

物理学基礎実験における動画教材・予習プリントの開発

林 美恵子¹⁾・松澤 孝幸²⁾・三野 弘文³⁾

¹⁾千葉大学 普遍教育 技術補佐員 ²⁾千葉大学 非常勤講師

³⁾千葉大学国際教養学部

Development of video teaching material and preliminary assignment print for the basic experimental physics study

Mieko Hayashi, Takayuki Matsuzawa, Hirofumi Mino

要旨

昨今の大学教育においては、学生のより主体的な学びを目指し、アクティブラーニング、反転授業などをキーワードにさまざまな取り組みがなされている。しかし、千葉大学の理系1年約700人が受講する普遍教育の物理学基礎実験は、一般教養時代からほぼ変わらず「巡回方式」というスタイルで行われてきた。これは、90人超えの大人数クラスにおいて教員2人のもとで一斉に実験できるようにと考えられた方式である。実験前の講義は行わず、学生が自ら主体的に予習し、教科書をたよりに実験をすることを前提としている。しかし、時代とともに学生の学ぶ意識も変化し、現状は多くの学生が実験の意味を十分に理解しないまま始め、実験中は結果を出すことに精一杯となり、対象の物理現象の意味や実験の理論について議論する機会は、実験終了するまでほとんどなく、主体的学びとは遠い実態がある。このような課題に対し、人員の増員が難しい中、我々は実現可能な対策として、2015年度より実験装置の改良によるテーマ数の集約化などの改善策に取り組み始めた。本報告では、この一環の中で「交流回路実験」向けの「動画教材」および「予習プリント」、 「電子の比電荷測定実験」向けの「動画付き予習プリント」を開発し、2017年度後期の学生実験で実施したので、その取り組みと評価について報告する。

キーワード

アクティブラーニング、反転授業、動画教材、物理実験

1. 序論

1.1 千葉大学 物理学基礎実験「巡回方式」の課題

長年、千葉大学の普遍教育の物理学基礎実験で行われてきた「巡回方式」では、学生たちは複数のテーマに分散して同時並行に実験する。これは、比較的大型で調整も必要な装置を使う物理実験を、90人超えのクラスで一斉に同一テーマで行うことが難しいためである。実験テーマは計14種類あるが、1つの実験テーマにつき実験装置は4セットのみで、部屋ごとにあらかじめ固定・調整されて設置されている。一方、指導人員は1クラスに対し教員2人とTA 1人、技術補佐員1人の計4人という厳しい状況であるため、それぞれの実験テーマについて講義をすることが難しく、事前の実験説明の講義は行っていない。学生たちは2人1組のペアで1つの実験装置を使い、自分たちで教科書に書かれた手順をたよりに実験を行い、レポートを完成させた後、8人のグループ単位で指導教員から諮問を受け、OKが出たらその日の実験終了となる。実験は4週にわたって行われ、1週間ごとに学生が実験装置の部屋をローテーションして移動し（これを指して「巡回」と呼んでいる）、それぞれの学生は4テーマを経験する。最も人数の多い96人クラスでは、同時に12テーマが実施される。このような「巡回方式」には、

- ① 1人のスタッフが複数のテーマの質問に対応しなくてはならず、学生への指導・質問対応が十分にできない。また、学生が実験後の諮問を受けるための待ち時間も1時間以上になることもある。

という人員不足による問題がまずある。また、それだけでなく教育の質的問題として、

- ② 実験装置は固定・調整済みであるため、学生は原理を知らなくてもオペレータ感覚で結果を出せてしまう。
- ③ 上記②に加え、実験前の講義がないこともあり、ほとんどの学生は実験中は結果を出すことに精一杯となり、理論、実験方法の原理について議論する機会は実験終了するまでほとんどない。

といったこともあった。

1.2 実験テーマ数の集約化（12テーマ⇒4テーマへ）

このような問題に対し、まずは人員不足の解消が望まれるが、昨今の人員削減の環境下であり実現は難しい。そこで実現可能な改善策として、2015年度より同時並行に実施する実験テーマ数の集約化に取り組んでいる。大型の実験装置は小型装置を新規開発するなどして置き換え、順次、1テーマ4セット（学生8人分）→12セット（学生24人分）への増設を進め、現段階で「ボルダの振り子」「交流回路実験」「音速の実験」について12セットへの増設が完了した。他のテーマでも増設が完了すれば、最大の96人クラスでも同時並行に実施するテーマ数は4つに集約され、指導スタッフが1テーマに充てる指導時間を増やすことが期待できる。

