

研 究 紀 要

第 62 号

令和 6 年 3 月

RESEARCH REPORTS
OF
KOBE CITY COLLEGE OF TECHNOLOGY
NO. 62
MARCH, 2024

神戸市立工業高等専門学校

目 次

論 文

実践的 AI 技術者育成のための教材開発とその利用

藤本 健司, 早稲田 一嘉 1

数学における演習中心の AI 授業実施と効果

鯉江 秀行 6

大型柔軟宇宙構造物の低消費動力特性をもつロバスト分散安定化制御

小林 洋二, 松井 睦美 11

オンライン授業におけるペンタブレット端末と液晶ペンタブレット端末導入の教育効果

中川 卓也, 大向 雅人, 津吉 彰 17

河川合流部のバックウォーター現象に関する基礎的検討

宇野 宏司, 上野 佳史, 今井 洋太 23

資 料

データで振り返る神戸高専図書館の 30 年

早稲田 一嘉 29

Relationship between Concrete Frost Damage and Surface Impregnation Materials using Machine Learning in Time Series of Moisture Transition

Yutaka TAKASHINA, Lin SHEN, Yuto HASHIZUME 35

CONTENTS

PAPERS

- Development and Use of Teaching Materials for Training Practical AI Engineers
Kenji FUJIMOTO, Kazuyoshi WASEDA · · · · 1
- Effects of the Active Learning Class Focusing on Exercises in Mathematics
Hideyuki KOIE · · · · 6
- Decentralized Robust Stabilization for Large Flexible Space Structures with Low Power Consumption Characteristics
Yohji KOBAYASHI, Mutsumi MATSUI · · · · 11
- Comparison between a Pen-tablet Device and a Screen Tablet Hybrid Device for Online Education
Takuya NAKAGAWA, Masato OHMUKAI, Akira TSUYOSHI · · · · 17
- A Fundamental Investigation of Backwater Phenomenon at River Confluences
Kohji UNO, Yoshifumi UENO, Yota IMAI · · · · 23

RESEARCHES AND FINDINGS

- Looking Back on 30 Years of Kobe City College of Technology Library with Data
Kazuyoshi WASEDA · · · · 29
- Relationship between Concrete Frost Damage and Surface Impregnation Materials using Machine Learning in Time Series of Moisture Transition
Yutaka TAKASHINA, Lin SHEN, Yuto HASHIZUME · · · · 35

実践的 AI 技術者育成のための教材開発とその利用

藤本健司* 早稲田一嘉**

Development and Use of Teaching Materials for Training Practical AI Engineers.

Kenji FUJIMOTO* Kazuyoshi WASEDA**

ABSTRACT

In recent times, advancements in AI technology have fostered the necessity of training AI specialists. However, the current situation poses a problem as the rapid progress of AI technology remains unattended. Therefore, this study proposes the development of structured teaching materials and programs to cultivate human resources who can effectively apply AI technology in engineering fields, utilizing the features of technical colleges. The teaching materials developed were implemented and extensively utilized in diverse educational activities, including obtaining external qualifications..

Keywords : engineering education, ai, deep learning, teaching materials and programs

1. はじめに

近年、AI(Artificial Intelligence: 以下、AI)技術の著しい進歩により、AI 技術者育成の必要性が高まっている。しかし、急激な技術向上により、AI 技術者の育成が間に合っていない状態となっている。そのような中、国では、2025 年度までに図 1 のような方針を打ち出している⁽¹⁾。

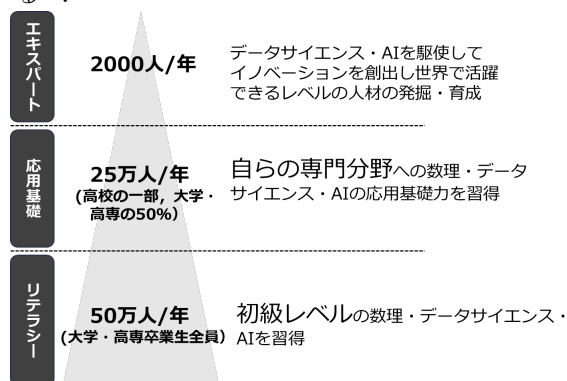


図 1 AI 戦略 2019 における方針。

方針の中で特に重要なのは以下の 2 つである。

(1) 初級レベルの数理，データサイエンスの習得；すべての大学や，高等専門学校（以下，高専）の年間卒

* 電子工学科 教授

** 機械工学科 教授

業生約 50 万人がこれらの基礎を身につけること。

(2) 専門分野における AI の応用基礎力の習得：一定規模を有する大学や高専の学生が，自らの専門分野において AI を活用できる力を身につけること。

しかし、これらの方針を達成するためには、実際の社会で即戦力として活用できる技術者の育成が不可欠である。現在の状況として、産学連携で人材育成プログラムが進められているが、特に AI に関するプログラミング講座においては、現実の業務に直結するものが少なく、データサイエンティスト向けの教材が主流となっている。そのため、技術者の育成に特化した教材が不足しているのが実情である。

そこで、本研究では、高専という環境で、実践的 AI 技術者育成のために、実際の産業の場で利用できるような PBL (Project Based Learning ; 以下, PBL) 教育用教材の開発・研究を行うこととする。

2. 作成した教材の種類

次に、今回作成した教材の種類とその説明を行っていく。

2.1 導入用教材: Python 習得のためのハンズオン教材
導入用教材を開発した理由は、AI の構築には PyTorch や TensorFlow などの Python ベースのフレームワークが広く利用されており、本研究においてもこれらのフレームワークを使用するためである。したがって、Python の基礎知識は必須であり、これらの知識を身につけるための導入教材が

必要となる。また、AI を構築するためには大量のデータの収集や前処理が必要となるが、これらの作業も Python を習得することで容易に行うことが可能となる。

この導入用教材は、図 2 のような Google Colaboratory を使用した Jupyter Notebook 形式のプログラミング教材とオンデマンド用動画から構成されている。

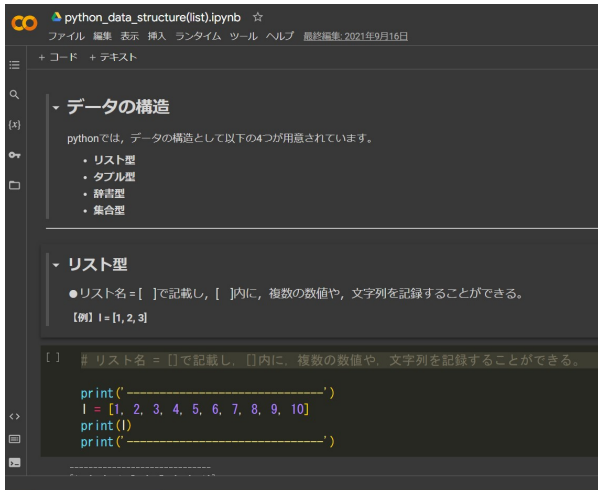


図 2 Colaboratory を用いたプログラミング教材。

学習者はハンズオン形式で、実際に手を動かしながら Python の技術を習得できるように設計されており、知識の定着を促すために、演習問題なども多数用意されている。なお、教材の中身は全体を通じて以下のようなポイントをカバーしている。

Python 基礎知識：

- ・変数と代入
- ・各種データ型の理解
- ・制御構造(条件分岐, 繰り返し)の使用方法
- ・関数の作成と利用
- ・クラスとインスタンス
- ・自作モジュールの作成

データ処理の基礎：

- ・数値計算の基礎(NumPy)
- ・データの一括処理(Pandas)
- ・データの可視化(Matplotlib)

これらの内容は、AI 構築のためのフレームワークを利用する上で最低限の知識となっており、これらの内容を修得することで AI 用教材へ円滑に移行することが可能である。また、上記以外の内容も多数収録しており、学習者の要望を聞きながら、より高度な内容の教材追加を行っている。

2.2 チュートリアル型 PBL 教材 この教材は、AI に関する基本的な内容から各種代表的な AI について Colaboratory を用いた教材と配布資料(図 3 参照)を通じて、実装能力と AI に関する知識を身につけることを目的としている。教材は演習問題や実際によく使用されている例などを取り上げ、学習者が実践的に AI を構築できる能力を強化することを重視している。その後、身につけた能力を活

かし、指定された分野(例: 画像認識, 音声認識)における問題点を各自で設定し、データの収集から AI 構築までを行う。本教材では、Pytorch を用いた AI 構築に関する技術を学ぶ形式となっており、その内容は以下の通りとなっている。

AI の基礎知識：

- ・分類と回帰
- ・多層ニューラルネットワーク
- ・バッチ学習とミニバッチ学習
- ・多層ニューラルネットワークを用いた画像認識

様々な AI の知識：

- ・Convolutional Neural Network(CNN)を用いた画像認識
- ・Recurrent Neural Network (RNN)を用いた時系列データ予測
- ・Long Short-Term Memory (LSTM)を用いた時系列データ予測
- ・Generative Adversarial Networks (GAN)を用いた画像生成
- ・転移学習を用いたモデル構築方法
- ・オリジナルデータの収集と使用方法

その他：

- ・スクレイピングに関する教材
- ・各種 AI モデルに関するより詳細な内容の教材

この教材を通じて、学習者は理論だけでなく実践的な経験を通して AI 構築のスキルを向上させることができ、将来のプロジェクトや課題に主体的、かつ自信を持って取り組めるようになると考えられる。

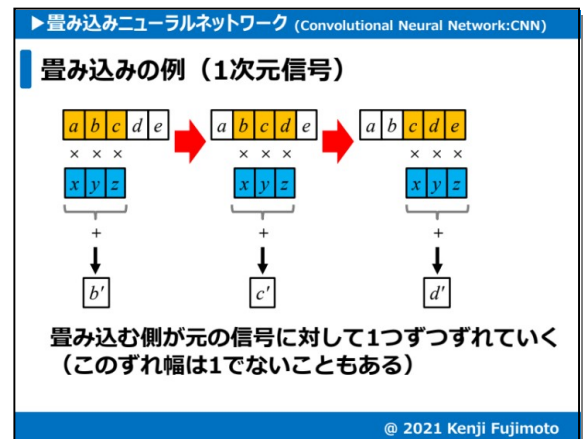


図 3 AI に関する知識習得のための資料(CNN).

2.3 実践体験型 PBL 教材 この教材は、2.2 節で AI 構築が可能となった学習者向けの次の段階の教材として作成されたものである。本教材では、より実践的な技術を習得するために、Docker を使用した計算環境の構築や、実際の企業や医療機関から提供された画像データ(図 4 参照)や自然言語データを活用して、実際の問題解決を行うことのできる AI モデルの構築能力の獲得を目指す。以下に、今回作成した教材の内容を記載する。

計算環境の構築:

- Docker の基礎知識
- Docker を用いた計算環境の構築方法
- Dockerfile を用いた環境構築方法
- Docker Compose を用いた環境構築方法

オリジナルデータの提供:

- 工業製品の傷検出用データ画像(画像分類)
- 骨折の種類ごとのレントゲン画像(画像分類)
- 作業記録データ(自然言語処理)

Docker を用いて環境が構築できるようになれば、クラウド環境への円滑な移行や複数人でのシステム開発に非常に有用である。また、提供されるオリジナルデータは、実践的なプロジェクトを通じて学習者が得たスキルを実際の課題に適用する機会を提供することができる。これらの企業や医療現場でのデータの使用は、学習者が現実の課題に対処し、解決策を提供する上で重要な経験になると考えられる。



図4 医療機関から提供された骨折画像。

3. 作成した教材の運用状況

本教材は、2020年から開発を続け、2021年から実際に所属学科において希望者を募り、以下の様に教材を使用して運用を行っている。

表1 運用状況。

| 使用年度 | 使用教材 | 受講人数 |
|------|---------------|------|
| 2021 | 導入教材 | 58名 |
| 2021 | チュートリアル型PBL教材 | 20名 |
| 2022 | 導入教材 | 43名 |
| 2022 | チュートリアル型PBL教材 | 16名 |
| 2022 | 実践体験型PBL教材 | 7名 |
| 2023 | 導入教材 | 35名 |

アンケート結果が取れば良かったが、2021年～2022年にかけては新型コロナの影響もあり、アンケート結果が取れてはいないが、講習を受けた学生から教材に関する意見などを招集し、教材へフィードバックを行っている。例えば、従来の動画では操作方法とその説明を行っていたが、動画を止めながらハンズオンで作業をする際に、初めてだと、何度も聞きなおさないといけないため、画面上にも重要な内容は出してほしいという要望があった。そこで、2023年度に修正したものが図5である。

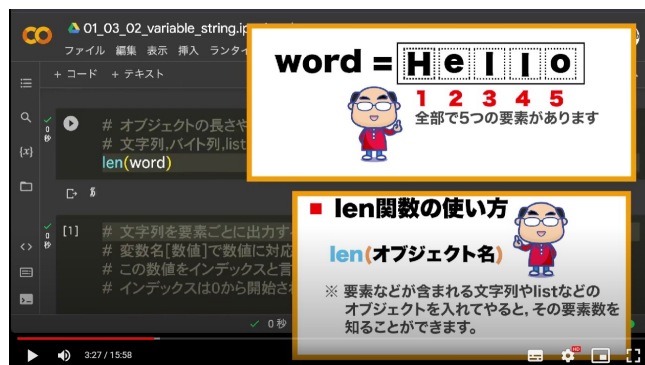


図5 学習者からのフィードバックを反映した動画画面

4. 本教材の派生効果

4.1 全学科共通科目への教材利用 本教材は、実践的AI技術者育成のために作成されたものであるが、2022年度から本校1年生から新しくなった全学科共通科目である情報基礎の教材として、配布資料の一部を教科書として作り直し、プログラミング教材として導入教材を利用して、プログラミング教材と説明動画の提供を行った。その結果、2023年度には、その運用実績が認められ、数理・データサイエンス・AI教育プログラムにおいてリテラシーレベル認定を受けることができた⁽²⁾。なお、今回作成した教科書、プログラミング教材、動画資料について、2022年度に213名からアンケート結果⁽³⁾をとったが、どの資料においても、満足度が80%を超える高い結果となった。例として表2に使用したプログラミング教材に関するアンケート結果を示す。

表2 プログラミング教材に対するアンケート結果。

| 学科 | 選択肢 A | 選択肢 B | 選択肢 C | 選択肢 D |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 機械 | 45 | 27 | 7 | 1 |
| 電気 | 30 | 6 | 1 | 0 |
| 電子 | 24 | 3 | 1 | 0 |
| 応化 | 21 | 9 | 2 | 0 |
| 都市 | 25 | 7 | 1 | 0 |
| 全学科 | 145 | 52 | 12 | 1 |

なお、選択肢 A は、「とても役に立った」、選択肢 B は「少し役に立った」、選択肢 C は、「あまり役に立たなかった」、選択肢 D は「役に立たなかった」となっている。表2より、213名中207名(約97%)の学生が提供したプログラミング教材が役に立ったと感じていることが分かる。また、2022

年度の授業アンケートの自由記述欄において、教科書が少し難しいという意見もあったため、2023年度の教科書は、図6に示すように、対話形式やOnePointなどを取り入れ、学生のモチベーションが途切れないように工夫を行った。

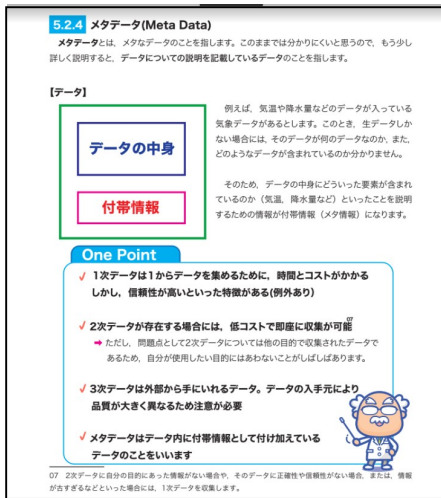


図6 学生からのフィードバックを反映した教科書。

4.2 機械工学科実験実習教材への応用 4.1節で紹介した情報基礎のPython教材で身につけた内容を機械工学科の実験実習でも応用する試みを行っている。この教材は、Pythonを用いたCADオペレーションに留まらず、3Dプリンタの普及に伴い注目を集めているメカニカルメタマテリアルに関連する内容に焦点を当てている。具体的には、PythonのマクロとPythonスクリプトを使用して、ある形状を連続的に配置するラティス構造を構築する課題を教材化している。さらに、初学者向けにハードルを下げ、内容を理解しやすくするために、モデルの配列をGUIで簡単に設定できる機能を組み込み、ステップバイステップでの学習をサポートしている。図7に手順を記したテキストの一例を示す。



図7 Pythonでマクロを作成するための例。

また、情報基礎でのPython演習の復習に対する効果を確認するために、「PythonによるCADの操作によって情報基礎でのPython演習の学習内容の復習に役立ったかどうか」というアンケート結果が取られた。結果として、有効回答数36名に対して、図8に示すように、45.7%の受講者がCADの操作をPythonで行うことが情報基礎の復習になると回答した。また、別のアンケートでは、今回作成した教材が情報基礎に比べてPythonを学ぶ動機づけになると回答した学生が48.6%という結果を得た。この結果からプログラミング言語は専門分野と組み合わせる学ぶことが非常に有益であると考えられる。

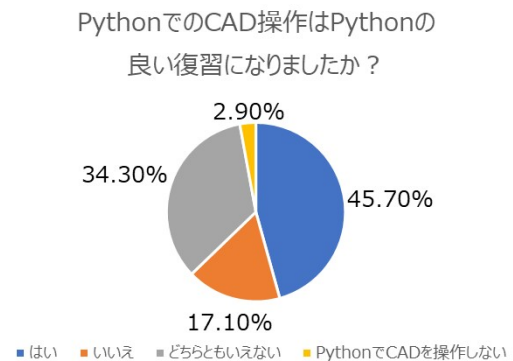


図8 復習に関するアンケート結果。

4.3 電子工学科実験実習教材への応用 電子工学科の4年生を対象とした実験実習の一環として、以下の内容を3週にわたって実施している。
 (1) Dockerを用いたWebサーバ構築と計算機環境の構築
 (2) 多層ニューラルネットワークを用いた回帰とCNNを用いた画像認識に関する実験
 (3) オリジナルデータの収集とCNNを用いた画像認識に関する実験

図9に第1週目の教材資料の一例を示す。



図9 Dockerを用いた計算機環境構築資料。

今後、BYOD(Bring Your Own Device;以下、BYOD)の導入により、学生が自身のPCを持参することが期待されている。また、クラウド環境が整備されることにより、Dockerの技術を身につけることは、学生自身の計算機環境を円滑に移行する際の大きなメリットとなる。また、教材にはAIだけでなく、Webサーバ構築の要素を取り入れている。このことにより、学生が作成したAIモデルをWebアプリケーションとして公開するための知識を得ることができる。これらの統合的なアプローチにより、学生は広範なスキルを身につけ、将来的な実務へのスムーズな移行が期待できる。

5. まとめ

本研究では、実践的なAI技術の習得を促進するために新たな教材を開発し、これを導入教育から実践的な実習まで統合的に展開できた。以下に内容をまとめる。

5.1 教材の概要 導入教材では、AIを構築するために必要なPythonの基礎知識から学び、Colaboratoryを使用してプログラミングスキルを向上させることができた。チュートリアル型PBL教材では、PyTorchを活用し、AIに関する様々な知識を身につけ、学生が自ら問題を設定し、データ収集からAI構築まで行える力を身につけられるようになっている。最後に、実践体験型PBL教材では、Dockerを導入して計算環境の構築や実際の現場データを用いた問題解決に取り組める教材を提供できた。

5.2 教材の運用状況 2021年から所属学科において教材を使用し、導入教材から実践型まで段階的な運用を行うことができた。2021年～2022年には新型コロナの影響でアンケート結果が得られなかったが、学生の意見を講習を通じて収集することで教材の改善を行うことができた。

5.3 全学科共通科目への展開 全学科共通科目の情報基礎(1年)の教材として採用され、数理・データサイエンス・AI教育に関するリテラシーレベル取得に寄与できた。また、2022年度には高い満足度が示され、2023年度には、授業アンケートの結果から教科書や教材の改善を行った。

5.4 学科ごとの応用 機械工学科では3Dプリンタを活用し、Pythonと組み合わせることでラティス構造の実習を行うことができた。また、電子工学科ではDockerやPythonを使用したWebサーバ構築や画像認識に関する実習を展開することができた。

6. 今後の展望

今後は、より実践的な教育手法の検証や新たな技術の取り込みに努め、学生の能力向上と将来の産業への貢献を目指す予定である。なお、現段階では、総じて、本研究で開発した教材は幅広い学生層に対して効果的なAI教育を提供し、外部機関や専門分野との統合においても高い評価を受けているが、今後もより良い教材が開発できるように改善を行っていく。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20K0311, JP21K02821 の支援を受けて進められました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 内閣府：数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度(リテラシーレベル)の創設について、<https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/suuri/ninteisousetu.pdf> (最終閲覧日：2023年8月20日)
- (2) 神戸市立工業高等専門学校：神戸市立工業高等専門学校 数理・データサイエンス・AI教育プログラム、https://www.kobe-kosen.ac.jp/education/datascience_ai.html (最終閲覧日：2023年9月22日)
- (3) 神戸市立工業高等専門学校：2022(令和4)年度 数理・データサイエンス・AI(リテラシーレベル)対象科目(情報基礎)の点検報告、https://www.kobe-kosen.ac.jp/education/datascience_ai/20230315-kcct-literacy2022-PDCA.pdf (最終閲覧日：2023年5月10日)

数学における演習中心の AL 授業実施と効果

鯉江秀行*

Effects of the Active Learning Class Focusing on Exercises in Mathematics

Hideyuki KOIE*

ABSTRACT

We conducted math classes that incorporated a significant amount of exercise time. In math classes, there is an issue that students tend to fall asleep if the explanation lasts for a long time. Furthermore, students are reluctant to solve math exercises, making it difficult for them to develop their mathematical abilities. To address these issues, we conducted an active learning class centered around exercises. This report pertains to the implementation of that approach.

Keywords : active learning, math

1. はじめに

2021 年度, 神戸高専において 1 年生数学 II と 2 年生数学 I の授業を担当した. 前期授業においては, 板書と解説が中心で, 演習は教科書の練習問題と問題集の問題を少々扱う程度であった. その時に以下のような課題を抱えていた.

課題 1. 眠くなる学生が少なからずいること.

課題 2. 試験期間に基本問題しか演習しないこと.

