

平成29年度 修士論文

多人数学習者筆記の同時閲覧手法に関する研究

平成30年2月13日

16350926

前田 祐樹

指導教員 三浦 元喜 准教授

九州工業大学大学院 工学府 先端機能システム工学専攻

## 概要

学習者の筆記をデジタルペンによって即座に収集すると、他の学習者の参考になる生の筆記データをプロジェクタに投影したり、活動内容を分析したりすることが可能になる。しかし、筆記データをプロジェクタで投影する際にすべての筆記を読むことができる状態で投影することは難しい。そこで我々は筆記に対して、横一行の認識を行うことによって意味をもったまとまりを抽出し、表示する多人数学習者筆記の同時閲覧インターフェースを検討した。この論文では、書いている筆記に対して、リアルタイムに処理することを想定し、書いている線と1つ前の線の座標を調べることによって、横一行の認識を行った。筆記データに対して、書いている線と一つ前に書いた線の座標によって横一行の認識を行った結果、一つ前の線から20mm以上離れたときを認識条件としたとき、横一行の認識率は最も高い平均63.92%であった。また、この認識条件によって認識した横一行を用いて表示閲覧インターフェースのアンケート評価を行った。従来の手法である筆記の一本一本に最小矩形を設定し、その高さを平均し設定するConstantZoomと比較実験を行う。これらの手法を比較するために、ユーザに文字の大きさ、映像の動きの激しさのアンケート評価を行った。アンケート結果をマン・ホイットニーのU検定を用いて、有意水準5%として検定したところ、有意差がなかった。しかし、横一行の表示を行なっているため、数式が理解しやすいと意見をえた。また、学習者視点だと、自分の参考となる他の学習者を探すことが難しいことや、回答に時間がかかる学習者にプレッシャーやショックを与えないかという意見もえた。今後は、学習者に配慮した表示を考える必要がある。

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>3</b>
1.1 背景	3
1.2 本研究の目的	4
<b>第2章 関連研究</b>	<b>8</b>
2.1 筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能	8
2.2 任意の範囲を一覧表示	8
2.3 タブレットを用いた他の学習者のノートを覗ける電子ノートシステム	8
2.4 関連研究まとめ	9
<b>第3章 横一行の認識</b>	<b>10</b>
3.1 横一行の認識条件の調査	10
3.1.1 左下への移動距離を用いた横一行認識の評価実験	12
3.1.2 左下への移動距離を用いた横一行認識の実験結果	13
3.1.3 考察	14
3.2 横一行の認識条件の検討	15
3.2.1 横一行の認識条件の評価実験	15
3.2.2 横一行の認識条件の実験結果	16
3.2.3 考察	18
<b>第4章 同時閲覧インタフェースの評価実験</b>	<b>26</b>
4.1 同時閲覧インタフェースの手法	26
4.1.1 横一行の認識を用いた同時閲覧インタフェースの手法	26
4.1.2 ConstantZoom	27
4.2 筆記データ	27

4.2.1	測定値 . . . . .	27
4.2.2	測定結果 . . . . .	28
4.3	ユーザ実験 . . . . .	28
4.3.1	実験に使用した筆記データとアンケート . . . . .	29
4.4	実験結果 . . . . .	29
4.5	考察 . . . . .	33
<b>第5章</b>	<b>結論</b>	<b>38</b>
5.1	まとめ . . . . .	38
5.2	今後の課題 . . . . .	38
	<b>謝辞</b>	<b>39</b>
	<b>参考文献</b>	<b>40</b>

# 第1章 序論

本論文は学習者の筆記をデジタルペンによって収集し、筆記をプロジェクタに表示する際に行う処理について論ずるものである。本章では、教育とデジタル機器の関係と今回使用するデジタルペン、そして本研究の目的について説明する

## 1.1 背景

学校の教育において、情報化が浸透し、一般的な教室においてタブレットやノート PC, スマートフォンなどのデジタル機器を学習者が日常的に使用することが増えている。学習者がネットワークに接続されたデジタル機器を使用することによって、教師が学習者の回答や考えを授業時間中に適宜収集し、全体的な学生の回答状況を知ることができる。こうした学習者の回答や考えを収集して、類似しているものをまとめて表示することで、学習者は他人の考えと自分の考えを対比させたり、関連付けたりすることができるようになる。タブレットやノート PC, スマートフォンなどのデジタル機器は、ディスプレイに教材や講義資料を表示することができたり、教師からのフィードバックを提示することができるため有用性が高い。一方、こうした多機能なデジタル機器は、起動や入力のための操作が複雑になりがちである。そのため、学習者が操作に慣れるための時間を必要としたり、学習には直接関係ない知識を得る必要がある。

学習者の操作に対する負荷や負担を最小限に抑える方法として、デジタルペンによって学習状況を収集する方法が提案されている [1, 2, 3, 4]. デジタルペンにはいくつかの方式があるが、アノト方式のデジタルペンは特殊なドットパターンが埋め込まれた専用紙を、ペン先のカメラが読み取って筆記を電子化する方式を採用しており、一般的な「紙」と「ペン」のみで学習者の活動（回答や考え）を収集できるという特徴がある (図 1.1, 図 1.2)[5].

また、デジタルペンによって集めた筆記データには記入順序も記録しており、筆記

を動画のように再生することができる。アノト方式のデジタルペンには通常、ディスプレイは付属していないため、教師が学習者に個別にフィードバックを返すことはできないが、集約した筆記をプロジェクタで投影することによって学習者に他者の回答や考えを見せることができる。杉原らは一般的な教室での集団授業において、他の学習者の考えを知ることにより教室内でのコミュニケーションを活性化し学習者同士の指導が増加することを報告している [6, 7]。しかし、学習者同士の指導をまんべんなく行うには、全学習者の筆記をプロジェクタに表示し、他の学習者の考えを知ることが必要だと考える。だが、全学習者の筆記が書かれた紙をプロジェクタに、ただ単純に表示すると一人一人の筆記が小さくなり読むことが難しい(図 1.3)。

また、1人1人の筆記に対して拡大するにしても、どこを拡大するかを操作しては学習者の筆記の数だけ操作が必要になってしまう。そこで、我々は学習者の筆記に対して横一行を認識することによって拡大範囲を自動的に指定し、プロジェクタに表示することで、閲覧者が筆記を理解することができると思う。本論文では、学習者の筆記は横書きを前提として、実験で得た学習者の筆記を解析し、解析したデータからしきい値を設定することで、提案手法を考察する。ならびに、被験者に対して提案手法の見やすさのアンケートを実施した。

## 1.2 本研究の目的

従来の筆記表示システム (AirTransNote) での表示方法では単純に全学習者の筆記すべてを表示、もしくは任意場所の表示枠を設定し、それに対応した枠内の筆記を表示する方法がある。しかし、前者の方法では学習者の1つ1つの筆記が小さくなり何を書いているのかが判別不可能になりがちである。後者の方法では表示枠を設定する際に、すべての学習者の筆記を確認して表示枠を決定する。もしくは、あらかじめ表示枠を設定し学習者に枠内に筆記させる必要がある。したがって、我々は表示枠を自動に設定することで、教師が表示枠を設定する際にかかる時間や手間を減らす。また、学習者の筆記を一画面で見れることで、プロジェクタに表示することができ、学習者が他の学習者の解法やアイデア、そして、間違いを知ることができる。学習者は他の学習者の解法やアイデアから答えにたどり着くヒントを知ることができ、間違いからは、問題を解くときに気をつけることを学ぶことができる。

本論文では，表示枠設定に使用した横の文一行の認識手法の評価と，表示したときの見やすさのアンケートを行い，提案手法の評価，考察を行う．

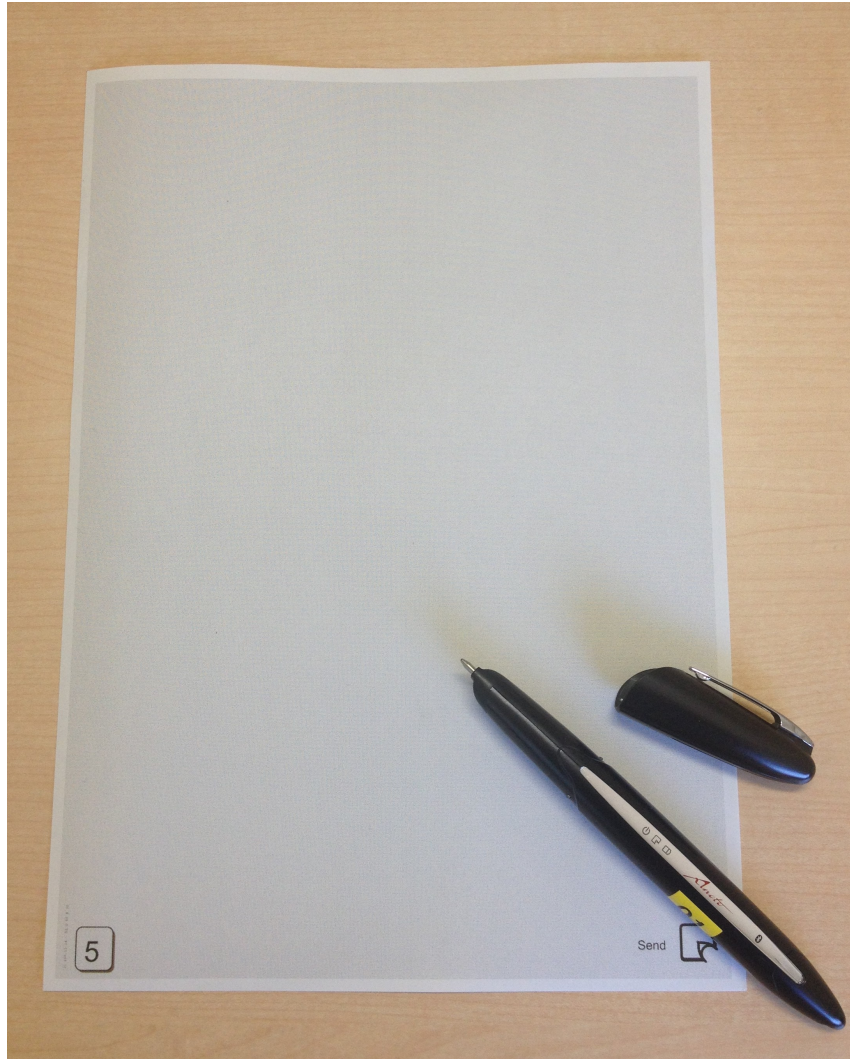
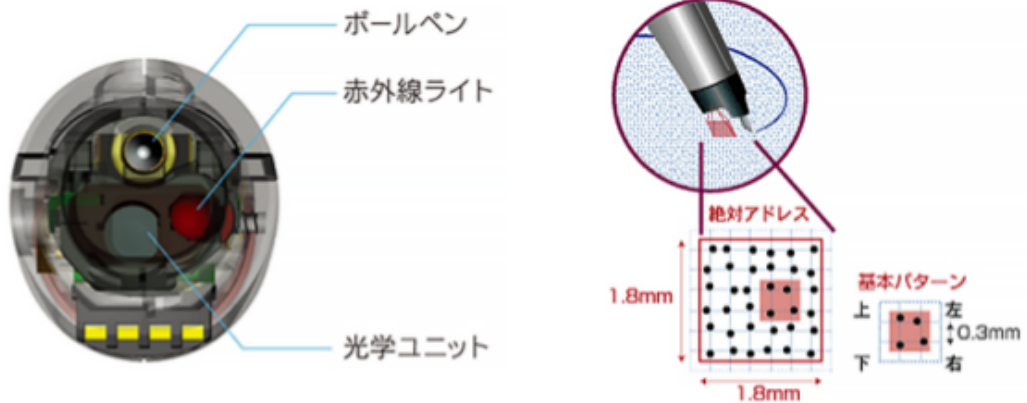


