

基礎物理 WORKBOOK

－ HIT 基礎物理学シリーズ 4 －

尾崎 徹*・鈴木 貴**

(令和2年10月20日受付)

BASIC PHYSICS WORKBOOK

－ HIT Basic Physics Textbook Series 4 －

Tōru OZAKI* and Takashi SUZUKI**

(Received Oct. 20, 2020)

Abstract

Four textbooks of basic physics have been published in series in our Institute. Their titles are Basic Mechanics for Science and Technology (2nd ed.), Basic Physics Workbook (2nd ed.), Basic Mechanics Workbook (3rd ed.), and Basic Experimental Physics for Science and Technology (4th ed.). The teaching staffs responsible for the basic physics education have edited and revised these textbooks which are used for lectures, exercises and experiments, of physics linking to engineering subjects. The present report describes the background on the publication, the editorial policy, the contents and the educational effects, of Basic Physics Workbook. This Workbook covers a wide field of basic physics introduced with the electromagnetic, thermal and quantum properties of condensed matter. The Workbook has been actively used as the textbooks for six subjects and the study-aid books for three subjects. Some plans including the future revision are proposed to make the engineering education reliable both inside and outside the Institute.

Key Words: basic physics workbook, engineering education, linking education, educational effects

1. はじめに

本学の学生は、理工学の基礎力を身に着けるために物理学を学んでいる。その教科書として、本学の教員が作製した4冊が採用されている [1]。基礎物理学 A と B では「工科系のための基礎力学〈第2版〉」 [2]、基礎物理学 A 演習と B 演習では「力学 WORKBOOK〈第3版〉」 [3]、物理学実験では「工科系のための物理学実験〈第4版〉」 [4]、情報学部の基礎物理学 B と電気系2学科の専門科目では

「基礎物理 WORKBOOK〈第2版〉」 [5] が使われてきた。いずれも、高校物理⇒大学物理⇒専門科目の間のギャップが滑らかになるように工夫されている。また、学生の学習歴と習熟度に応じた教育ができるように編集されている。

教科書4冊に共通した方針は、題材を身の回りの現象と高校物理から採用して、その出発点の法則を、高校で学んだベクトルと微分積分の数学を使って表現すること。それを展開して得られた式をグラフと言葉で表すことができるようになることである。それがニュートンの始めた解析的

* 広島工業大学名誉教授 (Professor Emeritus at Hiroshima Institute of Technology, E-mail: ozaki@cc.it-hiroshima.ac.jp)

** 広島工業大学工学部電子情報工学科教授

な方法であり，理工学で学ぶ専門科目のお手本になる．高校数学と高校物理はそれぞれ高校の指導内容であるが，高校の微分積分とベクトルを使って高校物理を展開することは大学の物理学の内容になっている [6]．高校で物理を学ばなかった学生でも，中学理科で物理へ入門しており，入学前セミナーを受講して高校の数学と物理を準備すれば [7]，入学後に基礎物理学 A と B を履修して理工学を学ぶために必要な基礎力と教養が身に着く．

例えば，入学前セミナーの物理では，物体の位置座標の時間変化を観測したデータの表をもとにして放物線などの軌道をグラフに描く．そのグラフから，物体の軌道，速度，加速度と物体に作用する力を得る．同様に，基礎物理学を学びながら，理工学の言語である数学の意味と使い方も身に着ける．そのことでも専門の先生方から評価されている [8]．物理学に裏打ちされた理工学の基礎力を身に着けてする仕事は社会から信頼を受けるからである．

理工学の信頼性の向上には目を見張るものがある．国際単位系では，2019年に国際キログラム原器の質量を 1 kg とする定義が廃止されて，新たにプランク定数 h [Js] から 1 kg が定義された [9]．理工系の人々，分野を問わず，量子力学を基盤にして仕事をしている．そういう時代が到来したことになる．教科書 4 冊が時代に適合し，また基礎物理教育の役割を果たしているかどうかは，国内外の物理学と物理教育の動向に照らして，つねにチェックされている [1]．4 冊を改訂した状況は付録 A にまとめている．

本報告では「基礎物理 WORKBOOK」(図 1)の作製経緯，編集方針と特色，内容，利用状況，本学の学生に適した教科書にするための課題，について報告する．さらに，教科書 4 冊を使った基礎物理教育によって本学が社会から信頼を受ける方策を述べる．基礎物理 WORKBOOK を除く 3 冊については，本紀要の教育編の報告書 [10]，[11]，[12] に，それぞれ紹介されているので，ご覧いただきたい．

2. 基礎物理WORKBOOKの作製の経緯

2005年，翌年に新設される情報学部のカリキュラムを計画しておられた先生方から物理担当グループへつぎのような連絡が入った．「情報学部の情報工学科と知的情報システム学科の2年次の必修科目として基礎物理学 I と II を，また選択科目として物理学実験を開講したいので，内容を提案してほしい．」「情報工学科ではハードとソフトの両面を学ばせたい．どちらを学ぶにも，理工学の基礎である物理学の考え方を身に着けさせたい．ソフトが中心の知的情報システム学科でも，物理学の考え方を身に着けさせたい．」「情報学部の基礎物理学 II では電磁気学を教えてほしい．」ということであった．準備委員の先生は，「専門科目の開講数を減らしてでも，物理学のような基礎科目を

