

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00939

研究課題名(和文) ブロック状光素子を用いるアクティブラーニング型光技術教育の実践的検証

研究課題名(英文) Practical Investigation of Active Learning Education for Optical Technology by Using Block-Type Optical Devices

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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：実験教育用の取り扱いが容易で安価に提供できる新しい光学実験教材であるブロック状光素子を用いたアクティブラーニング型光技術教育の実践的検証を行った。教育の現場で容易に使用できるように様々なブロック状光素子を開発・改良し、それを用いた新たな実験メニューの開発を行った。ブロック状光素子を用いた実験キットを10セット製作し、その性能の均一性、それを用いた実験の精度を評価した結果、良好な結果が得られた。一方、レーザー装置の光出力が弱い等、いくつかの改善すべき点も明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this project, I have practically investigated the active learning education for the optical technology by using block-type optical devices. The block-type optical devices are novel and inexpensive teaching materials for optical experiments, which should be easily used by students and teachers. I have improved several block-type optical devices and have developed various teaching materials for optical experiments by using those. I have fabricated 10 experimental kits by using the block-type optical devices and have confirmed uniformity of those performance and precision of measured results by using those. On the other hand, it has been clear there are some problems in those, for example, low power of laser equipment.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：実験教材 光素子 光学 光技術 アクティブラーニング 工学教育 科学教育

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、主体的に考えさせながら実験に取り組ませた方が効果は高い。

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、多くの高等教育機関でそのようなアクティブラーニング的な実験・実習環境が整えられて効果をあげている。一方、近年の光記録・光通信をはじめとする光を利用した技術分野の広がりに伴い、理工系高等教育機関において、授業や実験・実習の重要性が高まりつつある基礎光学、あるいは光応用技術については、その実現は困難であった。

理由は2つある。第1に光学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に光学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。光学素子の中には、性能は劣るがポラロイド板のような安価な製品を利用することができる偏光子のような素子もあるが、波長板(市販品は7万円)や干渉フィルタ(市販品は1波長2~3万円)のように高価な素子しか市販されておらず、教育用に大量に揃えることが困難な素子も多い。また、素子の位置調整のために欠かせない微動台は1軸について数万円[1]かかるのが普通である。なお、光ピックアップ用に量産されている光学素子は比較的安価で入手できるが、サイズが小さく、種類も波長も限られているので汎用性に欠け、教材として使用するには制約が多い。このため、一般の高等教育機関における光技術に関する教育では、座学を中心とする授業が主流で、実験を取り入れている場合でも、指導教員立会いの下で数名~十名程度のグループが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かった。

2. 研究の目的

本研究は、このような問題に対応するため報告者らにより提案された光学実験教材である「ブロック状光素子」を用いて、理工学系の高等教育機関において必要と思われる様々な実験メニューを、市販の光学機器を用いるのと同等の実験精度で実現でき、かつ安価で量産性に富む光学実験キットを開発し、それを用いたアクティブラーニング実験教育の有効性を、教育の現場で実践的に検証することを目的としている。具体的には、

- ・先行研究で開発したブロック状光素子について、低価格で優れた性能の素子の開発と均一な素子の量産化という2つ観点から構造、材料、製作法を改めて見直し、実用化に向けた素子製作法を明らかにすること
- ・学生が、単独あるいはチームにより、主体

的に考えつつ実験を行わせる上で効果的な教育手法を検討・検証すること

- ・授業で用いる実験教材を多数作製し、様々な光学実験を実施し、受講者からのアンケート調査などにより、教材としての「使いやすさ」や「教えやすさ」等実験教材としての評価を行うことを目的として研究を進めた。

3. 研究の方法

ブロック状光素子は、このような問題に対応するため報告者らにより提案・開発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、先行研究において、科学研究費補助金(21500849)を得て、プロトタイプの開発がなされた。

