

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501020

研究課題名(和文) 3D技術を利用した物理教材の研究

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF TEACHING MATERIALS USING 3D TECHNOLOGY IN PHYSICS EDUCATION

研究代表者

前原 俊信(MAEHARA, TOSHINOBU)

広島大学・教育学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50190319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：3D立体視を利用した物理教材の開発を行った。教材の一つは、電位を高さで表す電気回路シミュレータを立体視できるようにしたもので、高さを立体的に見られるようにした。もう一つは、コンピュータに接続したカメラから取り込んだ映像に、拡張現実の技術を用いて、磁場や電流などの物理量を実時間測定した結果を付加し、3D立体視を可能にしたものである。これらは、将来のマルチメディア教科書に利用できる教材である。

研究成果の概要(英文)：We developed teaching materials using 3D technology in physics education. One material is the system of the electric circuit simulator in which the electric potential is shown as height. We realize the stereographical view of the potential differences in any circuits assembled by students. Another is the system using the Augmented Reality technology, where we visualize stereographically the observables in physics such as magnetic fields and electric currents, adding virtual objects created as a result of real time measurement to the image captured by the camera connected to a personal computer. These materials will be utilized in the multimedia textbook in the near future.

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：3D 立体視 物理教材 シミュレーション 拡張現実

## 1. 研究開始当初の背景

ICT技術の進歩は目覚しく、近年、これを活用した教材が注目を集めている。特に、物理教育で、概念理解の重要性を認識したアメリカのグループを中心とするアクティブ・ラーニング、また、文脈の中での理解を重視しているイギリスのアドバンシング物理においては、PCとセンサによる測定実験が有効に活用されている。また、履修者の授業への能動的な参加を促したり、理解の程度を確認しながら進行したりすることで授業の改善を図るためのクリッカーの利用も研究され始めた。さらに、iPad に代表されるような端末が利用可能になり、これをデジタル教科書として利用しようという動きもあるが、科学者側から実験・観察が軽視されないか等の懸念も表明されている。

これらのICT技術のうち、特に、普及してきているのが、3D (立体視) システムである。映画やテレビなどで裸眼あるいは3Dメガネを着用して、3次元的な認識をさせ、臨場感の高いコンテンツを提供するシステムは、教育の現場でも有効な場面があると考えられる。

ただ、これらのICT技術の教育への応用は、技術者からのアプローチだけでは教育的な条件を満たしていない場合が多く、教育現場に近い側からの研究開発が欠かせない。

本研究の代表者を中心とするグループも、ICT技術を活用した教材を開発してきており、システムの新規性や面白さだけではなく、教員や生徒が、授業、特に実験で利用することの有効性を重視して研究を進めている。

その一つは、目に見えない物理量を現実の映像と重ねて表示する「拡張現実」を用いて理解促進を狙う実験教材の開発である。例えば、電磁誘導についての理解を支援するため、目に見えない磁力線を現実の映像にリアルタイムに表示しながら実験できるシステムを開発した。無論、シミュレーション教材を用いれば同様のことができるが、本物のコイルと磁石を用いて実験しながら理解させる方が望ましいことは言うまでもない。ただ、本教材は、速い動作には対応できておらず、改良が必要であった。

また、シミュレーションだけの場合でも、3次元電気回路シミュレータのように、電気回路を自分で作るという学習者の操作を導入して、活動させながら納得させるものとしている。できれば、これと同様の回路を実際に作り、電位を測定できるようにすることが望ましいが、まだ、アイデアの段階であった。

本研究では、これらを、3D (立体視) に対応させ、教育的にさらに有効な教材とすることを試みた。

## 2. 研究の目的

先端的な3D技術を教育的に有効な形で利用した物理教材を開発・評価するため、以

下のような研究を計画した。

- (1) 電磁気に関する拡張現実教材を3D化し、その効果を確かめる。
- (2) 3次元電気回路シミュレータを3D化し、その効果を確かめる。また、これを実際に計測できる実験教材を開発して教育的効果を高める。
- (3) 本格的な試行授業を行って3D物理教材の教育的効果を評価する。また、映写型とヘッドマウントディスプレイ型とで3D物理教材の効果を比較検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 拡張現実教材の3D化

これまでに開発した拡張現実による電磁誘導教材は、開発言語にFlashを用い、拡張現実のためのライブラリとしてFLARToolkitを利用していたので、動作速度が遅いため、C言語を用いたARToolkitを利用したシステムに変更する。

