

令和元年6月22日現在

機関番号：55401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12774

研究課題名(和文) 3次元入出力システムを持つ電磁界シミュレータの開発と教育適用

研究課題名(英文) Development of EM-simulator for Education

研究代表者

外谷 昭洋 (TOYA, AKIHIRO)

呉工業高等専門学校・電気情報工学分野・准教授

研究者番号：20616180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年の通信の高速化などに伴って、電磁気学を理解できる人材の必要性が高まってきた。しかし、電磁気学は目に見えない現象を扱う分野であるため、初学者にとっては理解することが難しい分野の一つになっている。

そこで私たちは、現在普及している仮想現実(バーチャルリアリティー)技術を応用した3次元電磁界シミュレーションシステムを開発し、教育に適用することを目標に研究を行った。実際の開発では、GPUプログラミング技術を適用してシミュレーション速度を高める取り組みも行い、シミュレーション時間の短縮を行った。最後に、初学者の方にシミュレーションシステムのテストをしてもらい、システムの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、教育に適用可能な低価格の電磁界シミュレーションシステムの提案を行うことができ、また、GPUプログラミング技術の導入によるシミュレーション時間の短縮を行い、その実用性を高めることができた。また、提案するシステムについて、教育への適用した際の効果についても有効性があることを示した。

研究成果の概要(英文)：In the field of electrical engineering, engineers who understand electric and magnetic phenomena are required. However, the phenomena are invisible and difficult to understand for beginners. In this research, we proposed an educational simulator to visualize an electromagnetic field in a three dimensional virtual reality (VR) field. We developed a finite-difference-time-domain electromagnetic field simulation system. In this research, GPU programming is attached to the system for improving the simulation speed. By using more than 100 GPU threads, the speed was reduced to 0.1 second per time step, and it is suitable for education. Furthermore, the electric circuit simulation model consisting of a parallel plate capacitor and DC voltage supply was developed and applied for education. As a result, good comments for the developed VR system are obtained.

研究分野：電気工学

キーワード：電磁界シミュレーション 仮想現実(バーチャルリアリティー) FDTD法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

通信技術の普及や信号処理の高速化などのため、電気系分野においては電磁気学を理解できる人材の必要度が高まっている。しかし、電磁気学を学ぶ際、電界や磁界の変移などの現象は目視できないため、初学者には直感的に理解することが難しい。そのため、さまざまな電磁界教育教材¹⁾が開発されているが、その大半は2次元で表現を行うもので、3次元で視覚的に学習し理解できる教材はない。

2. 研究の目的

本研究では、仮想現実(Virtual Reality: VR)技術を用いて電磁界の様子を仮想空間上に3次元で可視化し、パラメータの変更をその場で行いながら、初学者でも視覚的かつ直感的に理解するためのシミュレーションシステムを開発し、教育に適用することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 提案する電磁界シミュレーションシステムの概要

本研究で提案する電磁界シミュレーションシステムの構成を図1に示す。このシステムでは、室内などのルームスケールの空間中を自由に移動しながら、シミュレーションに必要な物体の生成や各種パラメータの設定を行った後、電磁界シミュレーションを実施するものである。研究開始時には、当時唯一のルームスケールデバイスであった HTC 社製 Vive を使用していたが、可搬性に優れて同様の機能を持つ、Oculus 社製 Oculus Rift が発売されたため、利用機器を変更した。このシステムを実現するために、図2のフローチャートに従いVR用の開発が可能な開発環境 Unity によりプログラムを開発した。途中の電磁界の計算については時間領域の計算に優れた時間領域差分法(FDTD法)を用い計算1回ごとに表示を行う仕様になっている。また、FDTDの計算について、普段は画像処理に用いられるGPU(Graphics Processing Unit)装置を用いることで高速化を図り、現実的な時間でシミュレーションを終えられるように工夫した。

