

研究ノート

電磁界シミュレーションに関する技術調査

依田康宏*1、竹中清人*1、河瀬賢一郎*2

Research on Electromagnetic Field Simulation

Yasuhiro YODA*1, Kiyoto TAKENAKA*1 and Kenichiro KAWASE*2

Industrial Research Center*1*2

電磁界シミュレーションに関する技術調査を、文献調査やソフトウェアの利用・評価を通して行った。電磁界シミュレーションには主に時間領域の手法として FDTD 法、周波数領域の手法としてモーメント法、FEM 法があり、それぞれの手法に応じて得意、不得意な解析分野があることがわかった。また、簡易的なモデルを想定して、電磁界シミュレーションソフトを用いた解析を行い、適用可能性を評価した。

1. はじめに

自動車安全技術や自動運転車の開発競争が激しい中、車載電子機器は多様化している。このため、電子機器の開発企業にとって、放射電磁波に関する EMC 設計、評価をいかに効率的に行うかが、機器開発を円滑に進める上で重要となっている。

電磁界シミュレーションは、実際の電子機器を製作する前に、様々な設計パターンを模擬することで最適な設計パターンを見つけ開発工数を削減するとともに、設計の妥当性や現象を理解するのに有効なツールである。しかしながら、当センターではこれまで電磁界シミュレーションソフトを導入しておらず十分な知見を蓄積していない。そこで、この分野の技術動向及び適用可能性を把握するために調査を行った。

2. 調査方法

文献¹⁾²⁾により電磁界シミュレーションの基礎理論や、電磁界シミュレーションの種類、用途・得意分野などを技術調査した。また、簡単なモデルを想定して、電磁界シミュレーションソフトを用いた解析を行い、妥当性を検証した。

3. 調査結果及び考察

3.1 文献による調査

3.1.1 電磁界シミュレーション解析法

電磁界シミュレーションはすべて以下のマクスウェル方程式を元に計算を行う。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t (= -\mu \partial \mathbf{H} / \partial t) \quad (\text{ファラデーの法則})$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{i} + \partial \mathbf{D} / \partial t (= \mathbf{i} + \varepsilon \partial \mathbf{E} / \partial t) \quad (\text{アンペアの法則})$$

電磁界シミュレーションには主に、時間領域の解析

法として FDTD 法(時間領域差分法)、周波数領域の解析法としてモーメント法、FEM 法(有限要素法)がある。

表 1 に各シミュレーション解析法の概要と代表的なソフト例を示す。

表 1 各電磁界シミュレーション解析法の概要

解析法	解析領域	解析対象	代表的ソフト
FDTD 法	時間	空間全体	XFDTD
モーメント法	周波数	物体表面	NEC(ネック)
FEM 法	周波数	空間全体	HFSS

FDTD 法では、少しずつ時間を進めて電磁界を計算する。差分時間ごとに演算を行うだけなので計算が安定している。時間領域の解析なので、過渡解析が得意、1 回の解析で広帯域の結果を求められるなどの特徴がある。

モーメント法では、空間全体でなく構造の表面(境界のみ)で解析し、計算速度の面で有利である。導体構造の解析によく利用されるが、複雑で不均一な構造の解析には適さない。FEM 法では、三次元空間を細かく分割し、空間全体で解析する。任意の形状、材質に容易に対応可能である。周波数領域の解析法は、時間領域の解析法と比較すると、低周波モードや固有モード、共振性の高い構造の問題に適する特徴がある。

3.1.2 電磁界シミュレーションソフトでの解析の流れ

電磁界シミュレーションソフトは一般的な CAE ソフトと同様に次の 3 つの機能から構成される。

(1) プリプロセッサ(前処理)

*1 産業技術センター 自動車・機械技術室 *2 産業技術センター 自動車・機械技術室 (現尾張繊維技術センター 機能加工室)

(2) ソルバー(解析)

(3) ポストプロセッサ(後処理)

(1)では、形状モデル作成、材料定数、境界条件、励振部、分割メッシュサイズなどの各種解析条件の設定を行う。励振部には、集中ポート、導波路ポート、平面波入射などが設定でき、用途に応じて選択する。(2)では、(1)での形状定義や各種設定条件をもとに、放射電磁界分布や表面電流密度などのシミュレーション解を計算する。(3)では、計算した解析結果をコンター図やベクトル図などで可視化する。

3.2 簡易的なモデルによるシミュレーション

FEM 法による電磁界シミュレーションソフト Femtet(ムラタソフトウェア(株))を用いて、穴あり金属筐体のシールド特性評価を行った。金属筐体はシールドとして効果的であるが、発熱を抑えるために冷却用の開口部を設けざるを得ず、当センターでも金属筐体実物の穴径や穴数を変更した実験を報告した³⁾。今回はシミュレーションを行い、この問題への適用可能性を評価した。

