

## MRI室用シールドサッシに関する電磁環境シミュレーション

○工藤 孝人, \*花田 英輔

大分大学工学部 電気電子工学科

\*島根大学医学部附属病院 医療情報部

### 1. 研究の背景

近年, 図 1 に示すような金属角筒とシールドガラスによる大開口を設置した開放的な MRI 検査室が開発され, 稼動している[1]. この技術により, 患者のアメニティ向上や装置入れ替え時の工事負担軽減など, 様々な効果が期待されている.

本稿では, 金属角筒の積層構造とシールドガラスを組み合わせたサッシの電磁遮蔽性能の検証として, 時間領域差分 (FDTD) 法 [2]-[4] に基づくシミュレーション解析の結果を報告する.



図 1 開放的な MRI 室のイメージ

### 2. シミュレーションの概要

FDTD 法に基づくシミュレーションでは, 解析空間を多数のセルに分割する. 本例の場合, シールドガラスや金属壁の厚さを考慮するとセルサイズをある程度小さくする必要があるが, 実寸モデルによる解析では計算量が膨大になる. よって本稿では, MRI 室における電磁シールドの対象周波数が最高で 150MHz 程度であることに着目し, 150MHz を 1000MHz に換算した比率 (20 分の 3) のスケールモデルを用いてシミュレーションを行う.

表 1 に計算パラメータの設定, 図 2 にシミュレーション空間の設定を示す.

セルサイズを 2.5mm, 時間ステップを

4ps, 吸収境界を含む解析空間を一辺が 1000mm の 3 次元空間とし, 吸収境界には PML (8 層, 2 次分布) を用いる.

解析空間内にキャビティを設け, キャビティの中央部に金属角筒の積層構造とシールドガラス 1 枚から成る電磁シールドサッシを配置する. キャビティを形成する金属壁を良導体と仮定し, その導電率を  $10^7$  S/m, 比誘電率および比透磁率をともに 1 とする.

金属角筒の積層部分は, 断面内寸 30mm × 30mm, 奥行 D の角筒を縦横それぞれ 20 個配列して構成する. なお, 実際の MRI 室用サッシでは磁気シールド効果をもたせるため角筒内部に磁性体を配置するが, 本研究では磁気シールドを考慮していないので, 角筒の金属壁にはキャビティの金属壁と同じ媒質定数を設定する.

シールドガラス部分は, 2.5mm の厚さをもつ金属メッシュを 5mm の厚さの板ガラスで両側から挟んで構成する. このうち, 板ガラス部は比誘電率 7 の誘電体とする. 一方, 金属メッシュ部は金属と空気の複合媒質であるため, その構造をシミュレーションにおいて忠実に表現するのは効率的でない. この場合, 金属メッシュ部を均質媒質と仮定し, 該当するセルすべてに等価的な媒質定数を設定する方法が有効である. 金属メッシュの具体的な媒質定数設定については後述する.

波源は半波長ダイポールアンテナを完全導体でモデル化し, デルタギャップ給電法により正弦波を励振する.

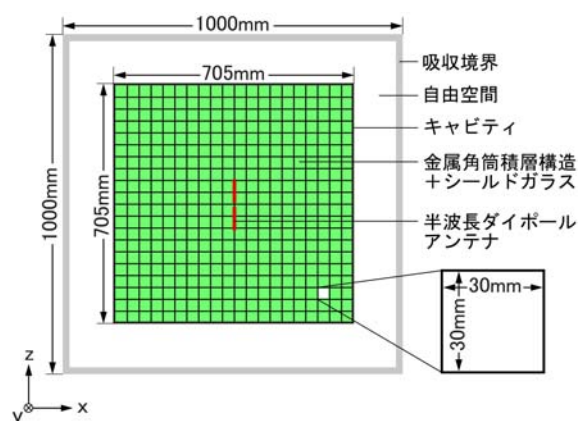
以上の設定のもとに, 定常状態に達した後の電界振幅分布を求め, 可視化する.

なお, 本稿の数値計算はすべて九州大学情報基盤研究開発センターの研究用計算機システム (スーパーコンピュータ) を利用して行っている.

