

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月20日現在

機関番号：11302
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21500821
 研究課題名（和文）〈ものの光学的・電氣的・磁氣的性質とその応用〉を学習する実験教材の開発
 研究課題名（英文） Development of teaching materials for learning optical, electrical, magnetic property and their practical applications
 研究代表者
 千葉 芳明（CHIBA YOSHIAKI）
 宮城教育大学・教育学部・教授
 研究者番号：40113881

研究成果の概要（和文）：

スライドプロジェクター、太陽電池と偏光板を用いて光が横波として伝わる実験教材を開発した。また、多目的教育用分光器を用いて豆電球の発光スペクトルから、プランクの法則やウィーンの変位則を追究する学生実験を開発した。さらに、小型電磁石を用いたファラデー回転の観測から磁気と光の相互作用を理解するための教材を開発した。

研究成果の概要（英文）：

We developed teaching materials such as Slide Projectors, Solar Cells and Polarized Plats to understand that light travels in a transverse wave and brightness proportional to the square of the amplitude of electromagnetic waves. Next, we developed the experiments to enable students to grasp Plank's law and Wien's Displacement Law. Then, we developed experiments using small electromagnets to observe Faraday Rotation and understand the interaction between electromagnetic waves and matter.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：物理実験教材開発

1. 研究開始当初の背景

近年、液晶ディスプレイ、携帯電話、光通信、太陽電池など身の回りにはさまざまな《光や電気・磁気を応用した製品》が満ち溢れている。また、その機能の高性能化にともなう我々の生活環境が急激に変化しつつある。当然、これらの製品についての興味・関心は高まるはずだが、便利さや商品価値に目がいてもその性質・利用原理や背景になっている物理現象についての関心は、ブラックボックス化された製品が増えるにともなう希薄になっている。このことが、初等・中等教育における「児童・生徒の理科離れ」と関わっているだけでなく、授業に取り組む教員の「物離れ・実験離れ」を引き起こしているとの指摘がある。こうした中で、平成10年告示の学習指導要領で、中学校の理科に光学教材が取り入れられたのは時代要請にかなっているが、一方で、モーターや発電機に関わる学習事項が中学から高校の物理に移行し、学習の継続性、統一性に関する大きな課題が生じている。平成20年度に告示される新学習指導要領ではこうした問題を解消するために初等・中等教育における理科の学習時間がほぼ平成元年告示の内容まで復活した。これによってこれまで困難だった小中学校の理科の項目の学習が可能になったが、この20年間に及ぶ授業経験の欠落が、実験教材の確保、保管など財政的な側面の問題だけでなく、指導案の作成や授業の検討などの実践面についても大きな課題になっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は小学校における理科の学習を導入として、〈ものの光学的・電氣的・磁氣的性質とその応用〉を中学・高校で体系的に理解させる学習プログラムを構築すること

とである。具体的には授業で用いることができる安全で簡易な教材を開発し、身のまわりの光・電気・磁気現象の法則を系統的に理解しその応用を学習するプログラムを構築する。さらに、科学館などにおける学校外教育や生涯教育も視野にいれて、〈光・電気・磁気現象の法則〉を観察・実験を通して論理的に理解する教材を開発することである。

3. 研究の方法

これまでの研究成果を発展させて、光とものの相互作用からはじめる教材を開発する。〈反射・屈折の法則とその利用の学習から始める光実験教材の開発〉：虹、鏡、レンズ、プリズム、光ファイバー、カメラなど光に関連した現象や道具は多い。1) 鏡やレンズが実像を作る現象の観察から始め、②反射・屈折の法則を理解する光実験教材を開発する。応用として小型水箱を用いた全反射やスクリーンを使わないで観察できる凸レンズの実像観察教材を開発する。

〈電球と発光ダイオード(LED)の類似点と相違点から金属と半導体の抵抗について学習する実験教材の開発〉：晴れた日、屋外で太陽電池をもちいて豆電球とLEDが点灯するかどうか観察する。つかない場合にはどのようにすればよいか考える。これを導入として。それぞれを点灯するには、一定の電圧および電流が必要であることを確かめる。電圧の関係から。これから、抵抗の概念を追究する実験教材を開発する。また、金属と半導体の相違点を示す教材を開発する。