図 1.1: アノト方式のデジタルペンと専用紙





出典： [http://www.anoto.co.jp/anoto\\_technology/anoto\\_ptn\\_prt.html](http://www.anoto.co.jp/anoto_technology/anoto_ptn_prt.html)

図 1.2: アノト方式

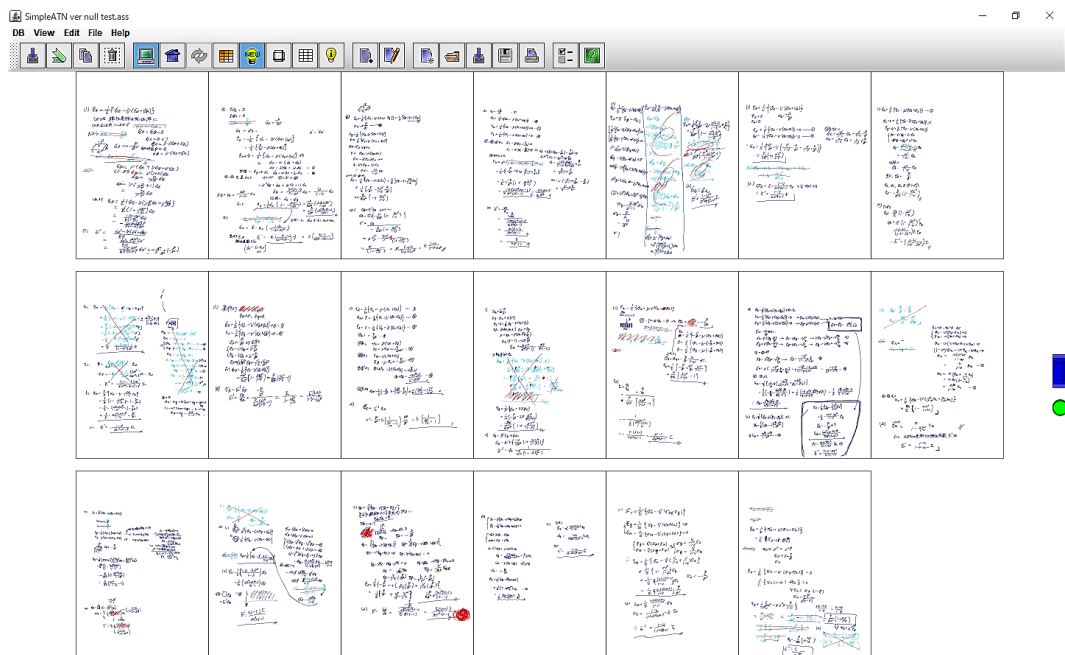


図 1.3: 学習者の筆記を単純に表示した画面

## 第2章 関連研究

本章ではすべての学習者の筆記を表示するために適した方法について紹介する。

### 2.1 筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能

杉原らはオンライン手書き文字認識エンジンを組み込むことにより、学習者の筆記に対して正解であるか不正解であるかを判断し色分けを行い、プロジェクタで表示するシステムを開発した [6]。彼らは正解不正解に色付けを行うことで、縮小された文字を読む必要もなく、プロジェクタを見ている学習者に対して情報を与えることができた。我々の研究では、筆記を直接学習者に対して見せることを考えている。

### 2.2 任意の範囲を一覧表示

大日本印刷社の DNP デジタルペン授業支援システム OpenNOTE [8] は筆記が書かれている任意の範囲を閲覧者が指定して切り出し、一覧表示することが可能である、しかし、切り出す範囲を設定する際に全学習者の筆記を配慮する必要がある。我々の研究では閲覧者が切り出す枠を指定せず、筆記から得る情報を利用して学習者の筆記に対して切り出しを行う点が異なる。

### 2.3 タブレットを用いた他の学習者のノートを覗ける電子ノートシステム

角方らは [9] すべての学習者たちに、ペン入力インタフェースを有するコンピュータをノートとして利用する授業環境にて、他の学習者より、苦手意識をもつ学習者に他の学習者のノートを覗かせることで学習のヒントを与え、覗かれている生徒に満足感や優越

感与えると共に、人が見やすい解答を書くという意識を持たせることでさらなる学習意欲を獲得させることを目指した機能を提案している。我々の研究と同じように学習者が他の学習者から学ぶことを想定しているが、我々の研究では、プロジェクトで学習者全員一画面で共有する点が異なる。

## 2.4 関連研究まとめ

杉原らの研究 [6] は、学習者の筆記内容に対して正解か不正解であるかの判断を行い色付けを行う。そして、色付けを行った学習者の筆記をプロジェクトで表示し、学習者は自分の筆記に付けられた色を見て、正解か不正解かわかる。我々の研究とは筆記を直接学習者に対して見せることが異なる。OpenNOTE[8]の任意の範囲を一覧表示は、表示枠を切り出すことによって見たい部分だけを集めことができる。しかし、全学習者の筆記を確認して、切り出す範囲を考えなければ、閲覧者が見たい筆記が範囲外に書かれている場合がある。我々が提案する方法は、任意の範囲を一覧表示に近いものだが、閲覧者が指定する範囲を設定せずに、自動に範囲を指定するものである。

## 第3章 横一行の認識

3章では、筆記データを収集し、集めた筆記に対して表示領域の自動設定を行うための横一行の認識について提案を行う。設定された表示領域は図 3.1 のように表示する。

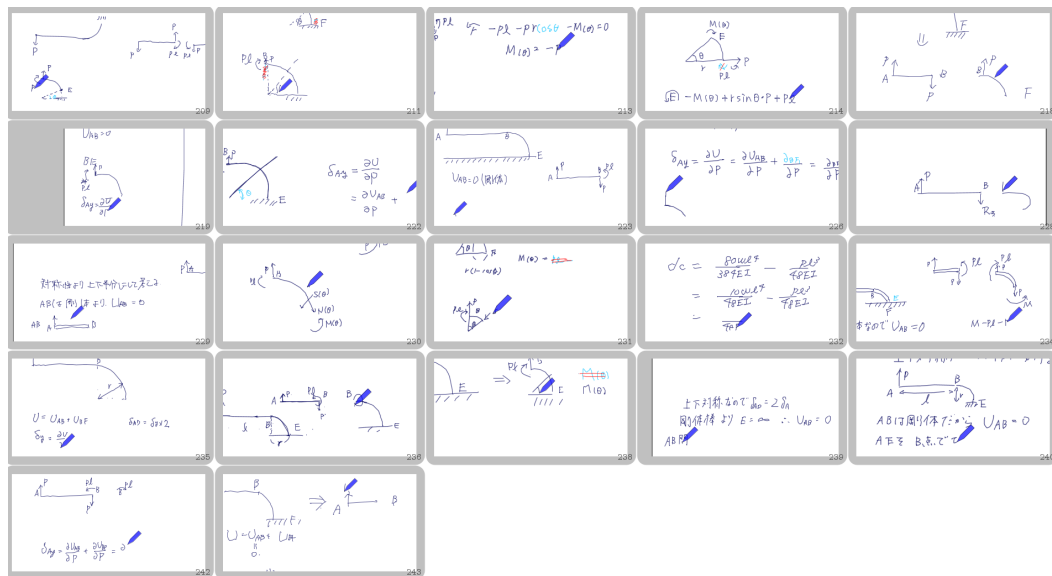


図 3.1: 同時閲覧の表示例

### 3.1 横一行の認識条件の調査

横一行の認識を授業中、リアルタイムに行うために筆記をどのように分割するか考える必要がある。

大西ら [10] は教師が黒板に書いた筆記のブロック分割を行っており、講義者が黒板に板書した筆記を抽出し、意味的に一つのかたまりを構成するブロックを時間の値を用いて分割・統合を行っている。

一般に横書きの場合、筆記は上から下へ、左から右へ書く傾向が見受けられる。そこで、筆記の1つ1つの線に対して座標をとり、書いている線と書いている線の一つ前の線の座標を比較し、左下に移動したことを認識することで、横一行の認識を行う手法を提案する。横一行の認識をするために書いている線と一つ前の線の距離を測定し、一定の距離離れていることで、一行の終わりを認識する。

線と線の距離の測定は図3.2に示す。書いている線の最初の座標から1つ前の筆記を囲んだ矩形の右下の座標までの距離を移動距離として測定する。

実験で得た筆記に対して、移動距離を測定した。測定結果を図3.3に示す。図3.3は横軸に左下への移動距離 [mm] であり、縦軸に移動距離の頻度 [%] である。移動距離に対する頻度の関係より、一行を認識するためのしきい値を評価する。

