

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | オンライン授業における学習者の筆記・行動情報を利用したフィードバックについての研究   |
| Author(s)    | Hwang, Dououng  |
| Citation     |   |
| Issue Date   | 2024-03   |
| Type         | Thesis or Dissertation  |
| Text version | author  |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/18915">http://hdl.handle.net/10119/18915</a> |
| Rights       |   |
| Description  | Supervisor: 長谷川 忍, 先端科学技術研究科, 修士(情報科学)  |

修士論文

オンライン授業における学習者の筆記・行動情報を利用したフィードバックについての研究

HWANG DOYOUNG

主指導教員 長谷川 忍

北陸先端科学技術大学院大学  
先端科学技術研究科  
(情報科学)

令和6年3月

## Abstract

In learning, engagement refers to the participation and involvement of learners. As learners' engagement increases, the effectiveness of learning increases and can lead to improved grades.

Recently, due to the coronavirus outbreak, online education has been expanding, and its importance is increasing. In addition, with the development and dissemination of smart devices, many people can benefit from online education. Many schools and educational institutions are conducting education in the form of online classes and face-to-face classes.

In face-to-face education, teachers and learners interact directly. Teachers can see and judge the learner's condition directly, give feedback to the learner, or improve the class by quickly determining whether the learner is struggling.

Unlike face-to-face education, online education may lack learners' interactions, such as teachers quickly grasping the learner's condition and giving feedback. Therefore, in online education, learners' engagement decreases leading to decreased learning effectiveness. Securing engagement and improving the quality of instruction in online education is an important task.

To improve the learner's engagement in class, learners must participate independently. Engagement consists of three elements: behavioral, emotional, and cognitive, of which behavioral engagement is related to learners' observable behaviors, such as participating in class or submitting assignments. Studies have shown that when learners use metacognitive strategies that understand and control their learning process, behavioral engagement increases, which positively affects test results. To increase these behavioral engagements, that is, for learners to participate in class independently, the role of teachers in the progress of the class is important. Teachers need to understand whether learners have difficulties or have lost interest in class and respond by giving detailed feedback to learners or improving classes. However, it is difficult for teachers to check learners' learning status in online education.

As an element in which learners participate in class in online classes, there is a process in which learners watch and learn lecture slides while taking notes. Watching lecture slides or taking notes with interest in the part the teacher is teaching can be actively participating in learning.

Recently, learning using tablet PCs and stylus pens has attracted attention in the field of education. Tablet PCs have high portability and flexibility to easily access any learning materials. In addition, learners can view textbooks or lecture materials on a tablet, take notes, store information, and review them on various tools such as computers and smartphones. With the digitization of education, tablet PCs are used in digital education to distribute tablet PCs to students in schools or educational fields and use them in classes.

Therefore, this study developed the system assuming learners read lecture slides using tablet PCs while taking online classes and learn by taking notes. The engagement can be identified by measuring learners' learning information, and the class can be expected to improve.

As the basis for estimating learners' engagement, three types of information were used: the amount of note-taking by the learner, the mismatch distance between the slide taught by the teacher and the slide of the learner, and the mismatch time. In the class, three types of information were measured in real-time: the amount of note-taking, the mismatch distance, and the mismatch time the information was visualized, provided to the teacher,

and identified learners' engagement. The teacher developed a system that can grasp the visualized learners' engagement and provide feedback to learners in real-time or improve the class.

To visualize learners' data in real-time during class, two graphs of, "Bubble Chart" and "Slice series graph," were produced. The bubble chart contains all three types of information: the amount of note-taking, the distance of mismatch, and the time of mismatch, and allows learners to check the individual information of each learner. The Slice series graph shows learners' average amount of writing and mismatch time per slide that conducted the lecture, allowing the teacher to understand where learners' engagement has deteriorated. In addition, the function of giving feedback to learners through the system from the information in the graph was implemented, allowing teachers to give feedback through the system.

The experiment was conducted by gathering 11 graduate students, and the graduate students divided roles into teacher roles and learner roles. However, in the class, the video lecture was played, and the subject in the teacher role only worked to grasp the learner's condition and give feedback. For comparison with face-to-face classes, the experiment was conducted face-to-face.

As a result of experimenting with the system, it was found that there was an improvement in class for both learners and teachers. However, in the case of learners, the magnitude of the effect was small, and some learners did not feel the effect. In the case of teachers, the subjects felt the effects of grasping learners' engagement and improving feedback very greatly in class. These results suggest that using the system positively affects learners' engagement and that teachers can evaluate learners' engagement to give feedback more effectively and improve instruction.

As a specific problem that the subjects responded to, it was analyzed that learners needed to improve the frequency of feedback or the content of messages sent by the system. They specifically answered that the feedback message needed a message tailored to each learner's condition, and that additional functions were needed to increase concentration. Teachers answered that they would like to make the visualized graph easier to see, and that it would be nice to automate the feedback in the system to provide feedback to individual learners and reduce the burden on teachers. They also answered that it is necessary to improve the manipulation or ease of system interfaces in common with learners and teachers.

In this study, an online learning support system was developed and the effectiveness was verified through experiments. However, there are some limitations. The number of subjects was small, so statistical analysis could not be performed, and the reliability was poor. In addition, there are improvements to the system, such as personalized feedback or ease of use of the system. In future research, improving the ease of the system, adding convenient functions, and conducting classes with more subjects is necessary.

# 目次

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第1章 はじめに .....                   | 1  |
| 1.1 研究背景.....                    | 1  |
| 1.2 研究目的.....                    | 2  |
| 1.3 本論文の構成.....                  | 3  |
| 第2章 関連研究 .....                   | 4  |
| 2.1 学習におけるエンゲージメント .....         | 4  |
| 2.2 行動情報を用いたエンゲージメント推定の可能性 ..... | 4  |
| 2.3 筆記に関する学習効果の研究.....           | 5  |
| 第3章 研究手法 .....                   | 7  |
| 3.1 想定する学習環境 .....               | 7  |
| 3.2 エンゲージメント推定のための指標の定義 .....    | 8  |
| 3.2.1 エンゲージメント推定に用いる指標.....      | 8  |
| 3.2.2 筆記量の測定と分析.....             | 8  |
| 3.2.3 離脱距離とその意義.....             | 9  |
| 3.2.4 離脱時間の計測と分析.....            | 10 |
| 3.3 エンゲージメント推定への応用 .....         | 10 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.3.1 各指標のエンゲージメントへの影響..... | 10 |
| 3.3.2 データ可視化方法 .....        | 11 |
| 3.4 提案システムの概要.....          | 14 |
| 3.5 WEB アプリケーションの開発.....    | 16 |
| 3.5.1 開発環境と技術スタック .....     | 16 |
| 3.5.2 オンライン授業 GUI の実装.....  | 17 |
| 3.5.3 API の実装 .....         | 21 |
| 3.5.4 データベースの実装.....        | 22 |
| 第 4 章 実験・評価.....            | 23 |
| 4.1 実験の概要 .....             | 23 |
| 4.1.1 実験の目的.....            | 23 |
| 4.1.2 実験被験者.....            | 24 |
| 4.1.3 実験の概要と同意プロセス.....     | 24 |
| 4.2 実験被験者 .....             | 25 |
| 4.2.1 実験の環境.....            | 25 |
| 4.2.2 実験の流れ.....            | 26 |
| 4.2.3 実験の評価方法 .....         | 27 |
| 4.3 実験結果の傾向 .....           | 30 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 4.3.1 学習者のアンケート結果の傾向 ..... | 30 |
| 4.3.2 教師のアンケート結果の傾向 .....  | 33 |
| 第5章 おわりに .....             | 36 |
| 5.1 実験結果の解釈と議論 .....       | 36 |
| 5.1.1 学習者視点からのまとめ .....    | 36 |
| 5.1.2 教師視点からのまとめ .....     | 36 |
| 5.2 まとめ .....              | 37 |
| 5.3 今後の展望 .....            | 38 |

## 図目次

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 図 3-1 想定される学習環境 .....               | 7  |
| 図 3-2 バブルチャート .....                 | 12 |
| 図 3-3 スライド系列グラフ .....               | 12 |
| 図 3-4 システムアーキテクチャ .....             | 14 |
| 図 3-5 Surface Pro, Surface Pen..... | 17 |
| 図 3-6 学習者側 web アプリケーション.....        | 18 |
| 図 3-7 教師側 web アプリケーション .....        | 19 |
| 図 3-8 学習者の状態 web アプリケーション .....     | 20 |
| 図 3-9 フィードバックメッセージ .....            | 21 |
| 図 4-1 学習者側の平均変化量 .....              | 31 |
| 図 4-2 教師側の平均変化量.....                | 33 |



## 表目次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 表 4-1 UEQ-S 評価.....            | 27 |
| 表 4-2 学習者側アンケート .....          | 28 |
| 表 4-3 教師側アンケート(システム使用時) .....  | 28 |
| 表 4-4 教師側アンケート(システム未使用時) ..... | 29 |

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究背景

エンゲージメントは作業に対する肯定的で充実した心理状態を意味する [1]。エンゲージメントに対する学術的見解は様々であるが、学習におけるエンゲージメントは、学習者の学習への関与の程度を意味する。最近、スマートデバイスの発展と COVID-19 パンデミックの影響でオンライン学習が拡大する中で、オンライン学習でこのようなエンゲージメントを把握して確保することは、オンライン学習の質向上に寄与するであろう。

文部科学省の 2020 年 5 月 12 日の報告によれば、オンライン学習環境では、学習者が教員とのコミュニケーション不足やフィードバックの欠如に直面している [2]。このような問題は、学習者のエンゲージメントの低下につながり得る。また、東洋経済オンラインの 2022 年 2 月 4 日の記事は、教師がオンライン授業において学生の注意力や参加状況を把握することの難しさを強調している [3]。これらの課題は、オンライン学習の効果的な実施に影響を与え、学習者の学習達成度に影響を与える可能性がある。

Ally & Samaka(2013)によると、スマートデバイスの発展と普及は、オンライン学習の形態を変化させた。スマートデバイスの普及により、学習者はより多くの学習機会を得て、教育の格差を解消する手段となった [4]。NTT モバイル社会研究所の 2023 年 4 月 20 日の報告によると、タブレット PC を用いた授業の回数が多いほど利点を実感できるという結果があった [5]。こうした中、文部科学省は「GIGA スクール構想」を通じて義務教育を受ける生徒を対象に、1 人 1 台のパソコンを普及し、ネットワークを構築する事業を進めている [6]。スマートデバイスを活用して、教師は学習資料をデジタル化して簡単に配布し、学習者はデジタル化された学習資料の上にスタイラスペンなどを通じて筆記をし、絵を描くなどインタラクティブな授業を経験することができる。Ansayam&Tan(2021)によると、デジタル教材の主な特徴はテキストだけでなくオーディオやビデオなどの多様な情報を提供して学習者の関心を誘導し、理解を高めるのに寄与している [7]。