素子の基本的な形状は、後述する研究成果の部分で写真等を示すように、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。ダイクロイックミラーのように直角方向に光を取り出す反射型の素子は2つの直角プリズムに挟んで保持し、カラーフィルタや偏光子のような透過型の素子は直方体ブロックに挟みこんで保持する。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、各光学素子の配置や光軸の調整を容易にすることができる。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ことで解決する。ブロックのサイズは、光軸に垂直な面については、学生が取り扱うのに適当でかつコンパクトなサイズとして、2cm×2cm程度の断面を基本とする。低価格で優れた素子の開発と量産性の観点から各ブロック状光素子の材料、組み立て法を見直して、プロトタイプの素子を試作し、最終的な素子製作法を決定する。それに基づき必要数の実験キットを製作し、全てその特性を測定し、必要な性能を有した上で、ほぼ均一な特性が得られているかどうかを検証する。

次に、開発・製作されたブロック状光素子を用いて、学生が自由に考えて、主体的に実験を進めるアクティブラーニング型の授業でその教育効果を調べる。実験テーマは、「偏光の基礎」、「光の反射・屈折」、「糖度計の原理」等、理論的な予測値を容易に計算することができ、かつ理論と実験が比較的良く一致するようなものを中心に実施する。提出された実験レポートや受講者からのアンケート調査などを基に、ブロック状光素子の有効性を確認する。

4. 研究成果

- (1) 様々なブロック状光素子の開発と評価
 先ず、様々なブロック状光学素子の実用化

に向けた効率的かつ高性能な素子製作法について検討を行った。

レーザ光源は、ブロック状光素子をコンパクトに作成するために半導体レーザを用いるが、半導体レーザは、出射点のスポットサイズが小さいためビームの広がり各が大きくなり、レンズを用いて平行ビームにしなければ実験教材として使用するのが難しい。簡単に製作するため、最初からレンズが組み込まれている市販のレーザポインタを活用したが、切断・分解して、電源部は別に作製した。また、どのような方向の直線偏光でも同程度の出力で取り出せるようにした方が、学生が取り扱いやすいと考え、円偏光を出力するようにした。用いた半導体レーザは直線偏光を出力していたので、円偏光とするには $\lambda/4$ 板が必要となる。正規の素子を用いると高価なものになってしまうので、市販の樹脂製品の中で、複屈折を持ち、半導体レーザの波長で $\lambda/4$ 板として機能するものを探して、切り出し、試作した光源部の出射端に取り付けることで円偏光を出力するレーザ光源を得た。

偏光子のような透過型の素子は立方体ブロックに直接接着して保持する。特に偏光子は回転機構を用いると高価になる上、2 cm程度のサイズでは調整作業が難しくなることから、様々な透過軸を持つ偏光子を10種類製作して、それを順次入れ替えることで 10° 刻みで任意の直線偏光を取り出せるようにした。また、受光素子は、受光面が大きなフォトダイオードを立方体ブロックに直接接着して保持している。

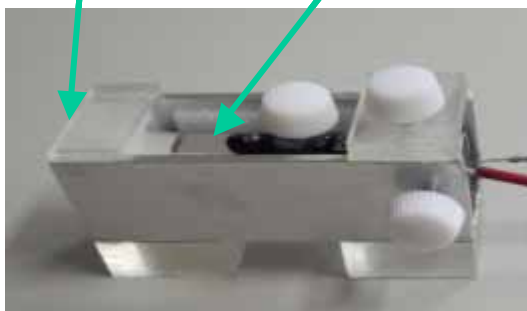
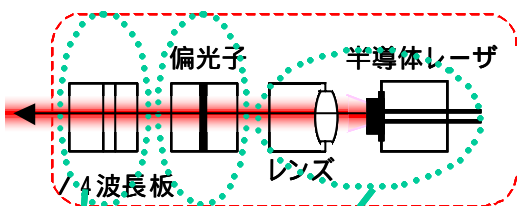
レーザ光の入射角を変化させる回転ステージは、自作を試みたが、あまり回転がスムーズではなく、それが実験精度を悪化させるきっかけとなったので、この部分のみは市販の小型回転微動ステージを購入して使用することとした。このほか、偏光ビームスプリッタのようにもともとブロック状光素子と同じような外形の素子についても、市販の素子をそのまま用いることとした。

