

### 3層の正方環型 FSS を用いた異なる2周波帯域の同時電磁波遮へい

○安部 慎太郎\* , 工藤 孝人\*\*

\*大分大学大学院工学研究科 工学専攻 電気電子工学コース

\*\*大分大学理工学部

#### 1. まえがき

無線 LAN などの無線通信の導入が医療機関でも進み、医療電磁環境が複雑化しており、利便性とは裏腹に医療機器との電波干渉や無線傍受による医療カルテの流出など、様々な危険性もある。安全な医療環境の構築において、電磁波遮へい技術は必要不可欠である。

本研究では、正方環型 FSS(Frequency Selective Surface) を用いた帯域的電磁波遮へいを検討している[1]~[3]。本稿では、遮へい対象を無線 LAN の使用周波数帯である 2.4GHz 帯と 5GHz 帯、また無線 LAN 2.4GHz 帯と 5G 周波数帯(3.4GHz~4.6GHz 帯)の 2 パターン用意し、FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 法 [4] に基づく 3 次元解析により、数値的に考察したので報告する。

#### 2. 問題設定

図 1 に解析領域の全体図を示す。波源は半波長ダイポールアンテナを設定する。同図中の  $(i_{max}, j_{max}, k_{max})$  は原点  $O$  からの最遠点、 $(i_{sor}, j_{sor}, k_{sor})$  はアンテナギャップの座標を示す。 $j_{FSS1} \sim j_{FSS3}$  はそれぞれ 1 層目から 3 層目の正方環型 FSS の導体が含まれているセル番号を示す。また、吸収境界条件に 16 層の PML(Perfectly Matched Layer) [4] を用いている。図 2(a) に単位正方環型 FSS、同図(b)に正方環型 FSS の全体図を示す。図 2 (a)中の  $p_1 \sim p_3$  は単位正方環型 FSS の 1 辺の長さ、 $d_1 \sim d_3$  は導体の 1 辺の外径、 $w_1 \sim w_3$  は導体の幅を表す[5]。単位正方環型 FSS の導体はガラスに埋め込まれている。この単位正方環型 FSS を図 2(b)のように配置することで、周期構造を構成している。

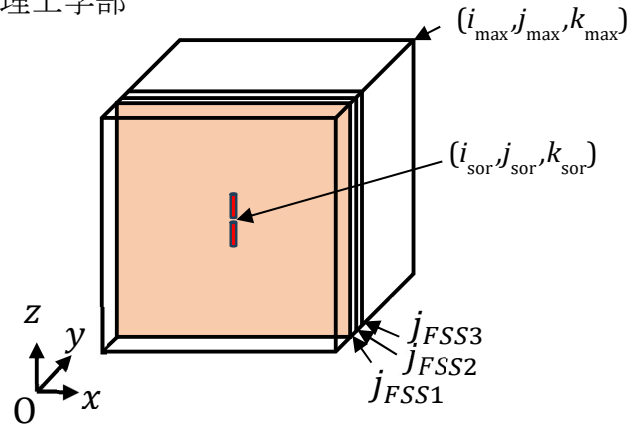
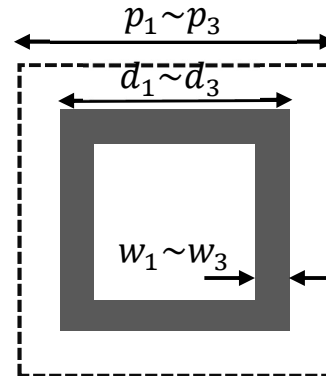
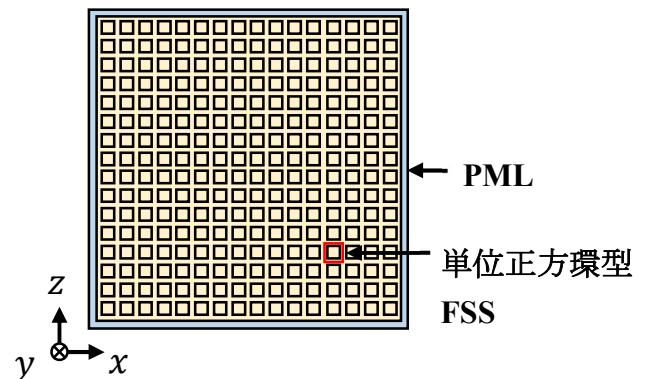