〈太陽電池を用いた半導体の電流－電圧特性と光電流を理解する実験教材の開発〉：ダイオードは半導体中の電気エネルギー

一を光や熱{温度差}に変換することとができる。また、逆に太陽電池は光や熱から電気エネルギーを取り出すことができる。この現象を学習する実験教材を開発する。また、物質の光・電気・磁気の性質は強く温度に依存する。これを示すためのペルチェ素子を用いた小型温度可変教材を開発する。

- <物質の誘電率や透磁率と光の屈折率の関係を学習する実験教材の開発>; 光や電磁波の速さは物質の電氣的性質および磁氣的性質に依存する。これを理解するために誘電率・透磁率を測定実験教材を開発する。
- <磁場中の磁気力から磁性体の性質を学習する実験教材の開発>: 磁石による磁界の発生と電流による磁界の発生から学習する教材の開発から始める。次に磁石につくもの、つかないものの分類から、反磁性体、常磁性体、および強磁性体の理解を深める実験教材の検討・開発を行う。
- <光と電気・磁気の相互作用から誘電体点磁性体の性質を学習する実験教材>: 誘電体や磁性体の性質は光現象との相互作用でも観察できる。これらの現象や原理を応用について学習する教材開発をさらに発展させたい。

4. 研究成果

(1) スライドプロジェクター、太陽電池と偏光板を用いて光が横波として伝わることを理解する実験教材を開発した。操作しやすい小型のスライドプロジェクターを光源に用いる。2枚の偏光板 P_1 , P_2 の透過容易軸(偏光軸)のなす角を θ とする。容易軸が並行な状態 ($\theta=0$) 状態から、 θ を次第に大きくする。すると透過する光の量が変わる。容易軸が垂直な状態 ($\theta=90^\circ$) では光はほとんど透過しない。この様子を市販の太陽電池を明るさのセンサーとして用いた

簡易な観測実験を創案した θ と光電流の関係を図 1,2 に示す。光電流の値は、電流計で読み取ることができる。この観測結果から透過する光の明るさは、 $\cos^2 \theta$ に比例することを示している。この結果から、光が横波として伝わること、光の明るさは振幅の2乗に比例することを理解することができる。

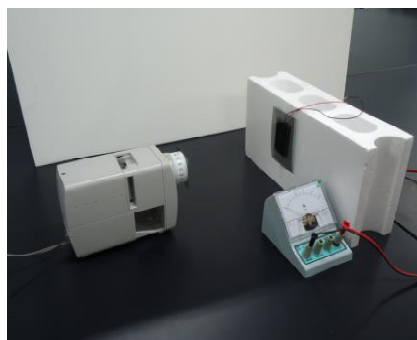


図1 実験装置

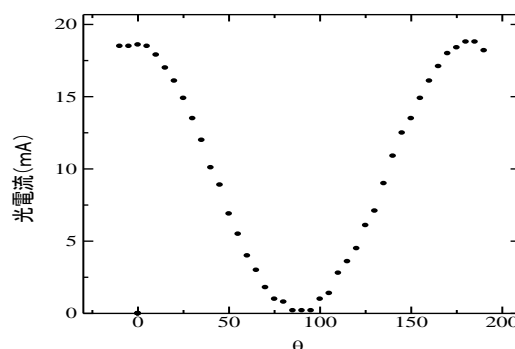


図2 光電流と θ の関係

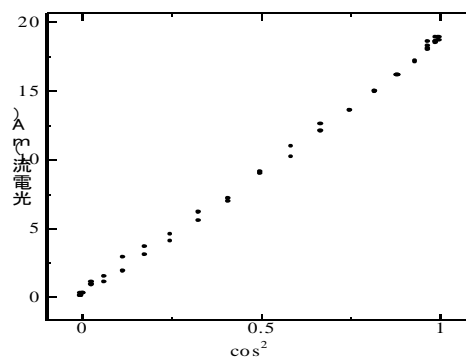


図3 光電流と $\cos^2 \theta$ の関係

(2) 分光器を用いた豆電球の発光スペクトルの観測から、プランクの法則やウィーンの変位則を理解する学生実験を開発。

「豆電球はどうして光るの？」この問いにこたえるために、豆電球と LED の発光原理を理解するための教材の研究を行った。2.5V-0.3A の豆電球の電流—電圧特性を測る実験で、光の色を観察する。黄色に近い色から、明るい白色に変わることがわかる(図3)。電圧を変えたときの発光スペクトルを分光器で測定した(図4)。これらの結果から、豆電球の光の色はフィラメントの温度に依存することがわかる。また、さらに解析すると、豆電球が放射する電磁波のスペクトルとプランクの法則の対応関係やウィーンの変位則の理解を深めることができる。

