

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00933

研究課題名(和文)理工系大学初年度物理受講者の思考過程調査に基づいた教材開発と授業改善

研究課題名(英文) Developing pedagogical materials and improvement of classroom teaching based on survey of thought processes of first-year engineering students

研究代表者

右近 修治 (Ukon, Shuji)

東京都市大学・共通教育部・講師

研究者番号：60735629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、物理教育現場における調査に基づき、個々の学生の学習過程を支援できる教材群を開発し、授業を改善するための具体的手段を構築することである。東京都市大学工学部の初年度生に対して行なった調査より、次の点が明らかとなった。

(1)基礎学力調査結果と学習姿勢との間には強い相関がある。(2)誤概念最大占有率のFCIpre, postにおける変容は、伝統的授業クラスと、インタラクティブな授業クラスにおいて質的に異なる。(3)問題解法スキルとFCIpostとの間には強い相関がある。(4)相互型演示実験授業(ILDs)においては、学生の概念変容のプロセスや特徴が伝統的クラスと質的に異なる。

研究成果の概要(英文)：The primary goal of this research is to develop pedagogical materials, techniques and strategies that will help students learn physics more effectively and help instructors to implement these. From our analysis, the following points were clarified.

(1) There is a strong correlation between the basic academic ability score for physics and abridged edition of the Maryland Physics Expectations (abMPEX) survey score. (2) From FCIpre to FCIpost, a maximum occupancy for misconceptions (MOM) changes with different patterns depending on a traditional class or an interactive class. (3) There is a strong correlation between the numerical evaluation how each students solve problems and FCIpost. (4) Analysis of video recordings of interactive lecture demonstrations (ILDs) class revealed the characteristics of student's conceptual change and process.

研究分野：物理教育, 科学教育

キーワード：物理教育研究(PER) MPEX簡易版 力学概念調査(FCI) 誤概念最大占有率 概念変容 相互型演示実験授業(ILDs) 学習姿勢調査 問題解法スキル

1. 研究開始当初の背景

(1)平成 18 年に日本で開催された物理教育国際会議 (ICPE2006) を契機として、米国で着実に成果をあげてきた物理教育研究 (Physics Education Research: PER) は、その後の日本の物理教育界に確実に浸透している。同年、覧具博義 (東京農工大学教授 (当時)) を代表として結成された初中等から大学にわたる 20 名ほどの研究グループ (右近修治 (研究代表者), 新田英雄 (研究分担者), 岸澤眞一 (研究協力者), 宮崎幸一 (研究協力者), 長谷川大和 (研究協力者) を含む) は、長年にわたり PER の牽引的役割を果たしてきた人たちのうちの一人である Edward F.Redish による著作 "Teaching Physics with the Physics Suite" についての調査検討を進め、その調査結果は「初中等教育と大学教育の連携による物理教育の改善」(覧具博義を研究代表者とする科研費基盤研究(C), 研究期間 2006 年度~2007 年度, 研究課題番号 18500654) に報告されている。同研究グループの成果は同書の翻訳本「科学をどう教えるか: アメリカにおける新しい物理教育の実践」(丸善出版, 日本物理教育学会監訳, 先の研究グループを含む約 30 名による共訳, 2012 年) の出版として結実した。

(2)物理教育研究 (PER) は、科学の専門性にに基づいた科学的題材についての学習と教授に関する教育研究 (Discipline-based education research: DBER) であり、一般的な教育研究とは次元の異なる新しい学問分野である。PER は、通常の教育研究同様、認知科学や脳神経科学の最新の成果を取り入れ、学習者の学習過程を科学的に探求する分野である。しかし一方、個々の学習者がそれぞれの学習環境や経験に基づいて学習し構成した事柄の達成度を、それぞれの学習者に応じて相対的に評価することよりも、物理法則理解に基づいた学習者による推論の過程を支援し、学習者が物理概念を効果的に獲得することを目指している。したがってその教育研究は慣性の法則、作用反作用の法則、運動の法則等の具体的な物理概念と深く関連付けられている。PER の大きな特徴は、研究対象を教授者から学習者に転換し、教室でいったい何が起きているのか、学習者は何をどう考えているのか、学習者の概念獲得過程を支援するために何をどうすればよいのか等に焦点を当てていることである。

