

*Research Reports of
National Institute of Technology, Tokyo College
No. 52, Mar. 2021*

東京工業高等専門学校
研 究 報 告 書



第 52 号

2021. 3

目 次

東京高専における遠隔授業の取り組み — 文系科目（英語，社会，国語）を例として —	小林 礼実，鈴木 慎也，青野 順也	1
オンデマンド型遠隔授業の限界と可能性 — 英語リーディングの授業実践を通して —	横溝 仁	11
Mo o n e n 予想に関するアルゴリズム的考察	南出 大樹，三嶋 隆史	17
活動機会抑制下における東京高専生の体力テスト成績	黒田 一寿，八田 直紀，鈴木 智之	25
遠隔授業で実施可能な機械工学験の試行 — 流体工学分野 —	小山 幸平	33
高周波数用リアクトルの作成に向けたシミュレーションモデルの開発と評価	綾野 秀樹，山崎 徹	37
拡張アダプティブモバイルマルチホップネットワーク 田中 晶，池田 凜音，石田 一翔，伊藤 瑠也，小泉 夏椰， 多田 桃大，谷崎 栄俊，中村 悠哉，日高 諒久		43
地熱発電所からの排水を用いた微細藻類の増殖への影響	庄司 良，佐藤 来海	52
はざまる工房を活用したものづくりと公開講座 松岡 敏，伊藤 祐，中村 源一郎，向川 拓臣，新田 武父， 溝口 将吾，永吉 真知子，藤野 宏，羽鳥 広範，庄司 良		56

CONTENTS

Practice, Advantages, and Problems of Online Classes at the National Institute of Technology, Tokyo College; English, Social studies, Japanese	Remi KOBAYASHI, Shinya SUZUKI, Junya AONO	1
Limits and Possibilities of On-Demand Remote Classes		
— Through Practical Examples from an English Reading Course —	Hitoshi YOKOMIZO	11
An Algorithmic Consideration on the Moonen Conjecture	Hiroki MINAMIDE, Ryuji MISHIMA	17
Physical Fitness Test Results of Tokyo KOSEN Students under Restraint of Activity Opportunities	Kazutoshi KURODA, Naoki HATTA, Tomoyuki SUZUKI	25
An Attempt for a Remote Lecture of Mechanical Engineering Experiment		
— Field of Fluid Engineering —	Kohei KOYAMA	33
Development and Evaluation of Simulation Model to Create Reactors for High-frequency Condition	Hideki AYANO, Tohru YAMAZAKI	37
Enhanced Adaptive Mobile Multihop Networks	TANAKA Akira, IKEDA Rio, ISHIDA Kazuto, ITOH Ryuya, KOIZUMI Kaya, TADA Touta, TANIZAKI Hidetoshi, NAKAMURA Yuya, HIDAKA Riku	43
Effects of Unused Wastewater from Geothermal Power Generation on Microalgal Growth	Ryo SHOJI, Kurumi SATO	52
“Manufacturing” and Open Lectures Using Hazamaru Kobo	Satoshi MATSUOKA, Yu ITO, Gen-ichirou NAKAMURA, Takumi MUKOUGAWA, Takenori NITTA, Shogo MIZOGUCHI, Machiko NAGAYOSHI, Hiroshi FUJINO, Hironori HATORI, Ryo SHOJI	56

東京高専における遠隔授業の取り組み — 文系科目（英語，社会，国語）を例として —

小林礼実*，鈴木慎也*，青野順也*

本稿は，2020(令和 2)年度の 5 月より，東京高専において新型コロナ・ウィルス感染症の感染防止を目的として実施中の遠隔授業（オンライン授業）のうち，一般教育科の「英語科・社会科・国語科」の実践例を報告するものである。英語科の報告は，本科 1 年生の Reading を例として取りあげ，実践内容と遠隔授業の利点・難点といった事項が中心的話題として展開される。続く社会科の報告は，本科 2 年生の「社会と文化から見た歴史」の実践報告から，遠隔授業における 3D モデルの教材化の可能性といった視座を示す。そして国語科の報告としては本科 1 年生の「国語総合Ⅱ」を取りあげ，古典の遠隔授業で実施した「帯单元」の授業展開例について述べる。

（キーワード：東京高専，遠隔授業（オンライン授業），英語，社会，国語）

Practice, Advantages, and Problems of Online Classes at the National Institute of Technology, Tokyo College; English, Social studies, Japanese

Remi KOBAYASHI* , Shinya SUZUKI* , Junya AONO*

In the spring of 2020, most schools all over Japan had to start online classes to ensure educational opportunities being lost by a new worldwide infectious disease, COVID-19. However, online classes had not been common in Japan by then, and it is important to share practices of online classes to improve them and provide students with better education. This research report is aimed for sharing practices of online classes of three different subjects in the National Institute of technology, Tokyo college (English, Social Studies, and Japanese), and pointing out some possibilities, merits and problems of the online classes.

(Keywords: Tokyo KOSEN, Online Classes, English, Social Studies, Japanese)

0. はじめに

— 「遠隔授業」実施の背景・本稿の目的など—

2020 年初頭から新型コロナ・ウィルスが全世界で感染拡大の様相を呈し始め，同年 4 月 7 日に，我が国では「緊急事態宣言」が発出されることとなった(当初，同日から 5 月 6 日までの予定であったが，後に 5 月 31 日まで延長)。そうした社会情勢の中，学生・教職員の身体・生命の安全を確保する為，日本全国の各種学校においては登校および対面形式授業の実施が困難な状況となった。

こうした緊迫した情勢の中，東京高専(以下，本校と呼ぶ)においては，自宅待機を続ける在校生に向け，学習活動の継続を図るため，休校期間中に自習用課題を郵送等によって配布した。しかし，

「緊急事態宣言」の延長が確実視される中，自習用課題だけでは果てのないものと見え始めた自宅

待機中の学習活動の継続には多大な困難が予想され，在校生に更なる学習の機会を提供する事が喫緊の課題として認識され始めていた。

この課題を克服していくにあたり，本校では「2020(令和 2)年度 前期時間割(COVID-19 対応遠隔授業 5 月版)」が作成され，5 月 11 日(月)を開始日とし，登校開始日とされた 6 月 8 日(月)の直前週までに亘ってマイクロソフト Teams を用い，準備が整った科目から遠隔授業を順次実施する運びとなった。

遠隔授業の開始に先立ち，本校では令和 2 年 5 月 1 日(金)開催の「教育研究会」においてマイクロソフト Teams の使用方法について教職員対象の研修会が開催されるなど，環境の整備がなされたものの，ほとんどの教員にとって遠隔授業は初めての経験となるため，その準備と実践とは容易な

*一般教育科

ものではなかった。ただし、全く初めての試みであるとはいっても、遠隔授業は、これまで対面形式で行ってきた授業の教授法・内容等を基として設計されることからすると、授業準備および実際の授業にあたっては、これまで各教員が日頃より取り組んで来た授業の在り方を見つめ直す機会となったことは、多くの教員が実感したところではないだろうか。遠隔授業の準備・実践は、学校教育現場に身を置く限り不断に要求され続ける教育・授業改善の一環として、教員各自の身に好影響を及ぼしたとも思われるのである。

また、新型コロナ・ウィルス感染者数の増加が日々報道される中、学校教育現場に対しては家庭待機中の生徒・学生に対して「オンライン授業」の実施を強く望む声が、次いで、後に授業配信が開始されたことを告げる報道が見られた事は記憶に新しいところである。しかし、中等教育・高等教育を問わず、教育現場において実際にどのような「オンライン授業」が展開されているのかは、受講している生徒・学生以外には、広く江湖に周知されていないのではないだろうか。よって、実際に行なわれた授業実践例の報告を通し、社会的責務を果たす事も本稿の目的の一つとして挙げられる次第である。

本稿は、以上の問題意識により、5 月次およびそれ以降も部分的に継続中の本校の遠隔授業実践例を報告するものである*1。

まず 1~3 節においては、本校本科 1~2 年生の一般教育科の授業(英語:小林礼実, 社会:鈴木慎也, 国語:青野順也)を例とし、どのような遠隔授業を展開しているのか、実践例を中心として報告していく。続く第 4 節では 1~3 節の議論を通して得られた今後の展望と克服していくべき課題とを提示して全体のまとめを行う事とする。

1. 「Reading I, II」の実践報告

1.1 Reading という科目

本報告書で英語科の取り組みとして扱うのは、本科の 1 年生を対象とした Reading という科目である。前期に Reading I , 後期に Reading II として開講している。当該学年の英語科目としては、Grammar & Writing I, II が、それぞれ前期と後期に、Listening という科目と Oral Communication I という科目が、所属するクラスによって、後期か前期かのいずれかに開講されている。教科書は、文部科学省検定教科書の一つ、『MY WAY English communication I New Edition』を使用している。これは、4 技能統合型の授業を目指して、平成 21 年の改訂より高等学校の学習指導要領上設定され、25 年度より実施されているコミュニケーション英語 I という科目のために作られている教科書である。上記の英語の開講科目の構成を見ると分かる通り、本校のカリキュラムにおいては、リーディング*2 以外の 3 技能は他の科目で扱われ、本校の Reading という科目においては、特にリーディングの力を養成する事を目指しており、この教科書もその目的で使われている。一方で、4 技能は完全に分離できるものではなく(Brown, 2001 など)、Reading においても、他の技能を高めながら、リーディング力を高める指導が行われている。そのため、以下の遠隔授業の実践報告の中でも、リーディングを中心としつつ、リーディングに留まらない活動が含まれている。

受講者である令和 2 年度の第 1 学年の在籍人数は、4 月時点で 5 クラス 213 名であり、二人の教員で 5 クラスを分担して受け持っている。一回当たり 90 分の授業である。

1.2. Reading 遠隔授業の実践

1.2.1 遠隔授業の前提

4 月下旬に本校の教務委員会が作成した遠隔授業ガイドラインにおいて、遠隔授業は、教員と学生がカメラ(或いは画面共有)やマイクを双方向的に使用せずに行うという方針が示された。大学とは異なり、高校 1 年生から 3 年生に該当する学年も扱う高専においては、学生全員がパソコンを持

*1 本校においては「分散登校」の一環として、令和 2 年度の前期は、1 年生は週 1 日、2 年生以上も週 2 日の遠隔授業実施日が設けられている(なお同年度の後期は、1 年生も週 2 日の遠隔授業日が設けられた)。

*2 以下、本校の科目としての Reading は、このように英語表記で、4 技能中の 1 技能や活動としてのリーディングについては、カタカナで表記する事とする。

っている訳ではない。また、仮に持っていたとしても、一日数時間に渡って動画を見られるようなインターネット環境を有していない家庭も多くあると考えられる。教員が事前に授業を作成・録画し、アップロードしたものを学生が視聴するというストリーミングなら、携帯電話でも見る事ができ、データ量の消費も少ないため、Readingにおいてはストリーミングを採用した。一方で、学生の生活のリズムを整えるため、また、学生が疑問を感じた時に、チャット等で教員が即時的に対応できるようにするためにも、オンデマンド方式ではなく、決められた授業時間での出席と視聴を求める形式をとった。Readingの遠隔授業は、これらの方針に沿う形で組み立てられている。

1.2.2 Reading 遠隔授業の内容

Readingは以下の内容を、以下の順番で展開している。

1.2.2.1 出席フォーム兼小テストフォーム

小テストフォームは前回の授業で扱った教科書本文から、毎回内容の正誤問題を5つ出題している。前回の授業で読んだ英文について内容の理解度を測る事で、毎回の授業に真剣に取り組む動機付けを与え、身を入れて取り組んだかを確かめる事とした。フォームに書かれた英文を見て、正か誤かを選択肢から選ぶだけなので、パソコンがなく携帯でフォームを開いている学生も、簡単に操作できる。授業開始時刻と同時に、教員が小テストフォームをTeams上に解放する。多くの学生が5分もかからず解き終わる課題であるが、パソコンやインターネットの突然のトラブルがあって提出が遅れる学生がいる事も考えて、授業開始から15分間の制限時間とし、それ以降は、学生から連絡がない限り回答は受け付けていない。遠隔授業初期は、小テストフォームの前に出席フォームの提出を義務付けていたが、お互いに煩雑になるので、その後、小テストフォームに出席番号や名前を記載する事で、出席フォームを兼ねる事とした。

1.2.2.2 授業動画

ストリーミングで流す授業動画は以下の内容と順番で構成されている。動画自体は約50~60分であり、動画を止めて行う活動が20分程度である。

①前回の文法の確認

Readingでは、各授業で教科書の1セクション分進むのだが、その都度焦点となる文法項目が1つあり、それが本文の中で使われている。毎回1つ新たな文法項目を学習する訳だが、次回になった際には記憶が薄れている可能性もあるので、復習する事で定着を図る。教員が動画中で教科書中の文や更なる例文を出して5分程度解説する。練習問題などはない。

②本文の書き取り

本活動の目的は、英語を書く事そのものでもあるし、③で行う解説の板書を書き込むための準備でもある。板書できるよう2行ほど空けて各文を書くように指示している。

③その日扱うセクションの本文解説

導入で、本文に関する予備知識を与えたり、質問をしたり、興味を喚起する話題を簡潔に提供した後、本文の解説に入る。解説では、各文の構造と意味が中心だが、本文の内容により厚みが出るように、解説中にも内容に関係する情報を適宜画像も交えて紹介している。解説ばかりだと、学習が受け身になりがちかもしれないという気づきから、後期からは、本文解説の中にも内容理解問題や英文日訳作業を入れ、主体的な作業をした後で、該当箇所の解説を聞く、という手法も使うように工夫した。

④本文書き写し

内容理解後、意味を思い出しつつ、再度写す。

⑤音声活動

音声活動は、(1)本文の音声を聞く、(2)Repeat after the teacher (教員が一文読んだ後、同じ文を音読する)、(3)Shadowingの3つを行っている。(1)は通常で、(3)は0.9倍速の音声ファイルを作り、使用している。どの活動も本文を見ずに行えるようになることが目標だが、自分のレベルに合わせて、本文を見て取り組んでも良いとしている。

⑥本文の内容理解問題

Q&AとRead Againという本文内容理解を問う問題が教科書に掲載されている。解答と解説も手短に行っている。ここにトイレ休憩を含める。

⑦音声穴埋め活動

内容理解と復習活動の1つである。教員が本文を読み上げるが、部分的に読み上げを一時休止し、その語を読み飛ばして次の箇所を読む。こうする事で、音声上空欄ができる。学生は、一時休止がきたところで、次に来る語が何かを思い出し、口

に出す(要は音声上の空欄を埋める)という活動である。これは、当該空欄に入る語の意味や形はもちろんのこと、そこまでの文の構造や意味が分かっていなければ解けない。また、字面で書いているわけではなく音声であるため、更に集中力を要する活動である。毎回 10 個の空欄を設け、7~8 個以上正解する事を目標としている。

⑧ 文法解説と練習問題

①で述べたように各セクションに1つ文法的な焦点を含む文が書かれている。それを解説する。文法用語は堅苦しいものも多いため、必ず平易な言葉や例文を用いて用語の意味を伝えるようにしている。その後、教科書掲載の文法練習問題を解く時間を取り、答えの解説を行う。

1.2.2.3 授業時間外の復習活動：聴き取り

授業が終わった後で、任意に復習のために使える活動を用意している。この聴き取りとは、本文音声を読み飛ばしにして、聴くと同時にそれを文字におこすという活動(ディクテーション)である。音声は止めないで行うため、一度に書き取れるという事はない。5 回程再生する中で完成する事を勧めている。音声知識、スペリングの知識、意味や文法の知識を総動員して行う活動で、復習の総仕上げとも言える活動である。英語が得意な学生は、動画を止めて各自で行う活動が想定より早く終わり、授業時間に余裕が出る事も仮定し、授業時間が終了するより前に聞き取り用の音声ファイル(0.8 倍速にしたもの)を学生に公開するようにしている。

各項目での工夫は各項目で記したが、最後に全体での工夫を述べたい。それは、様々な技能を用いる様々な活動を組み込んだという事である。②④ではライティング(創作ではなく英語のスペルを書くという事)、⑤ではリスニングとスピーキング(創作ではなく発音)、⑥ではリーディングとライティング(創作)、⑦はリスニングとスピーキング(発音)、などである。また、文法知識や表現の知識が多くの活動で必要となる。こうする事で、総合的な英語力の醸成を図ると同時に、学生が動画を観るだけで学習が受け身になったり、飽きたりする事も防止しようとしている。

1.3. Reading 遠隔授業の利点と問題点

利点の1つは、学習者が自分の理解のペースに合わせて、動画を止めたり、繰り返し見たりできる事である。12 月に行った授業アンケートでは、この点で、ライブ配信よりストリーミングが良いと記述している学生もいた。また、動画自体のペースはこちらで決められるため、内容理解に役立つ導入や補足説明も適宜取り入れる事ができ、リーディング内容としては厚みが出る^{*3}。対面の授業では、その時の状況に左右されて時間が足りなくなった場合には、省かれがちな部分である。また画像を提示する事も比較的容易なため、関心を広げるような資料が組み込みやすい。また、リーディング以外の活動にも、対面授業より多くの時間を割けている。その他、質問も学年全体で共有できる。1 年生の Reading 用にセクション毎に質問を投稿できる場所を Teams 上に作っており、どのクラスの学生も質問があればそこに投稿する。中には面白い点に気づく学生もおり、今まではクラス内での共有に留まりがちだったものが、学年全体の学びとなる。

一方で、問題点もある。大きな問題の1つは教員が学生の取り組みをモニターできない事である。様々な活動を用意しているが、学生が実際に取り組んでいるか、教員側には確かめようがない。12 月末に行った授業アンケート(筆者担当 3 クラス分、約 120 人)では、活動によっては(④や⑤など)「毎回行っている」は半数弱で、「始めは毎回行っていたがだんだんしなくなった」「今も時々行っている」「行っていない」が半数強であった。特に、辞書の使用については心配である。辞書を引いて調べてみましょうと、いくら動画で呼びかけても、次の動画では単語の意味が紹介されるので、敢えて辞書を引くという手間をかける学生がどれ程いるだろうか。中学時代には教科書巻末の単語リストを用いて意味を調べる事が多く、高校レベルになって初めて、辞書を引き、自分で品詞、例文、用例などを見て、数ある意味の中から、本文中の意味に合うものを探していくという経験を積む。また、辞書が使えるか否かで、一般的により正確性が求められるライティングの実践には大きな差が出てくると思われる。学校の授業は授業内で教科書の本文を読める事が目標ではない。学校

^{*3} トップダウン処理を促進できるという事である。語学学習におけるトップダウン、ボトムアップについては和泉(2016)など。

を卒業しても自分で勉強しようと思えばそうできるだけの方法と基礎力を身に付け, 自立的な学習者になる事が目標である。その観点からすれば, 辞書の使用法を身につける機会を逃すというのは問題である。他に, 学生の相互交流的な学習活動ができていない点も難点である。対面授業であれば, 一人の学生が本文理解問題を音読し, パートナーが口頭で答える(スピーキング/創作)も可能だが, 遠隔授業ではそれができない。また授業へのモチベーション維持の観点でも学習者同士の交流がないのは, 難点である。

2. 「社会と文化から見る歴史 I, II」の実践報告

2.1 「社会と文化から見る歴史 I, II」の概要

ここでは令和2年度前期, および後期に実施した遠隔授業における取組事例について報告する。本節の筆者が担当する「社会と文化から見る歴史 I・II」は, 本校2年生全員が履修する科目であり, いわゆる「日本史」を扱っている。前期科目としての「社会と文化から見る歴史I」では, 戦国時代から近世までを範囲として, 「社会と文化から見る歴史II」では近世・近代を主な範囲としている。いずれも学生に概説的な知識を習得させることを目的としているが, 実物教材に触れる機会を設けることで, 観察力を身に付けさせることを意識した指導を心がけてきた。従前の対面授業では, 講義型の授業を基本とし, テーマに応じて, 火縄銃や

陶磁器, 古銭などの実物教材を用いたアクティブラーニング型の授業を取り入れていた。

2.2 遠隔授業化の課題と解決に向けた試行錯誤

遠隔授業化にあたり, 一番の課題となったのが「画面越しの学生達にどのようにして実物教材を観察させるのか」という点であった。当初は, 講義型の授業を基本とし, テーマに応じて, 火縄銃や陶磁器, 古銭などの実物教材を用いたアクティブラーニング型の授業を取り入れていた。遠隔授業用に作成した PowerPoint のスライド上に, 複数の角度から撮影した実物教材の写真を掲載するなどして, 対応を試みたが, 学生からの反応は芳しくなかった。その理由として, 学生自身が思うように対象物を拡大・縮小したり, 見たい角度から観察したりすることができない点を, 多くの学生が指摘していた。この指摘の通り, 複数枚写真を掲載したところで, そこから得られる情報は限定的であり, 教科書や資料集に掲載されている写真とほとんど変わらないと言えるだろう。

そこで, 次に Web カメラ越しに実物教材を提示する方法を採ることにした。これについては, 「実物教材の実際の大きさを認識しやすい」, 「様々な角度から見ることで観察しやすかった」と学生からの反応は上々であった。しかしながら, この方法では, Web カメラの性能にかなり左右されるため, マクロ機能のないカメラになると, 小型の教材はどうしても細部まで鮮明に映すことが

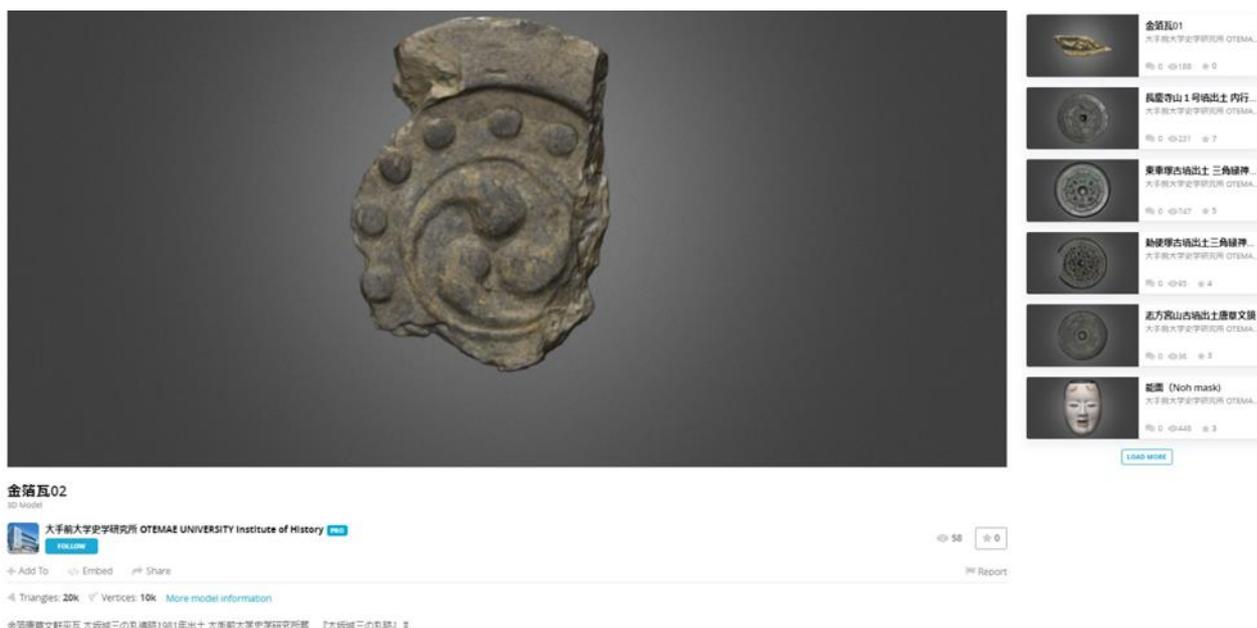


図1 金箔唐草文軒平瓦 大坂城三の丸遺跡 1981年出土 大手前大学史学研究所蔵 Sketchfab 閲覧画面
<https://sketchfab.com/3d-models/02-99f4bbc2268f409387f6c60b1217e430>



図2 金箔唐草文軒平瓦 大坂城三の丸遺跡 1981年出土 Sketchfab 閲覧画面上での表示例

困難であるという課題が残ってしまう。また、一部の学生からは、先述したやり方よりもデータ量が多くなってしまったことで、思うように視聴できなかったとの感想が挙がっていた。

2.3 遠隔授業への三次元モデルの導入

これらの課題解決のために、三次元モデル化された文化財データの導入を試みた。筆者は以前から、専門研究において、スリランカの古代貯水灌漑遺構の三次元モデル化に取り組んでおり、そこから本着想を得ることができた(鈴木 2020)。

遠隔授業への三次元モデル導入にあたり、専門研究で使用していた Sketchfab を活用した。Sketchfab (<https://sketchfab.com>) は、作成した三次元モデルを簡単に公開・共有することができるプラットフォーム・サービスである。閲覧者(アカウント登録は不要)は、PCやスマートフォン等の端末からウェブブラウザにアクセスし、公開されている三次元モデルを無料で閲覧するこ

とができる。

図1は Sketchfab の実際の閲覧画面である。この画面上で三次元モデルを閲覧者が自由に拡大・縮小、回転して観察することができる。Sketchfab 上で公開されている三次元モデルを教材として用いる利点は、普段は触ることのできない遺物や遺構などの文化財を、画面上とはいえ誰でも自由に閲覧できるという点である。しかも、ネット環境がある場所なら、時間や場所に関係なく閲覧が可能となる。

その利便性の高さから、大英博物館をはじめとする多くの海外の博物館や研究機関が所蔵する文化財の三次元モデルを公開している(平川 2017)。海外における普及状況と比較すると、本邦における文化財の三次元モデルの公開件数は決して多いとは言えないが、例えば、備前市埋蔵文化財管理センター*⁴、大手前大学史学研究所*⁵、TEAM N3D プロジェクト(主催:長崎大学大学院 工学研究科の出水享氏)*⁶などが、Sketchfab 上で三次元モ

*⁴ https://sketchfab.com/Bizen_cultureheritage

*⁵ <https://sketchfab.com/shigaku>

*⁶ https://sketchfab.com/nagasaki_3d_museum

デルを公開している。

その中で、大手前大学史学研究所が公開している2点の「金箔唐草文軒平瓦（大坂城三の丸遺跡1981年出土）」の三次元モデルを遠隔授業の中で試験的に導入した。導入に際し、学生に三次元モデルを提示する前に同資料を正面から撮影した写真を提示し、そこから分かることを学生にチャット欄に記入させた。この時点では、多くの学生が瓦表面の模様について言及するに留まっていたが、三次元モデルを提示したところ、立体的な形状の特徴だけではなく、表面に残存した金箔に気付いた学生が複数名でてきた（図2）。

このことから明らかなように、遠隔授業と三次元モデルの親和性は高いと言えるだろう。また、対面授業においても、三次元モデルと既存の実物教材を併用することで、学習者の更なる観察力向上が期待できる。今後は、遠隔授業、対面授業において積極的に三次元モデルを教材として導入していく所存である。

3. 「国語総合Ⅱ」の実践報告

3.1 本校の国語科目配置

本節の報告に先立って、本校の国語の科目配置を以下に図3として示す。

学年	前期	後期
1	国語総合Ⅰ	国語総合Ⅱ
		文章表現法Ⅰ
2	国語総合Ⅲ	国語総合Ⅳ
3	国語総合Ⅴ	
4		文章表現法Ⅱ
5		(選択科目)

図3. 国語科目配置

1・2年生の前期「国語総合Ⅰ・Ⅲ」は現代文分野を、後期「国語総合Ⅱ・Ⅳ」は古典分野を扱う。2年生修了までに古典分野の学習を終え、3・4年次に現代文および文章表現関連の科目といった実用的な方面へと移行していき、最終の第5学年の卒業論文執筆そして進学・就職後に備える。

このうち、本節の筆者は今年度5月に1年生の「国語総合Ⅰ」と2年生の「国語総合Ⅲ」（ともに現代文分野）で一ヶ月弱のあいだ遠隔授業を配

信した。のち、両科目は6月から対面授業に移行したが、古典を扱う「国語総合Ⅱ」は、10月開始の後期当初から遠隔授業となり、毎週授業を配信中である。

本節では、以上のうち古典を扱う10月開始の「国語総合Ⅱ」を取りあげ、対面授業では十分に実施できなかったが、遠隔授業では実施できた授業内容「帯単元」について報告することとする。

3.2 授業進度の調整と「帯単元」の実践

3.2.1 2年生「国語総合Ⅲ」の進度

2年生対象の「国語総合Ⅲ」は、5月に初めての遠隔授業を実施したところ、授業進度がたいへん速くなる事に気付かされた。2年生最初の教材は、清岡卓行「ミロのヴィーナス」であるが、この教材は、過去2年間の対面授業では90分授業2回で終了したが、遠隔授業では1回の授業で終了した。この事は、普段の対面授業において学生に対する発問および板書に費やす時間の多さを実感させるものであり、授業の見つめ直しという観点からは得るところが大きかったが、シラバスの見直しを求められることになり、前期末試験を前にして教材の追加を行った。

3.2.2 1年生「国語総合Ⅰ」の進度

1年生対象の「国語総合Ⅰ」は、新入生を対象とした科目である為、5月に授業を開始した際に、当該科目の「ガイダンス」で成績評価方法などを入念に確認する必要があった。また、教科書教材以外に「教員宛Eメールの書き方」などを扱った事から、初回に応分の授業時間を費やした。しかしそれでも対面授業に移行後の前期末試験までに3回ほどの授業を残した段階で、新たな教材追加を行うこととなった。

3.2.3 「帯単元」の導入

このように、これまでの対面授業を基にして作成した授業計画は、遠隔授業にそぐわない事もあると判明した。そこで後期開始の1年生「国語総合Ⅱ」は、次に挙げる図4のように、毎時間の授業内容を二分することにした。

古文を扱う後期中間試験までは『古事記』のストーリー紹介を、漢文を扱う学年末試験までは『史記』から「項羽と劉邦」のストーリー紹介をそれぞれ追加した（それぞれ図4の左側）。

(I) 遠隔授業での追加事項	(II) 従来の「対面授業」と同内容の事項
遠隔授業90分の前半	遠隔授業90分の後半
『古事記』ストーリー紹介	①『徒然草』 「ある人、弓射ることを習ふに」
	②『伊勢物語』 「東下り」
	③『古今著聞集』 「小式部内侍が大江山の歌の事」
後期中間試験	
『史記』 「項羽と劉邦」 ストーリー紹介	④漢文訓読の基礎 (返り点、送り仮名)
	⑤『戦国策』 「蛇足」
	⑥『韓非子』 「侵官之外」
学年末試験	

図 4. 「国語総合Ⅱ」授業プラン

後期中間試験までの『古事記』は「天地初発」から「神武天皇の即位」までを、学年末試験に至るまでの「項羽と劉邦」は秦末の動乱から劉邦の天下統一までを取りあげた*7。これらの追加授業内容は授業時間の前半 45 分間を目安として実施している。

なおパワーポイントのスライドは、次に挙げるようなものを作成して提示している。スライド中の人物などはすべて図形を組み合わせて作成したものである。また、現代語で示される登場人物のセリフや名言の類は、適宜、漢文に戻して示し、訓読（返り点・送り仮名・書き下し文の作成）の練習問題にも使用している。

さて、図 5～9 は、項羽に大敗した劉邦が家族を連れて逃走を図る場面の説明に用いたスライドである。赤い囲み線によって、セリフの追加順を示していくことにする。

まず、図 5 は、項羽に大敗して意気消沈する劉邦である。図 6 は、劉邦の率いる大軍を大破した項羽が画面右上からスライドインで現れ、（項羽のセリフ）「今度は逃がさん!!」→（劉邦のセリフ）「うわあ!!」と展開する。

逃げる劉邦



図 5. 「敗れた劉邦」

逃げる劉邦



図 6. 「追撃する項羽」

次に挙げる 3 枚のスライド (図 7～9) では、(状況説明) 「劉邦の、父母・妻も項羽に捕まってしまう」→「子供 (後の 2 代皇帝) を連れて、馬車で逃走!!」に続き、当該スライドのまとめとして、「漢王・劉邦は、逃走中にさらなる大失態を犯します」を付け加えていく。

逃げる劉邦



今度は逃がさん!!

