

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01096

研究課題名(和文)新テストに適合した数学・物理のピア・インストラクションと数学概念調査の開発

研究課題名(英文)Development of Peer Instruction of Mathematics and Physics adapted to New Test and Mathematics Concept Inventory

研究代表者

工藤 知草(Kudo, Tomoshige)

金沢工業大学・基礎教育部・講師

研究者番号：90759515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：ディスカッションを中心に進められるピア・インストラクションを導入した授業を実践するために、入試改革の大学入学共通テストに適合した数学と物理のConcept Testを開発することを目的とした。当初の計画では200問の数学のConcept Testを開発する予定であったが、246問を開発した。物理分野では、測定データの分析により概念形成するConcept Testを開発した。数学のピア・インストラクションを導入した講義を2017年度と2018年度に合計37回実践してConcept Testを改善した。統計的仮説検定(t検定)によりConcept Testを定量的に分析し、理解度の向上を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行のセンター試験は、2021年1月に大学入学共通テストに移行する予定で、高校や大学では、学生同士のディスカッションにより概念形成する相互作用型授業に移行することが求められている。そこで、相互作用型授業の一つであるピア・インストラクションを導入した授業に必要なConcept Test(多岐選択肢問題)を数学と物理の分野で豊富に開発し、高校や大学で相互作用型授業に移行しやすい環境を整え、社会貢献した。特に、相互作用型授業に移行しにくい数学の分野で、合計246問のConcept Testを開発し、数学の分野における相互作用型授業の土台をつくったことは大変意義がある。

研究成果の概要(英文)：The aim is to develop the concept tests of mathematics and physics to deliver discussion-based lecture introducing Peer Instruction which well adopted to Common Test for University Admissions as entrance examination reform. Although we originally planned to develop 200 concept tests for mathematics, we consequently developed 246 concept tests. Also, we developed concept tests which help students to form the concept by analyzing measurement data in the field of physics. We delivered 37 lectures introduced Peer Instruction in the 2017 academic year and the 2018 academic year, and modified the concept tests. The concept tests were analyzed quantitatively, and the improvement of the understanding was analyzed by using statistics hypothesis testing (t-test).

研究分野：工学教育

キーワード：ピア・インストラクション Concept Test 数学 物理 クリッカー 大学入学共通テスト t検定 データ分析

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、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

高大接続システム改革会議(最終報告)(平成28年度3月31日)における入試制度改革で、現行のセンター試験を廃止し、「高校生のための学びの基礎診断」(高等学校基礎学力テスト(仮称))、「大学入学共通テスト」(大学入学希望者学力評価テスト(仮称))に移行することが提言された。大学入学共通テストは2021年の1月に実施予定で、2022年度まで試行的に実施し、2023年度から本格的に実施する予定である。

研究代表者は、これまで数学と物理の講義を担当し、「高大連携による数理教育研究会」において、石川県の中学校と高校の先生方と、教育改善を行ってきた。その中で、技術者に必要な基礎力、知識、判断力、論理的思考力を総合的に養うためには、演習・宿題、ICT、データ分析、アクティブ・ラーニングを複合的に融合した講義形式を実践することが必要だと考えた。アクティブ・ラーニングの一つに、ピア・インストラクション(Peer Instruction)型授業(以下、PI型講義)がある。ここで、PI型講義では、授業に関連した多岐選択肢問題である Concept Test を出題して、学生がクリッカー(オーディエンス・レスポンス・システム)で回答する。その後、3分程度、学生同士で議論しながら概念形成する。PI型講義で活用されるクリッカーは、学生の回答、意見などを瞬時に集約し、学生の理解に応じた適切な対応を可能にする。Mazur は、約200問の物理の Concept Test を公開している¹⁾。数学の分野において、PI型講義を実施するためには、大学入学共通テストに適した数学の Concept Test を豊富に開発する必要があると考えた。また、数学の分野のPI型講義の実践例を増やし、その効果を科学的に検証することが重要だと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、ディスカッションを中心に進められるPI型講義を実施するために、入試改革の大学入学共通テストに適した数学と物理の Concept Test を豊富に開発することを目的とした。

