

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01733

研究課題名（和文）数学eラーニングのためのユニバーサルな学習環境の構築と評価

研究課題名（英文）Creation of an Universal Learning Environment for Math E-Learning

研究代表者

白井 詩沙香（Shirai, Shizuka）

大阪大学・サイバーメディアセンター・講師

研究者番号：30757430

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、数学eラーニングの課題である数式の取り扱いに考慮し、誰もができるだけ壁を感じることなく数学教育を享受できるユニバーサルな数学eラーニング環境を提供することを目的に、学習支援ツールを提案した。具体的には、数学チャットアプリの機能拡張、Learning Management System上での数式を含む文書作成支援を目的としたリッチテキストエディタ、数式を含む講義動画の字幕生成・検索システムを構築した。各ツール・システムの基盤となるリッチテキストエディタのパフォーマンス実験を行った結果、LaTeXを用いた従来手法より1.5倍速く数学文書を作成でき、主観評価を改善できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数理・データサイエンス教育が重視されるなか、その土台となる数学の基礎力養成にあたりeラーニングの活用が期待されている。しかし、現行のeラーニング環境では数式の取り扱いが障壁となり、学習者・教材を開発する教員の双方にとって、不自由な状況が続いている。本研究で提案した数式を含む文書作成ツールは、長年の課題であった数学文書作成時のユーザビリティを改善するもので、ICTを活用した理数系教育に広く貢献するものとする。また、提案手法を実装した各システムはオープンソースのLMS上で利用でき、研究成果の社会実装への貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：As the importance of mathematics e-learning is rising, the mathematics e-learning environment is expected to adopt Universal Design, allowing anyone to enjoy mathematics education with as few barriers as possible. This research aims to realize a universally designed mathematics e-learning environment that considers challenges regarding mathematical expression and to establish an environment for creating mathematics documents, an online communication system with text including mathematical expressions, and a subtitle generation and search system for lecture videos containing mathematical expressions in subtitles. As a result of performance experiments of the environment for creating mathematics documents, which is the basis of each tool and system, the results showed that the proposed editor made creating mathematical documents 1.5 times faster than the conventional method using LaTeX. In addition, the editor could improve subjective satisfaction.

研究分野：教育工学、科学教育、学習支援システム

キーワード：数学eラーニング 学習支援システム LMS

1. 研究開始当初の背景

世界的に STEAM 教育 (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics 分野の教育) の導入が始まり、国内においても注目を集めている。特に、数理・データサイエンス教育の強化が叫ばれるなか、その土台となる数学基礎力の養成は急務である。このような背景のもと、事前事後学習の充実を図るために e ラーニングの活用が期待が高まっている。さらに、2020 年以降、新型コロナウイルス感染症拡大に伴う学修機会の確保のために e ラーニングの普及が進み、ポストコロナ期においても、e ラーニングの利点を生かした教育の実現が求められている。

e ラーニングの利点は、時間的・空間的制約なしに講義動画の視聴や掲示板でのコミュニケーション、オンラインテストの受講ができる点などが挙げられる。これらは、学習管理システム (Learning Management System, 以下 LMS) をはじめとする e ラーニング環境がもつ講義動画の配信機能、コミュニケーションツール、オンラインテスト機能などにより実現されている。一方、数学分野では、数式の取り扱いが障壁となり、他の分野に比べ、e ラーニングの普及が遅れてきた。数式は自然言語とは異なる構造をもつため、数式の入力、数式の表示、オンラインテストでの正誤判定など、それぞれに特別な仕組みが必要となる。