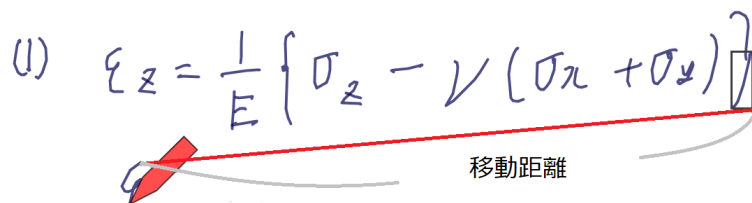


図 3.2: 書いている線の書き始めから一つ前の線を囲んだ矩形の右下の座標までを測定

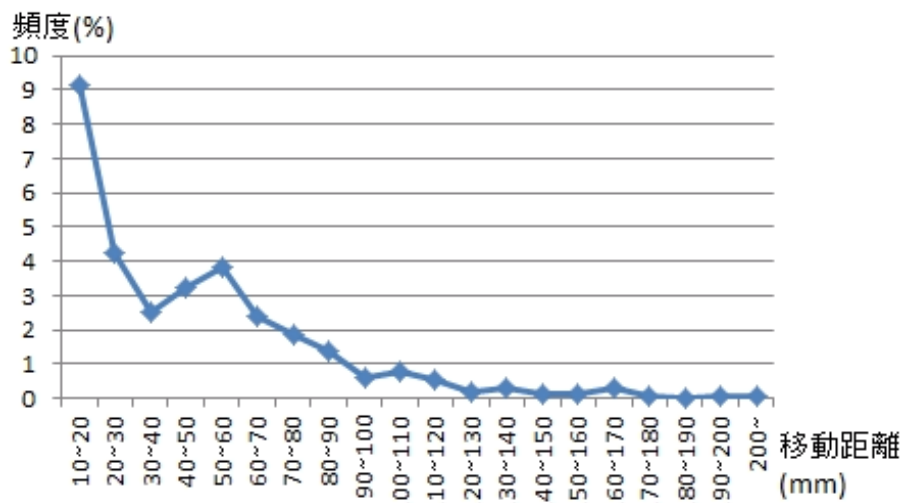


図 3.3: 左下への移動距離に対する頻度

### 3.1.1 左下への移動距離を用いた横一行認識の評価実験

この項では、筆記の左下への移動距離と頻度の関係から複数のしきい値を定め、横一行の認識の抽出率を評価する。

左下へ書いた時の距離を用いて、実際に大学の材料力学の講義 10 名分の筆記データに対し、横一行の認識の実験を行った。実験は、本手法の横一行の認識と、実際に人が分割した横一行を比較して、横一行の抽出率と過分割の割合、過統合の割合を検証した。なお、図 3.5 のように認識できている割合を横一行の抽出率とし、過統合は、図 3.5 のように書いている文を前の一文に含めてしまった場合の文の割合、過分割は、図 3.6 のように一文であるにもかかわらず、認識条件を満たしてしまっただけで分割してしまった場合の文の割合である。

図 3.3 より左下への移動距離が 50mm 以上、40mm 以上、30mm 以上、20mm 以上である場合を横一行の認識条件として抽出率を評価した。

$$\begin{aligned} (1) \quad \epsilon_z &= \frac{1}{E} \left\{ \sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right\} \\ \epsilon_x = 0 &= \frac{1}{E} \left\{ \sigma_x - \nu (\sigma_z + \sigma_y) \right\} \\ \epsilon_y = 0 &= \frac{1}{E} \left\{ \sigma_y - \nu (\sigma_z + \sigma_x) \right\} \end{aligned}$$

図 3.4: 横一行の認識の成功例

$$\begin{aligned} \delta_{Ay} &= \frac{\partial U_{bE}}{\partial P} \\ &= \int_0^{\pi/2} \frac{\partial}{\partial P} \left( \frac{M^2(\theta)}{2EI} \right) r d\theta \end{aligned}$$

図 3.5: 過統合の例

$$= \underbrace{(A+B)}_{A'} \cos \alpha x + \underbrace{(A-B)}_{B'} \sin \alpha x$$

図 3.6: 過分割の例

### 3.1.2 左下への移動距離を用いた横一行認識の実験結果

結果を図 3.7, 図 3.8, 図 3.9, 図 3.10 に示す。図 3.7, 図 3.8, 図 3.9, 図 3.10 は, 認識条件の移動距離を変化させた結果である。縦軸は横一行の抽出率, 過統合の割合, 過分割の割合であり, 横軸は学習者の ID 番号である。図 3.7 では, 学習者 ID113 の過統合の割合が 100% となっており, 一行の認識ができていない。これは, 学習者 ID113 の文字が他の学習者と比べ文字が小さく認識条件の移動距離を満たせずに統合されているからである。ですので, 認識条件の移動距離が短くなるほど過統合の割合が下がっている。次に, 図 3.10 では認識条件が短くなり過分割の割合が多くなっている。これは, 分数を書くときに分子を書いて分母を書いてしまい, 認識条件を満たしてしまう場合である。

また, 表 3.1 にそれぞれの認識条件に対する平均値を示す。表 3.1 から左下へ移動して書いた場合の移動距離による認識条件は, 30mm が最適であると考えられる。

表 3.1: 一行の終わりを左下へ移動した時の認識結果

認識条件:移動距離	横一行の抽出率	過統合率	過分割率
50mm	33.67%	62.78%	3.55%
40mm	42.90%	52.61%	4.49%
30mm	52.84%	43.82%	3.34%
20mm	46.16%	39.09%	14.75%

結果として, 本手法の横一行の抽出率は, 平均 52.84% となった。しかし, これは図 3.9 を見てわかる通り, 特定の学習者の筆記に対して, 適切な認識が行われておらず, 抽出率の平均が下げる結果となった。原因として過統合の割合が 43.82% と高く, 認識条件が不十分であったと考える。過統合が多い傾向にある学習者の筆記では, 文字が小さいこ

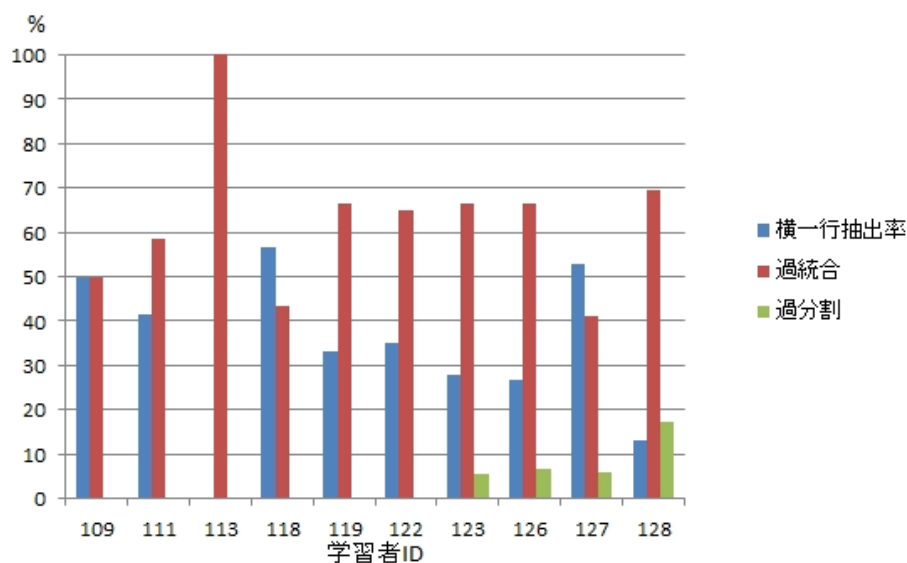


図 3.7: 認識条件：左下への移動距離 50mm 以上

とによって認識条件を満たさず過統合になる場合や、筆記を右下に書いていく傾向にある学習者がおり、条件を満たさず過統合になることが見受けられた。次に、過分割の割合が比較的に高い学習者では、分数の筆記のときに、認識条件を満たしてしまい、文が分割されることがあった。

### 3.1.3 考察

左下への移動距離による認識条件で過統合の割合が高い筆記は、他の学習者と比べて文字が小さい場合や、筆記が右下に書き進めていく傾向がある場合があった。しかし、多くの過統合は書き直しによって認識条件を満たさず過統合になる場合が多い。書いた筆記に対して書き込むので、一行の終わりによる認識条件とは違い、左下への移動ではなく上方向への移動が多い。また、授業中のメモや筆算を行う際に右側に書く傾向があり、その認識条件も考える必要がある。ならびに、左下への移動以外に対する条件を定める必要があると考える。



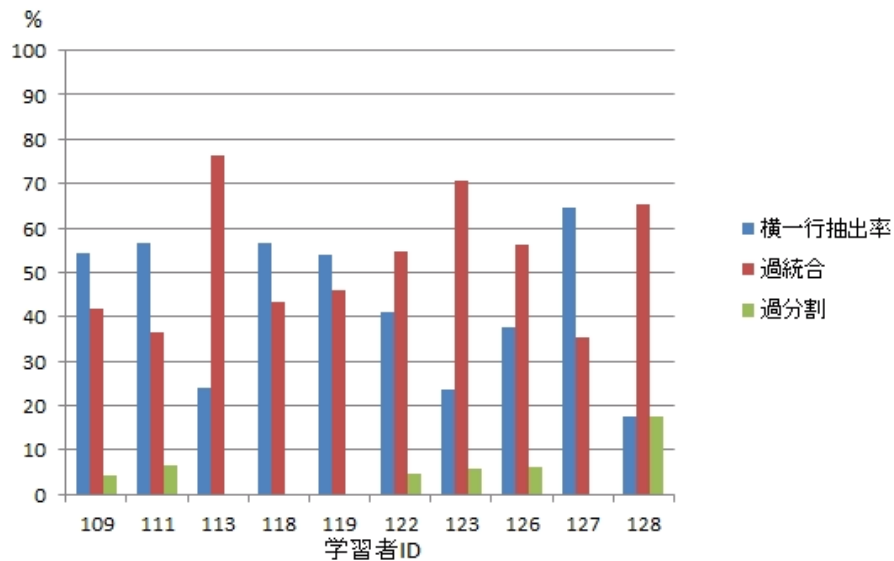


図 3.8: 認識条件：左下への移動距離 40mm 以上

## 3.2 横一行の認識条件の検討

前節の実験結果より，一つ前に書いたストロークよりも左下へ書いた時の移動距離による横一行の認識は 52.84% となり，過統合の割合が高く，筆記の分割ができていなかった。これは，横一行を書いた後に左下を書くことを想定していたことによって，書き直しによる上への移動に対して過統合の割合を増やす結果となった。したがって，本節では一行の終わりを左下への移動の条件だけでなく，下の条件を除いた，左への移動の条件，また，右側に移動した一行の認識を考慮した，移動距離だけによる条件を評価，考察を行う。

