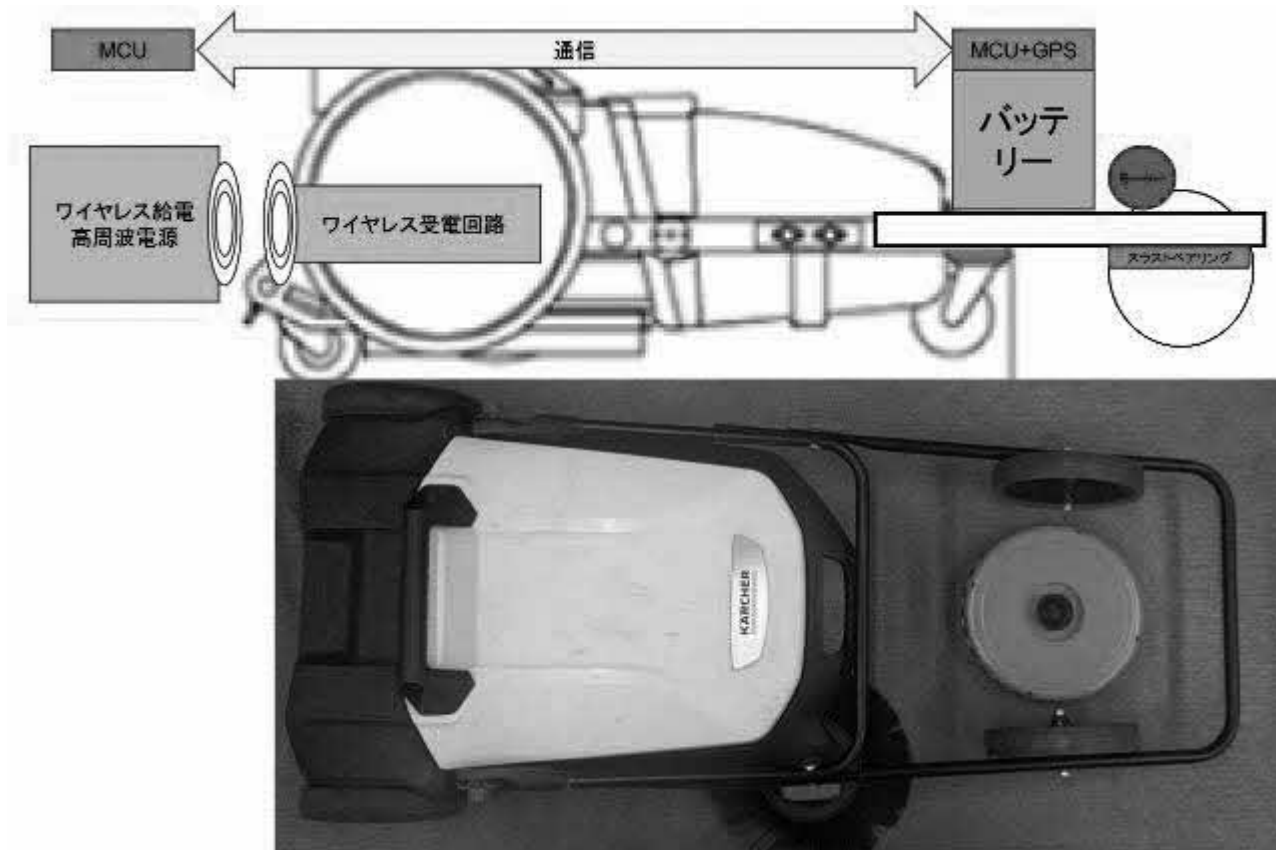


図 8 自走式お掃除ロボットの構想

作成したコイルの吸引力が、球の自重より大きいことは確認できた。

8. 今後の方向性

スィーパーの完全自動化(図 8)に向けて、以下の仕様を決めていく必要がある。

① 電動部分の設計

モーター選定

バッテリー選定

充電容量決定

ワイヤレス給電の設計→Ki 規格動向調査

② 清掃エリア, 清掃ルート of 策定

GPS 位置情報から清掃方向を決定する

または,

画像処理により清掃方向を決定する

または,

双方の組み合わせ

③ PID 制御の確立

清掃ルートに沿うための操舵制御

④ 安全機構の検証, 付加

超音波センサーによる壁, 物体の近接検知

人感センサーによる人の近接検知

カメラによる平面検知

9. おわりに

高圧洗浄が一番汚れを落とす手段として適していると考えていたが,

1. 汚れを落とす際の水の処理に手間がかかること
2. 洗浄機単体だけではなくほかの準備や道具がいること
3. 洗浄幅が狭い
4. 洗浄力はあるが, ムラが, 目立つ

が, 活動を通してわかった。

自動化には課題が多いが, 壁や階段を高圧洗浄機で清掃することによる視覚的な効果は大きかった。

一方, スィーパーは高圧洗浄よりは洗浄力が劣るが, ほかの道具も必要なく一度に広い範囲をむらなく清掃でき, ゴミの回収もできることがわかった。

今回の試行では, 30 分程度のスィーパー清掃でゴミ回収タンクが満タンになることがわかった。実運用にあ

たっては, 満充電あたりの稼働時間とゴミ回収量など, 適切な運用設計が必要になる。

スィーパーで, 2~3 ヶ月で学内全体が清掃できるようになれば, ムラの少ない繰り返し清掃が可能になり, 常に清潔を保つのみならず, ブロックの隙間に根を張っていた草なども, くりかえし清掃することにより軽減できるであろう。