梅本(2016)らは、積極的に学習に参加する行動的合意が高くなれば、試験成績が向上することを指摘している [8]。しかし、この研究結果をオンライン学習に

適用するには、新たな課題が存在する。特に、オンライン授業の環境で学習者のエンゲージメントをどれだけ効果的に把握し、改善できるか新しいアプローチが必要である。学習に参加する行動的合意に対する様々なパターンを分析し、相互作用できる新しい技術や方法が求められている。このような研究はオンライン授業の効果を高め、学習成果を高めるための重要な段階になるであろう。

## 1.2 研究目的

この研究の主目的は、オンライン授業中に筆記行為と学習者がスライドをめくるなどの学習行動を利用して学習者のエンゲージメント状況を把握し、効果的なフィードバックを行うシステムを開発し、その評価を行うことである。具体的な研究目的は以下の通りである。

### (1) オンライン講義での学習者の筆記行為と学習行動の情報収集

オンライン講義中に学習者が行う筆記行為と学習行動のデータを収集する。収集するデータには、筆記量、学生が見ているスライドの情報などが含まれる。

### (2) 収集したデータに基づく学習行動の分析と教師への結果提示

収集したデータを分析し、学習者の行動情報を可視化する。さらに、教師に対して可視化された情報を効果的に提示するための方法と UI を開発する。

### (3) 教師から学習者へのフィードバック提供システムの実装

教師が学習者に対して個別化されたフィードバックを提供するためのシステムを実装する。

この研究は、研究はオンライン教育環境で学習者のエンゲージメントをより深く理解し、教師が学習者に効果的な助けを与えることができる効果的な手段を開発することに主眼がある。学習支援システムを通じてオンライン授業の質を向上させ、学習者の学習経験を豊かにすることが期待される。

### 1.3 本論文の構成

本論文では、第 2 章において、本研究の理論的根拠となるエンゲージメントと学習行動についての研究を紹介する。また、オンライン授業と筆記に関する論文を紹介する。第 3 章では、研究において利用する情報を収集し定量化する方法、提案するシステムの説明、具体的なシステムのインターフェース説明を行う。第 4 章では、実装したシステムを用いた実験について紹介し、その結果の評価と結果について述べる。第 5 章では、結論と今後の課題について述べる。

## 第2章 関連研究

### 2.1 学習におけるエンゲージメント

本節では、学習におけるエンゲージメントが学習にどのように影響するかを分析する研究について紹介する。

Hao Lei et al.(2018)は、69の研究と196,473人の参加者を対象としたメタ分析を通じて、学習者のエンゲージメントが学業成就度にどのような影響を及ぼすかを調査した [9]。分析の結果、学習者のエンゲージメントと学業成就度の間には肯定的な関係があり、学習者の性別や文化的差異といった要因が相関関係に影響を及ぼすことを示した。

Hong Lei et al.(2024)は、学習者のエンゲージメントと学習効果の関係を探求した [10]。具体的には、学習者のエンゲージメントを媒介変数としてエンゲージメントが学習効果に及ぼす影響と学習者の性格特性が学習動機と学習効果の間にどのような影響を持つのかを分析した。研究結果によると、学習動機は学習効果に肯定的な影響を及ぼし、学習者のエンゲージメントは学習動機と学習効果の間で部分的な媒介の役割を果たす。また、学習者一人ひとりの性格特性は学習動機と学習効果の間の関係に調節効果を持つことが確認された。

山田(2023)は、大学教育における「心理的安全性」が学習者のエンゲージメントと学習成果に与える影響を調査した [11]。研究では多様な授業を通じて心理的安全性を高める方法を適用し、これを通じて学習者のエンゲージメントが増加し学習成果に肯定的な影響を及ぼすことを確認した。

これらの研究での述べられている通り、エンゲージメントは学習成果に肯定的な影響を与えることが示唆されている。しかしながら、学習者のエンゲージメントを教師が把握するための手法については限られている。そこで本研究ではオンライン授業を対象として学習者のエンゲージメントを把握し、適切なフィードバックを提供するためのシステムを開発し、学習者の学習経験を向上させることを目標とする。

### 2.2 行動情報を用いたエンゲージメント推定の可能性

本節では、エンゲージメントの構成要素のうち、行動情報を定義する研究と行動情報を推定し学習に適用する研究を紹介する。

Fredricks et al. (2004)は、エンゲージメントを行動的、感情的、認知的の3つの要素からなる多次元の構造として定義した [12]。このうち、行動的エンゲージメントは授業に参加することや、課題を提出することなどの学習者の観察可能な行動に関連するものである。感情的エンゲージメントは、教師や学校、学習に対する学習者の感情的な反応と関連がある。認知的エンゲージメントは、学習者が学習時に難しい課題について理解しようとする努力と意欲などが含まれる。

梅本(2016)らは、行動情報を用いたエンゲージメント推定の可能性について考察している [8]。研究では、学習者が自分の学習過程を理解し調節するメタ認知戦略を使う時、行動的エンゲージメントが増加し、試験結果に肯定的な影響を及ぼすことが示された。つまり、積極的に学習に参加する行動的エンゲージメントが高まると試験成績が向上すると考えられる。

このような知見に基づき、本研究では学習者の筆記行為を学習行動と定義し、オンラインでの学習行動がエンゲージメントに与える影響を理論的に探求する。筆記行為や学習行動は学習者の参加指標と見なすことができる。このような行動情報を分析することによって教師がより効果的に学習者の参加を推定し、適切なフィードバックを提供するための新しいアプローチを開発することが期待される。

## 2.3 筆記に関する学習効果の研究

本節では、学習における筆記行為を推定したり、筆記情報を活用して学習効果を向上させたりする研究を紹介する。

江木(2012)らは、筆記行為の検出とその学習者への影響を検討している [13]。また、近藤(2022)らは、他人のノートテイキング状況の可視化が学習者間の学習効果にどのように影響を及ぼすかを実験し、効果を検証した [14]。

渡邊(2014)らは、カメラで筆記行為を撮影してイメージ処理を利用して筆記内容を分析し、書く動作とノート内容間の関係を説明した [15]。

更に、Thomas D. Hoisch et al. (2010)は、タブレット PC を使った授業デモンストラーションが学習者の理解にどのように貢献するかを研究しており [16]、Lori Fulton et al. (2017)は、デジタル科学ノートブックの使用とその教室での応用に関する教師の見解を調査している [17]。これらの研究は、筆記行為が学習効果に与える影響を理解するための貴重な洞察を提供している。

本研究は、筆記行為を分析するだけでなく、筆記行為を利用してエンゲージメントを把握し、学習を改善するためのフィードバックを研究する。

## 第3章 研究手法

### 3.1 想定する学習環境

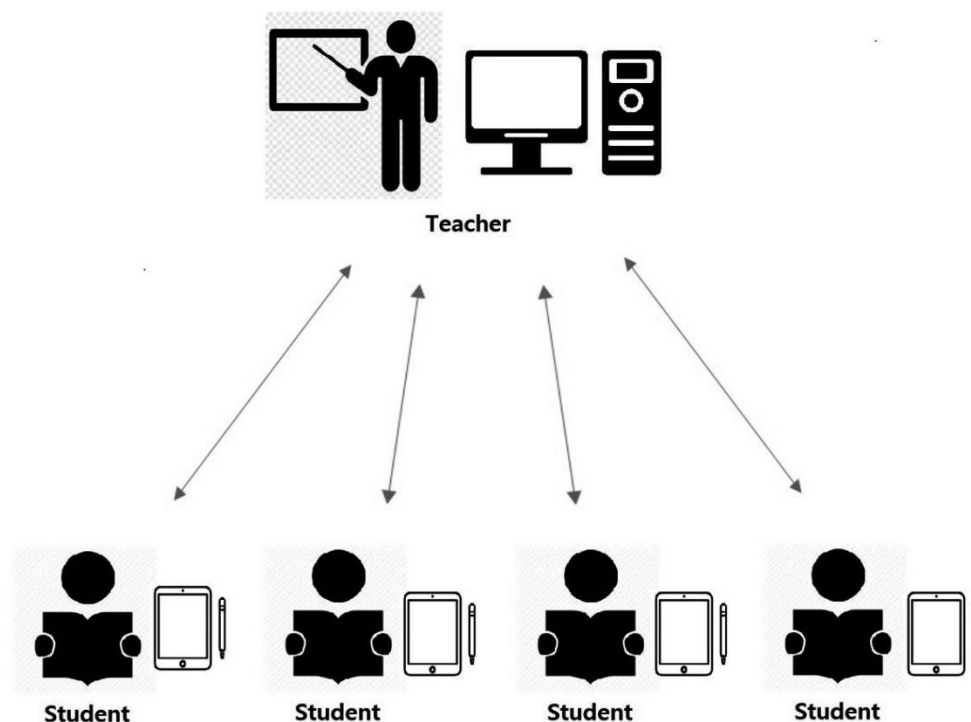


図 3-1 想定される学習環境

本研究では、オンライン授業における特定の学習状況を想定している。具体的には授業はリアルタイムで行われ、図 3.1 のように多数の学習者がオンライン授業で教師から配布される講義スライドを学習資料として使用し、タブレット PC を利用して学習資料を読み込んでスタイラスペンでその上に筆記をするシナリオを考慮している。この状況で学習者は講義内容を直接タブレットにメモや図として記入して学習を進め、教師は学習者の状態を確認しリアルタイムでフィードバックすることができる。



## 3.2 エンゲージメント推定のための指標の定義

### 3.2.1 エンゲージメント推定に用いる指標

エンゲージメント推定に使用する指標はオンライン授業中の学習者の行動を定量的に把握するためのもので、学習者が筆記する行為と講義のスライドをめくる行為で構成される。筆記行為は筆記量、講義スライドをめくって注視する行為は離脱距離、離脱時間で3つの主要要素を設定した。

- (1)筆記量: 学習者が授業中に行う筆記の量を指標とする。これは、学習者が授業内容にどの程度積極的に関与しているかを示す重要な指標となる。
- (2)離脱距離: 教師の進行するスライド番号と学習者の閲覧しているスライド番号の差異を測定する。この差異が大きい場合、学習者が授業から離脱している可能性が高まる。
- (3)離脱時間: 学習者が教師のスライドと異なるスライドを見ている時間の長さを計測する。長い離脱時間は、学習者が授業に集中していないことを示唆する。

これらの指標を総合的に分析することにより、学習者のエンゲージメント状態をより正確に推定することが可能となる。筆記量、離脱距離、離脱時間はオンライン学習環境で学習者の注意力分布を理解するのに役立つ。このようなデータに基づくエンゲージメントの推定は、教師が学習者に対してより適切な支援とフィードバックを提供する基盤を構築するのに寄与する。

### 3.2.2 筆記量の測定と分析

この研究では、筆記量はページでのペンの移動距離の総和として定義される。具体的には、ユークリッド距離を使用して計算され、ページ上でのペンの動きを量的に捉える。この計算式は以下のように表される：

$$\text{筆記量} = \Sigma \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

数式(1)において  $x_1$ 、 $y_1$  は現在のペンの座標、 $x_2$ 、 $y_2$  は以前のペンの座標を

表す。曲線の場合、曲線を構成する多くの小さな線分の長さを加えることで総筆記量を計算する。この計算により、学習者が講義スライド上で行う筆記や下線引き、描画などの筆記行為の量を把握することができる。