ARToolkitはOpenGLによってオブジェクトを配置しているため、NVIDIA社製の3D Vision対応グラフィックカードを用いて、3D立体視が容易となるようなシステムを構築する。

ARToolkit内で描いたオブジェクトだけでなく、ビデオカメラの画像内の物体も3Dにするとよいと考えられるので、二つのカメラを用いたこれらの合成3D化についても研究する。

### (2) 3次元電気回路シミュレータの3D化

3次元電気回路シミュレータは、FlashとPaperVision3dを用いているので、これを3D (立体視) 表示する方法について研究する。また、ヘッドマウントディスプレイの向き情報に応じて視線を変更できるような改良を試みる。

## 4. 研究成果

まず、3D立体視環境を整備した。3D立体視は、テレビと同様にコンピュータのディスプレイで実現することを考え、偏光方式とフレームシーケンシャル方式の立体視を実現できるような環境を整備した。

多人数に見せるには、プロジェクターで投影するための環境が必要であるが、偏光方式で投影するには、光軸を合わせた2台のプロジェクターを時間的に同期させなければならず、そのようなシステムは教育用としては高価になりすぎる。そこで、安価なフレームシーケンシャル方式に対応したプロジェクターを準備し、その出力を偏光方式に変換するフィルター装置を通すことで偏光方式の3D映像を投影できるようにした。3D映像を投影表示するためには偏光が乱されないシルバースクリーンが必要なので、これを購入し、実際にフレームシーケンシャル方式の映像を出力して、偏光方式に対応した3Dメガネを用いて立体視が可能であることを確かめた。

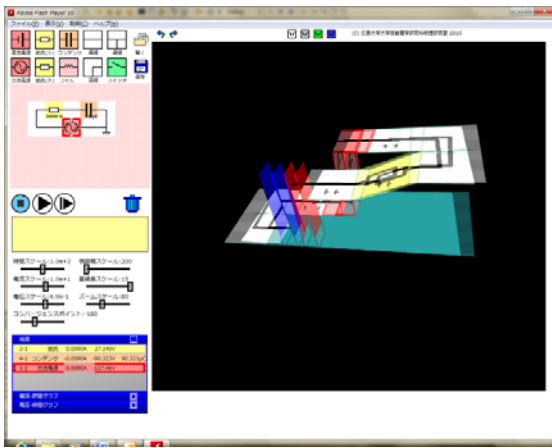


図1 3D電気回路シミュレータ

本研究の中心となる物理教材の開発としては、2つの課題について研究した。まず、3D電気回路シミュレータについては、画面上の偶数番目ラインと奇数番目ラインで右目用と左目用の画像を表示できるようにし、コンピュータディスプレイによる立体視を実現した(図1)。これを多人数で見られるようにするためには、フレームシーケンシャル方式の立体視を可能にしてプロジェクトに出力することが必要である。しかし、これまで使用してきたAction Scriptにおける3DライブラリであるPapervision3Dを用いた場合には十分な速度での表示が難しいため、コンピュータのグラフィックアダプタの計算ユニットGPUを利用する3DライブラリであるAway3Dを用いてプログラムを書き直した。

簡単な回路で確認したところ、十分な速度が得られることが分かったが、左目用と右目用の映像の出力をフィルター装置と同期させるところには、まだ、課題があり、本研究の範囲では難しいため、この方向での3D化の検討については、ここまでとし、将来、Action ScriptからC++に移植することにした。そのため、電気回路上で電位を実際に計測できる実験教材の開発についても、今後の研究課題とした。

