

平成 21 年 6 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17500573
 研究課題名（和文） 初等・中等教育における＜電磁波と物質の相互作用＞実験教材の開発
 研究課題名（英文） Development of teaching materials for interactions between electromagnetic waves and matter appropriate to primary and secondary education

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：

本研究の目的は光現象を導入実験として、＜電磁波と物質の相互作用＞を理解させる学習プログラムを構築することである。まず光が横波として伝わる現象をより深く学習するために、偏光現象に着目して＜光や色が光と物質相互作用＞について学習する教材を発展させた。つぎに、電磁波を学習する基礎として屈折現象に着目して光や電磁波の速さが物質の誘電率や透磁率に依存することを系統的に追究する実験教材を開発した。具体的には日常我々が使用している素材や製品を活用して手作りコイルや、コンデンサーを用いて、電気や磁気の学習プログラムや電磁誘導や交流回路を理解するための教材開発を研究した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	1,400,000	0	1,400,000
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	360,000	3,660,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード： 光・電磁波教材、偏光可視化実験、屈折率の温度依存、磁場・磁化教材
 磁気・光効果、手作りコイル、インピーダンス測定、誘電率測定

1. 研究開始当初の背景

液晶ディスプレイ、携帯電話、光通信、身の回りにはさまざまな電磁波（紫外線、可視光、赤外線、マイクロ波など）を応用した製品が満ち溢れ、それにともなって我々の生活環境が急激に変化した。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

にともなって希薄に、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、近年、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電磁気学習が中学から高校の物理に移行し、学習の継続性、統一性に関する課題が生じている。

2. 研究の目的

本研究の目的は光現象を導入実験として、＜電磁波と物質の相互作用＞を理解させる学習プログラムを構築することである。具体的には日常我々が使用している素材や製品を活用して、身のまわりにある光や電磁波に関わる現象を系統的に追究する実験教材を開発する。主な研究項目を記す。

(1) 電磁波の透過、吸収、散乱に関する実験の開発

まず、光が横波であることを理解する実験教材を研究する。導入実験として、高分子シートを偏光板で挟んだとき着色する現象や青空の散乱現象、窓の反射現象を観察する。なぜこのような現象が現れるか、容易に説明する学習プログラムを開発する。これらを説明するには、偏光現象だけでなく、光の屈折現象、吸収現象、光の明るさ、光と色の関係（補色の関係）等相互に関連する光現象を系統的に理解する必要がある。白色光源をプリズムや格子を用いて光を明瞭に分光して、近紫外線、近赤外線を理解する実験教材を開発する。

(2) 電磁波の明るさについて学習するプログラムを開発

光・電磁波の透過量(明るさ)は電磁場の振幅の2乗に比例する。これも、可視光から始める。2枚の偏光板の偏光軸のなす角 θ としたとき、2枚の偏光板を透過する光量が $\cos^2\theta$ の2乗に比例する。この実験を近赤外線、マイクロ波の実験教材に発展させる。

(3) 電磁場の蓄えるエネルギーについて学習するプログラムを開発

静電磁場がエネルギーを蓄えていることをしめす実験教材を開発する。また、コイルや強力磁石をもちいて、電磁誘導の理解を深める実験教材を開発する。さらに、交流電磁場のもつエネルギーについて学習するプログラムを開発する。

(4) 電磁波と物質の相互作用教材を開発

電磁波と物質の相互作用は携帯電話、電子レンジ、MRI などさまざまところで応用されている。これらの製品の原理をわかりやすく説明する実験教材を開発する。

3. 研究の方法

光や電磁波の透過、吸収、散乱に関する実験の開発を中心に述べる。

(1) 見える光から始め見えない近赤外線・近紫外線へ

まず、身の光が横波であることを理解する偏光についての学習プログラムから研究する。導入実験として、高分子シートを偏光板で挟んだとき着色する現象や青空の散乱現象、窓の反射現象を観察する。なぜこのような現象が現れるか、理解を深める先行研究の学習プログラムを発展させたい。

