

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02994

研究課題名（和文）様々な実用的光システムの構築が可能なブロック状光学実験教材の開発

研究課題名（英文）Development of Block-type Optical Devices for Educational Materials Which Can Be Used for Practical Optical Systems

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：基礎的な光学実験のみならず、糖度の測定や分光計測など様々な実用的光システムの構築も可能な、ブロック状光素子を用いた光学実験教材を開発した。小型・軽量で、取扱いが容易で、機能を理解しやすく、安価に提供することができるという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、素子の固定法を抜本的に変更して、安定性に優れた実用的光システムも構築できる新しい汎用性に富む光学実験教材を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

教育の場において、実践的な能力の涵養には実験・実習の併用が有効であるが、理想的には学生一人一人に実験・実習器具を与えて、主体的に考えさせつつ実験に取り組みさせた方が効果は高い。本研究では、そのような実験・実習環境を実現することが困難だった光技術の分野で、これを現実のものとする新しい光学実験教材を開発した。PBL教育にも用いることができ、光技術におけるイノベーション人材を育成する上でも有用である。

研究成果の概要（英文）：Novel educational materials for optical experiments, which we call block-type optical devices, have been developed. The block-type optical devices are small-sized, light weight, and inexpensive optical devices easy to handle and understand for users. Various practical optical systems, including saccharimeter and spectrophotometer, could be made on an experimental basis in classwork by using the block-type optical devices. We have successfully developed the more stable block-type optical devices, which could be widely used for various practical optical systems, by improving the base of the devices.

研究分野：工学教育

キーワード：光素子 光学 光学実験 教材 光システム 光計測 偏光 分光

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

教育の場において、学生に実践的な知識や技能を身につけさせるためには実験・実習の併用が有効であるが、理想的には学生一人一人に実験・実習器具を与えて、主体的に考えさせつつ実験に取り組ませた方が効果は高い。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、多くの高等教育機関でそのような実験・実習環境が整えられて効果をあげているが、光技術の分野ではその実現は困難であった。理由は2つある。第1に光素子には高精度な調整が必要なものが多く、その取扱いには熟練が必要である。第2に光素子の多くは高価であり、人数分の実験装置を整えるには大きな予算が必要となる。このため、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セットの装置を使用して行われることが多い。

ブロック状光素子は、このような問題に対応するため申請者により提案された光学実験教材である。高価な微動台等をできるだけ使用しないで実験系を構築することを基本的なコンセプトとして考案されており、これまで科学研究費補助金(21500849)によりプロトタイプの開発がなされ、その後さらに科学研究費補助金(15K00939)によりその有効性の検証が進められてきた。素子の基本的な形状は、図1に示すように立方体もしくは直方体であり、光が透過する面はすべて同一の大きさの正方形に統一する。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、各素子の配置や光軸の調整を容易にしている。さらに、水晶のような複屈折性の誘電体結晶を材料とするため高価なものとなっている波長板等については、プラスチックケースのようにその製造工程中の延伸処理で複屈折が生じた材料を利用して自作する等の工夫により、价格的な問題を解決している。図2にこれまでの研究で開発されてきたブロック状光素子の写真を示す。例えば図2(a)はレーザ光源であるが、レーザダイオード、レンズ、1/4波長板等を一体で組み込み円偏光を出射できるようにしてある。