③ 劉邦の、
父母・妻も
項羽に捕まってしまう



図 7. 「劉邦の家族は？」

*7 こうした授業展開は、本節の筆者が本校着任前に勤務していた鷗友学園女子中学・高等学校の国語科で採用されていた方法を参考にしたものである。「帯単元」とは同校でのネーミングであり、例えば中学 1 年生は毎時間の授業冒頭で「百人一首」歌を第一首から順に学んだり (平成 20～26 年度)、高校 2 年生では『源氏物語』のストーリーを空欄補充形式で行ったりもしている (平成 23 年度)。

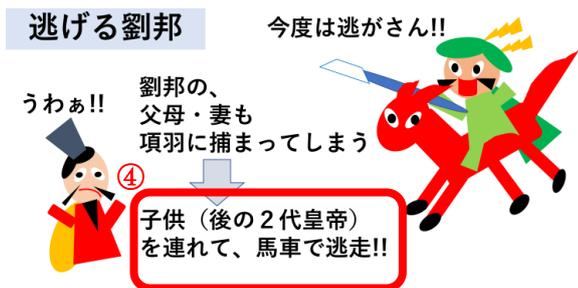


図 8. 「残された家族を連れて逃走」



図 9.
「まとめと次スライドへの予告」

このように、スライド 1 枚に多量の文字を一度に提示せず、アニメーションは主にフェードを用い、説明を加えながら文字を少しずつスライド上に示していく。また、スライド上の文字出現は、原則「スライド上部→スライド下部」としているため、学生は経験則から教員による説明の「果て」を感知する事ができ、文字を目で追う行為の負担軽減を図っている。

以上、本小節では「帯単元」の実践例を報告した。こうした試みは、対面授業でも実施できるものであろうし、本節の筆者も一部はこれまでに実践してきているところであるが、遠隔授業ではより多くの時間を確保しながら実践できるのである。

3.3 学生の反応

続いて本小節では、学生の反応について報告する。遠隔授業は対面授業のように学生の反応が明確には見られない事が理解度確認の妨げになっているが、その一方で、対面授業では発言する事の

少ない学生からの反応がチャット機能を通して活発に見られるという収穫があった。その例として次に挙げるのは、『古事記』上巻「大国主神の国作り」を紹介した際に書かれたコメントである。

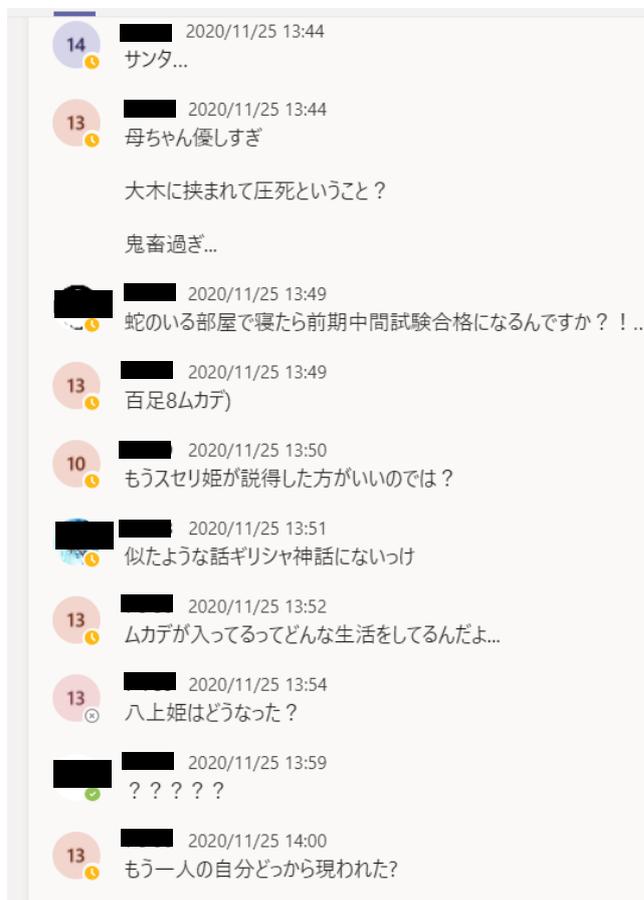


図 10. 授業中のチャットコメント

当該クラスではほぼ毎時間、このような反応が見られる。これらコメントは主として「独り言・感想」であるが、授業で取りあげた話題について学生が抱いた興味関心をうかがい知事ができる、たいへん貴重なものであった。授業主催者は、リアルタイムでチャットのコメントを見る余裕はないが、授業終了後に内容を参照して授業改善に役立てる事ができる。

なお上記のコメント中には、「似たような話ギリシア神話にないっけ」といった比較文学に寄せる関心や、「八上姫はどうなった?」という授業時には扱いきれなかった展開についての言及も見える。理数系の学問分野のみに興味関心があると思われる高専生の、人文系諸学問への好奇心も垣間見る事ができるのである。

3.4 本節のまとめ

以上、本節では遠隔授業特有の進度の早さによって生じた余剰時間の活用例として、「帯単元」の導入例を報告した。「帯単元」では当該学問分野の関連諸事項を述べるなどし、学生の興味関心を喚起していく。また、学生同士によるチャットでの交流が学校行事や部活動に制限が加わる中であって、わずかながらでも学生間交流に役立ち^{*8}、心を通わせあう「学年全体の学び」^{*9}の機会になる可能性を胚胎していることも指摘した。

4. おわりに

本節では第 1～3 節の報告を承け、全体のまとめを行うこととしたい。

第 1 節では、Reading の遠隔授業を通して行われている、英語 4 技能を有機的に関連付けた、組織的な授業展開例を報告した。学生はリーディング以外の諸技能も動員して学習活動に取り組むので、総合的な英語力を身に付けていく事ができるようになる。また、遠隔授業は質問事項の学年全体での共有が可能になるなどの利点がある一方で、学生の学習活動のモニタリングが困難である事も指摘した。この事は教科間の壁を越えて共有されるべき問題であり、今後は教員個々の ICT スキルの向上に加え、技術自体の進化が待たれるところでもある。

続く第 2 節では、社会科の、実物に触れる機会をいかにして設けるかという問題意識のもと、作成した三次元モデルを公開・共有をする Sketchfab の遠隔授業への導入例を報告した。同ツールの活用によって、遠隔授業で生じる実際のモノに触れる機会の減少が大幅に軽減できる。「ものづくり」に取り組む技術者を育成する高専にあって同ツールの活用は有意であり、今後、遠隔と対面とを問わない応用的な活用が前向きに検討されている。

そして第 3 節では、遠隔授業の実践にあたって実感された、余剰時間の有効な活用例として「帯単元」の導入を報告した。学生の興味関心を喚起する事は、遠隔と対面とを問わず常に考え続けなければならない課題である。授業コンテンツの充

実は、授業形式を問わず、不断の努力が求められるところであろう。また、遠隔授業では知る事が困難となる学生の反応がチャット機能によって確認でき、この事は、学生間交流にも活用できることをあわせて述べた。

本稿冒頭の「はじめに」で述べられているように、遠隔授業の準備と実践とにあたって、これまで行ってきた対面授業を見つめ直す機会がもたらされている。しかし、自身の「見つめ直し」には自ずと限界があり、学生からの意見聴取に加え、授業実施者である教員間の更なる意見交換による「見つめ直し」も必要となるであろう。本稿は、そうした「更なる見つめ直し」の一環として企図され、執筆の運びとなったものである。大方のご批正を賜る事ができれば幸いである。

参考文献

- 1) 和泉伸一:フォーカス・オン・フォームと CLIL の英語授業, アルク, 2016
- 2) 鈴木慎也:古代スリランカの貯水施設に関する基礎的研究—コラサーガラ貯水池の樋門構造について—, 第 40 回土木史研究 講演集 (土木学会), pp.165–170, 2020
- 3) 平川ひろみ:普及する三次元記録とその応用—日本と海外—, 季刊考古学 140, pp. 64-67, 2017
- 4) 森住衛ほか: MY WAY English Communication I New Edition, 三省堂, 2017
- 5) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説 外国語編・英語編, 開隆堂, 2010
- 6) Brown, H. D. : *Teaching by principles: An integrated approach to language, Pedagogy*, New York: Longman, 2001

(2021年1月13日 受理)

^{*8} 令和 2 年度 1 年生学年企画「SDGs 探求プロジェクト」(鈴木慎也コーディネート) は、1 年全学生が Teams 上集って開催された。初回の「入門講座」(鈴木(慎)), 続く外部招聘講師による講演会でもチャットのコメントは活発であった。

^{*9} 「学年全体の学び」は、本稿 1.3 節の小林礼実の指摘を参照のこと。

オンデマンド型遠隔授業の限界と可能性 —英語リーディングの授業実践を通して—

横溝仁*

新型コロナウイルスの感染拡大により私たちの日常生活は大きな変容を迫られている。学校現場も例外ではなく、ホームルーム活動から日々の授業運営に至るまで、多方面で変革を求められている。本報告書はコロナ禍における英語の遠隔授業に焦点をあて、オンデマンド型の遠隔授業の限界と可能性について考察を行う。遠隔授業の進め方を詳しく紹介するとともに、受講者である学生の声に耳を傾け、オンデマンド型遠隔授業の強みと問題点を明らかにし、遠隔授業の限界を如何に克服するか検討を行う。(キーワード: オンデマンド, 遠隔, 英語教育)

Limits and Possibilities of On-Demand Remote Classes — Through Practical Examples from an English Reading Course —

Hitoshi YOKOMIZO*

The spread of Covid-19 has forced us to undergo significant changes in our daily lives. Schools are no exception: some major reform is required at various levels, from homeroom activities to daily lesson planning. Focusing on my on-demand remote English Reading course, this report brings to light the limitations and possibilities of on-demand remote classes. By illustrating in detail how to proceed with the remote classes as well as listening to the voices of students, this report clarifies the strengths and problems of on-demand remote classes, finally suggesting some possible measures to overcome their weaknesses.

(Keywords: on-demand, remote, English education)

0. はじめに

新型コロナウイルスの感染拡大は私たちの日常生活に計り知れない影響を与え、学校現場も例にもれず、様々な面に対応を求められている。本報告書ではコロナ禍における英語の遠隔授業とそれに対する学生の声に着目し、オンデマンド型遠隔授業の限界と可能性について考えてみたい。

現在(2020年度後期)、本校(東京工業高等専門学校)は対面授業と遠隔授業のハイブリッド形式で授業を実施しており、週2日が遠隔授業日に指定されている。遠隔授業を実施する際はリアルタイム型またはオンデマンド型いずれかの方式を採用することになっている。筆者はオンデマンド型を採用しており、Microsoft社のTeams, Forms, StreamとApple社のiPad Pro, Apple Pencilを使用して遠隔授業を行っている。

本報告書で紹介するオンデマンド型の遠隔授業は本校2年生を対象とする英文読解のクラス—Reading III(前期)及びIV(後期)—である。

1. オンデマンド型遠隔授業の実践例

筆者は2017年度からReading IIIとIVの授業を担当しており、対面形式での指導についてはすでにある程度のノウハウを確立している。そのため、今回のオンデマンド型遠隔授業でもそのノウハウを大いに活用して授業を実施している。本章では遠隔授業を実際にどのように進めているか具体的に紹介していきたい。

1.1. 成績評価について

授業紹介に入る前に、多くの教員を悩ます遠隔授業での成績評価の問題に少し触れておきたい。対面授業とは環境が大きく異なり、遠隔授業では小テストをひとつ取ってみても公平な成績評価を行うのは容易ではない。学生を直接見守ることができない遠隔授業では、不正行為の発生を防ぐ環境づくりが非常に難しい。筆者の場合、オンラインで小テストを実施する際は、時間内に回答フォームを提出した学生には一律で点数を与えている。

*一般教育科

成績評価の割合は「定期試験 70%、単語テスト 10%、課題提出 10%、理解度確認クイズ 10%」としている。定期試験は対面形式で実施しており、単語テストと確認クイズをオンライン形式で実施している。課題については定期試験前に復習プリントを配布し、試験当日に回収している。

1.2. 授業の進め方

学生には事前に授業資料（書き込み式のプリント）が配布されており、簡単な予習を行ったうえで講義動画を視聴することになっている。授業前、授業中、授業後の流れは次の通りである。

授業前

- ① 予習（授業資料の事前確認）
- ② 単語テストの準備

授業中

- ③ 出席確認クイズの提出
- ④ 講義動画の視聴

授業後

- ⑤ 理解度確認クイズの提出
- ⑥ 復習（演習問題等への取り組み）

授業前の予習の段階で学生は事前に配布された授業資料に目を通し、教科書の新出単語の確認や授業で扱う重要ポイントの確認を行う*1。また、毎週実施される単語テスト（オンライン形式）の準備に取り組むことになる*2。

授業開始後、学生は Teams の指定チャンネルにあるリンクから「出席確認クイズ」(Forms 使用)を提出する。「出席確認クイズ」は、文字通り、出席の確認と単語テストを兼ねたもので、原則 15 分以内に提出することになっており、提出が遅れた場合は遅刻扱いとなる(図 1)。未提出の場合は、講義動画の視聴如何にかかわらず欠席扱いとなる。ただし、特別な事情により提出が遅れた場合は「特別遅延提出届」を期限内に提出することで遅刻は取り消される(図 2)。

*1 使用している教科書は三省堂『My Way II』。

*2 単語帳は成美堂『学校語彙で学ぶ TOEIC®テスト【単語集】一改訂版』を使用。



図 1 「出席確認クイズ」チャンネル

順	出席番号	氏名
2	-	

提出日: ____ 月 ____ 日 (____ 曜日) ____ 限

▼提出が遅れた理由 (該当するものに☑を入れてください)

- PCの不具合
- インターネットの不具合
- 公欠
- その他 _____

図 2 「特別遅延提出届」

「出席確認クイズ」提出後、学生は Teams トップページからリンク先 (Stream) に移動し、各自のペースで講義動画の視聴を行う。その間に何か質問があれば個人チャットで随時質問を受け付けており、ほとんど質問と回答は即座に Teams の「質問・情報共有」チャンネルで全受講者に共有される仕組みとなっている(図 3)。



図 3 「質問・情報共有」チャンネル

講義動画視聴後、学生は Teams のチャンネルにあるリンクから期限内に「理解度確認クイズ」を提出する(図4)。また、授業時間中に終わらなかった演習問題等に取り組むことになる。



図4 「理解度確認クイズ」チャンネル

1.3. 講義動画の内容

講義動画は授業資料と連動した形で iPad Pro 及び Apple Pencil を使用して作成している。対面授業でも同様の形式で授業を行っているので、そのノウハウを遠隔授業に生かした形となっている。講義動画の内容は次の通りである。

- ① Grammar ポイントの確認
- ② Key Sentences の確認
- ③ 本文1の音声確認及び音読
- ④ 本文1の First Reading (速読)
- ⑤ 本文1の Second Reading (精読)
- ⑥ 本文1の解説
- ⑦ 本文2の音声確認及び音読
- ⑧ 本文2の First Reading (速読)
- ⑨ 本文2の Second Reading (精読)
- ⑩ 本文2の解説
- ⑪ Challenge 問題または復習問題

教科書の本文は各課3または4セクションに分かれており、授業では毎回2セクションを扱っている。はじめに各セクションの重要文法事項を確認し、そのあと重要文法事項を含む Key Sentences の和訳や空所補充を行う。一通り文法事項の確認を終えたら本文内容の確認に入る(図5)。

講義動画上で流れる本文の音声を確認したあと、各自で2分間ほど音読または Overlapping を行う。その後 First Reading として2分間で速読を行い、

本文内容に関する内容一致問題(授業資料)に取り組む。続いて Second Reading として3~5分間程度で精読を行い、本文内容についての空所補充問題(教科書)に取り組む。この作業を終えたあと、学生は本文の解説を視聴することになる。この本文解説では Apple Pencil を最大限に活用し、PowerPoint スライドに文字や記号を書き込みながら英文解説を行っている(図6)。

本文の解説を視聴後、学生は Challenge 問題または復習問題に取り組む。Challenge 問題では、大学編入試験や TOEIC 等の資格試験を念頭に置き、比較的難易度の高い英文の精読や速読に取り組んでもらう。復習問題については教科書の演習問題が中心となっている。

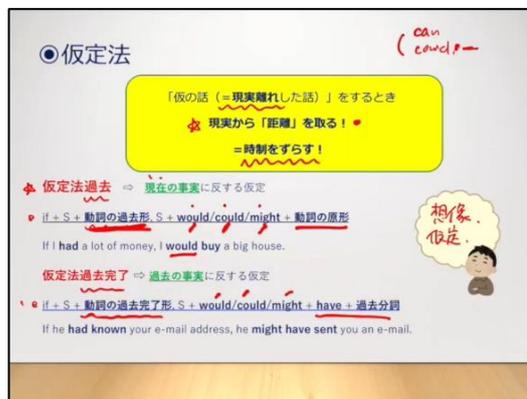


図5 Grammar ポイントの解説の様子

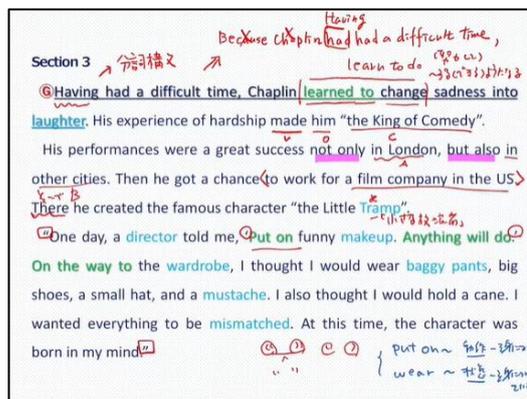


図6 本文の解説の様子

2. オンデマンド型遠隔授業の強みと問題点

本章では遠隔授業に対する学生の声に耳を傾け、オンデマンド型遠隔授業の長所と短所について考えてみたい。また遠隔授業の弱点や限界を克服するためにどのような対策が可能か検討してみたい。

2.1. オンデマンド型遠隔授業の強み

筆者の担当する Reading III, IV の遠隔授業ではこれまで5回ほど授業アンケートを実施してきた。最新のアンケート調査によると、約75%の学生がオンデマンド型遠隔授業の継続を希望しており、その理由を次のように述べている^{*3}。

- ① 一時停止や巻き戻しが容易なため、自分のペースで学習を進められる。(メモ取り、音読、読解に十分な時間が取れる。)
- ② 分からない単語があればその場ですぐに調べられる。巻き戻して発音も確認できる。
- ③ 編集された動画は要点がまとまっており、学習内容の定着につながる。
- ④ 通信環境の問題で音声途切れたり、画像が乱れたりすることがない。
- ⑤ 全クラス同じ内容の授業を受けられるので公平。

筆者のもとにはこれまで様々な意見が寄せられてきたが、もっとも多かったのが「自分のペースで学習を進められる」というものだった。たしかに、この点がオンデマンド型の一番の強みだろう。ある学生が「英語を読むスピードが一人ひとり違うので、Reading に関して言えば、オンデマンド型が一番合っていると思う」と言っていたが、その通りかもしれない。

しかし、「自分のペース」には注意が必要である。次節で触れる通り、「自分のペース」で学習が進むこともあれば、滞ることもあるからだ。

^{*3} 最新のアンケート調査は 2021 年 1 月に Forms を使用して実施した。Reading IV の受講者約 200 名のうち 162 名の協力があり、無記名方式で実施、質問内容は次の通りである。「現在あなたが受講している Reading IV の遠隔授業について、次のうちあてはまるものをひとつ選びなさい。①「オンデマンド型遠隔授業」(現在の形式)の継続を希望する。②「リアルタイム型遠隔授業」への変更を希望する。③「対面授業」への変更を希望する。」アンケート結果は、①121 名、②13 名、③28 名となった。学生からは様々な選択理由が寄せられたが、ここではオンデマンド型に焦点を絞り選択理由を紹介する。(「試験前に講義動画を見直すことができる」等の意見はリアルタイム型でも録画が残るのでここでは取り上げない。)

2.2. オンデマンド型遠隔授業の問題点と限界

遠隔授業について同僚と話をする、必ずと言っていいほど話題にのぼるのがテストの実施方法(評価方法)に関する問題である。本報告書の第 1 章でも触れたが、遠隔授業では学生の様子を直接見守ることができない。麗澤大学の望月正道氏は、おそらくこの点が遠隔授業の「最大の問題点」で、「学生それぞれが自分のコンピューター画面上でどのようなことをしているのかを教員は把握できない」と述べている¹⁾。そうすると不正行為の発生を防ぐ環境づくりは非常に難しい。授業中に分からない単語をその場ですぐに調べられるのは良いことだが、テスト中に同じことをさしてしまうと公平な成績評価を行うことができない。

遠隔授業全般に言えることだが、とくにオンデマンド型の遠隔授業では、学習者の自己管理能力—自分自身を律する力—が非常に重要になる。出席確認を行う教員は目の前にいないし、居眠りをしている、あるいはスマートフォンをいじっていても、直接注意されることはない。残念なことだが、学生のなかには「出席確認クイズ」を提出後、決められた時間内に講義動画を視聴していない者が毎回少なからず散見される。サボろうと思えばいくらでもサボれてしまう、あるいはずるしようと思えばいくらでもずるできてしまう環境のなかで、オンライン学習を着実に進めるためには、やはり自己管理が大変重要になってくる^{*4}。

ここでもう一度学生の声に耳を傾けてみたい。先ほど言及した最新のアンケート調査によると、約25%の学生がオンデマンド型遠隔授業の継続に否定的な反応を示しており、その問題点を次のように述べている。

- ① 緊張感や集中力を維持できない。
- ② 授業を受けているという実感を得られない。
- ③ 眠くなってしまう。やる気が出ない。
- ④ 内容が頭に入っていない。
- ⑤ 質問しにくい。
- ⑥ 時間管理が難しい。(自分のペースで英語を読んでいると、授業時間が過ぎてしまうことがある。)
- ⑦ どうしてもサボり気味になってしまう。

^{*4} 上山晋平「生徒アンケートから学べる休校中の学びの28の実情」はオンライン学習を成功に導くための有益な情報、ヒントを提供してくれる²⁾。

これらの発言はオンデマンド型遠隔授業の弱点を浮き彫りにすると同時に、不慣れな遠隔授業に対する学生の不安を映し出している。新しい授業環境に適應できず、オンライン学習に不安を抱くこうした学生に対し、自己管理の徹底を促すことはあまりに容易い。たしかに、一部の学生はちょっとした気の緩みのせいで授業に集中できなかったり、サボり気味になってしまったりする。その意味では普段から自己管理の大切さを学生に意識させておくことは重要なことだろう。筆者自身、学生時代を振り返ってみると、思いあたるふしが多々ある。しかし、だからといって、ただ一方的に自己管理や自律学習の重要性を訴えることには注意が必要だ。程度の差はあれ、学習障害など、何らかの学習上の問題を抱える学生にとって、オンデマンド型の遠隔授業は円滑な学習の妨げになっている場合もある^{*5}。教員はこの点をしっかり留意しておく必要があるだろう。

また、前期の Reading III の授業では、「90分間という授業時間に対してやるべきことが多すぎる。」といった意見が寄せられた。これはよく言われている遠隔授業における課題量の増加の問題と併せ看過できない問題である。遠隔授業に不慣れだった筆者は、とにかく受講者に英語の4技能をバランスよく身につけてもらいたいという一心で、90分間の遠隔授業に多様なアクティビティを詰め込みすぎてしまった。その結果、複数の学生から「課題をこなしきれない」、「内容を消化しきれない」といった苦情が寄せられた。いくら善意のつもりでも、結果として学習者が消化不良を起こしてしまえば、それは本末転倒というべきだろう。より良いものを作ろうという教員の善意や努力がかえって学生のモチベーションや集中力を妨げてしまうことがあるのだ。遠隔授業を実施する際には、目の前にいない「多様な学習者」の存在を想像して授業を進めていく必要がある。

また、上記のような問題とは別に、筆者はオンデマンド型遠隔授業にある種の限界—対面授業にあって遠隔授業にない「何か」—を感じずにはいられない。たとえば、対面授業では学生の何気ない一言がきっかけとなり、授業の本筋からの予期

せぬ脱線ということがしばしば起こる。これがきっかけとなり思わぬ教育効果が得られることが少なくない。遠隔授業ではその機会が完全に失われてしまうとは言わないが、その損失はかなり大きいように思われる。この点については即時性の高い共有チャットを効果的に使用することで「予期せぬ脱線」の機会を用意することができるかもしれない^{*6}。

2.3. オンデマンド型遠隔授業の可能性（未来）

ここまでオンデマンド型遠隔授業の長所と短所について見てきた。見方によっては問題点ばかりが目立ってしまったかもしれない。しかし、先ほど述べた通り、授業アンケートの結果によれば、学生の約75%がオンデマンド型の遠隔授業に好意的であり、一方、対面授業またはリアルタイム型遠隔授業への変更を希望した学生は全体の約25%に留まった。もちろん科目の特性もあるだろうが、この結果に照らして言えば、英語 Reading の授業では、オンデマンド型は対面授業やリアルタイム型遠隔授業と遜色のないもの、あるいはそれを上回るものだといってもよさそうだ。

とはいえ、オンデマンド型遠隔授業の継続を希望した学生のなかには、オンデマンド型の方が他の授業形式よりも「楽だから選択した」という学生もいるだろう。先ほど触れた通り、毎回一定数の学生が動画の視聴を後回しにしているという現実がある。対策として、講義動画へのリンクに「必ず指定された時間に講義動画を視聴するように」と注意書きを添えているが、こうした指導には限界があるだろう。Stream（動画配信プラットフォーム）では講義動画の総再生数を確認することはできても、どの学生がいつ、どこまで講義動画を視聴したかについては確認することができない。今後、技術的な進歩によりそれが可能となれば、指導環境は大いに改善されるだろう。テクノロジーの発展にばかり期待するのは教員の怠慢と思われるかもしれないが、遠隔授業において技術の進歩は必要不可欠なものである。

^{*5} スローラーナー（学習遅滞児）向けの英語の遠隔授業実践例として、安木真一「スローラーナーに配慮したオンライン英語授業の取り組み」を挙げておく³⁾。

^{*6} 筆者に限らず、遠隔授業にある種の限界や何らかもの足りなさを感じている教員は少なくないだろう。この「何らかもの足りなさ」に着目し、その言語化を試みたユニークなエッセイとして草薙邦広「オンライン授業に足りない「なにか」」を挙げておく⁴⁾。

Google 中国の社長を務めた情報工学者のカイフー・リー氏は、「オンライン学習は、人工知能によってアクセシブルに、より効率的になるだろう」と述べており、その分野で先端を行く中国では、オンライン学習を提供する「教育テック分野のユニコーン企業 9 社が（中略）退屈したり置いてけぼりになったりする子どもを出す伝統的な教育の代わりに、AI によって各生徒のニーズに応じた学習体験を提供し、子供の学習を助けている」という⁵⁾。今後、遠隔授業についていけない多様な学習者の特性に応じたオンデマンド型の遠隔補習が可能となれば、遠隔授業の未来は一気に開けてくるだろう。

- 3) 安木真一：「スローラーナーに配慮したオンライン英語授業の取り組み」、『英語教育』（大修館），Vol.69, No. 5, pp.20-21, 2020 年 8 月
- 4) 草薙邦広：「オンライン授業に足りない「なにか」」、『英語教育』（大修館），Vol.69, No.4, p.74, 2020 年 7 月
- 5) カイフー・リー：「Online Lessons」、『WIRED』（コンデナスト・ジャパン），Vol.39, pp.22-23, 2021 年 2 月

(2021 年 1 月 15 日 受理)

3. おわりに

現時点（2021 年 1 月中旬）で新型コロナウイルスの終息の兆しは見えていない。当分のあいだは遠隔授業が継続されるだろう。遠隔授業を支える IT インフラ技術やアプリケーションの機能改善を期待しつつ、新しい授業環境への順応を今後一層進めていく必要があるようだ。前章の終わりで少し楽観的な未来像を描いてみたが、今日の AI 技術の急速な発展を思えば、近い将来、オンライン学習環境が飛躍的に向上することは間違いない。そうなれば、遠隔授業はコロナ禍に限った一時的な代替措置というより、対面授業に代わる新たな教育の柱として定着するはずだ。当初は遠隔授業に懐疑的だった筆者も、今では少しずつその未知の可能性に期待を抱き始めてる。学生の声に耳を傾けながら、そして多様な学習者の存在に想像を働かせながら、引き続き、遠隔授業の限界と可能性について考えていく必要があるようだ。

謝辞

アンケート調査にあたっては、東京工業高等専門学校 2 年生の学生の協力があつた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 望月正道：「オンライン授業の可能性と問題点」、『英語教育』（大修館），Vol.69, No.9, pp.76-77, 大修館，2020 年 11 月
- 2) 上山晋平：「生徒アンケートから学べる休校中の学びの 28 の実情」、『英語教育』（大修館），Vol. 69, No. 6, pp.74-75, 2020 年 9 月

Moonen 予想に関するアルゴリズム的考察

南出大樹*, 三嶋隆史**

完備代数曲線 C の Tautological 環を解析する際には, Polishchuk が導入した二重次数付き無限変数多項式環とその上の sl_2 作用の解析が強力である。van der Geer と Kouvidakis は, sl_2 部分代数の次元が分割数により表現できると予想した。本稿では, この予想から従う Moonen 予想に関して, アルゴリズム的な観点から考察する。

(キーワード: 無限変数多項式環, 微分作用素, Jacobi 多様体, Tautological 環)

An Algorithmic Consideration on the Moonen Conjecture

Hiroki MINAMIDE*, Ryuji MISHIMA**

For analyses of the tautological ring of a complete curve, the sl_2 -action on the infinite variable bigraded polynomial ring introduced by Polishchuk is very powerful. van der Geer and Kouvidakis predict the dimension of the sl_2 -subalgebra is explained by the number of partitions. In this note, we will investigate the weak conjecture stated by Moonen from an algorithmic point of view.

(Keywords: Infinite variable polynomial ring, Differential operator, Jacobian variety, Tautological ring)

1 代数幾何的背景

1.1 Tautological 環

種数が $g \geq 2$ である完備代数曲線 C の Jacobi 多様体を J とし, その Chow 環 $CH_{\mathbb{Q}}^*(J)$ を代数的同値で割った物を $A^*(J)$ とする。この時, 曲線 C は Abel-Jacobi 写像 $\iota: C \hookrightarrow J$ により J に埋め込められることに注意しておく。また, $W_1 := [C], W_2 := [C + C], \dots, W_{g-1}$ により生成される $A(J)$ の部分ベクトル空間を $T(C)$ で表し, 曲線 C から得られる Tautological 環とよぶ。

1.2 Abel 多様体上の演算と Fourier 変換

Abel 多様体 X の Chow 環における畳み込み積 $x * y := m_*(pr_1^* x \cdot pr_2^* y)$ を, X 上の演算 $X \times X \xrightarrow{m} X$ と, 射影 $X \xleftarrow{pr_1} X \times X \xrightarrow{pr_2} X$ を用いて定義する。

次に, [Muk] により導入された, Abel 多様体 X とその双対多様体 \hat{X} 上の接続層から成る導来圏の圏同値である Fourier-Mukai 変換

$$\begin{aligned} \Phi: D^b(X) &\longrightarrow D^b(\hat{X}) \\ \mathcal{F} &\longmapsto pr_{2,*}(pr_1^* \otimes_L \mathcal{P}_X) \end{aligned}$$

(\mathcal{P}_X は $X \times \hat{X}$ 上の Poincaré 束)

から示唆され, [B83] において整備されたように, 次の図式が可換となるように Chow 環上の

Fourier 変換を誘導する。

$$\begin{array}{ccccccc} D^b(X) & \xrightarrow{[\]} & K(X) & \xrightarrow{\text{ch}} & CH_{\mathbb{Q}}^*(X) & \xrightarrow{/_{\text{alg}}} & A^*(X) \\ \Phi \downarrow \wr & \circ & \Phi_K \downarrow \wr & \circ & \Phi_{CH} \downarrow \wr & \circ & \Phi_{\text{alg}} \downarrow \wr \\ D^b(\hat{X}) & \xrightarrow{[\]} & K(\hat{X}) & \xrightarrow{\text{ch}} & CH_{\mathbb{Q}}^*(\hat{X}) & \xrightarrow{/_{\text{alg}}} & A^*(\hat{X}) \end{array}$$

具体的には, $\Phi_{\text{alg}}: A^*(X) \longrightarrow A^*(\hat{X})$ は

$$\Phi_{\text{alg}}(\alpha) := pr_{2,*}(pr_1^* \alpha \cdot \text{ch}(\mathcal{P}_X))$$

で定義される。また, 本稿で扱う Jacobian 多様体 J はその双対 \hat{J} と同型であるので, Φ_{alg} は $A^*(J)$ 上の自己環同型写像となる。加えて, [B04] にて示されたように Φ_{alg} は次の性質を保持する。

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{alg}} \circ \Phi_{\text{alg}} &= (-1)^g[-1]^*, \\ \Phi_{\text{alg}}(\alpha * \beta) &= \Phi_{\text{alg}}(\alpha) \cdot \Phi_{\text{alg}}(\beta), \\ \Phi_{\text{alg}}(\alpha \cdot \beta) &= (-1)^g \Phi_{\text{alg}}(\alpha) * \Phi_{\text{alg}}(\beta), \\ \Phi_{\text{alg}} \circ n_* &= n^* \circ \Phi_{\text{alg}} \end{aligned}$$

これら演算の言葉を用いることで, 先に定義した Tautological 環の新たな特徴付けができる。

定理 1.1. ([B04] Main Thm.)