図 1 解析領域



(a) 単位正方環型 FSS



(b) 全体図

図 2 正方環型 FSS

表 1 に FDTD 法における解析の諸元設定を示す. 表中の $\Delta u$  はセルサイズ,  $\Delta t$  はタイムステップサイズを表す[1]. パラメータ設定及び FSS の配置座標については今回 2 パターンあるため, 各々後述する.

表 1 諸元設定

$(i_{\max}, j_{\max}, k_{\max})$	(500, 500, 500)
$(i_{\text{SOR}}, j_{\text{SOR}}, k_{\text{SOR}})$	(250, 30, 250)
PML 層数	16 層
$\epsilon_{\text{rd}}$	8.9
波源周波数	1 ~ 8 GHz
$\Delta u$	1.0 mm
$\Delta t$	1.5 pt
ステップ回数	6400 回
$\epsilon_{\text{rg}}$	6.0
$\sigma$	$3.5 \times 10^7$ S/m

### 3. 電界透過率の計算方法

電界透過率の計算式を, 式(1)に示す. 構造体を配置せず観測した場合の電界 $E^0$ と, 構造体を配置して観測した電界 $E^1$ の絶対値の比を計算したものを平均値化し, dB 表記にしたものを電界透過率 $R_{\text{EFC}}$ とする [1].

$$R_{\text{EFC}} = 20 \log_{10} \left| \frac{E^1}{E^0} \right| \text{ [dB]} \quad (1)$$

### 4. 数値解析結果および考察

無線 LAN2.4GHz 帯と無線 LAN5GHz 帯の同時電磁波遮へいの解析パラメータ設定を①, 無線 LAN2.4GHz 帯, 5G 周波数帯の同時電磁波遮へいの解析パラメータ設定を②とする. 表 2 に FSS 及びその配置場所に関するパラメータ設定を示す.

表 2 パラメータ設定及び FSS 座標

パラメータ	①	②
$j_{\text{FSS1}}$	70	70
$j_{\text{FSS2}}$	111	76
$j_{\text{FSS3}}$	121	86
$p_1$	29 mm	29 mm
$d_1$	22 mm	22 mm
$w_1$	2 mm	2 mm
$p_2, p_3$	20 mm	20 mm
$d_2, d_3$	10 mm	12 mm
$w_2, w_3$	2 mm	1 mm

図 3 に無線 LAN2.4GHz 帯, 無線 LAN5GHz 帯の同時電磁波遮へいを行った場合 (パラメータ設定①) の $R_{\text{EFC}}$ の周波数特性を示す. 目標遮へい帯域以外の電磁波遮へいは抑えることができている, 逆に目標遮へい帯域においては遮へい効果が十分に表れている. 無線 LAN2.4GHz 帯では最大で 29dB 程, 5GHz 帯では最大で 23dB 程の遮蔽効果が確認できる.

次に, 図 4 に無線 LAN2.4GHz 帯, 5G 周波数帯の同時電磁波遮へいを行った場合(パラメータ設定②)の $R_{\text{EFC}}$ の周波数特性を示す. こちらも目標遮へい帯域以外の電磁波遮へいを抑えることができている, 目標遮へい帯域においては遮へい効果が明確に表れている. 無線 LAN2.4GHz 帯では最大で 28.5dB 程, 5G 周波数帯では最大で 31.7dB 程の遮蔽効果が確認できる.

