

# BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT

## 職業能力開発報文誌 第35巻第1号 2023 (通巻54号)

### 〈研究ノート〉

空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだ  
ロボットの製作 青森職業能力開発短期大学校 島川 勝広

### 〈実践報告・資料〉

専門課程から応用課程への連携を志向した総合  
制作実習課題とその学習効果 東海職業能力開発大学校 堀内 美磨  
— 太陽電池を用いた充電回路の設計・製作 —

線膨張係数測定実験の効果的実施を目的とした  
教材の改善 東海職業能力開発大学校 北 正彦

射出成形金型製作の流れを体系的に習得する  
ための訓練課題の提案 東海職業能力開発大学校 石川 豊

ランプロボットを用いた遠隔操作可能な遊戯  
ボッチャ用投てきシステムの開発 東海職業能力開発大学校 石川 裕尚

### 〈投稿のしおり〉



# 職業能力開発報文誌 第35巻第1号 2023 (通巻54号)

## 目次

### 〈研究ノート〉

- 空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだ  
ロボットの製作 青森職業能力開発短期大学校 島川 勝広  
(受付日 R5. 7. 17)

### 〈実践報告・資料〉

- 専門課程から応用課程への連携を志向した総合  
制作実習課題とその学習効果 東海職業能力開発大学校 堀内 美磨  
(受付日 R5. 2. 28)  
— 太陽電池を用いた充電回路の設計・製作 —
- 線膨張係数測定実験の効果的実施を目的とした  
教材の改善 東海職業能力開発大学校 北 正彦  
(受付日 R5. 2. 28)
- 射出成形金型製作の流れを体系的に習得する  
ための訓練課題の提案 東海職業能力開発大学校 石川 豊  
(受付日 R5. 2. 28)
- ランプロボットを用いた遠隔操作可能な遊戯  
ボッチャ用投てきシステムの開発 東海職業能力開発大学校 石川 裕尚  
(受付日 R5. 2. 28)

### 〈投稿のしおり〉



# 空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだ ロボットの製作

青森職業能力開発短期大学校 島川 勝広

Fabrication of robot incorporating pneumatic soft actuators

SHIMAKAWA Katsuhiko

**要約** 生産現場や家庭などで作業補助や支援を行うために人間と近い距離で動作させても、安全で安心なロボットの製作をテーマとして総合制作実習を行った。本稿では、空気圧ソフトアクチュエータを組み込んだロボットハンドの製作と製作したロボットによる林檎の移動に関する検証結果を報告する。

## I はじめに

これまでのロボットは、岩石を砕くような大きな力を出したり、 $\mu\text{m}$  オーダの位置精度で制御するなどの人間にはできない作業を実現することなどに利用されてきたが、近年、日本では少子高齢化に伴う“働き手”の減少により、今まで以上にロボットへの期待が高まってきている。しかし、傷がつきやすい製品や衝撃に弱い製品の生産ラインなどでは、空気圧によるピッキングが主であり、様々な形状に対応した作業は難しい。また、人との協調作業が必要な場合、従来の“硬い”ロボットでは危険を伴うことが多く、取り扱いに気を使う場面も多い。

今回、我々は、生物の筋肉のようなソフトアクチュエータ、いわゆる人工筋肉に着目し、これを組み込んだ柔らかいロボットの製作を実習の目的とした。

具体的には、人工筋肉を利用したロボットハンド、ならびにハンド部分を移動させるためのロボットアームの製作を行い、青森県の特産品である林檎を傷つけずに目標地点まで移動させることを製作目標とした。

## II ソフトアクチュエータ

### 1 マッキベン型空気圧人工筋肉

今回製作するソフトアクチュエータは、一般的には「人工筋肉」と呼ばれる。このソフトアクチュエータには、様々な種類が存在するが、代表的な2種類について説明する。

一つは、ゴムを使い、油圧や空気圧で動かすタイプの「ゴム人工筋肉」であり、もう一つは、ある物質に対して、電気などの信号を入力することによって動かすタイプの「高分子人工筋肉」と呼ばれるものである。これら2つのうち、「高分子人工筋肉」については、イオン性高分子ゲルや強誘電性高分子などという、実験室レベルの設備が必要であったため、今回は、身近な素材であるゴムを利用した「ゴム人工筋肉」を採用することにした。

ゴム人工筋肉の中で、空気圧を利用して伸縮を行うものを「空気圧式ゴム人工筋肉」と呼んでいる。空気圧式ゴム人工筋肉は他のアクチュエータと比較した場合、利点として、軽い、耐環境性が優れている、柔軟性が高い、摺動部がないため摩擦がない、材料費が安いこと、などが挙げられる。欠点としては、精密な位置制御や力制御が難しいことや、ゴムの経年劣化による寿命の短さなどが挙げられる。

以上の点から、空気圧式ゴム人工筋肉は「交換を前

提としたアクチュエータ」としての利用になると考えている。「空気圧式ゴム人工筋肉」を製作するにあたっては、マッキベン型空気圧人工筋肉を参考にした。

製作した人工筋肉は、図1に示すように、構造が単純なのが特徴であり、ゴムチューブの外側に、デンカエレクトロン社製の編組スリーブを被せ、ターミナル部分はインシュロックタイによって固定した。

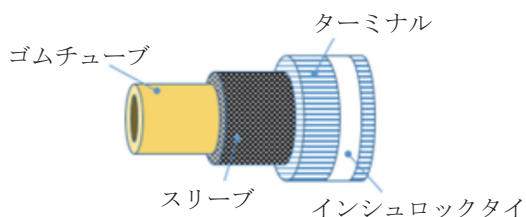


図1 マッキベン型ゴム人工筋肉の構造

## 2 ソフトアクチュエータの収縮率

人間の生体筋肉の収縮様式に「等張性収縮」がある。これを人工筋肉にあてはめて評価する実験を行った。図2に製作した人工筋肉(以下、ソフトアクチュエータ)を示す。左が加圧すると伸びるタイプ、中央と右の2つは加圧すると縮むタイプである。図3に収縮率測定を図を示す。ペットボトルの重量を変え、エアコンプレッサでソフトアクチュエータに空気圧0.0~0.4MPaを加圧して測定した。なお、ゴムチューブの耐圧は約0.2MPaだが、スリーブやターミナルを被せているのでゴムチューブの最大サイズにはならないと考え、安全に十分配慮しながら0.4MPaまで加圧した。

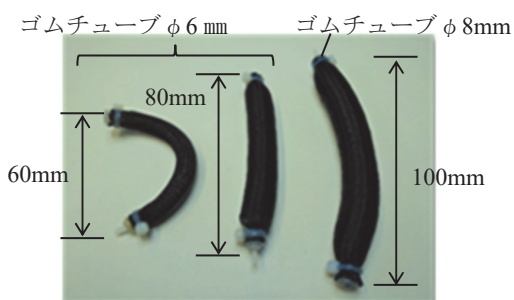


図2 製作したソフトアクチュエータ

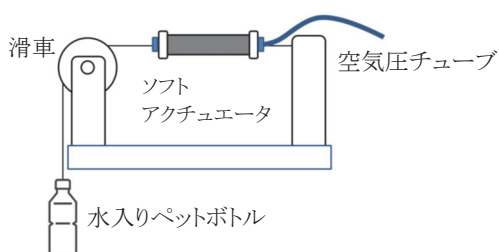


図3 ソフトアクチュエータの収縮率測定

図4にソフトアクチュエータの空気圧と収縮率の測定結果を示す。グラフの横軸はソフトアクチュエータに加えた空気圧であり、縦軸はソフトアクチュエータの収縮率である。

おもりを500g、空気圧を0.4MPaとした時の収縮率は平均で約16.2%であり、おもりをつけなかったときとほぼ同等の収縮率であったが、おもりを5kgに変更して、空気圧を0.4MPaとした時の収縮率は平均で約7.0%であった。

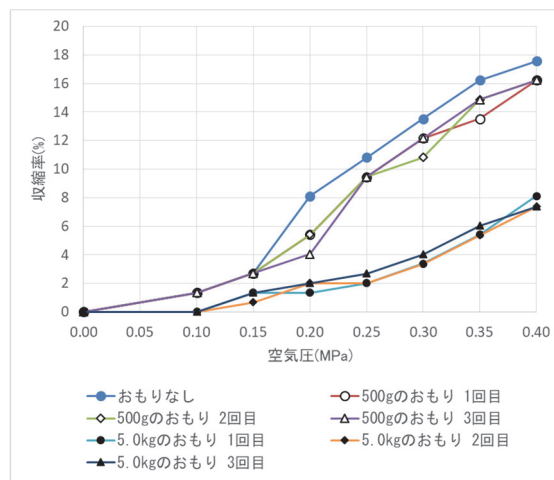


図4 ソフトアクチュエータの収縮率

## III ロボットの製作

### 1 ロボットハンドの製作

ハンドの指の部分に使用した人工筋肉は、長さ約100mm、直径は約8mm、1本あたりの重量は20g程度である。モノを掴む際に物体に触れる面とは逆側の背面に、瞬間接着剤を塗布してある。曲げたい方向とは逆側の面を接着剤で硬化させることにより、空気圧を加えた際に、硬化した部分と、そうでない部分との間で収縮量に差異が生じ、人工筋肉は長さが図6のように30%ほど短くなり、大きく曲がる。この工夫を施したことで、初期に製作した直線タイプの人工筋肉よりも大きな把持力を得ることが可能となった。図6は空気を加圧した時の状態である。

当初製作した4本タイプのハンドではゴムボール程度の重さしか把持できなかったため、人工筋肉のナイロン繊維に伸縮性の違いを付与し、8本タイプへと改良した。製作したハンドの把持能力を表1に示す。

空気圧を0.00, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40MPaとして、おもりを100gずつ増やし、想定する林檎の最大重さである1,000gまで測定した。8本指タイプのハンドでは、空気圧0.3MPaのとき、約1.5kg程度までのおもり

を安定して把持できることを確認した。また、ハンドは空気を加圧してから約 0.5 秒で開き、圧を抜いてからも同様の時間で閉じることを確認した。

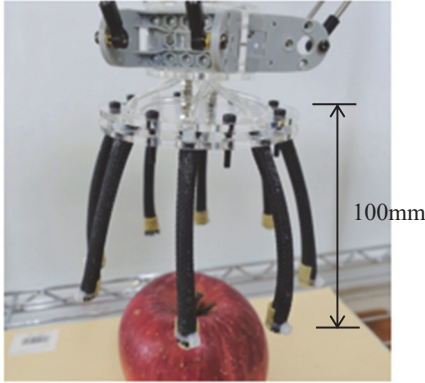


図 5 空気が加圧されていない状態

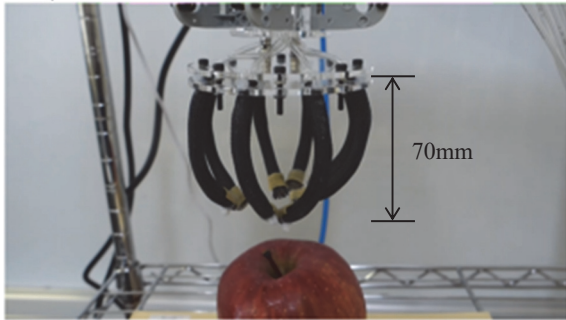


図 6 空気を加圧した状態

表 1 ハンドの把持能力

おもり[g]	空気圧[MPa]					
	0.00	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
100	×	×	○	○	○	○
200	×	×	○	○	○	○
300	×	×	○	○	○	○
400	×	×	○	○	○	○
500	×	×	○	○	○	○
600	×	×	○	○	○	○
700	×	×	○	○	○	○
800	×	×	○	○	○	○
900	×	×	×	○	○	○
1000	×	×	×	○	○	○
1100	×	×	×	○	○	○
1200	×	×	×	○	○	○
1300	×	×	×	○	○	○
1400	×	×	×	○	○	○
1500	×	×	×	○	○	○

×: 把持できず ○: 把持成功

## 2 ロボットアームの製作

ハンドを接続しているアーム部分には、近年、製造現場での導入事例が増えているパラレルリンク(デルタ型)を採用した。パラレルリンクロボットの特徴として、従来の多関節ロボットの欠点を克服するロボットとして、高速・高精度な動きが出来ることが挙げられ、ベルトコンベアを流れるワークの仕分け作業などを得意としている。

パラレルリンク型ロボットアームの製作にあたって、まずは、レゴブロックを用いておおまかな動作の確認を行い、次に、汎用的なプラスチック製のロボットパーツを組み合わせてアーム部分を製作した。アーム部分の重量は約 400g、ハンド部分は約 200g である。

図 7 に示すように Fusion360 によるモデリングも行い、最終的な完成モデルを視覚的に理解できるようにした。

動力部にはサーボモータ AX-12A を 3 個使用した。

表 2 は使用したサーボモータ AX-12A の基本仕様である。

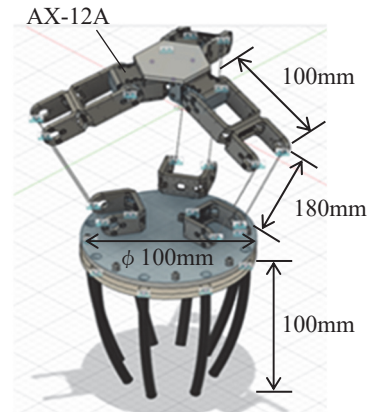


図 7 Fusion360 で製作した 3D モデル

表 2 AX-12A の基本仕様

ストールトルク	1.5N・m(at 12V,1.5A)
出力軸動作範囲	位置決め制御時0~300°
電源電圧範囲	9~12V
動作温度範囲	-5~70°C
質量	54.6g

## 3 ロボットアームの制御

ロボットアームの制御には、Arduino Uno を使用した。制御回路を図 8 に示す。

サーボモータ AX-12A は、Dynamixel Starter Kit を利用し、シリアル接続で複数のモータを制御できるため、AX-12A 専用の制御用ライブラリをインクルードし、信号変換回路を通して Arduino から AX-12A へ制御信号を送った。制御プログラムのフローを図 9 に示す。

今回作成したプログラムは、パラレルリンクのアームの位置とサーボモータの制御信号値を比較し、指定した 2 次元座標にハンドを移動するように設計した。ただし、この座標計算では、おおまかな位置への移動しか行うことができない。

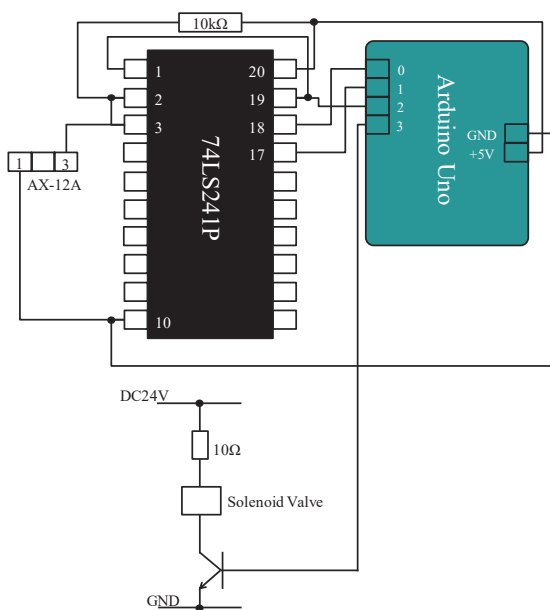


図 8 制御回路

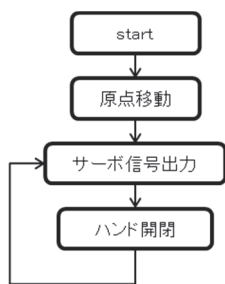


図 9 制御プログラムの流れ

#### 4 完成したロボット

8 本タイプのハンドにより、強い把持力が実現でき、目標であった実物の林檎(重さ約 300g)を持ち上げて、ハンドの移動範囲(縦 200mm×横 200mm×高さ 180mm)の空間内を移動させることに成功した。

なお、林檎を持ち上げる際にアームが振動したが、これはアームの剛性が低く、ジョイント部分の遊びが大きいためと考えられる。

図 10 は、製作したロボットハンドが、約 300g の林檎を把持している様子である。

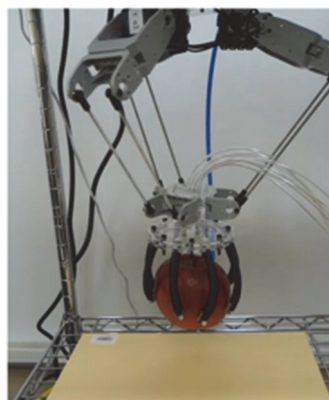


図 10 林檎を把持している様子

#### IV おわりに

本研究では、人工筋肉の製作と実験を基に、4 本タイプのハンドの試作を行うところからスタートした。また、ハンドを移動させる装置としてパラレルリンク型のアームを採用し、サーボモータと Arduino Uno を用いた位置決め制御プログラムを作成した。

今後の課題として、より正確な位置制御を可能とするために逆運動学を用いた制御プログラムの作成や、より高出力のサーボモータへの変更、振動を抑えるためのアームの高剛性化とロボットハンドの指の部分の改良、物体の自動判別などが挙げられる。

実用化に向け、ロボットハンド部分の試作と耐久試験、また、スカラ型ロボットアームへの取り付けもやりたい。

本テーマに熱心に取り組んでくれた木立君、山谷君、若山君に感謝します。

#### [参考文献]

- (1) 「OPEN SOFT MACHINES recipes for ミニ・マッキベン型 空気圧人工筋肉」  
<http://opensoftmachines.com/2018/06/mini-mckibben/> (2021-2-2 確認)。
- (2) 中村太郎。「図解 人工筋肉 ソフトアクチュエータが拓く世界」・日刊工業新聞社, 2011, 78P。
- (3) 「Dynamixel AX-12A and Arduino: how to use the Serial Port」  
<https://robottini.altervista.org/dynamixel-ax-12a-and-arduino-how-to-use-the-serial-port> (2021-2-2 確認)。



# 専門課程から応用課程への連携を志向した 総合制作実習課題とその学習効果

## — 太陽電池を用いた充電回路の設計・製作 —

東海職業能力開発大学校 堀内 美磨

General Production Practice Tasks Aiming Linkage from Specialized Technical Program to Professional Technical Program and Their Learning Effects

- Design and manufacture of charging circuits using solar cells -

HORIUCHI Yoshimaro

**要約** 令和 3 年度に実施した応用課程担当者養成コースの教材開発研究および総合制作実習で設計・製作した太陽電池を用いた充電回路について紹介する。応用課程における標準課題では、習得する技術要素が多いという課題がある。そのため、専門課程で行う総合制作実習において、関連する実習内容の教材を開発し、学生適用することで、応用課程における理解度を促進することにした。本教材では、まず市場のある太陽電池モジュールに対応するための調査を行った上で、300W 級の充電回路の設計・製作を行った。製作した充電回路のノウハウを活用し、総合制作実習では、安全に考慮した上で、充電回路の核となる電子回路設計・製作およびプログラム作成ができる 50W 級の充電回路を製作した。総合制作実習における学生の学習効果は、ハードウェアに対しては一定以上の効果がみられたが、ソフトウェア作成の時間を確保することが課題として挙げられた。実習終了後の学生ヒアリング調査から、今回の実習課題では、応用課程で行う実習との連動性が高く、学生の満足度が高い課題であると確認した。

### I はじめに

現在、地球温暖化やエネルギー枯渇の問題が顕在化してきている。その中で、職業能力開発大学校には、環境問題について正しく理解をしたうえで、クリーンエネルギーの活用やエネルギーマネージメントを意識した製品の開発や製作ができる修了生を輩出することが求められている。特に、太陽光発電を始めとしたクリーンエネルギーを活用した技術や、エネルギーを有効利用するための電力制御技術を付与することが必要不可欠である。応用課程 生産電気システム技術科では、太陽光発電に関する標準課題実習として、発電電力制御システム設計製作課題実習を実施している。この実習では、パワーコンディショナーの設計・製作を行う。図 1 に応用課