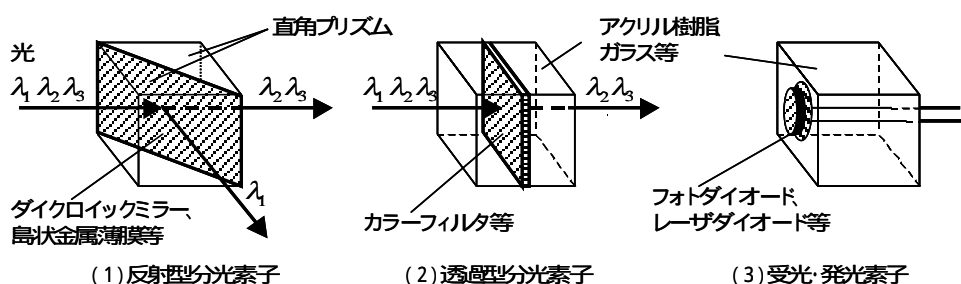


図1 ブロック状光素子の基本構造

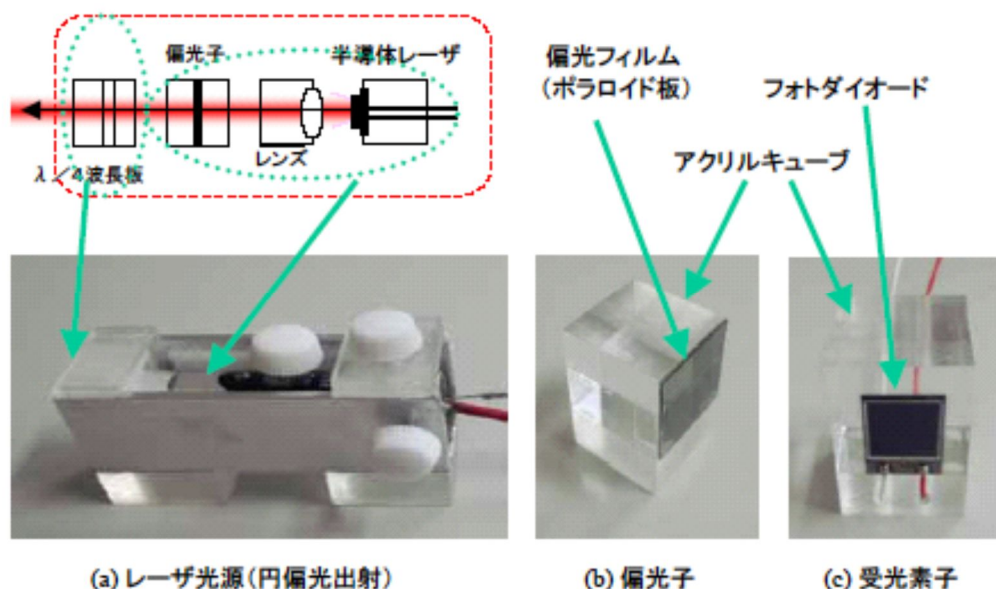


図2 先行研究で試作されたブロック状光素子の例
これまで開発してきたブロック状光素子は、受講者の扱いやすさを考え、磁石を用いて素子を

実験台上に固定していたため、長期的な安定性に欠ける面があった。このため、授業時間内に基礎的な光学実験を行う上では十分であるものの、糖度計や分光光度計などの実用的な光システムとして長期にわたって使用することはできなかった。しかしながら、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、かつ取扱いが容易で、安価で提供することができる光学実験教材なので、これを改良して様々な実用的で長期安定な光システムをも構築可能にし、受講者が自身の独創的なアイデアのもとで課題解決を行うPBL教育に用いることができるなら、光技術におけるイノベーション人材を育成する上で効果的であると思われる。

2. 研究の目的

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、素子の固定法を抜本的に変更するとともに、電子回路等もユニット化して組み込み、安定で実用的な光システムをも構築できる新しい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いる。この目的に最も適した素子の固定法の検討を行い、試作と実験的検証を行うとともに、これまでブロック状光素子による測定系の外部に置かれていた市販の電源やコントローラ、表示部のような電子回路部もコンパクトで扱いやすい形でユニット化して組み込めるものを開発する。さらに、本研究により改良・開発されたブロック状光素子や電子回路ユニットを用いて、例えば、糖度計、反射型色調測定システム等の実用的な光システムを実際に構築し、その精度や安定性を証明する。

3. 研究の方法

先に述べたように、ブロック状光素子の基本的な形状は、立方体もしくは直方体であり、光が透過する面は、すべて同一の大きさの正方形に統一されている。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定めることで、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（PD）、発光ダイオード（LED）、レーザダイオード（LD）のような受光・発光素子等は、アクリルのキューブに孔を空けて導線を取り出して固定されている。レンズ等も同様にアクリルかガラスのキューブに固定されている。

本研究では、これらの光素子を、ブロック玩具のような構造の治具の上に構築してブロック基盤にはめ込んで固定することで、素子の配置を容易に変更できるようにするとともに、長期安定性の獲得を図った。また、電源等の電子回路部も、最終的には光素子と同一の基盤上に配置できるよう、コンパクト・軽量で配線も安定して容易に行うことができるように機能ごとにユニット化して試作を進めた。また、教材としての扱いやすさと安全性の観点から素子の材料を幅広く検討するとともに、構造についても改良を加えた。