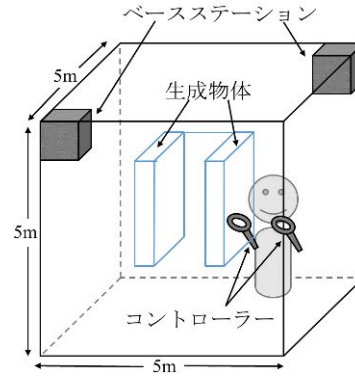


図1 提案システム(Vive使用時)

(2) 電磁界の計算手法と高速化について

電磁界の計算手法として、マクスウェルの方程式を利用した有限要素法やモーメント法が提案されている²⁾。本研究では、時間領域で電磁界の計算及び表現をする必要があるため、時間領域で解析結果を更新するFDTD法を採用した。これは、解析空間を単位セルに分割し、電界と磁界を交互に配置した空間モデル(図3(a))について、時間差分で電界と磁界を交互に計算する(図3(b))手法である³⁾。FDTD法は複数のセルについて電磁界を同時に計算することが可能なため、並列計算に適した手法である。しかし、多数のセルを一度に計算する必要があることから、シミュレーション領域(セル数)を拡大した際に、計算時間が遅くなるという問題があった。

計算時間の問題を解決するために、本研究ではGPUによる並列計算を導入した。GPUは本来、4Kなどの大量の画素を同時に計算処理するため、小規模な演算コアを多数搭載している。そのため、大量の計算を並列にかつ高速に行うことが可能である。このGPUの特性を使用して、並列演算を行う技術が確立されている⁴⁾。

本研究では、FDTD法にGPUプログラミングを適用するため、Unity内に実装されているCompute Shaderを使用し、1つのセルの電磁界計算に1スレッドを割り当てる方式で、最大1000個のスレッドを同時実行できるプログラムを実装した。また、GPUが一度に計算する領域(スレッドグループ)を全解析領域で順次切り替えて計算を行っている(図4)。

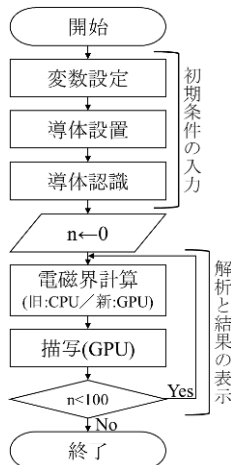


図2 フローチャート

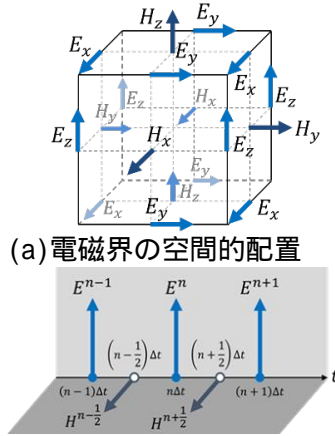


図3 FDTDの計算方法

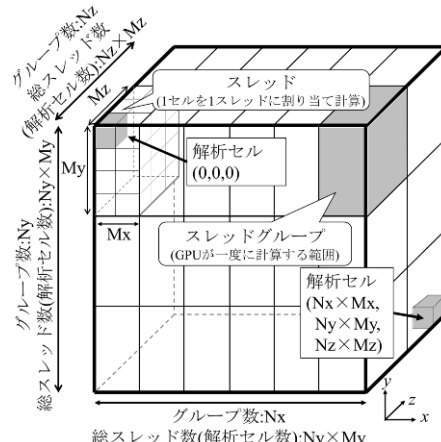
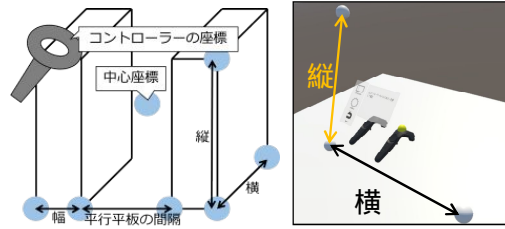