(3)右近修治 (研究代表者), 山本明利 (研究分担者), 岸澤眞一 (研究協力者), 宮崎幸一 (研究協力者), 長谷川大和 (研究協力者) は 20 年から 30 年にわたり、高校教育現場での研究会、サークル活動を通じ、物理教育改善のための実践的な研究を積み重ねてきた。それを土台として、実験開発、実験書執筆、高校教科書執筆・翻訳、一般向け科学入門書出版等の数多くの実績がある。こうした蓄積

を踏まえ、PER の研究プログラムに基づき、いったい学生は何を考えているのかを科学的に調査し、その調査結果を基に日本における新たな物理スイート群の研究・開発を進めることを着想した。物理スイートとは、PER に基づいた授業評価とセットになった教科書、試金石問題 (Touchstone Example), リアルタイム物理, チュートリアルワーク, ワークショップ, 相互作用型演示実験講義 (Interactive Lecture Demonstrations: ILDs), ピア・インストラクション (Peer Instruction) 等の、一連の評価手段、教材、授業法全体を指す概念である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、理工系大学初年度物理教育の現場で生じている事実の調査に基づき、学生個々の学習過程を効果的に支援することのできる教材群を開発し、授業を改善するための具体的手段を構築することである。そのために伝統的授業、学生間および教師学生間の相互作用を重視したインタラクティブな授業のそれぞれにおいて、学生は授業や教材群に対してどのような態度で臨むのか、また、どのような思考過程を経て物理を把握するのかを、学生に対する半構成型聞き取り調査 (semi-structured interview) の方法によって分析する。これを授業記録・発言記録等の解析や FCI 等の概念調査、MPEX 等の学習姿勢調査と組み合わせ、授業による学生の変容を調べることにより、学習に困難が生じている者と成功している者の違いを特色づける基本的な要素を抽出する。

3. 研究の方法

大学における初年度物理教育調査対象者を、東京都市大学工学部 1 年生の物理学 (1)(2)、物理学概論受講者とした。物理学 (1)(2)はいわゆる伝統的講義形式の授業、物理学概論はアクティブラーニング型の「主体的・対話的で深い学び」を目指した授業である。調査法は以下の通りである。
 (1)基礎学力調査、力学概念調査 FCI プレテストおよびポストテストの実施とその統計解析
 (2) MPEX, CLASS 等の学習姿勢に関する調査実施とその統計解析
 (3)物理学概論におけるインタラクティブな授業の全時間ビデオ記録とその解析
 (4)主に物理学(1)(2)受講者の半構成型聞き取り調査ビデオ記録とその解析
 (5)調査メンバーによる定期的報告会、研究会による解析結果の検討 (12 回実施)

4. 研究成果

(1)理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と基礎学力
 学生は、すでに長年にわたって培われてきた、物理の学習についての自分の考え方を持っている。これを「学習姿勢」あるいは「学

習観」と呼ぼう。教員から一方的に与えられる情報は、予め持っている学習観によって取捨選択される。自分の持つ学習観に沿った内容であれば取り入れ、そうでなければ廃棄される。

学生が持つ科学に対する学習観を調査する方法として、メリーランド物理期待感調査 (MPEX: Maryland Physics Expectation survey) がよく知られている。本研究では、MPEX 簡易版による調査を平成 27 年度～29 年度の 3 年間で計 2146 名に対して行った。

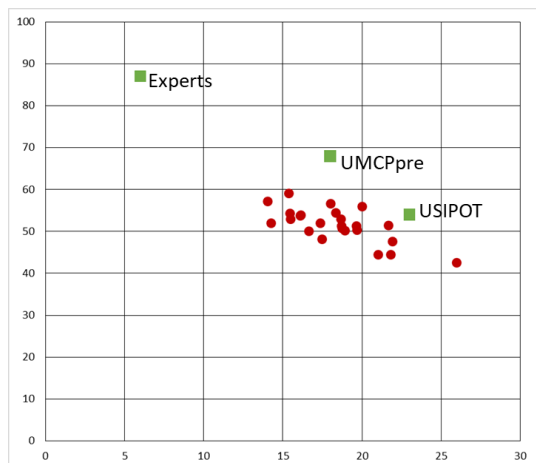


図 1 MPEX A-D プロット

図 1 は MPEX 調査集団の集計を、縦軸に好ましい回答の割合 (最大 100%)、横軸に好ましくない回答の割合を取りプロットしたもので、A-D プロットと呼ばれている。

