

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03175

研究課題名（和文）モデルの操作と学習者間の対話の分析に基づく数学学習者の思考過程の追跡と授業設計

研究課題名（英文）Tracking thinking processes of mathematics learners based on manipulation log and communication analysis of mathematics models and its application to designs of classroom

研究代表者

野田 健夫（Noda, Takeo）

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：90431618

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、複数の学習者が動的幾何システムを用いて作られた数理モデル教材を操作して協調学習を行う際に、コンテンツの操作ログデータと対話記録を蓄積し、これを時系列データとして分析することにより思考過程の推移を明らかにすることを目的とするものである。微積分・初等幾何・数理統計に関する教材コンテンツを開発して大学生を被験者とした実験を行いコンテンツの操作ログ、発話内容のテキスト、発話量を検証し、思考過程との連関を示唆する特徴的な状況を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年ICT技術の教育への応用が急速に進展し、蓄積された学習データの学習支援への様々な応用が試みられている。本研究は探究的な協調学習におけるコンテンツ操作ログと対話記録の時系列的分析から適切な特徴量を抽出することで、学習者の思考過程の変化を把握できる可能性を示唆するものである。これにより、単に事前事後のテストスコアの差分にとどまらず、学習活動中に指導者が探究の状況を把握して効果的な介入を行うための指針を得ることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we constructed the system to accumulate the log of learners' manipulating mathematical content generated by dynamic geometry software and dialogue records when they engage in collaborative learning by manipulating mathematical model, and we tried to analyze the data to elucidate their thinking processes. We developed mathematical content related to calculus, elementary geometry, and mathematical statistics, and experimental studies were conducted with college students as participants. We examined the content operation logs, textual content of utterances, and the quantity of utterances to identify distinctive situations that suggest correlations with thought processes.

研究分野：科学教育

キーワード：協調学習 動的幾何システム 操作ログ分析 対話分析 数理モデル教材

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年における情報技術の進歩を「主体的で対話的な深い学び」にいかにつなげるかという問題は、広く教育に携わる者にとって避けて通れないものとなりつつある。世界に目を向けると、これを実現する枠組として CSCL(Computer Supported Collaborative Learning) が提唱され、多くの実践研究が行われている。数学教育についても、学習者自らが数理的モデルを操作できるシステムがいくつか開発され、高機能化が急速に進む状況ではあるが、これを「対話的な学び」「深い学び」にいかにつなげるかという点で、必ずしも明確なビジョンを描いているわけではない。実際、モデルの操作と学習者間の対話はいずれも構造が複雑で、授業設計に直結する具体的な知見がなかなか得られていないのが実情である。しかし、本研究開始に先立って、動的幾何ソフトウェアを用いて作成された数理モデル教材から操作ログを取得するシステムが開発され、客観的データから学習者の思考過程を追跡することができる可能性が示唆されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、Web ベースで数理的モデルを操作できる動的幾何システム CindyJS により作成されたコンテンツを学習者が探究的な協調学習において操作した際に、その操作ログデータを取得し、対話記録データと合わせて量的・客観的な分析を行うフローを確立することである。また、分析結果から学習者の思考過程を示す特徴量を抽出し、学習者の状況に応じた効果的な学習支援を行うための指針を得ることも目的とする。

3. 研究の方法

上述の目的を達成するための研究を、データの蓄積とデータの分析の 2 つの側面に分けて以下に説明する。

(1) 協調学習における操作ログデータと対話記録データの取得と蓄積

本研究開始時点ですでに学習管理システム Moodle 上の CindyJS コンテンツに操作ログを蓄積するシステムを構築していた。これに指向性の高いマイクで各被験者の発話を録音し時系列でまとめることにより、コンテンツ操作と会話の連関を調べることができる。研究開始当初は多数のグループが同時に作業する状況を想定していたが、COVID-19 感染拡大により大人数を集める実験を行うことが困難になったため、2~3 名の学生を被験者とした実験からより詳細で質の高いデータを取得する方針に変更した。具体的には、音声としては現れないジェスチャーを対話の一部としてとらえ、深度カメラにより体動を記録し、特徴的な動きの抽出を目指した。また一方で、遠隔学習が定着したことをふまえ、大人数の学生が個別に Moodle にアクセスして探究学習に取り組む実験授業を行い、その操作ログの取得と蓄積を行った。