掃除用具でも適材適所があり学校のような広い場所だとなにを優先すべきかなどの考慮も重要であることがわかった。

また, 自動化するにあたって適切な部品を探したが, 予算の制約もあり, 思うように進めることができなかった。

しかし, 学校で廃棄される機械を分解し, それらの部品を再利用することで目標と近い値の数値を出すことができた。購入しなくてもあるもので工夫をすればできるものだと感じた。

当初の予定では, スィーパーだけでなく, 高圧洗浄機の自動化も考えていた。しかし, 製作に取り組んでみたら時間が全く足りなかった。完成にも行かず, スィーパーの自動化も今年は達成できなかったが, GPS の利用, 充電のワイヤレス化などの自動化するための要素技術や実験方法のめどがたった。

参考文献

- 1) 高圧洗浄機のヒダカ”家庭用高圧洗浄機 HK-1890 スペシャルセット”, (<https://www.hidaka-shop.com/fs/hidaka/hk-1890-spset>) (参照 2023 年 8 月 4 日)
- 2) 高圧洗浄機のヒダカ”テラスクリーナー プラス TC320”, (<https://item.rakuten.co.jp/hidaka/hkp-0082/>) (参照 2023 年 9 月 4 日)
- 3) 里中孝美: 熊本県立技術短期大学校 紀要, 熊本県立技術短期大学校(2020-3), p.p.18-24.
- 4) 大塚琉太, 笹本陽輝生, 池上知顯(指導教員): GPS による高精度測位用基準局の設置とその利用, 令和五年度 電子情報技術科 卒業研究発表会, 熊本県立技術短期大学校(2024-3), pp.38-41.
- 5) Tesla 社: Tesla Vision アップデート: 超音波センサーを Tesla Vision へ(2024-12)

技術短期大学校におけるサイバーセキュリティの強化

戸田碧, 湊川颯大, 坂田祐二(指導教員)
機械システム技術科

熊本に進出している、TSMC、本田技研ともに過去にサイバーセキュリティ事故で、大規模な工場停止を経験している。モノづくりにあたり、工場停止、特に大規模な停止は避けなければならない。そこで本研究では技大のネットワークで、工場の稼働を止めない工夫を研究する。

1. はじめに

熊本県立技術短期大学校(以降本学と呼ぶ)は、NIST サイバーセキュリティフレームワーク(CSF)2.0に基づき、可用性向上を重視したセキュリティ強化に取り組んでいる。本学の情報資産を守るため、オープンソースソフトウェア(OSS)の活用を積極的に推進し、可用性と安全性を両立する体制の構築に努めている。本報では、本校における情報資産管理の仕組みと、今後のサイバーセキュリティ強化のための方向性を報告する。

などがある。Wannacry による被害は多くの工場に広がり、VPNからの侵入はCOVID-19による在宅勤務の増加により、製造業のみならず、病院を含む多くの施設にも被害をもたらしたり。

このような状況のもと、国内の製造拠点にあわせて、海外工場も含めたサイバーセキュリティ対策を推進する国内企業も増加している^{2),3)}。さらに、製造業のサプライ

