

物理学実験の改善

——「HIT 実験ノート」の作製とテキスト「工科系のための物理学実験」の改訂——

山本 愛士*・井上 光**・尾崎 徹***・木船 弘一****
小島 健一*****・安塚 周磨*****・大村 訓史*****

(平成29年9月11日受付)

Improvements of Basic Experiments in Physics Designing of “HIT Experiment Notebook” and Revision of the Textbook

Aishi YAMAMOTO, Hikaru INOUE, Tōru OZAKI, Kouichi KIFUNE,
Kenichi KOJIMA, Syuma YASUZUKA and Satoshi OHMURA

(Received Sep. 11, 2017)

Abstract

Several improvements of the course in “Basic Experiments in Physics,” especially newly designed experiment notebook and revision of the textbook, were reported. An experiment notebook was specially designed for our students, which was named “HIT experiment notebook,” and began to be handed out from 2013 academic year. The textbook was revised in many regards and its 4th edition was published in 2016. The educational effects of the above-mentioned improvements were discussed.

Key Words: Basic Experiments in Physics, experiment notebook, textbook

1. はじめに

物理学実験は、本学の1年生（一部2年生）を対象にした科目で、実験計画、測定、解析、レポート作成という一連の作業を通して、基本的な実験手法を習得することを目的としている。物理グループでは、よりわかりやすく、しかもより質の高い教育を目指し、物理学実験の改善に取り組んでいる。本稿では、「HIT 実験ノート」の作製と物理学実験のテキスト「工科系のための物理学実験〈第4版〉」[1]の出版を中心に（図1）、この数年間に行ってきた改善について報告する。次の2章では、本題に入る前に、現在行っている物理学実験の概要を説明する。続いて3、4章では、作製した「HIT 実験ノート」および物理学実験のテキスト

の改訂について述べる。5章では実施結果について報告し、6章で総括した後、今後の課題について言及する。

2. 物理学実験の概要

物理学実験には、振り子による重力加速度の測定、気柱の共鳴、水の比熱、光の干渉など高校物理の座学で学んだテーマ、および金属のヤング率、水の粘性係数、銅の電気化学当量など専門科目と関連するテーマがあり、大学1年生が取り組みやすいと思われるものを全部で19テーマ用意している（表1）。本科目は、実験の手法や解析、レポートの書き方を体得してもらうことが重要であるため、実験内容のレベルはそれほど高く設定していない。

本科目は、週1回2コマで開講している。最初の3回を

* 広島工業大学工学部機械システム工学科

** 元広島工業大学工学部教授

*** 広島工業大学工学部電子情報工学科

**** 広島工業大学工学部建築工学科

***** 元広島工業大学情報学部特任教授

***** 広島工業大学工学部知能機械工学科

***** 広島工業大学工学部環境土木工学科

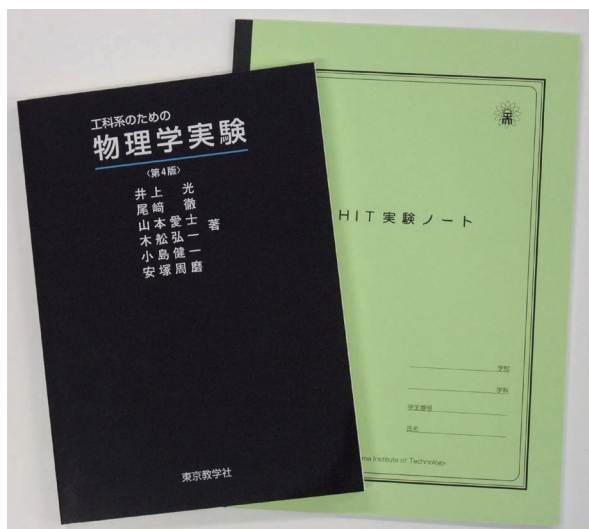


図1 「工科系のための物理学実験〈第4版〉」(東京教学社, 2016年)と作製した「HIT実験ノート」。

表1 物理学実験の実験テーマ。

- | |
|------------------------|
| 1 基礎測定 A (密度) |
| 2 基礎測定 B (電気抵抗) |
| 3 振り子の周期と重力加速度 |
| 4 金属のヤング率 |
| 5 金属のずれ弾性率 (剛性率) |
| 6 水の粘性係数 |
| 7 気柱の共鳴と音波の周波数 |
| 8 弦の共振と交流の周波数 |
| 9 熱電対の熱起電力 |
| 10 混合法による固体の比熱 |
| 11 金属の熱膨張係数 |
| 12 水の比熱 |
| 13 光の干渉と波長 |
| 14 偏光度 |
| 15 銅の電気化学当量 |
| 16 半導体のエネルギーギャップ |
| 17 共振回路の Q 値 |
| 18 コイルのインピーダンスとインダクタンス |
| 19 電子の比電荷 |

