

文字認識と AR 表示による数式のリアルタイム参照システム

見玉 桂子[†] 寺田 努[†] 中村 匡秀^{††}

[†] 神戸大学大学院 工学研究科 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

^{††} 神戸大学 数理・データサイエンスセンター

E-mail: [†]kodakoma@es4.eedept.kobe-u.ac.jp, ^{††}tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp, ^{†††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

あらまし 数学などの教科書では、「式より」や「式に代入し」といった形で数式の引用が多く行われ、その都度引用元の数式を参照する必要がある。しかし、従来の参照方法では手間がかかるため、学習に悪影響を与えると想定される。また、電子書籍において参照を支援する研究が行われているが、紙書籍に比べて読解速度や理解度が低下するため、紙書籍での学習が望ましい。そのため、紙書籍での学習時における数式参照の支援が必要である。そこで本研究では、教科書内の文字認識を行って数式と式番号の対応を記録し、数式の参照を行う際、引用元の数式をウェアラブルデバイスを用いてリアルタイムに視界内に表示するシステムを提案する。本稿では、数式の参照が普段の学習に与える影響についての予備調査を実施した。また、提案システムを用いて数式の参照を複数回含む学習を実施し、学習時間の計測とアンケート調査から、提案システムが学習効率の向上につながると示唆された。

キーワード 拡張現実, 光学文字認識, ウェアラブルデバイス, Remembrance Agent, 数式, 学習支援

Real-time Reference System for Mathematical Formulas with Character Recognition and AR Display

Keiko KODAMA[†], Tsutomu TERADA[†], and Masahide NAKAMURA^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, 657-8501, Japan

^{††} the Center of Mathematical and Data Science, Kobe Univ.

E-mail: [†]kodakoma@es4.eedept.kobe-u.ac.jp, ^{††}tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp, ^{†††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

Abstract In textbooks, mathematical formulas are often quoted, and it is necessary to refer to the source of the quotation each time. However, the conventional method of referencing takes time and effort and is expected to have a negative impact on learning. In this paper, we propose a system that performs OCR(Optical Character Recognition) on textbooks and records the correspondence between formulas and their equation numbers, so that when the user wants to refer to a formula, the source of the quotation is displayed in real time in their sight with a wearable device. The system is effective in supporting mathematical formula referencing and improves the learning efficiency.

Key words AR, OCR, Wearable Device, Remembrance Agent, Mathematical Formula, Learning Support

1. はじめに

数学や物理などの教科書では、文章中に「式より」や「式に代入し」といった形で数式の引用が多く行われる。教科書中で定義される全ての数式と式番号の対応を覚えておくことは困難であるため、数式の引用が行われる度に引用元の数式を参照する必要がある。紙書籍における従来の参照方法としては、その都度ページを捲って引用元の数式を探し出し参照する方法などがあるが、参照に手間がかかり、集中力の低下や式の写し間違いなどの問題が起こると想定される。また、電子書籍を用いることで参照を支援する研究は多く行われているが、電子書籍で

は紙書籍に比べて読速度や内容の理解度が低下することが確認されている [1] ことから、紙書籍での学習が望ましい。そのため、紙書籍での学習時の数式参照を支援する必要がある。

情報の自動的な記録と表示を行うシステムとして、RA (Remembrance Agent) がある。これは、日常生活における様々な情報を自動的に記録・蓄積しておき、適切なタイミングに提示することでユーザの記憶の想起を支援するシステムであり [2], RA を用いた効率的な支援が多く提案されている。そこで、紙書籍での学習時に数式と式番号を自動的に記録し、数式が引用されたときに自動的に提示することで、数式参照の支援が可能だと考えられる。さらに、画像データのテキスト部分を認識し、

文字データに変換する技術である光学文字認識 (OCR: Optical Character Recognition) [3] と、ウェアラブルデバイスを用いて仮想情報を実世界に重畳させる拡張現実技術 (AR: Augmented Reality) を組み合わせることで、より効率的な支援を行うことができると考えられる [4].

