

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：17101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2014

課題番号：22500887

研究課題名(和文) ペンベース携帯端末を活用した授業支援システムの開発とその応用に関する研究

研究課題名(英文) Development of a learning support system using Pen-based mobile devices and its application

研究代表者

藤本 光史 (Fujimoto, Mitsushi)

福岡教育大学・教育学部・教授

研究者番号：20270241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はタブレット端末などのペンベース携帯端末を活用して、普通教室での短時間利用に適した授業支援システム及びそのシステム上で利用可能な教材を開発することを目指して行われた。その結果、数学授業での利用に必要な基本機能を策定し、そのプロトタイプをオープンソースのコースマネジメントシステム上に実装した。また、タブレット端末や電子黒板で利用可能な教育アプリと教材を複数開発した。そして、その開発過程で得た知見を元に、OSの異なる様々な端末で動作可能なマルチプラットフォーム数学アプリの開発手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study was performed to develop a learning support system using Pen-based mobile devices such as tablets which is suitable for short-time use in the classroom, and to make teaching materials for its system. As a result, we drew up the basic functions required for use in mathematics classes, and implemented their prototypes on an open source course management system. Moreover, we developed some educational apps and teaching materials for tablets and interactive whiteboards. Based on the knowledge acquired in their development processes, we proposed a development method for multiplatform mathematics apps which can be run on different computer architectures.

研究分野：教育工学

キーワード：授業支援システム 数式処理システム 教育工学 ペンベース携帯端末 ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は2010年の研究開始までに高等学校・工業高等専門学校・大学などにおいて様々なタイプのコンピュータ活用授業を実施してきた。そして、どのようなタイプのコンピュータが普通教室での授業に適しているかを模索してきた。通常のパソコンはノート型であっても生徒の机を占有し、ノートや教科書を開いた状態で利用することは困難である。また、起動に時間がかかるため短時間の利用には不向きである。授業中に使用できるまでに5分かかってしまえば、授業の流れが止まり生徒は関心を持続できない。さらに、教育現場では黒板とノートを用いた伝統的な授業スタイルが好まれる傾向があるため、パソコンのようなコンピュータの導入に否定的な声も多く聞かれた。

このような状況から、普通教室で定規やコンパスのように手軽にコンピュータを利用するためには、以下の要素が不可欠であると Fujimoto-Suzuki は提案した([1])。

- ・生徒の机上で邪魔にならない大きさ
- ・ON/OFF が瞬時で可能
- ・操作が簡単でマニュアルなしで利用可能
- ・十分な画面解像度

そして、PDA のようなペンベース携帯端末がこれらの条件を満たす最適なデバイスであるとした。ペンベース携帯端末は小型で場所を取らず、機動性が高く、十分な解像度の画面を持つ。そして、キーボードがなくともスタイラス(タッチペン)や指で操作が可能である。このタイプのコンピュータであれば普通教室での利用が可能で、黒板とノートを用いた伝統的な授業スタイルを壊すことはないという仮説を立てた。

この仮説を立証するために、藤本は2003年にPDA用の手書き数式入力対応数式処理システムの開発を開始し([2])、2005年にそのプロトタイプを用いて中学校で「RSA暗号についての実証授業」を実施した([3])。さらに、2006年に福岡県教育センターとの共同で福岡県内の小学校において無線LANとNintendo DSを用いた算数の実証授業を行った([4])。この2つの実証授業によって、ペンベース携帯端末の教育利用は、生徒達の興味を持続させると同時に生徒の学習状況を把握することにも有効であることを明らかにできた。

2010年にはタブレット端末が一般に販売されるようになり、普通教室への電子黒板の導入も始まった。また、タブレット端末に手書き入力するためのスタイラスの需要も増えている。今後はタブレット端末を教育用ペンベース携帯端末として利用する時代となるであろう。その前に我々はペンベース型インタフェースがどのような教科・単元で有効かを知る必要がある。そして、タブレット端末や電子黒板を活用した授業支援システムが今まさに求められている。

<引用文献>

[1] M. Fujimoto, M. Suzuki: AsirPad—a computer algebra system with a Pen-based interface on PDA, Proceedings of the Seventh Asian Symposium on Computer Mathematics, (2005) 259–262.

[2] 藤本光史: PDA 用手書き数式入力インターフェース AsirPad の開発, 京都大学数理解析研究所講究録 1395, (2004) 132–137.