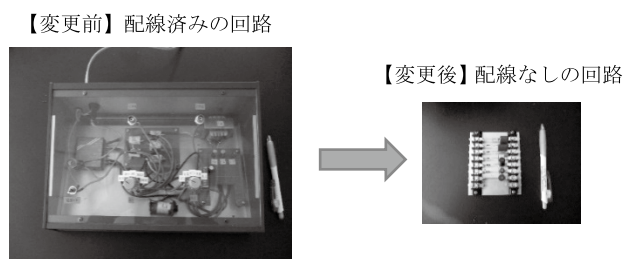


図1 交流回路実験装置の変更

1.3 実験装置の改善と「予習プリント」・「動画教材」の開発

以上と併せ、学生のより主体的な学びを目指し、装置の改善および動画・予習プリントの教材開発も行った。

(1) 「交流回路実験」向け「予習プリント」・「説明動画」の開発

「交流回路実験」では、2016年度に、回路を今までの配線済みの回路ではなく、配線なしの回路に切り替え、学生が自ら回路を配線する方式に変更した(図1)。併せて、学生が自分で理解して回路を組めるよう、テキストや机上資料を写真付きの詳細な説明に変更した。

ところがこの変更後、学生は正しく回路を組むまでの試行錯誤に大幅に時間がかかるようになり、規定の時間内(3時限～5時限)に終わらないことが増えた。また、オシロスコープや回路に関するトラブルの訴えも頻発するようになり、実験中の質問数が他の実験テーマに比べても最も多くなった。そこで今回、実験の理解に必要となるであろう、実験原理のうちの基本内容や実験方法を整理した教材として、「予習プリント」と「実験方法の説明動画」を作成した。これを今年度T4-5の物理学基礎実験の工学部のクラス約180人に実施し、学生アンケートによってその効果を評価した。

(2) 「電子の比電荷測定実験」向け「動画付き予習プリント」の開発

「電子の比電荷測定実験」では、ひとつの試みとして、実験の原理を理解するための「動画付き予習プリント」を作成した。この予習プリントは実際の実験の動画を視聴しながら模擬的に測定結果をグラフにして解析し実験結果を計算することを事前に体験させることができる。これについても今年度T4-5の物理学基礎実験の工学部のクラスのうちの約27人に実施し、学生アンケートによってその効果を評価した。

2 「交流回路実験」の「予習プリント」の取り組みと評価

2.1 「交流回路実験」の学習課題

交流回路実験は、高校物理で学習済みの「交流回路のコンデンサー、コイルの端子電圧は電流に対し位相が $\pi/2$ ズれる」(※1)ことを前提としている。その上で、「抵抗とコンデンサーを組み合わせた交流回路が、コンデンサー(またはコイル)が上記※1の特性を持つことにより回路全体の電圧が抵抗の端子電圧より位相がズれるという現象」を扱う。このズレをオシロスコープで定量的に測定することにより、コンデンサーの容量C(また

はコイルの自己インダクタンス L)を未知数として求めようというものである。

2.2 「予習プリント」のねらい

回路をばらして自分で組み立てる方式にした後、学生たちの中に、「オシロスコープの2つの波形を見ても、どちらが抵抗の端子電圧でどちらが全体の端子電圧か区別がつかないまま位相差を測定している」、あるいは、「接続を間違えていてもオシロスコープ波形の異常に気が付かない」という状況が複数見られた。このような状況を受け、以下の2つをねらいとして予習プリントを作成した。予習プリントは、学生が取り組みやすいようA4サイズ1枚(両面)に収めた(図2)。

交流回路実験 予習プリントのねらい

〈ねらい1〉 上記※1を数学的原理に基づいて復習できるようにする。

⇒プリント前半部分に※1の式の導出を記述。

〈ねらい2〉 上記※1の現象が実験でどのようなオシロスコープ波形となるかを予想できるようにする。⇒プリント後半部分でオシロスコープ波形の予想を作図する設問を設定。

C. 容量および自己インダクタンスの測定(実験1)

学生証番号 _____ 氏名 _____

【理論1】RC直列回路 V_0, ω をそれぞれ定数とする。時刻 t における電源電圧が $V = V_0 \sin(\omega t + \alpha)$ …… ①である交流電源に、抵抗値 R の抵抗と電気容量 C のコンデンサーを直列につないだ。時刻 t に流れる電流を I 、コンデンサーに蓄えられる電荷を Q とし、それぞれの電圧を V_R, V_C とする(図1)。