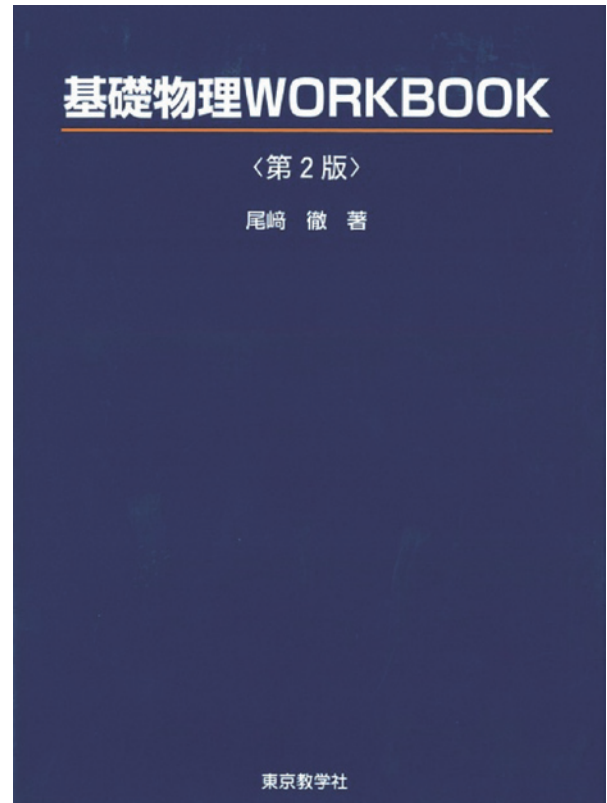


図 1 基礎物理 WORKBOOK (第 2 版) [5]

しっかり学ばせて，理工系の足腰を鍛えてやりたい．そうしないと卒業生が企業で働く場所がなくなる．」と言われた．本学は，開学以来 60 年間，基礎学力を身に着けた学生を送り出すことによって社会から信頼されてきた．それは，本学の存在価値として，ますます重要になっている．

2007 年度から情報学部で開講する基礎物理学の内容は，物理担当グループの提案が受け入れられた．基礎物理学 I では質点の力学を力学的エネルギー保存則を含めて学ぶ．

そうして，物理学の考え方と微分積分の使い方を身に着ける．基礎物理学 II の電磁気学は専門科目の電気回路へ接続させる．そのために，抵抗器，コンデンサー，コイルの性能をそれぞれ表す，電気抵抗 R ，電気容量 C ，インダクタンス L の物理的意味を理解する．それをステップにして，微分積分を使いながら電磁気現象と法則を学ぶ．その法則にしたがって空間を伝わる電磁波を図解する [13]．

基礎物理学 I の教科書は「工科系のための基礎力学」[2] が適している．また，物理学実験の教科書には「工科系のための物理学実験」[4] が適している．しかし，基礎物理学 II の電磁気学に適した既刊の教科書は見当たらなかった．そのため，新しく書き下ろすことになった．つぎに，「工科系のための基礎力学」のような教科書の形にするか，それとも「力学 WORKBOOK」のような演習書に近い形にするかを検討した．当時は，ゆとり教育のもとで学んだ足腰の弱い学生が大挙して入学する，いわゆる「2006

年問題」が予告されていた。それを解決する物理の教科書として、力学 WORKBOOK はすでに本学で実績を上げており、国公立大学や高専でも採用されていた [11]。そこで、基礎物理学Ⅱの教科書のタイトルを「基礎物理 WORKBOOK」とした。しかし、本学の学生に役立つことを最優先した。具体的には、基礎物理 WORKBOOK では、姉妹編の力学 WORKBOOK よりも演習書の性格を抑えて、学習帳 (WORKBOOK) の性格を強くした。演習問題のページは、解説を補うための例題の役割もしている。その解答・解説は巻末にあり、講義内容を自学自習することができる。今でも、「これを一冊仕上げたら、その人が著者になります。」と、ガイダンスの時に説明している。

タイトルを「基礎物理 WORKBOOK」として「電磁気 WORKBOOK」としなかった理由は二つある。一つは、物質になじんだうえで電磁気学を学ぶと現象を実感しやすいと考えてきたからである。なぜなら、電磁気現象は私たちの身の回りの物質を介して、重力よりもはるかに強い電磁力が作用することによって起こる。また、電磁波は、真空中でも物質中でも伝わるが、発生するのは物質中である。レーザー然りである。もう一つは、当時、電子・光システム工学科の開講科目であった、光学、量子物理学、量子エレクトロニクスのやさしい教科書としても使いたかったからである。ちょうど、「基礎物理学Ⅰ、Ⅱ ⇒ 光学 ⇒ 量子物理学 ⇒ 量子エレクトロニクス」という教程 (今というカリキュラムツリー) が軌道に乗りつつあった。タイトルには基礎物理として「学」をつけず、「物」と「理」の実質的な関係に集中してもらうことにした。基礎物理 WORKBOOK の作製は、HIT 教育機構のプロジェクトの一環として行われた [8]。

3. 基礎物理 WORKBOOK の編集方針と特色

基礎物理 WORKBOOK の初版は 2007 年 3 月に発行された。その編集方針、特色と使い方を「まえがき」に書いて、教員と学生が活用しやすいように配慮した [5]。

まえがき

本書「基礎物理 WORKBOOK」は「力学 WORKBOOK」(東京教学社)の姉妹編です。理工学の初学者が、物理学の自主的なトレーニングを積んで、理工学を学ぶために必要な基礎力を身に付ける教科書です。身近な物理現象や物質、電気製品や電子機器を題材にした問題を楽しく解きながら、電磁気学、電気回路、波動光学、量子物理学、熱・統計力学、物性物理学などの初歩的な理解を積み重ねます。そうして、理工学の見かた、考えかた、解析的な表現方法と学習のしかたを身に着けます。高校の数学Ⅱまでを履修していれば、楽にはじめることができます。