程の標準課題実習に関連する授業とその関係を、九州職業能力開発大学校の実施例で示す。図 1 において破線で囲んだ発電電力制御システム設計製作課題実習と電気設備設計製作実習の合計 14 単位 (252 時間) を使って、パワーコンディショナーの設計・製作技術を学ぶ。パワーコンディショナーを製作するには、電子回路、パワー

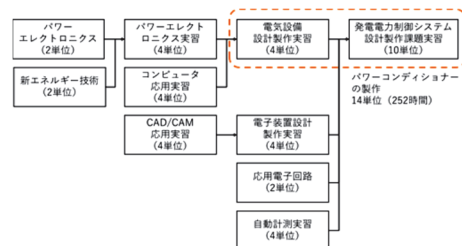


図 1 九州職業能力開発大学校における標準課題 (パワーコンディショナーの製作) に関連する授業の関係

エレクトロニクス、マイコン制御および基板設計の技術要素が必要となる。それらを事前に習得する実習が用意されているものの、習得すべき技術要素が多いという問題がある。一方で、専門課程のカリキュラムでは、専門課程修了での就職を考慮して、電力管理技術や自動化制御技術も習得できるカリキュラム構成になっているため、応用課程で習得するパワーコンディショナーの設計・製作に電子回路や制御プログラミングの実習を専門課程のカリキュラムで増やすことが困難である。

さらに、近年の太陽光発電システムは、蓄電機能を有するシステムが増えているが、充電回路の要素技術を標準課題に追加することが時間的に困難である。そこで応用課程の標準課題で適用する技術要素の中で、蓄電技術を習得するための教材を開発し、専門課程の総合制作実習にて適用することで、専門課程において応用課程に必要な技術要素を習得することにした<sup>(1)(2)</sup>。

## II 太陽電池を用いた充電回路の教材開発

### 1 充電回路の仕様に関する事前調査

太陽光発電システムに使われる充電回路を設計するために、現状の太陽光発電システムを調査した上で、充電回路の設計仕様を決定した。まず、2021年6月現在で国内販売されている太陽電池モジュール1枚における出力容量と開放電圧および短絡電流の調査を行った。図2に開放電圧および短絡電流との関係をまとめたものを、図3に出力容量の分布をまとめたものをそれぞれ示す<sup>(1)</sup>。図2から、最も多い開放電圧と短絡電流の組み合わせを抽出し、安全を考慮して、充電回路の最大電圧を60V、最大電流を15Aに決定した。また、図3の出力容量の分布から、その平均値に近い300W級の充電回路を製作する仕様とした。

次に、充電対象となる蓄電池について調査を行った。太陽光発電システムと組み合わせる蓄電池では、リチウムイオン蓄電池を用いるケースが増えている。一方で、市販されている太陽電池コントローラの中には、鉛蓄電池用のものもあることがわかった。今回は、蓄電池の中では比較的安全であること、また安価であり、総合制作実習や標準課題などで利用実績がある鉛蓄電池を充電対象とした。

最後に、市販されている充電コントローラの機能を調査した。その結果、次に示す9つの機能があるとわかった。

1. 充電電圧・電流制御機能
2. 最大電力点追従 (MPPT) 制御機能

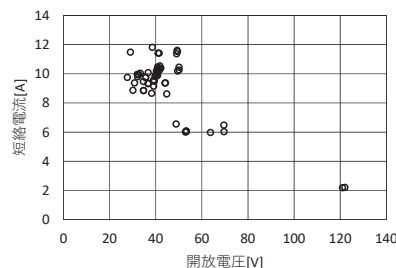


図2 国内メーカーの太陽電池モジュール1枚の開放電圧と短絡電流の組み合わせ

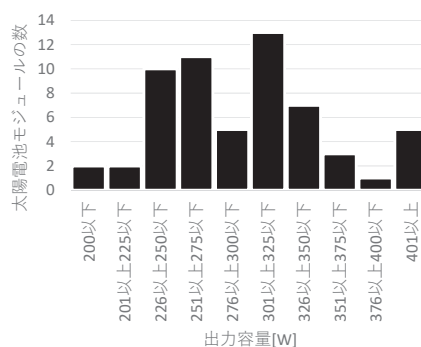


図3 国内メーカーの太陽電池モジュール1枚の出力容量の分布

3. 二次電池の電圧判別機能
4. 過電圧・不足電圧検出機能
5. 状態表示機能 (LED、LCD)
6. 負荷の切断・再接続機能
7. 雷サージ、逆接続などの保護機能
8. 夜間の制御機能
9. USB 電源供給機能

今回の充電回路では、市販されている充電回路の多くに備え付けられている上記の1から5に加えて安全に関する部分を追加して仕様決定した。

- ・ 入力特性は、最高電圧60V、最大電流15A、定格容量300Wとする。
- ・ 出力特性は、出力電圧12Vまたは24Vを自動判別し、最大電流10Aとする。
- ・ 充電電圧・充電電流制御機能およびMPPT制御機能を設ける。
- ・ MPPT制御を用いたバルク充電方式とアブソリュート充電の組合せた充電制御で行う。MPPT制御は山登り法を適用する。充電完了後はトリクル充電に移行する。
- ・ 蓄電池電圧の自動判別機能 0V (蓄電池未接続)、12V、24Vの3種類を自動判別する。
- ・ 蓄電池電圧が自動判別した電圧の120%を超えたら異常表示を出し、太陽電池を充電回路から切り離す蓄電池の過電圧保護を設ける。

・ 短絡事故時にサーキットプロテクタで蓄電池受電回路から切り離す蓄電池の短絡保護をつける。

・ LCD および LED によって現在の状態を表示する。

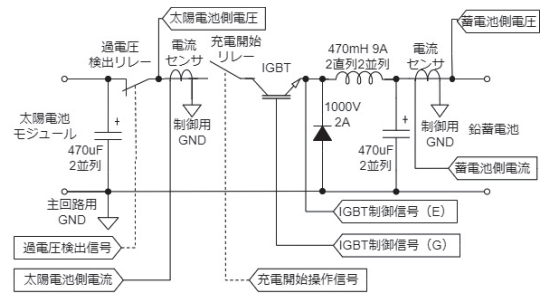
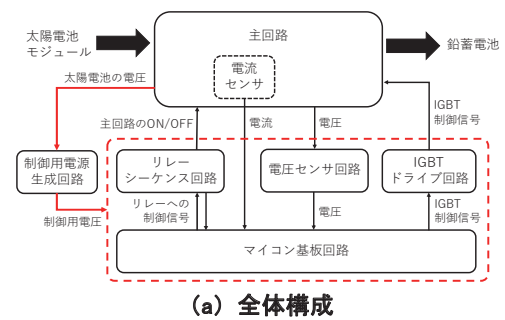
上記の仕様を決定した上で、太陽光発電および充電回路に関する技術の重要性を考えれば、訓練として導入しやすく、かつ、多くの方に技術を習得してもらうことが望ましい。そこで、教材開発を行うにあたり、当該技術を習得できる人材を増やすことを考え、国内販売されている太陽電池モジュールに対応できる充電回路を、入手が容易である材料で構成することで、導入が容易になると考えた。さらに当該技術の指導ができる指導員を増やすために、総合制作実習で教材内容の適用事例を示すことで指導員研修への展開可能な教材になるようにした。

## 2 300 W 級充電回路の設計・製作

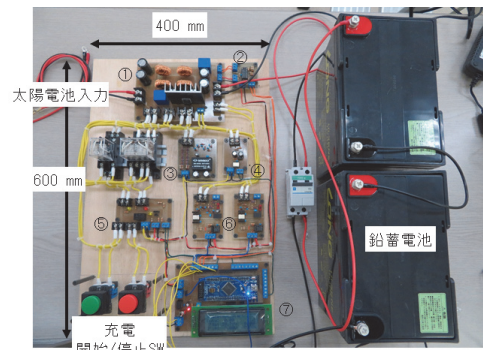
図 4 に充電回路の基本構成図を示す。図 4 (a) は回路構成を、図 4 (b) は主回路の回路図を示す。主回路は、IGBT を用いた降圧 DC/DC コンバータである。制御電源生成回路は、太陽電池モジュールの電圧を利用して制御用電圧を生成する。主回路において、太陽電池側および蓄電池側の電圧は、電圧センサ回路を通して、太陽電池側および蓄電池側の電流は、電流センサを通してマイコン基板回路に取り込む。マイコン基板回路では、太陽電池側の電圧、電流、蓄電池側の電圧および電流をもとに IGBT の制御信号を生成して、IGBT ドライブ回路を通して主回路にある IGBT を制御する。また、蓄電池への充電開始と停止、蓄電池の過電圧に対しては、主回路の ON/OFF を制御するリレー信号をリレーシーケンス回路に送ることで制御を行う。今回製作した 300 W 級充電回路の外観を図 5 に示す。製作した基板は、機能ごとに分けることで、基板の単体試験が容易にできること、かつ、複数人で基板設計・製作が可能になるようにした。

## 3 評価項目表の作成

製作した充電回路をもとに技術要素を分析し、習得度評価項目表を作成した。表 1 に習得度評価項目表の一部を示す。評価項目を大分類、中分類、小分類の 3 つに分類した。大分類は、材料の知識、回路の知識、計測機器の測定方法、回路設計・実装、ソフトウェアおよび安全の 6 つに分類した。小分類は、製品そのものや、具体的な技術キーワードで分類した。中分類は小分類をグループ化する項目になるように分類した。特に太陽電池や蓄電池といったエネルギーを取り扱う



(a) 全体構成  
(b) 主回路の回路図  
図 4 充電回路の基本構成図



- ①主回路
- ②電流センサ増幅回路
- ③制御電源生成回路
- ④IGBTドライブ回路
- ⑤リレーシーケンス回路
- ⑥電圧センサ回路
- ⑦マイコン基板回路

図 5 教材開発した 300 W 級充電回路の外観

表 1 作成した習得度評価項目表(一部抜粋)

大分類	中分類	小分類	評価基準
材料の知識 (22項目)	抵抗	カーボン抵抗	1: 知らない 2: 名前は知っている 3: データシートをみて 特性を説明できる 4: 実装時の注意事項を 説明できる 5: 具体的な実装方法を 説明できる
	コイル	トロイダルコイル	
	コンデンサ	積層セラミックコンデンサ	
		電解コンデンサ	
	ダイオード	整流ダイオード	
		ツェナーダイオード (ZD)	
		定電流ダイオード (CRD)	
		LED	
	トランジスタ	NPN トランジスタ (2SC1815)	
	IGBT	N チャンネル IGBT	
	オペアンプ	汎用オペアンプ	
	絶縁アンプ	TLP7920	
	DC-DC コンバータ	非絶縁型	
		絶縁型	
	フォトカプラ	TLP250、TLP351	
	リレー	電子リレー	
		電磁リレー	
	電流センサ	クローズドループ方式	
	太陽電池	太陽電池	
	二次電池	鉛蓄電池	
マイクロコンピュータ	RX62N		
LCD	キャラクタ型 LCD		

実習課題であるため、安全の技術要素を大分類に入れ、安全に配慮するように評価項目表を作成した。作成した小分類は71項目となった。評価方法は、判断基準の目安を設け5段階の評価とした。

#### 4 総合制作実習に適用する際の課題

図5で製作した充電回路をそのまま総合制作実習に適用する場合、取り扱う電圧および電流が大きいため、回路素子の過電圧保護や、回路素子の並列化など本来習得すべき内容と異なる部分の検討が必要になる。また実験・実習時における感電や漏電をはじめとした安全配慮が必要になることから、そのまま適用するには不適用と判断した。そのため、総合制作実習で使用する太陽電池モジュールは、電子部品の過電圧保護回路を必要としないものの中で、出力容量が大きいモジュールを選定した。また、充電回路を評価する際に、蓄電池をあらかじめ放電する必要があるが、今回の総合制作実習では、図6に示すワンショット回路を用いた放電回路を製作した。タイマを用いて制御することで、蓄電池の放電量を把握することができ、充電回路の評価を容易にした。

### III 総合制作実習の課題設定および適用

#### 1 総合制作実習における充電回路の仕様

図5で教材開発した300W充電回路をもとに、令和3年度総合制作実習に太陽電池を用いた充電回路の製作の課題を設定した。実習対象の学生は、専門課程電気エネルギー制御科2年生3名とした。製作した充電回路の仕様を次に示す。

- ・ 太陽電池モジュールは50Wの太陽電池モジュールを、蓄電池には、12V鉛蓄電池を使用する。制御用マイコンは、応用課程で使用するマイコンを使用する。
- ・ 蓄電池への充電開始および停止は、押しボタンの操作で行う。
- ・ 接続した蓄電池に対して、蓄電池の定格電圧を自動判別し、定電流定電圧制御で充電をする。定電流制御時は、MPPTによる制御を用いる。
- ・ 充電回路の現在の状況をLCDで表示する。
- ・ 制御用の電源は、太陽電池モジュールの発電電力を利用する。制御回路で使用する電圧の種類が最小限になるように回路設計を行う。
- ・ 安全対策として、太陽電池が接続されている主回路と制御回路は電氣的に絶縁する。また、充電回路には、過電圧・過充電検出および主回路の遮断機能を設ける。

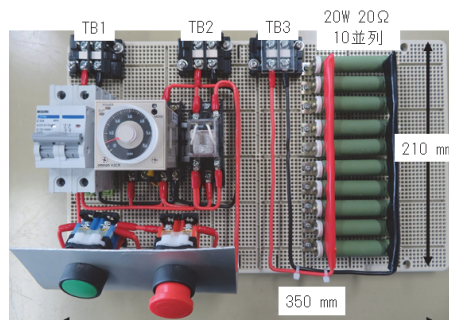


図6 蓄電池放電用リレーシーケンス回路

仕様設定するにあたり、実習で使用する材料の購入の容易性および充電回路の保護機能について配慮した。

#### 2 総合制作実習の進め方

総合制作実習では、次に示す1から8の順序で実習を行った。応用課程の標準課題の進め方の中で、設計評価を除けば、概ね同じ進め方で実施しているため、応用課程で養成する能力を意識して実施した<sup>3)</sup>。

1. 太陽電池の充電回路における座学および調査
2. 充電回路で使用する素子の基礎実験
3. 充電回路で使用するマイコンの基本機能を使用したプログラム課題の作成
4. 回路設計および基板実装
5. 実装基板の単体試験
6. 太陽電池、蓄電池および実装基板の配線
7. 充電回路のプログラム作成
8. 充電回路の評価（総合評価）

電子回路については、ブレッドボード上で回路を作成して実験を行った後、同じ部品を基板実装できるようにディスクリート部品で構成した。実験を通して、電子部品の特性を理解し、回路設計する際の配線イメージを持てること、実験で使用する計測機器が正しく使えること、および回路中に不具合があった際にどこが問題になっているかを自分で判断できるようにするため、基礎実験の時間に多くの時間を使用した。プログラムの作成は、総合制作実習の前に行う後期集中実習（10月最初の2週間）の期間において、マイコンの基本機能の確認と実際の充電回路に使用するマイコンのI/Oポートを用いて実装する課題を学生に取り組みさせた。課題で作成したプログラムを充電回路のプログラムに再利用することで製作時間の短縮を図った。周辺回路は、ブレッドボード上に配線をすることで、マイコンと実装する基板とのインターフェースを意識するようにした。

### 3 製作物および評価

総合制作実習で製作した充電回路および実習風景を図7に示す。設計した基板の大きさを考慮して、市販のアルミ筐体を選定して収めることにした。完成した充電回路を実際の太陽電池モジュールおよび蓄電池に接続し充電の評価を行った。蓄電池は、定格12Vの蓄電池を満充電状態から図6に示す放電回路で15分間放電したものを使用した。図6の負荷抵抗は2Ωであり、定格12Vの蓄電池を15分接続すると放電容量は約1.5Ahとなる。充電開始前は12.34Vであった端子電圧が、65分間の充電で、12.80Vまで上昇した。また65分間の充電量は、データロガーの測定結果から1.09Ahであることを確認した。天候および実習時間の関係で満充電まで至らなかったが、太陽光模擬電源装置を用いた実験では、満充電後にトリクル充電に移行していることを確認した。

### 4 総合制作実習終了後の学生ヒアリング

総合制作実習終了直後に、実習時に失敗した内容としてどのようなものがあつたかを面談によるヒアリングで調査した。調査した結果、教材作成時に指導員が想定していなかった失敗事例も確認できた。大きく分類すると5つの失敗事例に分けることができる。

一つ目は、回路設計における失敗事例である。マイコンのピン配置を間違えたり、信号線と電源線を間違えたりといった単純な間違いだけでなく、信号線間のクリアランスが不足していたり、他の基板との接続関係を考慮しない部品配置を行うなど、後工程を考慮しない失敗が散見された。

二つ目は、回路実装における失敗事例である。抵抗値を間違えたり、極性のある部品を逆に実装したりすることもあつたが、耐電圧が足りない部品の実装といった回路で使用する電圧を考慮していない失敗もあつた。

三つ目は、動作検証（実験）における失敗事例である。電気的絶縁している回路のGNDを共通にして測定することや、測定対象の電位が異なる測定点を同時に測定した間違いが散見された。

四つ目は、組立および配線における失敗事例である。これは、電源線の極性間違いや配線ミス、加工寸法の違いなど単純なミスが多かった。

五つ目として、プログラムにおける失敗事例である。ポートの設定間違いやA/D変換の計算式を間違えるなどが挙げられたが、回路設計に多くの時間を費やしたため、学生本人が修正した部分の失敗事例しか出ていない結果となった。

### IV 教材適用による学習効果

習得度評価項目表を用いて、学生に5段階の自己評価を行わせた。評価は、実習開始前（2021年9月）および実習終了後（2022年1月）に実施した。図8に習得度評価項目表を用いた学習効果の比較を示す。実習開始前の調査から、自己評価が低い項目を抽出した結果、材料の知識、回路の知識およびプログラミングが挙げられた。そこで、実習で使用していない素子および回路は、基礎実験を行った後に、充電回路の設計・製作を行うこと、ソフトウェアについては、マイコンの基本プログラム確認から始め、全体のプログラムから仕様に合わせてプログラムを修正することを重点項目として実習を行った。実習終了時の結果から、材料の知識と回路の知識については、図8より、学習効果が大幅に向上した。また回路設計・実装、計測機器の測定方法および安全に関しては、実習前でも高い評価であったが、実習後は自己評価がより高くなっていることを確認した。このことからハードウェアに関連する項目については、教材の適用による学習効果があることが確認できた。一方で、ソフトウェア項目については、自己評価が低く、与えられたプログラムを読んでプログラムが実際に行っていることが理解できると