図1. RC直列交流回路

時刻 t において、抵抗では、 $V_R = RI$ …… ②が成り立ち、コンデンサーでは、 $V_C = \frac{Q}{C}$ …… ③が成り立つ。一方、電流 I は、電荷 Q の時間変化に等しいから、 $I = \frac{dQ}{dt}$ …… ④を満たす。図1の回路は $V_0 = V_R + V_C$ を満たすから、①~④より、 $R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = V_0 \sin(\omega t + \alpha)$ …… ⑤を得る。微分方程式⑤は正弦波を特解にもち、 Q は正弦波となる。その微分も正弦波になるので、⑤より、 I_0, β を定数として、 $I = I_0 \sin(\omega t + \beta)$ …… ⑥が得られる。したがって、②より、 $V_R = RI_0 \sin(\omega t + \beta)$ …… ⑦が得られる。また、③より、 $V_C = \frac{1}{C} \int I dt$ …… ⑧が成り立つから、⑤に⑥を代入して、 $V_0 = \frac{I_0}{\omega C} \sin(\omega t + \beta - \frac{\pi}{2})$ …… ⑨が得られる。これより V_R は、 V_C に比べて位相が $\pi/2$ だけ遅れることがわかる。

【設問1】 図1の電圧 V_0 をオシロスコープで測定したところ、図2の波形を得た。ここで、横軸は時間、縦軸は電圧を表す。

図2. オシロスコープによる電圧 V_0 の波形

(1) 図2から読み取った周期 T と、それより計算される角周波数 f を下記に書き込み。
 $T =$ _____ μ s, $f =$ _____ Hz
 (2) 予想される V_C の波形を図2に書き込み (V_C の振幅に V_R の振幅に等しいとせよ)。
 (3) V_R と V_C の合成電圧 V を図2に書き込み。
ここで $V_R + V_C = V$ を満たすためには、積分定数をとりなければならぬ。

図2 交流回路実験の予習プリント (おもて面)

2.3 「予習プリント」の実施と評価

われわれは、2017年T4-5の物理学基礎実験1年の2クラス（工学部電気・情報系クラス、化学・環境系と環境・デザイン系クラス）を対象として、実験の前の週に予習プリント配布し、実験開始直前にプリント記入をチェックしてから実験をスタートさせた。実験の終了後、学生たちにアンケートを行い、120人分のアンケート回答を得た（図3）。

高校物理履修者106人のうちの75%、高校物理未履修者16人のうちの68%（11人/16人）が「大いに役に立った」「多少役に立った」と肯定的評価をしており、一定の効果があったといえるだろう。

高校物理履修者と未履修者では肯定的評価の割合に大きな差はないが、よかった点についてのコメントには違いがある。物理履修者のコメントは多い順で「位相が $\pi/2$ ズレていることを復習できてよかった。（22人）」、「式の導出の記述により位相の $\pi/2$ のズレを数学的に理解できてよかった。（15人）」、次いで「実験中オシロ（スコープ）波形の位相のズレがイメージしやすくなった。（7人）」とあり、当初の<ねらい1、2>のそれぞれについて、どちらもある程度効果があったといえるだろう。一方、物理未履修者は、そも