ガイダンスにあて、実験を安全に進める方法や諸注意と有効数字、誤差、最小2乗法など基本的なデータの処理方法について講義する。4回目から実際の実験が実験室でスタートする(図2)。学生は、実験当日までに実験内容をノートに書いて予習し、当日チェックを受ける。最初の2回は、金属棒の密度と抵抗器の抵抗値を学生一人一人が実験し、翌週にレポートを提出する。その後は、3名程度の班を編成し、毎回異なる実験テーマを行い、翌週にレポートを提出する。実験が始まって5回目頃に、提出されたレポートについて、レポートの形式、表や図の形式、文章、考察などの指導を行っている。また、学生は、各回実験が終わると、指導教員によるチェックを受け、実験内容、結果の説明および議論にパスしたら終了としている。



図2 物理学実験室の配置。実験装置は2セットずつ用意している。奥の暗幕つき実験台は2010年に製作した本学オリジナルである。実験テーマは、左から光の干渉と波長、偏光度、電子の比電荷である。

3. 「HIT 実験ノート」の作製

実験ノートは、実験計画、実験結果、考察、新しいアイデアなどを記録し、のちにその記録をもとに再現実験を行ったり、実験者が最初の発案者であることを証明したりするための非常に大事な記録簿である[2]。これまでは、物理学実験の最初のガイダンスで、実験ノートを1冊用意し、それに実験結果をきっちりと記録するように指導してきた。しかし、いくら口を酸っぱくして注意しても、ルーズリーフに殴り書きする者、小さなメモ帳にメモ書きする者などが後を絶たず、業を煮やしてしまった。そこで作製したのが「HIT 実験ノート」(図1)である。

近年、研究室においてラボノートを作ることが推奨されてきており、ハードカバーの分厚い実験ノートが市販されるようになった。しかし、これを1年生の物理学実験で使用するには、硬くて重量もあり不適當であった。物理学実験に合うソフトカバーでページ数が30ページほどの市販の実験ノートを探してみたが、適当な物が見つけれなかった。そこで、広島工業大学仕様の実験ノートをコクヨと共同開発した。こうしてできたのが「HIT 実験ノート」である。ソフトカバーで30ページあり、各ページは5mm方眼で左から25mmの位置に縦実線が引いてあり、見出しを付けたりできるようにした。このページの仕様は、市販のコクヨのラボノート[3]とほぼ同じである。この仕様がスタンダードと思われ、将来ラボノートを使用することがあるかもしれないと考えたからである。「HIT 実験ノート」を各受講学生に1冊配布し、足りなくなった場合は学内売店C3で購入してもらうことにした。

「HIT 実験ノート」は、2013年度から使用を開始した。同時に実験ノートの書き方(表2)とその例(図3)を配布し、ノートの最初のページに糊付けさせた。特に、1年後

表2 配布した実験ノートの書き方。第4版のテキストにも同様の記述をした[2]。

- 実験結果の書き方**
- (1) ページ番号を最初のページから連続して記入する。
 - (2) どのような測定をしてどんな結果が得られたのか、1年後に見てもわかるように、必要な事項を書く。丁寧な字で書くこと。
 - (3) 配布資料やグラフなどは、ノートに糊づけする(サイズが合わない場合もできるだけ、折り込まないように)。
 - (4) テーマごとに最初に実験日、実験テーマ、温度、湿度、気圧を書く。
 - (5) 字や図の大きさに配慮し、あまり詰めて書かない。
 - (6) 図や表を書く際に定規を使う必要はない。グラフ以外は、フリーハンドで書いてよい。
 - (7) 間違っして記入した時は、取り消し線を引き、空いているところに新しく書く(多色ボールペンを活用するとよい)。間違っして記入したことが、あとになって正しいと気付くことがあるので、消しゴムは極力使用を避けること。また、間違っした原因を探ることが考察の材料になる。
 - (8) 計算結果は、結果だけでなく原理となる式や数値を代入した計算式も書く。計算間違っいや有効桁数のチェックがしやすい。
 - (9) 単位を忘れずに書く。

