

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02916

研究課題名（和文）実験系遠隔教育を可能とするコンパクトで扱いが容易な光学実験教材の開発

研究課題名（英文）Development of Compact and Easy-to-Use Optical Experiment Materials for Experimental Distance Learning

研究代表者

馬場 一隆（Baba, Kazutaka）

仙台高等専門学校・総合工学科・教授

研究者番号：10192709

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：実験を伴う遠隔教育に対応可能な教材となるようブロック状光素子の改良を行った。ブロック状光素子は、受講者がその機能を直感的に理解でき、取扱いが容易で、小型・軽量、かつ安価に提供することができる新しい光学実験教材である。素子の表面保護のため、薄い樹脂板を用いた無偏光保護シートを開発した。また、素子の強靭性を高め、素子をマウントするベースへの固定法について改善を進めた。無偏光保護シートや新しい素子の固定法の有効性を光ピックアップの原理確認実験等の様々な実験において確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新型コロナウイルス感染症の拡大を契機として遠隔教育は広く普及したが、実験・実習系の科目は実施に困難が伴うのが現状である。理系の高等教育において、例えば電子・情報系の分野では、情報処理・電子回路・デジタル技術などにおいては遠隔教育に対応させることができる実験・実習教材が存在している。しかし、光技術においては、広く利用されている市販の光学実験機器が高精度な調整が必要で、サイズが大きく重量もあるため、そのような実験教材は存在しなかった。本研究は、それに道を拓くものである。

研究成果の概要（英文）：We improved the block-type optical devices so that those can be used as a teaching material for distance education involving experiments. The block-type optical devices are novel optical experimental teaching materials that allow students to intuitively understand its function. Those are easy to handle, small, lightweight, and inexpensive to provide. To protect the surface of the element, we developed a non-polarizing protective sheet using a thin resin plate. We also increased the toughness of the element and improved the method of fixing it to the base that mounts it. The effectiveness of the non-polarizing protective sheet and the new element fixing method were confirmed in various experiments, including an experiment to confirm the principle of an optical pickup.

研究分野：科学教育

キーワード：光素子 光システム 光計測 光学実験教材 遠隔授業 実験キット 偏光 複屈折

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究の申請を行った令和2年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大が始まった年で、感染防止のため多くの高等教育機関が対面授業を避け、遠隔授業を実施することを余儀なくされた。その際、最も対応が苦慮されたのが、実験・実習系の科目である。特に教育機関の実験室等の施設において、それなりの設備や装置を利用しなければならないような内容の実験・実習は、多くの場合、対面授業の再開を待たなければ実施は不可能であった。一方で遠隔教育は、緊急避難的にせよ多くの教育機関で実施された結果、例えば、人間関係の問題等から不登校もしくはそれに近い状態の学生に教育の機会を与える上で有効である等の効果が改めて明確になり、また、学生それぞれの個性とニーズに合わせた多様で豊かな学びの場を提供する上でも大きな可能性を秘めていることが改めて認識された。申請者が所属する仙台高専が実施した「遠隔授業アンケート」においても、その評価に正負の両面があるものの、「通学時間を節約でき、その分の時間でいろいろ新しいことができた」などと肯定的にとらえる意見も多く見られた。遠隔教育は、本研究の開始当初はもちろんのこと、新型コロナウイルス感染症が5類に移行した現在においても、新しい教育の潮流として、特に高等教育機関において活用され続けており、仙台高専においてもいくつかの科目で継続して実施されている。従って、遠隔教育対応の実験・実習教材の開発は、今後も教育研究の分野で重要な研究課題のひとつになるものと考えられる。

電子・情報系の分野では、情報処理・電子回路・デジタル技術などにおいて、教員が多少の工夫を加えることにより、ある程度は遠隔教育に対応させることができる実験・実習教材が存在している。しかしながら、光技術については、近年応用分野が様々な広がりを見せ、重要性が増しているにも関わらず、そのような実験教材は存在しなかった。これは、高等教育機関等で広く利用されている市販の光学実験機器が、高精度な調整が必要な精密機器である場合が多く、またサイズが大きく重量もあるため、個人への貸与や学外への運搬が容易でないことに主な理由がある。また、これらの機器は、高価なものが多く、個別の実験装置を受講者分整えるには大きな予算が必要となるため、光技術に関する教育では実験を取り入れる場合、指導教員立会いの下、数名～十名程度のグループで、高価な素子を用いた1セットの実験装置を共同で使用して行われることが多いのが実情であった。

