

FDTD 法を用いた電磁波シミュレーションのウェブアプリ開発

Development of Web Application for Electromagnetic Wave Simulation Using the FDTD Method

ジラール 能英瑠 柏 達也 辻 寧英*
Noel Girard Tatsuya Kashiwa Yasuhide Tsuji*

北見工業大学 室蘭工業大学*
Kitami Institute of Technology Muroran Institute of Technology*

1. 研究の目的

従来の電磁波シミュレーションソフトウェアは、有識者向けに作られた多機能で専門的なデスクトップ型ソフトウェアが主流である。複雑な構造を解析できるが、そのための設定作業が複雑となる。特に初心者にとっては学習プロセスが難しいという問題がある[1], [2], [3], [4]。

本研究の目的は、これらの制約を克服するために、ブラウザ上で動作する二次元電磁波シミュレーションツールを開発することである。幅広いユーザーが簡単にシミュレーションを利用でき、電磁波工学の理解に非常に有効である。

1. アプリのシステム

このウェブアプリはブラウザ上で電磁波シミュレーションを実行する。シミュレーションの計算は全て自身のPCで行われ、結果は動画でリアルタイムに描写され、電磁波の伝播や相互作用を視覚化できる。

1. フローチャート

本アプリのフローチャートは「Pre Processor」「Simulator」「Post Processor」の3つの主要な部分に分けられる。



図1 ウェブアプリのフローチャート。

4. FDTD 法

本アプリではシミュレーション方式としてFDTD法 (Finite Difference Time Domain)を用いている。FDTD法はMaxwell方程式を時間的、空間的に離散化する方法で、時間ステップ Δt 毎に解析領域内の各格子点の電磁界強度を計算する手法である。FDTD法を用いることで電磁波の伝搬過程を空間的・時間的に可視化する事ができる。

4. 1 吸収境界条件

FDTD法においては吸収境界条件が必要となる。本研究において吸収境界条件はCPML法 (Complex Frequency Shift PML) を採用した。

5. ウェブアプリの開発プロセス

5. 1 環境構築

1. Visual Studio Code (VSCode)をインストール
VSCodeは高機能なコードエディタであり、Reactアプリケーションの開発に適した豊富な機能と拡張性を提供する。
2. Node.jsをインストール
Reactプロジェクトの依存関係の管理と開発サーバーの実行が可能となる。
3. VSCodeのターミナルで`npx create-react-app`コマンドを実行する
新しいReactプロジェクトを初期化し、プロジェクトの土台を築く。

なお、Reactの詳細については下記のリンクが参考となる。

<https://www.youtube.com/watch?v=hQAHS1TcmY&t=111s>

5. 2 Reactプロジェクトの構築

プロジェクトの初期化後、アプリケーションの主要なコンポーネントと機能を開発した。この過程には、UIデザイン、シミュレーションロジックの実装、およびユーザーインタラクションのためのイベントハンドリングが含まれる。

5. 3 システム構成

この電磁場シミュレーションツールは、バニラ JS (純粋な JavaScript) と React (JavaScript ライブラリ) を組み合わせて構築した。

バニラ JS の役割:

バニラ JS は FDTD による電界・磁界計算と画面描写に用いた。純粋な JavaScript を使用することで、物理計算を効率的に実行する。

React の役割:

React はユーザーインターフェースの設計、パラメータの変数管理、イベントハンドリングなどのフロントエンド側の機能を担う。

本アプリでは、第三者が開発した便利な UI 要素 (例えばスライダーやグラフなど) を、開発環境に取り入れている。これにより、高品質で直感的に操作できる UI を容易に実装できる。

5. 4 React 思想に基づいた開発

宣言的ビュー:

本ウェブアプリでは、電磁波シミュレーションのパラメータを React の「useState 変数」として宣言・管理する。この方法により、パラメータが更新されるたびに、関連する UI が自動的に更新される。また、「useEffect」という機能を使用して、パラメータの更新に応じて、シミュレータのプレビュー画面の再描写など特定の操作を行うことができる。

コンポーネントベース:

本ウェブアプリでは、画面表示を小さな独立した部品 (コンポーネント) に分けた。これらのコンポーネントはそれぞれ別の JavaScript ファイルで管理され、全体の構造が明確で、変更や保守がしやすくなる。

データフローの単一方向:

このウェブアプリでは、設定情報を「親コンポーネント」から「子コンポーネント」へと一方向に流す方法を採用した。電磁波シミュレーションのパラメータは、親元コンポーネントで宣言され、それを必要とする子コンポーネントに渡される。この方法により、データの流れがわかりやすくなる。