課題 1 については講義科目において多くの教員が抱えることであると考え. 解説や講義の時間の長さに比例して, 学生の眠気も増していきだけでなく, そのために, いざ演習になっても手をつけられないという悪循環が発生する. また, 課題 2 についても多くの教員が感じたことがある問題であると予想する. 授業で扱った内容や, 課題として課した内容しか試験勉強において学習をせず, 試験範囲になっても発展問題などまで手が回らない. 試験前に課題として課す方法はあるが, 現状ただでさえ忙しい試験期間において, より一層の課題を私の授業で増やすことは本意ではない.

これらの課題を解決するため, なるべく解説時間の凝縮した授業, そして演習時間を多く取り発展的な内容まで授業時間内で扱える授業を目指し, 2021 年度後期から演習中心の授業を実践した. この具体的内容と, それを踏まえたここ 2 年間の実践結果について考察する. これらの結果

は 2022 年度に日本高専学会でも発表しており, その際に作成した要旨⁽¹⁾をもとに今回の報告を行う.

また, 以下の授業と期間においてこの方法を実践してきた.

表 1 授業実践期間と担当内容

| 実施期間 | 担当学年 | 担当科目 |
|---------------------|------|-------|
| 2021 年度後期 | 1 年 | 数学 II |
| 2021 年度後期 中間試験以降 | 2 年 | 数学 I |
| 2022 年度 | 1 年 | 数学 I |
| 2023 年度 | 2 年 | 数学 I |

2. 授業実践の方法とねらい

2.1 授業のねらい 課題 1 の原因として, 解説時間が長く作業時間が短いことが挙げられる. 解説時間を極力短くし, 多くの演習時間を確保することで, 課題 1 を解決するねらいがある. それと同時に演習プリントを配布することで多くの演習問題に授業中に取り組みことができ, 定期試験までに試験範囲の問題を一通り終えることで, 課題 2 を解決するねらいがある.

2.3 授業準備の方法 まず, 教科書と問題集の問題を全て教員自身で解く. その際に, 問題を解く上で必要な知識を整理し, 出題順を考えながら演習プリントを作成する. 特に, 発展問題については授業の進度に合わせて適切に配置する必要がある. プリントの問題配置にはこだわっている. 最後に板書計画を作成する. 板書には最低限必要

* 一般科(数学) 講師

な知識のみを書くようにして、2021 年前期の授業と比べ大幅に板書量を減らしている。具体的には、一回の演習時間に対して黒板一枚以下の板書を目指しており、演習の際には板書が全て残っていることを目指している。ほとんどの授業に置いて、板書は黒板 2 枚以内になるように準備している。

2.2 授業方法 解説 15 分と演習 30 分を 1 セットとして、それを 2 回転することで 90 分授業を構成。授業内容によっては(解説 10 分+演習 20 分)×3 セットとなることもあるが、いずれにしても 30 分以上講義をしないように心がけている。演習内容は、自作の B4 の両面プリントを用いて行う(巻末付図 1 参照)。実教出版の数学の教科書と問題集をもとに、節末問題、一部の発展問題を除いた全ての問題を収録している。授業時間で終わらなかった分は宿題としており、次の授業の際に提出させている。プリントの提出は成績に含まれる。実際には半数以上の学生が授業中にプリントの演習を終わらせることができ、宿題として残った場合も大した分量にはなっていない。

解説時間を少なくするため、授業中に全員の前での解答解説などは行っていない。実教出版の数学の教科書と問題集にはオンライン上で模範解答が公開されているため、授業実施初年度の 2021 年度は学生がそこを調べて答え合わせをしていた。しかし、この模範解答には誤植も多く、解説方法と合わない回答もあったため、2022 年度以降からは教員がプリントの模範解答と解説を作成し、学生に配布している。元々、一度は教員自身で全ての問題を解いているため、この解答作成自体についてはそこまで手間ではない。

演習時には机間巡視を積極的に行い、学生どうしの学び合いを促すが、新型コロナウイルスの感染防止の観点から、2021 年度はグループワークを行わなかった。2022 年度以降は 1 グループ 5、6 人で机を向かい合わせ、各自相談し合いながらとく体勢がより強固なものとなった。

3. 結果と考察

3.1 アンケート結果(2021 年度) 担当していた1年生 3 クラス約 120 名を対象に 2021 年 12 月末にアンケートを実施した。演習中心の授業を実施する以前の前期授業と、今回の授業を実施した後期授業を比較し、学生の感想を調査し、自由記述も設けた。表 2 が実際のアンケートの内容である。また、アンケート結果は図 1 にまとめている。

表 2 アンケートの内容

| | |
|-----|-------------------------|
| (1) | 現在、授業の理解度はどれくらいですか。 |
| (2) | 前期と比べて、普段の学習時間は増えたか。 |
| (3) | 前期と比べて、テスト期間の学習時間は増えたか。 |
| (4) | 前期と比べて、テスト勉強はしやすくなったか。 |

| | |
|------|----------------------|
| (5) | 前期と後期、どちらの授業が良いですか。 |
| (6) | 授業中、教員には質問しやすいですか。 |
| (7) | 授業中、他の学生には質問しやすいですか。 |
| (8) | プリントの問題量についてどう感じますか。 |
| (9) | 板書量についてどう感じますか。 |
| (10) | 解説量についてどう感じますか。 |

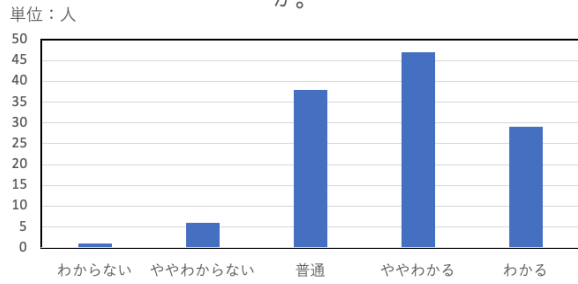
解説の時間を大幅に割愛していても授業の理解度が下がることはなかったように感じる。プリントが主な学習教材となったことで勉強しやすくなった学生が多くいた。一方で、試験期間の勉強量も増えている。これは非常に興味深い結果であり、平常時に課題として一通りの演習を終えているので試験期間の勉強量は減ると予想していたが、実際にはそうはならなかった。プリントに絞って勉強する、なおかつ、一度は授業で解いたことがある問題であるために、試験勉強に取り組みやすく、試験期間の勉強量が増えたと予想される。また、問題集の問題をほぼ全て扱うプリント構成にも関わらず、プリントの問題量および、板書量についてはほとんどの学生がちょうど良いと感じていることも意外であった。一方で、自由記述において試験範囲のプリントが多いと回答している学生がいたことも事実であらう。板書を極端に減らして授業をしているが、学生は満足な説明がなされ、過不足ない板書量、問題演習についても必要量だと考えている様子である。

表 3 の自由記述内容からも、演習中心の授業が学生にとって以前よりも有意義であることが窺える。また、演習時間を長時間とることによって、数学が苦手な学生でも十分に理解するだけに時間を与えることができる。数学を苦手としている学生が置いて行かれないという意味でも一定の効果があると感じられる。

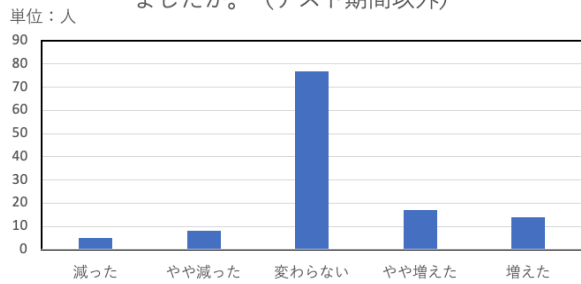
表 3 自由記述の回答(一部抜粋)

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 自分のスピードのできるのでやりやすいのと、友達と相談しながらできるのが良きです(原文のまま)。先生にも質問しやすいです。 問題をどんどん解いていく形式は個人的に好きなので続けて欲しいです。 解説が簡潔で分かりやすく、理解しやすいです。 授業中にプリントで問題を解くことで、習ったことを忘れにくい上、テスト勉強に活用しやすと感じた。 テスト範囲を減らしてほしいです。プリントが多い。 テストで基礎の問題をもう少し増やして欲しい。 |
|--|

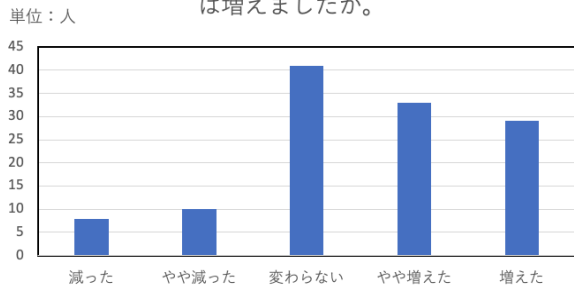
(1) 現在、授業理解度はどれくらいですか。



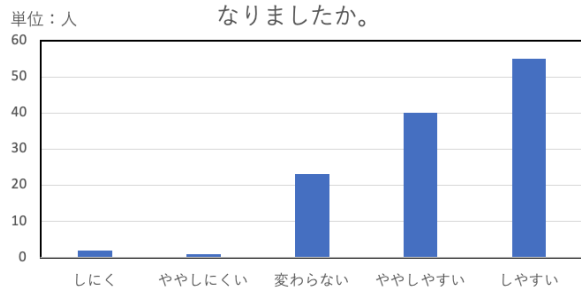
(2) 前期と比べて、普段の学習時間は増えましたか。(テスト期間以外)



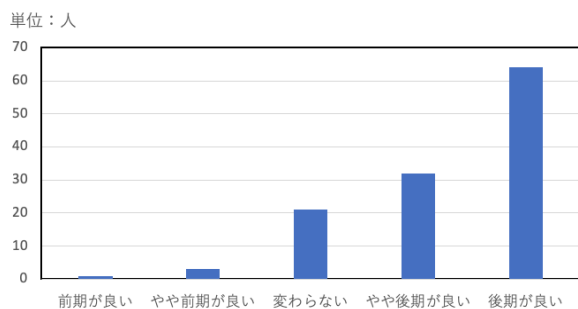
(3) 前期と比べて、テスト期間の学習時間は増えましたか。



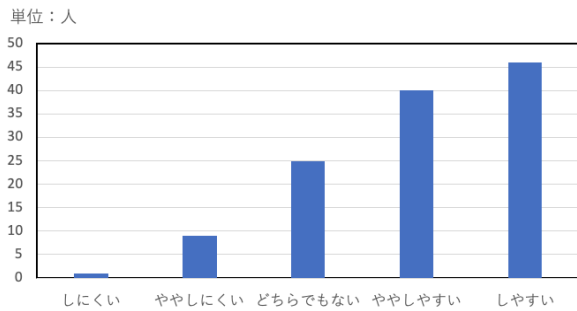
(4) 前期と比べて、テスト勉強はしやすくなりましたか。



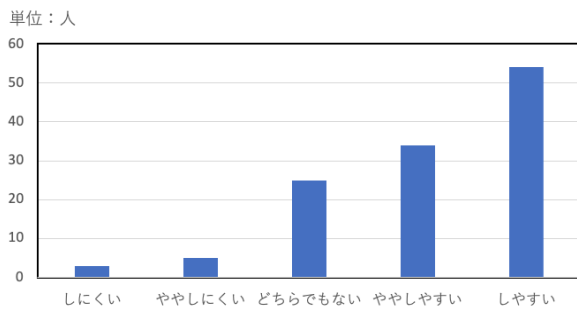
(5) 前期と後期どちらの授業が良いですか



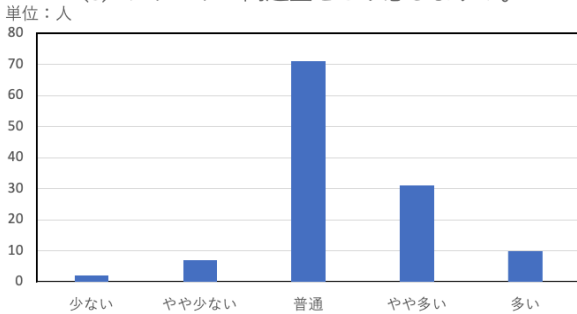
(6) 授業中、教員に質問しやすいですか。



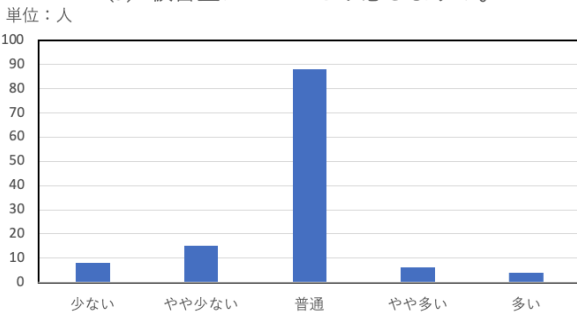
(7) 授業中、他学生に質問しやすいですか



(8) プリントの問題量をどう感じますか。



(9) 板書量についてどう感じますか。



(10) 解説についてどう感じますか。

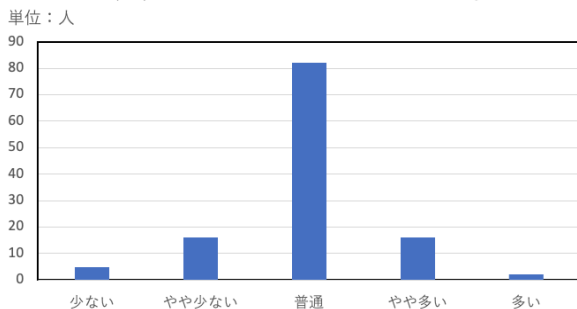


図1 アンケートの回答

3.2 実力試験結果(2023 年度) 本校の数学科では 1～4 年生の全学生を対象に、春の 1 回目の授業で毎年実力試験を実施している。いずれも春休みに復習課題を宿題として課し、主にその内容の理解度を試験で確認する形式である。問題は 2008 年度以降同一の問題を使用し、年度を超えた比較ができるようにしている。2022 年入学生 1 年生数学 I の授業において、3 クラス(仮に A, B, C クラスと記述する)に 1 年間今回の授業を実践した。入学時の実力試験および 2 年進級時の実力試験の結果を以下の表 4 にまとめる。

例年、実力試験においては、学年が上がるごとにクラスの平均点が下がる傾向にある。特に入学したばかりの 1 年生はどのクラスも 75 点程度の平均点を取るが、2 年生になると 10 点以上平均点を下げることが常であった。しかし、今回、演習中心の授業実践を行った 3 クラスに関してはそのような傾向は見られず、平均点を 10 点も下げることがなかった。

特に C クラスについては平均点をあげており、実力試験の過去のデータの中で、学年が上がる際に平均点が上昇した例はなく、平均点が 80 点を超えたことも初の例である。この C クラスに関しては、数学に限らず他教科でも平均点が高く、全体的に出来が良いクラスであることも要因の一つと考えられる。また、著者自身が担任のクラスであるため、数学の時間だけでなく、ホームルームでもアイスブレイクをふんだんに入れたり、学び合いを円滑にするためのワークを行ったりしている。そのことも成績上昇の要因ではないかと思われる。あるいは、担任の科目であるため単純に学生たちが時間を割いているのかもしれない。

表 4 2022 年度入学生の実力試験(担当クラス分)

| | 1 年生(2022 年度) | 2 年生(2023 年度) |
|-------|---------------|---------------|
| A クラス | 75.8 点 | 73.5 点 |
| B クラス | 78.8 点 | 77.2 点 |
| C クラス | 77.1 点 | 80.6 点 |

3.3 教員としての感想 従来の授業では、全く解けていない学生がいても先に進む必要があった。しかし、長い演習時間をとることで、苦手な学生でも何問か解くことができ、0を1にする授業としては効果的であると考えられる。

また、副次的な効果として、試験作成を行いやすくなった。満遍なく演習プリントに問題が掲載されているおかげで、授業中の学生の反応から、どの問題が躓きやすいのか以前より把握しやすい。

学生がよく不満として漏らす内容として「授業でやっていない問題が出た」、「内容が少し変わってでた」などが挙げられる。教員からすると、「授業中に解いた問題でなくてもなくても試験範囲に入っているので勉強してほしい」、「多少文言が変わっただけで解けなくなる」と感じられる。しかし、演習量を増やし、様々な出題形式の問題をプリントに掲載することで、応用問題を含め全てプリントで扱うことが

できるし、様々な出題のパターンを出すことで、文言が違ってでも対応できるだけの応用力も養われているように感じる。実際には試験範囲はこの授業実践以前と変わっていないが、プリントとして問題が収録されているため学生は試験の内容に納得感があるようだ。そのため上記のような不満は学生から上がることがなく、プリントで見たことはあると感じているようである。その意味で、フェアな試験という印象を学生が持っているように感じた。

4. 2023 年度授業での実践

上記の授業実践を踏まえ、今年度(2023 年度)、2 年生の数学 I において同様の授業実践を行なっている。今年度に入って新たに 2 点改善を行なった。

一つは扱う問題の量を見直し、少し量を減らした。これまでの授業では問題集の基本問題は全てプリントに収録していたが、今年度は問題を絞っている。2 年生の微分積分の授業であるため、問題を解くことに今まで以上に時間がかかることと、同様の問題が問題集に多すぎるのがその理由である。

二つ目は、板書の共有である。これまで演習プリントや模範解答は Google classroom を用いて学生と共有していた。今年度に入り、さらに板書もここにアップロードしている。黒板を消す前に写真撮影を行い、それを上げている。授業を欠席した学生が在宅での勉強がしやすいようにあげたものだが、板書を取ることが苦手で、理解する方に力を注げない学生にとっても助けになっているようである。

グループワークは常に継続的に実施しており、相談しながら楽しそうに演習を行なっている。座席表をもとに 5, 6 人でグループを組ませ、机をつけて問題演習を行っているが席を立って他のグループに聞きに行ったり、他のグループに教えに行ったりすることも止めていない。

5. まとめと今後の課題

演習中心の授業をしていて、寝る学生は全く見られず、課題 1 の解決には非常に有効な授業であったと考えられる。演習量も多く、寝る暇がないという方が正しいかもしれない。また、プリントに発展問題も収録していることから、課題 2 も以前と比べて改善されていると考えられる。

一方で解説量が少ないことから、複雑なトピックを扱う高学年の単元には向かないと予想している。特に 4, 5 年生の授業において演習時間を多く確保することは今後の大きな課題である。スライドや補助教材を用いた解説などこれから新たにデザインしていく必要があると考える。

参考文献

- (1) 日本高専学会実行委員会：「高専数学における演習中心型の授業実践」、日本高専学会第 28 回年会講演概要集, pp.54-55, 2022.

目標 : 対数関数を含む方程式

1 次の方程式を解け. (P.133 練習 14 (1)(2))

(1) $\log_2(x+1) = 2$

(2) $\log_4(x-3) = \frac{1}{2}$

3 [復習] 次の関数のグラフをかけ. また, 定義域を求めよ. (問題集 204)

(1) $y = \log_4 x$

(2) $y = \log_{\frac{1}{4}} x$

4 [復習] 次の関数のグラフをかけ. また, $y = \log_3 x$ のグラフをどのように移動したのか, 説明せよ. (問題集 205(1), (3))

(1) $y = \log_3 3x$

(2) $y = \log_{\frac{1}{3}} x$

2 次の方程式を解け. (問題集 207 (1)~(4))

(1) $\log_2 x = 5$

(2) $\log_2 x = -3$

5 次の方程式を解け. (P.133 練習 15)

(1) $\log_2 x + \log_2(x+1) = 1$

(2) $\log_2 x = 2 - \log_2(x-3)$

(3) $\log_{\frac{1}{4}} x = -2$

(4) $\log_{\frac{1}{4}}(x-1) = -2$

大型柔軟宇宙構造物の低消費動力特性をもつ ロバスト分散安定化制御

小林洋二*

松井睦美**

Decentralized Robust Stabilization for Large Flexible Space Structures with Low Power Consumption Characteristics

Yohji KOBAYASHI*

Mutsumi MATSUI**

ABSTRACT

This paper considers a decentralized robust control method for stabilizing position and attitude of large flexible space structures. We propose decentralized control law which is composed of gain and phase advanced compensators using only displacement/angular displacement feedback as local controllers under the assumption of sensors/actuators collocation. By computer numerical simulations, it is shown that the proposed method realizes similar response characteristics to the conventional direct velocity and displacement feedback(DVDFB) with lower power consumption.

Keywords : large space structure, robust stability, low power consumption, displacement feedback

1. はじめに

宇宙太陽光発電衛星⁽¹⁾のような大型柔軟宇宙構造物は打上げコストの削減のために軽量化され、柔軟なサブ構造物(サブシステム)に分けて打ち上げられる。それらのサブ構造物は宇宙で個々に位置と姿勢を制御され、柔軟なリンクで結合されて全体構造物に組み立てられる。このため分散制御を用いることが合理的である。また、このサブ構造物や全体構造物は柔軟であることから地上では自重を支えることができないため、地上での実験によって減衰や剛性などの正確な特性パラメータを得ることが困難である。このことから構造物の位置と姿勢を制御するシステムには、構造物の特性パラメータの不確かさに対するロバスト安定性が必要になる。

これらの要求を満たすために、センサとアクチュエータを同位置・同方向に配置するセンサ/アクチュエータ・コロケーションを前提として構造物の変位/角変位出力(以下では変位出力という)と速度/角速度出力(以下では速度出力という)を静的にフィードバックするDVDFB(Direct Velocity and Displacement Feedback)⁽²⁾が提案された。DVDFBはフィードバックシステムをロバスト安定化し、二次形式評価関数に対

して最適化することができ、分散制御則への拡張⁽³⁾も可能であるなど大型柔軟宇宙構造物の制御に要求される性能をもつ優れた方法である。しかしながら、これを実装するためには変位/角変位センサ(以下では変位センサという)と速度/角速度センサが必要になり、このことはコストと信頼性の面からは望ましくない。

この問題を解決するために変位センサのみを用いてDVDFBと同等の制御性能を実現する制御手法⁽⁴⁾やDVDFBの高周波域のゲインを抑制するためのLow-pass フィルターと構造物の振動を抑制するためのゲインと位相を調整するフィルターをDVDFB制御につなぎ、これを等価変換して変位センサのみを用いた制御則を得る方法⁽⁵⁾などが提案されている。本稿ではサブ構造物を制御するための局所コントローラとして文献(4)の手法を用いた分散制御手法を提案し、数値シミュレーションによってその応答性能と消費動力特性を従来法のDVDFBと比較した結果を報告する。

2. 制御対象の記述

ここでは、 ℓ 個のサブ構造物からなる大型柔軟宇宙構造物の位置と姿勢を制御することを考える。その第 i 番目のサブ構造物の運動方程式は下記の二階の微分方程式で記述されるものとする。

$$M_i \ddot{q}_i(t) + D_i \dot{q}_i(t) + K_i q_i(t) = L_i u_i(t) \quad (1)$$

$$y_i(t) = L_i^T q_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, \ell \quad (2)$$

*機械工学科 特任教授

**神戸市立工業高等専門学校 機械工学科(令和4年度卒)

ただし, $q_i(t) \in R^{n_i}, u_i(t) \in R^{r_i}, y_i(t) \in R^{r_i}$ はそれぞれ構造物の変位/角変位, 操作入力, 検出出力を表すベクトルであり, それらの次元においては一般に $n_i > r_i$ という関係が成り立つ. $M_i, D_i, K_i \in R^{n_i \times n_i}$ は質量/慣性, 減衰, 剛性を表す行列であり, M_i は正定, D_i, K_i は半正定である. D_i, K_i が半正定となるのは, サブ構造物の剛体モードが存在するためである. $L_i \in R^{n_i \times r_i}, L_i^T$ はそれぞれ入力の伝わり方と出力の検出のされ方を表す行列であり, L_i は列フルランクである. この転置の関係は, センサとアクチュエータを同位置・同方向に配置するセンサ/アクチュエータ・コロケーションを表している. また, (1), (2)式の構造物の剛体モードは可制御かつ可観測であると仮定する. このことは次の(3)式で表される.

$$\text{rank} \begin{bmatrix} D_i & L_i \end{bmatrix} = \text{rank} \begin{bmatrix} K_i & L_i \end{bmatrix} = n_i \quad (3)$$

3. 局所コントローラの記述

(1), (2)式で表されたサブ構造物の位置と姿勢を制御する局所コントローラとして DVDFB⁽²⁾ がある. これは構造物の変位出力と速度出力の静的フィードバックであり, 操作入力 $u_i(t)$ を s 領域で表すとその入出力の関係は

$$u_i(s) = -(\alpha_i + \beta_i s) R_i y_i(s) \quad (4)$$

となる. ここで, α_i, β_i は正のスカラ, $R_i \in R^{r_i \times r_i}$ は任意の正定行列を表す.

