

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282033

研究課題名(和文) 数学オンラインテストの解答過程追跡型学習データ解析を基盤とした知識構築のモデル化

研究課題名(英文) Model of knowledge construction based on analysis of answering process data for mathematics online test

研究代表者

中村 泰之 (Nakamura, Yasuyuki)

名古屋大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：70273208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：eラーニングのオンラインテストの中の、近年利用が増加してきた数式自動採点システムのさらなる普及と、そのシステムに蓄積されたデータを元にした学生の、知識獲得のモデル構築を目的として研究を行った。まず、数式自動採点システムのさらなる普及のために、従来から指摘されてきた数式入力改善を行った。具体的には、スマートフォンなどのデバイスでも数式入力を容易に行うことのできる、フリック入力方式を応用した数式入力インターフェースを開発した。また、知識獲得のモデル構築としては、オンラインテストで得られた解答データを元にして、学生の理解度をベイジアンネットワークを活用して推論を行う仕組みを提案した。

研究成果の概要(英文)：We conducted research on e-learning online testing for the further spread of mathematical formula automatic assessment system which has been increasingly used in recent years and the modeling of knowledge acquisition by students based on data accumulated in the system. First of all, in order to further spread the mathematical formula automatic assessment system, we improved the mathematical expression input which has been conventionally pointed out. Specifically, we have developed a mathematical expression input interface applying a flick input method that can easily input mathematical formulas in devices such as smartphones. In addition, as a model construction of knowledge acquisition, based on the answer data obtained in the online test, we proposed a mechanism for inferring students' understanding level by using Bayesian network.

研究分野：eラーニング

キーワード：eラーニング 科学教育 オンラインテスト ラーニング・アナリティクス

1. 研究開始当初の背景

近年の通信環境の高速化・広帯域化、また様々なインターネット技術の開発に伴い、教育にコンピュータを利用する、いわゆるeラーニングの有効性を考慮し、学習を支援するためのシステムとして、学習支援システム(LMS)が多くの機関で導入されている。LMSを導入することの利点として、教材の配布などだけでなく、オンラインテストという形式で、学生が時間・場所に拘束されることなく、納得のいくまで課題に取り組み、しかもその結果が自動的に採点・評価され、学生の理解度を向上させる機能が含まれている点あげられる。これらは、学生の立場に立った利点であり、特徴である。一方、LMSとeポートフォリオシステムなどを連携させることにより、学習・教育活動の詳細な履歴データが蓄積され、授業設計、学習行動の予測、学習者支援、さらに学習効果の改善などに役立てようという、新しい学習科学・教育学方法論としてのラーニング・アナリティクス(LA)が近年注目されるようになってきた。しかし、高等教育を念頭においた、知識獲得の一般的な学習理論というものは、確立されていない。

2. 研究の目的

本研究ではいかに多くの学習データを蓄積していくかが重要と考えられる。近年では、PCを端末とした学習だけでなく、スマートフォンやタブレット端末を活用したモバイル型デバイスによる学習環境の構築も盛んに行われており、数学オンラインテストも、このような環境に対応することにより、学習データの蓄積を促進することができる。そこで、数式入力インターフェースを開発する。また、数学オンラインテストの解答過程が蓄積された学習データの解析結果を基盤として、学生の数学的知識獲得過程、あるいは数学的知識創造過程を記述する、数理モデルを構築する。

3. 研究の方法

本研究では、数学オンラインテスト環境として、英国バーミンガム大学で開発され、我々が日本語化したシステムである、STACK(System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel, <http://www.stack.bham.ac.uk/>)を中心に利用する

スマートフォンなどのモバイル端末からオンラインテストを受験するということは、テストをドリル的に活用し、受験機会を増やすという意味で非常に有効な環境であると考えられる。また、デスクトップ環境とは異なる環境での学習データの蓄積のためにも、モバイル端末からの利用を想定した環境整備は

重要であると考えた。そこで、テストの解答を数式で入力するSTACKをモバイル端末から利用する際、効率よく数式入力を行うために、スマートフォン用の数式入力インターフェースを開発した。具体的には、日本語のフリック入力を念頭においた、数式のフリック入力を可能にするインターフェースである。