### 3.2.1 横一行の認識条件の評価実験

この項では，3.1.1 とは違う，大学の材料力学の講義 10 名分の筆記データに対し，認識条件を設定し評価，考察を行う。認識条件は一つ前に書いたストロークよりも，

- 左下へ書いた時の移動距離
- 左へ書いた時の移動距離

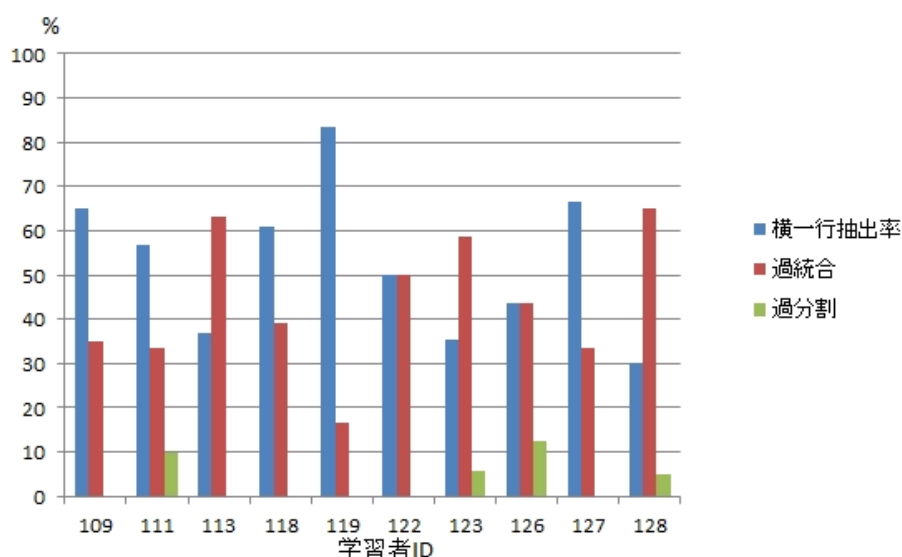


図 3.9: 認識条件：左下への移動距離 30mm 以上

- 移動距離のみ

とし、移動距離の条件は、30mm 以上、25mm 以上、20mm 以上、15mm 以上で実験を行った。なお、比較するために左下へ書いた時の移動距離の実験も行っている。評価項目は、横一行の抽出率と過分割の割合、過統合の割合を検証した。

### 3.2.2 横一行の認識条件の実験結果

それぞれの結果の平均値を表 3.2 表 3.4 に示す。それぞれの条件で移動距離が 20mm のときに横一行の抽出率が高く、その中でも、一行の終わりを移動距離のみで判断した時間が 63.92% と最も高かった。また、一つ前に書いたストロークよりも左下へ書いた時の移動距離を条件とするよりも、左、もしくは、移動距離のみによる条件の方が高かった。これは、左下書いた時の条件で問題になっていた、書き直しのような一つ前に書いたストロークよりも上に書く筆記に対して、横一行の認識が正しく行われたからである。また、一つ前に書いたストロークよりも左に書いた時の移動距離の条件と、移動距離のみで認識を行った条件の結果を比較すると、左に書いた時の認識条件の方が過統合の割合が高く、移動距離のみの認識条件の方が過分割の割合が高い。これは、移動距離のみの場合が左に書いた時の認識条件に比べて、一行の終わりの判断が厳しく、一つ前に書いたス

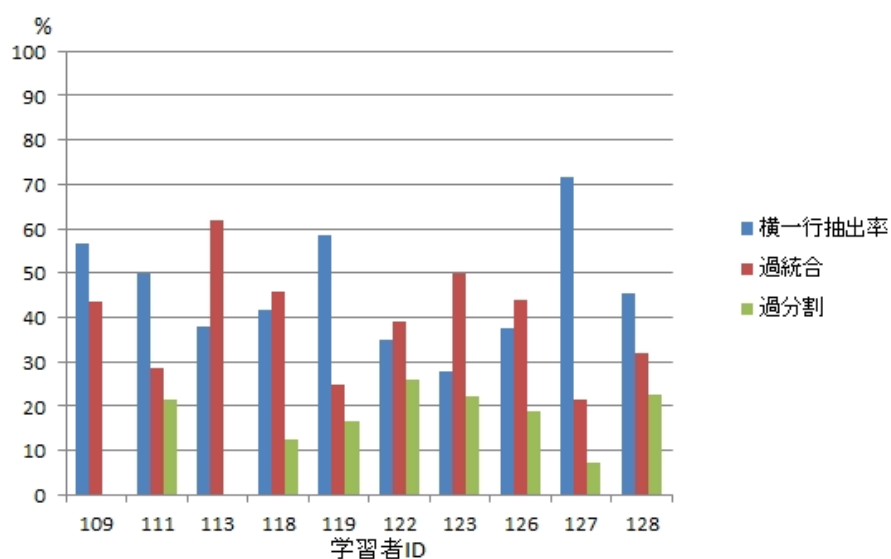


図 3.10: 認識条件：左下への移動距離 20mm 以上

トロークよりも右に書いた時も移動距離を調べるため、過統合の割合が低く、過分割の割合が高くなった。

表 3.2: 一行の終わりを左下へ移動した時の認識結果

認識条件：移動距離	横一行の抽出率	過統合率	過分割率
15mm	42.61%	30.29%	27.11%
20mm	49.03%	37.73%	13.24%
25mm	42.43%	45.38%	12.18%
30mm	33.78%	55.90%	10.32%

ならびに、認識率の結果を図 3.11～図 3.22 に示す。縦軸は横一行の抽出率、過統合の割合、過分割の割合であり、横軸は学習者の ID 番号である。図 3.11～図 3.14 では、大部分が横一行の抽出率よりも過統合の割合が高い結果となった。次に、図 3.15～図 3.18 では、図 3.11～図 3.14 に比べて横一行の抽出率が高くなっており、また、過統合の割合も下がっている。図 3.19～図 3.22 では、図 3.11～図 3.14 に比べて過分割の割合が高く、過統合の割合が低い。

表 3.3: 一行の終わりを左へ移動した時の認識結果

認識条件：移動距離	横一行の抽出率	過統合率	過分割率
15mm	46.78%	21.85%	31.37%
20mm	59.23%	18.89%	21.88%
25mm	55.90%	26.38%	17.72%
30mm	49.39%	41.46%	9.15%

表 3.4: 一行の終わりを移動距離のみで判断した時の認識結果

認識条件：移動距離	横一行の抽出率	過統合率	過分割率
15mm	52.22%	12.62%	35.16%
20mm	63.92%	10.51%	25.57%
25mm	57.40%	20.14%	22.46%
30mm	54.05%	34.95%	11.01%

### 3.2.3 考察

表 3.2 表 3.4 から、最も横一行の抽出率が高い条件は、20mm 以上の移動距離があるとき一行の終わりと判断する時であった。このことから、学習者が授業で問題を解く際に、必ずしも左から右へ、上から下へ書き進めないことが考えられる。また、学習者ごとに最も横一行の抽出率が高い条件を調べたところ、10 人中 9 人が移動距離のみによって認識する場合であり、残り 1 人は 1 つ前に書いたストロークよりも左に書いた場合が最も横一行の抽出率が高い結果となった。この 1 人は、式を書く際に左式と右式を離して書いており、その書き方が、移動距離のみによる認識のときに過分割される傾向にあった。今回の実験では事前にある筆記データからしきい値を定めて評価を行ったが、実際の環境でシステムを使う場合、筆記データは事前がないのでリアルタイムでの動作を考慮する必要がある。それに加えて、認識条件の移動距離を定数によって定めて横一行の抽出率を評価していたが、学習者によって適切な認識条件の移動距離が変わってくるため、個人個人にあわせた設定が必要になると考える。