物理を舞台にして踊るのは物質であり、物質の振舞いである物性を私たちは利用しています。物性が現れるときに電気力と磁気力が重要な働きをします。それは、物質がたくさんの原子によって構成されており、原子が正電荷をもつ原子核と負電荷をもつ電子によってできているからです。そこで、WORKBOOK を身近な物質のなりたちと物性からスタートさせて、テーマを 19 に分けました。はじめのテーマ 1 から 9 はつぎのように展開します。「物質は原子が集まってできる」⇒「原子の集まりかたによって物質中の電子の状態がきまる」⇒「電子の状態がちがうと物性がちがう」⇒「電子の流れが電流の正体である」⇒「電流が流れる導線は磁場から力を受けて動力源 (モーター) になる」⇒「導線が磁場を横切ると電圧が発生する (発電する)」。この順序で電磁気学の基礎を学びながら、電気抵抗 R 、電気容量 C とインダクタンス L の物理的な意味を理解します。つづくテーマ 10 から 12 では、「電気回路をつくって電力を利用したり情報を伝達したりする」方法を直流と交流について学びます。そして、テーマ 13 と 14 では、「電流が回路の中で振動してアンテナから電磁波が飛ぶ」こと、また「光は電磁波として物質と相互作用することによっていろんな現象を示す」ことを学びます。テーマ 15 からは、それまでに学んだことを深めます。テーマ 15 と 16 では、現代のエレクトロニクスが「光と電子の波動性と粒子性」を利用することを学びます。テーマ 17 と 18 は、熱をふくむエネルギーの問題にとりくむための基礎です。「物質のエネルギーは、物質を熱が出入りするによって変化する」ことをマクロな視点とミクロな視点の両方から学びます。最後のテーマ 19 ではミクロな視点を深めます。「マクロな物質のエネルギーはミクロな原子レベルから見積られる」こと、「物質と光の相互作用は原子集団と光子の相互作用であり、それを利用してレーザー光を発生させる」ことを学びます。こうして、現代物理学へ入門します。

各テーマに Note と問題を平均 6 個ずつ配置しています。Note を読んで各テーマの目的とポイントをつかんだら、問題文や図にしたがって考察を進めます。計算、考察の過程と解答は広い余白にきちんと書き込んで、授業でチェックするか、解答・解説を見てチェックします。問題数は多くありませんが、テーマ内外の Note や問題と強くリンクしており、そのネットワークの中で理解を定着させます。以上を繰り返しながら、「理工系の思考回路」と「自学自習の習慣」を身に着けます。それが、理工学を学ぶための基礎力になります。

「基礎物理 WORKBOOK」につぎの(1)–(6)の特色をもたせました。

(1)テーマ 1 の内容を物質のなりたちと物性にしたことは述べまし

た。珍しいはじめかたですが、その内容がわかっていると、テーマ2から学ぶ物理現象の実態をつかみやすいのです。

(2)問題文の意味を読みとって図や式で表す訓練と、導いた式の意味を文章やグラフで説明する訓練をします。その訓練不足が物理を苦手にするからです。物理を考える訓練をするためにページをさきました。

(3)各テーマの出発点を明確にして原因と結果を混乱させないようにしました。混乱すると物理が見えなくなるからです。実験結果を出発点にするときはそのことを宣言し、新しい物理量を導入するときはその理由を明記しました。その実験からわかることと応用できることを問題にしています。

(4)マクロな物質に生じる物理現象をミクロな原子レベルから理解する姿勢が芽生えるようにしました。それが現代の科学技術を進めるために必要だからです。ミクロな見かたによって、目から鱗がとれることを期待しています。

(5)物理学が科学技術へ積極的に応用されていることにも目が向くようにしました。コピー機、国際電話、電気自動車、モーター、エレキギター、地球の帯電、磁束計、電磁調理器、オシロスコープ、パラボラアンテナ、ドップラー効果、携帯電話機、電子レンジ、フラッシュつきカメラ、電子銃、発光ダイオード、温室効果、地震動エネルギー吸収システム、相転移、エンジン、ヒートポンプ冷暖房機、宇宙の誕生、レーザー装置、…などを題材にした問題を解きながら、物理学が理工学の母体であり、現代のものづくりに指針を与えつつけていることに気づきます。それが物理学を学ぶ動機を持続させてくれます。

(6)演習の教科書としてだけでなく、講義の教科書としてもつかえるようにしました。そのために、各テーマの目的、ポイントと注意点をまとめたNote、問題文と解答・解説の記述を充実させ、図、グラフと写真をたくさん掲載しました。各テーマのNoteを講義していくつかの問題を例題として説明したら、翌週を演習の時間にして講義内容を定着させることができます。

本書では、「テーマ1 物質と電子」からスタートしますが、物質の電磁気学的な性質に深くは立ち入りません。そのため、電場 E と磁束密度 B が登場して、電束密度 $D (= \epsilon E)$ と磁場 $H (= B/\mu)$ は登場しません。磁場は「磁束密度 B の磁場」と表します。電流 I は電子の平均速度 v に比例するベクトル量としてあつかいます。また、電気回路でつかうコイルの記号はソレノイドそのものです。磁束がコイルを貫いていることを意識してほしいからです。

「基礎物理 WORKBOOK」がみなさんに広く活用される教科書になることを目指します。ご意見をいただくことができれば幸いです。

2015年9月

著者

「まえがき」の特色(5)のなかで「物理学の科学技術への応用例」をたくさん演習問題の題材にしたことを述べた。その題材を探して演習問題にするとき、日米の学生と五感をフルに活用して体験した「100円ライター大解剖」[14]が大いに役に立った。演習問題では、学生が自然現象や電気機器のカラクリを順序だてて明かすように問いかけた。

4. 基礎物理WORKBOOKの内容

基礎物理 WORKBOOK の内容は、目次のテーマ名とNoteのタイトルから推測することができる。できれば、第2版を手にとって、図や写真を確認していただきたい[5]。演習問題は121題あり、すべてにタイトルがついている。

目次

テーマ1 物質と電子 …… 1

- Note 1.1 原子の大きさ
- Note 1.2 原子の質量
- Note 1.3 電荷のキャリアー
- Note 1.4 電子のエネルギー準位と電子配置
- Note 1.5 物質のなりたちと物性
- Note 1.6 導体、半導体、不導体 = 絶縁体 = 誘電体
- Note 1.7 ダイヤモンドは永遠に？
- Note 1.8 アイソトープ