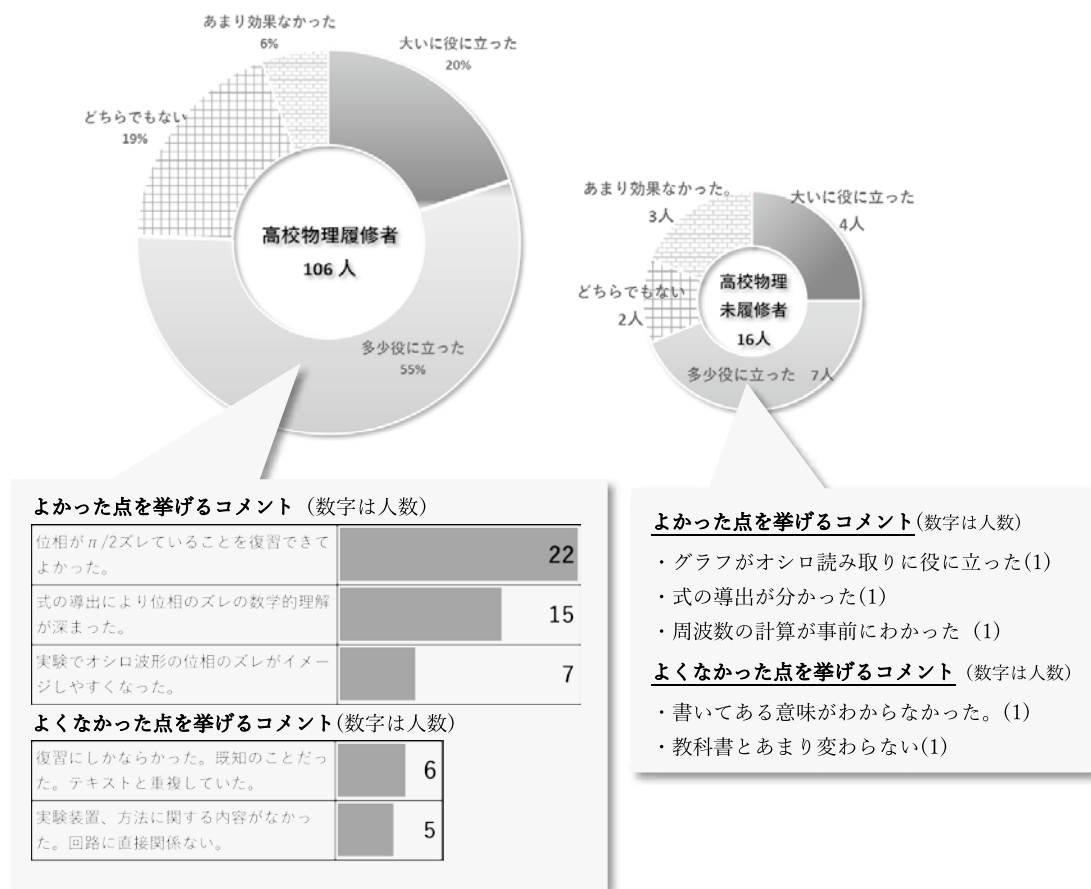


図3 交流回路実験・予習プリント 学生アンケート結果

工学部 電気・電情系 化学・環境系 環境・デザイン系1年 2017. 10実施

そも<ねらい1>は望めず、今回の対象者も16人と少ないので全体の傾向とまでは言えないが、<ねらい2>については、「グラフ作成がオシロスコープ読み取りに役に立った」「周波数の計算がわかった」とのコメントもあり、効果も一部あったようである。ただし、対象者も回答数も少ないので全体の傾向とまでは言えない。

また、高校物理履修者・未履修者どちらも「大いに役に立った」より「多少役に立った」が2倍近く多い回答となっており、この理由について考えてみる必要がある。ここで、よくなかった点についてのコメントを見ると「復習にしかならなかった(6人)」「実験方法、回路に直接関係する内容がなかった(5人)」があった。これは、われわれが設定した予習プリントのねらいを高校の復習範囲としたことに対し、これらの学生は、より実験に直接関係のある内容を期待していたと言えよう。言い換えれば、実験をしてみると予習プリントではイメージできなかった内容が多くあったということであろう。確かに、今回の予習プリントの<ねらい1,2>は、高校範囲の復習にとどまっていたので、例えばさらに「合成波の作図をもとに位相差を計算で求める」という設問を追加することを検討してもよいだろう。しかし、実験テーマの内容にもよるが、予習プリントは現実的に学生が着実にこなせる量と質かどうかには照らして考える必要がある。特に説明が複雑になる内容や初めて触れる内容については、実験当日に指導スタッフがミニ講義をするなど、予習プリント以外の手段も含めて検討する必要があると思われる。

3 「交流回路実験」の実験方法の「説明動画」の取り組み

3.1 「説明動画」のねらい

2. で紹介した予習プリントと併せ、学生が同実験を行う際に視聴するための実験方法の説明動画も作成した。この実験の難しさは、自分で回路を組む必要があるということに加え、オシロスコープ、発振器などの学生にとって初めて扱う計測機器についても、その使い方、機能を理解しなければならないということにある。特に理系分野では基本かつ重要な装置であるオシロスコープは、教科書に原理・仕組みの記述はあるが、それを予習で読んで理解できている学生は少ない。ほとんどの学生は、実験中は使い方だけを読み、実験結果を出すことで精いっぱい様子である。他の大学では、オシロスコープの扱っただけで独立の実験テーマとして時間をかけて説明しているところもある¹⁾⁻⁴⁾。このような理由から、以下の2つをねらいとして説明動画を作成した。動画の長さは、学生が見る気持ちを失わせないよう動画1つあたり10分以内に収めた。