2. 社会の動向

IPA(独立行政法人 情報処理推進機構)の事例から、

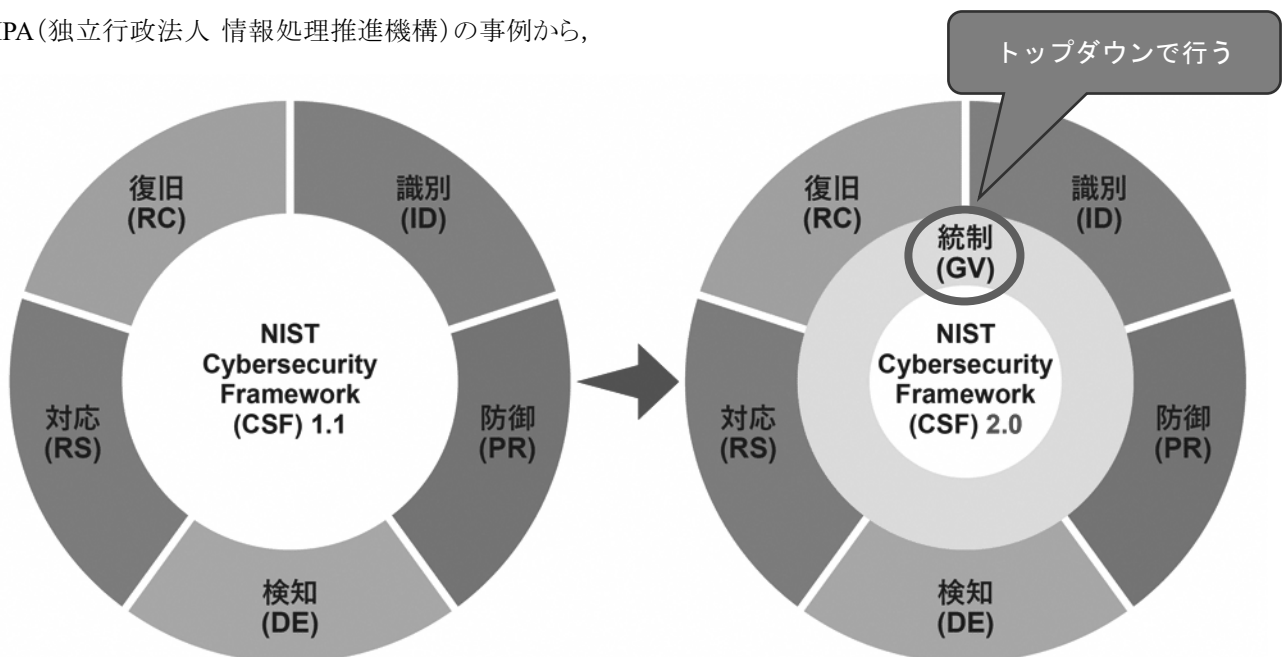


図1 NIST CSF 1.1 と 2.0 の違い

サイバー攻撃により稼働が停止した典型的なインシデントとして、

- Wannacry による稼働停止
- VPNからの Ekans の侵入

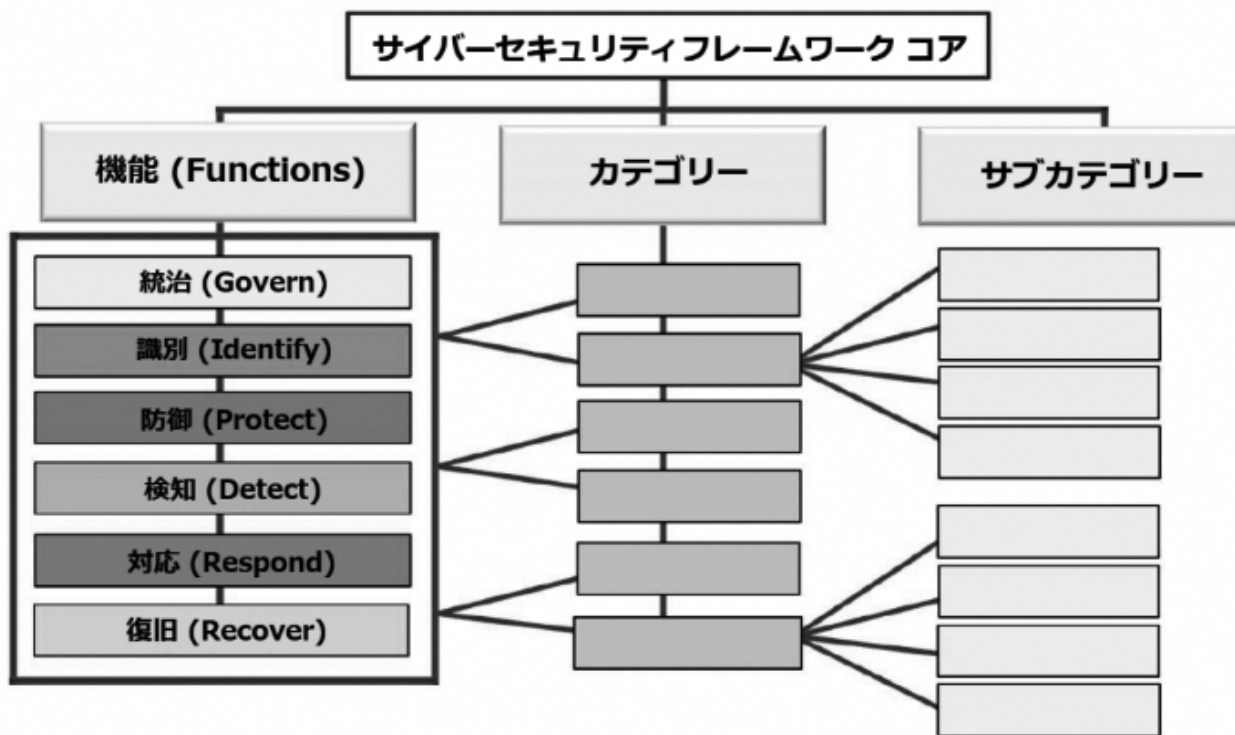


図 2 NIST CSF 2.0 の機能とカテゴリ

チェーンにとどまらず、社会インフラとしてのビルや製品である自動車の制御も含めた取り組みも見られるようになった⁴⁾。

未知の脅威については、SIEM(Security Information and Event Management:セキュリティ情報イベント管理)などで得られる脅威を 24 時間 365 日常時監視し、脅威情報の分析を行う SOC(Security Operation Center:セキュリティ専門組織)があるが、これまで、脆弱な製造部門へのサイバー攻撃は、既知の脆弱性に対する攻撃が主であったことから、まず、最新の情報に基づく、脆弱性検査、侵入検知を行うとともに、資産台帳もいかにして精度よく最新化することが重要になる。

3. サイバーセキュリティと可用性の重要性

本学では、IPA の指針など最新動向を参考に⁵⁾、学内のセキュリティ体制を整備している。特に、製造業教育においてデータの可用性は授業や研究活動を支えるために必須であり、既存の仕組みに NIST CSF に沿った機能を優先付けて段階的に作りこむ必要がある。類似機能を持つ市販パッケージに、AssetView、SKYSEA Client View などがあるが、100 台程度の管理で、ライセンス価格が 50 万円～、年間保守が 10 万前後とコストがかかり、導入の敷居が高い。

