

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00998

研究課題名(和文) 拡張現実とプロジェクションマッピングを利用した臨場感あふれる電磁気学可視的教育

研究課題名(英文) Electromagnetics Visual Education Using Augmented Reality and Projection Mapping

研究代表者

山田 悟 (Yamada, Satoru)

石川工業高等専門学校・電気工学科・教授

研究者番号：40249777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：電磁気学は初学者にとってその修得が非常に困難であるといわれている。その理由は電磁気学では、その基本法則である「マクスウェルの方程式」が電界と磁界との3次元的な時間領域の相互作用をとるために、直感的な理解ができないためである。本研究では、電磁調理器やワイヤレス給電など身近な電磁界応用現象の再現システムと、プロジェクションマッピングおよび拡張現実技術を組み合わせることにより、目に見えない電磁界現象を視野上に映像として可視化した電磁気学3次元可視的教育システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電磁気学は電気・電子系分野では基礎となる科目であり、この理解が完全でないと、これを基礎とする応用科目の修得が非常に困難となり、修学意欲の低下につながる。電磁気学を学習補助する教材はあるが、拡張現実やプロジェクションマッピングを利用したものはほとんどない。本研究で、プロジェクションマッピングおよび拡張現実技術を組み合わせることにより、目に見えない電磁界現象を視野上に映像として可視化した電磁気学3次元可視的教育システムを開発した。本手法は電磁気学にとどまらず、可視化が困難な現象を取り扱う電気・電子回路、物理、流れを表現する手法として応用可能であり、その波及効果は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：It is said that it is very difficult for beginners to learn electromagnetism because, in electromagnetism, the fundamental law of it, 'Maxwell's equation,' is that the electric field and the magnetic field interact in the three-dimensional time domain. This is because it is not possible to understand intuitively because it involves actions. In this research, electromagnetic systems that visualize invisible electromagnetic field phenomena as a visual image by combining projection mapping and augmented reality technology with a familiar reproduction system for electromagnetic field applied phenomena such as an electromagnetic cooker and wireless power feeding. We developed a 3D visual education system.

研究分野：電子・光デバイス

キーワード：電磁気学 プロジェクションマッピング 拡張現実

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

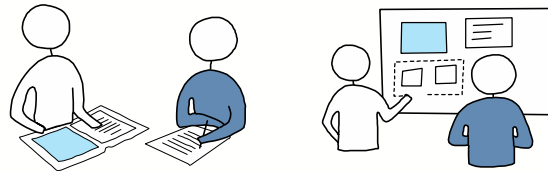
1. 研究開始当初の背景

電磁気学は、電気電子系分野における非常に重要な基礎科目の 1 つとして位置づけられている。しかし、教授する立場として現状をながめると、学生が電磁気学を完全に理解するにいたるまでには非常に多くの課題があると判断される。

その主たる理由は、電磁気学では、その基本法則である「マクスウェルの方程式」が電界と磁界との 3 次元的な時間領域の相互作用をとまなうために、ニュートンの運動方程式のようにある程度の直感的な理解ができないことである。さらにはマクスウェルの方程式が、3 次元ベクトル解析や時間をとまなう微分方程式などの数学的知識や基礎物理学の知識基盤の上に成立しており、初学者にとって学習困難となっているためである。

また、力学がボールや坂といった目に見えるもの、触れられるものを対象としているのに対して、電磁気学では、影響を受ける電子やイオンなど荷電粒子、電界、磁界が目に見えない、存在そのものを実感として感じられないものであることが、理解を妨げる原因となっている (図 1)。

一般に学習の理解を補助する有効な方法として、プレゼンテーションソフトを用いた図解や法則を検証する実験の演示などがあげられる。しかし電磁現象はマクスウェルの方程式を基礎におく時間領域をとまなう 3 次元の相互作用であるために、図示することが非常に困難である。また、空間に不可視である電界や磁界などの場ができるという感覚が初学者にとって受け入れることが困難である。そのため、電磁気学は非常に歴史の古い基礎科目でありながら、その教科補助が現在でも課題となっている。