No. 3

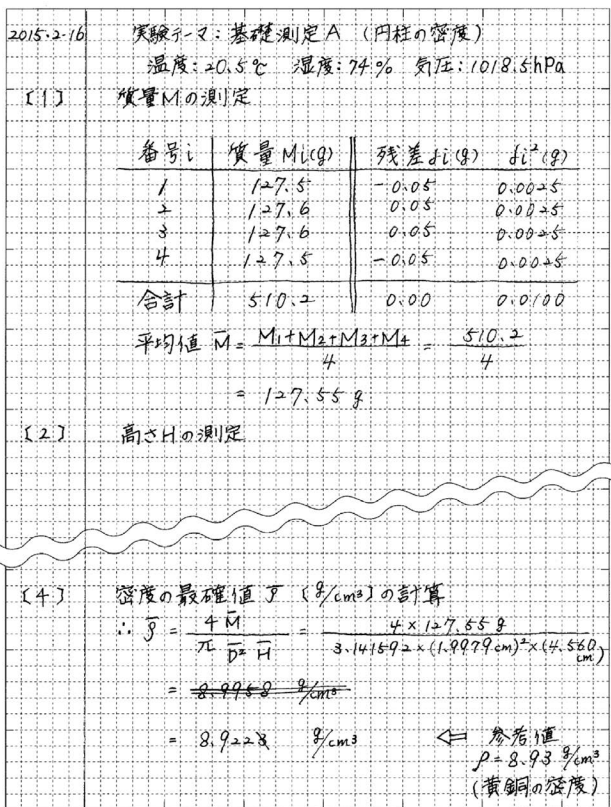


図3 配布した実験ノートの記入例[4]。実際にはコメントが吹き出しで入っているが、文字が小さくて読みにくいので除いてある(黄銅と書かれているが、銅の間違いである)。

に見ても何をやったかわかるように記録するように指導した。折しもその翌年の2014年に、小保方らのSTAP細胞事件が起きた[5]。実験ノートの記録が不十分で、STAP細胞の存在を確認する再実験が困難になったと報道され、実験ノートの重要性が再認識された。この事件以降、実験ノートの売れ行きが急増したとのことである。本学では、それに先駆けて導入することができた。いくつかの研究室で、「HIT実験ノート」を4年生の卒業研究のために使って下さっている。

4. 物理学実験テキストの改訂

物理学実験のテキストは、HIT基礎物理学シリーズの1冊として2003年に初版が刊行され、改訂を繰り返してきた[6]。第3版は[7]、2011年に発行され、5年を経過し、改訂すべき点が多く出てきた。グループ内でミーティングを重ね、改訂作業を行った。より読みやすくするための章立ての変更や文章の加筆・修正は勿論行ったが、それ以外にいくつもの変更や追加をした。以下では、その中でも代表的な事項をピックアップし、簡単な説明を加えた。

①「HIT実験ノート」の書き方およびその例

3章で述べたように2013年度から「HIT実験ノート」の使用を開始し、その書き方(表2)及びその例(図3)をプリントで配布していた。これをテキストにも入れた。

②グラフの書き方およびその例

物理学実験には、実験値をグラフにプロットし、それに最もよく合う直線を引いてその傾きを求める実験テーマが多くある。直線上の離れた2点の座標を読み取って傾きを求めてほしいのだが、直線上にのっていない生の実験値を使用したり、直線の非常に狭い範囲の2点を取って傾きを求めたりする学生が多いという問題があった。そこで、2014年度から、グラフの例をプリントにして配布を開始した。2014年度は、電気通信大学で使用されているもの[8]を参照させ、翌2015年度から本学版(図4)を配布した。これをテキストにも盛り込んだ。

③レポートのチェック項目

第3版では「レポートを出す前にチェックしよう」という項があり、チェック項目をリストアップしていた。しかし、提出されたレポートは、チェック項目で確認した形跡のないものが多く、悩みの一つであった。そこで、より明示的にするために、レポートの表紙にチェック項目(表3)を加え、提出前にチェックさせることを狙った。