サイバーセキュリティのワークフローとしては、図 1 に示すように、2024 年 2 月に NIST CSF が 1.1 から 2.0 に

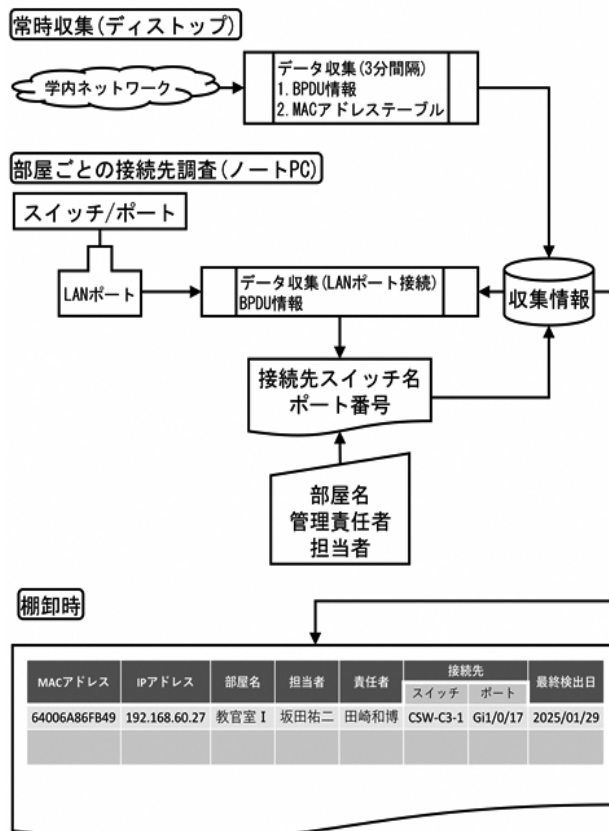


図 3 資産管理台帳作成のフロー

バージョンアップされた。このとき、「統制」機能が追加され、意思決定などの責任範囲を明確にされた。本学では、NIST CSF 2.0 のフレームワークに沿って、サイバーセキュリティ強化に着手する。

4. 資産管理手法の構築

NIST CSF 2.0 の「識別」機能に準拠し、学内の各部署の接続状況や資産情報を以下の手順で収集する仕組みを予備の PC で試行し、そのフローを図 2 に示す。

① 常時収集情報:基幹スイッチの情報(3分おき)

1. ポート毎の BDPDU(Bridge Protocol Data Unit)
2. ポート毎の MAC アドレステーブル

② 部屋ごとの接続先調査(BPDU 収集と突合せ)

常時収集している BPDU 情報内に、スイッチとポート番号が含まれている。この情報をノート PC にダウンロードし、各部署の LAN ポートに接続し得られる BPDU パケット情報と、常時収集したスイッチ側の BPDU 情報を突合せ、その部屋が接続されているスイッチ名とポート番号を表示するスクリプトを作成した。収集する PC の IP アドレスは変更不要で、扱いやすくなっている。

③ 部屋ごとの情報資産

□-2. のポート毎の MAC アドレスと□の部屋ごとの接続先スイッチ名、ポート番号から、その部屋にある情報資産がわかる

これらの情報は手作業でも収集可能であるが、Linux スクリプトによって自動収集、成形して、資産台帳を作成する。

基幹 LAN スwitch 配下の機材の MAC アドレスを表示するコマンドはあるが、snmp(Simple Network Management Protocol)により、スイッチの MAC アドレステーブルを定期的に収集するスクリプトを作成した⁶⁾。

また、IEEE(米国電気電子学会 Institute of Electrical and Electronics Engineers)で管理している MAC アドレスの OUI(Organizationally Unique Identifier: 製造者コード)も最新化して台帳に追記し、資産の設置場所とその情報資産の製造者から、対象の資産を見つけやすいように工夫している。ただし、ローカル MAC アドレスはその限りではない。

MAC アドレス収集と同時に、デフォルトゲートウェイから、MAC アドレス-IP アドレスのテーブルを採取し、MAC アドレスをキーにして資産管理台帳に IP アドレスを追記している。

5. 情報の更新周期

資産管理台帳は複数の情報から成り立っており、それぞれを以下の頻度で更新している。

- ① 基幹スイッチの構成:構成変更時
- ② MAC アドレスの OUI:IEEE から日々更新

③ 基幹スイッチの MAC アドレステーブル:3分おき

④ MAC アドレス-IP アドレステーブル:3分おき

ここで、手動で行う□を除き、自動実行している。

これらの機能は、延長サポートが終了した Windows7 で動作していたデスクトップ PC に Rocky Linux9.5 を導入し、Linux のコマンド、スクリプトだけで動かしている。DBMS は使用していない。

6. 各部署の接続状況台帳と情報資産台帳の作成

基幹スイッチの物理アドレステーブルを用いた台帳を作成し、使用者や管理者情報など自動化できない情報もあわせて管理する。

スパニングツリープロトコルの BPDU パケットを収集分析することにより、各部署の接続スイッチ、ポートを表示するスクリプトを作成した。基幹スイッチの接続図は管理されているので、全体のネットワーク図の作成が容易になった。これまでは、スイッチ側のタグと各部署のポートの関連を調べており、部屋名の変更やポート変更を考慮する必要があった、しかしこのスクリプトにより、迅速正確に接続台帳が作成できるようになった。

この管理台帳により、異常時には機材を即時に特定でき、可用性を向上させる管理が可能となる。今後、NIST CSF の各機能を順次強化する予定である。

7. 今後の取組

図 3. に示す NIST CSF 2.0 の「機能」に沿って今後のセキュリティ強化の方向性を示す。

7.1 「統制」について

トップダウンの意思決定によるリーダーシップのもと、本学全体でサイバーリスクへの対応に取り組む文化を形成する。

7.2 「識別」について

新規 MAC アドレスの検出や定期的な脆弱性スキャンを通じて、潜在的なリスクを早期に識別する。具体的には、GVM(旧 OpenVAS)および Wireshark(tshark)を用いてネットワーク内の脆弱性に関するスキャンを行い、未知の MAC アドレスや脆弱な機器を自動的に特定する。近年、脆弱性公表から侵入までわずか一週間という短期間での被害が生じており、迅速かつ確実な対応が必要である。また、Wannacry のように潜伏するマルウェアの事例も踏まえ、潜伏の初期段階から検知できるようにし、最新の脆弱性情報を日々収集し、資産管理台帳とあわせた予防、予知保全を定期的な訓練を通じて対応手順を確立することで、脅威に曝される場合に迅速

