

熊本県立技術短期大学校 紀 要

第 24 号



2023 年 3 月

熊本県立技術短期大学校

熊本県立技術短期大学校紀要

第 24 号 (2023 年 3 月)

【巻頭言】 尾原 祐三

目 次

1. 報告

| | | |
|---|--------|----|
| スライドレコーダーの製作と製品化のための試み ー熊本県「ふくしのこころ育成事業」への参加ー | 河邊 真二郎 | 3 |
| ロボット製作技術によるポリテックビジョンロボット競技会の振り返り | 田崎 和博 | 9 |
| 社内LAN設計演習課題を通してみる学生の理解度 | 甲斐 隆志 | 13 |
| Excel VBAによる数値計算ツールの開発 | 趙 華安 | 19 |
| 旋盤加工の効率化と精度向上にむけた取組み 偏心測定器の設計・製作 | 弓削 慶祐 | 25 |
| 制御工学実習機材の開発 直立振子の制御系構成と制御実験 | 日野 満司 | 29 |
| 動的時間伸縮法 (Dynamic Time Warping) を用いた運動解析 ー深層学習によるテレビ体操運動解析ー | 里中 孝美 | 35 |
| ビジネスゲームのオンライン化 | 牧岡 毅 | 40 |

2. 教職員および学生の活動状況一覧 47

論文・国際会議プロシーディングス, 国内会議・研究会等, 資料, 産学官支援活動,
学生の表彰・大会参加・資格取得, 共同研究, 在職者セミナー,
外部委託の講習会・研究会等, 技能検定員委嘱, FD研修, 一般活動等, 新聞記事他

3. 卒業研究テーマ

| | |
|-----------|----|
| 卒業研究テーマ一覧 | 57 |
| 受賞卒業研究テーマ | 59 |

4. 教職員一覧 63

巻 頭 言

校長 尾原 祐三

県立技術短期大学校、通称「技大」は、平成 9 年に開校し、本年度、創立 25 周年を迎えました。これまで、2000 人を超える卒業生のうち、約 80 パーセントの学生が県内企業に就職しています。また、卒業生の 3 分の 1 にあたる約 700 人が、半導体関連企業に就職し、ソニーや東京エレクトロン九州などの誘致企業をはじめ、地場の主要な半導体関連企業の中堅技術者として活躍しています。このように、技大は四半世紀にわたり、熊本の地域産業に密着した実践的技術者の育成機関としての役割を果たしてきたところです。

近年、18 歳人口の減少や、AI(エーアイ)、IoT(アイオーティ)、ビッグデータなどの高度化・デジタル革新(DX)の加速化など、社会変化や企業ニーズに対応した人材育成への変革が求められています。そこで、技大では、これらの課題に対応するだけでなく、地域産業に貢献し、技大のプレゼンスを高めていくために、2040 年を見据えて 5 年毎に中期目標を定める技大将来構想*を技大独自で令和 4 年 3 月に策定しました。第 1 期中期目標期間は令和 4~7(2022~2025)年であり、『「地学一体」で魅力ある大学へ』というスローガンを掲げ、4 つの大目標、① 時代の変化に対応した人材育成、② 産業界・企業との連携、③ 優秀な学生の確保と教員の資質向上、④ 効果的な情報発信と教育環境整備の推進を定め、第 1 期中期計画に基づく取組みを開始しました。

具体的には、地元企業の協力による講師派遣、工場見学、卒業研究等を通じて地元企業と一体となって未来の学生を育成するという仕組み作りに着手しました。学生にとっても地元企業の現場の声を直接聞く授業や企業の技術者と一緒に行う卒業研究等の中で社会と接する機会を作り出すことによって、地元企業をよりよく知ることができるとともに、その経験が就職後にも生かされるものと考えています。また、包括連携協定を結んでいる県工業連合会や県情報サービス産業協会の協力を得て、企業インターンシップや共同セミナー開催などの連携活動をこれまで以上に活性化しています。さらに、優秀かつ多様性のある学生を確保するため、令和 4 年度から新たに「事業主推薦」、「自己推薦」、「外国人留学生」の入試制度を導入しました。

時を同じくして、令和 3 年 11 月、台湾の世界的半導体メーカーの TSMC の熊本進出が決定し、今後の半導体関連人材の需要増大とともに、技大が果たすべき役割の重要性も

益々高まっています。このため、技大では、令和 6 年 4 月の半導体に関する新学科の設置を目指し、国等と協議しながら、カリキュラムや設備機器、教員体制などの検討を進めています。また、より優秀な学生を募り、高度な人材を育成するため、4 年制大学への編入学が可能となるよう、昨年 10 月、構造改革特別区域法に基づく内閣府への申請を行い、今年 1 月には特区として認定されました。現在、令和 6 年 4 月の熊本大学への編入学開始を目指し、同大学と具体的な協議を行っています。

技大が創立 25 周年を迎えた中、TSMC の進出や 4 年制大学への編入学などの環境変化は、今年の干支である「兎」と同様に技大が大きく飛躍するチャンスと捉えています。技大が次の 25 年も更に輝き続け、教育・研究を通して地域社会に貢献し、熊本の産業発展に寄与する大大学校となれるよう、しっかりと取り組んで参ります。

本紀要では、教員の研究紹介や指導教員による主な卒業研究の紹介に加えて、本学教員および学生の 1 年間の活動状況も掲載しました。是非ともご一読いただき、本学のさらなる発展のために、関係各位より忌憚のないご意見やご提言をいただけると幸甚です。

令和 5 年 3 月

*「技大将来構想」は技大のホームページに公表しています。



1. 報告

スライドリコーダーの製作と製品化のための試み

—熊本県「ふくしのこころ育成事業」への参加—

河邊真二郎^{*1}，角川広晃^{*1}，坂梨夏鈴^{*1}，正垣洸太^{*1}，大坪武廣^{*2}

Making a slide recorder and attempt for its productization
- Participation in “the raising project of heart of welfare” by Kumamoto Prefecture-

Shinjirou KAWABE, Hiroaki KADOKAWA, Karin SAKANASHI, Kouta SHOUGAKI, Takehiro OHTSUBO

熊本県立技術短期大学校(以後、技大)元教員の大坪武廣氏から「スライドリコーダーを開発して評価された。将来は製品化していきたい。」との連絡があった。そこで、技大で取組める製品化の支援を検討し、まずは周囲の方に知ってもらうために、卒業研究の中でスライドリコーダーを製作することとした。また、より広く知ってもらえることを期待して、県地域支え合い支援室主催の「令和4年度ふくしのこころ育成事業¹⁾」に応募し採用された。

私たちは、「ふくしのこころ育成事業」の企画に沿って、試作したスライドリコーダーを熊本県立熊本はばたき高等支援学校²⁾に持ち込み、生徒に利用してもらうことで将来の製品化に役立つ評価を得ることができた。開発当初のスライドリコーダーは、上肢障がい者のための楽器であったが、今回の試みから、利用者個人の特徴に合わせたパーツを準備することで、それぞれの障がいを持つ者及び健常者にも有効な楽器になることがわかった。

1. はじめに

大坪氏はスライドリコーダーをボランティア活動として製作し、複数の障がい者施設に提供しながら国内外の福祉機器コンテストで優秀な評価を得た。これらのことがNHK放送の地方版、九州版、全国版のニュースで放映されたこととなったが、その製品化を申し出る企業は現れなかった。そこで、大坪氏了解の下、技大で行う卒業研究及び「ふくしのこころ育成事業」を通じてスライドリコーダーを周囲の人に紹介するとともに試作品から製品化への支援を試みた。

「令和4年度(2022年度)ふくしのこころ育成事業」とは、熊本県の地域支え合い支援室が主催する事業で、県民の福祉の心を育成するための教材(試作品)作成等に関する取組を募集するものである。募集対象者を県内の大学に在学する大学生とし、募集単位を学科、ゼミ、サークル等としている。

「福祉の心」とは、地域福祉に関心を持ち、支え合いの視点を持って行動するという心・思いのことである。当事業は、県民の地域福祉への関心を高めるとともに、

幼少期からの意識の啓発を図ることを目的に、県内の大学生による教材作成等に関する取組を支援することにある。

当募集は、技大が加盟している「一般財団法人 大学コンソーシアム熊本³⁾」から届いた。

ここに報告する内容は、学外の事業に参加しながら教員と学生が卒業研究活動を行うもので、このような外部事業への参加は技大として初の試みであるため、今後の参考となるよう紹介しておきたい。

2. スライドリコーダーとは

2.1 スライドリコーダーの誕生

スライドリコーダーは、元技大精密機械技術科教授の大坪氏が開発したものである。大坪氏は、技大退職後、故郷の佐賀県でものづくりを活かしたボランティア活動を行っていた。近所の小学校へ、野球用ピッチングマシンやゴム銃等を製作し提供していたところ、小学校の音楽の授業でリコーダー演奏に困っている上肢障がいの子供たちがいることを知った。大坪氏は趣味でも

*1 精密機械技術科 *2 元精密機械技術科



図1 リコーダー(下から樹脂, 真鍮, 一般)

あった笛づくりの知識を活かした支援ができないかと思い、スライドリコーダーの試作が始まった。一般のソプラノリコーダー、スライドリコーダー(真鍮製)及びスライドリコーダー(樹脂製)の写真を図1に示す。3本とも概ね同程度の大きさで、音階を奏するための穴が数個並んだ楽器である。

スライドリコーダーの完成に至るまでは、概ね7年もの歳月を費やし、完成品を福祉施設で利用してもらったところ、高い評価を得たため、国内の福祉機器コンテストや海外イギリスの福祉機器コンテストに出展することとなった。当コンテストにおいて、国内外ともに最優秀賞を受賞したことをきっかけに、テレビやラジオ出演のオファーが来るようになった。国内の「福祉機器コンテスト2021⁴⁾」の最優秀賞結果及び国外イギリスの「OHMI⁵⁾(福祉機器コンテスト2021)」のチラシを図2に示す。

2.2 スライドリコーダーの特徴

スライドリコーダーは、一般のソプラノリコーダーを参考に製作された。一般のリコーダーは小学校の音楽の



図2 福祉機器コンテスト(左:国内⁴⁾, 右:海外⁵⁾)

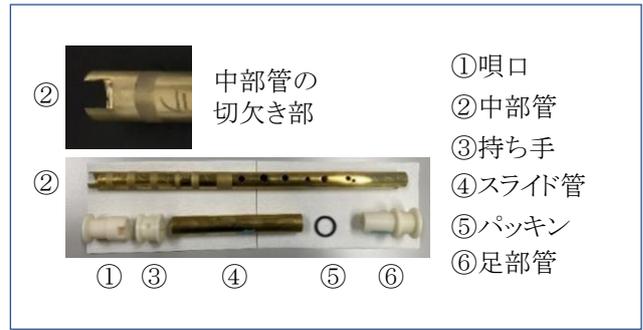


図3 スライドリコーダー(真鍮製)分解写真

授業で誰もが経験する楽器である。両手でリコーダーを支えながら、両指で穴を押さえ、音階を奏でる。小学校の音楽の授業で、リコーダー体験は必須となっている。ところが、運指(演奏する際の指の運びのことをいう)が苦手で自由に演奏できなかった旨の苦労話を聞くことも少なくない。一方、スライドリコーダーは片手で演奏でき、しかも指で穴を押さえる動作(運指)の必要が無いため確実に音階を奏でる。

開発当初は、上肢障がいの子供を対象に開発されたものであるが、その他の障がい者(例えば知的障がい者)、高齢のために指使いが衰えた者、健常者であるが元々指使いを苦手とする者にも適している。

スライドリコーダー(真鍮製)は、大坪氏により工業所有権(実用新案)が登録され、次の特徴を有する。

- ① 新規性, 独創性 : 既に世の中で知られている手が不自由な子のためのソプラノリコーダー⁶⁾とは異なるスライド式であること
- ② 経済性 : 市販の真鍮パイプ2本と樹脂部品(3Dプリンタ)で製作できること
- ③ 操作性 : 唄口をくわえることで、リコーダーを手で支える必要のないこと

スライドリコーダー(真鍮製)の分解写真を図3に、スライドリコーダー(樹脂製)の分解写真を図4に示す。スライドリコーダーは、スライド管の移動のみで音階を奏



図4 スライドリコーダー部品(樹脂製)分解写真

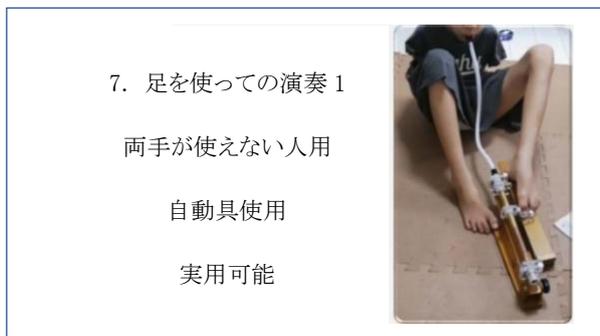


図 5 足によるスライドリコーダー(真鍮製)操作

ることができるため、足だけでも演奏できる。大坪氏の資料から抜粋した一部を図 5 に示す⁷⁾。この写真は両手が使えない子供のために、スライド管を足で操作できる構造の装具を追加し、口と唄口の間を鍵盤ハーモニカ等で利用するプラスチック製ジャバラパイプ(卓奏唄口)でつなぎ、実用可能としたものである。

2.3 スライドリコーダーの製作

スライドリコーダーを製作するにあたり、開発者の大坪氏から提供いただいた試供品を元に、各管の長さ、穴位置、穴の大きさ等を測定し、AutoCAD で図面化を行った(図 6)。

スライドリコーダー(真鍮製)の中部管はパイプで製作するが、以下に示す加工上の課題が明らかになった。

【課題点】

- ① 真鍮パイプの形状が円筒であるため、通常の万力では固定が難しい。しかもパイプの厚みは 1mm と

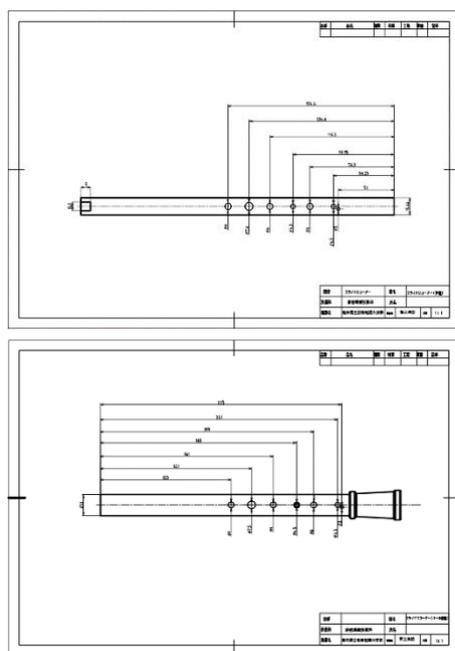


図 6 スライドリコーダー図面(上:真鍮/下:樹脂)



図 7 3D プリンタ(Stratasys BST1200es)

薄いため万力の把持力で変形が生じる。

- ② 中部管(真鍮パイプ)へのドリル穴加工の場合、曲面への加工は難しく、また、切削時の圧力により変形が生じ、パイプ内側にもバリが発生する。
- ③ 中部管(真鍮パイプ)端部に加工する切欠き部は音階を奏でるための重要な部分であるが、パイプの加工部は小径で曲面、厚みは 1mm と薄いため加工しづらく、加工圧力により変形が生じ、バリが発生する。

以上、製作上の課題点を挙げたが、パイプの変形は中部管とスライド管の良好なスライド、中部管と唄口のアセンブリに悪影響を与えた。

なお、唄口、持ち手、足部管は、3D プリンタで製作するため、加工上の課題は無かったが、3D プリンタの部品は積層成形であるため、表面にできる凹凸をサンドペーパー等を使用して研磨した。また、積層開始部分の決め方により部品の仕上がりに差が生じるため、モデル材(製品となる材料)とサポート材(モデル材の形状を支持するための材料)の配置等を判断し、積層開始部分を決定した。使用した 3D プリンタ Stratasys 社製 BST1200es を図 7 に示す。

製作上発生した課題に対しては、それぞれの解決策を施しながら、製作を進めた。

【解決策】

- A (①②に対応)

真鍮パイプの内径に合わせて製作した中実丸棒をパイプ内部に挿入した。このことによりパイプの外側から内側に生じる圧力に対して中実丸棒が抵抗する。パイプの固定及び穴加工時の切削圧にも抵抗し、パイプの変形を抑えた。

- B (③に対応)

真鍮パイプ(中部管)端部の切欠き部は、ドリルで穴を開けたのち、糸鋸を利用して仕上げた。

以上の解決策により、大坪氏が開発したスライドリコ



図 8 加工用治具

ーダー(真鍮製)と同等の試作品を技大でも製作できた。加工時に使用した中実丸棒治具(長・短)及び真鍮パイプ治具(中部管の穴位置を示すことで正確に加工するための治具)を図 8 に示す。

2.4 スライドリコーダーの音階テスト

スライドリコーダーの音階テスト結果を表 1~3 に示す。

製作したスライドリコーダーが正しく音階を奏でている

表 1 一般リコーダー(ソプラノ)の音階テスト結果

(Hz)

| | ド | レ | ミ | ファ | ソ | ラ | シ | ド |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 基準値 | 523 | 587 | 659 | 698 | 783 | 879 | 987 | 1046 |
| | +100 | +50 | +30 | +40 | +20 | 0 | -10 | 0 |

表 2 スライドリコーダー(真鍮製)の音階テスト結果(スライド管利用/運指利用)

(Hz)

| | ド | レ | ミ | ファ | ソ | ラ | シ | ド |
|------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 基準値 | 523 | 587 | 659 | 698 | 783 | 879 | 987 | 1046 |
| 製作番号 | ド | レ | ミ | ファ | ソ | ラ | シ | ド |
| 1 | 0/+5 | +13/+10 | 0/0 | 0/0 | -10/-10 | -15/-20 | -27/-50 | 0/+10 |
| 2 | -5/+10 | +10/+15 | +8/+5 | +10/+5 | 0/0 | 0/0 | -20/-20 | 0/+10 |
| 3 | -10/+5 | +10/+13 | 0/+5 | 0/+5 | -10/0 | -20/0 | -37/-20 | -15/+20 |
| 4 | -10/+5 | 0/10 | 0/0 | -5/0 | -10/-10 | -15/-15 | +10/-20 | -10/+20 |
| 5 | -5/+10 | +20/+13 | +10/+5 | +5/+15 | 0/0 | -5/0 | -27/-20 | 0/+20 |
| 6 | -10/0 | +10/+10 | 0/0 | 0/0 | -10/0 | -15/-10 | +10/-37 | -15/0 |
| 7 | -10/+5 | +13/+13 | +10/+5 | 0/+10 | -10/-5 | -15/-10 | +10/-30 | -15/+10 |
| 8 | -7/+5 | 0/+13 | +10/0 | +10/+10 | 0/0 | -5/-5 | -25/-25 | -10/+20 |
| 9 | -10/+10 | +10/+20 | -5/0 | 0/+5 | -10/-10 | -20/-20 | -37/-37 | -10/+15 |
| 10 | -10/+5 | 0/+13 | 0/0 | 0/0 | -10/-5 | -10/-15 | -27/-37 | 0/+10 |

表 3 スライドリコーダー(樹脂製)の音階テスト結果(スライド管利用/運指利用)

(Hz)

| | ド | レ | ミ | ファ | ソ | ラ | シ | ド |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 基準値 | 523 | 587 | 659 | 698 | 783 | 879 | 987 | 1046 |
| 製作番号 | ド | レ | ミ | ファ | ソ | ラ | シ | ド |
| 1 | ×/-30 | ×/-30 | -40/-40 | -80/-50 | 50/-40 | -70/-50 | -70/-50 | -30/+10 |
| 2 | ×/-40 | -30/-50 | -60/-55 | -39/-39 | -60/-50 | -55/-50 | -60/-50 | ×/0 |
| 3 | -40/-40 | -40/-30 | -45/-40 | -35/-50 | -50/-60 | -55/-60 | -60/-80 | -10/-10 |
| 4 | -35/-45 | -10/-20 | -40/-45 | -70/-70 | -80/-90 | -80/-70 | -60/-50 | -20/+10 |
| 5 | ×/-35 | -20/-10 | -30/-30 | -40/-30 | -40/-35 | -35/-45 | -60/+10 | 0/+10 |

× : 音が出ない

か確認するために、「尺八運指チューナー⁸⁾」というフリーソフトを利用した。当ソフトは、PC に入力された音声に最も近い音階とのズレをアナログメーターで表示したり、指定した音階の基準音を再生できるソフトである。

音階テストは、本来の使用法であるスライド管利用と運指利用による違いを確認するために両方のテストを行った。衛生上、テスト時の唄口にはテスト専用唄口を利用した。

表 1 は一般のソプラノリコーダー(市販)、表 2 はスライドリコーダー(真鍮製)、表 3 はスライドリコーダー(樹脂製)のそれぞれの音階テスト結果である。数値は周波数を示し、各音階の基準値に対するズレをプラス(+)とマイナス(-)で記した。スラッシュ(/)の左側にスライド管利用、右側に運指利用の結果を、音が出にくいものにはバツ(x)を記した。

一般のリコーダーの結果では、基準の周波数に比較すると最大で 100Hz の差、真鍮製の結果では最大で 50Hz の差、樹脂製の結果では最大で 80Hz の差を確認した。真鍮製の場合、スライド管と運指の結果で目立つ差はみられなかったが、樹脂製の場合、スライド管では音が出せないことがあった。運指は確実に穴を塞ぐがスライド管では完全に穴を塞ぐことが出来なかったと推察される。今後、原因の解明が必要である。将来的には、金型で製作すると改善できるのではないかと考えている。

音階テストの様子を図 9 に示す。音階テストは、「尺八運指チューナー」のソフトを起動させ、收音用のマイクに向かってリコーダーを吹いた。音階を奏でる間、PC 画面で周波数を確認できる。

3. 評価

3.1 取材

「ふくしのこころ育成事業」では、教材(試作品)評価のために関係機関を取材することとなっている。私たち

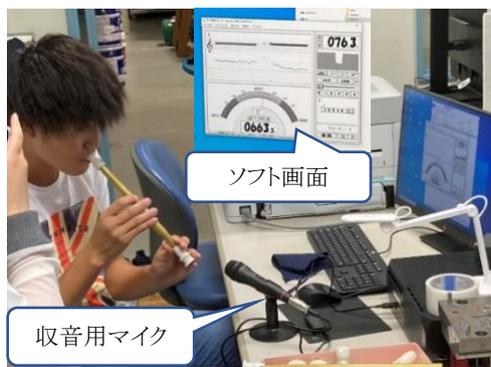


図 9 音階テスト



図 10 取材の様子(音楽室)

は、音階テストで十分な音階を奏でることのできたスライドリコーダー(真鍮製)を熊本県立熊本はばたき高等支援学校へ持ち込めることとなった。

スライドリコーダー(真鍮製)を事前に提供、当日は、高等支援学校の高等部 3 年生の音楽の授業に参加、スライドリコーダーを使用してもらいながら 6 名の生徒に評価してもらった。

技大の学生 3 人が生徒に直接話しかけながら評価を聴取した。取材時の写真を図 10 に、評価の結果を次に示す。

【評価(課題)】

- ・楽器として見た目が良い
 - ・金属であるが、特に重さは感じない
 - ・唄口をくわえることに抵抗がある(一般のソプラノリコーダに比べて唄口が大きいためくわえにくい)
 - ・中部管にドレミ…を印字したものが見えにくい
 - ・唄口と中部管の接合が硬い
 - ・スライド管に付属する「持ち手」が小さく掴みにくい
- 音楽の先生からは音色が良いと高評価を得たが、音階のズレを指摘された。

取材により抽出できた課題等については、次のような改善案を考えた。

【改善案】

- ・口でくわえない唄口の製作
- ・音階の印字文字を黒文字にする
- ・唄口の接合をはめあい(きつく)にせず、ねじ止めにする
- ・「持ち手」を大きくする

3.2 考察

スライドリコーダーは上肢障がいの子供を対象に開発されたもので、その効果は既に大坪氏が確認してい

る。ここでは、知的障がい高校生への効果を確認した結果、いくつかの課題はあるものの、概ね受け入れられ、演奏が可能であることがわかった。

スライドリコーダーは、知的障がい者にかぎらず、その他の障がい者、より広く見ると指使いを苦手とする者（高齢者や健常者）等、幅広く利用できるのではないかと考えられる。高齢者の認知症予防にも活用できるのではないかと考える。多くの方々に利用してもらうためには利用者に応じたパーツを準備する必要がある。

4. おわりに

当事業に参加したおかげで、「ものづくり」の結果で生まれる「もの」の利用者へ直接足を運び、評価を得るといふ貴重な体験ができた。「ものづくり」の最終ゴールは製品を完成させることであるが、利用者のことを考えることが大切であること、その製品が福祉関連のものであればなおさらであるとともに、ものづくりが福祉の分野でも貢献していることを実感できたと思う。

現在、スライドリコーダーの改良を次の内容で進行中である。

- ・唄口形状の変更（口にくわえず口先で吹く）
- ・ねじ留め式唄口へ変更（確実な固定）
- ・スライド管の補助レバー追加（操作性向上）

その他、音階の精度向上を試みるとともに、スライドリコーダーの長尺化、材質変更等にも挑戦して、どのような変化があるか確認し製品化の一助としたい。

私たちの報告は、以上となるが、当活動は「ふくしのこころ育成事業」及び技大の卒業研究として進行中のため、以降の結果については、それぞれの報告会で報告することとなる。「ふくしのこころ育成事業」は令和5年3月まで継続で、2月中旬には報告会が予定されている。技大の卒業研究では3月に報告会があり、報告内容は令和4年度卒業研究概要集に掲載される予定である。

謝辞

コロナ禍にもかかわらず、取材に快く応じていただいた「熊本県立熊本はばたき高等支援学校」の坂本校長、堂前教頭、音楽の間先生及び事業参加のきっかけをいただいた県地域支え合い支援室、大坪武廣先生の支援を後押しいただいた技大の尾原校長に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 熊本県ホームページ（ふくしのこころ育成事業）：
https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/life/135071_270275_misc.pdf（参照日 2023年1月20日）。
- 2) 熊本県立熊本はばたき高等支援学校：
<https://sh.higo.ed.jp/habataki/>（参照日 2023年1月20日）。
- 3) 一般財団法人大学コンソーシアム熊本：
<https://consortium-kumamoto.jp/>（参照日 2023年1月20日）。
- 4) 一般社団法人日本リハビリテーション工学協会－福祉機器コンテスト：
<https://www.resja.or.jp/contest/data/2021/index.html>（参照日 2023年1月20日）。
- 5) OHMI's Tenth Anniversary and 2021 Competition Awards：
https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CEPJYNxDNKk&skip_registered_account_check=true（参照日 2023年1月20日）。
- 6) 手が不自由なこのためのソプラノリコーダー：
<https://www.hand-and-foot.com/column/device/889>（参照日 2023年1月20日）。
- 7) 大坪武廣：一指や足でもスイスイ演奏！スライドリコーダー福祉用具のDIYへの誘い！, p7, 2021.
- 8) 尺八運指チューナー：
<https://shaku6.com/s8tuner.php>（参照日 2023年1月20日）。