なお、本研究は、申請者の単独研究であり、研究分担者はいない。

4. 研究成果

平成30年度は、ブロック状光素子を用いた実用的な光システムの例として、光ピックアップや糖度計等を取りあげ、その試作と改良を行った。まず、それらを構成するために必要なレーザ光源、偏光子、偏光ビームスプリッタ、 $\lambda/4$ 板、光デテクタ、液体試料用のセル等のブロック状光素子を多数製作した。レーザは、先に図2(a)で示したように、市販のレーザポインタを分解してブロック内に収まるように加工し、複屈折を持つ透明プラスチックシートを $\lambda/4$ 板として出射端に貼り付け、円偏光を出力するようにして、別にアクリルブロックに偏光フィルムを貼り付けて製作した偏光子（先に示した図2(b)参照）と組み合わせることで、容易に任意方向の直線偏光を同程度の出力強度で取り出せるようにした。増幅器等の電子部品部などもブロック状光素子のシステムに組み込むことができるように開発した。図3に、製作した他のブロック状光素子の写真を示す。(a)は反射型(左)と等価型(右)のカラーフィルタ（緑に対応）、(b)

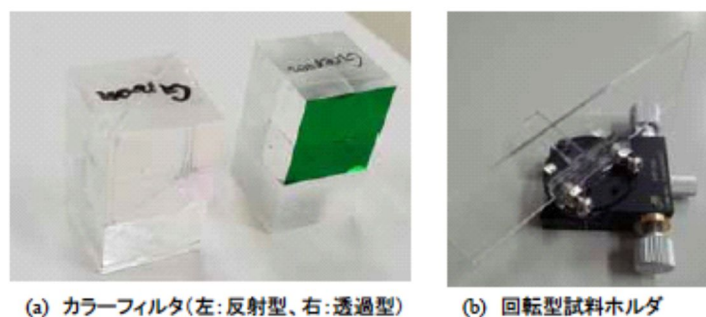


図3 試作されたブロック状光素子の例

は市販の小型回転微動台を利用した入射角可変の試料ホルダである。最終的には光ピックアップ等において、良好な動作をする光システムを、ブロック状光素子を用いて実現することができ

た。

令和元年度は、ブロック状光素子の固定法の改良について研究を行ない、これまでのマグネットシートを利用した各素子の固定法に代えて、ブロック玩具を応用した台座を試作してその上にマウントする方式による素子を試作した。様々な市販のブロック玩具を比較検討し、比較的小さなものを用いて、昨年度検討した光ピックアップの原理学習教材を題材に実験教材を新たに試作したところ、安定性や実験の再現性において向上が見られた。また、偏光子については、様々な偏光角を持つ偏光フィルムを1枚のガラス板に貼り付けて、横方向にスライドさせることが可能な台座の上に設置することで、より簡便に偏光角を変えて実験ができるようにしたスライド式偏光子を開発した。図4は実際に試作された偏光子である。従来は、図4(a)に示すように様々な偏光透過軸を有する複数の偏光子を作製し、それらを次々に交換していくことで、偏光方向を変化させて測定をおこなっていたが、図4(b)に示すようなスライド式偏光子を用いることで偏光子を交換する必要がなくなり、測定を効率化させることができた。図5に示すのは、スライド式偏光子をレーザ、偏光子、光検出器と組み合わせ、試料の複屈折の大きさを測定することができるブロック状光素子を用いた測定系の例である。また、アクリル板を用いた波長版についても、より精度が高くて見た目も美しい素子を試作した。