に対応できる体制を構築する。

7.3 「防御」について

外部からの攻撃を未然に防ぐため、通信状況の監視と異常通信の検知、深刻度の設定を行う。具体的には、外部接続ポートからのミラー信号を取得し、パケットキャプチャツールである `tshark` や `tcpdump` を使用して通信の送信元と送信先を分析。通常の通信パターンから逸脱した異常通信を特定し、必要に応じて `Firewall` でブロックし、侵入経路を遮断する。

「識別」による脆弱性に対し深刻度別に異常時対応を設定し、資産台帳を活用した迅速なエスカレーションを可能にした。Linux での自動日報・月報生成に加え、稼働日・稼働時間に基づいた警報送信を行い、廃棄パケットの監視も通じて通信障害を予防保守する。

こうした防御の体制を通じて、学内ネットワークの安全性を高めるとともに、リスクを低減する。

7.4 「検知」について

OSS の `Suricata` を用いて侵入検知を強化する。`Suricata` のルールは日々更新されるため、最新の脅威に対応可能。これにより Linux 上での成形処理と自動化された日報・月報の送信体制を整え、情報資産の管理体制をさらに強化する。また、リアルタイムでの異常検知と報告のプロセスを自動化することで、脅威の早期発見と迅速な対応を実現する。なお、`Suricata` は、OSS の SIEM である `Security Onion` を導入の予定である⁷⁾。

7.5 「対応」について

サイバー攻撃が検知された際の対応手順や連絡体制を整備し、担当者間の連携を強化する訓練を行う。サイバー攻撃時の迅速なエスカレーションと意思決定の流れを確立するために、関係部門の担当者が統一された基準で行動できるよう、実践的なシナリオを用いた訓練を定期的実施する。これにより、学内のサイバーセキュリティ対応力の向上を図り、被害の最小化と影響の軽減を目指す。

7.6 「復旧」について

サイバー攻撃による影響からの早期復旧を目指し、BPR(ビジネスプロセス再構築)の視点で復旧計画を策定する。具体的には、復旧手順の整備や、復旧後の予防改善に向けた取り組みを計画・実行する体制を整える。これにより、障害発生時にも迅速かつ効果的に復旧を行うことができるとともに、再発防止に向けたプロセス改善を継続的に進めることが可能となる。

8. おわりに

NIST CSF 2.0 に準拠した現状の把握と分析によるサイバーセキュリティの強化により、本学の教育環境は安定し、学内の情報資産の可用性も向上すると考える。今後は IPA など業界の動向を踏まえ、OSS を積極活用しながら NIST CSF 2.0 に準拠して、継続的に改善を進める。

参考文献:

- 1) 日経クロステック:イズミのランサムウェア被害はVPN経由、最大770万件超のデータが閲覧された可能性 (2024年5月9日報道)
- 2) シスコシステムズ合同会社:シスコ ソリューション導入事例 パナソニック株式会社様 2016年12月(aperza.com)
- 3) 小野 正浩ほか:パナソニック技報[解説]スマートマニユファクチャリングを支える製造システムセキュリティ (2020年11月16日公開)
- 4) 経済産業省 第2回 産業サイバーセキュリティ研究会 ワーキンググループ 1(精度・技術・標準化)工場サブワーキンググループ 資料 4-4 (パナソニック資料) (2022年2月28日公開)
- 5) IPA(独立行政法人情報処理推進機構):「制御システム関連のサイバーインシデント事例」 (2024年4月18日更新)
- 6) CISCO トラブルシューティングテクニカルノート-“SNMPを使った、Catalyst スイッチの MAC アドレスからのポート番号の検索” (2005年10月26日更新)
- 7) 小島 俊輔ほか:熊本高等専門学校八代キャンパスにおける侵入検知システムの構築と運用 熊本高等専門学校研究紀要 第11号 (2021年1月8日公開)

切削による反りの改善 ～平面研削盤～

川口 研人 比江島 弘輝 源川 昇平(指導教員)
精密機械技術科

厚みの薄い製品を機械加工する際、必ず反りが発生する。反りの原因は工具と被加工物の接触による熱や圧力が要因である。薄い製品ほどこの影響を受け、反りを完全に失くすことが出来ない。また反りが発生することにより、製品の品質や精度に影響を及ぼし、結果的に製品の性能に悪影響を与える。反り除去加工として平面研削盤を使用する方法は、高度な技術を必要とし、熟練技術者に大きく依存する傾向がある。本研究では、誰でも反り除去加工ができるように、平面研削盤による反転加工での反りの除去効率を評価した。特に、最適な加工回数を特定することを目的とし、反転加工の回数と除去効率の関係を実験的に評価した。

1. はじめに

薄板の研削では、前加工の反りを除去することは困難で研削熱や、研削による残留応力の影響で反りが発生することもある。反りが大きくなってしまうと、精度が公差外なる場合がある。また、極端な反りが発生した場合、砥石が食い込むことがある。このことから高度な技術を必要とし、熟練技術者に依存する加工になっている。

本研究の目的は、

(1) フライス盤や旋盤よりも高精度な加工ができる平面研削盤を用いて精密加工を学ぶ。

(2) 誰でも厚みの薄い製品の反りを除去できる加工方法を見つけること。

具体的には、反転加工の回数と反りの除去効率の関係を実験的に評価し、最適な加工回数を特定する

2. 反転加工の原理

反転加工は、部品の山側を最初に上面にして加工し、その後、部品を反転させて谷側を加工する方法。具体的には、図1のように山側を上面にして加工を行うと、図2のようになる。図3のように加工した面を下面にする。反転後、図3のように谷側を上面にして再度加工を行うと図4のようになる。