ロボット製作技術による ポリテックビジョンロボット競技会の振り返り

田崎和博*

Looking back Robot Contests in Polytechvision
by robot production technology

Kazuhiro TAZAKI

機械システム技術科では、学生の技術向上や独創性を伸ばすために、資格取得や外部コンテストへの参加を積極的に推奨している。特に九州ブロックポリテックビジョンで開催されるロボット競技会には第1回大会から参加しており、ロボットを製作してみたいという学生も多く、競技会参加を目的としたロボット製作をテーマとした卒業研究は学生から高い人気を得ている。本報告では第1回大会から第20回大会までロボット製作技術を通して振り返り、ロボット製作に携わった学生の取り組みをまとめる。

1. 緒言

ポリテックビジョンとは職業能力開発大学校及び短期大学校等の日頃の教育訓練成果の発表や展示を広く一般に公開するために開催されるイベントであり、このイベントの中で、加工コンテストやロボット競技会が開催されている。本校からは、九州ブロックポリテックビジョンで開催される加工コンテストやロボット競技会に毎年参加している。他校との交流を深め、技術を競い合うことができるため学生の技術向上の良い機会となっている。

2 ロボット競技会概要

2.1 競技会ルール

ロボット競技大会概要を簡単に説明する。大会ルールは年度ごとに改正されているが、CD搬送型とピンボ

ン玉搬送型の二種類に大別される。競技フィールドの外景を図1に示す。自陣と敵陣がありそれぞれのフィールド内をロボットは移動しながら得点を重ねていく。

ロボット本体はCPUやPC及びセンサ等を搭載した自律型として、大きさは、外周1200mm以内、重量は10kg以内と定められている。ロボットが一度に搬送出来る搬送物は1個となっている。

2.2 各年度のルール変更点

第1回大会から第11回大会まではロボットがCDを搬送してビンゴを完成させというルールである。競技場内に自陣と敵陣の2つのフィールドが設置され、自陣フィールドにセットされた円盤(CD)を確保して搬送し、自陣フィールド内のCD格納場所に収納する。格納場所には番号が振ってあり、この番号は競技場内に設置されたスクリーン上の罫目の番号と連動し、スクリーン上の罫目の縦・横・斜めのいずれか1列を並べるとビンゴが完成する。

CD設置場所は初め同じ高さの1段であったが、第7回大会から異なる高さの2段に変更され、CD取得が難しくなっている。

第12回大会からはルールが大きく変わり、搬送物がCDからピンポン玉に、CD設置場所がピンポン玉を通過させる的に変更された。さらに、第14回大会からは運営がそれぞれの取得番号をWi-Fi通信

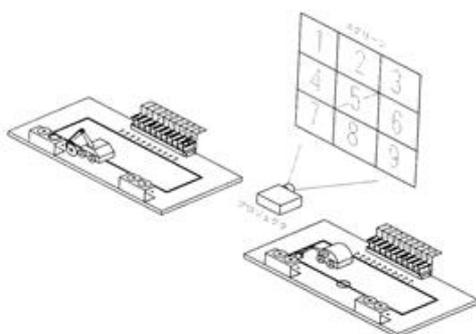


図1 競技フィールド

を使って競技者に配信し、競技者は ZigBee や Bluetooth などの無線通信を使ってそのデータをロボットに送ることが出来るようになった。このことで、ビンゴを完成させると同時に相手のビンゴの妨害をすることが出来るようになりゲーム性が増すこととなった。取得・搬送といった基本的な機能から、通信機能や相手のビンゴの妨害をするといったアルゴリズムの搭載などロボットに要求されるスペックが高くなり、ロボットを製作する学生にとって幅広い知識が必要とされるようになった。

3. ロボット製作

ロボットの製作にあたっては表1に示すように学生から様々なアイデアが提案され実現された。

表1 実現したアイデア

| | | |
|---------|-----------------|------|
| 移動方式 | ユニバーサルボール+2輪 | 第1回 |
| | 4輪 FR | 第10回 |
| CD 取得方式 | 把持機構（ソレノイド開閉） | 第1回 |
| | 把持機構（モータ開閉） | 第2回 |
| | 把持機構（ウォームギヤ開閉） | 第3回 |
| | ダブルアーム | 第6回 |
| | 把持機構上下移動（平行リンク） | 第8回 |
| 制御方式 | ダブルCPU | 第5回 |

構想段階においては、人型ロボットに刺激された歩行型、空中移動のドローンなどの発想豊かなアイデアが提案されるなどしたがどれも実現までは至っていない。

3.1 ロボットの移動と位置検出

ロボットの移動方式は前述したように様々なアイデアが提案されるが、安定性と製作・メンテナンスの面より、ユニバーサルボール1個を前輪とした後輪2輪駆動型を多く採用している。また、フィールドを移動するロボットにおいて位置の検出が最も重要な課題である。位置の検出としては、エンコーダを用いて移動距離を検出する方法やフィールド上の目印となるマーカーなどを検出する方法、もしくは、これら2つを組み合わせる場合がある。

競技会のフィールドには白線および取得・格納場所にマーカーが設置されているので、ロボットの底

面に反射型センサを搭載し白線及びマーカーの検出をおこなっている。ロボットはまずライントレースを行ってこの白線上を移動し、それぞれのマーカーを検出することで位置の確認を行い、搬送物の取得や格納を行う。

近年のロボットに搭載の移動用センサの数は、直角ライン検出を含めた前進後退用のライントレース用6個、取得・格納位置検出用に2個の計8個となっている。

3.2 搬送物の取得と格納

第11回大会までの搬送物はCDが対象となっている。ロボットには水平に設置されたCDを取得して搬送し90度回転させ垂直にして格納する機能が求められている。図2にCD取得、図3にCD格納のロボットの状態を示す。

また、第6回大会からは図4のようにCDの設置が2段になり、高さの異なる場所のCDを取得する機構が求められた。CDを把持するアームには、初めシングルアームを採用していたが、ルール変更に伴

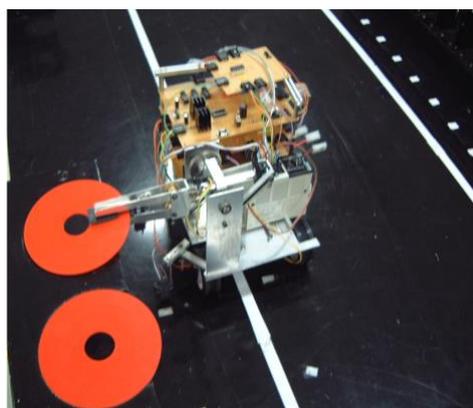


図2 CD取得

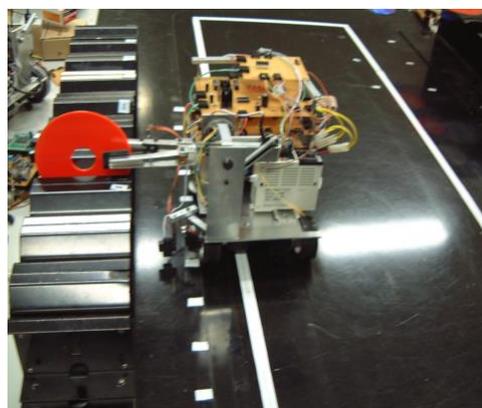


図3 CD格納

い上下を別々に把持するダブルアーム，並行リンク機構を用いて上下移動を可能にしたアームなどが採用された．また格納時には 90 度の回転を行わなければならない，この 1 軸を制御するモータが必要となっている．CD 搬送最後となる第 11 回大会では，把持部分の開閉，上下機構部分と合わせて，アームには 3 個のモータを取り付けていた．



図 4 2 段になった CD 設置台

第 12 回大会からは搬送物がピンポン玉に変更されルールの変更に伴ってロボットの取得機構が大きく変わった．ピンポン玉を CD 同様把持することは難しく，包み込むかもしくは移動させて格納する方式へと変化していった．学生のアイデアとして，三つ爪や四つ爪で把持するチャック機構なども提案されたが，ロボット本体に比べて大掛かりな機構となるため，より簡単なピンポン玉に覆いかぶせて取得する方式を採用した．

特に図 5 に示すように第 14 回大会からはピンポン玉の設置方法が高さの違う 2 種類の筒の上部へと変更になりピンポン玉の取得方法においてはピンポン玉を下からすくい上げる方式と上から覆いかぶせる方式のどちらかが採用されている．この大会以降ピンポン玉の設置方法は変更されていない．

また，的としての格納場所へのピンポン玉の移動方法として，①的を狙って飛ばす，②格納場所までロボットが移動しての的へ格納する，③ロボットの移動はなく腕を伸ばしての的へ格納する，などのアイデアが出された．しかし，②や③では「的を狙う」という動作がなくゲーム性に乏しいと考え，また③では腕を長く伸ばすため振動が発生し不安定になるこ



図 5 第 14 回大会の様子

とが分かった．腕を支えることで振動を抑えるアイデアも出されたが，最終的にゲーム性の高い①を選択し，ピッチングマシンのように回転体で挟んで飛ばすという発射方式となった．

3.3 制御方法

産業機械科（現 機械システム技術科）では，自動機の制御としてシーケンス制御を学んでいるので，第 1 回，2 回大会では PLC を用いた制御を行った．第 3 回大会以降では，車体の軽量化を目的として制御部をマイコンに変更している．授業においてもマイコンを用いたライントレースカーの製作実習が行われており，ロボット製作はこの授業の応用課題としての位置づけとなっていた．マイコンには Super AKI-80 を使い，開発言語としてはアセンブラを使用している．図 6 に示すように Super AKI-80 を搭載し入出力を増やした基板を作成している．しかし，二班での卒研となった場合には片方の卒研班は PLC

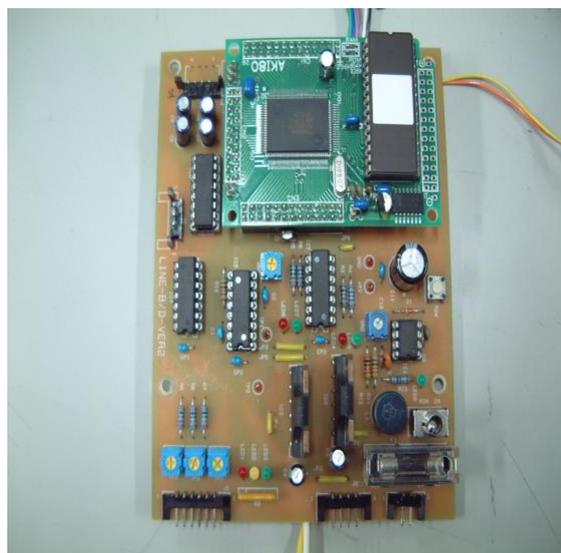


図 6 Super AKI-80

を用いて制御を行う場合もあった。第5回大会からはZ80に換えてPICマイコンを使用しており開発言語もアセンブラからマイコン用C言語へ変更している。

モータの制御方法は、PWM方式を採用しており、TA7219Pなどのモータドライバの載った制御基板へマイコンからPWMパルスを送ることで、スピード制御を行っている。

第14回大会からは通信分野のプログラミングも必要となり、ロボットにZigBeeを搭載しパソコンとロボット間の無線通信を可能としている。マイコンとZigBee間はUARTを用いたシリアル通信でデータ転送を行っている。第15回大会からはモータドライバに換えてモータコントローラを用いた制御法に変更している。モータコントローラとは、マイコンからUARTを用いたシリアル通信でコマンドを送信すると、例えばモータコントローラに“F 80”コマンドを送信すると“正転 80%”でモータを駆動するものである。マイコンで行っていたPWMのデューティ比の計算などのプログラミングをすべてコントローラに任せることができ、ビンゴアルゴリズムのプログラミング作成に専念できるようになった。

4. 結言

全20回大会のうち、令和3年2月、令和4年2月開催の競技会にはコロナ禍の影響で参加することができなかった2大会を除き、18回の大会に参加している。このうち、予選通過は5回という成績である。しかし、2005年に沖縄ポリテクカレッジで行われた第3回大会で優勝と準優勝、2018年の九州ポリテクカレッジで行われた第16回大会で優勝を獲得している。また、2010年に川内ポリテクカレッジで行われた第8回大会では、並行リンクを用いたアームの上下運動機構においてアイデア賞を頂いた。それぞれ、図7は沖縄での優勝・準優勝チーム、図8は第16回大会優勝チームである。

競技用ロボットには、スピードと正確性といった相反する性能が求められる。優勝したロボットはい

ずれも正確性を重視したロボットである。スピードを重視したロボットがミスを犯す中安定した動きで確実に得点を重ね優勝を勝ち取っていった。ロボットを製作した学生の性格が現れており学生指導において大いに参考となった。

ロボットの製作を通して学生が学ぶ技術は年々変化し続けている。常に完成形を追い求めることで学生らは自ら進んで技術を修得し、ものづくりの楽しさだけでなく難しさをも学ぶことができると考えられる。



図7 第3回大会 優勝・準優勝チーム

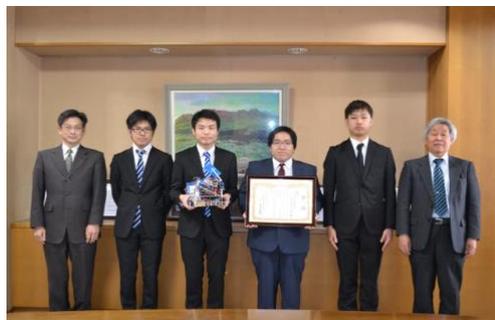


図8 第16回大会 優勝チーム

謝辞

ロボット競技会参加の20年を振り返り、ロボット製作に熱心に取り組んでくれた全ての学生とその場を提供して頂いたロボット競技会実行委員の先生方に感謝を申し上げます。

社内 LAN 設計演習課題を通してみる学生の理解度

甲斐隆志*

The level of understanding of the lessons through designing a LAN

Takashi KAI

電子情報技術科2年前期「情報通信工学Ⅱ」は、インターネットで用いられる TCP/IP を中心としてネットワーク通信技術の基礎を学ぶ講義である。座学による知識のインプットが主となる本講義において、習得した知識のアウトプットを目指し、社内 LAN 設計演習課題を毎年学生に課している。

本報告では、2019年度から2022年度までの4年間に学生が提出したレポートに基づき、学生が TCP/IP についてどの程度理解しているかを分析する。また、学生にとってより役立つ講義とするために今後取り組むべき課題について述べる。

1. はじめに

企業において、各社員に1台ずつコンピュータが貸与され、社内 LAN などのネットワーク(NW)に接続して業務を行う形態が一般化して久しい。Ethernet は高速化し、Wi-Fi などの無線接続も普及した。近年はタブレットやスマートフォンで業務を行うスタイルも目新しくなった。新技術が次々と登場してどんどん便利になった上に、コロナ禍によるリモートワークの増加などの社会状況もあり、コンピュータ NW の重要性は益々増大している。

しかしながら、総務省の令和3年通信利用動向調査によれば、ICT 人材が不足していると回答した企業は全体の53.0%に及ぶ。それらの企業で不足している人材はNW技術者が69.3%と最も高い。さらに、産業分類別にみると、全ての産業で不足人材はNW技術者の割合が最も高い¹⁾。ICT 人材、特に NW 技術者は情報通信業だけでなく産業界全体で幅広く求められていることがわかる。

筆者は、本学の電子情報技術科の学生に対して2年前期「情報通信工学Ⅱ」の講義を2019年度から担当している。(学科名変更、カリキュラム変更のため、2020年度までは電子システム技術科、「情報通信工学」であった。)本講義において、インターネットの基本プロトコルである TCP/IP を中心とした NW 通信技術の基礎知識を学生は座学形式で学ぶ。様々な産業で ICT 人材が

求められていることを考えれば、本講義で学習する内容が非常に重要であることは間違いない。

一方で、専門用語など覚えることも多く、知識のインプットが主となる授業であることから、退屈な暗記科目になってしまう恐れもある。ただの丸暗記になっては意味がないし、知識を定着させるにはアウトプットが重要であることはよく知られている。そこで、本講義におけるアウトプットの一環として、簡単な社内 LAN の設計演習を課題レポートとして、学生に毎年度課してきた。

本報告では、2019年度から2022年度までの4年間に学生が提出したレポートの内容に基づき、学生が TCP/IP についてどの程度理解しているかを分析する。また、次年度以降の講義をより充実させ、学生にとってより役立つものとするために今後取り組むべき課題について述べる。

2. 実施科目と課題内容

情報通信工学Ⅱでは、OSI 参照モデルと TCP/IP 階層モデルに基づき、OSI 参照モデルでの第1層(物理層)から第4層(トランスポート層)を中心として各階層について学習する。特に Ethernet、IP アドレス、IP ルーティング、TCP と UDP などに力を入れている。LAN についての説明は行っており、NW トポロジー、NW 接続機器などは講義で扱うが、LAN の具体的な設計については最終講義時に解説する以外は一切取り扱っていない。

* 電子情報技術科

い。課題においては、授業で全く学習していないことも含めて、自分たちで調べて設計に反映させることを求めた。ただし、教員や他者への質問を禁止するわけではなく、他班も含めて積極的に相談・情報交換するように言い含めた。

社内 LAN 設計演習課題は毎年度の第1回講義で学生に提示し、提出期限は約5か月後の夏休み明け最初の講義時としている。2022年度の場合、4月8日の第1回講義で提示、9月2日の第16回講義時に提出締切であった。初回講義で課題提示をしても必要な知識がないため、すぐに課題に取り掛かることができる学生は少ないと考えられるが、学生が講義に漫然とではなく目的意識を持って臨むことを期待して第1回講義で提示している。授業内で演習課題に取り組む時間は基本的に設けず、取り組み方は各自に任せた。年度ごとの課題内容について、細かい変更はあるものの基本構成は同一である。2022年度の課題内容を次に示す。

電子情報技術株式会社では新築した熊本支店ビルに社内 LAN を構築します。LAN 設計はコンペ形式で外部に発注します。

みなさんは LAN 設計を請け負う会社に勤務しています。コンペに勝って LAN 設計を受注できるような提案書を作成してください。

○電子情報技術株式会社概要

- ・熊本支店ビルは3階建て。
- ・1階に営業部50人、2階に技術サービス部30人、3階に総務部10人が入っている。
- ・各部内は固定座席制で10人ずつの島を作るように机が配置されている。
- ・営業部では社員 PC から営業部サーバへのアクセスは少ない。
- ・技術サービス部では社員 PC から技術サービス部サーバへのアクセスが多い。
- ・総務部では社員 PC から総務部サーバへのアクセスは少ない。
- ・社員増は今のところ予定されていないが、業績は好調である。
- ・サーバは各部に分散設置することも、2階サーバ室に集中設置することも可能である。

○LAN 設計条件

- ・ギガビット・イーサネットで構築する。
- ・社内 LAN への接続対象
 - ・社員全員分のデスクトップ PC
 - ・営業部サーバ1台、技術サービス部サーバ2台、

総務部サーバ1台

- ・各サーバへはすべての部からアクセスできるようにする。
- ・社内 LAN のみで社外インターネットへの接続はしない。(将来は接続可能性あり。)
- ・IP アドレスはプライベートアドレスを使用する。
- ・ケーブル配線の制限は考慮しなくてよい。(制限内にあるとする。)
- ・物品費のみ考慮し、工事費は考慮しない。
- ・使用する物品は下記の表から選択する。

| | | | | |
|----------|---------|----|----|-----|
| リピータハブ | ポート数(口) | 16 | 24 | 48 |
| | 価格(万円) | 1 | 2 | 4 |
| スイッチングハブ | ポート数(口) | 16 | 24 | 48 |
| | 価格(万円) | 1 | 2 | 4 |
| ルータ | ポート数(口) | 8 | 16 | - |
| | 価格(万円) | 10 | 20 | - |
| レイヤ3スイッチ | ポート数(口) | 16 | 24 | 48 |
| | 価格(万円) | 30 | 50 | 100 |

○提出物

- ・提案書(重視した点や考慮した点、メリット・デメリットなどの説明)
- ・ネットワーク構成図
- ・IP アドレス設計表
- ・物品費見積書

○特記事項

- ・個人でも、班(3人以下)でも取り組み可とする。
- ・班の場合は各人の担当した部分を明記する。

課題内容について、詳細な設定をしていない部分があり、いくつかの選択肢をとり得る余地がある。実務ではお客様へのヒアリングや現地調査等で詳細を詰めていくことができるが、課題では不可能であるため判断は各自に任せた。ただし、判断に迷い助言を求める班に対して、設計案をあえて2案作成し、各案の長所・短所を強調してお客様に選んでいただく、あるいは自分たちが推す第1案を売り込む方法があることなどを伝えた。

3. 実施結果と考察

課題に取り組んだ学生の年度別、班員数別の班数を表1に示す。誰と組むか、あるいは1人で取り組むかについては各自の判断に委ね、教員からの指示はしなかった。2019年度は1班当たりの人数制限をせず、班員数が多すぎる班ができてしまったため、他人任せに

してしまう学生が出ないように、2020年度以降は班員数を3人までに制限し、各班員の担当部分をはっきりさせるようにした。年度によって異なるものの1人で課題に取り組む学生も少なからずいて、何度も質問に来て熱心に課題に取り組む学生も何人かいた。

表1 年度別、班員数別の班数

| | | 班員数 | | | | | 計(班) |
|----|------|-----|---|---|---|---|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | |
| 年度 | 2019 | 6 | 2 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | 2020 | 3 | 5 | 1 | - | - | 9 |
| | 2021 | 6 | 4 | 3 | - | - | 13 |
| | 2022 | 1 | 2 | 5 | - | - | 8 |

学生の提出物は大きく2種に分かれた。コンペに出す提案書であるという設定を踏まえ体裁を整えたものとそれらがほとんど考慮されていないものである。特に違いが出たのは物品費見積書で、本物の見積書のような体裁で作成した班もあれば、物品ごとの物品費が手書きで書かれているだけの班もあった。体裁を整えた班の提出物の方が全般的に誤字・脱字などの誤りが少なかったことは興味深い。実際に即した体裁だと見直し作業が普段より丁寧になったとの学生の声があった。

設計案をあえて2案作成する方法を伝えた場合、助言をうまく生かすことができる学生は少なくなかった。例えば、冗長性を重視した設計とコストを重視した設計の2案を作成・比較し、冗長化のメリットを強調する提案書を作成した班がいくつかあった。

現在の一般的な LAN 設計では、各 PC からアクセススイッチ、フロアスイッチ、コアスイッチと接続する3層構成が多い。規模によってフロアスイッチは省略されることもある。サーバはサーバ室に集中設置し、サーバファームスイッチを経由して、あるいは直接、コアスイッチに接続する形態が一般的だろう。ここでは冗長化を含まない基本構成のみを考える。

学生が設計した NW 構成の典型的な例を図1に示す。図右側の各階のスイッチングハブ(SW)がアクセススイッチに該当する。フロアスイッチは設置されていない。図中央のルータ(RT)あるいはレイヤ3スイッチ(L3SW)がコアスイッチである。図1の構成ではサーバファームスイッチは設置されておらず、各サーバはコアスイッチに直接接続されている。将来のインターネット接続時はコアスイッチに直接接続する。多くの班が図1に似た構成

を採用していた。授業では具体的な LAN の NW 構成は扱っていないので、各班が書籍・ネットなどからの情報収集や他班との情報共有を行った結果だと考えられる。現在の一般的な NW 構成をほぼ実現できており、基本的な構成は理解している学生が多いようだ。

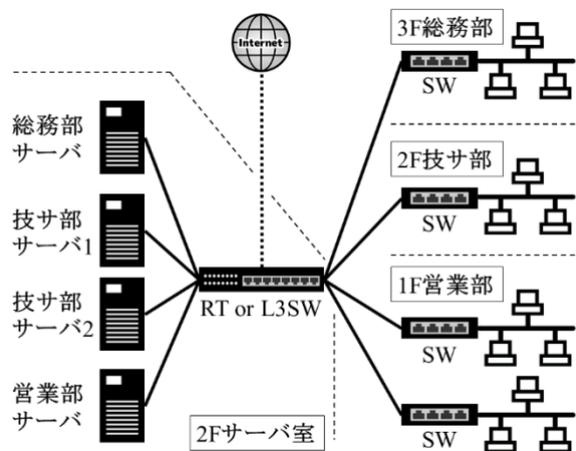


図1 学生が設計したネットワーク構成の典型例

典型例と異なる設計として、RT や L3SW を用いずに全ての中継装置を SW で構成した案やフロアスイッチに L3SW を採用してフロアスイッチ間を OSPF でルーティングする案などもあった。必ずしも成功しているわけではないが、自分たちなりの選択・判断をし、授業で学んだことなどを積極的に活用しようとする姿勢を評価できる設計もあった。

1階営業部に設置される SW の台数は2台の場合と5台の場合が多かった。ポート数の多い SW を用いて最小台数にする考え方と10人ずつの島を作るような机配置に合わせる考え方が反映された結果である。本課題においてはフロア配置や部内の組織構成などの詳細が不明であるし、物品費の差が出ないためどちらを選んでもよいだろう。座席の10人ずつの島が課ないし係を構成すると仮定すれば、VLAN を考慮することもできる。講義では VLAN を扱っていないこともあり、そこまで踏み込んだ設計をした班はなかった。

本課題には唯一の正解はなく、設計者によって色々な解があり得る。しかし、明らかに誤っている設計や不適切な設計はある。表2は誤った、または不適切な設計をした班の割合を年度別、設計例別に百分率で示したものである。表2の各丸付き数字は次の設計例を表す。

- ①リピータハブ(RH)の使用
- ②RT と L3SW の使い分けが不適切
- ③IP アドレスとサブネットマスクの不整合

- ④ネットワーク層で動作する装置 RT(L3SW)とNWの関係についての理解不足
- ⑤一切の冗長化なし
- ⑥故障時に交換するための予備装置なし
- ⑦RT などに対してアクティブ/スタンバイ構成での冗長化なし

