

## 物理チャレンジ2023 全体報告



物理チャレンジ実行委員長  
大塚 洋一

### はじめに

1年前、第2チャレンジ現地開催を3年ぶりに無事に終わらせたことを受けて、本格的な合宿方式の第2チャレンジ復活に向けて準備を始めました。しかし、冬になってコロナ患者数に第8波の大波が伝えられる中合宿形態は時期尚早と判断し、姫路と同様にビジネスホテルを利用した現地開催方式に切り替え実施することになりました。開催場所は岡山市です。岡山県は物理チャレンジに深い理解をいただいている地であり、第1回、第2回をはじめとしてこれまで計7回の第2チャレンジが開かれています。

### 第1チャレンジ

第1チャレンジ実施の詳細については第1チャレンジ部会からの報告をご覧ください。2023/4/1~5/30の申し込み数は1,125名(前年1,354名)、5/31メ切の実験レポート受付は988通(同1,197通)、7/9に行った理論問題コンテストの参加者は950名(同1,064名)でした。最終的に第1チャレンジの有効参加者は901名(1,022)名でした。チャレンジ有料化とコロナ禍の影響で減少した参加者数が徐々に回復し、第2チャレンジも現地開催できたことから、今年はさらに参加者が増えると期待していましたが、いずれも前年の数字を下回ってしまいました。原因を調べ対策を考える必要があります。

### 第2チャレンジ

第1チャレンジの実験レポート・理論コンテストの総合成績を基に108名の第2チャレンジ進出者が選抜されました。8月19日13時、そのうち105名が岡山市岡山国際交流センターに集い、第2チャレンジが始まりました。



第2チャレンジのスケジュールは概ね例年通りで、初日ガイダンスの後直ちに実験問題コンテスト、2日目も朝から理論問題コンテスト。いずれも5時間ぶっ続けて、段ボール製のパーティションで囲まれたブースの中で課題に取り組むというスタイルです。遅い昼食の後は、終わったばかりのコンテスト問題の解説を聞いて、そのあとようやく参加者同士の交流の時間がスタートしました。後楽園・岡山城に移動し、記念写真撮影、夕食、散策を楽しみました。



3日目は2時間のバス旅による理研放射光科学研究センターへのサイエンスツアーで、理研放射光施設SPring-8とX線自由電子レーザー施設SACLAの見学を行いました。さらに会場に戻ってからはフィジクスライブです。岡山大学、岡山県内高校、JPhOの先生方による実験、今年のIPhO東京大会、APhOモンゴル大会、過去の第2チャレンジ実験課題、協賛企業の展示など18件の出展があり、物理を種とした説明者との交流の場として今年も非常に好評でした。

一方、この間アカデミックスタッフは別室で答案採点に取り組めます。時間が限られた中で慎重に採点が行われ、3日目夜の会議で成績を確認しました。

4日目最終日は閉会式・表彰式です。今回は特別賞のプレゼンターも会場に来ていただきました。特別賞、金賞・銀賞・銅賞の表彰者は別表の通りです。優良賞受賞者はJPhOホームページをご覧ください。また高校2年生以下の成績優秀者から12名の日本代表選手候補者が選出されました。このようにして4日間の第2チャレンジを終えました。今回も救急に備えて夜間看護師にホテルに常駐してもらうなどの準備をしていましたが、幸いなことに頭痛の訴えがあったのみで心配される報告は1件もありませんでした。



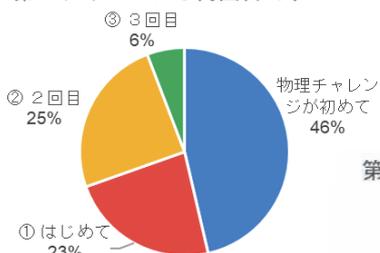
### 参加者アンケート

今回も第2チャレンジ参加者にアンケートを実施しました。その結果のいくつかを報告します。

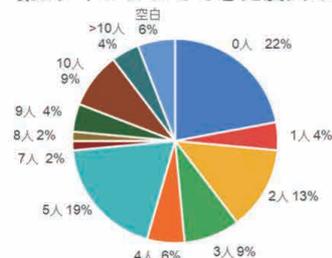
物理チャレンジへの応募回数の中には、初めてという数と2回以上という数が拮抗しています。さらに第2チャレンジへの参加回数についても2回目以上が3割おり、複数回参加者は稀ではありません。そのため、見学先が去年と同じだったサイエンスツアーに関して「面白かったが、去年と一緒なので新鮮味は薄れた」といった感想が複数見られました。