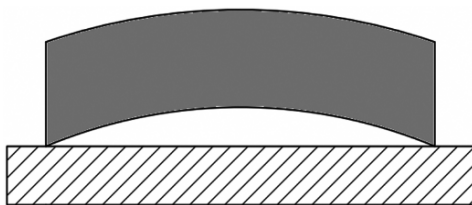


図1 上面が山側

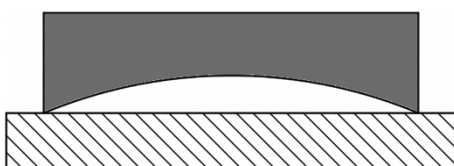


図2 山側を加工

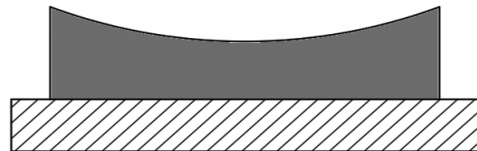


図3 反転させ谷側が上面

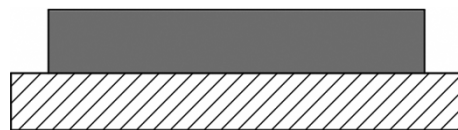


図4 谷側を加工

3. 機械操作に関する注意事項

3.1 安全について

砥石の回転方向(右回転)を確認することが重要であり、特に機械の左側は、砥石の回転によりワークが飛んでくる可能性があるため、覗き込まない、立たないと注意が必要である。また、砥石が回転している最中には、巻き込み事故が発生するリスクも高まるため、作業着の袖やウエスの取り扱いには十分注意しなければならない。さらに、切り込み量が大きいと砥石が割れるため、必ず保護メガネを着用して作業を行う必要がある。

3.2 操作について

砥石の種類、回転数、切り込み量(荒・仕上げ)に関する基本的な知識を説明書や参考書を通じて学習した。また、切削液や潤滑油の適切な補充方法、電源の入れ方および操作盤の使用方法についても学んだ。

次に、実際の平面加工を通じて、機械の作動や砥石のドレス(目立て)の方法、ワークの正確なセット方法、加工方法および清掃の要領を実践的に習得した。特に、平面度を出すことに重点を置き、加工精度を高めるための技術を磨いた。

さらに、自動運転の方法についても習得し、作業効率の向上を図った。これらの基本操作と自動運転の習得に要した期間は1ヶ月であった。

4. 実験

4.1 加工する材料の選定

機械構造用炭素鋼鋼材と呼ばれる SC (SteelCarbon) の S45C を使用。S45C は機械部品に多く使用されている。S45C を使用するサイズ T1 mm × 20 mm × 40 mm まで加工。加工を行った中から、反りの高さが 20 μm・30 μm・40 μm に近いものを選定する。

4.2 実験装置

平面研削盤(岡本工作機械 PSG63DX) 図 5 参照
砥石 WA60(岡本工作機械)

形状: 平形 砥材: WA 粒度: 60 結合度: J
結合剤: ビトリファイドボンド
サイズ: T38.0 × φ 127.0 × φ 305.0

測定器 東京精密 サーフコム NEX 図 6 参照
表面粗さ・輪郭形状測定機



図 5 平面研削盤(岡本工作機械 PSG63DX)



図 6 東京精密 サーフコム NEX
表面粗さ・輪郭形状測定機

4.3 実験方法

(1) 実験条件

表 1 の条件を基に、実験を行う。

表 1 実験条件

砥石の周速度	2000m/min
テーブル速さ	0.4m/s
加工方法	湿式
切込み量(片面)	3 μm × 3回 / 1 μm × 1回 合計 10 μm

(2) 加工方法

反転加工を行う前に、試験片の形状を測定し、加工前の状態を記録した。これにより、加工後の変化を正確に評価する。加工条件として湿式加工で加工を進めた。又平面研削盤にセットされている、マグネットチャックを使用して試験片を磁力で固定し、加工を行った。試験片の研削加工に関する手順は、以下の通りである。

まず、試験片が確実に固定されていることを確認した。その後、荒加工で切込み量、3 μm を 3 回行い、9 μm 削る。その後、仕上げ加工で切込み量を 1 μm で 1 回の研削を行い、合計で片側 10 μm の削り代とした。

研削作業が終了した後、試験片を反転させ、同様の工程を繰り返した。反転後も再度形状を測定し、加工を進めた。

これらの手順により、試験片を両側から均一に加工することができた。

(3) 測定方法

測定は東京精密のサーフコム NEX を使用し行う。サーフコム NEX を図 6 に示す。測定条件は、測定距離 30 mm・測定幅 15 mm・測定速度 0.6 mm/s と設定する。測定範囲を図 7 に示す。サーフコム NEX のテーブル上に、図 8 のように試験片の凸側を上にし、図 9 のように粘土で端を固定する。

