

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：56301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760275

 研究課題名(和文) 拡張現実感技術を利用した電磁場教育のための半仮想実験システムの開発  
 研究課題名(英文) New Visualization System of Electromagnetic Field Utilizing Augmented Reality Technology for Electromagnetics Education

## 研究代表者

松友 真哉 (MATSUTOMO SHINYA)

新居浜工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号：90413856

研究成果の概要(和文)：電磁場教育の現場では、初学者に対して目に見えない電磁場のイメージを持たせることが重要である。本研究では、拡張現実感技術を利用することで、初学者に電磁場を直感的に理解させる半仮想実験システムの開発を行った。本システムは、磁石や線電流の模型をカメラで動画撮影して計算機内に読み込み、計算機シミュレーションによってその空間の電磁場解析を行い、拡張現実感技術を利用して撮影対象と電磁場分布を合成しリアルタイムでディスプレイ上に表示する可視化システムである。

研究成果の概要(英文)：In electromagnetics education, it is difficult for beginners, who start to learn electromagnetics, to understand magnetic field because it is complicated and invisible. Therefore, in this research we propose a new real-time visualization system. It can visualize a composite image of source materials and their generated magnetic field utilizing the Augmented Reality technique to the users.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：電工工学・電力変換・電気機器

科研費の分科・細目：電気電子工学・電工工学・電力変換・電気機器

キーワード：電磁場可視化、拡張現実感技術、電磁解析、有限要素法、コンピュータシミュレーション、電磁気学教育、磁束線

## 1. 研究開始当初の背景

電磁気学教育の場面において、電磁場は直接目で見て観察できないことから、直観的に理解することができず戸惑う初学者が多い。現状の電磁場教育の現場では、電磁場を理解させるための方法として、実験的な方法やシミュレーションを利用する方法などが用いられる。しかしながら、実験では手間がかかり二次的な現象の観察となるため、直観的な電磁場の理解には至らせることは困難である。また、シミュレーションでは、計算機上で仮想的に表示される電磁場を現実の対象物と関連付けてイメージすることが必要であるが、初学者にとっては仮想と現実が乖離

してしまい理解に結び付き難い。また、電磁場シミュレーションソフトは、電磁機器等の設計現場で活用されることを前提としたものが多く、初学者にはソフトの操作自体が難解であり電磁場の挙動を直感的にイメージさせることを念頭に置いたものでない。

そこで、本研究では上述の課題を解決する一手段として、実験とシミュレーションを融合した半仮想実験のシステムを提案し開発することを目的とした。近年の電磁場シミュレーションに関連する技術は極めて高度化されてきており、今後も大規模化・高精度化を目指した研究が盛んに行われていくものと考えられる。また一方で可視化の分野にお

いては、現実と仮想をインタラクティブに融合した拡張現実感技術が発展し始めている。これらの背景技術に鑑み、本研究はリアルタイムに電磁場シミュレーションを行い、対象物と電磁場分布を観察者に提示する半仮想実験システムを構築することで、電磁場シミュレーション技術の新しい発展性を提案するものである。このようなシステムを早期に提案することで、電磁場シミュレーション技術及び、拡張現実感技術の双方の分野に新しい応用の可能性を示唆することができると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述の背景を踏まえ実験とシミュレーションを融合させた半仮想実験システムを提案し開発することが目的である。拡張現実感技術は、現実の空間にコンピュータグラフィックスなどの情報を重ねてユーザに提示する技術として近年盛んに研究されており発展を遂げてきている。本研究においては、この手法と電磁場シミュレーション技術を応用して、電磁場教育に有用な半仮想実験システムを開発することを目的とした。すなわち、本システムは図1に示すような構成からなり、このシステムの開発にあたっては、対象とする物体を認識するための画像認識手法の選定、また、瞬時に電磁場を解析し磁束線等を描画するためのリアルタイム可視化手法の開発を行うことを目的とした。

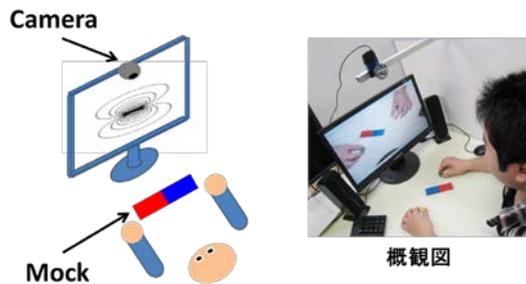


図1. 提案システムの概観図

## 3. 研究の方法

本システムでは、(1)カメラで対象となるコイルや磁石を動画撮影し、(2)対象物が何であるかを画像認識技術によって識別する。そして、(3)識別された対象物をモデル化し計算機シミュレーションによる電磁場解析を行い、(4)撮影された対象物と電磁場解析で求めた等電位線や磁束線を重ねて描画しユーザに提示する。