各設計例の詳細は次節以降で取り上げる。

表2 誤った、または不適切な設計をした班の設計例別の割合(%)の推移

| | | 設計例 | | | | | | |
|----|------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ |
| 年度 | 2019 | 64 | 55 | 45 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 2020 | 11 | 89 | 33 | 67 | 22 | 56 | 44 |
| | 2021 | 0 | 85 | 15 | 38 | 15 | 46 | 38 |
| | 2022 | 13 | 50 | 0 | 75 | 38 | 50 | 50 |

3.1 ネットワーク構成

表2の項目①は RH を用いた設計である。現在の設計では図1のようにアクセススイッチに通常 SW を用いるが、2019年度は RH を用いた班が60%以上であった。RHはSW に取って代わられた陳腐化物品であり、新規設計で使用しないことは授業で扱ったが、あまり記憶に残らなかったようである。本課題では RH と SW の価格差が全くないので、費用面からも RH を選択する理由はない。2020年度以降、授業にて RH を使用しないことをより強調するようにしたため、誤った設計例は急減した。

項目②は RT と L3SW の使い分けが不適切な設計例である。コアスイッチには一般に L3SW を用いる。装置の進歩により両者の明確な区別はしづらくなっているものの、インターネットに接続する際に RT, LAN 内では L3SW を用いるのが一般的であると授業で取り扱っている。よって、コアスイッチに RT を用いることは誤っている訳ではないが、本課題ではコアスイッチに L3SW, 将来のインターネット接続時に RT を別途新設して、L3SW から RT 経由でインターネット接続する構成がより良いと考える。この構成であれば RT にファイアウォール機能を持たせることでセキュリティ面の信頼性も考慮できる。表2の割合の推移からコアスイッチに RT を選択した班が非常に多いことがわかる。これは主に必要ポート数及び RT と L3SW の価格差から適用を判断したことによる。これまでの授業では RT と L3SW の違いが明確でなくなってきたことを強く印象付けてしまった

ようなので、今後はそれぞれの役割分担を強調するように授業内容を工夫したい。

3.2 IP アドレス設計

IP アドレス設計については、よく理解できていない学生が多い。表2の項目③は IP アドレスとサブネットマスクの整合性が取れていない設計である。例えば、NW アドレス 192.168.1.0/24 の NW 内の PC に 192.168.2.1 が設定されているような場合である。サブネットマスクについて一切言及されていない設計も含まれている。2019年度は約半数の班で IP アドレスとサブネットマスクに矛盾があったため、次年度からサブネットマスクの考え方や設定方法について授業での演習時間を増やし、課題において明らかに誤った設定をする班は減少した。しかし、LAN 設計課題とは別に、IP ルーティングに関連してルート集約の演習を行うと、正しくサブネットマスクの設定ができない学生が少なくないので、必ずしも理解・定着しているとは言えない。

項目④はネットワーク層で動作する装置 RT(L3SW) と NW の関係についての理解不足である。RT(L3SW) は NW 同士を接続する、すなわち NW の境界に設置される装置である。図2に NW1 と NW2 の2個の NW が L3SW を介して接続されている場合の正しい IP アドレス設定の例を示す。NW1 と NW2 が接続される L3SW の各インタフェースに IP アドレスが付与されることに注意したい。一般に RT(L3SW) には複数の IP アドレスが付与される。

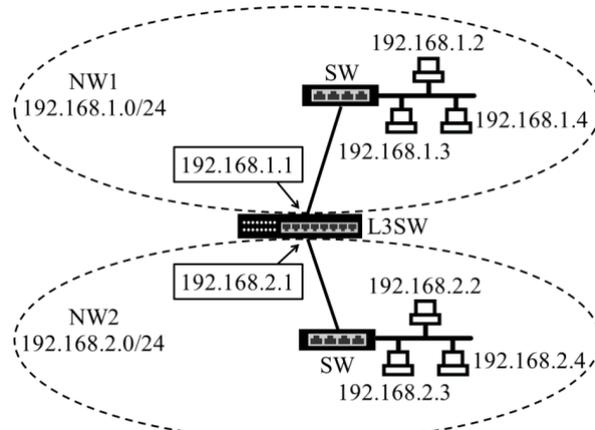


図2 正しい IP アドレス設定例

項目④の具体例として多かったのは、RT(L3SW) が設置されているのに、全体が1個の NW としてアドレス設計されている例と RT(L3SW) に複数ではなく1個のみアドレスが付与されている例であった。図2のような典

型例は授業でも取り上げているが、表2の年度別推移からも図2で示した内容が学生に正しく伝わっていないことがわかる。今後は、誤った IP アドレス設定例を用いて問題点を修正する演習を授業に取り入れることで、知識の理解・定着を図りたい。

3.3 冗長化

社内 LAN 設計において冗長化を考慮することは重要である。しかし、課題提出締切り前の講義では冗長化についてあえて触れていない。課題出題者としては自分で気付いてほしい項目であり、LAN について少し調べれば冗長化の重要性にはすぐたどり着くことができるはずだと考えているが、実際はうまくいっていない。

表2の項目⑤は冗長化が一切考慮されていない設計である。2019年度は全班が冗長化を行っていなかったが、2020年度以降、冗長化をしなかった班は著しく減少した。これは自ら気付く学生が急に増えたわけではなく、設計途中で質問・確認に来た班に対してヒントを与えるようにしたためである。多くの学生は、装置の故障などで NW が停止することや停止した場合の影響をあまり想定しないようである。しかし、「この RT が故障したら、サーバとつながらなくなるね。直るまで仕事は休みにするの?」、「会社では物品購入も手続きが必要で、ちょっとその電気屋で交換用の装置を買ってくる、というわけにはいかないよ。」といったことを指摘すれば故障対策の必要性に気づき、何らかの冗長化を考慮することができる。よって、2020年度以降の冗長化をしなかった班は、質問に来なかったり、他班との情報交換が不十分だったりといったあまり課題演習に積極的ではない班が多いと推測される。現段階で各自の知識が不足していることは当然であるが、それを補うためにコミュニケーションを密に行うなどの積極的な行動を期待したい、と同時に授業の中でそのように学生を誘導することを心掛けたい。

項目⑥は故障時に交換するための予備装置を考慮していない設計である。項目⑥の割合には項目⑤の班数も含まれる。交換用予備装置は冗長化として最も単純かつ簡単な方法である。どの程度までシステムの可用性を求めるかによるが、故障影響範囲と対策費用を考慮すれば、アクセススイッチ、あるいはフロアスイッチに対する冗長化の方法としては第1案となり得る。一方、コアスイッチに対する冗長化としては一般的ではないが、本課題における学生が考えた冗長化としては評価に値する。2020年度以降、半数の班で何らかの交換用予備装置が考慮された。交換用予備装置を考えなかった班

では、コストを抑えることに重点が置かれている場合が多かった。

アクセススイッチは一般に多数設置される。予備として何台準備するかは規模や考え次第ではあるが、本課題の条件から判断すれば1台もしくは2台が妥当であろう。学生の設計では1台とする案が多く、その理由はコストをできるだけ抑えることを考えた結果であった。学生はコスト低減について強く意識していて、重要な事柄だと認識しているようである。

項目⑦は RT などに対してアクティブ/スタンバイ構成での冗長化を行っていない設計である。項目⑦の割合には項目⑤の班数も含まれる。アクティブ/スタンバイ構成による冗長化は古くからある方法であり現在の主流ではないが、学生が考えるコアスイッチへの冗長化としては高く評価できる。アクティブ/スタンバイ構成はスタンバイ系の状態により、ホットスタンバイ方式とコールドスタンバイ方式に大きく分かれる。方式が明記されたレポートはわずかだったため別途確認したところ、大半は明確にはないもののホットスタンバイを想定していた。ただし、その場合の IP アドレス設計までしっかり考え抜いた学生はおらず、あやふやにしている例やあきらめてコールドスタンバイにした例があった。冗長化は高度な内容であり、実際の設計においては IP アドレス設計を物理構成と論理構成の2段階で行うなど複雑さを増す。よって、学生が簡単に解決できないのは当然であり、出題者としてもそこまでの完成度は求めていない。

装置に対する冗長化を考える班が多かったが、LAN ケーブルに対する冗長化を考慮した班があった。本課題では建物の詳細などは与えておらず、LAN ケーブル配線や工事費は考慮しなくてよいが、ケーブル故障に備えて予備の LAN ケーブルと一緒に配線しておくという案を彼らは考えた。故障時の復旧時間短縮ができる上に人員増などでの LAN 拡張時にも活用できるため、実際的な案であろう。このような案が学生側から出てくると彼らなりに色々と考えていることがわかり、本課題を出した甲斐がある。

毎年度の最終講義時に、冗長化をテーマとして取り上げ、図3のような本課題における冗長化まで含めた NW 構成例を示している。現在の一般的な設計に基づき、2台のコアスイッチをスタック接続して論理的に1台とし、フロアスイッチまたはアクセススイッチとはリンクアグリゲーションで接続する。フロアスイッチとアクセススイッチの故障時は交換用予備装置で対応する。LAN の規模や求める可用性の程度によって、フロアスイッチはス

タック接続で冗長化してもよい。将来のインターネット接続時には、図左上の2台の RT を新設シコアスイッチに接続する。

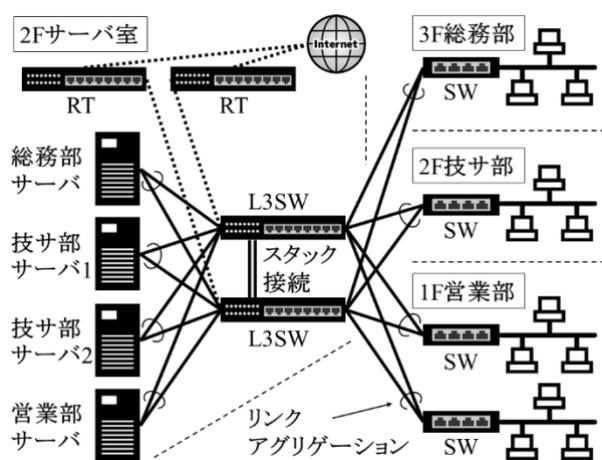


図3 冗長化まで含めたネットワーク構成例

学生にこのNW構成を求めるのは難易度が高すぎるという意見があるかもしれないが、現在主流の設計としてこのような構成があることをネット検索などから知るのはそれほど難しいことではない。インターネット普及後、何かについて「情報を得る」ことのハードルは著しく低くなり、細かいことまで全て覚えておく必要性は減った。しかし、本当に必要な情報、重要な情報を見つけ出し、それを目の前の問題にうまく適用させることは今後も必要かつ重要なことである。このLAN設計演習課題はその練習を兼ねると筆者は考えている。

4. 今後の課題

3.2節で述べたIPアドレスとサブネットマスクの設定について更なる理解・定着を図りたい。LAN設計演習の現状の設計条件では、プライベートアドレスを用いることだけ指定されているので、アドレス空間を贅沢に使うことができる。/24のようなわかりやすいサブネットマスクを用いれば、矛盾のないアドレス設計が可能で間違いも起こしにくく、実際的である。しかし、設計条件を追加することによって、学生にサブネットマスクについて意識的に取り組んでもらうことができる。例えば、次のような条件を追加すると必ずサブネット化をしなければならないので、学生は知識の再確認ができる。

- ・各部の社員PCはそれぞれ別のNWに属し、各NW

のIPアドレス空間は必要アドレス数を満たす最小なものとなるようにする。ただし、社員PCに割り当てるIPアドレスは全て192.168.1.*とする。

これまでの講義ではVLANについて触れていなかった。本課題においてもVLANを用いた設計はほとんどなかった。VLANを用いればより柔軟な設計が可能であるが、現在の課題設定では必ずしもVLANを用いなくてもNW構築は可能である。一方、実際のLAN設計においてVLANは必須と言えるだろう。次年度以降の講義においてVLANを取り扱うことを検討中である。その場合、課題内容にVLANを盛り込むことも考えられる。例えば、営業部内に第1営業課と第2営業課がある、営業部と技術サービス部は1階と2階に分散配置するなどの設定を追加すると、VLANを活用した設計を考察するきっかけになる。しかし、既に述べたようにIPアドレス設計について理解不足の学生が少なくない現状で、設定をより複雑にすることに躊躇する部分もあり、今後更に検討していきたい。

5. まとめ

電子情報技術科2年前期「情報通信工学Ⅱ」の講義で2019年度から2022年度まで学生に課した社内LAN設計演習課題のレポート内容に基づき、学生の理解度を調べ、次のことがわかった。LANの基本的なネットワーク構成を理解している学生は多いが、サブネットマスクを用いたサブネット化、ルータとネットワークの接続などIPアドレスの設定をよく理解している学生は多くない。学習していない冗長化に自ら気付く学生は少ないが、冗長化の必要性を理解した学生は何らかの冗長化を行うことができる。今後の課題としてIPアドレスの設定についての条件追加、講義でのVLANの取り扱いの追加などが挙げられる。

初年度にこの課題を課した際は無茶ぶりしすぎかなとも思ったが、毎年学生はよく頑張ってくれている。本講義を受講し、真面目に課題に取り組んでくれた学生諸君に感謝します。

参考文献

- 1) 総務省情報流通行政局:令和3年通信利用動向調査報告書(企業編),総務省, https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/pdf/HR202100_002.pdf, 参照日: 2022-11-17.

Excel VBA による数値計算ツールの開発

趙 華安*

Development of numerical calculation tools with Excel VBA

Hua-An ZHAO*

Excel は、幅広く使用されているマイクロソフト社製のソフトウェアの1つで、多くのコンピュータに標準アプリケーションとしてインストールされている。本研究の目的は、基本的な数値計算問題(方程式の解法、連立方程式の解法、補間と近似、数値求積法、常微分方程式の解法)を Excel VBA (Visual Basic for Applications) のマクロにより、自動的に計算するツールを開発し無償に提供することである。このツールを開発する目標は、ツールの操作を簡略化し、ユーザが VBA プログラムに触ることなく、自動的に数値計算が行えることである。特に、数値計算の対象関数 $f(x)$ を Excel の画面で直接に入力する方法を研究し、このツールの汎用性と利便性を著しく向上した。また、数値計算における誤差は、期待される精度に応じられるようにも考慮した。

1. はじめに

数値計算法は、古くから解析学、代数学、計算理論などの諸分野において確立され、解析的に解けない多くの非線形方程式や微分方程式の数値解、積分の計算に使われている。数値計算法は、誤差許容範囲で近似解を求める方法で、膨大な計算量を必要とする問題は数多く、今日の数値計算法は、コンピュータを抜きにして論じることができなく、コンピュータ科学をはじめ、いろいろな工学分野に不可欠な知識と道具となっている。

現在、多くの数値計算ソフトウェアが開発・販売されているが、例えば、Mathcad, MATLAB, Mathematica など、いずれも高価である。また、フリー数値計算 Web サイトもあるが、オンラインが必要で一部使用制約がある。本研究は Excel VBA を用いて、数値計算ツールを開発し無償に提供する。ユーザが VBA の知識をもっていなくても、基本的な数値計算が自動的に行える。また、このツールの VBA プログラムも提供しているため、ユーザが目的に応じて編集できるなどの長所を有している。

2. Excel 並びに Excel VBA の概要

マイクロソフト社の Excel は、パソコン用表計算ソフトウェアの中で最も普及している完成度の高いソフトウェアであり、多様なグラフ機能とデータベース機能があり、い

ろいろな分野で高度な科学技術系の計算ソフトとして活用されている。

Excel VBA は、MS Office 5.0 からすべての Office 製品に拡張機能として無償で提供され、Excel の操作をマクロにより自動化するプログラミング言語で、Visual Basic と同等の機能をもっている。マクロとは、Excel 上での操作を記録し自動的に実行してくれる機能のことである。よって、Excel VBA を用いれば、Excel 操作を自在に操ることができ、処理の自動化が可能になる。

2.1 VBA プロジェクトの起動

Excel には、一般操作を行うワークシートの画面とは別に、VBA 記述用の画面が用意されている^{1)~3)}。図1のように、Office2019のExcelのメニューバーから、[開発]—[Visual Basic]を選択することで、VBAが起動される。もし、メニューバーに[開発]タグが表示されない場合、[ファイル]—[オプション]—[リボンのユーザ設定]—[メインタブ]—[開発]をオンにする。



図1 Excel VBAの起動方法

起動されたVBAの画面を図2に示す。この画面をVBAのエディターVBE (Visual Basic Editor)ともいう。VBEで、[挿入]—[標準モジュール]を選ぶと、図2のように右側に「コードウィンドウ」が現れ、VBAコード(プログラム)を入力・修正する場所となる。左上の部分プロジェクトウィンドウ、左下の部分はモジュールウィンドウと呼ぶ。プロジェクトウィンドウで作成したプログラムなどを一括管理する。「標準モジュール」を挿入すると、モジュールウィンドウに、「Module1」が追加される。複数の標準モジュールを作成することが可能であり、よって、1つのマクロは複数のモジュールから構成することができる。VBAプログラムを作成する方法には、「マクロ記録法」と「コード記述法」がある⁴⁾。

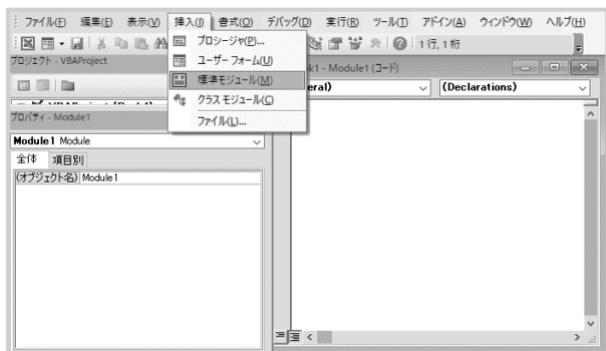


図2 VBAのエディターVBEの画面

2.2 VBAコードの記述と実行

VBAコードの作成と編集を行う場所は、図2の右側のコードウィンドウである。図3は、実装したVBAプログラムの例であり、全てのVBAコードをコードウィンドウ内のSub module name ()~End Subと表示されている範囲に書き込む。実行するとき、メニューバーの「実行」をクリックすることで、VBAが自動的に実行される。

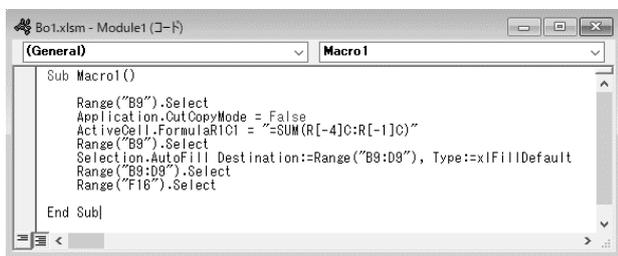


図3 コード入力・修正のコードウィンドウ画面

3. Excel VBAによる数値計算ツールの実装

本稿では、ページ数制限の関係で、全てのアルゴリズムおよびExcelでの計算方法を記述することができないため、開発した数値計算ツールの使い方を中心に、

方程式解法(ニュートン法、はさみうち法、二分法)、行列演算と連立方程式解法、補間と近似(ラグランジュ補間、最小二乗法による近似)、数値積分(台形公式法、シンプソン法、ガウス・ルジャンドル法)、常微分方程式解法(オイラー法、ルンゲ・クッタ法)の順に説明する。簡潔に記述するため、セルA1を単にA1と記す。また、計算方法の説明不足部分は文献⁵⁾を参考されたい。

このツールでは、できるだけ手入力を省き、複数のシートを用いるが、ユーザがVBAプログラムに触る必要がなく、単純な入力操作および計算結果は全てメインシート(Sheet1)で行う。

3.1 方程式の解法

方程式 $f(x) = 0$ の解き方について、一般に高次代数方程式や非線形方程式の解を解析的に(公式による)求めることがほとんどできないため、数値計算による方程式の解法が重要視されている。

このツールでは、方程式の解法として、ニュートン法、はさみうち法と二分法を実装した。この3つの方法の共通点は、 $f(x)$ は連続関数であり、複数の解が存在しても、1回の実行で実数の近似解が1つしか求められないことである。

3.1.1 ニュートン法

与えられた方程式を $f(x) = 0$ とし、初期値を x_0 とし、 $f(x)$ の1階導関数を $f'(x)$ とする。ニュートン法のアルゴリズムは、次のようになる。

Step 1: 近似解の近くに初期値 x_0 を指定し、誤差限界を $\epsilon = 10^{-6}$ 、最大反復回数を $k_{\max} = 100$ とする。反復カウンタ $i = 0$ にする。

Step 2: ニュートン公式

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

により、 x_{i+1} を求める。

Step 3: 収束条件 $|x_{i+1} - x_i| < \epsilon$ を満たすとき、 x_{i+1} を近似解として出力して終了する。また、反復カウンタ i が k_{\max} を超えたら、計算を強制的に中止する。そうでない場合、 $i = i + 1$ 、Step 2に戻る。

このアルゴリズムに従い、VBAによるニュートン法を実装するとき、1階導関数 $f'(x)$ を定義

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

により実装し、ここでは $h = 10^{-6}$ とした。図4は、ニュートン法のVBA操作画面で、例として、 $\sin(x+2) = 0$ の解を求める。セルC2に関数 $\sin(x+2)$ を、C3に初期値 x_0

=1 を入力し、**計算** ボタンを押すと、計算結果が C5 に 1.141592654 と表示される。**リセット** ボタンを押すと、C2, C3 と C5 のデータが削除される。図 4 のマクロに使用される VBA プログラムを図 5 に示す。

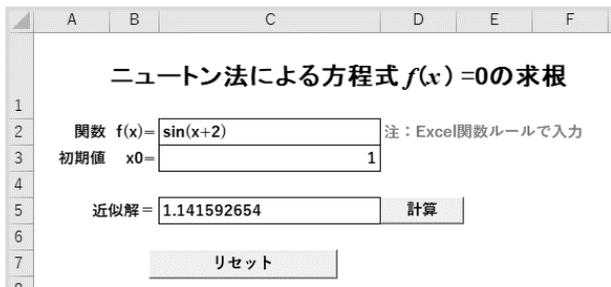


図 4 ニュートン法の操作画面

```

1 Sub Newton()
2   Dim x As Double
3   Dim y As Double
4   Dim count As Integer
5
6   Application.ScreenUpdating = False
7   x = Sheets("Sheet1").Range("C2").Value
8   count = 1
9   Do
10    Sheets("Sheet2").Select
11    Range("A1:E65536").Select '初期化
12    Selection.ClearContents
13    fx = Sheets("Sheet1").Range("C2").Value ' = をつけ入力式のコピー
14    fx = "=" & fx
15    Sheets("Sheet2").Range("D3").Value = fx
16    Sheets("Sheet2").Range("C3").Value = x
17    Sheets("Sheet2").Select
18    Range("D3").Select 'xをB3に置き換え
19    ActiveCell.Replace What:="x", Replacement:="C3", MatchCase:=True
20
21    Sheets("Sheet2").Range("E3").Value = fx
22    Range("E3").Select 'xをB3に置き換え
23    ActiveCell.Replace What:="x", Replacement:="(C3+0.000001)", MatchCase:=True
24    Application.ScreenUpdating = False
25    Sheets("Sheet2").Range("F3").Value = ((Sheets("Sheet2").Range("E3").Value
26    - Sheets("Sheet2").Range("D3").Value) / 0.000001)
27    Sheets("Sheet2").Range("C4").Value = Sheets("Sheet2").Range("C3").Value
28    - Sheets("Sheet2").Range("D3").Value / Sheets("Sheet2").Range("F3").Value
29    new_x = Sheets("Sheet2").Range("C4").Value
30    y = new_x - x
31    x = new_x
32    count = count + 1
33    If count > 100 Then
34      R = MsgBox("実数解が存在しない可能性がある。初期値調整?", 50)
35      Sheets("Sheet1").Range("C5").Value = "???"
36      Sheets("Sheet1").Select
37      Exit Sub
38    End If
39
40    Loop While Abs(y) > 0.0001
41    Sheets("Sheet1").Range("C5").Value = x
42
43    Sheets("Sheet1").Select
44 End Sub

```

図 5 ニュートン法の VBA プログラム

また、実数解が存在しないか、または、初期値が不適当な場合、図 6 のようなエラーメッセージが表示される。もし、初期値を何度変更しても、エラーメッセージが表示される場合、実数解が存在しない可能性がある。このとき、方程式 $f(x) = 0$ の関数 $f(x)$ をプロットして、 x 軸との交点の有無を確認されたい。

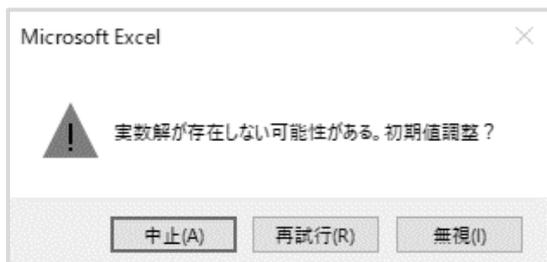


図 6 ニュートン法のエラーメッセージ

3. 1. 2 はさみうち法と二分法

はさみうち法と二分法は、解を含む区間の端点を更新して、その間隔を狭める操作を繰り返すことによって、方程式の近似解を求める方法である。図 7 は、はさみうち法の画面を示している。例として、 $x^2-2=0$ を解くため、C2 に関数 x^2-2 を、C3 と C4 に初期値 $a=-1$ と $b=5$ を入力する。ただし、 a と b が、 $f(a)f(b) < 0$ という必要条件を満たさない場合、エラーメッセージが表示され、 a と b を再度選択して入力する。入力した後、**計算** ボタンを押すと、近似解が C6 に表示される。

二分法は、はさみうち法の端点の計算法が異なるが、計算ツールの使い方は同様である。

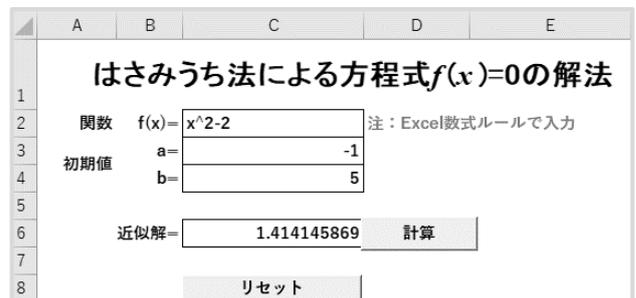


図 7 はさみうち法の操作画面

3. 2 行列演算と連立方程式の解法

線形代数学における行列は、数や記号や式などを矩形形状に配列したもので、大量のデータを収集・解析しやすいため、情報処理に行列が多く利用されている。本ツールでは、行列の和と積、行列式、転置行列、逆行列の演算を VBA で実装し、これらの演算を利用して、連立方程式の求解も実装した。ここでは、逆行列の計算と連立方程式の解法のみを説明する。