初学者にとって座学では理解しにくく
スクリーンでは実感できない

図 1 電磁気学教材の問題点

2. 研究の目的

電磁気学は初学者にとって、その修得が非常に困難であるといわれている。その理由は電磁気学では、その基本法則であるマクスウェルの方程式が電界と磁界との 3 次元的な時間領域の相互作用をとまなうために、直感的な理解ができないためである。

電磁気学の理解を補助するための、e-Learning 教材は多数開発されているが、平面的な画面情報から 3 次元的な電磁界の把握は難しい。本研究の目的は、電磁調理器やワイアレス給電など身近な電磁界応用現象の再現システムと、プロジェクションマッピングおよび拡張現実技術を組み合わせるにより、目に見えない電磁界現象を視野上に映像として可視化し、臨場感あふれる電磁気学 3 次元可視教育システムを開発することである。

3. 研究の方法

本研究では、電磁気学の学習を補助する 3 次元教育用システムとして、身近な電磁界応用現象の再現システムと、上記システムと連携した

- ・ 拡張現実を利用した電磁界の再現システム
 - ・ プロジェクションマッピングによる演示システム
- の開発を目標とした。

仮想空間および現実空間への電磁界現象可視化からその理解へ

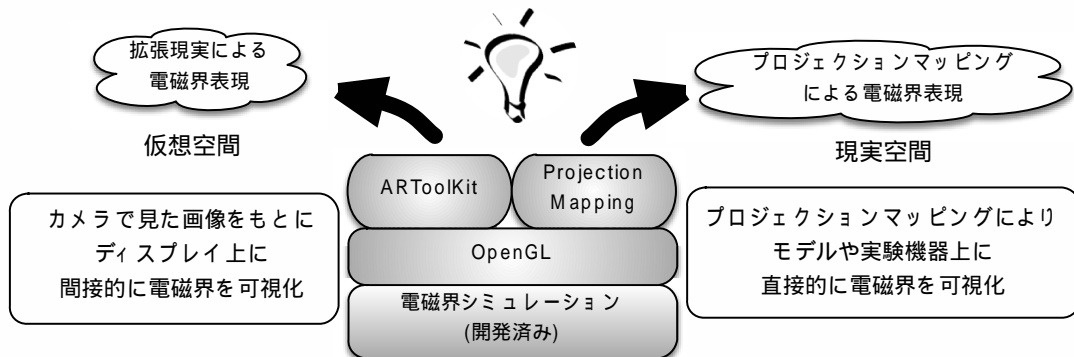


図 2 開発システムの概要と目的

身近な電磁界応用現象の再現システムは、学生にとって身近な電磁界現象である電磁調理器やワイアレス充電、磁気浮上などを再現し、電磁界現象の理解促進とともに興味・歓心を喚起するシステムである。

拡張現実を利用した電磁界の再現システムは、目に見えない空間における電磁界を、ディスプレ

イを通すことにより仮想的に可視化するシステムである。このシステムを開発することにより、電磁界の存在を確かめることができる。

プロジェクションマッピングによる演示システムは、近年商業的に注目を集めているプロジェクションマッピングを利用し、3Dモデルや実験機器上に直接電界・磁界およびその相互作用をアニメーションで表示させるものである。このシステムでは、学生が今見ている空間に電磁界を表示するために、臨場感を持った体験として定着させることが可能となる。この3つの手法を組み合わせることにより、効果的に電磁気学の理解を促進できるようになる。図2に本研究の目的と概要を示す。

電磁界シミュレーション手法として、研究代表者が開発した FDTD 3次元電磁界シミュレーションアプリケーションを使用した。電磁界シミュレーションを行う対象として、一般に広く利用されているが、その原理について正しく理解されているとは言い難い電磁調理器やワイヤレス充電器を採用した。さらに、玩具やディスプレイ製品として利用されている磁気浮上システムもその対象とした。