とりわけ、数式入力は e ラーニングが提供する各機能に関わる重要な要素であるが、数式入力時の負担が長年の課題となっている。コンピュータでの代表的な数式入力手法として、所定の文法に従って数式を入力するテキストベース入力方式と GUI (Graphical User Interface) を用いた構造ベース入力方式があり、LMS においてもいずれかの手法が利用されている。例えば、 $\sqrt{1-x^2-y^2}$ と入力したい場合、LaTeX の文法を使ったテキストベース入力方式では「`\sqrt{1-x^2-y^2}`」と入力する。特殊記号を多用する点やコマンドに従って入力する必要がある点など、初学者にとって負担が大きい。構造ベース入力方式は、エディタに配置された数式構造や数式要素のテンプレートを選択する形で入力でき、コマンドを覚える必要がないため、初学者向けと考えられている。しかし、数式の構造を把握した上で、適切な順番でテンプレートを選択し、数式を組み立てる必要がある点やマウスとキーボードを併用しなければならない点など、構造ベース入力方式も入力時の負担が大きい。特に、教員への質問やレポート作成、教材作成時など、数式を含む文章を入力する際には、自然言語と数式、それぞれの入力手法を使い分ける必要があるため、入力時の認知負荷が高くなると考えられる。学習者や教員が学習内容そのものに集中できるように数式を含む文章のスムーズな入力の実現が求められる。

また、数式の表示については、MathML (Mathematical Markup Language) と呼ばれるマークアップ言語の登場により、Web ページ上での数式の表示が柔軟に行えるようになった。一方、講義動画の字幕は、動画の使用言語が母国語ではない学習者や聴覚に障害がある学習者など、多様なニーズをもつ学習者に欠かすことのできない機能であるが、数式を含む講義動画に字幕をつける仕組みは未だ確立されていない。

2. 研究の目的

数学 e ラーニングの需要が高まる中、誰もが、できるだけ壁を感じることなく、数学教育を教授できるユニバーサルな数学 e ラーニング環境が求められている。そこで、本研究では、数学 e ラーニングの課題である数式の取り扱いに考慮した、ユニバーサルな数学 e ラーニング環境を実現することを目的に、数式を含む文章作成環境について研究開発を行う。さらに、構築した数式を含む文章作成環境を活用し、円滑なオンラインコミュニケーションシステムと数式を含む講義動画の字幕表示・編集・検索システムについて研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、上記研究目的の達成のために、(1)LMS で利用可能なリッチテキストエディタの開発と評価、(2) 数式とテキストのシームレスな入力を可能とした数学チャットアプリの機能拡張、(3) 数式に対応した講義動画の字幕表示・編集・検索システムの開発に関する研究を実施した。

また、数式を含む文章作成環境には、これまでに申請者らが開発してきた、所望の数式に含まれる数式要素を読み上げる順

番に並べた文字列から人工知能により数式候補を予測し、候補から数式を選択する形で数式入力ができる数式曖昧入力変換方式 (図 1) を活用する。そのため、研究期間全体を通して、数式曖昧入力変換方式を実装した数式入力インタフェース MathTOUCH のユーザインタフェースの改善、機能拡張にも取り組んだ。

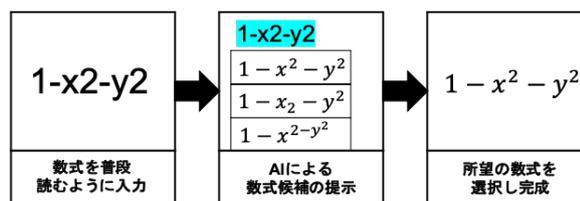


図 1: 数式曖昧入力変換方式による数式入力

4. 研究成果

(1) 数式を含む文章作成のためのリッチテキストエディタの開発と評価

LMS に搭載されているリッチテキストエディタにおける数式入力は、LaTeX 形式または GUI を用いた入力手法が利用されている。背景で述べたように、これらの入力方法はユーザビリティが高いとは言えず、学生のレポート作成や掲示板での質問、教員の教材作成時の負担になっている。そこで、オープンソースの LMS である Moodle 上で利用できるシームレスな数式入力可能なリッチテキストエディタ MathTOUCH Editor を開発した。