3. 2. 1 逆行列の計算

Excel では、MINVERSE 関数を使うことで逆行列が求められる。逆行列を求める VBA 画面は図 8 である。

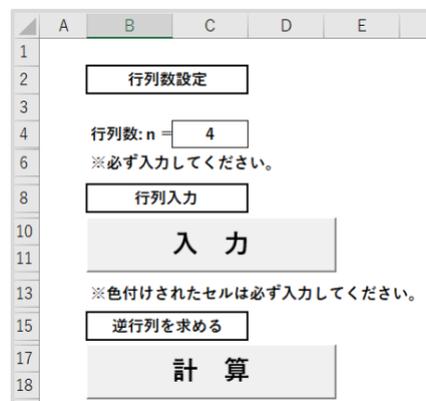


図 8 逆行列を求める画面

C4 に正方行列の行数を入力し、**入力** ボタンを押すと、行列の入力範囲が自動的に指定され、この範囲に行列を入力した後、**計算** ボタンを押せば、逆行列が表示される。入力された行列の逆行列が存在しない場合、エラーメッセージが表示される。

3.2.2 連立方程式の解法

連立方程式は、さまざまな分野に応用されている。逆行列を用いた連立方程式の解法がある。連立方程式 $A\vec{x} = \vec{b}$ に対して、未知数ベクトル(解)は、 $\vec{x} = A^{-1}\vec{b}$ で求められる。 A^{-1} は、係数行列 A の逆行列で、 \vec{b} は、定数ベクトルである。従って、連立方程式の解は、係数行列の逆行列が存在すれば、定数ベクトルとの積演算で求められる。

図9は、図10(a)の連立方程式の求解の画面で、C4に係数行列の行数4を入力し、指定された範囲で係数行列と定数ベクトルを入力したら、**計算** ボタンを押すと、連立方程式の解が図10(b)のように表示される。

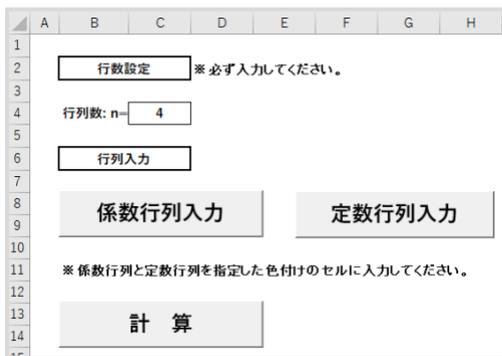


図9 連立方程式求解のVBA画面

$$\begin{cases} -3x - y + z + w = 4 \\ 2x + y - w = -2 \\ -5x - y + z + 4w = 5 \\ x + y + z + w = -2 \end{cases} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{解} \\ \hline -2 \\ \hline 1 \\ \hline 0 \\ \hline -1 \\ \hline \end{array}$$

図10 連立方程式の計算例

3.3 多項式関数による補間と近似

$n+1$ のデータ (x_i, y_i) , $i=0, 1, \dots, n$ が与えられ、データとデータ間の値、即ち、 $x_j (j \neq i, 0 < j < n)$ に対応する y_j の値を求め、 n 次多項式関数でその値を補う方法をラグランジュ補間法といい、また、 $m (1 \leq m < n)$ 次多項式関数でその値を近似する方法を最小二乗法による近似法という。本ツールでは、ラグランジュ補間法と最小二乗法による近似法を実装した。

3.3.1 ラグランジュ補間法

図11はラグランジュ補間法の操作画面で、D3とG3にデータ数と補間点数を入力し、C7、D7から下の範囲にデータ (x_i, y_i) を入力する。任意の $x (x_0 < x < x_n)$ をF7から1点目、2点目の順に入力した後、**計算** ボタンを押すと、対応する y の補間値がG7に表示される。

この例では補間点数は2で、 $x=1.5$ と $x=2.5$ のときの補間値がそれぞれ $y=11.20336$, $y=15.21029$ と求まる。

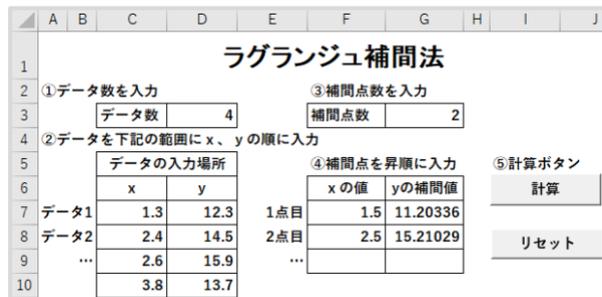


図11 ラグランジュ補間法の操作画面

3.3.2 最小二乗法による近似法

図12は最小二乗法による近似法の操作画面で、B2にデータ数を入力して、**①データ入力** ボタンを押した後、表示されるセル範囲にデータを入力する。B3のプルダウンリストから近似式の次数を選択する。Excelの制限から、近似式の次数 m を $1 \leq m < 7$ に限定し、**②近似関数** ボタンを押すと、 m 次近似多項式関数とそのグラフが生成され、近似式が可視化される。B4に $x=5.5$ ($x_0 < x < x_n$) を入力し、**③近似値計算** ボタンを押すと、B5に近似値 $y=71.239955$ が表示される。

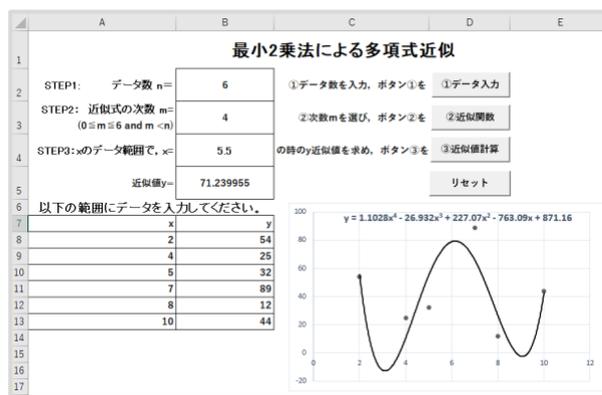


図12 最小二乗法による近似法の操作画面

3.4 数値積分法

数値積分法は定積分 $\int_a^b f(x)dx$ の計算において、原始関数を求めることが困難な場合、近似的に積分計算する方法である。本ツールでは、台形公式法、シンプソン

ン法およびガウス・ルジャンドル法を実装した。本稿ではシンプソン法とガウス・ルジャンドル法のみを説明する。

3. 4. 1 シンプソン法

シンプソン求積法は数値積分法の中でも優れた方法の一つで、そのアルゴリズムは次のようになる。

Step 1: 積分区間 $[a, b]$ を n (偶数) 等分し、きざみの幅を $h=(b-a)/n$ とする (一般に $100 < n < 1000$)。

$$x_0 = a, x_1 = x_0 + h, \dots, x_{n-1} = x_{n-2} + h, x_n = b$$

Step 2: x_0, x_1, \dots, x_n に対して、関数値 $y_0 = f(x_0), y_1 = f(x_1), \dots, y_n = f(x_n)$ を求める。

Step 3: $\int_a^b f(x) dx \cong \frac{h}{3} \{y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2})\}$ を求めて出力する。

例として、図 13 は $\int_{-1}^2 \frac{1}{x^3+5} dx$ を計算する VBA 操作画面で、C12 に被積分関数 $1/(x^3+5)$ を入力し、C13 に分割数 $n=100$ を指定し、C14 と C15 に積分区間 $a=-1$ と $b=2$ を入力する。[計算] ボタンを押すと、計算結果は C22 に 0.522658209 と表示される。

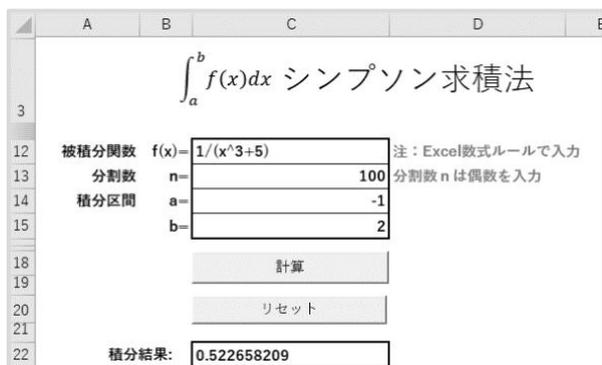


図13 シンプソン求積法の操作画面

3. 4. 2 ガウス・ルジャンドル法

ガウス・ルジャンドル法は定積分の近似式として利用され、 $[-1, 1]$ 積分区間の定積分は次の式で近似できる。

$$\int_{-1}^1 f(x) dx \cong \sum_{i=1}^m \omega_i f(x_i)$$

ここに ω_i は重み定数で、 m は $[-1, 1]$ の間に指定した内分点数、 x_i は内分点である。ガウス・ルジャンドル法では、 m 個の内分点に対して、 $2m-1$ 次以下の多項式関数の積分を精度よく近似でき、一般に m は 3 または 4 がよく利用される。 $m=3$ のとき、 $x_1 = -\sqrt{0.6}$, $x_2 = 0$, $x_3 = \sqrt{0.6}$, $\omega_1 = \omega_3 = 5/9$, $\omega_2 = 8/9$ となり、よって、

$$\int_{-1}^1 f(x) dx \cong \frac{5}{9} f(-\sqrt{0.6}) + \frac{8}{9} f(0) + \frac{5}{9} f(\sqrt{0.6})$$

となり、定積分の近似式として利用できる。任意の区間 $[a, b]$ の定積分は、置換積分を利用して、次の式で区間 $[-1, 1]$ の定積分に変換できる。

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{b-a}{2} \int_{-1}^1 f\left(\frac{b-a}{2}t + \frac{a+b}{2}\right) dt$$

図14はガウス・ルジャンドル求積法の操作画面で、図13と同じ例を使い、C2に被積分関数 $f(x)$ を入力し、C3とC4に積分区間 a と b を入力する。内分点 m をプルダウンリストで3または4を選択する。[計算] ボタンを押すと、計算結果はC6に示めされる。ガウス・ルジャンドル法は計算が非常に簡単であるが、精度はシンプソン法より劣る。

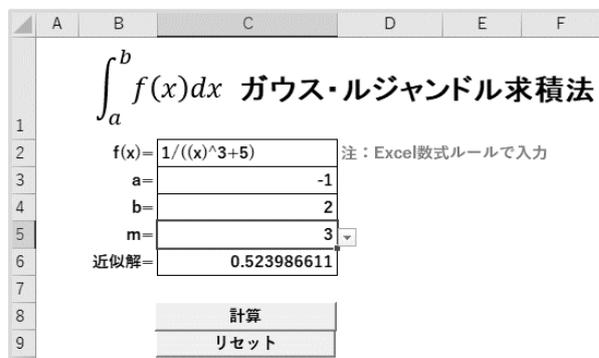


図14 ガウス・ルジャンドル求積法の操作画面

3. 5 常微分方程式の解法

微分方程式は、数理科学の様々な分野で利用されている。線形微分方程式など一部を除き、一般に微分方程式の解析解を求めることは極めて困難である。

微分方程式について、微分方程式に含まれる最高の導関数の階数をその微分方程式の階数と定義される。また、独立変数が1個の微分方程式を常微分方程式とい、独立変数が2個以上の微分方程式を偏微分方程式という。独立変数を x , その関数を y とすると、 n 階常微分方程式は次の式で表される。

$$y^{(n)} = f(x, y, y', y'', \dots, y^{(n-1)})$$

特に、 $y' = f(x, y)$ を 1 階常微分方程式といい、または、単に 1 階微分方程式と呼ぶ。

常微分方程式の数値解法は、1階微分方程式を対象にし、初期条件 (x_0, y_0) から指定された区間 $[x_0, x_n]$ の特殊解の近似曲線の座標を求めることである。高階常微分方程式は、連立1階微分方程式に変換して解く⁵⁾。

3. 5. 1 オイラー法

オイラー法のアルゴリズムは、次のようになっている。

Step 1: $x_1 = x_0 + h, x_2 = x_1 + h, \dots, x_n = x_{n-1} + h$ に対して、 y の値を

$$y_{i+1} = f(x_i, y_i)h + y_i \quad (i=0, 1, \dots, n-1)$$

で求める。

Step 2: 特殊解の近似曲線の座標 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ が得られる。

オイラー法のきざみの幅 h は、一般に $0.001 < h < 0.01$ を用いる。

図 15 は、オイラー法の VBA 操作画面で、例として、微分方程式 $y' = 2xy$ が与えられ、初期値 $(0, 1)$ 、区間 $[0, 2]$ とする。関数 $2xy$ を B3 に、きざみの幅 $h=0.01$ を B4 に、初期値を B6 と C6 に、区間を B8 と C8 に入力した後、[計算] ボタンを押すと、データ数、200 個の座標（一部のみ表示）と特殊解のグラフが表示される。

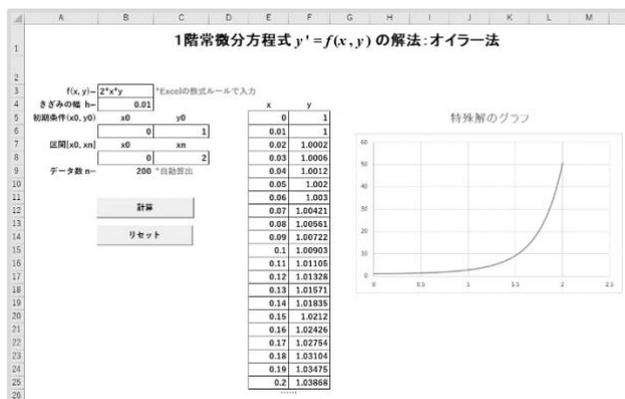


図 15 オイラー法の操作画面

3. 5. 2 ルンゲ・クッタ法

ルンゲ・クッタ法は、オイラー法の改良版で、簡単な割に精度がよく、常微分方程式の標準的解法として幅広く利用されている。ルンゲ・クッタ法は、与えられる条件とそのアルゴリズムは、オイラー法とほぼ同じであるが、 y の値を $y_{i+1} = (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 + y_i$ で求める。ここに、パラメータ $k_i (i = 1, 2, 3, 4)$ は文献⁵⁾を参照されたい。図 16 は、図 15 と同じ例を用いたルンゲ・クッタ法の操作画面（データの一部のみ表示）である。

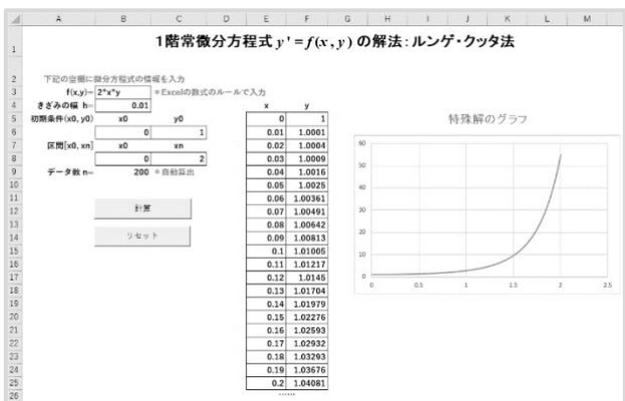


図 16 ルンゲ・クッタ法の操作画面

3. 5. 3 オイラー法とルンゲ・クッタ法の精度比較

オイラー法とルンゲ・クッタ法の精度を比較するため、図 15 と図 16 の計算結果を用いた。微分方程式 $y' = 2xy$ の一般解は、 $y = c \exp(x^2)$ で、任意定数 c は初期値

$(0,1)$ により $c=1$ と定まる。図 15 と 16 の各 200 個のデータから 10 個を抽出し、対応する真値との比較を表 1 に示す。表 1 からルンゲ・クッタ法の精度はオイラー法より高く、真値に近い値が得られていることが確認できる。

表1 オイラー法とルンゲ・クッタ法の精度比較

| x | y (真値) | y (オイラー法) | オイラー法の相対誤差(%) | y (ルンゲ法) | ルンゲ法の相対誤差(%) |
|-----|-----------|-----------|---------------|-----------|--------------|
| 0.2 | 1.040811 | 1.038680 | 2.047E-01 | 1.040811 | 7.232E-12 |
| 0.4 | 1.173511 | 1.168348 | 4.399E-01 | 1.173511 | 2.162E-10 |
| 0.6 | 1.433329 | 1.422768 | 7.369E-01 | 1.433329 | 2.174E-09 |
| 0.8 | 1.896481 | 1.875128 | 1.126E+00 | 1.896481 | 1.180E-08 |
| 1.0 | 2.718282 | 2.673792 | 1.637E+00 | 2.718282 | 4.436E-08 |
| 1.2 | 4.220696 | 4.123728 | 2.297E+00 | 4.220696 | 1.314E-07 |
| 1.4 | 7.099327 | 6.876780 | 3.135E+00 | 7.099327 | 3.295E-07 |
| 1.6 | 12.935817 | 12.395979 | 4.173E+00 | 12.935817 | 7.310E-07 |
| 1.8 | 25.533722 | 24.146053 | 5.435E+00 | 25.533721 | 1.476E-06 |
| 2.0 | 54.598150 | 50.810214 | 6.938E+00 | 54.598149 | 2.769E-06 |

4. おわりに

今回開発した Excel VBA による数値計算ツールを利用することにより、ユーザは VBA プログラムに触ることなく、マウス操作と簡単入力だけで自動的に数値計算が可能となる。特に実装時に関連関数 $f(x)$ を VBA プログラムの中でいちいち手動で入力・変更しなくても済むように、図 5 の VBA プログラムの 13 行目～16 行目に示している方法で、図 4 のように Excel の画面で関数を直接 C2 に入力することができるため、本ツールの汎用性と利便性が著しく向上した。また、数値計算における誤差について、期待される精度に応じられるようにも考慮した。このツールは、次の Web サイトにて無償で提供する (<https://sites.google.com/view/num-cal-program>)。

今後、この研究成果を踏まえ、コンテンツを増やし、より効果的な可視化機能を付け加え、さらなる実用的な数値計算ツールを開発したい。

最後に、令和 3 年度卒業研究で VBA プログラムの実装と検証の一部を行っていただいた本技術科2年の濱田 臨太郎君と横田 脩君に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「Excel VBA」手動計算・再計算・自動計算の設定方法, <https://www.sejuku.net/blog/75648>, 参照日:2022-2-4.
- 2) Excel マクロで数式や関数の入力法, <https://diamond.jp/articles/265091>, 参照日:2022-2-8.
- 3) エクセルの神髄, <https://excelubara.com/excelvba1/EXCELVBA338.html>, 参照日:2022-2-7.
- 4) Office VBA の基礎知識, <https://docs.microsoft.com/ja-jp/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>, 参照日:2022-2-4.
- 5) 趙 華安, 「Excel による数値計算法」, 共立出版, 2020 年 2 月, 初版 21 刷.

旋盤加工の効率化と精度向上に向けた取組み 偏心測定器の設計・製作

立石昂大*, 中村 叶*, 弓削慶祐*

Efforts to improve the efficiency and accuracy of lathe processing
Design and manufacture of eccentricity measuring instruments

KoudaiTATEISHI, KyouNAKAMURA, KeisukeYUGE

近年、日本の機械加工(旋盤加工)の現場は NC 旋盤加工が主流であるが、今回テーマとした普通旋盤加工は試作品や開発作業などに必要不可欠な技術である。本研究室は、学生が技術を身につける手段として、毎年開催されている若年者ものづくり競技大会の課題をもとに加工の効率化、精度向上を追求している。今回は、製品の軸心をずらす(偏心)作業に着目し、学生自身で偏心の計測作業を行える測定器の設計・製作を行った。設計は 3DCAD を用い、製品の太さや長さに変化しても対応できる機構とした。その結果、持ち運びができ、測定準備も容易な偏心測定器が完成した。

1. 緒言

旋盤加工は材料の中心に 1 本の軸を作成して作業を行う。その軸を一部ずらすことを偏心という。偏心は機械部品の様々な箇所で使用されており、普通旋盤の競技大会課題では偏心加工を指示してある箇所が必ずある。また最近では偏心箇所を増した課題が出題される傾向にある。図1に偏心の概念図を、図2に偏心が含まれる製品を示す。

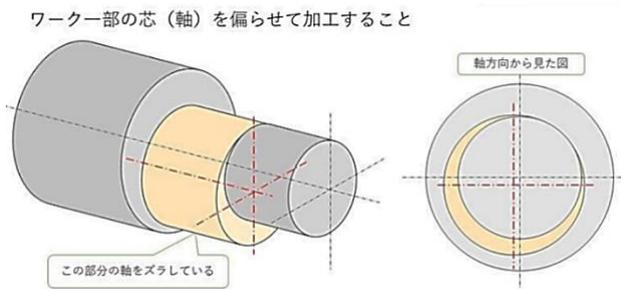


図1 偏心の概念図



図2 偏心が含まれる製品(クランクシャフト)

従来、競技大会課題の練習において、偏心部の計測は V ブロック 2 台で製品の両端部に固定し、偏心部に

ダイヤルゲージを当て、製品を回転させることにより計測していた。しかしこの方法は製品の左右が同径でないとき計測できず、計測も誤差が出やすい欠点があった。図3に V ブロックを利用した計測方法を示す。

また製品の左右が同径でない場合は製品の端面に

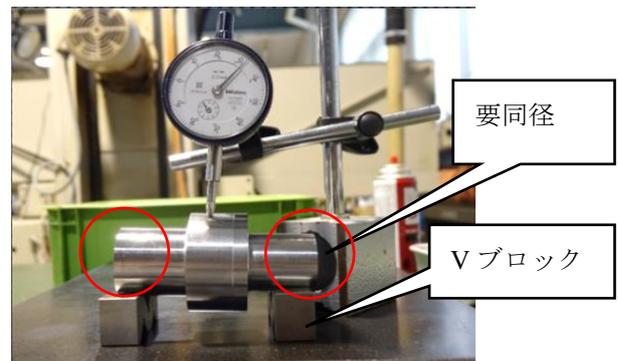


図3 Vブロックを利用した計測方法

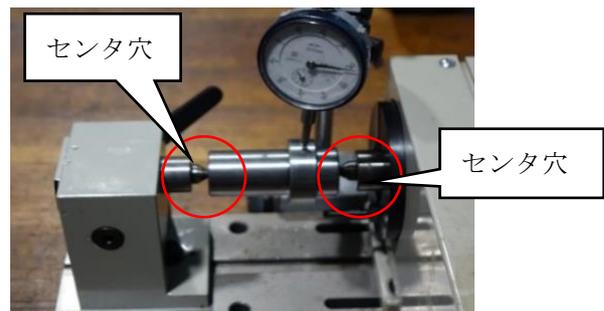


図4 センタ穴を利用した計測方法

センタ穴をあけて計測器に取り付けるという作業を行わなければならない。この場合は軸心と同軸のセンタ穴を加工しなければならない手間が生じる。図 4 にセンタ穴を利用した計測方法を示す。

以上より如何なる製品でも偏心部の計測が容易で正確に行えて、学生自身が計測できる測定器の設計・製作を行った。

2. 偏心測定器の設計・製作

製作にあたり、構想→設計→製作準備→製作→精度確認→設計変更→組立て→実験(測定)の流れで作業をおこなった。

2.1 設計

製作する偏心測定器は V ブロック上に製品を置くタイプのものとした。片方の V ブロックが上下移動でき、もう一方の V ブロックが水平移動できる構造とした。この 2 つの V ブロックで高さ調整が可能である。図 5 に設計した偏心測定器を示す。

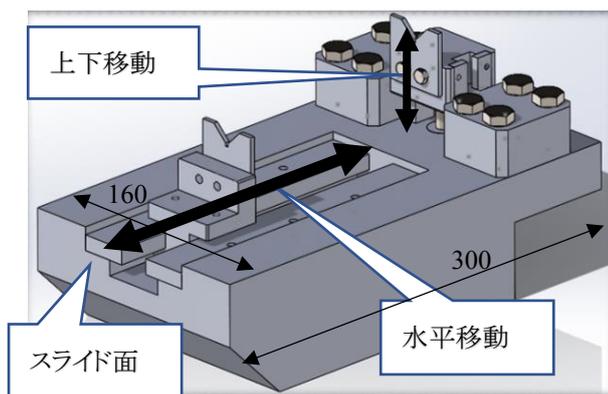


図 5 設計した偏心測定器

当初は V ブロックの上下移動をラック&ピニオン構造を利用したハンドル操作で行う設計とした。しかし、最適な部品が見つからなかったことと、加工や取り付け作業において非常に困難であることが予想でき、底部からボルトを通し、ボルトの回転で上下する構造に設計変更を行なった。そのため土台の右底部を削り取る構造となったが、測定作業時間を大幅に短縮でき、部品代も大幅に削減できた設計変更となった。

また水平移動を行う V ブロックのスライド面に関しては、当初の設計段階では機械加工のみで製作しようと考え、T スロットカッタを使用する予定であった。しかし、適当な T スロットカッタがなかったことと、購入すると費用が高額なため、プレートを 2 枚加工し、左右に固定する構造に設計を変更した。プレートを加工してみて滑りが良くなかったため、後に研削作業を追加した。図 6 に



図 6 T スロットカッタ

T スロットカッタを示す。以上を踏まえ 40 部品での設計案ができた。表 1 に使用する部品の一覧を示す¹⁾。部品①～⑦は製作し、⑧～⑩の標準部品は購入した。部品①～⑦を図 7 に示す。

表 1 使用する部品の一覧

| 部品 | 部品名 | 個数 | 調達 |
|----|------------------------|----|------|
| ① | 土台 | 1 | 製作 |
| ② | 上下スライド固定側部品 | 2 | 製作 |
| ③ | 水平スライド部品 | 1 | 製作 |
| ④ | 上下スライド部品可動側 | 1 | 製作 |
| ⑤ | vブロック | 2 | 製作 |
| ⑥ | 押さえ板「上下可動側」 | 4 | 製作 |
| ⑦ | 押さえ板「水平移動側」 | 2 | 製作 |
| ⑧ | M10 x 60 ¹⁾ | 9 | 標準部品 |
| ⑨ | M3 x 8 ¹⁾ | 8 | 標準部品 |
| ⑩ | M5 x 15 ¹⁾ | 10 | 標準部品 |

