

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560098

研究課題名(和文) 拡張現実を用いた電気磁気現象の可視化

研究課題名(英文) Visualization of electromagnetic phenomena using augmented reality

研究代表者

櫻田 安志 (Sakurada, Yasushi)

弘前大学・教育学部・准教授

研究者番号：70280922

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、拡張現実技術を用いて、電気磁気学に関連した学習内容を解り易く学習するための教材の開発を行った。開発した教材は、自作した回路素子とともに3次元コンピュータグラフィックスを使用して、回路素子の電界や磁界の時間変化の様子を表示して学習に用いるものや、複数の2次元画像を用いて波動の伝搬を表示して現象の理解を深めるものなどである。これらに加えて、実験等の際の情報提示をする教材を作成した。また、各校種の学習内容から拡張現実を用いた教材に適した内容についての検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed various teaching materials for electromagnetism using augmented reality. The first set displays the electromagnetic fields of the circuit elements using three-dimensional computer graphics. Students use together with the circuit elements made by students themselves. The second set displays the propagation of the electromagnetic waves by a number of two-dimensional images. In addition to these, we made an additional set to use for information presentations of some actual experiments undertaken in laboratories. Furthermore, we examined various contents suitable for the teaching materials using augmented reality from the curriculum contents of elementary and secondary level science education.

研究分野：工学教育

キーワード：教材開発 電磁気学 拡張現実

1. 研究開始当初の背景

科学および技術の修得において、理論と実験あるいは数値実験とを対応付けて学習することは、学習内容の本質的な理解のために重要である。しかしながら、実際の教授の場においては、理論と実験との関連付けは意識されてはいるものの、実践に際して効果的に展開できるかは教師の力量に負うところが多かった。

一方、学校教育における実験・実習を含む教科では、教科の内容が多分野に亘って幅広く存在することや、そのような多彩な内容を限られた授業時間と限られた授業スペースで行う必要があり、授業者の負担となっていた。

このような中で拡張現実 (AR) の技術は、ニーズという側面よりも、むしろシーズとしての側面から注目されていた。やがて、仮想現実の商用化に向けた動きが活発化するとともに、拡張現実も少しずつであるが商用化が進み、主に動画配信や情報提示といった活用が行われてきた。さらに、拡張現実を教育や産業に活用する動きも活発になって行った。これに併せて、ヘッドマウントディスプレイなどのハードウェア開発も徐々に活発になって行った。

2. 研究の目的

本研究は、実験や実習の際に拡張現実によって理論などの知識や他の情報を表示することで、理論と実験との関連付けの助けになると考え、自作の素子を用いた実験を行うことで現象を現実としてとらえ、その際の不可視の物理量などを拡張現実によって表示することで学習者の理解を補助するシステムを開発することを目的としている。

さらに本研究では、拡張現実技術を用いて各教科における情報化を進めることにより、少ない負担で幅広い内容での授業展開を可能にすることが、教員に係る過度な負担や実験・実習スペースの狭隘化などの問題を緩和する手段の一つであると考え、中学校などの実験実習室の拡張現実を用いての情報提示を行うシステムを開発することも併せて目的としている。

3. 研究の方法

(1) 手作り素子と3次元コンピュータグラフィックスにより、実験と理論とを結びつける拡張現実教材の開発

本研究は、手作りで回路素子を作成する実験に併せて、複数の3次元コンピュータグラフィックスを逐次表示して、本来不可視である素子の物理的な状態をコンピュータグラフィックスによって表示させることで、素子の構造などと物理的なメカニズムを関連付けて理解する教材の開発を目指すものである。

本研究では、まず学習対象として、自作が

可能な回路素子であるコンデンサ、コイルを採り上げ、主に日常生活品を用いて自作教材を作成することを検討する。

次に、学習対象とする素子の物理的な状態を表示する複数のコンピュータグラフィックスを作成する。さらに、自作の素子とコンピュータグラフィックスによる情報提示を併せて用いることで学習効率の向上を目指す。コンピュータグラフィックスに関しては、例えば物理量の時間的変化を反映するものとし、簡易なアニメーション表示を意識したものとする。