Experts は物理教育の専門家集団 (N=19)、USIPOT は米国の物理オリンピック参加チーム高校生 (N=56)、UMCPre はメリーランド大学、入門物理コースを受講する前の学生のグループ (N=445) で、MPEX 完全版による結果である。これに対し、赤丸は都市大工学部 9 学科 3 年間の 27 集団 MPEX 簡易版調査結果である。好ましい学習姿勢を持つ集団ほどプロットは左上に近づく。

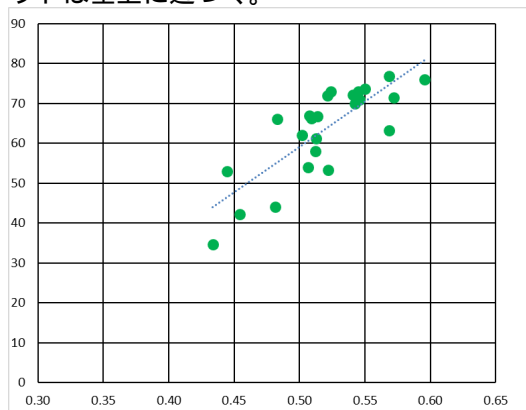


図 2 MPEX 簡易版集団評価と基礎学力

図 2 は都市大 27 集団の MPEX 簡易版数値評価集団平均値 (横軸) と基礎学力調査問題集団平均値 (縦軸) との相関である。相関係数は 0.81 と、両者の間には強い相関がある。

経験豊富な教員は、個々の学生が持つ学習観、学習姿勢と学習成績との間にはなんらか

の相関があると感じている。図 2 はこれを定量的なレベルで実証している。

(2) 理工系大学初年度物理受講者が持つ誤概念の変容

学生の科学に対する概念的理解を調べるために、何種類もの概念調査 (CI: concept inventories) が導入されている。中でも 1992 年に発表された Hestenes らによる力学概念調査 (FCI: Force Concept Inventory)

は、その後多くの研究者によって検討が重ねられ、現在では世界標準的な力学概念調査となっている。近年、覧具博義らによる研究グループは、日本の高校生、大学初年度生を対象とした FCI 調査結果を大量に蓄積し、米国と日本の学生が、学習環境の違いを超えて、力学の学習において共通の概念的困難を抱えており、そのパターンがきわめて類似していることを明らかにしている。

東京都市大学工学部物理学 (1)(2) (力学分野、伝統的授業) 受講生を対象として FCIpre, post 調査を実施し、2015 年度 4 学科 4 クラス pre175 名 post159 名、16 年度 4 学科 4 クラス pre153 名 post138 名、17 年度 6 学科 11 クラス pre603 名 post448 名、15 年度 16 年度 17 年度の 3 年間で 8 学科 19 クラス pre931 名、post745 名のデータを得た。

3 年間で蓄積されたデータにより、各クラスの誤概念最大占有率を pre, post それぞれについて求め、その変容を調べたところ図 4 の結果が得られた。誤概念最大占有率とは FCI 誤概念 K1～G5 それぞれにおいて、そのクラスに所属する学生のうち、これらを保持する可能性のある学生の最大数のクラスに占める割合である (最大 100%)。白は pre、黒は post 調査の結果である。