4日間の合宿を通じて多くの友人を作ってもらったということは物理チャレンジの目的の重要な部分を占めています。ただ交流は感染防止と多分に相反するので、今回も交流の機会は限らざるを得ませんでした。それでも、「今回の第2チャレンジで初めて知り合い、今後も連絡を取り合おうと思う人はできましたか」という問いに8割近い人ははいと答え、できた友人は平均5人となっています。

第2チャレンジは何回目ですか？



第2チャレンジでできた友人の数



今期の物理チャレンジの開催に当たっても数多くの方々のお世話になりました。中でも岡山県の高校理科部会の8人の先生方には生徒の引率、ホテルでの対応、試験監督、採点、フィジクスライブなど裏方を含む多方面でお世話になりました。また岡山県立倉敷南高校放送無線部には閉会式司会を務めてもらいました。この方々をはじめお世話になった皆様全員に厚く御礼申し上げます。

### 【成績優秀者】

- ☆物理チャレンジ大賞・☆岡山県知事賞（総合最優秀）
  - 岩下幸生 市立札幌開成中等教育学校6年
- ☆エリジオン賞（理論問題コンテストで最優秀）
  - 岩下幸生 市立札幌開成中等教育学校6年
- ☆TDK賞（実験問題コンテストで最優秀）
  - 田中優希 灘高等学校3年
- ☆理研計器賞（高校2年以下で最優秀）
  - 角谷賢斗 開成高等学校1年
- ☆東京エレクトロン賞（第1チャレンジにて最優秀）
  - 甲斐健心 宮崎県立宮崎西高等学校3年
- ☆東京理科大学賞（第1チャレンジにて女子最優秀）
  - 宮本アロハ 東京都立桜修館中等教育学校6年
- ☆金賞
  - 稲垣黎 岡山白陵高等学校3年
  - 今村晃太郎 大手前丸亀高等学校3年
  - 岩下幸生 市立札幌開成中等教育学校6年
  - 角谷賢斗 開成高等学校1年
  - 田中優希 灘高等学校3年
  - 東川レオン 筑波大学附属駒場高等学校3年
- ☆銀賞
  - 揚妻慶斗 筑波大学附属駒場高等学校3年
  - 安積知史 白陵高等学校3年
  - 有水大世 ラ・サール高等学校3年
  - 植田靖啓 灘高等学校3年
  - 甲斐健心 宮崎県立宮崎西高等学校3年
  - 加納怜 広島学院高等学校3年
  - 小林悠大 大阪星光学院高等学校2年
  - 佐藤耀大 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校1年
  - 鈴木晴翔 聖光学院高等学校3年
  - 昇航玄 東大寺学園高等学校3年
  - 濱田泰成 灘高等学校1年
  - 松坂康平 東海高等学校3年
- ☆銅賞
  - 伊丹翔治 灘高等学校1年
  - 大槻輝 聖光学院高等学校3年
  - 河野次郎 ラ・サール高等学校2年
  - 窪田裕成 新潟県立新潟高等学校2年
  - 小藪夏陽 京都市立西京高等学校3年
  - 佐藤賢之介 会津若松ザベリオ学園高等学校3年
  - 祖父江誠梧 徳島市立高等学校3年
  - 田中喜大 筑波大学附属駒場高等学校2年
  - 遠山龍之介 洛南高等学校2年
  - 中嶋泰誠 広島学院高等学校3年
  - 松田瑛二 広島学院高等学校3年
  - 楊弘毅 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校3年