本研究では、紙書籍での学習時に数式の参照を支援するため、教科書の文字認識を行って数式と式番号の対応を記録し、数式の参照を行う際、引用元の数式をウェアラブルデバイスを用いた AR 表示によってリアルタイムに視界内に表示するシステムを提案する。予備調査として数式の参照が紙書籍での学習に与える影響についてのアンケート調査を行う。次に、提案システムを用いて、数式と式番号の記録と数式引用時の参照を複数回含む学習を実施し、学習に要した時間の計測とアンケート調査から、提案システムが紙書籍での教科書における数式参照にどのような影響を与えるか、学習支援に有効であるか評価する。

2. 関連研究

2.1 紙書籍での参照検索

学習や業務において文章を読む際には、文書を最初から最後まで逐次的に通して読むのではなく、途中で検索を行うことが多い。これは、複数の文書やページを行き来することで相互参照や注釈を検索して参照することが多いためである [5]。特に、学術論文や数学の教科書のように専門性の高い文書では、専門用語の意味や引用情報を検索し参照する必要があるが、参照にかかる手間は、文章の読みに要する時間の増加や理解の妨げの原因となりうる。参照の検索の手間を低減する方法として、電子書籍を用いることが挙げられ、音声等の埋め込みやページのブックマーク機能を用いて必要な時に即座に該当箇所を表示するシステム [6] などが提案されている。しかし、電子書籍は紙書籍に比べて読む速度や内容の理解度が低下することが確認されているため [1], 学習には紙書籍を用いるのが望ましい。したがって、紙書籍における学習時の参照検索支援が必要である。

2.2 紙書籍での検索支援システム

紙書籍での学習時や論文閲覧時に、検索の手間を低減する研究は多く行われており、学術論文閲覧時に未知の単語の関連情報を検索し表示するシステム [7] や、OCR を用いて論文を解析し、専門用語の説明や関連する情報を自動的に検索し表示するシステム [8] が提案されている。また、数学学習においても、複雑な数式の部分構造に着目して類似数式を検索するシステムや [9], 変形された数式もとの公式を検索し提示するシステム [10] など、検索を支援するシステムが研究されているが、これらのシステムは数式の関連情報の提示が中心で、引用された数式自体の参照の支援は行っていない。そこで本研究では、引用元の数式を自動的に検索し参照支援を行うシステムを構築する。

2.3 情報の記録と提示

情報を記録し、必要な時に提示するシステムとして、RA がある。RA に関する研究は多く行われており、日常生活での移動情報や撮影した写真を記録しておき日記作成時に提示することで、1日の出来事の想起を促す日記の作成を支援するシステ

表 1: 予備調査のアンケート調査内容

	質問
Q1	数式の参照が多用される教科書は煩わしさを感じるか。
Q2	数式の参照が多用されると学習のモチベーションが下がるか。
Q3	数式を参照することが集中の妨げになるか。
Q4	数式の参照を行う際に写し間違いなどのミスを起こすか。

ム [11] や、視界映像を取得し、オブジェクトの登録、検索、最後にオブジェクトが出現した時の映像の提示によって、物探しを効率化するシステム [12] など、記憶困難な情報の記録・検索・提示を自動的に行うことで、効率的な支援を行うシステムが提案されている。

また、RA における文字情報の自動記録方法として、画像データのテキスト部分を認識し、文字データに変換する技術である OCR がある [3]。OCR によって画面から文字情報を自動で取得することで、ユーザが文字情報を記憶する手間を低減できる。さらに、情報の提示方法として、現実世界に仮想世界を重ね合わせて表示する技術である AR がある [4]。AR は化学や理学療法など様々な分野で利用されており、ユーザの視界内にリアルタイムに情報を提示することで、集中力や学習効率を低減させることなく学習支援が可能になる。したがって、本研究では、OCR を用いて数式情報を認識、記録し、引用時に AR グラスを用いて視界内に引用元の数式を表示することで、数式の参照支援を行う。