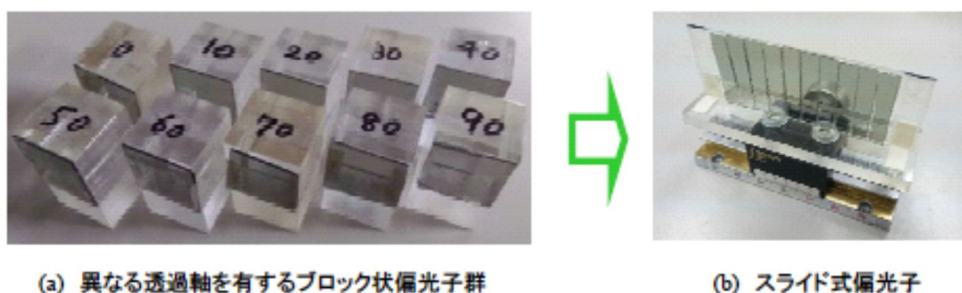


図4 ブロック状光素子として試作された偏光子

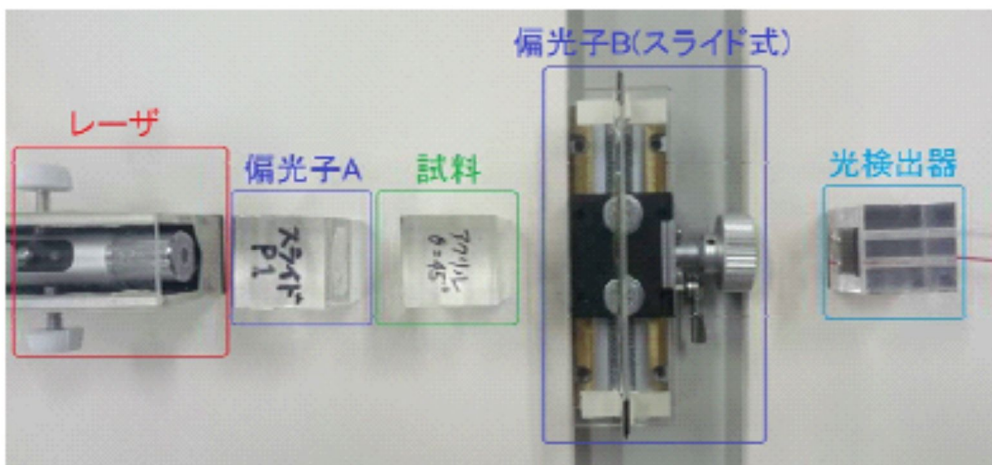


図5 スライド式偏光子を用いたブロック状光素子による複屈折の測定実験系

最終年度に当たる令和2年度は、ブロック玩具をベースにしたマウント法を用いて、透過率の入射角依存性の測定、偏光や複屈折の測定といった光学の基礎から、糖度計や分光測定のような応用システムまで、様々な実験やシステムの構築が可能な光学実験キットを試作・開発し、安定性や性能、遣いやすさ等についての検証を進めた。試作された実験教材キットの光学素子を組み合わせることにより、「透過率の入射角依存性の測定」、「偏光に関する実験」、「複屈折の測定」といった光学の基礎に関する実験と、「光ピックアップの原理確認実験」といった応用につながる実験を比較的精度良く行うことができることは確認できた。

図6に示すのは、ブロック状光素子を用いた光ピックアップの原理確認実験の例である。レーザから出射した光は、偏光子で横方向に電界が振動する直線偏光とされて偏光ビームスプリッタを透過し、 $1/4$ 板で円偏光に変換されて、光ディスクを模した鏡に入射して反射され、再度 $1/4$ 板を通過することで最初の偏光とは直行する上下方向に電界が振動する直線偏光に変換され、今度は偏光ビームスプリッタで直角方向に反射される様子が確認される。なお素子をベースとなるアクリル板に固定しているのは、ブロック玩具を用いた固定治具で、この写真はプロトタイプなので、要所々々にしか固定治具を配置していないが、最終的にはブロック玩具を用いた固定治具を全面に配置したベースを用いる。

また、図7には、図5の実験系を用いて得られた複屈折の大きさの測定の結果を示す。図中の

実践は、試料の複屈折による位相差を 20° と仮定したときの理論曲線で、点としてプロットされている測定結果と良く一致していることが分かる。このことからブロック状光素子を用いた測定が精度よく行われていることが分かり、試料の複屈折も正確に推定できることが分かる。