図 2 に開発した MathTOUCH Editor の概要図を示す。MathTOUCH Editor は申請者らがこれまでに開発を行ってきた数式曖昧入力変換方式を実装した数式入力インターフェース MathTOUCH (図 3) を搭載したリッチテキストエディタである。エディタ上部に配置された数式入力アイコンをクリックすると MathTOUCH が起動し、数式を入力することができる。MathTOUCH は、MathTOUCH Editor への実装に際し、ユーザインターフェースデザインを一新した。従来の MathTOUCH は図 1 に示すように数式候補を縦方向に表示するインターフェースデザインであったが、LMS への実装を考慮して限られた画面領域でも表示できるように横方向にスクロールして表示するデザインに変更した。また、MathTOUCH は基本的にキーボードのみで入力が完結するが、入力キーワードが分からない、忘れたユーザ向けにソフトウェアキーボードを設置した。MathTOUCH で構築した数式は、二次元表示の数式として MathTOUCH Editor の編集エリアに挿入され、WYSIWYG (What You See Is What You Get) 形式で編集を進めることができる。

MathTOUCH Editor の評価のために、パフォーマンス実験を行った。実験協力者である大学生・大学院生 71 名を 2 群に分け、一方には Moodle の標準エディタで、LaTeX 形式の数式エディタを搭載した Atto Editor を、もう一方には MathTOUCH Editor を使ってもらい、3 種類の数学文書を入力してもらった。その結果、図 4 に示す通り、MathTOUCH Editor では、テキストベース入力方式と比べて、有意に 1.5 倍速く数学文書を入力できることを確認した ($t = 6.10, p < .001$)。また、メンタルワークロード、ユーザビリティに関する主観評価も MathTOUCH Editor を利用した場合の方が、有意に高い評価が得られた。