蓄積されたデータから、解答過程モデル化のための理論的基盤の確立を目指した。解答過程とはSTACKに備わっている解答処理のメカニズムであるポテンシャル・レスポンス・ツリー要素の時間的推移に他ならない。この様子をネットワークのダイナミクス、あるいはテンポラル・ネットワークとして表現することも有向な可視化の候補と考えられる。このように、理論的な基盤としてはネットワーク科学の知見を応用できると考えた。

これまでのデータ蓄積、その解析を基盤として、知識獲得過程の数理モデル化を行う。具体的にはネットワーク科学の知見を土台として、ベイジアンネットワークを利用しながら、得られた解答結果から獲得知識レベルの推論を行う。

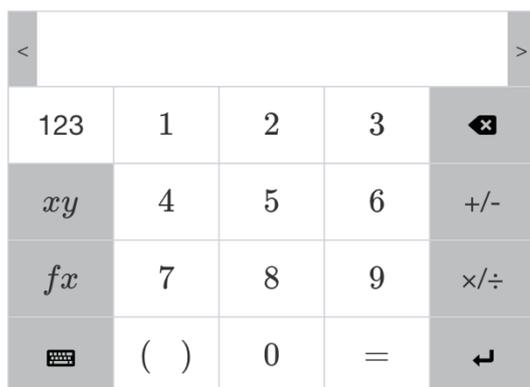
4. 研究成果

(1) 数式入力インターフェースの開発

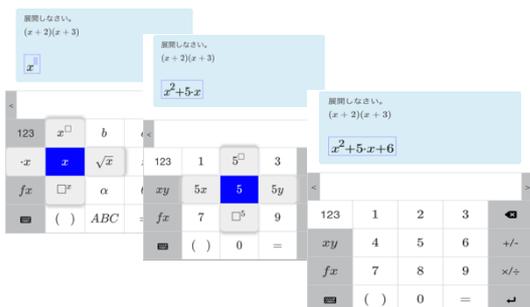
オンラインテストをドリル的に活用する場合、PCだけでなく、スマートフォンなどのモバイルデバイスを利用して、いつでもどこでもテストに取り組むことができれば、活用範囲は広がると考えられる。一方で、選択型や数値入力型ではなく、数式を入力する場合、入力の煩雑さという問題点に直面する。例えば、 $(x+2)(x+3)$ を展開せよ、という問題に対して x^2+5x+6 と解答する場合、多くのシステムでは $x^2+5*x+6$ のように「一次元的」に入力する必要がある。しかし、数字と記号が混在し、スマートフォンのキーボード画面を何度も切り替える必要が生じ、その操作も合わせて19回のキータッチを求められる。実際、スマートフォンの利用に限らず、PCでの利用の場合でも数式入力は課題の一つとなっており、次節で紹介するように、いくつかの試みが見られる。今回我々は、スマートフォンなどのモバイルデバイスを活用して、数学オンラインテストシステムによる計算問題のドリル学習を効率的に行うことを目指し、モバイルデバイス用数式入力インターフェースを試作した。

我々は、モバイルデバイスでの数式入力の煩雑さを軽減するために、主にモバイルデバイスで利用されているフリック入力を応用することができないかという着想のもと、STACKでの利用を想定して、フリック入力方式数式入力インターフェースの開発に着手した。このインターフェースの開発により、数学オンラインテストのドリル的な活用機会が増えると期待している。

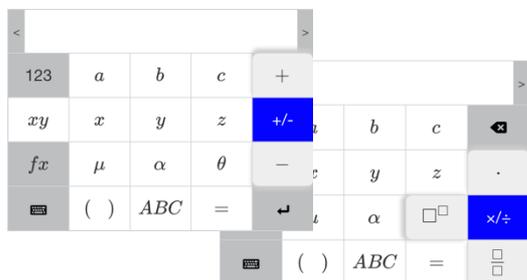
下図に基本のインターフェースを示した。左列の「123」キーで数字、「xy」キーでアルファベット・ギリシャ文字のキーボードに切り替えられ、「fx」で三角関数、指数関数などの関数がポップアップで現れる。右側の列に基本演算キーが割り当てられている。