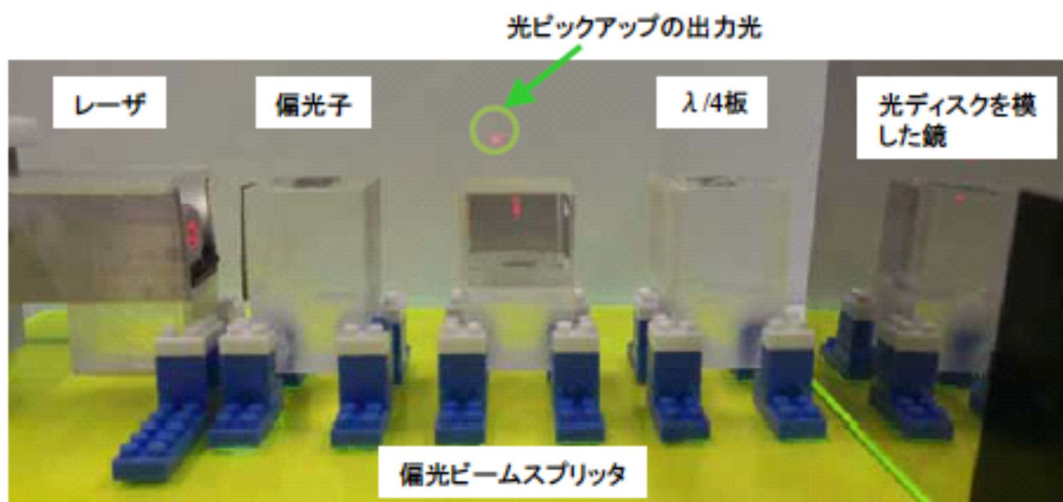


図6 ブロック状光素子を用いた光ピックアップの原理確認実験

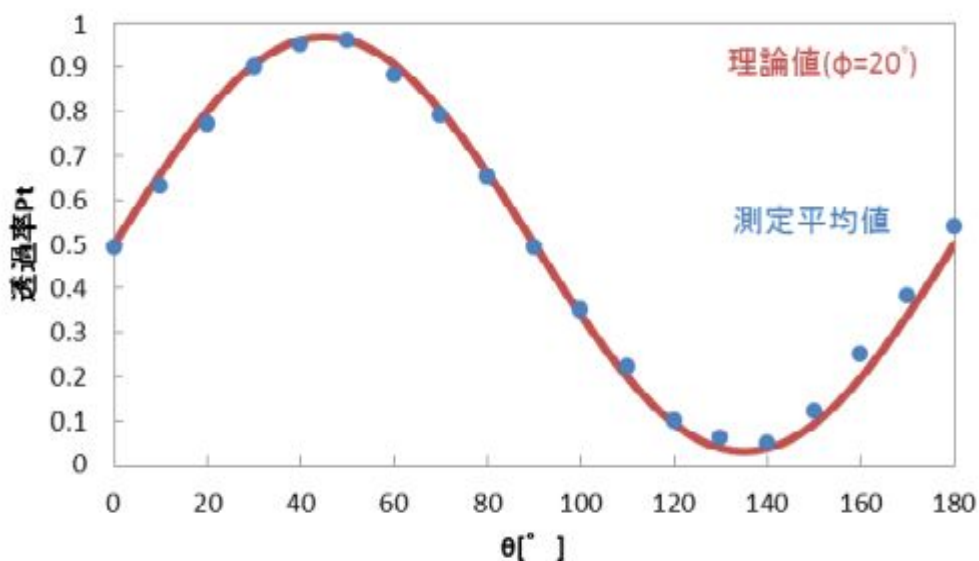


図7 ブロック状光素子を用いた複屈折の大きさの測定実験の理論値との比較

以上のように、本研究の基本的な目的は十分に達成されたが、不十分な点も存在する。特に光軸が直線上にあるか 90° 方向への反射を用いるもの以外の実験、例えば 60° 方向の反射を用いる「液体の糖度測定」などについては、十分な測定制度を得ることができなかったため、今後も研究を続ける。また、分光測定用の素子の開発も試みたが、白色LEDを光源として用いる場合は十分な光強度が得られず、マルチカラーLEDを光源として用いた場合は、各色の発光部分のずれの補正が難しく、これも十分な精度の測定を行うことはできなかった。また、新型コロナウイルス感染症の影響で、公開講座や本校のPBL授業等での教育効果の検証は断念せざるを得なかった。

幸いにして、令和3年度に、本研究の継続研究課題「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」が採択された(21K02916)ので、これらの課題については継続して研究を進めて「ブロック状光素子」を用いた光学実験教材の完成を目指す予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木順、今井裕司、千葉慎二、林忠之、渡辺義隆、佐々木匠、山内誠、遠藤雄定、太田隆、馬場一隆
2. 発表標題 プロジェクトマネジメント教育を取り入れた高専ロボコンの取組み
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢島邦昭、川崎浩司、白根崇、馬場一隆
2. 発表標題 継続調査に基づくジェネリックスキル育成の取組
3. 学会等名 日本工学教育協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山凌、馬場一隆
2. 発表標題 偏光測定用ブロック状光素子の改良
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会 R2-P-12
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白澤涼、馬場一隆
2. 発表標題 安定性に優れた光システムの構築が可能なブロック状光素子の検討
3. 学会等名 令和2年東北地区若手研究者研究発表会 R2-P-13
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高梨直人, 馬場一隆
2. 発表標題 ブロック状光素子を用いた光学実験教材の試作と検証
3. 学会等名 平成30年度東北地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム T18-P1-36
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高梨直人, 馬場一隆
2. 発表標題 ブロック状光素子を用いた光学実験教材の改良
3. 学会等名 第24回高専シンポジウム in Oyama PF-13
4. 発表年 2019年

〔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