テーマ2 電子の運動と電流 …… 10

- Note 2.1 自由電子
- Note 2.2 電池
- Note 2.3 電流の正体
- Note 2.4 電流

テーマ3 電場による電子の運動と電気抵抗 …… 17

- Note 3.1 クーロン力から電場
- Note 3.2 電位
- Note 3.3 電場と電位
- Note 3.4 電気抵抗とオームの法則
- Note 3.5 電力量とジュール熱

テーマ4 クーロン力と電場 …… 25

- Note 4.1 クーロンの法則
- Note 4.2 点電荷がつくる電場
- Note 4.3 電気力線
- Note 4.4 等電位面
- Note 4.5 電場のガウスの法則

テーマ 5 電場から電気容量 …… 33

- Note 5.1 電気容量
- Note 5.2 電気双極子モーメント

テーマ 6 電流が磁石に …… 39

- Note 6.1 磁力線
- Note 6.2 磁束密度
- Note 6.3 アンペールの法則

テーマ 7 電流が磁場から受ける力 …… 46

- Note 7.1 ローレンツ力
- Note 7.2 電流が磁場から受ける力
- Note 7.3 電流値 I A

テーマ 8 電磁誘導1 発電 …… 52

- Note 8.1 磁束
- Note 8.2 電磁誘導
- Note 8.3 電磁誘導の法則
- Note 8.4 誘導電場
- Note 8.5 エレキギターのパックアップコイル

テーマ 9 電磁誘導2 インダクタンス …… 62

- Note 9.1 自己誘導と自己インダクタンス
- Note 9.2 相互誘導と相互インダクタンス
- Note 9.3 渦電流
- Note 9.4 表皮効果

テーマ 10 電気回路1 直流 …… 73

- Note 10.1 電流計と電圧計の仕組み
- Note 10.2 合成抵抗
- Note 10.3 合成容量
- Note 10.4 キルヒホッフの法則

テーマ 11 電気回路2 交流の発電と実効値 …… 85

- Note 11.1 交流の発電
- Note 11.2 交流
- Note 11.3 交流の実効値
- Note 11.4 エジソン vs テスラ

テーマ 12 電気回路3 リアクタンスと共振 …… 95

- Note 12.1 コイルのリアクタンス
- Note 12.2 コンデンサーのリアクタンス

テーマ 13 電気エネルギーと電気振動による電磁波の発生 …… 106

- Note 13.1 コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー

- Note 13.2 コイルに蓄えられる磁場のエネルギー

- Note 13.3 電束電流
- Note 13.4 真空を伝わる電磁波
- Note 13.5 アンテナ
- Note 13.6 進行する電磁波の図解
- Note 13.7 電磁波のエネルギーとポインティングベクトル
- Note 13.8 ドップラー効果

テーマ 14 光と物質の相互作用1 電磁波と光 …… 118

- Note 14.1 電磁波の波長と振動数
- Note 14.2 波を表す物理量
- Note 14.3 平面波の等位相波面
- Note 14.4 サイクル平均強度
- Note 14.5 波動方程式
- Note 14.6 波の重ね合わせと干渉
- Note 14.7 縦波と横波
- Note 14.8 光は電磁波
- Note 14.9 コヒーレンス (可干渉性)
- Note 14.10 光が電磁波として示す現象

テーマ 15 光と電子の2重性 …… 136

- Note 15.1 光の発生
- Note 15.2 光と電子の2重性
- Note 15.3 光の強度とエネルギー
- Note 15.4 光電効果
- Note 15.5 星が見えるわけ
- Note 15.6 p型半導体とn型半導体

テーマ 16 電子の量子力学 …… 147

- Note 16.1 電子の波動性
- Note 16.2 不確定性関係
- Note 16.3 量子化
- Note 16.4 シュレーディンガー方程式
- Note 16.5 トンネル効果
- Note 16.6 スピンとパウリの原理
- Note 16.7 バンド構造

テーマ 17 物質のエネルギー変化1 内部エネルギー …… 160

- Note 17.1 気体の圧力
- Note 17.2 物質質量 mol
- Note 17.3 理想気体の状態方程式
- Note 17.4 絶対温度とセルシウス温度
- Note 17.5 内部エネルギー
- Note 17.6 ボルツマン定数
- Note 17.7 エネルギー等分配則
- Note 17.8 温室効果ガス

Note 17.9 熱量と力学的エネルギーの比較

Note 17.10 相転移

テーマ 18 物質のエネルギー変化2 熱力学法則 …… 173

Note 18.1 熱

Note 18.2 外部からされる仕事

Note 18.3 熱力学第1法則

Note 18.4 気体の状態変化

Note 18.5 比熱

Note 18.6 熱機関と熱効率

Note 18.7 ヒートポンプ冷暖房

Note 18.8 エントロピー

Note 18.9 不可逆変化

Note 18.10 熱力学第2法則

Note 18.11 熱力学第3法則

Note 18.12 ヘルムホルツの自由エネルギー

テーマ 19 光と物質の相互作用2 2準位系の統計力学 …… 191

Note 19.1 熱浴

Note 19.2 ボルツマン因子

Note 19.3 分配関数とエネルギーの平均値

Note 19.4 2準位系

Note 19.5 2準位系の状態数とエントロピー

Note 19.6 吸収, 自発放出, 誘導放出

Note 19.7 プランクの放射法則

Note 19.8 星の温度

Note 19.9 レーザーと反転分布

Note 19.10 レーザー装置

Note 19.11 非平衡開放系

付録1 水素原子の電子密度分布 …… 207

付録2 水素原子のシュレーディンガー方程式と
電子密度分布 …… 208

付録3 マクスウェル方程式 …… 210

付録4 数学公式 …… 212

解答と解説 …… 215

各テーマの目的と Note のページに続いて演習問題のページがある。基本的に1問が1ページに割り当てられており、問題文に続いて解答を書き込むためのスペースがある。問題文と図の占める量が多いときは、次ページがまるまる解答するためのスペースになっている。