$(x+2)(x+3)$ を展開せよ、という問題に対して x^2+5x+6 を解答する場合の数式の入力の様子を下図に示す。 x をタップし上方方向フリックすることにより、 x の指数入力待機状態となるので、数字の2を入力する。その後 $+$ を入力した後、5 をタップし左方向にフリックすることにより $5x$ が入力される。そして、 $+$ 、6 を順番に入力し、数式の入力を終える。



このように比較的良好に入力される数値と x あるいは y の積をあらかじめ用意することにより、入力の手間を省く工夫をしている。また、次のような演算子のフリック入力を用意している。



実際に、数式入力の際のキータッチ数は減っており、入力の軽減につながっていると考えられる。関数の入力において、それは顕著であることが伺える（以上、論文[10]）。

さらに、テンキーを中心としたフリック式数式入力支援環境を拡張し、必要に応じてフルキーボードに切り替えて数式入力が可能となるようにした。フルキーボードでも各キ

ーから様々な演算が入力できるようになっている（拡張フルキーボード）。これにより、従来、クリックとタップのイベントの種類の違いによりタブレットでは利用できなかった MathDOX がタブレットでも利用可能となった。

下図に基本のインターフェースを示した。Qwerty 配列のアルファベットのキーボードの上部に数字を配置した一般的なキーボードと同様である。図のテンキー型キーの左下のキーボードのアイコンをタップすることでこのキーボードの切り替わるようになっている。また、左下のテンキーのアイコンをタップするとテンキーに戻る。また、「ABC」キーをタップする毎にアルファベット大文字、ギリシャ文字のキーボードに順番に切り替わる。ギリシャ語はギリシャ語キーボード配列を採用している。三角関数、指数関数など関数を入力するための「fx」キー、上下左右のカーソルキー、「=」キー、「+/-」キー、「x/÷」キーはテンキーの場合と同様である。

フルキーボードの各キーからの演算操作は、テンキーの上下左右方向にフリックで入力する方法ではなく、各キーをタップした時に上部に吹き出しの形式で表示される形式とした。これは、テンキーに比べてフルキーボードの場合各キーが小さいため、操作性の向上を狙ったためである。演算操作として、 $+x$ 、 $-x$ 、 $\cdot x$ 、 x^\square 、 \square^x を可能とした（以上、論文[12][15]）。

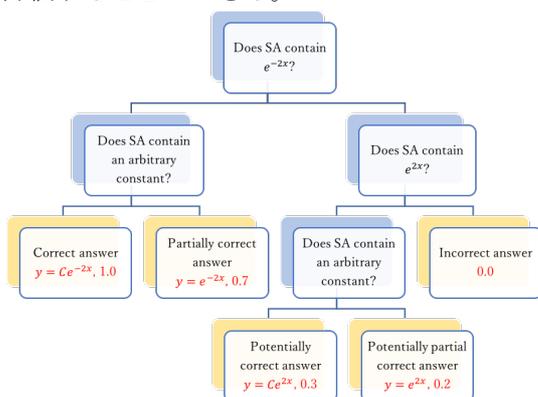


(2) ペイジアンネットワークを用いた習得知識の推論

STACK のような数式を解答として入力できるオンラインテストシステムを利用することにより、正誤評価だけでなく、ポテンシャル・レスポンス・ツリーを活用することにより部分点を与えたり、適切なフィードバックを与えたりすることができる。例えば、微分方程式 $dy/dx + 2y = 0$ を解く問題に対するポテンシャル・レスポンス・ツリーで、もし学生が $y = Ce^{2x}$ という解答を提出した場合、採点結果は0となる。しかし、学生の微分方程式の解法に関する理解度は本当は0であろうか？解法は理解しているけれども、計算ミスにより間違っただけかもしれない。

