

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 3 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350187

研究課題名(和文)自由テーマ設定型の物理学実験種目の導入効果の研究

研究課題名(英文)Study of Undergraduate Laboratory Subjects without Manuals

研究代表者

松崎 清司 (Matsuzaki, Seiji)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・技術職員

研究者番号：10376874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：近年、物理教育において、アクティブラーニングの効用が説かれている。高等教育の現場である大学の学生実験ではどうであろうか。農工大、物理システム工学科では、2,3年の学生実験に、従来のクッキングレシピ型指導以外に、自分たちでテーマを議論してきめるマニュアルのない、実験を導入した。その教育効果をアンケート、組織的な教員による評価、発表会の成績などで測った。結果として、従来のクッキングレシピ型教育よりも概念理解にすぐれ、学生の意欲が高まるという結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Nowadays, educational effects of active learning are said to be superior than those of passive methods. Is active learning also effective in undergraduate laboratory in higher education? Our group introduced some subjects into undergraduate laboratory courses without detailed manuals. We measured their educational effects from some questionnaires, systematic evaluation of the procedure of students' thinkings, and results of students' presentations. In conclusion, their effects were superior than cooking-recipe type experiments in understanding physical concepts, and they made students more motivated.

研究分野：科学教育

キーワード：学生実験 評価 アクティブラーニング マニュアルレス実験 スターリングエンジン レーザー測距 教育

1 . 研究開始当初の背景

理科系科目の学力低下問題が社会的に取り上げられる中で、本研究グループが教育している工学部の物理システム工学科（以下、本学科）においても、多くの学生が共通して持つ問題点が教員内で強く認識されるようになってきている。その問題点は、(1)物理学が暗記科目になっていて、記憶している公式と解法パターンに当てはめて問題を解くだけになっている、(2)勉強したことを現実問題の解決のために生かすことができない、の2点におおよそ集約できる。

これまでの学部教育は、このような学習姿勢の学生に行われていることになり、効果が低いことが容易に想像できる。卒業研究の指導教員はそれからたいへんな労力を投じてこの問題の解決にかかるが、多くの場合時間は足りず、十分な卒業研究を達成できずに卒業して行く学生が目につく。これでは日本の科学技術創造立国が危うくなってしまふ、という危機感は教員内で共通するものである。

本学科ではこのような問題を解決するために、文部科学省「理数学生応援プロジェクト」の支援を受け、「東京農工大学SAILプロジェクト」を平成20年から4年間実施した。そのプロジェクトの中心プログラムが「自由課題実験」である。このコースでは、プログラムに参加する学生を募り、各自の興味のある実験テーマを設定させ、それを解決あるいは実現する手段を考えることに重点をおいて実習を行う。この実習を通じて、問題を設定して分析する能力、解決方法を企画し設計する能力、問題や考察の内容を論理的に発信する能力、を育成することを目標としている。参加学生は、自分の興味から選んだ実験テーマに自分で実現方法を考えて取り組む過程で、大きな進歩を遂げる。学生の興味を持つテーマは日常生活に身近なものが多いが、そのテーマ

に対しても講義で学習したことや自分で調べたことを運用して問題を解決していくのは、最初それほど容易ではない。実習において、問題の切り分けや抽象化によってポイントを明確化して、本質をついたモデル（講義で習うようなこと）を適応していく問題解決の手法を身につけていく。学生どうしや学生と教員間での議論が有効であることも自然と学んでいく。こうした実習の効果は指導者側から明らかに実感できる。客観的な事実としても、複数の自由課題実験修了者が、卒業研究での卒業論文優秀賞、大学院での国際シンポジウムポスター賞といった高い評価を受けている。学科で実施している大学院入試のときの面接試験の評価点に関して統計をとってみると、高得点を取る学生には自由課題実験修了者の割合が高いことも明らかになっている。

2 . 研究の目的

前述した「自由課題実験」の実践を通じ、本研究グループは次のような感触を得ている。すなわち、学生の身近で興味を持てる題材を実験テーマとして設定させそれを解決させる実習は、物理学に対する基本的姿勢、すなわち「試験問題を解くために公式を暗記するのではなく、現実問題を解決するのに活かせる考え方を学ぶことが重要である」ということを理解させるのに有効であり、教育全般の生産性を高める。そしてこれらの方法論は、一部のやる気のある学生にだけ有効ということはないであろう。このような考え方に基づき、本研究では、本研究グループの進めてきた「自由課題実験」の方法と経験を、すべての学生の受講する通常の学生実験に適用し、その効果を調べることを目的とする。本学科では2年、3年それぞれで、週1日午後3限分、4週間で1テーマ終了、年間6テーマの学生実験コースを実施していて、全学生必修であ