(2) 操作と対話の遷移・連関を示す指標の探索と授業設計への利用

動的幾何システム CindyJS を用いた試行事例から、探究的な協調学習を行う際のメンバーの思考様式や力関係により、操作するコンテンツが同じでもグループの対話の構造が非常に多様であることがわかっている。例えば、議論の対立軸をめぐって綱引きが行われたグループと、1 人が議論や操作を一方向的に牽引したグループにおいては、議論の性格の違いがメンバー間の対話量のバランスの違いとして観察される。そこで、CindyJS による典型的なコンテンツを複数用意し、これを学習者のグループに操作させた際の対話と操作を質的に分析していくつかのクラスターに分類し、各メンバーの立場など、議論の構造を調べる上で必要となりうる要素を抽出した上で、対話ログデータから各クラスターを特徴付けるシグナルを検出できないか探索した。また、対話のテキストデータの分析や学習者の事後インタビューをもとに思考過程の変化を示唆するような特徴量を調べ、学習支援の指針になりうるかを検討した。

4. 研究成果

本課題の研究はどれも、学生を被験者として、動的幾何システムによる数理モデルコンテンツを用いた実験授業の結果に基づいている。実験授業で用いるコンテンツは複数あり、被験者の学力や学習履歴、興味に応じて使い分けてきた。以下では便宜上、実験に使用したコンテンツの種類によって研究成果を分類する。

(1) 関数の多項式近似シミュレーション教材

この教材は以前から使用してきたもので、微分可能な関数のテイラー近似多項式を、数式計算を行わずにスライダーで係数を調整することにより実現するものである(図 1)。スライダーの示す数値の変化はタイムスタンプ付きで Moodle 上に蓄積され、そのデータを JAVA プログラムで処理し、特徴量の時間遷移を可視化することができる(図 2)。

ころ、2つのグループの間で操作傾向や発話内容に差異が観察された(図4,5)。

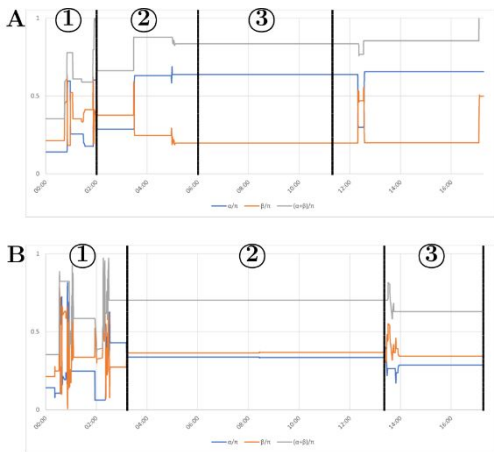


図4 2グループの操作ログ

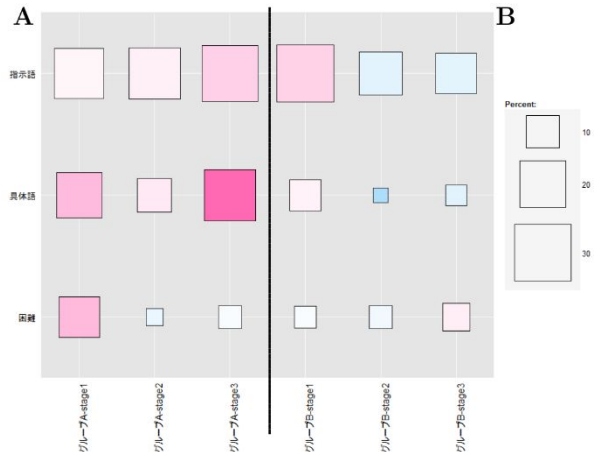


図5 2グループの発話内容

この傾向の違いは、グループを構成する2名の習熟度差の違いに起因するものと推測される。

(3) 数理統計学教材

統計学は実際のデータを分析する学問であるが、その数理を理解するには、データの数値の変化に伴い統計量がどのように変化するかを観察することが有効である。ここでは、相関係数、相関係数の一次変換不変性、独立性の検定について、その数理を実験によって理解するコンテンツを作成した。特に独立性の検定に関する教材(図6)は、デバイスによらずブラウザでアクセスできるHTML教材上で説明や数式、動的幾何コンテンツを順次表示する使用となっており、学習者の認知負荷を低減することに成功している。