3. 予備調査

3.1 調査目的

数式の参照が多用される教科書を学習する際には、集中力の低下や式の写し間違いなどの問題が生じると想定されるが、それを明らかにした文献は筆者の知る限り存在しない。そこで、普段の学習時に数式の参照が学習の妨げとなるかを確かめるための調査を行った。

3.2 調査方法

普段紙書籍を用いて学習している 20 代の男女 8 名を対象に、普段の学習時を想定し、表 1 にある 4 つの項目についてそれぞれ (1: 全くそう思わない - 3: どちらとも言えない - 5: 非常にそう思う) の 5 段階のリッカート尺度で評価を得た。

3.3 結果と考察

アンケート調査の結果、Q1 に対して、被験者 8 名中 5 名が非常にそう思う、3 名がややそう思うと回答した。Q2 に対しては、被験者 8 名中 6 名が非常にそう思う、2 名がややそう思うと回答した。Q3 に対しては、被験者 8 名中 5 名が非常にそう思う、3 名がややそう思うと回答した。Q4 に対しては、被験者 8 名中 3 名が非常にそう思う、2 名がややそう思う、2 名がどちらとも言えない、1 名があまりそう思わないと回答した。したがって、数式の参照は煩わしく、集中の妨げや学習のモチベーション低下など、学習の妨げになる問題が生じると考えられ、学習時に数式の参照を支援する必要があるといえる。

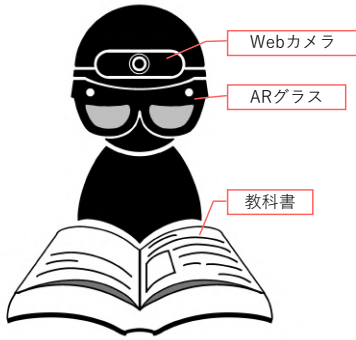


図 1: 提案システムのイメージ

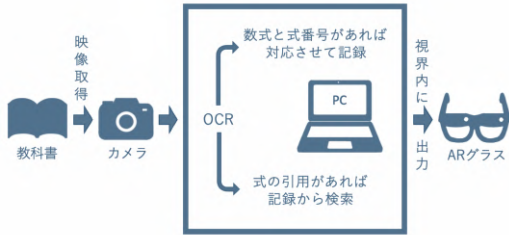


図 2: 提案システムの処理の流れ

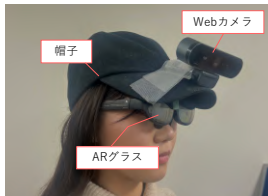


図 3: 提案システムの外観

4. 提案システム

本研究では、数式の参照を支援するため、教科書内の数式を自動で認識、記録し、引用があった際に引用元の数式の検索を行い、ARグラスを用いて参照結果をリアルタイムに視界内に表示するシステムを構築する。

4.1 システム設計

提案システムのイメージを図 1 に示す。提案システムは、教科書での学習時に、頭部に装着された Web カメラによって視界映像を取得し、視界内の数式を認識して記録する。また、視界内に数式の引用があった場合、記録した数式情報から引用元の数式を検索し、AR グラス内に表示する。提案システムの処理の流れを図 2 に示す。ユーザは頭部に Web カメラと AR グラスを装着し、紙書籍の教科書を用いた数学学習を行う。学習時、Web カメラから視界映像を取得し、一定時間おきに OCR による文字認識を行う。文字認識の結果、数式と式番号の定義を認識した場合は、数式と式番号を対応させて記録する。一方、数式の引用を認識した場合は、記録した数式情報から引用元の数式を検索し、該当する数式があればアプリケーション画面に表示する。アプリケーション画面は、AR グラスによって常に視界内に表示されているため、数式の参照結果がリアルタイムで視界内に映し出される。