6. 作成したウェブアプリ

本研究では以下のウェブアプリを作成した。

- アレーアンテナ
- 2次元 FDTD シミュレータ (Ez, Hx, Hy) (波源: 点波源)
- 2次元 FDTD シミュレータ (Ez, Hx, Hy) (波源: 平面波) (Total Field/ Scattered Field)

- パラボラアンテナ (Ez, Hx, Hy) (波源: 平面波) (Total Field/ Scattered Field)

6. 1 アレーアンテナ

アレーアンテナは、複数の放射源を一定の間隔で配置することにより波の干渉原理を活用し、特定方向への電波放射を強化する機能を持つアンテナである。

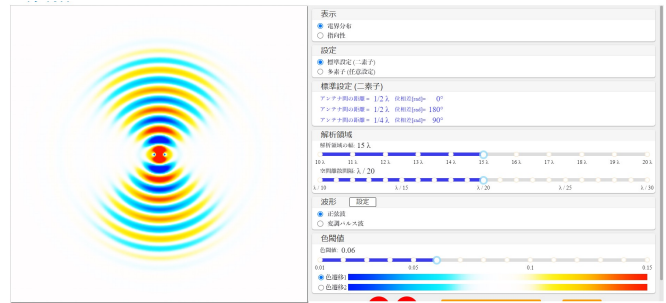


図2 アレーアンテナのシミュレーション動画。

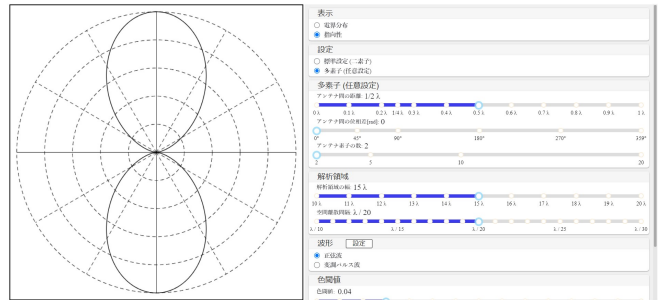


図3 アレーアンテナシミュレーションの設定画面と指向性。

図2は波源の数: 2, アンテナ間の位相差 0° , アンテナ間の距離: 0.5λ の場合のシミュレーション結果である。図3のシミュレーション動画と図2の指向性より、本シミュレータは精度よくシミュレーションを行っていることを確認できる。

6. 2 2次元 FDTD シミュレータ (Ez, Hx, Hy) (波源: 点波源)

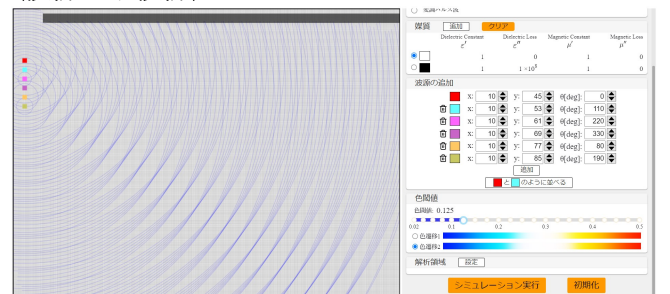


図4 2次元 FDTD シミュレータの設定画面。

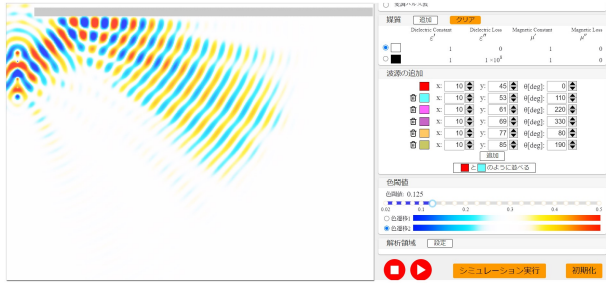


図5 2次元 FDTD シミュレータのシミュレーション動画.

- ・格子状の解析領域に媒質と点波源が設置可能.
- ・媒質の複素誘電率・複素透磁率を入力可能.
- ・点波源は1～8個まで設置可能.

解析領域の上部には金属が設置されており、電磁波が反射している.

6. 3 2次元 FDTD シミュレータ 波源: 平面波

TF/SF 境界は解析領域を全領域 (Total Field) と散乱領域 (Scattered Field) に分ける. 本シミュレータでは全領域での媒質の設置や入射角の調節ができる.