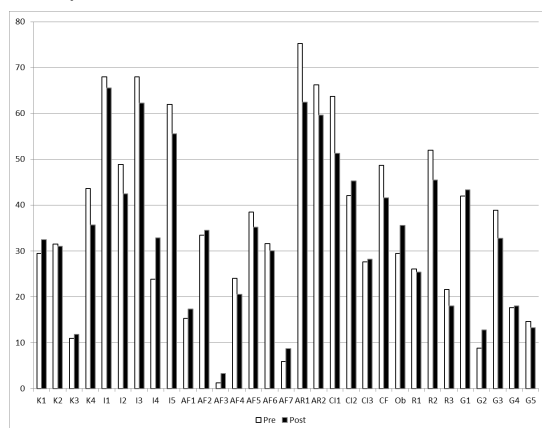


図 3 K1～G5 に対する誤概念最大占有率

図 3 より伝統的講義形式の授業は、学生の概念変容にほとんど資するところがないと判断できる。

一方、東京都市大学では 16 年度より「物理学概論」を開講し、16 年度後期に初年度生 13 名、17 年度後期に初年度生、2 年次生計 28 名が受講した。「物理学概論」は教職課程科目であり、本学では教員と学生、学生相互間のインタラクティブな話し合いを中心と

して授業が展開するソコロフ，ソートンらによる相互型演示実験講義（ILDs；Interactive Lecture Demonstrations）を導入している。後期科目であるので，全員が前期ですでに物理学(1)(2)（力学分野，伝統的授業）を受講している。

図4に「物理学概論」16年度17年度 FCIpre, post による，誤概念最大占有率の変容を示す。図4を伝統的講義（図3）と比較すると，伝統的授業とインタラクティブな授業では，誤概念最大占有率の変容について質的な違いが認められる。

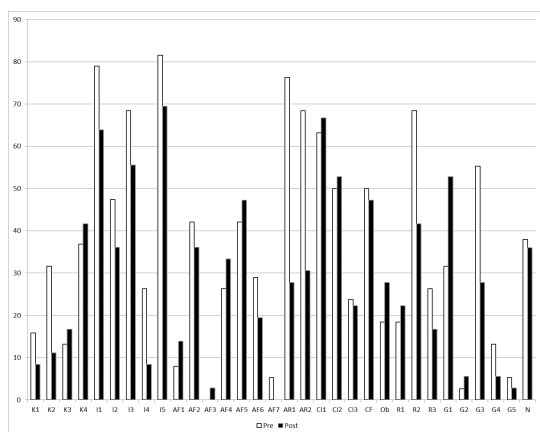


図4 ILDsによる誤概念最大占有の変容

(3) 理工系大学初年度物理受講者の問題解決スキル

東京都市大学工学部必修科目「物理学(1)(2)」受講者計34名（2015年度9名，16年度10名，17年度15名）に対して，教員1人が学生1人と対面する半構成型聞き取り調査（semi-structured interview）を実施した。聞き取り調査の状況はすべてビデオ画像として記録し，学生が問題を解く過程を「図解」「記号の割り振り」「物体系の認識」等16の観点から評価し，5人の評価者による平均点（1点満点）をその学生が持つ問題解決スキルの数値評価（問題解決評価）とした。

面接を実施した時期は，その年度の7月から2月までの間に分散している。そこで，物

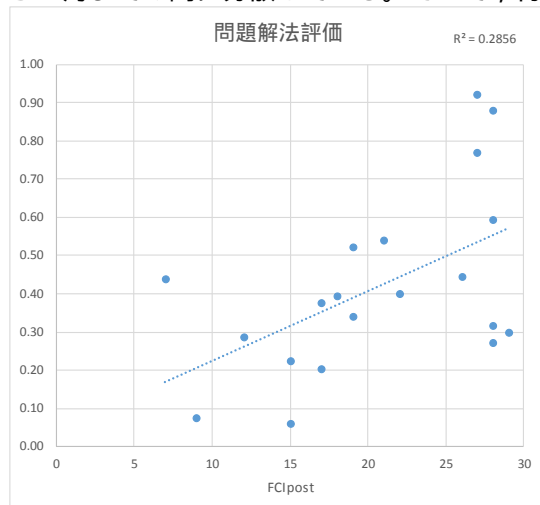


図5 グループ1の問題解決評価とFCIpost

理学(1)(2)の講義終了前後の7月から9月までに面接を実施したものをグループ1，10月から翌年2月までの間に実施したものをグループ2とし，別々に集計した。グループ1は22名，グループ2は12名である。グループ1は力学の講義終了後の経過時間が短いので物理知識の記憶が新しい。