$T(C)$ は, サイクルとしての $[C]$ を含み, 交叉積や畳み込み積, n 倍写像による順像や引き戻し, さらに $Fourier$ 変換で閉じている $A^*(J)$ 内最小の部分ベクトル空間である。 ■

*一般教育科 (数学) **情報工学科

1.3 Chow 環の分解

Abel 多様体上の Chow 環には、余次元による次数の他に、 $n \in \mathbb{Z}$ により定義される n 倍写像の引き戻し n^* により定義される次数が存在する。

$$A_{(j)}^i(X) := \{x \in A^i(X) \mid n^*x = n^{2i-j}x\}$$

$\alpha \in A_{(j)}^i(X)$, $\beta \in A_{(j')}^{i'}(X)$ に対して、交叉積と畳み込み積は、それぞれ、

$$\alpha \cdot \beta \in A_{(j+j')}^{i+i'}(X), \quad \alpha * \beta \in A_{(j+j')}^{i+i'-g}(X)$$

という次数を持つ。また、Fourier 変換は、この分割に関して、次の変換を引き起こす。

$$\Phi_{\text{alg}}[A_{(j)}^i(X)] = A_{(i)}^{g-j+i}(\hat{X})$$

以上を深く観察すると、次の結果が導かれる。

定理 1.2. ([B86] Main Thm.)

$j < i - g$, $j \geq i$ に対して、 $A_{(j)}^i(X) = 0$ が成り立つ。つまり、 $A^i(X)$ は次の分割を持つ。

$$A^i(X) = \bigoplus_{j=i-g}^{i-1} A_{(j)}^i(X) \quad \blacksquare$$

加えて、負の次数に関しては、次の予想がある。

予想 1.3. ([B86] p.649, [B04] p.684)

$j < 0$ に対して、 $\text{CH}_{(j)}^i(X) = 0$ である。 \blacksquare

2 先行研究

以降、 sl_2 で有理数係数 2 次元特殊線型 Lie 代数

$$\begin{aligned} \text{sl}_2 &:= \mathbb{Q} \cdot f + \mathbb{Q} \cdot h + \mathbb{Q} \cdot e \\ [e, f] &= h, \quad [e, h] = -2e, \quad [f, h] = 2f \end{aligned}$$

を表す。これらは 2 次正方行列において

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

として、積 $[A, B] = AB - BA$ を伴い実現される。

2.1 設定

g を 3 以上の自然数とする。 $R := \mathbb{Q}[x_1, x_2, \dots]$ を有理数上の無限変数多項式環とし、次数を

$$\text{codim}(x_i) := i, \quad \ell(x_i) := i - 1$$

で定める。そして、この次数に関して

$$R_{(j)}^i := \{\alpha \mid \text{codim}(\alpha) = i, \ell(\alpha) = j\}$$

と置き、 ℓ による下方分解 Fil^\bullet を

$$\text{Fil}^n(R) := \bigoplus_{j \geq n} R_{(j)}$$

で定義する。次に、 $\partial_m := \frac{\partial}{\partial x_m}$ を用いて、 R への微分作用素 D を

$$D := -g\partial_1 + \frac{1}{2} \sum_{m,n \geq 1} \binom{m+n}{m} x_{m+n-1} \partial_m \partial_n$$

で定める。

$I \subset R$ を $I := R^{>g} \oplus \sum_{n \geq 0} D^n(\text{Fil}^1 R^g)$ とする。この時、Polishchuk は以下を示した。

定理 2.1. ([Pol] Thm.0.5)

1. $I = \bigcap_{n \geq 0} \text{Im}(D^n)$
2. I は R のイデアルである。
3. R には以下の sl_2 -加群の構造が入る。

$$e(\alpha) = x_1 \cdot \alpha;$$

$$f(\alpha) = -D(\alpha);$$

$$h(\alpha) = (2i - j - g) \cdot \alpha \quad \text{for } \alpha \in R_{(j)}^i \quad \blacksquare$$

$\mathcal{R} := R/I$ には R から誘導される次数が定義でき、また次数付き環 $\mathcal{R} = \bigoplus_{i,j} \mathcal{R}_{(j)}^i$ として表される。加えて、 sl_2 -加群の構造に関する誘導され、 $\mathcal{R}_{(j)}^i$ は \mathcal{R} の sl_2 -部分加群となっている。

2.2 目的

\mathcal{R} の構造を調べ、次数を保つ全射準同型

$$\psi : \mathcal{R} \twoheadrightarrow T(C) \subset A^*(J)$$

を介する事で、 $T(C)$ を解析したい。まずは、解析に当たって、準同型 ψ にはこれまで定義した演算と互換性があることを注意しておく。

$$\psi(\mathcal{R}_{(j)}^i) \subset A_{(j)}^i(J), \quad \psi \text{ は } \text{sl}_2\text{-同値}$$

本稿では、 \mathcal{R} で成り立つ関係式を調べることで、 $T(C)$ における関係式を得る。より詳細には、準同型性から得られる

$$\mathcal{R}_{(j)}^i = 0 \implies T(C) \cap A_{(j)}^i(J) = 0$$

を用いて、 $T(C) \cap A_{(j)}^i(J) = 0$ となる整数 i, j の条件を探る。

逆に、 $T(C)$ における関係式は、全て \mathcal{R} 内のものから得られると予想されている。つまり、

予想 2.2. ([Pol] p.879)

一般曲線に対して、 ψ は単射である。 \blacksquare

2.3 現状

[Moo]にも紹介されているように, van der Geer と Kouvidakis は, 自然数 n の分割で, x 部分, y 成分から成る物の数 $p_x(n; y)$ により, $\mathcal{R}_{(j)}^i$ の次元が表現されると予想した。

予想 2.3. (van der Geer - Kouvidakis)

$$\dim(\mathcal{R}_{(j)}^i) = p_{i-j}(i; \leq g+1-i) \quad \blacksquare$$

続いて, Moonen は [Moo] において, この予想から容易に従う次の予想を主に考察した。

予想 2.4. ([Moo] p.482)

$$\begin{cases} \mathcal{R}_{(g-2k)} = 0 & \forall g \geq (k+1)^2 \\ \mathcal{R}_{(g-2k+1)} = 0 & \forall g \geq k(k+1) \end{cases} \quad \blacksquare$$

命題 2.5.

予想 2.3 \implies 予想 2.4

証明. まずは, $g \geq (k+1)^2$ を満たす全ての g, k に対して $\dim(\mathcal{R}_{(g-2k)}) = 0$ を示す。そのためには, $(i-g+2k) \cdot (g+1-i) < i$ が示されれば十分なのであるが, それは次の通り成立する。

$$\begin{aligned} (\text{右辺}) - (\text{左辺}) &= (i+k-g)^2 + g+1 - (k+1)^2 \\ &\geq (i+k-g)^2 + 1 \end{aligned}$$

次に, $g \geq k(k+1)$ を満たす g, k に対して, $\dim(\mathcal{R}_{(g-2k+1)}) = 0$ であることを示す。先ほどと同様の計算により

$$\begin{aligned} \left(i + \frac{2k-2g-1}{2}\right)^2 - k^2 - \frac{3}{2}k + \frac{3}{2}g - \frac{1}{2} \\ \geq \left(i + \frac{2k-2g-1}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}(k^2-1) \end{aligned}$$

となるので, 題意が示された。 \square

$M_{(j)}^i$ を $R_{(j)}^i$ の $\mathbb{Q}[x_1]$ -加群としての基底を基底とする様な \mathbb{Q} -ベクトル空間とする。このとき, $D(M_{(j)}^i) \subset M_{(j)}^{i-1}$ を満たすことを注意しておく。

これらの設定の下で, Moonen は $\mathcal{R}_{(j)}$ の分解に関する次の定理を示した。

定理 2.6. ([Moo] Thm.2.6)

$2i-j \leq g$ を満たす i, j に対して

$$\mu(i, j) := \dim_{\mathbb{Q}} \left(M_{(j)}^i / D^{g-2i+j+1} \left(M_{(j)}^{g-i+j+1} \right) \right)$$

と置くと, 以下の \mathfrak{sl}_2 -加群としての同型

$$\mathcal{R}_{(j)} \cong \bigoplus_{i=j}^{\min(g-1, 2j, \lfloor \frac{g+j}{2} \rfloor)} [\text{Sym}^{g-2i+j}(\text{St})]^{\mu(i, j)}$$

が成り立つ。ここで, St は \mathfrak{sl}_2 の自然な 2 次元表現とする。 \blacksquare

本稿では [Moo] に則り, この定理に従って, 固定された g, j に関して

$$j \leq i \leq \min \left(g-1, 2j, \left\lfloor \frac{g+j}{2} \right\rfloor \right)$$

を満たす任意の i に対して,

$$D^{g-2i+j+1} : M_{(j)}^{g-i+j+1} \longrightarrow M_{(j)}^i$$

が全射であること, または, $M_{(j)}^{g-i+j+1} = 0$ であることを示すことで $\mathcal{R}_{(j)} = 0$ を導く。

ここで, 強力な補題を一つ紹介しておく。

補題 2.7. ([Pol] Cor.0.2)

$j \geq \frac{g}{2} + 1$ に対して $x_j = 0$ である。 \blacksquare

3 Moonen 予想 $\cdot k = 3$

$k = 3$ の場合, 定理 2.6 より,

$$\mathcal{R}_{(g-6)} \cong \bigoplus_{i=g-6}^{g-3} [\text{Sym}^{2g-6-2i}(\text{St})]^{\mu(i, g-6)}$$

$$\mu(i, g-6) = \dim_{\mathbb{Q}} \left(M_{(g-6)}^i / D^{2g-5-2i} \left(M_{(g-6)}^{2g-5-i} \right) \right)$$

であるから, $\mathcal{R}_{(g-6)} = 0$ を示すためには,

1. $M_{(g-6)}^{g-6} = M_{(g-6)}^{g-5} = 0$

2. $D^3 : M_{(g-6)}^{g-1} \longrightarrow M_{(g-6)}^{g-4}$ が全射

3. $D : M_{(g-6)}^{g-2} \longrightarrow M_{(g-6)}^{g-3}$ が全射

が示されればよい。

補題 3.1.

$$M_{(g-6)}^{g-6} = M_{(g-6)}^{g-5} = 0$$

証明. 各次数の定義から, $M_{(g-6)}^{g-6} = 0$ であることは明らか。また, $M_{(g-6)}^{g-5}$ は x_{g-5} 一つで生成される部分空間である。しかし $g \geq 16$ においては,

$$g-5 - \left(\frac{g}{2} + 1 \right) = \frac{1}{2}(g-9) \geq 0$$

であるから, $x_{g-5} = 0$ となり, 題意を得る。 \square

残りの主張を確認するために, D を具体的に求めるプログラムを Python を用いて作成したので, 掲載しておく。

アルゴリズム 1 微分作用素

```

1 import copy, math
2 from operator import mul
3 from functools import reduce
4
5 def cmb(n,r):
6     r = min(n-r,r)
7     if r == 0: return 1
8     return reduce(mul, range(n, n - r, -1)) // reduce(
9         mul, range(1,r + 1))
10
11 class Monomial:
12     def __init__(self, calculable, not_calculable
13         = []):
14         self.calculable = calculable
15         self.not_calculable = not_calculable
16     def multiply(self, other):
17         class_name = other.__class__.__name__
18         if class_name == "Monomial":
19             return Monomial(self.calculable * other.
20                 calculable, self.not_calculable +
21                 other.not_calculable)
22         elif class_name == "Polynomial":
23             return Polynomial((self).multiply(other))
24         else:
25             raise Exception("other is invalid.")
26
27     def add(self, other):
28         return Polynomial((self).add(other))
29
30     def not_calculable_text(self):
31         return "\cdot ".join(sorted(self.
32             not_calculable))
33
34     def text(self):
35         not_calculable_text = self.
36             not_calculable_text()
37         if not_calculable_text == "":
38             return str(self.calculable)
39         else:
40             return str(self.calculable) + "\cdot " +
41                 not_calculable_text
42
43     def show(self, end = ""):
44         print(self.text(), end = end)
45
46 class Polynomial:
47     def __init__(self, monomials):
48         # 同類項をまとめる処理
49         formatted_monomials = []
50         formater = {}
51         for monomial in monomials:
52             key = monomial.not_calculable_text()
53             if formater.get(key) == None:
54                 formater[key] = {
55                     "calculable": monomial.calculable,
56                     "not_calculable": monomial.
57                         not_calculable
58                 }
59             else:
60                 formater[key]["calculable"] += monomial.
61                     calculable
62         for key in formater:
63             formatted_monomials.append(Monomial(
64                 formater[key]["calculable"], formater[
65                     key]["not_calculable"]))
66
67         self.monomials = formatted_monomials
68         self.num = len(self.monomials)
69
70     def add(self, other):
71         class_name = other.__class__.__name__
72         if class_name == "Monomial":
73             add = {other}
74         elif class_name == "Polynomial":
75             add = other.monomials
76         else:
77             raise Exception("other is invalid.")
78         return Polynomial(self.monomials + add)
79
80     def multiply(self, other):
81         class_name = other.__class__.__name__
82         if class_name == "Monomial":
83             other = {other}
84         elif class_name == "Polynomial":
85             raise Exception("other is invalid.")
86         monomials = []
87         for base_monomial in self.monomials:
88             for monomial in other.monomials:
89                 monomials.append(base_monomial.
90                     multiply(monomial))
91         return Polynomial(monomials)
92
93     def text(self):
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999

```

```

        calculable, m.monomials[0].
        calculable)
171     coef_not_calculable = []
172     else:
173         r = n if len(m.monomials) == 1 else m
174         coef_not_calculable = ["(" + n.add(m).
            text() + "\choose " + r.text() +
            ")"]
175     coef = Polynomial((Monomial(
        coef_calculable,
        coef_not_calculable)))
176
177     # 結果に加える
178     result = result.add(
        MonomialWithSubscripts(self,
        coef.multiply(coef),
        valueables_copy))
179
180     return result
181
182 class PolynomialWithSubscripts:
183     def __init__(self, monomials_with_subscripts
184         ):
185         # 同類項をまとめる処理
186         formatted_monomials = []
187         formater = {}
188         for monomial in monomials_with_subscripts:
189             key = monomial.valueables_text()
190             if formater.get(key) == None:
191                 formater[key] = {
192                     "coef": monomial.coef,
193                     "valueables": monomial.valueables
194                 }
195             else:
196                 formater[key]["coef"] = formater[key]["
                    coef"].add(monomial.coef)
197
198     for key in formater:
199         formatted_monomials.append(
200             MonomialWithSubscripts(formater[key]
201                 ["coef"], formater[key]
202                 ["valueables"]))
203
204     self.monomials = formatted_monomials
205     self.num = len(self.monomials)
206
207     def D(self):
208         result = PolynomialWithSubscripts(())
209         for monomial in self.monomials:
210             result = result.add(monomial.D())
211         return result
212
213     def add(self, other):
214         class_name = other.__class__.__name__
215         if class_name == "MonomialWithSubscripts":
216             add = [other]
217         elif class_name == "
218             PolynomialWithSubscripts":
219             add = other.monomials
220         else:
221             raise Exception("other is invalid.")
222         return PolynomialWithSubscripts(self,
223             monomials + add)
224
225     def show(self):
226         for monomial in self.monomials:
227             print(" + ", end = "")
228             monomial.show(end = "\\\n")
229
230     def D(val_list, n = 1):
231         d_val_list = []
232         print("D" + str(n) + "( ", end = "")
233         for index, val in enumerate(val_list):
234             if index != 0:
235                 print(" , ", end = "")
236             if type(val) is int:
237                 d_val_list.append(Polynomial((Monomial(
238                     val, [])))
239                 )
240             print(str(val), end = "")
241             elif type(val) is list:
242                 if len(val) == 2:
243                     d_val_list.append(Polynomial((
244                         Monomial(val[0], []),
245                         Monomial(val[1], ["g"])
246                     )))
247                 print(str(val[1]) + "*g + " + str(val[0]), end =
248                     "")
249             elif len(val) == 3:
250                 d_val_list.append(Polynomial((
251                     Monomial(val[0], []),
252                     Monomial(val[1], ["g"]),
253                     Monomial(val[2], ["i"])
254                 )))
255                 print(str(val[1]) + "*g + " + str(val[2]) + "*i + "
256                     + str(val[0]), end = "")
257             else:
258                 raise Exception
259             else:
260                 raise Exception
261         print(")\n")

```

```

250     result = MonomialWithSubscripts(Monomial(1, []),
251         d_val_list)
252     for i in range(n):
253         result = result.D()
254     result.show()
255     print("\n\n")
256     return result

```

補題 3.2.

$D^3 : M_{(g-6)}^{g-1} \rightarrow M_{(g-6)}^{g-4}$ は全射

証明. まず, $M_{(g-6)}^{g-1}$ の部分空間

$$(x_2^4 x_{g-9}, x_2^3 x_3 x_{g-10}, x_2^2 x_3^2 x_{g-11}, x_2^3 x_4 x_{g-11}, x_2 x_3^3 x_{g-12}, x_2^2 x_3 x_4 x_{g-12}, x_2^3 x_5 x_{g-12}, x_3^4 x_{g-13})$$

から $M_{(g-6)}^{g-4}$ の部分空間

$$(x_2 x_{g-6}, x_3 x_{g-7}, x_4 x_{g-8}, x_5 x_{g-9}, x_6 x_{g-10}, x_7 x_{g-11}, x_8 x_{g-12}, x_9 x_{g-13})$$

への制限写像が全射であることを示す。
 まずは, 定義域の基底に対する像を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 D^3(x_2^4 x_{g-9}) &= \left\{ 720 \binom{g-5}{4} + 72 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 24 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{2} + 144 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{2} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &\quad + \left\{ 648 \binom{g-6}{3} + 216 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{2} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &\quad + 2160 \binom{g-7}{2} x_4 x_{g-8} + 15120 x_5 x_{g-9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D^3(x_2^3 x_3 x_{g-10}) &= \left\{ 60 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{4} + 6 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{2} + 1260 \binom{g-5}{5} \right. \\
 &\quad \left. + 6 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{2} + 6 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 54 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{3} + 120 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{2} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &\quad + \left\{ 90 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{2} + 720 \binom{g-6}{4} \right. \\
 &\quad \left. + 72 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{3} + 6 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{2} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &\quad + \left\{ 180 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{2} + 1080 \binom{g-7}{3} \right\} x_4 x_{g-8} \\
 &\quad + 3780 \binom{g-8}{2} x_5 x_{g-9} + 45360 x_6 x_{g-10}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D^3(x_2^2 x_3^2 x_{g-11}) &= \left\{ 80 \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{2} + 80 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 40 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{5} + 40 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{4} \right. \\
 &\quad \left. + 4 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{2} + 4 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 4 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{3} + 2240 \binom{g-5}{6} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &\quad + \left\{ 80 \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{2} + 72 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{3} + 40 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{4} \right. \\
 &\quad \left. + 4 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} + 4 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{2} \right. \\
 &\quad \left. + 4 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{3} + 1200 \binom{g-6}{5} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &\quad + \left\{ 1200 \binom{g-7}{4} + 120 \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{2} + 120 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{3} \right\} x_4 x_{g-8} \\
 &\quad + \left\{ 2880 \binom{g-8}{3} + 120 \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &\quad + 6720 \binom{g-9}{2} x_6 x_{g-10} + 151200 x_7 x_{g-11}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & D^3(x_2^3 x_4 x_{g-11}) \\
 &= \left\{ 90 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{5} + 6 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} \right. \\
 &\quad + 6 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{2} + 6 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{4} \\
 &\quad \left. + 36 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{4} + 2520 \binom{g-5}{6} + 180 \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{2} \right. \\
 &\quad \left. + 18 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{3} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &+ \left\{ 810 \binom{g-6}{5} + 54 \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{2} + 54 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{4} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &+ \left\{ 720 \binom{g-7}{4} + 6 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} \right. \\
 &\quad \left. + 36 \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{2} + 18 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{3} \right\} x_4 x_{g-8} \\
 &+ \left\{ 810 \binom{g-8}{3} + 270 \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &+ 7560 \binom{g-9}{2} x_6 x_{g-10} + 113400 x_{g-11} x_7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & D^3(x_2 x_3^3 x_{g-12}) \\
 &= \left\{ 60 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{5} + 6 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 3360 \binom{g-5}{7} + 120 \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{3} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &+ \left\{ 60 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{5} + 60 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{4} + 6 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 6 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{3} + 120 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{5} + 3360 \binom{g-6}{6} \right. \\
 &\quad \left. + 6 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{3} + 120 \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{3} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &+ \left\{ 1800 \binom{g-7}{5} + 180 \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{3} \right\} x_4 x_{g-8} \\
 &+ \left\{ 1800 \binom{g-8}{4} + 180 \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} + 180 \binom{g-10}{2} \binom{g-8}{3} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &+ 10080 \binom{g-9}{3} x_6 x_{g-10} + 10080 \binom{g-10}{2} x_7 x_{g-11} + 554400 x_8 x_{g-12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & D^3(x_2^2 x_3 x_4 x_{g-12}) \\
 &= \left\{ 70 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{6} + 60 \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{3} + 60 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{4} \right. \\
 &\quad + 5040 \binom{g-5}{7} + 30 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{5} + 2 \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} \\
 &\quad + 2 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{4} + 2 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{3} \\
 &\quad + 2 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{4} + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{4} \binom{g-8}{3} \\
 &\quad \left. + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{4} + 140 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{6} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &+ \left\{ 60 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{5} + 30 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{4} \right. \\
 &\quad + 30 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{5} + 24 \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{3} \\
 &\quad + 2 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{4} \binom{g-8}{4} + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{4} \binom{g-9}{2} \\
 &\quad \left. + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{4} + 1470 \binom{g-6}{6} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &+ \left\{ 80 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{4} + 2 \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} + 1320 \binom{g-7}{5} \right. \\
 &\quad + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{2} + 2 \binom{g-10}{2} \binom{g-7}{2} \binom{g-8}{3} \\
 &\quad \left. + 18 \binom{g-7}{3} \binom{g-9}{3} + 100 \binom{g-10}{2} \binom{g-7}{4} \right\} x_4 x_{g-8} \\
 &+ \left\{ 90 \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} + 90 \binom{g-10}{2} \binom{g-8}{3} + 2160 \binom{g-8}{4} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &+ \left\{ 3150 \binom{g-9}{3} + 210 \binom{g-10}{2} \binom{g-9}{2} \right\} x_6 x_{g-10} \\
 &+ 15120 \binom{g-10}{2} x_7 x_{g-11} + 415800 x_8 x_{g-12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & D^3(x_2^3 x_5 x_{g-12}) \\
 &= \left\{ 6 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{5} + 6 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{2} \right. \\
 &\quad + 6 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{5} + 36 \binom{g-5}{3} \binom{g-7}{5} \\
 &\quad + 252 \binom{g-10}{2} \binom{g-5}{6} + 18 \binom{g-5}{5} \binom{g-9}{3} \\
 &\quad \left. + 126 \binom{g-5}{2} \binom{g-6}{6} + 4536 \binom{g-5}{7} \right\} x_2 x_{g-6} \\
 &+ \left\{ 54 \binom{g-6}{2} \binom{g-7}{5} + 54 \binom{g-10}{2} \binom{g-6}{5} + 1134 \binom{g-6}{6} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &+ 540 \binom{g-7}{5} x_4 x_{g-8} \\
 &+ \left\{ 6 \binom{g-10}{2} \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{2} + 36 \binom{g-10}{2} \binom{g-8}{3} \right. \\
 &\quad \left. + 180 \binom{g-8}{4} + 18 \binom{g-8}{2} \binom{g-9}{3} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &+ \left\{ 378 \binom{g-10}{2} \binom{g-9}{2} + 1134 \binom{g-9}{3} \right\} x_6 x_{g-10} \\
 &+ 13608 \binom{g-10}{2} x_7 x_{g-11} + 249480 x_8 x_{g-12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & D^3(x_3^4 x_{g-13}) \\
 &= \left\{ 480 \binom{g-10}{3} \binom{g-6}{5} + 240 \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{5} \right. \\
 &\quad \left. + 24 \binom{g-10}{3} \binom{g-6}{3} \binom{g-8}{3} + 13440 \binom{g-6}{7} \right\} x_3 x_{g-7} \\
 &+ \left\{ 7200 \binom{g-8}{5} + 720 \binom{g-10}{3} \binom{g-8}{3} \right\} x_5 x_{g-9} \\
 &+ 40320 \binom{g-10}{3} x_7 x_{g-11} + 2217600 x_9 x_{g-13}
 \end{aligned}$$

この関係から得られる行列の行列式が

$$\begin{aligned}
 & 3293755109568000000 \\
 & (g-11)^2 (g-10)^3 (g-9)^4 (g-8)^3 (g-7)^2 (g-6)^2 (g-5) (g-1) g \\
 & (812011200 - 424913920g + 79408220g^2 - 3843748g^3 - 802621g^4 \\
 & + 149070g^5 - 10400g^6 + 278g^7 + g^8)
 \end{aligned}$$

となるので、まずは第一の主張が示された。

次に、数学的帰納法により、残りの基底を構成する方法を説明する。

$D^3(x_2^3 x_i x_{g-7-i})$ は、 $x_2 x_{g-6}$, $x_3 x_{g-7}$, $x_4 x_{g-8}$, $x_{g-7-i} x_i + 3$, $x_{g-6-i} x_i + 2$, $x_{g-5-i} x_i + 1$, $x_{g-4-i} x_i$ で構成されている。これより、 $i=7$ の時を考えると、 $x_{10} x_{g-14}$ への写像が構成できることが解る。続けて、 i を一つずつ増やしていくことで、全ての基底を構成する術が得られる。□

補題 3.3.

$D : M_{(g-6)}^{g-2} \rightarrow M_{(g-6)}^{g-3}$ の部分空間

$$\begin{aligned}
 & \langle x_2^3 x_{g-8}, x_2^2 x_3 x_{g-9}, x_2^2 x_4 x_{g-10}, x_2 x_3^2 x_{g-10}, x_2^2 x_5 x_{g-11} \\
 & x_2 x_3 x_4 x_{g-11}, x_3^3 x_{g-11}, x_2^2 x_6 x_{g-12}, x_2 x_3 x_5 x_{g-11}, \\
 & x_2 x_4^2 x_{g-12}, x_3^2 x_4 x_{g-12}, x_2^2 x_7 x_{g-13}, x_2 x_3 x_6 x_{g-13}, \\
 & x_2 x_4 x_5 x_{g-13}, x_3^2 x_5 x_{g-13}, x_3 x_4^2 x_{g-13}, x_2^2 x_8 x_{g-14}, \\
 & x_2 x_3 x_7 x_{g-14}, x_2 x_4 x_6 x_{g-14}, x_2 x_5^2 x_{g-14}, x_3 x_4 x_5 x_{g-14}, \\
 & x_4^3 x_{g-14} \rangle
 \end{aligned}$$

への制限写像は全射である。

証明. 定義域の基底に対する像を計算する.

$$D(x_2^3 x_{g-8}) = 18x_2 x_3 x_{g-8} + 3 \binom{g-6}{2} x_2^2 x_{g-7}$$

$$D(x_2^2 x_3 x_{g-9}) = 6x_3^2 x_{g-9} + 20x_2 x_4 x_{g-9} \\ + 2 \binom{g-7}{2} x_2 x_3 x_{g-8} + \binom{g-6}{3} x_2^2 x_{g-7}$$

$$D(x_2^2 x_4 x_{g-10}) = 6x_3 x_4 x_{g-10} + 2 \binom{g-8}{2} x_2 x_4 x_{g-9} \\ + 30x_2 x_5 x_{g-10} + \binom{g-6}{4} x_2^2 x_{g-7}$$

$$D(x_2 x_3^2 x_{g-10}) = \binom{g-8}{2} x_3^2 x_{g-9} + 20x_3 x_4 x_{g-10} \\ + 2 \binom{g-7}{3} x_2 x_3 x_{g-8} + 20x_2 x_5 x_{g-10}$$

$$D(x_2^2 x_5 x_{g-11}) = 6x_3 x_5 x_{g-11} + 42x_2 x_6 x_{g-11} \\ + 2 \binom{g-9}{2} x_2 x_5 x_{g-10} + \binom{g-6}{5} x_2^2 x_{g-7}$$

$$D(x_2 x_3 x_4 x_{g-11}) = 10x_4^2 x_{g-11} + 15x_3 x_5 x_{g-11} \\ + \binom{g-9}{2} x_3 x_4 x_{g-10} + 35x_2 x_6 x_{g-11} \\ + \binom{g-8}{3} x_2 x_4 x_{g-9} + \binom{g-7}{4} x_2 x_3 x_{g-8}$$

$$D(x_3^2 x_{g-11}) = 60x_3 x_5 x_{g-11} + 3 \binom{g-8}{3} x_3^2 x_{g-9}$$

$$D(x_2^2 x_6 x_{g-12}) = 56x_{g-12} x_2 x_7 + \binom{g-6}{6} x_{g-7} x_2^2 \\ + 6x_{g-12} x_3 x_6 + 2 \binom{g-10}{2} x_{g-11} x_2 x_6$$

$$D(x_2 x_3 x_5 x_{g-12}) = \binom{g-10}{2} x_3 x_5 x_{g-11} + 21x_3 x_6 x_{g-12} \\ + 10x_4 x_5 x_{g-12} + \binom{g-7}{5} x_2 x_3 x_{g-8} \\ + \binom{g-9}{3} x_2 x_5 x_{g-10} + 56x_2 x_7 x_{g-12}$$

$$D(x_2 x_4^2 x_{g-12}) = \binom{g-10}{2} x_4^2 x_{g-11} + 30x_4 x_5 x_{g-12} \\ + 2 \binom{g-8}{4} x_2 x_4 x_{g-9} + 70x_2 x_7 x_{g-12}$$

$$D(x_3^2 x_4 x_{g-12}) = 2 \binom{g-9}{3} x_3 x_4 x_{g-10} + \binom{g-8}{4} x_3^2 x_{g-9} \\ + 20x_4 x_5 x_{g-12} + 70x_3 x_6 x_{g-12}$$

$$D(x_2^2 x_7 x_{g-13}) = 6x_3 x_7 x_{g-13} + 72x_2 x_8 x_{g-13} \\ + 2 \binom{g-11}{2} x_2 x_7 x_{g-12} + \binom{g-6}{7} x_2^2 x_{g-7}$$

$$D(x_2 x_3 x_6 x_{g-13}) = 28x_3 x_7 x_{g-13} + \binom{g-7}{6} x_2 x_3 x_{g-8} \\ + 84x_2 x_8 x_{g-13} + \binom{g-11}{2} x_3 x_6 x_{g-12} \\ + 10x_4 x_6 x_{g-13} + \binom{g-10}{3} x_2 x_6 x_{g-11}$$

$$D(x_2 x_4 x_5 x_{g-13}) = \binom{g-11}{2} x_4 x_5 x_{g-12} + 21x_4 x_6 x_{g-13} \\ + 15x_5^2 x_{g-13} + \binom{g-8}{5} x_2 x_4 x_{g-9} \\ + \binom{g-9}{4} x_2 x_5 x_{g-10} + 126x_2 x_8 x_{g-13}$$

$$D(x_3^2 x_5 x_{g-13}) = \binom{g-8}{5} x_3^2 x_{g-9} + 2 \binom{g-10}{3} x_3 x_5 x_{g-11} \\ + 112x_3 x_7 x_{g-13} + 20x_5^2 x_{g-13}$$

$$D(x_3 x_4^2 x_{g-13}) = \binom{g-10}{3} x_4^2 x_{g-11} + 2 \binom{g-9}{4} x_3 x_4 x_{g-10} \\ + 70x_4 x_6 x_{g-13} + 70x_3 x_7 x_{g-13}$$

$$D(x_4^3 x_{g-14}) = 3 \binom{g-10}{4} x_4^2 x_{g-11} + 210x_4 x_7 x_{g-14}$$

$$D(x_2^2 x_8 x_{g-14}) = 90x_2 x_9 x_{g-14} + \binom{g-6}{8} x_2^2 x_{g-7} \\ + 6x_3 x_8 x_{g-14} + 2 \binom{g-12}{2} x_2 x_8 x_{g-13}$$

$$D(x_2 x_3 x_7 x_{g-14}) = \binom{g-12}{2} x_3 x_7 x_{g-13} + \binom{g-7}{7} x_2 x_3 x_{g-8} \\ + \binom{g-11}{3} x_2 x_7 x_{g-12} + 36x_3 x_8 x_{g-14} \\ + 10x_4 x_7 x_{g-14} + 120x_2 x_9 x_{g-14}$$

$$D(x_2 x_4 x_6 x_{g-14}) = 28x_4 x_7 x_{g-14} + \binom{g-8}{6} x_2 x_4 x_{g-9} \\ + 210x_2 x_9 x_{g-14} + \binom{g-12}{2} x_4 x_6 x_{g-13} \\ + 15x_5 x_6 x_{g-14} + \binom{g-10}{4} x_2 x_6 x_{g-11}$$

$$D(x_2 x_5^2 x_{g-14}) = \binom{g-12}{2} x_5^2 x_{g-13} + 2 \binom{g-9}{5} x_2 x_5 x_{g-10} \\ + 42x_5 x_6 x_{g-14} + 252x_2 x_9 x_{g-14}$$

$$D(x_3 x_4 x_5 x_{g-14}) = \binom{g-9}{5} x_3 x_4 x_{g-10} + \binom{g-11}{3} x_4 x_5 x_{g-12} \\ + \binom{g-10}{4} x_3 x_5 x_{g-11} + 56x_4 x_7 x_{g-14} \\ + 126x_3 x_8 x_{g-14} + 35x_5 x_6 x_{g-14}$$

この関係から得られる 22×20 型行列の階数が g によらず 20 となるので, 題意が従う. \square

残る主張は、 $x_2^2 x_9 x_{g-15}$ 以降の基底を如何に構成するか、という問題に帰着された。本稿においては、この手法を一般の場合に述べることができない。しかし、与えられた g に対して、真偽を判定する示すアルゴリズムを得たので、最後にそれを示すことで本稿を締めたい。

補題 3.4.