# 物理チャレンジ2023 第1チャレンジ報告

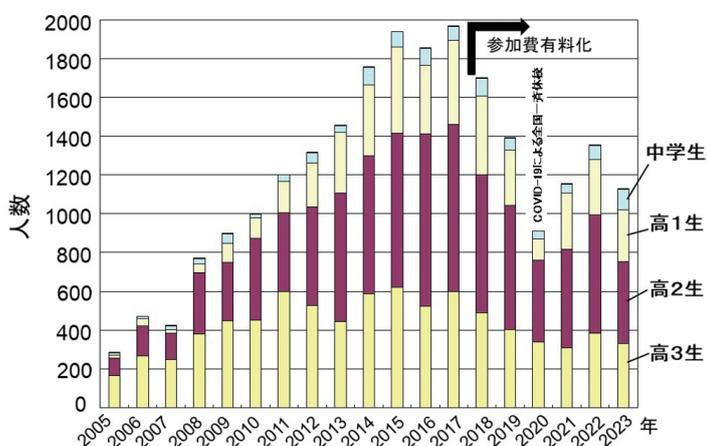


物理オリンピック日本委員会 第1チャレンジ部会長  
埼玉大学教育学部 近藤 一史

## 応募者数は1125名 昨年より微減

物理チャレンジ2023の応募者は1125名でした。コロナ禍のために1000名以下にまで減少した応募者が、昨年回復したことに喜んでいたのですが、今回少し減少して残念に思っています(下のグラフ参照)。

物理チャレンジ 応募者数(学年別)



## 「振り子の周期を、振れ角を変えて調べてみよう」

減少した原因について、第1チャレンジ部会で話し合いましたが、今回の実験課題レポートの「振り子の周期を、振れ角を変えて調べてみよう」という課題が1つの原因ではないかという意見もありました。昨年度の、「お湯の冷め方を調べ、そのしくみを考えて見ましょう」という、温度計と身の回りにあるもので実験できる課題に対して、振り子の装置を借りてくるか作製する必要がある、測定にも工夫が必要です。また、振り子の実験は、小学校から高等学校の教科書にもあるため、どこまでの内容を実験すれば良いかわからなかったのではないかと意見もありました。

第1チャレンジの実験課題レポートは、自分で実験を計画し、工夫を凝らし、得られた結果を考察し、さらによりよい実験、データを得るという過程を経験してもらうことも重要だと思って出題しています。友達や学校の先生、また家族の人と協力・相談することで、物理への興味・関心が深まって行くことがあればよいと思っています。

## 実験課題レポートの講評

振り子の振れ角  $\theta$  を大きくすると、 $\sin \theta \approx \theta$  の近似が成り立たなくなり、振り子の周期が振れ角に依存することを実験で確かめてもらうのが目的の一つでした。そのためには、減衰の小さな装置、精密な測定方法が必要となり、それらの工夫を期待していました。

実験課題レポートで評価できる点は、

- $\sin \theta \approx \theta$  の近似が成り立たない場合、多くのレポートが厳密解である楕円積分に言及していて驚きました。
- 実験で得られたデータについて、近似曲線を作成して議論しているレポートも多く見られました。
- 振れ角が大きい場合の実験を求めていましたが、振れ角が  $90^\circ$  以上での実験を行っているレポートも見られました。

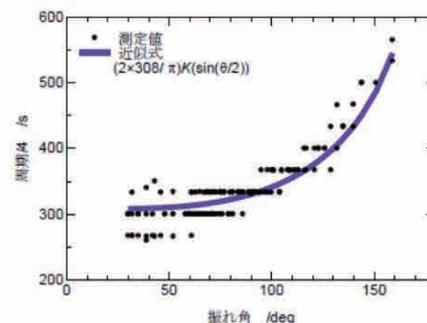
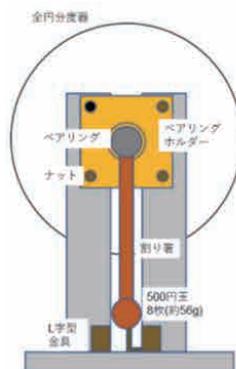


図13 シールド有脱脂有の周期と振れ角の測定結果と近似式。

## 振れ角 $90^\circ$ 以上の振り子とそのデータ

その一方で、

- 減衰の少ない装置、測定方法の工夫など期待していた内容のレポートは少なかった。
- 従来から指摘している、レポートの作成方法に問題のあるレポートがほとんどであった。など残念なところもありました。