拡張現実を用いたシステムでは、電磁誘導

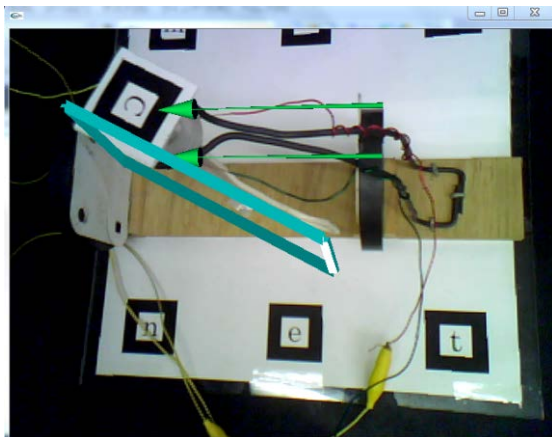


図2 電磁誘導AR教材

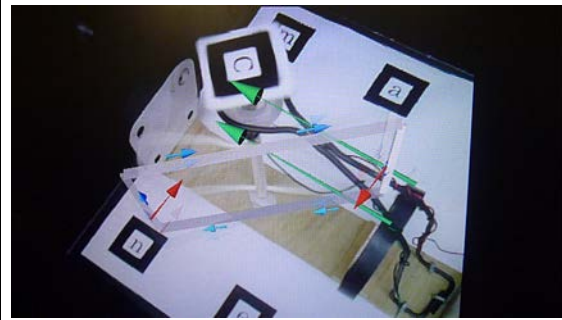


図3 モーターAR教材

における磁力線の付加を実現していたシステムをAction ScriptからC言語に移植して高速に描画できるようにした(図2)。また、これを修正して、モーターにおいて電流が磁場から受ける力を3D表示できるようにした教材を作成した(図3)。

C言語版のARToolkitではOpenGLライブラリを用いているため、OpenGLの3D立体視化が容易であるNvidia社製のグラフィックカードを導入し、同社製の3DVisionを用いた3D化を実現することができた。ただ、この実現の過程において、ARToolkitライブラリのフリー版の標準初期化ルーチンでは3D化を無効に設定してしまうことが分かるまで時間がかかり、研究が遅滞した。このため、ヘッドマウントディスプレイによる立体視と投影による立体視との比較については研究が実施できなかった。

状況が理解できた後は、初期化ルーチンを修正するなど、注意してプログラムすることでARToolkitフリー版で立体視を実現し、教材を完成させた。

現実環境側において、二つのカメラからの画像を左右独立にキャプチャして、現実映像と仮想物体とを、ともに3D立体視化することを試みてみたが、現実物体と仮想物体の前後関係を考慮した3D映像を作らなければ違和感の大きな立体映像となる。現実の物体と仮想の物体の重なりを処理するには、現実の物体も位置を把握して再描画しなくてはならず、結局、臨場感が減じられる結果となることが分かったため、本研究プロジェクトにおいては、それ以上の追及はしないこととした。

次に、電磁誘導のような特定の課題だけで使える教材ではなく、電流の回りや磁石の回りの磁場を測定しながら磁場ベクトルを3D立体視できるようにする教材が有効であると思われたため、これを実現するための研究を行った。

まず、コンピュータとケーブルで接続したワンチップマイコン(Arduino)と磁場センサによって磁場測定をするモジュールを開発し、そのデータを用いてARと3Dを用いた教材を実現した。そのままでは、センサ部がケーブルにつながっていることが取扱いの障害となるため、接続を無線化して、取扱いやすい教材へと改良した(図4)。学会発表

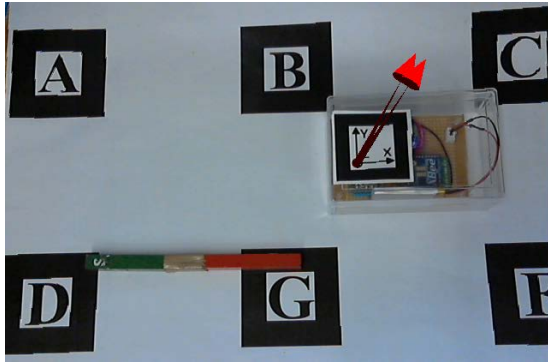


図4 磁場測定3D教材

の際、物理教育関係者、理科教育関係者に好評をいただいた。

教育現場での評価については、そのための環境としてクリッカーを導入し、生徒の関心意欲を高める方法、回答を自動で収集する方法について、実践しながら検討したが、上述した理由により、3D立体視を実現する教材の完成が遅れたため、本研究期間内に開発した教材を本格試行する時機を逸した。現在、教材をさらに扱いやすいものへと改良を続けている段階である。これが完成した後、試行授業を行って、教育現場で使う装置としての価値について評価を行い、さらに良い教材へと改良していく予定である。

開発した教材は、将来、マルチメディア教科書が使われるようになった際に、単に見るだけでなく、生徒の活動を伴わせる臨場感の高い有用な教材として利用されると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 梅田貴士, 石井泰史, 前原俊信, 「合成磁界を視覚化する教材の開発と評価」, 広島大学大学院教育学研究科紀要第二部, 第60巻, 査読無, 2011, pp15-20

〔学会発表〕(計19件)