(2) 2次元画像の実空間への表示による物理現象の簡易な学習教材

拡張現実では、3次元コンピュータグラフィックスを使うことが一般的であるが、例えば医学関連のシミュレータなどのように、3次元コンピュータグラフィックスが適した教材もあれば、概念図などの様に2次元の画像でも実現が可能な教材もある。3次元コンピュータグラフィックスの作成には多くの時間を要する点や、通常の授業で使用している資料とは異なるファイル形式になっている点などを考慮し、本研究では2次元画像を使った簡易的な拡張現実表示を行うこととした。ここで、2次元画像には、作成が容易である点や、通常の授業で使用しているファイルが再利用できる点などの利点がある。

本研究では、現象の時間的変化を表示している複数の2次元画像を用意する。次に、拡張現実技術を用いて、これらの画像の位置をずらしながら、現実の映像に重ねて表示することとした。これにより、3次元コンピュータグラフィックスを用いたアニメーションよりも容易に、対象となる物理現象の時間変化を示すことが可能となる。

(3) Web 画面を利用した実験室などにおける付加的な情報提供教材

本来拡張現実とは、実空間の映像などに、表示したいコンテンツを重ねて表示することで情報を付加するものである。しかし、付加する情報の種類によっては、現実空間の位置との関連は重要であるが、現実空間の中に映像として情報を重ねる必要の無いものもある。例えば、マーカを読み取らせると、説明のための映像が流れるような情報提示の場合、必ずしも現実空間の中に映像を重ねる必要はない。

本研究では、実験・実習などで上述のような情報提示をすることで学習の補助を行うことも重要と考え、Web 画面を利用して付加する情報を実空間映像の外に表示するシステムを作成する。

このシステムでは現実空間の映像と重ねない形での情報提示により、文章なども含めた多彩な情報内容の提供が期待できる。

(4) 拡張現実教材の作成可能な学習内容に関する検討

小学校から高等学校に至る電気磁気の学習内容には、拡張現実表示により効果的な学習が期待できるものが多数存在している。本研究では、このような観点から現在の学習指導要領やそれらの解説などを参考にして、学習内容の特徴に応じた精査を行い、拡張現実教材に関するプランを作成する。

4. 研究成果

(1) 手作り素子と3次元コンピュータグラフィックスにより、実験と理論とを結びつける拡張現実教材の開発

本研究では、生徒が回路素子を自作する実験の際に、その回路素子の動作や特徴を理解するための情報を拡張現実によって提供する教材を作成し、実験と拡張現実の組み合わせによる学習方法を提案した。

結果の一例として、図1に自作コイルの映像付近に、それに対応したコイルと磁場の様子を拡張現実で表示したものを示す。ここで、自作コイルは、使用済みのペットボトルの外側にエナメル線（薄く被覆された銅線）を手巻きして作成したもので、手作りラジオの同調回路にも利用できるものである。

本研究では、例えばこのようなコイルを生徒に作成してもらい、その特徴については拡張現実を使って理解を促す。本研究では、コンデンサなどの素子についても、同様の3次元コンピュータグラフィックスを用いた補助教材を作成している。これらの補助教材については、交流における特性も理解するように、3次元のコンピュータグラフィックスを順次表示することで、物理現象の時間変化を表現することも併せて行っている。