る．実際のところ，学生実験も受動的な講義と変わらずに，あまり良く理解せず深く考えないまま教科書の手順通り実験をこなしてレポートを提出しておしまい，という「実験のための実験」としか消化できていない学生が少なからずいることは事実である．この状況を改善するための方法として，通常の学生実験コースに自由テーマ設定型の実験種目を導入し，その教育効果を調べることが本研究の目的である．ここでいう自由テーマ設定型とは，学生になるべく自由度を与える，すなわち，テーマの大枠と基本的な実験装置は提示するものの，どのような実験をするかということから決めさせるタイプの実験，ということである．

3．研究の方法

まず 3 年生実験に自由テーマ設定型の種目を一つ導入した．導入や実施にあたって押さえるべきポイントは次のようなものであると考えている．

(ポイント 1) 学生にとって身近で親しみやすい題材を選ぶ．

(ポイント 2) 実験装置は与えるが，何をするかはテーマ設定から学生に任せる．

(ポイント 3) 実験システムはブラックボックスにならず，自由度の高いものにする．

(ポイント 4) 講義で習ったことが適用しやすいようになるべく「理想的」な実験システムにするが，一方で実験のための実験ではなく実用的な面白さがあることが望ましい．

(ポイント 5) 教科書の説明は最小限にし，装置の基本的操作方法などにとどめる．

(ポイント 6) 全体で議論する時間を十分確保して，正しい事実認識に基づいて科学的に議論しながら実験を進めることの有用性を認識させる．

これらのポイントに基づいて検討した結果，年間 6 テーマのうち熱力学実験がその導入にふさわしいと考えた．理由は，2 年生ま

での講義で学習していること，エンジンやエアコンなど身の周りに重要なわかりやすい応用があふれていること，熱力学が深く関わるエネルギー問題は学生にとって興味を引く対象であることが「自由課題実験」の経験からわかっていること，実験内容の設定に自由度をもたせやすいこと，の主に 4 つである．

この熱力学実験では科学実験デモ用のスターリングエンジンにセンサ類を取り付けた装置を用いた．教員による最初の装置の動作実演のあと，学生は班ごとにどのような実験を行うか相談し，方法を自分たちで考え実行していく．教員とティーチングアシスタントの大学院生はそのサポートに徹する．実験では毎日最初と最後に各班の発表に基づき全体で議論する機会を設け，議論しながら実験を進める手法を学ばせる．

この種目の実施結果で効果を測りながら，続いて 2 年生実験に一つ導入した．種目は光学実験（レーザー測距の実験）である．レーザー測距の実験は，マイケルソン干渉計を用いて，ボイスコイルの変位を測るようになっており，光学ベンチの上で，自分たちで組み立て，測定するものであった．従来，全 4 週にわたり実験を行うようになっていたが，4 週目のレポート作成指導を，レーザー測距の精度向上の新実験に充て，3 週目にその計画の立案を，1, 2 週の実験結果を踏まえて行うようにした．その計画実験については，指導者は意見を聞きながら誘導するにとどめ，学生たち自身がレーザー測距のどの部分が精度に効いているか考え，その物理量の測定方法を考え，実証するものである．

効果の評価については，実験コース終了時と 1 年後の卒業時のアンケート，2 年生実験については指導者による学生の活動状況の段階ごとでの細かい評価，3 年生実験については他種目と合同で行う発表会の相互評価，に基づいて行った．

4. 研究成果

3年生の熱力学種目では学生は概ね熱心に実験に取り組み、設定されるテーマの多様性にその熱意が表れている。いくつか例を挙げると、

(テーマ例1) エンジンの熱効率

(テーマ例2) 低温部・高温部の温度差と、エンジンの回転数や発電機としての発電量などの関係

(テーマ例3) ヒートポンプで定常状態になるまでの時間変化のモデル化

(テーマ例4) 加熱ではなく液体窒素による冷却でのエンジン動作

(テーマ例5) 気体の比熱の違いによるヒートポンプの効率測定

などが行われている。どの班も熱心に実験を行っていて、実験時間の最初と最後の全体議論も活発である。提出レポートに書かれる感想も、「自分で考えて実験して理解が深まった」「卒業研究はこのような感じかと意識した」など、教員の期待するような傾向が見られた。