筆記量分析は、学習者が授業内容にどれほど積極的に関与しているかを示す重要な指標になる。本研究では、学習者が授業内容以外の絵やメモなどの筆記を行うことは考慮せず、授業内容に関連した筆記のみ行うと仮定する。例えば、筆記量が多い場合、学習者が授業内容に対して深く関心を持っていたり、積極的に情報を処理しようとしていることを示す可能性がある。逆に、筆記量が少ない場合は、学習者が授業内容に十分に関与していなかったり、理解するのに苦労している可能性が考えられる。

### 3.2.3 離脱距離とその意義

本研究における離脱距離は教師が進行している講義スライド番号と学習者が閲覧している資料のスライド番号との差で定義される。この違いは、教師が講義を進めている部分に学習者がどれだけ集中しているかを示す指標として機能する。離脱距離の計算式は、次のとおりである：

$$\begin{aligned} \text{離脱距離}(X) = & |SN - DN| \quad (\text{if } DN \leq SN) & (2) \\ & |SN - DN| * w \quad (\text{if } DN > SN) \end{aligned}$$

数式(2)において、SN は講義スライドの番号、DN は学習資料のスライド番号、w は加重値を示す。特に、学習者が教師の進行より進んだスライドを見ている場合(DN > SN)、加重値をかけることでその影響を強調する。本研究では、学習者が教師のスライドより進んだスライドを見ているとき、講義に注目していないと仮定している。学習者が内容を知っていても、教師と異なるスライドを見ることは、授業に対するエンゲージメントが劣ると考えられるためである。

離脱距離分析は、学習者が講義内容にどれだけ注目しているか、または授業からどれだけ離れているかを示す重要な指標になる。例えば、離脱距離が大きい場合、学習者が授業内容に集中しない可能性が高く、教師が介入して注意を促す必要がありうる。逆に、小さな離脱距離は学習者が講義内容に注目していることを

示している。

### 3.2.4 離脱時間の計測と分析

離脱時間は教師のスライド番号と学習者のスライド番号が異なる期間を時間で測定することを意味する。この研究では、離脱時間は次のように定義される：

$$\text{離脱時間} = \Sigma (\text{ET} - \text{ST}) \quad (3)$$

数式(3)において、STは離脱が始まった時間、ETは離脱が終了した時間を示す。離脱時間の長さは、学習者が授業内容にどれだけ集中しているか、または授業から離れているかを示す指標として使われる。

離脱時間の測定と分析は、学習者がオンライン授業にどれだけ注目しているかを定量的に把握するための重要な方法である。例えば、離脱時間が長い場合、学習者が授業内容に十分に集中できていないことを示す。これは、学習者が授業と関連のない他の活動に行っていたり、講義の理解に困難を感じていることが考えられる。

離脱時間の分析を通じて、教師は学習者が授業にどの程度参加しているかを評価し、学習者が直面した問題に対して適切な支援やフィードバックをすることができる。

## 3.3 エンゲージメント推定への応用

### 3.3.1 各指標のエンゲージメントへの影響

エンゲージメント推定における各指標の影響は、オンライン学習における学習者のエンゲージメントを理解する上で重要である。本セクションでは、筆記量、離脱距離、離脱時間の各指標がエンゲージメントに及ぼす影響を分析し、その意義を探る。

・筆記量は、学習者が授業内容に積極的に取り組んでいる程度を示す。筆記行為

は学習過程で理解の深化に寄与し、学習成果を向上させることができる。

・離脱距離は、学習者が授業内容からどれだけ離れているかを示す。小さな離脱距離は学習者が教師の進行と同期化されていることを意味し、高いエンゲージメントを示唆する。逆に、大きな離脱距離は学習者が授業に集中しなかったり、理解するのに困難を経験している可能性がある。

・離脱時間は、学習者が授業でどれだけ時間的に離れているかを示す。長い離脱時間は学習者の注意が授業から外れていることを意味し、低いエンゲージメントの可能性を示す。

これらの指標を総合的に分析することによって、オンライン授業での学習者エンゲージメントの全般的な状況を把握し、教師がより効果的に学習者にフィードバックするための具体的な計画を立てることができる。また、この指標を分析して可視化し、授業中に教師が直観的に判断できるならば、教師は授業をより改善することが可能となる。さらに、このような指標を学習者がどのような部分で困難を感じるのか、どのような反応を見せるのかを検討することにより、授業の改善が考えられる。

学習者の学習行動の各指標が持つ意味を理解することで、オンライン授業を改善し、学習者一人ひとりに合った教育経験を提供し、学習者のエンゲージメントを極大化することが期待される。

### 3.3.2 データ可視化方法

本研究では、教師に学習者の学習行動を視覚的に見せるための2つの主要グラフを提供する。これらを通じて、教師が学習者のエンゲージメント状況を効果的に把握し、適切な指導とフィードバックを行う。

(1) バブルチャートによるリアルタイム学習行動の提示

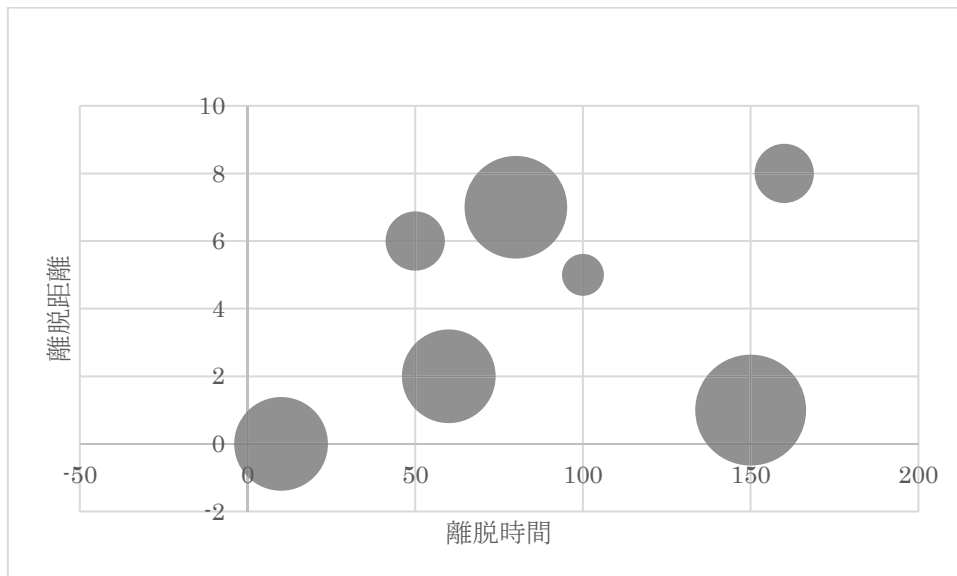


図 3-2 バブルチャート

図 3.2 のように、教師が現在進めているスライドに対する学習者の学習行動（筆記量、離脱距離、離脱時間）をバブルチャートで示し、各学習者の行動パターンを比較できるようにする。バブルチャートの点の大きさは学習者の筆記量、横軸は離脱時間、縦軸は離脱距離を示す。

(2) スライド系列グラフによるスライドあたりの学習行動の提示

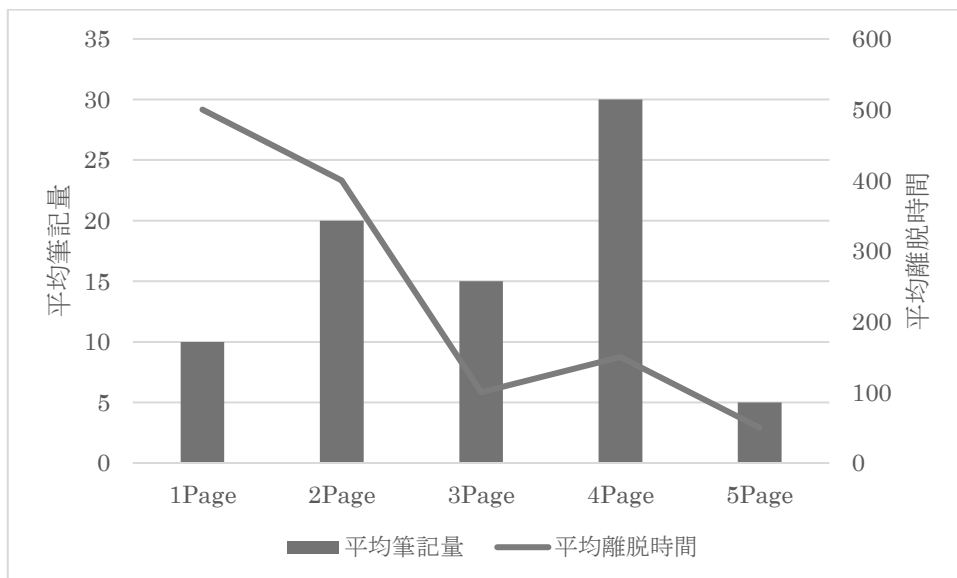


図 3-3 スライド系列グラフ

図 3.3 のように、スライド系列グラフを用いて、スライドごとの学習行動を示すグラフを提供し、各スライドにおける学習者のエンゲージメントのレベルを分析する。授業中の学習者の行動の変化を示す。スライド系列グラフは2種類のグラフが混合されており、棒グラフは学習者の平均筆記量、線グラフは学習者の平均スライド離脱時間である。これを通じて授業の特定時点で学習行動の変化と学習者のエンゲージメントを把握する。

### (3) インタラクティブ・バブル・チャート

バブルチャート上の各点をクリックすると、その学習者に対する現在の状態の詳細情報が表示される機能を実装する。この機能により、教師は特定の学習者に焦点を当て、その学習者の行動情報や必要な支援をより詳細に理解することができる。

これらのグラフは、教師が授業中に学習者一人ひとりの学習状態を把握し、フィードバックを行うための強力な支援ツールとなる。視覚的な表示とインタラクティブな学習者状態のリアルタイム反映により、教師は学習者の行動を素早く直観的に分析し、効果的なフィードバックとサポートを行うことが可能となる。