任意の $i \geq 15$ に対して、 x_{g-i} を含む $M_{(g-6)}^{g-2}$ の基底の種類より x_{g-i} を含む $M_{(g-6)}^{g-3}$ の基底の種類の方が少ない。

この事実と、補題 3.3 で得られ全射性と合わせることで、 x_{g-15} を含む基底から構成される部分空間への全射性も得る。これを繰り返すことで、以下の主結果が導かれる。

主結果 3.5.

任意の $g \geq 16$ に対して、以下のプログラムが「全射である」ことを記せば、 $\mathcal{R}_{(g-6)} = 0$ が成り立つ。

アルゴリズム 2 微分作用素

```

1 import math, copy
2 import numpy as np
3 from operator import mul
4 from functools import reduce
5
6 def cmb(n,r):
7     r = min(n-r,r)
8     if r == 0: return 1
9     return reduce(mul, range(n, n - r, -1)) // reduce(
10         mul, range(1,r + 1))
11
12 def partitions(i):
13     partitions = []
14     max = i - 6
15     for i_1 in range(2, max + 1):
16         for i_2 in range(i_1, max + 1):
17             for i_3 in range(i_2, max + 1):
18                 if i_1 + i_2 + i_3 + i == -2:
19                     partitions.append((i_1, i_2, i_3, i))
20     return partitions
21
22 def proj_D(arg):
23     coef_list = []
24     val_list = []
25     dif_val = list(set(arg[0:3]))
26     for val_1_index, val_1 in enumerate(dif_val):
27         for val_2_index, val_2 in enumerate(dif_val):
28             if val_2_index > val_1_index:
29                 continue
30
31             val_1_count = arg.count(val_1)
32             val_2_count = arg.count(val_2)
33             if val_1 == val_2 and val_1_count <= 1:
34                 continue
35             elif val_1 == val_2 and val_1_count > 1:
36                 coef = cmb(val_1 + val_2, val_1) / 2 *
37                     val_1_count * (val_1_count - 1)
38             else:
39                 coef = cmb(val_1, val_2, val_1) *
40                     val_1_count * val_2_count
41             coef_list.append(int(coef))
42
43     copied_val = copy.deepcopy(arg)
44     copied_val.remove(val_1)
45     copied_val.remove(val_2)
46     copied_val.append(val_1 + val_2 - 1)
47     val_list.append(copied_val)
48
49     return coef_list, val_list

```

```

49 def proof(g):
50     for i in range(-(g + 2), -14):
51         print("g" + str(i) + "の時")
52         dict_matrix = {}
53         for p_index, p in enumerate(partitions(i)):
54             coef_list, val_list = proj_D(p)
55             for num, val in enumerate(val_list):
56                 key = ".".join(map(str, sorted(val)))
57                 if dict_matrix.get(key) == None:
58                     dict_matrix[key] = []
59             for value in dict_matrix.values():
60                 while len(value) <= p_index:
61                     value.append(0)
62             dict_matrix[key][p_index] += coef_list[
63                 num]
64
65     tmp = []
66     for value in dict_matrix.values():
67         tmp.append(value)
68     matrix = np.array(tmp)
69
70     print("表現行列")
71     print(matrix)
72     rank = np.linalg.matrix_rank(matrix)
73     print("表現行列のランク")
74     row, col = matrix.shape
75     if rank != row:
76         raise Exception("予想の反例が見つかりました。Moonen")
77     print("値域の基底の個数")
78     print("表現行列のランク")
79     proof(50)

```

参考文献

- 1)[B83]. A. Beauville, *Quelques remarques sur la transformation de Fourier dans l'anneau de Chow d'une variété abélienne*, LNM vol.1016 (1983), 238-260.
- 2)[B86]. A. Beauville, *Sur l'anneau de Chow d'une variété abélienne*, Math. Ann. 273 (1986), 647-651.
- 3)[B04]. A. Beauville, *Algebraic cycles on Jacobian varieties*, Compositio Math. 140 (2004) 683-688.
- 4)[Moo]. B. Moonen, *Relations between Tautological Cycles on Jacobians*, Comment. Math. Helv. 84 (2009), 471-502
- 5)[Muk]. S. Mukai, *Duality between $D(X)$ and $D(\hat{X})$ with its application to Picard sheaves*, Nagoya Math. J. 81 (1981), 153-175
- 6)[Pol]. A. Polishchuk, *Universal algebraic equivalences between tautological cycles on Jacobians of curves*, Math. Zeitschrift. 251 (2005), 875-897

(2021年1月15日 受理)

活動機会抑制下における東京高専生の体力テスト成績

黒田一寿*, 八田直紀*, 鈴木智之*

本研究では、体力テストの結果をもとに、まず東京高専生の体力・運動能力の 10 年間の推移をまとめた。その結果、男子学生は大部分の種目において記録が全国平均より低い水準で 10 年間推移していることがわかった。次に 2020 年 3 月から続いた登校機会の抑制やクラブ活動見合わせ等の影響を、2020 年度と過去の体力テスト結果の比較から検討した。その結果、2020 年度はシャトルランの低下傾向が増幅されており、活動機会抑制による持久力・心肺機能への影響が懸念された。アンケートの回答からも、運動機会および運動継続時間の減少がみられた。2021 年度もコロナ禍による種々の活動機会抑制が予想されるため、体育授業を運動機会として活用しつつ、持久力の維持・向上もねらった授業内容を工夫していくことが重要である。

(キーワード: 体力テスト, 活動抑制, 新型コロナウイルス感染症)

Physical Fitness Test Results of Tokyo KOSEN Students under Restraint of Activity Opportunities

Kazutoshi KURODA*, Naoki HATTA*, Tomoyuki SUZUKI*

In this study, we summarized the changes in physical fitness of Tokyo KOSEN students for 10 years based on the results of the physical fitness test. The results showed that the physical strength of male students has remained at a level lower than the national average for 10 years. The impact of life restraint such as not going to school and participating in club activities was also examined by comparing the results of physical fitness tests in 2020 and in the past. The results identified the greater downward trend of shuttle runs in 2020. Moreover, responses to the questionnaire showed a decrease in exercise opportunities and duration. Since the novel coronavirus (COVID-19) may continue to limit many activities interacting with people in 2021, physical education teachers need to design their classes to maintain and improve physical endurance in students by ensuring enough exercise opportunities with infection control.

(Keywords: Physical Fitness Test, restraint of activity opportunities, COVID-19)

1. はじめに

東京高専では、開校以来毎年スポーツテストを実施してきた。学生おのおのが自身の体力・運動能力の現状を把握し、運動や健康への関心を高めることを目的としている。1999 年度からは「新体力テスト」へ改定となり、現在も継続実施されている。これらの結果を対象とした本校学生の体力・運動能力の分析には、古屋ら (1988) の報告¹⁾や、黒田ら (2003) の報告²⁾、および鈴木ら (2012) による二高専の比較³⁾がある。本稿では直近 10 年間の記録をまとめ、次の 2 点に焦点を当てて本校学生の体力・運動能力について検討する。

まず、2011 年度から 2020 年度にかけての体力テスト結果をもとに、本校学生の体力・運動能力の推移についてまとめ、その傾向を検討する。

次に、臨時休校や遠隔授業による登校機会の抑

制およびクラブ活動の見合わせ等があった 2020 年度の体力テスト結果について、過去の体力テスト結果と比較し、傾向に変化が見られたか検討する。今年度は、新型コロナウイルス感染症拡大による外出自粛要請により日常生活が大きな影響を受け、学校生活も様変わりした。本校では 2020 年 3 月 2 日から臨時休校となり、春季休業を経て 6 月 7 日まで登校禁止の状況が続いた。6 月 8 日から対面授業が開始されたが、週に 1 日ないし 2 日を遠隔授業の日とし、登校が抑制された。クラブ活動も 3 月より見合わせとなり、活動時間・頻度を抑制したうえで再開できたのは 9 月に入ってからであった。例年 4 月に実施している体力テストも、2020 年度に限っては 9 月の実施となった。よって、2020 年度の体力テスト結果は約半年間の登校機会抑制の影響を受けていることになる。本稿

*一般教育科

ではこれを過去のデータと比較し、本校学生の体力・運動能力に変動が見られたか検討する。

2. 方法

測定は1～4年生の学生を対象とし、4月～5月にかけて体育実技の授業時間において実施した。ただし、2020年度については9月～10月にかけての実施となった。なお、測定方法は文部科学省新体力テスト実施要項⁴⁾に基づいて実施した。

2.1. 測定項目

測定項目を表1に示した。加えて身長・体重・視力等の身体発育、健康診断調査項目、生活・運動習慣に関するアンケートについて回答を得た。

表 1. 測定項目

測定項目	要素
握力	筋力
上体起こし	筋力・筋持久力
長座体前屈	柔軟性
反復横跳び	敏捷性
20mシャトルラン	全身持久力・心肺機能
50m走	走力 (スピード)
立ち幅跳び	跳力 (パワー)
ハンドボール投げ	投力 (巧緻性・パワー)

2.2. 分析

体力テスト結果のコーディングおよび集計にあたっては、大修館体力科学研究会による「新体力テスト分析処理サービス」を利用した。

表2に各年度の体力テスト参加者数を、学年別および性別で示した。次章にて各年度の各学年における種目ごとの測定値の平均値を用いて傾向を見ていくこととする。なお平均値は男女別に示すが、女子においては1学年の学生数が20人以下の年度もあり、サンプル数の少なさから外れ値の影響を受けやすいことに留意する必要がある。

表 2. 各年度(西暦)における体力テスト参加者数

	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
1年男子	196	185	186	174	181	153	172	170	171	168
1年女子	17	26	26	34	26	48	33	36	38	41
2年男子	194	191	182	183	170	181	152	170	170	166
2年女子	17	18	26	26	34	26	47	32	34	35
3年男子	179	189	190	185	183	174	182	155	169	171
3年女子	22	17	20	26	28	36	28	43	30	32
4年男子	161	166	173	173	179	168	166	172	150	162
4年女子	22	20	15	17	26	27	34	26	39	31

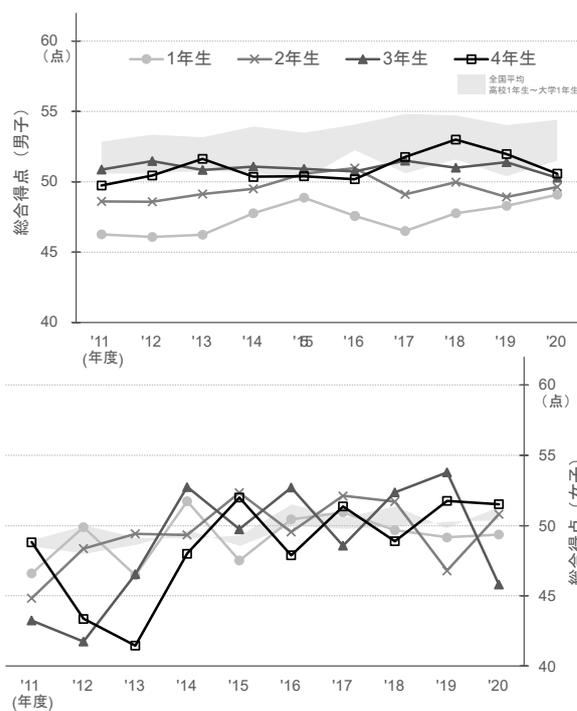
3. 結果と考察

3.1. 測定項目の学年平均値の10年間の推移

新体力テストでは、年代・性別ごとに定められた基準表に基づき、各種目の記録を10段階で評価する。また、計8種目の10段階評価値の合計を「総合得点」と称し、A～Eの5段階で判定する。本校では、体育実技の授業においてA判定の学生に賞状を贈っている。

図1は、この総合得点の学年別の平均値について、10年間の推移を男女別に示したものである。なおグラフの縦軸については、10段階評価でおおよそ3段分を切り取って示した。また、大修館体力科学研究会による集計値を用いて、年齢が本校1年生に相当する高校1年生の全国平均値から、本校4年生に相当する大学1年生の全国平均値までの変動幅をグレイで塗りつぶして示した。

図 1 総合得点の学年平均の10年間の推移



男子は全国平均値より低い水準で推移しており、女子は年度ごとの変動が大きいものの、2014年度以降はおおむね全国平均値と変わらない水準と言える。学年間を比較すると、男子については1年生の総合得点が最も低く、学年が上がるにつれて得点が増える傾向がある。ただし、2020年度については学年間の差がほとんど見られない。女子については、年度によって変動が大きく、学年間

登校機会抑制下における東京高専生の体力テスト成績

の比較において一定の傾向は見られない。

図2は、握力の平均値の推移である。男子は、どの年度においても学年が上がるほど平均値が高い。握力はしばしば全身筋力の指標としても用いられ、成人に達するまでは身体の成長に伴って徐々に発達する側面もある。しかし、女子については学年進行とともに向上する一定の傾向は見られなかった。

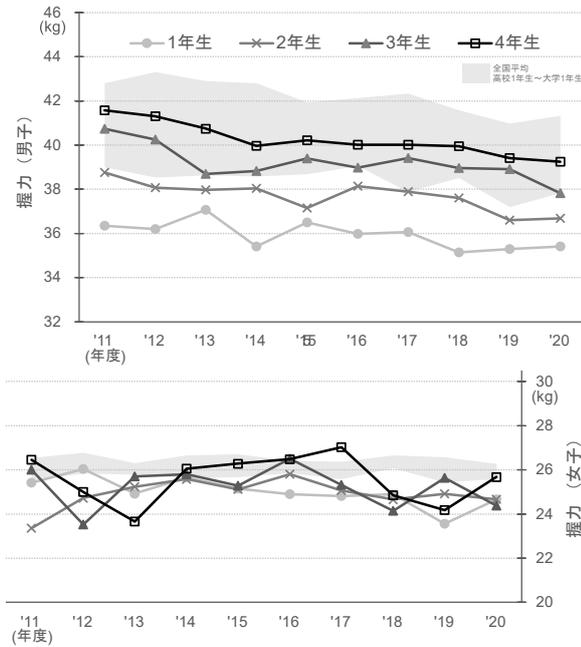


図2 握力の学年平均の10年間の推移

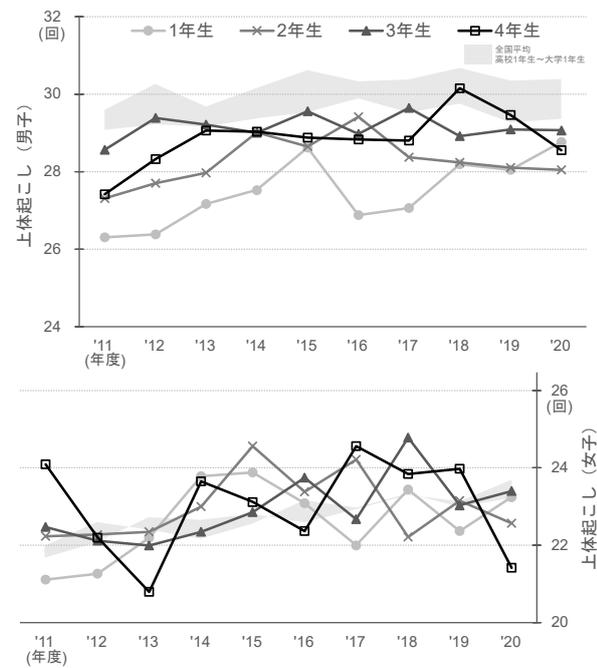


図3 上体起こしの学年平均の10年間の推移

図3~5は、それぞれ上体起こし、長座体前屈、反復横跳びの平均値の推移である。いずれも男子については、上級生の方が下級生よりも記録が良い傾向があるが、年度によっては逆転しているケースもあり、その傾向は握力ほど明確ではない。

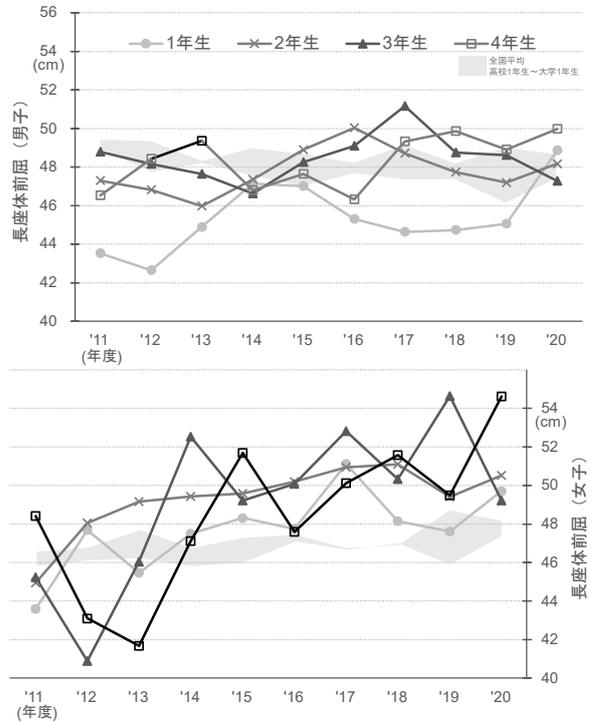


図4 長座体前屈の学年平均の10年間の推移

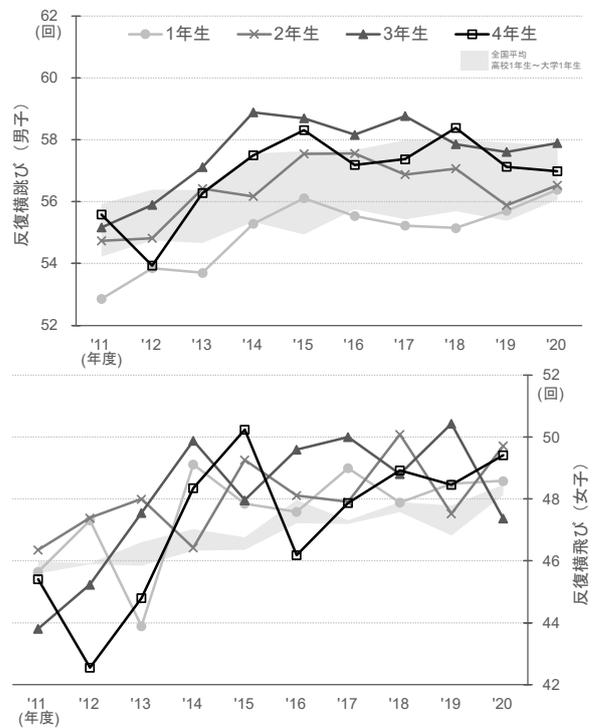


図5 反復横跳びの学年平均の10年間の推移

また男子では学年平均値が全国平均値を下回る水準の種目が多いなか、長座体前屈と反復横跳びは同水準で推移している。女子については年度によって変動が大きく、学年間に一定の傾向は見られない。全国平均値とは同水準、もしくは長座体前

屈と反復横跳びでは 2014 年度以降で全国平均値を上回る水準にある。

図 6 は、20m シャトルランの平均値の推移である。他の種目と異なり、下級生の方が上級生よりも記録が良い傾向がある。これは全国平均値にお

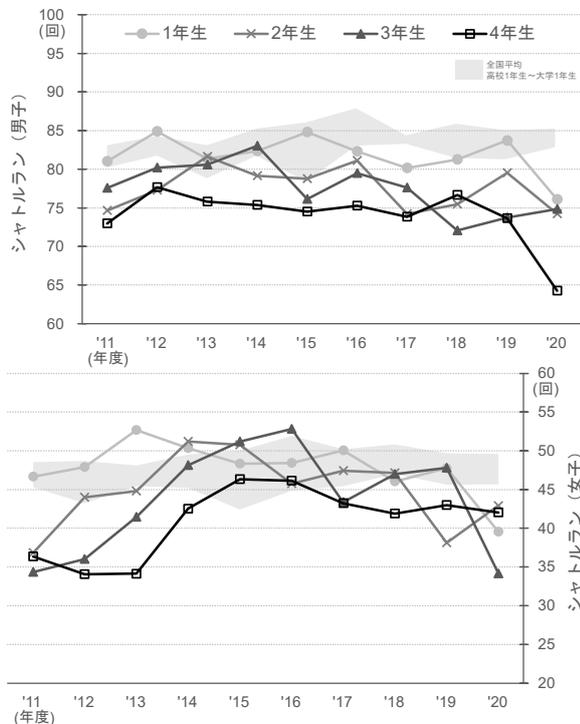


図 6 20mシャトルランの学年平均の10年間の推移

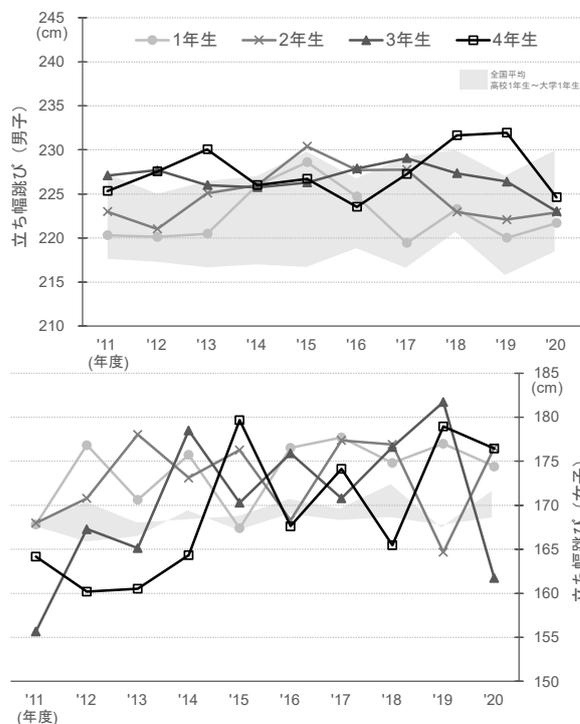


図 8 立ち幅跳びの学年平均の10年間の推移

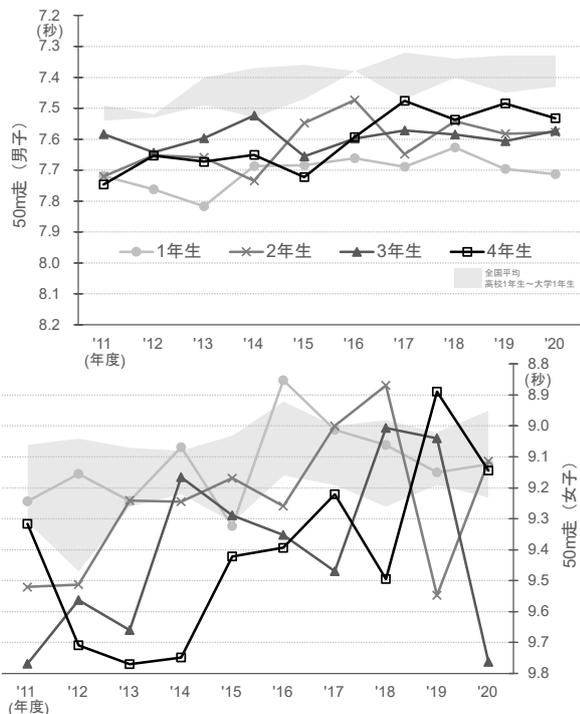


図 7 50m走の学年平均の10年間の推移

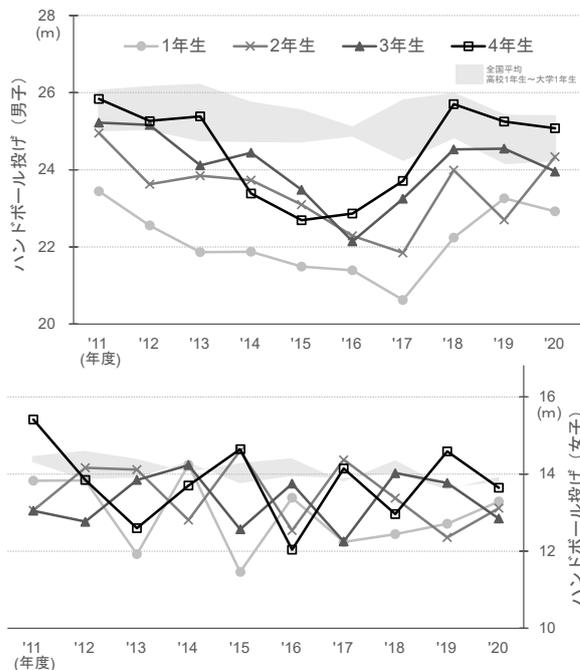


図 9 ハンドボール投げの学年平均の10年間の推移

いても同様で、男女のシャトルランと女子の50m走および立ち幅跳びに特有の傾向である。男子ほど顕著ではないが、女子のシャトルランにおいても下級生の方が上級生よりも記録が良い傾向がある。また全ての学年で言えるわけではないが、男女とも2020年度のシャトルランにおいて前年度の同学年より記録が低い学年が多く、持久力・心肺機能において、運動機会減少の影響を受けている可能性がある。

図7～9は、それぞれ50m走、立ち幅跳び、ハンドボール投げの学年平均値の推移である。男子については、上級生の方が下級生よりも平均値が高い傾向があるが、その傾向は握力ほど明確ではなく、年度によってばらつきがある。ハンドボール投げ・投力については、2016年度から2017年度を底にして平均値が落ち込んでいるが、直近3年間は持ち直し傾向がみられる。全国平均値との比較では、やはり本校男子学生の平均値はいずれも全国平均値よりもやや低い水準にある。女子については、年度によって変動が大きく、学年間で一定の傾向は見られない。

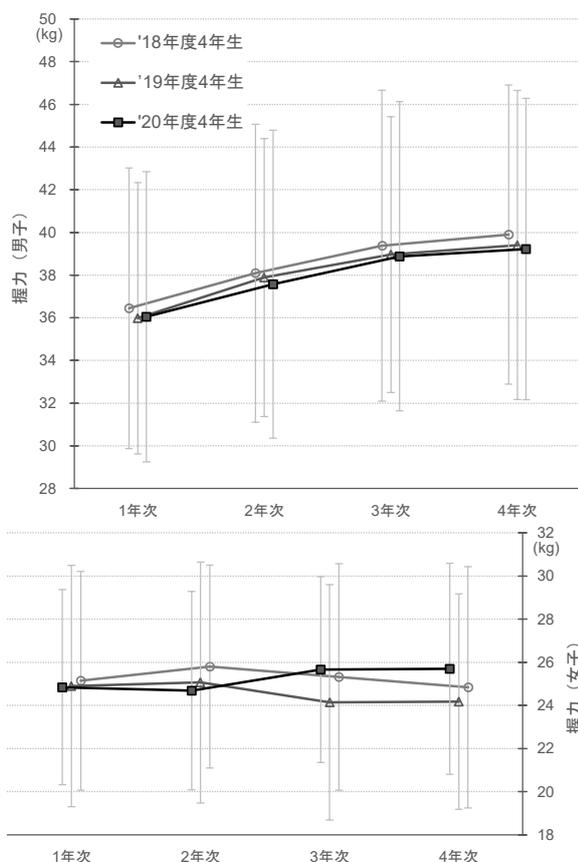


図10 握力の学年平均の学年進行に伴う推移の入学年度別比較(4年生)

3.2. 学年平均値の学年進行に伴う経時的変化の入学年度別比較

本節では、入学年度が同じである集団の記録が、学年進行に伴ってどのように変化するか見ていく。特に2019年度から2020年度にかけての変動に注目し、例年と傾向に変化がなかった握力と、例年と異なる傾向を見せたシャトルランについて検討する。

図10は、握力の学年平均値について、学年進行に伴う4年間の変化を入学年度ごとに示したものである。握力は、学年が上がるにつれて徐々に高くなるのがここでも見て取れる。2020年度の4年生は、3年生から4年生に進級する間に外出自粛等の影響を受けたが、この間の握力の学年平均値の推移は例年と変わらない。女子についても、2020年度の4年生に特有な変化は認められない。