(4)式のDVDFBを実装するためには変位出力と速度出力を検出するセンサが必要になり, これはコストと信頼性の面からは望ましくない. この問題を解決するために文献(4)では, 図1に示すように DVDFB, Low-pass フィルター, ゲインと位相を調整するフィルターから構成されるコントローラを提案した(図1ではゲインと位相を調整するフィルタの次数を N_i としている). ただし, 図1において I_{r_i} は r_i 次の単位行列を表す.

いま, このフィルターの次数を一次にするとそのコ

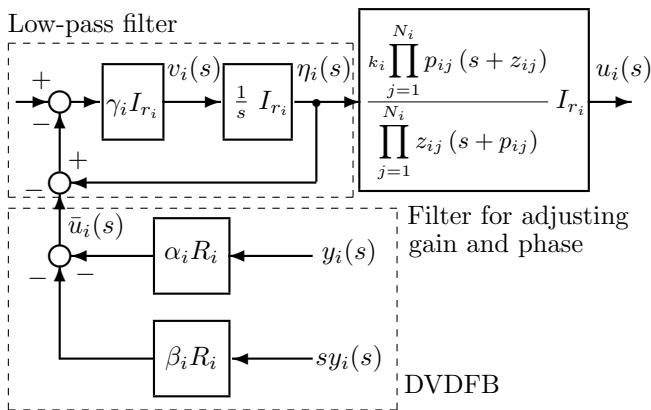


図1 Block diagram of the i -th local controller

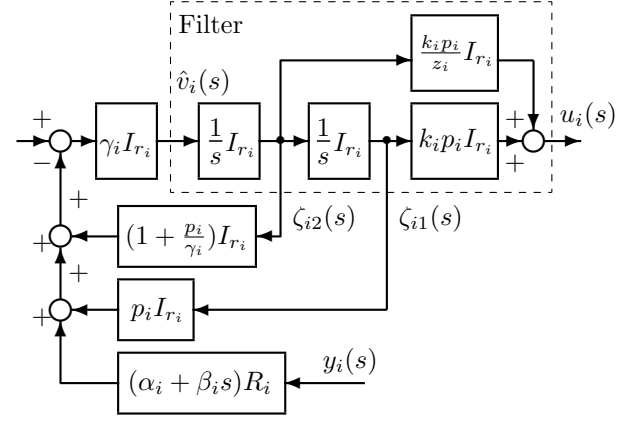


図2 Block diagram of the i -th equivalent local controller

ントローラの入出力関係は次の(5)式で表される.

$$u_i(s) = -\frac{\kappa_i \gamma_i \beta_i p_i \left(s + \frac{\alpha_i}{\beta_i} \right) (s + z_i)}{z_i (s + p_i) (s + \gamma_i)} R_i y_i(s) \quad (5)$$

ただし, $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \kappa_i, p_i, z_i$ は正のスカラであり, $R_i \in R^{r_i \times r_i}$ は任意の正定行列である.

(5)式のコントローラの一つの実現は図1のブロック線図を等価変換して, 図2で得られる. ここで, $\zeta_{i1}(s), \zeta_{i2}(s)$ は局所コントローラの状態を表す. (4), (5)式のコントローラのボード線図の概念図を図3に示す. 図において破線は(4)式のDVDFBのゲインと位相を表し, 実線は(5)式の提案法のゲインと位相を表す. この図からDVDFBのゲイン特性は高周波域でも上昇し続けるのに対して, 提案法では一定の値にとどめていることがわかる. 一方, 位相特性においてはDVDFBが高周波域で90度位相を進めるのに対して, 提案法は高周波域において位相の進み量は0度になる. これらの特性から提案法のコントローラは高周波域の振幅を

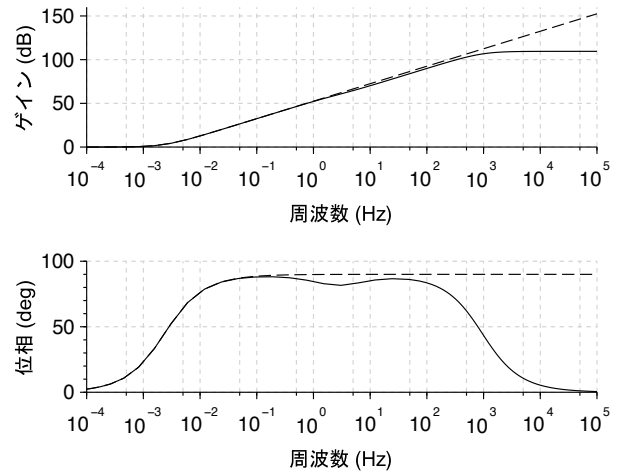


図3 Bode diagram of DVDFB and proposed method

抑制した操作入力を制御対象へ加えることができ、その結果としてアクチュエータが消費する動力を抑制する性能をもつことがわかる。

4. 閉ループサブシステム

(1), (2)式で表される構造物を(5)式のコントローラで制御する閉ループサブシステムは、図2の破線で囲まれた部分(以下ではフィルタと呼ぶ)と構造物からなる拡大系に、その状態 $x_i(t) = [q_i^T(t) \quad \dot{q}_i^T(t) \quad \zeta_{i1}^T(t) \quad \zeta_{i2}^T(t)]^T$ をフィードバックして得られる閉ループシステムと等価である。この拡大系と状態フィードバックを表すために、まず

$$w_i(t) = -\gamma_i (\alpha_i R_i L_i^T q_i(t) + \beta_i R_i L_i^T \dot{q}_i(t)) \quad (6)$$

とおくと、フィルタの状態方程式と出力方程式は次式で表される。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{\zeta}_{i1}(t) \\ \dot{\zeta}_{i2}(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0_{r_i} & I_{r_i} \\ -p_i \gamma_i I_{r_i} & -(p_i + \gamma_i) I_{r_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_{i1}(t) \\ \zeta_{i2}(t) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0_{r_i} \\ I_{r_i} \end{bmatrix} w_i(t) \end{aligned} \quad (7)$$

$$u_i(t) = \begin{bmatrix} \kappa_i p_i I_{r_i} & \frac{\kappa_i p_i}{z_i} I_{r_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \zeta_{i1}(t) \\ \zeta_{i2}(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

ここで 0_{r_i} は r_i 次のゼロ行列を表す。

(1), (2)式で表される構造物と(7), (8)式で表されるフィルタからなる拡大系の状態方程式と状態フィードバック $\hat{v}_i(t)$ はそれぞれ次の(9), (10)式で得られる。

$$\dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i \hat{v}_i(t) \quad (9)$$

$$\hat{v}_i(t) = -\hat{k}_i x_i(t) \quad (10)$$

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & I_{n_i} \\ -M_i^{-1} K_i & -M_i^{-1} D_i \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \kappa_i p_i M_i^{-1} L_i & \frac{\kappa_i p_i}{z_i} M_i^{-1} L_i \\ 0 & I_{r_i} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & I_{r_i} \end{bmatrix}^T$$

$$\hat{k}_i = \gamma_i \left[\alpha_i R_i L_i^T \quad \beta_i R_i L_i^T \quad p_i I_{r_i} \quad \left(\frac{p_i}{\gamma_i} + 1 \right) I_{r_i} \right]$$

ただし、 I_{n_i} は n_i 次の単位行列を表す。

なお、局所コントローラのパラメータが(11)式を満たすとき、閉ループサブシステムは構造物の特性パラメータの不確かさに対してロバスト安定化される⁽⁶⁾。

$$\frac{\alpha_i}{\beta_i} < p_i < z_i < \gamma_i \quad (11)$$

5. 閉ループ全体システム

ここでは閉ループサブシステムをバネとダンパで表される柔軟なリンクで結合して得られる閉ループ全体システムを求める。まず、サブ構造物を柔軟なリンクで柔結合した全体構造物は次の(12)式で表される。

$$\bar{M} \ddot{\bar{q}}(t) + \bar{D} \dot{\bar{q}}(t) + \bar{K} \bar{q}(t) = \bar{L} \bar{u}(t), \quad \bar{y}(t) = \bar{L}^T \bar{q}(t) \quad (12)$$

ここでベクトルと行列は次の通りである。

$$\begin{aligned} \bar{q}(t) &= \begin{bmatrix} q_1^T(t) & q_2^T(t) & \cdots & q_\ell^T(t) \end{bmatrix}^T \\ \bar{u}(t) &= \begin{bmatrix} u_1^T(t) & u_2^T(t) & \cdots & u_\ell^T(t) \end{bmatrix}^T \\ \bar{y}(t) &= \begin{bmatrix} y_1^T(t) & y_2^T(t) & \cdots & y_\ell^T(t) \end{bmatrix}^T \\ \bar{M} &= \text{diag}\{M_i\}_{i=1,2,\dots,\ell}, \quad \bar{L} = \text{diag}\{L_i\}_{i=1,2,\dots,\ell} \\ \bar{D} &= \text{diag}\{D_i\}_{i=1,2,\dots,\ell} + \sum_{i=1}^{\ell-1} \sum_{j=i+1}^{\ell} \bar{N}_{ij} D_{Cij} \bar{N}_{ij}^T \\ \bar{K} &= \text{diag}\{K_i\}_{i=1,2,\dots,\ell} + \sum_{i=1}^{\ell-1} \sum_{j=i+1}^{\ell} \bar{N}_{ij} K_{Cij} \bar{N}_{ij}^T \end{aligned}$$

なお、行列 \bar{N}_{ij} ($i = 1, 2, \dots, \ell-1, j = 2, 3, \dots, \ell, i < j$)は、サブ構造物の結合を表す行列であり、行列 D_{Cij} , K_{Cij} はそれぞれサブ構造物の結合に用いられる柔軟なリンクのダンパと剛性を表す正定行列である。また全体構造物においてすべての変位と速度が $q_i(t) = 0, \dot{q}_i(t) = 0$ のとき、全体構造物は平衡状態にあるものとする。つぎに、柔結合された全体の構造物とすべての局所コントローラのフィルタからなる拡大系と状態フィードバックはそれぞれ(13), (14)式で表され、分散制御された閉ループ全体システムは、(13)式の拡大系に(14)式の状態フィードバックを施して得られる。

$$\dot{\bar{x}}(t) = \bar{A} \bar{x}(t) + \bar{B} \bar{v}(t) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= \begin{bmatrix} \bar{q}^T(t) & \dot{\bar{q}}^T(t) & \bar{\zeta}_1^T(t) & \bar{\zeta}_2^T(t) \end{bmatrix}^T \\ \bar{\zeta}_j(t) &= \begin{bmatrix} \zeta_{1j}^T(t) & \zeta_{2j}^T(t) & \cdots & \zeta_{\ell_j}^T(t) \end{bmatrix}^T, \quad j = 1, 2 \\ \bar{A} &= \begin{bmatrix} 0 & I_{\bar{n}} & 0 & 0 \\ -\bar{M}^{-1} \bar{K} & -\bar{M}^{-1} \bar{D} & \bar{\kappa} \bar{p} \bar{M}^{-1} \bar{L} & \bar{\kappa} \bar{p} \bar{z}^{-1} \bar{M}^{-1} \bar{L} \\ 0 & 0 & 0 & I_{\bar{r}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\bar{\kappa} = \text{diag}\{\kappa_i I_{n_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}, \quad \bar{p} = \text{diag}\{p_i I_{n_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}$$

$$\bar{z} = \text{diag}\{z_i I_{n_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & I_{\bar{r}} \end{bmatrix}^T, \quad \bar{n} = \sum_{i=1}^{\ell} n_i, \quad \bar{r} = \sum_{i=1}^{\ell} r_i$$

$$\bar{v}(t) = -\hat{\gamma} \{ \hat{\alpha} \hat{R} \bar{y}(t) + \hat{\beta} \hat{R} \dot{\bar{y}}(t) + \hat{p} \bar{\zeta}_1(t) + \hat{\eta} \bar{\zeta}_2(t) \} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}\hat{\alpha} &= \text{diag}\{\alpha_i I_{r_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}, \hat{\beta} = \text{diag}\{\beta_i I_{r_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell} \\ \hat{\gamma} &= \text{diag}\{\gamma_i I_{r_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}, \hat{R} = \text{diag}\{R_i\}_{i=1,2,\dots,\ell} \\ \hat{p} &= \text{diag}\{p_i I_{r_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell} \\ \hat{\eta} &= \text{diag}\{(p_i/\gamma_i + 1) I_{r_i}\}_{i=1,2,\dots,\ell}\end{aligned}$$

ここで $I_{\bar{n}}, I_{\bar{r}}$ はそれぞれ \bar{n}, \bar{r} 次の単位行列を表す。

なお、すべてのサブ構造物の局所コントローラにおいてコントローラパラメータが(11)式を満たすとき、閉ループ全体システムは構造物の特性パラメータの不確かさに対してロバスト安定化される⁽⁶⁾。

6. 数値例

ここでは図4に示すように同じ形をした二つの矩形の剛体が x 方向に柔結合されたサブ構造物1,2が y 方向に柔結合した宇宙構造物を考える。この構造物は x, y 方向の並進運動と各剛体の質量中心 O_{ij} 周りの回転運動を行う。センサー、アクチュエータ、コントローラは剛体11,22の質量中心に設置され、剛体を結合するすべてのリンクの伸縮量が0で静止しているとき構造物は原点にあるものとする。構造物において第 i サブシステムの第 j 番目の剛体の質量を m_{ij} 、質量中心周りの慣性モーメントを J_{ij} で表す。第 i サブシステム内の結合に用いられる第 j 番目の柔軟リンクの剛性とダンパ定数をそれぞれ k_{cij}, d_{cij} で表し、サブシステムの結合に用いられる第 l 番目の柔軟リンクの剛性とダンパ定数をそれぞれ k_{vl}, d_{vl} で表す。第 i サブシステムにおいて第 j 番目の剛体の質量中心と第 k 番目の結合点の線分の距離を ℓ_{ijk} 、その線分と剛体の辺がなす角を ψ_{ijk} 、結合点 ijk において剛体の辺と柔軟なリンクがなす角を ϕ_{ijk} とする。

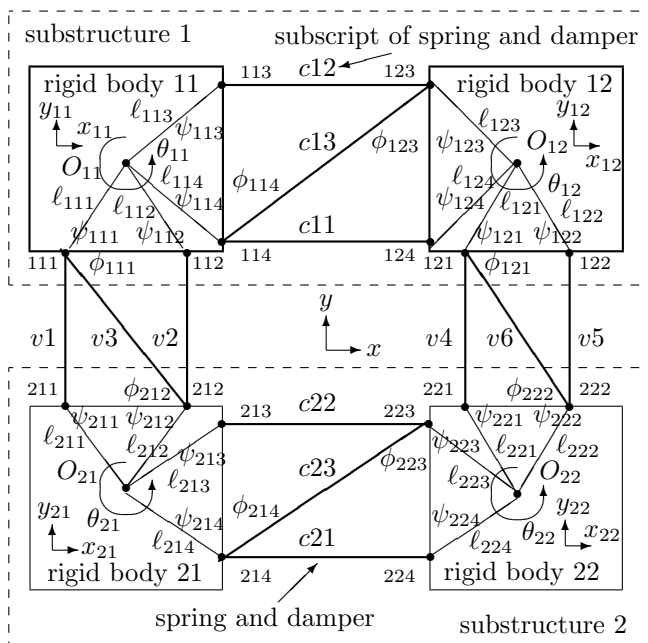


図4 Space structure

表1 Parameters in the structure of Fig. 4

| i | j | m_{ij} | J_{ij} | k_{cij} | k_{vl} | d_{cij} | d_{vl} |
|-----|-----|----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 1 | 1 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 20.0 | 0.01 | 0.02 |
| | 2 | 15.0 | 7.5 | | | | |
| 2 | 1 | 15.0 | 7.5 | 10.0 | 20.0 | 0.01 | 0.02 |
| | 2 | 20.0 | 10.0 | | | | |

$$j = 1, 2, 3, l = 1, \dots, 6$$

表2 Parameters of local controllers

| i | α_i | β_i | γ_i | p_i | z_i | κ_i |
|-----|------------|-----------|------------|-------|-------|------------|
| 1 | 0.5 | 2.5 | 100.0 | 20.0 | 60.0 | 1.0 |
| 2 | 0.1 | 1.0 | 200.0 | 15.0 | 55.0 | 1.0 |

表3 Squared sum of displacement output and manipulated values

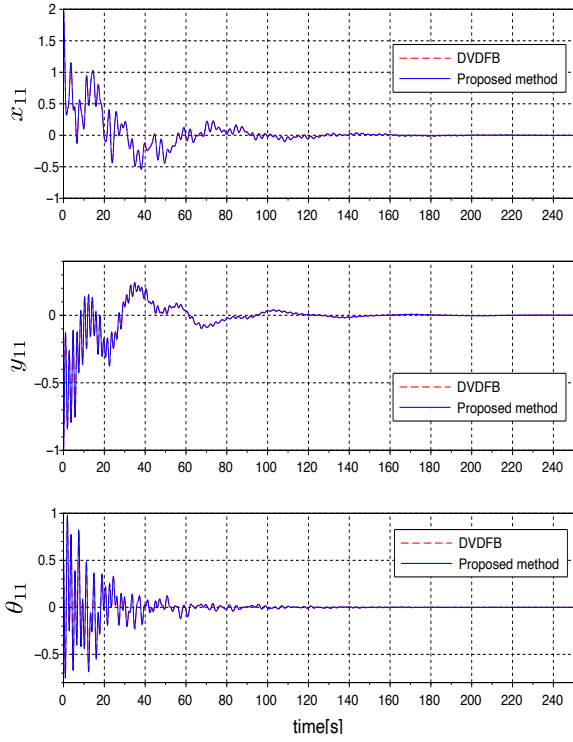
| | \bar{Y} | \bar{U} |
|------------|---------------------|---------------------|
| (1) DVDFB | 9.695×10^3 | 3.390×10^3 |
| (2) 提案法 | 9.750×10^3 | 2.092×10^3 |
| 比率 (2)/(1) | 1.006 | 0.734 |

これらの特性パラメータを表1で与える。角度と長さはそれぞれ $\psi_{ijk} = \pi/3[\text{rad}]$, $\phi_{ijk} = \pi/3[\text{rad}]$, $\ell_{ijk} = 1.0$ とした。各サブ構造物のコントローラのパラメータを表2のように与える。なお、 α_i, β_i, R_i はDVDFB制御とゲイン・位相補償を用いた提案法で共通の値であり、 $\gamma_i, z_i, p_i, \kappa_i$ は提案法のみパラメータの値である。行列 R_i は3次の単位行列とした。剛体11の初期値を次式で与える。

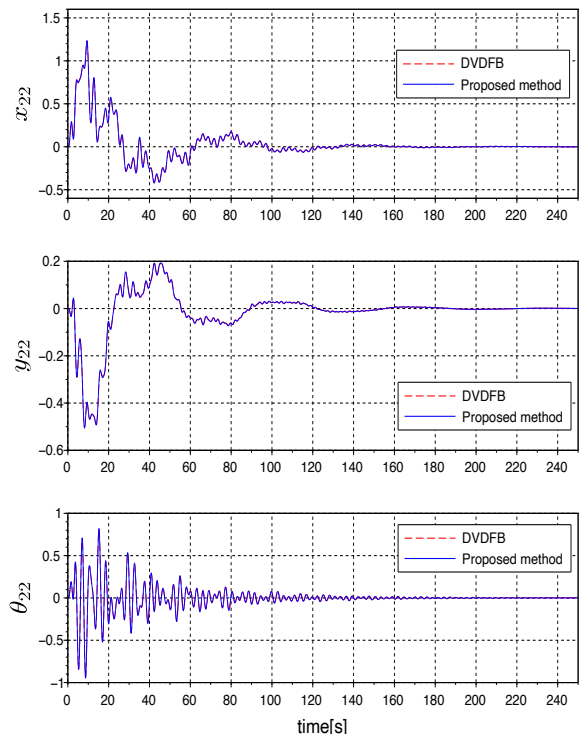
$$x_{11}(0) = 2.0, y_{11}(0) = -1.0, \theta_{11}(0) = 0.5 \quad (15)$$

そのほかの変位と速度の初期値はすべてゼロとし、サンプリング時間を $\Delta T = 8[\text{ms}]$ として初期値応答求めた。剛体11と22の変位出力と操作入力の応答を計算するとそれぞれ図5, 図6のようになる。いずれの図においても破線と実線はそれぞれDVDFBと提案法の応答を表している。これらの応答のデータを用いて時刻 $T = 0$ から $T = 250$ までの剛体11と22の変位出力の二乗和 \bar{Y} と操作入力の二乗和 \bar{U} を次式で計算する。

$$\begin{aligned}\bar{Y} &= \sum_{k=0}^{31250} \bar{y}^T(k\Delta T) \cdot \bar{y}(k\Delta T) \\ \bar{U} &= \sum_{k=0}^{31250} \bar{u}^T(k\Delta T) \cdot \bar{u}(k\Delta T)\end{aligned}$$