### 3.4 提案システムの概要

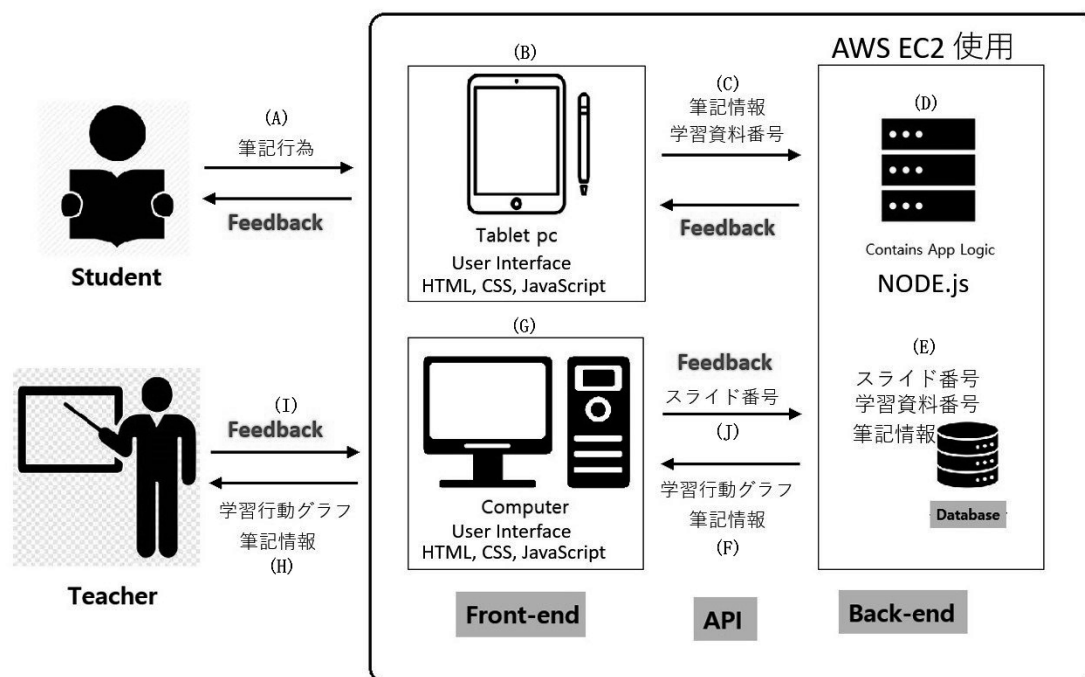


図 3-4 システムアーキテクチャ

図 3.4 はこのシステムの主要なコンポーネントとその機能を示す。図で提案するシステムのアーキテクチャは、オンライン授業環境で教師と学習者が効果的に相互作用するための構造を提供する。以下は、このシステムの主要なコンポーネントと機能である。

#### ・教師と学習者のインタラクション

システムは、一人の教師がオンラインで講義を行い、多数の学習者がオンラインで授業を受けるシナリオを想定している。教師はスライドを利用して講義を進め、学習者は図 3.4 の(A)のようにタブレット PC を利用してスライド資料を閲覧しながらその上に筆記をする。

#### ・学習者のフロントエンド

図 3.4 の (C) のように、学習者のフロントエンド (タブレット PC 上の web アプリケーション) では、スライド当たりの筆記量と学習者の現在のスライド番号の情報が送信される。

- ・教師のフロントエンド

図 3.4 の(J)のように、教師のフロントエンドでは、教師側のスライドの現在の番号が伝送される。

- ・バックエンドとデータベース

バックエンドでは、学習者と教師から情報を受信し、図 3.4 の (E) のようにデータベースに保存する。受信されたデータは、分析されてエンゲージメントを表すグラフやチャートに変換され、教師に提供される。

- ・データ収集および転送機能

学習者のフロントエンドで筆記量、スライド番号のデータを収集し、図 3.4 の (C)のようにバックエンドで伝送する。教師フロントエンドでは、図 3.4 の (J) のようにリアルタイムで講義スライド番号を収集し、同様にバックエンドで伝送する。

- ・データ分析と可視化

バックエンドでは、受信したデータを分析し、エンゲージメントに関連する指標を計算する。計算された指標をもとにグラフやチャートを生成し、これらを図 3.4 の (H) のように教師のフロントエンドに表示する。

- ・フィードバックメカニズム

教師は生成されたグラフやチャートを通じて学習者のエンゲージメントを評価し、フィードバックを提供する。システムには、図 3.4 の(I)のように、教師が直接学習者にフィードバックを送信できる機能が含まれている。

- ・システム統合と実装

このシステムは既存の多様なオンライン学習プラットフォームと統合されることを想定している。また、システムはクラウドベースで運用し、柔軟な拡張性とアクセシビリティを提供する。

このシステムは教師に直観的で使いやすいインターフェースを提供し、学習者の行動をリアルタイムで把握することを可能にする。学習者のデータはクラ



ウドで安全かつ効率的に分析され、教師が授業中に適切なフィードバックや指導ができるように支援する。このシステムはオンライン授業の質を向上させるだけでなく、学習者一人ひとりに合わせた教育を実現するための重要な機能を提供する。

また、このシステムは教師と学習者の双方に利益をもたらす。教師は、学習者のエンゲージメントと理解度をより効果的に評価し、個別のニーズに合わせた指導を提供できる。学習者は、自分の学習行動がどのように授業に反映されているかを理解し、学習プロセスを改善するための具体的なフィードバックを受け取ることができる。このようにして、オンライン授業の効果を最大化し、教育の質を高めることが期待される。

## 3.5 WEB アプリケーションの開発

### 3.5.1 開発環境と技術スタック

本研究における WEB アプリケーションの開発は、次のような環境と技術スタックを基に行われた(図 3.4 参照)。

- ・学習者のインターフェース

学習者はタブレット PC として Microsoft Surface Pro を使用し、筆記入力には Surface Pen を利用する。インターフェースは JavaScript で構築されたウェブ環境であり、手書き入力を含むインタラクティブな操作が可能である。

- ・教師インターフェース

教師側のインターフェースも、JavaScript を使用して WEB 環境で構築され、教師が簡単に学習者データを視覚的に確認することができる。

- ・バックエンドサーバー

Amazon EC2 [18]の無料クォータを使用してバックエンドサーバーを設置し、サービス運営費用を節減する。バックエンドサーバーは、"Amazon Linux"の環境で Node.js を使用し、JavaScript コードで記述されている。

- ・データベース

データの保存及び管理には MongoDB [19]を使用する。これを通じて多数の学生データをリアルタイムで保存し分析する。

・ハードウェア

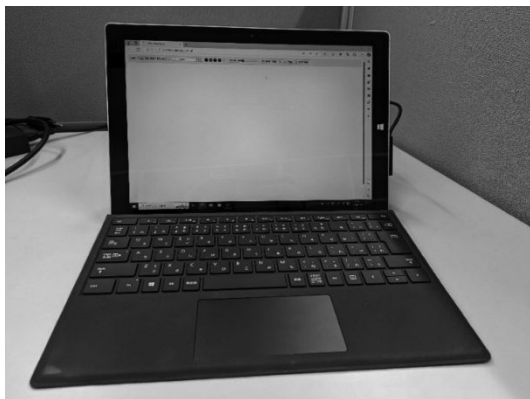


図 3-5 Surface Pro



Surface Pen

筆記のためのハードウェアとして、surface pro タブレット PC (図 3.5 参照) と surface pen (図 3.6 参照) を使用する。オペレーティングシステムは Windows 10 ベースであり、タッチスクリーンの上にスタイラスペンで入力できる。

このような開発環境と技術スタックは、オンライン学習環境で学習者の行動データをリアルタイムで収集し、効果的に処理するための基盤を提供する。また、教師が学習者のエンゲージメントを直観的に理解し、迅速にフィードバックを提供できる環境を構築する。これを通じてオンライン教育の質向上と学習者一人ひとりの要求に対応した教育が実現されるものと期待される。

### 3.5.2 オンライン授業 GUI の実装

本研究で開発した GUI は web アプリケーションで実行され、教師側、学習者側 web アプリケーションと教師に提供されるグラフとチャートを示す web アプリケーションで構成される。

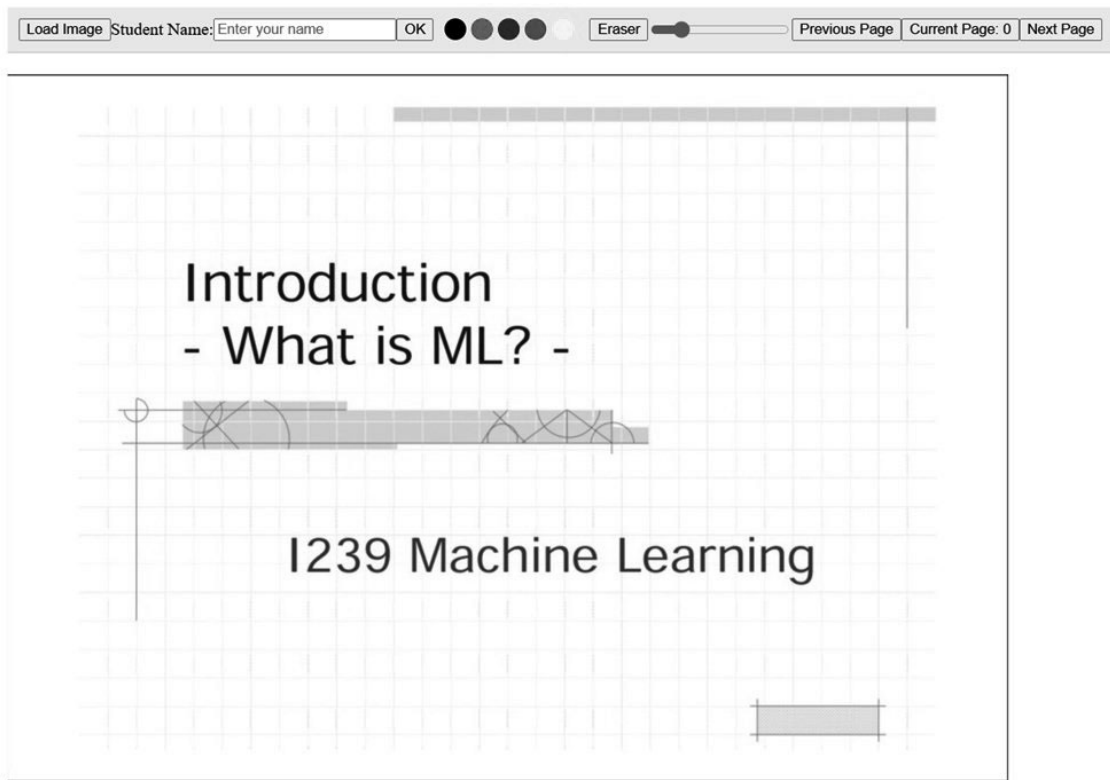


図 3-6 学習者側 web アプリケーション

・図 3.6 は学習者側 web アプリケーションの主要コンポーネントとその機能を示す。学習者側 Web アプリケーションの機能は次のように構成される。筆記機能の実装には p5.js ライブラリ [20]を使用している。