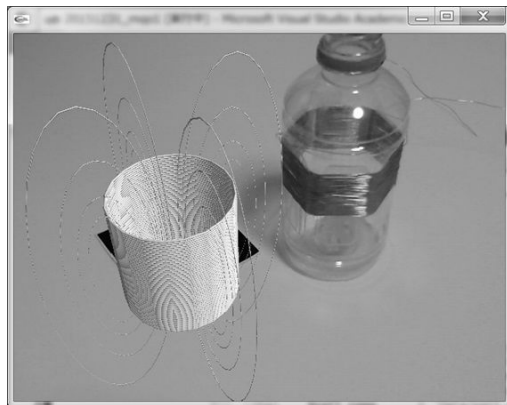


図1 自作コイルとコイルの拡張現実表示

現在のところ試作段階のため、概要の理解が主であるが、多くの物理現象について学習できるように3次元コンピュータグラフィックスのコンテンツを改善していく予定である。

(2) 2次元画像の実空間への表示による物理現象の簡易な学習教材

3次元コンピュータグラフィックスを使ったコンテンツは、その作成に手間がかかるが、その反面リアルな表現が可能となっている。したがって、現実を模した表現が求められる教材には有効なコンテンツであると考えられる。これに対して、ここでは特徴や概念など比較的リアルな表現を必要としない学習内容を対象に、コンテンツ作成が容易、あるいはすでに作成済みのコンテンツの再利用が可能な学習教材として、2次元画像を用いた拡張現実教材を提案した。

結果の一例として、図2に時間領域差分法によって計算した電磁場の時間変化（伝搬）の様子を、複数の2次元画像で表現し、それらを拡張現実で位置をずらして表示した結果を示す。

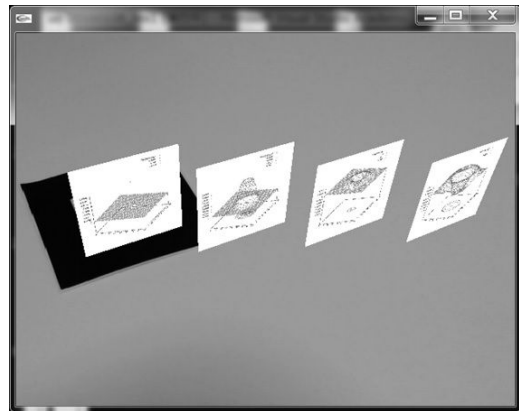


図2 電磁波の伝搬の拡張現実表示

図2の結果は、磁場が時間的に変化している様子を表した単純なものであるが、複数の画像を使うことで時間的な変化の概要は十分に理解できる。この例のように、比較的単純な物理現象を表示する場合、2次元の画像で十分な場合も多いと思われる。

さらに、単純な概念図について、拡張現実表示をした結果を図3に示す。

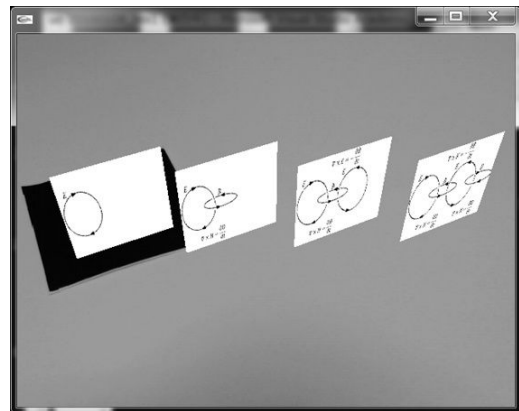


図3 電磁波の伝搬の概念図

これは、電磁波の伝搬が、電場と磁場の相互作用によって起きていることを示した概念図である。ここに示した概念図は、研究代表者が過去の授業において使用した資料を再利用したものである。このように初歩的な拡張現実技術を用いることで、教員が通常の授業において作成してしている多くの資料が表示用のコンテンツとして活用されることが期待できる。もちろん、このような画像によるコンテンツは新たに作成することも容易である。今後はコンテンツの充実を図るとともに、簡易的ながらも動きなどの変化の様子が解り易くなるような表示方法についても検討していく予定である。

(3) Web 画面を利用した実験室などにおける付加的な情報提供教材

実空間の映像内への拡張現実表示は、物理現象の表現方法としては有効に思えるが、情報提供の手段としては、映像と重ねない表示方法も検討に値する。これは商用化されている拡張現実による情報提供（映像など）に多く見られる。ここでは、実験、実習に際しての情報提供手段として、実空間の映像中ではなく Web 画面上への表示を利用したコンテンツを作成した。

図 4 に作成したコンテンツの一例を示す。このコンテンツは、モータの学習の際に内部の様子を表示することで、モータの分解を行わずに学習するため、あるいは分解の際の参考資料としてモータの学習に活用するための資料となる。