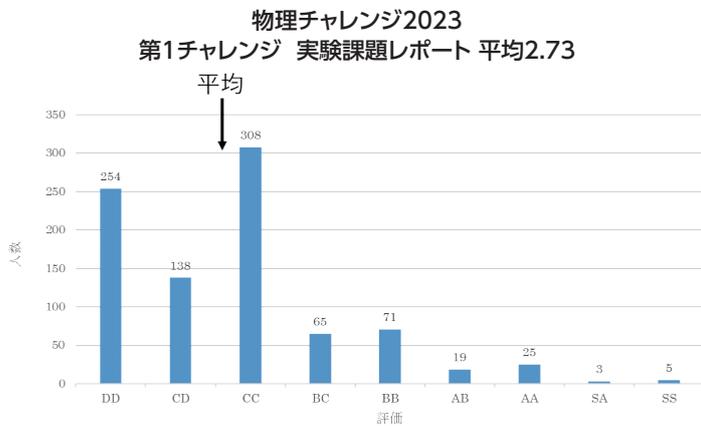
## 実験課題レポート平均は2.73点

実験課題レポートは、DDからSSの9段階で評価します。昨年のNews Letterでも書きましたが、第1チャレンジの実験課題レポートでは、Cを標準とし、CCの評価(3点)が合格点と考えています。今回の実験課題レポートの平均点は2.73点で、3点を少し下回りますが、標準的な結果だと思っていま

す(下のグラフ参照)。DDの評価が多いのは、振り子の実験をクラス単位などで行い、同じ内容のレポートがあったり、課題に対する実験が行われていなかったりしたとの報告がありました。ポスターの裏面に、「…共同実験者と同じ内容の部分が多い実験レポートは、両方の実験レポートがともに最低評価や失格になる場合があります。」という記述がありますので、次回参加する場合は注意して下さい。

### 理論問題コンテストの平均は38.92点

理論問題コンテストの平均点は38.92点で、昨年39.61点、一昨年39.20点と比べると若干低くなっていますが、例年通りの結果だと思っています(右段にある右下のグラフ参照)。最初の基礎総合問題14問の正当率は44.1%で、基礎的な内容は、きちんと理解されていると思えました。



ここで、気になる理論問題コンテストで正答率の低かった問題を紹介します(スペースの関係で選択肢や図などは省略しています)。

一番正当率の低かった問題は、熱力学の問17でした。

問17 1.0 kg、 $-79^{\circ}\text{C}$ のドライアイスが1気圧( $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ )ですべて昇華して、 $-79^{\circ}\text{C}$ の気体になった。内部エネルギーはどれだけ増えたか。ただし、気体の二酸化炭素は理想気体として扱い、ドライアイスの昇華熱は $25 \text{ kJ/mol}$ 、モル質量は $4.4 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$ 、密度は $1.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、気体定数は $8.3 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ である。最も適切なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。

この問題は、特に難問とは考えていなかったのですが、ドライアイスが外にした仕事を考慮していない選択肢への回答が多かったために、正当率が低くなったようです。

2番目に正当率が低かったのは、発展問題でした。これをのぞき、3番目に正当率が低かったのは、波動の問20でした。

問20 図1のように、物体Aから距離 $a_1$ に焦点距離 $f_1$ の凸レンズ $L_1$ を置いたところ、 $L_1$ から(物体の反対側)距離 $b_1$ の位置に倒立像が映った。倒立像の大きさは、Aの高さの半分であった。次に、Aと $L_1$ をそのままにして、図2のように、焦点距離 $f_2$ の凸レンズ $L_2$ を $L_1$ の光軸上に置いて、レンズ $L_2$ をとおして見たところ、Aと同じ位置にAと同じ高さの倒立像が見えた。このとき、 $f_1$ と $f_2$ の関係はどうなるか。最も適切なものを、下の①～⑤の中から1つ選びなさい。