そこで、学生の解答の分類に基づいた構成となっていたものに代わり、知識階層に基づ

いた下図のようなポテンシャル・レスポンス・ツリーの構成を考える。まず、「解答に e^{-2x} が含まれるかどうか」に応じて分類する。これは、「学生が微分方程式の解法を“基本的”に理解している」というイベント（イベント A）とする。このイベント A が観測されたという条件のもとで、「一階常微分方程式の一般解には任意定数が含まれる」というイベント（イベント B）を考える。このイベントが実現することにより、「学生は正解 $y = Ce^{-2x}$ を得る」というイベント（イベント C）が観測されるとする。もし、イベント A が観測されなかった場合、「解答に e^{2x} が含まれるかどうか」、つまり「学生は微分方程式の解法を基本的には理解しているが、計算ミスをした」というイベント（イベント D）を検討する。同様にイベント E、イベント F も検討することができる。このようにして、知識階層を元にしたポテンシャル・レスポンス・ツリーを構成することにより、学生が提示する各解答の実現可能性を条件付き確率により評価することができる。



このポテンシャル・レスポンス・ツリーを確率ネットワークの一つであるベイジアンネットワークとみなすことにより、ある解答が得られた時に、学生の微分方程式の解法を理解している確率を推論することが可能である。なお、この推論に必要な条件付き確率は学生の解答データから評価することができる。

残念ながら、実データを元にした検証はできていないが、今後この推論手法について実証していくことが望まれる（以上、論文[17]）。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 17 件）

- [1] Bayesian Inference of Students' Knowledge Based on a Potential Answer Tree of Mathematics e-Learning System STACK, Yasuyuki Nakamura, Proceedings of 29th annual conference of the Society for Information Technology and Teacher Education, 1 巻（頁：0）, 2018 年, 査読有
- [2] Authoring Quizzes with Interactive

Content on the Mathematics e-Learning System STACK, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Masataka Kaneko, Setsuo Takato, Lecture Notes in Computer Science, 10407 巻（頁：273-284）, 2017 年, 査読有

- [3] A New Mathematics Input Interface with Flick Operation for Mobile Devices, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, MSOR Connections, 15 巻 2 号（頁：76-82）, 2017 年, 査読有
- [4] Enhancement of Plotting Environment of STACK with Gnuplot, Kenji Fukazawa, Yasuyuki Nakamura, Proceedings of 21st Asian Technology Conference in Mathematics（頁：1-9）, 2016 年, 査読有
- [5] 第 6 回 Learning Analytics & Knowledge Conference (LAK16) 参加報告, 古川雅子, 山地一禎, 安武公二, 中村泰之, 山田恒夫, 梶田将司, 情報教育シンポジウム 2016 論文集, 2016 巻（頁：53-58）, 2016 年, 査読有
- [6] モバイルデバイス用数式入力支援環境の拡張, 中村泰之, 中原敬広, 2016 PC カンファレンス論文集（頁：161-162）, 2016 年, 査読無
- [7] 最先端の Learning Analytics 研究を目指して - 一周遅れのわが国の LA 研究を打破するために -, 安武公二, 中村泰之, 山地一禎, 古川雅子, 梶田将司, 山川修, 多川孝央, 教育システム情報学会第 41 回全国大会論文集（頁：345-346）, 2016 年, 査読無
- [8] DEVELOPMENT OF A MATH INPUT INTERFACE WITH FLICK OPERATION FOR MOBILE DEVICES, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Proceedings of 12th International Conference on Mobile Learning 2016（頁：113-116）, 2016 年, 査読有
- [9] 項目応答理論による自動評価機能を有した数学オンラインテスト用コンテンツバンクの開発, 中村泰之, 谷口哲也, 中原敬広, 情報処理学会研究報告「コンピュータと教育」, 2016-CE-133 巻 5 号（頁：1-5）, 2016 年, 査読無
- [10] Moodle と STACK による微分方程式, ガンマ関数, ベータ関数の問題, 谷口哲也, 宇田川誠一, 中村泰之, 中原敬広, 数理解析研究所講義録「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 1978 巻（頁：79-86）, 2015 年, 査読無
- [11] STACK 上での KETpic の利用について, 深澤謙次, 中原敬広, 中村泰之, 高遠節夫, 数理解析研究所講義録「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 1978 巻（頁：150-157）, 2015 年, 査読無