この教材を用いて統計学を受講する学生に対して実験授業を行った結果、あまり本質的でない探索過程の量を表す「域外探索量」を特徴量として定義し、域外探索量が事後テストの成績をある程度説明していることを確認した。これにより、教授者がリアルタイムに効果的な介入を行う指針の一つが示されたといえる。

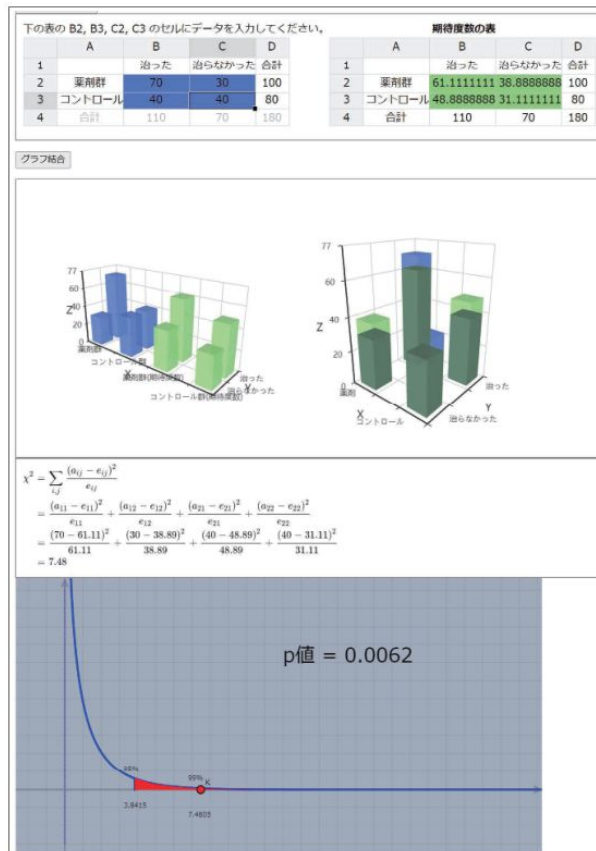


図6 独立性の検定の教材

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Masataka Kaneko, Hironori Egi, Takeo Noda	4. 巻 1
2. 論文標題 Analysis of CSCL for mathematical proof based on the log data of learners' verbal and nonverbal communications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 30th ICCE	6. 最初と最後の頁 167-169
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 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryo Funabashi, Kohei Nabetani, Takeo Noda, Masataka Kaneko, Hironori Egi	4. 巻 2
2. 論文標題 Motivation estimation method for computer supported collaborative learning using tablet computer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of 30th ICCE	6. 最初と最後の頁 671-673
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 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 北本卓也, 金子真隆, 野田健夫	4. 巻 2236
2. 論文標題 独立性の検定に関するHTMLをベースとした教材の作成と授業設計	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 127-139
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 Iharada Risa, Muraoka Taisei, Ishikawa Naruaki, Egi Hironori	4. 巻
2. 論文標題 Analysis of Emphasis and Prosodic Features on Face-to-Face Discussions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology Education (TALE)	6. 最初と最後の頁 558-564
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TALE52509.2021.9678664	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nabetani Kouhei, Muraoka Taisei, Ishikawa Naruaki, Egi Hironori	4. 巻
2. 論文標題 Introducing a Discussion Support System using Individual Audio Instruction to Activate Passive Members	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology Education (TALE)	6. 最初と最後の頁 550-557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TALE52509.2021.9678583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muraoka Taisei, Ishikawa Naruaki, Ozawa Shigeto, Egi Hironori	4. 巻 12784
2. 論文標題 Effect of Presenting Co-occurrence Networks that Reflect the Activeness of Face-to-Face Discussions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Learning and Collaboration Technologies: New Challenges and Learning Experiences. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 347 ~ 360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-77889-7_24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金子 真隆, 中原 敬広, 野田 健夫	4. 巻 2208
2. 論文標題 Moodle上でのCindyJSを用いた探究学習におけるログデータのアナリティクスから学習支援へ (続)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 107-116
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 石川誠彬, 岡澤大志, 江木啓訓	4. 巻 62
2. 論文標題 発話の占有を通知する議論訓練システムの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 64-77
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 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石川 誠彬, 江木 啓訓, 望月 俊男, 久富 彩音, 石井 裕, 結城 菜摘, 久保田 善彦, 加藤 浩	4. 巻 44