平成28年3月11日に、第13回高大接続システム改革会議の資料2(「高等学校基礎学力テスト(仮称)」の問題作成イメージの例等)において、大学入学共通テストの数学の問題例が提示された。これらの「生活との関わりをより意識させる出題のイメージを示すための問題例」、「小問形式で基本的な知識・技能を問う形式のイメージを示すための問題例」の趣旨に合い、高校と大学で活用する数学の Concept Test を、線形代数、微積分、確率統計の分野で豊富に作成し、この3年間で合計200問の数学の Concept Test を作成することを目的とした。また、確率統計の分野において、サイコロを振るときの確率や、くじを引くときの確率は、現実の現象に対応して、直観的に間違えやすい概念がある。そのような概念を誤答に入れた Concept Test を作成し、それらをまとめた数学概念調査も作成する。

石川県の高校生40名を対象に、KIT 数理講座「ニュートンの運動の3法則を概念理解と実験で解き明かそう」を実践した(平成28年7月16日)。この講座では、第11回高大接続システム改革会議の資料3-2(「大学入学希望者学力評価テスト(仮称)」(平成28年2月17日)の「観察・実験から得られたデータを解釈し、見通しをもって新たな実験を計画し、グラフを描いて結果を推論する問題例」、「対話形式を取り入れる問題例」を実体験するようなPI型講義を実施した。新たにモーションセンサと力センサを購入し、クリッカーで予測して、物理現象を観測し、データ分析と生徒同士の議論を通して概念形成するPI型講義で必要な Concept Test を考案する。高校の「物理基礎」、「物理」の力学分野において、センサの測定データの分析に基づく Concept Test を、運動の表し方、運動の法則、仕事と力学的エネルギー、放物運動、剛体、運動量と力積、円運動、単振動の分野で開発することを目的とする。

開発した Concept Test を活用してPI型講義を実践し、その効果を検証することで、Concept Test を改善する。ここで、効果の検証には、統計的仮説検定である t 検定やルーブリックなどの手法を用いる。また、大学や高校でPI型講義を実践する。スマートフォンなどを活用して、無料のアプリケーションを用いてPI型講義を行う手法についても検証する。技術者に必要な能力である知識、基礎力、論理的思考力、判断力を育成する大学1,2年生に対する講義形式を評価し、教員1名でも100名以上の講義室において容易に導入可能なピア・インストラクションの教材を公開する。

3. 研究の方法

数学の分野では、高大接続システム改革会議の最終報告書(平成28年3月31日)の提言「数・式、図、表、グラフなどを活用し、一定の手順にしたがって数学的に処理する力など、思考力・判断力・表現力を構成する諸能力に関する判定機能を強化する」に適合するような数学の Concept Test を開発する(図1)。「線形代数Ⅰ」、「線形代数Ⅱ」、「工学のための数理工(関数・微分)」、「工学のための数理工(積分・微分方程式)」、「技術者のための統計」の5科目で Concept

Test を開発する。1 年目に、各科目で 30 問、合計で 150 問作成する。2 年目以降に、各科目で 40 問、合計で 200 問の数学の Concept Test を開発する。

開発した数学の Concept Test を活用して、数学の P I 型講義を実践する。「Concept Test の作成」「P I 型講義の実践」「クリッカーの回答分布の検証」「因子分析(t 検定)」「Concept Test の改善」のサイクルにより、議論前後の学生のクリッカーの回答率の変化を t 検定で分析し、Concept Test を改善する。また、間違いやすい概念を誤答に入れた Concept Test をまとめた数学概念調査を考案する。

物理の分野では、クリッカーで予測し、物理現象の観測を通して、データ分析により概念形成するような、物理実験と概念形成を融合した P I 型講義における Concept Test を開発する。平成 29 年度は「物理基礎」において、運動の表し方、運動の法則、仕事と力学的エネルギー、の範囲で Concept Test を開発する。平成 30 年度は「物理」において、放物運動、剛体、運動量と力積、円運動、単振動、の範囲で Concept Test を開発する。ここで、モーションセンサと力センサなどを活用して、物理実験の測定データを得る。

また、大学や高校で P I 型講義を実践する。スマートフォンなどを活用して、無料のアプリケーションを用いて P I 型講義を行う手法についても検証する。

本研究で実施した P I 型講義の分析を踏まえて、効果がある点と改善が必要な点を検証し、開発した教材の改善を行い、総合的に評価する。ここで、技術者育成の枠組みとして、演習・宿題、ICT の活用、データ分析、P I 型講義で総合的に身につける講義システムを構築し、板書型授業からアクティブ・ラーニング型授業へ移行するために、数学と物理の分野で Concept Test を開発し、大学入学共通テストに適した P I 型講義を容易に導入できる環境を整える。