- [12] Evolutionary Games on Multiplex Networks: Effects of Network Structures on Cooperation, Yasuyuki Nakamura, Yusuke Nagashima and Koichi Yasutake, Proceedings of 11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (頁:444-447), 2015年, 査読有
- [13] RESTful Web API とマッシュアップ技術を活用した Web コンテンツ内数式処理と入出力及び可視化の検討, 中野裕司, 永井孝幸, 中村泰之, 稲垣佑亮, Wannous Muhammad, 喜多敏博, 宇佐川毅, 情報処理学会研究報告教育学習支援情報システム (CLE), 2015-CLE-16 巻 7 号 (頁:1-6), 2015年, 査読無
- [14] Item Bank System for the Mathematics e-Learning System STACK, Yasuyuki Nakamura, Tetsuya Taniguchi, Takahiro Nakahara, Research Journal of Mathematics & Technology, 3 巻 2 号 (頁:77-85), 2014年, 査読有
- [15] A Mathematical Model of Collaborative Learning using Differential Equations, Shinnosuke NISHI, Yasuyuki NAKAMURA, Koichi YASUTAKE, Osamu YAMAKAWA, Proceedings of the 22nd International Conference on Computers in Education. Japan: Asia-Pacific Society for Computers in Education (頁:254-256), 2014年, 査読有
- [16] THE ANSWERING PROCESS FOR MULTIPLE-CHOICE QUESTIONS IN COLLABORATIVE LEARNING: A MATHEMATICAL LEARNING MODEL ANALYSIS, Yasuyuki Nakamura, Shinnosuke Nishi, Yuta Muramatsu, Koichi Yasutake, Osamu Yamakawa and Takahiro Tagawa, Proceedings of 11th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2014) (頁:231-234), 2014年, 査読有
- [17] データ・サイエンスとしての Learning Analytics の方向性と研究上のフレームワークについて, 安武公一, 山川修, 中村泰之, 隅谷孝洋, 多川孝央, 井上仁, 研究報告教育学習支援情報システム (CLE), 2014-CLE-13 巻 10 号 (頁:1-5), 2014年, 査読無
- [学会発表] (計 41 件)
- [1] Mathdox を活用した STACK への数式入力インターフェースの追加, 中村泰之, 稲垣佑亮, 中原敬広, 2014 PC カンファレンス, 2014年, 口頭 (一般)
- [2] THE ANSWERING PROCESS FOR MULTIPLE-CHOICE QUESTIONS IN COLLABORATIVE LEARNING: A MATHEMATICAL LEARNING MODEL ANALYSIS, Yasuyuki Nakamura, Shinnosuke Nishi, Yuta Muramatsu, Koichi Yasutake, Osamu Yamakawa and Takahiro Tagawa, Proceedings of 11th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, 2014年, 口頭 (一般)
- [3] Math Input Interface by MathDox Formula Editor for Math e-Learning System STACK, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Yusuke Inagak, The 19th Asian Technology Conference in Mathematics, 2014年, 口頭 (一般)
- [4] モバイルデバイス用数式入力インターフェースの開発, 中村泰之, 中原敬広, 第40回教育システム情報学会全国大会, 2015年, 口頭 (一般)
- [5] 数式オンラインテストシステム STACK における手書き解答プラグインの試作, 中原敬広, 中村泰之, PC カンファレンス北海道, 2015年, 口頭 (一般)
- [6] Evolutionary Games on Multiplex Networks: Effects of Network Structures on Cooperation, Yasuyuki Nakamura, Yusuke Nagashima and Koichi Yasutake, 11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems, 2015年, 口頭 (一般)
- [7] 数学eラーニングシステム STACK の数式入力の改善, 中村泰之, 中原敬広, 日本数式処理学会合同分科会, 2016年, 口頭 (招待・特別)
- [8] 数学オンラインテスト STACK における数式入力プラグインの開発, 中村泰之, 中原敬広, MoodleMoot Japan 2016, 2016年, 口頭 (一般)
- [9] DEVELOPMENT OF A MATH INPUT INTERFACE WITH FLICK OPERATION FOR MOBILE DEVICES, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, 12th International Conference on Mobile Learning 2016, 2016年, 口頭 (一般)
- [10] Function Enhancement of Math Input Environment with Flick Operation for Mobile Devices, Y. Nakamura, T. Nakahara, The 5th International Congress on Mathematical Software, 2016年, 口頭 (一般)
- [11] STACK PROJECT IN JAPAN; ITEM BANK SYSTEM, MATH INPUT INTERFACE AND QUESTION SPECIFICATION, Yasuyuki Nakamura, Tetsuya Taniguchi, Kentaro Yoshitomi, Shizuka Shirai, Tetsuo Fukui, Takahiro Nakahara, 13th International Congress on Mathematical Education, 2016年, 口頭 (一般)
- [12] モバイルデバイス用数式入力支援環境の拡張, 中村泰之, 中原敬広, 2016