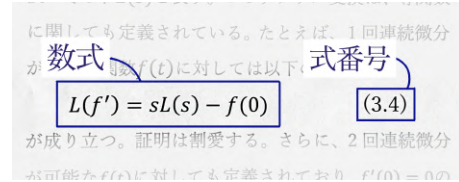


図 4: 書籍中の数式と式番号の例

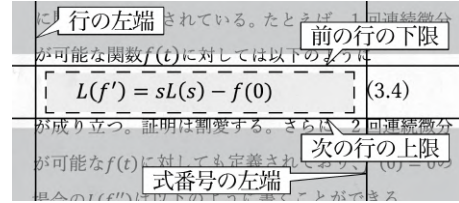


図 5: 数式画像の切り取り方法

4.2 システム実装

実装したシステムを図 3 に示す。Web カメラは logicool 社の BRIO 4K ウェブカメラを、AR グラスは XREAL 社の XREAL Light [13] を使用した。Web カメラはユーザの頭部に固定するため、帽子のつばに固定した。XREAL Light の画面上には、数式情報を提示する自作のアプリケーションを表示した。

4.2.1 画像の補正と文字認識

Web カメラから取得した視界映像のフレーム画像から OCR で文字認識を行う。OCR エンジンとして Tesseract OCR [14] を用いた。文字認識の際、フレーム画像内の文章が斜めであると認識が困難であるため、画像の 2 値化と教科書の四隅に配置したマーカーを利用した射影変換によって画像の傾きを補正した。

4.2.2 数式の記録

文字認識の結果、図 4 のように同じ行内に等号と式番号を認識した場合、それらを数式とその数式に対応する式番号の定義であると判定する。

認識した式番号が既に記録されていないかを確認し、まだ記録されていない場合はその式番号と数式の画像を切り取って保存する。画像の切り取り方法を図 5 に示す。図 5 において実線で示されているように、教科書の文章の行の左端の位置、数式がある行の前の行の下限の位置、次の行の上限の位置、式番号の左端の位置をそれぞれ基準として、点線で示されている長方形の部分の数式であると判定し、画像として切り取った。

4.2.3 数式の参照

文字認識の結果、図 6 のように「式 (式番号)」の記述を認識した場合、数式の引用であると判定する。該当する式番号が記録されているか検索し、記録されている場合、対応する数式画像から \LaTeX OCR [15] を用いて数式を \LaTeX 形式に変換する。 \LaTeX OCR は数式に特化した OCR エンジンであり、数式を文字として認識できる。その後、 \LaTeX 形式から文字列に変換することで、アプリケーション画面での数式の表示が可能になる。

4.2.4 アプリケーション画面

教科書内に数式の引用があった場合、式番号とそれに対応する数式を一覧にして表示するアプリケーションを作成した。作

f 数式の引用レス変換 $L(f')$ について、
 の公式は式(3.4)で表されるから、 $L(s)$
 ぞれ代入することで、

図 6: 書籍中の数式の引用の例

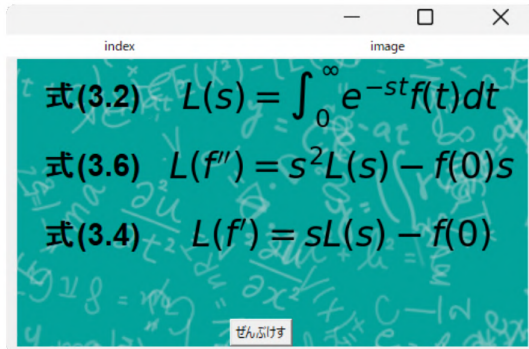


図 7: アプリケーション画面

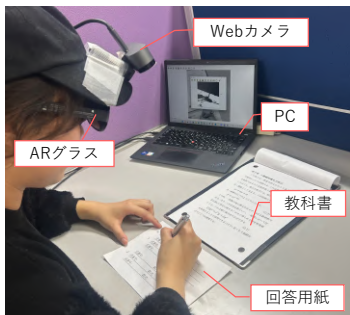


図 8: 実験環境

成したアプリケーション画面の例を図 7 に示す。アプリケーション画面を AR グラスに表示することで、視界内に参照結果を提示する。数式の引用を新しく認識した場合には、既にアプリケーション画面に表示されている数式一覧に追加する形で参照結果を随時表示していく。また、「ぜんぶけす」というボタンを押すと、表示されている数式と式番号が消去される。