これらを説明するには、偏光現象だけでなく、光の屈折現象、吸収現象、光の明るさ、光と色の関係（補色の関係）等相互に関連する光現象を系統的に理解する必要がある。白色光源をプリズムや格子を用いて光を明瞭に分光するデモ実験から始め、その、両端に近紫外線、近赤外線光と現れることを体験的に学ぶ実験教材を開発する。

(2) 見えない電磁波の実験教材の検討

紫外線、赤外線、マイクロ波など実に多くの電磁波現象があることを理解させる実験教材を開発する。これらの電磁波の波長や偏りの状態を考察するためのアンテナに着目した教材を検討する。

次に、これらの電磁波現象を直進、反射、透過、吸収、屈折、分散、回折、干渉、偏光その他の振動現象に分類し、視覚的に訴える可視光との対応関係から学習する教材を検討・開発する。

さらに、携帯電話、ラジオ、電子レンジ、電磁調理器などで発生する電磁波の性質について分類する。また、電磁波を吸収した場合のエネルギーについて考察する学習教材を検討する。

(3) 電磁波の明るさについて学習するプログラムを開発

光・電磁波の透過量(明るさ)は電磁場の振幅の2乗に比例する。これも、可視光から始める。2枚の偏光板の偏光軸のなす角 θ としたとき、2枚の偏光板を透過する光量が $\cos^2\theta$ の2乗に比例する。この実験はセンサーに太陽電池を用いて、光電流を測定すること行える。しかし、偏光板のはたらきは理解できても、偏光板に異方性があり、光の偏波面が偏光軸と平行になったとき、透過が容易になることを示すことができない。

これを補うには、電磁波での偏光実験が有効である。電磁波での同様の結果になることを、マイクロ波を用いて簡単に示す開発する。この実験を他の波長の電磁波実験教材に発展

させ、生活の中で使われる電磁波に偏りがあることを発見する学習プログラムを検討する。

(4) 物質の電氣的、磁氣的性質の理解を深める教材の開発

電磁波と物質の相互作用の学習準備として、静電場、静磁場における物質の電気・磁氣的性質について学習する教材の研究から始める。静磁場は視覚的に理解しやすいので、以下のような展開ができる。

磁場の発生源として、永久磁石に着目する。ガウスメーターを用いて、さまざまな磁石の作る磁場の強さを観測する。

棒磁石のつくる磁界を観察するために、砂鉄を用いた観測方法を研究する。磁石が強すぎると、砂鉄が極にあつまってしまうので、砂鉄による磁界観測は困難である。砂鉄の密度、強さの磁界の強さなど検討する。

つぎにソレノイド磁石によって磁界を発生させる。これから、砂鉄のつながりかたから、磁力線の様子を観察する教材を試作する。強い電磁石の磁場をもちいて、物質の磁化の様子を観測する。反磁性、常磁性、強磁性など分類できる実験教材を開発する。(平成17年度申請備品ガウスメーターを活用し微弱な磁界を観測する)

(5) 定常的電磁場の蓄えるエネルギーについて学習するプログラムを開発

電磁場がエネルギーを蓄えていることを示す実験教材を検討する。

電場に関しては、正負に帯電した平面極板に作用する引力を測定することによって電場の大きさを測定する装置を試作する。これによって、電場のエネルギー密度が電場に2乗に比例することがわかる。電気力は電子秤を用いて測定する。ソレノイドコイルが発生する磁場の大きさと電流の関係から磁場のエネルギー密度を測定する実験教材を検討する。また、コイルや強力磁石をもちいて、電磁誘導の理解を深める実験教材を開発する。