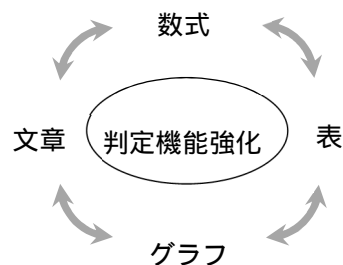


図 1 判定機能を養う問題

4. 研究成果

学生同士の議論を中心として概念形成する P I 型講義で用いる数学と物理の Concept Test を豊富に開発した^{2),3)}。ここで、Concept Test は、学生が直観的に回答できるような多岐選択肢問題で、3 分程度の学生同士の議論により学生の理解が深まるような構成にした。開発した数学の Concept Test の各年度の問題数は、平成 29 年度は 126 問、平成 30 年度は 46 問、平成 31 年度は 74 問であった。表 1 で数学の Concept Test の分野別の問題数を示した。線形代数 I で 42 問、線形代数 II で 42 問、微積分 I (講義名：工学のための数理工(関数・微分))で 43 問、微積分 II (講義名：工学のための数理工(積分・微分方程式))で 44 問、確率統計(講義名：技術者のための統計、情報のための数学)で 42 問、数学 I ~ 数学 III で 33 問の Concept Test を開発した。はじめの計画では、合計 200 問の数学の Concept Test を開発する予定であったが、合計 246 問の数学の Concept Test を開発した。

表 1 数学の Concept Test

	線形代数 I	線形代数 II	微積分 I	微積分 II	確率統計	数学 I ~ III
問題数	42 問	42 問	43 問	44 問	42 問	33 問

その他に、確率統計の分野で直観的に間違いやすい概念を誤答に入れた Concept Test をまとめた数学概念調査を考案した。これは、授業の前後に実施し、概念形成の効果を検証するために活用できる。

物理の分野では、クリッカーで予測し、物理現象の観測を通して、データ分析により概念形成する P I 型講義を実施するために必要な Concept Test を考案した。ここで、力センサ、モーションセンサ、光ゲートセンサを用いて物理実験の測定データを得た。平成 29 年度は、「物理基礎」と「物理」の力学分野の「運動の表し方」、「運動の法則」において、「撃力の作用・反作用の法則」、「慣性の法則」、「等速直線運動」、「等加速度直線運動」、「撃力」の Concept Test を考案した。平成 30 年度は、「仕事と力学的エネルギー」、「放物運動」、「剛体」、「運動量と力積」、「円運動」、「単振動」の Concept Test を考案した^{4),5)}。平成 30 年度の大学入学共通テストのプレテストでは、物理実験の測定データの表のみが提示され、その表から物理量の値を推定する問題が出題された。この問題を解くためには、データ分析の能力を養う必要性があり、開発した Concept Test はこのプレテストの傾向にも適した内容である。

平成 29 年度と平成 30 年度の 2 年間で、合計 37 回の数学の P I 型講義を実施して Concept Test を改善した。また、平成 29 年度と平成 30 年度の大学入学共通テストのプレテストの分析を通して Concept Test を改善した。統計的仮説検定により、数学の P I 型講義を分析した。具体的には、t 検定を用いて、学生の議論前後のクリッカーの回答率の変化を詳細に分析し、線形

代数 I⁶⁾、微積分学 I⁷⁾、確率統計⁸⁾の各分野で、学生が得意とする概念と苦手とする概念を抽出した。また、段階的に概念形成する Concept Test も開発した⁹⁾。最終年度には、統計的仮説検定 (t 検定) により、開発した Concept Test を検証し¹⁰⁾、さらに、P I 型講義による理解度の向上を定量的に評価した¹¹⁾。

