

電磁界シミュレータ COMSOL を用いて, 具体的に解説する!

# 有限要素法による 電磁界シミュレーション

## マイクロ波回路・アンテナ設計・EMC対策

著者：平野 拓一

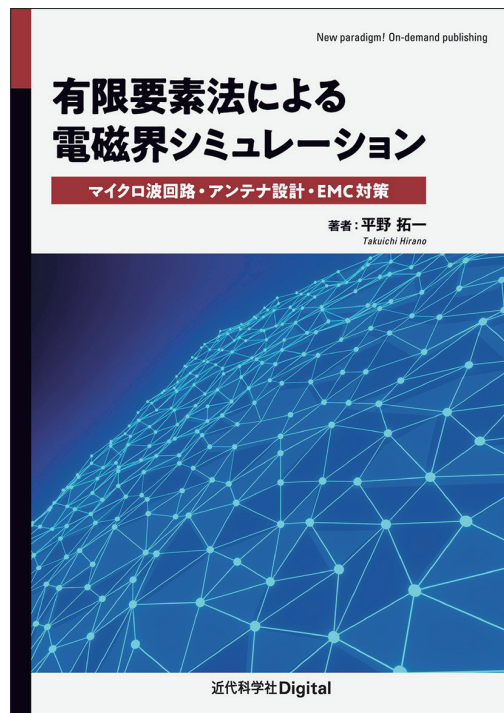
仕様：A5判・並製・モノクロ・本文220頁

印刷版・電子版価格(税抜)：2,600円

ISBN：978-4-7649-6012-1 C3042

発行：近代科学社Digital

発売：近代科学社



## 内容紹介

本書は、有限要素法で電磁界シミュレーションを行う際に必要とされる、検証方法や手順などの知識をまとめた書籍です。

まず、電磁界の物理的性質およびマイクロ波やアンテナ工学の基礎知識を説明し、次に最低限の数式を用いて、有限要素法による電磁界シミュレーションの原理を説明します。続いて、電磁界シミュレータ COMSOL を用いた実際のシミュレーションの流れ、豊富な例題・解析例、また EMC 対策電磁界シミュレーションを応用する手法などの解説を行います。

図を多数掲載し、丁寧な記述を心がけました。

## 著者紹介

平野 拓一 (ひらの たくいち)

東京都市大学 理工学部 電気電子通信工学科 准教授  
博士(工学)

1998 年名古屋工業大学工学部卒。

2000 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程卒。

2002 年東京工業大学助手。2007 年同助教。2018 年より現職。

専門は、電磁界シミュレーション、アンテナ・マイクロ波工学、無線通信工学。著書に『高周波対応部材の開発動向と 5G、ミリ波レーダーへの応用』(共著, 技術情報協会, 2019), 『磁性材料・部品の最新開発事例と応用技術』(共著, 技術情報協会, 2018), 『電磁気学』(共著, 培風館, 2009), 『アンテナ・無線ハンドブック』(共著, オーム社, 2006)がある。

全国の書店・ネット書店にてお求めいただけます。お取り扱い店は以下のウェブページをご覧ください。

[https://www.kindaikagaku.co.jp/book\\_list/detail/9784764960121/](https://www.kindaikagaku.co.jp/book_list/detail/9784764960121/)



## 近代科学社 Digital

<https://www.kindaikagaku.co.jp/kdd/>

近代科学社 Digital は、株式会社近代科学社が推進する 21 世紀型の理工系出版レーベルです。デジタルパワーを積極活用することで、オンデマンド型のスピーディで持続可能な出版モデルを提案します。

### お問い合わせ先

株式会社近代科学社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-105  
神保町三井ビルディング

電子メール: [contact@kindaikagaku.co.jp](mailto:contact@kindaikagaku.co.jp)