5. 評価実験

5.1 実験目的

提案システムによる数式の参照支援が、紙書籍における数学の学習に有効であるか評価するため、評価実験を行った。なお本実験は、神戸大学大学院工学研究科人を直接の対象とする研究倫理審査委員会の承認を受けて行ったものである(審査番号 05-59)。

5.2 実験方法

本実験では、紙媒体での教科書の数式の参照において、提案システムを使用した参照支援が参照時間や参照のしやすさに与える影響を調査した。実験環境を図 8 に示す。実験環境では、学習時に数式の記録と参照が並行して行われると想定されるが、本実験では特に、参照行為が学習に与える影響について調査す

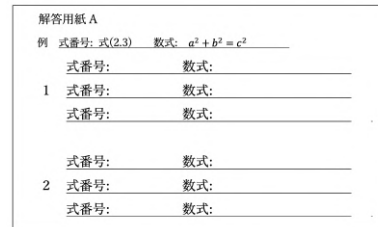


図 9: 参照結果記入用紙

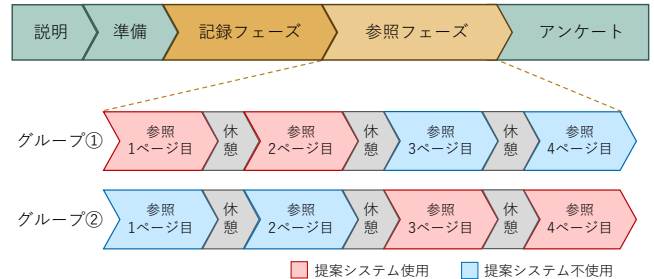


図 10: 実験の流れ

るため、学習を数式の記録フェーズと参照フェーズに分けて実施した。まず、数式の記録フェーズでは、被験者は Web カメラと AR グラスを装着した状態で、6 ページで構成される記録用教科書を用いて学習し、数式の記録を行った。次に、数式の参照フェーズでは、被験者は、提案システム使用パターンと提案システム不使用パターンの両方で学習を行った。提案システム使用パターンでは、被験者は提案システムを使用し、AR グラスに自動的に表示される参照結果を確認することで、数式の参照を行った。また、提案システム不使用パターンでは、被験者は提案システムを使用せず、記録用教科書から引用元の数式を手作業で探し出すことで、数式の参照を行った。どちらのパターンでも、4 ページで構成される参照用教科書を用いて学習した。参照用教科書の各ページ内には、記録用教科書で定義された数式を引用する記述が 3 つずつ含まれており、被験者は、学習中に数式の引用が現れる度にその参照を行い、引用元の数式と式番号を回答用紙に記入した。解答用紙を図 9 に示す。

実験の流れを図 10 に示す。被験者はまず、実験内容とシステムの使用方法についての説明を受けた後、数式の記録フェーズ、参照フェーズの順に学習を行った。参照フェーズでの学習は 1 ページ目から順に行い、各ページを学習する毎に休憩を取った。また、学習内容による結果への影響を考慮し、被験者を、1, 2 ページの学習を提案システム使用パターンで行い、その後 3, 4 ページの学習を提案システム不使用パターンで行うグループと、1, 2 ページの学習を提案システム不使用パターンで行い、その後 3, 4 ページの問題を提案システム使用パターンで行うグループの 2 つにランダムに分けて実施した。被験者は 20 代学生 8 名 (男性 5 名, 女性 3 名) であり、実験場所は指定した。

数式の参照フェーズにおいて、提案システムを使用することで数式の参照時間に差が生じるかを評価するため、学習開始から参照用教科書の各ページ内の全ての引用元の数式を回答用紙に記入し学習を終えるまでの時間を計測した。また、参照