熱力学実験のアンケートでは、以下のような項目についてその有効性の感想を問うた。

今学期行った「スターリングエンジン」の実験は、以下の4点でほかの実験と違ってきます。1. 実験内容を自分で考える。2. 背景知識の詳しい説明が実験テキストにない。3. 各実験日の最初と最後に自分たちで発表し討論する。4. 以前の班のレポートを引き継ぐ。この実施方式を取ったのは、次に掲げる教育効果を期待しているためです。熱力学あるいは、本実験に関係ある物理学の知識を使えるようになる。自分で考えながら実験を進める本来の研究手法を学ぶ。

アンケートの結果、大部分の学生がこの実験実施方法を肯定的に受け止めていることが明らかになった。さらに、学生に対しては3年実験コースを終了して1年後にあたる卒業時に、「レポートに書いた内容を思い出せ

る実験を挙げてください」という内容のアンケートを行った。ここでも、熱力学実験は他種目に比べて挙げる学生が多く、記憶の定着のよい実験実施スタイルであることが示された。

学生自身の主観的な評価に加えて、3年実験で発表会の成績を取り出し、そこから、3年実験の教育効果を評価した。評価の方法は以下のとおりである。

発表会の実施方法

3年生実験は約10名が1班を形成し、全体で6班である。その班ごとに1週5時間、4週で1テーマ、年間で6テーマを実施する。各テーマ終了後に個人でレポートを提出する。5テーマ目が終了した後、発表会が開催される。5テーマ目の実験内容について、数名ずつの発表グループごとに、15分程度のプレゼンテーションを本学科の3年生全員と教員に対して行う。プレゼンテーションは「発表」と「質疑」の2項目にわけて最低1点最高4点でグループごとに評価される。評価の観点は大まかには「発表者の主張がよく伝わる発表だったか(発表)」、「質疑応答は適切にできたか(質疑)」である。評価者は、4年間で学生数と教員数で述べ240名程度である。教員の評価と学生全体の評価は、初年度の統計より大体あっていることがわかっている。

「自由課題実験」の履修者は各発表グループにランダムに分散している。2014年度から2017年度の4年間の評価について、全発表グループ、「自由課題実験」履修者がいる発表グループ、熱力学実験発表グループに分けて平均をとりまとめて評価した。この結果、通常の実験課題の班よりも、熱力学実験の班が議論で高い点数を取っていた。「自由課題実験」履修者のいる発表グループは発表、議論ともに高い評価を受けており、「自由課題実験」履修者がグループ全体によい影響を与えていることもわかった。

2016年度より2年生の光学実験も本格化し

たので、3週目の議論を教職員、TAで組織的に見ながら、思考の流れを評価した。そこでは教育効果を測るための以下のような項目を調べたので、結果とともに以下に述べる。

1) どれだけ柔軟な思考が出来るか。

・実験の提案数

精度向上につながらない

実現性がある

精度向上、実現性がある

結果を見ると、学生は実現性のある提案を多く出せていることがわかった。

2) 実験の考え方の順序がスムーズかどうか。考え方の流れに沿っているか。

・具体的な流れの評価

話をまとめる役がいるか

物理量に決定と実験の提案という課題の切り分けができていないか。

議論ごとに結論を出しているか。

提案に対して、精度の向上が定性的にできているか。

提案に対して、精度の向上が定量的にできているか。

実験の改良ではなく、別の実験の提案ができていないか。

物理的に可能な範囲で計画できているか。

機材の入手、実験時間などの具体的な計画ができていないか。

の精度向上の定量性がやや弱いものの、おおよそ半数以上の学生が、指導しなくても適切な考え方の流れに乗って実験を進められていることがわかった。できていない学生も指導することによってほとんど全員ができるようになっていた。