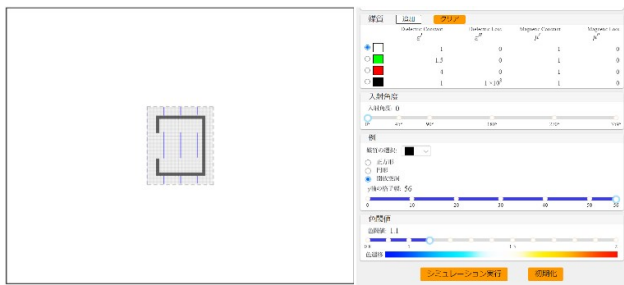


図6 2次元 FDTD シミュレータ (波源: 平面波) の設定画面 (開口空洞モデル).

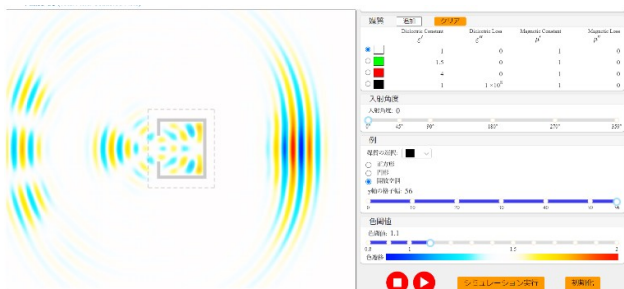


図7 2次元 FDTD シミュレータ (波源: 平面波) のシミュレーション動画 (開口空洞モデル).

開口空洞に進入した電磁波の共振を観察できる.

6. 4 パラボラアンテナ 波源: 平面波

本シミュレータではパラボラアンテナの形状 (焦点距離・直径距離) や全領域の横幅を調節することが可能である.

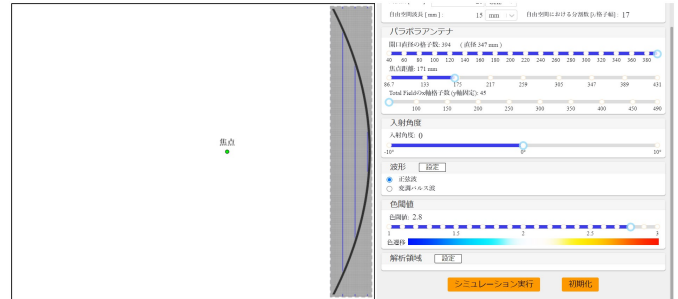


図8 パラボラアンテナシミュレーションの設定画面.

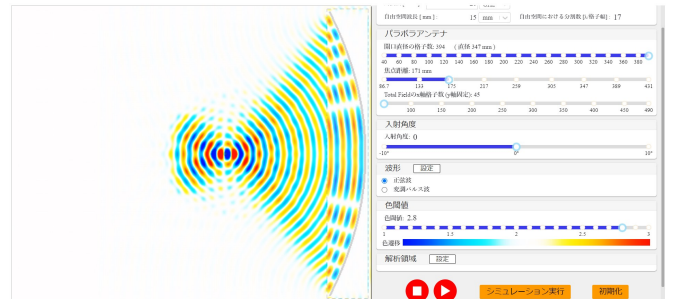


図9 パラボラアンテナのシミュレーション動画.

焦点位置に電磁波が集中していることがわかる.

7. ソースコードの公開

開発したウェブアプリのソースコードはGitHub上で公開している. 以下のリンクからアクセスできる.

- ・アレーアンテナ
<https://github.com/perugo/antenna>
- ・2次元 FDTD シミュレータ (Ez, Hx, Hy)
波源: 点波源
<https://github.com/perugo/drawing>
- ・2次元 FDTD シミュレータ (Ez, Hx, Hy)
波源: 平面波 (Total Field/ Scattered Field)
<https://github.com/perugo/tfsf>
- ・パラボラアンテナ (Ez, Hx, Hy)
波源: 平面波 (Total Field/ Scattered Field)
<https://github.com/perugo/parabolic>

8. 結論

このウェブアプリは電磁気学を学ぶ学生等に有効なツールになると考えている. 本研究で作成したウェブアプリは以下のサイトで公開している.

<http://kashiwa.weblike.jp/>

今後は、高校や大学で学ぶ光や音の現象を再現できるシミュレータを作りたい。学んだ知識を実践形式で再確認できるシミュレータの開発に関心がある。

9. 参考文献

- [1] マイクロ波シミュレータの基礎, 山下榮吉編, 電子情報通信学会, 2004.
- [2] 計算電磁気学, 電気学会編, 培風館, 2003.
- [3] 柏達也, “電磁界シミュレーション法 – FDTD, FEM, MoM のエッセンス –,” 日本計算工学会誌「計算工学」, vol. 10, no. 3, pp. 1171-1174, July 2005.
- [4] 中出, 江口, 田口, 柏, “Java を用いた音場 FDTD シミュレーション GUI の開発,” 電子情報通信学会北海道支部インターネットシンポジウム, pp. 6-7, Feb. 2004.