演習問題と演習問題の間にはテーマを越えて強いつながりをもたせており、演習問題のネットワークの中で物理を

理解して力を着けてもらう。そのための「WORKBOOKの利用法」をフローチャートにして説明している。付録Bをご覧いただきたい。

映画 007, ベートーベンの運命, エジソンとテスラの電流戦争, 鏡の中の私, モーツァルトとドップラーのチョコレート, 夏目漱石の三四郎にある物理学実験, 星が見えるわけ, などが出てくるので, 読み物としても楽しめる。

5. 基礎物理WORKBOOKの利用状況

基礎物理 WORKBOOK を教科書または参考書として使ってきた7科目とこれから使う1科目, 合わせて8科目の利用状況を紹介する。加えて, 授業以外に利用された例も紹介する。(現在は, (6)を除いてすべて選択科目である [13]。詳細はシラバスをご覧いただきたい。)

(1) 基礎物理学 B (2019 年度で廃止)

開講: 情報工学科, 知的情報システム学科, 1年後期 [13]。

担当: 尾崎 徹, 鈴木 貴。

範囲: テーマ 1 - 9, 13。

利用: 教科書, 過去問集

内容: 授業では, 各テーマの目的と Note の内容を教員が読んで説明する。必要に応じて問題を解いて見せる。学生に問題を割り当てる。翌週, 学生は解答を板書してみんなの前で説明する。学生の説明不足は, 教員が学生と問答して補う。典型的な物質の構造と電子の運動を学んだ後に, 電気抵抗 R , 電気容量 C とインダクタンス L の物理的な意味を学ぶ。その過程で, 電気抵抗, コンデンサーとコイルが電気回路の中で果たす役割を理解する。同時に, ベクトルと微分積分によって表される電磁気現象の法則を理解して, 空間を伝わる電磁波を図解する。

評価: R , C と L のテーマがそれぞれすんだタイミングでテストをする。演習問題とはほぼ同じ問題を出题する。3回のテストの得点に予習と発表の成績を加えて評価する。

(2) 光学 (2020 年度で廃止。「(3)波動と熱の物理」に一部吸収)

開講: 電子情報工学科 2 年前期

担当: 尾崎 徹

範囲: テーマ 13 - 15

利用: 参考書, 過去問集。

内容: 授業では, 電子工学で利用する電磁波, 音波などの波動の変位と強度の表し方を習得する。それらを使って, 電磁波が示す反射, 屈折, 干渉, 回折, 分散, 散乱などの波動現象を表してそれらの機構を理解する。ダブルスリットの干渉実験を演示して解析してもらう。さらに, 回折格子, 偏光子, 干渉計など光学機器の原理と利用法を学ぶ。

(3) 波動と熱の物理 (2021 年度から開講)

開講：電子情報工学科 2 年前期

担当：鈴木 貴

範囲：テーマ 13, 14, 15, 17, 18.

利用：参考書, 問題集.

内容：電子情報工学で利用する波動の表し方と波動現象を学ぶ。また、熱現象の法則、表し方と応用を学ぶ。

(4) 波動と熱の物理

開講：電気システム工学科 2 年前期

担当：鈴木 貴 (2019 年度まで),

松岡雷士 (2020 年度から)

範囲：テーマ 13, 14, 15, 17, 18.

利用：参考書, 問題集.

内容：電気工学で利用する波動の表し方と波動現象を学ぶ。また、熱現象の法則、表し方と応用を学ぶ。

(5) 量子物理学

開講：電子情報工学科 2 年後期

担当：尾崎 徹 (2018 年度まで),

鈴木 貴 (2019 年度から)

範囲：テーマ 15, 16.

利用：参考書, 過去問集.

内容：前半は、電子と光子が 2 重性を示す現象とその利用法 (光電効果, 電子顕微鏡など) を学ぶ。WORKBOOK のテーマ 16, [1] の光回折実験を演示して不確定性関係を確認してもらう。後半は、光学で習得した波動の複素表示を物質波に適用して、電子の運動とその電子デバイスへの応用 (量子井戸, バンド構造など) を学ぶ。

(6) 量子エレクトロニクス (2020 年度で廃止。量子物理学へ一部吸収。)

開講：電子情報工学科 3 年前期

担当：尾崎 徹

範囲：テーマ 1, 17 - 19.

利用：教科書, 過去問集.

内容：前半は、多電子原子の電子配置と凝縮系物質の物性との関係を学ぶ。後半は、2 準位系の統計力学をよりどころにして、光子と物質の相互作用を学び、レーザーの発振原理とレーザー装置の仕組みを理解する。WORKBOOK のテーマ 16, [1] のレーザー光回折実験を演示して不確定性関係を検証したり、全員が輪ゴムを持って、テーマ 19, [1] のゴム弾性の実験をしてエントロピーを実感したりした。

(7) 専門ゼミナール

開講：電子情報工学科 3 年後期

担当：尾崎 徹 (2018 年度まで)

範囲：全テーマ 1 - 19

利用：教科書.

内容：ゼミに配属された 3 年生は、基礎物理 WORKBOOK を教科書にして、電磁気学をミクロな視点から学び直す。また、電子情報工学の常識になるテーマ 1 - 19 の全問題を解いて、ゼミ形式で発表する。そうして、物理学を電子工学の基礎として使うための実力を身に着ける。ゼミ生が他大学の大学院を受験するための準備にもなった。

(8) 固体物性

開講：大学院工学系研究科電気電子工学専攻前期

担当：尾崎 徹 (2019 年度まで)

範囲：テーマ 1 - 4, 15, 16.

利用：教科書.

内容：2010 年以前は、物性物理学の標準的な入門書を教科書にして構造物性と電子物性を講義していた。しかし、学部での自己研鑽がたりない学生が増えたため、思い切って、基礎物理 WORKBOOK の物性物理学と量子力学に関連した問題を教材にした。学生はそれを解いて来てゼミ形式で発表し、担当教員と議論をすることを通して理解を深めた。議論の深さは学生の習熟度に応じて調節した。学生の到達目標を、「バンド構造の成因の理解と応用」に設定して、それを緩めることはしなかった。

(9) 物質科学 (2020 年度から開講)

開講：電子情報工学科 1 年後期

担当：鈴木 貴

範囲：テーマ 1 - 9

利用：教科書.