3.2.1 シミュレーションソフトの条件設定

一辺 150mm、厚さ 1mm の立方体のアルミ筐体の前面を、1 穴(半径 5mm)、9 穴(半径 5mm)、全開放とした 3 種類のモデルを想定した。図 1 に 9 穴の例を示す。筐体の内部底面には、電力の給電ポートとしてガラスエポキシ上に銅シートがある構成とし、励振部をモデル化した。また、筐体周囲には吸収境界条件を設定した空気領域を設け、筐体と空気領域境界との距離は解析周波数の 1/4 以上を確保するように半径を設定した。分割メッシュサイズは解析周波数の 1/10 以下とした。

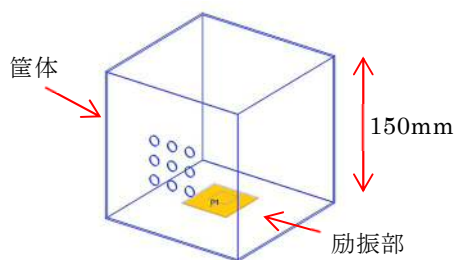


図 1 シミュレーション用形状モデル

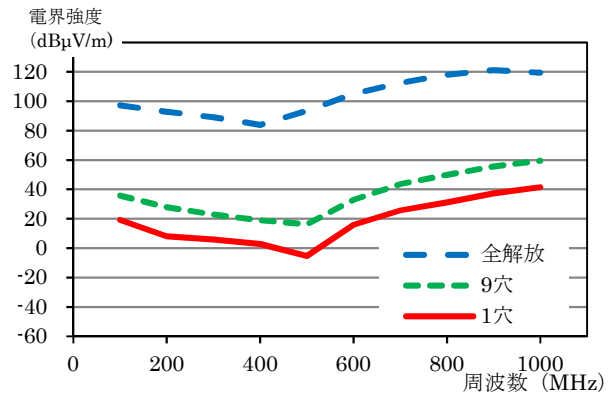
3.2.2 シミュレーションソフトの解析結果

筐体前面(穴のある面)から距離 10cm と 3m での電磁界をシミュレーションにより求めた。ソフト内部では、近傍界のシミュレーション結果からホイヘンスの原理により距離 3m の遠方界の結果を求めている。

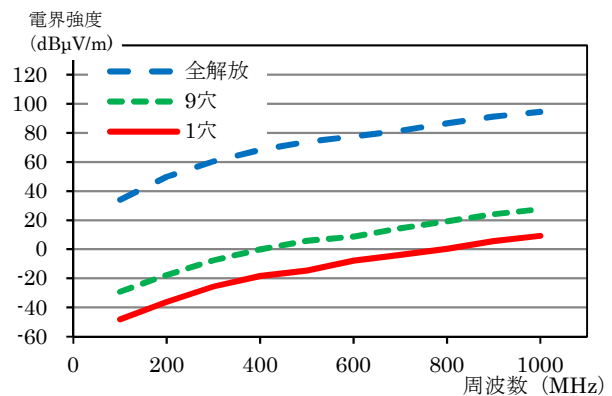
100MHz から 1GHz まで 100MHz 間隔で電磁界シミュレーションを行った電界強度の結果を図 2 に示す。近傍界、遠方界いずれにおいても、全開放、9 穴、1 穴の順に電界強度が大きく、穴の数によりどの程度シールド

効果に差があるかがわかる。

今回、1 穴、9 穴のモデルでシミュレーションしたが、設計パターンや材質を変更したシミュレーションは容易であり、実物を製作して測定するよりも時間、コストの削減になる。実際の機器を精密にモデリングするのは難しいため、算出される電界強度などの数値は絶対的には正確でないかもしれないが、1 穴、9 穴の例のようにモデルを変えて比較することが有効であることがわかった。



(a) 距離 10cm



(b) 距離 3m

図 2 電界強度のシミュレーション結果

4. 結び

電磁界シミュレーションに関する技術調査を行った。電磁界シミュレーションには主に 3 つの手法(FDTD 法、モーメント法、FEM 法)があり、各手法には得意・不得意な解析分野があること、励振部の設定、境界条件の設定などに使いこなすための知識・技術が必要なこと、モデルの形状や材質を変更した解析は容易で、機器開発の時間、コストの削減が期待できることがわかった。

文献

- 1) 平野拓一: 電子情報通信学会誌, 100(5), 342(2017)
- 2) F.Gustrau, D.Manteuffel: EM Modeling of Antennas and RF Components for Wireless

Communication Systems, (2006), Springer

- 3) 小久保弘樹, 松生秀正, 山本光男, 松原寛至, 小林正, 稲熊淳一, 大橋良紀, 山田豊雄: 愛知県産業技術研究所研究報告, **3**, 52(2004)