Load Image : 授業の使用される複数のスライドをイメージとして読み込むことができる。

Student Name : 学生の名前を入力する。

カラー選択 : 筆記の色を選択する。

Eraser : 筆記したものを消す。

太さ調節 : ペンで入力する線の太さを調節。

Previous Page : 前のページを閲覧。

Current Page : 現在のページ番号の表示。

Next Page : 次のページを閲覧。

読み込んだイメージは画面に表示され、その上にスタイラスペンで筆記ができる。

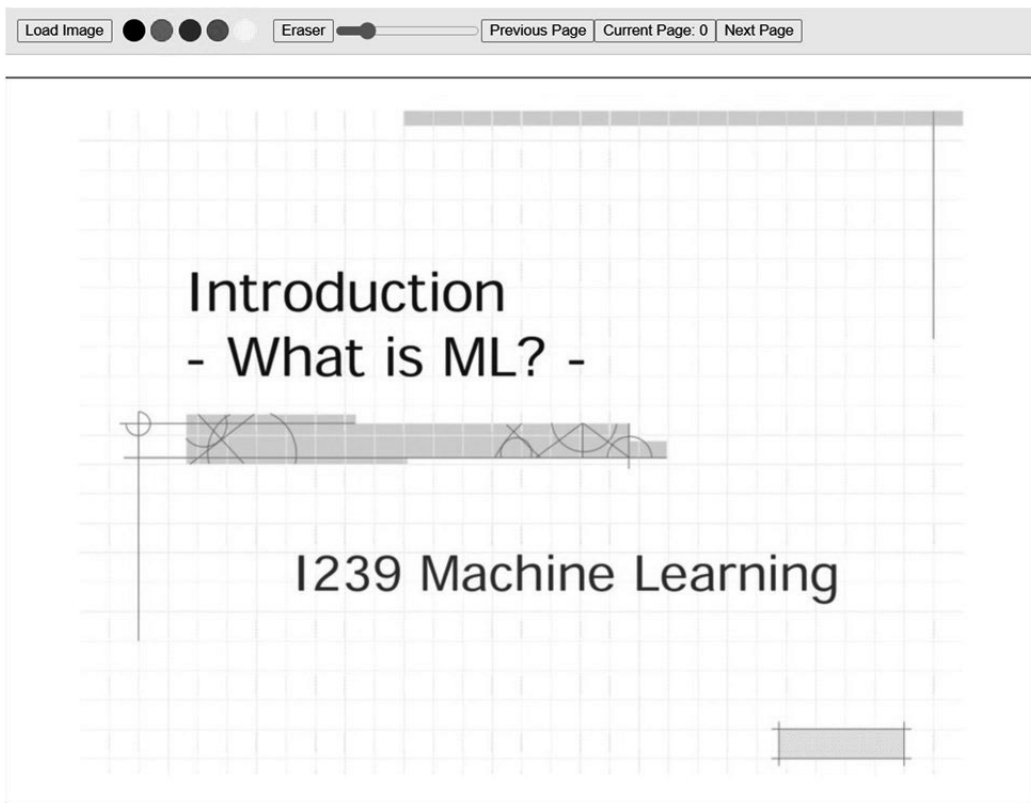


図 3-7 教師側 web アプリケーション

・図 3.7 は教師側 web アプリケーションの主要コンポーネントとその機能を示す。教師側 Web アプリケーションの機能は次のように構成される。筆記機能の実装には p5.js ライブラリ [20]を使用している。

Load Image : 授業の使用される複数のスライドをイメージとして読み込むことができる。

カラー選択 : 筆記の色を選択。

Eraser : 筆記したものを消す。

太さ調節 : ペンで入力する線の太さを調節。

Previous Page : 前のページを閲覧。

Current Page : 現在のページ番号の表示

Next Page : 次のページを閲覧。

読み込んだイメージは画面に表示され、その上にスタイルスペンで筆記ができる。

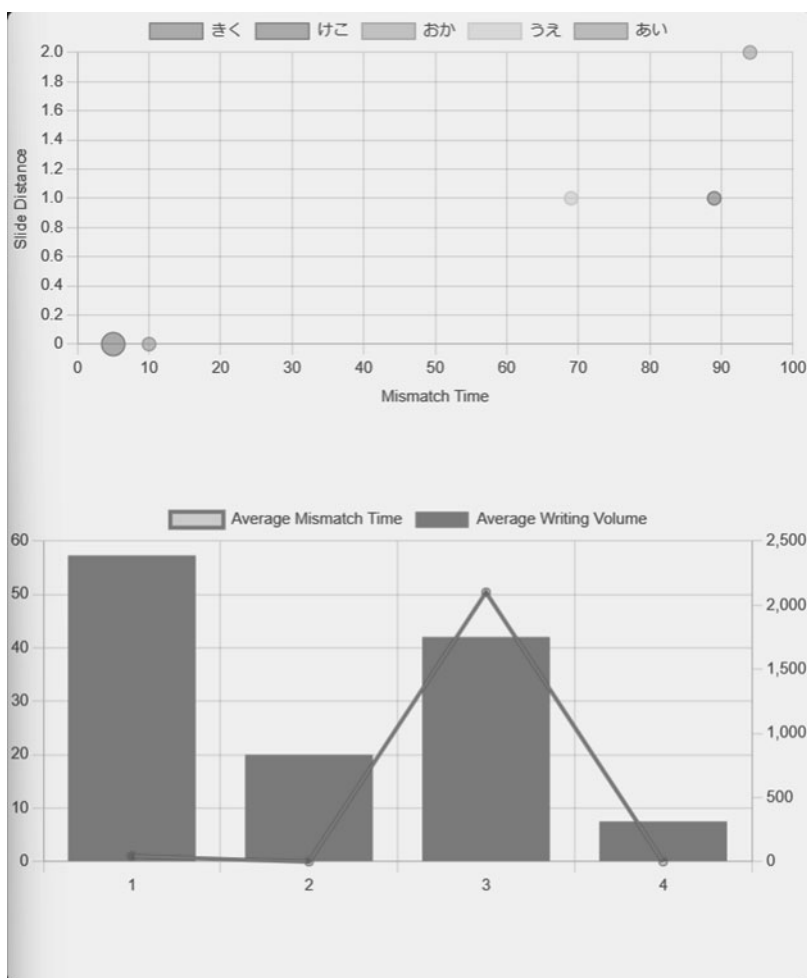


図 3-8 学習状態確認 web アプリケーション

図 3.8 は教師が確認できる学習者の状態を表すグラフの web アプリケーションの主要コンポーネントとその機能を示す。グラフの実装は Chart.js ライブラリ [21]を使用した。図 3.8 の上段のグラフはバブルチャートで教師が現在講義しているスライド番号に対する各学習者の状態を示す。バブルチャートの横軸は各学習者の離脱時間を示す。縦軸は各学習者の離脱距離を表す。点の大きさは筆記量を表し、筆記量が多いほど点の大きさが大きくなる。

図 3.8 の下段のグラフはスライド系列グラフで、スライド別学習者の平均状態を棒グラフと線グラフの二つのグラフを混合して表す。具体的にグラフの横軸は講義したスライドの番号を示す。棒グラフは学習者の平均筆記量を表す。線グラフは学習者の平均離脱時間を表す。

#### ・グラフの機能

バブルチャートの点にマウスカーソルを移動すると、学習者の名前と状態を簡単に確認することができる。また、バブルチャートの点をクリックすると、学習者の情報を確認でき、表示される Feedback ボタンを押すと学習者にメッセージを送ることができる。

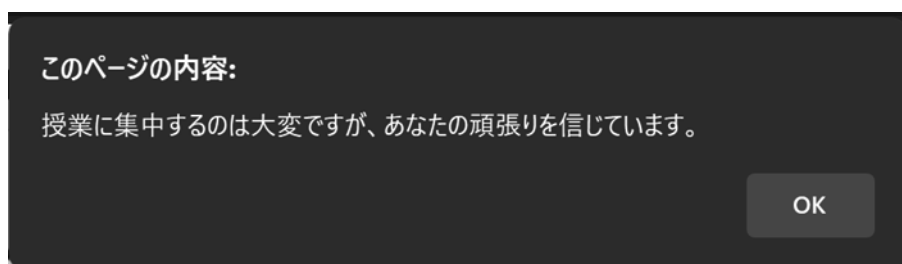


図 3-9 フィードバックメッセージ

教師がフィードバックボタンを押すと、図 3.9 のように学習者にメッセージが入力されたポップアップウィンドウが出てくる。現時点では、学習者に送信されるフィードバック内容は固定されたメッセージで、内容は「授業に集中するのは大変ですが、あなたの頑張りを信じています。」である。

### 3.5.3 API の実装

このプロジェクトでは Node.js [22] と Express フレームワーク [23] を使って RESTful API を構築した。この API は学習者と教師のフロントエンドからバックエンドサーバーへのデータ通信を管理するためのもので、学習者の筆記量、スライド番号、離脱時間などのデータを収集し MongoDB データベースに送信する。

主な API エンドポイントには以下のものがある：

/get-student-id: 新しい学習者 ID を生成しクライアントに返す。

/update-student-name: 学習者の名前を更新する。

/student-slide-data: 学習者のスライドデータと筆記量を受け取り保存する。

/teacher-slide-data: 教師のスライドデータを受け取り保存する。

これらのエンドポイントは HTTP リクエストに応答してデータを処理し、MongoDB データベースとのやり取りを行う。また、Socket.IO [24]を使用してリアルタイムのデータ通信を実現している。

### 3.5.4 データベースの実装

このシステムでは、収集されたデータを効率的に管理するために、MongoDB を使用したデータベースを利用している。Mongoose ODM を活用してスキーマベースのアプローチでデータモデルを定義し、データの整合性と構造を保つ。

データベースの主要なコレクションは以下の通り：

Student: 学習者の基本情報を格納。

TeacherSlide と StudentSlide: スライドの使用状況と学習者の活動を記録。

WritingVolume: 学習者の筆記量を追跡。

EventLog: すべてのイベントを記録し、授業が終わった後も分析できるようにする。

これらのコレクションはデータの保存、更新、検索に使われる。例えば、StudentSlide コレクションは学習者が現在見ているスライド番号や筆記量などのデータを保存するために使用される。一方で、EventLog コレクションはすべてのイベントを記録し、授業が終わった後も分析できるようにする。

## 第4章 実験・評価

### 4.1 実験の概要

本章では、オンライン授業で学習者の筆記と行動情報を活用したフィードバックに関する実験について述べる。この実験はオンライン学習環境で教師と学習者間の相互作用を通じて学習効果を高めることを目標にしている。特に、学習者のエンゲージメントの定量的な測定と教師のフィードバック効果評価に焦点を合わせる。

#### 4.1.1 実験の目的

この実験の主な目的は、オンライン授業で教師が学習者の筆記情報を利用して提供するフィードバックが学習者のエンゲージメントと学習過程にどのような影響を及ぼすかを調査することである。具体的には、以下の点に焦点を当てる。

- ・学習者の観点: 学習者が授業内容にどれだけ積極的に参加しているかを筆記とスライド情報から定量的に測定できるか。また、システムと教師が提供するフィードバックが学習者のエンゲージメントや学習行動にどのような効果を持つか。