4. 研究成果

(1) 偏光から始める<光・電磁波と物質の相互作用>実験教材の開発

① 偏光板を活用した偏光センサーの製作

光が横波として伝わることを観察するために、偏光センサーを考案した。これによって、偏光面向きや、偏りの大きさを視覚的に理解することができる。

図1に示すように直線偏光が偏光板を透過するとき光量が偏光面と偏光板のなす角 θ に

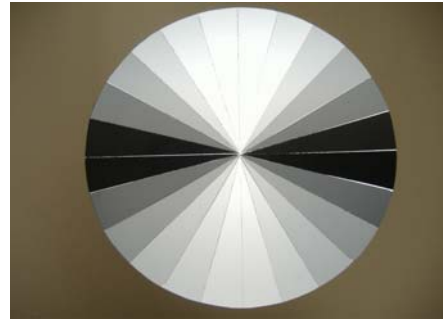


図1 偏光センサーで観察した直線偏光

依存する(明るさが $\cos^2 \theta$ の2乗に比例)することがわかる。

この実験を近赤外線、マイクロ波の実験教材に発展させれば、電磁波も横波として伝わることを理解できる。

② 自作偏光センサーを活用した偏光現象の視覚化教材の開発

偏光センサーを用いた観察によって、ポリプロピレンシートの複屈性による着色現象の理解を深めることができる。

図2、3、4は、それぞれ赤、緑、青の光がポリプロピレンシートを透過したときの偏光状態と偏光面を観察した結果である。この観察から、偏光センサーの明るさの異方性は赤色に対して最も大きく、そのとき直線偏光

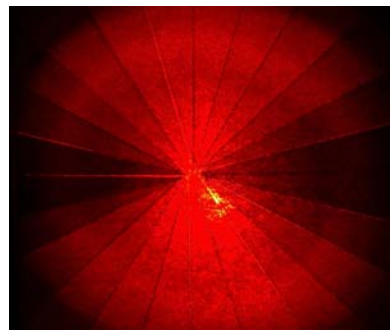


図2 赤色LED光の直線偏光

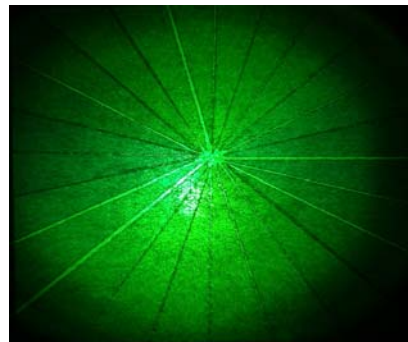


図3 緑色LED光の円偏光

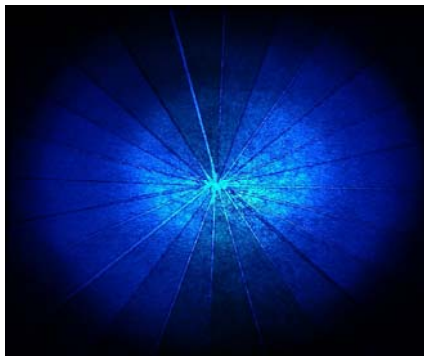


図4 緑色のLED光は楕円偏光

となっている。また緑色に対しては偏光センサーの明るさが等方的で円偏光が現れる。さらに青色では楕円偏光になっている。

(2) 手作りコイルから始める電気磁気の基礎実験の開発

銅線と手作りコイルを活用した、電気磁気に関する学生基礎実験を創案し、実践を試みた。その概要を紹介する。内容は電流に関する基礎実験（オームの法則）、電気抵抗の温度依存性、電流の作る磁界と磁石の作る磁界、電磁誘導の法則、交流回路の基礎実験、物質の磁氣的性質である。ここでは、電気磁気に関する最も基礎的な実験内容を中心に紹介する。

① 磁場の発生源

1 A程度の電流で比較的大きな磁界を作る。電流による発熱作用の影響が少ない。発生する磁場の大きさを理論的に計算できる。電磁誘導の演示実験ができる。などの観点から、自作した手作りコイルは図5に示すようなソレノイド型にした。また、芯は比較的熱に強い素材として、アクリルを用いた。巻き付け