本システムの実現によって、(i)対象物とその周辺に分布している電磁場が正にその場に分布しているように観察することが可能となり、(ii)対象物を実際に手で移動させた際に電磁場が変化の様子もリアルタイ

ムで観察可能となる。これによって、初学者が電磁場を理解することを支援できるシステムの開発を目標とし、以下の点について重点的に研究を行った。

(1) 拡張現実感技術に関する資料収集と基礎的検討として本システムに最適な拡張現実感技術についての調査検討及び選定。

(2) 平面上に対象物が存在するときの半仮想実験システムの開発。特に、2次元の電磁場シミュレーションをベースに、平面上に対象物(コイル、磁石、鉄心)が存在する場合について、本システムを構成し検証する。

(3) 空間中に対象物が存在するときの半仮想実験システムの開発として3次元モデルへの発展させるための基礎検討。

## 4. 研究成果

まず、2次元場において拡張現実感技術と電磁場シミュレーション技術を応用した半仮想実験システムの基礎的な構築を行った。最初に提案したシステムは、ウェブカメラ・PC・カラーモックで構成されている。提案した可視化システムにおける主な処理手順は以下の通りである。

- Step1: ウェブカメラによりモックを撮影。
- Step2: 撮影したモックのサイズ及び位置や状態を画像認識によって特定。
- Step3: 特定されたモックが作る磁場分布を計算。
- Step4: 撮影画像と磁場分布を合成してディスプレイに表示。

これらの処理を逐次実行することで、撮影されたモックに対して合成された磁場の様子をユーザがリアルタイムに観察することを可能とした。

一般に磁石やコイル、磁性体が場に存在する場合の電磁場シミュレーション方法として有限要素法(FEM)が広く用いられる。有限要素法を用いる場合には、材料特性の入力、境界条件の設定、メッシュ分割が必要であり、解析結果として磁場分布を得る事が出来る。しかしながら、この方法では計算に時間がかかり、リアルタイム性を実現するのは困難であり、単純に有限要素法を本システムに採用することは困難であった。

そこで提案したシステムでは、リアルタイム性を実現するためにモックが作る磁気ベクトルポテンシャル分布をあらかじめ2次元有限要素法によって計算した。そして、撮影されたモックと磁束線分布が適合するように磁束線分布に拡大縮小や回転の処理を施し、図2に示すようにリアルタイムでモックと磁束線分布の合成画像を表示する手法を提案した。

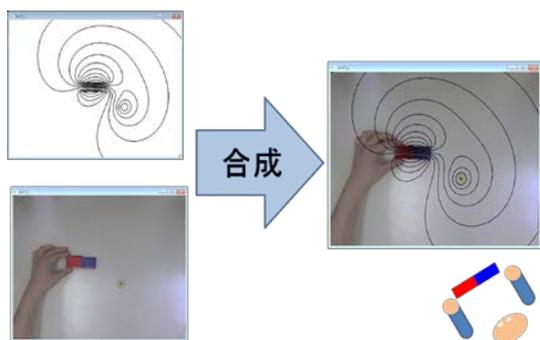


図2. 可視化結果の合成表示

また、教育的観点からも重要な複数のソースが作る磁場が干渉する場合については、それぞれのソースが作る磁気ベクトルポテンシャルを重畳し、磁束線を算出して描画を実行する手法を提案した(図3参照)。これによって、ユーザがリアルタイムに磁場が干渉の様子を観察することを実現した。開発したシステムの実行例を図4に示す。この例は、棒磁石と線電流が作る磁場が干渉する様子である。この計算手法によって、ユーザは可視化結果をリアルタイムに観察することができ、かつ磁石や線電流の位置を自らの手で自由に動かすことが可能となった。