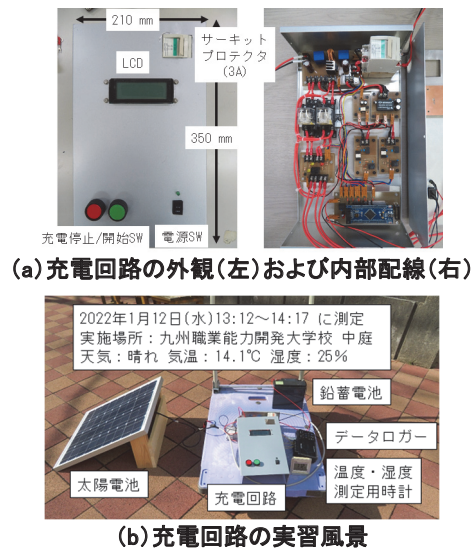


図7 総合制作実習で製作した充電回路

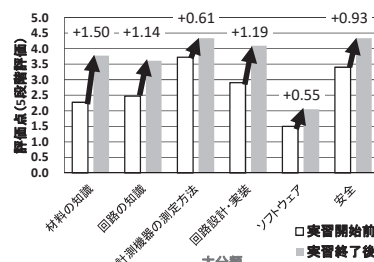


図8 習得度評価項目表を用いた学習効果

表 2 ソフトウェアに関する学習効果

中分類	小分類	実習開始前	実習終了後
マイコン (RX62N)	I/O出力	1.67	2.33
	タイマによるPWM出力	1.33	2.67
	タイマ割込み	2.00	2.33
	A/D変換	2.00	2.33
	低電圧検出 (LVD)	1.33	1.67
アルゴリズム	PWM法	1.67	2.33
	MPPT法	1.00	1.33
	電圧制御方式	1.33	2.00
	定電圧定電流方式	1.33	2.00
	LCDIによる出力	1.00	2.33
インター フェース	電流センサによる電流値の取り込み	1.67	2.00
	電圧センサによる電圧値の取り込み	1.67	2.00
	PWMによるIGBTドライブ回路の駆動	1.00	1.33
	電磁リレーのON/OFF制御	2.00	2.00

いう、こちらが想定していた学習効果を得ることができなかった。表 2 にソフトウェアに関する学習効果を示す。全体的に自己評価が低い、中でも低電圧検出 (LVD)、MPPT 法のアルゴリズム、PWM による IGBT ドライブ回路の駆動は低い結果となった。理由としては、専門課程の授業内では出てこない技術内容であること、基本プログラムからの修正が少なくコードを読むことによる習得になったこと、学生がソフトウェアに対する苦手意識に対して実習時間の設定が短かったことの 3 点が考えられる。このことからソフトウェアに関しては、適切な技術内容を説明し、プログラムを読むだけでなく記述できる課題を組み込むとともに、学生のスキルを判断した上で、学習時間を十分確保することで改善できる可能性があることがわかった。

## V 教材開発、教材適用による効果および課題の考察

教材開発及や教材適用を通して得られた効果および課題について 3 つの視点から考察する。

第 1 に、教材開発の観点で考察する。太陽光発電に関連した実習テーマを選定することで、学生が環境エネルギーに関連する実習テーマを選択できる。今回の教材開発研究においては、教材コンセプトにもとづいて入手の容易性や施設にある既存の装置および材料を中心に教材開発を進めたため、新規で充電回路を製作するには、実習を展開しやすい教材である。一方で、教材開発の中で、次に示す 9 項目は、製作時間の関係から十分に検討を尽くしていないため、新たに充電回路を設計・製作する際には、発展・改善の余地がある。

1. 模擬電源の検討および評価
2. 蓄電池の検討
3. 負荷を含めた充電の検討
4. 放熱板の検討
5. 太陽電池の開放電圧が高い場合の部品保護
6. 太陽電池の開放電圧が低い場合の部品選定
7. 表面実装部品の使用検討
8. 各種計測器における GND レベルの取り扱い
9. 材料の選定および発注

第 2 に、総合制作実習での適用結果について考察する。総合制作実習で製作した充電回路は、総合制作実習 (12 単位 216 時間) で完成させることを前提に教材作成をしてきた。しかし、実際に学生適用すると設計製作するには時間が足りないことがわかった。学生の実習満足度を満たすために、習得度評価項目表での実習前自己評価および学生へのヒアリングを行った後に、学生と重点課題を設定した結果、学生の実習満足度が高かった一方で、習得する内容に偏りが出たことから実習時間の配分を調整する必要があると認識した。

第 3 に、応用課程との連携の観点で教材効果を考察する。今回開発した実習教材は、応用課程で学習する内容が含まれている。専門課程の総合制作実習において、本報告で示した内容で行うことで、応用課程で行う学習内容の一部を事前に学習することができた。その結果、応用課程の授業において、学習した内容については、習得する時間が短縮されたため、他の技術内容を習得するための時間を多く割り当てることができた。また、学生とのヒアリングの結果から、総合制作実習の進め方は、応用課程の標準課題の進め方に沿って進めたため、応用課程での標準課題では実習に戸惑うことなく実施できたことを確認した。さらに、学習効果の高かった回路設計に関連する実習においては自信をもって作業ができたことが報告された。一方で、実習時間が足りなかったソフトウェアに関連する内容は、応用課程の関連科目で補うことで実習内容をさらに理解できるようになると考える。

## VI おわりに

太陽電池を用いた充電回路の教材開発をし、総合制作実習を通じて学生に教材適用することで学生が失敗するところや時間がかかるところを理解し、実習実施時の問題点や課題が明らかになった。次年度以降に実施する総合制作実習において、実習テーマを設定する際の参考になれば幸いである。

### 【参考文献】

- (1) 堀内美磨：「太陽電池を用いた充電回路に関する教材開発」、令和 3 年度 応用課程担当者養成コース研究論文 (2022)。
- (2) 岡山志臣、田中貴弥、福村友康：「太陽電池を用いた充電回路の製作」、令和 3 年度 九州職業能力開発大学校 総合制作実習 最終報告書 (2022)。
- (3) 応用課程の考え方 (平成 31 年度改定)、公共職業訓練部大学校課 (2019)。

# 線膨張係数測定実験の効果的実施を目的とした教材の改善

東海職業能力開発大学校 生産技術科 北 正彦

Improvement of teaching materials for effective implementation of linear expansion coefficient measurement experiment

KITA Masahiko

**要約** 大学校の課程で最初に取り組む実験実習である基礎工学実験の教材の改善について報告する。改善にあたって実験のもつストーリー性に着目し、先人たちの行ったモデル化の原理に沿った実験を行い、段階ごとに理解させるよう試みた。具体的には光学でこを用いて熱膨張の法則を検証する際に、「光軸」という数理化の手段を、実験装置に直接糸を張って可視化して示し、デジタルカメラを用いて共有可能な映像とした検討の機会を提供した。「光軸」の幾何学を分かり易く表す実験を行い、段階的に光学でこの原理解に至る学びのストーリーとして提示した。

## I はじめに

基礎工学実験は、現在の自然科学において正しいと認められている基本的な物理法則、例えば落体の法則などに対し、法則の正しさを実証するために先人が行った実験を課題として行うことで、法則の正しさを理解するとともに、実験原理、実験方法の考え方、機器の使用法、実験のまとめ方、報告書の書き方などを経験的に学ぶことを目的としている。その目的から大学校の課程において最初に取り組む実験実習と位置付けられ、1年生を対象として生産技術科の第Ⅲ期に実施する。

工学分野で当たり前のようになっている基本的な物理法則は、先人の卓越した発想によって見いだされた、いま見えている世界を非常によく表す「説明」といわれる。同時に正しい「実験」による検証（以後、検証実験）を経て、その説明の正しさが確認され「法則」と認められたものをいう。

検証実験を行う際、研究者は知恵を絞り、スケール、はかり、レンズなどの単純な測定機器を用い、斬新に組合せた。そこで得られた小さな結果、知恵や道理に旺盛な探求心のもと数学的表現を施し、数学を道具と

することで実験原理を明らかにして、当時の検証実験の装置を構築した。

新たな装置を構築することで視点が変わり、実験方法に多大な創意工夫を行なうことで、その時点で見ることでできる世界を広げながら、検証に耐えうるデータを確実に測定する方法を見出した。結果としてこれら間違いのないデータをもとに、法則の確からしさはゆるぎないものとして立証された。

このような自然科学における検証実験のあり方は、基本的な物理法則が次々に提示された16～17世紀頃には確立され、研究者はだれもが追実験できる具体的な原理、方法、手順として詳しく記録した。すなわち、先人達の問題解決に向かう洞察の過程を端的に記録した、後の世に伝えるべき成果物であると考えている。

記録の中で特に創意工夫を要したと思われる注目すべき点を述べる。実験原理および実験装置を構築する際に洞察を確かなものとするため、研究者は皆、単純な道具一つひとつを数学で利用できる図形や数式などで表わして、幾何学、代数学、解析学（関数）などの数学的な考えを利用し、組合せることで目的を実現していく。いわゆる自然科学に必要とされる、事象を数理的に捉え、数学的に表現し、数学を道具として利用することで問題を解決する一貫した原理（以後、

モデル化の原理) が示されている。

基本的な物理法則の検証のための実験装置は、構成要素として当時身近に手に入る簡単な道具が用いられた。装置の構造はそれらを巧妙に組み合わせた複雑なものとなるため、築いた構造が確実な測定を行えるか、そのためにはどこを調整したらよいのか等の今でいう最適化の程度を、事前に知りたい要求があったと考える。研究者はその解決として、黎明期であったモデル化の原理を積極的に取り入れ、構成要素を単純な図形や比例式として数理化して表現した。これによって、一見複雑にみえた先入観を廃し、陰に隠れていたシンプルで理解しやすい形の説明をあぶりだした。

基本的な物理法則の検証実験、すなわち先人が歩んだ当時の創意工夫の過程を変えずに行うことは、科学的な知識を学ぶ課題として大きな学習効果が期待できる。実験から得られる先人の迫体験は、問題に直面した際に、過去の事例を紐解いて足掛かりとし、あきらめず糸口を見つけて試してみる姿勢、解決に向かわせる確かな動機付けを育むと考える。このような背景から、基礎工学実験では、自然科学において広く認められている法則の幾つかを選び、先人が実施した検証実験によって正しさを確認していくカリキュラム内容としている。

本報告では、昨年度から担当している熱膨張の法則を検証する基礎工学実験において、課題である実験内容および装置、手順の説明に際し、実験が持つストーリー性を着眼点として、モデル化の原理に沿った道筋を示し、段階ごとに理解させるよう試みた実験教材の改善について報告する。

## II 熱膨張の法則と検証実験

今回、検証実験の対象となる熱膨張の概要を図1に示す。生活の中で身近に起る基本的な物理法則の1つで、固体材料に熱を加えると膨張する物理現象の様を非常によく説明する。図1において、一般の固体材料の熱膨張は、加熱前の温度 $T_0$ 、加熱後の温度 $T$ 、その時の上昇温度 $\Delta T = T - T_0$ 、元の長さ $l_0$ 、変形後の長さ $l$ 、伸び $\Delta l = l - l_0$ として、以下の式で表される

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

この時の比例定数 $\alpha$ は線膨張係数とよばれ、物質固有の値となる。検証実験では、 $\Delta l$ を測定できる実験装置を構築し、 $\Delta T$ における $\Delta l$ を測定して式(1)により $\alpha$ を

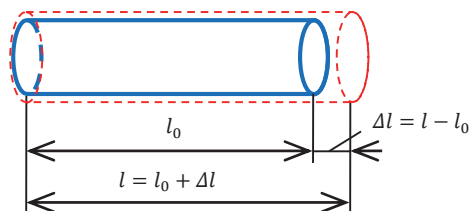


図1 熱膨張の概要

求める。さらに求めた $\alpha$ を公称値と比較することで検証を行う。ただし、 $\Delta l$ は大変小さな値となり、例えば鋼の場合 $l_0 = 0.6 \text{ m}$ 、 $\Delta T = 10 \text{ K}$ で、 $\Delta l = 0.074 \text{ mm}$ である。このような微小な長さにスケールを直にあてて、正確な測定値を得ることはまず不可能である。先人はこの小さな $\Delta l$ の測定を、スケール、カンチレバー、鏡、望遠鏡という単純な道具で構成した「光学てこ」と呼ばれる測定装置を用いることで可能とした。

## III 光学てこの原理と改善の着眼点

光学てこ<sup>(1)</sup>の原理図を図2に示す。光学てこは、対象の微小変位 $\Delta l$ を小さな鏡で極わずかな角度 $\theta$ の変化に変え、拡大して測定できるようにした装置をいう。原理として、図で示すように試料に鏡のついたカンチレバー（以後、オプティカルレバー）を置き、 $r$ に対して十分離れた距離 $L$ となるよう、望遠鏡を使って鏡の反射像で目盛りが読める位置にスケールを置く。このとき $\Delta l$ と $\theta$ は比例関係となり、望遠鏡から見える目盛りでは $2L/r$ 倍拡大されて、変位後の目盛り $S_\theta$ から変位前の目盛り $S_0$ を差し引いた長さとして読み取れる。

図2において、試験棒が $\Delta l$ 伸びると、オプティカルレバーが動作して、レバーの腕 $r$ 、鏡の傾き角 $\theta$ とすると

$$\Delta l = r \cos \theta \tan \theta \dots\dots\dots(2)$$

$\Delta l \ll r$ より $\theta$ が微小角となり、 $\cos \theta \cong 1$ 、 $\tan \theta \cong \theta$ から

$$\Delta l = r \theta \dots\dots\dots(3)$$

スケール上の読取り変位 $\Delta S = S_\theta - S_0$ 、スケールから鏡までの距離 $L$ なので、

$$\frac{\Delta S}{L} = \tan 2\theta \dots\dots\dots(4)$$

$\theta$ は微小角なので、同様に $\tan 2\theta \cong 2\theta$ と近似され

$$\frac{\Delta S}{L} = 2\theta \dots\dots\dots(5)$$

式(3)に式(5)を代入して $\Delta l$ は

$$\Delta l = r \frac{\Delta S}{2L} \dots\dots\dots(6)$$



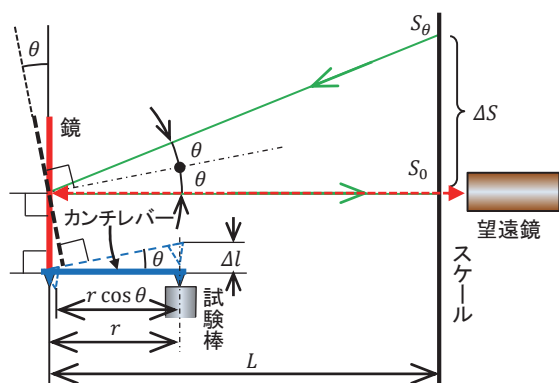


図2 光学てこの原理図

となる。実際の検証実験では、測定者はスケールの目盛りにピントを合わせた望遠鏡の映像（以後、スケール画像）を確認してスケールの値を読み取っていく。実験の流れとして、最初に読み取った位置を、加熱する前のスケール画像の読取り位置 $S_0$ として記録する。加熱を始めて測定温度に達すると、鏡がオブチカルレバーによって $\theta$ だけ傾き、鏡の反射によってスケール画像の読取り位置が $S_\theta$ に移動する。よって、測定者はそのままスケール値を読み取ることで、全く $\theta$ を意識すること無く $\Delta S$ を知ることができる。悪く言えば、光学てこがうまく働くうちは、測定者はその原理など全く知らなくても正しく検証実験ができてしまう。

さらに、図2の原理図をより深く考えてみる。よくよくみれば、図2は先人が式(2)~(6)の導出を目的として、事象を数理的に捉え、相似関係がわかる様に数学的な表現で表した図と思われる。実験をする際は原則、学生自らが実験装置を配置することを要求している。そうすると、先人がどのように事象を捉え、数理化したかということを知らなければならない。具体的には、二次元の幾何学図で表された直線のそれぞれが、三次元空間内にある目の前の実験装置の何を表すかを的確にイメージ出来なければならない。そうしなければ、図をいくら眺めても光学てこの原理を理解して、正しく装置を配置することは出来ないだろう。このような理由から説明や関連資料の提示方法について、課題の目的でもある実験の追体験という視点で、もう一度検討すべきであると考えた。

追体験の指導を考えると、実行者が学生自身との思いから、無意識に「やらせてみる」の視点で考えてしまう。しかし、実験の追体験においては、まずは言われたことを確実に言い、言われた通りに内容を記録し、解析し、結果を確認し、報告する。それらを基本とし

なければ実験は成り立たないと考える。言われた通りという言葉がイメージを悪くさせるなら、これを、山本五十六の格言<sup>(2)</sup>でいう「やって見せ」、「説いて聞かせて」に置き換えて考えるとよい。

やってみせるという指導は、学生側から見れば、規範となる行為をもとに教官がモデルを務め、その模倣を通して学習することとなる。単純な模倣において、モデルからの情報を見たり、聞いたり、体を動かしたりしながら、学習活動として取り込んでいくことで学ぶ力が育つ。学習であるからには、さらに進めて実験道具や装置の使用の背後にある、道具の製作者である先人の意図を理解して、その意図を自らに取り入れて模倣するレベルにまで繋げたい。そのために、実験そのものが持つストーリー性に着目し、それを足掛かりとして改善を模索した。

実施する実験は、教官がモデルを務めることを考慮したとき、式(2)~(6)の流れで行うことで、製作者の意図をうまく説明できることが期待される。具体的には、適時に関連する実験を実施していくことで、何を数量化し、モデル化の原理に沿って、どのように考えさせて図2の原理図に至ったかを、段階的に理解させるストーリーとなるよう、文字通りやって見せる。

#### IV 改善策と具体的な実施内容

実験を概括した全体のストーリーを「研究者が線膨張の法則を証明するために、実験方法を工夫したストーリー」として、先人たちの創意工夫を段階的に体験させることで、興味・関心・意欲の向上をともなった動機付けを期待した新たなストーリーを考えた。

線膨張の法則を検証するためには、以下の課題を解決しなければならない。

- ① 対象を温めなければならないので、測長する際はスケールなどの測定器を、温度の影響が及ばない距離まで離さなければならない
- ② 熱膨張の法則を検証するためには、熱による伸び $\Delta L$ を測らなければならない。しかし、 $\Delta L$ は大変小さいため肉眼による正確な測定は困難であり、大きく拡大する何らかの工夫が必要

先人はこの課題を解決する方法として、科学的手法でその糸口を探索し、光学てこの原理という解答に至ったと考える。ゆえに導入では、それらの手法を用いる足掛かりとなるよう、彼らがどのような現象を、ど

のように数量化したかを示すことが望ましいと考えた。それらを、光学でこの原理につながる前知識として、効果的に習得できるよう考えた。

具体的には、スケールと望遠鏡などの映像取得装置を並べた実験装置を作り、そこから得られる外観も含めた映像が、どのような理由をもって幾何学図に置き換えられるのかを理解してもらう。その際の着眼点として、実験装置から得られる映像を、教官と学生が同一の像としてイメージできるような工夫、いわゆる共有化の工夫が必要になる。

今回、スケール画像を手軽に共有化できる道具として、デジタルカメラを利用した。スケール画像として取得したカメラの液晶画像（以後、カメラ画像）をディスプレイ等に映し出すことで、互いがイメージした際に生じる隔たりをその場で直ちに取除き、共有化した画像として確認することができる。

図3に、スケール画像を観察する実験装置の幾何学関係を表す模式図を示す。実験では測定対象を兼ねる300 mmスケールと測定用スケールをイメージした600 mmスケールを用意して、OA間長さ1 m、OB間長さ2 mとして配置し、点Oにカメラを置いてカメラ画像を取得し確認する。本実験を正しく行う場合、装置の配置が重要となる。一般の実験では、結果とする現象と幾何学量を結びつけた法則をもとに、図を用いて実験原理が説明される。本実験では、それらを結び付ける概念として「光軸」をあげる。