図5 自作したソレノイドコイル

る線の直径を 0.5 mm とした。線が柔らかいので、巻きやすい。また、巻き線密度が計算しやすいので、コイルの中心磁場をアンペールの法則から容易に見積もることができる。図

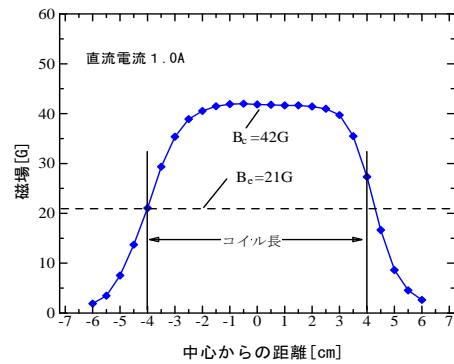


図6 ソレノイドコイルの内部の磁

5にその概要を示す。また、ソレノイドコイル内部の磁界の様子を図6に示す。磁界は中心付近では一様であり、端ではその半分の大きさになっていることがわかる。

② 空心コイルのインダクタンスの周波数依存性

低周波発信器（ファンクションジェネレーター）を交流電源とし、コイルにかける電圧とコイルを流れる電流の関係からインピーダンスを求めることができる。図7は横軸に交流の周波数の2乗、縦軸にインピーダンスの2乗を表した関係で直線的で、このコイルのインダクタンスが周波数に依存しないことを示している。また、この回路にかける交流電圧と交流電流の位相差 θ の関係もオシロスコープを用いて観測することができる。具体的には、測定に使用したコイルのインダクタンス L は、 $Z^2 = (\omega L)^2 + R^2$ の関係から求められる。また、オシロスコープを用いた位相差観測から、 $\tan \theta = \omega L / R$ の関係式を用いて、 L が求められる。

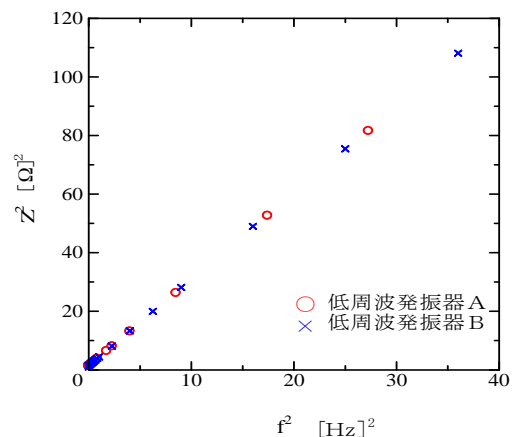


図7 周波数とインピーダンスの関係

③電磁誘導による誘導起電力の測定

発振器からの交流信号を三角波にして、コイルの誘導起電力を測定した。1次コイルを流れる電流の時間変化率が一定のときに、2次コイルの誘導起電は一定値を示した。ちょうど2次コイルの電圧が1次コイルに対する微分形となっている。これはファラデーの電磁誘導の法則をよく表していると言える。結果を図8に示す。