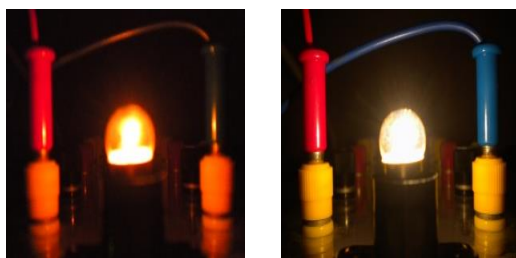


図4 電圧によって発光色が異なる
低電圧では赤みがかっている

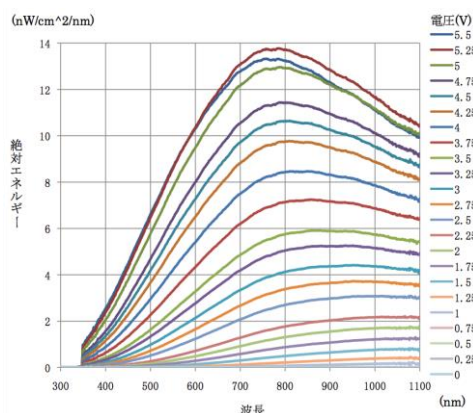


図5 豆電球の発光スペクトル

(3) 水冷式小型電磁石を用いたファラデー回転の観測から磁気と光の相互作用を理解するための学生実験を開発した。ファラデー回転とは磁界によって光の偏光面が回転する現象で、回転角は物質の長さ l と磁場の強さ B に比例する。比例定数 V はベルデ定数と呼ばれる量で物質の種類に依存する(図6)。

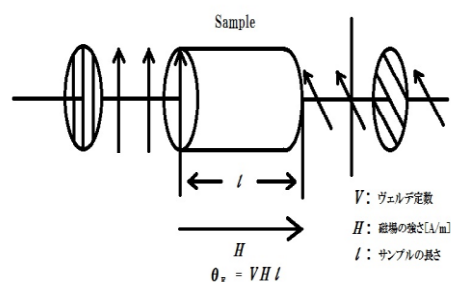


図6 ファラデー効果の原理



図7 ファラデー効果観測用電磁石

開発した電磁石(図7)を用いると、これまで困難であった光の振動面が回転現象(ファラデー回転)を長時間観測できる。また、試料として定数 V の小さな物質や、長さの短い試料を用いて観測することができる

この電磁石と分光器を用いて反磁性ガラスのファラデー回転を観測した。2つの偏光板のなす角 θ を 45° にして、磁場 H をか

けない ($H = 0$) のときの光の透過光量を基準にして、磁場をかけたときの透過光量を測定した結果を図7に示す。ファラデー効果で偏光面が回転することにより、透過光量に変化することがわかる。さらに、回転角の向きは電流の向き、すなわち磁場の向きに依存する。回転角の大きさは磁場の大きさに比例する。また、光の波長の依存することがわかる。

長さ1cm反磁性ガラス(図8)に磁場をかけたときの、透過光量の様子を図9に示す。短波長での変化が大きく、大きな回転が起きていることがわかる。また、磁場の向きを逆にすると反対向きに回転することがわかる。

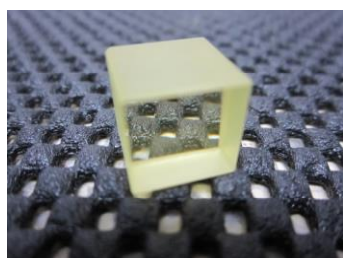


図8 試料の反磁性ガラス

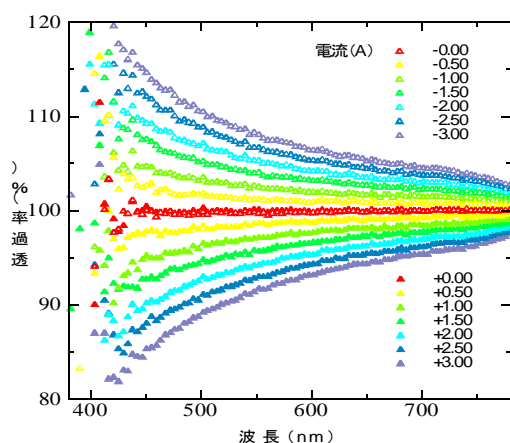


図9 ファラデー回転による透過光量の波長依存性(磁場の強さを変えて測定)