図5，図6より，学生の問題解決評価は力学講義終了近くに実施したFCIpostと相関があることがわかる。図5グループ1の相関係数は0.53，図6グループ2は0.82であり，後者では強い相関になっている。

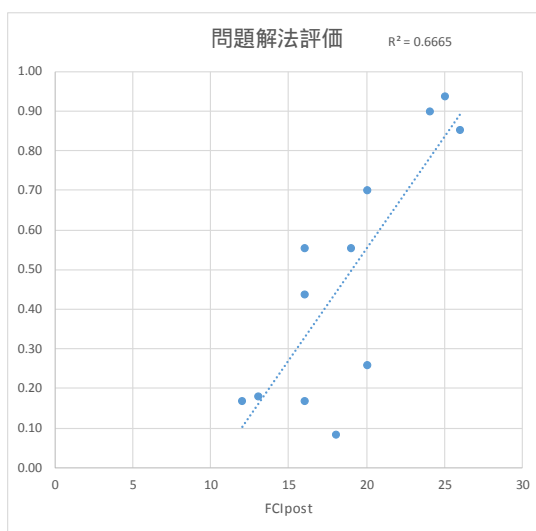


図6 グループ2の問題解決評価とFCIpost

グループ1のように力学講義の記憶が強く残っている状態であれば，概念的理解だけによらなくても，記憶されている知識を頼りにして，16観点中のいくつかについて，評価を高めることが可能であろう。しかしグループ2のように，講義の記憶が薄れた時点では，頼りになるのは概念的理解である。グループ2の問題解決評価がFCIpostと強い相関を持つことは，講義で学んだ事柄が，将来活用されるためには，概念的理解が必要であることを示唆している。

(4) 伝統的講義と相互型演示実験講義(ILDs)によるFCI個人ゲインの比較

アクティグ・ラーニング型授業である相互型演示実験講義(ILDs)は伝統的講義と比較して，学生の力学概念獲得にどれだけのメリットがあるのだろうか。

本研究では，16年度，17年度「物理学概論」の授業をビデオ録画し，学生のクラス討論の様子を記録し，解析した。

図7は17年度「物理学概論」6回のILDsにおける学生の発言回数（横軸）とFCI個人gain(縦軸)をプロットしたものである。図8のFCI個人gainと学生の発言回数の関係を見ると，発言回数が30回を超える者は，FCI個人gainが総じて高いことがわかる。一方，発言回数が20回以下，あるいはほとんど発言しなかった者であっても，FCI個人gainを著しく高めている集団がある。例え，発言し

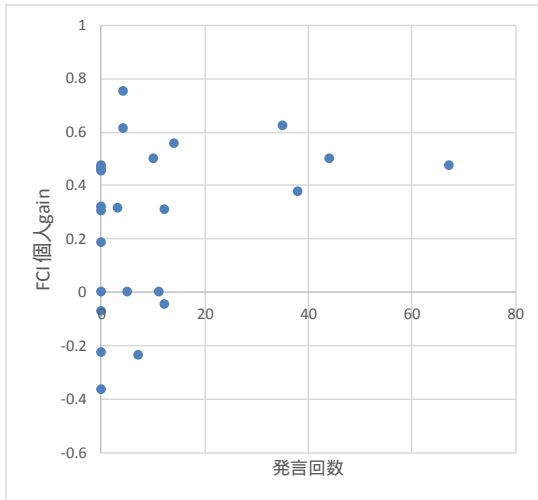


図7 FCI 個人 gain と発言回数

なくても、こうした授業と向き合い参加することで、概念的理解を増強させている。しかし一方、授業に参加していても FCI 個人 gain が負になってしまうような、まったく授業の取り組みが活かされない集団も約 1/3 ほど存在している。