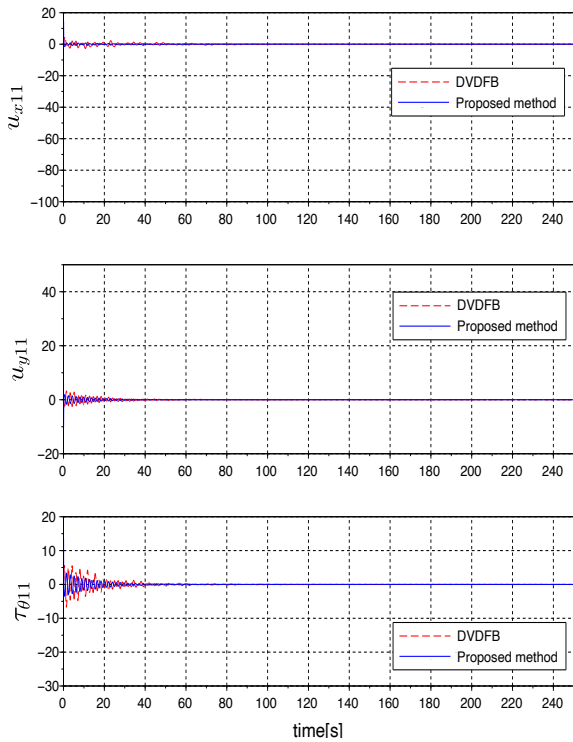


(a) Rigid body 11

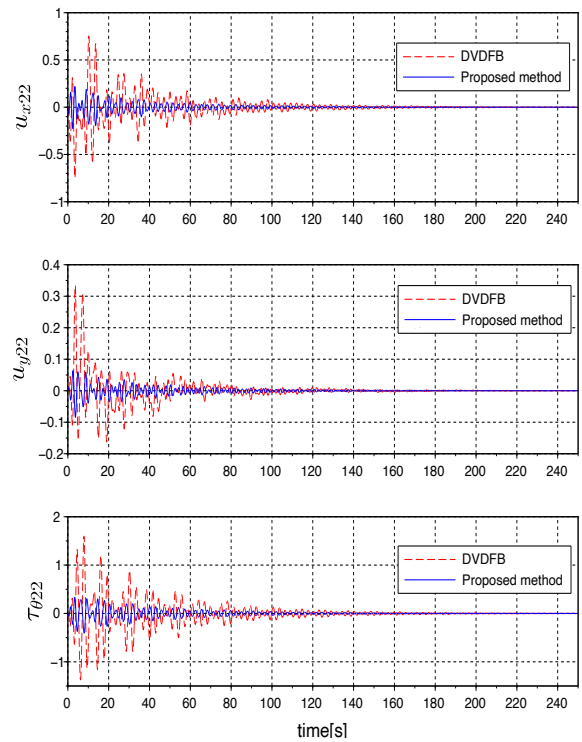


(b) Rigid body 22

図5 Responses of displacement/angular displacement of rigid bodies 11, and 22



(a) Rigid body 11



(b) Rigid body 22

図6 Responses of manipulated values for rigid bodies 11, and 22

(4)式のDVDFB と(5)式の提案法で制御した場合の \bar{Y} と \bar{U} の値を表3に示す。この表より提案法とDVDFBの変位出力の二乗和の比は1.0となり、操作入力 of 二乗和の比は0.734となった。このシミュレーション結果から提案法は従来法より27%少ない動力で同等の応答性能を実現していることがわかる。

7. おわりに

本稿では従来のDVDFBにローパスフィルタとゲイン補償と位相進み補償を行うフィルタを接続した局所コントローラを用いて大型柔軟宇宙構造物の位置と姿勢を分散制御する方法を提案した。この方法は構造物の変位出力のみを用いたコントローラで実現でき、速度/角速度センサが不要となるためコストを下げ、かつ信頼性を向上させる利点がある。数値シミュレーションによってその応答特性と消費動力特性を従来法のDVDFBと比較した結果、提案法を用いることにより、DVDFBより少ない消費動力で、同等の応答特性が得られることがわかった。

参考文献

- (1) J. C. Mankins : "The Space Solar Power Option", *Aerospace America*, 35, pp.30-36, 1997.
- (2) 糺谷, 池田, 木田: 「Collocated Feedback による宇宙構造物の最適制御」, 計測自動制御学会論文集, 第25-8号, pp.882-888, 1989.
- (3) 小林, 池田, 藤崎, 松田, 木田: 「大型宇宙構造物の分散DVDFB制御—耐故障性と最適性—」, 計測自動制御学会論文集, 第35-7号, pp.919-925, 1999.
- (4) Y. Fujisaki, M. Ikeda, and K. Miki : "Robust Stabilization of Large Space Structures Via Displacement Feedback", *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol.46, No.12, pp.1993-1996, 2001.
- (5) 辻川, 小林: 「変位出力を用いたゲイン・位相補償による柔軟宇宙構造物のロバスト安定化」, 2020年度 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム, pp.9-10, 2021.
- (6) Y. Kobayashi, R. Imoto : "Decentralized Robust Control of Large Space Structures by Local Proper Controllers Using Displacement Output Feedback", *SICE Annual Conference 2012*, pp.524-527, 2012.

オンライン授業におけるペンタブレット端末と 液晶ペンタブレット端末導入の教育効果

中川 卓也* 大向 雅人** 津吉 彰***

Comparison between a Pen-tablet Device and a Screen Tablet Hybrid Device for Online Education

Takuya NAKAGAWA* Masato OHMUKAI** Akira TSUYOSHI***

ABSTRACT

Online education is nowadays demanded especially under a pandemic infection circumstance. A teacher gives a remote lecture through a computer network using an input device. As an input device, a pen-tablet device and a screen tablet hybrid device were compared. From the fact that the quality of the lecture is similar for the student, the pen-tablet device is more recommended because of its lower price.

Keywords : online education, pen-tablet device, screen tablet hybrid device, questionnaire investigation, pandemic infection circumstance

1. はじめに

新型コロナウイルスの感染爆発の影響により2020年4月に緊急事態宣言が発令され、本校においても急遽オンライン授業を行うことを与儀なくされた。急遽オンライン授業開始が決まったため、非常に短い準備期間の中で授業準備を行うこととなった。そのため、教員のコンピュータのスキルレベルによって講義内容に大きな影響を与えた。準備期間もほぼ無い状況下においては仕方が無いとも考えられる。しかし、実際のところ多くの場合において、

- ・オンライン授業で利用するシステムの使い方を教える側が理解することで手一杯であった
- ・授業内容を充実させるための準備にまで手が回らなかった

といった現状が見受けられた。

語学系の科目であれば、口頭での説明もしやすいためテキストを画面に表示し（静止画像で）説明を行えば、わかりやすい授業を提供することができると考

えられる。しかし、数学系や専門科目で数式を扱う科目等は説明・解説がしづらいという大きな一面がある。そのため、オンライン授業中、口頭説明だけでは伝えることが難しい箇所において、画面上でリアルタイムに式の変形・図示を行うことによる補足が必要と考えられる。また、授業の基本はあくまでも対面授業である⁽¹⁾、視覚情報の提示が効果的であることは論を俟たない⁽²⁾という研究報告もある。具体的には、数式の変形方法や変形における注意点、提出課題の修正箇所等図示・説明を行うことで講義内容が充実し、対面授業と同レベルの講義が提供できると考えられる。そこで、講義内容の充実をはかるためにペンタブレット（以降、板タブと呼ぶ）を導入し、数式の解説をオンライン画面上で行えば学生の理解度が向上すると考えた。板タブは図や絵を用いた説明に移行しやすく、本来の板書を再現する最適な入力ツールである⁽³⁾との研究報告もある。

はじめに、ホワイトボードと板タブを用いたオンライン授業を行い、比較・検討したところ、板タブを用いた授業の方が分かりやすい⁽⁴⁾という結果が得られた。次に、タブレット端末（iPad）と板タブを用いたオンライン授業を行い、比較・検討したところ、板タブを用いた授業の方が分かりやすい⁽⁵⁾という結果が得られた。

* 明石工業高等専門学校 技術教育支援センター
技術専門員

** 明石工業高等専門学校 電気情報工学科 教授

*** 電気工学科 教授

それらを踏まえ、オンライン授業において板タブと液晶タブレット（以降、液タブと呼ぶ）を導入し、どのような教育効果が得られるのか、学生にアンケート調査を実施し、比較・検討を行う。

2. 板タブ・液タブの導入検討について

まず、オンライン授業で使用するソフトウェアについては、

- ・ Microsoft365 Teams（以降、Teams とする）を使用した。理由は、
- ・ 国立高専機構本部が導入・推奨している
- ・ 双方向授業ができる
- ・ 録画にも対応している

といったことがあげられる。特に、授業時間に学生の自宅に回線トラブルが起こっていた等、何らかの事情で授業に参加できないケースも想定されるため、録画にも対応している点は大きいと考えられる。

しかし、Teams の場合、双方向授業では画面が 9 分割されてしまうため、受講学生の見ている画面がどうしても小さくなってしまう。そのため、教員が板書しても何をしているか分からない状況に陥ってしまうという問題が起こる。ただし、録画した動画を再生すると画面全体で再生できるため、板書内容もきちんと確認できる状態となる。

以上から、録画配信が前提であれば問題無いが、双方向授業には適さないと考えられる。

次に、筆者達の過去の研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾を踏まえ、オンライン画面上においてリアルタイムで数式を変形し、説明する方法の検討を行う。オンライン画面上で数式を変形する方法としては、

- I：板タブを用いた板書講義
- II：液タブを用いた板書講義

が考えられる。

過去において、機械操作が苦手な人でも携帯電話や音楽プレイヤーは使いこなせているように、誰もが使いやすい形にコンテンツを整備していくことも重要だ⁽⁶⁾という研究報告もある。オンライン授業の充実をはかるために機器を導入する場合、専門知識を持たなくても扱えるようにし、素人でも簡単にオンライン授業の拡充ができるシステムの構築を目指す。

2.1 板タブを用いた板書講義について 板タブとは、モニター（液晶画面）を見ながら専用の板の上（タブレット上）で専用のペンを動かし直接書き込むことができる入力装置である。オンライン授業において、講義資料を画面共有しながら説明を行い、必要に応じて画面共有ファイルに板タブを使って数式の変形や図解、重要事項の補足等をリアルタイムで書き加えるスタイルとなる。この方法が対面授業に一番近く、比較的簡単に導入できる方法と考えられる。

2.2 液タブを用いた板書講義について 液タブとは、

専用のペンを専用の液晶パネル上に直接置いて、画面に線を描き込む入力装置である。

板タブと同様、講義資料を画面共有しながら説明を行い、必要に応じて画面共有ファイルに液タブを使って数式の変形や図解、重要事項の補足等をリアルタイムで書き加えるスタイルとなる。

2.3 板タブ・液タブのメリット・デメリットについて 板タブと液タブのメリット・デメリットについて考える。

板タブは、入力装置が単純な機構であるため、安価で導入しやすい。また、資料等を置いてトレースしたり、紙を置くことで書きやすい好みの感覚を生み出すことができる。実際に導入するとよく分かるのだが、板タブ・液タブ全般において、文字・図が描きにくいのが一般的である。そのような観点から好みの感覚で描けるのは大きなメリットと考えられる。また、画面を見ながら描くので、手元が隠れたりすることはないが、自分が描いている線と画面に描画される線にずれが生じ、慣れるまでに時間がかかる。以上、板タブのメリット・デメリットについてまとめると、

【板タブのメリット】

- ・ 価格が安い
- ・ 手元が隠れない
- ・ 紙を置いて好みの感覚を生み出せる
- ・ 軽い

【板タブのデメリット】

- ・ 慣れるまで時間がかかる

となる。

液タブは、原則として単なるディスプレイモニターであるため、液タブ単体では何もできない。つまりノート PC に接続し、描画できるセカンドディスプレイとして使用するスタイルとなる。画面に直接線が描けるので、思ったところに線が描け、やり直す回数も少なくなり作業効率が上がる。また、直観的に描けるので慣れるまでの時間はほとんどない。そのため初心者には受け入れやすいと考えられる。一方、液タブはモニターであるため、価格が高くなる。次に、紙に描くときと同じような前屈みな姿勢になるため、目が疲れたり肩がこったりする可能性がある。さらに、液晶パネル状に描画するため、構造上どうしても視差が発生する。視差とは、見る角度によってペン先と実際に描かれる線の間に生じる僅かな差のことである。最近の液タブの視差は小さいので、ほとんど気にしなくてもよいと考えられる。以上、液タブのメリット・デメリットについてまとめると、

【液タブのメリット】

- ・ 直観的に描け、作業効率が上がる
- ・ 慣れるまでの時間がほとんどない
- ・ 自由度が高い
- ・ 板タブとして使うことも可能

【液タブのデメリット】

- ・価格が高い
 - ・板タブより重い
 - ・個人差はあるが、(目の疲れ、肩こり等) 身体への負担が大きい可能性がある
 - ・視差が発生する
- となる。

3 導入する板タブ・液タブの機器選定について

板タブを導入するにあたり、選定の条件は、

- ・専門知識を持たなくても扱えること
- ・素人でも簡単にオンライン授業が行えるシステムの構築ができること
- ・誰でも導入しやすいよう、比較的安価なものとする。

上記条件を考慮し、

- ・XP Pen Deco01 V2
- を導入する。

導入を決めたポイントは、

- ・ドライバのインストールが不要
(Windows 10 (以降 Win10 とする) 標準ドライバで対応可能)
- ・タブレット上の書込み範囲が、画面サイズ (Full HD) に対応している
- ・電子ペンを充電する必要がない
- ・比較的安価 (5 千円程) に導入できる

といった点である。

Win10 の標準ドライバに対応しているので、USB コネクタを PC に接続すれば使える状態となる。つまり、専用ドライバのインストールや特殊な設定を行わなくても使うことができる。そのため、素人でも簡単に導入できると考えられる。もちろん、専用ドライバをインストールするとより細かい描画が可能となるので、より細かい設定を行って使用することも可能である。板タブの接続イメージを図 1 に示す。

また、板タブの書込み範囲が、教員側 (配信する側) の PC 画面サイズ (Full HD) と同サイズに対応している。つまり、画面に映し出されている範囲が、板タブで書き込み可能な範囲となる。そのため、使用する側は特に設定を行わなくても感覚的に使うことができるので、とても使いやすいと考えられる。

他のメーカーでは、電子ペン本体を充電する必要があるものが多くある。その場合、授業中に板タブが使えなくなってしまう。前もって電子ペン本体の充電を行う必要がある。今回導入を決めた板タブは、電子ペン本体を充電する必要がないため、授業中に電子ペンの充電が切れて、授業の継続に支障が出るといったトラブルが回避できる。そういった面でも運用しやすいと考えられる。

板タブ自体は安ければ 3 千円前後で購入することができる。しかし、価格が安くなると書込み範囲が狭い

などの制限があり、板タブを使用するにあたりノウハウやコツが必要と考えられる。今回は、“専門知識を持たなくても扱える” “素人でも簡単にオンライン授業が行えるシステムの構築ができる” ことを踏まえているため、5 千円程のペンタブレット (XP Pen Deco01 V2) の導入とした。また、導入する板タブが 5 千円程でも比較的安価であると考えられる。



図 1 板タブ接続イメージ図

次に、液タブの選定を行う。液タブとって色々なメーカーやたくさん種類があり、本体サイズや価格等もさまざまに何をどう選んだらよいかわからない人も多いと考えられる。液タブ選定の条件は板タブと同様、

- ・専門知識を持たなくても扱えること
- ・素人でも簡単にオンライン授業が行えるシステムの構築ができること
- ・液タブの中でも比較的安価なものとする。

上記条件を考慮し、

- ・XP Pen Artist12 セカンド (豪華版)
- を導入する。

導入を決めたポイントは、

- ・ディスプレイが 12 インチと程よいサイズである
 - ・画面サイズが Full HD に対応している
 - ・電子ペンを充電する必要がない
 - ・別途付属品を購入する必要がない
 - ・3 in 1 (HDMI&USB) ケーブル、USB-Type C ケーブルのどちらでも接続できる
 - ・液タブとしては比較的安価 (3 万円程) である
- といった点である。

液タブとっても多く種類があり、価格帯もピンキリである。一般的な接続方法は、3 in 1 ケーブルを使って接続する方法で、PC 側には HDMI と USB、電源 (USB

の場合もある) ケーブルで接続, 液タブ側に専用コネクタで接続するものが主流である. この接続方法ではケーブルが3本となり, 取扱いにくい一面がある. 3 in 1 ケーブル接続のイメージを図2に示す.



図2 液タブ 3 in 1 ケーブル接続イメージ図

一方, 近年では USB-Type C コネクタを実装した PC が普及してきたが, 液タブで USB-Type C ケーブルで接続できるモデルはまだまだ少ない. USB-Type C で接続するメリットは, PC と液タブの接続がケーブル1本でできるため素人でも取扱いやすい点である. USB-Type C ケーブル接続のイメージを図3に示す.



図3 液タブ USB-Type C ケーブル接続イメージ図

それらを踏まえると, 『XP Pen Artist12 セカンド (豪華版)』はすべてがパッケージに含まれており, 付属品を追加購入する必要がない. つまり, 3 in 1 ケーブル, USB-Type C ケーブルのどちらでも接続可能で, PC の仕様によって接続方法が選択できる. 手軽に導入したい場合は USB-Type C ケーブルでの接続をお奨めする. もちろん, 板タブと同様に電子ペン本体の充電が必要ないため, 充電が切れて授業の継続に支障が出るといったトラブルもない. それ加えて, 価格も約3万円程なので液タブエントリーモデルとしては申し分ないと考えられる.

また液タブの場合, どのメーカーにおいても専用ド

ライバのインストールが必要となっているが, それは製品の仕様上仕方ないと考えられる. 実際に『XP Pen Artist12 セカンド (豪華版)』を導入したところ, 「線を描く」「線の色・太さを変える」「線を消す」といった基本動作であれば, 専用ドライバをインストールしなくても動くことが確認できた. つまり, 基本動作のみで良ければ, ドライバのインストールは不要である. もちろん, より細かな描画をする場合は, 専用ドライバをインストールすることで対応可能となる.

4. 板書講義の導入方法

板タブ・液タブを用いた板書講義の導入において, 比較を行うこととする. ただし, Teams でオンライン授業 (双方向授業) を行うと画面が9分割されて比較できないため, 授業内容を録画し, 学生が受講する形式とする. また, 録画時間は3分程度とする.

次に, 板タブ・液タブの板書講義について, 板タブ・液タブを PC に接続するとドライバを自動認識し, 普通に使える状態となる. 操作方法は,

- ・ Windows PC から Teams を起動
- ・ レコーディング開始し, 授業開始
- ・ 授業資料を画面共有し, 説明・描画
- ・ 授業終了後, レコーディング停止

といった手順で録画を行う.

5. 授業アンケートの実施

板タブと液タブの授業動画の導入を“電気回路I (令和4年度, 第1学年, 後期)”において試みた. なお, この講義を選択したのは,

- ・ 基本的な講義方法・講義内容が基礎的な内容であり, 毎年同じ内容の講義が提供できている.
- ・ 学生の基礎知識の差にばらつきがない. 電気回路I は1年生 (入学直後) において行う講義であるため, 学生の基礎知識にはほとんど差がみられない. そのため, 板タブと液タブの導入効果が素直に反映されると考えられる.

という二つの理由が挙げられ, 客観的な検討が可能であると考えられるためである.

また, アンケート内容は

Q1. どちらの動画がわかりやすいですか?

- ・ Δ-Y 変換 (板タブ使用)
- ・ Y-Δ 変換 (液タブ使用)
- ・ どちらもかわらない (同じくらい)

Q2. 画面や文字の見やすさはどちらがいいですか?