[3] 藤本光史, 鈴木昌和, 金堀利洋: PDA と手書き数式インターフェースを用いた実践授業について, SSS2006 情報教育シンポジウム論文集, (2006) 331–338.

[4] 藤本光史: 無線LANとペンベース型端末を用いた算数授業の可能性について, 京都大学数理解析研究所講究録 1572, (2007) 66–71.

2. 研究の目的

本研究は、Nintendo DS や iPad などのペンベース携帯端末を活用して小学校・中学校・高等学校の普通教室での短時間利用に適したペンベース型授業支援システムを開発し、それを用いた場合の効果を明らかにすることを目的とする。この目的を達成するために「調査、設計、開発、応用」の4つのステップを設定し、各ステップに以下のような具体的な目標を設定した。

(1) 調査

小学校・中学校・高等学校の教科「国語・算数/数学・理科・社会・英語」において、ペンベース携帯端末の導入が可能な単元および場面を明らかにする。そのために、平成23年度から実施予定の新学習指導要領に準拠した「国語・算数/数学・理科・社会・英語」の教科書を調査し、すべての単元において、「ペンベース教材適合度」を元に短時間のペンベース携帯端末利用が可能な場面を明らかにする。

(2) 設計

ペンベース携帯端末を教育利用する際に必要となる機能と効果的なユーザインタフェースについて、教育的な視点から設計する。教育的な視点とは、「使用者の年齢・過去の学習内容・コンピュータスキル・障害の有無などを考慮する」という意味であり、ペンベース型アプリのユーザインタフェースに使用者の状況・状態に合わせた配慮を施すことを目指す。

(3) 開発

上の結果を元に、ペンベース型教育アプリを開発する。ここでは、iOS / Android / Windows などの異なる種類の OS に対応できるようにマルチプラットフォームな開発手法を提案し、実際にいくつかのプロトタイプを作成する。

(4) 応用

開発されたアプリケーションを活用したペンベース型教材を作成し、実証授業を行い、その有効性を評価する。アプリや端末の機動性・省スペース性・操作性・学習効果などの項目について評価を行い、その有効性を明らかにする。

本研究の最大の特徴は、ペンベース携帯端末とペンベース型教材の活用によって、普通教室でのコンピュータの「文房具」的活用法を明らかにすることである。本研究によって開発されたシステムと教材は、机上に教科書とノートを開いた状態での利用を可能とするものである。そして、起動・終了の高速性により、授業中の数分間のみの利用であっても、授業を中断することなく、「黒板による授業」から「コンピュータ利用授業」、そしてその逆をスムーズに行うことが可能となる。このように普通教室におけるパソコンや電卓利用時の欠点を補い、普通教室におけるコンピュータ利用の促進が期待できる。また、手書き入力を用いることで、特殊な入力方法や操作方法を知らずともコンピュータを操作することが可能になり、教育効果を高めることが期待できる。現場の教師にとっては、これまでの授業スタイルを尊重しつつ、コンピュータを授業に取り入れることが可能となる。さらに、産業界にとっては、ペンベース型アプリやペンベース型教材という新たな市場の発展が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 「ペンベース型教材適合度」の策定

これまでのペンベース型アプリと教材を作成した実績を元にして、既存のペンベース型教育アプリのユーザインタフェースと教育的配慮について調査を行い、教育アプリの評価基準を策定する。これを使って、国語・算数／数学・理科・社会・英語の各単元において、ペンベース型教材が利用可能かどうかをチェックするための項目と基準を作成し、各項目の評価点からペンベース型教材適合度を策定する。基準値の算出については、各項目の評価点の単なる合計ではなく、これまでに取り組んできた算数／数学の検証結果に合致するよう検討を行い、重み付けした上で算出することとする。

(2) デジタル教科書の調査

小学校・中学校・高等学校の教師用および生徒用デジタル教科書のユーザインタフェースと機能について調査する。ここでは、平成 23 年度から実施予定の新学習指導要領に対応した各教科の教科書を調査対象とする。