「交流回路実験」説明動画のねらい

- 〈ねらい1〉 学生が「なぜこの操作・設定をするのか」を理解できるよう、回路を接続する前に、「コンデンサー」「コイル」「抵抗」「同軸ケーブルの構造」「発振器」「オシロスコープの機能」などの各構成要素についても実物を提示しながら、その構造・設定の理由をできるかぎり説明する。
- 〈ねらい2〉 一方で、「操作のわかりやすさ」を保証するため、学生が動画の通りにすれば正しく実験できたとなるよう、教科書の順序どおりに操作する様子を示しながら説明し、かつ回路の接続箇所がよく見える映像となるよう注意する。



図4 交流回路実験・説明動画（10分）^{5),6)}

（左：同軸ケーブルについての説明。右：接続操作の様子を示しながら説明。）

3.2 「説明動画」の実施と評価

2017年T4-5の物理学基礎実験1年の2クラス（工学部電気・情報系、化学・環境系環境・デザイン系）で、実施した。学生は、2の予習プリントをしてきている。実験室の机上に説明動画のURLのQRコードを提示しておき、実験開始時に「実験方法は、教科書にもありますが、QRコードで説明動画も自分のスマートフォンで視聴できるので、見たい人は見てください。」とアナウンスした。実施の結果、図5のアンケートの結果を得た。図6に学生の様子の写真を示す。

アンケートの結果から、全体の6割の学生が動画を見て実験し、4割が動画を見ずに実験をしたことがわかる。視聴の状況は、図6の写真のように、実験ペア2人で1つのスマートフォン画面を見ながら操作をし、一時停止しつつ手元の回路と比較しながら行うといった様子が複数見られた。視聴した学生の反応をアンケート結果で見ると、高校物理履修者では視聴者の64%が「大いに役立った」、27%が「多少役に立った」とし、「どちらでもな