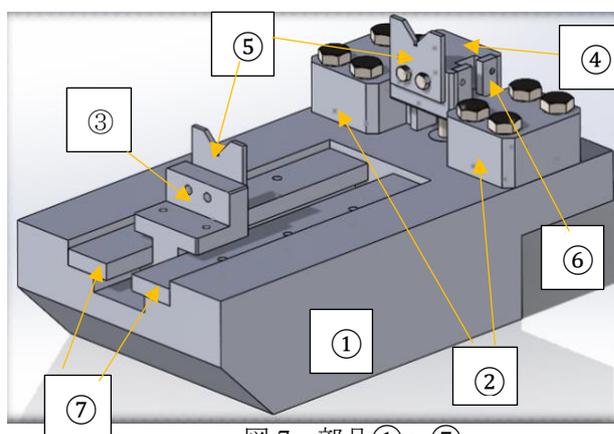


図 7 部品①～⑦

2.2 製作・準備

部品①から部品⑦までを順番に加工する予定であったが、スライド面のはめ合わせの調整があったため、部品③の前に部品⑦を加工し、部品②の前に部品④の加工を行った。その後それぞれスライド面の調整を行った。加工には旋盤、フライス盤、ボール盤、研削盤、ワイヤー放電加工機等を使用し、加工部品に関しては外注しないで済むように、学内の設備、各機械の能力を充

分に把握して設計を行った。購入は標準部品と材料のみに絞り、材料に関しては加工時間と使用率を考慮して、六面体の仕上がったプレートを発注するなどの工夫を行った。材料費と加工時間とを照らし合わせて、発注する材料を決定することは困難であった。

2.3 製作

以下に各部品の製作方法を示す(寸法単位をmmとし、機械加工精度は $\pm 0.01\text{mm}$ とする)。

① 土台

S50Cのフリープレート $300 \times 160 \times 80$ を購入し、フライス盤にて輪郭の削り取りと溝加工を行った。その後同様にフライス盤で穴あけ作業を行った。ネジに関しては機械加工でなく、ハンドタップを利用した。図8に設計図と製作した製品を示す。

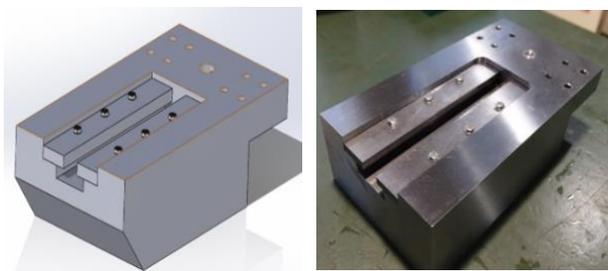


図8 土台の設計図と製品

② スライド固定側部品

S50Cのフリープレート $70 \times 60 \times 30$ を2枚購入し、フライス盤で70部を65に加工するだけの手順でブロックが出来上がる工程とした。その後フライス盤のエンドミル加工でスライド部の加工を行った。最後にボール盤で穴をあけ、ハンドタップでネジ立てを行った。フリープレートの購入により切削時間がとても短縮され、寸法精度の高い部品ができた。図9にスライド固定側部品の設計図と製品を示す。

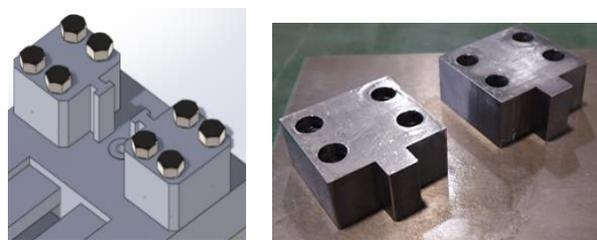


図9 スライド固定側部品の設計図と製品

③ 水平スライド部品

フライス盤でS45Cの $60 \times 45 \times 45$ から $55 \times 40 \times 40$ のブロックを作成した。その後は②と同様、フライス盤で

のエンドミル加工とボール盤での穴あけ作業を行った。図10に水平スライド部品の設計図と製品を示す。

④ 上下スライド部品可動側

S50Cのフリープレート $40 \times 50 \times 30$ を購入し、スライド部とネジ部のみの加工を行った。②③と同様、フライス盤、ボール盤、ハンドタップを利用した。図11に上下スライド部品可動側の設計図と製品を示す。

⑤ Vブロック

S50Cのフリープレート $40 \times 40 \times 4$ を2枚購入し、研削盤にて厚みを4mmから3mmに研削した。その後ワイヤ放電加工機を利用してV字に切断した¹⁾。また穴あけはボール盤を利用し、ハンドタップでネジ立てを行った。図12にVブロックの設計図と製品を示す。

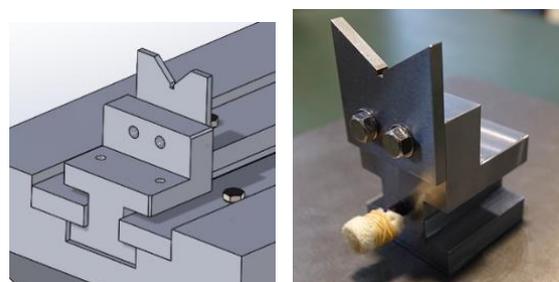


図10 水平スライド部品の設計図と製品

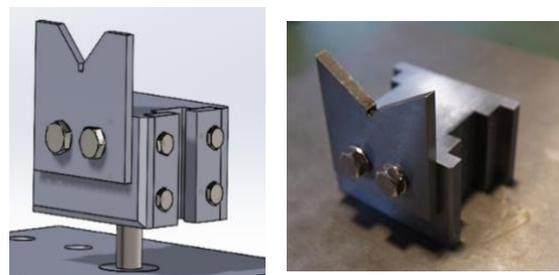


図11 上下スライド部品可動側の設計図と製品

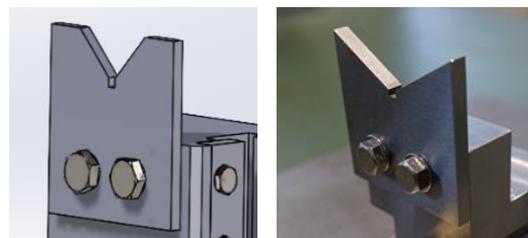


図12 Vブロックの設計図と製品

⑥ ⑦ 押さえ板

部品⑥は急遽製作することを中断した。詳細は次節に示す。部品⑦はS50Cのフリープレート $200 \times 10 \times 30$ を購入した。共に平面研削盤でスライド部を研削し、ネジ穴をあけた。図13に押さえ板(部品⑦)の製品を示す。設計図に関しては部品の形状が簡素であるため省略する。



図 13 押さえ板(部品⑦)の製品

2.4 設計変更(製作・組立て時)

部品②と部品④の凹凸の加工精度が高く、0.02mm 以内の精密なはめ合わせを実現できた²⁾。よって部品②については横溝をなくし、部品④については部品⑥の押さえ板の取り付けが不要となった。また部品③についてはスライド時に土台との衝突を防止するために止めネジを取り付けた。部品①の面取りは軽量化のために設計したが、土台の重さに対して軽量化が必要でないと再考し省略した。

2.5 組立て

部品①から⑩の準備ができ組立て作業を行った。まずは土台①と摺動部分の部品③と部品⑦を組立て、スムーズに動くか否かを検証した。結果は組立てても摺動部のスライドも全く問題がなかった。また部品②部品④を使用した縦方向の摺動部も組立てて検証を行った結果、組立て作業も摺動部のスライドも共に問題はなかった。図 14 に完成した偏心測定器を示す。

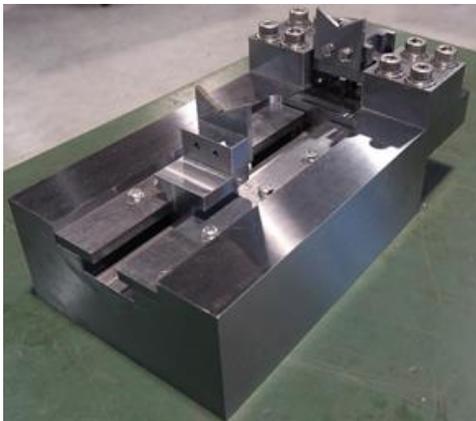


図 14 完成した偏心測定器

2.6 実験

図 3、図 4 で示した旧式の方法でテストピースの計測を行った。計測したテストピースを図 15 に示す。このテストピースは図 15 の○部がそれぞれ 1.0mm 偏心している。その後完成した偏心測定器を用いて計測を行った。計測の様子を図 16 に示す³⁾。計測の結果は旧式の方法と今回製作した方法とで各部 5 回の計測を行った。いずれも同じ計測値であった。よって今回完成した偏心測定器は正確な測定ができることがわかった。

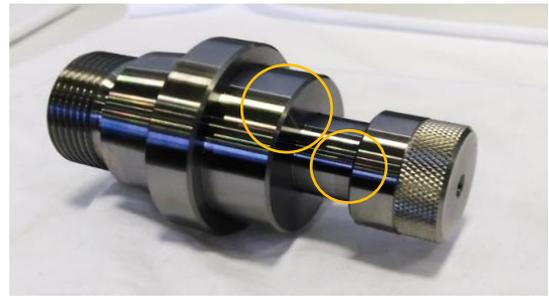


図 15 テストピース



図 16 偏心測定器での計測の様子

3. 結 言

本卒研では、学生が技術を身に付けるための手段となる競技大会への出場を目指した練習の中で、旋盤加工の効率化、精度向上を追求すると共に、偏心測定器の設計・製作に取り組んだ。その中で、校内の設備、各機械の能力、工具、加工方法を十分に把握して設計を行い、限られた時間と材料費のなかで発注、製作、組立てを行うことの難しさを実感した。また、コスト、製作時間、製作難易度、の 3 つはトレードオフの関係にあり、設計次第で様々な部分に影響が出ることを経験した。本研究においてこの関係のバランスをとることが如何に難しく大事であるということが分かった。

謝 辞

今回の研究にあたり、部品加工において小川先生、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) 大高敏男:「現場で役立つ機械設計の基本と仕組み」、秀和システム、(2013 年)、pp.235-236
- 2) 吉澤武男:「新編 JIS 機械製図第 5 版」、森北出版、(2019 年)、pp.40-41、pp.114-115、pp.121-123。(はめ合い精度参考)
- 3) 藤本元:「初心者のための機械製図」、森北出版、(2020 年)、pp.111-112 (計測方法参考)

制御工学実習機材の開発 直立振子の制御系構成と制御実験

日野満司*

The development of a training apparatus of control technology
Construction of control system for inverted pendulum and control experiment

Mitsushi HINO

「制御工学」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の代表でもある。そのため、授業の理解を促すための手頃な実習機材があればよいが、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。この問題を解消するために、手頃な実習機材として直立振子を考案した。これは、ロータ(リアクションホイール)の反動を用いて振子を直立させるというもので、学生が興味を持つものと期待できる。

本報告では、この実習機材を用いてメカトロニクスの構築技術である、ハードウェア構成、パラメータ同定、および制御系の構成法を、段階を追って述べる。さらに、実験においては振子を直立できただけではなく、摩擦を考慮することでより良好な制御性能を確認したので報告する。

1. 緒言

制御工学の授業に対する理解を促進する実験装置として、図1に示すようなロータ(リアクションホイール)を用いた振子制御系からなる直立振子について検討した。これは、振子の上部に取り付けられたロータに DC モーターでトルクを与え、その時に生じる加速力の反動により、

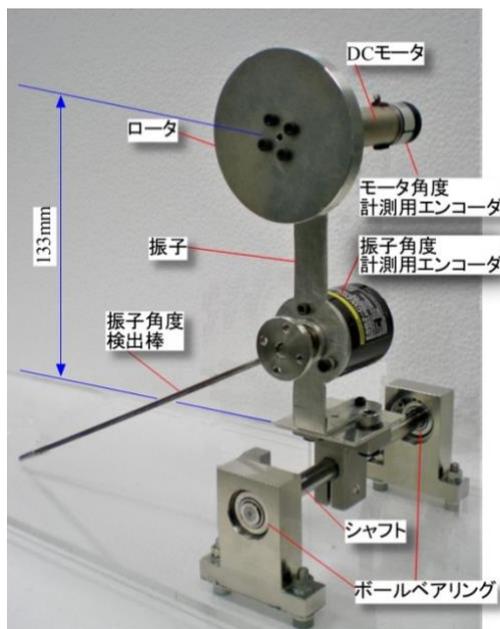


図1 直立振子の機構

振子の直立状態を持続するように制御するものである。

この振子の直立制御を実現するためには、まず制御対象のハードウェアを設計・製作し、次にそれを数学モデルで表わした後にパラメータ値を同定する。そして最後に同定した数学モデル表現に対して制御系を設計し、制御アルゴリズムをソフトウェアで構成する。これはメカトロニクスを構築するときの一般的な手順である。

もし、制御系が線形であれば、授業で使用される制御工学のテキストにも掲載されている線形制御理論を適用できるが、実習機材の軸受けであるボールベアリングの摺動部や振子の角度を検出するための振り子角度検出棒と床面間に生じる摩擦が無視できず、非線形項を含む数学モデル表現となるため、このままでは線形制御理論は適用できない。そこで、まずは非線形系の正確なパラメータ同定を行い、次にその同定された非線形系に対して制御系の構成を検討する必要がある。

本報告では、非線形項を含む制御対象に対して簡易なパラメータ同定法を提案した。次に非線形補償を行うことで、線形制御理論である極配置法で制御系を構成することを試みた。その結果、良好な制御性能を確認できたので、一連のメカトロニクス構築の観点も踏まえて報告する。

2 直立振子のハードウェアの設計と実験装置の概要

2.1 直立振子の設計¹⁾

高出力である $24\text{V}\cdot 9.0\text{W}$ の DC モータ (シチズン千葉精密社製 ENC-185802, 1000 P/R のエンコータ付) を使用することを前提に振子の設計を行った. この DC モータの起動トルクが 78.89mNm であるため, 振子の設計ではこの約半分である 40mNm を基準とした. 振子が角度 $\theta (= 10^\circ)$ のところで粘性抵抗と摩擦力を無視して等速運動 ($\dot{\theta} = 0$) するためには, 3章で述べる式 (1) より, $mgl\theta = 40\text{mNm}$ を満たすように, ロータと DC モータおよび振子の質量の合計である全質量 m と, 振子の軸からロータと DC モータを含めた振子の重心までの長さ l を決定することにした. なお, 振子の軸は, ボールベアリングで支持されたシャフトに直接取り付けられる構造とした. 以上を踏まえ, 振子の材料はアルミニウムとし, 厚さ 2mm , m を 0.973kg , l を 104.3mm に決定した.

2.2 実験装置の概要

実験装置の概略構成を図 2 に示す. 振子の回転軸は, ボールベアリングで支持されたシャフトであり, さらに, 振子に取り付けられたエンコーダの振子角度検出棒で, 振子の角度が間接的に計測される. 振子角度計測用のエンコーダの分解能は 2000P/R であり, ロータ

の回転角度を計測するモータ直結のエンコーダのそれは 1000P/R である. それぞれで検出された A 相と B 相のパルス信号が, カウンタ (CONTEC 社製 CNT24-2-USB) でカウントされパソコンに取り込まれ角度に換算される. DC モータを駆動するモータドライバは専用の DC モータ用電圧制御型ドライバ (ハイピーテック社製 USE-2A) である. モータに印加される制御入力電圧の情報は, パソコンで制御アルゴリズムにしたがって計算され, アナログ出力ユニット (CONTEC 社製 AIO-160802AY-USB) でアナログの電圧値に変換される. さらに, その電圧値は DC モータ用電圧制御型ドライバに印加され, DC モータはその電圧値に比例したトルクを発生する.

3. 直立振子の概要と運動方程式

図 3 に直立振子の各諸元も含めた概略図を示す. 鉛直上向きの中立点 (N.P.) からの振子およびロータの回転角度をそれぞれ $\theta(t)$, $\theta_r(t)$ とする. 振子の軸回りの慣性モーメントと粘性減衰係数をそれぞれ J, c , ロータの回転軸回りの慣性モーメントを J_r とする. さらに, ロータに直結した DC モータの軸受部の粘性減衰係数を c_r とし, 発生するトルク $\tau(t)$ が印加電圧 (制御入力) $v(t)$ に比例するものとして, その比例定数 (電圧-トルク変換係

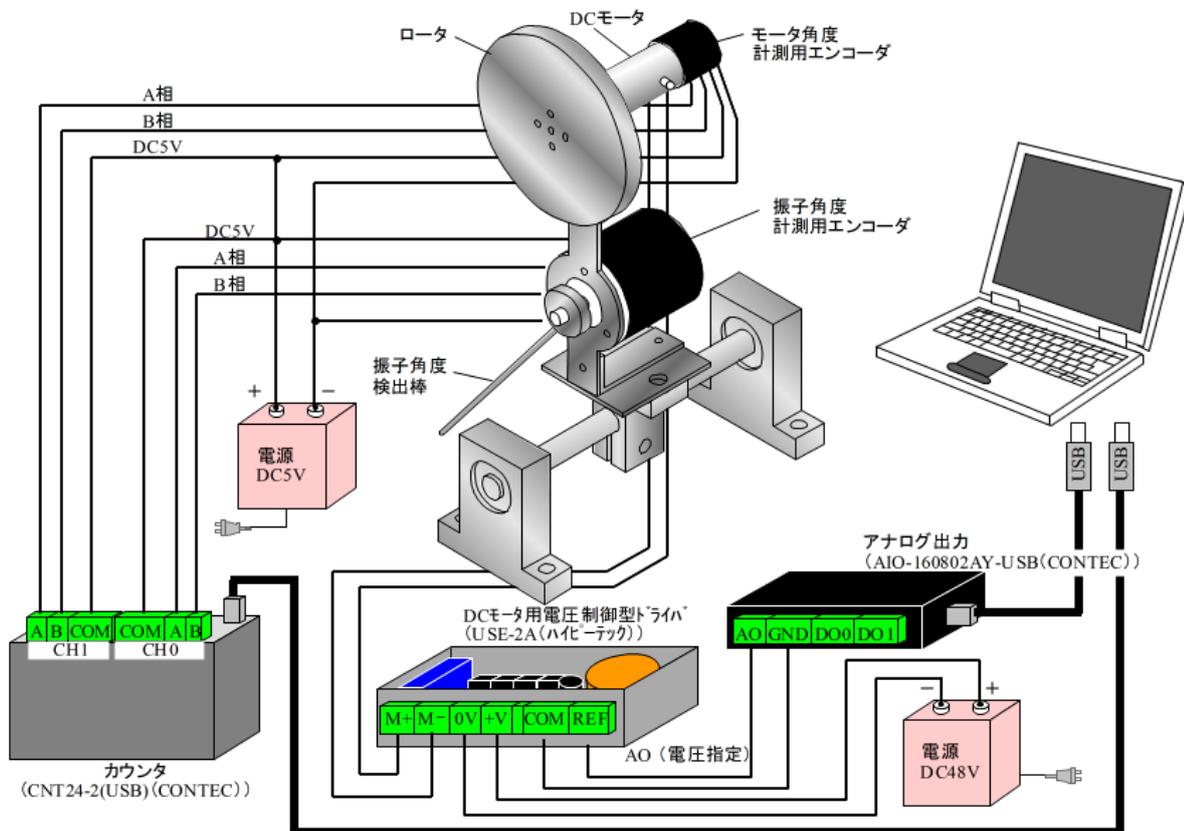


図 2 直立制御におけるハードウェアの概略構成

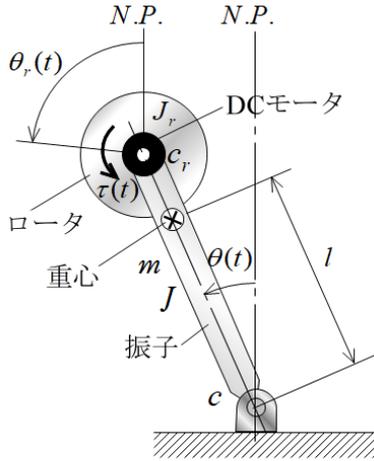


図3 直立振子の概略

数)を κ とする。なお、軸受や振子角度検出用棒の先端と床の間等に発生する非線形項である摩擦力をクーロン摩擦と仮定し μN とする。クーロン摩擦は一定値であり振子の角速度 $\dot{\theta}(t)$ が正か負かで作用する方向が異なる。減衰自由振動の標準形に対する摩擦項の表現を F とし、振子の固有角振動数および減衰係数比をそれぞれ ω_n, ζ とすると、振子に対する運動方程式は次のようになる。

$$\ddot{\theta}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{\theta}(t) - \omega_n^2\theta(t) = -b_p v(t) \mp F \quad (\dot{\theta}(t) \geq 0) \quad (1)$$

また、ロータに対する回転の運動方程式は次式となる。

$$\ddot{\theta}_r(t) + \beta\dot{\theta}_r = b_r v(t) \quad (2)$$

なお、回転の運動方程式は振子の角度 $(\theta(t))$ が微小であるものとして線形化している。ここで、同定すべき動特性パラメータは、振子に関しては ω_n, ζ, b_p および F であり、ロータに関しては β および b_r である。

なお、動特性パラメータを振動系の各諸元で表すと以下の様になる。

$$\omega_n = \sqrt{\frac{mgl}{J}}, \quad \zeta = \frac{c}{2\sqrt{mglJ}}, \quad b_p = \frac{\kappa}{J}, \quad F = \frac{\mu N}{J}$$

$$\beta = \frac{c_r}{J_r}, \quad b_r = \frac{\kappa}{J_r}$$

4. 粘性と摩擦の特性を考慮したパラメータ同定法

制御系を構成するためには、振子制御系の運動方程式における動特性パラメータの値が既知でなくてはならない。この値は、DCモータに試験信号を入力することにより、逆さまに設置した振子の振動する挙動から同定できる²⁾。しかし、この同定法は、非線形である振子の軸受け等に発生する摩擦の特性を考

慮せずにパラメータ同定法を行うものであるため、正確なパラメータ同定ができない。そこで本報告では、まず軸受け部の粘性特性を考慮した動特性測定法を行い、次に摩擦特性を補正するという2段階の同定法を提案する。

4.1 粘性特性を考慮したパラメータ同定法

粘性抵抗は振子およびDCモータの角速度に比例して発生する。それらを考慮した運動方程式が式(1)と式(2)である。振子を逆さまにした状態を図4に示す。

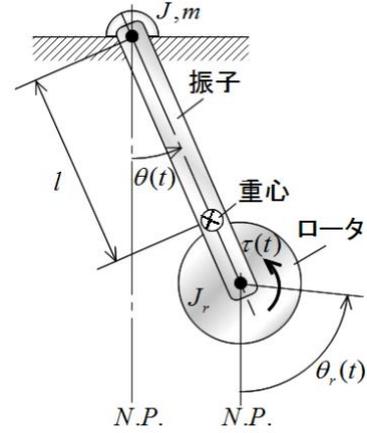


図4 同定のための配置

このとき運動方程式は振子に関する回転の運動方程式(1)において $-\omega_n^2\theta(t)$ が $\omega_n^2\theta(t)$ と符号が換わるだけである。

以下、このときのパラメータ同定は以下の手順で実施される。

- (1) パラメータ同定に必要なデータの取得法を図5に示す。インパルス状電圧 $v(t) = V$ [V]を微小時間 Δ [s]間だけDCモータに印加し、そのときに生じる振子の挙動とロータの回転角度を記録する。
- (2) 振子に関する回転の運動方程式のパラメータ同定法は以下の通りである。

- ・振子の角度は図5のように指数減衰振動となる。このデータから、対数減衰率 $\lambda = \ln \theta_1/\theta_2$ と周期 T を求める。
- ・減衰係数比 ζ と固有角振動数 ω_n を次式で同定する。

$$\zeta = \frac{\lambda}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}}, \quad \omega_n = \frac{2\pi}{T\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (3)$$

- ・次に振動の任意のピーク値での時刻 t_p とその時のピーク値 θ_{tp} を求めて、次式で b_p を同定する。

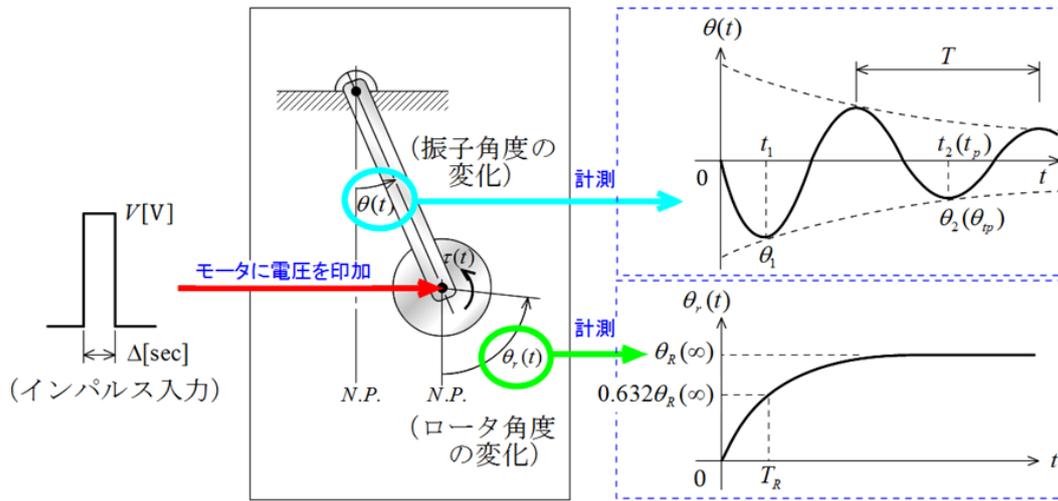


図5 パラメータ同定法

$$b_p = -\frac{\omega_n \sqrt{1-\zeta} \theta_{tp}}{V \Delta e^{-\zeta \omega_n t_p}} \quad (4)$$

(3) ロータに関する回転の運動方程式のパラメータ同定法は以下の通りである。

- ・ ロータ回転角度は図5のように一次遅れ要素のステップ応答の様相を呈する。このデータから、時間が十分経過したときのロータ回転角度 $\theta_R(\infty)$ と時定数 $(0.632\theta_R(\infty))$ となるときの時刻 T_R より、 β と b_r を次式で同定する。

$$\beta = \frac{1}{T_R}, \quad b_r = \frac{\beta \theta_R(\infty)}{V \Delta} \quad (5)$$

4.2 摩擦特性を考慮したパラメータ同定値補正

$v(t) = 5 \text{ V}$ で $\Delta = 0.08 \text{ s}$ のインパルス状電圧を DC モータに印加した時の実測データと、第4.1節の同定法による同定値に基づきシミュレーションを行った結果との比較を図6に示す。なお、このときのパラメータの同定値は次の通りであった。

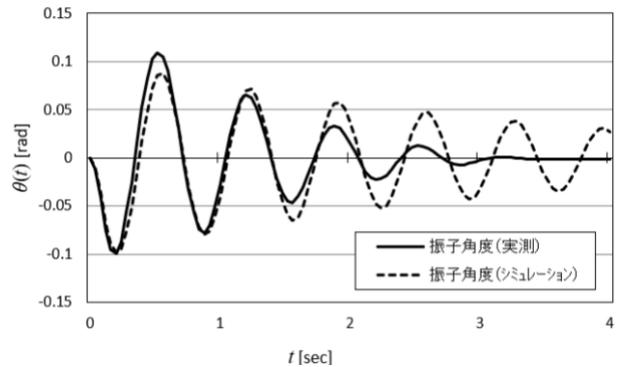
$$\begin{aligned} \zeta &= 0.0382, \quad \omega_n = 9.25 \text{ rad/s}, \\ b_p &= 2.45 \text{ rad}/(\text{Vs}^2), \quad \beta = 2.06 \text{ 1/s}, \\ b_r &= 316 \text{ rad}/(\text{Vs}^2) \end{aligned}$$

図6から分かるように、シミュレーションの場合、振り角度の収束性が悪い。これは軸受や振り角度検出用棒の先端と床の間のクーロン摩擦の影響を考慮していないからである。クーロン摩擦は振子の角速度 $\dot{\theta}(t)$ が正か負かで作用する方向が異なる。このとき、クーロン摩擦を考慮した振り角度に対する運動方程式は次のようになる。

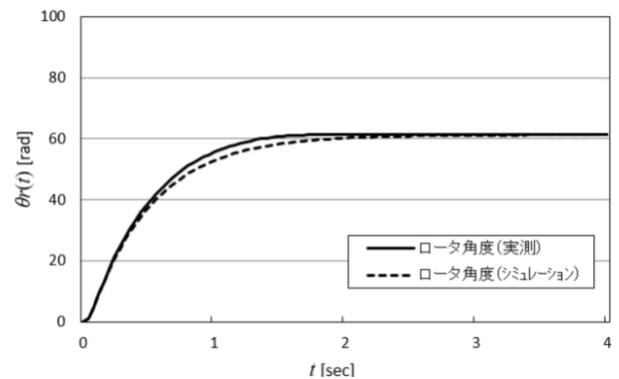
$$\ddot{\theta}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{\theta}(t) + \omega_n^2\theta(t) = -b_p V \Delta \delta(t) - F \quad (\dot{\theta}(t) > 0) \quad (6a)$$

$$\ddot{\theta}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{\theta}(t) + \omega_n^2\theta(t) = -b_p V \Delta \delta(t) + F \quad (\dot{\theta}(t) < 0) \quad (6b)$$

パラメータ同定の方法は、第4.1節で同定したパラメータを基準として、それらのパラメータ値を補正しつつクーロン摩擦に関する F の値を適当に与え、実際の波形により近いパラメータを選



(a) 振り角度の時刻歴応答



(b) ロータ角度の時刻歴応答

図6 粘性特性を考慮したパラメータ同定結果

べばよい. このときの振子角度に関するパラメータの補正值とクーロン摩擦力は次の値であった.

$$\begin{aligned}\zeta &= 0.035, & \omega_n &= 9.4 \text{ rad/s}, \\ b_p &= 3.0 \text{ rad}/(\text{Vs}^2), & F &= 0.38 \text{ rad/s}^2\end{aligned}$$

振子角度の時刻歴応答を図7に示す. 図より, 良好なパラメータ同定が実施できていることが分かる.