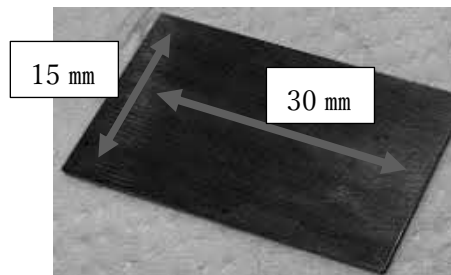


図 7 試験片の測定範囲



図 8 試験材の向き



図 9 固定方法

5. 実験結果

5.1 反り20 μm の結果

反りが20 μm の時の反転加工を行った結果を図10に示す。結果から20 μm の反りは1枚目、2回目の測定で20 μm から4.4 μm へと大きく低下した。その後、2回目から9回目までは反りにあまり変化は見られず、安定した。しかし、10回目あたりから反りが再び5 μm 増加したが11回目にはまた3 μm と下がった。2枚目は2回目に19.7 μm から6 μm に低下した。その後は、反りの変化はほとんど見られなかった。これらの結果から、2回目以降数値の変動は7 μm が最大だったがそれ以外は安定した。加工1回目の3次元輪郭形状を図11に、4回目の3次元輪郭形状を図12に示す。表面の状態として1回目は図11のように太鼓形状になっており中心の赤い部分が高い。しかし、図12の4回目の状態では太鼓形状がなくなり、平面に近い状態になっていることがわかる。

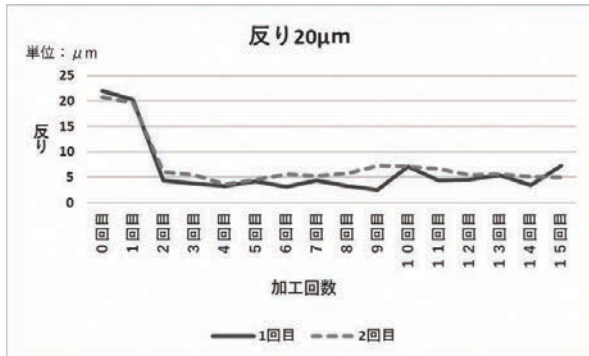


図10 20 μm の加工回数と表面状態の関係

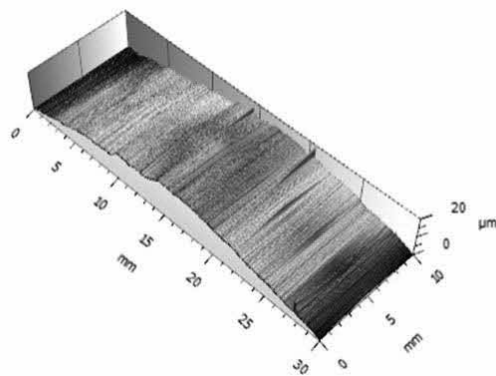


図11 1回目の表面状態

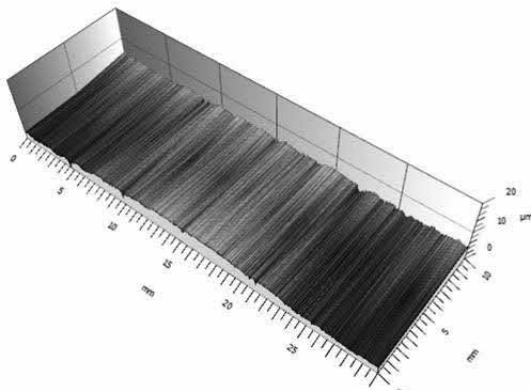


図12 4回目の表面状態

5.2 反り30 μm の結果

反りが30 μm の時の反転加工を行った結果を図13に示す。結果から1枚目は、6回目の測定で24.3 μm から6.47 μm 低下した。その後、7回目で少し数値が上昇しましたが、それ以降は大きな変化は見られませんでした。2枚目のデータでは、4回目の測定で12.5 μm から5.25 μm 低下した。8回目で数値が8.7 μm 上昇しましたが、差はそれほど大きくありませんでした。これらの結果から、2回目以降からは数値の変動は少なく安定していた。反り20 μm の結果同様、加工1回目の3次元輪郭形状を図14に、5回目の3次元輪郭形状を図15に示す。表面の状態としては反り20 μm と近い状態となった。