なお、ブロック状光素子の素子部のサイズは、光軸に垂直な面については、当初計画のとおり $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ の断面を基本としたが、素子をマウントする土台の部分については、市販の小型回転微動ステージの高さとの整合性を改善するため、高さを 10 mm から 13 mm に変更している。これら試作されたブロック状光素子の一部の写真は、図1に示されている。

これらのブロック状光素子を用いた実験メニューとしては、「透過率の入射角依存性の測定」、「液体の屈折率の測定」、「偏光子の機能の確認」、「複屈折の測定」、「糖液の旋光度の測定と糖度計への応用」、「光の吸収率の測定」、「回折格子の原理と回折角の測定」等の光学の基本に係るものの他、「光ピックアップの構造と原理」、「光ディスクからの回折光の測定」等、身の回りの最も身近な光システムの1つである光ディスクに関連した新

しいメニューも開発している。

これらの実験メニューのうち、「透過率の入射角依存性の測定」(ガラスやプラスチック板に対する光の透過率を入射角や偏光を変えて測定)用の実験教材キットを、同一規格で10セット制作した。図2に市販の光学機器を用いた実験系(写真奥)とブロック状光素子を用いた実験系(写真手前)を示す。ブロック状光素子を用いることで、実験系がかなりコンパクトになることがわかる。また、製作された10セットの性能や形態の均一性を評価した結果、良好な結果が得られた。



(a) レーザ光源(円偏光射出)



(b) 偏光子



(c) 受光素子

図1 試作されたブロック状光素子



図2 市販の実験系(奥)とブロック状光素子素子を用いた実験系(手前)

(2) チームによる効果的実験教育法の検討

仙台高専の知能エレクトロニクス工学科では、様々なPBL型講義の1つとして、第2学年の専門科目「プロジェクト実習」を5年前から開講している。この科目では、その実習の最後に「チームで働く力」の涵養と「自ら考えて問題を解決する力」の向上を目的として、チームによる入門的PBLを導入している。将来のブロック状光素子を用いて、学生が主体的に考えて様々な光システムの構築を試みるPBL型授業を実施することを念頭に、チームによる効果的な実験実習教育法についても本研究の初期に検討・検証を行った。その結果、このようなPBL授業を高い教育効果を持たせて実施するには、適切なチームを構成することが重要であることが分かった。

最初に担当教員の協議により、学生1人1人の個性をチェックしてリーダー的素質のある学生と多少難のある学生（能力不足、対人関係構築に難、等）を洗い出す。チームを構成する際は、リーダー的素質のある学生は分散させ、多少難のある学生はサポートできそうな学生と組み合わせるようにする。また、第2学年の学生でも対応できるような専門科目に関する課題を設定し、最終的に学生全員に、それなりの成功体験が得られるようにした。

この授業では、毎年最後に学生にアンケート調査を行い、自己評価させている。「自ら考えて問題を解決する力を向上させることができたと思いますか？」という設問に、「そう思う」を5点、「そう思わない」を1点とする5段階で、匿名で自己評価させた。大部分の学生が4ないし5と、高い自己評価をしており、この教育手法は有効なものであると考えている。