物理学基礎実験における動画教材・予習プリントの開発

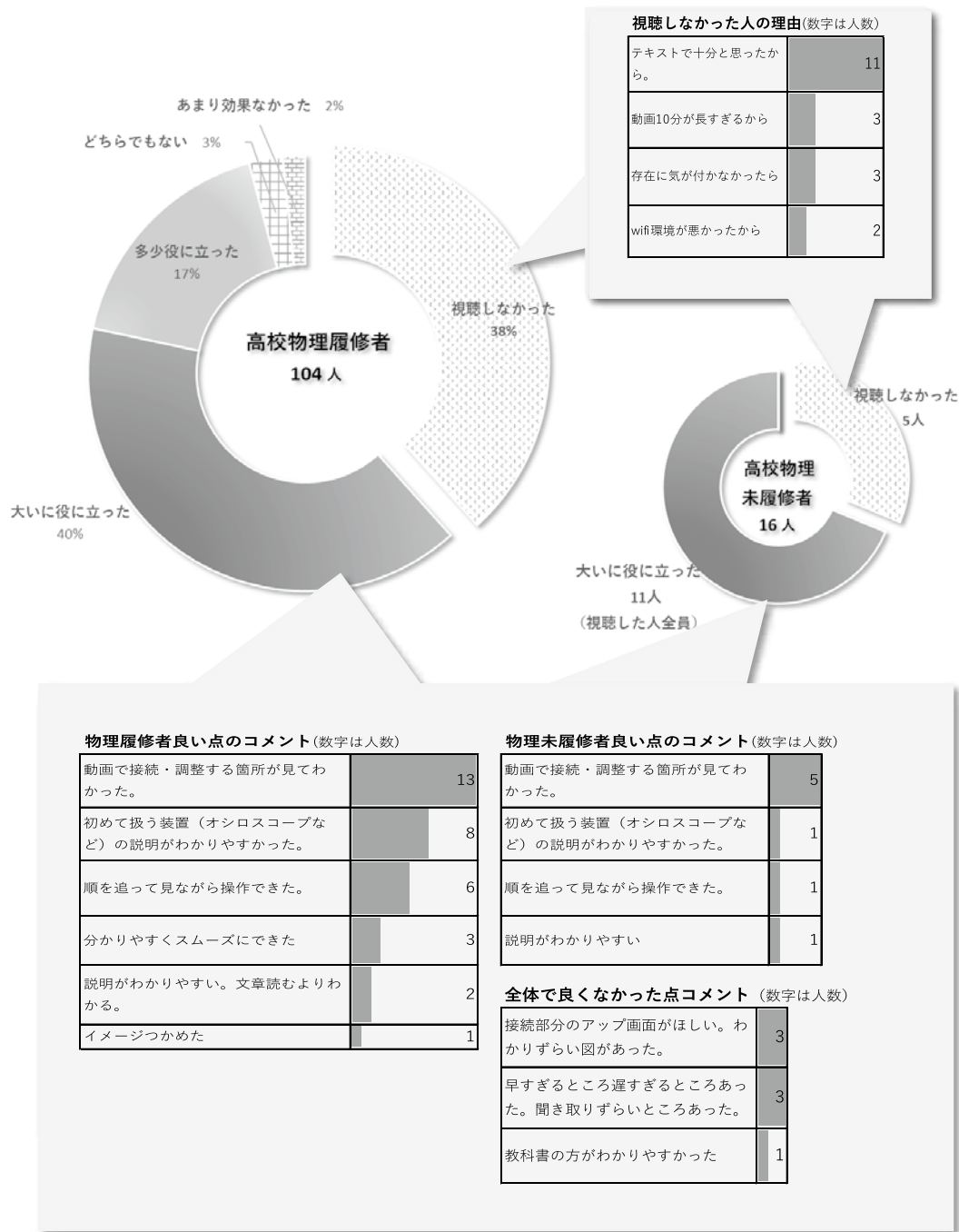


図5 交流回路実験・説明動画 学生アンケート結果

工学部 電気・電情系 化学・環境系 環境・デザイン系1年 2017.10実施

い」「役に立たなかった」は8%と少数だった。高校物理未履修者では、視聴した人全員が「大いに役立った」と答えた。高校物理履修の如何にかかわらず、全体の評価は非常に良かったといえる。役に立った理由についてのコメントは多い順に「動画で接続・調整する場所が見てわかった」「初めて使う(オシロスコープなど)の説明がわかりやすかった」「順を追って見ながら操作できた」とあり、動画作成の<ねらい1>「なぜこの操作・設定を



図6 交流回路実験をする学生の様子（左：説明動画を自分のスマートフォンで見ながら実験をする学生。右：説明動画を見る学生と見ないで実験をする学生どちらもいる。）

するのか」と〈ねらい2〉「操作のわかりやすさ」それぞれに対する効果があったことがうかがえる。実験中の学生の質問も実験方法に関する初歩的な内容が大幅に減り、余裕を持って指導できるようになった。

また、動画を見なかった学生の視聴しなかった理由については、「教科書で十分と思ったから」が最も多く、学生が自由に選択した結果で動画の問題ではないようだ。そのほか少数意見として「(10分間の)時間が長すぎたから」もあった。今回の動画はこれ以上内容を削らずに時間を短くすることはできないが、今後も学生の見る気を削がないよう動画1本は10分以内でという目安は必要であろう。

4. 「電子の比電荷測定実験」の「動画付き予習プリント」の取り組みと評価

4.1 「動画付き予習プリント」のねらい

「電子の比電荷測定実験」は、電子の流れである陰極線に磁場をかけることにより電子が磁場と垂直な向きにローレンツ力を受けて円運動する現象を扱う。この実験は、実験操作は比較的簡単であり、起きている現象も視覚的にわかりやすいこともあり、学生にも好評である。今回は、本テーマの実験の現象が比較的撮影が容易であるという理由で、試みの一つとして実験の撮影映像を用いた予習プリントを作り実施した。「動画付き予習プリント」はつぎのようなねらいがある。図7に予習プリントを示す。

「電子の比電荷測定実験」 動画付き予習プリントのねらい

〈ねらい1〉 実験全体の流れ（何を測定し、どんな計算をし、最終的に何を求める）がつかめるよう、陰極線が円形となる動画を見て模擬的に測定値を読み取り、グラフを作成し、その傾きから、電子の比電荷値を計算するという設問を設ける。