(3) ペンベース型アプリの仕様策定

ペンベース型教育アプリの機能とユーザインタフェースについて検討し、仕様策定を行う。機能については、各単元において「5分程度の短時間の利用」が可能なものを中心

に取り入れるようにする。また、ユーザインタフェースについては、「マニュアルなしでの利用」が可能のように特に重視し教育的視点からの検討を行うこととする。

(4) ペンベース型教育アプリの開発

上で策定された仕様に基づき、ペンベース型教育アプリの開発を行う。算数／数学用のペンベース型アプリとして、手書きで数式を入力し、その正当性をチェックするものや、理科用として、手書きで化学反応式を入力し、その正当性を数式処理でチェックするものなどを開発する。

(5) ペンベース型教材の作成

上で開発されたペンベース型教育アプリの効果的な利用が期待できる学習教材を開発する。これについては、藤本は既に小学生用の「平行四辺形の面積」、「一筆書き問題」、中学数学用の「RSA 暗号」、中学理科用の「減圧の世界」、「ものが燃える条件」を作成済みである。これらの実績を元に、これまでの伝統的な授業スタイルを崩さず、アプリの短時間利用を想定した新しい教材の開発を行う。

(6) 検証授業の実施

本研究で開発したアプリケーションと教材を用いて、福岡県内の協力学校において検証授業を実施する。すべての検証授業は非パソコン教室で行うこととする。

4. 研究成果

(1) ペンベース型アプリの評価基準の策定

既存の入手可能なペンベース型アプリとして、Nintendo DS 用ソフト 7 本と iPad 用教育アプリ 7 本を選び、これらのユーザインタフェースと教育的配慮について詳細に調べた。ユーザインタフェースについては「手書き文字の認識精度」や「誤認識時の次候補の数」などを、教育的配慮については「正解した場合の励まし機能」や「BGM の有無」などを重点的に調査し、これを元にペンベース型教育アプリの評価基準を策定した。この基準によって、評価の高い教育アプリに共通する要素を抽出することができるようになった。また、これを発展させることで、様々な教科のどの単元でペンベース型教材が利用可能かを判断するための「ペンベース型教材適合度」も策定することができた。

(2) デジタル教科書の機能調査

既存の入手可能な電子黒板向け教師用デジタル教科書から小学校用算数(2社)と中学校用数学(1社)を、タブレット端末向け生徒用デジタル教科書から高校用 6 教科(国語古典、世界史、数学、化学、英語、情報)を選び、これらのユーザインタフェースと機能について調査すると共に通常の紙の教科書とのコンテンツの違いについても調べた。この結果、現在のデジタル教科書に不足する部分を

把握することができた。また、調査の過程から教科書に現れるイラストを教師が再利用できることが重要であることに気付き、小学校の算数でどれくらいのイラストが使用されているかも調査した。

(3) 数学 e ラーニングに必要な基本機能の策定とプロトタイプ実装

ペンベース携帯情報端末を活用した授業支援システムの実現のために、既存の数学 e ラーニングシステム UPO-NET 及び Stack の調査を行った。それぞれのシステムの数式入力と正答判定の方法を詳細に調べ、ペンベース携帯端末からの利用に必要な機能をまとめた。そして、これを元にして以下の数学 e ラーニングに必要な基本機能を策定した。

- ・数式表示機能
- ・数式入力機能
- ・数学関数のグラフ描画機能
- ・図の手書き入力機能
- ・生徒の解答の自動チェック機能

そして、これらの機能のプロトタイプ実装として、オープンソースの CMS である Moodle を拡張し、ペンベース携帯端末からの数式の入力と表示機能、及び関数グラフの描画機能を実装した。数式表示においては、MathML に非対応の端末に対しても CSS を用いて数式を表示できるようにした。この成果は数式処理システムのユーザインタフェースに関する国際ワークショップで発表した(学会発表⑯)。さらに、生徒の解答の自動チェック機能の実現のために、数式評価に使用可能な数式の単純化アルゴリズムを数式処理システムに実装した(雑誌論文⑦)。また、タブレット端末をこの授業支援システムのクライアントとするために、タブレット端末上で動作する数式処理システムの実装を行った(雑誌論文①、ソフトウェア①)。

(4) 教育アプリの開発

授業支援システムを補うツールとして、タブレット端末上で動作する教育アプリを複数本作成した。具体的には、数学用として、ルービックキューブを画面上で操作し、その操作を何回繰り返すと元に戻るかを求め、崩れた状態から解法を示してくれるアプリを開発した(ソフトウェア②)。この他にも英語、化学、数学で利用可能なアプリを開発した。