図 4 モータ内部の部品の表示

この例では、画面左側に実空間の映像を表示しており、その中のマーカを認識した際に、映像の外側に画面右側のような情報が表示される仕組みになっている。その際に、実空間の映像に重ねた拡張現実表示よりも、提供される情報が見やすいことがその特徴である。また、表示される情報は 2 次元の画像であり、それらには授業などで作成した資料がそのまま使えるといった特徴もある。したがって、表示用の Web サイトとして表示システムを作成すると、コンテンツの拡充や更新はファイルの拡充や更新（置き換え）だけで済み、メンテナンスは非常に簡単である。

このような表示には Web サーバが必要となるが、インターネットに接続せずに済む簡易

的な方法もあるため、現職の先生方にとっても実現のための敷居は高くないと考えられる。今後は、コンテンツの拡充だけでなく、実践を通して新たな用途についても検討していく予定である。

(4) 拡張現実教材の作成可能な学習内容に関する検討

授業や実験・実習などにおいて、拡張現実を活用できそうな電気・磁気の学習内容について、各校種の学習指導要領、学習指導要領解説、および一部の教科書に基づいて検討した。その結果の一例を表 1 に示す。

表 1 各校種における電気・磁気の学習内容と期待される拡張現実教材

校種・教科など	学年・分野	学習内容	期待される AR 教材例
小学校・理科	第 3 学年 第 4 学年 第 5 学年 第 6 学年	・磁石の性質 ・電気の通り道 ・電気の働き ・電流の働き ・電気の利用	・種と力の向きとの関係を表示する教材 ・回路における電流の可視化をする教材 ・電池と導線のつながり方を表示する教材 ・電流の強さと導線の巻き数による磁石の強さ ・発電や蓄電の仕組みを説明する教材
中学校・理科	第 1 分野	・電流 ・電流と磁界	・静電気と力の関係を表示する教材 ・回路の電流、電圧測定値の接続を表示する教材 ・磁石、電流による磁界の磁力線による表示 ・磁界中の電流に働く力の表示 ・電磁誘導による電流の表示
中学校・技術家庭科	技術分野	・エネルギー変換に関する技術	・エネルギー変換機構の仕組みを表示する教材 ・エネルギー変換に関する技術を利用した製作品の設計・製作支援 ・電気回路の配線表示、点検手順の表示
高等学校・理科	物理（電気と磁気）	・電気と電流 ・電流と磁界 ・電気と磁気に関する探究活動	・電界を可視化し、電位の様子を表示する教材 ・電流が作る磁界の様子を可視化する教材 ・磁界中の電流に働く力の表示 ・電磁誘導による電流の表示 ・基本原理、計測器の使用法などの情報表示 ・安全教育に関する情報表示
高等学校・工業	電気基礎 電気機器 電力技術	・内容全般	・全内容についての理論学習に関する情報表示 ・実験的な学習をサポートする情報表示 ・安全教育に関する情報表示

この例では、検討内容を電気・磁気に絞ったが、このような限られた分野についての検討結果にもかかわらず多くの学習内容において拡張現実を用いた補助教材の可能性が示される結果となった。ここで、工業高校については多くの学習内容が存在しているため、その概要についてのみ示してある。したがって、工業高校の学習内容、大学における学習内容を加えると、さらに多くの内容について拡張現実を使った補助教材の可能性が期待できる。

今後は表 1 を参照しながら教材の拡充を図っていく。その際には上述した表示方法の中から適切な手法を選択する予定である。

研究全体については、多くの事項を検討したものの、結果として既存技術の活用方法に関する内容となっている。そのため、今後はコンテンツの充実を図るだけでなく、技術的な意味における新しい手法も併せて検討していきたいと考えている。

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 2 件)

櫻田安志、拡張現実を用いた電気磁気現象の教材、弘前大学教育学部研究紀要クロスロード、査読なし、Vol.20、Part1、2016、pp.57 - 63

櫻田安志、拡張現実を用いた拡張実験室、
弘前大学教育学部研究紀要クロスロード、
査読なし、Vol.20、Part1、2016、pp.49
- 56

6 . 研究組織

(1)研究代表者

櫻田 安志 (SAKURADA YASUSHI)
弘前大学・教育学部・准教授
研究者番号：70280922

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：