カメラや望遠鏡などのレンズを利用した光学機器（以後、光学機器）は、図4で示す光軸と呼ばれる、レンズの中心を垂直に貫く直線を考えることができる<sup>(3)</sup>。光軸そのものは概念であり直接見ることはできないが、光軸が貫く三次元空間上の全ての点は、カメラ画像の中央に点として重なって固定される。この事実を幾何学図との関連でみれば、光軸は画像の中心点を通して画像面に垂直な軸となり、画面を貫く点はカメラ画像の中心に固定された、いわゆる視覚でいう、視線および視点と見ることができる。ゆえに、光軸を基準として共有することで、カメラ画像を光軸=視線、カメラ画像の中心=視点と考えて利用することができる。さらに視線および視点は、観察対象に対して「見る」という共有を促す意図を含む言葉でもある。このように、観察する対象に糸口となる基準を設定し、数理化してだれもが明確に解釈できる形で考えて行く。これらの先人が創意工夫したであろう、共通認識の場を構築していく過程は、本実験に限らず他の実験場面でも共有されるべき重要な知識と考える。

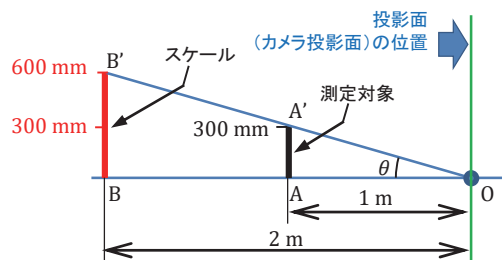


図3 実験装置の模式図

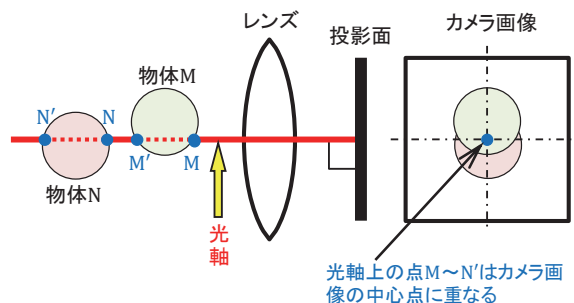


図4 光軸の説明とカメラ画像上の光軸のイメージ



図5 改良した雲台の外観

光学でこの原理は、通常は座学によって、第三章で述べた図2や式(2)～(6)の関連式を用いた簡潔な説明がなされる。しかし、先人が創意工夫した実際の場合は、座学の場合ばかりではなく、むしろ現実の物体を目の前にして、皆と意見を交換できるよう共通の事柄を探し出す場が多くを占めたと考える。ここでは、そのような場が重要であるとし、次のカメラ画像による確認実験を試みる。

実験では、基準となる光軸の確認を行う。具体的には、光軸とカメラ画像の関連性において光軸が示す直接的な内容、すなわちカメラ画像の中心点が光軸となることを確かめる。

実験を実施する冒頭で、図4に示す光軸を直線により可視化した模式図の説明を行う。次に学生にも手伝ってもらい実験装置を組み立てる。図3との比較を考慮して、各スケールの底端の角を図中の点A、Bとなる

様に配置する。さらに、光軸に関連させるよう、具体的には直線OBに光軸が重なるように、点A、Bおよびカメラのレンズ中心高さを同一になるよう調整しておく。あわせて、カメラ画像と一致する投影面の中心を点Oと一致させておく。そのために点Oを回転中心として投影面を傾けられるように改良した、簡易型のジンバル雲台を新たに製作し、直線OBに対し直角になるよう調整する。図5に製作した雲台を示す。

実際のカメラ画像を確認する前に、対話形式により光軸と液晶画面の関係性を考えさせる機会を設ける。戸惑う学生もいるので、具体的に、どのような画像が現れるかを予想してもらう。分からないとあきらめる学生もいるが、図4を繰り返し確認してもらうことで、それを根拠として、カメラ画像の中央にスケールの角が重なる画像を予想するよう促す。あわせて、これらを保証するためには、光軸を取り入れた幾何学図が必要不可欠であることを強調する。

光軸の客観的性質、すなわちカメラ画像の中心軸との一致を確かめる際、仮想軸であるため画像で直接確認することができない。何らかの補償が必要と考える。そこで、補う手段として実験装置に光軸に見立てた糸を張り、得られたカメラ画像と幾何学図から予想したカメラ画像を比較させる。図6に糸を利用して光軸の可視化を試みた様子を示す。

図3の説明で点O、A、Bは光軸上の点となるように高さが調整されている。よって、点A、Bのカメラ画像は、画像の中心を通る水平軸上に、点A、Bが重なる像となることが予測される。なお、高さが一致していないと、予測の通りの像にはならない。

画像が予測通りとなった場合、この状態から点O、A、Bが重なるようカメラ本体を水平軸方向に移動、及び垂直軸を中心に回転させる。これらの操作を行うことで点O、A、Bを、カメラ画像の中心に重ねることができる。さらに、図3で示された光軸がカメラ画像の中心を通り、画像面に垂直な直線であることを根拠に、先の操作により重ねることができることを説明する。これらの確認をやってみせることで、光軸がカメラ画像において幾何学的にどの様に見えるかを理解させる。

図7に、点O、A、Bが画像の中心で一致することを確認したカメラ画像を示す。ただし、画像は点O、A、Bの画像中心での重なりを確認した後、拡大時の視認性を考慮して、点Aだけ左に若干量オフセットさせている。あわせて、光軸に見立てた糸が点Bから延びる水平の線分として確認されるが、点Oであるレンズ中心へ

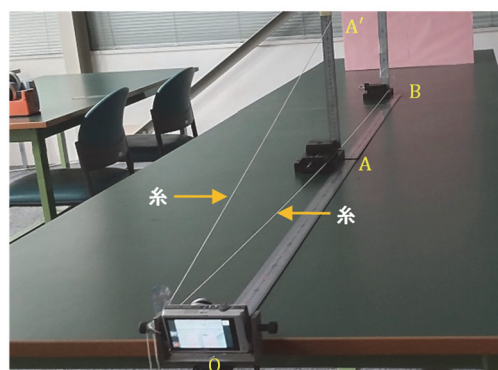


図6 糸を利用して光軸を可視化した様子

の直接の取り付けが困難なため、同様にオフセットしている。

カメラを図7の位置から $\theta$ 傾けると、物理的にカメラ画像も $\theta$ 傾けることができる。カメラ画像と光軸の関係は変わらないので、光軸は線分OBに対して $\theta$ 傾くことになる。この操作に際しては、考えるポイントを変えた説明が必要と考える。共有事項となった光軸=視線、カメラ画像の中心=視点で考えると、この $\theta$ 傾けるは「見る」という意図をもって、視点を現状から $\theta$ 傾けることになる。つまり、単なる傾ける行為ではなく、人間の意志と直接結びついた意味が付加されると説明される。

図8にカメラ画像の中心を図7から点B'に移動した画像を示す。この時、図3に一致するよう配置されていた点A'も中心に重なって見えることが確認できる。このことから、幾何学図である図3では単なる直線ではないOA'B'が、図8では光軸となって、視線および視点が示す意図を持った映像情報を併せ持つ要素となる。さらに、図7のOABも同様に解釈できる。その際に、目の前にある実験装置の光軸をイメージする糸と比較して説明することで、より強い印象付けを行う。これらの確認をやってみせることで、幾何学図に光軸として描いた直線が、「見る」とともに「視線を向ける」という意図も併せ持つ、画像イメージとして理解される。

次に、意図した視覚イメージを説明するために、現在のカメラ画像を600 mmスケールにピントを合わせながら、ズーム機能を使ってそのまま拡大する。図7を8倍に拡大した図を図9に、図8を同様に拡大した図を図10に示す。

視線の先にある、カメラ画像の中心部のスケール像に注目してもらう。図7、8では読めなかった後方の600 mmスケールの目盛りが、図9、10では拡大され読

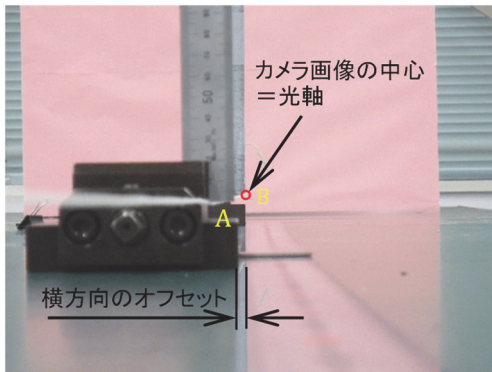


図7 点O、A、Bが重なるカメラ画像

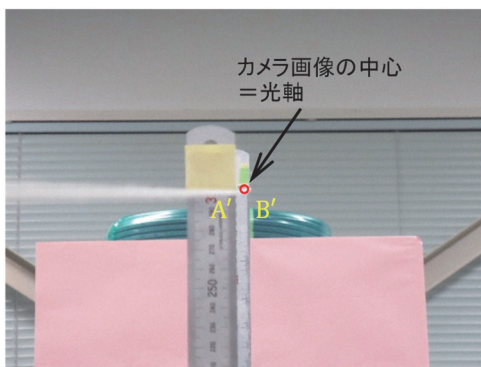


図8 点O'、A'、B'が重なるカメラ画像

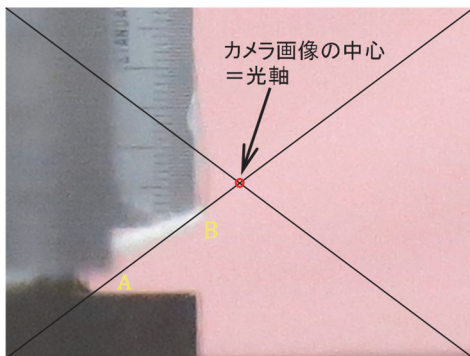


図9 図7を拡大(×8)したカメラ画像

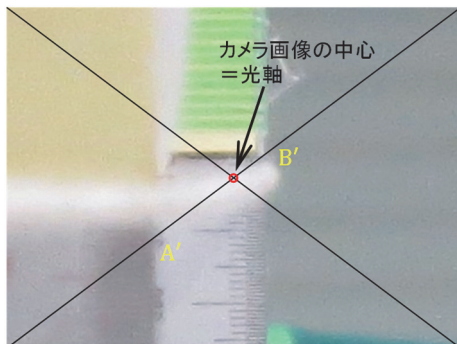


図10 図8を拡大(×8)したカメラ画像

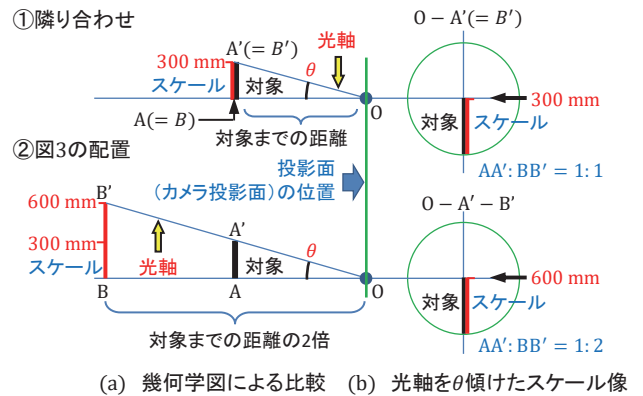


図11 スケール像の拡大原理と画像イメージ

めるようになる。これは、離れたスケールの目盛りが、読めるスケール像として取得が出来るかどうかを確認する、実測定の可否を確認する意図が含まれる。

次に、スケール像に不足していることとして、直接、実長が読み取れないことを説明する。図11に示すように、測定物に対してスケールを遠く離れたところに置くと、見かけ上で遠方にあるスケール全体が、その距離に応じて一様に縮小して見える。よって、図8、10、11(b)下図に示す光軸 $OA'B'$ を $\theta$ 傾けたスケール像では、600 mmスケールの目盛りを用いて対象を測定した場合、真の値 $AA'$ は、その読み取り値 $BB'$ に、相似比を乗じた $AA' = BB'/2$ となる。ゆえに、スケール像の相似比の関係は、測定者が実長を知るうえで前もって知るべき重要な関係となる。

しかし、その関係はカメラ画像からは分からず、図3、または図11(a)による幾何学図によってのみ示される。この事実を示し、実長と目盛りの関係を唯一表せる手段が幾何学図であることを説明する。学生には、図6の状態を真横から眺めさせて、装置の配置に糸で可視化した光軸を重ねた映像が、そのまま図3に示す幾何学図となることを確認させる。光軸さえ理解すれば、幾何学図を描くことは決して難しいものではないことを説明する。まとめとして、相似則を用いた本実験装置を用いることで、対象物からスケールを離れた測定が可能となることを、課題①の解決手段例として説明し、導入のストーリーとして完結する。

## V 光学でこに至る実験ストーリー

図3の装置を用いて課題②の解決を考えた場合、 $\Delta l$ は、図11の原理でスケール像として拡大することがで

きる。一方、実験において測定対象を温める際、対象全体の温度分布を一樣にするために沸騰蒸気を利用する。ゆえに、光学機器を対象に近づける距離にはこれ以上縮められない限界があり、安全上の理由を考慮してOAの距離は1000 mm程度必要と考える。この条件で装置を考えると、たとえば10 Kの温度変化に対し0.1 mm程度変化した $\Delta l$ を、スケール画像で3 mmになるよう拡大した場合、OBの距離は30 mとなる。さらに、実際の測定では50倍程度の拡大が必要となることから、OBは装置パラメータとして大きく逸脱した値を要求されることになる。したがって、図3の装置による課題②の解決は、現実的ではない大きな困難を伴うと考える。OAの距離にこれ以上縮められない限界が存在していることが、解決を妨げる最大の要因となっている。

それらの問題に対し、先人はオプティカルレバーを利用した、光学でこによる理想的な解決方法を考え出した。オプティカルレバーは、測定対象の $\Delta l$ を直接作用させ、図11に示されたOAに相当する距離を光学機器に無関係な形、すなわち図2の $r$ で表現する。さらに、この距離によって図11の $\theta$ に相当する微小角度で鏡を傾けることができる。この先人のアイデアは、思いつくのは簡単そうに見えて実際は大変難しい。それらを踏まえて、説明では学ぶべき参考になる視点や方法がたくさんあることを伝えていく。

図12は、図2に対しスケール像とオプティカルレバーの模式図を組合せた、光学で全体の幾何学関係図を表している。オプティカルレバーは、平面鏡（以後、鏡）とそれを載せる小さな三脚で構成され、三脚は長さ $r$ のレバーと測定脚、二本の軸脚からなる。図12(a)で示すように、測定脚を測定対象端面の点Aに、接触点を点Oとして、回転脚を基準平面に直に載せる。加熱後の $\theta$ と鏡面の傾斜角が一致するよう、鏡はレバーと直角に配置されている。加熱前の状態でレバーが基準平面に平行になるよう高さが調整されている。測定用スケールと望遠鏡は、鏡像であっても視線の先に見えていれば問題はないとして、スケール像を鏡像として取得できる対面する位置に、 $L$ だけ離して置かれている。従って、両者は加熱される対象からも十分に離されている。

次に、光学でこの動作と光軸の関係を説明する。図において望遠鏡は水平に固定されており、ゆえに望遠鏡から鏡までの光軸も、水平に固定された直線 $X_0$ として示される。測定対象を加熱すると、図12(b)で示すように、加熱前の点Aが加熱後に $\Delta l$ だけ伸びて点A'に移動し、測定対象面と直に接している測定軸が $\Delta l$ だけ押し

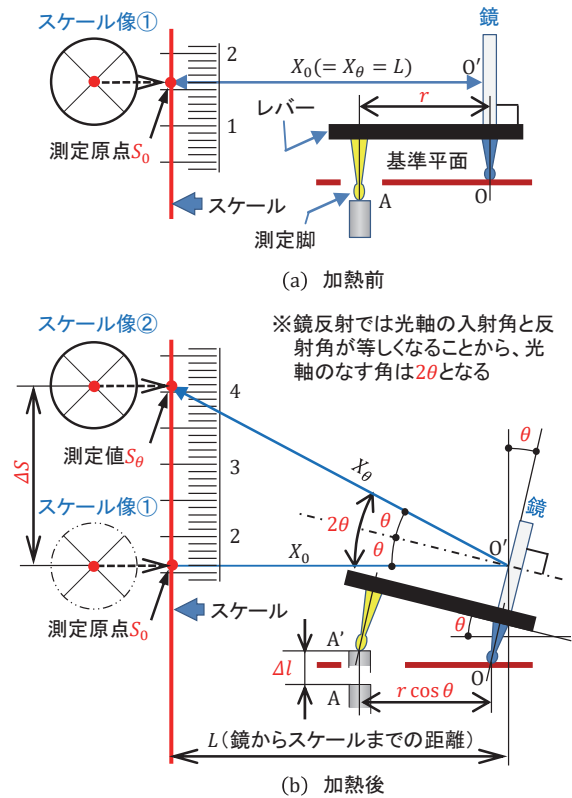


図12 スケール像を併記した光学でこの幾何学関係図

上げられる。この結果、レバーは途中に何も介すことなく $\theta$ だけ傾き、鏡も連動して $\theta$ 傾く。光軸は光の経路でもあり、入射角と反射角が等しくなる反射の法則に従う。よって、鏡からスケールまでの光軸 $X_\theta$ は、図で示すような $X_0$ から $2\theta$ 傾いた光軸となり、光軸 $X_0$ 、 $X_\theta$ の到達点は、先の配置説明より必ずスケール上の目盛り $S_0$ 、 $S_\theta$ を示す。光軸＝視線と捉えれば、鏡像などの間接的な映像を介しても、図3、11同様に、問題なく測定の不可不可を含めた、幾何学図による客観的な考察が可能となる。読み取る際は加熱前の $S_0$ を基準にとり、加熱後の $S_\theta$ の目盛りを読み込むことで $\Delta S = S_\theta - S_0$ として、 $\Delta l$ に直接対応した $\Delta S$ を求めることができる。

まとめとして、光学でこの原理に至るストーリーを説明する。最初に、図12の幾何学関係の考察から、オプティカルレバーの仕組みを式(2)で表せることを示す。さらに、 $\theta$ が微小となることから式(2)を一次近似できることを示し、光学でこの原理の導出に必要な、 $\Delta l$ と $\theta$ の比例式を式(3)として示す。

あわせて先人が行った式(2)から式(3)への展開の過程を、一次近似式を理解するための良質な課題として利用する。実際のレバーの長さ $r$ は50 mmあり、測定対

象の $\Delta l$ は80 K加熱しても高々1 mm に満たない値となる。具体的に、 $\Delta l = 2 \text{ mm}, 3 \text{ mm}$ と仮定した場合も含めて、式(3)が適用できることを実感できるように、実際に電卓で計算させて確かめさせる。

次に、式(6)の導出の糸口となる幾何学関係として、図中の $\Delta S$ 、 $L(=X_0)$ 、 $X_\theta$ で構成される直角三角形 $\triangle O'S_0S_\theta$ に注目させる。具体的には $\triangle O'S_0S_\theta$ において、光軸で説明される $L(=X_0)$ と $\Delta l$ の拡大長さである $\Delta S$ の辺比が、 $2\theta$ による $\tan$ の関係式として炙り出せることを示し、それを式(4)で表す。さらに、式(4)を一次近似した式(5)<sup>(注1)</sup>を式(3)に代入することで式(6)までの展開を行う。最後に、式(6)の $r$ 、 $2L$ 、 $\Delta l$ 、 $\Delta S$ を、図11のOA、OB、AA'、BB'に対応させて、式が相似関係による拡大を表している事を説明する。さらに、 $\tan \theta = AA'/OA = \Delta l/r$ と置くことから、オプティカルレバーを利用することで、解決を妨げる要因であったOAが $r$ に置き換えられ、課題2の解決が図られたことを述べる。

これらの流れは、一見、第三章の流れと同じに見えるかもしれない。しかし、学生は第四章で述べた、スケール像、拡大原理を着眼点として、光軸を利用した幾何学図による、図11で表した実験装置を学習している。ゆえに、図12を提示することで、理論的な知識と実際の観察を結び付け、光学でこの原理が十分理解されることを期待する。その結果、装置がどのように動作し、光学でこの原理にどのように関連しているかを自ら考え、あらたな洞察を得ることを期待する。