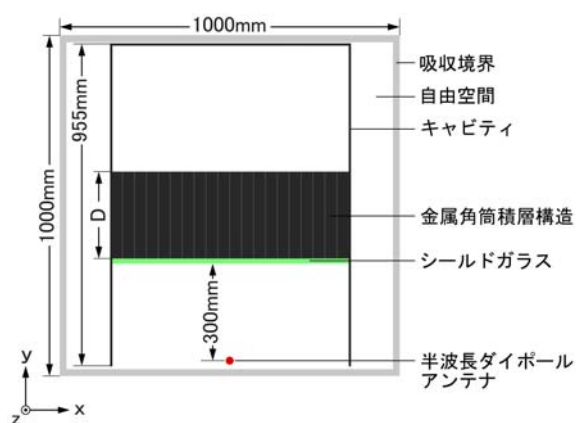
表 1 FDTD 法の計算パラメータ

項目	仕様
セルサイズ	2.5mm
解析空間	1 辺 1000mm の立方体
タイムステップサイズ	4ps
最大タイムステップ	2000 ステップ (8ns)
金属壁の導電率	$10^7$ S/m
ガラスの比誘電率	7
波源周波数	1000MHz (正弦波)
吸収境界	PML* (8 層, 2 次分布)

\* Perfectly Matched Layer



(a) 正面図



(b) アンテナ給電部における水平断面図

図 2 シミュレーション空間の設定

### 3. 数値計算結果

#### 3.1 金属メッシュの媒質定数設定

図 2 の設定において金属角筒の奥行き  $D$  を 0 (シールドガラスのみが存在する状態) とし, シールドガラスの金属メッシュ

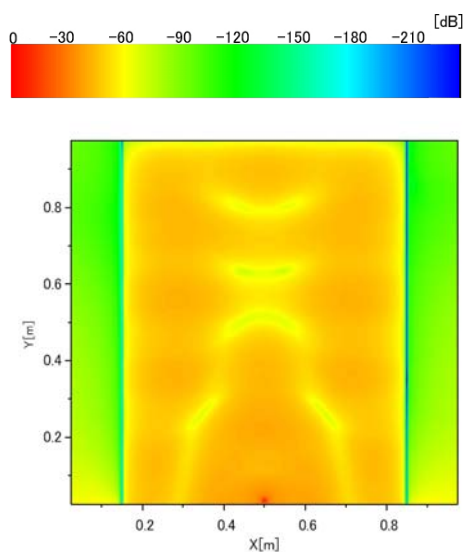
部に該当するすべてのセルに同一の導電率を与えて遮蔽性能を調べた. 金属メッシュ部の比誘電率と比透磁率はともに 1 とした. 周波数 1000MHz の電磁波に対するシールドガラスの遮蔽性能が約 60dB であるとするガラスメーカーの実験結果に基づき, 金属メッシュ部の等価的な導電率として  $3 \times 10^3$  S/m を採用した.

#### 3.2 シールドサッシの遮蔽性能

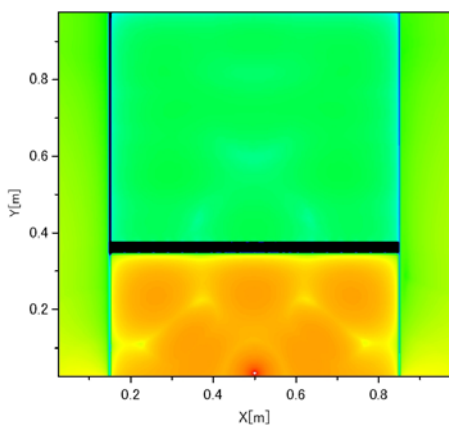
シールドサッシの有無および金属角筒積層構造の奥行きの違いによる電磁遮蔽性能の変化を図 3 に示す. サッシが無い場合と比較して  $D=30$ mm (実寸で 200mm) のとき約 88dB,  $D=60$ mm (実寸で 400mm) のとき約 113dB の遮蔽性能が示された.