内容：電気化学を物質科学へ進化させ、物質科学をベースにして中高の理科から電気回路と電磁気学へ接続する基礎科目を新設した。「物質から入門する電磁気学」といえる。基礎物理 WORKBOOK を教科書にして、まず、私たちの身の回りの物質のミクロな構造とその成因を学ぶ。つぎに、そこで起こる電磁気現象とそれを表す法則を学ぶ。その過程で、ベクトル、微分積分などの数学の使い方も学ぶ。そうして電磁気学や電子工学へ接続する。そのためのノウハウは情報学部の基礎物理学 II と B で 13 年間蓄えてきた。

(10) その他

基礎物理 WORKBOOK は、大学の授業だけではなく、いろいろなところで利用されている。

中学理科や高校物理の内容は天から降ってくることが多い。それを物理法則から導いて理解できることを基礎物理 WORKBOOK で学んだという知らせが中高の先生から届く

とがある。また、先生方から質問を受けて出した答えがオリジナルなので、改訂時に追記したことがある。とくに、テーマ 14, [8] 金属光沢, (10) はありがたかった。これからも素朴な疑問から新しい知見が得られることを期待する。

小説家の友人から、テーマ 14, [4] 鏡の中の私, を推理小説のトリックに使ったという連絡を受けたことがある。文科系の人にもビビッと感じたそうである。

本学の大学院生が博士学位論文の中で、ランタン La をドーピングしたチタン酸ストロンチウム $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ が金属的な伝導性を示す理由を説明した [15]。電子の波動性が構造物性の大きいゆらぎを受けてバンド構造と電子物性を変化させたことが原因であると結論している。そのときにテーマ 16, [3] 水素原子の基底状態 2, (10) をヒントにした。やさしい内容を深く理解する大切さが証明された。本学の大学院工学系研究科博士後期課程の専攻名は知的機能科学専攻であり、「科学」を専攻させる。高学年になるほど基礎科学を重視しており見識が高い。なぜなら、今や工学の最先端は物理学の最先端と区別がつかないからである。これは、高温超伝導単結晶薄膜の地下結晶に应用される伝導性チタン酸ストロンチウムの構造相転移を研究して確信した [15]。学生は、工学と理学が出会ったことに気づくように、基礎物理学を学んで待ち構えておいてほしい。

6. 基礎物理WORKBOOKの課題

基礎物理 WORKBOOK は、2007 年に初版が発行された後、2015 年に改訂されて第 2 版になり、2018 年に 4 回目の小さい改訂をした [5]。今後も改訂を重ねて、本学の基礎物理教育に適した教科書にしてほしい。そのために提案をする。

(1) 全ての演習問題にタイトルがついている。それを目次に掲載すれば、各テーマの内容が良くわかり、生き活きとして基礎物理 WORKBOOK に取り組んでみたくなる。また、索引のかわりになって便利と思う。

(2) テーマ 12 の交流の電圧 V と電流 I を複素数で表してインピーダンス Z を導入すれば、 $V = ZI$ の関係が成り立つ。 Z の実数部は抵抗、虚数部はコイルとコンデンサーのリアクタンスであり、回路の計算が簡単になることがある。そうすれば、光学での複素表示とも整合性が取れる。

(3) 光学の教科書としても使えるようにする。そのために、波動のテーマ 14 (光と物質の相互作用 1. 電磁波と光) を二つのテーマに分ける。一方は、波動の変位と強度の表し方、波動が伝わることによって生じるドップラー効果、干渉、回折などの波動現象とそれらの応用をテーマにする。他方は、電磁波が物質 (電子やイオン) と相互作用しながら伝わることにより生じる反射、屈折、分散、散乱などの光学現象とそれらを応用した光学機器のテーマにする。そ

うして、両テーマを充実させる。

- (4) 光と電子の 2 重性を学ぶテーマ 15 では、Note 15.1 の④に光を発生させる方法の一つとして、電子と陽電子の対消滅をあげている。2019 年に、キログラム原器の質量を 1 kg に定義することを廃止して、プランク定数 h から 1 kg を定義することが決まった [9]。これを機に、④の例に陽電子放出断層撮影 (PET) を、また [1], (5) に電子と陽電子の質量から γ 線のエネルギーを計算する問題を、追加する。
- (5) 量子力学のテーマ 16 では、問 [3] 水素原子の基底状態 2 から、不純物半導体の内容を独立させる。ここでは、ドナーレベルとアクセプターレベルの両方のエネルギーを導出して、電子デバイスへ応用する条件を問う。また、波動関数が時間変化する例として、トンネル効果の簡単な問題を加えたい。
- (6) 物質のエネルギー変化のテーマ 17 と 18 に続いて、新たに相転移のテーマを加える。そのために、いくつかのテーマに散らばっている相転移に関連した Note と演習問題を集める。学生には、「新しい相転移を見つけることは新しい機能性材料を見つけることに等しい！」と自説を説いてきた。新しいテーマではそれが直感できるようにしたい。
- (7) 新型コロナウイルス感染症の流行によって身近になった非接触温度測定の原理をオンライン講義の中で紹介した。それをもとにして、テーマ 19 の Note 19.8 を充実させる。
- (8) 基礎物理 WORKBOOK の特色である、物理現象をミクロな視点から把握する姿勢を強化する。もう一つの特色である物理学の応用例を増やす。ニュートンも科学工作をして人に見せるのが好きだった。