また、横一行の抽出を用いた同時閲覧インタフェースが学習者に対して効果があるの

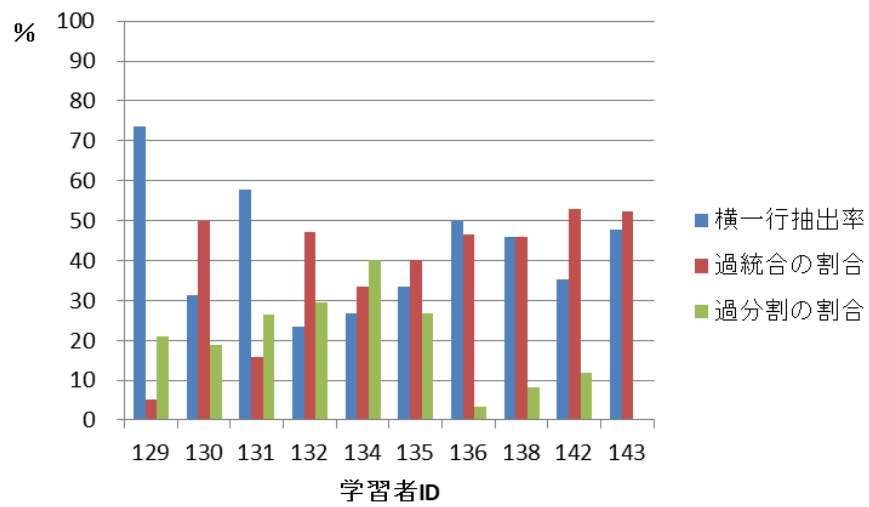


図 3.11: 認識条件：左下への移動距離 15mm 以上

かを評価する必要がある。4章では、今回の実験で横一行の抽出率が高い、20mm 以上の移動距離があるときを認識条件として、アンケート評価を行い、考察する。

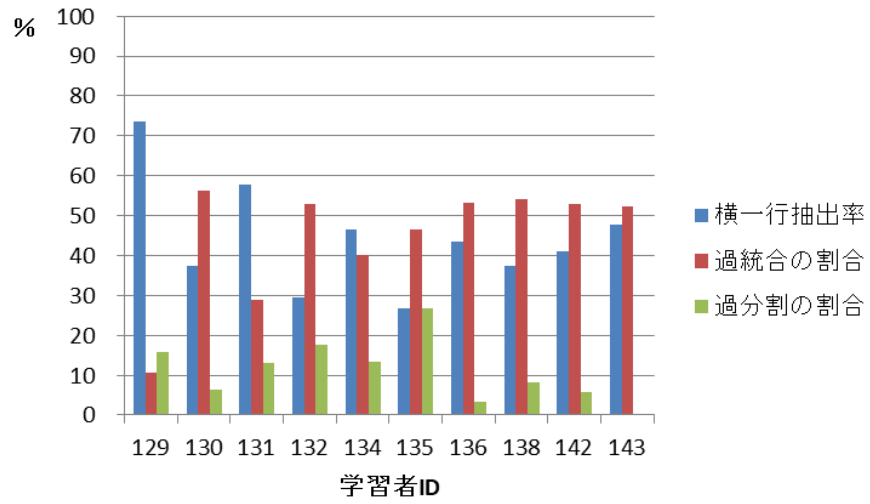


図 3.12: 認識条件：左下への移動距離 20mm 以上

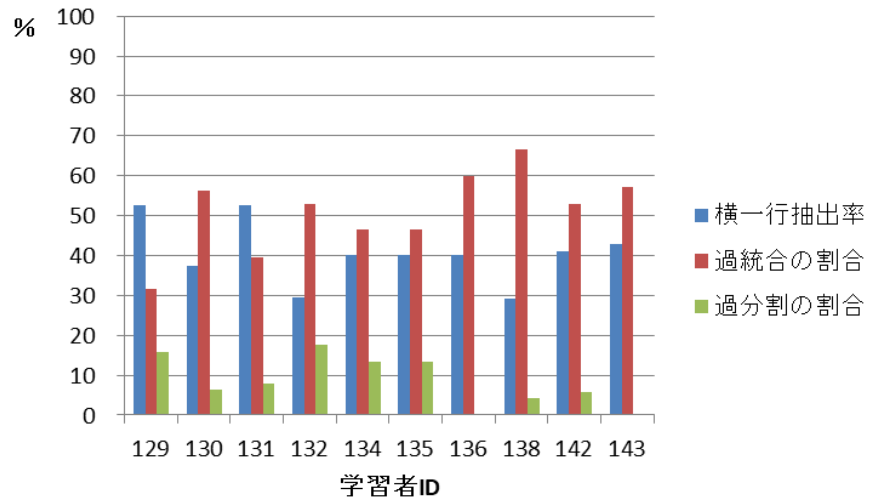


図 3.13: 認識条件：左下への移動距離 25mm 以上

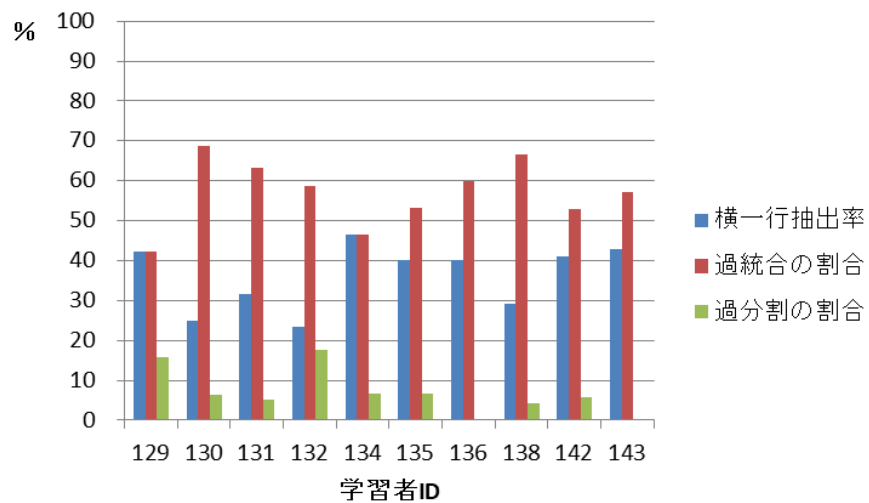


図 3.14: 認識条件：左下への移動距離 30mm 以上

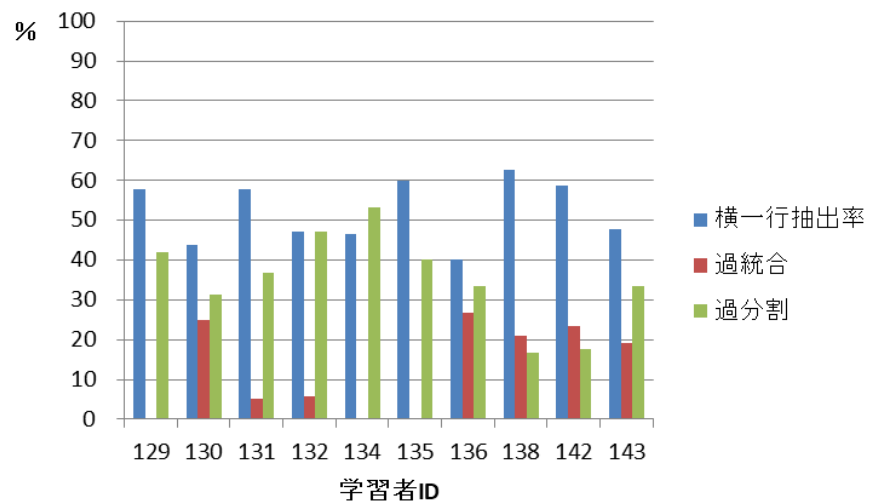


図 3.15: 認識条件：左への移動距離 15mm 以上

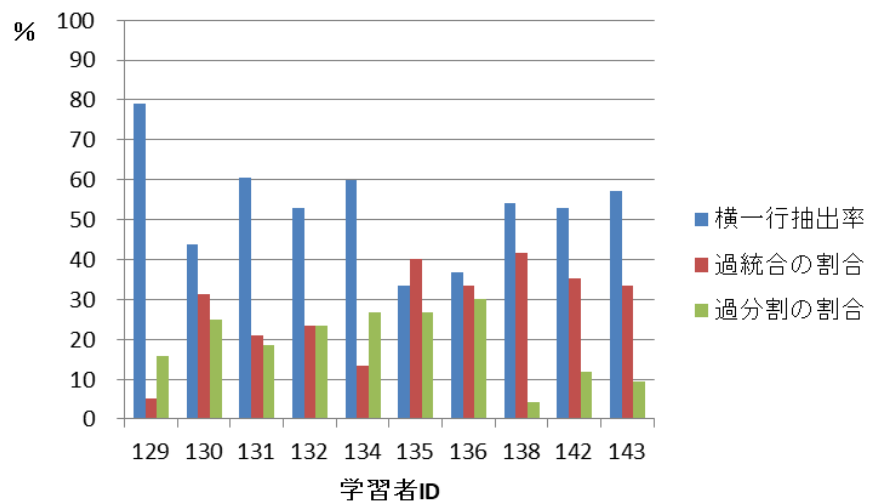


図 3.16: 認識条件：左への移動距離 15mm 以上

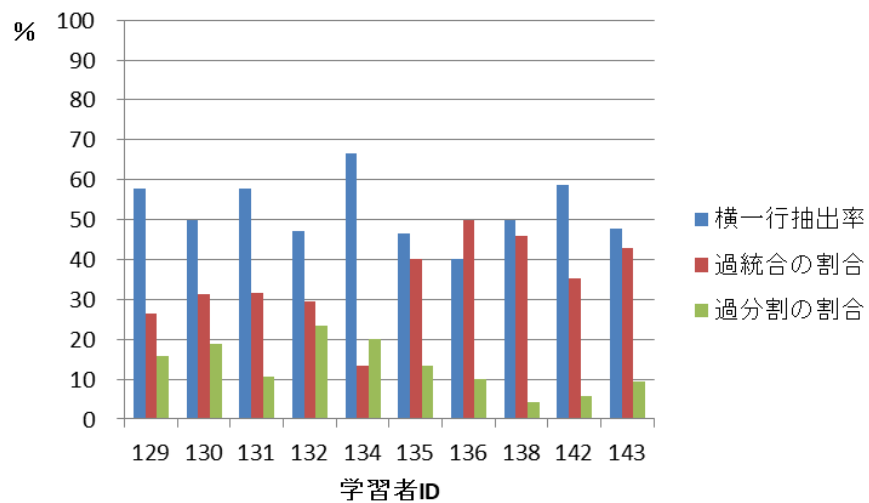


図 3.17: 認識条件：左への移動距離 25mm 以上



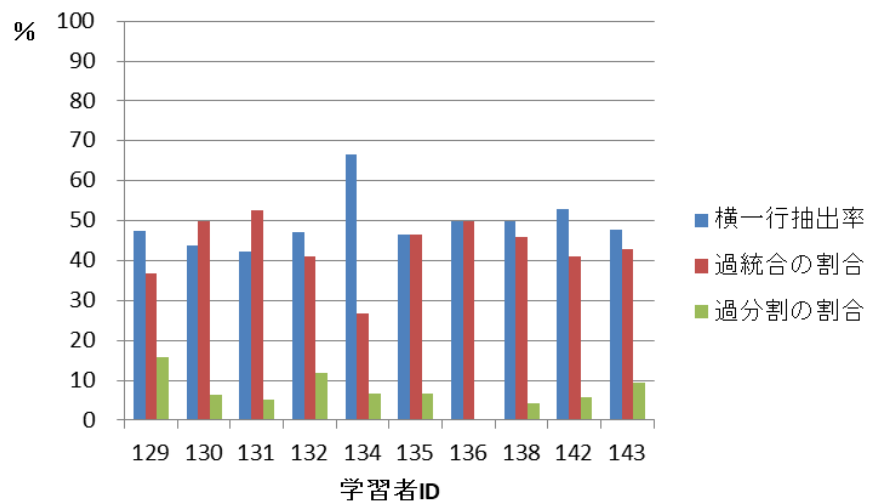


図 3.18: 認識条件：左への移動距離 30mm 以上

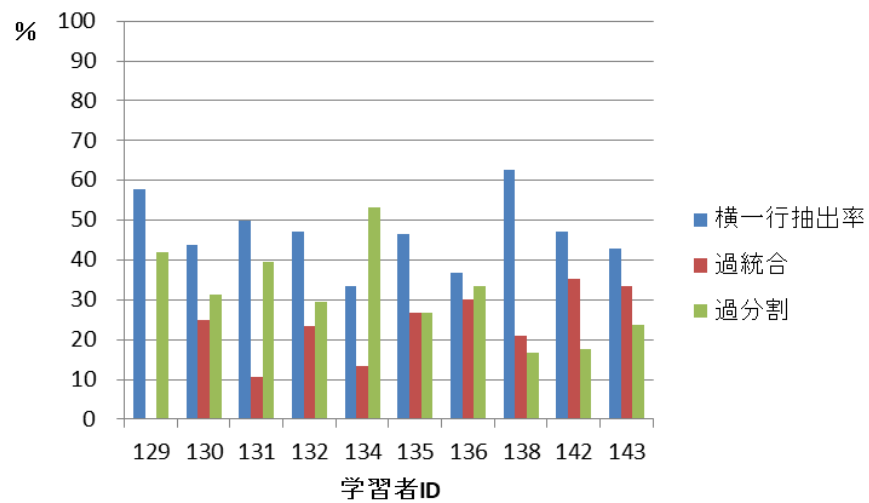


図 3.19: 認識条件：移動距離 15mm 以上のみ

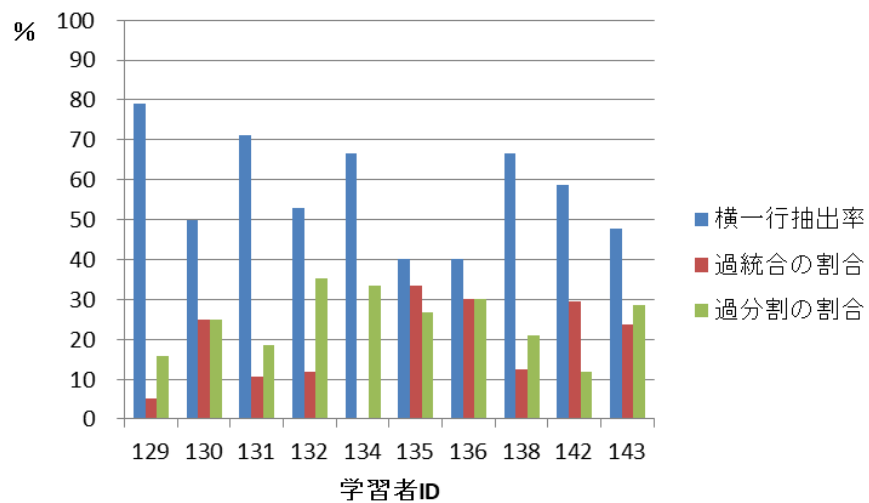


図 3.20: 認識条件：移動距離 20mm 以上のみ

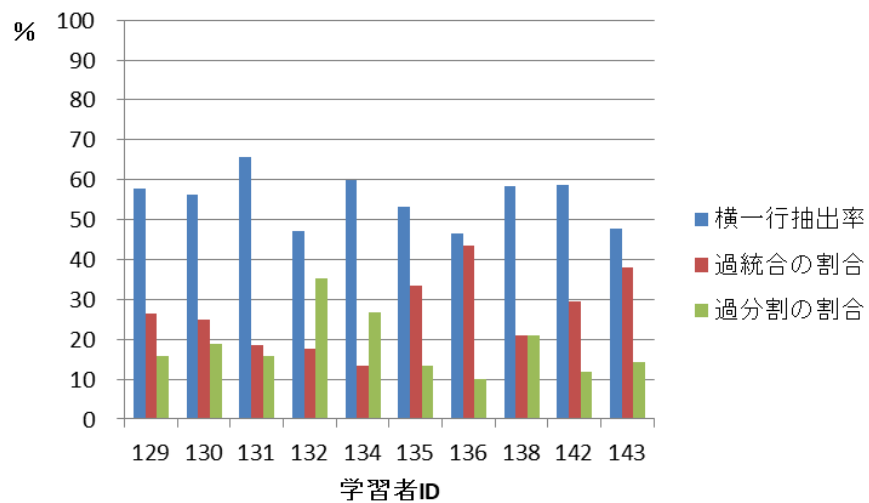


図 3.21: 認識条件：移動距離 25mm 以上のみ

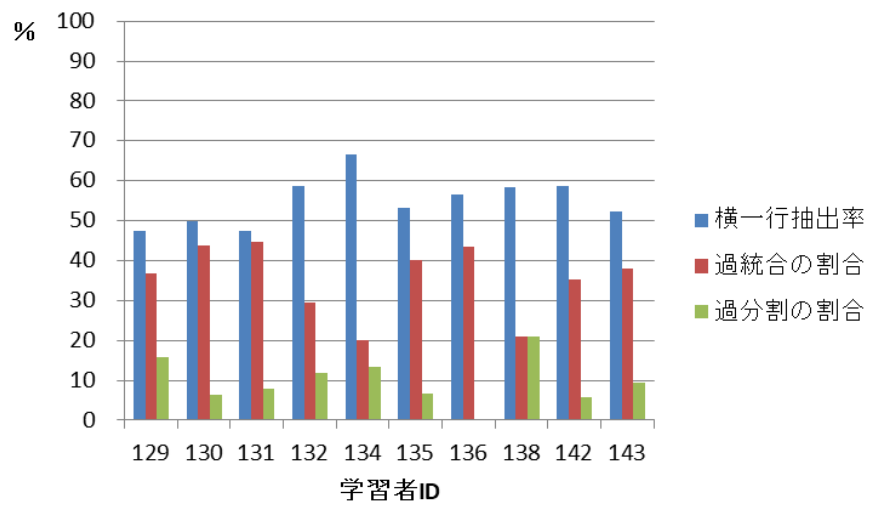


図 3.22: 認識条件：移動距離 30mm 以上のみ

## 第4章 同時閲覧インタフェースの評価実験

本章では3章で、提案した横一行の認識を用いた手法と、学習者一人一人の書いたすべてのストロークの高さを平均した値を用いた ConstantZoom による従来の手法の測定と比較を行う。また、二つの手法によるアンケート調査を行い、主観的評価の結果について考察する。

### 4.1 同時閲覧インタフェースの手法

まず、同時閲覧インタフェースの評価実験を行うために、比較する提案手法と従来の手法について説明する。提案手法は、本研究で提案した横一行の認識を用いた手法であり、従来の手法は、学習者一人一人の書いた全ストロークの高さを平均した値を用いた ConstantZoom による手法である [11]。これら2つの手法により表示領域を決める。表示領域は図3.1のように高さとの幅の比が決まっている。したがって、同時閲覧に用いる手法では、表示領域の高さか幅を決定する。