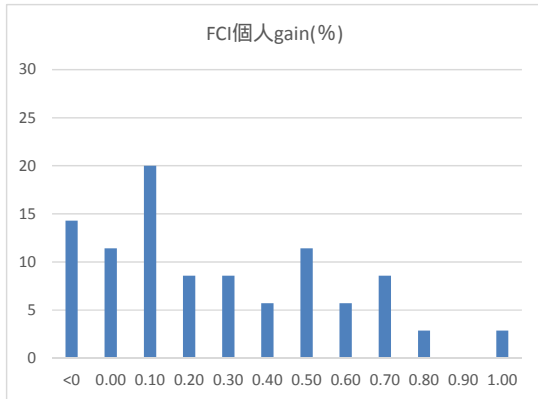


図8 伝統的授業クラス FCI 個人 gain 分布

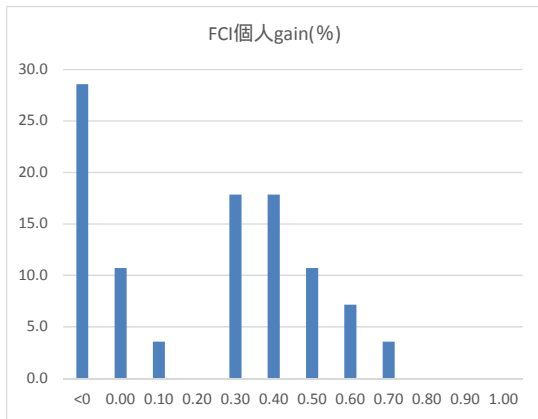


図9 ILDs クラス FCI 個人 gain 分布

図8、図9はそれぞれ伝統的授業クラスとILDs クラスの FCI 個人 gain 分布である。共に FCI 規格化クラス gain は 0.25 である。

伝統的クラスでは、図8のような右下がりのなだらかな分布カーブを描き、分布全体は規格化クラス gain 増大と共に右側の領域が増える。これに対し、ILDs クラスでは FCI 個人 gain 分布は 0.3 以上の者がクラスの約 2/3

の者が占め、残りの 1/3 は 0.1 以下か負の値を取る。明らかに大きな gain を獲得する者と、ほとんど授業の効果がない者との生徒は 2 分される。インタラクティブな授業形態を受け入れることのできる学生とついて行かない学生の明暗がはっきりと現れている。

引用文献

E. F. Redish, J. M. Saul, and R. N. Steinberg, American Journal of Physics 66, 212 (1998)
 E.F.レディッシュ, 日本物理教育学会監訳, 「科学をどう教えるか」, 丸善出版 (2012)
 Hestenes, David, Malcolm, Wells, and Swackhamer Gregg. , " Force concept inventory " , The Physics Teacher, 30(1992)141
 岸澤真一, 覧具博義他 12 名, 「物理教育の現状調査プロジェクト報告 アクティブラーニング型授業とゲインの動向」, 日本物理学会第 71 回年次大会講演概要集, 14aKB-5(2016)
 David R. Sokoloff, Ronald K. Thornton, " INTERACTIVE LECTURE DEMONSTRATIONS " , Wiley; 1 版 (2006/9/18)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

右近修治, 力学の相互型演示実験授業 (ILDs) ,理科教室 ,査読有 ,Vol.61 ,No.5 , 32 ~ 38 , (2018) ,科学教育研究協議会編集/本の泉社
 右近修治, 理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と基礎学力 ,東京都市大学共通教育部紀要 ,査読無 ,vol.10 ,81 ~ 95 , (2017) https://www.tcu.ac.jp/tcucms/wp-content/uploads/2017/07/vol10_05.pdf
 右近修治, 教員指導力向上のための力学概念調査 (F C I) による誤概念の分析 ,青山学院大学教職研究 ,査読無 ,第 3 号 , 19 ~ 33 , (2017) <https://ndlonline.ndl.go.jp/#!/detail/R300000002-1028365564-00>
 右近修治, 物理教育とアクティブラーニング ,理科教室 ,査読有 ,Vol.59 ,No.9 ,67 ~ 72 , (2016) ,科学教育研究協議会編集/本の泉社
 右近修治, 「速さ」の概念形成と高校生 ,理科教室 ,査読有 ,Vol.59 ,No.7 ,36 ~ 42 , (2016) ,科学教育研究協議会編集/本の泉社
 右近修治, 日本の授業実践研究に学ぶ ,大学の物理教育 ,査読有 ,vol.22 ,No.2 ,55 ~ 59 , (2016) ,日本物理学会 DOI:https://doi.org/10.11316/peu.22.2_55
 右近修治, 誤概念診断ツールとしての F C I ,東京都市大学共通教育部紀要 ,査読無 ,