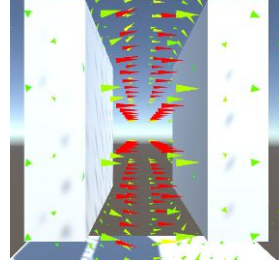
図4 GPUでの計算手法

(3) インターフェースについて

提案するシミュレーションシステムで直感的な操作を実現するため、コントローラーを使った座標指定による入力を実現した。並行平板の例を図5に示す。並行平板については、各平板の大きさや間隔などをコントローラーで決定し、物性値などは手元のパッドで操作する仕組みになっている。また、実行結果は計算後すぐに3Dディスプレイ上に表示される仕組みとなっており、体験者が違和感やストレスなく操作し、可視化された電磁界を見れる仕組みとして試作を行った。



(a) 座標の定義 (b) 座標の指定



(c) シミュレーション結果の表示

図5 シミュレータのインターフェース

(4) 教育への適用

実際の使用感を検討するため、展覧会(メーカーズフェア)に出典を行い、初学者の方に体験をしていただいた。

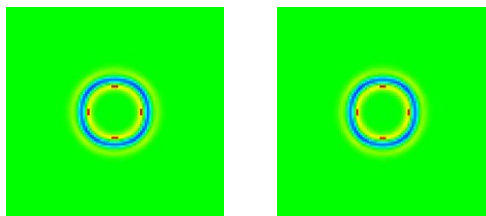
4. 研究成果

(1) シミュレーションシステムについて

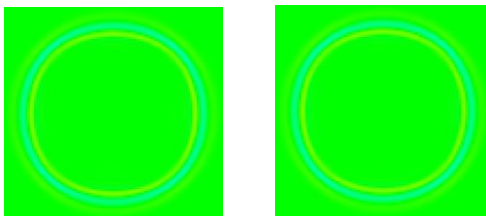
シミュレーションの精度について、従来のCPUを用いたものとGPUを用いたもので比較検討を行った。この検証では、まず一辺100セルの解析領域について、中心点に振幅0.5、中心周波数15GHzのガウシアンパルスを入力したときの解析点でのEz(電界のz軸成分)の大きさについて精度の確認を行った。図6に中心断面(z=50)でEz成分の比較を示す。これにより、タイムステップ50及び100のいずれの場合においてもGPUとCPUの計算に大きな差が見られないことが分かった。また、(x,y,z)=(60,50,50)の点について数値で比較を行った結果(図7)、誤差は 10^{-8} [V/m]以下であった。この微小な差については、倍精度(double)で計算を行うCPUに比べて、単精度(float)で計算するGPUの計算精度が劣るためと考えられるが、実使用上問題ない程度と考えられる。

シミュレーション時間についても比較を行った。100セル立方および200セル立方でのシミュレーション時間の比較結果を表1に示す。GPUについては、1セルで計算した場合と1000セルを1つのスレッドグループにした場合との比較を行った。この結果より、CPUのみでの計算時間に比べ、1000セルを1スレッドグループとしてGPUで計算した場合、65倍以上の高速化を実現し、200セル立方でのシミュレーションでも、計算1回あたり、0.1秒以下と実用上問題ない速度での計算を実現した。

以上の結果より、計算精度および計算速度の面で実用上問題ないシミュレーションシステムを構築することができた。



(a)従来型(CPU使用) (b) 提案型(GPU使用)
ステップ数: 50 ステップ数: 50



(a)従来型(CPU使用) (b) 提案型(GPU使用)
ステップ数: 100 ステップ数: 100

図6 結果比較 (100セル立方、Ez、z=50)

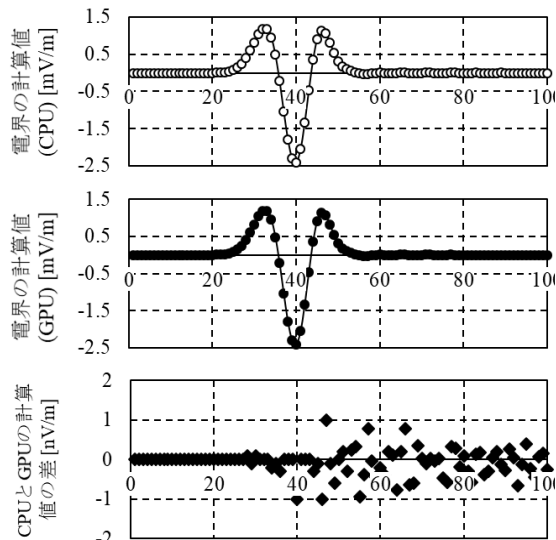


図7 電界計算値の比較 位置(60,50,50)