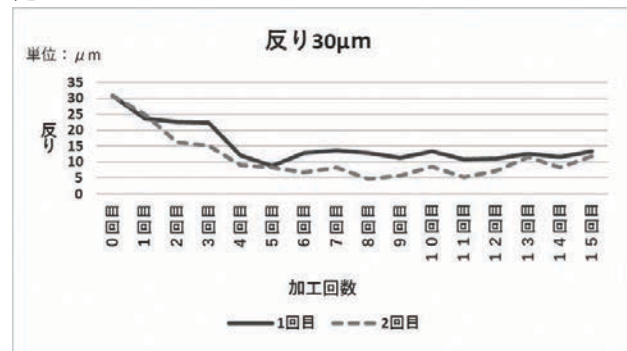


図13 30 μm の加工回数と表面状態の関係

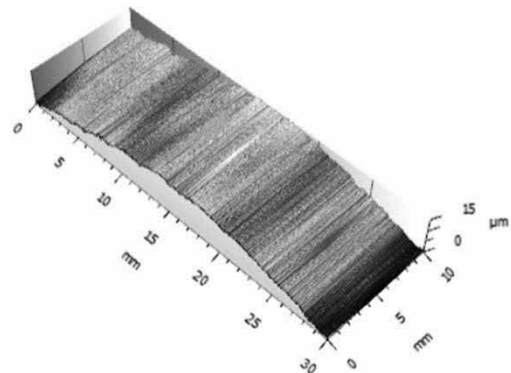


図14 1回目の表面状態

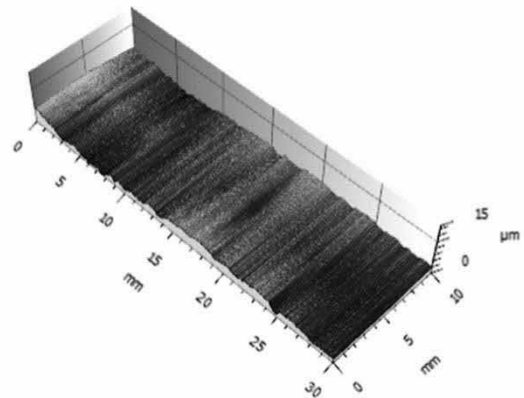


図15 5回目の表面状態

5.3 反り40 μm の結果

反りが40 μm の時の反転加工を行った結果を図16に示す。結果から1枚目は、最初の21.5 μm から2回目に7.9 μm へと低下し、4回目には4 μm まで下がった。その後、2~3 μm と変化はあったが安定していた。2枚目の測定では、最初の12.5 μm から2回目に8.3 μm の低下があり、その後、6回目で6.4 μm まで低下した。7回目で+4.5 μm 上がり10.9 μm まで値が上昇した。しかし8回目には8.7 μm に低下した。この結果から、測定回数が進むにつれて値の変動こそ見られるが、再度加工すると数値が下がる傾向にある。これらの結果から2回目以降数値の変動は10.9 μm が最大だがそれ以外は安定していた。加工1回目の3次元輪郭形状を図17に、4回目の3次元輪郭形状を図18に示す。表面の状態として上記2つの結果と近い状態となった。

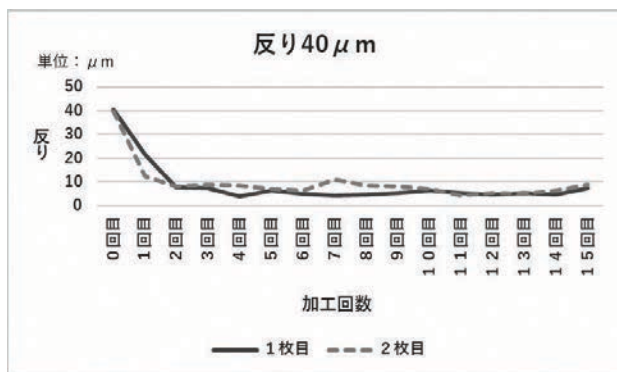


図16 40 μm の加工回数と表面状態の関係

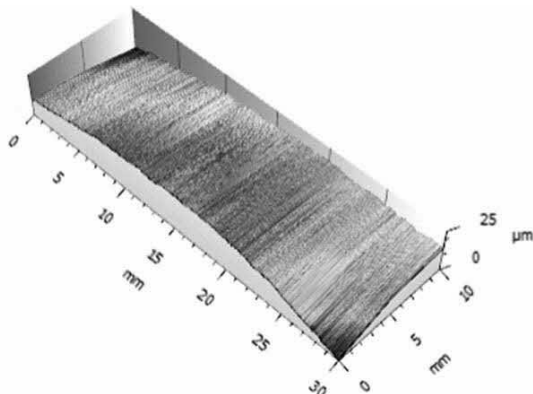


図17 1回目の表面状態

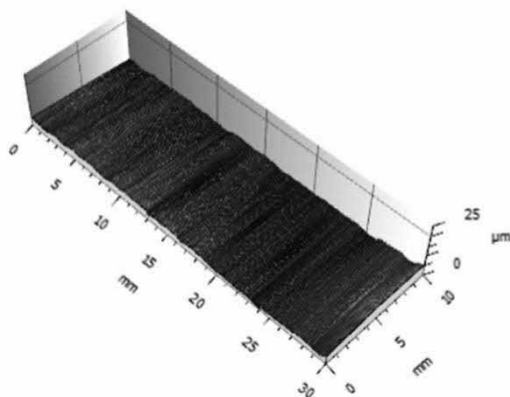


図18 4回目の表面状態

6. 考察

本実験では、反りの挙動が加工の回数に伴いどのように変化するかを観察した。反りは3種類の試料で共通して、2回目で数値が下がり4~5回目の加工で低くなる傾向が見られた。また、加工を繰り返すごとに反りの増減が繰り返されていることが確認された。1回目から3回目にかけて反りが顕著に減少する理由について考察すると、1回目の加工では、材料の片側だけを加工したので、加工していない面の反り除去はできていないため1回目の加工での反り除去量が少なかったと考えられる。その後、2回目の加工では、1回目の加工によってある程度平面が出ていたため、さらに反りが減少したと推測される。特に、2回目の加工においては、1回目に残った微細な反りが大きく取れる結果となり、この現象が反りの減少に寄与したと考えられる。以上の結果から、加工回数を重ねるごとに反りが減少することが分かった。加工を通じた平面の修正が影響していることが示唆される。また、反りの増減を繰り返す挙動は、加工工程における微細な変化が蓄積され、最終的に安定した反りの状態に至ることを示している。

7. まとめ

この実験結果から、反転加工を繰り返すことで反りは減少し、特に1回目と2回目の加工で顕著な反りの減少が見られることが分かった。

また、反りの増減が繰り返されるものの、最終的には安定した反り状態に到達し、最適な加工回数が存在する可能性が示唆された。今回の研究は、反りが4回から5回の間で低下させることができることが分かった。だが、反りの高さによってグラフの動きが異なるため、回数以外の要因でマグネットチャックによる矯正、砥石の大きさ・粗さなどが絡んでいると考えられる。

参考文献

- 1) 佐久間, 斎藤, 松尾:「機械工作法一切削・研削・特殊加工・生産システム」, 朝倉書店, (2013)