拡張現実を効率よく行うためには、表示を行う場所に2次元コードパターンなどのARマーカが必要となる。本システムではARマーカを、小型液晶画面に表示し自由に変化させることができたようにした。

このARマーカを実験と連動させることにより、撮影された動画中にリアルタイムで電磁界を表現していく。利用する3次元グラフィックAPIには、プロジェクションマッピングと同様にOpenGLを利用する。拡張現実を実現するためのライブラリにはApple社のARKitを用いた。図3に開発システムの一例を示す。

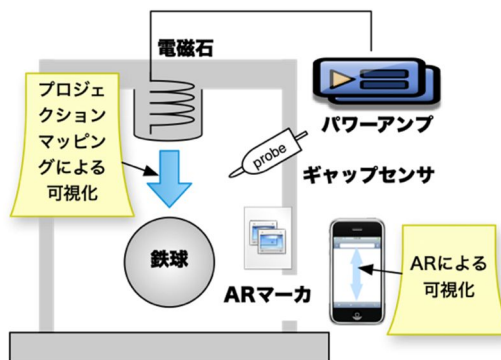


図3 開発したシステムの構成図

4. 研究成果

完成したシステムについて工業高等専門学校3年生と4年生に使用してもらい、そのアンケートを実施した。工業高等専門学校3年生は、高校3年生と同じ学齢ではあるが、すでにベクトルを用いた電磁気学を学び始めており、電磁気学の初学者と考えられる。工業高等専門学校4年生は、ベクトル解析や微分方程式などを学習しており、数学的な裏付けを持って電磁気学について学んでいる判断できる。