表 2: 本実験のアンケート調査内容

	質問
Q1	数式の参照を行うことで煩わしさを感じるか.
Q2	数式の参照によってモチベーションが低下するか.
Q3	数式の参照を行うことが集中の妨げになるか.
Q4	数式の参照時に写し間違いが生じやすいと思うか.
Q5	アプリケーション画面は使用しやすいと感じたか.
Q6	そのように感じた理由はなぜか. (自由記述)
Q7	システムは便利だと感じたか.
Q8	そのように感じた理由はなぜか. (自由記述)

表 3: ページ毎の学習に要した時間の平均

ページ番号	システム不使用 [秒]	システム使用 [秒]
1	103.8	90.8
2	104.8	90.5
3	85.5	80.8
4	102.5	77.3

フェーズ終了後、提案システムが数式の参照を含む教科書での学習に与える影響についての主観評価を得るため、(1: 全くそう思わない-3: どちらとも言えない-5: 非常にそう思う) の5段階のリッカート尺度でアンケート調査を行った。また、提案システムに対する具体的な意見を得るために自由記述で回答を得た。質問内容を表2に示す。ただし、質問1から4は提案システム使用パターン、不使用パターンどちらに対しても回答を得た。

5.3 実験結果と考察

5.3.1 学習に要した時間

参照用教科書の各ページについて、提案システム使用パターンと不使用パターンそれぞれの学習開始から終了までに要した平均時間を表3に示す。提案システム使用パターンの学習に要した時間の平均値と提案システム不使用パターンの学習に要した時間の平均値でt検定を行ったところ、提案システム不使用パターンよりも使用パターンの方が学習に要する時間が有意に短くなった ($t(14) = 2.52, p < 0.05$)。よって、提案システムは紙書籍での学習に要する時間を短縮でき、学習効率の向上に有効であると考えられる。

5.3.2 アンケート調査

アンケート調査の質問1から4に対する回答結果を図11~14に示す。グラフの縦軸は、質問1から4の各質問に対する5段階評価による回答を、被験者8名全員について平均値をとった値を表す。各被験者から提案システム使用パターンと不使用パターンの両方についての回答を得ているため、それぞれ集計して棒グラフに表した。エラーバーは、標準偏差を表している。数式の参照を行うことで煩わしさを感じるかに対する平均点は、提案システム使用パターンが1.75点、不使用パターンが4.50点であった。数式の参照によってモチベーションが低下するかに対しては、提案システム使用パターンが2.00点、不使用パターンが4.38点であった。数式の参照を行うことが集中の妨げになるかに対しては、提案システム使用パターンが2.13点、

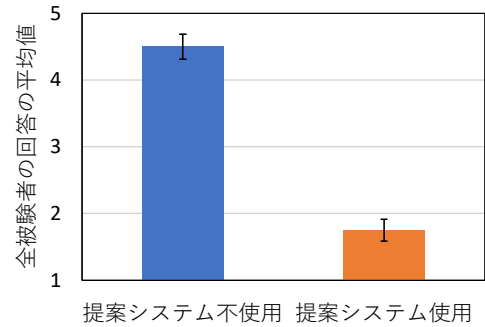


図 11: Q1 「数式の参照を行うことで煩わしさを感じるか」

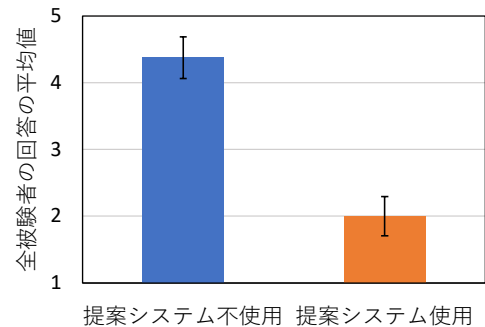


図 12: Q2 「数式の参照によってモチベーションが低下するか」

不使用パターンが4.5点であった。数式の参照時に写し間違いが生じやすいと思うかに対しては、提案システム使用パターンが2.0点、不使用パターンが4.0点であった。これらの結果から、提案システムを使用することで数式の参照による学習の妨げを低減できたと考えられる。