#### 4.1.1 横一行の認識を用いた同時閲覧インタフェースの手法

3章で提案した横一行の認識を行うことによって、学習者の筆記を1つの意味のまとまりとして認識することが可能になる。本実験で用いる認識条件は、横一行の抽出率が最も高い、一つ前に書いたストロークよりも移動距離が20mm以上あるときの条件を用いる。この横一行の認識を用いることによって、1つの意味のまとまりを認識することが可能になる。よって、画面に認識した横一行を表示することによって、その学習者が何を書いているか理解できると考える。本研究では、書いているストロークを含める行とその1つ前の行を含めた領域を表示することにより、学習者が何を書いたのか、何を書いているのかがわかる表示を行った。

### 4.1.2 ConstantZoom

この手法では、1人1人の学習者の全ストロークの高さを平均することで、筆記者が通常用いる筆記の大きさを測定することができる。そして、書いているすべてのストロークの高さを平均しその高さから画面に表示する領域を決定する。表示領域はすべてのストロークの高さによって決めるので、ストロークの高さの変化が少ない筆記に対して有効である。さらに、平均値を用いるので、表示領域の大きさの変化が小さくズームの拡大・縮小が緩やかになり画面の変化が小さい。

## 4.2 筆記データ

実験に用いる筆記データは、大学の材料力学の講義、学生20人が使用したA4サイズ1枚の筆記データを使用した。なお、学生には研究に関する情報を与えずに自由な筆記を行ってもらった。

本節では、3章で提案した手法を用いた表示領域の手法と、ConstantZoomによる表示領域の測定を行い比較する。

### 4.2.1 測定値

全体の筆記データから、測定を行い、比較する。表示領域から測定する情報は以下のとおりである。

- 表示領域の縦方向の総移動距離
- 表示領域の横方向の総移動距離
- 表示領域の総移動距離
- 表示領域の移動回数
- 表示領域の高さ

表示領域が動く则表示している筆記も動き、筆記がぶれて見にくい。したがって、表示している筆記の動きを少なくするために表示領域の移動距離をできるだけ少なくする

必要があると考える。また、表示領域の高さはズームの拡大・縮小を変える要因のため、測定、考察を行う。

#### 4.2.2 測定結果

筆記データに対して、提案手法を用いた結果表 4.2 となり、従来の手法を用いた結果表 4.1 となった。また、表示領域の高さは図 4.1 となった。図 4.1 は縦軸が表示領域の高さとなり、横軸が筆記を再生したときの時間となる。提案手法は従来の手法に比べて、総移動距離が縦方向、横方向ともに減少している。これは、図 4.1 から、表示領域の高さが従来の手法よりも提案手法が大きいいため、表示領域が広くなり、移動回数が減っている。したがって、小さな移動が減り、総移動距離が減少した。

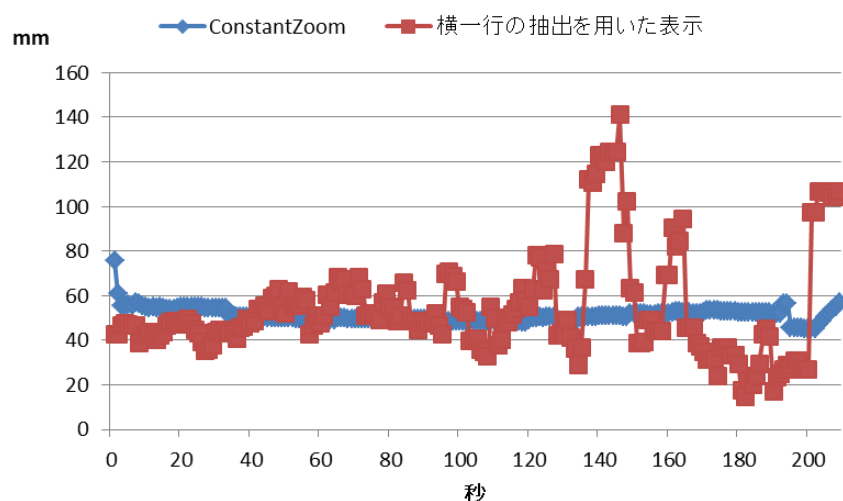


図 4.1: 表示領域の高さ

### 4.3 ユーザ実験

本項では、提案手法と従来の手法から比較実験を行い、見やすさのアンケート結果について述べる。また、アンケート結果から筆記の理解のしやすさについて評価・考察を行った。我々は、被験者に対し、提案手法と従来の手法を用いた同時閲覧インターフェー