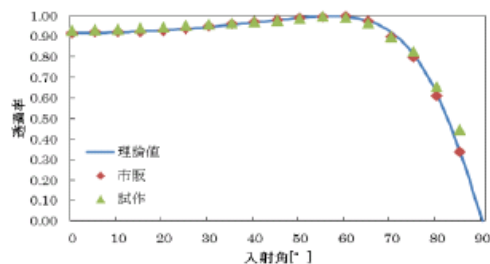
(3) 実験教材としての評価

試作したブロック状光素子による実験教材を用いて、「光の透過率の偏光・入射角との関係の測定」、「複屈折の測定」、「反射を用いた液体の糖度の測定」など、様々な光学実験を行った。その結果、いずれも理論値に近く、高価な市販の光学機器を用いた場合と比べ、遜色の無い実験結果を得ることができた。

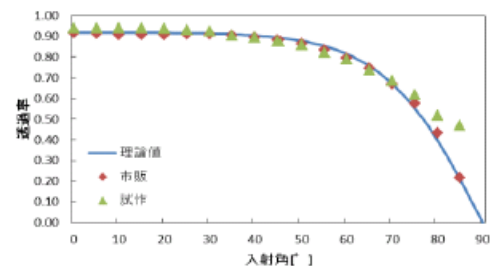
図3に「光の透過率の偏光・入射角との関係の測定」の測定例を示す。実線で示された理論値に対して、極めて近い測定結果が得られており、ブロック状光素子が実験教材として十分な測定精度を有していることがわかる。なお、入射角が大きい場合に精度が悪くなるのは、試料とレーザービームが平行に近くなり、一部の光が試料からはずれてしまうからと思われる。

ただし、先に述べたようにレーザー光源については、価格と教材作製の容易さから、赤色のレーザーポインタを分解して作り変えたものを用いたため、レーザー光の出力が小さく、測定時に光学測定部分に暗箱をかぶせて外部光を遮光しなければならなかった。この点

については、批判的な意見があがっており、測定結果自体は、市販の高価な光学測定系を用いたものと比べて遜色が無かったものの、今後改良が必要な点と認識している。



(a) p 偏光



(b) s 偏光

図3 ブロック状光素子による光の透過率と偏光・入射角の関係の測定例

(4) まとめ

ブロック状光素子の開発や改良、それを用いた新たな実験メニューの開発は計画とおり進行した。授業に用いるために必要なだけのブロック状光素子を用いた実験キットの製作も行い、その性能や形態の均一性、それを用いた実験の精度を評価した結果、良好な結果が得られた。一方、レーザー装置の部分の光出力を高くする等、使用者の目線で今後の改善が必要な部分も明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件)

K. Baba, N. M. Fujiki, T. Hayashi, Y. Kashiwaba, K. Kawasaki, S. Nasu, M. Sakuma, S. Seki, J. Sonoda, T. Suenaga, T. Oozumi, T. Yonamine, "Fostering Engineering Thinking through Intelligent Electronic Production Program at NIT Sendai College," 14th International CDIO Conference no.51, 2018年(金沢工業大学), in press.

高梨直人、馬場一隆, "ブロック状光素子を用いた扱いやすく安価な光学実験教材の試作, 平成30年東北地区若手研究者研究発表会YS30-3-3-2, 2018年(東北学院大学).

馬場一隆, “ 実験系アクティブラーニング用教材としてのブロック状光素子の開発,” 第 22 回高専シンポジウムI-13, 2017 年 (鳥羽商船高等専門学校).

高橋亮太、馬場一隆, “ 光ファイバ中に設けた空隙を用いる液体の光学特性測定用デバイスの試作,” 平成 28 年度電気関係学会東北支部連合大会 2B03, 2016 年 (東北工業大学).

馬場一隆, 末永貴俊, 川崎浩司, 與那嶺尚弘, 那須潜思, “ 高専低学年の実験系専門科目における入門的PBLの導入,” 第 21 回高専シンポジウムF-29, 2016 年 (丸亀市民会館).

馬場一隆, “ アクティブラーニング用光学実験教材としての各種ブロック状光素子の開発,” 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会 2H04, 2015 年 (岩手県立大学).

6 . 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

無し

(3)連携研究者

無し