提案システムに関する質問では、アプリケーション画面は使用しやすいと感じたかという質問に対しては、2人がややそう思う、1人がどちらでもない、5人がややそう思わないと回答し、使い辛さを感じる傾向がみられた。その理由の自由記述では、アプリケーション画面の色彩が薄く見辛い、画面が遠い、数式の係数や指数など小さい部分がぼやけていて見辛いなど、アプリケーション画面の視認性の悪さを指摘する内容が多かった。これは、実験環境が明るく、教科書や周りの環境が白っぽかったため、ARグラスを通して見るアプリケーション画面が背景と重なって薄く見えてしまったことが原因だと考えられる。また、本実験ではARグラスの近視補正を行っていないため、被験者個人の視力によっては小さな文字が見辛く感じたと考えられる。参照結果画面の視認性が悪ければ効率的な支援が行えないため、アプリケーション画面の改良が必須であるといえる。

さらに、提案システムは便利だと感じたかという質問に対しては、5人が非常にそう思う、2人がややそう思う、1人がどちらでもないと回答し、肯定的な傾向がみられた。その理由の自由記述では、ページを捲る手間から解放される、引用元を検索している間に学習内容を忘れてしまう心配がない、教科書の理解に集中できるといった意見が多かった。したがって、提案シ

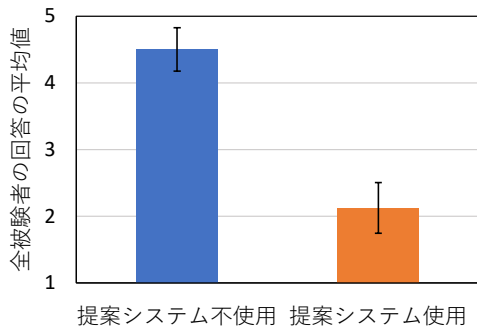


図 13: Q3 「数式の参照を行うことが集中の妨げになるか」

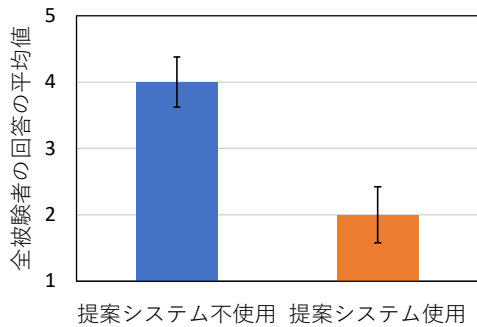


図 14: Q4 「数式の参照時に写し間違いが生じやすいと思うか」

システムは、ページを捲って数式を参照する手間を低減するのに有用であるといえる。

5.4 議論

提案システムでは、数式の判定や数式画像の切り取りを式番号と行の位置、等号の有無で行っているため、実験で使用した教科書に現れる数式は等号を一つしか持たず、1行に収まる形に限定した。しかし、実際に現れる数式は、等号を複数持つものや複数行にまたがるものなど様々であり、特定の形式に留まらない。したがって、多様な数式を認識できるように提案システムを改良する必要がある。

また、アンケート調査では、アプリケーション画面の見辛さについての指摘が多く見られた。原因として、被験者の視力や周囲の明るさが挙げられる。一般に、ARグラス使用时、視界に重畳表示する情報が、視界の明るさによって薄く白く見えたり、近視や遠視の影響でピントが合わずぼやけて見えたりすることで、視認性が低下する問題がある。そのため近年では、透過度を調整する機能や、ピントを調整する機能をもったARグラスや、網膜上にレーザー光で直接情報を投影する直接網膜投影方式を採用したARグラスが開発されており、このようなARグラスを用いることで、アプリケーション画面の視認性の低さは改善できると考えられる。