2. 研究の目的

申請者は、これまでの研究により、受講者がその機能を直感的に理解でき、取扱いが容易で、小型・軽量、かつ安価に提供することができる新しい光学実験教材としてブロック状光素子を開発し、その有効性を検証してきた。図1に、本研究開始前に試作されたブロック状光素子の例（偏光子と受光素子）と、それらを用いて構成された透過率の偏光・入射角度に対する変化の測定系の写真を示す。

ブロック状光素子は、素子の光が透過する面のサイズを $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ の正方形に統一することで、高価で重量があるマニピュレータ類を使用しなくても、各素子の配置や光軸の調整を容易に行うことができるよう工夫された光学実験教材である。図1からも分かるように、素子の大部分はガラスやアクリル等のブロックを基本として構成されており、小型で軽量である。ブロック状光素子は、このように形状や重量、経済性の面で遠隔授業に対応し得る特質を有する光学実験用の素子であるが、これまで教員の監督の下で授業時間内に基礎的な光学実験を行うことを主目的に個々の素子を開発してきたため、素子によっては外的な力に弱いものもあり、遠隔教育に利用するには、その強靱性や安定性の面で素子の改善が必要である。また、遠隔教育用に、受講生がある程度は自学により実験が進められるような分かりやすいテキスト等の作成と、実際に立ったその使いやすさの検証も必要であった。

本研究は、ブロック状光素子の優れた特徴はそのまま維持した上で、実際に遠隔授業に使用できる汎用性に富む光学実験教材を開発することを最終的な目的として進められた。

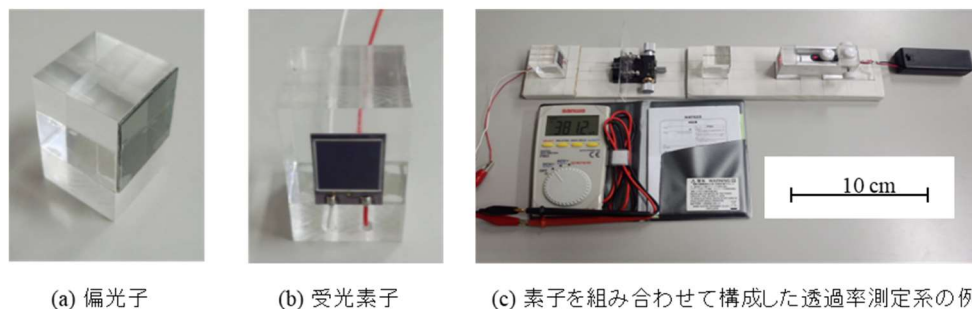


図1 本研究開始以前に試作されていたブロック状光素子及びそれを用いた測定系の例

3. 研究の方法

先に述べたように、ブロック状光素子は、光が透過する面を、すべて同一の大きさの正方形に統一し、原則的に光のビームがこの正方形断面の中心を通るようにすることで、各光学素子の配置や光軸の調整を容易にしている。各素子の具体的な構造としては、例えば反射型の素子（波長合分波器など）は、薄膜もしくは多層膜を2つの直角プリズムに挟み込んだ構造を基本として、分けた光を直角方向に取り出すようにしている。透過型の素子（カラーフィルタや位相板など）は、素子をアクリルやガラスのブロックに挟んで、安定して実験台の上に置くことができるようにすることで、位置の調整を容易にしている。フォトダイオードや発光ダイオードのような受光・発光素子等は、アクリルのキューブに孔を開けて導線を取り出して固定されている。図1(c)に示したものと同一測定を、市販の光学機器を用いた実験系で構築すると、光学系の部分だけでも、長さ60cm×幅20cm×高さ20cm程度となる。ブロック状光素子を用いることにより、測定系全体が大幅に小型化され、その結果として重量も大きく軽減される。実際にブロック状光素子を遠隔教育に使用する上で、①光学素子は、光が通る面を指で直接触れたりして指紋がついたりすると特性が劣化するものも多く、なんらかの方法で表面を保護する必要がある。また、②学生の使用中に簡単に破損しない程度に、素子を強靱なものとする必要もある。