7. 基礎物理教育の課題

本学の工学部の入学生は最初に基礎物理学 A を受講する。ここでは、物理学の典型的な考え方を質点の力学に絞って学ぶ。どの学科にも、力学から接続する専門科目があり役に立つ。質点の運動をベクトルと微分積分を使って正確に表現し、物理法則にしたがって展開する。得られた結果はグラフと言葉で表現する。そうして、理工学を学ぶ基礎力を身につける。基礎力の身についた人がする仕事は社会から信頼される。繰り返すが、本学は、開学以来、基礎学力を身につけた学生を社会へ送り出すことによって信頼されてきた。開学から 60 年たち、本学の存在価値が問われるようになって、その重要さはさらに増している。基礎物理学 A と B の 2 科目のやさしい内容を履修すれば理工学の基礎力と教養が身につくのである。学生時代に物理学を学んでいつの間にか理工系の基礎力が身についたことを思い出してほしい。私達教員には、基礎物理科目をきちんと学ばせて社会へ送り出す責務がある。そのために、本学の工学部に必要な教育方針について記録に留めておきたい。

- (1) 学生の習熟度に応じた基礎教育をする

本学の学生の学習歴と習熟度には大きい分布がある。教

育内容のレベルを維持するために習熟度別のクラス編成をしてきた。そうして、社会へ出て信頼される仕事をする学生を育ててきた。

基礎物理 WORKBOOK を含めた教科書 4 冊は習熟度別の教育ができるように工夫されている。習熟度が高い層にも低い層にも飽きさせない内容になっている。理工系の教養も身に着く。ニュートンが運動方程式を発表するまでに、アリストテレスからガリレオをへて 2000 年を要したこと。また、物体の運動を高い精度で予測するニュートン力学が予測不可能なカオス現象を示すことが 20 世紀半ばにわかったことなど、具体例をとおして理解してくれる [2, 3]。習熟度が向上して余裕のできた学生は、専門ゼミの中で、他流試合が（他大学の大学院を受験）できるレベルへ鍛え上げる。そうして、本学の後継者を育てる。

習熟度別のクラス編成が難しいときは、手間はかかるが、つぎの(2)のように、一つのクラスの中で習熟度別に班編成をした教育が行われている。

(2) 学生にハードの内容を積極的に体験させる。

基礎物理 WORKBOOK で物理の応用例を学んだら、実験を体験することによって、ものづくりをするための底力を着ける。原理丸出しの実験をして結果をまとめ、レポートを書きながら考察をして、理工系の足腰と五感を鍛える。「工学部の学生は物理学実験があることを覚悟して入学しており、しかも、それを期待している [8].」2020 年カリでは、工学部 6 学科中 5 学科が物理学実験に期待をしてくださっている。それを物理担当教員は重く受け止めている。

物理学実験では全員が有効数字のルールを守る。有効桁数を明示した測定値は信頼されるからである。GPA の有効数字も然りである [16]。教科書の第 3 版から、全ての実験テーマのデータ処理と考察において、習熟度に応じた到達目標が設定されている [4]。電子情報工学科では班の編成を習熟度別に行っている。この班は平均値までを有効数字に注意してまとめよう、この班は平均値だけでなく平均値の平均誤差も解析して考察しよう、と班ごとに指導する。学生はそれぞれの班でこなした自信を持って専門の実験へ進む。そうして、社会で役立つ知力と体力を身に着ける。

(3) 大学ぐるみで防災・減災の研究をして成果を公表する。

上記(1)と(2)によって社会から信頼される学生を大勢送り出すために、習熟度の高い学生に大勢入学してほしい。それは、本学が社会から信頼されるときに実現する。そのために、大学ぐるみで地域に密着した研究をして実績を上げる。テーマとしては、「防災・減災」がふさわしい。1 学科 1 テーマずつでよい。22 年前に起きた極楽寺山の土砂災害を機に本学が取り組んできた経験とノウハウがあり、それ以後に新設された学科の名称はそのまま研究のキーワードになる。(1), (2), (3)が好循環することを期待したい。

謝 辞

基礎物理 WORKBOOK (第 2 版) の「表紙」、「まえがき」、「目次」、「WORKBOOK の利用法」を本稿へ掲載することを承諾してくださった株式会社東京教学社に感謝します。

文 献

- [1] 広島工業大学 物理グループ, 教育活動, 2. 教科書.
<http://www.physics.cc.it-hiroshima.ac.jp/education2.html>
- [2] 井上光, 鈴木貴, 尾崎徹, 中西助友, 細川伸也, 大政義典, 工科系のための基礎力学 (第 2 版), 東京教学社 (2019). ISBN 978-4-8082-2059-4
(Basic Mechanics for Science and Technology 2nd ed.)
- [3] 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 山本愛士, 力学 WORKBOOK (第 3 版), 東京教学社 (2019). ISBN 978-4-8082-2081-5 (Basic Mechanics Workbook 3rd ed.)
- [4] 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 (2019). ISBN 978-4-8082-2075-4
(Basic Experimental Physics for Science and Technology, 4th ed.)
- [5] 尾崎徹, 基礎物理 WORKBOOK (第 2 版), 東京教学社 (2018). ISBN 978-4-8082-2053-2
(Basic Physics Workbook 2nd ed.)
- [6] 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説, 理科編, 理数編 (2009), 実教出版. ISBN 978-4-407-3192
- [7] 藤岡淳, 尾崎徹, 接続型教育を目指して 第 5 報 入学前セミナーの物理テキストの改訂, 広島工業大学紀要 教育編, 第 10 巻, 11-19 (2011).
<http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/9788>
- [8] 尾崎徹, 鈴木貴, 大政義典, 北野保行, 細川伸也, 接続型教育を目指して 第 4 報 基礎物理科目から専門科目への接続の調査と改善, 広島工業大学紀要 教育編, 第 9 巻, 27-36 (2010).
<http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/8099>
- [9] 国際度量衡局, 国際単位系 (SI) 基本単位の定義改定と計量標準, 付録 国際単位系 (SI) 第 9 版 (2019).
https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/SI_9th/pdf/SI_9th_%E6%97%A5%E6%9C%AC%E8%AA%9E%E7%89%88_r.pdf
- [10] 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, 29-38 (2013).
<http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/12007>
- [11] 井上光, 尾崎徹, 鈴木貴, 中西助次, 細川伸也, HIT 基礎物理学シリーズ 1. 力学 WORKBOOK, 広島工業大学紀要 教育編, 第 11 巻, 39-48 (2012).