- ・教師の観点: 教師がシステムを使用することで、より学習者の状態を把握できたか、効果的なフィードバックと授業改善が可能だったか。

- ・教師の評価: 教師がシステムを使用することで、より学習者の状態を把握できたか、効果的なフィードバックと授業改善が可能だったかを評価する。

実験では、学習者の行動と教師の反応の両方からデータを収集し、両方の視点から評価を行う。学習者は自らの学習行動を評価し、教師は提供したフィードバックの効果や学習者のエンゲージメント認識を評価する。この方法によってオンライン授業の効果をより深く理解し、授業の改善方向と有効なフィードバック方法を検討する。



#### 4.1.2 実験被験者

本実験の被験者は主に二つのグループに分けられる。一つは教師役としての参加者、もう一つは学習者役としての参加者である。

- ・教師役の参加者:

教師役としては、教育に係る経験を有する者、特に教師経験を有する者や教育に興味を有する大学院生、教育関係者を対象に募集した。教師役の役割は、提供されるオンライン授業内容に基づいて学習者にフィードバックを提供することであった。

- ・学習者役の参加者:

学習者の役割としては、一般大学院生を対象に募集した。これらの参加者はオンライン授業を受けてタブレット PC を利用してスライドを見ながら筆記活動を行った。

この実験では、被験者の個人情報保護に注意を払い、データの収集と分析は匿名化した。収集されるデータには筆記データとオンライン行動データ(スライド番号、ページ滞留時間、筆記量など)が含まれ、これらデータは以後の分析のために利用された。

#### 4.1.3 実験の概要と同意プロセス

この実験は被験者に次の同意プロセスに従った。

- ・実験説明:

実験開始前に、参加者に対して実験の目的、手順、予想されるリスクや利益について詳細な説明を行った。この段階では、参加者が実験の全体像を理解し、実験に参加するかどうかを決定するための十分な情報を提供した。

- ・インフォームド・コンセントの取得:

参加者には、実験の内容を理解し、自発的に参加することに同意するかどうかを確認するための同意書を提供した。同意書には、実験の目的、手順、データの取り扱い、撤回の権利などを明記した。

- ・個人情報の保護と安全管理:

参加者の個人情報は厳格に保護され、研究目的以外には使用されないことを説明した。

実験中に問題が生じた場合の対応プロセスも説明した。この同意プロセスは、実験参加者が安心して実験に参加できるようにするために不可欠である。また、倫理的研究実施の基本原則を遵守し、参加者の権利と安全を守る上で重要な役割を果たす。

## 4.2 実験被験者

### 4.2.1 実験の環境

この実験は大学院の講義室で行われた。環境設定は、実際の対面授業でオンライン授業環境を利用して授業を進める環境を条件を統一して模倣することを目的とした。実験は2回行われ、1回の実験では6人、2回の実験では5人の被験者で計11人の大学院生が参加した。

- ・実験設備:

各被験者には Microsoft Surface Pro タブレット PC と Surface Pen が支給された。これにより、実験中のスライド番号と筆記活動がデータで記録され、後の分析に用いられる。教師と生徒用タブレットとは別に、タブレット PC はプロジェクターに接続し、オンライン授業の視聴にも使われた。

- ・授業内容:

講義は「UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2018 芳賀猛, 梶谷真司」の「ワンヘルスの概念で捉える健全な社会 (学術俯瞰講義)」 [25]であった。この講義は動画形式であり、プロジェクターを使用して再生された。1 講義の 80 分の講義内容を 20 分ずつに区切って 4 つのセッションで利用した。本講義資料はページ単位でクリエイティブコモンズ表示-非営利-改変禁止(CC BY-NC-ND)ライセンス [26]の下に提供され、利用者は本講義資料を教育的な目的に限ってページ単位で利用できる。

- ・実験環境:

講義室は一般的な対面授業が行われる環境を再現するように設定され、被験者に実際の授業を聞く感覚を持たせることを目標とした。実験中、被験者はプロジェクターで再生された講義を見て、提供されたタブレット PC とスタイラスペンを使って筆記を行った。授業に使用されたスライドは事前にタブレット PC に保存した。

#### 4.2.2 実験の流れ

実験は 2 回行われ、計 11 人の参加者が被験者として実験に参加した。そのうち 4 人が教師の役割で、教師役の人は教師役、学習者役で 1 度ずつ参加し、残りの 7 人が学習者の役割で 2 度参加する。各参加者からは、授業ごとのリッカート尺度に基づくアンケートと、実験全体に対する記述式の評価が収集された。この実験は、以下の手順で進行した。

##### (1) 実験説明と同意書の記入 (約 10 分) :

実験開始前に、目的と手順を参加者に説明し、同意書に署名をしてもらった。実験の重要性と参加者の権利、プライバシーに関する事項を明確にした。

##### (2) 参加者の選定と役割の割り当て (約 15 分) :

6 人の大学院生または教育関係者を募集し、参加者を確定する。2 名を教師役として選定し、残りを学習者役として割り当てた。教師役の参加者には、授業で取り扱うテーマと内容についての説明を行った。

##### (3) システムの説明と練習 (約 15 分) :

オンライン学習システムの操作方法を全参加者に説明し、練習させた。教師役の参加者は、システムを使用して学習者のデータを監視し、フィードバックの方法を練習した。

##### (4) 授業の実施 (教師役ごとに 2 セッション、1 セッション約 30 分、休憩含む) :

各教師役は 2 回の授業を行った。授業の順番はランダムで割り当て、学習者はシステムを使った授業なのか使っていない授業なのか分からない状態で授業に参加した。各授業は約 20 分間実施し、5 分間の評価尺度アンケートを実施し

た。その後、アンケート作成完了後、5分間休憩を取った。

(5)実施後アンケート（約15分）：

実験終了後、教師役と学習者役を対象に記述式のアンケートを実施した。アンケートでは、学習体験やシステムの使いやすさに関する意見を収集した。このアンケートは、システムの効果性と実用性に関する貴重な情報を提供する。

#### 4.2.3 実験の評価方法

この実験の評価方法は、リッカート尺度に基づいた授業ごとの評価と、実験全体に対する記述式の評価の二つの要素から構成される。

・リッカート尺度による授業評価:

表 4-1 UEQ-S 評価

|           |         |           |
|-----------|---------|-----------|
| 妨げになる     | 0000000 | 助けられる     |
| 複雑        | 0000000 | 簡単        |
| 効率が悪い     | 0000000 | 効率が良い     |
| ごちゃごちゃしてい | 0000000 | すっきりしている  |
| 退屈だ       | 0000000 | エキサイティングだ |
| おもしろくない   | 0000000 | おもしろい     |
| 従来どおり     | 0000000 | 独特だ       |
| 普通        | 0000000 | 斬新的       |

表 4-2 学習者側アンケート

|                                | 全く同意しない | やや同意しない | どちらともいえない | やや同意する | 強く同意する |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|--------|--------|
| A. このオンライン授業が受講しやすかったと感じますか？   | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| B. 授業のインターフェースや方法が理解しやすかったですか？ | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| C. 受けたフィードバックが理解を深めるのに役立ちましたか？ | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| D. 授業によって学習動機が向上しましたか？         | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| E. 授業の効率が良かったと感じますか？           | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| F. この授業全体に対して満足していますか？         | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |

表 4-3 教師側アンケート(システム使用時)

|  | 全く同意しない | やや同意しない | どちらともいえない | やや同意する | 強く同意する |
|--|---------|---------|-----------|--------|--------|
| A. システムを使用したとき、オンライン学習システムを使いやすと感じた                        | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| B. システムを使用したとき、学習者のエンゲージメントを効果的に評価できたと感じた                  | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| C. システムを使用したとき、筆記情報が学習者の学習状況を理解するのに役立った                    | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| D. システムを使用したとき、行動情報が学習者の学習状況を理解するのに役立った                    | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| E. システムを使用したとき、学習者に対するフィードバックの質が向上したと感じた                   | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| F. システムの使用が、授業の進行や管理において役立ったと感じた                           | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| G. システムによって可視化された情報（筆記・行動データの可視化）が、学習者の学習状況を理解するのに役立ったと感じた | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| H. システムを使用について一般的に満足する                                     | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |

表 4-4 教師側アンケート(システム未使用時)

|   | 全く同意しない | やや同意しない | どちらともいえない | やや同意する | 強く同意する |
|---|---------|---------|-----------|--------|--------|
| A. システムを使っていないとき、オンライン学習システムを使いやすいと感じた              | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| B. システムを使っていないとき、学習者のエンゲージメントを効果的に評価できたと感じた         | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| C. システムを使っていないとき、筆記情報の欠如が学習者の学習状況の理解に何らかの影響を与えたと感じる | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| D. システムを使っていないとき、行動情報の欠如が学習者の学習状況の理解に何らかの影響を与えたと感じる | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| E. システムを使っていないとき、学習者に対するフィードバックの質に満足していると感じる        | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| F. システムの未使用が、授業の進行や管理において役立ったと感じた                   | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| G. システム未使用時の可視化された情報の不在が学習状況の理解に何らかの影響を及ぼしたと感じる     | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |
| H. システム未使用について全般的に満足する                              | 1       | 2       | 3         | 4      | 5      |

各授業が終了するごとに、参加者はリッカート尺度を使用して授業を評価する。使用されるリッカート尺度は、表 4.1 の UEQ-S (User Experience Questionnaire - Short Version、ユーザーエクスペリエンスアンケート) の評価項目 [27]のうち、オンライン授業の評価になじまない刺激性と多様性の部分を除いたものである。学習者側のアンケートは表 4.2 のように、教師側のアンケートは表 4.3、表 4.4 のようになっている。UEQ-S でシステムの全般的なユーザ経験を評価し、授業の内容とシステムの具体的な評価は記述式アンケートで評価する。これにより、授業の内容、教師の指導方法、および全体的な授業体験に関する参加者の感想が定量的に評価される。

・実験全体に対する記述式評価:

実験全体が終了した後、参加者は全体的な体験について記述式で評価を行う。この評価は、実験の方法、システムの使いやすさ、教師のフィードバックの効果、および全体の学習体験に関する参加者の意見を収集する。

## 4.3 実験結果の傾向

この章では、オンライン学習支援システムを使った場合と使わなかった場合のアンケート結果の変化を見て、どのような傾向があるかを検討する。学習者と教師の両方から集めたアンケートデータを基に、システムの利用がオンライン授業体験にどんな影響を与えたのかを評価する。具体的には、各質問項目に対する回答の変化から、システム使用による学習者の授業へのアクセスしやすさ、理解のしやすさ、フィードバックの有効性、動機づけ、効率、全体的な満足感にどう作用するかを分析する。教師側からは、システムがエンゲージメントの評価、行動情報の活用、フィードバックの質、授業管理、情報の可視化、そして全体的な満足度にどう影響を及ぼすかを評価する。

ここでは小さいサンプルサイズのため統計的検定は行わず、データから得られる傾向をもとに、システムの実際のユーザビリティや改善点を検討するための出発点とする。

### 4.3.1 学習者のアンケート結果の傾向

この研究で収集した学習者のアンケートデータには、11人の学習者が含まれており、そのうち4人は授業を1回受講し、7人は2回受講した。2回授業を受けた学習者に関しては、システム使用時と未使用時のアンケート応答の平均の差を計算した。