- PCカンファレンス，2016年，口頭（一般）
- [13] Development of math input interface for mobile devices, Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, The international conference on E-Assessment in Mathematical Sciences 2016, 2016年，口頭（一般）
- [14] 手書き解答数式オンラインテスト環境の試作，中原敬広，中村泰之，RIMS研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」，2016年，口頭（一般）
- [15] Enhancement of Plotting Environment of STACK with Gnuplot, Kenji Fukazawa, Yasuyuki Nakamura , 21st Asian Technology Conference in Mathematics, 2016年，口頭（一般）
- [16] Authoring Quizzes with Interactive Content on the Mathematics e-Learning System STACK , Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara, Masataka Kaneko, Setsuo Takato, International Conference on Computational Science and Its Applications , 2017年，口頭（一般）
- [17] Development of note-submitting function of mathematics e-Learning system STACK , Yasuyuki Nakamura, Takahiro Nakahara , The 12th Workshop on Mathematical User Interfaces , 2017年，口頭（一般）
- [18] MeLQS, Mathematics e-Learning Question Specification, as a common base for sharing questions, T. Fukui, K. Kato, M. Kawazoe, T. Nakahara, Y. Nakamura, S. Shirai, T. Taniguchi, K. Yoshitomi , ウォータールー大学・オンライン数学教育視察ツアー，2017年，口頭（一般）
- [19] Enhancement of Figures in STACK by Appending the Capability of Interactive Manipulations , Kenji Fukazawa, Yasuyuki Nakamura , The 22nd Asian Technology Conference in Mathematics , 2017年，口頭（一般）
- [20] MeLQS: Mathematics e-Learning Questions Specification -- a common base for sharing questions among different systems , Mitsuru Kawazoe, Kentaro Yoshitomi, Takahiro Nakahara, Yasuyuki Nakamura, Tetsuo Fukui, Shizuka Shirai, Katsuya Kato, Tetsuya Taniguchi, INTERNATIONAL WORKSHOP MATHEMATICAL EDUCATION FOR NON-MATHEMATICS STUDENTS DEVELOPING ADVANCED MATHEMATICAL LITERACY , 2018年，ポスター（一般）
- [21] Enhancement of Input Type for Math e-Learning System STACK , Yasuyuki

Nakamura, Takahiro Nakahara , INTERNATIONAL WORKSHOP MATHEMATICAL EDUCATION FOR NON-MATHEMATICS STUDENTS DEVELOPING ADVANCED MATHEMATICAL LITERACY , 2018年，ポスター（一般）

- [22] Bayesian Inference of Students' Knowledge Based on a Potential Answer Tree of Mathematics e-Learning System STACK, Yasuyuki Nakamura , 29th annual conference of the Society for Information Technology and Teacher Education, 2018年，ポスター（一般）

他

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等：<https://ja-stack.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村泰之 (NAKAMURA, Yasuyuki)
名古屋大学・情報学研究所・准教授
研究者番号：70273208

(2) 研究分担者

亀田真澄 (KAMEDA, Masumi)
山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・准教授
研究者番号：10194995

(3) 研究分担者

吉富賢太郎 (YOSHITOMI, Kentaro)
大阪府立大学・高等教育推進機構・准教授
研究者番号：10305609

(4) 研究分担者

谷口哲也 (TANIGUCHI, Tetsuya)
日本大学・医学部・准教授
研究者番号：10383556

(5) 研究分担者

深澤謙次 (FUKAZAWA, Kenji)
呉工業高等専門学校・自然科学系分野・准教授
研究者番号：50238440

(6) 研究分担者

安武公一 (YASUTAKE, Koichi)
広島大学・社会科学研究所・准教授
研究者番号：80263664