3) みんなで議論して考えているか。

・議論者数

無関心

理解はしているが議論に参加しない

議論に参加している。

議論は活発であった。無関心な学生はほとんどおらず、良好な実施ができたと言える。

4) 議論の質は妥当か。

・議論を全員で深めているか

提案者が十分な説明をしない。

聞き手が理解しようとしめない。

提案者が説明し、聞き手が理解して議論を進めている。

この項目でも大部分の学生が納得しているところまで行っていて、良好に実施できていると判断できる。

これらの評価結果より、大部分の学生が、指導しなくても定量的な実験の域まで行き、そうでない学生も指導によって、納得いくまで互いに議論して、実験を遂行していることがわかった。また、学生の議論のようすから、自由課題実験履修者がいると議論の核となっていることもわかった。

2年実験コース終了時のアンケートでも、大部分の学生が肯定的な受け止めをしていることがわかった。

以上のように、これらの方法は、学生の議論を活発化し、納得する(腑に落ちる)まで議論して実験していくという態度を醸成し、学生にいい影響を与えていると結論付けられる。物理教育学会発表時に、他大学からも、導入を考えている旨、質問をされた。本学に限らず有効な方法と考えられる。

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 4 件)

[1] 畠山温, 「課題設定型種目の導入と主体的・対話的な物理実験教育」, 大学の物理教育, Vol.24 No.2 掲載予定, 査読あり, オープンアクセス

[2] 松崎清司 畠山温 三沢和彦 伊藤宙陸, 「学生自身で考える実験: 大学2年生の光学実験の取り組み」, 大学の物理教育, Vol.24 No.2 掲載予定, 査読あり, オープンアクセス

[3] 畠山温, 松崎清司, 「課題設定型の熱力学実験種目の導入」, 大学の物理教育, 2018/3, vol.24 No.1, 9-13, 査読あり, DOI https://doi.org/10.11316/peu.24.1_9

[4] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 太田寛人, 秋葉圭一郎, 「自由テーマ設定型の実験種目の設定とその教育効果」, 大学教育ジャーナル, 2016/3, 第12号, 1-6, 査読なし, URL <http://web.tuat.ac.jp/~ched/publish/>

〔学会発表〕(計 6 件)

[1] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 伊藤宙陞, 自由テーマ設定型実験種目の教育効果と評価法, 日本物理学会, 2018, 3, 23, 東京理科大学野田校舎, 23pK510-11

[2] 畠山温, 「課題設定型種目の導入と主体的・対話的な物理実験教育」, 2018, 3, 4, 日本物理学会 第8回物理教育シンポジウム, 東京大学 本郷キャンパス 小柴ホール, 招待講演

[3] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 太田寛人, 秋葉圭一郎, 小原祐樹, 伊藤宙陞, 迫田将仁, 考えさせる学生実験(理工系大学の自由テーマ設定型実験と教育効果), 第34回日本物理教育学会研究大会, 2017, 8, 11, 甲南大学, (予稿集 p43, 44)

[4] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 太田寛人, 秋葉圭一郎, 小原祐樹, 伊藤宙陞, 自由テーマ設定型の光学実験種目の導入と教育効果, 日本物理学会, 2016, 9, 14, 金沢大学, 14pKB-8

[5] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 太田寛人, 秋葉圭一郎, 小原祐樹, 大学専門課程の自由テーマ設定型熱力学実験の教育効果, 第33回日本物理教育学会研究大会, 2016, 8, 7, 新潟大学(予稿集 p63)

[6] 松崎清司, 畠山温, 三沢和彦, 太田寛人, 秋葉圭一郎, 自由テーマ設定型熱力学実験の開発と教育効果, 第32回日本物理教育学会研究大会, 2015, 8, 8, 九州大学(予稿集 p127)

〔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 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松崎 清司 (MATSUZAKI, Seiji)

東京農工大学・工学府・技術職員

研究者番号: 10376874

(2) 研究分担者

畠山 温 (HATAKEYAMA, Atsushi)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

授

研究者番号: 70345073

三沢 和彦 (MISAWA, Kazuhiko)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 80259316

太田 寛人 (OTA, Hiroto)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 60546985

秋葉 圭一郎 (AKIBA, Keiichirou)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 80712538

小原 祐樹 (OBARA, Yuki)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 10752032

伊藤 宙陞 (ITO, Hironori)

東京農工大学・大学院工学研究院・特任

助教

研究者番号: 60724127

迫田 将仁 (SAKODA, Masahito)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 80735556