一方で、シャトルランの結果は特徴的であった。図11はシャトルランの学年平均値の4年間の推移である。前述の通り、シャトルランは学年が上

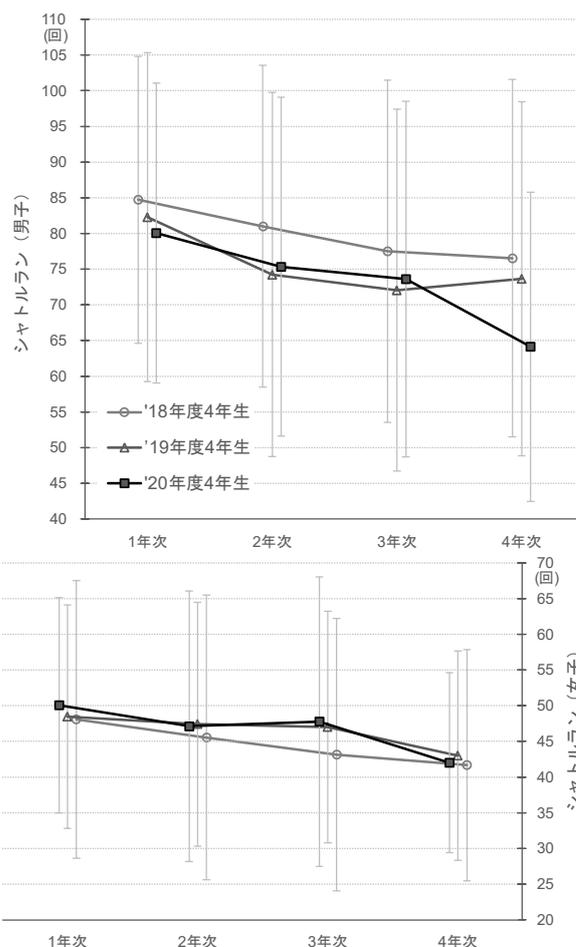


図11 シャトルランの学年平均の学年進行に伴う推移の入学年度別比較(4年生)

がるにつれて記録が低下する傾向があるが、特に 2020 年度の 4 年生男子は 3 年生から 4 年生にかけての低下が著しい。女子については男子ほど明確ではないが、やはり 2020 年度の 4 年生女子の 3 年生から 4 年生にかけての低下率はやや大きくなっている。

次に、3 年生および 2 年生について、学年進行に伴うシャトルランの学年平均値の推移を直近 3 年間で比較したものが図 12、図 13 である。2019 年度から 2020 年度にかけての変化を見ると、2020 年度の 2 年生男子の 1 年生から 2 年生にかけての低下が大きい (図 13)。また、2020 年度 3 年生男子の 2 年生から 3 年生にかけても、他の年度と比較すると低下率がやや大きくなっている (図 12)。

女子については年度ごとのばらつきが大きく、2019 年度から 2020 年度にかけての変化に明確な傾向は認められない。2020 年度の 3 年生女子は、他の年度と比較して学年平均値がかなり低くなっ

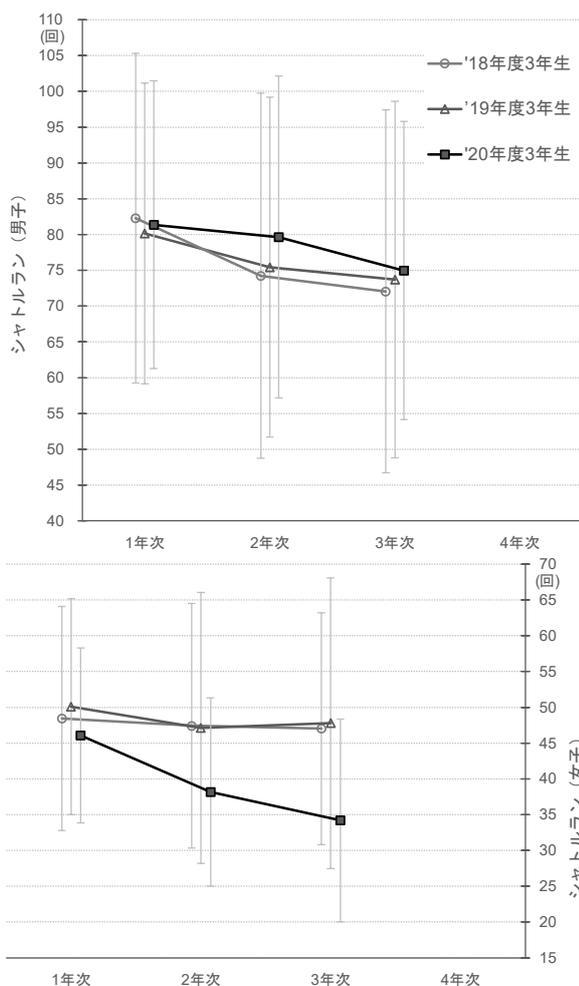


図 12 シャトルランの学年平均の学年進行に伴う推移の入学年度別比較 (3 年生)

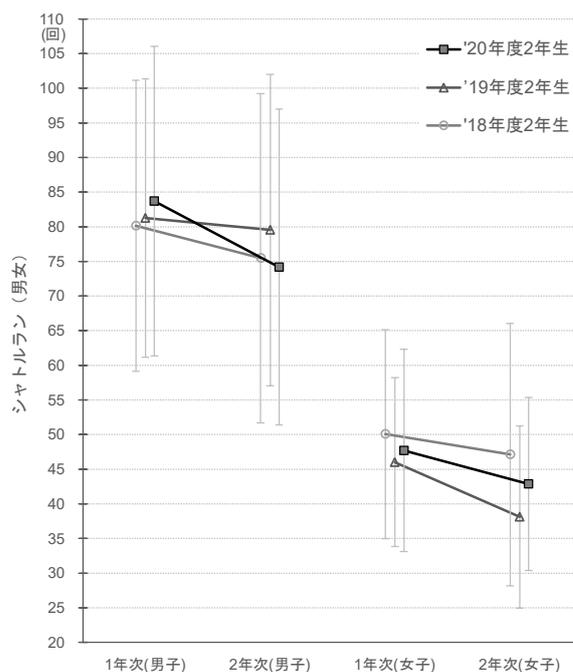


図 13 シャトルランの学年平均の学年進行に伴う推移の入学年度別比較 (2 年生)

ているが、すでに 2 年次から差が開いており、外出自粛等の影響とは考えにくい。

シャトルランの記録は、どこまで限界に近いところまで走るか、個々のモチベーションや心理的限界によって大きく左右されることには留意が必要であるが、条件は毎年ほぼ同じである。やはり 2020 年度は、外出自粛や登校機会抑制、クラブ活動の見合わせ等がシャトルランの記録に一定の影響を及ぼした可能性があるだろう。言い換えれば、学生の持久力・心肺能力の成長・維持において、影響があった可能性がある。

3.3. シャトルランにおける 1 年間での個人内変動 (前年度からの増減) 分布の年度別比較

図 14 は、シャトルランにおいて学生個々人の記録が前年度からどのくらい増減したか、その差分を取り、5 回の増減を 1 階級とする度数分布で示したものである。1 年生については前年度のデータがないため、2 年生から 4 年生までの男女を対象とし、2018 年度から 2020 年度までの直近 3 年度について比較した。

2019 年度および 2018 年度と比較して、2020 年度は差分の分布が減少側に移動している。特に前年度より 20 回以上低下という極端な低下が見ら

登校機会抑制下における東京高専生の体力テスト成績

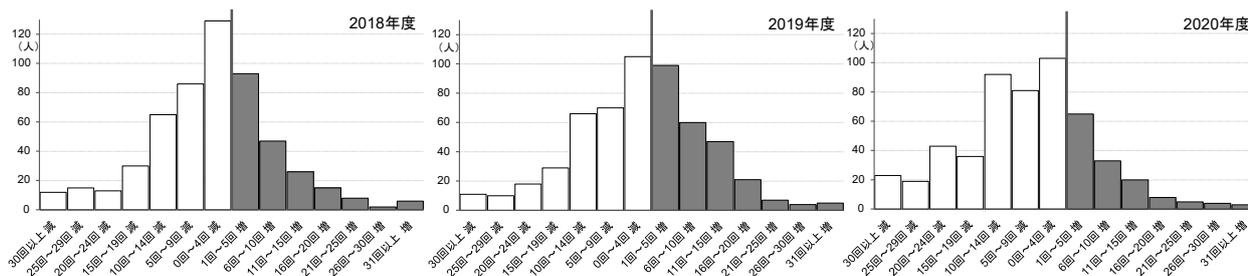


図 14 シャトルランにおける 1 年間での個人内変化（前年度からの増減）の分布の年度別比較（2～4 年生の男女）

れた学生が増加している。シャトルランの記録は、もともと 1 年次から 4 年次にかけて学年平均値が低下する傾向はあったが（図 12），2019 年度から 2020 年度にかけて減少幅が大きい背景には，こうした記録が大きく低下した学生の存在があることがわかる。一方で，外出自粛や登校機会抑制，クラブ活動の見合わせ等が続いた状況下でも大きく記録を伸ばした学生もおり，学生によっては工夫して運動機会を確保していたことも推測される。

3.4. アンケート回答にみる運動・スポーツ機会の変化

図 15 は，体力テスト参加者（1 年生～4 年生）によるアンケート項目に対する回答を集計したもので，「体育授業以外の運動・スポーツ活動」について，その頻度をたずねたものである。2018 年度および 2019 年度と比較して，2020 年度の回答では運動・スポーツ活動の機会が「週 3 日以上」との回答が減少している。これは，クラブ活動の見合わせ等によって，熱心に運動・スポーツ活動を行っていた学生の活動機会が減少してしまったためであろう。一方で，運動・スポーツ活動を「しない」との回答には増加が見られないので，もともと体を動かさず習慣があった学生らは，コロナ禍の状況下でも何らかの機会をみつけて，運動・スポーツ活動を継続していたとも推察できる。

図 16 は，「一日の運動・スポーツ実施時間（体育授業を除く）」についてたずねた質問に対する回答の集計である。2018 年度および 2019 年度と比較して，2020 年度の回答では「30 分未満」との回答が増加し，「2 時間以上」との回答が減少している。よって，運動・スポーツ活動 1 回あたりの継続時間についても，外出自粛や登校機会抑制，クラブ活動の見合わせ等による影響を受けていると言えよう。

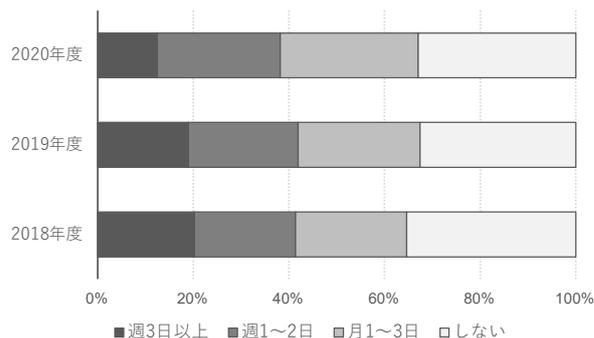


図 15 「体育授業以外の運動・スポーツ活動は？」に対する回答の年度別比較（2～4 年生の男女）

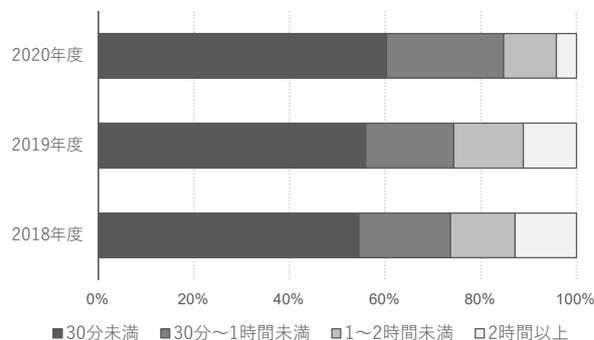


図 16 「一日の運動・スポーツ実施時間（体育授業を除く）は？」に対する回答の年度別比較（2～4 年生の男女）

4. まとめ

本稿では，2011 年度から 2020 年度にかけて本校 1 年生から 4 年生を対象として実施してきた体力テストの結果をもとに，まず 10 年間の本校学生の体力・運動能力の推移について検討した。

総合得点の学年平均値の推移をみると，男子は全国平均値より低い水準で推移しており，女子は年度ごとの変動が大きいものの，2014 年度以降は

おおむね全国平均値と変わらない水準であった。また男子については学年が上がるにつれて総合得点の学年平均値が上昇する傾向があった。

種目ごとにみると、男子については握力、上体起こし、反復横跳び、50m走、立ち幅跳び、ハンドボール投げといった種目で、上級生の方が下級生より学年平均値が高い傾向がみられ、在学中の筋力、筋持久力、敏捷性、スピード、跳力、投力の発達が認められた。また男子の長座体前屈と反復横跳びにおいては、全国平均値との比較においても同水準を維持していた。一方で、持久力の指標であるシャトルランについては、1年生の学年平均値が最も高く、上級生になるにつれて徐々に低下する傾向があった。女子については1学年が20人を下回る年度もあり、学年平均値は年度によってばらつきが大きく、一定の傾向見いだせない種目が多かった。ただしシャトルランについては、男子と同様に下級生の学年平均値の方が上級生より高い傾向があった。

次に、2019年度から2020年度にかけての外出自粛や登校機会抑制、クラブ活動の見合わせ等の影響について検討したところ、男子のシャトルランの低下率が大きくなっていることがわかった。このシャトルランの記録について、個々人の前年度記録との差分をみたところ、2020年度は前年度より20回以上低下したという学生が増加していることがわかった。アンケートの回答からは、体育授業以外で週3日以上運動・スポーツ活動を行う者の割合が減少し、また一日あたりの運動スポーツ実施時間においても「2時間以上」の回答割合が減少しており、登校機会抑制やクラブ活動の見合わせの影響がみてとれた。

2021年度もコロナ禍の影響は免れない状況である。こうした状況下で、学生にとって体育実技の授業は貴重な運動機会となることは言うまでもない。ストレス発散の場であると同時に、運動機会が減少することによって低下傾向が増幅されることがわかった持久力についても、楽しみながら授業時間内の活動量を増やせるように工夫するなど、授業内容の改善を行って行きたい。また、もともと運動習慣のない学生が、外出機会の減少等によってさらに運動量が減少することも懸念される。体育の授業以外においても活用できる筋力トレーニングメニューや、運動施設や設備を必要としないウォーキングやジョギングなどの楽しみ方についても取り上げて行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 古屋正俊, 竹信武, 鈴木智之: 本校学生の体力と運動能力の実態—昭和62年度男子学生を対象として—, 東京工業高等専門学校研究報告書, 19号, 1987年12月
- 2) 黒田一寿, 古屋正俊, 鈴木智之: 東京高専生の体格・体力・運動能力の変化, 東京工業高等専門学校研究報告書第34(2)号, pp. 41-48, 2003年9月
- 3) 鈴木智之, 古屋正俊, 黒田一寿, 内山了治, 児玉英樹, 石川美久: 二高専における学生の体格・体力の比較検討, 論文集「高専教育」, vol. 35, pp. 559-564, 2012年3月
- 4) 文部科学省: 新体力テスト実施要項(20歳～64歳対象), 1999

(2021年3月16日 受理)

遠隔授業で実施可能な機械工学実験の試行 — 流体工学分野 —

小山幸平*

本報は、遠隔授業で実施可能な機械工学実験として、流体工学分野における取り組みについて述べる。実験は、ペットボトルの底面に小穴を空け、そこから水が流出する際の水面高さや時間経過を測定する。ベルヌーイの定理、トリチェリの定理および質量保存の法則に基づき実験結果を整理し、考察する。検討の結果、実験結果と理論に基づく予測値に合理性がある結果が得られた。本報の手法は機械工学実験に容易に応用することができる。

(キーワード：機械工学, 流体工学, 遠隔授業)

An Attempt for a Remote Lecture of Mechanical Engineering Experiment — Field of Fluid Engineering —

Kohei KOYAMA*

This paper reports an attempt of experiment of fluid engineering for remote lecture. Water is discharged from a plastic bottle of which has a small hole. Water level and time elapse are measured. Experimental results are discussed by Bernoulli's principle, Torricelli's law and law of conservation of mass. Water level and flow rate of the experiments agree reasonably with those of the laws. The experimental procedure of this paper can be adapted to remote lecture of mechanical engineering course.

(Keywords: Mechanical engineering, Fluid engineering, Remote lecture)

1. 緒論

2020 年は、世界中が新型コロナウイルス (COVID-19) に翻弄された。生活のあらゆる領域が影響を受け、これまでの考えや取り組みを大きく変えなければならないこととなった。

教育においても例外はなく、従来のように教室に学生と教員が会し授業を行うことが困難となった。東京工業高等専門学校においては、緊急事態宣言の発出に伴い、4 月の年度当初からの授業は実施できない状況となった。その後、5 月の大型連休後に一部座学科目によるオンライン授業の開始し、その 1 か月後からは、オンライン授業と対面授業を組み合わせたハイブリット型の授業となった。

従来、実習や実験など実技を伴う科目においては、学生が登校し、実際に作業を行うことが求められる。しかしながら、オンライン授業で学生が自宅にいながら実験科目に取り組むことができれば、感染リスクを下げながら実技系科目の習得をすることができる。

本報では、機械工学の流体工学分野における遠隔授業で実施可能な実験内容および方法を検討し、実際に取り組んだ例を報告する。

2. 理論

2.1. トリチェリの定理

図 1 のように、十分大きい容器に小さい流出口を明け、そこから液体が流出する場合を考える。容器内の液体は、図中の実線で示すように、すべて流出口に向かって流れていくものとし、また、この間に容器内の液面高さは変化しないものとする。液面から小孔までの流れにベルヌーイの定理を適用すると、式(1)が得られる。

$$(p_2 - p_1) + \left(\frac{\rho u_2^2}{2} - \frac{\rho u_1^2}{2} \right) + \rho g(z_2 - z_1) = 0 \quad (1)$$

ここで、液面高さが変化しないことから $u_1 = 0$ であり、また容器が大気開放されている場合、 $p_1 = p_2$ であることを考慮すると、流出口からの流

* 機械工学科

出速度は式(2)となる。

$$u_2 = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

すなわち、流出口からの流出速度は、流出口から液面までの高さだけで決まり、液体の種類には無関係であることがわかる。これをトリチェリの定理と呼ぶ。なお、実際には流出口で損失が見込まれるため、損失係数 c を考慮した式(3)として表され、損失係数の値はおおよそ 0.6 とされる。

$$u_2 = c\sqrt{2gH} \quad (3)$$

2.2. 水面高さが変化する場合

トリチェリの定理においては、容器内の水面高さが変化しないという仮定がなされた。そこで本節では、水面高さが変化する場合を扱う。

図 2 のように、断面積 A' の容器底面に断面積 A の穴が空けられ、水が流出している。時刻 t_1 における水面高さを H_1 、時刻 t_2 における水面高さを H_2 とする。容器の水面が微小時間 dt の間に dH だけ変化したとすると ($dH < 0$)、連続の式より次式の関係が求まる¹⁾。

$$-A'dH = A\sqrt{2gH}dt \quad (4)$$

この式を時刻 t_1 から t_2 にわたって積分すると、水面が H_1 から H_2 まで降下するのに要する時間 $t_2 - t_1$ は式(5)のように表される。

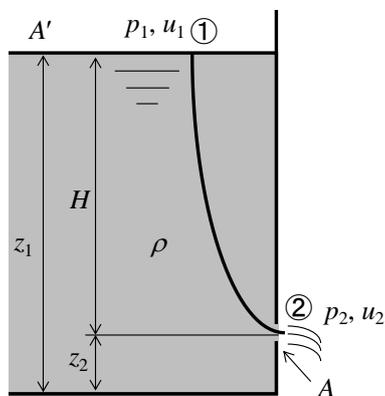


図 1 トリチェリの定理

$$t_2 - t_1 = \frac{2A'}{A\sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (5)$$

なお、流出速度について損失係数 c を考慮する場合は式(6)となる。

$$t_2 - t_1 = \frac{2A'}{cA\sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (6)$$

3. 実験

3.1. 使用機器・道具

ペットボトル (学生が各自で持参), ストップウォッチ, 作業机, 水平台, 水準器, 卓上ボール盤, ドリル, 定規, ノギス, 金やすり

3.2. 実験方法

- (1) 各自で持参したペットボトルの側面に、卓上ボール盤で任意の直径の穴をあける。必要に応じてバリ取りを行う。加工で発生した切りくず等は清掃すること。
- (2) ペットボトル側面にあけた穴の直径を測定する。
- (3) 作業机を準備し、水平台と水準器を用いて水平に設置する。ペットボトから水を流出させる実験を行うため、作業台の設置場所に注意すること。
- (4) 穴を塞いだ状態でペットボトルに任意の高さまで水を入れる。
- (5) 穴を開放し水を流出させる。この時、定規とストップウォッチを用いて水面の高さと時間を測定

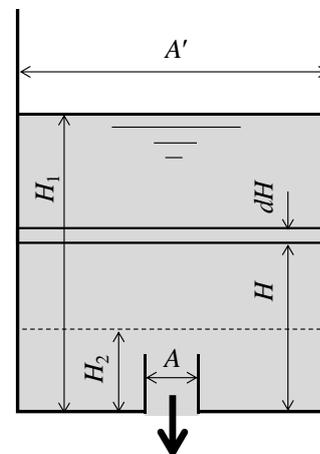


図 2 容器からの液体流出

する。流出の様子をよく観察すること。必要に応じて動画を撮影するとよい。図3に実験概要の模式図を示す。

4. 結果および考察

4.1. 水面高さ

容器からの水の流出に伴い、容器内の水面は時間経過とともに低下する。この水面高さは実験により直接測定することができる。一方、式(5)(6)に基づくと、時間経過に対する水面高さを理論的に予測することができる。前述のように、式(5)(6)はベルヌーイの定理より導いたトリチェリの定理であり、流体工学の理解を深めるための実験であるといえる。

ここでは、著者が授業で実施した際の結果を実験例として示す。飲料水 500 ml 用のペットボトル（直径約 67 mm）に直径 3 mm の穴を小型ボール盤で加工した。実験データの取得には、図4のように、スマートフォンをストップウォッチとして使用し、別のカメラでペットボトルから水が流出する様子を撮影した。得られた動画を確認するこ

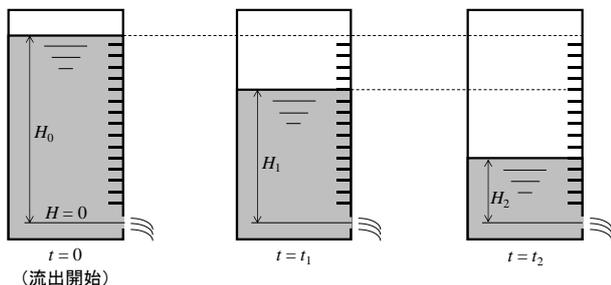


図3 実験の概要



図4 実験の様子

とで時間と水面高さについてのデータを取得した。

図5に、時間経過に対する水面高さの実験データと、式(5)および(6)より求めた値を示す。実験値と計算値はよく一致しており、特に損失係数を考慮した式(6)を用いることで、水面高さを精度よく予測できるといえる。

この実験例においては、水を流出させるための穴の加工に小型ボール盤を用いたが、学生が家庭で実験を行った際には、コンパスの針で穴を開けた。これらの方法は、加工精度や測定精度が不十分ではあるが、本報の目的である遠隔授業で実施可能な実験手法の考案は十分に達成できたものと考えられる。

4.2. 流出流量

容器にあけた流出口から流出する水の流量は、連続の式に基づき、流出口の断面積と水の流速との積で求めることができる。流速はトリチェリの定理で算出できるが、前述のように、トリチェリの定理は水面高さが変化しないという仮定のもとに導出されているため、本実験のように水面高さが時々刻々変化する場合は、何らかの近似が必要となる。

図6は、水の流出に伴い容器内の水面高さが低下する様子を模式的に表したものである。時間 t_1 から t_2 の間に水面高さは H_1 から H_2 へ低下する。そこで、この区間における代表高さとして、平均高さ $(H_1 + H_2)/2$ を定義し、これに基づきトリチェリの定理により流速を求めることとする。

図7に著者による実験結果の例を示す。流出流量の測定では、水面高さを 10 mm ごとに 1 区間として区切り、この区間ごとに流出流量を求めた。水位が 1 区間下がるのに要した時間を測定し、1 区間の体積を要した時間で除することで、1 区間

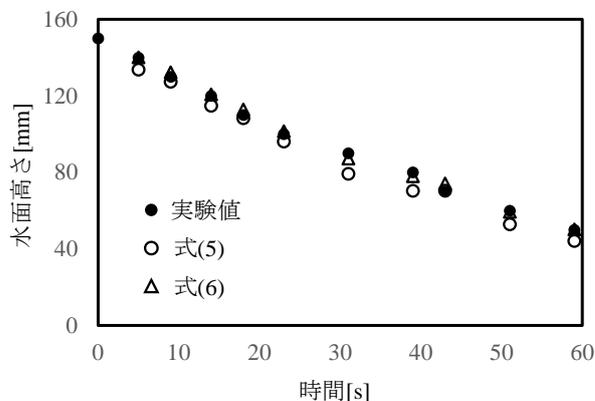


図5 水面高さの変化

の流出速度を算出することができる。これについて、実験値と式(2)および(3)より得られる流出速度と流出穴断面積との積である体積流量とを比較した。

図 7 に示した実験データにはばらつきがみられる。これはペットボトルの形状による影響と考えられる。市販の飲料用ペットボトルは、完全な円筒形状ではなく、くぼみやねじれなど様々なデザインを有している。そのような部分では、水面高さやペットボトルの直径を正確に測定することは困難である。そのために図に示すばらつきの原因となっている。

しかしながら、全体的な傾向としては損失係数を考慮した式(3)の流速を用いることで、実験結果がよく再現されている。流出流量の算出には、流体力学の基礎である連続の式を用いており、本報の目的は十分に達成できたものと考えられる。

5. まとめ

遠隔授業で実施可能な流体力学分野の実験を検討し、実証した。測定精度について不十分な面はみられるが、流体力学の基礎となる概念を体験的に理解するための手法を確立することができた。

謝辞

実験の実施にあたっては、東京工業高等専門学校機械工学科の学生の協力があつた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 生井武文, 国清行夫, 木本知男, 長尾健, 水力学 改定・SI 版, 森北出版.

(2021年1月15日 受理)

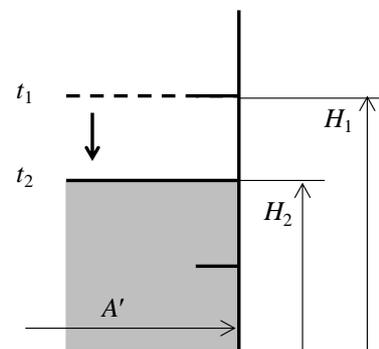


図 6 水面高さの低下の様子

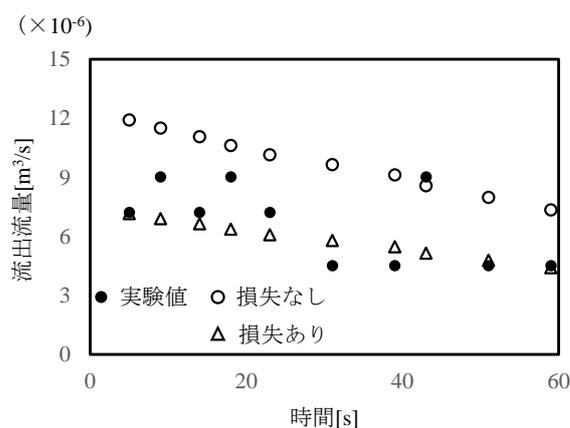


図 7 流出流量の測定

高周波数用リアクトルの作成に向けたシミュレーションモデルの開発と評価

綾野 秀樹*, 山崎 徹*

SiC や GaN などのワイドバンドギャップ半導体を使用した電力用半導体素子が産業製品を始め広く使用されてきている。これらの素子を用いた電力変換器のスイッチング周波数は、Si 半導体素子を用いた変換器よりも高くできるため、理論的にはリアクトルやコンデンサ等の周辺部品を小型化できる。しかし、リアクトルに着目した場合、高周波数で駆動する場合は巻線間に存在する浮遊容量が課題になり、スイッチング周波数を高くすることの妨げになる恐れがある。そこで、本論文では、電磁界シミュレータ JMAG を使用し、空芯リアクトルのインダクタンスと浮遊容量について検討する。特に、巻線方法に対して自由度ある評価ができるように、新たなシミュレーション手法を提案する。さらに、提案手法により導出したリアクトルのインダクタンスが実測結果とよく一致することを示す。

(キーワード: 空芯リアクトル、浮遊容量、高周波、シミュレーション、JMAG)

Development and Evaluation of Simulation Model to Create Reactors for High-frequency Condition

Hideki AYANO*, Tohru YAMAZAKI*

Power semiconductor devices using wide bandgap semiconductors such as SiC and GaN have been widely used in industrial products. Since the switching frequency of the power converters using these devices can be higher than that of the converter using Si semiconductor devices, peripheral parts such as reactors and capacitors can be miniaturized theoretically. However, when focusing on the reactors, the stray capacitance existing between the windings becomes a problem at high frequencies and may hinder the increase of the switching frequency. In this paper, the inductance and stray capacitance of an air-core reactor are evaluated by using the electromagnetic field simulator JMAG. In particular, a new simulation method that enables flexible evaluation of the winding method is proposed. The inductances of the reactor derived by this proposed technique are in good agreement with the experimental results.