上記①については、樹脂板等を用いた脱着可能な保護カバーの開発を行う。薄い樹脂板には製造工程の中で複屈折を持つものも多いので、素子の偏光特性に影響を与えないものを選択することが重要である。②の問題については、個々の素子の強靱化を図るとともに、実験システムを構築するベースへの適切な固定方法の開発を進める。これらにより、遠隔教育における使用に耐える実験教材とすることが可能となる。

4. 研究成果

令和3年度は、まず、開発する教材が遠隔教育のため自宅等で用いられることを念頭に、素子の表面保護のための方策について重点的に検討を行った。令和4年度は、特に素子の固定法について改善を進めた。最終年度となる令和5年度は、さらに素子の固定法の改善を進めるとともに、無偏光保護シートの有効性を光ピックアップの原理確認実験等の様々な実験においても確認した。以下、各項目について、研究成果の概要を説明する。

(1) 素子の表面保護

使用者の安全を考えるとガラスより樹脂が適していると考え、樹脂板を用いた脱着可能な保護カバーの開発を行った。薄い樹脂板は製造工程の中で複屈折を持つものも多いので、同一ロッドの材料から切り出されたシートの光学軸がお互いに直交するように組み合わせることで、複屈折を相殺して測定時に保護シートの影響が出ないようにすることに成功した。このようにして開発されたシートを無偏光保護シートと呼ぶ。図2に無偏光保護シートの構成法と、実際に試作されたシートの写真を示す。

無偏光保護シートの作成のために用いる薄い樹脂板の複屈折の測定と、試作された無偏光保護シートの性能の評価には、図3に示す測定系を用いた。測定系は、2枚の偏光子の間に試料を挿入し、レーザ光を入射して、2枚の偏光子と試料を透過した光の強さを光検出器で測定する構成になっている。試料の光学軸を、入射側の偏光子Aの透過軸と45°をなすように調整し、出射側の偏光子Bを回転させて、透過光の強度の変化を測定する。図4は、そのときの理論値の計算例で、横軸が偏光子Aの回転角、縦軸が透過率となっている。試料の光学軸方向とそれに直交な方向の2つの直線偏光の位相差が0°（つまり複屈折が無い場合）と180°（試料が $\lambda/2$ 板となっている場合）のときは、透過率が0から1まで変化するが、それ以外は複屈折による位相差に応じて透過率の範囲が変化する。

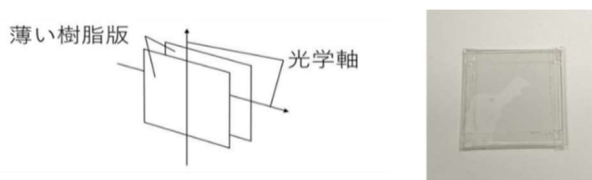


図2 無偏光保護シートの概念図と試作された保護シートの写真

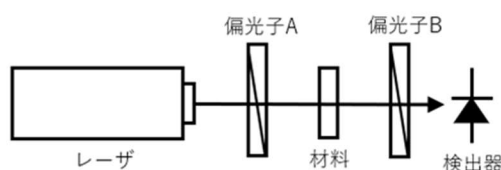


図3 複屈折の測定系

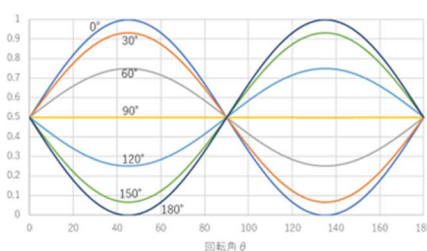


図4 左の測定系における理論値

図5は、試作した無偏光保護シートの複屈折を、図3の測定系を用いて測定した例である。保護シートの材料として使用した薄い樹脂板の複屈折による位相差は、約 60° と測定されている。この2枚の樹脂板をお互いに光学軸が直交するように配置し、光が透過しない周辺部を接着剤で固定することにより、無偏光保護シートとした。グラフの横軸の偏光子Bの回転角 θ に従って、透過率が0から1まで変化しており、位相差が0のときの理論値とほぼ一致している。すなわち、複屈折が相殺されており、本来材料が持っている複屈折が、実験に与える影響が無いことが分かる。