図13に、鏡像にピントを合わせた際のスケール像を示す。親指の先ほどの小さな鏡から鮮明な画像が得られた際、学生は先人が考えた技術を目の当たりにして驚き、素直に「すごい」と感じる機会になることを願う。

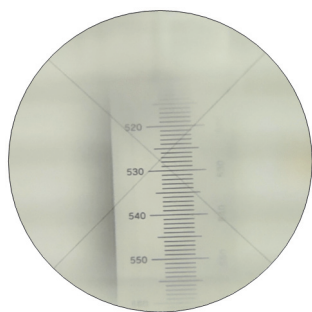


図13 望遠鏡による実際のスケール像

## VI まとめ

熱膨張の法則を検証する実験で、実験原理として利用する光学でこの原理を説明する際、目に見えない概念である光軸を利用することから、座学中心の指導では理解が不十分であった。そこで、教材および指導方法の改善を目的として、具体的には、視覚的な教材を用いた、以下の実験や指導内容を立案し実施した。

- 光学でこの原理を先人の創意工夫の歩みと捉え、ストーリー性を着眼点に、その過程を指導側主体でやって見せる実験を立案し実施した。
- 実験時に映像を共有する手段としてデジタルカメラの画像を利用し、光学でこの原理理解に必須となる光軸を、視覚化し知識を正しく把握できるよう第四章の実験を、2コマの授業時間で実施した。
- 着目する現象として、スケール像、およびその拡大原理をあげ、光軸で共有化した画像イメージと幾何学図を用いた説明を行い、円滑な理解を促した。

成果として、学生が本実験の装置を組み立てる際に、光軸を意識した幾何学図を利用し、自ら考えて組み立てる姿勢が見られた。

### [注]

- (1) 光軸 $X_0$ が水平に対し $\delta$ 傾いた場合、 $\triangle O'S_0S_\theta$ は直角三角形とはならず、反射の法則から $S_0/L = \tan(2\delta)$ 、 $S_\theta/L = \tan(2\theta + 2\delta)$ が導かれる。従って $\Delta S/L = \tan(2\theta + 2\delta) - \tan(2\delta)$ となるが、この時 $\theta$ は微小であるため、 $\delta$ が微小であるとする、 $\Delta S/L = (2\theta + 2\delta) - 2\delta = 2\theta$ となり、この場合も式(5)が成り立つ。

### [参考文献]

- (1) 光てことは、<https://kotobank.jp/word/%E5%85%89%E3%81%A6%E3%81%93-119226>, 2022.11.7。
- (2) 稲川明雄、山本五十六のことば、新潟日報メディアネット、2011年、pp.70-71。
- (3) 光学第3章幾何光学、[http://qopt.iis.u-tokyo.ac.jp/optics/3lensU\\_A4.pdf](http://qopt.iis.u-tokyo.ac.jp/optics/3lensU_A4.pdf), 2023.5.12。

# 射出成形金型製作の流れを体系的に習得するための訓練課題の提案

東海職業能力開発大学校 石川 豊

Proposal of training subjects for systematically mastering the flow of injection mold manufacturing  
ISHIKAWA Yutaka

**要約** 東海職業能力開発大学校が所在する岐阜県は、金型産業が盛んなため、地域産業ニーズに即した金型製作からプラスチック製品成形までの一連の流れを学べる教材が必要である。特に、射出成形機は多くの職業能力開発大学校に整備されているため、射出成形金型を題材としたものが教材として適している。しかし、金型製作からプラスチック製品成形までの一連の流れを学べる短期訓練に適した教材がないため、本報では応用課程の標準課題での実施を想定した訓練課題の開発内容を報告する。

## I はじめに

東海職業能力開発大学校が所在する岐阜県は、愛知県に隣接していることもあり、金型産業が非常に盛んである。その中でも産業中分類別でプラスチック製品の出荷額割合を見ると、全国の製造業では 3.8% で第 13 位、岐阜県製造業における出荷額割合においては 8.4% で、生産用機械器具製造業に次いで第 3 位である<sup>(1)</sup> (図 1)。

このように、岐阜県は金型産業が盛んなため、地域産業ニーズに即した金型製作からプラスチック製品成形までの一連の流れを学べる教材が必要である。射出成形機は多くの職業能力開発大学校に整備されているため、射出成形金型を題材としたものが教材に適していると考えられる。

### 1 射出成形金型の生産工程

射出成形金型（以降、金型）は、注文を受けてからの製作となることから、納期に余裕がなく、最短の生産期間が求められる。また、数十個の複数部品で構成されるため、それらの生産工程には、様々な部品を設計・製作するための多様な技能・技術および、設備を使用する<sup>(2)</sup> (図 2) が必要とされる。

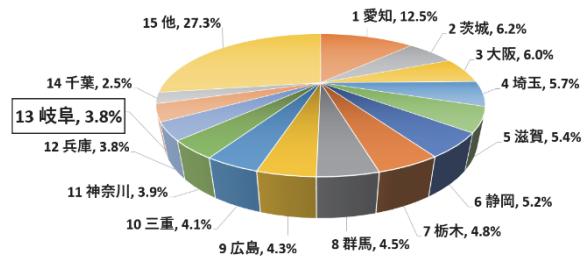


図1 プラスチック製品の出荷額割合

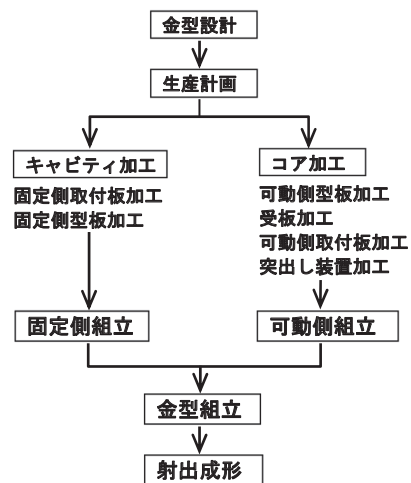


図2 射出成形金型製作の生産工程

## 2 金型設計製作、成形作業の職務分解

応用課程標準課題での活用を前提とし、金型設計製作および成形作業における職務分解を表1に示す。一般的な2プレート金型であれば、当校の生産設備で製作可能である。

表1 金型設計製作、成形作業における職務分解

作業内容	構成要素	職務
設計作業	製品部設計	2次元・3次元 CAD/CAM
	金型設計	2次元・3次元 CAD/CAM
製作作業 (加工・組立)	固定側取付板	汎用・NCフライス盤
	可動側取付板	汎用・NCフライス盤
	固定側型板	汎用・NCフライス盤
	可動側型板	汎用・NCフライス盤
	キャビティ コア	汎用・NCフライス盤 マシニングセンター ワイヤー放電加工機
	受板	汎用・NCフライス盤
成形作業	突出装置	ボール盤、旋盤 汎用・NCフライス盤 精密切断機 仕上げ
	仕上げ、組立	仕上げ、組立
成形作業	射出成形	射出成形機

## II 事前アンケート

金型設計製作および成形に関する知識および技能の習得状況を確認するため、応用課程1年生14名に対して、入学半年後の9月にアンケートを実施した。

前述の職務分解および、過去に金型設計製作・成形を行う企業に対して行った新入社員教育セミナー内容からアンケートを作成した。内容は多岐にわたるため、金型設計・製作・成形作業の3つに分けたものとし、評価は、5段階評価とした。なお、学生は専門課程において金型の専門的な授業は受けておらず、CADの課題図や材料の授業において関連知識を少し学んだ程度である。事前アンケート表の一部を表2に示す。

また、各作業の習得度を100点とした場合の習得度割合を求め、それを製作作業と設計および成形作業の対比で表したものを図3(図中のアルファベットは学

表2 事前アンケート(設計作業)

	用語	5	4	3	2	1
		良く知っている	知っている	多少は知っている	聞いたことはある	知らない
設計作業	キャビティコア					
	パーティングライン					
	抜き勾配					
	アンダーカット					
	ゲート方式					
	エジェクタ方式					
	製品取り数(多数個取り)					
	ゲート形状					
	ランナー形状					
	成形品肉厚					
	リブ肉厚					
樹脂流動解析						

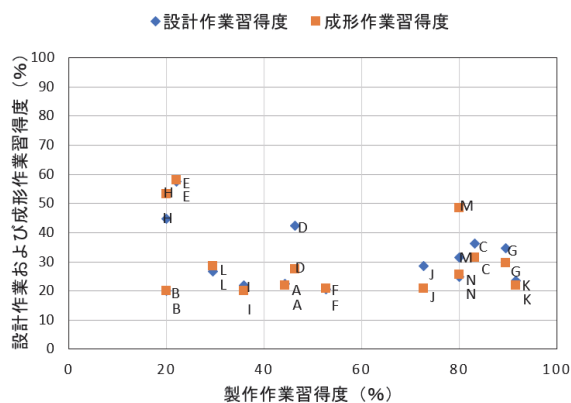


図3 製作作業習得度と設計・成形作業習得度対比

生識別記号)に示す。

図3から、金型製作作業について60%以上習得している学生でも、設計作業および成形作業については30%から40%程度の習得度しかないことがわかる。金型を製作したことがなくても、各種工作機械を使用した実習は経験しているため、製作に必要な加工・組立関係の知識・技能はある程度有している。しかし、製作に関する知識・技能に対し、設計および成形に関する知識・技能がほとんど習得できていないことがわかる。このような結果となったのは、金型に関する要素の一部は学んでいるものの、設計、製作、評価までの一連の流れを学べていないことが原因であり、課題であるといえる。

## III 訓練課題の開発

アビリティ訓練や専門課程の訓練課題において、射出成形金型製作の要素を一部切り取り、機械製図、CAD/CAMの課題としているものや、金型製作に関するある程度の知識があれば非常に役立つeラーニング教材<sup>9)</sup>は存在している。しかし、応用課程の標準課題



などへの活用を考えると、製品設計、金型設計、加工、組み立て調整、射出成形による製品の製作および評価までの一連の流れを、短期間で実践的に学べる訓練課題が存在していない。この問題を解決するため、金型を小型化、製品を単純化することで、標準課題にて実施可能な訓練課題を開発し、本課題により、製品完成までに必要な基礎知識と技能・技術を習得する。

## 1 カリキュラム上の位置付け

射出成形金型を題材とすることで、専門課程で習得した、製図、機械加工（汎用加工・NC加工）、測定およびCAD技術の知識・技能の活用だけでなく、プラスチック材料や成形設備に関する知識、技能の向上が図れる。また、製品形状や各種要素をグループで検討することで、ヒューマンスキル・コンセプチュアルスキルの向上も期待できる。

## 2 課題の仕様

標準課題の時間内で製作するために、整備台数の多いNCフライス盤にて主要部品が製作可能な仕様とした。また、射出成形金型は大きく分けて2プレート金型、3プレート金型に分けられるが、金型設計・製作の基本を学ぶことおよび設計・製作時間から、2プレート金型とした。課題の仕様を以下に示す。

1. 固定側および可動側型板サイズは100mm×100mm×30mmとする。
2. 製品部は複雑な形状とせず、NCフライス盤による2.5軸加工で加工可能な形状とする。
3. 金型部品の寸法精度評価ができるものとする。
4. 成形品の寸法精度評価ができるものとする。

## 3 金型部品の共通化

金型設計の中でも最重要項目である、製品部および製品部分を構成する固定側・可動側型板の設計には多くの時間が必要となる。そこに十分な時間を確保しつつ、加工時間、成形時間を確保するため、2枚の型板以外は共通部品（図4）とした。



図4 共通部品

## 4 課題の流れ

金型設計・製作から成形までの一連の流れを学ぶため、以下の流れで課題を行うこととした。図5に課題実施フローを示す。標準課題（10単位180H）での実施を想定し、時間を配分した。（ ）内の数字は作業内容の予定時間を示す。製品部の設計に時間を多く割り、共通部品を多く使用するため、金型全体の設計は短時間としている。なお、1グループは最大5名を想定し、加工部品点数は20点程度（エジェクタピンの数はグループにより異なる）の課題である。

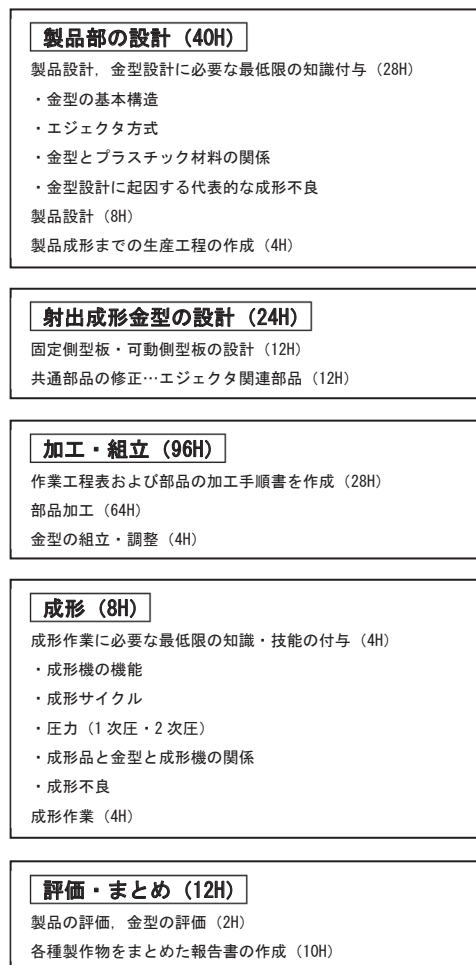


図5 課題実施フロー

## 5 製品部の設計

成形機の仕様を満たす製品部分をグループで検討し、設計する。製品の例として、図6に第58回技能五輪全国大会プラスチック金型職種「課題図」を示す。こちらの課題は、実際に汎用フライス盤で製作されており、CAMやマシニングセンターを使用しなくても、仕様に挙げた、「複雑な形状とせず、NCフライス盤に

よる 2.5 軸加工」で十分金型製作が可能である。

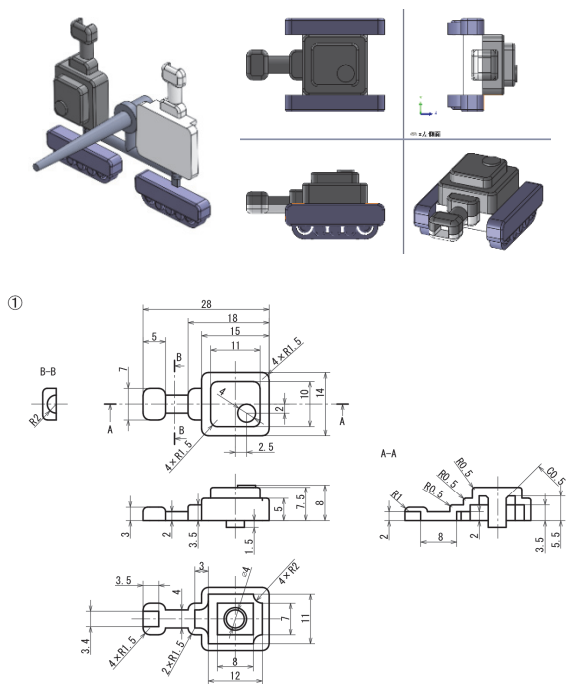


図6 第 58 回技能五輪全国大会「課題図」(一部抜粋)

製品部の仮設計が終わったら、次に成形の可否を検討する。板厚に対する流動長 (L/t L: 流動長 t: 成形品板厚) や逆勾配の有無、樹脂流動解析による流れの合流点や充填バランスの検証など、プレートの設計前に成形性を検証することが重要であることを学習する。図 7 に抜き勾配評価例を示す。図 7 の例では緑色の部分が評価値の  $1^\circ$  を上回っており、修正の必要はないが、黄色の部分については検討する必要がある。また、赤色の逆勾配 (アンダーカット) 部は無いことがわかる。

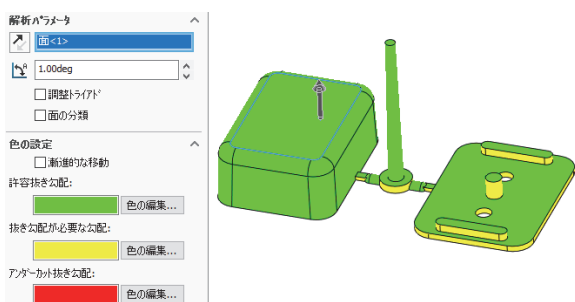


図7 抜き勾配評価例

次に、図 8 に樹脂流動解析例 (充填時間) を示す。図 8 の例では、射出から約 0.7 秒経過後に右側部品は充填完了しているが、左側の部品が充填完了していないことがわかる。成形サイクル短縮のために、充填時間ができるだけ均一になるよう、ランナー径やゲート

数の増加など、樹脂の供給方法を検討する必要がある。このように、検証後に不具合があれば、製品形状、製品配置位置の修正を行い、成形可能と判断できるまで、検証を繰り返す。

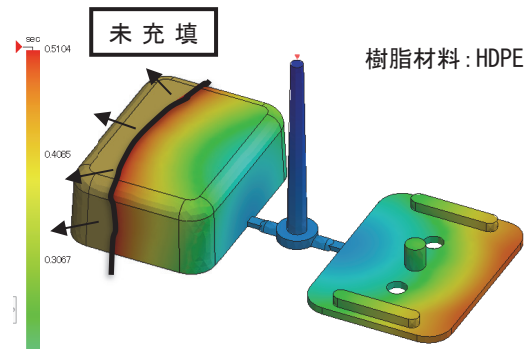


図8 樹脂流動解析例

## 6 固定側・可動側型板の設計

製品は、実成形において、冷却収縮後に図面寸法にならない。そのため、使用する樹脂に応じた収縮率にて、3次元製品モデルのサイズ変更を行う。その後、固定側・可動側型板それぞれに、製品部分の要素を追加した3次元モデルの作成後、2次元図面を作成する。図 9 に製品部追加後の固定側型板図面 (一部抜粋：製品部詳細は別図面) を示す。

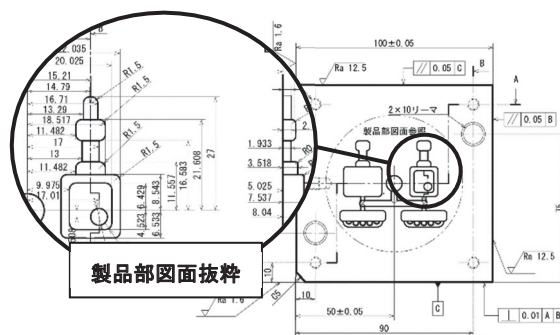


図9 製品部追加後の固定側型板図面(一部抜粋)

この段階で、製品部は完成しているが、可動側型板には、製品を取り出すためのエジェクタピン穴を配置する必要がある。製品高さが高く凸部への接触面積が多い部分や、切断の恐れのあるランナーおよびゲート付近に、バランスを考慮してエジェクタピンの配置を決定し、図面の完成となる。本来は、金型冷却回路としての水または油を通す穴が必要になるが、金型が小型な点、製作時間の点から本課題では省略している。