- ・ Δ-Y 変換 (板タブ使用)
- ・ Y-Δ 変換 (液タブ使用)
- ・ どちらもかわらない (同じくらい)

Q3. 下記項目に当てはまるものを選択してください. (複数回答可)

- ・ 板タブを使った Δ-Y 変換の方がわかりやすい

- ・液タブを使った Y-Δ 変換の方がわかりやすい
- ・板タブを使った場合、資料を配布してほしい
- ・液タブを使った場合、資料を配布してほしい

Q4. その他、気づいたことなどを自由に記述してください。

とした。

なお、“Δ-Y 変換”“Y-Δ 変換”とは、三相交流において Y 結線と Δ 結線があり、結線方法を等価回路に変換する方法である。講義内容を“Δ-Y 変換”“Y-Δ 変換”としたのは、非常に似た内容であるため、板タブと液タブを導入した板書講義を比較するのに最適だと考えられるためである。

6. アンケート結果と考察

板タブと液タブを導入した板書講義について、それらが学生に対してどのような効果・影響を及ぼしているかについての検討を行う。

まず、設問 Q1 “どちらの動画がわかりやすいですか？”の問いに関する回答を図 4 に示す。

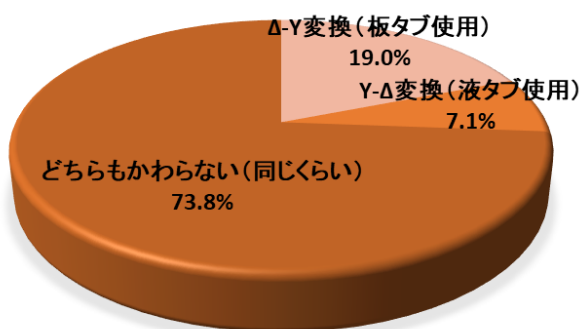


図 4 「Q1：どちらの動画がわかりやすいですか？」に関する回答結果

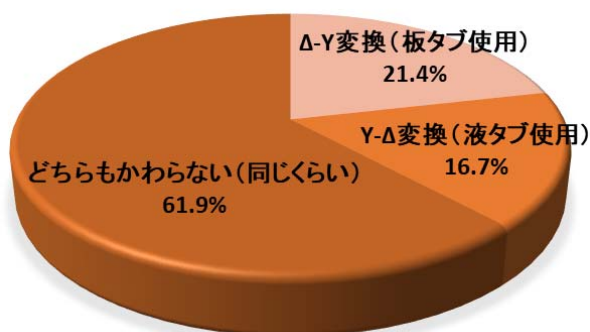


図 5 「Q2：画面や文字のみやすさはどちらがいいですか？」に関する回答結果

図 4 より、“Δ-Y 変換 (板タブ使用) が良い”は 42 人中 8 人 (19.0%)，“Y-Δ 変換 (液タブ使用) が良い”は 42 人中 3 人 (7.1%)，“どちらもかわらない (同じ

くらい)”は 42 人中 31 人 (73.8%) という結果となった。

動画の分かりやすさについて図 4 より、“Δ-Y 変換 (板タブ使用) が良い”は約 2 割弱となっている。一方、“Y-Δ 変換 (液タブ使用) が良い”は約 1 割弱となっている。また、“どちらもかわらない (同じくらい)”は 7 割強となっている。それらの結果を踏まえると、受講する側からは板タブ・液タブのどちらを使用しても『どちらもかわらない(同じくらい)』と考えられる。

次に、設問 Q2 “画面や文字の見やすさはどちらがいいですか？”の問いに関する回答を図 5 に示す。

図 5 より、“Δ-Y 変換 (板タブ使用) が良い”は 42 人中 9 人 (21.4%)，“Y-Δ 変換 (液タブ使用) が良い”は 42 人中 7 人 (16.7%)，“どちらもかわらない (同じくらい)”は 42 人中 26 人 (61.9%) という結果となった。

画面や文字のみやすさについて図 5 より、“Δ-Y 変換 (板タブ使用) が良い”は約 2 割強となっている。一方、“Y-Δ 変換 (液タブ使用) が良い”は約 2 割弱となっている。また、“どちらもかわらない (同じくらい)”は 6 割強となっている。それらの結果を踏まえると、受講する側からは板タブ・液タブのどちらを使用しても『どちらもかわらない(同じくらい)』と考えられる。

次に、実際の板タブの録画配信の画面を図 6 に、液タブの録画配信の画面を図 7 に示す。

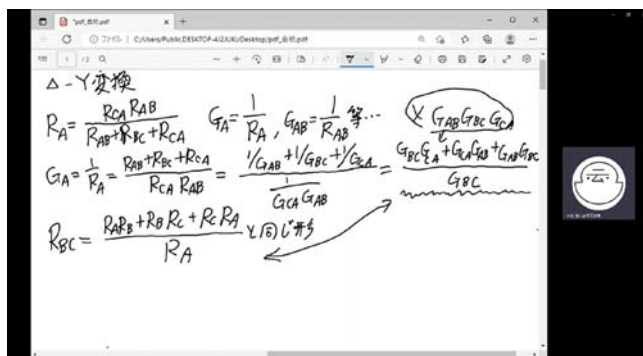


図 6 板タブ動画配信画面

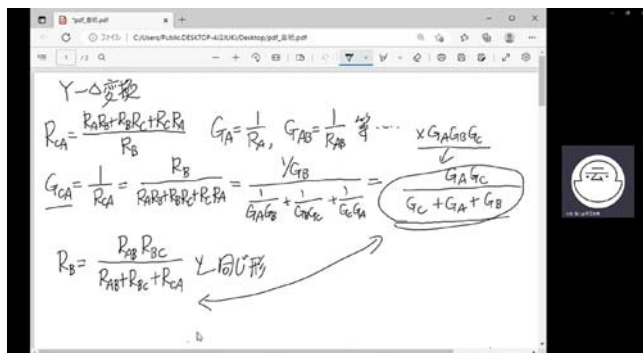


図 7 液タブ動画配信画面

図 6・図 7 を比較すると、板タブ使用時は文字が少し太いがこれは設定によるものなので、議論の対象外とする。それ以外、文字の大きさや配信画面の大きさ等には大差は見られない。以上から、受講する側からは、画面の見やすさについて板タブ・液タブのどちらの画面が見やすいか優劣をつけがたい、つまり『どちらもかわらない(同じくらい)』と考えられる。

参考に、iPad 使用時の画面⁽⁵⁾を図 8 に示す。

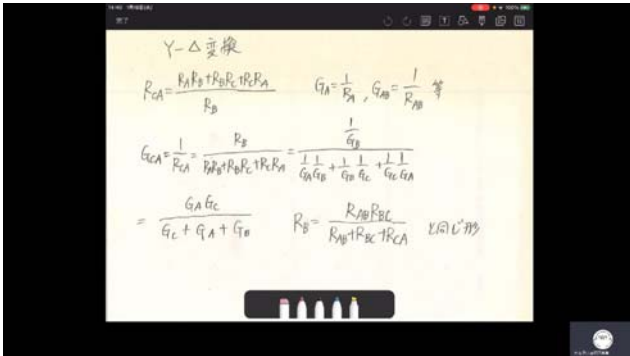


図 8 iPad 使用時の画面⁽⁵⁾

図 6・図 7・図 8 を比較すると、iPad 使用時の画面に比べると板タブ・液タブを使用時の画面の方が、テキスト表示の画面サイズが大きいことがわかる。導入機器としては iPad も液タブも大差がないように思われるが、実際に導入すると表示される画面の大きさに差が生じる結果となった。このような導入機器の特徴をよく理解して機器を導入することが重要であることを付け加えておく。

次に、参考資料の配布について、板書をノートに書き写す際に、口述と相まって数式の持つ意味・解釈、変形のコツなどを適切な速度で咀嚼されることが、授業の主題の理解へとつながる⁽²⁾という研究報告もあり、今後において資料を配布するのであれば、資料内容をしっかり検討する必要があると考えられる。

最後に、自由記述において、

・画面を変えていたこと自体気付いていなかったとの意見が寄せられた。これは、『“Δ-Y 変換は板タブ使用していた”，“Y-Δ 変換は液タブを使用していた”ことに気付かなかった』という意味と考えられる。つまり、受講する側からは板タブ・液タブのどちらを使用しても『どちらもかわらない(同じくらい)』と考えられる。

これらから、導入する側が“安価に導入したい”“簡単に接続したい”から板タブを導入する，“コストがかかっても手軽に導入したい”“直観的に描きたい”から液タブを導入する、といったように目的に応じて導入するのが良いと考えられる。

以上より、これまでの考察をまとめると、

I) 受講する側からは、板タブ・液タブのどちらを

導入してもかわらない(同じくらい)

II) 導入する側の目的によって、板タブ・液タブのどちらの機器を導入するか選択すると良い

III) 資料を配布するのであれば、資料内容をしっかり検討する必要がある
ということが考えられる。

8. おわりに

本研究では、板タブを使った場合と液タブを使った場合の授業動画について、比較・検討を行った。授業を行う側としては、共有している資料を手元で確認しながら数式変形・説明が行える液タブの方が使い勝手が良く、線も描きやすいため、授業を受ける側も液タブの方が好評価を得ると予想していた。しかし、アンケートから“板タブ”と“液タブ”のどちらもかわらない(同じくらい)という結果が得られた。これらを踏まえると、安価かつ手軽に板タブを導入したい、コストがかかっても直観的に描ける液タブを導入したい、といったように導入する側(教員)の目的に応じて、導入機器を選択すると良いと考えられる。

今後、対面授業だけでなく双方向授業や録画授業といったオンライン授業の機会が増々増えていくと想定される。多くのオンライン授業において板タブや液タブといったペンタブレットが導入され、授業が拡充されることを切に望む。

参考文献

- (1) 相場博明:「オンライン授業の類型化と教育効果の予察的考察」, 教育実践研究, 第 24 号, pp. 37-50, 2021.3.
- (2) 上田哲史:「黒板に代わる ICT ツールの一考察」, 大学教育研究ジャーナル, 第 14 号, pp. 62-68, 2017.
- (3) 田中智之:「オンデマンド型授業の実践と課題」, 日本薬理学雑誌, 156 巻 6 号, pp. 330-334, 2021.
- (4) 中川卓也, 大向雅人, 津吉 彰:「オンライン授業におけるペンタブレット導入の教育効果」, 神戸高専研究紀要, 第 60 号, pp. 11-16, 2022. 3.
- (5) 中川卓也, 大向雅人, 津吉 彰:「オンライン授業におけるタブレット端末とペンタブレット端末導入の教育効果」, 神戸高専研究紀要, 第 61 号, pp. 13-18, 2023. 3.
- (6) 珂月彩香:「ICT 教育促進を阻む壁 - 教育コンテンツ作成に見る問題の複雑さ -」, 西山学苑研究紀要, 第 14 号, pp. 15-32, 2019.

河川合流部のバックウォーター現象に関する基礎的検討

宇野宏司* 上野佳史** 今井洋太***

A Fundamental Investigation of Backwater Phenomenon at River Confluences

Kohji UNO* Yoshifumi UENO** Yota IMAI***

ABSTRACT

In this study, we focus on the relationship between the backwater phenomenon, which is a concern at river confluences during heavy rainfall, and geomorphic characteristics. We targeted first and second-class river systems in Hyogo Prefecture, where river development basic policies have been formulated, and grasped geomorphic characteristics of confluence points through spatial information analysis. Next, based on geomorphology of representative confluence points revealed by spatial information analysis, we created a river model and conducted numerical simulations by varying the topographic conditions. This helped identify the topographic conditions in river confluences where the backwater phenomenon is likely to occur.

Keywords : confluence of rivers, backwater, spatial information analysis, numerical analysis

1. はじめに

近年の世界的な気候変動により、我が国においても豪雨災害が多発している。平成 30 年には西日本の広い範囲で梅雨前線の停滞による豪雨災害が発生し、岡山県倉敷市の真備地区において、支川のバックウォーター現象による河川の氾濫が発生し、広範囲にわたり甚大な浸水被害をもたらした。図 1 に当時の被害の様子を示す。その後、バックウォーター現象が発生した高梁川・小田川の合流点付近では付け替え工事が実施されているが、こうした対策事業は効率的かつ効果的に実行していく必要があるため、災害の特徴および特性を十分に理解しておくことが必要である。

河川合流部の水理現象に関する研究事例は枚挙に暇がないが、最近の事例としては以下のようなものがある。高田ら⁽²⁾ は兵庫県を流れる加古川と美嚢川合流部周辺の河川地形とその形成要因に関して、現地河道を模した合流模型実験水路を用いた移動床実験を行い、合流部での流れと河床形状を支配する要因を明らかにするとともに、砂州の制御の為に設置された水制工の水理機能とその効果について、移動床模型実験により



図 1 平成 30 年 7 月豪雨小田川決壊の様子⁽¹⁾

考察した。また、数値解析により実験の再現計算を行い、実験結果の検証とその適用性の検討を行っている。また、島田ら⁽³⁾ は、背水区間における堤防決壊事例を要因分析の視点で収集整理を行い、特徴的な事例を対象に数値解析により背水区間における決壊現象の特徴を整理している。さらに自流通間と背水区間における決壊幅現象の相違、ならびに背水区間において自流通間と河道形状の相違が決壊幅現象に与える影響を検討した結果、背水影響を受ける堤防決壊幅現象は、自流通間および川幅に応じて異なることを明らかにしている。

これらの既往研究では、実河川における氾濫事例等

* 都市工学科 教授

** 都市工学科 令和 4 年度卒業生

*** 都市工学科 講師

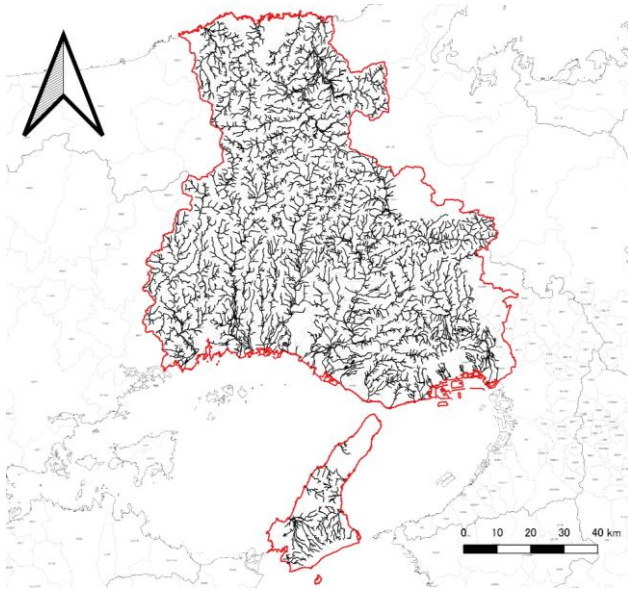


図2 解析対象河川の空間分布

を参考に、数値解析等を行い、合流部の水理特性等を明らかにしている。しかし、合流角度や川幅などの地形条件から合流点付近の水理現象の評価を行っている研究は多くない。このような社会背景を踏まえ、本研究では、兵庫県内の主要河川を対象に、空間情報解析により河川合流部の合流角度や川幅を統計的に把握した上でモデル河川を構築し、バックウォーター現象が発生しやすい地形的特徴を数値解析により明らかにした。

2. 研究方法

空間情報解析と数値解析の方法について以下に記す。

2.1 モデル河川構築のための空間情報解析 兵庫県における河川合流点周辺の地形状況を反映したモデル河川を構築するために、以下の手順で空間情報解析を行った。本研究で対象とする河川は、兵庫県内において河川整備基本方針が策定されている1級・2級水系の計49水系である。図2に解析対象河川の空間分布を示す。

空間情報解析の手順を以下に示す。合流地点の地形条件の抽出には、汎用地理情報システムツールのQGIS(ver.3.22.7)を用いた。まず、空中写真をベースとして対象河川の河口位置を読み取り、GIS(地理情報システム: Geographic Information System)上にポイントデータとして整理した。次に国土地理院地図⁽⁴⁾上にて計測した各合流点の緯度・経度を整理し、GIS上にポイントデータとして整理した。さらに国土数値情報ダウンロードサービス⁽⁵⁾より河川データ(ラインデータ)をダウンロードし、合流点の位置を示すポイントデータおよび国土地理院地図と重ね合わせ、河口から順に合流点の角度、川幅をGISの計測機能を用いて計測し

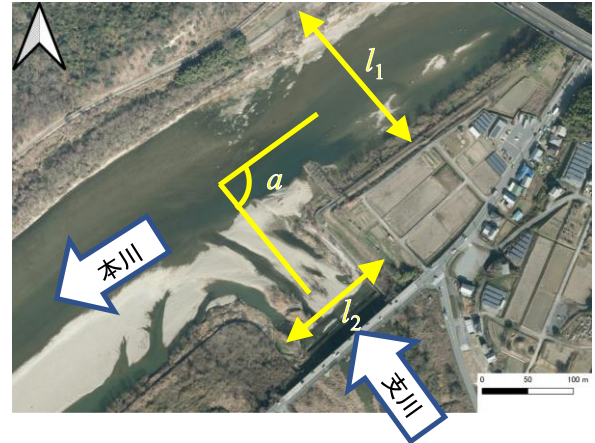


図3 合流角度・川幅計測位の定義

表1 平面二次元解析に関する各パラメータ

| 項目 | 設定内容 |
|-----------|--------------|
| 計算格子のサイズ | 2m×2m |
| 計算格子の数 | 201×76=15276 |
| 計算タイムステップ | 0.01秒 |
| 粗度係数 | 0.03 |
| 下流端水位 | 自由流出 |

た。ここで、合流角度は図3に示すとおり、本川の中央線と支川の中央線の交差角 α 、川幅は同図に示すとおり、右岸堤防から左岸堤防までの距離(本川 l_1 、支川 l_2)と定義した。本研究では、本川の幅を支川の幅で除したものを川幅比と定義し、兵庫県内における河川の合流角度および川幅比の代表値を算出した。

2.2 バックウォーターに係る数値解析 数値解析には汎用ソフト iRICver.3.0 のNays2DHを用いた。Nays2DHは、河川における流れ、河床変動、河岸浸食の計算を行うために開発された平面2次元モデルである。本研究での平面二次元解析に関する各パラメータを表1に示す。計算領域は縦(Y軸方向)150m、横(X軸方向)400mの矩形領域を設定し、格子サイズ2m×2mとして縦断・横断方向にそれぞれ201、76分割した。計算タイムステップは0.01秒として計算を行った。また合流部は障害物セルを配置することで直線的な合流となるようにした。図4に本研究で用いた計算格子を示す。表2に計算条件を示す。本研究では地形の違いによる河川合流部の水面挙動の様子を比較するために、合流角度を4パターン、河床勾配を3パターンの計12パターンで変化させて、それぞれの結果を比較した。このうち合流角度は前節の空間情報解析の結果より、 20° 、 45° 、 60° 、 90° の4パターンを設定した。その設定根拠は以下のとおりである。モデル河川の最小合流角度 20° は兵庫県内河川の合流角度の最小値 15° に近い値とした。また、合流角度 45° は階級化された合

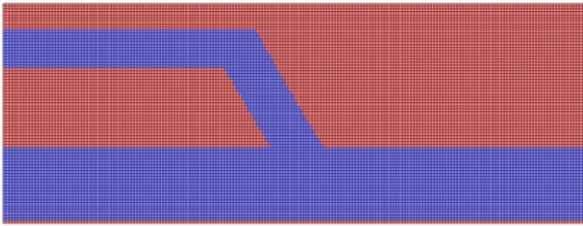


図4 計算格子 (合流角度 60° の場合)

表2 計算条件

| 計算条件 | 設定値 |
|--------|------------------------|
| 合流角度 | 20°, 45°, 60°, 90° |
| 本川川幅 | 50m (25マス) |
| 支川川幅 | 26m (13マス) |
| 川幅比 | 約 1.9 |
| 本川河床勾配 | 1/1000 |
| 支川河床勾配 | 1/1000, 1/800, 1/500 |
| 流量 | 86.25m ³ /s |
| 計算時間 | 3600s |

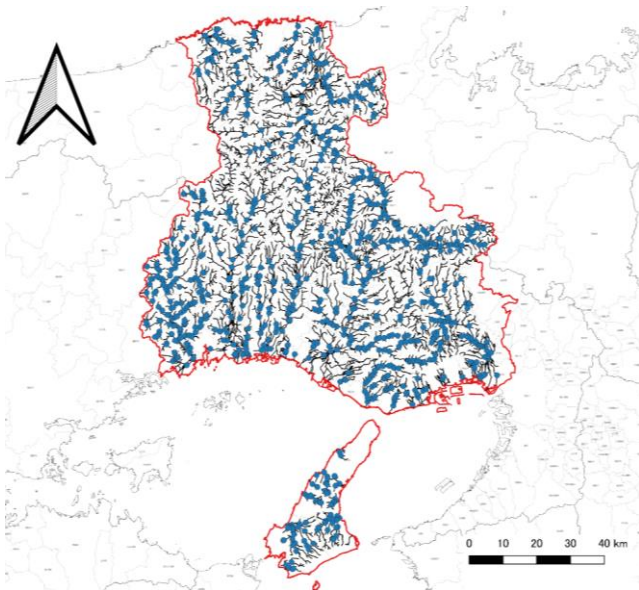


図5 河川合流点の空間分布

流角度の最頻値 (41° ~50° で 15.2%) の代表値, 合流角度 60° は合流角度の最頻値 (57° と 66°) の中間値, 合流角度 90° は解析ソフト上の限界値とした。

河床勾配は, 本川および支川の詳細な地形データが河川整備基本方針において示されている加古川水系を参考に決定した。加古川水系の河床勾配は, 源流から篠山川合流点までの上流部が約 1/40~1/600, 篠山川合流点から美囊川合流点までの中流部が約 1/1000, 美囊川合流点から古新堰堤までの下流部が約 1/1000, 古新堰堤から河口までの感潮域が約 1/1000~1/2000 となっている⁽⁶⁾。本研究では加古川・美囊川合流点での現地

表3 合流角度・川幅比の統計値

| 地域 | 最頻値 | | 総数 |
|-------|----------------------|------------------|-------|
| | 合流角度 | 川幅比 | |
| 兵庫県全域 | 57, 66° (23箇所) | 1倍 (62箇所) | 939箇所 |
| 阪神間 | 32, 88° (4箇所) | 1倍, 2倍 (10箇所) | 86箇所 |
| 神戸 | 50, 67° (2箇所) | 2倍 (4箇所) | 23箇所 |
| 播磨 | 66° (21箇所) | 1.2倍 (34箇所) | 581箇所 |
| 淡路 | 45° (4箇所) | 1倍 (13箇所) | 76箇所 |
| 但馬 | 42, 46, 58° (5箇所) | 1.1倍 (10箇所) | 173箇所 |

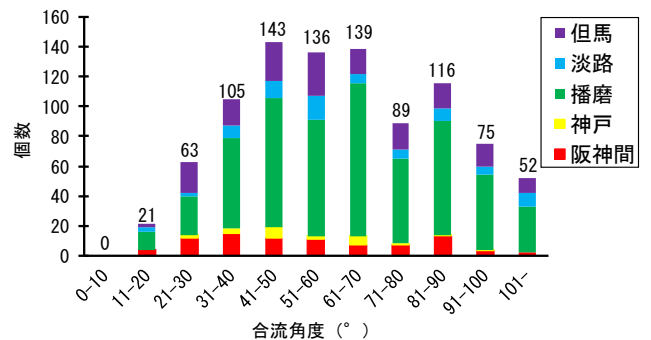


図6 河川合流部における合流角度の度数分布

調査結果を踏まえ, モデル河川の本川側河床勾配を 1/1000 に設定した。一方, 支川の河床勾配については, 美囊川の河床勾配が 1/500 である⁽⁴⁾ことから, 1/500 を支川河床勾配の最大値として採用した。また支川河床勾配がさらに小さい場合について比較するため, 1/800 と 1/1000 を支川河床勾配として設定した。

流量については, 以下のように設定した。加古川水系における基準地点は国包 (河口からの基準点距離 14.2km) で, ピーク流量は 9000m³/s とされている⁽⁶⁾。これにフルード相似則を適用し, 数値解析上のピーク流量を 86.25m³/s と決定した。なお, 計算時間は水位変動が安定するまでの 1 時間とした。

3. 結果と考察

3.1 モデル河川構築のための空間情報解析 図5に対

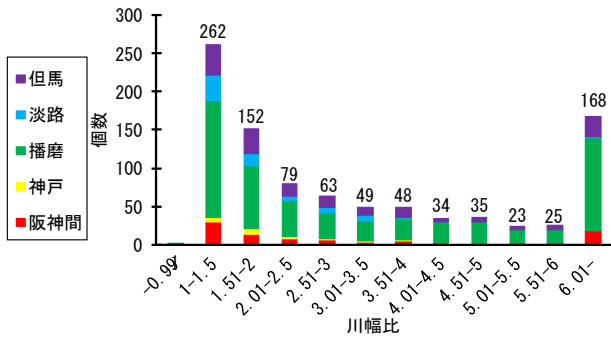


図7 河川合流部における川幅比の度数分布

象水系の河川合流点の位置を示す。解析を行った合流点の総数は計 939 点であった。本研究では地図上から合流点の諸情報を抽出したため、暗渠化された河川や木々に隠れている合流点など地図上で確認できない合流点是对象外とした。

表 3 に兵庫県内各地域の河川合流点の角度と川幅比の各代表値，総数を示す。兵庫県内の河川合流部における合流角度の最頻値は 57° と 66° で，川幅比の最頻値は 1 倍であった。本研究において計測した合流角度の最大値は 175° ，最小値は 15° であった。