(5) マルチプラットフォームな数学アプリの開発手法

現在のタブレット端末には iOS と Android と Windows という 3 つのプラットフォームがあり、アプリ開発手法はそれぞれ異なっている。特に、数式処理システムのように OS に強く依存するタイプのソフトウェアは、このプラットフォーム問題を避けられない。しかし、アプリを計算エンジンと GUI の二部に分け、GUI 部を共通化することは可能であ

る。そこで、GUI をマルチプラットフォーム GUI ツールキットである QtQuick で、数式表示には WebView と MathJax を、さらに計算エンジンとの通信には OpenXM プロトコルを採用することでマルチプラットフォーム化することに成功した。ここで提案した開発手法は、Windows / MacOS X / Linux / Android / iOS などの様々なプラットフォームで共通な数学アプリを開発するためのものであり、この成果は 2 つの国際会議で発表された(学会発表④、⑤)。

(6) ペンベース型教材の開発

タブレット端末上のアプリを用いることを前提とした教材を複数作成した。具体的には、高等学校の課題研究用教材として、公開鍵暗号の仕組みを理解し体験プログラムの作成を目指す「公開鍵暗号メッセージの暗号化と復号化」や、小学校の算数用教材として、格子多角形の面積を求める公式の理解を目指す「ピックの定理に触れよう」などである。後者は、タブレット端末や電子黒板上で格子多角形を描き、指で図形を変形させることで、ピックの定理の意味を理解できるようになっている。

(7) 実証授業

上で作成した教材が実際の学習過程に無理がないか確認するために、福岡県内の高校(理数科 2 年生)で 9 ヶ月に渡って授業を行った。使用した教材は「公開鍵暗号メッセージの暗号化と復号化」であり、パソコン教室ではなく普通教室で実施した。50 分×9 回の授業でプログラミング未経験の高校生も最終的にはメッセージの暗号化と複合化を行うプログラムの作成が可能であることを確認できた。この成果は、日本数式処理学会東北地区合同分科会において招待講演として発表した(学会発表⑦)。この他にも、福岡教育大学附属小中学校教員を対象とした「授業力向上のための現職教員セミナー」において教材を使用し、アプリと教材の教育現場での利用について検討を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Mitsushi Fujimoto, The current state of computer algebra system on tablet devices, 京都大学数理解析研究所講究録、査読無、1930 巻、2015、pp.93-100
- ② 藤本 光史, タブレット端末への数式処理システムの実装手法、京都大学数理解析研究所講究録、査読無、1927 巻、2014、pp.89-102
- ③ Mitsushi Fujimoto, An implementation method of a CAS with a handwriting interface on tablet devices, Proceedings of the 4th International Congress on Mathematical Software、査読有、2014、

pp.545-548

④ Mitsushi Fujimoto, How to develop a mobile computer algebra system, Proceedings of the 39th International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, 査読有, 2014, pp.20-20 DOI: 10.1145/2608628.2627492

⑤ 藤本 光史, 泊 昌孝, An adventure of chasing operations with order 11 on Rubik's Cube, 数式処理, 査読無, Vol.20, No.2, 2014, pp.50-53

⑥ 藤本 光史, 泊 昌孝, 数式処理を用いたルービックキューブの素数位数操作の探求, 九州大学MIレクチャーノート, 査読無, Vol.49, 2013, pp.69-77

⑦ 豊田 晴一, 藤本 光史, An implementation of simplification on Risa/Asir and its application, 数式処理, 査読無, Vol.18, No.2, 2012, pp.29-32

⑧ Mitsushi Fujimoto, Stephen M. Watt, An Interface for Math e-Learning on Pen-Based Mobile Devices, Proceedings of the Workshop on Mathematical User-Interfaces 2010, 査読有, 2010, 10 ページ,

<http://www.activemath.org/workshops/MathUI/10/proc/FujimotoWatt.html>

⑨ 藤本 光史, ペンベース携帯情報端末の通常授業における活用の試み, コンピュータ&エデュケーション, 査読有, 28 巻, 2010, pp.29-34

[学会発表] (計 18 件)

① 藤本 光史, QtQuick と MathJax による数式処理 GUI の作成, Risa/Asir Conference 2015, 2015 年 3 月 18 日, 金沢大学 (金沢市・石川県)

② 藤本 光史, マルチプラットフォーム数式処理アプリの作成について, 日本学術振興会平成 26 年度科学研究費補助金等による研究集会「科学情報の電子化・自動処理, およびそのアクセシビリティ」, 2015 年 2 月 7 日, 日本大学 (千代田区・東京都)