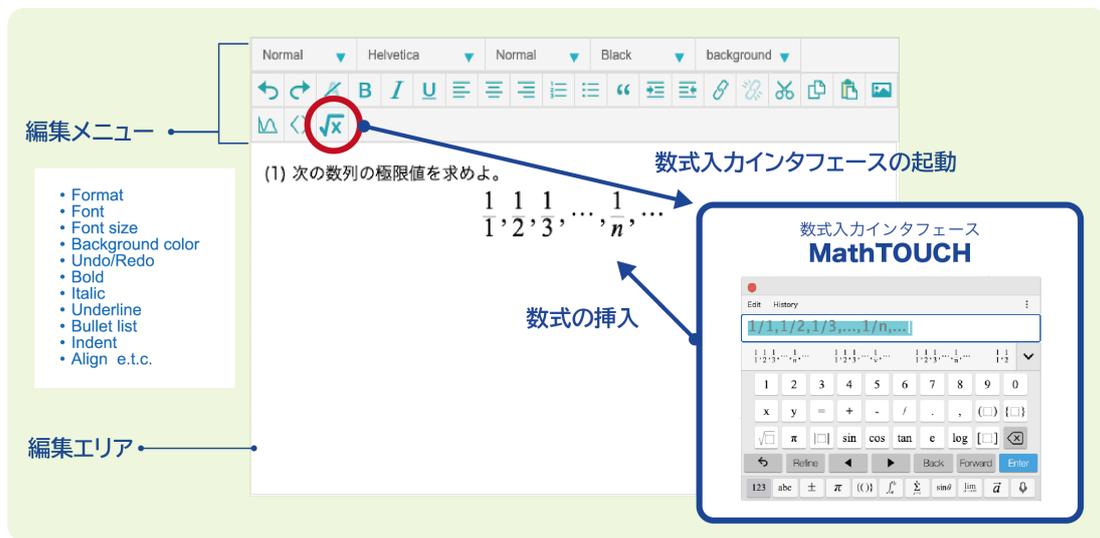


図 2: リッチテキストエディタ MathTOUCH Editor

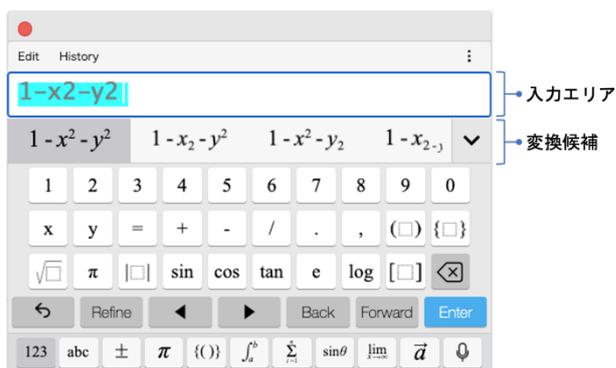


図 3: 改良した MathTOUCH

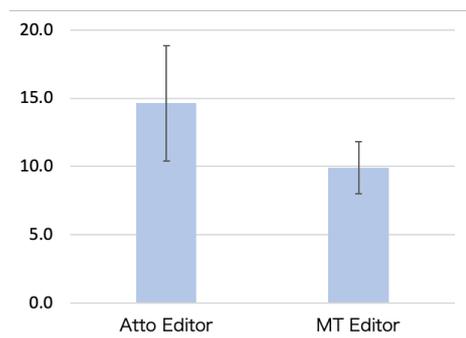
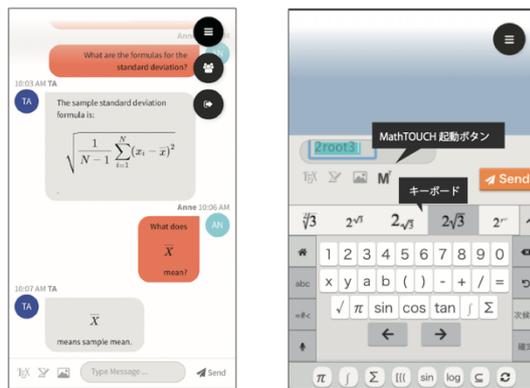


図 4: 平均入力時間の結果 (分)

(2) 数式とテキストのシームレスな入力を可能とした数学チャットアプリの機能拡張

数式の取り扱いに考慮した、円滑なオンラインコミュニケーション環境として、学習者に身近な SNS 風の数学チャットアプリの構築を行った。チャットアプリのプラットフォームには、研究協力者の Trent University の Prof. Pollanen および University of Toronto の Prof. Kang が開発したオープンソースの Mathematics Classroom Collaborator (以下、MC²)を利用した。MC²は、図 5 (左) に示すように、数式に対応したチャットアプリで、数式を含む文章を送信・閲覧することができる。数式入力には、LaTeX によるテキストベース入力方式と非 LaTeX ユーザ向けに独自の GUI エディタを利用できる。しかし、スマートフォンのような画面サイズに制限があるデバイスで利用するには、LaTeX 形式の場合は特殊記号や数字を入力する際に、ソフトウェアキーボードの切り替えが多数発生し、入力効率が悪い。また、独自の GUI エディタは入力時に一旦チャット画面から数式入力画面に切り替える必要があった。そこで、スマートフォンにおいても、スムーズな数式を含む文書の入力・編集ができるよう、MathTOUCH による数式入力インタフェースを用いた機能拡張を行った。



MC²のチャット画面 MathTOUCHによる数式入力
 出典:白井ほか「Mathematics Classroom Collaborator(MC2)の数式入力機能の拡張」(2020)より引用し一部改変

図 5: MC²への MathTOUCH の実装

MathTOUCH を実装したチャット画面のスクリーンショットを図 5 (右) に示す。MathTOUCH ボタンをタップすると MathTOUCH がスクロールアップし、数式が入力できる。数式入力を終わると MathTOUCH のソフトウェアキーボードはスクロールダウンし、標準のキーボードに切り替わるようにし、シームレスな入力を実現した。また、数式入力機能以外にも、実際の授業で必要と考えられるチャット履歴機能とユーザ管理機能の拡張を行った。

(3) 数式に対応した講義動画の字幕表示・編集・検索システムの開発

本研究では数式に対応した講義動画の字幕表示を実現するために Learning Tools Interoperability (LTI) 標準規格に準拠した支援ツールとして講義動画字幕表示・編集・検索システムを構築した。提案システムの概要図を図 6 に示す。提案システムは、① 数式を含む字幕の表示機能、② 講義動画・字幕登録および字幕編集機能、③ 字幕を用いた講義動画の検索機能の 3 つの機能から構成される。