## 7 共通部品の修正

主となる 2 プレートの設計終了後、共通部品に関してもピン位置、ピン長さをモデルに反映させ、図面を修正する。図 10 に共通部品の修正図を示す。

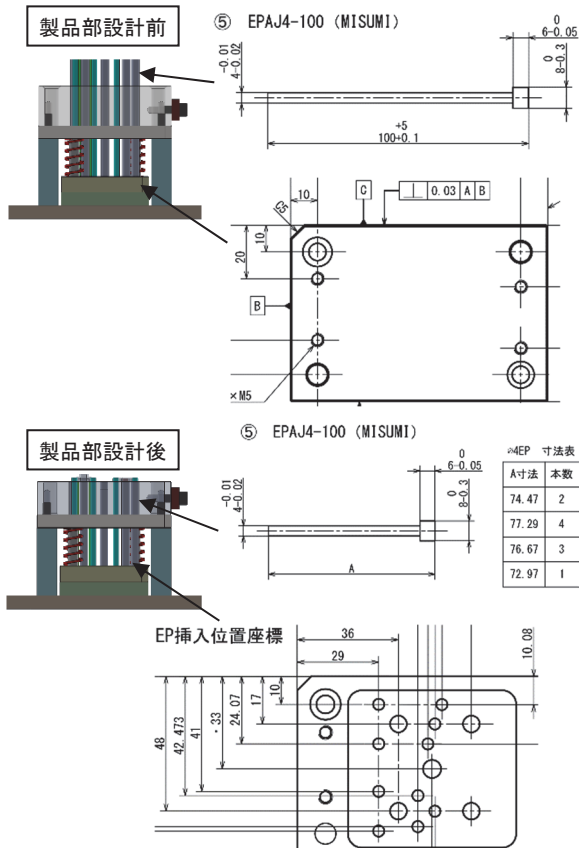


図10 共通部品の修正図(一部抜粋)

## 8 加工・組立

図面完成後は、加工手順書を作成し、標準部品の追加加工を含めて部品を製作する。図11に加工素材を示す。図内の太枠で囲んだキャビティプレートおよびコアプレートに関しては、各グループで検討した製品部を製作する。その他の部品は共通部品となり、加工内容もほぼ共通となるが、前述のⅢ. 7節に示すエジェクタピンに関連する共通部品の修正内容は穴位置やピン長さ等が各グループで異なる。

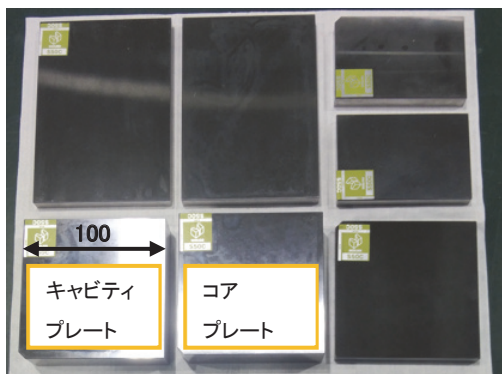


図11 加工素材

## 9 成形

加工・組立完了後は、成形作業に必要な最低限の知識・技能の付与を行い、成形する。成形作業の習熟度は他の加工作業と比較すると低いと想定されるため、成形作業に入る前に各種の事前確認が重要となる。そのため、成形機への取り付け可否および成形の可否を確認するチェックシートを作成した。図12に成形前チェックシートを示す。

射出成形機的能力	製品・金型のサイズ等
1 チェーンブロックの最大積載量	金型の重さ (比重 g/cm <sup>3</sup> )
2 成形機側 ロケットリング穴径	金型側 ロケットリング径
3-1 タイバー間隔	金型の幅 (または厚さ)
3-2 ダイブレードの寸法	金型の高さ
3-2 最小金型厚み	金型の厚さ
4-1 エジェクターロッドの押出量	製品の厚さ
4-2 エジェクターロッド径	金型の穴径
5 型締めストローク (最大型開き距離)	製品取り出しに必要な距離
6 射出容量	製品の重量
7 成形機の型締め力	型開き力 (型内圧力 × 成形品投影面積)

図12 成形前チェックシート

チェックシートにより取り付け可能を確認したのち、金型を成形機に取り付ける。その後、金型に適した成形条件になるまで試打ちを行い、成形条件が整った後、実際の製造現場を意識して、半自動または全自動サイクルによる連続成形を行う。成形不良がわかりやすいように、材質は透明なポリスチレンを使用した。図13に成形後の製品例を示す。

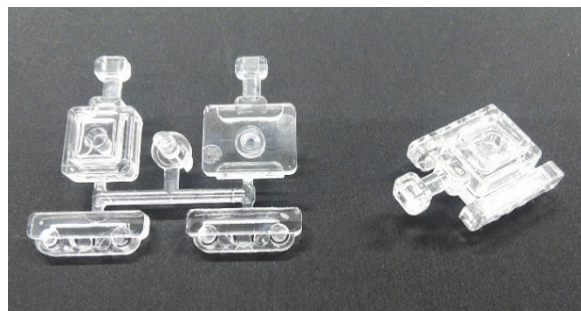


図13 成形後の製品例

## 10 成形品の評価

金型は製品を作るための道具であり、単体では意味を成さない。成形したものが製品となり市場に出ていくこととなる。そのため、図面と相違がないか、組立可能かどうかを確認するための加工部品の検査は行うが、本課題では成形したものの評価を重視すべきと考え、成形品評価表を作成した。表3に成形品評価表を示す。図中の網掛け部は設計した製品の寸法により変わる。

表3 成形品評価表

項目	詳細	減点	減点数	減点小計
生産可否 (10個連続生産)	製品の自動生産 全自動モードにて成形し、金型や成形機に触れることなく製品を自垂落下させることができる。 できなかったものに付き各2点減点	2.0		0.0
製品外観	・目視で明らかな形状違い (窓穴のふさがり、位置ずれなど)	10.0		0.0
製品1 寸法 ±0.05を外れた場合減点	製品寸法 a	2.0		0.0
	製品寸法 b	2.0		
	製品寸法 c	2.0		
	製品寸法 e	2.0		
	製品寸法 f	2.0		
	製品寸法 g	2.0		
製品2 寸法 ±0.05を外れた場合減点	製品寸法 h	2.0		0.0
	製品寸法 i	2.0		
	製品寸法 j	2.0		
	製品寸法 k	2.0		
	製品寸法 l	2.0		
	製品寸法 m	2.0		
製品の組み立て状態	各部品を手を持った状態で部品の落下がある。 (嵌め合わせ部が著しく緩い)	2.0		0.0
	嵌めあい部分に割れなどの破損が生じている。 (嵌め合わせ部が著しく固い)	2.0		
製品の外観	① 金型でできばえによるもの ・離型キズ ・エジェクタ部の段差など 総合的に見て、上(2点)中(1点)下(0点)を判断	2・1・0 のいずれか		0.0
	② 成形条件によるもの ・フローマーク ・ジェットニング ・離型剤の付着など 総合的に見て、上(2点)中(1点)下(0点)を判断	2・1・0 のいずれか		
	③ 充填状態 ・ショートショット ・ひけ ・クラック ・ウェルド など 総合的に見て、上(2点)中(1点)下(0点)を判断	2・1・0 のいずれか		
得点				100.0

図14に製作した試作金型を示す。総重量は約9kgと非常に軽く、運搬や組み立ても容易に行えるものとなっている。

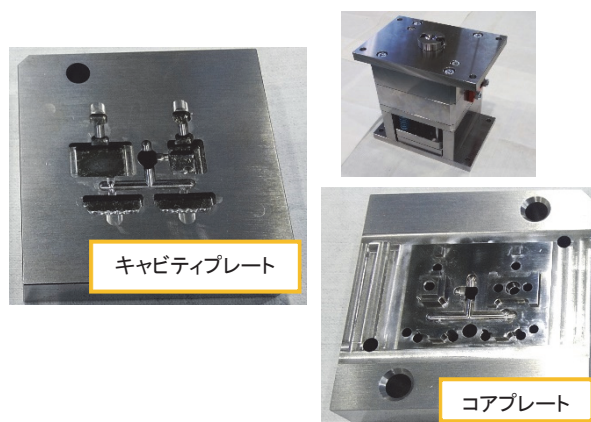


図14 試作金型

## V おわりに

標準課題を想定した訓練課題として、射出成形金型製作、成形、評価の流れを体系的に習得するための訓練課題を検討した。学生へのアンケートから、射出成形金型が身近にあり、知識・技能を得られる環境でありながら、それらを身に付けることができていることが確認できた。その問題を解決するため、金型を小型化、製品を単純化することで、短期間で実施可能な課題の開発および試作金型を製作した。その結果、標準課題のカリキュラム時間で十分製作可能であることがわかった。

今後の課題として、授業として実施していないため、課題の有効性の確認ができていないことがあげられる。また、標準課題に限らず、精密加工応用実習、CAD/CAM 応用実習、CAE 実習など、複数科目の組み合わせによる実施方法の検討も必要である。

## IV 金型の試作

金型を試作し、標準課題で実施可能かを検証した。「Ⅲ. 4 節 課題の流れ」で述べた時間に対し、加工手順書の作成時間は約36時間となり想定した28時間より長くなった。これは一人で手順書を作成したためであり、グループで分担して行えば減らすことができる。逆に加工時間は想定した64時間より短く、約40時間となった。これは、加工手順書の作り込みの違いや、学生と教員との経験差を考慮すれば、妥当な時間であると判断する。本課題では熟練を要する磨き工程は省略しているが、製作時間に余裕ができるのであれば、磨き工程も追加可能である。

### 【参考文献】

- (1) 公益財団法人 岐阜県産業経済振興センター発行、主任研究員 丹羽俊二、「プラスチック製品製造業 令和2年度」。
- (2) 星野実、藤田紀勝、古賀俊彦、太田和良、新家寿健、岡部眞幸、「射出成形金型製作における技能の技術化」実践教育、Vol. 33、No.3、2018年、pp.15-20。
- (3) 職業能力開発総合大学校 基盤整備センター、「プラスチック射出成形金型の設計・製作に関するeラーニング教材」。

# ランプロボットを用いた遠隔操作可能な 遊戯ボッチャ用投てきシステムの開発

東海職業能力開発大学校 石川 裕尚

Development of a remote-controllable throwing system using a ramp robot for unofficial bocchia

ISHIKAWA Hiroataka

**要約** 専門課程の総合制作実習のテーマとして、電子回路技術、プログラミング技術、通信技術、マイクロコンピュータ技術など、学生がこれまでに学んできた内容が含まれていることが望ましい。その上で、社会にどのような問題があるかを「気づき」、問題を解決するための技能・技術を「主体的」に習得し、その過程でモノづくりを「楽しむ」ことが必要と考える。今回、生涯スポーツとしても東京パラリンピックでも注目度の高い競技であったボッチャのオンライン化をテーマに、遠隔地からでも遊戯ボッチャに参加できるようボッチャのボール投てき器具であるランプをロボットにした、遠隔操作が可能なボッチャ用の投てきシステムを開発した。本システムでは、各種アクチュエータを駆動させる電子回路、システムを遠隔で操作するためのネットワーク構築、そして、それらを制御するためのソフトウェアを制作することで、専門課程1年生で学んだことを生かすだけでなく、機械工作やPythonなどの新たな技能・技術を習得させることができた。1年を通して総合制作実習を行うため、実際にボッチャをプレイしたり、開発中の本システムを使用した大会を開催してみたりして、必要な機能や工夫を学生同士で相談しつつ、総合制作実習を通して、モノづくりを楽しみながら開発することができた。

## I はじめに

2019年12月頃からの新型コロナウイルス感染症の流行により、政府による緊急事態宣言に伴う外出自粛要請が発せられ、室内で過ごすことを余儀なくされることとなった。そのような状況下でも生産活動を止めることはできない。企業や行政はそれまでの旧態依然としてきた業務や習慣をデジタル化、オンライン化の着手で対応してきた。すなわち社会の常識が急速に変化することとなった。

見知らぬ人だけでなく、同僚や取引先と直接対面することが避けられ、コミュニケーションを取るための手段としてもオンラインに注目が集まった。オンライン会議アプリケーションを利用した飲み会や、3次元仮想空間上でイベントや社会生活を送ることができるサービスまで登場するに至ったのである。

一方、簡単にオンラインへの移行ができない分野も

ある。スポーツである。娯楽であるビデオゲームが競技に変化したeスポーツというものもあるが、己の鍛えた肉体や技を競う旧来のスポーツは、オンライン化することが非常に難しい。特に生涯スポーツは、いつでも、どこでも、だれでも参加することができ、コミュニケーションツールとして社会の重要な役割を担ってきたが、コロナ禍によりその意義が奪われてしまったのである。

## II ボッチャの概要

生涯スポーツは「生涯を通じて、いつでも、どこでも、だれでもスポーツに親しむこと<sup>(1)</sup>」と定義されており、数ある生涯スポーツの中でもボッチャはその定義に最も適しているといえる。

専用のボールを用意する必要はなく、その辺の石ころや、新聞紙を丸めてボールにしてもよい。



図1 バリアフリーに問題がある体育館の例

屋外でも体育館でもプレイすることができる。遊びであれば決められたサイズのコートがあってもなくてもよい。

足が動かなくても、手が動かなくても、脳障がいであっても、目が見えなくてもプレイすることができる。元来、重度脳性まひ者や四肢重度機能障がい者のために考案されたスポーツがボッチャである。

### 1 ボッチャの課題

健常者でも障がい者でも同じルールでプレイできるボッチャは、生涯スポーツとしての魅力を備えているといえるが、一方、大会など集合して競技を行う場合、下記の問題点が挙げられる。

大会などを開催する場合、体育館を利用することが多いが、図1のように会場がバリアフリー非対応であるなど、インフラに問題がある場合が考えられる。

身体に障がいを抱えている者や、遠方に住まう者、交通手段が限られている者などが参加しようとする場合が考えられる。

何らかの理由で、直接対面して他者とのふれ合いに恐怖を抱く者<sup>2)</sup>が参加しようとする場合が考えられる。



図2 ランプの例<sup>5)</sup>

上記に挙げた3つの諸問題をオンライン化によって解決する試みである。段差、地理的問題は昨今の様々なオンライン化にて解決をみているが、心理的問題もオンライン化によるコミュニケーションの醸成は一定の効果を得られると考えられる。

eスポーツをはじめとするオンラインゲームなどは映像や文字、音声によるコミュニケーションがなくとも成立しており、オンラインを通して共感する心や協力関係をはぐくむことも可能<sup>3)</sup>である。

## 2 競技ボッチャのルール

日本ボッチャ協会競技規則<sup>4)</sup>より抜粋・要約する。

### 2-1 概要

ジャックボール（目標球）と呼ばれる白いボールに、6球ある自分のボールを相手より近づけられるかを競う。ジャックボールや相手のボールを弾き、自分が優位なボール配置にするなど戦略性も問われる。

### 2-2 クラス分け

障がいの種類と程度によって表1の通り4クラスに分けられる。

### 2-3 ランプ

BC3クラスの選手が使用し、ボールを転がすことで投てきする勾配具。長さや投てき位置を調節することができる。ランプの例を図2に示す。

表1 競技ボッチャのクラス

クラス	対象	投てき	アシスタント
BC1	脳原生疾患	可（足蹴り可）	○
BC2	脳原生疾患	可	×
BC3	脳原生疾患 非脳原生疾患	ランプを使用	○（ランプオペレータ）
BC4	非脳原生疾患	可	△（足蹴りの選手のみ）

BC1： 車いす操作不可で四肢・体幹に重度のまひがある選手

BC2： 上肢で車いす操作がある程度可能な選手

BC3： 自力による投てきができず、ランプオペレータによるサポートでランプを使用し競技を行う選手

BC4： 頸髄損傷や筋ジストロフィーなど、重度四肢機能障がいのある選手

### 2-4 ボール

周長が 270 mm±8 mm 以内、重さは 275 g±12 g 以内に規定されているが、硬さや材質は自由で選手のプレイスタイルにより異なる。

### 2-5 コート

図3にコートレイアウトを示す。プレイヤーごとに使用できるスローイングボックスが定められており、異なるスローイングボックスに移動することはできない。

## III 開発したポッチャシステム

競技ポッチャのルールをベースに、ルールの調整をした。コートは競技ポッチャの面積の 1/4 程度とした。これは後述するランプロボットの仕様として、最大投てき距離を 6 m 程度にしたことによる。また、スローイングボックスの仕切をなくし、ランプロボットで移動可能とした。図4にコートレイアウトを示す。

市販のポッチャ専用ボールは非常に高価なため、市販されている 2.4 インチ（直径約 60 mm）のゴムボールをベースに自作した。重量調整のためにゴムボール

に穴をあけて芯材を詰め、大きさ調整のためにゴムボールの表面に外皮を貼りつけた。競技ルールに近づけるため、芯材や外皮を変更し評価（勾配具長さ 1 m、角度約 30 度からボールを投てき）を行った。

表2に示す評価結果より、No.5のボールを採用した。大きさは直径約 62 mm、重さは約 177 g となり、競技ルールより小さく軽くなった。図5に自作ボールを示す。

表2 自作ボールの評価

No	芯材	外皮	評価
1	小石	新聞紙とビニルテープ	大きさ重さは良いが、直進性が悪く、ねらった方向への投球が難しい
2	小石	綿とビニルテープ	同上
3	スライムのおもちゃ	新聞紙とビニルテープ	使用していると液体が漏れる
4	小石と除菌砂	ビニルテープ	重さは良いが、大きさと直進性にバラツキがある
5	除菌砂	ビニルテープ	大きさ重さは競技ルールより小さく軽い。直進性が良く、バラツキ少ない

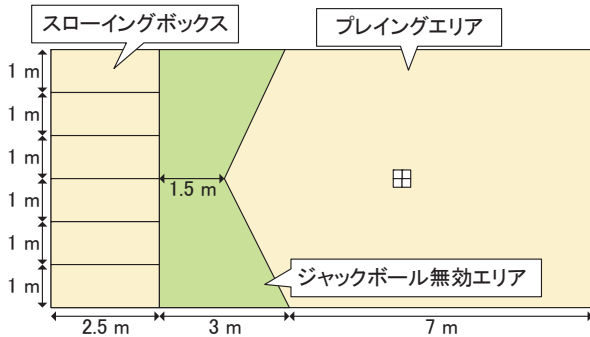


図3 ポッチャコートレイアウト

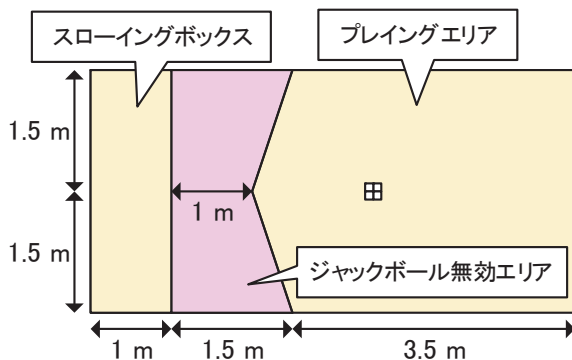


図4 本システムのコートレイアウト



図5 自作ボール(左:No.1、右:No.5)

## 1 ハードウェア構成

製作したランプロボットの仕様を表3に、外観を図6に、ハードウェアブロック図を図7に示す。

### 1-1 制御コントローラ

コントローラには Raspberry Pi 4 B (OKdo 製) を採用した。ランプロボットのモータ制御、測距センサによる緊急停止処理、Web カメラの映像配信、操作画面の配信などを行う。今回使用した Raspberry Pi 4 B の仕様を表4に示す。

### 1-2 Web カメラ

投てき目標を確認するため、ランプ上部に Web カメラ BSW-500M (BUFFALO 製) を設置した。表5に仕様を示す。

表3 ランプロボットの仕様

寸法(全幅 x 全長 x 全高)	40x96x66 mm(突起を含む)
質量	7.7 kg
ランプ機構	滑り台式
バッテリー駆動時間	約 30 分
移動方向	全方位
ボール発射機能	サーボモータによるゲート開閉