図 6 に河川合流部における合流角度の度数分布を示す。図 5 より合流角度が 90° 以上の合流点は計 127 地点あった。合流角度が 90° 以上の合流点の特徴として河川の湾曲部で合流するケースが多かった。また同図より 10° 以下の合流角度は存在せず，41° から 70° で合流する合流地点が全体の約 45%と半数近く占めていることがわかった。図 7 に川幅比の度数分布を示す。本図より 1~1.5 倍の川幅比が最も多く，川幅比が大きくなるにつれて数が徐々に減少している傾向がわかる。6 倍以上の部分が 168 箇所と多くなっているが，これは加古川や円山川などの川幅が広い本川において支川との川幅比が 50 倍や 60 倍に達する場所が多く存在しているためである。なお，川幅比の最頻値は 1 倍であり，1~2 倍の合流点が全体の 44%と半数近くを占めていることがわかった。

本研究における空間情報解析の目的は，兵庫県内の河川合流部において最も典型といえる地形を明らかにすることにある。得られた合流角度および川幅比のそれぞれの代表値をモデル河川の地形条件とした。

3.2 バックウォーターに係る数値解析 図 8 に本川中央での水面形を示す。本図の横軸 x は河口からの距離を表している。なお，合流点は x=200(m)の地点である。いずれの河床勾配においても合流点付近において水深が上昇しており，合流角度が大きいほど合流点上流側の水位が大きく，下流側の水位が小さいという傾向が示された。特に合流角度が 45° よりも大きい場合，支川からの流入が本川側の水位変動にも大きく影響して

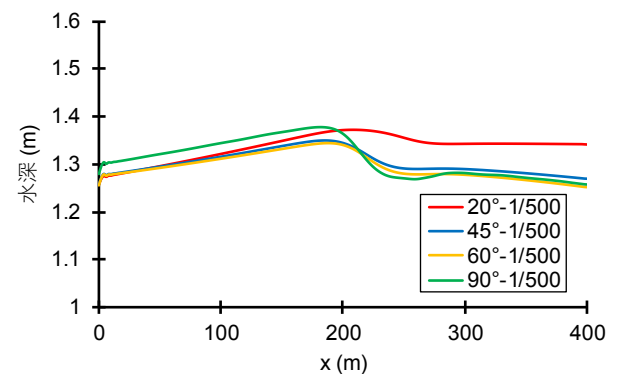
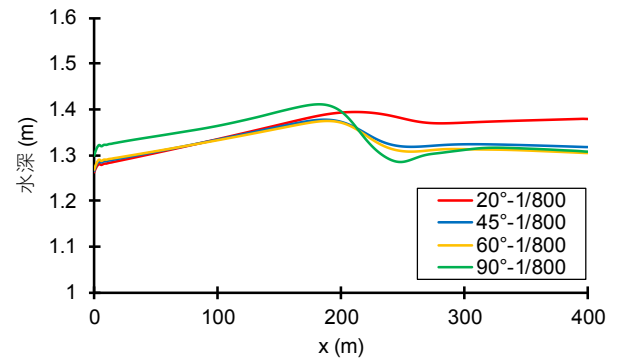
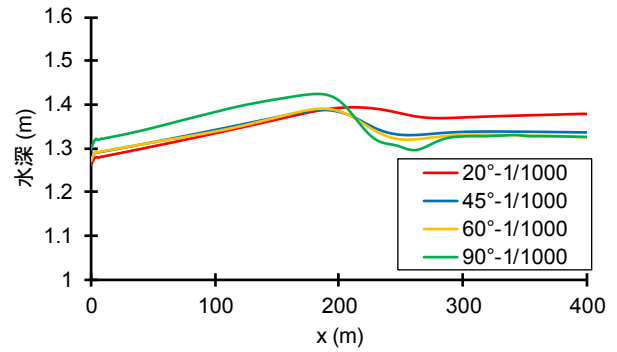


図 8 本川中央での水面形 (河床勾配ごとに比較) (上 : 1/1000, 中 : 1/800, 下 : 1/500)

いた。その傾向は支川の河床勾配が小さくなるほど顕著であった。

図 9 に合流角度 90° における各河床勾配の本川中央での流速分布を示す。本図より，合流直下の 250m 付近で急激に流速が大きくなっており，特に支川河床勾配が小さい場合に流速の変化が大きくなる傾向がうかがえる。図 10 に示す合流点付近の流線を見ると，支川からの流入の影響を受けて本川側の流れが右岸側に寄せられていることがわかる。その結果，本川側では縮流効果によって流速が大きくなったと考えられる。一方，支川側では本川の影響を受けて水位が上昇し，バックウォーターが生じる結果となっている。図 8 より合流角度が小さい 20° の場合は合流後の X=200m 以降でも水深変化が小さいことから，合流角度が小さい場

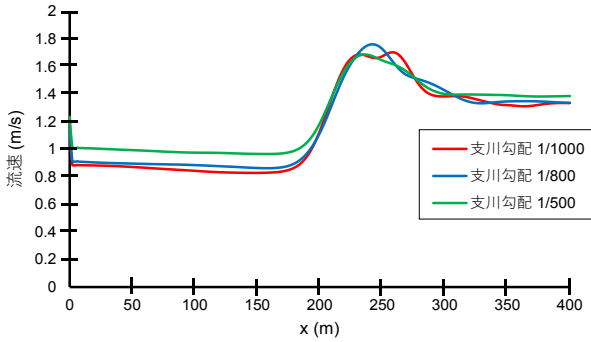


図9 本川中央での流速分布 (90°)

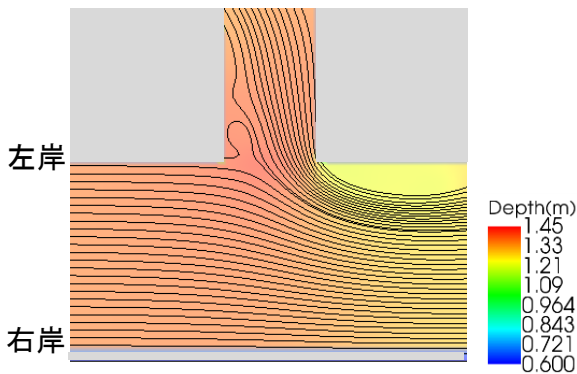


図10 合流部付近における流線 (合流角度: 90°, 支川勾配: 1/500)

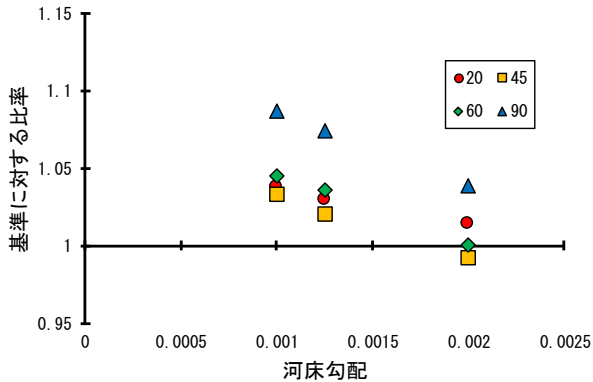


図11 支川の水深比 (合流角度 60° を基準)

合は比較的円滑に合流しているといえる。一方、同図において 45° 以上の場合合流地点以降急激に水深が減少しており、合流角度が大きくなるほど合流は円滑でなくなっている。

図 11 に合流角度 60° を基準とした場合の合流点付近における支川の水深比、図 12 に河床勾配 1/500 を基準とした場合の合流点付近における支川の水深比を示す。図 11 から合流点付近の支川では合流角度 90° の場合が最も水深が大きくなっており、5%程度の増加がみられた。一方、20° や 45° の場合は 60° の場合と大きな差はなかった。図 8 に示した本川中央の水深変化を見ると 20° の場合では上流から下流まで水深に大き

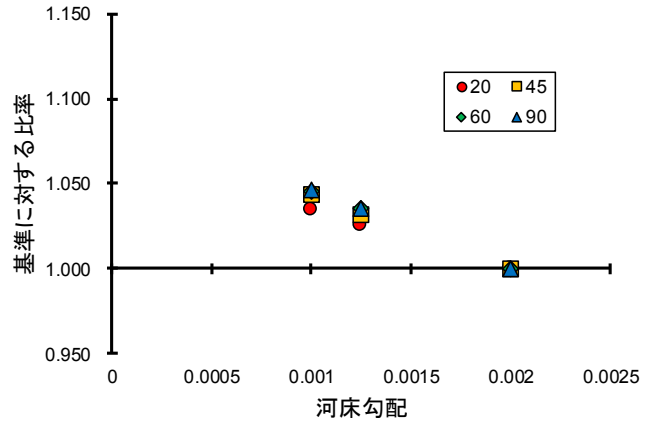


図12 支川の水深比 (河床勾配 1/500 を基準)

な変化がないことからわかるように合流角度が小さい場合は支川から本川へスムーズに合流できるため、支川側の水深増加が軽減されると考えられる。一方、図 12 より、支川の河床勾配の違いによる合流点付近における支川の水深変化比をみると、勾配が小さくなるにつれて支川側の水深が上昇する傾向がみられた。こちらの場合も、最大で 5%程度の増加がみられた。以上のことから、検討したモデル河川では、合流角度 90°、河床勾配 1/1000 の時に、支川でのバックウォーター現象が最も生じやすいことがわかった。

4. まとめ

本研究では兵庫県内の河川整備基本方針が策定されている 1 級、2 級水系を対象に、オープンデータや GIS を用いた空間情報解析により、兵庫県内の河川合流部の典型的な地形を明らかにするとともに、数値解析による河川合流部でのバックウォーター現象が発生しやすい地形条件を明らかにした。

空間情報解析より、兵庫県内で対象とした水系内に合流点は 939 地点存在し、合流角度の最頻値は 57° と 66° で 23 箇所、川幅比の最頻値は 1 倍で 62 箇所という結果が得られた。合流角度が 90° 以上の合流点は河川湾曲部に合流する傾向がみられ、41° から 70° で合流する合流点が全体の約 45%と半数近くを占めていた。また川幅比はすべての合流点のうち 44%が 1~2 倍であり、6 倍以上の川幅比は加古川や円山川といった川幅が広い河川が流れている地域に多く見られた。

数値解析の結果より合流部付近の水位は合流角度が 45° 以上の時に大きく上昇し、特に合流角度が 90° で河床勾配が 1/1000 の時が最も本川の影響を受けることがわかった。図 6 に示した通り、合流角度 90° 以上の河川は兵庫県内に 127か所あり、その多くが勾配 1/1000 程度の平野部を流れている。こうした地点はバックウォーター発生による潜在的な氾濫リスクを抱える空間といえる。河川整備計画で用いられる計画流量は流域の降雨データから合理式をもとに算出されているが、

合流点付近のバックウォーター現象の影響は加味されていない。すなわち、設定された計画流量に対応するだけでは、洪水リスクを完全に排除することは難しく、バックウォーター現象を踏まえた計画流量の見直しが必要であるといえる。

参考文献

- (1)国土交通省中国地方整備局：平成 30 年 7 月豪雨の写真・動画，
<https://www.cgr.mlit.go.jp/photo/h3007gouu/index.html>，
2023 年 5 月 10 日閲覧。
- (2) 高田翔也，神田佳一，道奥康治，久保裕基，岡本吉弘：上流の河道形状と堰湛水の影響を受ける合流部の河床変動とその制御に関する研究，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.73，No.4，pp. I_865-I_870，2017。
- (3) 島田友典，渡邊康玄，深澤アダム翔，前田俊一，横山洋：背水影響が堤防決壊拡幅現象に与える影響，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.75，No.2，pp.I_1405-I_1410，2019。
- (4) 国土地理院：地理院地図（電子国土 web）
<https://maps.gsi.go.jp/#16/35.496159/135.741405/&base=ort&ls=ort&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f12>.
(2023 年 5 月 10 日閲覧)
- (5) 国土交通省：国土数値情報ダウンロード
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2023 年 5 月 10 日閲覧)
- (6) 国土交通省河川局：加古川水系河川整備基本方針，14p.，2008。

データで振り返る神戸高専図書館の30年

早稲田 一嘉*

Looking Back on 30 Years of Kobe City College of Technology Library with Data

Kazuyoshi WASEDA *

Keywords : collection of books and audio/visual, book review contest, research reports of Kobe City College of Technology

1. はじめに

神戸市立工業高等専門学校（以下神戸高専）は1990年（平成2年）の舞子台から研究学園都市へのキャンパス移転をして3年ほどたった1993年（平成5年）に創立30周年を迎えた⁽¹⁾。そこからさらに30年がたち2023年（令和5年）に創立60周年を迎えた。創立から後半の30年を振り返ると、情報技術の劇的な変化が起こっている。1993年はWebブラウザの先祖とも言えるMosaicが公開（HTMLのバージョン1.0も公開）され、情報化社会が産声をあげた年ともいえる⁽²⁾。

神戸高専図書館の過去30年のデータは40周年誌⁽³⁾、50周年誌⁽⁴⁾、60周年誌（発行予定）⁽⁵⁾に記載されているが、そのデータをグラフ化し1993年からの神戸高専図書館の30年を振り返ってみることで、情報化された社会と図書館の状況が見えてくるのではないかと思われる本稿の執筆に至った。グラフは世の中の情勢や神戸高専の出来事と合わせて説明をしているが、立証することを目的としていないため、あくまでも時代背景との関連の推察に留めていることをご承知おき願いたい。

2. 蔵書数

蔵書数については、総記、哲学、歴史、社会科学、自然科学、工学、産業、芸術、語学の分野に分けられて記録がされてきた。全蔵書数の推移（図1）各分野別蔵書数の推移（図2）および1993年を起点とした各分野別蔵書増加率（図3）を示す。

2.1 全蔵書数の推移 図1より、基本的には、全体として蔵書数はなだらかに増加傾向であるが2004～2019年度は変化が少なく、新規購入や寄付による増加と除籍のバランスがとれていたと考えられる。図2より、最も蔵書数が多いのは工学分野であるがあまり増加しておらず、語学の顕著な増加と総記が増加傾向にあることで全体の蔵書数増に繋がっていると思われる。

2.2 各分野蔵書冊数の推移 各分野の中で特徴的な傾向を紹介する。図2より、工学分野については、2004年をピークに蔵書数が2015年まで減少し、その後2022年までわずかに増加傾向にある。蔵書総数は増加し続けていたため、その中で最も多い工学分野が増加に寄与していると考えていたが、実際は2004年から2015年までは減少傾向であった。これは、移り変わりの激

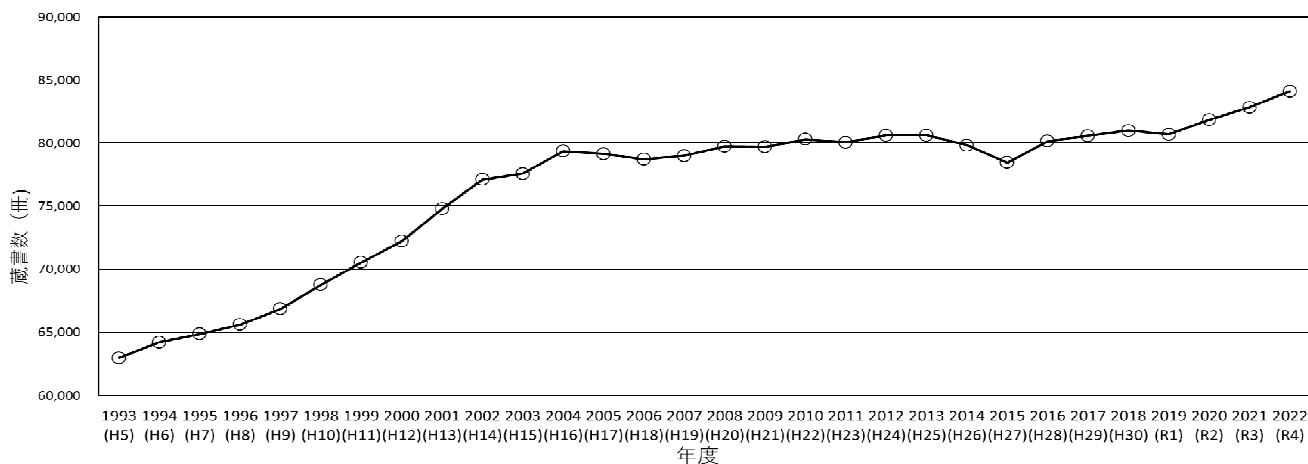


図1 神戸高専図書館の全蔵書数の推移。

* 機械工学科 教授

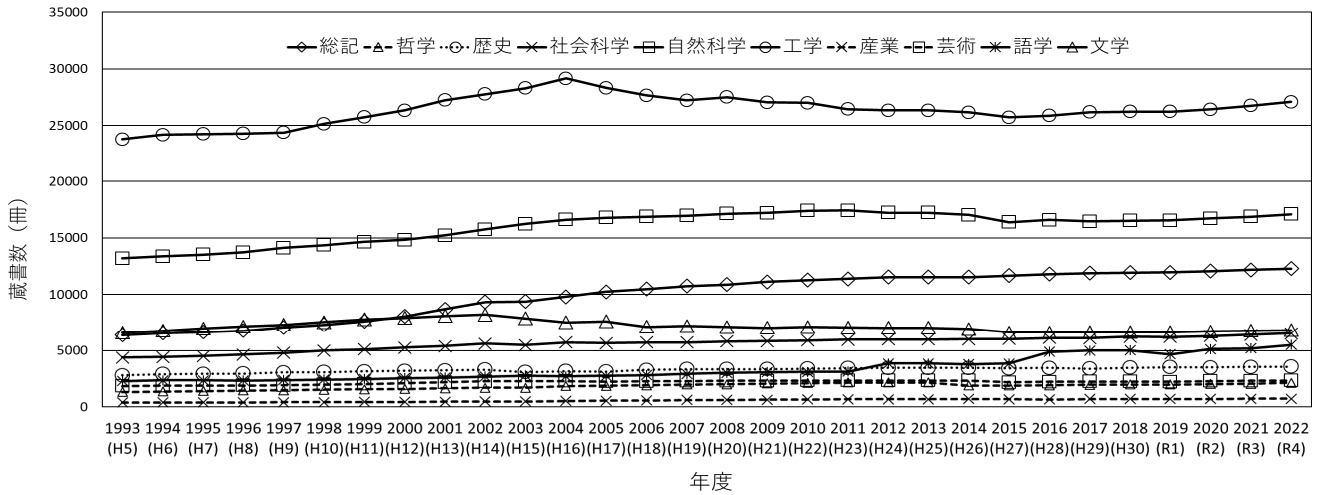


図2 神戸高専図書館各分野別蔵書数の推移.

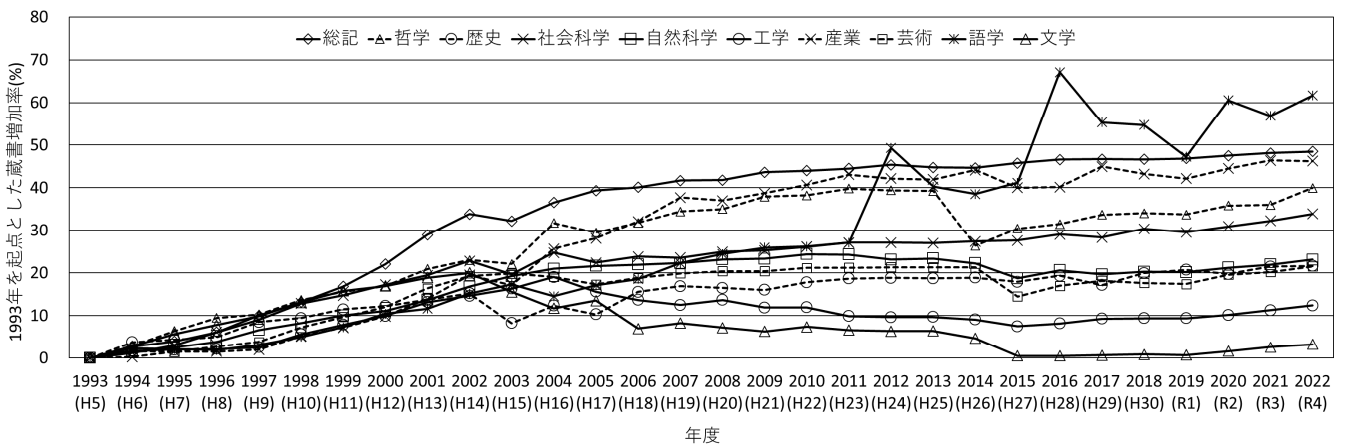


図3 神戸高専図書館の1993年を起点とした各分野別蔵書増加率の推移.