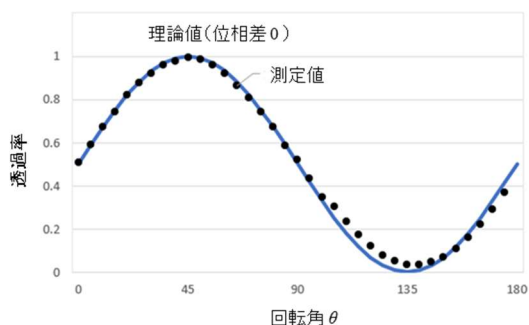


図5 試作された無偏光保護シートの評価

開発した無偏光保護シートの脱着法については、素子に直接メンディングテープ等で固定する簡便な方法や、キャップ状にしてかぶせる方法、磁石を利用した簡便な脱着方法などを検討した。図6は、キャップ状の無偏光保護シートの試作例で、これを装着するブロック状光素子の複屈折測定用の試料と偏光子を併せて示してある。図7は、磁石（マグネットシート）を利用したもので、偏光子に装着済のものである。黒い部分がマグネットシートである。

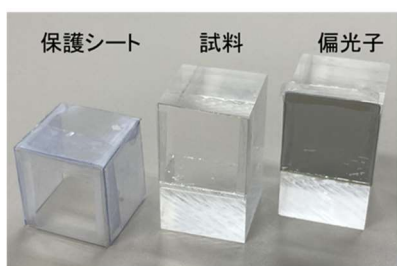


図6 試作されたキャップ状保護シート

図7 磁石により装着された保護シート

(2) 素子の固定法の改良

素子を配置するためのベース（従来の光学実験システムの光学ベンチあるいはレールに相当する）の上に、素子をより強靱に固定して、再現性の良い実験結果が得られるようにするため、素子の固定法についての改良を行った。

本研究開始前は、ブロック状光素子の配置の自由度を重視して、図8に示すように薄い鉄のプレートに、マグネットシートにより素子を固定する方式を主に利用して研究を進めていた。固定強度としてはやや脆弱だが、例えば 60° の屈折プリズムのように、光軸が直線もしくは 90° 方向になるもの以外の素子にも柔軟に対応できるメリットがある。写真は、糖液の糖度を、旋光性を利用して測定する実験系の例である。本研究においては、安定性を重視して、ブロック玩具の土台の上に実験系を構築する方式を中心に開発を進めた。図9は、本研究の開始前後に試作した実験キットで、反射型のRGB分光測定用の実験系の例である。

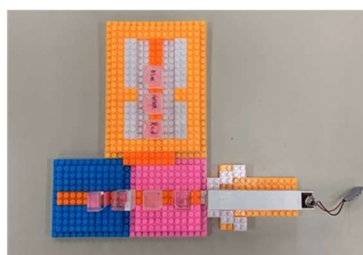
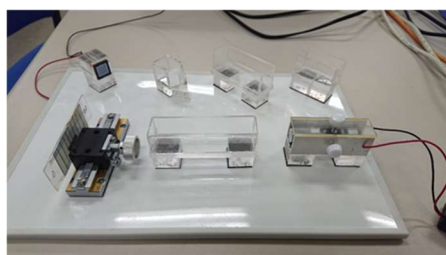


図8 磁石による素子の固定の例

図9 ブロック玩具による素子の固定の例

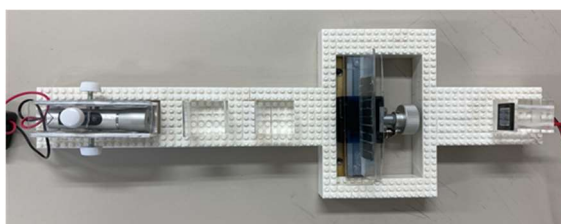
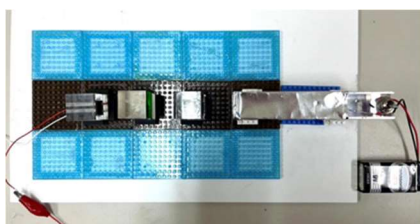


図10 小型のブロック玩具による改良

図11 くぼみを利用した素子の固定の例

本研究においては、図 10 に示すように、ベースとなるブロック玩具について、よりツメの細かい小型のものを採用して、素子の位置や高さをより細かく調整できるようにするとともに、素子をより密に配置できるようにして、測定系を小型化した。また、これを用いることにより、光学素子部とその土台部分の接着も強固にすることができた。なお、図 10 の写真は、透過型のカラーフィルタを用いた RGB 分光特性の測定系の例である。その結果、強度は十分なものが試作できたが、逆に固すぎて取りはずしが容易でない素子もあった。そのため、図 11 に示すように、基板にくぼみを作り、そこに素子をはめ込む方式について検討し、脱着が容易で強度もまずまずのものを試作した。図は、複屈折の大きさの測定系の例で、素子の配置や構成は図 3 の測定系に対応している。しかし、この方法では実験キットとしての自由度が損なわれる。実験ごとに基板をテンプレートの様に準備する方式を検討したが、利用者の創意工夫の余地がなくなる点に問題があると考えており、なお工夫の余地がある。