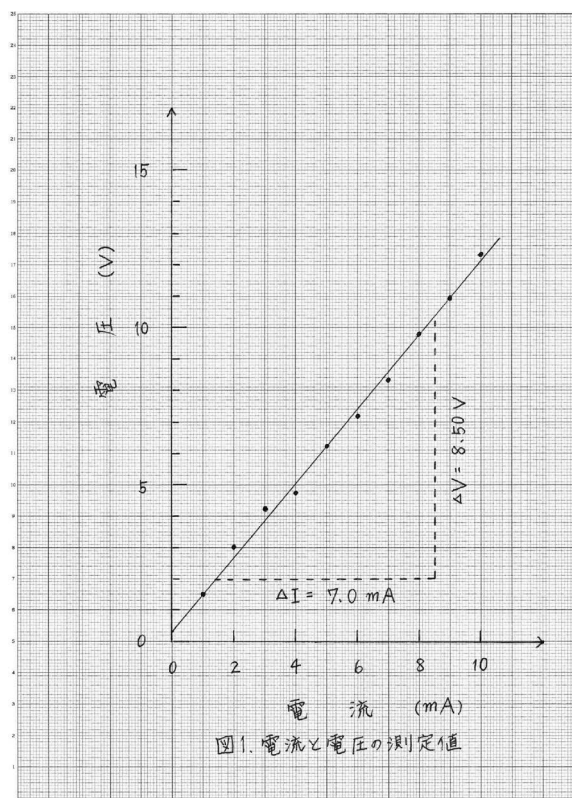


図4 配布したグラフの例 [9]。実際にはコメントが吹き出しで入っているが、文字が小さくて読みにくいので除いてある。

表3 レポート表紙につけたチェック項目 [10]。

チェック項目

- 表紙に必要なことを全部書いているか。
- 実験の概要の要約のしかたは適切か。
- 測定やデータ処理の説明文が不足していないか。
- 表に番号と標題をつけているか。
- 図・グラフに番号と標題をつけているか。
- グラフの横軸と縦軸の物理量を明記してあるか。
- 測定値の単位の表し方は適切か。
- 有効数字の表し方は適切か。
- 誤差を3桁以上も書いているか。
- 自分達の結果と参考値を比較検討しているか。
- 考察が単なる感想文だけになっていないか。

④装置の写真

学生には、実験当日までにテキストを読んでどんな実験をするのか予習をしてくることを課している。しかし、予習をしてきても、すぐに取りかかれなことが多く、説明を求めてきたりした。その一因は、テキストに測定装置の配置が図面のみで示されており、実験のイメージがつかなかったためと思われる。そこで、実験装置を組み立てた状態の写真を入れることにした。

⑤表の例

実験結果を記録するときに、表にしてまとめるとよい

テーマが多くある。第4版では、それぞれのテーマごとに表の例を挿入した(表4)。1~2行程度は、具体的な実験値の例も入れた。

表4 実験テキストに挿入した表の例。実験テーマ「水の比熱」の表 [11]。

表1 水の温度、電圧および電流の変化(1回目)

時間 τ [s]	水の温度 t [°C]	電圧 V [V]	電流 I [A]
60	23.4	3.3	1.0
120
180
...

⑥測定回数の削減

これまでは、実験時間内に終われる範囲で、同じ実験を何回か繰り返して行うように指示していた。しかし、実験にてこずったり失敗したりすると、所定の回数をこなせなかったり実験後の指導教員によるチェックが十分に行えなかったりした。そこで、第4版では実験回数や実験内容を減らし、余裕をもって実験できるようにした。また、失敗に気付いたらやり直すように指示した。こうすることで、実験終了後の指導教員によるチェックに十分な時間ができ、議論を深めたり、のちに述べる「考察のヒント」に関する助言をしたりできるようにした。

⑦考察のヒントの改訂

考察は、実験結果の分析や解釈などを記述するレポートの中で最も重要な要素である。しかし、大学1年生の学生にとっては、考察を書くという作業は、ほとんどが初めての経験で何を書けばよいか途方に暮れる部分でもある。

第3版では、考察を書くための助けになるように、考察のヒントをテーマごとに2節に分けて記述していた。具体的には、実験手順の説明の後の5節に「考察のヒント」として、参考値と測定値の比較、さらに正確に求めるにはどうすればよいか、この実験から学んだことについて書くように指示していた。さらに、6節で「理解を深めたい人のために」の中で、「考察のヒント(つづき)」として、実験テーマに関係した課題、(例えば、日常に経験する自然現象との関わり、実験の原理についての考察、得られた知見を使った応用など)について記述していた。

ところが、実際に提出されるレポートでは、大半が「今回の実験は、参考値とほぼ一致したので成功だった。」とか「参考値とのずれは、目盛りの読み方が悪かったためである。」といった類で、ほとんど考察に値しなかった。多くは5節止まりで、6節までの考察を書いている学生はごくわずかであった。