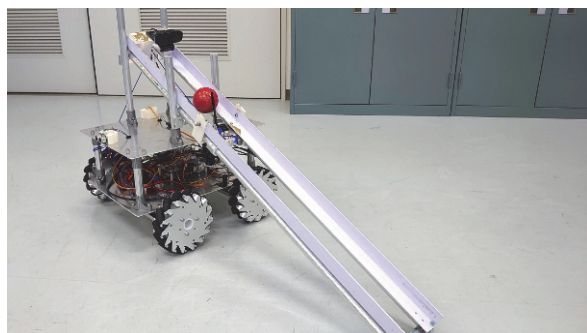


図6 ランプロボット

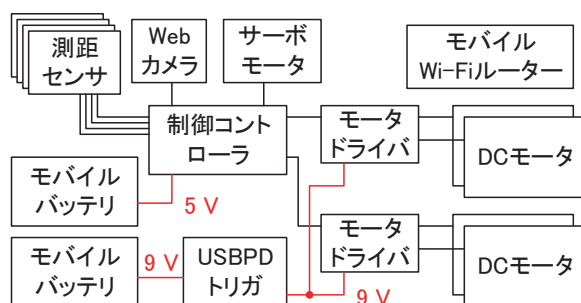


図7 ハードウェアブロック図

オートフォーカス機能があると、ランプロボット移動中にピントがずれて目標を認識しづらくなるため、固定フォーカスとし、全体を確認しやすい広い視野角度のカメラを選定した。最大解像度は 1920x1080 とあるが、Raspberry Pi 4 の処理速度と、インターネット接続による遅延を考慮し、現在主流の Full HD モニタや、スマートフォンでも問題なく映像を認識できるサイズである、640x480 に設定した。

### 1-3 測距センサ

ランプロボットが障がい物や人間に近づいた際、安全のためモータ駆動を停止するために、超音波センサ US-100 (adafruit 製) を、カメラの死角となるロボットの後方と左右3箇所に設置した。表6に仕様を示す。

### 1-4 モータドライバ

コントローラの電力とモータの電力を切り分けるため、モータドライバモジュール HW-095A (ノーブランド) (モータドライバ L298N (ST マイクロエレクトロニクス製)) を採用した。PWM 信号による速度制御、Hブリッジ回路により正逆回転制御、モータ駆動のための電流 (最大 2A) が制御可能となる。

表4 Raspberry Pi 4 B の仕様

CPU	Broadcom BCM2711 (quad-core)
メモリ	4 GB
電源定格	DC 5V
消費電流	1.7 A (最大)
その他	USB ポート x4、有線 LAN、HDMI x2、microSD x1、40 ピン GPIO、Bluetooth 5.0、無線 LAN など

表5 BSW-500M 仕様

インタフェース	USB2.0
最大解像度	1920x1080 (30 fps)
フォーカス	固定
視野角度	約 120 度

表6 US-100 仕様

電源/ロジック電圧	DC2.4~5.5 V
測定距離	20 mm~4500 mm
測定角度	15 度
精度	3 mm + 1 %



表7 12 V DC コアレスモータの仕様

非負荷時速度	8100 rpm
定格回転数	120 rpm
負荷電流	1400 mA
ギア比	64:1
停動トルク	50 kgf・cm
連続トルク	17 kgf・cm

### 1-5 DC モータ

12V DC コアレスモータ（メーカー No.16002、NexusRobot 製）を採用した。エンコーダを搭載しているが本件では使用していない。表 7 に仕様を示す。

### 1-6 ホイール

152 mm メカナムホイール（メーカー No.14165、NexusRobot 製）を採用。円周上に 15 個の小型ローラが車軸に対して 45 度の角度で搭載されており、各ホイールの回転方向を制御するのみで全方位移動が可能。図 8 にメカナムホイールを、図 9 に移動特性を示す。図 9 中の斜線は小型ローラの角度を表す。



図8 メカナムホイール

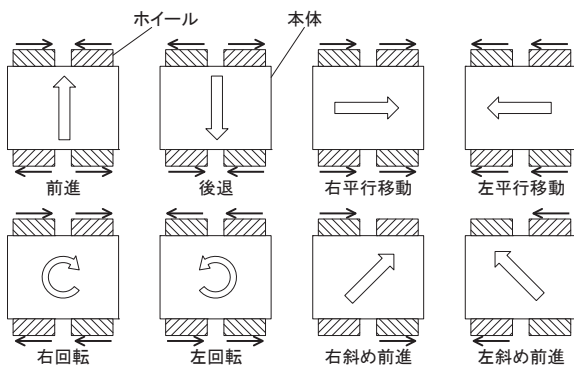


図9 回転方向による移動特性

### 1-7 サーボモータ

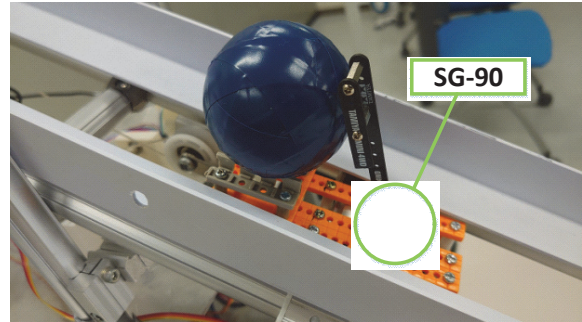


図10 スタータ機構

ランプロボットに取り付けた勾配具より、ボールを発射するためのスタータ機構を駆動する。ホビー用途として広く普及している SG-90（Tower Pro Pte. 製）を採用した。スタータ機構を図 10 に示す。

### 1-8 電源

モバイルバッテリーの Anker PowerCore Essential 20000 PD（Anker 製）を採用した。表 8 に仕様を示す。

表8 Anker PowerCore Essential 20000 PD の仕様

充電容量	20000 mAh
入力電圧/ 最大入力電流	5 V / 3 A 9 V / 2 A 15 V / 1.2 A
出力電圧/ 最大出力電流	5 V / 3 A 9 V / 2.22 A
安全機能	サージ保護、高電圧出力防止、出力電流調整、自動電流最適化、ショート防止、過剰放電防止、出力温度管理、その他 <sup>(6)</sup>

Raspberry Pi 4 の公式 AC アダプタは 5.1 V / 3 A であり、高負荷時でも安定して電力を供給できるよう、同等の出力を得られる USB Power Delivery（USB PD）対応のモバイルバッテリーを選択した。DC モータ駆動用の電源としても、同じモバイルバッテリーを採用した。USB PD トリガチップを利用することで、モータドライバを USB PD 機器としてバッテリーに認識させることができ、9V の給電をしている。

従来このようなロボットには、リチウムポリマーバッテリーなどの高出力が可能な電源を利用することが多いが、出力が高い分取り扱いが難しく、高度な安全設計が求められる。十分な安全機能が搭載された USB PD 対応のモバイルバッテリーを採用することで、安全かつ簡単なバッテリー交換が可能となった。

## 2 ソフトウェア構成

図 11 にソフトウェアブロック図を示す。Raspberry Pi 4 に Web サーバを構築し、モバイル Wi-Fi でインターネット上に公開する。利用者はパソコンやスマートフォンなどのインターネットブラウザで、ランプロボットのサイトにアクセスし、ブラウザ上の映像やボタンを利用してランプロボットを操作する。

### 2-1 Web サーバ

Python 用の Web アプリケーションフレームワークである Flask を利用して Web サーバを構築する。ここでは、ランプロボットの操作画面を提供し、MJPG-Streamer<sup>7)</sup>で取り込んだランプ上部のカメラ映像を配信する。図 12 に配信する操作画面とカメラ映像を示す。

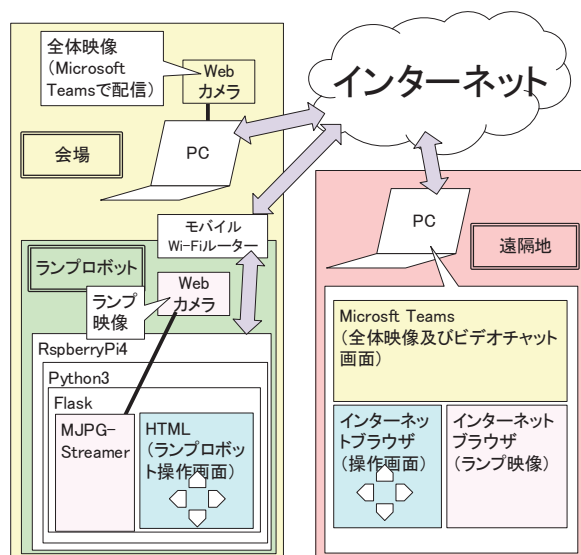


図11 ソフトウェアブロック図

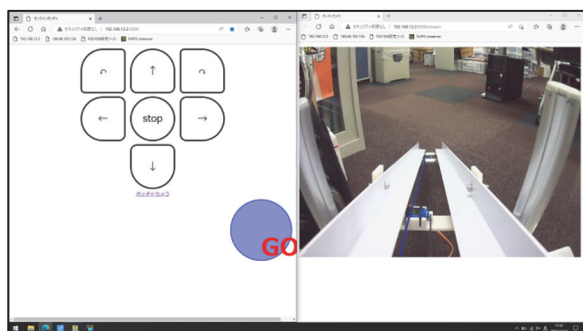


図12 操作画面とカメラ映像

操作画面では、前後左右、左回転、右回転の移動ボタン、ボールの発射ボタンを用意した。移動ボタンは押し続けることで連続して動作する。カメラ映像は、操作画面より別ウィンドウで開くことができ、利用者の操作しやすい位置にレイアウトを変更することができる。

### 2-2 DC モータ制御

前述の通り、前後左右、左回転、右回転を行う。加速時に PWM 信号のデューティ比を調整し、インターネット越しでもロボット位置の微調整が行えるようにした。

### 2-3 測距センサとマルチプロセス

制御コントローラの Raspberry Pi 4 一台で、Web サーバの公開、DC モータの制御、測距センサの制御を行う。これらの制御はすべて同時並行で処理する必要があり、特に測距センサの制御は安全のためにいつでも緊急停止が行えるよう常時センサからのデータを取得し続けなければならない。

そこで、API で複数のプロセスの生成をサポートする multiprocessing パッケージを利用し、表 9 に示す通り制御を 4 つのプロセスに分け、CPU の 4 core の性能を最大限活用できるようにした。

### 2-4 ネットワークとセキュリティ

インターネット環境がない会場でも競技を行えるようにするため、モバイル Wi-Fi ルータでインターネット接続を行う。Web サービスを提供するためにグローバル IP アドレスを提供できるプロバイダを選択した。また、ネットワークから ssh 接続や root 権限を実行できないよう、ファイヤーウォールの設定をした。

表9 プロセス生成

プロセス番号	処理内容
1	Web サーバ (Flask)
2	DC モータ制御
3	測距センサ動作制御
4	測距センサ異常判定処理

### 2-5 Microsoft Teams

ランプロボットからの映像だけでは死角が多いため、コート全体を俯瞰する映像を Microsoft Teams で配信する。また、オンラインのプレイヤーは Microsoft Teams で、現地のプレイヤーや審判とビデオ会議やチャットでコミュニケーションを取る。

## IV 課題

### 1 投てき距離

ジャックボールの位置によっては、投てき距離を調整する必要がある。それ以外にも、相手の投てきコースを防いだり、自ボールを守ったりするために戦略的に距離を調整することが求められる。スタータ機構を勾配具の上下にスライドさせて、投てき距離を設定する機能を追加する。

### 2 複数人同時アクセス

現状、Web サーバに複数人同時にアクセスできるため、操作中に他プレイヤーがランプロボットを操作することが可能となっている。参加者に順番に操作権限を割り当てる機能を追加する必要がある。

### 3 現地プレイヤーとの差

現地でボールを手で投げるプレイヤーと試合を行ったところ、映像ではボールとの距離が測りづらいことや、ランプロボットの微調整に慣れが必要であるため、ハンディキャップを設けるなど調整が必要と感じた。

### 4 Raspberry Pi の設定

インターネット接続による動作テストを行ったところ、カメラ映像の遅延や、MJPG-Streamer のシャットダウンが発生した。調査の結果 Raspberry Pi 4 のグラフィックス処理に問題があることを確認した。

以下にソフトウェア上で行った対策を示す。

- GPU メモリを 64 MB→256 MB に増加した。  
→ グラフィックスデータは GPU メモリに格納されてから処理が行われるため、メモリ増加が処理速度に寄与することが期待できる。
- GUI を Off にする。  
→ GUI を生成するために GPU が利用されるため、GUI を Off にすることでカメラ映像の処理にリソースを割り当てることが期待できる。

以上により、MJPG-Streamer のシャットダウンは解消され、最大 3 秒遅延していたカメラ映像も最大 1 秒程度に抑えることができた。インターネット接続を利用するため多少の遅延は避けられないが、帯域保証型のインターネット回線を利用したり、外部アンテナを利用するなど Wi-Fi 環境を強化したり、Raspberry Pi 4 のメモリ容量を増加することでも改善ができるのでは

ないかと考えられる。

次にハードウェア上で行った対策を示す。

- 空冷ファンで、Raspberry Pi 4 を冷やす。  
→ 処理状況によっては CPU が 80 度以上の発熱を起こす場合がある。放熱フィンに CPU やメモリに設置し、空冷ファンで対流を発生することで発熱によるパフォーマンス低下を抑えることが期待できる。現状、室温約 20 度、CPU 温度 40 度前後で安定動作している。

## V おわりに

学生がこれまでの授業で取り組んできた電子回路や通信、プログラミング技術などを活用して遠隔操作可能なボッチャ用投てきシステムを開発した。これは、ボッチャの魅力である戦略を、どのような人でも、どのような場所においても、現地にいる競技者と一緒に楽しめるという点で旧来のスポーツと e スポーツを融合させたものであるといえる。実際にボッチャをプレイし、本システムに必要な機能や工夫を学生同士で相談しながら製作を進めることができた。学生自身が興味を持って主体的に取り組めるかが総合制作実習のテーマ設定で必要だと感じた。これからもモノづくりの面白さを実感できるテーマを取り入れて行きたい。

### 【参考文献】

- (1) 公益財団法人長寿科学振興財団、生涯スポーツとは、<https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/shintai-shumi/sports.html> 参照：2022 年 12 月。
- (2) 岡田勉、現代大学生の「ふれ合い恐怖的心性」と友人関係の関連についての考察、性格心理学研究、第 10 巻 第 2 号、2002 年、pp.69-84。
- (3) Valtteri Wikstrom, Katri Saarikivi, Mari Falcon, Tommi Makkonen, Silja Martikainen, Vesa Putkinen, Benjamin Ultan Cowley, Mari Tervaniemi, Inter-brain synchronization occurs without physical co-presence during cooperative online gaming, *Neuropsychologia*, 174, 2022 年 9 月。
- (4) 一般社団法人日本ボッチャ協会、日本ボッチャ協会競技規則 2021-2024 v.1、2021、pp.9-11。
- (5) 私立！ボッチャ学園、無料使用OK！ボッチャの写真です！、<http://boccia-dreams.net/2020/10/03/free-boccia/>、参照：2022 年 12 月。

- (6) アンカー・ジャパン株式会社、  
Anker ならではの安全性の追求 MultiProtect、  
<https://magazine.ankerjapan.com/technology/anker-safe-multiprotect-technology>、参照：2022 年 12 月。
- (7) GitHub、mjpg-streamer、  
<https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>、  
参照：2022 年 12 月。

# 職業能力開発報文誌

## 投稿のしおり

### 職業能力開発報文誌編集委員会

編集委員会事務局（原稿送付先）

〒187－0035 東京都小平市小川西町2－32－1

職業能力開発総合大学校 基盤整備センター 企画調整課

職業能力開発報文誌編集委員会事務局 宛

TEL 042－348－5074 FAX 042－348－5098

E-mail fukyu@uitec.ac.jp

# 「職業能力開発報文誌」募集要綱

制定 2011年10月

改定 2012年4月

- 1 本誌は、出向者を含む独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職員（以下「機構職員」という。）による研究開発活動の充実に資することを目的とし、研究成果を収録公表するための研究機関誌である。収録公表される投稿原稿の内容上の範囲は、職業能力開発研究の学際的性格から、技術・工学及び教育・心理・経済・社会等人文・社会科学系の領域をカバーするが、いずれも職業能力開発との関わりを持つものでなければならない。
- 2 本誌に掲載される投稿原稿は、機構職員によって執筆された、職業能力開発に関する実践・実証的研究を中心とした未刊行の原稿を原則とする。
- 3 本誌の編集は、「職業能力開発報文誌」編集幹事会・編集委員会設置運営規則」（以下「設置運営規則」という。）に基づき設置される編集幹事会及び編集委員会の責任のもとに行われる。
- 4 編集幹事会及び編集委員会の運営等は、「設置運営規則」にしたがって行われる。
- 5 本誌の発行は年1回以上とする。
- 6 投稿された原稿は、編集委員会で別に定める「職業能力開発報文誌」編集要領」にしたがって審査し、掲載の可否を決定する。  
なお、掲載を決定した原稿については、より一層の内容の充実を図るための補筆、修正を原稿投稿者に要請することがある。
- 7 投稿に当たっては、「報文」、「研究ノート」及び「実践報告・資料」の3分類で投稿するものとする。  
なお、掲載に当たっては、編集委員会の審査により投稿分類の変更を投稿者に要請することがある。
- 8 投稿される内容は、「報文」「研究ノート」「実践報告・資料」別に職業能力開発に関して次の条件を満たすことが必要である。
  - (1) 「報文」について  
報文は、以下の内容を満たすことが必要である。
    - ① 報文として職業能力開発上価値があること（有用性）。または、内容に発展性があること（発展性）。
    - ② 内容に新規なものがあること（新規性）。

③報文として完結した内容を有していること（完結性）。

なお、完結性とは、問題設定、方法、結果、考察、結論等の諸要素を備えた内容であることをさす。

④内容に基本的な誤りがないこと（信頼性）。

(2)「研究ノート」について

研究ノートは、内容水準、完結性、において未だ不十分ではあるが、職業能力開発上一定の価値があり、研究としての発展性を有すると共に、内容に基本的な誤りがないものであることとする。

(3)「実践報告・資料」について

実践報告・資料は、論文の完結性を必要としないが、情報として、職業能力開発上広く価値を有するものとする。

9 本誌への投稿は随時受け付ける。

10 原稿の執筆は、別に定める「職業能力開発報文誌」執筆要領によるものとする。

11 投稿者は「原稿連絡票」に必要事項を記入の上、本文原稿に通しページを付け、和文要約、英文表題及び図表（写真を含む）一式を添えて、編集委員会事務局に原稿を提出する。

なお、参考文献等で校閲及び査読上重要と考えられるものは、複写または原本を添付する。

12 上記 11 の本文原稿、要約、英文表題、原稿連絡票及び図表一式の提出部数は、複写 2 部（普通に判読できるものとする。特に写真の場合は、理解に差し支えないように配慮する）とする。原本は著者が保管し、校閲及び査読終了（掲載可）後、作成した最終原稿を事務局に 1 部（写真、図表等の原本一式を添付）提出する。

13 本誌掲載報文等の執筆者には抜刷を贈呈する。

14 本誌に掲載された報文等の原稿は、原則として返還しない。

15 本誌掲載報文等の一部または全部を、学術研究または教育訓練以外の目的で、複製または転載する場合には、当編集委員会の許可を必要とする。

16 「職業能力開発報文誌」編集委員会事務局を職業能力開発総合大学校基盤整備センターに置く。

# 原 稿 連 絡 票

## 1 投稿原稿の表題（和文）

--

## 2 投稿者（連絡者）の氏名、勤務先、連絡先

フリガナ			
氏 名			
勤務先名称		電話	( )
連絡先住所	〒	メール アドレス	

## 3 連名投稿者〔投稿者（連絡者）は共著者の同意（署名）を下欄に得て下さい〕

氏 名	所 属	氏 名	所 属

## 4 投稿の種別〔下欄の番号に○印をつけて下さい〕

種 別	1	報 文	2	研 究 ノ ー ト	3	実 践 報 告 ・ 資 料
-----	---	-----	---	-----------	---	---------------