〈ねらい2〉 実際の操作がイメージできるように、実験の操作の様子も（静止画でなく）動画で見せている。

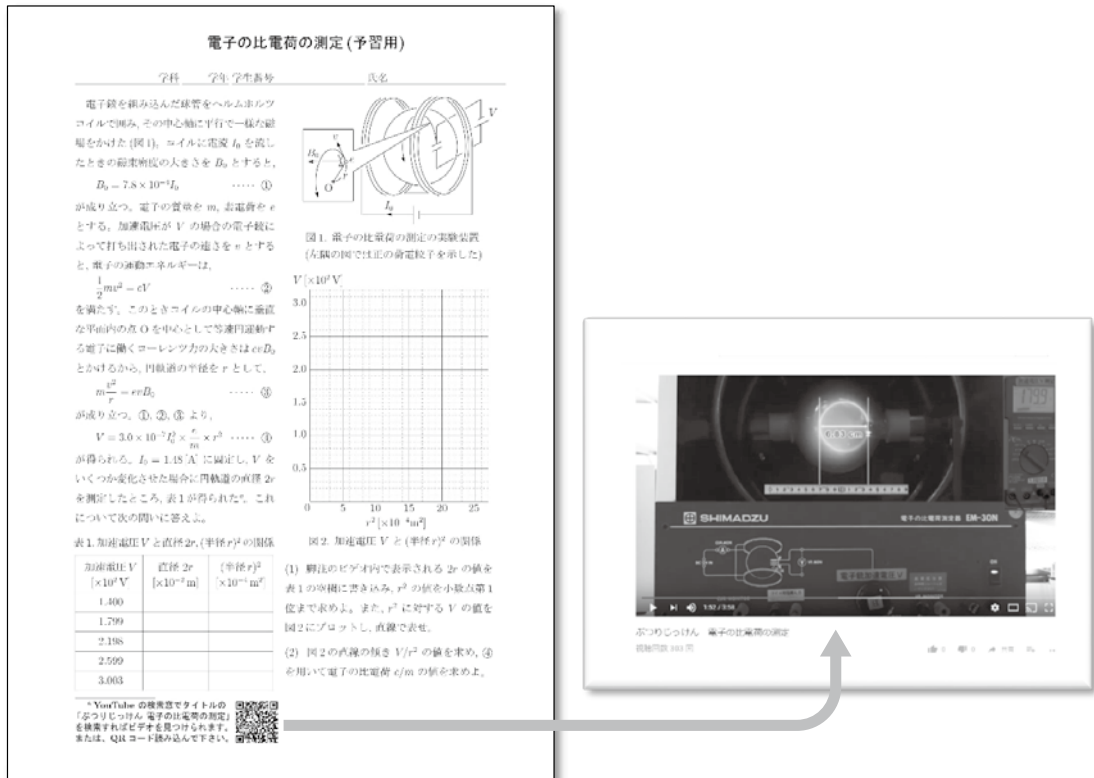


図7 電子の比電荷測定実験の動画付き予習プリント⁷⁾

プリントのQRコードにリンクされた実験動画(陰極線の円軌道)を見ながら、模擬的にその直径を測定し、グラフ作成し、傾きを求め、電子の比電荷の値を算出する。

4.2 「動画付き予習プリント」の実施と評価

2017年T4-5の物理学基礎実験の1クラス(工学部電気・電情系1年)のうちの26人で、実施した(実施した学生数が交流回路実験より少ないのは、装置数が4台のみであることによる)。実施後、図8のアンケートの結果を得た。

1人を除いて高校物理履修者で、高校物理履修・未履修の比較はできないが、「大いに役に立った」58%「多少役に立った」34%で、非常に効果的であったといえる。2章で紹介した「図3. 交流回路実験・予習プリント 学生アンケート結果」と比較すると、こちらのほうが「大いに役に立った」がずっと多く、学生の評価が高い。よかった点を挙げるコメントは、「グラフを作成し、傾きから電子の比電荷 e/m の計算を事前に体験できたことがよかった(11人)」、「装置とその扱い方を動画で見たのでイメージしやすかった(10人)」となっており、ねらい通りの効果があったといえる。