しい工学分野は書籍よりもインターネット上での発信が増えたことが一因として挙げられる。特に情報分野の場合は技術の陳腐化が激しく、書籍という半永久的な形で残すというよりも、今必要な情報の記録媒体として書籍よりもすぐに更新が可能なWeb上での情報公開の方が扱いやすいと推察される。また、ソフトウェア開発(プログラムの情報共有)にてホスティングサービスが普及しているが、例えば、GitHub⁽⁶⁾、Bitbucket⁽⁷⁾(開始年2008年)などに情報公開の手法が移りつつあることが影響していることも一因として挙げられる。

図3より、1993年を起点とした蔵書の増加率をみると、2011年から語学分野が最も顕著に増加していることがわかる。神戸高専での語学に関する出来事を列挙すると、

- ・2008年: TOEIC 専攻科 H21 年度入試採用
 - ・2012年: 専攻科 H25 年度入試の英語試験廃止し TOEIC などの外部試験採用, TOEIC Bridge 3 年生対象に実施
 - ・2014年: Pileggi, Mark Andrew 先生赴任, 今村一博先生が英語多読に関する実践を実施
- などがあり、これらの影響ではないかと考えられる。

3. 図書館利用者数の推移

図4~7に学生, 教職員, 一般そして合計の貸出者数および貸出冊数の推移を示す。

3.1 学生の利用について 図4より, 学生の利用は2004年をピークに減少傾向である。ブックハンティングなどを実施しているものの, 図書の貸出者数は増加していない。インターネットの発達やスマートフォン所持率の増加の影響は否定できない⁽⁸⁾。2020年~2022年までは大きな貸出数減となっているが, これは, 新型コロナウイルス (COVID-19) による影響と思われる。
参考: ・2002年から2005年頃まで:「第一次ケータイ小説ブーム」・2006年以降:「第二次ケータイ小説ブーム」・2011年頃: 高性能携帯電話スマートフォンの普及に伴ってスマホ小説が浸透⁽⁹⁾

3.2 教職員の利用について 図5より教職員貸出冊数については1996年が極端な減少を示している。これは, 1995年の阪神淡路大震災後の対応で多忙だったことが考えられる。また2010年から徐々に貸出数が減っているのは, 専門書の電子化によるものと思われる。

3.3 一般の利用について 図6より一般の貸出につい

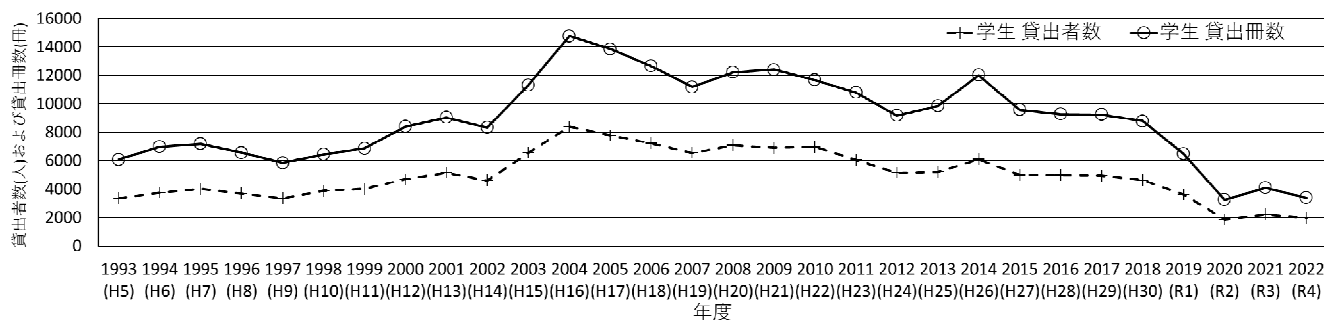


図4 学生の貸出者数および貸出冊数の推移。

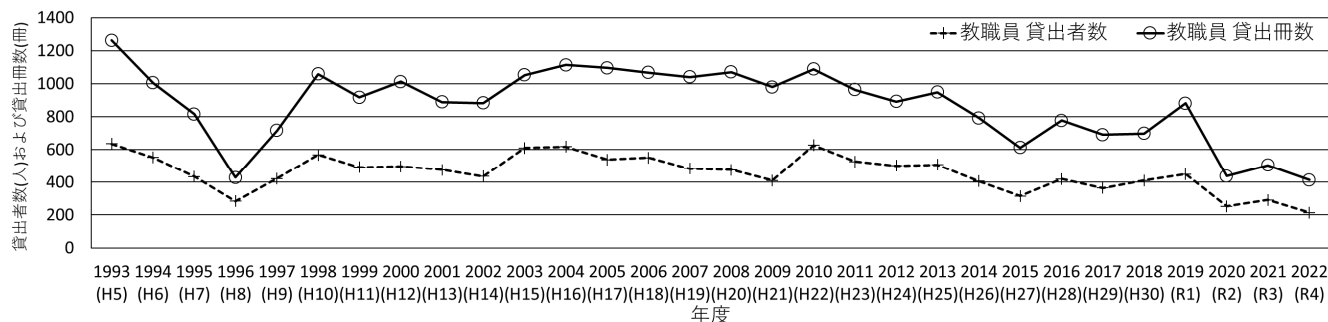


図5 教職員の貸出者数および貸出冊数の推移。

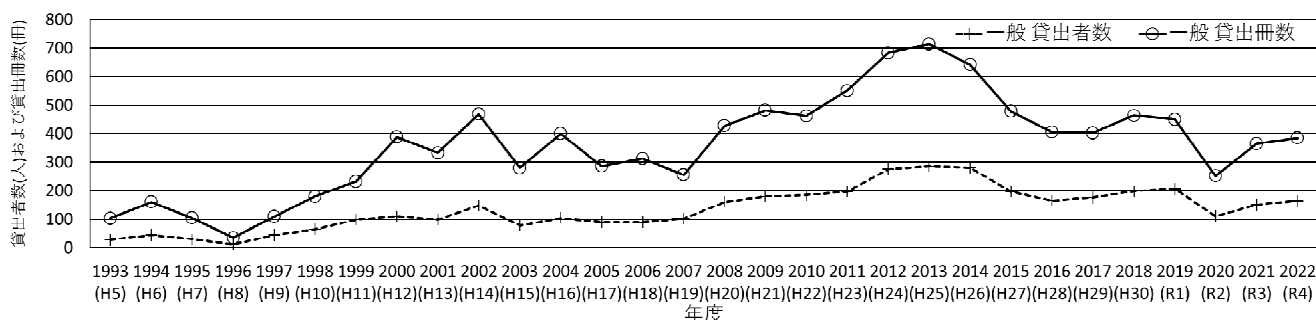


図6 一般の貸出者数および貸出冊数の推移。

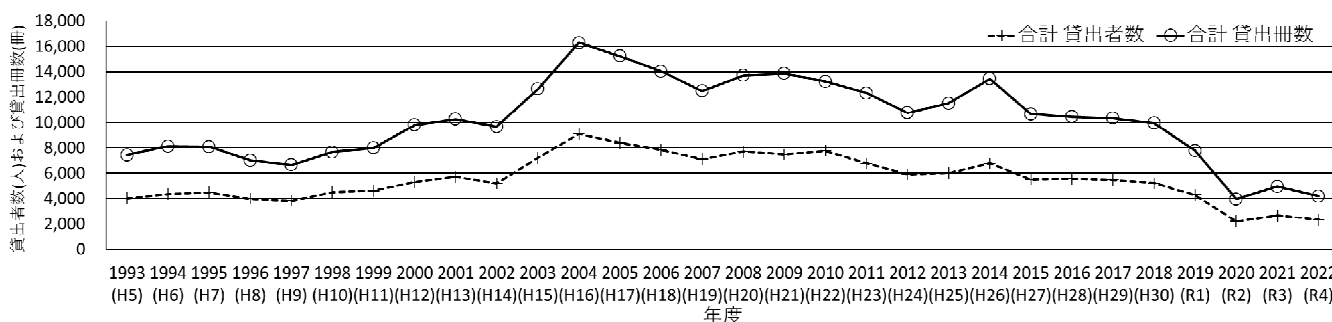


図7 合計の貸出者数および貸出冊数の推移。

ては唯一微増となっている。団塊の世代の退職が2012年前後なので、2013年がピークになっていると考えられる。

3.4 全体の利用について 学生利用が圧倒的に多いため全体としては2004年度から減少傾向となった(図7)。

4. AV資料所蔵数およびAV利用数

4.1 AV資料所蔵数 図8にカセットテープ、CD、ビ

デオテープ、DVD、Blu-rayの所蔵数の推移を示す。図8より、カセットテープは30年間変わらず85本、CDは2006年から変わらず757枚、ビデオテープは2011年から変わらず431本、DVDは2003年から所蔵を始め2022年まで顕著に増加し385枚、Blu-rayは2012年から所蔵を始め2022年まで顕著に増加し341枚となった。なお、DVDに関してはBlu-rayを購入時にセットでDVDが付属するものもあるためBlu-ray購入以降後

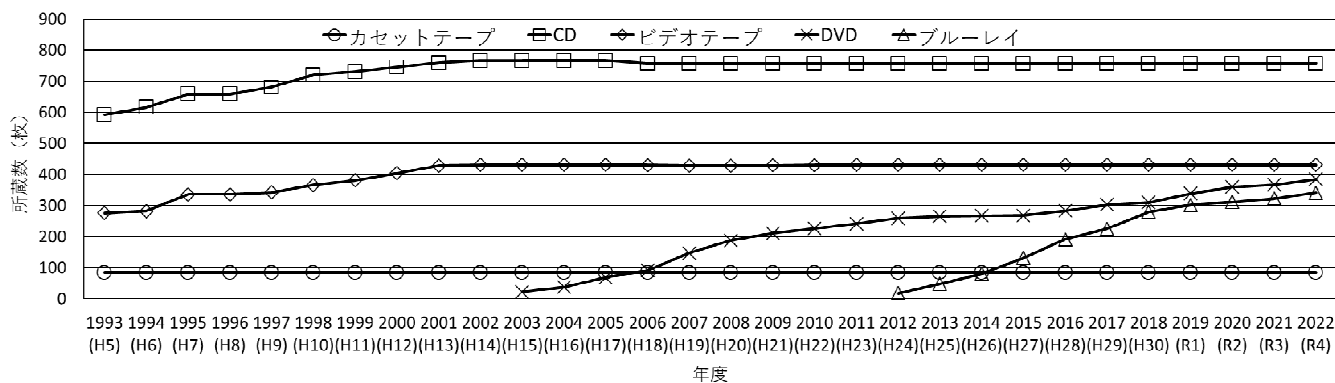


図8 カセットテープ, CD, ビデオテープ, DVD, Blu-ray の所蔵数の推移。

も増加している一因となっている。

4.2 CD・カセット利用数 図9にCD・カセットの利用人数および利用本数の推移を示す。図9より、1995年極端な利用数減は阪神淡路大震災の影響と思われる。また、2007年度を境に利用者がほとんどいなくなっていることが分かる。これは、2005年ごろからの音楽のダウンロード販売が開始⁽¹⁰⁾され、音楽をCDで聴くよりもダウンロードして音楽プレーヤーなどで聴くことが増えた時代背景が影響していると思われる。

参考：・1999年：USBへの対応を強化した「Microsoft Windows 98 Second Edition」が発売→携帯型MP3プレーヤー"Rio500"が発売⁽¹¹⁾

- ・2001年：iPodがApple Computerから発売⁽¹²⁾
- ・2004年：iPodが完全にMac/Windows両対応となる⁽¹²⁾
- ・2005年：iTunes Music Store日本でサービス開始⁽¹⁰⁾

・2010年：Amazon MP3ストア（後のAmazon Music）日本での音楽配信サービス開始⁽¹³⁾

4.3 映像作品利用数 図10にビデオテープ、DVD、Blu-rayの利用数の推移を示す。図10より2003年のDVD取り扱いを機にビデオテープの利用が激減し、2013年のBlu-ray取り扱いを機にDVDの利用が激減したことが分かる。全体的に利用者数は年を追うごとに減少傾向となっており、近年は動画配信サービスが普及してきていることからさらに利用数は減っていくと思われる。2020年～2022年はコロナ禍で図書館の利用が減少したことで極端に減ったことが分かる。

参考：

- ・2007年：YouTubeが日本語対応⁽¹⁴⁾
- ・2008年：YouTube一般の認知度が急速にあがる⁽¹⁴⁾
- ・2010年：AppleのApp StoreにInstagram登場⁽¹⁵⁾

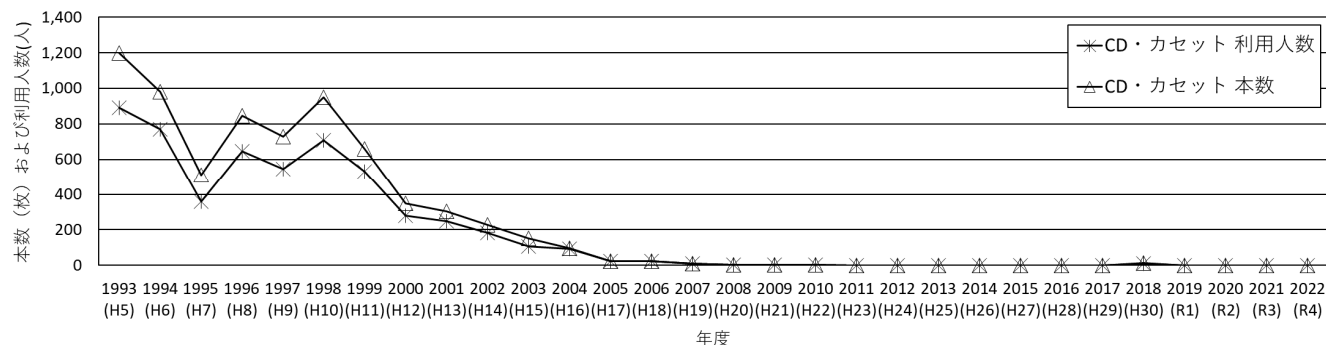


図9 CD・カセットの利用人数および利用本数の推移。

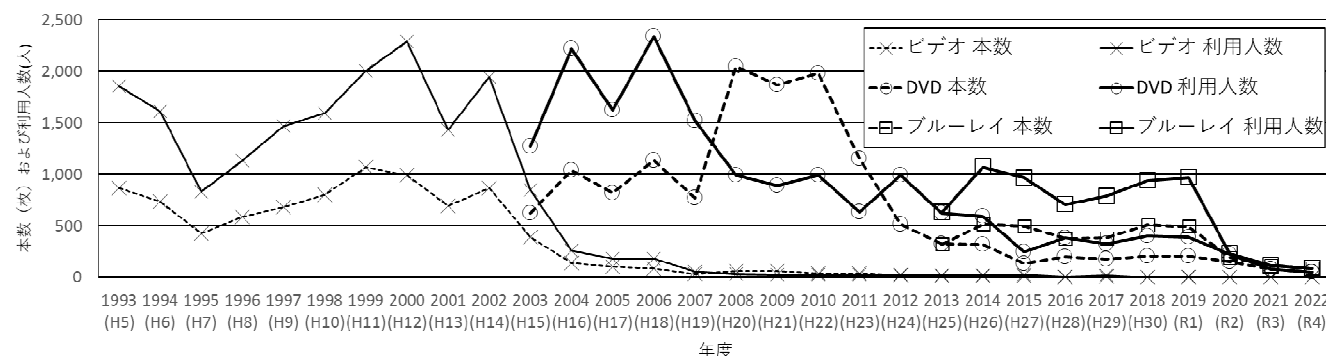


図10 ビデオテープ, DVD, Blu-ray の利用数の推移。

- ・2015年：Netflix⁽¹⁶⁾、Amazon Prime 日本で動画配信サービス開始⁽¹⁷⁾
- ・2019年：Apple TV 日本で動画配信サービス開始⁽¹⁸⁾

5. 読書感想文コンクールの推移

図 11 に読書感想文コンクール課題図書タイトル数および応募数の推移を示す。課題図書タイトル数は 10 ないし 11 を挙げてきたが 2022 年に 7 タイトルとなった。図 11 から分かるが、応募数は基本的に減少傾向にある。1996 年は応募者数が極端に多いが、国語科にて夏季休業の課題あるいは阪神淡路大震災時の混乱期に国語の単位を落とした学生の再評価課題として読書感想文コンクールを設定したのではないと思われる。2022 年には生成系 AI の急速な発展に伴い、有名な小説などに関しては、AI が読書感想文を作成可能な時代となる一方で、神戸市内の小中学校で夏季休業中の読書感想文課題は任意提出となり、今後の読書感想文コンクールのあり方について一考の余地がありそうである。

6. 研究紀要の推移

図 12 に神戸高専研究紀要論文および資料掲載数推移を示す。また、図 13 に、学科別の論文と資料合算数の掲載数推移を示す。なお、複数の学科をまたいでいる場合は筆頭著者の所属学科にて集計した。図 12 から 1997 年に大幅に増加していることがわかる。これは、

1995 年の阪神淡路大震災の影響と思われる。震災後の混乱期には論文数が減り、図 13 から分かるように 1997 年の都市工学科の論文数が増加しており、震災によって貴重な災害に関連するデータが取れたことがその要因のひとつと思われる。

図 13 より 1999 年は機械工学科と都市工学科の掲載数が少ないが、2000 年度の機械システム工学専攻、都市工学専攻の設置のための業務増が影響していると思われる。図 12 より 2006 年～2009 年に論文掲載数が増加している。これは、学内の昇任昇格基準が明確に示された時期(2006 年)に重なる。2011 年より掲載数が漸減しているが、外部評価や専攻科レビュー審査や専攻科の特例適用などにおいて、外部の学術誌への査読付き論文の投稿が増えていることが原因と考えられる。

日本の論文数について、国立大学が法人化された翌年の 2005 年から増加が鈍化して 2007 年から減少に転じたことがあった。教育機関の運営の大きな変革期においては、研究以外の業務が増え、研究時間が削られることは大いに関係しているのではないと思われる。神戸高専の法人化後の 2023 年以降も研究紀要投稿数の減少も十分に予測される。

7. まとめ

急速にデジタル化が進んだ 30 年であったためか、紙媒体による情報の保管を主とする図書館の利用数は 2004 年度以降は下降しているように見える。情報技術

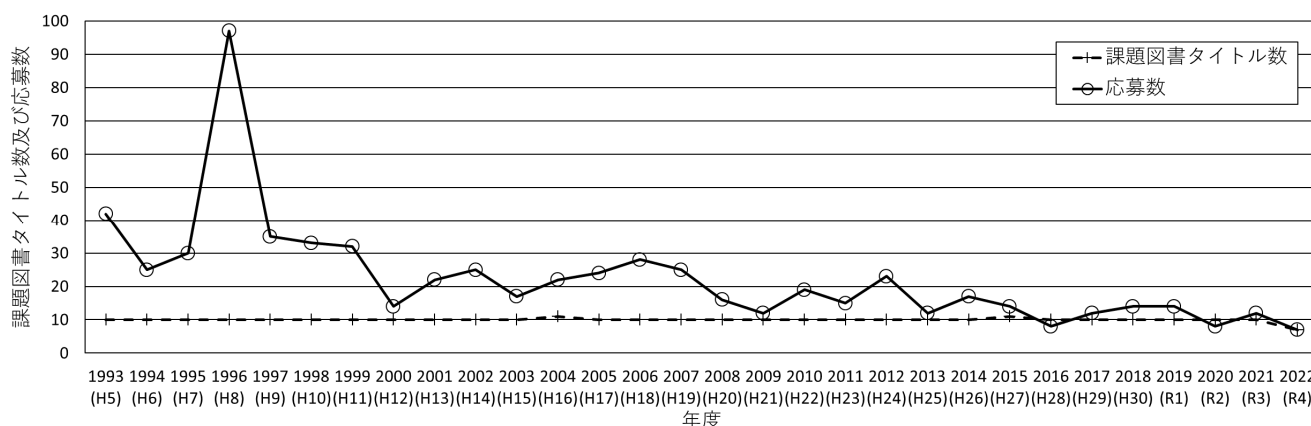


図 11 読書感想文コンクール課題図書タイトル数および応募数の推移。

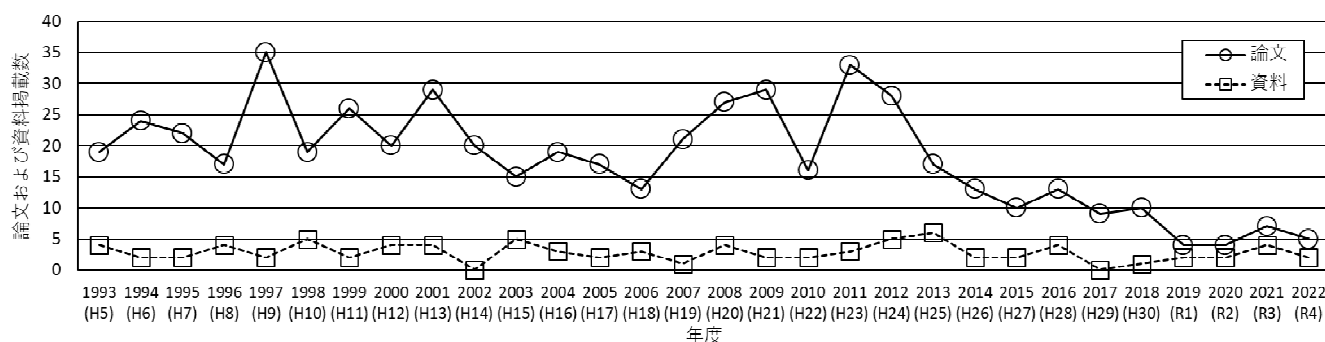


図 12 神戸高専研究紀要論文および資料掲載数推移。

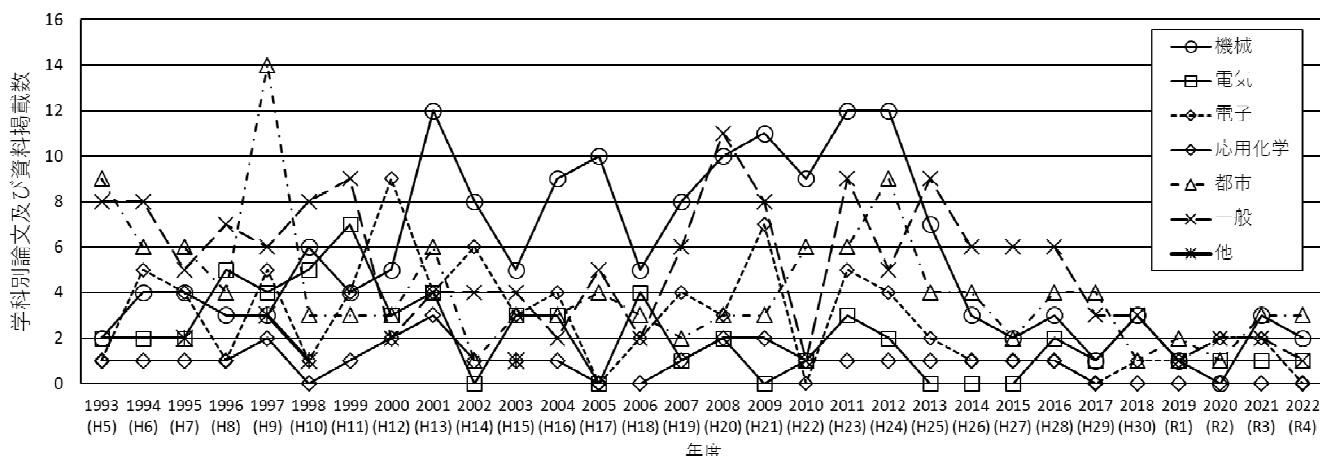


図 13 神戸高専研究紀要学科別の論文と資料合算数の掲載数推移。

における電子データ保存もオンプレミス（自前サーバー）からクラウドサービス（外部サーバー）に移行しており、情報のアーカイブ（保管庫）としての役割は少し変化が必要かもしれない。高校生年代が本を読まなくなっているという情報⁽⁹⁾があるが、その代わりにインターネット上などで文章を読む機会が増え高校生の読書時間は減少していないというデータもある。仮に読書時間が減少していてもインターネットの性質上利用者の嗜好に合わせた情報ばかりが集積するため、興味のある分野にしか接点がなくなってしまう。学生利用者が減り続けている時代に学生自身が気づかない情報に触れさせるきっかけを発信する重要な役割が神戸高専図書館にはあると考える。

謝辞

本資料の執筆に当たり、英語科の上垣先生に情報提供をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 神戸高専：神戸高専沿革，<http://www.kobe-kosen.ac.jp/introduction/history.html>，2023 閲覧。
- (2) 吉森ゆき ITmedia エンタープライズ：「Mosaic から Chrome まで—Web ブラウザ戦争の来し方行く末」，https://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/0809/06/new_s004.html，2008。
- (3) 神戸高専：「40 周年記念誌」，2004。
- (4) 神戸高専：「50 周年記念誌」，2014。
- (5) 神戸高専：「60 周年記念誌」，2024。
- (6) GitHub：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/GitHub>，2023。
- (7) Bitbucket：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/Bitbucket>，2023。
- (8) 毛利康秀：「The Society of Socio-Informatics 高校生世代における携帯電話・スマートフォンの利用に関する調査分析—普及時期別ならびに地域別の推移・

比較—」，pp.107-112，NII-Electronic Library Service，2023。

- (9) ケータイ小説：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/ケータイ小説>，2023。
- (10) iTunes Store：ウィキペディア(Wikipedia)，https://ja.wikipedia.org/wiki/iTunes_Store，2023。
- (11) PC Watch：「ダイヤモンド，USB 対応携帯型 MP3 プレーヤー「Rio 500」」，<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/article/990721/diamond.htm>，1999。
- (12) iPod：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/iPod>，2023。
- (13) Amazon Music：ウィキペディア(Wikipedia)，https://ja.wikipedia.org/wiki/Amazon_Music，2023。
- (14) オノフ：日本で YouTube は、いつから流行ったのか？YouTube の自主調査レポートまとめ，<https://www.onoff.ne.jp/blog/?p=151>，2023。
- (15) Instagram：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/Instagram>，2023。
- (16) Netflix：ウィキペディア(Wikipedia)，<https://ja.wikipedia.org/wiki/Netflix>，2023。
- (17) Amazon Prime Video：ウィキペディア(Wikipedia)，https://ja.wikipedia.org/wiki/Amazon_Prime_Video，2023。
- (18) Apple TV：ウィキペディア(Wikipedia)，https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_TV，2023。
- (19) 速読情報館：「50%の高校生が本を読まない3つの理由」，<https://www.sokunousokudoku.net/media/?p=1881>，2019。

Relationship between Concrete Frost Damage and Surface Impregnation Materials using Machine Learning in Time Series of Moisture Transition

Yutaka TAKASHINA* Lin SHEN** Yuto HASHIZUME***

ABSTRACT

In road-related concrete structures in cold regions, the surface is damaged by the combined deterioration effects of freeze-thaw and chloride ions. Localized deterioration such as surface scaling damage is a concern for concrete structures. Measures to extend the life span of concrete structure included surface protection methods and repair methods using silane siloxane and sodium silicate salt as surface impregnation materials. In this study, we will investigate the relationship between surface impregnation materials and frost damage area of concrete by observing transition in the mass of test specimens over time and we will use machine learning to determine changes in mass moisture content. In conclusion, surface impregnation materials can prevent moisture ingress from the surface layer, but moisture accumulates in uncoated areas and moves to coated areas. The concrete surface may peel off or deteriorate again. Machine learning is meaningful as a comprehensive approach to experimental conditions. Concrete surface quality can also be determined from thermal index.