スを見てもらい、見やすさのアンケートを行った。実験は、被験者が実際の学習者となるように、基準となる学習者を設定した。我々は、被験者に基準となる学習者と他の学習者の筆記を見比べながら、同時閲覧インタフェースを評価するように説明した。実験環境は、画面サイズ 12.1 インチ、解像度 1600\*900 の PC を使用した。被験者は 22 24 歳の男性 12 名に対して行った。実験は、順序効果を消すために提案手法から見るグループと従来の手法から見るグループにわけて行った。

#### 4.3.1 実験に使用した筆記データとアンケート

実験に使用した筆記データの再生している筆記に対する時間に対応した表示領域の高さは図 4.2、図 4.3 である。

アンケートは 5 段階評価で行う。被験者は、提案手法、従来の手法の両方を見た後、提案手法の文字が小さく感じたか、大きく感じたか、映像が激しく動きすぎていると感じたかを評価し、従来の手法の文字と映像についても同様に評価を行った。5 段階アンケートは、評価項目を強く感じるほど 1 を、まったく感じない場合 5 を選ぶ。そして、提案手法と従来の手法のどちらが良かったかを 5 段階で評価し、最後に、他の学習者の筆記が見れることの感想と学習者の立場となって、同時閲覧インタフェースのメリットとデメリットを記述式で書いた。

実際に使用したアンケートは図 4.7、図 4.5 に載せる、

### 4.4 実験結果

アンケートの結果を図 4.6～図 4.8 に示す。図 4.6、図 4.7 は、縦軸は評価項目であり、横軸は被験者数である。ならびに、グラフの中央に表記している数値は 5 段階アンケートで答えた人数である。

アンケート結果から、従来の手法と提案手法の文字の大きさに対する見やすさ、映像に対する見やすさをマン・ホイットニーの U 検定を用いて、有意水準 5 % として検定したところ、表 4.3 となり、有意差はなかった。また、図 4.8 では、12 人中 9 人が提案手法による同時閲覧インタフェースを見やすいと評価した。他の学習者の筆記が見えることによる感想では、他の学習者の式を読むとき、既存手法よりも提案手法のときが 2 行以

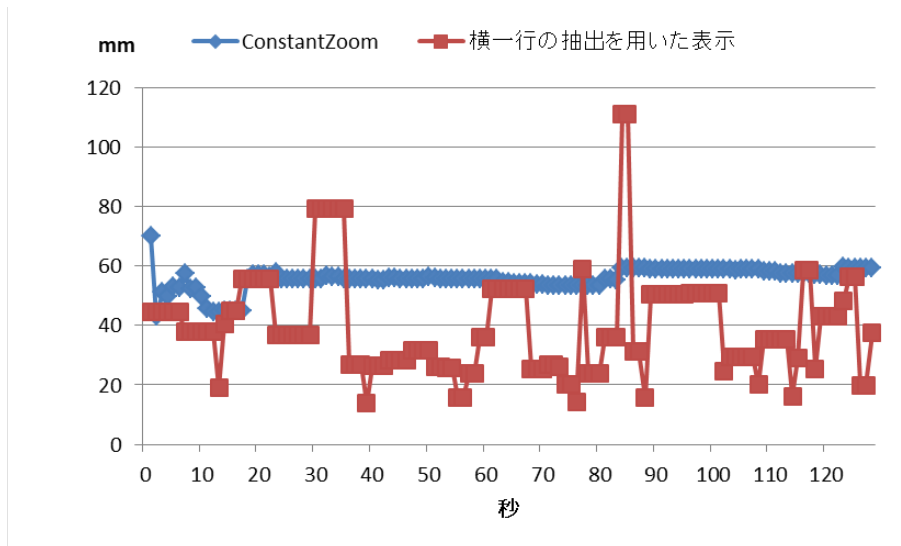


図 4.2: ID122 表示領域の高さ

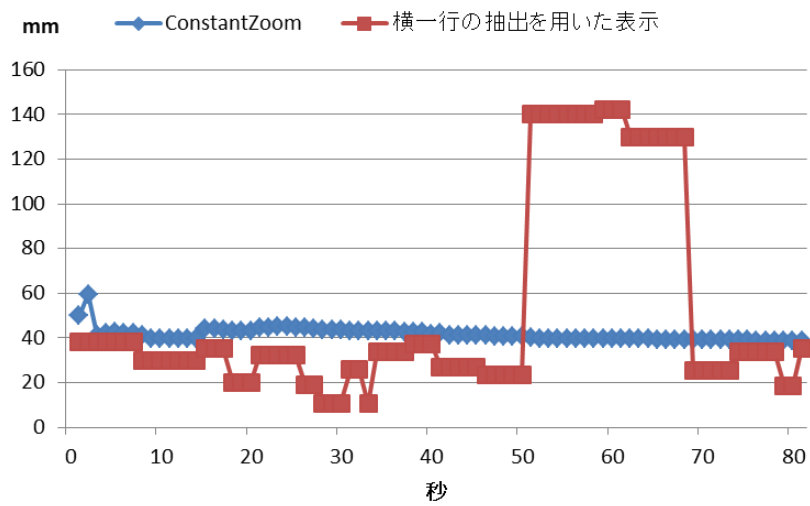


図 4.3: ID130 表示領域の高さ



## アンケート

2018/1 評価実験アンケート

\*必須

### 1. 映像 1 : 文字の大きさ \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
小さい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

### 2. \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
大きい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

### 3. 映像 1 : 映像が激しく動き過ぎているか \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
動きすぎ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

### 4. 映像 2 : 文字の大きさ \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
小さい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

### 5. \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
大きい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

### 6. 映像 2 : 映像が激しく動き過ぎているか \*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
動きすぎ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	良い

図 4.4: アンケート 1

7. 映像1と映像2どちらがよかったか\*

1つだけマークしてください。

	1	2	3	4	5	
映像1が良い	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	映像2が良い

8. 自由筆記・感想

---

---

---

---

---

9. 学習者が見れることでどんなメリット・デメリットありますか

---

---

---

---

---

---

Powered by  
 Google Forms

図 4.5: アンケート 2

上見えてわかりやすい、と意見があった。しかし、提案手法では文字が小さすぎるときがあり、見づらく感じた、とも意見があった。また、学習者が見れることによるメリットとして、解き方が人によって違うから参考にできる、回答に行き詰ったときに、他の生徒の回答をみることで参考になる、授業をまじめに受けていないと先生にわかるので、さぼれない、できていた生徒がわかるので、そのクラスメイトに授業後聞きに行ける、自分と違ったより簡易な解法が見つかる可能性がある、他の人に見られるので字をきれいに書く、解き終わった後の確認ができる、最後に答えが見れるのが良い、と意見があった。デメリットとして、問題の答えがわかる、解くことが遅い学習者にはプレッシャーやショックを与える原因となる、と意見があった。

## 4.5 考察

アンケートの結果より、マン・ホイットニーのU検定を用いて、有意水準5%として検定したところ、文字の大きさや映像の動きの激しさに有意差はなかった。しかし、感想の中には、従来の手法よりも提案手法の方が式を理解しやすい、と意見があった。これは提案手法が横一行を認識し、表示するので左式、右式が見える表示を行う。だが、従来の手法では、筆記の文を考慮せずに表示を行うため、字は読めるが、意味がわからないことがある。他の感想として、学習者の立場になって同時閲覧インタフェースを見たときに参考になる学習者をよく探さないといけなくて大変。また、参考になる人を探せない、と意見をもらった。現状として、書いているストロークを表示する閲覧システムだが、学習者にとって参考になる表示であるか検討が必要である。今後、個人個人にとって必要な情報の選び方を考える必要がある。

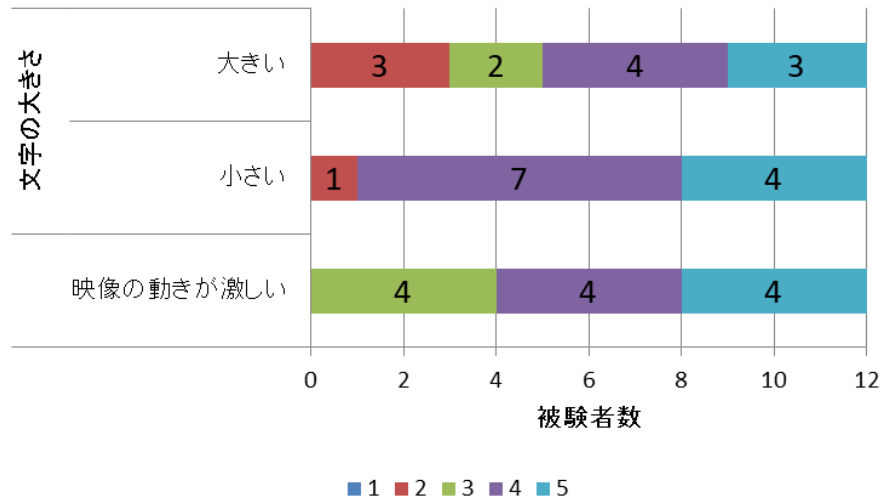


図 4.6: 従来手法のアンケート結果 (1 : 強く感じる～5 : まったく感じない)