http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/10696

[12] 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, 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～, 広島工業大学紀要 教育編, 第 17 巻, 85-90 (2017).
http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/12245

[13] 鶴学園五十年史 (2006), 第 3 章 広島工業大学, 資料編 (広島工業大学), 資料⑧ 教育課程表, 225 - 234. 専門基礎科目として 2000 年まで開講された工業基礎力学は通年科目, 2015 年まで開講された基礎物理学 I, II は半期科目である. 2016 年から開講されてきた基礎物理学 A, B も半期科目である. 基礎物理学 I, II と基礎物理学 A, B は実質的に同じであった. 情報学部では, 2007-2008 年に 2 年次の必修科目として開講された基礎物理学 I, II は, 2009 年から選択科目になり, 2016-2019 年は基礎物理学 A, B として 1 年次に開講

された. 【注意】資料⑧から, 2000 年までの必修科目「工業基礎力学」の記述が完全に脱落している.

[14] 尾崎徹, 100 円ライター大解剖 — 新入生セミナーのための 1 コマ体験学習一, 広島工業大学紀要 教育編, 第 11 巻, 49-59 (2012).
http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/10697

[15] 戎佳宏, 蛍光 X 線ホログラフィーによるランタンをドープしたチタン酸ストロンチウムの局所構造の研究, 博士学位論文, 広島工業大学 (2019).
http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/12303

博士学位論文内容の要旨および審査結果の要旨, 第 14 号, 広島工業大学 (2019).
http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/12302

[16] 尾崎徹, 井上光, GPA の適正な有効数字, 広島工業大学紀要 教育編, 第 14 巻, 23-28 (2015).
http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/it-hiroshima/metadata/12070

付録 A 広島工業大学の物理教員が作製した教科書

表 教科書作製年表†		
年/月	書名	執筆者 (*は著者代表)
1995/3	工学系基礎課程 力学	小西輝昭*, 北中愛海, 中西助次, 森滝美治郎, 浅井 慎
2001/1	工科系基礎力学	井上 光, 中西助次*, 浅井 慎, 鈴木 貴
2006/2	工科系のための基礎力学	井上 光, 中西助次*, 尾崎 徹, 鈴木 貴, 細川伸也
2010/3	工科系のための基礎力学 第2版	井上 光, 鈴木 貴, 尾崎 徹*, 中西助次, 細川伸也, 大政義典
2007/3	基礎物理WORKBOOK	尾崎 徹
2015/9	基礎物理WORKBOOK 第2版	尾崎 徹
2002/3	力学WORKBOOK	井上 光*, 尾崎 徹, 鈴木 貴, 中西助次, 森滝美治郎
2007/9	力学WORKBOOK 第2版	井上 光*, 尾崎 徹, 鈴木 貴, 中西助次, 細川伸也
2019/4	力学WORKBOOK 第3版	井上 光, 尾崎 徹, 鈴木 貴*, 山本愛士
1995/4	物理学実験 (電話印刷)	広島工業大学 物理学実験室編
1997/3	物理学実験 (学術図書出版)	広島工業大学 物理学実験室編
2003/4	工科系のための物理学実験	中西助次*, 井上 光, 尾崎 徹
2006/10	工科系のための物理学実験 第2版	中西助次*, 井上 光, 尾崎 徹, 細川伸也
2011/3	工科系のための物理学実験 第3版	中西助次*, 井上 光, 尾崎 徹, 細川伸也, 大政義典, 小島健一
2016/4	工科系のための物理学実験 第4版	井上 光, 尾崎 徹, 山本愛士*, 木船弘一, 小島健一, 安塚周磨

†改版時の年月と執筆者名を掲載した. 最新の改訂刷 (東京教学社) の発行年は, 文献 [2], [5], [3], [4] に記載している.

付録 B 基礎物理 WORKBOOK の利用法

WORKBOOKの利用法	
1. Noteを読む Noteには各テーマのポイントがまとめられている。Noteを読んでから問題を解こう。	虚数単位 i や基本単位ベクトル i, j, k を含む数値に単位をつけるときは, $3+2i$ [Ω], $2i+3j$ [m/s] のようにカッコでくくろう。 $\bigcirc E$ [V/m] $\times E$ V/m $\times 2.0$ [V/m] $\bigcirc 2.0$ V/m $\times E=2.0$ [V/m] $\bigcirc E=2.0$ V/m
2. 成功を積み重ねる これから解こうとする問題は, それまで解いてきた問題のうえに積み重なっていることが多い. そのことに注意して成功体験を積み重ねよう。	
3. 図と説明文をかき 図をかいて問題の設定をイメージしよう. 解答するときは, 式だけをならべるのではなく, 式と式の間に説明文をかこう。	5. ベクトルとスカラーを区別する 物理量のベクトルを求めているのか, それともスカラーを求めているのか, 注意しよう. 例えば, 電場はベクトルだから E または \vec{E} , 電場の大きさはスカラーだから E と書いて単位をつけよう。
4. 単位のつけかたは世界標準で 記号につける単位はカッコでくくり, 数値につける単位にはカッコをつけない. 例えば, E [V/m], 2.0 V/m と書く. E はそれ自身が電場の大きさという物理量であり, その単位をカッコつきで説明している. 一方, 2.0 は単に数字であり, それに単位をつけた 2.0 V/m が電場の大きさを表す. 数字と単位の間に半角スペースを入れる. これが世界標準である。	6. 考えの流れをつかむ 問題を解きながら問の流れに注目しよう. また, テーマ内の問題の流れ, テーマ間の関係にも注目しよう. そして分かったことを心に刻もう。