第4版では、もっと考察のヒントに取り組んでもらえるように再構成した。「考察のヒント(つづき)」に書いていた内容も含めて、比較的取り組みやすい課題を新しく考えて5節を書き換えた。さらに、6節の「理解を深めたい人のために」というタイトルを取り組みやすく思える表現「より良いレポート作成のために」に変えた。

5. 実施結果と評価

4章でテキストの改訂について述べたが、テキスト改訂に先立って実施した事項もある。ここで、3章および4章で述べた改善内容を年度ごとに整理し、まとめておく。

2013年度

「HIT実験ノート」の配布開始。

実験ノートの書き方(表2)と例(図3)の資料配布。

2014年度

グラフの書き方(他大学版)[8]の参照。

2015年度

グラフの書き方(本学版)(図4)の配布。

時間のかかるテーマの課題を一部減らす。

2016年度

テキスト第4版[1]の使用開始。

以下に、これらの実施結果について述べる。できれば、定量的な数値を示して変化が分かるようにしたいところだが、数値化できる事項は限られており、感想のようになってしまう部分もあるが、ご容赦願いたい。

5.1 「HIT実験ノート」の効果

「HIT実験ノート」の使用開始以降、しっかり記録ができるようになってきたと感じている。以前のメモ書き程度のところから比べると格段の進歩である。また、これまでは、班の中の一人だけしか記録・解析せず、他の学生はほぼ一としていたようなことがあった。実験の最終回に実験ノートを提出させて、それも採点することにしたため、全員がしっかり記録し解析に取り組む様子が見られるようになった。さらに、第4版のテキストには表の具体例が入ったので、実験ノートの記録の仕方も改善が見られた。

提出された実験ノートは採点后、返却している。先に述べたように、実験ノートの書き方およびその例を実験ノートの最初のページに糊付けさせている。2年生以降の専門の実験・実習や卒業研究の際に、見返してもらえたら役に立つのではないかと思う。

5.2 年度ごとの改善およびテキスト改訂の効果

年度ごとの改善およびテキストの改訂によるレポートの

変化を調査した結果について述べる。提出されたレポートについて、次の3つの項目について、どのように変化したか調べてみた。

(a) 表は形式に則って書けているか。

枠線で囲まれており、最上段に項目、表の上に表番号、標題が書かれているレポートの数を調べた。

(b) 図(グラフ)は形式に則って描けているか。

縦軸、横軸、目盛り、目盛り数値、物理量、単位がついており、図番号、標題が図の下に書かれている(グラフ1, 2, …は不可, 図1, 2, …となっていること)レポートの数を調べた。

(c) 考察にプラスアルファの記述があるか。

テキストに書かれた「考察のヒント」に基づいて考えたり調べたりしたことやオリジナルな考察が書けているレポートの数を調べた。

以上の3項目を工学部のある学科について調査した。レポートの書き方の指導を行った後に提出された数回のレポートについて、各年度約60名分を調べた。(a), (b)については、ほぼ書けている数はもっと多いが、上に掲げた点をすべて満たしているもののみを数えた。

図5は、(a)～(c)が記載されている率(%)の年度ごとの移り変わりを示している。表の形式、図の形式、考察にプラスアルファの記載がある率をそれぞれ三角、丸、四角で表している。表の形式の記載率は、下降した後2016年度に回復している。表の形式の指導は、2015年度まではほとんど変更していないが、全体的なレポートの完成度は低下傾向にあるように感じられ、その傾向が現れたのかもしれない。2016年度に回復したのは、第4版のテキストに表の例が入った効果が出たものと思われる。

図の形式の記載率は、年度ごとに上がり、2015年度以降は、ほぼ横ばいになっている。図(グラフ)の例は、2015

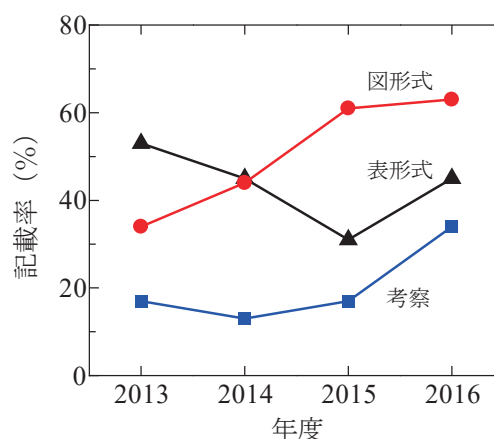


図5 過去4年間のレポートにおける表形式(▲)、図形式(●)、考察(■)の記載率。

年度に本学版を配布し始めたので、それに追従して上昇したと推測される。

考察は、ずっと低迷していたが、2016年度に20%程度上昇している。第4版のテキストの「考察のヒント」を取り組みやすく工夫したことが功を奏したと思われる。さらに、実験回数を減らして時間に余裕ができ、実験終了後に受ける指導教員によるチェック時に、「考察のヒント」について議論したりする時間が増えたことも要因として考えられる。しかし、3つの項目どれをとっても50%前後であり、まだまだ記載率は低いと感じる。今後も改善を検討していかなくてはならない。