vol.9, 67~78, (2016)
https://www.tcu.ac.jp/files/2016/11/vol19_05.pdf
右近修治,工学部初年度学生の力学,大学の物理教育,査読有,vol.22, No.1, 4~8, (2016), 日本物理学会
右近修治,「理科教室」に学ぶ授業実践,理科教室,査読有,Vol.59, No.2, 37~42, (2016), 科学教育研究協議会編集/日本標準
右近修治,アメリカ物理教育の転回 - 「何を教えるか」から「学生は何を学んでいるか」の研究へ,東京都市大学共通教育部紀要,査読無, vol.8, 65~80, (2015)
https://www.tcu.ac.jp/files/2016/11/vol18_06.pdf

[学会発表](計15件)

右近修治,25aK510-4 理工系大学初年度物理演示実験講義(ILDs)の授業研究,日本物理学会,2018,東京理科大学
右近修治,22pA42-7 理工系大学初年度物理受講者の問題解法スキルの変容,日本物理学会,2017,岩手大学
中村正人,22pA42-8 理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と誤概念の変容,日本物理学会,2017,岩手大学
右近修治,力学の相互型演示実験授業(ILDs),科学教育研究協議会東京支部,秋の研究集会,2017,獨協中・高等学校
右近修治,力学の相互型演示実験授業(ILDs),科学教育協議会,全国研究大会広島大会,2017,広島なぎさ中学高等学校
右近修治,理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と基礎学力,物理教育研究会(APEJ)夏期大会,2017,京都教育大学藤森キャンパス
右近修治,19pC11-1 理工系大学初年度物理受講者が持つ誤概念の変容(),日本物理学会,2017,大阪大学
右近修治,14aKB-6 理工系大学初年度物理受講者が持つ誤概念の変容,日本物理学会,2016,金沢大学
中村正人,14aKB-7 理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と誤概念の変容,日本物理学会,2016,金沢大学
右近修治,理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢調査,日本物理教育学会年会第33回物理教育研究大会,2016,新潟大学五十嵐キャンパス
右近修治,招待講演,日本の授業実践研究に学ぶ,日本物理学会,第6回物理教育シンポジウム,2016,東京大学小柴ホール
右近修治,19aBB7 理工系大学初年度物理受講者の問題解法スキルの変容,日本物理学会,2016,東北学院大学
中村正人,19aBB-8 理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と科学的思考力,日本物理学会,2016,東北学院大学
右近修治,18pAL-1 理工系大学初年度物理

受講者の FCI と問題解法スキル,日本物理学会,2015,関西大学
中村正人,18pAL-2 理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢と基礎学力,日本物理学会,2015,関西大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

右近 修治 (UKON, Shuji)
東京都市大学・共通教育部・講師
研究者番号: 60735629

(2) 連携研究者

山本 明利 (YAMAMOTO, Akitoshi)
北里大学・理学部・教授
研究者番号: 70751105

(3) 連携研究者

新田 英雄 (NITTA, Hideo)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号: 50198529

(4) 連携研究者

長田 剛 (OSADA, Takeshi)
東京都市大学・共通教育部・教授
研究者番号: 50366845

(5) 連携研究者

中村 正人 (NAKAMURA, Masato)
東京都市大学・共通教育部・講師
研究者番号: 90247130

(6) 連携研究者

鈴木 邦夫 (SUZUKI, Kunio)
東京都市大学・共通教育部・講師
研究者番号: 70738468

(7) 研究協力者

岸澤 真一 (KISHIZAWA, Shinichi)
拓殖大学・工学部・学習支援センター

(8) 研究協力者

宮崎 幸一 (MIYAZAKI, Kouichi)
多摩大学附属高等学校非常勤

(9) 研究協力者

長谷川 大和 (HASEGAWA, Yamato)
東工大附属高等学校・教諭