① 数式を含む字幕の表示機能

提案システムは、YouTube で配信されている動画を LMS (Moodle) 上で、数式を含む字幕つきで視聴できる機能を提供する。一般的な字幕は、数式表示に対応していないが、提案システムでは、字幕に含まれる数式部分を二次元形式の数式として表示できる。字幕は講義スライドの文字や図を隠さないよう、講義動画の直下に HTML 形式で表示するようにした。なお、数式の表示には、MathML や LaTeX などで記述した数式を Web ブラウザ上で表示する JavaScript ライブラリである MathJax を使用している。字幕は、表示タイミングとともに LaTeX と HTML 形式でデータベースに保存されており、登録したタイミングで字幕が切り替わる。



図 6: 数式に対応した講義動画字幕表示・編集・検索システムの概要図

② 講義動画・字幕登録および字幕編集機能

講義動画・字幕登録および字幕編集は、LTI ツール上で行う。LTI ツールが起動すると、まず動画・字幕登録画面が表示される。ここでは、YouTube の Video ID を指定すると動画登録され、動画に紐づく字幕が読み込まれる仕組みになっている。続いて、字幕の編集は字幕編集画面で行う。字幕編集画面では、字幕の表示タイミングと字幕の編集ができる。字幕の編集には、MathTOUCH Editor が利用でき、図 7 に示すように編集アイコンをクリックすると MathTOUCH Editor が起動し、WYSIWYG 形式で数式を含む字幕の編集ができる。



図 7: MathTOUCH Editor を活用した字幕編集機能

③ 字幕を用いた講義動画の検索機能

Moodle 上の講義動画の視聴画面では、講義動画の視聴に加え、字幕を対象にキーワード検索が行え、キーワードが含まれる所望の再生位置から講義動画を視聴できる機能を実装した。

講義動画の視聴画面の直下に、図 8 に示すように、検索キーワード欄を配置した。検索キーワードには数式を含めることができ、数式の編集には MathTOUCH を利用できるようにした。検索欄にキーワードを入力し、検索をかけると、検索エリアの直下に検索結果が表示される。検索結果には、再生タイミングと字幕が表示され、クリックするとそのタイミングから講義動画を視聴できる

現在の仕様は、動画配信プラットフォーム上で字幕のタイミングを調整した後、提案システム上で数式部分の編集を行うことを想定している。今後は提案システム上でタイミングや字幕の編集が一括して行えるようシステムの調整を進める予定である。また、数式を二次元形式で表示した場合、視聴する学習者の認知負荷の軽減につながるのか検証を進める予定である。