表1 電磁界計算100回の実行時間比較

条件	解析領域	100 × 100 × 100			200 × 200 × 200		
	CPU/GPU	CPU	GPU	CPU	GPU	GPU	
	スレッド数	1	1	1000	1	1	1000
処理時間[s]		73.1	2.0	1.1	594.7	15.8	9.0
CPUとの比		/	36.6	66.5	/	37.6	66.1

(2)教育への適用

メーカーズフェアの会場を借り、Oculus Riftを使用した初学者向けの体験会を実施した。体験会の様子を図8に示す。また、体験後の電磁界の概念理解についてのアンケートの結果について、図9に示す。アンケートの結果より、シミュレータで理解できた(選択肢5)およびまあまあ理解できた(選択肢4)と答えた方が6割以上と多くみられたものの、そうでない方も3割以上いる結果となった。自由欄のコメントについて、操作性の違和感についての記述もあり、ユーザーインターフェースの改善が必要ということが示唆された。



図8 体験会の様子

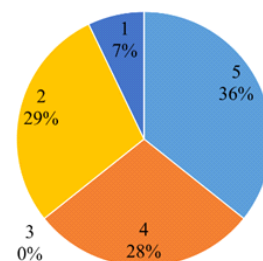


図9 アンケート結果
(電磁界についての理解度)

(3)まとめ

本研究機関において、仮想現実技術を用いた3次元入出力を持つ電磁界シミュレーションシステムを開発し、初学者教育への適用を行った。システムについては、FDTD法の既存技術にGPUプログラミング技術を組み合わせることで実用上問題ないものに仕上げることができたと考えている。提案するシミュレーションシステムの教育への適用については、初学者に体験していただいた結果、一定の効果があることが確認できたが、インターフェースを改善する必要が認められるものになった。

引用文献

- 1) 相知 政司, 古川 達也, 田中 慎一郎: Javaを用いたサーバ・クライアントモデルに基づく教育支援用数値電磁界解析システムの開発, 電気学会論文誌A(基礎・材料・共通部門誌), 125巻, 8号, pp. 621-628, 2005.11
- 2) 田辺 英二: 三次元電磁界シミュレータの現状と応用, エレクトロニクス実装学術講演大会 講演論文集, 20巻, pp. 37-39, 2006.3
- 3) 宇野 享, 何 一偉, 有馬 卓司: 数値電磁界解析のためのFDTD法, コロナ社, 1998
- 4) 浅井 秀樹, 井上 雄太, 關根 惟敏: 高速三次元電磁界・回路シミュレーション技術の現状と将来展望, 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, 7巻, 3号, pp. 197-209, 2014.1

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5件)

目崎 照幸, 外谷 昭洋: "VR技術による教育用電磁界解析モデルの提案", 2019年電子情報通信学会総大会 情報・システム講演論文集1, pp. 160, 2019.03.05

目崎 照幸, 外谷 昭洋: "教育用3次元電磁界シミュレータの高速化についての検討", 第20回IEEE広島支部学生シンポジウム 論文集(査読あり), pp. 126-129, 2018.11

二葉 知泰, 目崎 照幸, 外谷 昭洋: "VR技術を用いた電磁界シミュレータの検討", 第65回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, pp. 01-053(18a-P1-20), 2018.03.05

目崎 照幸, 二葉 知泰, 外谷 昭洋: "VR技術による電磁界解析システムの構築", 第65回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, pp. 01-052(18a-P1-19), 2018.03.05

目崎 照幸, 二葉 知泰, 外谷 昭洋: "VR技術を用いた電磁界シミュレータの開発", 電気学会中国支部 第10回高専研究発表会 講演予稿集, pp. 17-18, 2018.03

6. 研究組織

- (1) 研究分担者: 該当なし
- (2) 研究協力者: 該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。