次に、テキストに写真を多く入れた効果について述べる。実験開始時に説明を求めることが減り、取りかかりやすくなったように思われた。その一方で、配置図や説明文を読まずに写真のみから実験装置を組み立てようとする班が現れ、写真で見づらい部分については、どのようにセッティングするのか聞いてきたり、わからないまま間違った配線をしてしまったりする、といった逆効果も起きてしまった。これは新たに出てきた課題である。

最後に、レポートの表紙にチェック項目を入れた効果について述べる。チェック項目は、学生にとってはレポート提出時のポイントの意識付けになり、採点者にとっては評価のポイントとして利用することができ、ループリク的に使えるようになった。ところが、提出されたレポートを見ると、チェックマークがついているにも関わらず、該当する項目が書けていないことが多く、実は確認せずにチェックマークだけ付けて提出している、ということが判明した。学生に注意をしてみたが、あまり改善されず、効果は現状では限定的である。

6. まとめ

本稿では、2013年度以降の物理学実験の改善について、「HIT実験ノート」の作製とテキスト「工科系のための物理学実験」の改訂を中心にして報告した。様々な変更に対し、概ね改善されたと考えられる。しかし、その結果はまだ満足とは言えず、さらなる実験態度の向上と質の高い実験レポートの増加を目指して、今後も検討を重ねていきたい。

近年、PCの普及、装置のデジタル化・自動化など実験設備が変わりつつある。また、書かれている通りをただ行うのではなく、課題解決力など考える力が重要視されるようになってきた。こうした社会の変化に対応して実験内容についての見直しも必要であろう。

前者については、装置がブラックボックス化されていくことに危惧を感じるが、必要と思われるところは変えていくべきであろう。例えばオシロスコープは、アナログ式か

らデジタル式にとって代わりつつある。デジタルのオシロスコープに変更するための対策は急務と考え、検討を進めているところである。新しいことを始めるときは、予想外の問題が起きて失敗することもありうる。まずは小さい規模で試してみることが基本的なやり方である。小さい規模で問題を洗い出し、うまくいくことを確かめてから、全面实施へと進める予定である。

現在行っている実験テーマは、すべて実験手順が与えられており、それに沿ってやれば実験できるようになっている。後者の要請に対して、例えば求めるべき物理量だけを示し、実験方法から考えさせて実験をさせる、といったテーマもあるとよいかもかもしれない。物理学実験に限らずどの科目においても、改善に終わりはない。これからも、有効、必要と思われることに取り組んでいきたいと考えている。

謝 辞

「HIT実験ノート」開発には、本学売店 C3の高垣氏、コクヨマーケティング株式会社の檜山氏にお世話になりました。また、東京教学社の鳥飼氏、神谷氏には、幾度ものテキストの校正に付き合ってください、お世話になりました。ここに感謝申し上げます。

文 献

- [1] 井上光, 尾崎徹, 山本愛士, 木船弘一, 小島健一, 安塚周磨, 工科系のための物理学実験第4版, 東京教学社, 2016年.
- [2] [1] p. 7.
- [3] リサーチラボノート, コクヨ, ノ-LB208HS.
- [4] [1] p. 9.
- [5] 例えば, 朝日新聞, 2014年4月3日朝刊34面; 朝日新聞, 2014年4月10日朝刊2面.
- [6] 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 中西助次, 細川伸也, 大政義典, HIT基礎物理学シリーズ 2. 工科系のための基礎力学, 広島工業大学紀要 教育編, 第12巻, 2013, p. 29-38, 付録; 広島工業大学物理グループホームページ <http://www.physics.cc.it-hiroshima.ac.jp/education3.html>
- [7] 中西助次, 井上光, 尾崎徹, 細川伸也, 大政義典, 小島健一, 工科系のための物理学実験第3版, 東京教学社, 2011年.
- [8] 電気通信大学, 基礎科学実験A (<http://physics.e-one.uec.ac.jp/graf.pdf>).
- [9] [1] p. 11.
- [10] [1] p. 18.
- [11] [1] p. 118.