この問題も難問とはいえ、レンズによる光の進み方は、中学校で学習する内容ですので意外でした。教科書では、1枚のレンズで学習しますが、問題では2枚のレンズの組み合わせについて出題されています。身の回りのレンズを用いた製品(デジカメ、望遠鏡、双眼鏡など)は複数のレンズが組み合わされています。この程度の応用問題でも、苦手なのかと思いました。

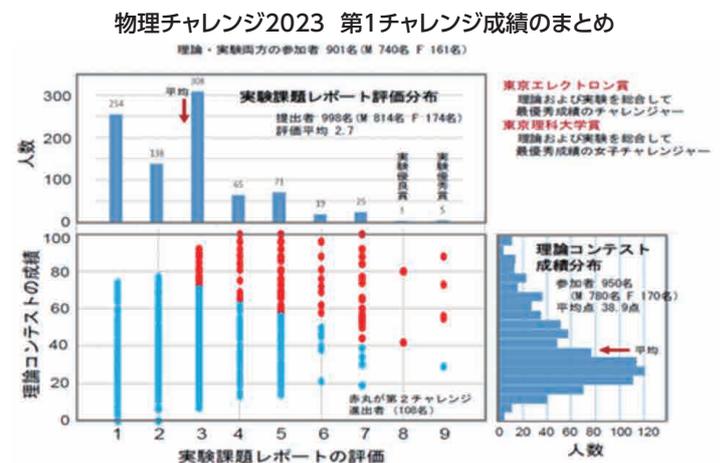
### 実験でも理論でも過程が重要

近頃は、ネットワークを用いると、簡単に結果が導かれるようになってきました。しかし、これらは多くのデータの蓄積があつてのことです。新たなデータを蓄積するには、科学的な活動は必要です。科学では、結果もですが、その過程が重要です。物理チャレンジに参加した人には、例えば、優秀賞・優良賞を受賞した実験課題レポートを読んで見たり、送られてきた理論問題コンテストの解答・解説を復習したりして、科学の過程を学習してもらえたらと思います。

### 第2チャレンジ進出者 108名

次のグラフが、実験課題レポート、理論問題コンテスト、第2チャレンジへの進出者の関係を表しています。

実験課題レポート、理論問題コンテストの結果を総合して、第2チャレンジへの進出者108名を決定しました。



# 物理チャレンジ2023 第2チャレンジ実験問題講評

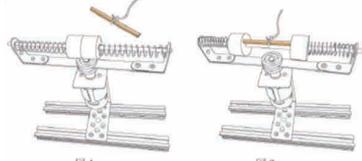
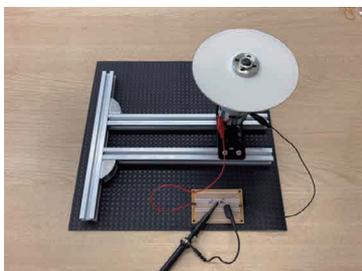


実験問題部会 部長  
電気通信大学/元東京大学 末元 徹

今年の実験問題は、2つの大問で構成した。課題1では角運動量の概念を理解し、角運動量保存則が成り立つことを体験してもらった。課題2ではLEDと太陽電池の働きをpn接合の観点から理解することを目標とした。

## 課題1 回転運動と角運動量保存の法則

フィギュアスケートの選手が回転しながら腕を縮めると回転が速くなるのは、テレビなどでおなじみのシーンである。これは角運動量の保存則から説明できる現象であるが、これを実験で確かめてみようというのが、この課題の狙いである。DCモーターの軸を回転させると、角速度に比例する起電力を発生するので、これをオシロスコープの画面に表示させて角速度の時間変化を記録する。図はモーターの軸に数枚のCD板を取り付けた状態である。これを手で回して減衰の様子を観察し、その結果からCDの枚数によって慣性モーメントIが変わることを確かめ、モーター自身のIと減速トルクを求める。問題の後半では回転中に支え棒を引き抜きバネの力で錘を中心方向へ移動させるという巧妙な仕掛けで、フィギュアスケートを再現した。引き抜きの瞬間にIが小さくなって角速度が大きくなることを確かめてもらう(ここまでに100点)。そのときのエネルギーの変化や、その後の減衰の様子についての設問を「発展問題」として設け、ボーナス点を与えた。