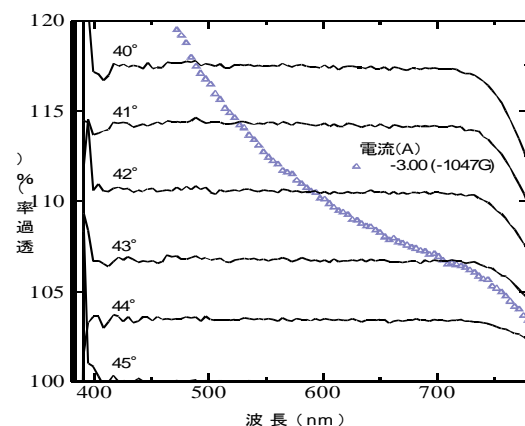


図10 θ を45°基準にして回転角の変化を測定

図10は1074Gの磁場をかけたときの、透過光量の波長依存性である。この図では短波長側が大きく変化していることがわかる。光の波長とベルデ定数の逆数が比例する。図11に示すようなベルデ定数の波長の対応関係からファラデー回転の固有波長を求めることができる。

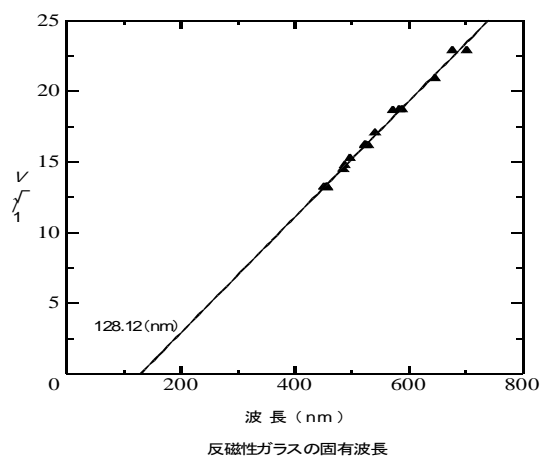


図11 ベルデ定数の波長依存性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 永田英治、千葉芳明 (2 番目)、玉木洋一、他全 15 名: 電流を作りだすにはどうしたらよいか, ミクロな世界で状態の変化を考えよう: 臨床教育研究、査読無、第 21 号、pp. 47—105、2011 年.
- ② 千葉芳明、岩崎信、木村清、田中敏公 : 小学校から大学までの物理教育のつながりとギャップ: 佐藤昌孝、数本芳行、志摩茂郎、物理教育、査読有、第 58 巻、第 3 号、pp. 169-175、2010 年.
- ③ 川村寿郎、千葉芳明 (7 番目)、他全 10 名: 小学校教員養成課程における理科実験の悉皆化と学生の履修意識—履修歴と受講意識に関するアンケート調査結果—: 宮城教育大学紀要、査読無、第 45 巻、pp. 53-61、2010 年.
- ④ 後藤邦夫、高橋知美、西條敏剛、岩崎信、千葉芳明、木村清、田中敏公: 新学習指導要領を視野に入れた物理教育の現状と課題—小・中・高校および大学の視点から—: 物理教育、査読有、第 57 巻、第 3 号、pp. 270-276、2009 年.

[学会発表] (計 1 件)

- ① 千葉芳明、飯塚佑香、本田亮: 光と物質の相互作用視覚化のための偏光センサーの開発: 応用物理学会、第 21 回物理教育に関するシンポジウム. 鳴門市市地域会場産業振興センター 2010.11.20~21.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 芳明 (CHIBA YOSHIAKI)

宮城教育大学・教育学部. 教授

研究者番号: 40113881

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

本田 亮 (HONNDA MAKOTO)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科
・教授

研究者番号: 50199577