高大連携による数理教育研究会を通して、石川県の高校の先生方に、これまで開発した Concept Test を紹介した¹²⁾。石川県の高校では、授業中に高校生がスマートフォンを使用することが推奨されないことが多いため、実際に、石川県の中学生や高校生に Concept Test を出題した際には、生徒に色紙を同時に挙げてもらい Concept Test に回答してもらった。中学生や高校生が、一喜一憂しながら色紙を挙げている様子がとても印象的だった。現在では、クリッカーがなくても Google フォームを用いることで、生徒は多岐選択肢問題である Concept Test に回答できる。また、教員はリアルタイムにクラス全体の理解度を Google フォームのヒストグラムで確認しながら、理解度に応じた授業を展開することができる。その意味において、開発した Concept Test の汎用性は高く、数学と物理の分野で Concept Test を豊富に開発し、大学入学共通テストに適した相互作用型授業に移行しやすい環境をつくることで社会貢献した。特に、相互作用型授業に移行しにくい数学の分野で、合計 246 問の Concept Test を開発し、数学の分野における相互作用型授業の土台をつくったことは大変意義がある。

参考文献

- 1) E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual*, Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall, 1997.
- 2) T. Kudo, H. Yamaoka, T. Taniguchi, M. Nishi, and A. Mishima, The Implementation of Peer Instruction in Mathematics and Physics Lectures, *Proceedings of the Asian Conference on Education and International Development 2018*, pp.191-197, 2018.
- 3) T. Taniguchi, T. Kudo, H. Yamaoka, and M. Nishi, Practice and Analysis of Introductory Lecture on Statistics by Peer Instructions, *Proceedings of the 14th International CDIO Conference*, pp.466-471, 2018.
- 4) 工藤 知草, 西 誠, 運動学に関連したデータサイエンスの要素を取り入れたピア・インストラクション型講義の開発, 第 66 回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.66, pp.16-17, 2018.
- 5) 工藤 知草, 大学入学共通テストに向けたピア・インストラクションを導入した物理学授業の開発, 2019 年度私情協教育イノベーション大会 講演概要集, pp.258-259, 2019.
- 6) 工藤 知草, 山岡 英孝, 谷口 哲也, 西 誠, 数学の概念問題の開発とピア・インストラクションを導入した線形代数入門講義の実践と分析, *KIT Progress*, vol.27, pp.217-223, 2019.
- 7) 山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也, 微積分学講義におけるコンセプトテストの因子解析 -ピア・インストラクションを導入した授業の実践と分析-, *KIT Progress*, vol.27, pp.173-179, 2019.
- 8) 谷口 哲也, 西 誠, 山岡 英孝, 工藤 知草, 統計学入門講義におけるピア・インストラクションの実践と分析, *KIT Progress*, vol.27, pp.191-198, 2019.
- 9) 谷口 哲也, 西 誠, 工藤 知草, 山岡 英孝, 数学系基礎科目の確率の单元におけるピア・インストラクションの実践, *KIT Progress*, vol. 28, pp.146-152, 2020.
- 10) H.Yamaoka, M. Nishi, T. Taniguchi, and T. Kudo, Practice of Calculus Lecture Using Peer Instruction by Audience Response System, *Proceedings of the 2020 11th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning*, pp. 279-283, 2020.
- 11) 山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也, 微積分学における概念因子のコンセプトテストによる授業理解度向上について-ピア・インストラクションを導入した授業の実践と分析 -, *KIT Progress*, vol. 28, pp.49-55, 2020.
- 12) 工藤 知草, 数学と物理の概念問題の開発とピア・インストラクションの実践, 高大連携による数理教育研究会 第 2 回 定例研究会 (通算 61 回), 金沢工業大学, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也	4. 巻 28
2. 論文標題 微分積分学における概念因子のコンセプトテストによる授業理解度向上について -ピア・インストラクションを導入した授業の実践と分析 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 49 - 55
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 谷口 哲也, 西 誠, 工藤 知草, 山岡 英孝	4. 巻 28
2. 論文標題 数学系基礎科目の確率の単元におけるピア・インストラクションの実践	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 146 - 152
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 工藤 知草, 山岡 英孝, 谷口 哲也, 西 誠	4. 巻 27
2. 論文標題 数学の概念問題の開発とピア・インストラクションを導入した線形代数入門講義の実践と分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 217 - 223
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 谷口 哲也, 西 誠, 山岡 英孝, 工藤 知草	4. 巻 27
2. 論文標題 統計学入門講義におけるピア・インストラクションの実践と分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 191 - 198
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 山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也	4. 巻 27
2. 論文標題 微分積分学講義におけるコンセプトテストの因子解析 -ピア・インストラクションを導入した授業の実践と分析-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 173 - 179