# 目次

## 第1章 電磁界シミュレーションのための基礎知識

- 1.1 マクスウェルの方程式
  - 1.1.1 積分形
  - 1.1.2 微分形
  - 1.1.3 時間調和（微分形）
  - 1.1.4 波動方程式
- 1.2 電磁波の性質
  - 1.2.1 電磁波・速度・周波数
  - 1.2.2 偏波
  - 1.2.3 エネルギーと熱損失
  - 1.2.4 複素誘電率と誘電正接
- 1.3 解析の種別
  - 1.3.1 励振解析
  - 1.3.2 導波路解析
  - 1.3.3 共振器解析
- 1.4 マクスウェル方程式の時間変化項の近似
  - 1.4.1 静電界と静磁界（電圧と電流）
  - 1.4.2 静磁界近似
  - 1.4.3 静電界近似
  - 1.4.4 高周波近似
- 1.5 解析問題の次元
- 1.6 電磁界解析アルゴリズムの種類
  - 1.6.1 有限要素法
  - 1.6.2 モーメント法
  - 1.6.3 FDTD法

## 第2章 マイクロ波回路とアンテナの基礎

- 2.1 集中定数と分布定数
- 2.2 分布定数線路
- 2.3 Zパラメータ/Yパラメータ/Sパラメータ
- 2.4 伝送線路
  - 2.4.1 同軸線路
  - 2.4.2 平行2本線路
  - 2.4.3 平行平板線路
  - 2.4.4 マイクロストリップ線路
  - 2.4.5 方形導波管
  - 2.4.6 一般の線路
- 2.5 アンテナ
  - 2.5.1 反射係数
  - 2.5.2 入力インピーダンス
  - 2.5.3 電圧定在波比
  - 2.5.4 スミスチャート
  - 2.5.5 放射効率
  - 2.5.6 利得
  - 2.5.7 放射パターン
  - 2.5.8 実効長と実効面積
  - 2.5.9 フリスの伝達公式
- 2.6 散乱問題
  - 2.6.1 散乱断面積
  - 2.6.2 レーダー方程式
- 2.7 固有値問題

## 第3章 有限要素法(FEM)の原理

- 3.1 有限要素法の歴史
- 3.2 有限要素法の定式化
- 3.3 境界条件と励振モデル
  - 3.3.1 モデル化の要
  - 3.3.2 境界条件
  - 3.3.3 励振モデル

## 第4章 FEMシミュレータ利用の勘所

- 4.1 シミュレーションの流れ
  - 4.1.1 モデリング
  - 4.1.2 解析条件の設定
  - 4.1.3 解析
  - 4.1.4 結果出力
- 4.2 ダイポールアンテナの解析例
  - 4.2.1 モデリング
  - 4.2.2 解析条件の設定, 解析
  - 4.2.3 結果

## 第5章 規範問題と解析例

- 5.1 励振解析
  - 5.1.1 導波路モード励振（導波管スロットアンテナ）
  - 5.1.2 平面波入射（電氣的完全導体球による散乱）
- 5.2 導波路解析
  - 5.2.1 同軸線路
  - 5.2.2 平行2本線路
  - 5.2.3 マイクロストリップ線路
  - 5.2.4 方形導波管
- 5.3 共振器解析

## 第6章 EMC対策のための電磁界シミュレーション

- 6.1 EMC について
- 6.2 不要放射の原因
- 6.3 不要放射の評価について
  - 6.3.1 試験方法
  - 6.3.2 EMI/EMS 試験用のアンテナの特性モデル化
  - 6.3.3 シミュレータによる可逆性の確認
- 6.4 EMC 対策のための電磁界シミュレータ活用例
  - 6.4.1 フェライトコアによるコモンモードノイズ対策
  - 6.4.2 マイクロストリップ線路コーナーの不要放射
  - 6.4.3 ツイストペア線の解析
  - 6.4.4 ボンディングワイヤのシミュレーション
  - 6.4.5 金属シールド・電波吸収体の解析
- 6.5 シグナルインテグリティ/パワーインテグリティのための電磁界シミュレータ活用例
  - 6.5.1 線路間の結合
  - 6.5.2 電源線路のためのデカップリングコンデンサの設計
- 6.6 まとめ

## 付録A 有限要素法の理論の補足

- A.1 ノードベース有限要素法のスプリアス解の発生要因
- A.2 式(3.2)の導出
- A.3 導波路モード励振の定式化

## 付録B 1次元問題による電磁界解析のための有限要素法の説明

- B.1 1次元問題
- B.2 有限要素法(FEM)
  - B.2.1 行列方程式の導出
  - B.2.2 境界条件
  - B.2.3 励振
- B.3 モーメント法
- B.4 FDTD法
- B.5 FDFD法
- B.6 有限要素法のプログラムサンプルコード