## 5 内容（職業能力開発に関する分野）

職業能力開発に関する分野の内、最も関連する内容と思われるものから、下欄の表の番号に○印をつけて下さい。なお、5 職業能力開発に関する工学的内容および6 その他に該当する場合は、( ) の中に簡単に記述して下さい。

No.	職業能力開発に関する分野
1	職業能力開発制度に関する内容 (職業能力開発のあり方、職業能力開発施設、関連法律等の内容)
2	教育訓練実施に関する内容 (カリキュラム、指導技法、コース開発、相談・援助、教材開発、評価等の内容)
3	職業能力開発の社会的諸問題に関する内容 (若年者・在職者・高齢者・女性等の内容)
4	職業能力開発に関する国際協力等の内容 (諸外国の職業能力開発、諸外国及び国内での国際協力等の内容)
5	職業能力開発に関する工学的内容 (工学的専門分野: )
6	その他 ( )

## 6 仕上がり概算ページ数（原則下記のページ数とする。） \_\_\_\_\_ ページ

「報文」は8ページ以内、「研究ノート」は4ページ以内、

「実践報告・資料」は6ページ以内

## 7 投稿原稿の公開状況の確認

(ロ、ハに該当される方は、該当箇所に○印をつけて雑誌名等記入願います。)

イ 未発表(刊行)原稿

ロ 発表(刊行)済原稿(下記(注)①) 雑誌名等( )

ハ 発表(刊行)済原稿(下記(注)②) 雑誌名等( )

(注)

① 紀要、職業能力開発研究発表講演会、実践教育訓練学会の発表及び会誌、技能と技術誌で公開した内容であっても、校閲・査読を受けていない原稿

② 学会論文誌、職業能力開発論文コンクール入賞作、専門雑誌、一般出版物で公開した原稿



# 「職業能力開発報文誌」執筆要領

制定 2011年10月

改正 2012年4月

改正 2017年4月

## 1 原稿全体の体裁・原稿のページ数について

原稿はワープロソフトで作成し、A4判用紙を縦にして用い、2段組、1行24文字×45行横書きとする。1ページの文字数は2160字とする。余白については上30mm、下25mm、左25mm、右25mmとする。原稿の1ページ目の15行までを表題等の記入に充て、次に要約、本文の順に記述する。2ページ目以降については本文のみとし、最終ページに注記、参考文献を記載する。

(1) 仕上がりページ数 (原則)

- ① 「報文」の場合 - 8ページ
- ② 「研究ノート」の場合 - 4ページ
- ③ 「実践報告・資料」の場合 - 6ページ

(2) 図表、写真等は本文に貼り付け、全体で(1)のページ数を満足すること。

## 2 表題等

原稿の1ページ目にカテゴリ分類 (**Pゴシック14P太字**)、日本語表題 (**Pゴシック22P太字**)、日本語副題 (**Pゴシック16P太字**)、所属施設名および著者名・共著者名 (明朝10P)、英語表題 (Times New Roman 11P)、著者名・共著者名 (ローマ字名 Times New Roman 11P) の順に記述すること。

なお、表題は簡潔にかつ内容が明確にわかるように心がけること。

## 3 要約

要約の二文字は「**Pゴシック11P太字**」、要約本文は「明朝9P」を用いる。43字×14行、600字以内、日本語を用いること。

## 4 本文

(1) 本文の節タイトルおよび小節タイトル

節番号は「**ローマ数字 (I、II、III、・・・) Pゴシック11P全角太字**」を、節タイトルは「**Pゴシック11P太字**」を用い、「**II OOOO・・・**」のように記述する。その前後を1行空ける。

小節番号は「**算用数字 (1, 2, 3,・・・) Pゴシック11P全角太字**」を、小節タイトルは「**Pゴシック11P太字**」を用い、「**1 OOOO・・・**」のように記述する。1行に納め、その前を1行空ける。

さらに細目が必要な場合は、「**Pゴシック11P全角太字**」を用いて、「**1-1 OO OO・・・**」「**1-1-1 OOOO・・・**」のように記述する。細目番号は「**算用数字 Pゴシック11P全角太字**」を用いる。

<記述例>

1 行空ける
<b>II</b> ○○○○○○……………
……………。
1 行空ける
<b>1</b> ○○○○○○……………
……………。
<b>1-1</b> ○○○○○○……………
……………。
<b>1-1-1</b> ○○○○○○……………
……………。

(2) 「はじめに」と「おわりに」について

本文の初節に「**I** **はじめに**」を、終節に「**O** **おわりに**」を記述する。

(3) 図（写真を含む）について

- ①図は原稿内に作成すること。大きさは原稿用紙の収まる範囲内であれば執筆者の任意とする。
- ②図中の文字や数字は明瞭に判読できること。
- ③写真は JPEG 形式（1MB 程度）で貼り付けること。
- ④写真をデジタルデータ化できない場合は、原稿に貼り付ける際のサイズを明記し、場所を空けておくこと。写真は原稿と同時に提出すること。
- ⑤図（写真を含む）の番号は「**算用数字 P ゴシック 9P 半角 太字**」を、タイトルは「**P ゴシック 9P 太字**」を用いて、図あるいは写真の下に横書きで、「**図1 …**」のように番号を記した後にタイトルを記入する。図と写真は通し番号とする。
- ⑥写真の印刷仕上がりはカラーである。

(4) 表について

表は原稿内に作成すること。サイズは、原稿用紙に収まる範囲内であれば執筆者の任意とする。表番号は「**算用数字 P ゴシック 9P 半角 太字**」を用いて、タイトルは「**P ゴシック 9P 太字**」を用いて、表の上に横書きで、「**表1 …**」のように番号を記した後に表名を記入する。表中の文字や数字は明瞭に判読できること。

(5) 図および表について

図表は本文との間に空行を 1 行入れる。ページの間には配置せず、上か下に置くことを推奨する。また、必要により段組みを一部解除し、1 頁の左右にまたがる配置としてもよい。

図表にはメモリを表記し、本文中で説明する。

(6) 引用資料について

本文中に入れる資料等の引用文章を、文字のポイント数を落として記述したい場合は、その部分に赤線でアンダーラインを引き、注記する。

なお、引用資料及び参考文献等で入手が困難な場合は、投稿時に、その原本または複写したものを添付する（校閲及び査読終了後返却）。

## 5 注記について（記述例参照）

本文中にハイフンで挟んで入れる注以外の注記は、一括して本文の最後に次の要領で書くこと。タイトル [注] の文字は「P ゴシック 9P 太字」を用い、「注」の文字の左右を「[ ]」で括る。（注1）以下は「明朝 9P」を用い、「注〇」の文字の左右を括弧でくくる。注記番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。

<記述例>

[注] (注1) …………… (注2) …………… : : : :
---

なお、本文中においては、注記番号は注記をつける言葉または文の右肩に、「〇〇<sup>(注1)</sup>」のように、左右を括弧でくくり、上付で書く。

## 6 参考文献について（記述例参照）

参考文献は一括して本文の最後に、次の要領で書く。タイトル [参考文献] の文字は「P ゴシック 9P 太字」を用い、「参考文献」の文字の左右を「[ ]」で括る。（1）以下は「明朝 9P」を用いる。文献番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。また、本、雑誌、複数のページの場合など、記述例を詳細に示すこと。

本文中においては、文献番号は参考文献をつける言葉または文の右肩に、「〇〇<sup>(1)</sup>」のように、左右を括弧でくくり、上付で書く。ページは「p. 〇〇」、複数の場合は「pp. 〇〇-△△」のように書く。URL は、括弧なしで記述。著者名の姓名の間にはスペースを入れない。参考文献の最後は「。」を用いる。

<記述例>

[参考文献] (1) □□職業能力開発審議会△△、「……」、平成…年、p. 〇。 (2) 職業能力開発総合大学校基盤整備センター 調査研究 報告書「……」、平成…年、pp. 〇〇-△△…。 : : :
--

## 7 文中の文字について

- (1) 本文は、日本語を用いること（他言語不可）。
- (2) 本文は、「である調」とする。
- (3) 句読点は「、」「。」を用いる。
- (4) できるだけ常用漢字、現代かな使いを用いる。
- (5) 日本語のフォントは「明朝 9P」とする。
- (6) 英文、英略字（ME、CAI 等）は「Times New Roman」を用いる。

[例] ME、CAI、

Summary of the Results of the “Study on the Development……………”

- (7) 数字は「算用数字 Times New Roman」を用い、3 桁毎にコンマを入れる（但し、西暦

年代にはコンマは不要)。また、漢字と結合して使用する場合は漢数字を用いる。

[例] 1,050 円、15.4%、3,213,000 人、2009 年 2 月 14 日

一つの、一例を挙げると

- (8) 小数点以下の桁数は、比率をパーセントは小数点以下の 1 桁、相関係数、因子負荷量等は小数点以下の 3 桁が、一般的な有効桁数である。

## 8 単位・記号・数値等について

- (1) 単位は原則として国際単位系 (SI) を用いる。数字は「算用数字 Times New Roman」を用い、単位記号は「Times New Roman」を用いる。

[例] 5MPa、9.8N

- (2) 量を表す数字は「算用数字 Times New Roman」を、量を表す記号は「Times New Roman」の斜字体を用いる。

[例] 量を表す数字 20、15.4、3,213,000

量を表す記号  $a, b, c, d, \dots, u, v, z, y, z$

## 9 数式について

- (1) 数式は「Times New Roman」の斜字体を用い、大文字・小文字・上付・下付などがはつきりわかるように記述する。

- (2) 式中での括弧の順序は原則として { [ ( ) ] } とする。

- (3) 式が途中で切れる場合は、改行のはじめに  $\times \cdot / \cdot + \cdot -$  等をつける。

- (4) 数式は各式の右端に ……(1)、……(2) のように通し番号をつける。本文中では式 (1)、式 (2) のように記述する。式番号は「算用数字 Times New Roman 9P」を用いる。

- (5) 分数については、式中では  $\frac{a+b}{c+d}$ 、文中では  $(a+b)/(c+d)$  のように入力する。

<数式の記述例>

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad \dots\dots(1)$$

$$\dot{m} = P_c A_t \sqrt{\frac{\gamma}{RT_c} \left( \frac{2}{2+\gamma} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}}} \quad \dots\dots(2)$$

なお、日本語ワープロの「数式エディタ」などを活用すると、容易に数式を書くことができる。

## 10 記述例

執筆は次項以降の「文字の大きさ及びフォント等」及び「記述例」を参照のこと。

## 11 原稿（報文誌）テンプレートについて

ページ設定を参照のこと。(文字数は24文字、字送りは9 P、行数は45行、行送りは15.2 P)

## 文字の大きさ及びフォント等

カテゴリ分類	Pゴシック	14P	全角	太字	左詰め
日本語表題	Pゴシック	22P	全角	太字	中央揃え
副題	Pゴシック	16P	全角	太字	中央揃え
所属施設名、部署名、 著者名、共著者名	明朝	10P	全角		右詰め
英語表題、副題、著 者名、共著者名	Times New Roman	11P	半角		
要約タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
要約本文	明朝	9P	全角		左詰め
本文	明朝	9P	全角		
本文 節番号	Pゴシック (ローマ字)	11P	全角	太字	左詰め
本文 節タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
本文 小節番号	Pゴシック (算用数字)	11P	全角	太字	左詰め
本文 小節タイトル	Pゴシック	11P	全角	太字	左詰め
英文・英略字	Times New Roman	9P	半角		
数字	Times New Roman (算用数字)	9P	半角		
数式	Times New Roman 斜字体 (=イタリック)		半角		
図・写真 番号	Pゴシック (算用数字)	9P	半角	太字	図・写真の下中央
図・写真 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	
表 番号	Pゴシック (算用数字)	9P	半角	太字	表の上中央
表 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	
注 番号	Times New Roman	9P	半角		左詰め
注 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	左詰め
注 記述部分	明朝	9P	全角		左詰め
参考文献 番号	Times New Roman	9P	半角		左詰め
参考文献 タイトル	Pゴシック	9P	全角	太字	左詰め
参考文献 記述部分	明朝	9P	全角		左詰め

<実践報告・資料>

カテゴリ分類：  
Pゴシック 14P 太字 左詰め

日本語表題：  
Pゴシック 22P 太字  
中央揃え

職業能力開発報文誌投稿原稿執筆要領

英語表題・副題及び著者名・共著者名（ローマ字名）：  
Times New Roman 11P  
表題の上下に罫線を引く  
英語表題・副題は左詰め  
著者名・共著者名は右詰め

一記述例一

日本語副題： Pゴシック 16P 太字  
左右に「-」を付ける、中央揃え

所属施設名、部署名、  
著者名、共著者名：  
明朝 10P、右詰め

◎◎職業能力開発促進センター 職大 太郎  
△△職業能力開発大学校 能開 花子

Guidance for Writing Papers of BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT - Example -  
SHOKUDAI Taro, NOUKAI Hanako

要約

◎◎職業能力開発促進センター、△△職業能力開発大学校では、

要約タイトル：  
Pゴシック 11P  
太字、左詰め

要旨本文：明朝 9P、  
43文字×14行、  
600字以内、左詰め、  
横位置は用紙の中央に配置

I はじめに

III ○○○○○○○○○○

1 ○○○○○○○○○○

本文節：  
節番号はローマ数字 Pゴシック 11P 全角 太字  
タイトルは Pゴシック 11P 太字  
左詰め、前後を1行空ける。

本文小節：  
小節番号は 算用数字 Pゴシック 11P 全角 太字  
タイトルは Pゴシック 11P 太字  
左詰めで1行に納める。前を1行空ける。

2 ○○○○○○○○

本文：2段組、明朝 9P、  
24文字×15～20行程度（行数は、  
要旨の文字数等により変わる）  
英文・英略字は Times New Roman、  
数字は 算用数字 Times New Roman  
を用いる。

II ○○○○○○○○○○

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad \dots\dots(1)$$

$$\dot{m} = P_c A_t \sqrt{\frac{\gamma}{RT_c} \left( \frac{2}{2+\gamma} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma+1}}} \quad \dots\dots(2)$$

数式は Times New Roman の斜字体を用い、大文字、小文字、上付、下付などがはっきりわかるように区別する。  
式番号は Times New Roman を用いる。

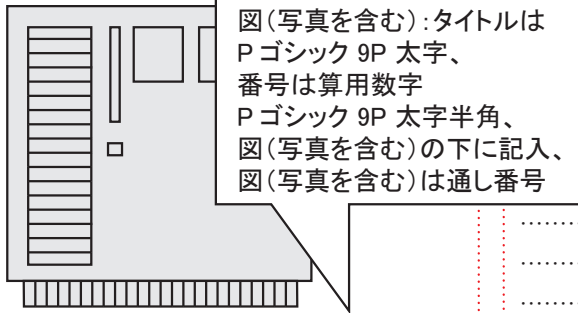
論文受付日 R1. 4. 1

論文受付日：事務局で記入

V ○○○○○○○○○○

1 ○○○○○○

本文：2段組、明朝 9P、  
24 文字× 45 行、1 ページ 2160 文字  
英文・英略字は Times New Roman、  
数字は 算用数字 Times New Roman を用いる。



図(写真を含む)：タイトルは  
Pゴシック 9P 太字、  
番号は算用数字  
Pゴシック 9P 太字半角、  
図(写真を含む)の下に記入、  
図(写真を含む)は通し番号

図5 △△△△△△△△△△△△

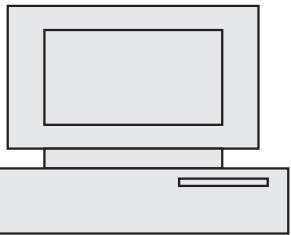


図6 △△△△△△△△△△△△

図表は本文との間に空行1をとる。ページの  
中間には配置せず、上か下に置くことを推奨  
する。また、必要により段組みを一部解除し、  
1 頁の左右にまたがる配置としてもよい  
(例：通巻 48 号の 36 頁)

VI おわりに

注：タイトルは  
Pゴシック 9P 太字

注：明朝 9P  
注釈番号は Times New Roman 9P

[注]

(注1) A 社における開発部は、製品の企業開  
(注2) A 社の製品製造事業部は…

参考文献：タイトルは  
Pゴシック 9P 太字

[参考文献]

- (1) ○○県企業庁発行、○○県中小企業支援事業計画、  
20××年□月、pp.△△-○○…。
- (2) 職業能力開発総合大学校基盤整備センター調査研  
究報告書第△△号「職業能力開発に関する相談援  
助、情報提供の実態調査」、平成○年×月、pp.□  
□-△△…。
- (3) ○○省、平成××年度○○基本調査、  
<http://www.○○.html> 参照：20××年□月。
- (4) 著者名、論文名、誌名、号数、\*\*年、p.△△。
- (5) 著者名、書名、出版社名、○○年、pp.◇◇-  
□□。

参考文献：明朝 9P  
文献番号は Times New Roman 9P

表：タイトルは  
Pゴシック 9P 太字、  
表番号は 算用数字  
Pゴシック 9P 太字 半角、  
表の上に記入

- 資料等の場合
- 報告書等の場合
- ホームページの場合
- 論文誌等の場合
- 書籍等の場合

表3 △△△△△△△△△△△△

人数	1995年		1998年		2000年		2004年		2006年		2008年	
	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
正規社員												
非正規社員	契約社員											
	パート											
	アルバイト											

原稿（報文誌）テンプレートのページ設定  
文字数は 24 文字、字送りは 9 P、行数は 45 行、  
行送りは 15.2 P





#### 編集委員会だより

- 当誌への投稿は、(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構職員であればどなたでも可能です。
- 巻末に掲載した「投稿のしおり」に基づき執筆をお願いします。
- 投稿は随時受け付けています。
- 投稿された論文は審査終了後、最寄りの号に掲載されます。
- 当誌の内容は、基盤整備センターホームページ「報文誌・年報・その他の刊行物」から閲覧、ダウンロードできます。  
URL : <https://www.tetras.uitec.jeed.go.jp/>
- 投稿に関する問い合わせは、事務局（職業能力開発総合大学校 基盤整備センター 企画調整部 企画調整課）までお願いします。

---

---

## 職業能力開発報文誌 第35巻第1号(通巻54号)

発行 2024年2月  
編集・発行 職業能力開発総合大学校基盤整備センター  
〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1  
TEL 042-348-5074 (企画調整課)  
印刷 社会福祉法人 東京コロニー コロニー東村山印刷所  
〒189-0001 東京都東村山市秋津町 2-22-9

---

---

# BULLETIN OF HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT

## Vol.35 No.1 (54) (2023)

### <RESEARCH NOTE>

Fabrication of robot incorporating pneumatic soft actuators

SHIMAKAWA Katsuhiro

### <REPORT>

General Production Practice Tasks Aiming Linkage from Specialized  
Technical Program to Professional Technical Program and Their  
Learning Effects

HORIUCHI Yoshimaro

~Design and manufacture of charging circuits using solar cells~

Improvement of teaching materials for effective implementation of  
linear expansion coefficient measurement experiment

KITA Masahiko

Proposal of training subjects for systematically mastering the flow  
of injection mold manufacturing

ISHIKAWA Yutaka

Development of a remote-controllable throwing system using a ramp  
robot for unofficial boccia

ISHIKAWA Hiroataka

### <The rules for contributors>