- ・リッカート式尺度

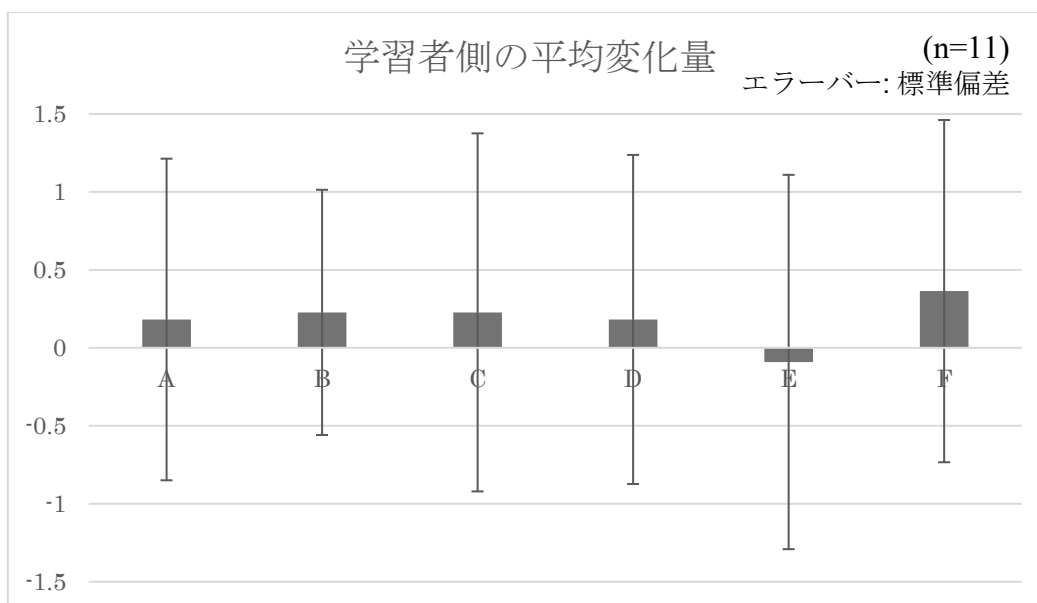


図 4-1 学習者側の平均変化量

分析の結果、システムを使用した場合、多くの項目で応答の平均にわずかな増加を示した。これは、システムの使用が授業の受講しやすさ(A)、インターフェースの理解しやすさ(B)、フィードバックの有効性(C)、学習動機の向上(D)、および全体的な満足度(F)に肯定的な影響を与えていることを示唆している。しかしながら、授業の効率(E)に関する項目では、回答の平均に若干ながら減少が見られた。これは、システムが一部の学習者にとってシステムの使用や授業を進める効率に否定的な影響を与えている可能性を示している。

しかし、これらの結果を一般化することには注意が必要である。標本サイズが小さいために得られた結果は個別学習者の特異性や状況に大きく左右されることがある。特に、システム使用と未使用の1回だけ授業を受けた学習者のデータは、システム使用による効果を完全に把握できない可能性がある。分析では標準偏差が非常に大きく測定され、学習者一人ひとりの応答の差が非常に大きいと考えられる。

したがって、これらの結果は、システムの広範な結論を導き出すためのものではない。今後の研究では、より多くの学習者を対象とした実験が必要である。また、個々の学習者の特性や背景による違いに注目することが、システムの有効性をより深く理解する鍵となると考えられる。



## ・記述式アンケート

学習者からの記述式アンケート結果を分析すると、システム使用に対する多様な意見が現れた。主な傾向は以下の通りである。

### (1)システムの有用性:

5人の学習者が、画面上のフィードバックが集中を取り戻すのに役立ったと指摘した。特に、画面でフィードバックにより通知を与える機能が有用だという意見が多かった。また、タブレット PC でスライドに直接メモをすることの便利さが強調されている。これを通じて重要なポイントをすぐに把握できるという意見があった。

### (2)改善点:

メモスペースに関しては、より多くのスペースが必要だと感じる学習者がいた。提供されたスライド以外の部分にも筆記をしたいという意見があった。また、5人の学習者はフィードバックの頻度や内容に関して改善が必要だと感じた。特に、フィードバックが授業の流れを阻害しないようにすることと、称賛フィードバックの重要性が指摘された。これは学習者の状態を考慮せずに、フィードバックのメッセージが一貫していることから発生する問題であると考えられる。

### (3)授業への影響:

学習者はシステムを使うことで授業内容をより深く理解できるようになったというコメントが多かったが、影響には個人差があることが示唆されている。大きく役立ったという学習者がいた反面、あまり差を感じなかったという学習者もいた。このような反応を踏まえ、学習者一人ひとりに合わせてカスタマイズされたフィードバックシステムを開発する必要がある。

### (4)システム改善提案:

スライドにメモした方がより快適になる機能改善（例えば、スライド以外の余白の利用や文字の筆記感改善）が提案された。また、他の学習者の筆記や行動情報の可視化による自己評価の支援が望まれている。このような意見を踏まえ、今後の研究ではシステムの機能改善、新たな機能追加が必要と考えられる。

#### (5)実験全体の感想:

口頭以外のシステムでのフィードバックが集中の中断を防ぐのに役立つという意見があった反面、むしろフィードバックが授業の集中に困難をきたす学習者もいた。スライド操作の難しさと授業内容に対する興味の違いが指摘された。

これらの意見は、システムの有用性と同時に、授業の質をさらに向上させるための改善方向を示している。特に、学習者の個々のニーズに対応したカスタマイズやフィードバックの最適化が重要であることが明らかになった。

#### 4.3.2 教師のアンケート結果の傾向

教師の役割を引き受けた4人の被験者がシステム使用と未使用の授業にそれぞれ1回ずつ参加した。アンケート結果の分析から、システム使用が教師のオンライン授業体験に顕著な影響を与えたことが分かった。

##### ・リッカート式尺度

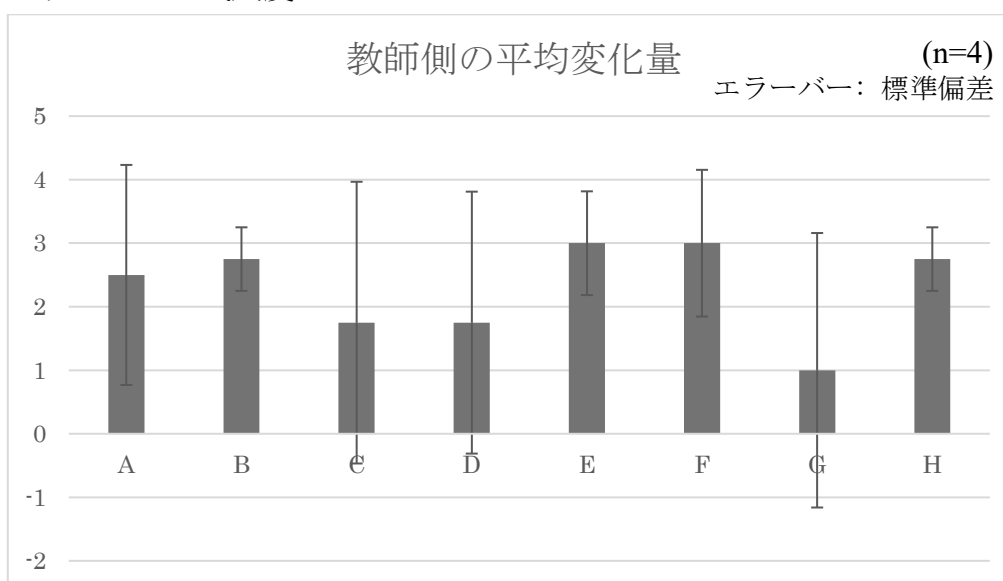


図 4-2 教師側の平均変化量

システム使用時と未使用時を比較した変化量グラフより、すべての項目で応答平均が向上したことが確認できる。特に、オンライン学習システムの使いやすさ(A)において非常に大きな効果が見られた。これはシステムが教師の操作性や

授業運営に対する使いやすさを大きく改善したことを示している。

項目に関して、オンライン学習システムの使いやすさ(A)、学習者のエンゲージメント評価(B)、筆記情報の有用性(C)、行動情報の効果(D)、フィードバックの質向上(E)、授業の進行や管理のサポート(F)、および全体的な満足度(H)において、システム使用が明確にプラスの影響を与えていることがわかる。ただし、システムにより可視化された情報の有効性(G)では変化量が少なかったため、この機能の改善や最適化の余地があることが示唆される。

これらの結果は、今後のシステム開発および改善において有用な洞察を提供している。特に、システム使用の利便性とフィードバックの質の向上は、オンライン教育の効果を高めるための重要な要素であるといえる。

#### ・記述式アンケート

教師側のアンケート結果を分析したところ、システムの特定の機能が教師の授業運営に役立ったことが明らかになった。以下は主な傾向である。

##### (1)役に立った機能:

全ての教師は、学習者がどのようなスライドを見ているかに対する位置情報や筆記量機能が有用だと指摘している。これにより、学習者のスライド離脱を認識し、適切にフィードバックを行うことが可能になった。グラフを用いた生徒の学習状態の表示は、学習者のエンゲージメントを把握するための重要な情報源となった。

##### (2)筆記及び行動情報の使用:

3人の教師は、学習者の筆記量の可視化が授業内容の理解と速度調節に役立つと感じた。一方、行動情報を用いてスライドの離脱理由を表示する等の改善が必要であると指摘している。

##### (3)改善が必要だと感じた点:

使用機材の問題によるフィードバックボタンの反応不良やグラフから学習者がどの生徒の状態なのか直観的に素早く識別が難しい点が指摘された。また、バブルチャート上で学習者の点が重なることによる問題も挙げられた。

(4)学習者へのフィードバック提供:

システムを使用することで、スライドを離脱した、授業で遅れをとった学習者に即座のフィードバックが可能となり、口頭で話すよりも教師の負担が軽減された。しかし、バブルチャートで複数の学習者が重なる場合、特定人に対するフィードバックが難しいという問題も浮上した。

(5)今後の改善提案:

フィードバックの自動化や学習者の視点の情報提供が効果的と考えられる。また、一貫したフィードバックメッセージではなく、学習状態を分析してフィードバック内容のカスタマイズや学習者の筆記内容の可視化についての提案もあった。

このような結果は、システムが教師の授業運営や学習者理解において肯定的な影響を与えている一方で、さらなる機能改善や最適化が必要であることも示唆している。特に、フィードバックの自動化やメッセージの内容、学習者の個々の行動情報の詳細な分析と可視化が今後のシステム開発にとって重要な要素である。

## 第5章 おわりに

### 5.1 実験結果の解釈と議論

#### 5.1.1 学習者視点からのまとめ

本研究で得た学習者アンケート結果は、オンライン学習環境での新しい学習支援システムの効果性に関する貴重な洞察と改善点を提供している。アンケート結果分析を通じて、システム使用が学習者のオンライン学習体験に多少肯定的な影響を与えていることが分かった。特に、授業の理解しやすさ、フィードバックの有用性、全体的な満足度に関する項目で、システム使用時の改善が現れた。