図 8: 字幕検索・再生機能の使用例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 福井 哲夫, 長谷川 陽和, 原 知鈴	4. 巻 2208
2. 論文標題 解説動画作成のための数学文書読み上げテキストへの変換	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 猪岡 柚葉, 宇都宮 若菜, 國仙 紗也香, 福井 哲夫	4. 巻 2236
2. 論文標題 グラフ作成ツールによる高校数学向け学習教材	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 117-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshinori Miyazaki
2. 発表標題 Development of Search Engine with an Application Annotating the Basis of Mathematical Transformations
3. 学会等名 EDULEARN21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsuo Fukui, Shizuka Shirai
2. 発表標題 Development of Online Support Tools for Creating STEM Educational Materials
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石丸 琴海, 妹尾 美侑, 白井 詩沙香, 福井 哲夫
2. 発表標題 日本語音声認識とGUIによるマルチモーダル数式入力方式の試作
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白井 詩沙香, 中原 敬広, 福井 哲夫
2. 発表標題 数式を含む講義動画に対応した字幕表示システムの構築
3. 学会等名 情報処理学会 第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古川 雅子, 増井 誠生, 長岡 千香子, 森本 容介, 山地 一禎
2. 発表標題 ラーニングアナリティクス共通環境利用支援のための情報サイトの構築
3. 学会等名 情報処理学会 教育学習支援情報システム研究会 第39回研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉富 賢太郎
2. 発表標題 線形代数オンライン教材の対面授業における活用
3. 学会等名 日本数学教育学会 第104回全国算数・数学教育研究(島根)大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉富 賢太郎
2. 発表標題 大福帳に見る線形代数オンライン教材の改善点
3. 学会等名 第5回数学教育セミナー「オンラインを利用した数学教育の現状とこれから」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉富 賢太郎
2. 発表標題 オンライン問題の問題点
3. 学会等名 日本数式処理学会 第16期第1回教育分科会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川 陽和, 原 知鈴, 福井 哲夫
2. 発表標題 数学デジタル文書読み上げツールの開発
3. 学会等名 第20回情報科学技術フォーラム(FIT2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 駿弥, 宮崎 佳典, 中村 泰之, 田中 省作, 新谷 誠
2. 発表標題 数式変形依拠公式提示アプリケーションの機能拡張への試み
3. 学会等名 第46回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 駿弥, 宮崎 佳典, 中村 泰之, 田中 省作, 新谷 誠
2. 発表標題 数式変形依拠公式提示アプリケーションの機能拡張への試み
3. 学会等名 理数系eラーニング学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井 翼, 宮崎 佳典, 中村 泰之, 田中 省作, 新谷 誠
2. 発表標題 数式検索システムの検索機能拡張の試み
3. 学会等名 2021年度 JSiSE 学生研究発表会 (東海地区)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井 詩沙香, 中原 敬広, 福井 哲夫
2. 発表標題 数式eラーニングのための数式予測変換方式によるリッチテキストエディタの試作と評価
3. 学会等名 情報処理学会 教育学習支援情報システム研究会 第36回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 駿弥, 宮崎 佳典, 中村 泰之, 田中 省作, 新谷 誠
2. 発表標題 代数的変形に対応した数式変形依拠公式提示Webアプリケーションの改良
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白井 詩沙香, 中原 敬広, 福井 哲夫
2. 発表標題 数学eラーニングのための数式曖昧入力変換方式によるリッチテキストエディタの開発
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉富 賢太郎, 金西 計英
2. 発表標題 自動生成された多肢選択問題を基軸とした線形代数の反転授業の設計
3. 学会等名 第44回教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎 佳典
2. 発表標題 数式検索ならびに数学教育・学習援用システム開発
3. 学会等名 第44回教育システム情報学会 全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 脇 弘太, 宮崎 佳典
2. 発表標題 代数的変形に対応した拡張数式検索システムの提案
3. 学会等名 日本e-Learning学会 第22回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白井 詩沙香, 福井 哲夫, 中原 敬広, 中村 泰之, 吉富 賢太郎, 宮崎 佳典, 古川 雅子, Sohee Kang, Marco Pollanen
2. 発表標題 Mathematics Classroom Collaborator (MC2) の数式入力機能の拡張
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 脇 弘太, 宮崎 佳典
2. 発表標題 代数的変形に対応した変形依拠公式提示ツールの開発
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

MathTOUCH https://mathtouch.org
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	福井 哲夫 (Fukui Tetsuo) (70218890)	武庫川女子大学・生活環境学部・教授 (34517)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉富 賢太郎 (Yoshitomi Kentaro) (10305609)	大阪公立大学・国際基幹教育機構 ・准教授 (24405)	
研究分担者	中村 泰之 (Nakamura Yasuyuki) (70273208)	名古屋大学・情報学研究科・准教授 (13901)	
研究分担者	宮崎 佳典 (Miyazaki Yoshinori) (00308701)	静岡大学・情報学部・教授 (13801)	
研究分担者	古川 雅子 (Furukawa Masako) (20617287)	国立情報学研究所・情報社会関連研究系・助教 (62615)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
	カナダ	University of Toronto	Trent University