③ 藤本 光史, タブレット端末への数式処理システムの実装手法, RIMS Workshop on Developments in Computer Algebra Research, 2014 年 8 月 21 日, 京都大学数理解析研究所 (京都市・京都府)

④ Mitsushi Fujimoto, An implementation method of a CAS with a handwriting interface on tablet devices, The 4th International Congress on Mathematical Software, 2014 年 8 月 8 日, 漢陽大学 (ソウル・韓国)

⑤ Mitsushi Fujimoto, How to develop a mobile computer algebra system (招待講演), The 39th International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, 2014 年 7 月 22 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑥ 藤本 光史, Risa/Asir on various compact

devices, Risa/Asir Conference 2014, 2014 年 3 月 5 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑦ 藤本 光史, SSH 指定校における数式処理を用いた暗号学習について (招待講演), 日本数式処理学会 東北地区合同分科会, 2014 年 1 月 26 日, 仙台青葉カルチャーセンター (仙台市・宮城県)

⑧ 藤本 光史, 泊 昌孝, 数式処理を用いたルービックキューブの素数位数操作の探求, IMI 研究集会「数式処理研究と産学連携の新たな発展」, 2013 年 8 月 22 日, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 (福岡市・福岡県)

⑨ 藤本 光史, 泊 昌孝, An adventure of chasing operations with order 11 on Rubik's Cube, 日本数式処理学会第 22 回大会, 2013 年 6 月 8 日, 防衛大学校 (横須賀市・神奈川県)

⑩ 藤本 光史, On a port of Risa/Asir for the Android platform, Risa/Asir Conference 2013, 2013 年 3 月 17 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑪ Mitsushi Fujimoto, The current state of computer algebra system on tablet devices, RIMS Workshop on Developments in Computer Algebra Research, 2012 年 7 月 5 日, 京都大学数理解析研究所 (京都市・京都府)

⑫ 藤本 光史, タブレット端末上の数式処理システムの現状とその実装, Sage days in Japan, 2012 年 5 月 27 日, 九州大学 (福岡市・福岡県)

⑬ 藤本 光史, The current state of CAS on tablet devices, Risa/Asir Conference 2012, 2012 年 3 月 21 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑭ 豊田 晴一, 藤本 光史, An implementation of simplification on Risa/Asir and its application, 日本数式処理学会第 20 回大会, 2011 年 9 月 9 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑮ 藤本 光史, Basic requirements for mobile math e-Learning and its prototype implementation, Risa/Asir Conference 2011, 2011 年 3 月 21 日, 神戸大学 (神戸市・兵庫県)

⑯ 藤本 光史, モバイル数学 e-Learning ー基本機能とプロトタイプ実装ー, 「科学情報の電子化・自動処理・アクセシビリティをめぐる諸問題」研究集会, 2011 年 2 月 11 日, 筑波技術大学 (つくば市・茨城県)

⑰ Mitsushi Fujimoto, Stephen M. Watt, An Interface for Math e-Learning on Pen-Based Mobile Devices, Mathematical User-Interfaces Workshop 2010 at the ninth Mathematical Knowledge Management Conference, 2010 年 7 月 10 日, Conservatoire National des Arts et Métiers (パリ・仏)

⑱ Mitsushi Fujimoto, The State of

Computer Algebra on Compact Devices,
Third Workshop on Compact Computer
Algebra in Conferences on Intelligent
Computer Mathematics 2010、2010年7月
6日、Conservatoire National des Arts et
Métiers (パリ・仏)

[図書] (計1件)

①豊田 晴一、金光 理、白石 正人、中西 純
司、藤本 光史、FOM出版、教師をめざす
学生のための情報リテラシー、2011、282 ペ
ージ

[その他]

ホームページ等

①Asir on Android

[http://ww1.fukuoka-edu.ac.jp/~fujimoto/
asiroid/](http://ww1.fukuoka-edu.ac.jp/~fujimoto/asiroid/)

②Rubik's cube solver

[http://ww1.fukuoka-edu.ac.jp/~fujimoto/
rubiksolver.html](http://ww1.fukuoka-edu.ac.jp/~fujimoto/rubiksolver.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 光史 (FUJIMOTO, Mitsushi)

福岡教育大学・教育学部・教授

研究者番号：20270241