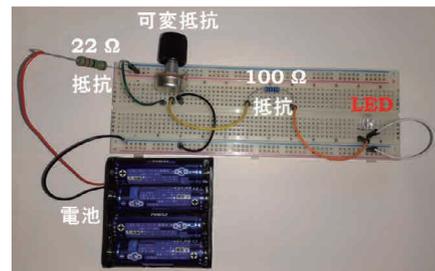


回転運動の実験装置

## 課題2 LEDと太陽電池

太陽電池は電卓の電源や屋上の発電設備として、発光ダイオード(LED)はペンライトや電気器具の表示として、見慣れたものであるが、いずれも半導体のpn接合という概念で理解できるところに気づいてもらうのが狙いである。実験に用いる回路は、電池ボックスと可変抵抗、LEDなどから構成され、各自ブレッドボード上に組み立てる。そして電流と電圧をデジタルマルチメータで測定する。まず、LEDの電流-電圧特性を測定し、LEDの種類によって電流の流れ始める電圧が異なる事、そして、その電圧と発光の波長がバンドギャップ

の大きさに関係していることを確かめる。LEDの光を太陽電池に照射して電流を測定し、LEDの明るさ(電流値)に対してどのように変化するかを測定する。LEDの光を別のLEDに当てると起電力が生じる(発電できる)ことを確かめてもらうのがユニークな点であった。最後に太陽光のスペクトルを掲げ、太陽電池(Si)とLEDに使われている半導体の発電用材料としての長所短所を論じてもらった。(100点)



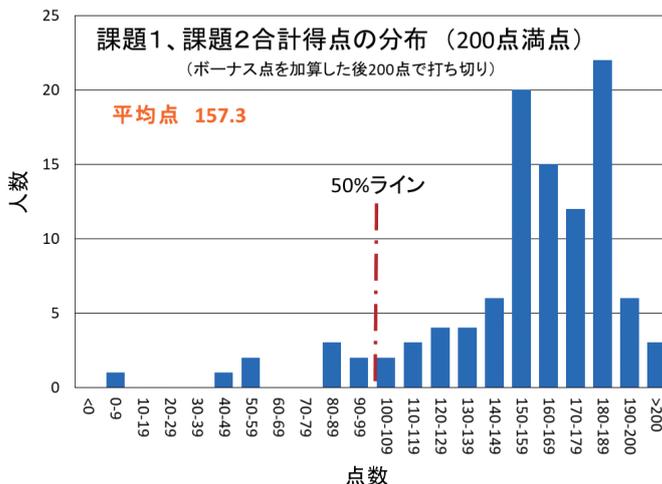
LEDや太陽電池の電流、電圧を測定する回路

## 成績

今回は多くの生徒が実験を最後まで行うことができたようで、アンケートでは楽しかった、面白かったという感想が多く、実験の面白さを伝えるという点では成功したといえる。

一方、平均点が目標の50%ラインを大きく超えた157.3点という高得点になり、上位者の点差が付きにくいという問題があった。

昨年は課題2の正答率が22%と非常に低く、課題1(80点)と課題2(120点)を合わせた平均点も低く(72.1点)になってしまった。その反省に立って、今回は設問の数を減らし、解答しやすい問題を作成したが、やや行き過ぎたようである。また、実験手順などの指示が細かくされていたので、生徒自身の工夫の余地があまりなかったという点で物足りなさを感じた人もいたようである。簡単な問題から難問までをうまく分布させるなどの工夫が必要と思われる。



# 物理チャレンジ2023 第2チャレンジ理論コンテスト問題と講評



理論問題部会長  
岡部 豊

## はじめに

2023年の第2チャレンジ理論試験は岡山国際交流センターで8月20日に行った。第1チャレンジで選考されたチャレンジャーの中で当日参加した者は105名。試験時間は5時間で、問題冊子は表紙を除いて25ページ、解答用紙は15ページであった。

昨年11月より理論問題部会委員で議論を重ね、広い意味の力学、電磁気学、熱学、現代物理の分野から全4問の大問題を出題した。出題範囲は基本的に高校物理であるが、それを超える場合もある。物理的なイメージを持って解答できるように、やさしい導入問題から始めるように工夫した。かなり高度な内容を含んだ問題もある。