- ① 上村公己, 中山寛章, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた磁場測定教材の開発」, 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月27日-30日, 東海大学(平塚市)
- ② 中山寛章, 上村公己, 梅田貴士, 前原俊信, 「立体視を用いた磁場に関する教材の開発」, 日本理科教育学会第62回中国支部大会, 2013年11月23日, 鳥取大学(鳥取市)
- ③ 友永沙希, 石川俊考, 梅田貴士, 前原俊信, 「ガウス加速器を用いたエネルギー保存実験教材の開発」, 日本物理教育学会第30回物理教育研究大会, 2013年8月10日-11日, 東北大学(仙台市)
- ④ 中村真人, 梅田貴士, 前原俊信, 「カメラを用いたレンズの像の位置測定」, 日本理科教育学会第63回全国大会, 2013年8月10日-11日, 北海道大学(札幌市)

- ⑤ 山中真悟, 木下博義, 前原俊信, 「理科における批判的思考力の育成に関する一考察」, 日本理科教育学会第63回全国大会, 2013年8月10日-11日, 北海道大学(札幌市)
- ⑥ 上村公己, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた磁場測定教材の開発」, 2013年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会, 2013年7月27日, 香川大学(高松市)
- ⑦ 佐藤彩織, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた電磁気実験教材の研究」, 日本物理学会第68回年次大会, 2013年3月26日-29日, 広島大学(東広島市)
- ⑧ 雑賀大輔, 竹下俊治, 前原俊信, 「植物観察の視点獲得を目的としたアプリケーション教材の開発と評価」, 日本生物教育学会第94回全国大会, 2013年1月12日-13日, 広島大学(東広島市)
- ⑨ 上村公己, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた磁場測定教材の研究」, 日本理科教育学会第61回中国支部大会, 2012年12月08日, 就実大学(岡山市)
- ⑩ 宗田晋太郎, 小野真理, 梅田貴士, 前原俊信, 「立体視型電気回路シミュレータ教材の開発」, 日本理科教育学会第62回全国大会, 2012年8月11日-12日, 鹿児島大学(鹿児島市)
- ⑪ 宮本航次, 梅田貴士, 前原俊信, 「気柱共鳴の圧力変化を可視化する実験教材の開発」, 日本物理教育学会第29回物理教育研究大会, 2012年8月11日-12日, 北海道大学(札幌市)
- ⑫ 梅田貴士, 前原俊信, 「自信度を考慮した回答法の力学概念調査(FCI)への応用」, 日本物理教育学会第29回物理教育研究大会, 2012年8月11日-12日, 北海道大学(札幌市)
- ⑬ 堂本郁也, 足立祐一, 梅田貴士, 前原俊信, 「Wiiリモコンを用いた力学実験教材の開発」, 応用物理学会中国四国支部日本物理学会中国支部・四国支部日本物理教育学会中国四国支部2012年度支部学術講演会, 2012年7月28日, 山口大学(宇部市)
- ⑭ 宮本航次, 万場大介, 梅田貴士, 前原俊信, 「高精度な音速測定教材の開発」, 日本物理学会2011年秋季大会, 2011年9月22日, 富山大学(富山市)
- ⑮ 下末伸正, 梅田貴士, 前原俊信, 「理解を助ける電磁気実験教材の開発」, 日本理科教育学会第61回全国大会, 2011年8月21日, 島根大学(松江市)
- ⑯ 前原俊信, 「静電気符号判定器の開発」, 日本理科教育学会第61回全国大会, 2011年8月21日, 島根大学(松江市)
- ⑰ 片山のぞみ, 松岡修平, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた磁場測定教材の開発」, 日本物理教育学会年会第28回物理教育研究大会, 2011年8月9日-10日, 広島県情報プラザ(広島市)

- ⑱ 秋山広之, 梅田貴士, 前原俊信, 「水圧実験教材の開発」, 日本物理教育学会年会第28回物理教育研究大会, 2011年8月9日-10日, 広島県情報プラザ (広島市)
- ⑲ 孝田尚彦, 梅田貴士, 前原俊信, 「拡張現実を用いた電磁誘導実験教材の開発」, 日本物理教育学会年会第28回物理教育研究大会, 2011年8月9日-10日, 広島県情報プラザ (広島市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前原 俊信 (MAEHARA, Toshinobu)  
広島大学・大学院教育学研究科・教授  
研究者番号：50190319

### (2) 研究分担者

梅田 貴士 (UMEDA, Takashi)  
広島大学・大学院教育学研究科・准教授  
研究者番号：40451679