システムを通じた直接的なメモ機能やフィードバックメッセージ受領に対する学習者の感想は、エンゲージメント向上に寄与していることを示している。多くの学習者が筆記の容易さやフィードバックの適切な提供によって、授業内容の理解を深め、より積極的に授業に参加できたと感じている。

しかし、一部の学習者からは、フィードバックの頻度やメッセージ内容に対する改善の必要性が指摘されている。これはフィードバックの一貫した内容ではなく、カスタマイズによって学習者の個々人に合わせたシステムへの進化が求められていることを示している。

また、学習者の記述式アンケートでは、授業の集中度を高めるための追加的なシステムの機能の追加とユーザーインターフェースに関する改善点が浮き彫りになった。特に、画面上のメモスペースの拡大や、ユーザーインターフェースの直観的な操作性の向上が求められている。

このような結果は、オンライン学習における学習者エンゲージメントの向上と学習環境の質の向上を目指す上で、システムの機能の発展が重要であることを示唆している。学習者の観点から得られた分析結果は、オンライン教育の改善のための今後の研究の方向性を示している。

#### 5.1.2 教師視点からのまとめ

本研究での教師のアンケート結果は、オンライン学習環境での新しい学習支援システムの機能が教師の授業進行に及ぼす影響に対する重要な洞察を提供する。システムの使用がオンライン授業の進行、管理および学習者のエンゲージメ

ント評価において肯定的な効果を出していることが分かった。

特に教師は、システムを使用することで学習者のスライド位置および筆記行動追跡が有用だと感じ、個別学習者に対する適切なタイミングにフィードバック提供が可能になったと感じている。これを通じて教師の便宜性、授業の質と学習者支援が向上したと評価されている。

記述式アンケートの分析では、学習者の行動情報をより正確に把握し、個別学習者へのフィードバックをより効果的に行うためのインターフェースの改善が望まれている。教師の提案によると、フィードバックプロセスの自動化と学習者一人ひとりのカスタマイズが進められることで、教師の負担を軽減させ、より効果的な学習者支援を期待することができる。

このような結果は教師の授業運営と学習者支援の向上のために教育技術の発展とシステムの改善が重要であることを示している。教師の観点から得た洞察は、オンライン教育環境で教師の役割を強化し、オンライン学習での学習者のエンゲージメントを高めるための研究の方向性を示している。

## 5.2 まとめ

本論文ではオンライン学習環境で学習者のエンゲージメントを評価するための新しいアプローチを提案し、その開発と効果の評価を行った。本研究の目的は筆記量、離脱距離、離脱時間という 3 つの主要指標を活用して学習者の授業参加度を定量的に把握することにあった。この指標は、学習者が授業内容にどの程度集中しているのか、また授業にどれだけ積極的に参加しているのかを示すのに利用された。

実験結果は、システムの使用が学習者のエンゲージメントに肯定的な影響を及ぼし、教師が学習者のエンゲージメントを評価して、より効果的にフィードバックをして授業を改善できることを示唆した。

提案手法はオンライン学習環境での学習者のエンゲージメントを評価し、授業の質を向上させるための新しい手段を提供する。このアプローチは、教育技術と環境の進歩に伴い、オンライン教育の効果を最大化するための重要な段階であると考えられる。

### 5.3 今後の展望

本研究を通じて開発されたオンライン学習支援システムは、学習者の参加を定量的に評価する新しいアプローチを提供した。しかし、今後の研究では、さらなる改善が必要である。まず、被験者の多様性を拡大し、より広範な教育環境や異なる学習背景を持つ学習者を盛り込むことが必要である。また、本研究では被験者募集の限界で実際の教師が授業を進行する方式の実験は進行できなかった。より多くの人員を募集し、実際の教師の授業を進め、システムの有効性を詳細に検証する必要がある。

技術面では、システムのインターフェースと機能の改善が求められる。特に、ユーザーインターフェースの使い勝手を向上させ、教師と学習者の両方にとって直観的で効率的な操作が可能な設計を目指すべきである。また、自動化されたフィードバック機能の強化や、学習者の行動パターンを分析し、学習者ごとにカスタマイズされたフィードバックである提供できるアルゴリズムの開発も、今後の重要な研究領域となる。

このシステムのさらなる展開として、多様な教育分野や授業形式を適用することを考慮することも有益である。例えば、STEM 分野や言語、文化など特定教科に特化した授業や、対面授業だけでなくオンライン授業の利用可能性を調べることができる。

本研究にはいくつかの限界が存在する。まず、被験者の数が少なく、その背景が限定的であったため、統計的に有効性を検証できなかった。したがって、結果の一般化には慎重である必要がある。また、システムの技術的側面とインターフェースデザインに関する改善の余地がある。これらの問題は、今後の研究に取り組むべき重要な課題である。

## 対外発表

Hwang Doyoung, 太田 光一, 谷 文, 長谷川 忍: オンライン授業における学習者の筆記・行動情報を利用した可視化とフィードバックについての研究, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE) ,2024-CE-174(3), pp.1-8 (2024).

## 謝辞

この度の修士論文の完成にあたり、私の学問的な指針となる研究テーマの選定から研究方法の指導に至るまで、絶えずご指導賜りました長谷川忍教授に深く感謝申し上げます。教授の豊かな知識と経験、また何よりも献身的なご指導のもと、私はこの研究を遂行することができました。また、学校生活全般にわたり、様々な面でのサポートと励ましをいただき、無事に卒業に至ることができたのは、教授のおかげです。教授のご恩は忘れることなく、今後の研究活動においても常に心に留めてまいります。



## 参考文献

- [1] ウィキペディア (Wikipedia) , “ワーク・エンゲージメント,” 5 12 2023. [オンライン]. Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/ワーク・エンゲージメント>. [アクセス日: 31 1 2024].
- [2] 文部科学省, “新型コロナウイルス感染症対策に関する大学等の対応状況について,” 文部科学省, 2020.
- [3] 東洋経済 education × ICT 編集部, “コロナ禍なのにオンライン授業が浸透しない訳とは？教員、保護者、生徒も後ろ向きな回答,” 4 2 2022. [オンライン]. Available: <https://toyokeizai.net/articles/-/507284>.
- [4] M. & S. M. Ally, "Open education resources and mobile technology to narrow the learning divide," *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 14, no. 2, p. 14–27, 2013.
- [5] NTT モバイル社会研究所, “タブレット・パソコンを利用した授業の頻度で,” NTT モバイル社会研究所, 20 4 2023. [オンライン]. Available: <https://www.moba-ken.jp/project/children/kodomo20230420.html>.
- [6] 文部科学省, “GIGA スクール構想の実現について,” 19 12 2019. [オンライン]. Available: [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/other/index\\_00001.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm). [アクセス日: 31 1 2024].
- [7] M. P. & T. D. Ansayam, "Investigating The Utilization Of Digital

Instructional Materials And Digital Tools For Online Learning In Teacher Education Courses," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 10, no. 9, pp. 125-137, 2021.

- [8] 伊. 崇. 田. 健. 梅本 貴豊, “調整方略, 感情のおよび行動的エンゲージメント, 学業成果の関連,” *心理学研究*, 第 卷 87, 第 4, pp. 334-342, 2016.
- [9] Y. C. W. Z. Hao Lei, "Relationships between student engagement and academic achievement: A meta-analysis," *Social Behavior and Personality An International Journal*, vol. 46, no. 3, pp. 517-528, 2018.
- [10] C. C. L. L. Hong Lei, "The examination of the relationship between learning motivation and learning effectiveness: a mediation model of learning engagement," *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 11, no. 1, p. 11, 2024.
- [11] 山田剛史, “大学教育における心理的安全性の重要性と学生エンゲージメントに及ぼす影響,” *関西大学高等教育研究*, 第 卷 14, pp. 7-18, 2023.
- [12] P. C. B. A. H. P. Jennifer A. Fredricks, "School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence," *Review of Educational Research*, vol. 74, no. 1, pp. 59-109, 2004.
- [13] 尾. 重. 江木 啓訓, “学習者センシングシステムのための筆記行為の検知手法,” *日本教育工学会論文誌*, 第 卷 36, pp. 181-184, 2012.
- [14] 横. 喬. 御. 真. 稲. 利. 渡. 雄. 近藤 孝樹, “他者のノートテイキング状況の可視化が授業中の相互作用に与える影響,” *日本教育工学会論文誌*, 第 卷 47, 第 1, pp. 13-25, 2022.
- [15] 尾. 小. 渡邊栄治, “e-Learning における受講者によるノーティング動作の分析,” *電子情報通信学会論文誌*, 第 %1 卷 (全 %2 卷)J97-D, 第 12,

p. 1725–1728, 2014.

- [16] B. A. A. S. L. N. M. F. M. Thomas D. Hoisch, "Application of Tablet PCs to Lecture Demonstrations on Optical Mineralogy," *Journal of Geoscience Education*, vol. 58, no. 4, pp. 221-231, 2010.
- [17] S. P. Lori Fulton, "Learning to Use Digital Science Notebooks: A Teacher's Perceptions and Classroom Use," *Science Educator*, vol. 1, no. 26, pp. 11-20, 2017.
- [18] Amazon, "Amazon EC2," [オンライン]. Available: <https://aws.amazon.com/jp/ec2/>. [アクセス日: 31 1 2024].
- [19] MongoDB, "MongoDB," [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/ja-jp>. [Accessed 31 1 2024].
- [20] p5.js, "p5.js," [Online]. Available: <https://p5js.org/>. [Accessed 31 1 2024].
- [21] Chart.js, "Chart.js," [Online]. Available: <https://www.chartjs.org/>. [Accessed 31 1 2024].
- [22] The OpenJS Foundation, "Node.js," The OpenJS Foundation, [Online]. Available: <https://nodejs.org/en>. [Accessed 31 1 2024].
- [23] OpenJS Foundation, "Express," OpenJS Foundation, [Online]. Available: <https://expressjs.com/>. [Accessed 31 1 2024].
- [24] Socket.IO, "Socket.IO," [Online]. Available: <https://socket.io/>. [Accessed 31 1 2024].
- [25] 芳. 猛. 真司, "ワンヘルスの概念で捉える健全な社会 (学術俯瞰講義) 第 1 回," 東京大学, 2018. [オンライン]. Available: [https://ocw.u-tokyo.ac.jp/lecture\\_1697/](https://ocw.u-tokyo.ac.jp/lecture_1697/). [アクセス日: 31 1 2024].
- [26] Creative Commons, "CC BY-NC-ND 4.0 DEED (表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際)," Creative Commons, [オンライン]. Available:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>. [アクセス日:  
31 1 2024].

- [27] M. Schrepp, "User Experience Questionnaire Handbook," 9 2015.  
[Online]. Available:  
<https://www.researchgate.net/publication/281973617>. [Accessed 31 1  
2024].