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 工藤 知草, 金丸 保典, 西 誠, 三嶋 昭臣, 中村 晃, 高 香滋	4. 巻 26
2. 論文標題 クリッカーを活用した概念形成と物理実験を融合した公開講座の実践	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KIT Progress	6. 最初と最後の頁 239-248
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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 H. Yamaoka, M. Nishi, T. Taniguchi, and T. Kudo
2. 発表標題 Practice of Calculus Lecture Using Peer Instruction by Audience Response System
3. 学会等名 The 2020 11th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning, pp. 279 - 283 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 大学入学共通テストに向けたピア・インストラクションを導入した物理学授業の開発
3. 学会等名 2019年度私情協教育イノベーション大会 講演概要集, pp.258 - 259
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岡 英孝, 西 誠, 工藤 知草, 谷口 哲也
2. 発表標題 数理のコンセプトテストの学修効果 -ピア・インストラクションを導入した微分積分学講義-
3. 学会等名 第67回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.67, pp.202 - 203
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口 哲也, 西 誠, 工藤 知草, 山岡 英孝
2. 発表標題 情報系数学入門講義におけるピア・インストラクションの実践
3. 学会等名 第67回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.67, pp.200 - 201
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Taniguchi, T. Kudo, H. Yamaoka, and M. Nishi
2. 発表標題 Practice and Analysis of Introductory Lecture on Statistics by Peer Instructions
3. 学会等名 The 14th International CDIO Conference, pp.466 - 471 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yamaoka, T. Taniguchi, M. Nishi, and T. Kudo
2. 発表標題 Report on Active Calculus Course Introduced the Peer Instruction
3. 学会等名 The 14th International CDIO Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤 知草, 西 誠
2. 発表標題 運動学に関連したデータサイエンスの要素を取り入れたピア・インストラクション型講義の開発
3. 学会等名 第66回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.66, pp.16 - 17
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤 知草
2. 発表標題 Matlabを活用した数値解析の教材開発と講座の実践
3. 学会等名 平成30年度 教育改革ICT戦略大会, D-10
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kudo, H. Yamaoka, T. Taniguchi, M. Nishi, and A. Mishima
2. 発表標題 The Implementation of Peer Instruction in Mathematics and Physics Lectures
3. 学会等名 The Asian Conference on Education & International Development 2018, pp.191 - 197 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤 知草, 西 誠
2. 発表標題 大学入学共通テストに向けたデータサイエンスの要素を取り入れたピア・インストラクションの開発
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, vol.1, p.43
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤 知草, 山岡 英孝, 谷口 哲也, 西 誠
2. 発表標題 数学の概念問題の開発と数学のピア・インストラクション型講義の実践
3. 学会等名 私立大学情報教育協会 平成29年度教育改革ICT戦略大会, pp.180 - 181
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西 誠, 工藤 知草
2. 発表標題 高校教員向けアクティブ・ラーニング講習会から見た高校教員の意識
3. 学会等名 2017年度 数学教育学会 秋季例会予稿集, pp.150 - 152
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 工藤 知草, 山岡 英孝, 谷口 哲也, 西 誠
2. 発表標題 対話的学びを実現する数学概念問題の作成と講義の実践 - ピア・インストラクションを導入した線形代数講義の実践 -
3. 学会等名 第65回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.65, pp.322 - 323
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷口 哲也, 西 誠, 工藤 知草, 山岡 英孝
2. 発表標題 ピア・インストラクションによる統計学入門講義の改善
3. 学会等名 第65回年次大会 工学教育研究講演会 講演論文集, vol.65, pp.314 - 315
4. 発表年 2017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	西 誠 (Nishi Makoto) (00189250)	金沢工業大学・基礎教育部・教授 (33302)	
研究分担者	三嶋 昭臣 (Mishima Akiomi) (30064463)	金沢工業大学・教育支援機構・教授 (33302)	
研究分担者	山岡 英孝 (Yamaoka Hidetaka) (10443045)	金沢工業大学・基礎教育部・准教授 (33302)	
研究分担者	谷口 哲也 (Taniguchi Tetsuya) (90625500)	金沢工業大学・基礎教育部・准教授 (33302)	