(Keywords: zero-sequence voltage, inverter, PM motor, thermal concentration, DC capacitor balance)

1. 諸言

SiC や GaN などのワイドバンドギャップ半導体を使用した電力用半導体素子が産業製品を始め広く使用されてきている¹⁾。SiC は東海道新幹線 N700S や山手線などに搭載されており、電気自動車への搭載も期待されている²⁾³⁾。GaN についても数 MHz のスイッチング周波数で電力変換器を駆動する事例が出始めている⁴⁾。これらの素子を用いた電力変換器では Si 半導体素子を用いた変換器よりもスイッチング周波数を高くできるため、リアクトルの鎖交磁束の低減やコンデンサの電圧リップルの低減を期待できる。また、スイッチング周波数の高周波数化により、ノイズフィルタのカットオフ周波数を高くできるため、理論的にはリア

クトルやコンデンサなどの受動部品の小型化が可能になる。また、ワイドバンドギャップ半導体は耐熱温度が高いことから電力変換器において最も占有体積の大きい冷却装置を小型化することができ、システムの小型軽量化にも貢献できる。

一方で、高周波数で駆動する場合は、寄生インダクタンスや寄生容量(浮遊容量)による悪影響の懸念がある⁵⁾。寄生インダクタンスは、配線等のインダクタンスであり、低周波数の場合はインピーダンスが小さく無視できるが、高周波数ではインピーダンスが大きくなり無視できなくなる。浮遊容量は、電線間やモータの巻線とフレームの間に存在する容量成分であり、低周波数の場合はインピーダンスが極めて大きく開放端みなせて無視で

* 電気工学科

きるが、高周波数ではインピーダンスが小さくなり電流経路となりうる場合がある。さらに、高周波数では、表皮効果により配線の抵抗成分が大きくなる課題もある。

リアクトルに着目した場合、高周波数で駆動する条件では巻線間に存在する浮遊容量が課題になる⁶⁾。電力変換器においては、リアクトルは高調波抑制用のフィルタ部品や、DC/DC コンバータにおける一次的なエネルギーのバッファ素子として使用されている。しかし、高周波数では浮遊容量が高周波電流の経路になる恐れがあり、特性に悪影響を及ぼす恐れがある。

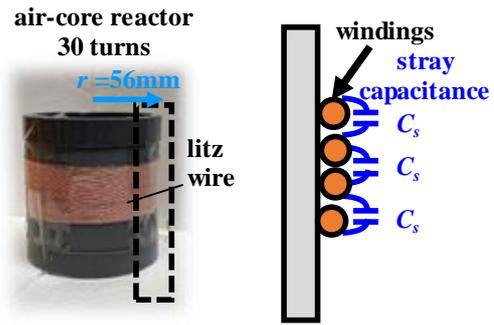
筆者らは、先に、高周波数向けのリアクトルについて、トロイダルコアにガイドを設けて内穴部分の空間を利用した浮遊容量の低減方法を提案し、効果を得ている⁷⁾。しかし、一般的なリアクトルにおいては、鉄心として磁性材料を利用するが、数 MHz 程度の高周波数になるとヒステリシス損などの鉄損が大きくなり鉄心自体の特性劣化が生じてしまう。

そこで、本論文では、鉄心を使用しない空芯リアクトルに対して、電磁界シミュレータ JMAG (JSOL 社製) を使用してインダクタンスと浮遊容量について評価をする。特に、巻線方法に対して自由度を持った評価ができるように同シミュレータを用いた新たなシミュレーション手法を提案し、評価を実施する。

2. 高周波数駆動時におけるリアクトルの課題

図 1 に従来の空芯リアクトルの概要図を示す。図 1(a) は外観写真である。従来のリアクトルの特徴は、巻線を近接して巻回している点である。図 1(b) は巻線部分の断面の概略図である。従来のリアクトルでは、高周波数で用いる場合は巻線間に存在する浮遊容量 C_s が無視できなくなる。

図 2 に従来のリアクトルのインピーダンス特性を示す。ここで、評価した空芯リアクトルは図 1(a) に示すように半径 56 mm の絶縁物にリッツ線を 30 回巻いた構成としている。理想的なリアクトルのインピーダンスは、周波数に比例して増加する。一方、従来のリアクトルの実験結果は 10 MHz 付近に共振点を持つ。空芯リアクトルは、周波数に対して非線形な要素となる鉄心を持たない構成であるが、巻線インダクタンスと巻線間の浮遊容量が共振することで上記の現象が発生する。つまり、高周波数でのリアクトルは、単純なインダクタン



(a) 写真 (b) 断面概略図

図 1 従来リアクトルの概要図

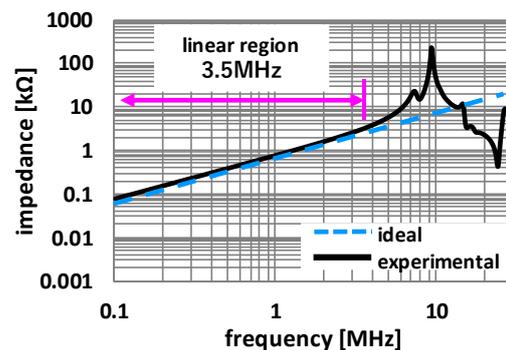


図 2 従来リアクトルのインピーダンス特性

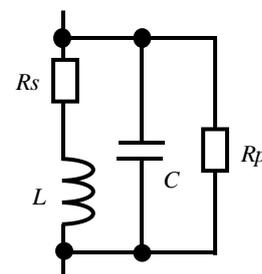
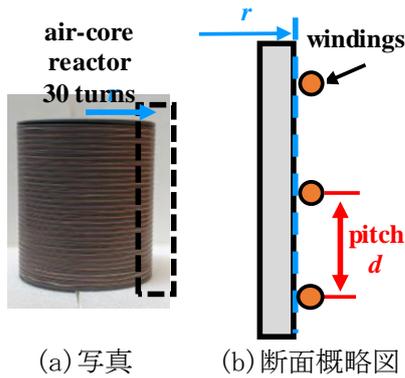


図 3 等価回路

スではなく、図 3 に示すような共振形の等価回路で表されることになる。ここで L はリアクトルのインダクタンスであり、 R_s は直列抵抗分(高周波数による表皮効果も考慮した銅損成分)である。また、 C は線間の浮遊容量を等価的にまとめた容量成分であり、 R_p は並列抵抗成分である。

図 2 において、インピーダンスの線形性が保たれている範囲が純粋なインダクタンスとして見なせる領域である。そこで、100 kHz の場合のインダクタンス(ここでは、123 μH)を基準に $\pm 20\%$ の範囲のインダクタンスまでを純粋なインダクタンスと定義すると、その周波数範囲は 3.5 MHz となる。この周波数を超えるとインピーダンスは急激



(a)写真 (b)断面概略図
図4 供試リアクトルの概要図

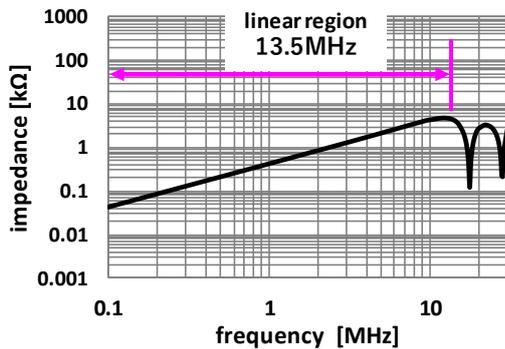


図5 供試リアクトルのインピーダンス特性

に変化し、純粋なインダクタンスとして使用することは難しくなる。

3. シミュレーションを用いた空芯リアクトルの評価

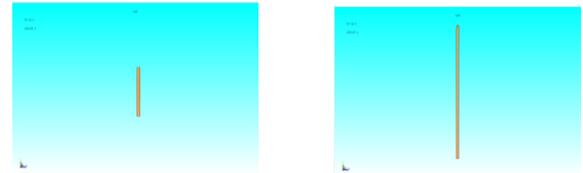
3.1. 巻線間隔を設けたリアクトルの評価

浮遊容量の影響を低減するために、巻線間隔を設けたリアクトルについて評価する。図4に検討する供試リアクトルの概要図を示す。図1(a)は外観写真であり、絶縁体に溝を設けて一体間隔でリッツ線を巻回する構造にしている。図1(b)は巻線部分の断面の概略図であり、巻線間の距離を d とする。平行2電線における単位長さ辺りの静電容量は、

$$C = \frac{\pi \epsilon_0}{\log_e \left(\frac{d}{2a} + \sqrt{\frac{d^2}{4a^2} - 1} \right)} \dots (1)$$

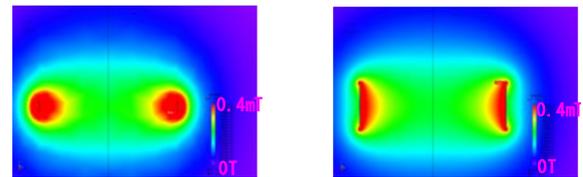
と表される⁶⁾。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率であり、 a は電線の半径を表す。(1)式より、 d の増加によって C は小さくなることが判る。

図5に供試リアクトルのインピーダンス特性を



(a) $d = 1.62$ mm (b) $d = 4.0$ mm

図6 巻線断面モデル



(a) $d = 1.62$ mm (b) $d = 4.0$ mm

図7 磁界解析結果

示す。ここで、供試リアクトルは巻線間隔 d を4 mmとし、コイル半径および使用する電線は図1の従来リアクトルとは同じ条件にしている。図5より、巻線間の浮遊容量を小さくすることで共振周波数を高周波数化することができ、純粋なインダクタンスと見なせる周波数範囲を13.5 MHzに広げることができる。しかし、この場合はソレノイドコイルの単位長さ辺りの巻き数が減少するため、長岡係数による効果でインダクタンスが64.1 μ Hとなり、図1の従来リアクトルと比較すると半減する。巻線間隔 d に対するインダクタンス、および、静電容量については、次節以降で詳細に検討する。

3.2. インダクタンスのシミュレーション評価

電磁界シミュレータ JMAG を使用し、コイル巻線のインダクタンスを評価する⁸⁾。本節では図1, 4と同様に、半径56 mmの絶縁物に巻線を巻くことを想定した空芯リアクトルモデルで評価する。ただし、解析負荷の軽減のために巻数は10巻とする。JMAGでは、ソレノイドコイルに対して有限要素法を用いた2次元解析により磁界解析を実施できる。

図6に巻き線断面図のモデルを示す。図6(a) (b)は、それぞれ、 d が1.62 mm, 4.0 mmの場合の巻き線断面モデルであり、ソレノイドの中心軸から線対称の2次元モデルとなっている。長方形の幅は電線径に相当し、高さはソレノイドの長さに相当する。巻数および巻線に流す電流値は別に指定で

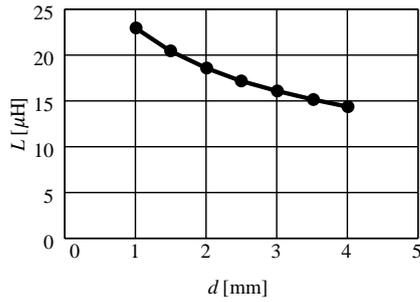


図 8 d をパラメータとしたインダクタンス特性

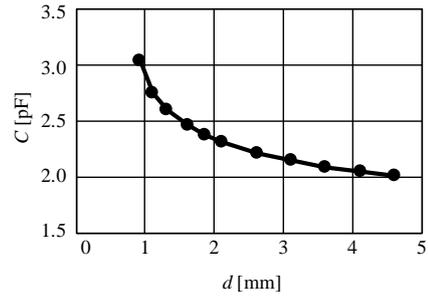
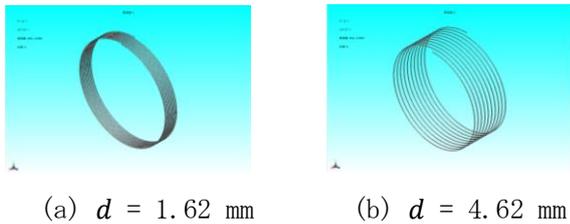
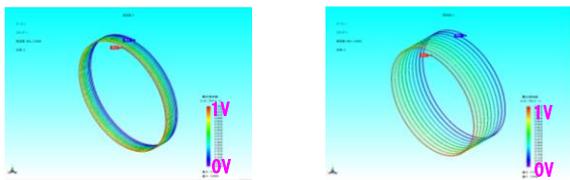


図 11 d をパラメータとした浮遊容量特性



(a) $d = 1.62$ mm (b) $d = 4.62$ mm

図 9 巻線形状モデル



(a) $d = 1.62$ mm (b) $d = 4.62$ mm

図 10 電位分布解析結果

きる。図 7(a) (b)は図 6 のモデルに対して 1.0 A の電流を流して磁界解析を実施した結果である。赤色の部分は磁束密度が大きいことを示している。このシミュレーションによりコイルに鎖交する磁束量を導出できるため、電流ととの関係からインダクタンスを算出できる。

図 8 に d をパラメータとした場合のインダクタンス特性を示す。 d が大きくなるほどインダクタンスは低減することが確認できる。

3.3. 浮遊容量のシミュレーション評価

本節では、電磁界シミュレータ JMAG を使用し、コイル巻線の浮遊容量を評価する⁹⁾。本節でも解析負荷の軽減のために 10 巻きの空芯リアクトルモデルで評価する。JMAG では、有限要素法を用いた 3 次元解析により電界解析を実施できる。

図 9 にソレノイド巻線のモデルを示す。図

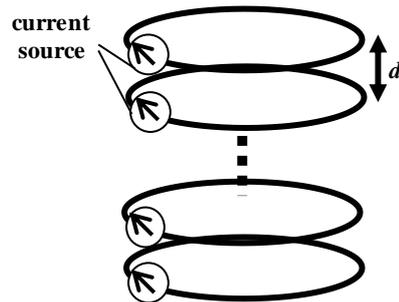


図 12 新しい巻線モデルの概要

9(a) (b)は、それぞれ、 d が 1.62 mm, 4.62 mm の場合の巻線形状モデルである。コイル半径、電線径、線間距離、巻数を設定してモデルを作成する。図 10(a) (b)は図 9 のモデルに対して 1.0 V の電圧を与えて電位分布解析を実施した結果である。図 9 のモデルでは周回によって電位が変化し、隣接する巻線間に電位差が発生する。この電位差に対し、空間的形状から変位電流を導出する。さらに、電圧源と変位電流の位相差より寄生容量を算出できる。

図 11 に d をパラメータとした場合の浮遊容量特性を示す。 d が小さくなると浮遊容量は急激に増加することが確認できる。図 8, 11 の結果より、 d を大きくすることで浮遊容量は小さくできるがインダクタンスも小さくなり、トレードオフの関係にあることが判る。

4. インダクタンスの径方向特性に関する計算手法の提案

4.1. 新計算法

図 12 に新しい巻線モデルの概要図を示す。図 12 においては、巻線間距離をそれぞれ d だけ設けた 1 巻きコイルを巻数分だけ並列に配置した構成とする。さらに、それぞれの巻線には同一電流

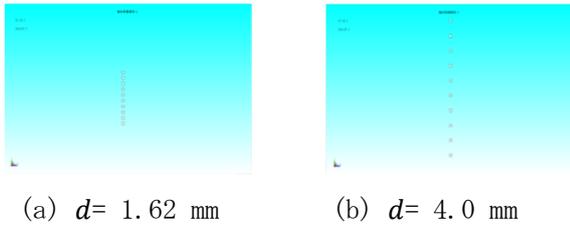


図 13 巻線断面モデル

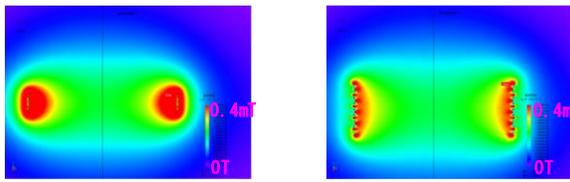


図 14 磁界解析結果

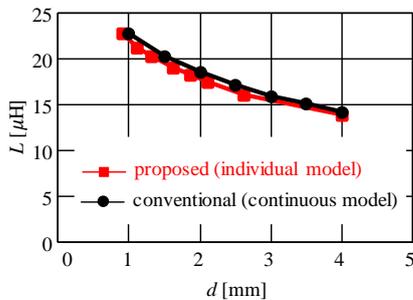


図 15 d をパラメータとしたインダクタンス特性

値の電流源を接続した二次元モデルとする。このモデルにおいては、巻線の旋回を模擬できないため誤差が生じる恐れがある。しかし、コイル半径に対して巻き線間距離が十分に小さい場合は、その誤差は極めて小さいと考える。これにより、周回毎のコイル半径を自由に調整できる。以下では、提案手法に対するインダクタンス値の検証を実施する。

図 13 に巻線断面図のモデルを示す。図 13(a) (b) は、それぞれ、 d が 1.62 mm, 4.0 mm の場合の巻き線断面モデルであり、図 6 (a) (b) のコイルと同じ条件である。図 13 では 1 巻き毎の巻線モデルを 10 並列にしており、並列巻線間の巻線間隔を設定している。また、それぞれの巻線には同一の電流を流している。図 14 (a) (b) は図 13 のモデルに対して磁界解析を実施した結果である。赤色の部分は磁束密度が大きいことを示している。図 7

表 1 リアクトルの実測結果とシミュレーション結果

d [mm]	L_{ex} [μH]	L_{cnt} [μH]	L_{pro} [μH]
2.5	89.9	88.1	84.7
3.0	80.7	78.6	75.6
4.0	67.2	64.9	62.8

と図 14 を比較すると巻線間の磁束分布の様子やコイル外部の磁界分布が僅かに異なる。特に、 d が大きい場合には巻線近辺の分布が若干異なることが判る。しかし、全体的な磁束分布はほぼ同一になることが確認できる。

図 15 に、図 6 の手法と図 13 の提案手法について d をパラメータとしてインダクタンス特性を評価した結果を示す。図 6 の手法(連続的な巻線モデル)のインダクタンス値に対して図 13 の提案手法(個別巻線モデル)のインダクタンス値は全体的に数 μH 程度小さくなるが、ほぼ同一の特性になっていることが判る。したがって、提案手法のように巻線を個別に分けたモデルにおいても従来方法と同様のインダクタンス解析ができると考える。

4.2. 実測結果との比較

表 1 に、コイル半径 56 mm, 巻線数 30 巻きのリアクトルで、 d を 2.5 mm, 3.0 mm, 4.0 mm とした場合のインダクタンスの実測結果 L_{ex} , 連続的な巻線モデルのシミュレーション結果 L_{cnt} , 提案法によるシミュレーション結果 L_{pro} をそれぞれ示す。提案法のインダクタンス値は、いずれの巻線間隔 d においても実測結果および連続的な巻線モデルのシミュレーション結果よりも僅かに小さくなる。ただし、その誤差は 7 %程度であり、良好な結果であることが判る。したがって、個別巻線を並列に設けた提案手法によるシミュレーションにおいても良好に評価ができることを確認した。

5. まとめ

本論文では、鉄心を使用しない空芯リアクトルに対して、実測および電磁界シミュレータ JMAG によりインダクタンスと浮遊容量について評価を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- 空芯リアクトルは、周波数に対して非線形な要素となる鉄心を持たない構成であるにもかかわらず、巻線間の浮遊容量と巻線インダクタンスにより共振現象が起こることを明らかにした。
- ソレノイド型の空芯リアクトルは、巻線間隔を大きくすることで浮遊容量は小さくできるがインダクタンスも小さくなり、トレードオフの関係となる。
- 巻線方法に対して自由度を持った評価ができるように、個別巻線を巻線数だけ並列に配置する方法を提案した。提案法で評価したインダクタンスは実測結果、および、従来の紫綬レーション法と比較して、7 %程度誤差であり、良好に評価できることを明らかにした。

今後は提案法を用いてコイル半径を周回毎に変化させた形状のリアクタンスを製作し、評価を実施する予定である。

- S17(9), 2018 年
- 6) L. Middelstädt, S. Skibin, R. Dobbelin, A. Lindemann: Analytical determination of the first resonant frequency of differential mode chokes by detailed analysis of parasitic capacitances, 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications. EPE-ECCE Europe 2014.
 - 7) H. Ayano, A. Fujimura, and Y. Matsui: Improvement of high-frequency characteristics of small-size toroidal reactors with new wire guides, IEEJ Journal of Industry Applications, vol. 8, no. 4, pp. 615-622, 2019.
 - 8) JMAG Application Note 空芯コイルのインダクタンス解析, JSOL Corporation
 - 9) JMAG Application Note コイルの浮遊容量の解析, JSOL Corporation

謝辞

本研究の一部は、2020 年度日本学術振興会 科学研究費補助金基盤研究(C)「電力変換装置用リアクトルの高周波数適用に向けた空間的巻線実装技術の研究」の援助により行われた。

(2021年1月5日 受理)

参考文献

- 1) X. She, A. Q. Huang, O. Lucia, B. Ozpineci: Review of Silicon Carbide Power Devices and Their Applications, IEEE Transaction Industrial Electronics, Vol. 64, No. 10, pp. 8193-8205, 2017.
- 2) 加藤洋子, 柴田健, 横山啓之: E235 系の主回路システムの紹介, JR East Technical Review, No. 51, pp. 41-44, 2015 年
- 3) 田中政一, 蛭間敦之, 梅田敦司, 大木島俊, 谷恵亮, 井村彰宏: デンソーにおける車両の電動化技術, DENSO TECHNICAL REVIEW, Vol. 22, pp. 9-20, 2017 年
- 4) 藤井健太, 三島智和: 2MHz GaN パワートランジスタ E 級高周波インバータの寄生容量非線形特性に関する考察, 平成 30 年電気学会全国大会, 4-026, p. 40, 2018 年
- 5) 野村勝也, 千田忠彦, 安井健治: シミュレーション技術動向～部品モデリング～, 平成 29 年電気学会全国大会, 4-S17-3, pp. S17(6)-

拡張アダプティブモバイルマルチホップネットワーク

田中 晶*, 池田 凜音*, 石田 一翔*, 伊藤 瑠也*, 小泉 夏椰*,
多田 桃大*, 谷崎 栄俊*, 中村 悠哉*, 日高 諒久*

遠隔システムが急速に普及を見せる中、あらゆる人にとって情報発信や情報収集の量や機会が増大し、今後一層効率的な情報のパーソナル化の仕組みが求められる。一方で、グループウェアやクラウドシステム。リモート/オンラインコミュニケーションツール類は、大規模なサイトで構築されるケースが殆どで、個人やグループの環境や目的にマッチしたデータ交換システム設計につながる潮流は見られていない。情報通信研究室（田中研）で設計を進めてきたリアルタイムビッグデータ機能では、身近な素材を用いて、防災、さらに普段の生活・生産活動等の様々な用途への利用を目指している。本システムは、誰でも気軽に移動体通信システムを設計できるマルチホップ通信を基盤にし、個人であっても容易に入手できる装置類を用いて、いつでもどこでも目的にあわせたネットワークを設計できるような要素技術とフレームワークが提供される。本稿では、利用の範囲を広げる、シンプルな制御手順に基づく群ドローン、身近な小型 CPU を用いたセキュアルーティングによるマルチメディア仮想プライベートネットワーク、ビッグデータ収集とその処理に不可欠なプッシュ型データ交換とネットワーク共有メモリ/データベースと、広域実ネットワークや移動体制御と協調するエミュレータ、設計に用いる汎用プログラミング言語トレーナについて述べる。

(キーワード: モバイルマルチホップ通信, 共有メモリデータベース, 群ドローン制御, ルーティング, エミュレータ, プログラミング教育)

Enhanced Adaptive Mobile Multihop Networks

TANAKA Akira*, IKEDA Rio*, ISHIDA Kazuto*, ITOH Ryuya*,
KOIZUMI Kaya*, TADA Touta*, TANIZAKI Hidetoshi*,
NAKAMURA Yuya*, HIDAKA Riku*

Remote systems become widely used and information transmission / collection affects all people's everyday life as well as industrial and social activities. In such circumstances, we need basic systems for simply grasping chaotic quantity of information around people. Most groupware products, cloud services, and remote / online communication tools are developed with large scale data management site and large network frameworks. And still now, it is difficult to adapt network systems to environment surround each user group or each individual usage of information exchange. We information communication laboratory (Tanaka lab.) have developed a kind of real-time big data function focused on disaster prevention, industrial and daily activities, researching a meshed real-time big data network systems so as to gather and analyze various data around us. This system – based on multihop network systems with which every people can easily develop mobile networks – consists of familiar devices such as small processors, microcomputers, smart phones, commercial drones, easily reconfigurable devices (FPGA), Bluetooth, WiFi, UHF, infrared ray (IR), and so on. In this article, we discuss network component functions for the multihop systems recently developed in our lab.: simply controllable group drones, multimedia VPN multihop networks with mini CPU, mobile database linked Push-service, emulators collaborative with wide area real networks and mobile devices, and programming teaching materials for practical coding as well as for programing education.

(Keywords: mobile multihop communications, shared memory database, group drone control, routing, emulator,

*情報工学科

programming education)

1. はじめに

1.1. 遠隔の普及情報共有とマルチホップネットワーク

遠隔地とのコミュニケーションがにわかに広くいきわたり利用されつつある中、例えば、今後も遠隔授業の形態が何らかの形で残る可能性がある等ともいわれるように、日常の中でも地理的な隔たりが意識されない場面が一層増えると想定される。すなわち、これまでは容易には得にくかった離れた場所の情報がコミュニケーションツールを通して大量に身近に存在し得る状態になりつつある。今日の情報交換は遠隔ツールに限らず大規模なクラウド/データサイトをベースにするシステムが多数であり、利用者はこれら大型サービスプロバイダから提供される機能を選択し必要なコミュニケーションツールとして使用する場合が多い。一方で周知のとおり小型プロセッサボードやマイコンなどの可搬可能な CPU は市中に大量にいきわたり、プログラミング教育の普及と相まって誰でも自分でシステム設計が可能になる時代も近くなりつつあると思われる。

情報通信研究室(田中研)では、小型プロセッサ/マイコン、スマートフォンなどの携帯端末、再構成可能デバイス(Field Programmable Gate-array (FPGA)), 移動体(ドローン/小型ロボット)を用い、最適ルーティングや自律拡張、データ共有、マルチメディア通信、セキュリティ、

ネットワーク仮想化などの機能を備えた身近なマルチホップネットワークの設計を重ねてきた^{1,2)}(図1参照)。これらネットワークは、身近にある素材で設計できて、サービスのみならずネットワークシステム自体も使用者自ら構築し、望む人たちが望む場所間での手軽な情報共有の実現に大いに有用なネットワーク素材となっている。情報伝達を主目的とした従来型ネットワークから発展し、移動セル型の情報共有の基盤であり、その場の環境に適合した最適な構成が可能となる。

1.2. 拡張ネットワークの構成要素

当情報通信研究室(田中研)では、マルチホップネットワークの研究に加えて、ここ十年来、年1,2度の機会を頂いて小学生を対象としたインターネット/高級言語プログラミング教育の実践も継続してきた^{2,3,4,5)}。2012年度より毎年夏に八王子市小学校科学研究センターの小学生を対象としたインターネット講座を担当させて頂いており、小学校への出前授業、Raspberry Pi や FPGA を用いて Python, 画像認識, CPU 構造などに関する小学校教員を対象の講習会等も実施した^{2,3)}。これらも踏まえて今年度は高専新入生向けのツールへの発展も目指している^{6,7)}。設計した教材は高級言語を対象としていて、初心者/初学者でも“自前のマルチホップネットワーク”設計に使われるプログラミング言語を使いこなす近道にもなる。

本稿では、最近の成果を中心に、これまでに設

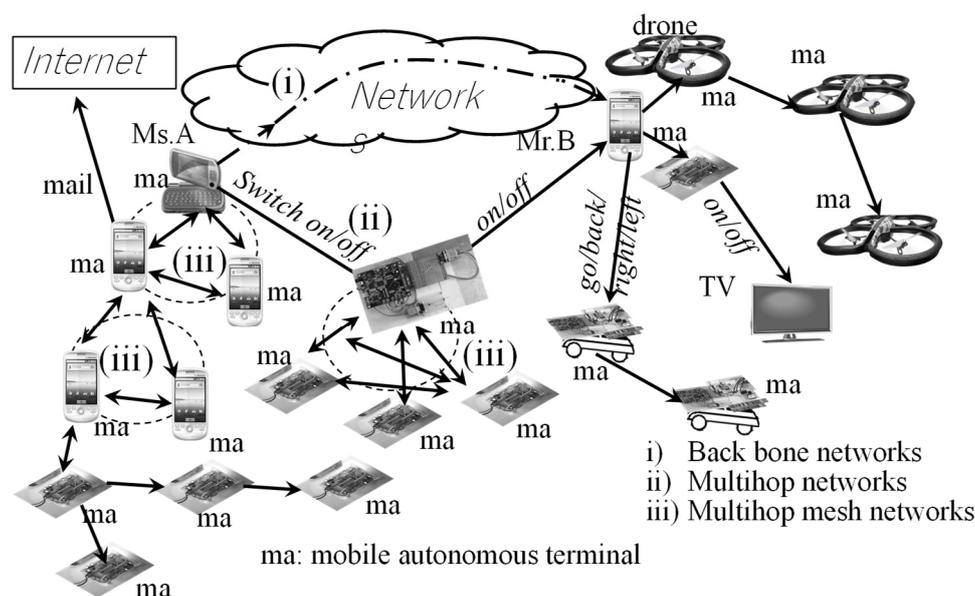


Fig. 1 Locally exploitable heterogeneous multihop networks

計した最適伝送媒体マルチホップネットワークの構成要素と移動セル型の情報共有の基盤（拡張アダプティブモバイルマルチホップネットワーク）を論じ、さらに、プログラミング教材の設計について述べる。2章で前方ドローンを自動追尾しマルチホップネットワークを拡張する移動位置推定型群ドローン制御や位置検出型群ドローンの机上仮想化、3章で仮想制御を備えた広域マルチホップネットワーク、4章でプッシュ型情報共有システム、5章でセキュアなマルチメディア伝送を行うマルチホップ仮想プライベートネットワーク、6章で共有メモリを備えるFPGAによる分散プロセッシング、7章でシステム構築にも用いるプログラミング教材について述べ、7章でまとめと今後の展望について触れる。

2. 位置検出による群ドローン制御

2.1. 画像認識による方法

電波が直接かないような遠方の入り組んだ場所や、災害現場など人の立ち入りが困難な場所での調査端末としてマルチホップ通信を行ったドローンを使用し、新しい先頭追従型制御方法として、OpenCV⁸⁾を用いたリアルタイム画像認識によって先頭ドローンに着けたARマーカを認識させ、追尾をさせる。先行研究^{1,2)}では離陸、直進、ホバリングが完成し実証されている。これをより拡張しドローン⁹⁾の追尾を上下左右に対応させ完全な追尾の完成を目標にしている¹⁰⁾。OpenCVとは、オープンソースのコンピュータビジョン向けライブラリの中で、コンピュータで画像や動画を処理するのに必要な様々な機能が実装されており、マルチプラットフォーム対応もされているため、幅広い場面で利用されていることが特徴である。研究では、OpenCVのライブラリであるArUcoを

使用する。このマーカは、白黒の二色のみで容易に扱うことができ、ドローン本体を検出するよりも高い精度で検出できて手軽で正確な認識が可能である。このマーカを各ドローンの後部に取り付け、後ろのドローンのカメラでマーカを検出することで先行しているドローンを認識しているため、ドローンが画面から外れる前に方向推定して角度を変える。最近の実証状況を示す。

<実証1> ドローンのカメラを制御してマーカ間の座標や、最大認識距離などを計測する。実験には2つのドローンを使用し、追尾対象ドローンの後部にはARマーカを貼り付ける。実際の使用を想定して2つのドローンを飛ばした。出力結果は図2に示す。当面は機能実証のみで十分であり、最大計測距離約5.25mとして屋内で実施した。またマーカを添付した状態でも飛行に支障ないことが確認されている。

<実証2> 上記1で得られるデータを元に前進、後進などを指示する制御プログラム²⁾を参考に自在な方向制御が可能になる改良を行った。現時点では図3に示すように、1.5m~2.0mの間：ホバリング、1.5m以下まで近づいた場合：後進、2.0m以上離れた場合：前進、が機能している。前方ドローンのマーカが画面から外れた場合は、直前のマーカ検出結果の変位に基づき前方ドローンの移動方向を推定し発見するシステムも実装する。

2.2. 信号検出による方法

先行研究では、前方のドローンと同じコマンドを後方のドローンで実行するコマンド再生方式や探索型¹¹⁾、前方のドローンに貼り付けられたマーカを検出して追尾するマーカ追尾型^{1,2)}などで追尾を行っていた。そこで遅延が小さく天候に影響されない新しい自動追尾方法の実現を目指す¹²⁾。また、群ドローン制御のシステムを実際の災害現

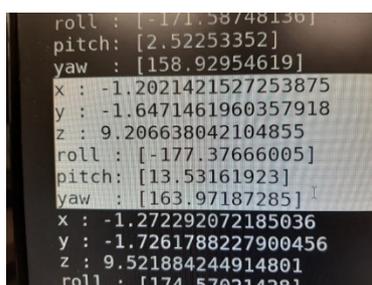


Fig. 2 Sensed marker information from drone

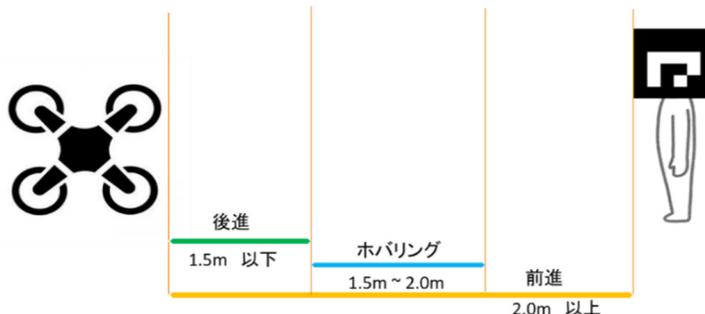
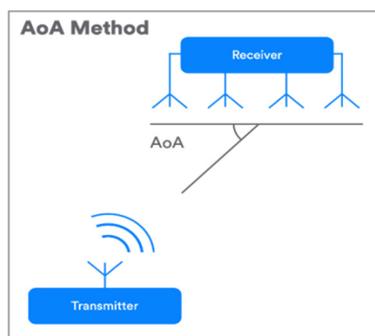


Fig. 3 Experimental result of enhanced drone control

Fig. 4 Angle of Arrival (AoA)¹³⁾

場等で運用する際の問題点を事前に予測することは重要であり、先行研究で設計された UHF 通信用エミュレータ²⁾をもとに、高速飛行に適用できる移動体制御エミュレータの設計も行った¹²⁾。

<信号検出による自動追尾> Bluetooth 5.1 より追加された方向検知機能¹³⁾である、Angle of Arrival (AoA)方式を用いる。AoA 方式とは、送信側で正弦波を送信し、受信側は複数のアンテナで構成したアンテナアレイで受信した正弦波の位相差から角度を推定する方式である。イメージを図 4 に示す。コマンド再生方式の場合、風の影響を受けドローンの位置にずれが生じると想定外の衝突・墜落をする可能性がある。そこで、方向検知機能を用いて前方のドローンからの電波の角度から方向を推測し、自動追尾するシステムを開発する。方向検知機能で前方のドローンの方向を推定し、電波強度を一定の値に保てるようにドローンの速度を設定して前方ドローンを追尾する。