Keywords: concrete frost damage, surface impregnation materials, machine learning, time series, moisture transition

1. INTRODUCTION

In recent years, the penetrating silane siloxane type and sodium silicate type of surface impregnating materials have been used for existing concrete structures with the aim of improving the surface durability of concrete structures. In concrete areas where surface impregnating material has been applied, if dilution water increases due to frost damage, pressure with no escape way will be generated internally, which may cause the surface concrete to peel.

In this study, we observed the time series changes to mass of each specimen with surface impregnating material coated areas and non-coated areas in deicing chemical solution, in dilution water, and through the freeze-thaw process. We will apply machine learning to the moisture situation and scaling by each specimen's mass amount⁽¹⁾⁻⁽³⁾. Furthermore, we will examine the relationship between scaling damage caused by freeze-thaw and concrete coated coverage area by surface

impregnation material^{(4),(5)}. In addition to chemical effects, the freezing pressure of the dilution water also shows a large role. The dilution water causes significant salt-frost scaling damage⁽⁶⁾.

Table 1 Mix proportion of each specimens

| G _{max} (mm) | W/C (%) | Air content (%) | s/a (%) | unit weight (kg/m ³) | | | |
|--------------------------|------------|--------------------|------------|----------------------------------|-----|-----|-----|
| | | | | W | C | S | G |
| 20 | 45 | 4.5 | 45 | 170 | 378 | 780 | 978 |
| 20 | 55 | 4.5 | 47 | 180 | 327 | 822 | 954 |
| 20 | 65 | 4.5 | 49 | 180 | 277 | 880 | 938 |

High early strength Portland cement

| AE water reducing agent (C×%) | Air entraining adjustment agent (C×%) 100 times dilution | slump (cm) | Air content (%) | concrete temp °C |
|-------------------------------|---|---------------|--------------------|------------------|
| 1.4 | 0.6 | 1.5 | 4.1 | 19.7 |
| 1.5 | 0.6 | 20.0 | 7.5 | 17.3 |
| 1.1 | 0.4 | 14.0 | 6.1 | 19.4 |



Figure 1 Experiment and properties of fresh concrete

*Associate Professor at Civil Engineering Department, KCCT

**Associate Professor at University of Hawaii at Manoa,
Department of Civil and Environmental Engineering

***Kobe City Public University Corporation, KCCT, Dept. of
Civil Eng

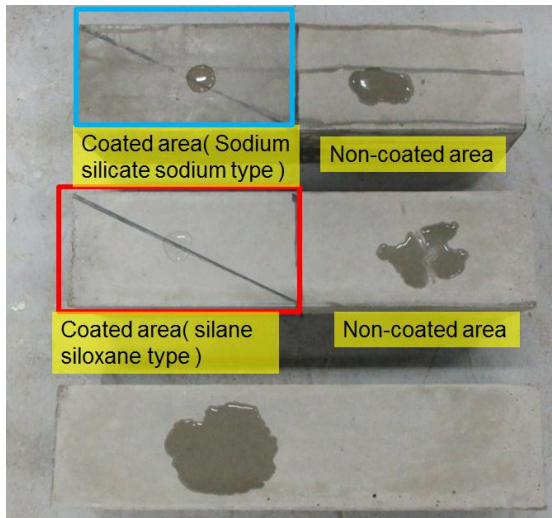


Figure 2 Water-repellent on the concrete properties by surface impregnation materials



Figure 3 Coated working by the surface impregnation materials and immersion to specimen in deicing chemical solution

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1 Experimental specimens and mixture proportions

The specified mixture proportion of concrete specimens is shown in **Table1**. **Figure1** shows the appearance of fresh concrete situation. For each W/C 45%, 55%, and 65%, one concrete specimens of $100 \times 100 \times 400$ mm was produced. After de-molding, half of the specimen coated with each surface impregnation materials. **Figure2** is shown the effect. **Figure 3** shows the coating working. All specimens were air-cured for day-7 at a temperature of $20 \pm 3^\circ\text{C}$. For the next process, one specimen is continuously cured with tap water, and two coated specimens are immersed with deicing chemicals solution (30% concentrations of calcium chloride solution). The coated specimens are immersed in deicing chemical solution from day-7 to day-28. Furthermore, in the period from day-28 to day-56, the two type's specimens were diluted in tap water. After day-56, freeze-thaw action experiments were performed on all three type's specimens with different W/C based on JIS 1148 standard test.

2.2 Machine learning of time series experiment data

The mass changing ratio of each test specimens were observed with the surface impregnation material and water

cement ratio. In the result of the time series experiment, a calculation of the machine learning was applied. All-time series experimental data results were calculated in control comprehensively with the various conditions. The analysis significance of the machine learning calculation is to analyze it sensitivity with volume of increase the moisture content and the surface freeze-thaw scaling damage.

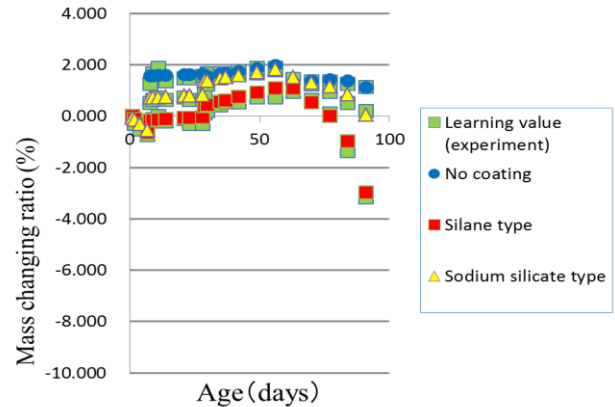


Figure 4 Learning and inference results of time series experimental data (W/C 45%)

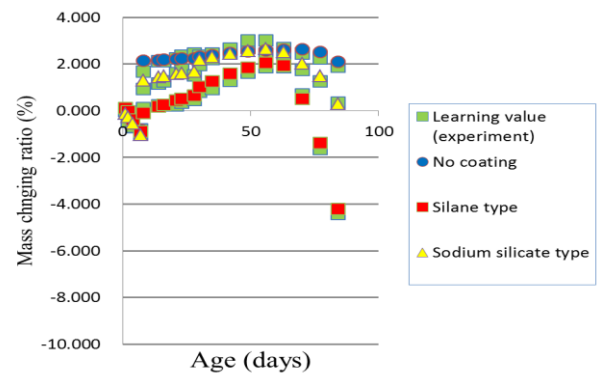


Figure 5 Learning and inference results of time series experimental data (W/C 55%)

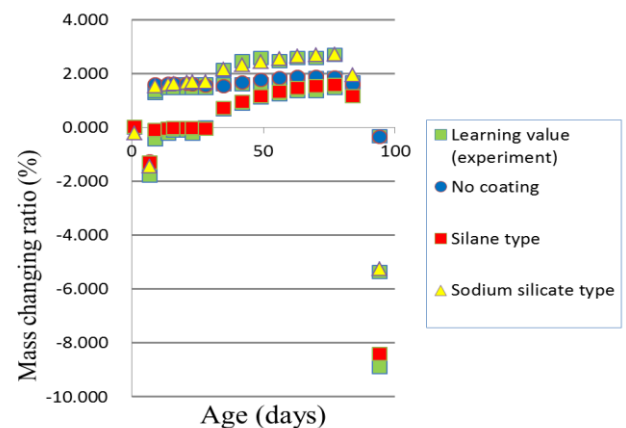


Figure 6 Learning and inference results of time series experimental data (W/C 65%)



Figure 7 Each specimen by rubber's water with freeze-thaw action



Figure 8 Initial cracking in the corners-cut square portion

It is shown in **Figure 4, 5, 6** about learning and inference of time series experimental data (W/C 45%, 55%, 65%). That data is mass changing ratio and classification of the coat by no coating, silane type and sodium silicate type. There is less amount of invasion of the deicing chemicals to the test specimens toward than tap water. However, the dilution water invades a small pore structure forcefully. Therefore, it is promoted freeze-thaw damage. The inflection point is seen in a mass changing ratio. The concrete surface peeling damage is great so that a water cement ratio becomes great.

2.3 Freeze-thaw damage's properties between deicing chemicals and surface impregnation materials

Figure 7 is shown the appearance of the standards test method (JIS A 1148-2010) to freeze-thaw action of the concrete specimen. Each specimen in rubber is penetrated water with freeze-thaw action and damaged. The chemical effects with the deicing chemical were seen as cracking of the corners portion in **Figure 8**. However, peeling finally caused the damage greatly in the coated part of surface impregnation materials. The surface appearance is shown in



Figure 9 Initial peeling damage of the coating area by surface impregnation materials



Figure 10 Promotion of the peeling damage of the coating area by surface impregnation materials

Figure 9 and 10. By the surface impregnation materials, the dilution moisture content collects in the concrete interior portion. In addition, as conditions without the escape way of the water, it is connected to the surface peeling damage with frost pressure.

3. MACHINE LEARNING OF EXPERIMENT DATA

3.1 Input and output element in neural network

The calculation algorithm of machine learning is used the error back propagation method. With concrete each age, the experimental situations of each specimen were classified during four periods. The period element of the machine learning is clarified as input side of neural network. Each experimental period is air curing, deicing chemical solution immersion period, dilution period, and freeze thaw action period. The neural network is also consisted as an input element including the deicing chemical solution concentrations, the water cement ratio of the test specimen, the classification of surface impregnation materials, and

freeze thaw cycle. The mass changing ratio was performed with an output element. The hidden layer corresponded with one level, 10 units as the middle layer. The learning was considered not to cause excessive over learning in the time series transition of each process.

3.2 Inferential consideration by the sensitivity analysis

All learned experimental findings are assigned to neural network structure for a weight value and a bias value. The transformation of a qualitative and quantitative experiment conditions is followed up and can carry out inferential consideration by the sensitivity analysis. **Figure11** is shown in an example of inference calculations results of time series experimental behavior (W/C 55%). However, in the water cement ratio is constant only, when each deicing chemical solution concentration's amount become greater, that transformation of mass changing ratio increases by the increase of the frost peeling surface concrete damage. The Inferential experiment value of 15% of the deicing chemical solution concentrations is an inference value and puts it from 0 to 30%, as high concentration, the surface concrete damage is recognized a great matter. **Figure12** is shown in relations of frost scaling damage and the dilution moisture content. Regardless of the classification of concrete surface impregnation materials, it is recognized that the moisture content increase of the dilution period is related for surface scaling concrete damage.

4. QUALITY OF CONCRETE SURFACE PORTION BY THE THERMAL INDEX

4.1 Thermal Index and concrete surface quality

On the surface test specimen which was in a wet surface state, overheat steam was produced by forced heat source. When the overheat steam from wet conditions was caused in concrete division surface portion, it was recognized that the volume of the temperature rise was related to surface coarseness and minuteness characteristics. Thermal index is calculated as a relative value of the calibration specimen from $85 \times 85 = 7,225$ pixels of maximum average temperature against the target surface specimen division. A case of the experiment is shown in **Figure 13**.

4.2 Application of the thermal index to the frost damage by surface impregnation materials

Application of the thermal index to the frost damage by surface impregnation materials is shown in **Figure14**. When the value of the thermal index shows 1 or more, the surface is coarseness characteristic. If the value shows 1 or less, it is the dense surface by the thermal index. A thermal index was used for the damage inspection by surface impregnation

materials. As a result, as quality of the surface division, the thermal index could be detected surface quality degree.

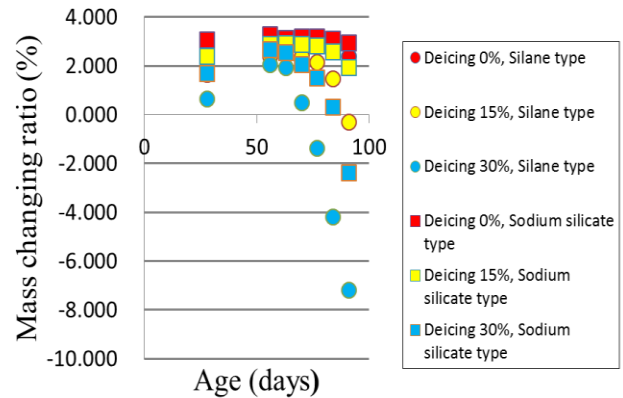


Figure 11 A examples of inference calculations results of time series experimental behavior (W/C 55%)

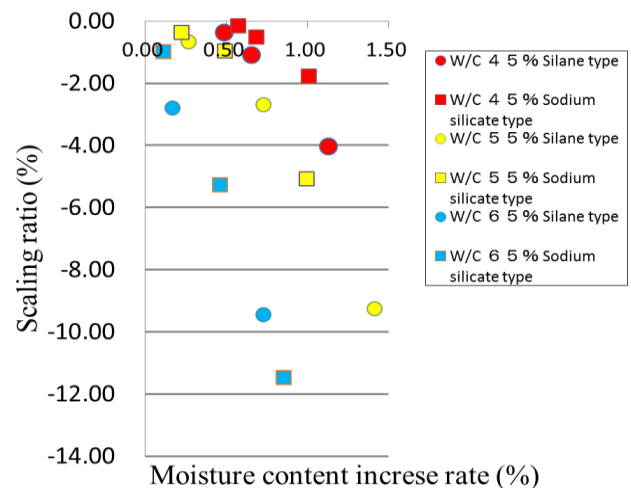


Figure 12 Relations of frost scaling damage and the dilution moisture content

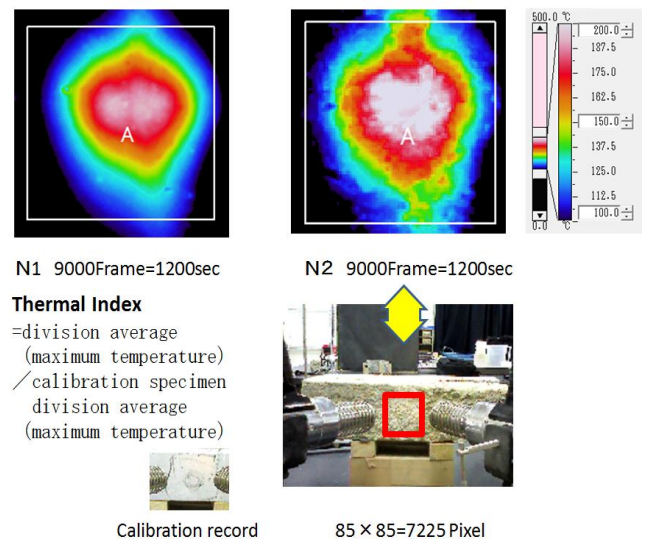


Figure 13 Thermal index and concrete surface coarseness and minuteness characteristics (A block=7,225 Pixel)

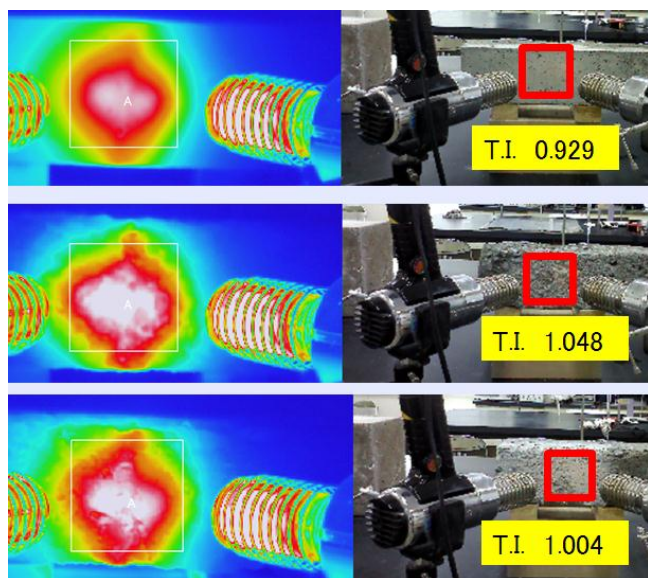


Figure 14 Application of the thermal index to frost damage by surface impregnation materials (color level by Figure 6)

5. CONCLUSION

As a surface protection method of repair construction of the concrete structure, the repair by surface impregnation materials is an important measure. The frost damage must consider in what way movement and pressure of outside and inside water in concrete portion. The dilution water of the deicing chemical occurs in concrete surface damage. If its escape way of the water is lost, surface impregnation materials is promoted frost damage. From the grasp learning model of all the time experimental series by the machine learning, it is possible to be finding consideration of qualitative and quantitative inference. Thermal index of non-contact method is important to fuse spatially by a combination with non-destructive inspection method in the future ^{(7),(8)}.

Acknowledgements

This research was conducted with student researchers of Kobe City Public University Corporation, KCCT (Kobe City College of Technology). As an international interchange research with university of Hawaii at Manoa and Hilo, this research of concrete will develop it in future. In addition, this research was reviewed with Dr. Lin Shen in University of Hawaii. Then it is submitted as a research reference at this stage. The author appreciates for all people involved with this research. Finally, I would like to thank really Nikko Co., Ltd. for supporting us with a research grant cost to cover my international interchange research friendly to the University of Hawaii.

REFERENCES

- (1) I-Cheng Yeh : “Model the compressive strength of high performance concretes using machine learning ”, Cement and Concrete Research 28, pp.1797-1808 December 1998.
- (2) Mohammad Adil, Rahat Ullah, Salma Noor, Neelam Gohar : “Effect of number of neurons and layers in an artificial neural network for generalized concrete mix design”, Neural Computing and Applications, 2022.
- (3) Atsushi Machiguchi , Toshiharu Kita , Norio Tada, Hiromasa Takei, Yasuo Chikata : “Experimental study on development of the system which supports that an engineer judges a factor of the deterioration for the concrete structure by Deep learning ”, Journal of structural engineering Vol.64A, March 2018.
- (4) R. Nakajima, H. Tsuruta: “Effects of combining silicate and silane type surface penetrants on concrete under different water content conditions”, March 2013.
- (5) Takashi Fujii1, Hisashi Ando, Moriwaki Takuya, Toshiki Ayano: “Effect of silicate-type surface penetrants on water permeability of cracks”, JSCE 2020 annual meeting V-117, 2020.09.
- (6) Jinjun Guo, Wenqi Sun, Yaoqun Xu, and Weiqi Jing: “Damage Mechanism and Modeling of Concrete in Freeze–Thaw Cycles”, Buildings, Building Materials, and Repair & Renovation, 28 August 2022
- (7) Ryota Suzuki, Genta Orita, Shouhei Momoki, Hiroaki Matsuda :“Investigation of Non-contact and Areal Analysis for Concrete Properties by Hyperspectral Camera ”, LABORATORY TECHNICAL REPORT TOBISHIMA CORPORATION, Nov. 30, 2022
- (8) OGATA Hidehiko, TAMURA Yuhei, HYODO Masahiro, ISHIGAMI Akio, SATO Satoshi: “Study of Quantitative Evaluation of Micro Cracks in Extracted Concrete Core by Infrared Thermography Method”, Journal of the Agricultural Engineering Society, No. 297, 2015. 6

神戸高専研究紀要第 62 号 編集委員

| | | |
|--------------------|----------------|----------------|
| 早稲田 一嘉 (総合情報センター長) | 酒井 昌彦 (副センター長) | 橋本 好幸 (副センター長) |
| 増田 興司 (副センター長) | 小林 洋二 (機械工学科) | 高科 豊 (都市工学科) |
| 児玉 宏児 (一般科) | 宮本 惇史 (総務課) | 神垣 竜二 (学生課) |
| 清田 実花 (総合情報センター) | 中西 厚子 (図書館) | |

研 究 紀 要 第 62 号 (非売品)

発 行 日 令和 6 年 3 月 1 日

発 行 者 神戸市公立大学法人

神戸市立工業高等専門学校

神戸市西区学園東町 8 丁目 3 番地

TEL (078) 795-3311 (代)

FAX (078) 795-3314



古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。