2. 論文標題 協動的議論において共調整を促す対話型ホログラフィックエージェント	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本教育工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 185-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15077/jjet.S44110	査読の有無 有
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 金子 真隆, 中原 敬広, 野田 健夫	4. 巻 2178
2. 論文標題 Moodle上でのCindyJSを用いた探求学習におけるログデータのアナリティクスから学習支援へ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 114-123
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 T. Noda, S. Takato	4. 巻 12
2. 論文標題 Teaching materials for an elementary differential geometry course using KeTCindy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Electronic Journal of Mathematics and Technology	6. 最初と最後の頁 156-166
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 有
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 N. Ishikawa, T. Okazawa, H. Egi	4. 巻 11677
2. 論文標題 DiAna-AD: Dialog Analysis for Adjusting Duration During Face-to-Face Collaborative Discussion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 212-221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-28011-6_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金子 真隆, 中原 敬広, 野田 健夫	4. 巻 2142
2. 論文標題 CindyJSによるコンテンツのweb上での操作ログの解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 23-32
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29件(うち招待講演 2件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 舟橋涼, 鍋谷航平, 野田健夫, 金子真隆, 江木啓訓
2. 発表標題 タブレットを用いた協調学習への参加意欲推定手法の提案
3. 学会等名 日本教育工学会2022年秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子真隆, 北本卓也, 野田健夫
2. 発表標題 独立性の検定に関するHTMLベースの教材を用いた探究における操作ログを通じた授業設計の影響の分析
3. 学会等名 日本教育工学会2023年春季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野田健夫, 北本卓也, 江木啓訓, 金子真隆
2. 発表標題 動的コンテンツを含むHTML5をベースとした数理統計教材による学習活動における学習者にかかる認知負荷の分析
3. 学会等名 日本科学教育学会第46回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北本卓也, 金子真隆, 野田健夫
2. 発表標題 HTML5をベースとする動的コンテンツを含む数理統計教材の作成と利用
3. 学会等名 日本数式処理学会第31回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子真隆, 野田健夫, 北本卓也
2. 発表標題 検定に関する教材と学習活動の分析
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 北本卓也, 金子真隆, 野田健夫
2. 発表標題 相関係数の性質に関するHTMLベースの教材を用いた学習活動における学習者の行動の分析
3. 学会等名 解答過程解析を中心とする理数系eラーニングの分析・設計・運用に関する総合研究第2回シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北本卓也, 野田健夫, 金子真隆
2. 発表標題 HTMLをベースとした独立性の検定に関するシミュレーション教材とこれを用いた学習活動の分析
3. 学会等名 名古屋大学高等教育研究センター第207回招聘セミナー(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Noda, T. Nakahara, M. Kaneko
2. 発表標題 Monitoring the impact of teacher's intervention in inquiry-based mathematics learning with the use of dynamic geometry
3. 学会等名 The 14th Conference on Intelligent Computer Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田健夫 , 江木啓訓, 金子真隆
2. 発表標題 動的コンテンツを用いた数学協調学習での認知負荷の様態に関する操作・対話・行動のログを用いた分析の試み
3. 学会等名 日本科学教育学会第45回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 真隆, 江木 啓訓, 北本卓也, 野田 健夫
2. 発表標題 動的コンテンツを用いた数理統計の協調学習における学習者の行動パターンからの思考展開の推定
3. 学会等名 日本教育工学会2022年春季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 真隆, 江木 啓訓, 野田 健夫
2. 発表標題 動的コンテンツを用いた数学の探究的協調学習における操作・対話のログを用いた知識構築プロセスの分析