6. まとめ

本研究では、紙書籍での学習時における数式の参照を支援するため、数式の引用が行われた際、OCRとAR表示を用いて、

引用元の数式を視界にリアルタイムに提示するシステムを提案した。また、予備調査としてアンケート調査を実施し、数式の参照が集中の低下や式の写し間違いなどを引き起こす可能性があることを確認した。さらに、提案システムを用いて数式の参照を複数回含む学習を実施し、参照時間の計測とアンケート調査により、提案システムが紙書籍での数式の参照支援に有効であるか評価した。実験の結果、提案システムを用いることで紙書籍での数式の参照時間が短縮され、学習への悪影響を低減できることを確認し、学習効率の向上につながることを示唆された。

今後の展望としては、デバイスやアプリケーション画面を改善し、数式の記録や参照がしやすいシステムを構築することや、多様な形式の数式の参照に対応できるシステムを構築することが挙げられる。

謝辞 本研究の一部はJSPS 科研費JP20H05706, JP23H03401, JP23H03694, JP23K17006の助成を受けて行われている。

文献

- [1] 寇冰冰, 椎名健: 読書における異なる表示媒体に関する比較研究, *図書館情報メディア研究*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-18 (Mar. 2007).
- [2] B. J. Rhodes: Remembrance Agent: A Continuously Running Automated Information Retrieval System, *Proc. of the First International Conference on The Practical Application Of Intelligent Agents and Multi Agent Technology (PAAM '96)*, pp. 487-495 (1996)
- [3] B. J. Rhodes: The Wearable Remembrance Agent: A System for Augmented Memory, *Proc. of the 1st IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'97)*, Vol. 1, pp. 218-224 (Dec. 1997).
- [4] 杉本雅則: 拡張現実感手法を用いた学習支援, *人工知能学会誌*, Vol. 23, No. 2, pp. 237-242 (Mar. 2008).
- [5] 安藤裕, 柴田博仁: 読書中の行為にもとづく読みの支援方法の検討, *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol. 32, No. 5, pp. 831-840 (Aug. 2020).
- [6] D. Yoon, Y. Cho, K. Yeom, and J. Park: Touch-Bookmark: A Lightweight Navigation and Bookmarking Technique for E-books, *Proc. of the International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp. 1189-1194 (May 2011).
- [7] 谷尻淳喜, 太田学, 高須淳宏, 安達淳: タブレット端末によるカメラ機能を用いた学術論文閲覧支援の一手法, 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, E3-5 (Mar. 2018).
- [8] 阿辺川武, 相澤章子: 脚注表示機能を備えた論文閲覧システム Sidenoter, *言語処理学会年次大会発表論文集*, Vol. 20, pp. 796-799 (Mar. 2014).
- [9] 澁谷海渡, 白川真一, 大原剛三, 豊田哲也: 部分構造を考慮した数式理解支援システムの提案, *人工知能学会知識ベースシステム研究資料*, Vol. 105, pp. 1-6 (Aug. 2015).
- [10] 野崎咲, 宮崎佳典, 田中省作: 変形依拠公式提示機能への拡張も含めた数式検索システムの応用, *情報処理学会第81回全国大会講演論文集*, pp. 723-724 (Mar. 2019).
- [11] 村田和義, 最上聖也, 渋谷雄: 日記作成支援を目的とするスマートフォンによる行動記録・提示システム, *モバイル学会誌*, Vol. 7, pp. 15-21 (Nov. 2017).
- [12] 上岡隆宏, 河村竜幸, 河野恭之, 木戸出正継: I'm Here! 物探しを効率化するウェアラブルシステム, *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol. 6, No. 3, pp. 275-285 (Aug. 2004).
- [13] XREAL: XREAL Light, <https://jp.shop.xreal.com/products/xreal-light> (Accessed on 2024-05-13).
- [14] Google: Tesseract OCR, <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract> (Accessed on 2024-05-13).
- [15] L. Blecher: L^AT_EX OCR, <https://github.com/lukas-blecher/LaTeX-OCR> (Accessed on 2024-05-13).