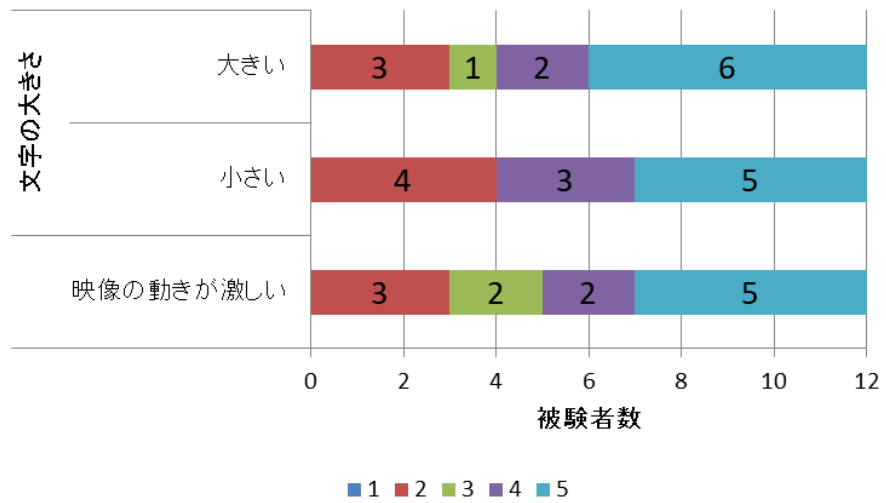


図 4.7: 提案手法のアンケート結果 (1 : 強く感じる～5 : まったく感じない)

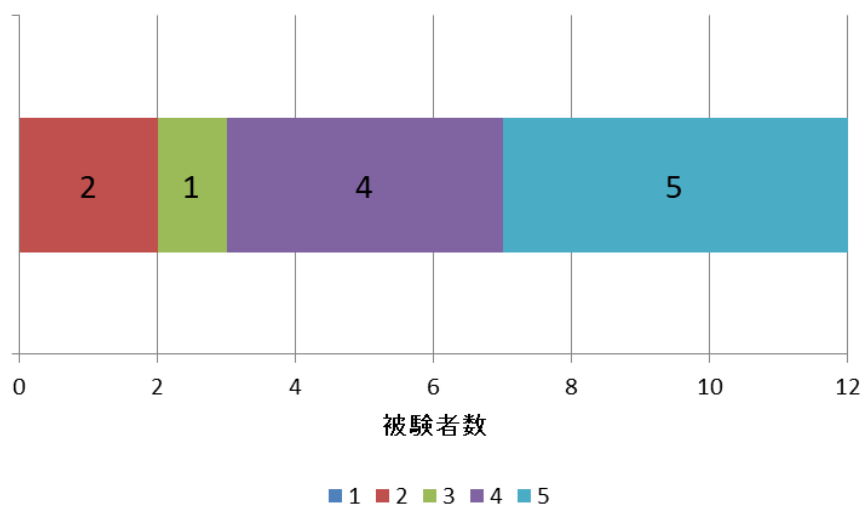


図 4.8: どちらが見やすいかの結果 (1 : 従来の手法が見やすい ~ 5 : 提案手法が見やすい)

表 4.1: 従来手法を用いた表示領域の測定結果

学習者 ID	横:総移動距離	縦:総移動距離	総移動距離	移動回数
109	1858 mm	602 mm	2336 mm	1986
111	1924 mm	1446 mm	2906 mm	2504
113	425 mm	523 mm	894 mm	1409
118	2034 mm	869 mm	2660 mm	2117
119	653 mm	333 mm	918 mm	1035
122	890 mm	479 mm	1277 mm	1335
123	798 mm	783 mm	1402 mm	1523
126	899 mm	468 mm	1215 mm	1247
127	1339 mm	262 mm	1522 mm	1701
128	684 mm	389 mm	996 mm	1336
129	899 mm	929 mm	1660 mm	1347
130	410 mm	635 mm	884 mm	927
131	551 mm	2239 mm	2635 mm	1922
132	1121 mm	465 mm	1497 mm	1420
134	1065 mm	228 mm	1199 mm	1157
135	1289 mm	275 mm	1483 mm	1225
136	2250 mm	1666 mm	3611 mm	2723
138	1514 mm	836 mm	2196 mm	2029
142	389 mm	525 mm	826 mm	892
143	1036 mm	761 mm	1612 mm	1427
平均	1101 mm	736 mm	1687 mm	1563

表 4.2: 提案手法を用いた表示領域の測定結果

学習者 ID	横:総移動距離	縦:総移動距離	総移動距離	移動回数
109	854 mm	551 mm	1140 mm	335
111	1108 mm	1103 mm	1696 mm	1467
113	479 mm	430 mm	742 mm	966
118	819 mm	603 mm	1139 mm	709
119	382 mm	237 mm	507 mm	376
122	650 mm	473 mm	909 mm	354
123	597 mm	518 mm	896 mm	912
126	541 mm	422 mm	765 mm	374
127	574 mm	307 mm	714 mm	353
128	520 mm	434 mm	745 mm	373
129	400 mm	500 mm	725 mm	301
130	301 mm	264 mm	422 mm	464
131	600 mm	1317 mm	1571 mm	926
132	715 mm	419 mm	941 mm	390
134	395 mm	246 mm	517 mm	259
135	663 mm	253 mm	743 mm	263
136	1000 mm	800 mm	1468 mm	792
138	772 mm	606 mm	1091 mm	641
142	262 mm	328 mm	460 mm	465
143	452 mm	398 mm	656 mm	326
平均	604 mm	511 mm	892 mm	552

表 4.3: アンケート結果に対するマン・ホイットニーの U 検定 (有意水準 5 %)

		U	p
文字の大きさ	大きい	58.5	0.415
	小さい	65.5	0.687
映像が動きが激しい		66	0.717

## 第5章 結論

本章では、これまでの実験結果をもとに総評し、今後の課題について検討する。

### 5.1 まとめ

本研究では、多人数学習者筆記の同時閲覧インタフェースを開発した。我々は、実験データから横一行の認識条件を提案し、同時閲覧インタフェースに導入した。横一行を認識するための条件は書いているストロークが1つ前のストロークよりも20mm以上離れたときを条件にしたとき、横一行の認識率が平均63.92%となった。横一行の認識を用いた同時閲覧インタフェースは、1人1人の学習者のすべてのストロークの高さを平均し表示領域を設定するConstantZoomとアンケートによる比較実験を行った。アンケート結果より、マン・ホイットニーのU検定を用いて、有意水準5%として、検証したところ、文字の大きさ、映像の動きの激しさに有意差がなかった。また、横一行の認識による表示により、式を読み取りやすくなったと意見があった。

### 5.2 今後の課題

本研究では、横一行の認識をストローク間の距離を用いて行った結果、横一行の認識率が平均63.92%となった。このときの認識の条件は実験データから測定して、ストローク間の距離のしきい値を決定しているので、実際に使うときには、筆記データに合わせたしきい値を改めて決める必要がある。今後は、横一行の認識を個人個人に自動で合わせるしきい値の設定を考える必要がある。さらに、同時閲覧インタフェースによって表示した学習者の筆記は、現状書いている場所を表示しているが、学習者にとって、自分の参考となる他の学習者の筆記を見つけることが難しいと意見があった。今後は、学習者にとって参考となる表示と、教師にとって参考となる表示をわけて考える必要がある。



## 謝辞

本研究を完成するにあたり，ご教授くださりました三浦准教授にお礼申し上げます。また，サーベイ輪講や中間発表においてご教授くださりました情報セクションの先生方にお礼申し上げます。加えて本研究で使用するデータを提供してくださった学生の皆様，並びに数々の意見やアドバイスをくださった三浦研究室の学生の皆様に感謝いたします。最後に大学生活を送るにあたって経済面や生活面において，ご支援をして頂いた家族に心から感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 今井順一, 山本大輔, 小松川浩. デジタルペンを活用したリメディアル教育での授業デザイン. *メディア教育研究*, Vol. 5, No. 1, pp. 57–66, 2008.
- [2] Nagai Masahiro and Kitazawa Takeshi. Understanding the Features of Digital Pen Use in Initial Introductory Lessons. In *Proceedings of the 18th International Conference on Computers in Education. Putrajaya, Malaysia: Asia-Pacific Society for Computers in Education. Retrieved August, 2013.*
- [3] Motoki Miura, Taro Sugihara, and Susumu Kunifuji. Improvement of Digital Pen Learning System for Daily Use in Classrooms. *Educational Technology Research*, Vol. 34, pp. 49–57, October 2011.
- [4] 赤堀侃司, 和田泰宜. 学習教材のデバイスとしての ipad・紙・pc の特性比較. *自鷗大学教育学部論集*, Vol. 6, No. 1, pp. 15–34, 2012.
- [5] 内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一. デジタルペン. *映像情報メディア学会誌*, Vol. 64, No. 3, pp. 293–298, 2010.
- [6] 杉原太郎, 三浦元喜. 高校の数学授業実践を通じたデジタルペンシステムの効果. *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 1, pp. 192–201, 2013.
- [7] Taro Sugihara, Motoki Miura, and Susumu Kunifuji. Practicing on stage: increasing transparency and interaction in class activity with digital pen system. In *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 457–464. Springer, 2010.
- [8] DNP 大日本印刷. DNP デジタルペン授業支援システム OpenNOTE オープンノート. [http://www.dnp.co.jp/works/detail/10111269\\_18925.html](http://www.dnp.co.jp/works/detail/10111269_18925.html), (2018/2/10 アクセス).

- [9] 角方寛介, 加藤直樹, 山崎謙介ほか. タブレット pc を用いた他の生徒のノートを覗ける電子ノートシステムの開発. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2009, No. 10, pp. 1–6, 2009.
- [10] 大西正輝, 泉正夫, 福永邦雄. 講義映像における板書領域のブロック分割とその応用. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 83, No. 11, pp. 1187–1195, 2000.
- [11] Yuuki Maeda and Motoki Miura. Browsing methods for multiple online handwritten note animations. In *International Conference on Collaboration Technologies*, pp. 212–219. Springer, 2016.

## 対外発表リスト

- 前田 祐樹, 三浦 元喜: 学習者筆記の自動ブロック分割, 情報処理学会インタラクシオン 2017, 東京, pp. 526-528, 2017 年 3 月.
- Yuki Maeda, Motoki Miura: Browsing Methods for Multiple Online Handwritten Note Animations, The Eighth International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech2016), Kanazawa, Ishikawa, pp. 212-219, September 2016.
- 前田 祐樹, 三浦 元喜: 多人数学習者の筆記を同時に閲覧するための横書き筆記における一行自動分割, 電子情報通信学会教育工学研究会, 北九州, (to appear), 2017 年 10 月.