<移動体制御エミュレータ> 通常時には建物密集地域等の屋外でドローンを飛行させるのは難しく、屋内だけで現場の状況を想定した移動体制御を再現できるエミュレータの開発を行った。エミュレータの設定画面を図 5 に示す。これまでに、端末間の遅延や前方の端末の電波強度と角度の設定と、通信の接続・切断の機能の設計を行い、ユーザが使いやすくなるよう UI の改良を進めている。

3. 仮想制御と広域マルチホップネットワーク

現在一般的に普及している携帯連絡網を用いたデータ通信手段は大規模災害発生後 100 時間で利用できないとされている。そのため、公共機関や地方自治体では、簡易・業務用防災無線や、デジタル MCA 無線等が利用されているが、公共性の高い事業者専用で一般では利用できなかったり、

id	delay(backward) [ms]	delay(forward) [ms]	RSSI [dBm]	angle [degree]	connection	velocity		
						x	y	z
controller	-	1000	-	-	-	-	-	-
device4	1000	1000	-40	90	DISCONNECT	0	0	0
device3	1000	1000	-40	90	DISCONNECT	0	0	0
device2	1000	1000	-40	90	DISCONNECT	0	0	0
device1	1000	-	-	-	DISCONNECT	0	0	0

SET TABLE SET DELAY

Fig. 5 Group drone control emulator (setting screen)

事前申請が必要だったり、災害時に即座に利用できるものとは言い難い。当研究室では一昨年、Arduino を用いた特定省電力無線のマルチホップメッシュネットワークシステムが開発されている¹⁴⁾。このシステムの実用化を想定して評価するメッシュネットワークエミュレータが開発²⁾されており、さらに広範囲のネットワークエミュレーションを実現するため改良を行っている。加えて一昨年度の研究¹⁴⁾を基にした最適化ルーティングシステム²⁾との結合も行った¹⁵⁾。

最適化ルーティングシステムでは各端末の輻輳時間に基づく最適ルートでメッセージの送信を行う。輻輳による遅延も避けたルートで目的端末へメッセージ送信が行える。また、同システムで実装されていたネットワークの状態を可視化監視するウィンドウも組み込んだ。これにより、エミュレータのテーブルでネットワークの構築を行い、実際のネットワークの様子をウィンドウ上で視覚的に確認できる。これによって、周囲の無線環境による物理的な影響だけでなくアクティブな処理である負荷（トラヒック）による影響ともに反映したマルチホップネットワークの実機制御とそのバーチャル化が実現できている。

今後は IP ネットワークに接続し、図 6 に示すようにエミュレータと実マルチホップネットワークを IP ネットワーク経由で接続する。PC Appl.を親機に接続し、PC アプリケーション上から遠隔で Arduino 端末¹⁴⁾ (図 7) のログ確認や、コマンドの送信も行える改良を行う。Ethernet シールドが搭載されたデバイスからネットワークに接続し、遠隔地のデバイスとネットワークを構築している。遠隔地にある端末群ともネットワークを構築してエミュレーションができる予定である。

4. プッシュ型情報共有システム

連絡やコミュニケーションの手段として一般的なものとして、パソコンやスマートフォンがあげられる。特にスマートフォンの所持率は総務省の調べによると 2018 年に個人で 67.6%¹⁶⁾である。ま

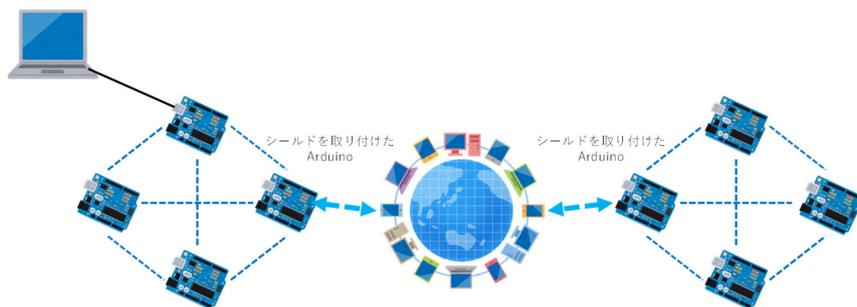


Fig. 6 Synchronous Virtual and real wide-area multihop networks



Fig. 7 Terminal

た, 新型コロナウイルスによって世間での検温など, 健康に関して関心が強くなっている。そこで, 学校などの施設を対象に体温管理用のアプリケーションの開発と, そのデータ管理用の自律データベースの研究を行っている¹⁷⁾。先行研究²⁾の課題点としてユーザが自らデータベースを選択し, 生成・追加を行う必要があった。これによって, データベースが煩雑になってしまうことが予想される。この課題を解決するために, データベースを自律的に管理し, 最適化を図るシステムを開発する。

先行研究で作られたネットワークの概略は図 8 であり, android 端末で Bluetooth Low Energy (BLE) のネットワークを構成している。親機同士で分散型データベースをなし, そこに子機からアクセスしてデータベースを操作するシステムである。開発言語は Java とデータベースに SQLite を用いていた。この先行研究で用いられていたネットワークと言語を利用し設計をしている。BLE が保証されている android4.0 以降の OS のスマートフォンとしている。

柔軟なデータベース構成を得るため, 特にデータベース自律生成をコンテンツベースで行える設計としている。データ統合の判断材料として辞書型データを予め準備している。データ素材としては

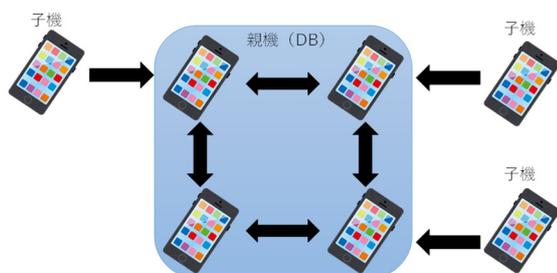


Fig. 8 Multihop networks with distributed database

検温サンプルを用いているので, 検温のために赤外線カメラを搭載した FLIR ONE Pro¹⁸⁾を用いる。このセンサを利用するのは, 計測可能範囲は-20~400°Cであり, 精度は±3°C (15~35°Cの環境)で計測でき, android 端末に接続できる。また, アプリケーションの簡易的な起動, 子機の BLE の起動・接続のために NFC タグを用いる。これによって, アプリケーションを使用するにあたって必要な操作を NFC の起動のみにすることができる。システムの概略は図 9 に示す。本システムにより, 部屋やあるエリアに入ったり近づくだけで検温され, そのデータ或いは関連データなどがデータベースと送受されて自動的に自分の持つスマートフォンに表示される。

5. マルチホップ仮想プライベートネットワーク

まだ記憶にも新しい災害などでは特に通信障害時のコミュニケーション手段の確保が必要とされている。このような状況解決も目的の一つとして, 情報通信研究室 (田中研) では Android 端末を用いて複数経路のマルチホップ通信を行い, データ分割して送受信する研究が行われてきた^{1,2,19)}。しかし, 分割と再結合はエラー時の再送手段が複雑化するため, データ分割せず暗号化とマルチホッ



Fig. 9 Information shearing on Push-service networks

ブ通信に適した Virtual Private Network (VPN)により安全性を担保する通信を研究に取り組んだ(図 10 参照)。また、従来の研究室で実現されてきた送信可能なデータに加え大容量動画(マルチメディア)の送信・再生対応を目指す。これにより、緊急時に重要性の高い情報をより視覚的に取り扱えるようになる²⁰⁾。

マルチホップ通信では基地局やアクセスポイントを必要としないため、ネットワーク障害があっても通信が可能である。一方、データの送受信の際に第三者端末を経由する場合があります、セキュリティ確保が不可欠である。従来の研究では分割されたデータを受信し、受信機側で復元していたが、今回 VPN を用いて安全な通信経路を確保した上で、データを暗号化し通信を行う。

小型ながら高速に処理が行える Raspberry Pi を用いて開発をしており、言語は Python である。過年度研究でマルチホップ通信及び複数経路分割による開発がされているため、その機能の移行及び機能の追加・改良をする形で進めている。従来のスマートフォンを端末とした経路分割によるセキュリティでは経路と端末数が増加すると通信時間が数十秒程度かかってしまう。暗号化はよく知られた手法のため実装するが、暗号化・復号化に時間をかけずにすむ工夫も取り入れた。さらに、

VPN の基本構造を採用しトンネリング・暗号化・承認の仕組みを構築しより強固なセキュリティとした。また、Raspberry Pi は比較的执行速度が速いため経路分割の先行研究を図 11 のように拡張する形で、テキスト及び画像の送受信に加えて動画及び任意のファイルの送受信を実装した。動画についてはフレーム単位に分割した上で経路数分フレームを分割して経路に送信する。端末数を現在の 4 台から経路数や接続数を増やし拡張する予定である。

6. 共有メモリと分散プロセッシング

日常のコミュニケーションはスマートフォン等を用いるのが一般的である。しかし災害時には通信機器の障害や、アクセス集中等の原因で正常に通信が行えない場合が多く、その結果多くの人々が適切な情報を得られない。このような場合でも被災者などが危険な地域をいち早く把握したり、自分の安否を知らせることを可能にしたりするための共有メモリを用いたマルチホップネットワークの情報伝達システムの研究を行ってきた^{1,2)}。図 12 の各端末(図 13)は共有メモリで結ばれていて被災情報 A/B/C/D をリアルタイムで互いに共通利用できる。最適な伝送媒体を選択する機能も有し^{1,2)}。特定小電力無線通信や赤外線通信など複数通

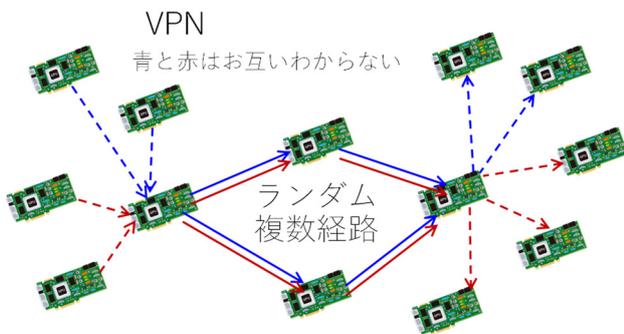


Fig. 10 VPN on Multihop networks

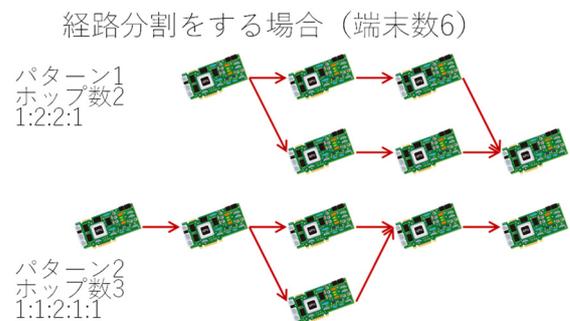


Fig. 11 Security with multiple multihop routes

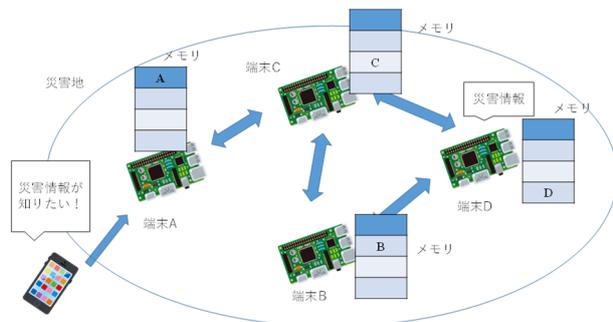


Fig. 12 Shared memory on multihop network

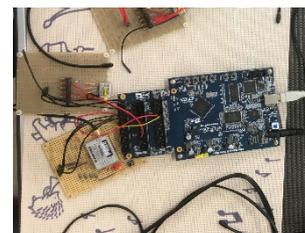


Fig. 13 Terminal

信手段を用いて通信路を構築したマルチホップネットワークを提供するシステムとなり, 大規模な設備を必要とせず安定した通信が実現できる。先行研究として FPGA と UHF 無線を用いたメッシュネットワークや VPN の作成, ルーティングシステム, 共有メモリシステムの開発が行われている^{1,2)}。機能としては完成しているもの独立して設計されているものも多く, 統合が一つの課題となっている。また自動ルーティングの中には局所的な自動ルーティングを順次伝搬させ方式をとっている者も多いため広域的な自動ルーティング機能の完成を目指している。これまで共有メモリを用いて複数の端末があたかも一つのメモリを構成するように設計されており, 小型端末では不足するメモリを互いに補い大規模な一つのメモリとして動作するシステムが作られている。また, 共有メモリを用いて誤り率 (BER) などを用いた端末移動予測やマルチホップネットワークで発生する多量の制御データを縮退するシステムも完成している。他種類の最適ルーティング機能を持つため, 選択可能にする必要性も残っている。特に昨年度の研究²⁾をベースに, FPGA を複数台用いた共有メモリシステム上の処理 (主として演算機能) を完成し, 演算などに適したルーティングを実装する。災害時に適用した際に想定外の配置となっても最低限のルーティングができる自動ルーティングテーブル作成機能を作成し動作実験を行った²¹⁾。自動ルーティングを実現するには通信プロトコルは独自のものを用いている。

7. プログラミング教材

7.1. 二つの視点から

高専では『ものづくり基礎工学』や『プログラミング言語』など, プログラミング未経験者の学生でも取り組みやすいカリキュラムが組まれている。学習の中でプログラミングの機会を増やし, 或いは, 教材の説明を簡略化して, 学習意欲を向上させる工夫がなされてきた。小中学校でプログラミング学習が段階的に進められているものの, 入学生にはプログラミングの経験が少ない学生も十分想定され, 普段の学習を離れても継続的に意欲が促進されることは学習目的の一つとなっている。そこで「機会」と「継続的な意欲」を前提に高専新入生向けの Web アプリケーション型の Python プログラミング教材を作成した。他学科の

学生や情報工学科の教員に使用してもらい, フィードバックをもとに利用方法に関する改善を予定である。

情報通信研究室 (田中研) では 10 年ほど前からプログラミング教材の開発を行って^{2,3)}, 昨年度の卒業研究²⁾では, Raspberry PI 上での小学生向けのプログラミング教材 (穴埋め形式) が開発されている。本研究では Web アプリケーションの開発や基礎的な説明について, この先行研究をもとに開発した。しかし今年度は高専新入生を対象にしてレベルを高めるため, 数字や関数名を穴埋めするだけでなく, 条件を満たすプログラム全体を学生自身が考えて書く教材を作成した^{6,7,23,25)}。

7.2. 発展的要素も視野に

教材は基礎と応用に分け, 基礎では文字出力やループ処理などプログラミングでの基本的な構文を学ぶものにした。ここはプログラミング初心者向けであるため説明文を極力簡潔にし, サンプルプログラムを大きく表示させて視覚的にもわかりやすくなるようにしている (図 14)。各章末には演習問題があり, 短いプログラムを書いて実行結果を確かめることで定着を図る。問題に対する答えが正解か誤りかを判断し, 誤答ならば適切な解説を提示する (図 15)。一方, 複数プロセス間を連携させる通信システムのプログラミングにもつながる応用にも取り組めるよう, またある程度の経験者でも飽きないように, 基礎の知識を組み合わせる関数を作成したり, 機械学習²²⁾に触れられる部分も取り入れた^{6,23)}。

7.3. 初心者から応用に

基礎部分では, プログラムの例を提示し, 学生はプログラム全文を写し実行結果を確かめるような問題を実装する。「変数, 文字出力, 四則演算, ループ (for/while), 条件分岐, 配列」を取り扱い, プログラムの流れや法則に慣れてもらう。図 15 は実際の問題の入力と正解画面である。

プログラムが得意な学生には応用問題「基礎部分の内容を組み合わせた課題」を用意する。基礎問題と違い, 課題に対して学生が自主的に考えてプログラムを書き, 実行結果を確かめてもらう。基礎問題よりも説明を少なくし, 過去の基礎部分を参照しながら解けるレベルに問題を設定する。また, 「モーター制御²⁴⁾の問題」を作成している。コラムのような簡単な説明のみにし, 実際にモーターが動くことでプログラムについて興味を持つ



Fig. 14 Assignment screen

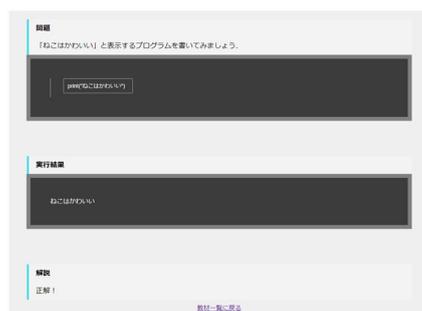


Fig. 15 Answer and advice

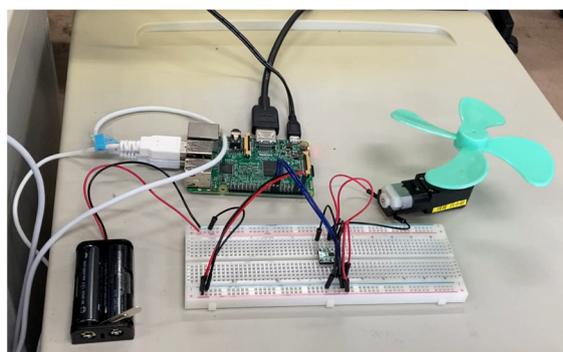


Fig. 16 Mortar control device

でもらうことが目的になる。図 16 は Raspberry PI を使用したモーター制御部分の写真である。小学生向けでは数値のみの穴埋めはブロック単位にし、基礎問題では全文を書いてもらう形式にしている (7, 25)。

8. むすび

情報通信研究室（田中研）では従前からマルチホップネットワークの設計を行ってきており、ルーティングや伝送媒体の最適化やデータベースなど多くのシステムが完成している。ネットワーク中にデータ処理が組み合わされるサービスがさらに普及しつつある現在、特にリアルタイム情報共有に焦点をむけて、環境や利用形態にアダプティブで広域化にも適応するマルチホップネットワークの提供、並びに一般でも構築可能な手法の提供に関し幾つかの要素技術を論じた。防災へ応用なども目的としており、従来から主要制御部分にはロバスト性を重視しシンプルで高速実行可能な制御構造を採用してきた。移動体、セキュリティ、

プッシュ型データベース、システム構築につながるプログラミング教材、仮想ネットワークと実ネットワークの協調など、個々の利用者と利用状況を直接反映できる構造を実装している。今後は、実用レベルの規模と性能を実証する方向へ研究を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、東京工業高等専門学校の令和 2 年度重点配分経費により行われた。

参考文献

- 1) A. Tanaka, "Locally exploitable heterogeneous multihop communications applied to cooperative robots," Proc. 5th Int'l Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2013), 7A-5, pp. 421-326, Da Nang, Vietnam, Jul. 2013.
- 2) 田中晶, 岩田青龍, 木下和渡, 工藤颯希, 坂本惇一郎, 佐田彩星, 西村憲人, 益子海音, 山川涼, "リアルタイムビッグデータのための拡張モバイルマルチホップネットワークの一検討," 東京工業高等専門学校研究報告書, No.51, pp.43-50, Mar. 2020.
- 3) 田中晶, 土屋賢一, 林丈晴, 中野雅之, 小池和摩, 酒井元太, 菅原健太, 仲林龍馬, 牧野康平, "八王子市小学校科学教育センター「インターネット講座」の実施," 東京高専研究報告書, No.46(2), pp.66-74, Mar. 2015.
- 4) 田中晶, "小学生に向けたインターネット・プログラミング導入講座," 信学技報, Vol. 118, No.294, ET2018-55, Nov. 2018.
- 5) 池田凜音, 石田一翔, 大越朱花, 久保夏葵, 谷

- 崎栄俊, "プログラミングを学ぶ学生自身が主体となる「小学生向けプログラミング実習講座」～しりとりプログラムを作ろう!～," 第12回大学コンソーシアム八王子学生発表会, T212, Dec. 2020.
https://gakuen-hachioji.jp/wp-content/themes/cuh/images/presentation-pdf/2020/2020_T212.pdf
- 6) 池田凜音, "高専新入生向けのプログラミング教材の研究—個人のペースに合わせて基礎から発展まで—," 第12回大学コンソーシアム八王子学生発表会, D125, Dec. 2020.
https://gakuen-hachioji.jp/wp-content/themes/cuh/images/presentation-pdf/2020/2020_D125.pdf
- 7) 小泉夏椰, "高専新入生向けのプログラミング教材の研究—初心者でも楽しみながら学べるプログラム入門—," 第12回大学コンソーシアム八王子学生発表会, D123, Dec. 2020.
https://gakuen-hachioji.jp/wp-content/themes/cuh/images/presentation-pdf/2020/2020_D123.pdf
- 8) OpenCV, <https://opencv.org/> (2021.1.12 access)
- 9) Parrot AR Drone2.0,
<https://www.parrot.com/jp/doron/parrot-ardrone-20-elite-edition> (2020.7.9 access)
- 10) 谷崎栄俊, "リアルタイム画像認識を用いた群ドローン制御の研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 11) 東宇辰朗, "マルチホップ通信による群ドローンの自動探索追尾システムの研究," 2018年度東京高専卒論, Feb. 2019.
- 12) 中村悠哉, "マルチホップ通信による群ドローン制御のエミュレーションの研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 13) Martin Woolley, "Bluetooth Core Specification v5.1," Bluetooth SIG. Jan. 2019.
https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/1901_Feature_Overview_Brief_FINAL.pdf (2021.1.12 access)
- 14) 中新田覚志, "無線メッシュネットワークによる災害時の情報伝達システムの研究," 2018年度東京高専機械情報システム特研論文, Mar. 2019.
- 15) 多田桃大, "マルチホップメッシュネットワークエミュレータのIP化の研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 16) "令和2年版 情報通信白書 情報通信機器の保有状況," 総務省, 2020.
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd252110.html> (2021.1.13access)
- 17) 伊藤瑠也, "メッシュネットワークにおける最適な自律データベースの研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 18) "FLIR ONE Pro ユーザーガイド," LIR Systems Japan K.K..
http://thermo.secret.jp/flir/manual/FLIR_ONE_PRO_Gen3_quick_17-415-026_JP.pdf (2021.1.13access)
- 19) 松村岳信, "Android 端末を用いたセキュリティマルチホップ通信におけるマルチメディア化の研究," 2017年度東京高専卒論, Feb. 2018.
- 20) 石田一翔, "マルチホップ通信におけるセキュア通信制御の研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 21) 日高諒久, "多次元共有メモリによるメッシュネットワークの研究," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 22) 伊藤真, "Pythonで動かして学ぶ! 機械学習の教科書," 翔泳社, 2019.
- 23) 池田凜音, "高専新入生向けのプログラミング教材の研究—個人のペースに合わせて基礎から発展まで—," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.
- 24) "ラズパイマガジン 2020 4月号," 日経 BP, Apr. 2020.
- 25) 小泉夏椰, "高専新入生向けプログラミング教材の研究—初心者でも楽しみながら学べるプログラミング入門—," 2020年度東京高専卒論, Mar. 2020.

(2021年1月15日 受理)

地熱発電所からの排水を用いた微細藻類の増殖への影響

庄司良*, 佐藤来海*

地球では、地球温暖化による環境問題が様々起こっている。そのため、地球温暖化の防止が求められ、再生可能エネルギーの有効性を上げ、拡大していくことが求められている。未利用の排水を用いて再生可能エネルギーの付加価値を上げることが目標に地熱発電排水を用いて微細藻類の大量培養を行った。地熱発電排水を用いることで、通常の藻類増殖用の培地である AAP 培地よりも増殖することを確認できた。また、20°C から 30°C の間では、温度が上がるほど増殖速度定数が大きくなることがわかった。

(キーワード: 微細藻類, 再生可能エネルギー, 排水資源)

Effects of Unused Wastewater from Geothermal Power Generation on Microalgal Growth

Ryo SHOJI*, Kurumi SATO*

In order to prevent global warming, it is necessary to spread the use of renewable energy. A mass culture of microalgae using unused wastewater from a geothermal power plant was conducted. On the other hand, a lot of essential elements for growth of algae are in unused wastewater produced from geothermal power generation. Using geothermal power generation wastewater, the growth of microalgae was significantly higher than that of standard medium for algal growth. The growth kinetic constant was strongly depended upon the temperature. It was therefore suggested that algal growth was one of the most promising technology to accumulate biomass energy if more effective mass culture using unused wastewater was successfully developed in near future.

(Keywords: microalgae, renewable energy, drainage resources)

1. 序章

地球では、人口の爆発的増加による無秩序な開発と産業革命以来の化学物質やエネルギー消費型の工業の発達により、深刻な環境問題が引き起こされている¹⁾。環境問題の中でも様々な問題の要因となっているのが地球温暖化である。地球温暖化は、大気中の CO₂ の増加及び温室効果ガスの排出が原因である²⁾。世界のエネルギー消費量は、2018 年では、石油 33.6%、石炭 27.2%、天然ガス 23.9%、水力 6.84%、原子力 4.41%、再生可能エネルギー 4.05% となっており、現在でも多く利用されているものは、石油や石炭、天然ガスなどの化石資源である^{3), 4)}。これらの化石資源は、エネルギーを作る際に CO₂ を大量に排出するため、地球温暖化を促進させてしまう⁵⁾。そのため、世界では 2015 年にパリ協定を採択し、温室効果ガスの削減に向けた動きを強めている⁶⁾。また、人間、地球および繁栄のための行動計画として、17 の目標と 169 のターゲットからなる SDGs という世界目標の中にも地球温暖化改善のための目標が掲げ

られている⁷⁾。このような政策により、世界的に脱炭素化への勢いが高まっており、再生可能エネルギーを積極的に取り入れる動きが今までより盛んに行われ始めているのである²⁾。

再生可能エネルギーの中でも近年注目されているエネルギー資源として、バイオマス資源がある。バイオマス資源の中でもバイオマス燃料を作成することのできる材料には、穀物や木質系、草本系バイオマス、廃食用油、微細藻類などの種類がある⁸⁾。その中でも微細藻類は、バイオマス燃料を生成する最も効率的である方法の一つとして考えられている⁴⁾。

微細藻類は光合成効率がが高く、バイオマス生産量が多いことや水生培地で栽培でき、耕地を占有しない、化学的な処理が可能であるというメリットがある。また、二酸化炭素の固定化能力が高いため、大気中の温室効果ガス濃度を効果的に低減することができるという利点がある⁴⁾。微細藻類をバイオマス燃料の材料として普及し、再生可能エネルギーとして広めていくためには、微細藻類

*物質工学科

の大規模利用が求められる。しかし、微細藻類の培養とその収集コストの高さなどの根本的な課題があり、これらの課題を解決することが求められている⁴⁾。

藻類から燃料を生産するまでの工程には、藻類培養工程、乾燥・脱水工程、油分抽出工程、燃料化工程などが存在する⁹⁾。現在では、特に藻類培養工程の部分でコスト削減の研究が広く進められている。微細藻類の培養には、膨大に必要な水、高い養分のためにかかるコスト、バイオマスの収穫にかかるコストなどの課題がある。これらの課題の中でも膨大に必要な水の問題は、藻類培養のスケールアップに大きく関わってくる重要な問題となっている。そのため、低コストで代替可能な水資源が必要となる。また、世界的には、淡水の汚染とそれに伴う綺麗な淡水の供給不足も問題視されている¹⁰⁾。微細藻類は、排水を汚染している有機および無機栄養塩素を除去することができる¹⁰⁾。そのため、微細藻類の培養のスケールアップだけではなく、工業排水や汚染された河川を減らすことができ、環境汚染の解決にもなるのである。

現在、工業排水や自治体排水、農業排水などを利用する研究は多く行われている。しかし、工業排水や農業排水をただ利用し微細藻類培養のために利用するだけでは、微細藻類の膨大に必要な水の問題を解決するだけである。そこで、再生可能エネルギーの有効性を高めることを意図して、地熱発電という再生可能エネルギーの排水を利用して微細藻類を培養し、バイオ燃料を作成することを考えた。

再生可能エネルギーの中でも、地熱発電の排水は環境省で農業や温泉に排水を直接利用することが推奨されている。地熱のエネルギーによって温められた排水の温度に注目して多目的の利用が推奨されている。しかし、地熱発電の排水には、表 1 のような成分が含まれている。この地熱発電の排水に含まれている成分を微細藻類の増殖に生かすことができるのではないかと考えた¹¹⁾。

本研究では、温水であることと有用な成分を含有することから微細藻類の増殖に有効であると考え、地熱発電の排水を微細藻類の培養に利用した。バイオマス燃料としての付加価値を高めるとともに、地熱発電の付加価値も高めることで、再生可能エネルギーを広めていくことを目的とした。用いた微細藻類は、淡水性微細藻類の中でも最も産業に用いられているクロレラを用いた。

表 1 地熱発電の排水に含まれる成分

元素	含有量[mg/L]	元素	含有量[mg/L]
Na	1019	SiO ₂	522
Mg	9.97	Li	3.29
Cl	1711	H ₂ S	2.81
Ca	141.8	Ba	0.744
SO ₄	153	Al	0.722
K	130	F	4.38
Fe	30.6	Br	2.67
B	14.5		

2. 材料と方法

2.1. クロレラの培養

クロレラ (*Chlorella vulgaris*)の前培養には、AAP 培地を利用した。AAP 培地は、まず表 2 の組成よりも 100~10000 倍濃縮細胞懸濁液を作成した。この濃縮液は、遠沈管及びガラス瓶に保存している。次に、1L ビーカーに 700 mL ほど蒸留水を入れ、スターラーで攪拌した。MOPS を 0.75 g 測り取り、ビーカーの中に加え、攪拌して溶かした。その後、各濃縮液をマイクロピペットで加え、スターラーで攪拌した。攪拌した後、pH が 7.45 ほどになるまで 1 mol/L 水酸化ナトリウムを加え、pH の調整を行った。pH 調整後、1 L メスフラスコに入れ、標線を合わせて完成させた。作成した AAP 培地 500 mL にクロレラ細胞懸濁液 10 mL を加え、培養し、継代培養を行った。

表 2 AAP 培地の組成

成分	mg/L	成分	mg/L
NaHCO ₃	15.0	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	0.300
NaNO ₃	25.5	H ₃ BO ₃	0.186
MgCl ₂ ·6H ₂ O	12.16	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.415
CaCl ₂ ·2H ₂ O	4.41	ZnCl ₂	0.00327
MgSO ₄ ·7H ₂ O	14.6	CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.00143
K ₂ HPO ₄	1.044	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.00726
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.160	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.000012

2.2. クロレラの検量線

継代培養が安定したのち、検量線作成のための培養を 3 日間行った。その後、クロレラの培養液を蒸留水で 1/2, 1/4, 1/8, 1/20 に希釈し、血球計算盤を用いて血球計算とクロロフィル測定を行い、検量線を作成した。クロロフィル測定は、Parsons

& Strickland (1961) の方法を採用した。

まず, 培養したクロレラを GF-C ガラスフィルターを利用して吸引ろ過を行った。その後, 乳鉢にろ紙を細かく刻んだものを入れ, 90%アセトンに湿らす程度に駒込ピペットで滴下した。乳棒を利用し, ろ紙をすりつぶし, 90%アセトンに駒込ピペットで 5 mL 測り取り, ろ紙を洗浄しながら遠心管に加えた。洗浄し, 遠心管に加える操作は 2 回繰り返した。遠心管をアルミホイルで巻きつけ, 冷蔵庫で 1 時間程度冷却した。その後, 遠心分離機で 3000 rpm 5 分間で遠心分離を行い, 上澄み液を吸光度計で測定した。この際に用いた波長は, 750 nm, 665 nm, 645 nm, 630 nm である。これらの波長を式 1 に代入し, クロロフィル a を求めた。式 1 でクロロフィル a は *Cha* と記載する。

$$Cha = 11.6D_{665} - 1.31D_{645} - 0.14D_{630} \quad (1)$$

クロロフィル a と細胞数の検量線を作成し, クロロフィル a から細胞数をもとめる式が求められた。式 2 の *Cha* に求められたクロロフィル a を代入することで, 細胞数 *x* を求めることができる。

$$Cha = 0.0092x - 104.07 \quad (2)$$

2.3. 地熱発電の排水の作成

本研究で使用した地熱発電排水の組成を表 3 に示す。作成するとリン酸カルシウムによる白色の沈殿が発生する。

表 3 地熱発電排水の組成

成分	g/L	成分	g/L
NaHCO ₃	1.3887	CuCl ₂ · 2H ₂ O	0.0062
NaNO ₃	2.3581	H ₃ BO ₃	0.0093
Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	0.1387	SiO ₂	0.5220
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.0336	LiCl	0.1005
MgCl ₂ · 6H ₂ O	6.3715	Na ₂ S · 9H ₂ O	0.0990
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.3252	Ba(NO ₃) ₂	0.0708
CaCl ₂ · 2H ₂ O	2.3036	AlCl ₃ · 6H ₂ O	0.3230
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.4177	NaF	0.4841
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.2159	KBr	0.0994
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.0372	K ₂ HPO ₄	0.5792
ZnCl ₂	0.0852		