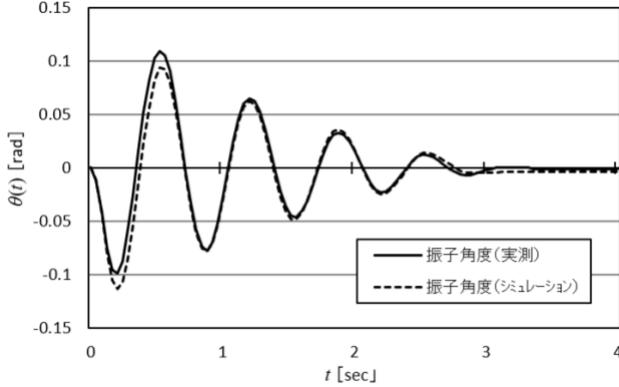


図7 摩擦特性を考慮したパラメータ同定結果

5. 制御系の構成

5.1 非線形補償

一般に, 制御系の構成において線形制御理論を適用するに際して, クーロン摩擦などの非線形項の影響が大きい場合には制御性能が劣化する懸念がある. 直立振子の場合, 非線形項はクーロン摩擦であると仮定しているので, それを補償して制御対象を線形化するために, 新たな制御入力 $\bar{v}(t)$ を次式で構成する.

$$-b_p \bar{v}(t) = -b_p v(t) \mp F \quad (\dot{\theta}(t) \geq 0)$$

これより, 実際の制御入力は次式で与えられる.

$$v(t) = \bar{v}(t) \mp \frac{F}{b_p} \quad (\dot{\theta}(t) \geq 0) \quad (7)$$

ここで, 式(7)を式(1)に代入すると,

$$\ddot{\theta}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{\theta}(t) - \omega_n^2\theta(t) = -b_p\bar{v}(t) \quad (8)$$

となり線形な運動方程式となる.

一方, ロータに関しては, 式(2)に式(7)を代入すると次式となる.

$$\ddot{\theta}_r(t) + \beta\dot{\theta}_r = b_r \left(\bar{v}(t) \mp \frac{F}{b_p} \right) \quad (\dot{\theta}(t) \geq 0)$$

線形性の性質から, 上式の解は

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_r(t) + \beta\dot{\theta}_r = b_r\bar{v}(t) & (9a) \\ \ddot{\theta}_r(t) + \beta\dot{\theta}_r = \mp b_r \frac{F}{b_p} & (\dot{\theta}(t) \geq 0) \end{cases} \quad (9b)$$

のそれぞれの解の合成となる. これらのことから, 制御系の構成は振子角度に関する式(8)とロータ角速度に

関する式(9a)に対して行えばよい. なお, ロータの式(9b)に関して, 大きさが一定(有界)なクーロン摩擦項のみの入力である. したがって, $\beta > 0$ より対象は安定な系となるので, BIBO安定となる. さらに式(8)と式(9)から明らかなように, 振子系とロータ系が非干渉系であることから, もし, 式(8)で安定にできる制御入力が存在すれば制御系全体も安定となる.

5.2 極配置法による制御系の構成

制御対象は, 振子角度に関する式(8)とロータ角速度に関する式(9a)である.

制御の目的は振子を直立させるとともに, ロータの回転角速度を安定化させることである. このことを式で表すと次となる.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\theta}(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\theta}_r(t) = 0$$

制御則は極配置法を適用するため, 振子およびロータの運動方程式を状態方程式で表す必要がある. 状態変数を

$$\mathbf{x}(t) = [\theta(t) \quad \dot{\theta}(t) \quad \dot{\theta}_r(t)]^T$$

と定義すると, 振子とロータの運動方程式(8),(9a)は次の状態方程式で表される.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{b}\bar{v}(t)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \omega_n^2 & -2\zeta\omega_n & 0 \\ 0 & 0 & -\beta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ -b_p \\ b_r \end{bmatrix}$$

これより, 制御の目的は

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}(t) = \mathbf{0}$$

となるように状態フィードバック制御系を構成することになる. そのためには, 閉ループの全ての極(この場合は3つ)を安定で的確な収束度を有する極となるように指定すれば良く, ここでは, Achermann の極配置法³⁾を適用することとする. この制御則では, 状態フィードバックゲイン \mathbf{k} を次の手順で設計する.

①理想とする閉ループ系の安定な極 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ を指定し, 閉ループ系の特性多項式 $D(s)$ を次式で与える.

$$\begin{aligned}D(s) &= (s - \lambda_1)(s - \lambda_2)(s - \lambda_3) \\ &= s^3 + d_3s^2 + d_2s + d_1\end{aligned}$$

②状態フィードバックゲイン \mathbf{k} を次式で構成する.

$$\mathbf{k}^T = -[0 \quad 0 \quad 1][\mathbf{b} \quad \mathbf{A}\mathbf{b} \quad \mathbf{A}^2\mathbf{b}]D(\mathbf{A})$$

ここで, $D(\mathbf{A})$ は $D(s)$ で s の代わりに \mathbf{A} を代入したもので, 次式で与えられる.

$$D(\mathbf{A}) = \mathbf{A}^3 + d_3\mathbf{A}^2 + d_2\mathbf{A} + d_1\mathbf{I}$$

この状態フィードバックゲインを用いて, 制御入力を

次式で構成する。

$$\bar{v}(t) = \mathbf{k}^T \mathbf{x}(t)$$

なお、モータに印加する制御入力電圧 $v(t)$ は式(7)で与えられる。

6 実験

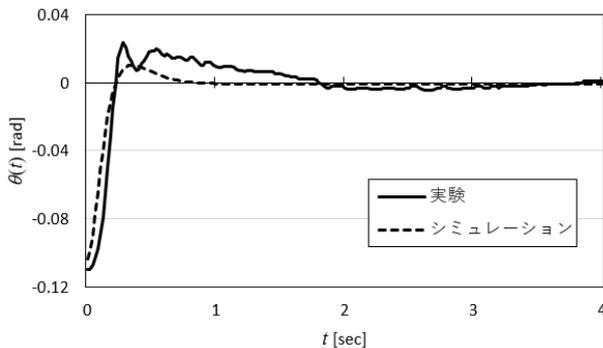
極配置制御における、理想とする閉ループ系の極を次で指定した。

$$\lambda_1 = -10, \lambda_2 = -10, \lambda_3 = -10$$

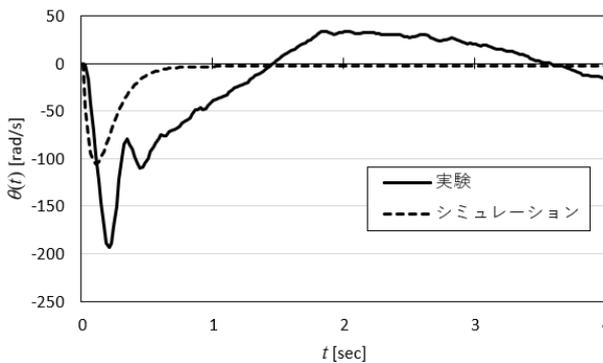
オンライン制御を実施するときのサンプリングタイムを20 msとした。また、振子の初期値は次の様であった。

$$\theta(0) = -0.11 \text{ rad}, \quad \dot{\theta}(0) = 0.0 \text{ rad/s}$$

このときの制御実験結果として、振子角度およびロータ角速度の時刻歴応答をシミュレーション結果と共に図8に示す。振子角度に関しては、シミュレーションとはほぼ同様に、制御開始後直ちに直立し、その状態を維持していることから、良好に制御が実施されていることが分かる。ロータ角速度に関しては、シミュレーション結果はスムーズに中立点近傍に収束しているが、実験では変動しながら原点に収束している。これは、シミュレーションではロータには摩擦が無いものとして計算したことによるが、実験では振子が直立した後でも、中立点付近で左右に微小に振れているために、それを補正しようとしているためである。この微小な振れは取り付け精度が



(a) 振子角度の時刻歴応答



(b) ロータ角速度の時刻歴応

図8 制御実験結果結果

悪く偏心していることに起因しているものと思われる。

非線形補償の有効性を検証するために、非線形補償を外して実験した結果を図9に示す。非線形補償がある場合と比較して、摩擦に起因すると思われる微小振動が発生していることが分かる。このことから、非線形補償の有効性を確認することができる。

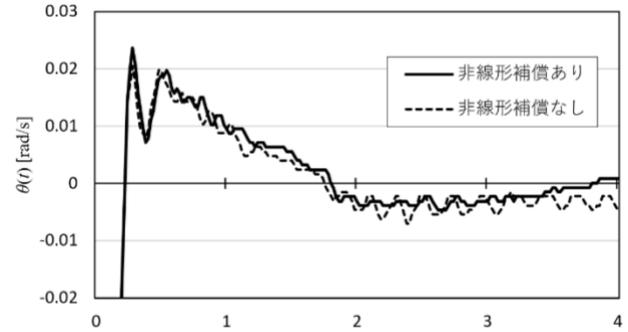


図9 振子角度の時刻歴応答結果

5. 結言

本研究では、制御工学の授業でを使用することを前提とした直立振子の制御実験装置を開発し、メカトロニクスの構築技術を段階的に述べると共に、実験においても理論に近い挙動を示す制御結果を得た。特に、一般に実機で制御を行うに際して直面することが多い、摩擦の悪影響に対しても非線形補償を行うことで制御性能を向上できることも示した。

今後の課題として、実際の授業における制御系設計の実習課題として、実機的设计・製作から制御に至る一連の実習を計画・実施することと、本直立振子を台車に搭載した倒立振子制御系を構成して、より興味ある実習機材を開発すること等が挙げられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり富田海氏(機械システム技術科, 令和4年3月卒業)には卒業研究の一環ではありましたが、シミュレーションおよび制御プログラミング等に対して多大なる貢献を戴きました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 梶原康平, 田上留胤, 中川愛斗: 直立振子系に対する減衰特性を考慮したパラメータ同定法とその有効性, 令和2年度卒業研究概要集, 熊本県立技術短期大学校(2020), pp.41-44.
- 2) 梅本拓弥, 那須宅馬: 直立振子制御系の動特性測定に関する検討, 令和元年度卒業研究概要集, 熊本県立技術短期大学校(2019), pp.57-60.
- 3) 岩井善太, 石飛光章, 川崎義則: 制御工学, 朝倉書店(1999), pp.105-106.

動的時間伸縮法(Dynamic Time Warping)を用いた運動解析 — 深層学習によるテレビ体操運動解析 —

里中孝美*

Motion Analysis utilizing Dynamic Time Warping
Deep-Learning based Motion Analysis on TV Calisthenics Exercises
Takami SATONAKA

静止画や動画から人の姿勢推定することは、非接触かつ簡易な人体計測手法として盛んに研究されている。本報告では OpenPose を利用して骨格特徴点を取得し、テレビ体操の運動シーケンスの身体動作の構造的特徴について記述する。テレビ体操の運動シーケンスにおいて、身体部位の関節回転角度を計算し、被験者の身体動作における特徴点の運動軌跡と肩、膝、肘の回転角度を比較した。また、動的時間伸縮法(DTW:Dynamic Time Warping)を用いて時系列データの解析を行い、運動シーケンスの類似度を評価した。DTW を用いて全運動シーケンスの時系列データから類似した運動シーケンスを検索できることを示した。

1. はじめに

深層学習^{1, 2)}により静止画や動画から人の姿勢推定することは、アニメーション技術への応用や、非接触かつ簡易な人体計測手法として盛んに研究されてきた。また、体育・コーチング分野でスポーツ動画から抽出した選手の姿勢情報を選手の訓練指導、技能向上に活用してきた。

本報告では、OpenPose を利用してテレビ体操の動画画像から骨格特徴点を取得し、運動シーケンスの身体動作の構造的特徴について記述する。テレビ体操の身体部位の関節回転角度を計算し、被験者の身体動作における特徴点の運動軌跡と肩、膝、肘の角度変化を定量的に測定した。テレビ体操の基本動作が規則に基づいているので、12種類の運動シーケンスにおいて10人の被験者の回転角度の時系列データの取得し、それらの類似度を評価した。動的時間伸縮法(Dynamic Time Warping: DTW)^{3, 4)}は時間方向の伸縮を行いながら時系列データ間の距離を算出する手法で、それを体操の全データストリームから問合せ運動シーケンスと類似した運動シーケンスを検索する問題に適用した。

2. 骨格特徴点による体操の運動解析

2.1 OpenPose による運動シーケンスの解析

本報告ではテレビ体操の以下の特徴に着目して身

体動作の構造的記述を行った。^{5, 6)} (1)体操の基本動作において身体各部位の配置と動きが規定されている。(2)基本動作どうしが規則に基づいて直接連結することが多い。(3)基本動作は音楽のリズムに連動している。(4)基本動作が十分に体系化されている。テレビ体操の(1)伸びの運動、(2)腕を振って足を曲げ伸ばす運動、(3)腕を回す運動、(4)胸を反らす運動、(5)体を横に曲げる運動について詳細な解析を行った。

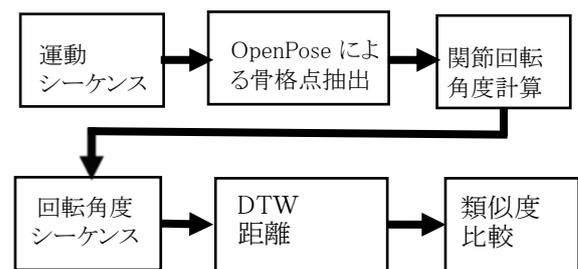


図1 OpenPose と DTW を用いた運動解析フロー

図1は、OpenPose と DTW を用いた運動解析フローを示している。OpenPose は姿勢推定を行うライブラリである。体操の運動シーケンスの画像を入力し骨格特徴点の抽出を行い、身体部位の関節回転角度を計算する。次に、回転角度のシーケンスに対して DTW 距離を算出して、運動の類似度を評価する。

図 2 は OpenPose を用いて抽出した関節の特徴点と関節角の説明図である。各特徴点は(1)鼻, (2)首, (3)右肩, (4)右肘, (5)右手首, (6)左肩, (7)左肘, (8)左手首, (9)右尻, (10)右膝, (11)右足首, (12)左尻, (13)左膝, (14)左足首に対応する。

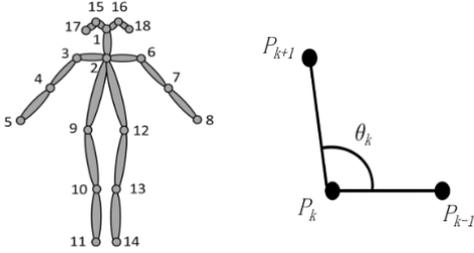


図 2 関節の特徴点と関節角

関節の特徴点の座標に基づいた記述は、身体的特徴の個人差を記述できるが、特徴点の座標は撮影条件、カメラの画素数に依存する。それらに依存しない特徴量を用いて身体的動作を定量的に評価することが必要である。そこで骨格の木構造に着目し、身体部位の相互関係を関節の回転角度で記述する。関節の特徴点系列 1-2-3-4-5, 1-2-6-7-8, 1-2-9-10-11, 1-2-12-13-14 から 12 個の関節点の角度を計算する。連結する3つの特徴点(P_{k-1}, P_k, P_{k+1})においてベクトル $P_k P_{k+1}$ と $P_k P_{k-1}$ との偏角 θ_k を定義し、その反対方向の回転角度 $\phi_k (=360 - \theta_k)$ とおく。

$$Z = |P_k P_{k+1}| e^{i\theta_k} \quad (1)$$

2.2 DTW 距離による類似度計算

図 3 は DTW 距離による類似度計算の概要を示している。それは 2 つの類似した時系列データについて、それらの間の距離を時間伸縮によって最小化する問題である。DTW 距離は二つの時系列データの各時刻における距離を合計して算出される。類似度行列を用いて時系列データ間の累積距離 (以下 DTW 距離) を最小化するように時間方向の伸縮を行う手法について説明する。ここで、二つの時系列データ $A^i = (a^{i+1}, a^{i+2}, \dots, a^{i+N})$, $B^j = (b^{j+1}, b^{j+2}, \dots, b^{j+M})$ に対して以下の手順で DTW 距離を計算する。ただし時刻 i, j におけるデータ長は N, M である。

時系列データ A^i と B^j に対して時刻 i, j の DTW 距離を次に計算する。位置 (i, j) に移動できるのは時刻 $(i-1, j)$, $(i-1, j-1)$, $(i, j-1)$ のみとする制限がある。

$$DTW[i][j] = D(a^i, b^j) + \min \begin{cases} DTW[i-1][j] \\ DTW[i][j-1] \\ DTW[i-1][j-1] \end{cases} \quad (2)$$

$$D(a^i, b^j) = \sum_{k=1}^{12} (a_k^i - b_k^j)^2 \quad (3)$$

ただし、 a^i, b^j は、時刻 i, j の 12 次元の特徴ベクトルで式(3)はベクトル a^i, b^j の距離計算式である。N, M フレームサイズで DTW 距離を計算する。

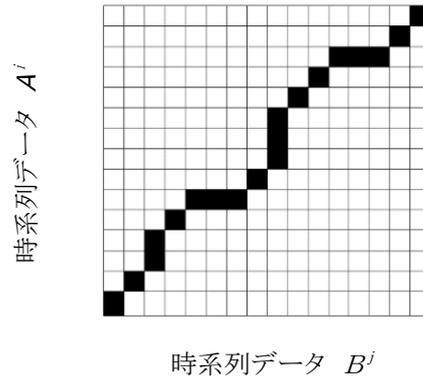


図 3 DTW による類似度計算の概要

- (1) $N \times M$ の大きさの DTW 距離を格納した類似度行列 $DTW[N-1][M-1]$ を作る。
- (2) 動的計画法により $DTW[0][0]$ から $DTW[N-1][M-1]$ までのコストを順番に求めていき、図 3 に示すように $DTW[N-1][M-1]$ のコストが最小となるパスを求める。
- (3) 式(2)で求めた行列の $DTW[N-1][M-1]$ の値が A^i と B^j の距離となる。

3. OpenPose による動画の解析

3.1 運動解析1

運動解析に用いるデータは自作の撮影動画とインターネットで公開されている動画を使用した。自作の動画撮影ではテレビ体操の指導員の映像に合わせて学生の被験者が体操を行った。テレビ体操の動画は 13 種類の運動から構成され、総時間は約 3 分 15 秒である。それを 15 秒の画像の運動シーケンスに分割する。OpenPose を用いて 18 個の特徴点から関節点の角度を計算し、各運動シーケンスの時系列データを得る。図 4 は指導員の体操フォームの例である。2 番目の体操運動シーケンスの動画から 18 個の特徴点座標を取得した。(a)は腕を交差した状態で、(b)は踵を上げて膝を曲げる状態で、(c)は腕を横に振って脚を伸ばしている状態である。



(a) (b) (c)

図4 体操フレームの例

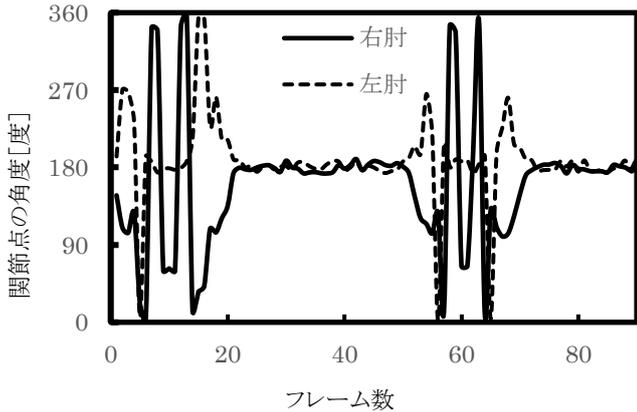


図5 両肘の角度の変化(右肘 ϕ_4 , 左肘 ϕ_7)

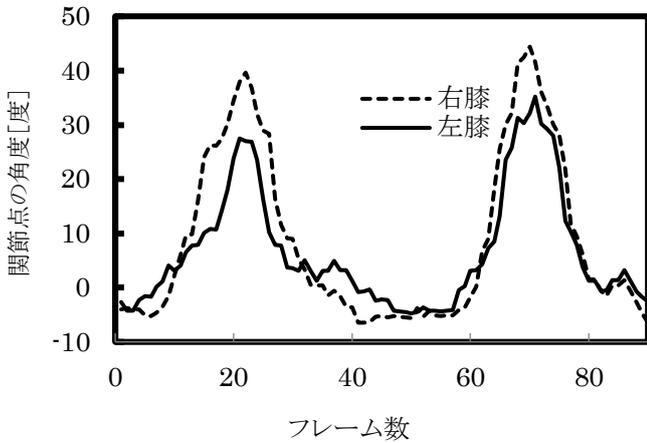


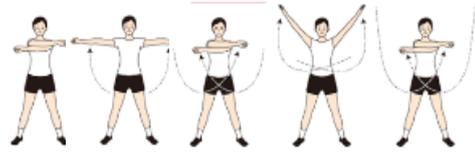
図6 両膝関節の回転角度の変化

図5は、両肘の角度の変化である。両肘の特徴点4, 7の角度を ϕ_4 , ϕ_7 とおく。右肘の角度 ϕ_4 は図4の状態(a)で0度、状態(c)で180度であった。左肘の角度 ϕ_7 は交差時360度から水平時180度に変化している。角度 ϕ_7 と ϕ_4 は反対の回転方向である。図6は両膝関節の回転角度の変化である。図2に示す左右の膝の特徴点10, 13の回転角度を $180 - \phi_{10}$, $\phi_{13} - 180$ で計算する。図4(b)に示す動作の両膝関節の回転角度は左右異なり、その最大値は左膝35度、右膝45度となった。

3.2 運動解析2



(a) 腕を回す運動



(b) 胸を反らす運動

図7 ラジオ体操の運動の説明図

図7は、ラジオ体操の運動の説明図である。図8は、腕を回す運動(3)と胸を反らす運動(4)の回転角度の平均差分を示している。横軸は回転軸の特徴点番号で、縦軸は回転角度のフレーム間差分の絶対値の平均値である。図2に示す両肩、両肘の特徴点番号は3, 6と4, 7である。運動(3)と(4)では両肩、両肘の回転角度の変化は大きく、両膝の特徴点10, 13の回転角度の変化は小さいことがわかった。

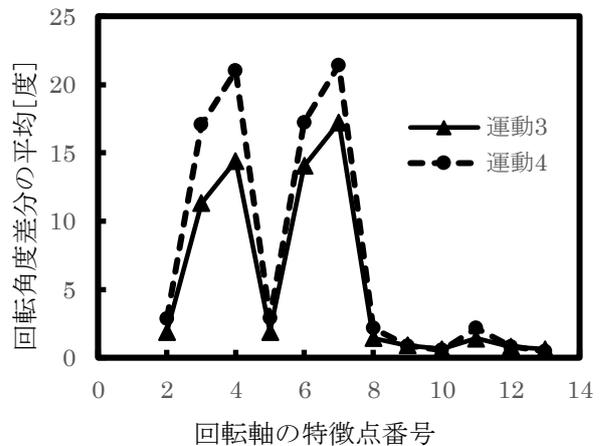


図8 回転角度の平均差分

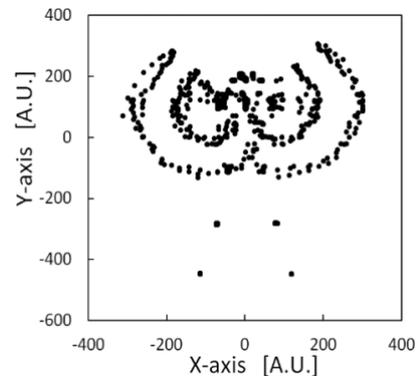


図9 特徴点の散布図(腕を回す運動)