5. まとめ

千葉大学の物理学基礎実験における巡回方式の授業が抱える課題解決の一環として、「交

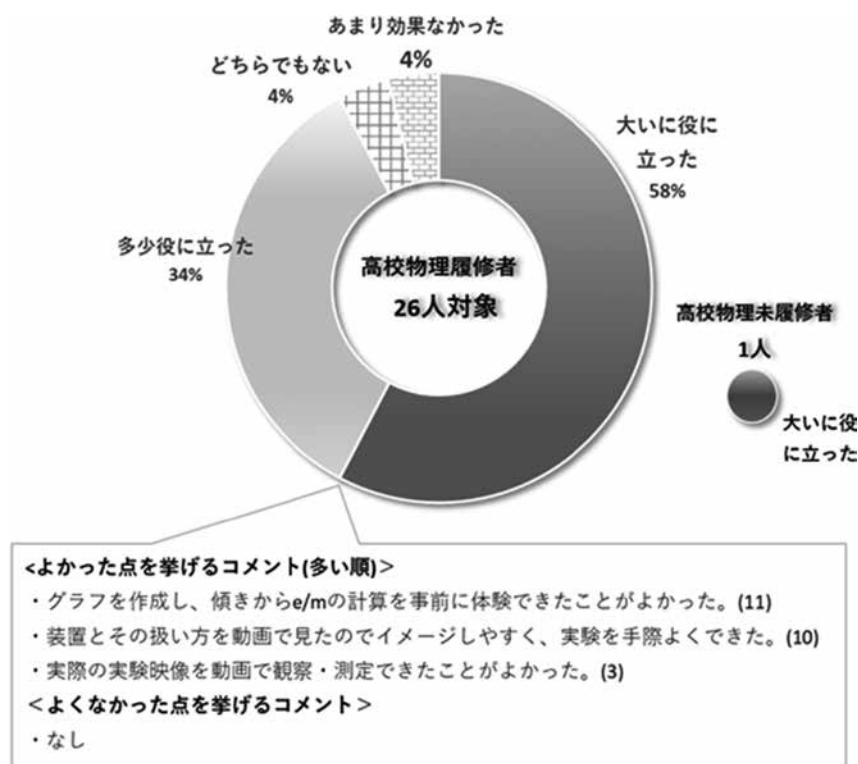


図8 電子の比電荷測定実験・動画付き予習プリント 学生アンケート結果
工学部 電気・電情系1年 2017. 10実施

「交流回路実験」向けの予習プリントと実験方法の説明動画、「電子の比電荷測定実験」向けの動画付き予習プリントを開発し、2017年度の後期T4-5の2クラスで実施した。

- (1) 「交流回路実験」向けの予習プリントは「高校物理の復習をベースにオシロスコープ波形を予想させる」内容としたことに対し、大半の肯定的評価が得られた。一方で、「復習にしかならなかった」「実験方法、回路に直接関係する内容でなかった」との声もあった。
- (2) 「交流回路実験」向けの実験方法の説明動画は「操作のわかりやすさ」だけでなく「なぜこの操作・設定をするのか」も伝えることをねらいとしたが、両方のねらいについて高い肯定的評価が得られた。実験中の初歩的な質問も大幅に減った。
- (3) 「電子の比電荷測定実験」向けの動画付き予習プリントは、「動画を使い実験全体の流れをより具体的にイメージできる内容」により、上記(1)の予習プリントと比べて評価がより高かった。

以上の結果を踏まえ、動画教材、予習プリントだけでなく指導人員体制の改善も含め、様々な手立てについてさらに検討し、普遍教育の物理学基礎実験において学生がより主体的な学びを展開できるよう、取り組みを続けていきたい。

参考文献

1. “東北大学全学教育科目テキスト2008自然科学総合実験”，東北大学自然科学総合実験テキスト編集委員会編，東北大学出版会，宮城県仙台市，2008
2. “物理学実験―第4版―”，宇都宮大学工学部物理学実験指導書編集委員会，村松伸二，北村通英，寄川弘玄（編），学術図書出版社，2014
3. “物理学実験 2012”，京都大学大学院人間・環境学研究科物質相関論講座編，学術図書出版社，2012
4. “大阪大学 物理学実験2014”，大阪大学物理教育研究会編，学術図書出版社，2014
5. 交流回路実験の説明動画前半（10分）<https://youtu.be/K1vagda6pL0>
6. 交流回路実験の説明動画後半（2.5分）https://youtu.be/WW1Ey_v7E_0
7. 電子の比電荷測定実験の予習用動画（4分）<https://youtu.be/GhRAeVRMfVU>

林 美恵子 技術補佐員（国際教養学部 普遍教育係 物理実験担当）

松澤 孝幸 非常勤講師

三野 弘文 国際教養学部