(3) ブロック状光素子を用いた光学実験キットの改良

無偏光保護シートの有効性を、光ピックアップの原理確認実験、液体の糖度の測定、複屈折の測定、光の回折角の測定などの実験においても確認した。図 12 は、光ピックアップの原理確認実験の例である。(a)は装置の構成で、レーザー光が模擬光ディスクに反射されて戻るまでに 2 回 $\lambda/4$ 板を透過して偏光が 90° 回転するため、ディスクからの反射光は偏光ビームスプリッタで 90° 方向に反射されて横のスクリーンに投影される。模擬ディスクは、光ディスク上のピットを再現するときは無反射板、ピット以外の部分を再現するときは反射板を用いる。無反射板の時はスクリーン上のスポットは弱く、反射板の時は強く明るいスポットが現れるという光ピックアップによる光ディスクの読み取りの基本的な動作が問題なく再現されていることが分かる。

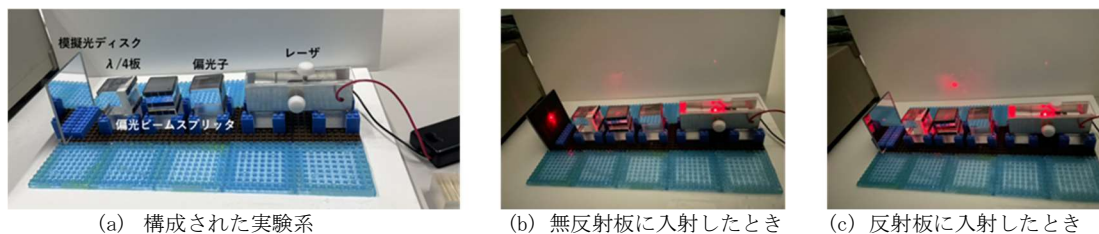


図 12 光ピックアップの原理確認実験の例

他の改良の例として、 60° 反射型の液体の糖度測定実験キットの改良について述べる。この実験では、入射する光線から 120° 方向に光が反射されるため、磁石を用いた固定法では容易に実験系を構成できたが、ブロック玩具のベースを用いる固定法は、真っすぐな光路上での実験や、先述した光ピックアップのような 90° 方向に反射するものに適するので実験系の構築が困難だった。そこで、図 13 に示すように、試料からの反射光にミラーを挿入して光線を 90° 方向に変えることにより、本研究で基本として用いるブロック玩具のベースでも実現できるようにした。実際に試作された測定系の写真を図 14 に示す。

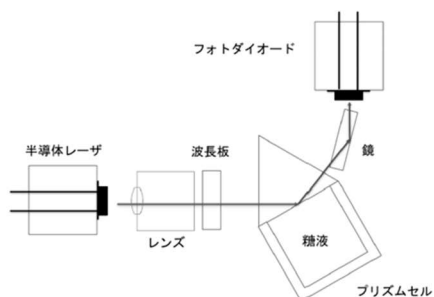


図 13 60° 反射型糖度計の実験系の改良

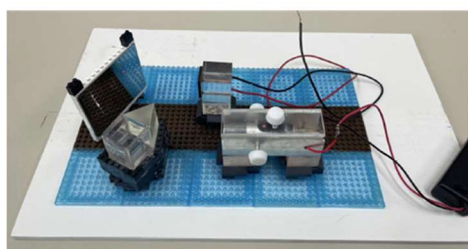


図 14 試作された 60° 反射型糖度計

(4) その他

その他、光の 3 原色である赤・緑・青の光を取り出すことができる分光用光フィルタなど、様々なブロック状光素子の試作や改良を進めてきた。白色光源の光強度の向上やスライド式偏光子の改良、市販の亚克力シートを用いた波長版の制作など、高価な光素子を安価に製作する方法についても研究を進めた。また、偏光スタンドグラスに関するやさしい教材の検討など、光学に関する様々な教材開発も併せて行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------