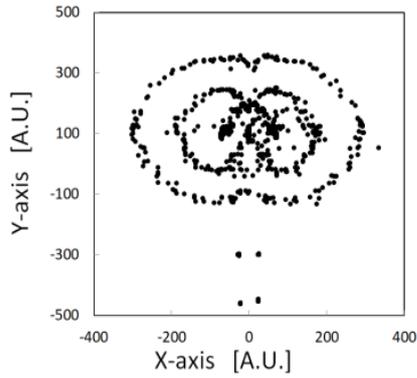
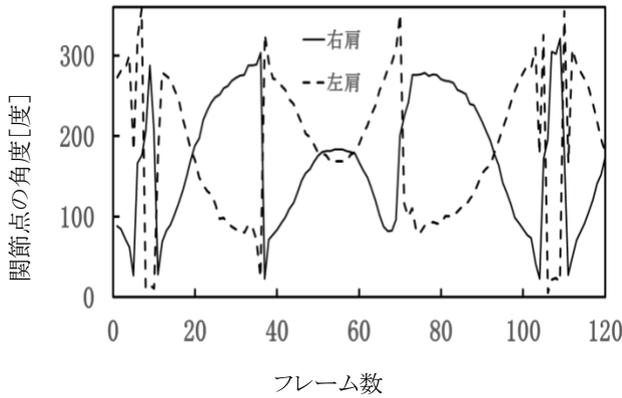
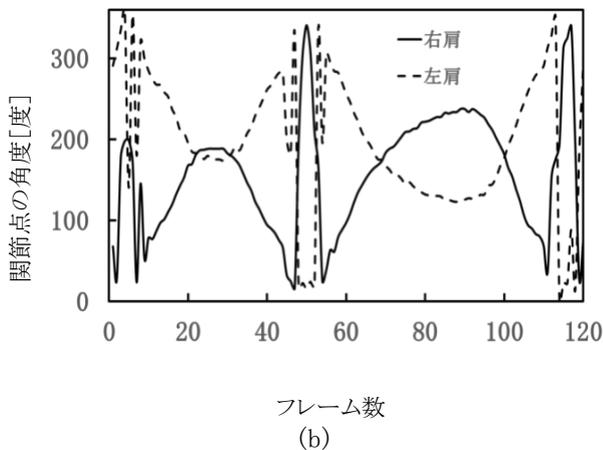


図 10 特徴点の散布図(胸を反らす運動)

図 9 と図 10 は、運動(3)と(4)における OpenPose の 18 個の特徴点の散布図であり、図 11 は両肩の回転角度 θ_3 , θ_6 の変化で、両肩を中心とした円の動きの軌跡に対応した角度の変化が観測された。(b)は腕を斜め振り上げて胸を反らす運動に対応し、両肩を中心とした円弧の軌跡となった。運動(4)の 1, 2 回目の回転角度 θ_3 は 25, 90 フレームにおいて 188 度, 237 度となった。



(a)



(b)

図 11 両肩の回転角度 (θ_3 , θ_6) の変化

3.3 DTW による類似シーケンスの検索

DTW を用いて 12 種類のテレビ体操において指定した運動シーケンスと類似した運動シーケンスを検索した。DTW 距離の類似度行列のサイズは 240x240 である。



(a)

(b)

図 12 運動シーケンスの検索結果の例

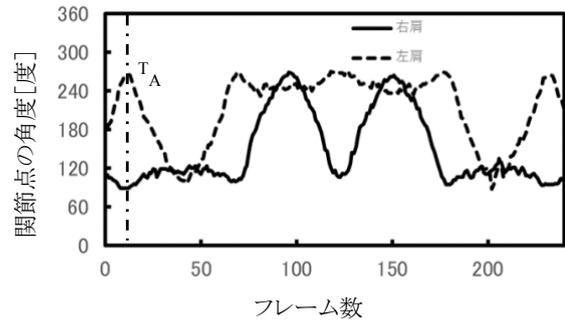


図 13 検索用回転角度シーケンス(両肩)

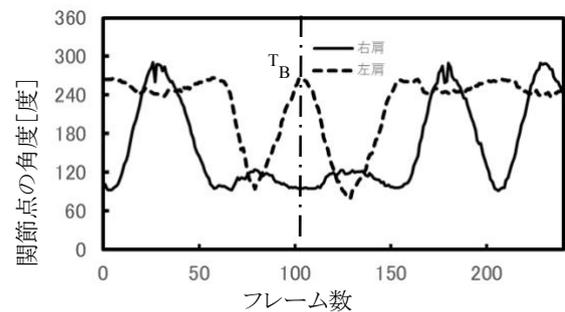


図 14 検索結果の回転角度シーケンス(両肩)

問合せの時系列データ A^i を入力して 4620 フレームの全時系列データから DTW 距離が最小となる B^j を検索した。図 12 は、運動シーケンスの検索結果の例で、(a) は問合せのシーケンス A^i の画像で、(b) は検索結果 B^j の画像である。図 13, 14 は、両肩の検索用、検索結果の回転角度シーケンスを示している。左肩のシーケンスにおいて時間軸方向で $T_B - T_A$ のずれは図 12 の (a) と (b) の左肩の回転角の差に対応する。この要因は 12 個の部位の回転角度の DTW 距離を計算していることである。ラジオ体操では身体各部位の配置と動きが規定されており、全時系列データから指定した「体を横に曲げる運動」と類似した運動シーケンスを検出できることを視覚的に確認できたが、上

述の誤差の改善は今後の課題である。表 1 は DTW による運動シーケンス (2~12 番) の相関距離を示している。1 番の運動の所要時間長は 2~12 番の運動シーケンスに比べて短いので、1 番の運動は除外した。式(2)の DTW の平均距離が 1 となるように正規化した。図 15 は体操の関節特徴点の散布図である。2 番と 12 番はともに腕を振って脚を曲げ伸ばす運動であり、関節特徴点の散布図は類似しており、DTW 距離が 0.14 で最小となった。4 番の胸を反らす運動と 2, 12 番の運動において、DTW 距離が 0.28 になった。図 15(4)の胸を反らす運動において腕の運動軌跡は(2)と(12)の腕の運動の軌跡と高い類似性があることを示している。表 2 は DTW による 10 人相関距離を示している。3 番目の体操運動において 10 人の運動シーケンスの類似度を評価した。A と E, A と F の DTW 相関距離が 0.65 と 0.66 で類似性が高く、D と H の距離は 1.40 で類似性が低くなり、個人差があることが分かった。

表1 DTW による運動シーケンスの相関距離

| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | 0.55 | 0.28 | 0.95 | 1.09 | 0.79 | 1.42 | 0.88 | 1.76 | 0.53 | 0.14 |
| 3 | | 0.45 | 0.94 | 1.23 | 0.82 | 1.24 | 0.96 | 1.51 | 0.60 | 0.53 |
| 4 | | | 0.83 | 1.01 | 0.68 | 1.26 | 0.63 | 1.64 | 0.41 | 0.28 |
| 5 | | | | 1.06 | 0.77 | 1.31 | 1.00 | 1.77 | 0.63 | 0.92 |
| 6 | | | | | 0.81 | 1.41 | 1.24 | 1.89 | 0.55 | 1.08 |
| 7 | | | | | | 1.16 | 0.90 | 1.71 | 0.49 | 0.80 |
| 8 | | | | | | | 1.45 | 1.78 | 0.92 | 1.41 |
| 9 | | | | | | | | 1.45 | 0.41 | 0.83 |
| 10 | | | | | | | | | 1.53 | 1.80 |
| 11 | | | | | | | | | | 0.53 |

表2 DTW による運動シーケンスの相関距離

| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A | 0.87 | 0.87 | 1.13 | 0.66 | 0.65 | 1.09 | 0.98 | 0.93 | 0.86 |
| B | | 0.88 | 1.16 | 0.94 | 0.80 | 1.17 | 1.08 | 1.16 | 0.87 |
| C | | | 1.13 | 0.86 | 0.81 | 1.21 | 0.97 | 1.03 | 0.74 |
| D | | | | 1.00 | 1.10 | 0.87 | 1.40 | 1.15 | 1.25 |
| E | | | | | 0.80 | 1.14 | 0.97 | 0.92 | 0.99 |
| F | | | | | | 1.00 | 1.01 | 1.07 | 0.71 |
| G | | | | | | | 1.26 | 1.02 | 1.34 |
| H | | | | | | | | 1.13 | 0.93 |
| I | | | | | | | | | 1.05 |

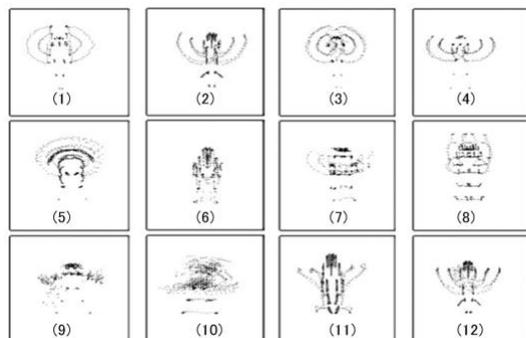


図 15 体操の関節特徴点の散布図

4. まとめ

本報告は、姿勢解析ソフトウェア OpenPose を利用してテレビ体操の運動シーケンスにおいて 18 個の骨格特徴点の時系列データを取得した。肩, 肘, 膝等の身体部位の関節回転角度を計算し、骨格特徴点の運動軌跡と回転角度を関連づけて基本動作を記述し、体操の基本動作の回転角度変化を定量的に評価した。腕を回す運動と胸を反らす運動等の異なる運動シーケンスにおいて肩, 膝, 肘等の回転角度の時間的変化を詳細に解析し、被験者の身体動作の特徴と個人差を明らかにした。

動的時間伸縮法を用いて時間方向の伸縮を行いながら時系列データ間の DTW 距離を計算し、12 種類の運動シーケンスと 10 人の運動シーケンスの類似度を評価した。また DTW 距離によって時系列の全体のデータストリームから問合せの検索用運動シーケンスと類似した運動シーケンスの位置を視覚的に検出できることを確認したが、回転角度シーケンスにおいて時間軸での位置の検出精度の改善は今後課題である。

参考文献

- 1) Z. Cao, T. Simon, S. Wei and Y. Sheikh : Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, CVPR(2017) No.121, pp.1302-1310.
- 2) 稲田健太郎, 渡辺裕, 石川孝明: OpenPose を用いた複数人のダンスの一致度評価,第 80 回全国大会講演論文集 (1)(2018), pp.257-258.
- 3) Y. Sakurai, C. Faloutsos, and M. Yamamuro : Stream monitoring under the time warping distance, Proc. ICDE(2007),pp.1046-1055.
- 4) N. Chanthaphan, K. Uchimura, T. Satonaka and T. Makioka : Facial Emotion Recognition Based on Facial Motion Stream Generated by Kinect, SITIS2015(2015), pp.117-124, doi: 10.1109/SITIS.2015.31.
- 5) 鈴木恭平・松村パブロ・山地秀美・松田 洋・糸野文洋: Kinect を用いたフィジカルトレーニングシステムの改良と評価,第 17 回情報科学技術フォーラム講演論文集 (1)(2018), pp.367-368.
- 6) 野々村誠人, 田中雅博: Kinect を用いたラジオ体操自動評価システムにおける手の追跡,ロボティクス・メカトロニクス講演概要集(1), (2014), 3P1-J02.

ビジネスゲームのオンライン化

牧岡 毅*

Best study in Department of Computer Systems Engineering
Bringing business games online

Tsuyoshi MAKIOKA

本報告は、令和3年度の情報システム技術科卒業研究において最優秀研究である技術賞を受賞した研究テーマを紹介する。この研究は、濱敬洋、米村登志也、田口りさ、岩下大輝、永友拓実、西川龍冴の6名が筆者の研究室で取り組んだ成果である。

研究のきっかけは、ITコーディネータ協会理事の中尾氏より、ボードゲーム「トータルオプトゲーム」のオンライン化について相談を受けたことであった。そこで本研究室の卒業研究としてトータルオプトゲームのオンライン化をおこなうこととなった。本研究では、Unityを用いた班とUdonariumを用いた班の2班に分けて製作をおこなった。完成した2種のソフトウェアを用いてゲームの操作性などの評価を行った結果、ゲームとしての完成度は高いが準備やコミュニケーションが難しいなどオンライン特有の問題点が明らかとなった。

1. はじめに

本研究は、ITコーディネータ協会理事、中尾氏が開発したトータルオプトゲームをオンライン上で実装することが目標である¹⁾。トータルオプトゲームを行う目的は、中小企業経営者が中小企業の効率的成長を促進するための基本的な考え方である「全体最適の視点」を学ぶことである。このゲームは、対面で行うボードゲーム形式で、コロナ禍においては実施が困難となっており、オンライン化が望まれている。

2. 開発

開発に際し、自由に機能を追加できるが、オンラインでの接続など、一からすべての機能を実装しなければならないため、製作難易度が高いUnityを用いた班と、機能の追加は難しいが、すでにオンラインでの接続が可能で製作難易度が低いUdonariumを用いた班と別れて2種類の環境で開発をおこなった。

ゲームの進行などを記録する集計表をGoogleスプレッドシートを用いて作成。また、ゲーム中は他のプレイヤーの表情を見ることができ、コミュニケーションや意思疎

通ができることが重要であるため、フリーのオンライン会議ツール Jitsi Meet を使用することにした。

2.1 開発環境

表1 Udonarium 班の開発環境

| | |
|---------|---------------------|
| OS | Windows10 Pro 64bit |
| 開発環境 | Unity ver.2021 |
| 使用言語 | C# |
| 追加パッケージ | Photon PUN2 |

表2 Unity 班の開発環境

| | |
|------|---------------------|
| OS | Windows10 Pro 64bit |
| 開発環境 | Udonarium 2D |

Udonarium 班は Udonarium を用いて開発を行ったが、Udonarium は本来 3D の立体的なゲームなどを作成するツールである。本ボードゲームの特性上 3D である必要がないという判断をし、Udonarium に trpg_yoshi 氏作成の平面化パッチをあてた Udonarium 2D を用いて作成した。開発環境は表1に記す。

* 情報システム技術科

Unity 班は Unity ver.2021 を用いてゲーム本体を開発、オンライン化のために追加パッケージとして Photon PUN2 を使用した。開発環境は表 2 に記す。

2. 2 Udonarium について

Udonarium は、Udonarium 班がゲーム開発に用いたシステムで、TK11235 氏が Github 上にて公開しているブラウザ間通信を行うオンラインセッションツールである。MIT ライセンスがつけられている。

2. 3 Unity について

Unity 班がゲーム開発に用いたソフトウェアである。ユニティ・テクノロジーズ(Unity Technologies)が開発・販売しているゲームエンジンおよび統合開発環境(IDE)である。3 次元グラフィックス(3DCG)あるいは 2 次元(2DCG)ベースのゲームを製作し、スマートフォン、家庭用ゲーム機、WEB ブラウザなどで実行することができる。

ステージやフィールドの作成、キャラクタやオブジェクトの配置、プレイヤーに対する情報表示や操作の受付(UI)、ゲーム内の基本的な挙動などはグラフィカルな操作画面(GUI)を通じ製作することができる。

標準にない機能や複雑な挙動などを作りこみたい場合はプログラミング言語の C#を用いてスクリプトを追加することができる。ライセンスは年商 10 万ドル以下の場合無料となっている。

2. 4 Photon PUN2 について

Unity 班がゲームのオンライン接続に用いたツールでマルチプレイヤーゲーム対応の Unity 用パッケージである。柔軟性の高いマッチメイキングによってプレイヤーはルームに入室し、ルーム内のオブジェクトはネットワーク上で同期される。RPC、カスタムプロパティまたは「低いレベル」の Photon イベントなどの機能がある。信頼性が高く、(オプションで)高速な通信が専用 Photon サーバによって実現され、ほぼすべてのプラットフォームへエクスポートできる。ライセンスは最大 20 台の同時接続まで無償で利用可能となっている。

2. 5 Google スプレッドシートについて

Google スプレッドシートは、Google が提供している Web ブラウザ上で使用可能なフリー表計算ソフトである。Web ブラウザを用いて、どの端末でも使用できる。Udonarium 班、Unity 班の両方の集計表作成で用いた。

3. システム概要

今回のシステムの必要要件は、

- ・トータルオプトゲームがプレイできる
- ・顧客役 1 名とプレイヤー 4 名の 5 名を同時接続できる

・プレイ中他のプレイヤーの表情を見ることができるの 3 点を満たしていることである。

3. 1 Udonarium を用いたシステム

Udonarium はブラウザ上で 5 人以上の同時接続が可能であり、接続環境としては十分である。

トータルオプトゲームをブラウザの Udonarium 上で作成し、ZIP ファイルでルームのデータを保存することができ、そのファイルを読み込むことで保存した状態からゲームを開始できる。

また、画面上に通話ソフトのウィンドウと集計用のスプレッドシートを図 1 のように配置する。Pause キーを押すことでウィンドウを最前面で固定するフリーソフト「Pause.exe」を通話ソフトに使用することで他のプレイヤーの表情を常に見ることができるようにした。

3. 2 Unity を用いたシステム

Unity で作成したゲームボードをオンライン化するために、PUN2 を導入した。トータルオプトゲームの作成は、主に以下の 3 つのシーン(図 2 のタイトル画面、図 3 のルーム作成・参加画面、図 4 のゲーム画面)に分けて作成した。Unity で開発したトータルオプトゲームは最大 7 人までの同時接続が可能である。画面上に通話ソフトのウィンドウと集計用のスプレッドシートを配置する。

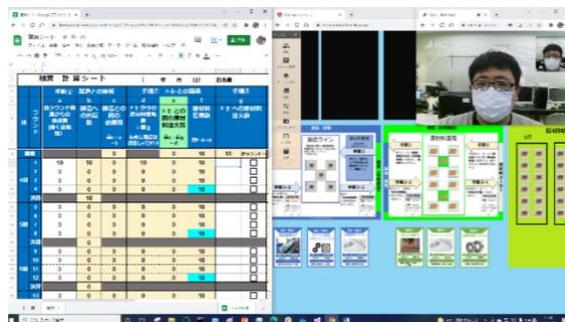


図1 ゲーム中の画面(Udonarium)

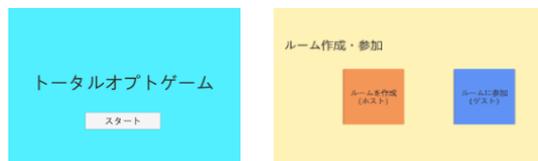


図2 タイトル画面 図3 ルーム作成・参加画面



図4 ゲーム中の画面(Unity)

3.3 Google スプレッドシートで作成した集計表

Google スプレッドシートでは、対面のボードゲームに使われる Excel ファイルの集計表をオンライン上のプレイで使いやすくするために改良と機能の拡張を行った。

4. システムの動作

4.1 Udonarium で作成したゲームの動作

Udonarium にはいくつかオブジェクトの種類がある。今回使用したオブジェクトを解説する。

・カード

表と裏があり、山札にすることで複数枚重ねることができ、表と裏それぞれ別の画像を設定することができる。ゲーム上で受け渡しするトークンなどで使用。

・マップマスク

カードと違い表しかないが、位置を固定することができる。ゲームボードとして使用。

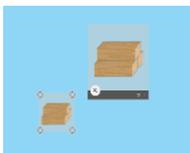


図 5 カード(表)



図 6 カード(裏)

図 5 がカードの表、図 6 がカードの裏面になる。最初は表の「材料」の状態、プレイ中の加工作業で裏面の「製品」の状態にする。ほかにも、オプションカードと呼ばれるカードの使用の有無をわかりやすいように裏面の画像を変えるなどで使用している。

4.2 Unity で作成したゲームの動作

図 2 のタイトル画面にあるスタートボタンをクリックすると、図 3 のルーム作成・参加画面に遷移する。ルーム作成・参加画面にある左のボタンはルーム作成ボタン、右のボタンはルーム参加ボタンとなっている。ルーム作成ボタンをクリックすると、PUN2 を使用し部屋を作成しホストとなり図 4 のゲーム画面に遷移する。

ルーム作成・参加するために NetworkManager スクリプトを追加した²⁾。

NetworkManager は、部屋を作成して入室するメソッド (CreateAndJoinRoom) と部屋に入室するメソッド (JoinOrCreateRoom) を定義したスクリプトである。

ゲーム中の材料などを表すためのオブジェクトを参加者が動かせるように、Ownership Transfer を用いてオブジェクトの権限を委譲するプログラムを追加した⁴⁾。

オフライン版では購入から材料(レゴブロック)を大量に購入するときに数え間違いがないようチェックに時間がかかったが、本ゲーム版では、大量の材料を購入す

るときはテキストに任意の数字を入力すると自動で生成されるようにした。他部門の様子を伺うには隣の人のとこまで移動する手間がかかるので、カメラをキーボードで移動と拡大・縮小できるようにした。初期配置をするには製品(材料 2 つ分)・材料を組み立てて並べないといけないが、初期配置ボタンをクリックすると並べられた状態にできるようにした³⁾。

4.3 Google スプレッドシートで作成した集計表

対面のボードゲーム上では他部門への発注には手書きの発注書を使用し、発注数や出荷数はそれぞれの部門の集計表に手入力をしていた。在庫の受け渡しには製品に見立てたレゴブロックを使用していた。それを発注分のみ入力することで、他の項目が自動反映され、入力間違いなどが起こらないような機能を集計表に実装した。実装後のグラフィックは図 7 に記す。図 8 のようにオプションカードの使用の際に、数字を入力して切り替えを行っていたのを、図 9 のようにチェックボックスに変更し、オプションカードの説明も追加し、使いやすく見やすくした。また PC の画面レイアウトは、オンライン化するとボードや通話画面も表示させる必要があり集計表の表示範囲が狭くなるため、表示させたい範囲を左側に厳選する図 10 のようなレイアウト変更を行った。

図 7 部門間の連動

図 8 改善前

図 9 改善後

図 10 改善後の集計

5. 二つのゲームの比較

Udonarium と Unity でゲームを開発し、それぞれのゲームの特徴を知るためにテストプレイを行った。

5.1 評価基準

テストプレイの評価を行うにあたり、評価項目を設定し、評価項目に1～5の点数を設定、学生5人で評価を行ったので、最大25点の点数で評価をおこなった。評価基準と評価した点数を表3に記す。

5.2 評価結果

それぞれの項目の点数の平均をとり、グラフにした結果を図11と図12に記す。

全体的に Unity 版の方の評価が高かったが、Udonarium 版は動作が軽くゲーム中の不具合も少ないという利点があった。

準備に関する評価において、Udonarium 側が大きく下回っているが、これはテストプレイ参加者に配布するファイルに説明書を同梱していたが、そのことを周知できておらず参加者が説明書を読まずにゲームを開始してしまったことが原因と考えられる。両方ともコミュニケーションの項目が低くなってしまっているが、原因として

- ・参加者がリモートでの会話に慣れていない
- ・画面領域が狭く、全員の表情は見るできないなどが考えられる。

ゲームプレイ、見やすさ、わかりやすさの項目は共に高い数値になっており、ゲーム完成度は高いといえるが、Udonarium は材料や製品が比較的小さい、Unity は隣の人とのボードの距離が近く、材料などが隣のものとは区別できなくなる可能性があるなど、お互いに改善点があることが分かった。

6. おわりに

本研究では、Unity と Udonarium の2パターンでボードゲームをオンライン化することができた。

今回の開発では、「ゲームとしての完成度は高いが準備やコミュニケーションが難しい」などオンライン特有の問題点が目立った。そのため説明書を改善する、ゲーム途中の話し合いの間は通話画面を最大化するなどのゲーム以外での改善が必要であると考えられる。

また、両方の班で共通で扱った Google スプレッドシートを用いた集計表において、連携や操作のしやすさだけではなく、ゲームの流れをサポートする役割として、Google スプレッドシートの機能であるコメントやメモを有効活用することで改善すると考える。

表3 評価基準と点

| ゲームプレイ | | Udonarium | Unity |
|----------------|---------------------------|-----------|-------|
| 材料・製品のサイズ | 例) 材料と製品の見分けがつかない | 20 | 24 |
| 材料・製品の距離 | 例) ほかの製品や材料とかぶらない | 21 | 20 |
| 材料・製品の数 | 例) 用意されていた材料で足りたか | 24 | 25 |
| カメラの操作 | 例) カメラを移動させたい方向に移動できた | 21 | 23 |
| 隣の人とのボードの距離 | 例) 隣の人との材料が混ざりすぎたか | 22 | 14 |
| 操作の手間 | 例) 材料・製品の受け渡しに手間がかかった | 18 | 14 |
| 見やすさ | | Udonarium | Unity |
| 材料・製品とボードの見分け | 例) 材料・製品とボードがすぐ見分けられる | 22 | 24 |
| 材料・製品の遠い | 例) 材料と製品の見分けがつかない | 22 | 25 |
| オプションカードの使用前後 | 例) オプションカードを使ったのが一目でわかるか | 25 | 25 |
| 材料・製品の数 | 例) 手元にある材料・製品の数がちゃんと見えるか | 13 | 20 |
| 通話画面・集計表の配置 | 例) 通話画面と集計表を開いたときの画面の見やすさ | 13 | 14 |
| わかりやすさ | | Udonarium | Unity |
| チャットでの注文 | 例) チャットでの注文などがわかりやすかった | 19 | 20 |
| ルールとの整合性 | 例) ルール通りのプレイができるか | 21 | 19 |
| 材料・製品の数 | 例) 手元にある材料・製品の数がわかりやすいか | 13 | 20 |
| 材料から製品への加工 | 例) 材料から製品に加工する作業がわかりやすいか | 15 | 20 |
| ゲームの進行状況 | 例) ゲームが今どこまで進行しているかを把握できる | 19 | 18 |
| プレイ準備 | | Udonarium | Unity |
| ゲーム開始までにかかった時間 | 例) ゲームをスムーズに開始できたか | 8 | 16 |
| ルームの入退室のスムーズさ | 例) ルームIDの入力などは簡単だったか | 15 | 21 |
| 説明書のわかりやすさ | 例) ファイルに添付されていた説明書のわかりやすさ | 17 | 20 |
| コミュニケーション | | Udonarium | Unity |
| 意思疎通 | 例) 通話の音質など | 13 | 16 |
| 相手の表情 | 例) 通話画面の見やすさ | 10 | 15 |



