

電磁波ノイズシミュレーションのための等価回路化の研究

評価技術課 宮田直幸、佐々木克浩、塚本吉俊

1. はじめに

電子機器は電磁ノイズを発生し、それによる誤動作が問題となることから、EMC (Electromagnetic Compatibility) に関する国際規格 CISPR では許容される放射エミッション等の限度値が規定されている。EU ではそれに準拠した EN 規格を満たし、CE マーキングを取得することが要求され、国内においても VCCI による自主規制があるため、電子機器を製造・販売するためには、それらの規格値を満たすことが重要となっている。

そのため電波暗室の利用による電磁ノイズ発生量等の確認が必要となるが、事前にそれらを見積もることができれば設計において効率的である。電子回路基板のパターンや、各種ケーブルの配置等導電性構造物間の位置関係は回路を集中定数のそれと見なした挙動から大きく変えてしまう。それらの影響を評価するには、構造をモデル化し、Maxwell 方程式を解く必要がある。ただし、重要なのは集中定数素子を接続する部位をポートと見なした時の導電性構造物全体の周波数特性の評価であり、それらができれば後はモデル化した構造物の詳細よりもずっと少数のポート数を持つ集中定数素子として SPICE 等回路シミュレーターに入力することで評価が可能になる (図 1)。そのような評価のためには、PC 等を用いたシミュレーションを行う必要がある。

手法としては、例えば周波数領域手法では有限要素法¹⁾、時間領域手法では FDTD 法²⁾がある。両者とも境界条件等の困難を解決する処方が十分に整備されており、よく用いられる。一方、一つの波源に対する電磁場の計算に対して、前者では行列演算のため比較的多数回の演算が必要なのに対して、後者ではメッシュの各点での計算をメッシュ数に依存しない緩和時間まで (メッシュ数に依存するが比較的少ない回数だけ) 反復するため計算効率が高く、計算規模が大きい場合有利である。

さらに後者においては並列化が容易であるし、フー

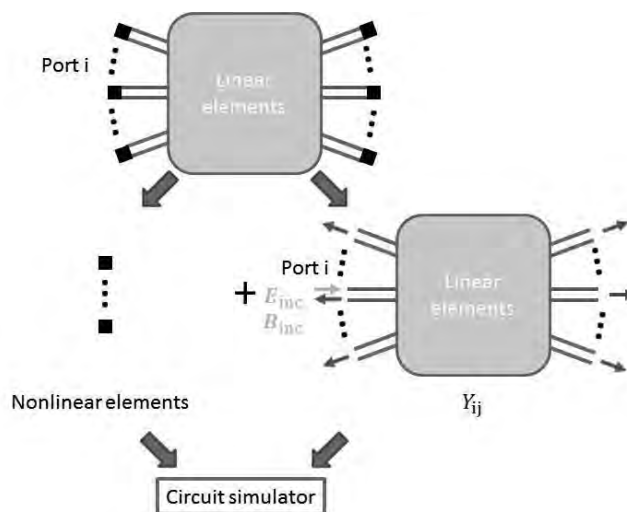


図 1 手法の概念図

導電性構造物も含めて多ポートの線形素子と見なす。

リエ変換により周波数特性を一挙に得られるという利点も併せ持つ。

それら FDTD 法の利点は 3 次元的なメッシュを持つ時間領域手法に共通のものであるが、FDTD 法はスタガード格子とも呼ばれる電磁波計算に特化した格子を持つため、汎用性/拡張性に難点がある。

それゆえ FDTD 法と同様に時間領域手法でありながら高精度化が可能で汎用性もあると考えられる CIP 法⁴⁾や IDO 法のような微分値も利用して局所的な補間関数を構成する手法は、電磁ノイズ対策のみならず、電磁波が関わる精度が求められる計算にも今後重要になってくると考えられる。現状として FDTD 法の方が CIP 法等と比較してよく使われる理由としては、上記のことのほかに高周波での振幅誤差が CIP 法ほど小さく、周波数特性を見る目的のためには劣っているとは言えないことや、CIP 法等の方が計算量や必要メモリ量が数倍程度以上であることが考えられる。しかし前者は CIP-CSL4 法等への改良で克服できる⁴⁾し、後者はメッシュ数に依存せず、高精度であることで大規模な計

算ではむしろ有利になるとも考えられる。

本研究ではそれらの電磁場への適用の際にネックとなる磁場の無発散条件： $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ を保証する処方について考案した。