図 4 は, 金属角筒の奥行き  $D$  を 10mm ~ 60mm の間で 10mm ずつ変化させた場合の遮蔽性能の変化を示している. 図中の黒丸はデータ点, 点線は最小 2 乗法により求めた回帰直線である. 同図より,  $D > 45$ mm (実寸で 300mm) であれば, MRI 室に要求される電磁遮蔽性能 (100dB) を概ね満足すると推察される. ただし, スケールモデルによる計算結果である点, および特定の周波数に関するデータである点に注意する必要がある.

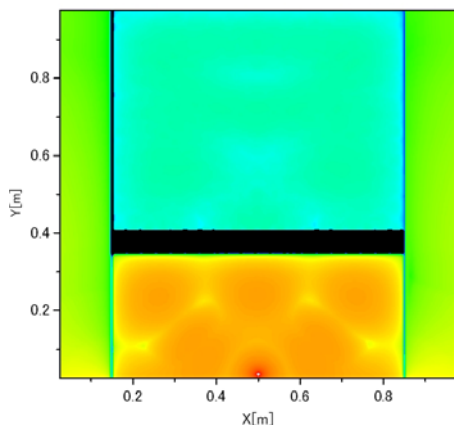
竹中工務店技術研究所では, 金属角筒 (断面 200mm $\times$ 200mm, 奥行き 300mm) の積層構造とシールドガラス 1 枚から成るサッシについて, 電磁遮蔽性能を測定している. 周波数 150MHz での遮蔽性能の測定値は約 90dB であり, 本稿のシミュレーション結果 (スケールモデル: 周波数 1000MHz,  $D=45$ mm) よりも 10dB 程度低い. 遮蔽性能の測定値が計算値よりも低い理由として, 実施工では角筒を隙間無く接続するのが困難であること, 計算値はスケールモデルによるものであること等が挙げられる. 詳細については, 今後更に検討する予定である.



(a) シールドサッシ無し



(b) シールドサッシ有り (D=30mm)



(c) シールドサッシ有り (D=60mm)

図 3 アンテナ給電部断面における電界振幅分布 ( $E_z$ 成分)

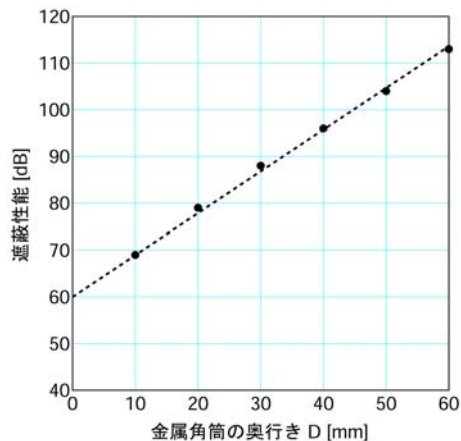


図 4 金属角筒の奥行きと遮蔽性能の関係 (スケールモデル, 周波数 1000MHz)

#### 4. まとめ

金属角筒の積層構造とシールドガラスから成るシールドサッシの電磁遮蔽性能について、FDTD 法に基づくシミュレーションにより解析した。電磁干渉対策には電磁シールドが不可欠であるが、その設計、特性評価、効果的な配置などに関しては電磁界シミュレーションが有力な支援ツールになり得る。今後、より精度の高いデータを提供できるようシミュレーション設定等の改善を図りたい。

#### 謝辞

本稿の数値計算には安井洋介君と島本孝太君の協力を得た。また、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B); No. 20390151, 基盤研究(C); No. 20500424), および竹中工務店技術研究所からの寄附金の助成によることを付記し、謝意を表する。

#### 参考文献

- [1] 広里成隆他, “磁性体及び導電体により構成される角筒を用いた開放的な MRI 室用シールドルームの検討”, 日本建築学会学術講演梗概集, D-1, p. 605, 2008.
- [2] K. S. Yee, “Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell’s Equations in Isotropic Media,” IEEE Trans. Antennas & Propag., Vol.14, No.3, pp.302-307, 1966.
- [3] 宇野 亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.
- [4] 新井宏之, 新アンテナ工学, 総合電子出版社, 1996.