## 各問の出題

第1問は、広い意味の力学として、「力学とくりこみ群」を扱った。くりこみ群は相転移研究などで成功を収めているが、粒子を水平に投げる力学の運動を用いて、くりこみ群の考え方を紹介した。初速 $U_0$ を与えて、粒子が地球の中心(原点)から最も遠ざかる距離を $R_{max}(U_0)$ とすると、その発散のふるまいを、スケール変換を導入することにより、くりこみ群の考え方を議論した。

第2問は電磁気学で、「電磁波の伝搬と圧力」という問題で、ファラデー(電磁誘導)の法則とアンペールの法則を出発点に、真空中の電磁波と変位電流を確認した。次に、物質中の電磁波の分散関係を求め、また、電磁波が反射するとき、電磁波が及ぼす力を計算し、電磁波が運動量をもっていることを理解させた。

第3問は、統計物理学の「アインシュタインの関係式」、すなわち、ブラウン運動するコロイド粒子の拡散係数 $D$ と易動度 $\mu$ の関係を与える式を導出した。拡散定数の見積もりができれば、アボガドロ定数を求められる。知られているアボガドロ定数を用いてブラウン運動をするコロイド粒子の平均2乗変位を計算させた。

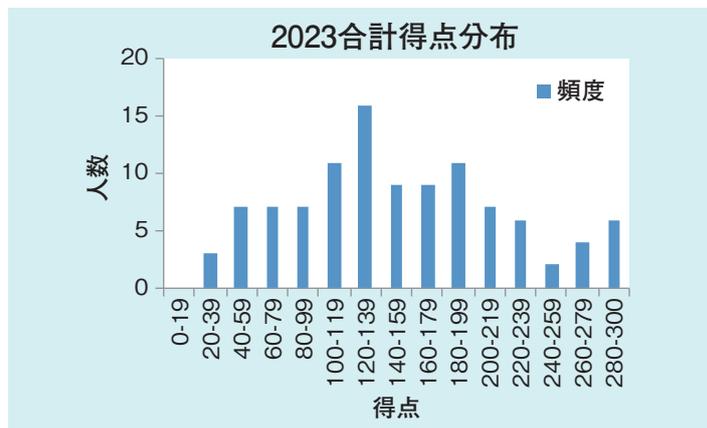
第4問は、「ファブリーペロー干渉計」の問題である。平行薄膜に照射された光の干渉から出発して、ファブリーペロー干渉計(FPI)の原理を考察する。波の式の複素数表現を用いてFPIのエネルギー透過率を計算し、FPIの分解能を議論した。

## 全体の講評

理論各問の採点結果を表に示すが、全体の平均点は151.6点(約51%)で、2022年度の約60%より低かったが、2021年度の約51%と同程度であった。第1問の力学系の問題はくりこみ群への応用の後半部分は得点が低いものの、前半の得点が高く、全体の平均点は高かった。第2問の電磁気学系の問題は、初めの小問でつまづいた生徒が多く、得点は低かった。第3問のアインシュタインの関係式の問題は、後半の小問もある程度の得点をとれた生徒が多く、全体の平均点は高かった。第4問のファブリーペローの問題は、前半の小問の得点率が高かったが、総合が高得点の生徒が少なく、平均点は高くなかった。

	第1問	第2問	第3問	第4問	合計
配点	75	75	75	75	300
平均点	46.7	22.4	44.2	38.3	151.6
得点率	62.2%	29.9%	58.9%	51.0%	50.5%

得点分布を図に示すが、ほぼ正規分布で、最高点は293点であった。



アンケートでは、各問の難易度は、第1問、第2問が難しいという評価が多く、第3問がやや易しいとした生徒が多かった。内容は、第1問と第3問が、とても興味深いという回答が多かったが、アインシュタイン、くりこみ群というキーワードに魅力を感じたと思われる。

採点は、現地とオンラインのハイブリッド形式で行ない、慣れてきた。しかし、全体の厳しいスケジュールで、判定会議にぎりぎり間に合わせるという状況である。