利用者について、同じ開発教材を利用した結果、電磁気学について理解度が変化したかについて

● 理解が深まった、● 少し理解が深まった、● あまり変わらない、● 理解が深まった、● 少し理解が深まった、● あまり変わらない、

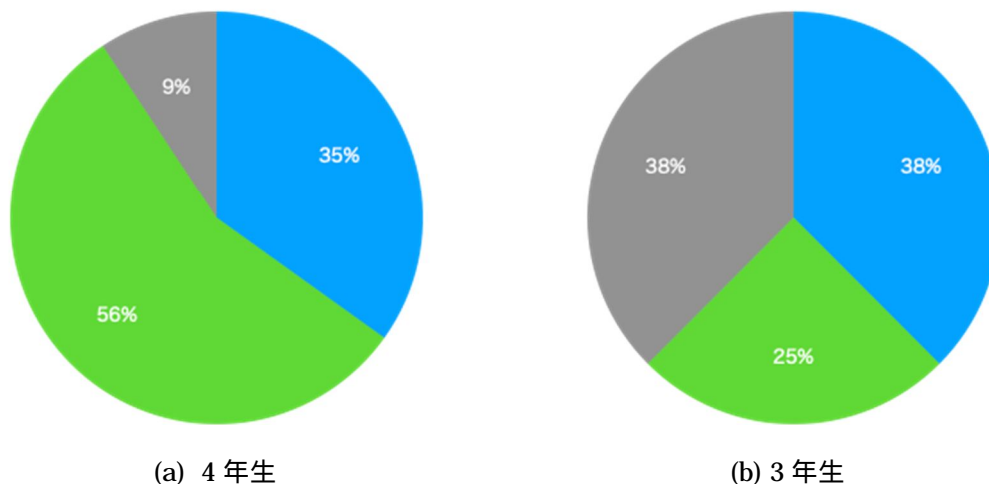


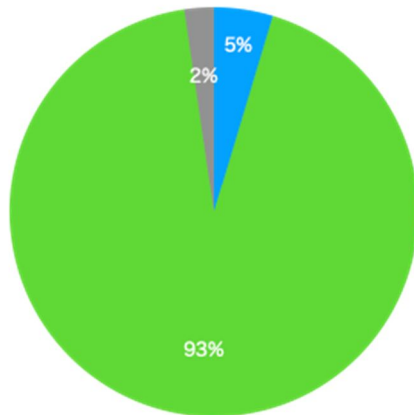
図4 教材利用によって理解度変化のアンケート

のアンケートを実施した。その結果を図4に示す。

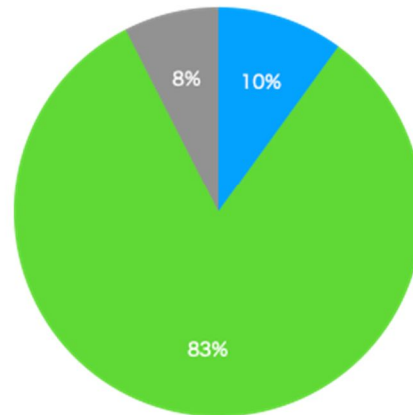
4年生については、90%の学生が理解度が深まったと回答しており、その有効性がわかる。その一方で、3年生については、60%程度の学生しか理解度が深まったと回答していない。これは、3年生がまだ静電界についての学習しかしておらず、電磁誘導や時間的に変化する電磁界についての学習を行っていなかったためであると考えられる。

さらに、プロジェクションマッピングとARについて、どちらが教材として良かったかについてもアンケートを実施した。その結果を図5に示す。

● プロジェクションマッピング ● AR ● どちらも同じ ● プロジェクションマッピング ● AR ● どちらも同じ



(b) 4年生



(b) 3年生

図5 プロジェクションマッピングとARのどちらが良かったか

この結果から、プロジェクションマッピングがあまり有効に機能していなかったことが示唆される。この結果は、利用したプロジェクタの輝度が十分でなく、実験を行うために部屋を暗くせざるを得なかったことが原因の一つではないかと考えている。

自由記述アンケートの代表的な感想を以下に示す。

3年生

- 電流による磁界の変化が見えて楽しかった。
- 電磁調理器の原理が鍋に流れる電流だということが、スマホ画面に出てきて理解できた。
- プロジェクションマッピングがわかりにくい。部屋が暗くされると、やる気が低下してしまう。
- 電界が色んな場所にできるということが初めて理解できた。

4年生

- 3次元で見えることでよくわからなかった磁束密度の向きがなんとなくわかった気がする。
- ARはわかりやすかった。自分のスマホにもインストールしてみたい。
- ARアプリはiPhoneにしかないんですか？Androidもあと良かった。
- 動きがあると理解しやすかった。電流の向きが変わると磁界の向きが反転することは、頭でわかっていたつもりだけど、見たことで納得できた気がします。
- iPhoneで見たときはよくわからなかったけど、iPadで見て理解できた。画面が大きいほうがいい。
- プロジェクションマッピングが微妙。なにもないところに磁界ができるから、そこに出してほしいけど無理ですね。

これらの感想から、学生にとってARを用いた教材の方がより理解を促進することがわかる。プロジェクションマッピングは、物体に投影することが前提であるために、空間上の電磁界を表現することが困難であったことやどうしても部屋を暗くせざるを得ないことがあまり高評価を得られなかった原因だと考えられる。その一方で、ARはスマートフォンやタブレット端末で空間に自由に表示できるというメリットが有り、教材として今後も活用していくことで教育の幅が広がられると期待できる。

以上をまとめると、電磁気学においてプロジェクションマッピングやARといった手法が理解度の促進に有効に機能することがわかった。特に電流と磁界の相互作用については、時間的な変化を伴う現象であるため、それが有効に機能していると示唆された。プロジェクションマッピングは、投影する対象物が必要であったり、大掛かりな高輝度プロジェクタが必要であり、電磁気学のような空間の属性が変化する現象にはあまり向いていなかった。その一方で、ARは個人に端末が必要ではあるが、表現力の自由度が高く、電磁気学だけでなくその他の学習に活用できる可能性があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----