図11 Udonarium 評価

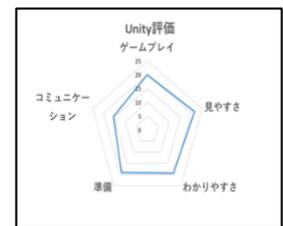


図12 Unity 評価

本研究での評価は評価人数が少なく2つのシステムを十分に評価できているとは言えない。今後の課題として多くの人に本システムをプレイしてもらい、その評価に基づいた改善が必要と思われる。

本研究は、当初の目標を達成し今後の進展に期待ができることを本学科の教員に高く評価され最優秀研究に送られる技術賞を受賞した。

最後に本研究を行うにあたり、特定非営利活動法人 IT コーディネータ協会理事の中尾克代様より題材、資料の提供、ご助言を頂きましたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) トータルオプトゲーム
<https://www.itbizlab.jp/ビジネスゲーム>
 (参照日 2021年12月25日)
- 2) Free Games By ノッポソ
[https://gamefbb.com/\[unity\]ルームの作成と入室\[pun2\]/](https://gamefbb.com/[unity]ルームの作成と入室[pun2]/)
 (参照日 2021年11月12日)
- 3) Photon Networking 2 - Transferring Ownership
<https://www.youtube.com/watch?v=W0FnBDODAJI>
 (参照日 2021年12月25日)
- 4) Unity Documentation
<https://docs.unity3d.com/ja/2021.1/Manual/UnityManual.html>
 (参照日 2021年10月22日)

2. 教職員および学生の活動状況一覧

2022年1月～12月

1. 論文・国際会議プロシーディングス

| タイトル | 著者名 | 掲載誌名・巻・号・頁・年 |
|---|---|--|
| Quantitative performance evaluation experiment of flexible bone-conduction microphone | Naoki Inokuchi, Naoki Zaito, Tadashi Sakata, Makiko Kobayashi, Mami Fukushige and Hitomi Maeda | Proceedings of the 17 th ICAST 2022, 11-8, 2022 |

2. 国内会議・研究会等

| タイトル | 著者名 | 掲載誌名・巻・号・頁・年 | 発表月 |
|--------------------------|---|--|-----|
| 周波数効果を利用した電気探査の研究 | 吉田紘彬, 岡崎真也, 池上知顕 | 日本応用地質学会九州支部「令和4年度(第38回)研究発表会」, 論文集(電子版) | 11月 |
| ウェアラブル圧電マイクの改良についての基礎的研究 | 井口直紀, 小林牧子, 坂田 聡, 中村はるか, 財頭直希 | 日本音響学会九州支部「第16回学生のための研究発表会」講演集, 10, 2022 | 12月 |

3. 資料

| タイトル | 著者名 | 掲載誌名・巻・号・頁・年 |
|---|-------|--|
| 「地学一体」で魅力ある大学へ 地域産業と技大が一体となって未来 の人材を育てる | 尾原 祐三 | くまもと経済, 496 巻, pp. 104-105, 2022 |
| 群入試が及ぼす教育における効果と 課題 | 江口 智弘 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 3-8, 2022 年 3 月 |
| 深層学習を利用した姿勢・動きの解析 -Open Pose による TV 体操の解析- | 里中 孝美 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 9-14, 2022 年 3 月 |
| 外部コンテスト参加学生の指導を行っ て思うこと | 弓削 慶祐 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 17-20, 2022 年 3 月 |
| 卒業研究紹介:自動車配線用コネクタ の外観検査装置の製作 | 中野 貴之 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 37-38, 2022 年 3 月 |
| 卒業研究紹介:熱応力を用いた線膨 張係数の測定 -測定装置の再設計- | 秀山 文彦 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 39-41, 2022 年 3 月 |

| | | |
|--|-------|---|
| 卒業研究紹介:電子情報技術科最優秀卒業研究の紹介—高齢者施設で使用する離床検知装置の改善と評価— | 江口 智弘 | 熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 23 号, pp. 42-44, 2022 年 3 月 |
|--|-------|---|

4. 産学支援活動

| 支援内容 | 担当者 | 支援先 | 期間 |
|---------------------------------|----------------|---------------------|------------------------------|
| スーパープロフェッショナルハイスクール運営指導委員会委員 | 尾原 祐三 | 熊本県立熊本工業高校 | R2 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| スーパーサイエンスハイスクール運営指導委員会委員 | 尾原 祐三 | 熊本県立熊本北高校 | R2 年 4 月～ R5 年 3 月 |
| 学校運営協議会 | 尾原 祐三 | 熊本県立熊本工業高校 | R2 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 学校運営協議会 | 尾原 祐三 | 熊本県立翔陽高校 | R2 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 参与 | 尾原 祐三 | 熊本県工業連合会 | R2 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 評議員 | 尾原 祐三 | 熊本県企業化支援センター | R2 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 幹事 | 尾原 祐三 | くまもとクロスイノベーション協議会 | R3 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 監事 | 尾原 祐三 | 大学コンソーシアム熊本 | R3 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 顧問 | 尾原 祐三 | RIST-くまもと技術革新・融合研究会 | R3 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 顧問 | 尾原 祐三 | 熊本県ものづくり工業会 | R3 年 6 月～ R5 年 3 月 |
| 技術研修 (有接点シーケンス制御・PLCプログラミング) | 田崎 和博 日野 満司 | 日本ピラー工業株式会社 | 5 月 1 日～ R5 年 2 月 28 日 |
| 理事 | 坂田 聡 | 一般社団法人言語教育開発機構 | 4 月～R5 年 3 月 |
| WRO Japan 2022熊本予選競技審査委員 | 田崎 和博 坂田 聡 | NPO法人HITOプロジェクト | 6 月～7 月 |

| | | | |
|--------------------------------|-------|----------------------------|---------------|
| 「技能と技術」誌編集委員 | 牧岡 毅 | 職業能力開発総合大学校基盤 整備センター | 11月～R5年 3月 |
| 「専門高校生の研究文・作文コンクール」熊本大会審査会・委員長 | 尾原 祐三 | 熊本県産業教育振興会 | 11月5日 |
| 熊本県障がい者技能競技大会実行委員 | 尾原 祐三 | 高齢・障がい・求職者雇用支援 機構, 熊本支部 | 12月20日 |

5. 学生の表彰・大会参加・資格取得(*は、指導教員)

| タイトル | 氏名 | 記事 | 期日 |
|---|--|--|-----|
| 3級技能士(普通旋盤) | 精密機械1年 門口 稜 渡邊 幹太 *弓削 慶祐 | 中央職業能力開発協会 機械加工 普通旋盤 | 3月 |
| 3級技能士(機械検査) | 精密機械1年 内村 駿斗 *中野 貴之 *田中 誠一郎 | 中央職業能力開発協会 機械検査 | 3月 |
| 第17回若年者ものづくり競技大会参加 (機械製図 CAD) | 機械システム2年 松永 紘斗 *秀山 文彦 | 中央職業能力開発協会 主催 技能を習得中の企業等に就職していない20歳以下の若年者を対象としたものづくり競技会 | 7月 |
| 第17回若年者ものづくり競技大会参加 (普通旋盤) 競技結果:銀賞 | 精密機械2年 川口 大樹 *弓削 慶祐 | 中央職業能力開発協会 主催 技能を習得中の企業等に就業していない20歳以下の若年者を対象としたものづくり競技大会 中央職業能力開発協会 主催 | 8月 |
| 3級技能士(マシニング・センタ) | 精密機械2年 角川 広晃 木村 駿太 正垣 洸太 田嶋 遼也 *中野 貴之 | 中央職業能力開発協会 機械加工 マシニング・センタ | 9月 |
| 熊本県知事表彰 | 精密機械2年 川口 大樹 | 熊本県 第17回若年者ものづくり競技大会にて銀賞受賞に対する表彰 | 11月 |

6. 共同研究

| テーマ名 | 氏名 | 共同研究先 |
|--|-------|------------------------|
| 原位置変形測定システムの開発 | 福田 真 | アールエステクノロジイ 株式会社 |
| インピーダンス法電気探査装置の開発 | 池上 知顯 | 株式会社 大平総合プラン |
| 音声・動画・筋電のハイブリッド解析による嚥下機能の加齢変化の捕捉 | 坂田 聡 | 松本 智晴(熊本大学大学院生命科学研究部) |
| 音声可視化システムを用いた客観的評価に基づく口蓋裂術後の異常構音の病態解明 | 坂田 聡 | 手塚 征宏(鹿児島大学医歯学域歯学系) |
| リアルタイム音声可視化システムを応用した視覚フィードバック口蓋裂言語訓練法の開発 | 坂田 聡 | 中村 典史(鹿児島大学医歯学域歯学系) |
| with マスク時代のウェアラブルなコミュニケーション支援ツールの開発 | 坂田 聡 | 前田 ひとみ(熊本大学大学院生命科学研究部) |

7. 在職者セミナー

| タイトル | 担当者 | 内 容 | 期 日 | 受講者数 |
|-----------------------|-----------------|--|-----------------|------|
| オーダーセミナー「測定基礎」 | 田中 誠一郎 | 機械測定の基礎である、ノギス、マイクロメータ、ハイトゲージ等の基礎 | 4月20日 | 2名 |
| 有接点シーケンス制御～PLCプログラミング | 田崎 和博 日野 満司 | 有接点シーケンス制御の基礎及び実践課題、PLCを用いたシーケンス制御の基礎及び実践課題 | 5月～12月 2回/月 | 3名 |
| 機械製図 CAD | 河邊 真二郎 秀山 文彦 | 機械部品図面と機械組立図面の描き方の基礎を AutoCAD(2D)の操作方法とともに学ぶ | 7月10日 7月17日 | 2名 |
| 図面の読み方と機械加工 | 河邊 真二郎 弓削 慶祐 | 機械図面の読み方を学ぶとともに機械加工(旋盤作業)の操作方法を実機を使用して学ぶ | 8月から10月 の4日間 | 5名 |
| ゼロから学ぶデータ分析入門 | 福田 真 | データ分析の基礎となる統計学から、統計的推定である区間推定、統計的検定等を講義 | 8月22日, 23日 | 2名 |

| | | | | |
|--|----------------|--|------------------|----|
| 空気圧制御実習装置を用いたシーケンス制御入門ー生産ラインの自動化に向けてー | 田崎 和博 日野 満司 | 空気圧実習装置を用いて,リレー回路および PLC によるシーケンス制御を学ぶ | 8月24~26日 | 4名 |
| 汎用ロボットの操作法と PLC によるロボット制御入門ー無人化,自動化に向けたロボット導入ー | 日野 満司 | 汎用ロボットの基本操作とプログラミング法を理解し,生産ラインの PLC による制御手法を学ぶ | 9月27日,28日 | 1名 |
| 機械加工実践技術 | 弓削 慶祐 | 普通旋盤・フライス盤を利用した実践的な機械加工技術の指導 | 10月15日 10月22日 | 6名 |

8. 外部委託の講習会・研究会等

| 名称 | 担当者 | 内容 | 期日 |
|--|--------|--|-------|
| 進学ガイダンスセミナー2022 模擬授業 「未来の自動車は地球を救う ～SDGs なものづくり～」 | 秀山 文彦 | 熊本県内の大学進学を考えている高校生および保護者に対して,SDGs をテーマに模擬授業を実施 | 7月10日 |
| 令和4年度 くまもと県民カレッジ キャンパスパレア「自動車の空気力学～性能とデザインを空気力学の観点から考える～」 | 秀山 文彦 | 県内の大学等の高等教育機関との連携し,特色ある研究や取り組みを講座形式で県民に提供.自動車の空気力学について説明 | 8月23日 |
| 職業訓練指導員講習 講師 | 河邊 真二郎 | 職業訓練指導員免許 48 時間講習の「職業訓練原理」担当 熊本県職業能力開発協会 | 7月12日 |
| 職業訓練指導員講習 講師 | 牧岡 毅 | 職業訓練指導員免許 48 時間講習の「訓練生の心理」担当 熊本県職業能力開発協会 | 7月14日 |

9. 技能検定員委嘱

| 件名 | 担当者 | 内容 | 実施月 |
|------------------------|-------|----------|-----|
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 中野 貴之 | 機械検査 | 1月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定補佐員 | 秀山 文彦 | 空気圧装置組立て | 1月 |

| | | | |
|-----------------------|--------|--------------------------------|--------------------|
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 田崎 和博 | 空気圧装置組立て シーケンス制御 電子機器組立て | 1月 1月 1月, 8月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 江口 智弘 | 電子機器組立て | 1月, 8月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 弓削 慶祐 | NC 旋盤 平面研削盤 機械検査 | 2月, 8月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 福田 真 | 電子機器組み立て | 1月, 8月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 牧岡 毅 | 電子機器組み立て | 1月, 8月 |
| 熊本県職業能力開発協会 技能検定委員 | 田中 誠一郎 | ワイヤー放電加工 プラスチック成形 | 8月 |

10. FD研修

| タイトル | 内容 | 期日 |
|-----------------------|--|--------------------------|
| 授業評価 | 令和3年度後期 科目数 129 教員数 50 令和4年度前期 科目数 137 教員数 44 | 2月2日～2月9日 7月20日～7月27日 |
| 大学コンソーシアム熊本 SD 委員会 | 「自己点検評価」に関する意見交換を通じ交流を深め, 大学間の連携を図る | 7月6日 |

11. 一般活動等

| 名称 | 参加者 | 内容 | 期日 |
|-------------------|---------------------------------|---|--------------------------|
| 数学セミナー | 田中 誠一郎 福田 真 坂田 聡 入試委員会 | 入試委員会企画, 高校3年生, 2年生向け数学I講座 | 7月30日, 31日, 10月23日 |
| 2022くまもと お仕事探検フェア | 広報委員会 他 計9名 | 県内の高校生が企業・団体等から, 仕事の魅力とやりがいについて話を聞き, より良い進路選択, 将来の県内就職のきっかけをつくる | 12月13日 |

| | | | |
|---------------------------------|--|--|-----------------------|
| すぎなみフェスタ 2022 | 里中 孝美 秀山 文彦 坂田 聡 精密機械 2 年 機械システム 2 年 情報システム 2 年 | 子どもふれあい・体験コーナーに 「科学技術と遊び」ブースを出店 | 11 月 12 日 |
| 令和 4 年度(2022 年度) ふくしのこころ育成事業 | 河邊 真二郎 他 精密機械 2 年 計 4 名 | 県民の地域福祉への関心を高めるとともに、幼少期から意識の啓発を図ることを目的に、県内の大学生による教材作成等に関する取組 | R4 年 4 月 ～R5 年 3 月 |

12. 新聞記事他

| タイトル | 発行社 | 記事の内容 | 期 日 |
|---|---------|--|-----------------|
| 人材育成の課題解決探る 熊本県議会が半導体関連企業 など視察(夕方のニュースで) | TKU | 台湾の半導体製造大手・TSMC の熊本進出を受け、人材の育成が課題の一つとなっている。こうした課題の解決に向け、県議会の常任委員会のメンバーが県内にある技大等の人材育成施設などを視察した。 | 11 月 22 日 |
| 「地学一体」で魅力ある大学へ 地域産業と技大が一体となって 未来の人材を育てる | くまもと経済 | くまもと経済のスクール特集で、“新技術科設置と編入学制度”，“技大将来構想の策定”，“「地学一体」で未来の人材育成”について、校長先生のコメントを掲載した。 | 10 月号 |
| 県立技術短期大学校から熊本 大学への編入学を可能とする ための構造改革特別区域計画 が認定されました | 熊本日日新聞社 | 令和 5 年(2023 年)1 月 5 日に、県立技術短期大学校から熊本大学への編入学が可能となる構造改革特別 区域計画が内閣総理大臣から認定された。 今後、熊本大学で検討されている、令和 5 年度中に実施予定の編入学試験に合格した場合、令和 6 年 4 月から編入学が開始される予定。 | R5 年 1 月 6 日 |

3. 卒業研究テーマ

2021年4月～2022年3月

卒業研究テーマ一覧

【精密機械技術科】

- 卓上射出成形機的设计製作 —ラック&ピニオン式成形機— (指導教員 中野 貴之)
- メルトフローレート測定装置の自動測定に関する研究 (指導教員 河邊 真二郎, 谷名 修)
- プレス絞り金型の改良と加工実験 (指導教員 田中 誠一郎)
- ワイヤー放電加工による精密製品の製作 (指導教員 田中 誠一郎)
- キックターゲットの製作 (指導教員 弓削 慶祐)
- 旋盤加工の効率化と精度向上に向けた取組み
—偏心測定器の設計・製作— (指導教員 弓削 慶祐)
- 自動車用配線コネクタの外観検査装置の製作
—自動供給部の改良と液晶表示— (指導教員 中野 貴之)
- 屋外洗浄ロボットの開発 —機械設計製作— (指導教員 河邊 真二郎, 谷名 修)

【機械システム技術科】

- 熱ひずみを用いた線膨張係数の算出 (指導教員 秀山 文彦)
- プラスチック表面からの減圧プール沸騰 ～実験装置の再設計～ (指導教員 秀山 文彦)
- 制御工学実習機材の開発 —直立振子の制御系構成と制御実験— (指導教員 日野 満司)
- 振動工学実習装置の開発 —自由度自由振動系実習装置の開発— (指導教員 日野 満司)
- カーボンニュートラルに向けた実態調査と解決策の検討Ⅰ
—太陽追尾型太陽光発電システムの製作— (指導教員 堀田 圭之介)
- カーボンニュートラルに向けた実態調査と解決策の検討Ⅱ
—完全太陽光 EV の試作と実現可能性調査— (指導教員 堀田 圭之介)
- 九州ポリテックビジョンロボット競技会に向けたロボット製作 (指導教員 田崎 和博)
- 屋外洗浄ロボットの開発(制御設計) (指導教員 田崎 和博)

【電子情報技術科】

| | |
|--|--------------|
| ロボット競技会用ロボットの製作 | (指導教員 江口 智弘) |
| 高齢者施設で使用する離床検知装置の実用性の評価 | (指導教員 江口 智弘) |
| マイコンを用いた CAN ネットワークの開発 | (指導教員 打越 政弘) |
| 原位置変形測定システムの開発 | (指導教員 福田 真) |
| Raspberry pi を用いた並列計算 | (指導教員 福田 真) |
| 円盤自己重力を考慮した降着円盤の数値計算プログラムの作成 | (指導教員 甲斐 隆志) |
| 降着円盤の自己重力算出プログラムの作成 | (指導教員 甲斐 隆志) |
| 赤外線温度センサによる体表面温度測定 | (指導教員 池上 知顯) |
| 電気二重層キャパシタを用いた太陽光発電用蓄電池の作製 | (指導教員 池上 知顯) |
| OpenPose と Dynamic Time Warping を用いた運動解析 ー 深層学習を利用したスポーツ競技の解析 ー | (指導教員 里中 孝美) |

【情報システム技術科】

| | |
|---|--------------|
| ビジネスゲームのオンライン化 ～2 つのプラットフォームを用いた開発～ | (指導教員 牧岡 毅) |
| 学生アルバイト支援サイトの制作 ～セキュアなプログラミング～ | (指導教員 福永 隆文) |
| IoT センサー情報をクラウドへ格納するシステムの製作 ～超小型コンピュータ Raspberry Pi の活用～ | (指導教員 福永 隆文) |
| OpenCV を用いた AR 人物判定アプリの試作 | (指導教員 糸川 剛) |
| メガネ型 AR デバイスの普及を見据えた UI の試作 | (指導教員 糸川 剛) |
| Xcode と Android Studio による技大スマホアプリの試作 | (指導教員 趙 華安) |
| Excel VBA による数値計算ツールの実装 | (指導教員 趙 華安) |
| Python による $1/f$ ゆらぎ特性の解析 | (指導教員 趙 華安) |
| 姿勢情報を用いた GAN による衣装画像の生成 ー 深層学習による衣装制作 ー | (指導教員 里中 孝美) |
| 小学校プログラミング教育の教材研究 | (指導教員 橋本 剛裕) |

受賞卒業研究テーマ

【技術賞】

旋盤加工の効率化と精度向上に向けた取組み ―偏心測定器の設計・製作―

(精密機械技術科 立石 昂大, 中村 叶) (指導教員 弓削 慶祐)

制御工学実習機材の開発 ―直立振子の制御系構成と制御実験―

(機械システム技術科 富田 海) (指導教員 日野 満司)

OpenPose と Dynamic Time Warping を用いた運動解析

(電子情報技術科 尾島 萌々, 関野 太陽, 林田 悠詩) (指導教員 里中 孝美)

ビジネスゲームのオンライン化

(情報システム技術科 岩下 大輝, 田口 りさ, 永友 拓実,
西川 龍冴, 濱 敬洋, 米村 登志也) (指導教員 牧岡 毅)

【ベストプレゼンテーション賞】

自動車用電気配線コネクタ検査装置の設計製作

(精密機械技術科 ハヤカワ 汐音, 和田 悠耶) (指導教員 中野 貴之)

高齢者施設で使用する離床検知装置の評価

(電子情報技術科 平井 隼, 北里 滉庸) (指導教員 江口 智弘)

4. 教職員一覽

熊本県立技術短期大学校教職員一覧

校長



尾原 祐三 (Obara Yuzo)

1980年 熊本大学大学院修士課程修了

学位 工学博士

専門 岩盤工学, 地下空間工学

指導部長

兼 機械系・電子情報系科長



中野 貴之 (Nakano Takayuki)

2009年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士 (工学)

専門 機械加工

精密機械技術科

教授

准教授 (学科主任)

中野 貴之 (Nakano Takayuki)



河邊 真二郎 (Kawabe Shinjiro)

2007年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士 (工学)

専門 機械設計

特別教授



谷名 修 (Tanina Osamu)

1988年 京都大学大学院修士課程修了

学位 工学修士

専門 液晶製造プロセス設計

主任講師



弓削 慶祐 (Yuge Keisuke)

2002年 職業能力開発総合大学校卒業

学位 学士 (工学)

専門 機械加工, 機械設計

講師



田中 誠一郎 (Tanaka Seiichiro)

1998年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士 (工学)

専門 衝撃工学, 機械加工

指導員



上田 稔 (Ueda Minoru)

1978年 熊本工業大学 (現崇城大学) 卒業

学位 学士 (工学)

専門 機械加工

機械システム技術科

教授（学科主任）



田崎 和博 (Tazaki Kazuhiro)

1998年 熊本大学大学院博士課程修了
学 位 博士（理学）
専 門 固体物性

准教授



日野 満司 (Hino Mitsushi)

1984年 熊本大学大学院修士課程修了
学 位 博士（工学）
専 門 機械力学，制御工学

主任講師



小笠原 健一 (Ogasawara Kenichi)

2000年 熊本大学大学院博士課程修了
学 位 博士（学術）
専 門 ロボティクス，バイオメカニクス，
制御工学

講師



秀山 文彦 (Hideyama Fumihiko)

2019年 熊本大学大学院博士課程修了
学 位 博士（工学）
専 門 伝熱工学，熱工学

講師



堀田 圭之介 (Horita Keinosuke)

1979年 熊本大学大学院修士課程修了
学 位 工学修士
専 門 機械工学，エネルギー論

指導員



小川 茂幸 (Ogawa Shigeyuki)

1969年 兵庫県立豊岡実業高校機械科卒業
専 門 機械加工

電子情報技術科

教授（学科主任）



江口 智弘 (Eguchi Tomohiro)

2014年 日本大学大学院博士課程修了

学位 博士（工学）

専門 福祉工学，電子回路，マイコン制御

准教授



里中 孝美 (Satonaka Takami)

2008年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士（工学）

専門 システムLSI，画像認識，
ニューラルネットワーク

主任講師



打越 政弘 (Uchigoshi Masahiro)

1992年 東京工業大学大学院博士課程
単位取得退学

学位 工学修士

専門 半導体工学，センサ工学

講師



福田 真 (Fukuda Makoto)

2008年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士（理学）

専門 素粒子物理

講師



池上 知顯 (Ikegami Tomoaki)

1980年 九州大学大学院修士課程修了

学位 工学博士

専門 電気工学，電気計測

講師



甲斐 隆志 (Kai Takashi)

2012年 熊本大学大学院博士課程修了

学位 博士（理学）

専門 天体物理学

情報システム技術科

教授（学科主任）



糸川 剛 (Itokawa Tsuyoshi)

2001年 熊本大学大学院博士課程修了
学 位 博士（工学）
専 門 アルゴリズム，データ工学

特別教授



小田 信彦 (Oda Nobuhiko)

1989年 山口大学工学部卒業
学 位 学士（工学）
専 門 ディスプレイデバイスのデバイス，
プロセス設計

准教授



牧岡 毅 (Makioka Tsuyoshi)

2005年 職業能力開発総合大学校研究課程修了
学 位 修士（工学）
専 門 画像認識，ニューラルネットワーク，
自己組織化，キャリア教育

主任講師



菅原 智裕 (Sugahara Tomohiro)

1995年 熊本大学大学院修士課程修了
学 位 修士（工学）
専 門 情報通信ソフトウェア

講師



坂田 聡 (Sakata Tadashi)

2012年 熊本大学大学院博士課程修了
学 位 博士（工学）
専 門 音声信号処理，ニューラルネット
ワーク，言語教育

講師



趙 華安 (Cho Kaan, Hua-An ZHAO)

1993年 広島大学大学院博士課程修了
学 位 博士（工学）
専 門 情報工学，無線通信

(令和5年(2023年)1月1日現在)

紀要編集委員会(第 24 号)

委員長 尾原 祐三 (校長)
委員 河邊 真二郎 (広報委員会委員長)
委員 池上 知顯 (広報委員)
委員 藤本 樹理 (広報委員)

熊本県立技術短期大学校 紀要 第 24 号

令和 5 年 3 月 31 日発行

発行 熊本県立技術短期大学校 紀要編集委員会 委員長 尾原 祐三
〒869-1102 熊本県菊池郡菊陽町大字原水 4455-1
TEL 096-232-9700 FAX 096-232-9292
URL <https://www.kumamoto-pct.ac.jp>

印刷 株式会社トライ
〒861-0105
熊本県熊本市北区植木町味取 373-1
TEL 096-273-2580 FAX 096-273-2542

発行者：熊本県
所 属：技術短期大学校
発行年度：令和4年度