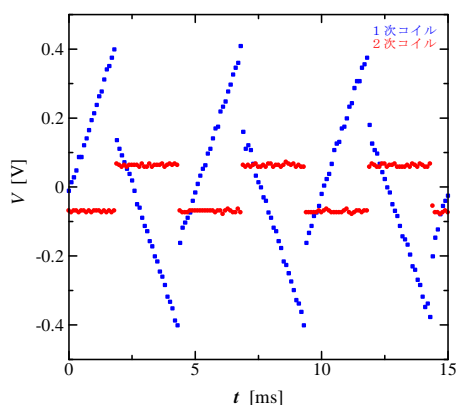


図8 2次コイルの電圧と1次コイルの電圧の関係

④ 手作りコイルを利用した LCR 回路の周波数の測定

自己インダクタンス L が 0.11mH の一層巻き

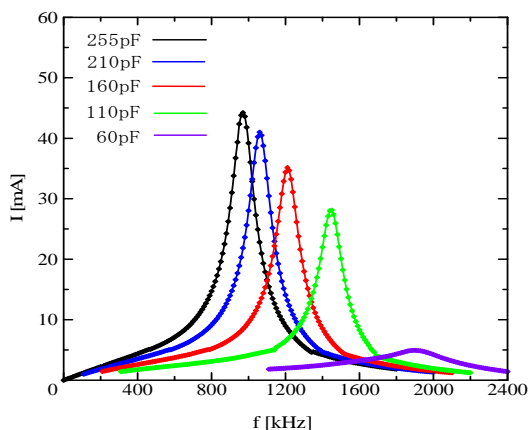


図9 自作コイルを用いた共振回路の特徴

ソレノイドコイルを製作し実験を行った。コンデンサーの容量を 255pF、210pF、160pF、110pF、60pF の 5 段階に変えて、発振器周波数を 10kHz ごと上げていったときに回路を流れる電流を測定した。結果を図9に示す。一

層巻コイルを用いた測定では、計算値に近い共振曲線が得られた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

① 本田 亮、小野耕一、小林美幸、千葉 芳明、手作りコイルから始める電気磁気の基礎実験－複素インピーダンスの測定－、応用物理教育、第 31 巻、第 1 号、51-54(2007)、査読有。

② Yoshiaki Chiba, Masaki Kikkawa, Satoru Noguchi Makoto Honda EXPERIMENT ON THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE REFRACTIVE INDEX OF WALLTER USING THE PELTIER COOLING . Proc. of The International Conference on Physics Education. 178-179(2006). 査読有

③ Makoto Honda, Saori Ogasawara Yoshiaki Chiba. MAGNETIZATION MEASUREMENTS ON MAGNETIC COLLOIDS USING AN ELECTRIC BALANCE. Proc. of The International Conference on Physics Education. 184-185(2006). 査読有

④ Jaume Ametller, Junehee Yoo, Yoshiaki Chiba, Masako Tanemura. IN-SESVIC TEACHER TRAINING. Proc. of The International Conference on Physics Education. 77-81(2006). 査読有

⑤ Nobuhito INAMI, Hideo IWASAKI, Mikio KOYANO, Yoshiaki CHIBA, Shinzoh Hide HORI. IMIPORTANT ROLE OF POPULARISATION OF PHYSICAL SCIENCE TO THE MODERN BUSINESS ACTIVITY. Proc. of The International Conference on Physics Education. 359-360(2006). 査読有

[学会発表] (計 4 件) ,

① 千葉芳明、小野耕一、小林美幸、本田亮、手作りコイルから始める電気磁気の基礎実験、2007. 2. 17. 中部大学。

② Yoshiaki Chiba, Masaki Kikkawa, Satoru Noguchi Makoto Honda. EXPERIMENT ON THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE REFRACTIVE INDEX OF WALLTER USING THE PELTIER COOLING . The International Conference on Physics Education. (2006. 8. 14). National Olimpic Memorial Youth Center, Tokyo.

③ Makoto Honda, Saori Ogasawara Yoshiaki Chiba. MAGNETIZATION MEASUREMENTS ON MAGNETIC COLLOIDS USING AN ELECTRIC

BALANCE. The International Conference on Physics Education. (2006. 8. 14). National Olympic Memorial Youth Center, Tokyo.

- ⑤ Nobuhito INAMI, Hideo IWASAKI, Mikio KOYANO, Yoshiaki CHIBA, Shinzoh Hide HORI. IMPORTANT ROLE OF POPULARISATION OF PHYSICAL SCIENCE TO THE MODERN BUSINESS ACTIVITY. The International Conference on Physics Education. (2006. 8. 14). National Olympic Memorial Youth Center, Tokyo.

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

本田 亮 (HONDA MAKOTO)
鳴門教育大学・学校教育学部・准教授
研究者番号：50199577

(3) 連携研究者