2.4. 地熱発電の排水でのクロレラの培養 (組成濃度変化ならびに温度変化)

次に, 実際に作成した地熱発電の熱水を培地としてクロレラを培養させた。この時, 地熱発電の熱水の組成の濃度変化による影響を研究するために, 地熱発電の熱水原液, 1/2 希釈, 1/5 希釈, 1/10 希釈, 1/50 希釈, 1/100 希釈した熱水原液を用いた。また, 地熱発電の熱水と通常の培地での増殖を比較するために AAP 培地も培地として用いた。また, 地熱発電の熱水を利用したクロレラの培養の温度変化による影響を研究するために, インキュベーターの温度を 20±2°C, 25±2°C, 30±2°C に変化させた。

作成した各培地と 100 mL 三角フラスコ, ゴム栓をオートクレーブで滅菌し, チューブは UV 滅菌を行った。その後, 100 mL 三角フラスコに 100 mL 各培地を入れ, クロレラの種水を加えた。その後, ゴム栓とチューブを設置し, エアポンプ (1.5 ~ 2.5 L/分) で空気を送りながらインキュベータに放置した。研究の際に測定された各温度の pH は, 20°C は 8.43 ~ 8.59, 25°C は 7.38 ~ 8.55, 30°C は 7.40 ~ 8.77 であった。

3. 結果と考察

3.1. 地熱発電の排水でのクロレラの培養 (組成濃度変化ならびに温度変化)

地熱発電の熱水原液, 1/2 希釈, 1/5 希釈, 1/10 希釈, 1/50 希釈, 1/100 希釈した熱水原液, AAP 培地を培地として, 20°C, 25°C, 30°C でクロレラを培養した。25°C 増殖曲線は, 図 1 のようになった。

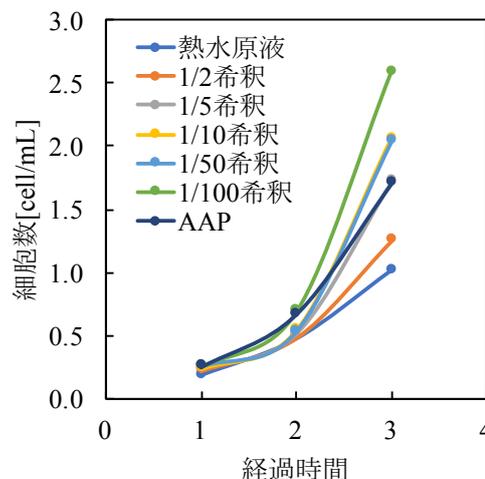


図 1 地熱発電の排水で培養したクロレラの増殖曲線 (25°C)

これを見ると、1/100 に希釈した培地で最も増殖していることがわかる。しかし、その次に多かったものは、1/10 に希釈したもの、その次が 1/50 に希釈したものであるため、濃度に依存して増えているわけではないことがわかった。しかし、AAP 培地を用いるよりも増殖が進んでいるため、地熱発電の熱水を用いることで増殖効率を高めることができることがわかった。また、25°C、20°C、30°C のデータの 2 day から 3 day の増殖速度定数を導き出した結果を図 2 に示す。図 2 中の直線は対照区としての AAP 培地での増殖速度定数である。

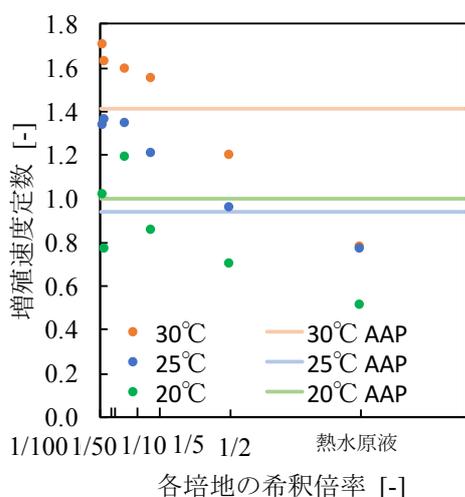


図 2 地熱発電の排水で培養した各培地、各温度のクロレラの増殖速度定数

これを見ると、温度が 30°C であると増殖速度定数が大きく、低くなるほど増殖速度定数が小さくなっていることがわかる。クロレラの至適温度は 20~25°C であるため、本来は 25°C が最も増殖速度定数が大きいと考えた。しかし、至適温度ではない 30°C で最も増殖速度定数が大きくなっている。これは、温度が上がることで誘導期が短くなり、温度が下がることで誘導期が長くなるのではないかと考えた。

結論

本研究では、未利用の熱エネルギーと藻類増殖に利用可能な金属イオンを含む組成を持つ未利用の地熱発電排水を用いて微細藻類の大量培養を行った。その結果、地熱発電排水は通常の藻類増殖用の培地である AAP 培地よりも優位に増殖することを確認できた。さらに増殖速度の温度依存性の観点から、比較的高温である排水は藻類増殖に有

利である。未利用の地熱発電排水の熱的なポテンシャルの高さを利用して、バイオマス生産に利用していくことが有効であると考えられた。

参考文献

- 1) 大政 謙次：地球環境問題と生物環境調節，生物環境調節，Vol. 30，p. 1，1992.
- 2) 環境省 地球環境局：STOP THE 温暖化 2017 第 4 章 温暖化対策，p. 21，2017 年
- 3) BP：Statistical Review of World Energy，p. 9，2019.
- 4) Pan Pan, Changwei Hu, Wenyan Yang, Yuesong Li, Linlin Dong, Liangfang Zhu, Dongmei Tong, Renwei Qing, Yong Fan：The direct pyrolysis and catalytic pyrolysis of *Nannochloropsis* sp. residue for renewable bio-oils, *Bioresource Technology*, Vol. 101, p. 4593, 2010.
- 5) 十市 勉：21 世紀のエネルギー・環境問題と日本の課題，p. 6，2002 年
- 6) 経済産業省 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2019 第 1 部 エネルギーをめぐる状況と主な対策 第 2 章 パリ協定を踏まえた地球温暖化対策・エネルギー政，p. 27，2019 年
- 7) 国際連合広報センター：持続可能な開発目標 (SDGs) 報告，2020 年
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版，2014 年
- 9) Alper Solmaz：Optimization of membrane photobioreactor; the effect of hydraulic retention time on biomass production and nutrient removal by mixed microalgae culture, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 142, p. 2, 2020.
- 10) Anamika Singh, Sabeela Beevi Ummalyma, Dinabandhu Sahoo, 「Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river water contaminated with pharmaceutical effluent」 *Bioresource Technology*, Vol. 307, p. 1-5, 2020.
- 11) 細井 学, 今井 秀喜：地熱熱水からのシリカスケール 付着防止のための基礎研究，*日本地熱学会誌*, Vol. 4, p. 130, 1982.

(2021 年 1 月 14 日 受理)

はざまる工房を活用したものづくりと公開講座

松岡敏*, 伊藤祐*, 中村源一郎*, 向川拓臣*, 新田武父*,
溝口将吾*, 永吉真知子*, 藤野 宏*, 羽鳥広範*, 庄司良**

『はざまる工房』において, 社会実装, 公開講座で使用する器具の試作・製作を行った。LED と CdS セルを使用した透過型フォトインタラプタ, 模型用小型直流モータを使用した発電体験器具, 太陽電池モジュールを使用したコンデンサ充電体験器具を製作した。再生可能エネルギーである太陽光発電システムをイメージしたコンデンサ充電体験器具, モータを利用した発電体験器具は今後公開講座で使用する予定である。

昨年度, 実施した公開講座の内容とアンケートによる評価を報告する。2019 年に実施された公開講座のアンケート評価の内容において良い評価が得られた。引き続き『はざまる工房』の機器を活用して公開講座などのためのものづくりを行う予定である。

(キーワード: ものづくり, 社会実装, 公開講座, はざまる工房)

“Manufacturing” and Open Lectures Using Hazamaru Kobo

Satoshi MATSUOKA*, Yu ITO*, Gen-ichirou NAKAMURA *,
Takumi MUKOUGAWA*, Takenori NITTA *, Shogo MIZOGUCHI*,
Machiko NAGAYOSHI*, Hiroshi FUJINO*, Hironori HATORI*, Ryo SHOJI**

At "Hazamaru Kobo", a facility for manufacturing various equipments have been established since 2018 for social implementation and open lectures. A power generation experience equipment using "FA-130RA motors" and other capacitor experience equipments using various types of solar cell were manufactured. Capacitor charging experience equipment for a solar power generation teaching material enables us to understand renewable energy, reasonably. Both experience equipments will be planned to use in some future open lectures. In this paper, some contents of the open lectures held in 2019 and the evaluation by questionnaire, in terms of education effectiveness. The questionnaire of the open lectures held in 2019 successfully acquired good evaluations. We are willing to plan "manufacturing" by utilizing equipments in the "Hazamaru Kobo" for the open lectures.

(Keywords: "Manufacturing", Social Implementation, Open Lecture, "Hazamaru Kobo")

1. はじめに

昨年度, 本校のコラボレーション・コモンズ棟 (以下, CC 棟) 内に社会実装教育ラボ『はざまる工房』(以下, 工房) が設置された。低学年から高学年までの本校学生のうち, 工房利用者講習と各カテゴリ別の機器類利用者講習を受講した学生は, 工房の利用と工房内にある工具, 機器の使用が可能となり, 試作や製作が行えるようになった。

工房の運営において, 本校の教育研究技術支援センターに所属する全技術職員を対象に工房内の機器講習を行うことによって, 学生への講習, 利用時の説明やサポート, また技術職員自身が工房

にある機器類を使い, 出前授業, 公開講座, 社会実装で必要となる器具の試作・製作対応を行いやすくなった¹⁾。しかし, コロナ禍による休校等で工房も一時期閉鎖をよぎなくされ, 機器の有効利用が困難な現状もあった。そこで, 工房の特に閑散期における活動方法として, 出前授業や公開講座に使用する器具の試作・製作の場として利用することを検討した。

本報告書では, 公開講座, 社会実装に対応するために, 工房内にある機器類を使って, 試作・製作を行ったので, その内容について報告する。また, 今年度はコロナ禍の影響で開催できなかった

* 教育研究技術支援センター ** 物質工学科

が、昨年度 (2019 年度) に開催し工房内の機器類を使用して作製した電子工作キットを用いて昨年度実施した公開講座の内容と集計したアンケート結果についても報告する。

2. はざまる工房におけるものづくり

工房には、製品とまではいかないが、プロトタイプのものづくりとして、レーザー加工機、ボール盤等の材料加工からオシロスコープ、ハンダによる回路製作などの作業工程が工房内において一貫してできるような機器類を用意している¹⁾。また、ディスカッションを行えるスペースもあるので、公開講座を開催するスペースとしても有効に利用することができる。

今回、新たな公開講座用器具、依頼があった社会実装プロジェクト²⁾で使用する電子回路の 2 点について製作と試作を工房の機器を利用して行った。製作品のコンセプトとして第一にできるだけ安価に製作することを目標とした。

まず、社会実装プロジェクト²⁾で使用する電子回路については、現在、小中学校の授業内で使用するための PC タブレットが普及してきており、市販品もあるが、高専での製作が可能であるか支援センターに小学生低学年向けの PC ラック製作依頼があり、ラックに取り付ける電装系の一部分を工房の機器類を使用して試作と製作を行った。

次に、公開講座用の器具については、公開講座の対象者が小学生を想定しているので、小学校学習指導要領内の理科の観察・実験の手引きにおける電気の利用 (第 6 学年 A) の単元内容の『電気は、作りだしたり蓄えたりできること』³⁾ などの項目を参考にし、模型用小型直流モータ (Mabuchi 製, FA-130RA) を用いた発電、コンデンサを用いた充電を体験できる教材製作を考えた。来年度以降は作製した教材を基に、教員と連携して一緒に公開講座を工房で行っていく予定である。

2.1. タブレットを感知するためのセンサ作製 (社会実装)

PC タブレットラックに収納、保管をしているとき、どの位置にタブレットが収納され、どのタブレットが持ち出されているのか、ラックの扉をその都度開けて確認するのは手間と時間がかかる。

この作業を解消するため、外部からタブレットの状態が一目わかるようにタブレットの出し入れ

を感知し、表示器に状態を表示させれば解消できると考え、小学生低学年向けという事もあり、見た目にも楽しめるイメージとして LED を用いて光を利用した、出し入れを感知するセンサ部と表示器の試作と製作を行った。

このセンサ部のコンセプトとしては光の有無によってタブレットが収納しているのか、持ち出されているのかがわかるようにと考え、照射部に LED を使用し、受光側に CdS セルを用いて図 1 に示すような回路を作製した。この回路は LED と CdS セルを用いた透過型フォトインタラプタとして動作するように作製を行った。回路に用いた CdS セルのピーク波長が 540[nm] 付近にあるため、光源は比較的波長特性が広い白色 LED を用いた。

センサ部の外観としては、受光側において周囲の照度環境の影響をできる限り取り除き、LED からの照射光のみを受光させるため、照射側の LED 素子の周囲と受光側の CdS セルの周囲が、外部からの光の影響を可能な限り受けないように、レーザー加工機を使用して図 2 に示すようなセンサ部の外観を考え作製した。

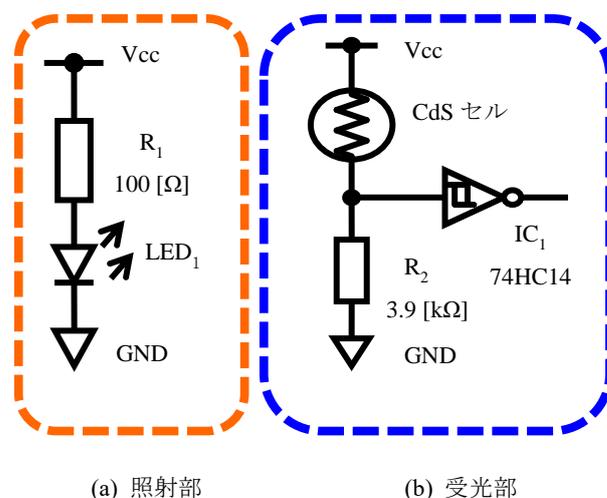


図 1 センサ部の回路図



図 2 センサ部外観

図3に作製したセンサの照度におけるCdS抵抗値の変化を示す。

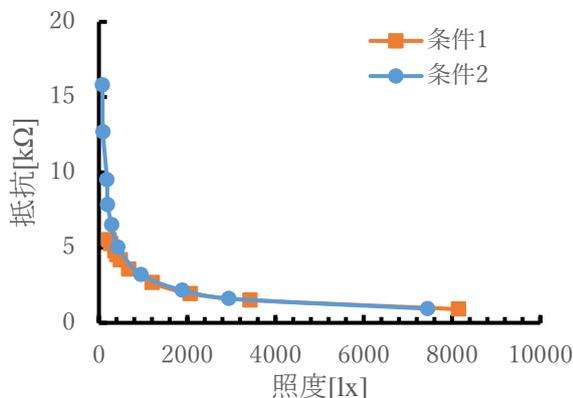


図3 CdSの抵抗値の照度特性

※1 条件1 (-■-)

センサ上部を開放した状態による測定。LED消灯時 (LED-CdS間における受光面照度: 140 [lx], CdSの抵抗値: 6.52 [kΩ])

※2 条件2 (-●-)

周囲の明るさを抑えセンサ上部に板をのせ、できるだけ蛍光灯の光を遮断した状態による測定。LED消灯時 (LED-CdS間における受光面照度: 0.7 [lx], CdSの抵抗値: 131 [kΩ])

LEDの照度変化は、電流制限抵抗 R_1 を 100 [Ω] から 10 [kΩ] の抵抗値範囲で変化させた。

図3の測定結果より、照度を 2000 [lx] 以上にするれば、周囲の照度変化がCdSの抵抗値に与える影響が少ないと考え、このことから電流制限抵抗 R_1 はLEDの明るさが 2000 [lx] 以上、保てるような設定値とした。また約 500 [Ω] で 2000 [lx] 付近になるため安定度を優先に考え図1(a)に示した照射部の R_1 の抵抗値は 100 [Ω] (LED照度: 7000 [lx] 以上, CdSの抵抗値変化: ●, ■データともに 900 [Ω] 付近, LEDの電流値: 20 [mA]) とした。

光の強度に応じた電圧信号を取り出すため、図1(b)の受光部においてLEDの光照射時のCdS抵抗と分圧抵抗 R_2 の電圧比が 4 : 1 の電圧値になるように R_2 の抵抗値を 3.9 [kΩ] と設定した。CdSの光が遮断されているときにおいても、受光部はラック筐体内に実装されているため、図2の条件1の-■-が示すデータ値よりもCdSの抵抗値が大きくなるので照度遮断時の動作に与える影響は少ない。また、CdSの抵抗値変化に伴う電圧を安定し

て取り出すためにシュミット・トリガ・インバータのヒステリシスを利用して信号を取り出すようにした。

図4は、PCラック内部にセンサとLED表示器を取り付け、取り出し時の動作確認の様子を示す。センサの照射部から照射された光を制御することにより、各ボックスに対応したLEDを動作させた (収納時に点灯し、持ち出し時は消灯する)。



図4 センサの動作の様子 (上部LED点灯)

今回は、製作時間、部品購入時間の制約からこのような構成となったが、電流制限抵抗 R_1 の調整 (100 [Ω] ~ 500 [Ω] 間での変更) により電力消費を抑え、応答速度の速いフォトトランジスタに置き換えるなどの改良が考えられる。

2.2. 模型用小型直流モータ, コンデンサを使用した各教材器具の作製 (公開講座)

発電器具として、市販品のような手回し発電機を使わずモータ軸を接続したマブチモータ2個を使用し、どちら側のモータからでも発電している様子を観察できるようにした。図5に示すように電池とモータの間に接続した抵抗値 (0 ~ 1 [Ω]) を変えることによりモータ軸の回転速度と電圧の変化 (約 0.6 ~ 1 [V]) についても確認できるようにしている (単三電池 1 本使用)。モータ軸の回転と電圧の関係を確認してもらい、発電所 (風力, 水力等) で電気が作られる方法についても考えてもらえるような教材を想定して作製した。

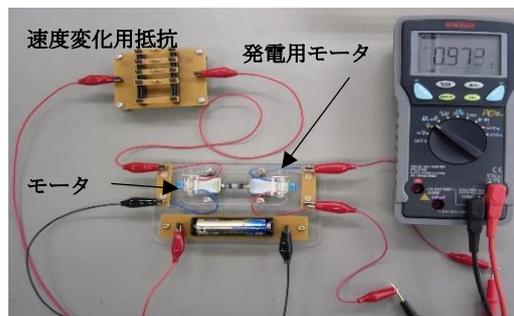


図5 モータ軸の回転速度と電圧変化

再生可能エネルギーである太陽光や風力の最大の課題は、発電量が季節や天候に依存することである。この課題を解決し出力を安定化させる対策の一つが蓄電である。作製した充電器具は、再生可能エネルギーの太陽光発電システムをイメージし、電気をためて利用することによる効果を実感してもらうことを目的として作製した。図 6 は、作製した実験器具のコンデンサ充電の様子である。

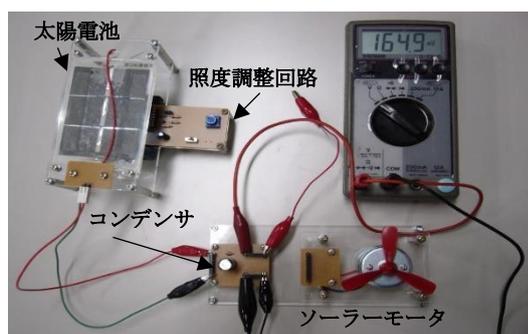


図 6 コンデンサ充電

作製した電源は、簡易的な PWM(Pulse Width Modulation)回路⁴⁾で動作しているため開放電圧約 0.8~1.3 [V]の範囲で太陽電池の出力電圧を変化できるが、光源である LED とシリコン太陽電池の波長感度特性が一致しておらず図 7 のグラフで示すように少ない発電電力であり電源だけでは、負荷であるソーラーモータは回転しない。

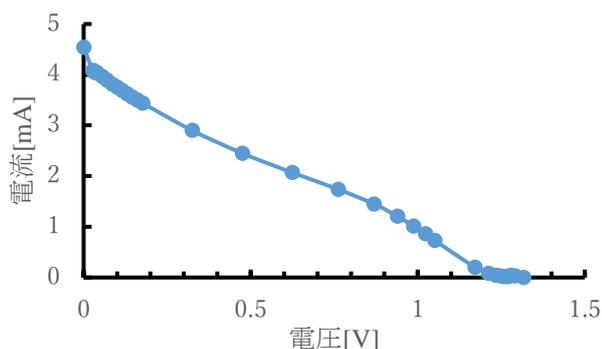


図 7 太陽電池の電流電圧特性
(開放電圧；約 1.3 [V]，短絡電流；約 4.5 [mA])

コンデンサを用いることにより、最適動作点となる 0.6 [V]付近においても最大電力 1.29 [mW]程度である太陽電池出力を用いて定格 8.8 [mW]のソーラーモータを回転させることにより、実際に電気を貯めることによる効果と、その現象を体験し

てもらおう。

下記の 2 点が製作した器具の主な使用目的と内訳である。

- ・電気は貯める事ができる。
- ・貯めた電気を使うと動かないものが動く。
(エネルギーが蓄えられる)

作製した回路において特性を測定した結果、図 8 に充電時間後のモータ動作時間を示す。(講座中における充電時間は、3~4 分ぐらいと考えて測定を行った。)

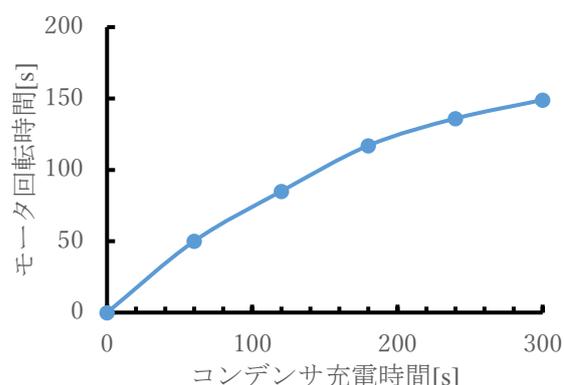


図 8 充電時間に対する放電時のモータ回転時間 (電源の開放電圧：1.3 [V]時)

作製した体験器具は、単三電池が数本必要となるが、電源を電池としているため講座時の部屋への持ち運びが簡単にできるようになっている。

使用測定器具

デジタルマルチメータ (Sanwa) PC-710

デジタルマルチメータ (Sanwa) RD-701

照度計 (Sanwa) LX2

ダイヤル可変抵抗器

(YOKOGAWA ELECTRIC) RV-61

3. はざまる工房において作製した

電子工作キットを用いた公開講座

昨年、工房に納入されたレーザー加工機、基板加工機を使用して、初めて工房にて製作した電子工作キットを用いて、くぬぎだ祭期間中に公開講座を行った。

図 9 (a) が作製した電子工作キットである。レーザー加工機を使用してアクリル板を図 9 (b) の

松岡, 伊藤, 中村, 向川, 新田, 溝口, 永吉, 藤野, 羽鳥, 庄司 :
はざまる工房を活用したものづくりと公開講座

ような形に加工して図柄をほどこしたプレートと自己点滅型2色LED(赤・緑)を基板加工機で作製した回路基板にハンダ付をおこない組み立てる。少ない作業量で作ることができる置物を用意した。ハンダ付け部品数としては, LED, スイッチ, 単三電池ボックスの三点のみである。作製時間は, ハンダ付けから組み立て作業を含めて20分~30分を想定した。



(a) 完成品 (b) アクリル加工部分
図9 公開講座に使用した電子工作キット

図10に実施風景を示す。作製した基板のパターンは, 初心者でも作業を行いやすいように意識して作製した。組み立て時は, トラブルも少なく組み立て作業も進み工作終了時に, 何人かの参加者から楽しかったとの言葉をもらった。



図10 公開講座の様子

作業終了時に, アンケート記入してもらった, アンケート項目と集計結果の抜粋を以下に示す。

1) 年代 (質問)

図11に参加者の年代グラフを示す。小学校1年生から中学校3年生, 大人までと幅広い年齢層が参加した。このうち多数の割合をしめたのは, 小学校4年生から中学校2年生で全体の約70[%]と小学校高学年から中学生であった。

期間中の参加人数は, 保護者同伴で参加者された方もいるが, 製作に参加した人数は, 49名(1名記入なし)である。

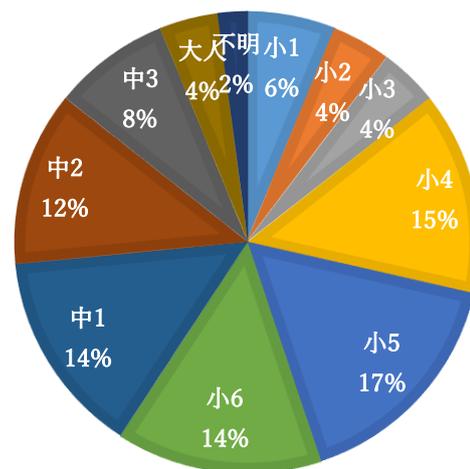


図11 電子工作キットを用いた公開講座への参加者の年齢層

2) 公開講座は楽しかったですか (質問)

全参加者の96[%]から楽しかったとの回答を得た。自分自身で手を動かして物を作り, 動くものを作製する楽しさを感じてもらえたようであり, ものづくりへの興味の高さも得られた結果となっていると考える。また, 部品点数が3点と少なく, ハンダ工作初心者の導入用工作キットとしては良かったのではないかと。

3) 今回の内容はどうでしたか (質問)

図12に講座内容についての学年別による分布を示す。

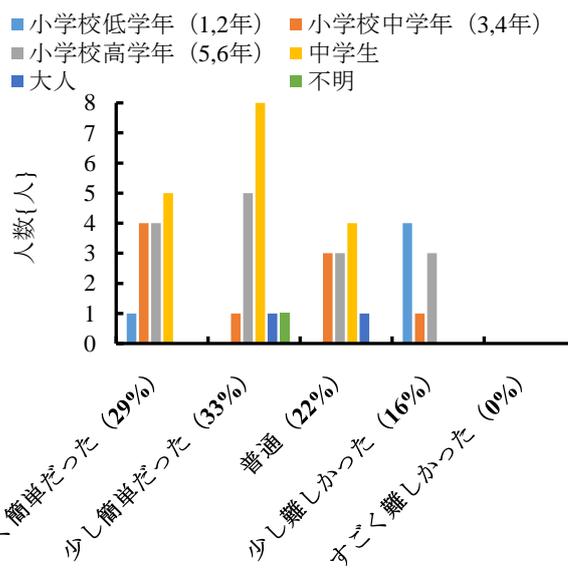


図12 「今回の内容はどうでしたか」に対する回答結果

今回行った講座は、作成時から対象年齢を小学校低学年でも楽しめることを想定した内容で構成したため、「簡単だった」と答えた人が全体の62[%]になった。想定した小学校低学年においては、「少し難しかった」の割合が多かったが真剣な顔をしながら楽しくハンダ付けに取り組んでいたのが印象的であった。同じ年代でも「すごく簡単だった」から「普通」まで広く分布している形となっており、年代別というよりは個々の工作経験が現れた結果だと考えられる。

4) 作業時間はどうでしたか (質問)

図 13 に学年別の分布を示す。

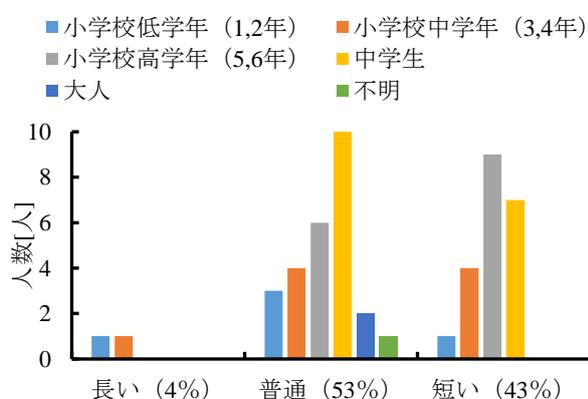


図 13 「作業時間はどうでしたか」に対する回答結果

小学校低学年は、「普通」を中心に「長い」「短い」と感じかたが分かれているが、小学校中学年以上になると多くは「普通」もしくは、「短い」と感じた傾向となった。また、工作経験値の違う不特定多数の人が入れ替わり参加する講座時間としては、全年代が「普通」に集中している分布を見ると、ものづくり初心者を対象とした講座としてはほぼ妥当な時間であったと考える。

また、電子工作 (ハンダづけ等) をしたことがあるかを聞いたアンケート項目に約 30 [%]以上の人数が「ない」と答えた中において、この公開講座を通してものづくりの楽しさを体験してもらえたのではないかと考える。

公開講座全体の評価として、良好な評価を得られた。このことから、ものづくりに興味を持ってもらえるきっかけとなる講座において、対象とする年齢によって講座内容や工程、作業時間などを

想定しながら講座を考える必要性が一つの重要な点であるということが分かった。

4. まとめ

今回は、技術職員が工房で作製した器具教材の活用例を紹介した。この事例によって、今まで学生個人の工作物、社会実装、卒業研究において、作製が難しかったものが、工房の機器を使用しながら自分の手を動かし、身近にものづくりができる場所として『はざまる工房』は有効な施設であると思われる。

昨年度、開催した工作系公開講座におけるアンケート集計において良好な評価を得られ、今後の活用幅が広がることに繋がった。

そして、今後の公開講座における『はざまる工房』の活用方法として、開催時に直接工房内の機器を使用する講座や事前に部品を作製して行う工作系講座、これから予定している製作器具を使った体験系講座の3本柱をメインに、ものづくりを行いながら工房を発展させていく。

参考文献

- 1) 新田武父, 中村源一郎, 向川拓臣, 長井佳海, 降矢司, 永吉真知子: コラボレーション・コモンズ社会実装教育ラボの運用と活用, 東京工業高等専門学校研究報告書 第 51 号 pp.56-65 2020 年 3 月
- 2) 永井翠, 安富 義泰, 大塚 友彦, 多羅尾 進, 佐藤 知正, 新保 幸一: 社会変革を担う人材を育成する「社会実装教育」の実践, 工学教育 68-3 pp. 65-71 2020
- 3) 文部科学省 https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/senseiouen/1304651.htm 学習指導要領「生きる力」小学校理科の観察, 実験の手引き, 第 6 学年 A (4) 電気の利用 pp.161-165 2011 年 3 月
- 4) 鈴木憲次: 「DC モータ制御回路を作る」CQ 出版 トラ技 ORIGINAL No.2 pp.50-60 1990 年 3 月

(2021年1月13日 受理)

©東京工業高等専門学校

東京工業高等専門学校研究報告書

第52号

令和2年度

令和3年3月31日発行

編集者 東京工業高等専門学校情報・図書・広報室

発行者 東京工業高等専門学校

〒193-0997 東京都八王子市櫛田町1220-2

TEL (042) 668-5111