これらの研究成果によって電磁気学教育で利用可能な新しいリアルタイム可視化システムについての基礎提案を終え、その研究成果を論文・学会等で報告した。

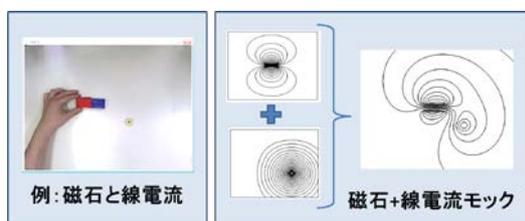


図3. 磁場分布の計算原理

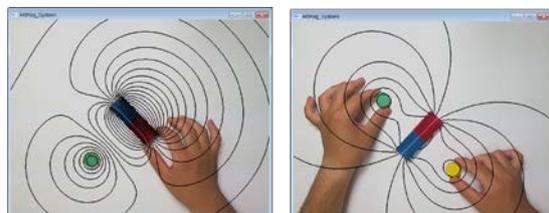


図4. システムの実行例

上述の基礎提案と検証の後、磁性体が存在する場での可視化手法について検討を行った。これは、鉄と磁石が影響を及ぼす際の磁場の挙動や発生する力の方向を観察させることを想定したものである。これを実現するため、磁性体が存在する際の電磁場のリアル

タイムシミュレーション手法の開発を行った。その結果、2次元場においては、有限要素法のメッシュのトポロジを変化させずに物体の移動を模擬する手法を提案しリアルタイム解析と可視化を実現した。これによって、2次元場においては、当初の目標とした可視化システムが実現できた。そしてこれらの研究成果を論文・学会において発表した。

また、更にこのシステムを中学校での理科教育へ活用する可能性も探るべく、実際に中学生に本システムを体験してもらい、その教育効果を検証する試みも開始した。3次元でのシステム開発については、基礎検討を行ったが、3次元での物体認識、リアルタイム解析の手法に課題が残った。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

(1) Shinya Matsutomo, Takenori Miyuchi, So Noguchi, and Hideo Yamashita, “Real-Time Visualization System of Magnetic Field Utilizing Augmented Reality Technology for Education”, IEEE Transactions on Magnetics, 査読有, Volume: 48, Issue: 2, 2012, pp.531-534 DOI: 10.1109/TMAG.2011.2174208

(2) Shinya Matsutomo, So Noguchi, and Hideo Yamashita, “Adaptive Mesh Generation Method Utilizing Magnetic Flux Lines in Two-Dimensional Finite Element Analysis”, IEEE Transactions on Magnetics”, 査読有, Volume: 48, Issue: 2, 2012, pp.527-530 DOI: 10.1109/TMAG.2011.2176471

(3) Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, Yuta Hiasa, So Noguchi, “Real Time Simulation Method of Magnetic Field for Visualization System With Augmented Reality Technology”, 査読有, Volume: 49, Issue: 5, 2013, pp.1665-1668 DOI: 10.1109/TMAG.2013.2240672

[学会発表] (計7件)

① Shinya Matsutomo, Takenori Miyuchi, So Noguchi, and Hideo Yamashita, “Real-Time Visualization System of Magnetic Field Utilizing Augmented Reality Technology for Education” The 14th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMUPAMG 2011), 2011, Sydney, Australia

② Shinya Matsutomo, So Noguchi, and Hideo Yamashita, “Adaptive Mesh

Generation Method Utilizing Magnetic Flux Lines in Two-Dimensional Finite Element Analysis, The 14th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMUPAMG 2011), 2011, Sydney, Australia

③宮内武紀, 松友真哉, 野口聡, 山下英生, 「拡張現実感技術を利用した電磁気教育のための電磁場可視化システムの一提案」電気学会研究会資料 静止器回転機合同研究会 (SA-11-072, RM-11-085), 2011, 新潟

④宮内武紀, 松友真哉, 野口聡, 山下英生, 「拡張現実感技術を利用した電磁気教育のための電磁場可視化システムの一提案 (その2)」電気学会研究会資料 静止器回転機合同研究会 (SA-12-004, RM-12-004), 2012, 大阪

⑤ Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, So Noguchi, “Real Time Simulation Method of Magnetic Field for Visualization System with Augmented Reality Technology”, The 15th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC2012), 2012, 大分

⑥ Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, Yuta Hiasa, So Noguchi, “Semi Three Dimensional Visualization of Electromagnetic Field Analysis Result with Movable Transparent Display” The 15th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC2012), 2012, 大分

⑦光藤健太, 日朝祐太, 松友真哉, 野口聡, 「磁性体を考慮したリアルタイム磁場解析と可視化手法の検討」平成 25 年電気学会全国大会, 2013, 名古屋