2. 手法の概要

本研究では均質媒質の場合に、ポテンシャル（ゲージ場）についての方程式に書き換える。そのような場合、今度はスカラー関数の勾配の不定性を生じるため、通常はゲージ固定と呼ばれる処方を行う。ゲージ固定を行わなかった場合の数値的不安定性については未知であるうえ、その条件そのものが新たな困難となる場合もあるが、以下の処方では困難を生じない。本研究では特に Lorentz ゲージによるゲージ固定を行う。以下、簡潔に説明する。

Green の定理により、「閉曲面で空間を切り取ると、その内部における波の場は“内部の波源”と“閉曲面上における場の値かその空間微分値”のみで定まる」ことが知られており、特にそのベクトル対応形⁵⁾はモーメント法でも利用される結果である。そこで、Lorentz ゲージの下でのポテンシャルが各成分独立な波動方程式を満たすことを用い Green の定理を適用することで、格子点における値を、波源によるものと補間によって得られた表面積分から求めることを考えた。

図 2 にこれらの最終的な結果をまとめた。完全な時間領域手法では光速を超えて波束が伝播しない条件を保証することが難しい。ここでは単一周波数の時間領域的である反復的な手法を示す。ゲージ不変量である電磁場のみを変数とした場合と比較すると、完全導体内部であってもメッシュを切り、内部の場を計算しなければならないという違いがある。補関関数の構成等は幾つかのパターンが考えられ、今後の課題である。

キーワード：EMC、電磁波、シミュレーション、CIP 法、IDO 法

Numerical calculation method for electromagnetic wave

Toyama Industrial Technology Center; Naoyuki Miyata, Katsuhiko Sasaki and Yoshitoshi Tsukamoto

In recent years, it has become important for engineers to design electrical appliances that satisfy electromagnetic compatibility (EMC) standards. Therefore, some numerical calculation methods are utilized to predict electromagnetic interference, prior to the use of an anechoic chamber. Especially, methods such as CIP and IDO, i.e., methods that use their partial differential values as well as values at each point, have high calculation efficiency and high scalability. We propose a prescription to guarantee the divergence-free constraint of the magnetic field for such methods.

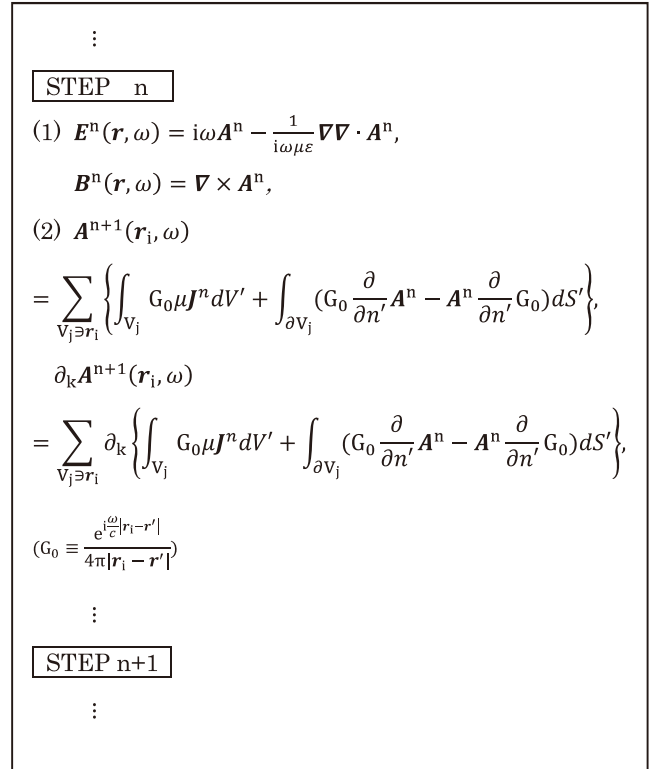


図 2 数値計算手法の概要

3. おわりに

今年度は数値計算スキームのみに留まったため、今後その有効性について実際の数値計算結果に基づいた議論が必要である。

「参考文献」

- 1) 山下他：電磁波問題の基礎解析法, コロナ社(1987).
- 2) A. Taflove and S. C. Hagness : Computational electrodynamics, ARTECH HOUSE (2005).
- 3) 矢部他：CIP 法, 森北出版(2003).
- 4) 大久保他：信学技報 AP2006-104(2006-12).
- 5) J. A. Stratton and L. J. Chu : Physical Review, 56(1939)99-107.