3. 学会等名 日本教育工学会2021年秋季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村龍之介, 村岡泰成, 居原田梨佐, 江木啓訓
2. 発表標題 語彙抽象度を用いた発散・収束的発話の推定手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会第116回グループウェアとネットワークサービス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村龍之介, 村岡泰成, 居原田梨佐, 江木啓訓
2. 発表標題 議論における収束的発言の語彙抽象度を用いた推定
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 舟橋涼, 鍋谷航平, 野田健夫, 金子真隆, 江木啓訓
2. 発表標題 深度センサによる机上計測に基づく協調学習への参加意欲推定
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 居原田梨佐, 村岡泰成, 石川誠彬, 江木啓訓
2. 発表標題 議論における強調に対する主観的評価と韻律特徴の分析
3. 学会等名 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム(DICOMO2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍋谷航平, 村岡泰成, 石川誠彬, 江木啓訓
2. 発表標題 消極的発話者の発言率向上を目的とした音声による個別指示議論支援システムの開発
3. 学会等名 マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム(DICOMO2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田健夫・金子真隆
2. 発表標題 Moodle上での数学学習に関するログデータが物語ること
3. 学会等名 日本科学教育学会第44回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子真隆・江木啓訓・野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによる動的数学コンテンツを用いた協調学習における細粒度音声ログデータを用いた学習者の思考過程の追跡
3. 学会等名 日本教育工学会2020年秋季全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子真隆・中原敬広・野田健夫
2. 発表標題 3次元図形の数学学習者自身による操作を通じた観察が概念理解にもたらす影響に関する調査
3. 学会等名 日本教育工学会2021年春季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 居原田梨佐, 石川誠彬, 村岡泰成, 江木啓訓
2. 発表標題 議論における強調に対する主観的評価の一致部分の特徴分析
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 鍋谷航平, 村岡泰成, 石川誠彬, 江木啓訓
2. 発表標題 消極的発話者の発言率向上のための音声による個別指示手法
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 T. Noda
2. 発表標題 Visualizing ODEs with KeTCindy
3. 学会等名 Applications of Computer Algebra (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Noda, S, Takato
2. 発表標題 Visualizations of Vector Fields and Ordinary Differential Equations with KeTCindy
3. 学会等名 Asian Technology Conference in Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kaneko, T. Nakahara, T. Noda
2. 発表標題 Temporal analytics of log data derived from students' manipulating mathematical objects
3. 学会等名 Learning Analytics and Knowledge (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田健夫, 金子真隆
2. 発表標題 動的幾何システムを用いた証明活動のethnomethodology による分析
3. 学会等名 日本科学教育学会第43回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子真隆, 江木啓訓, 中原敬広, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた協調学習における操作と対話との連関の追跡(III)
3. 学会等名 日本教育工学会2019年秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子真隆, 中原敬広, 野田健夫
2. 発表標題 CindyJSによるコンテンツを用いた学習活動の高粒度な操作ログデータを用いた分析
3. 学会等名 日本教育工学会2020年春季全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川誠彬, 岡澤大志, 江木啓訓
2. 発表標題 発言状況に基づく議論時間の調整が参加者の主 観評価に及ぼす影響
3. 学会等名 情報処理学会第108回グループウェアとネットワークサー ビス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川誠彬, 村岡泰成, 江木啓訓
2. 発表標題 議論状況可視化システムを用いた議論における 役割設定の影響
3. 学会等名 日本教育工学会2019年秋季全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	江木 啓訓 (Egi Hironori) (30422504)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授 (12612)	
研究 分担者	金子 真隆 (Kaneko Masataka) (90311000)	東邦大学・薬学部・教授 (32661)	

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
---------	---------