このように, FSS を用いる場合はパラメータ設定や FSS の間隔を目的に応じて調整することで, 臨機応変に対応ができることが分かった. FSS 同士の間隔の調整においては, 1 枚目の FSS で透過した波と 2 枚目で反射してくる波が干渉し, 打ち消し効果を起こすことで 2 つの遮へい帯域の間の遮へい効果が抑制されるので, 目標遮へい帯域同士の位置関係を考慮しながら調整する必要がある.

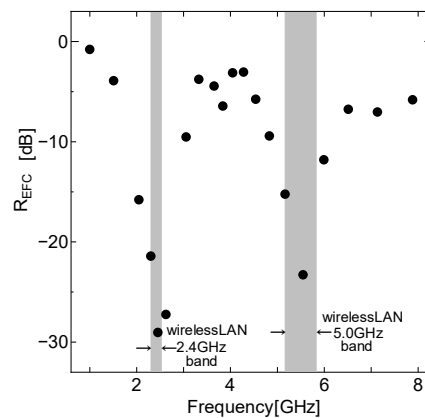


図 3 パラメータ設定①の周波数特性

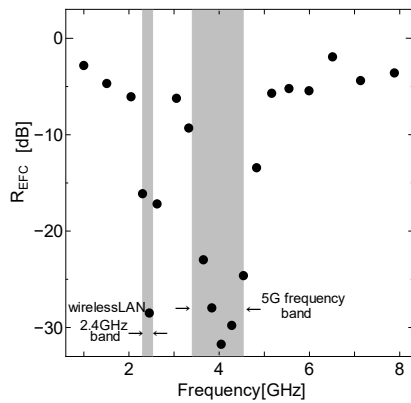
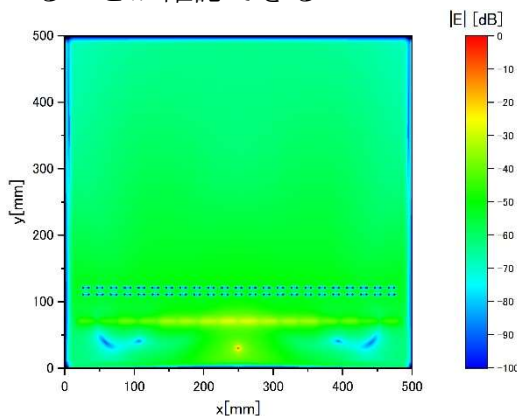


図4 パラメータ設定②の周波数特性

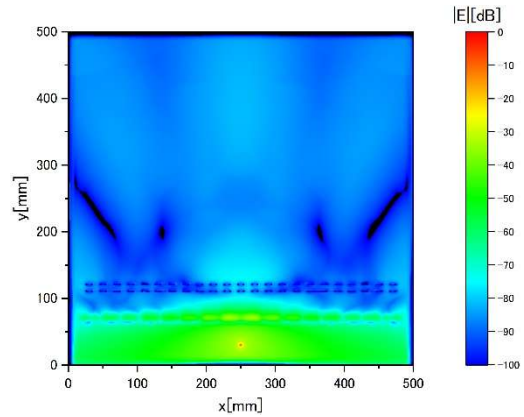
次に、パラメータ設定①における空間特性(x-y平面図)を図5に示す。図内の(a)は1.51GHz、(b)は2.46GHz、(c)は3.84GHz、(d)は5.55GHz、(e)は6.51GHzの時の空間特性を示している。目標遮へい帯域外にあたる(a)、(c)、(e)は電磁波が透過し、遮へい効果が抑えられていることが確認できる。(b)、(d)はそれぞれ目標遮へい帯域である無線LAN2.4GHz帯、5GHz帯にあたるため空間が効果的に遮へいされていることが確認できる。

図6にパラメータ設定②における空間特性(x-y平面図)に示す。図内の(a)は1.51GHz、(b)は2.46GHz、(c)は3.05GHz、(d)は4.05GHz、(e)は6.51GHzの時の空間特性を示している。目標遮へい帯域外の(a)、(c)、(e)は空間における遮へい効果が抑えられていることが確認できる。

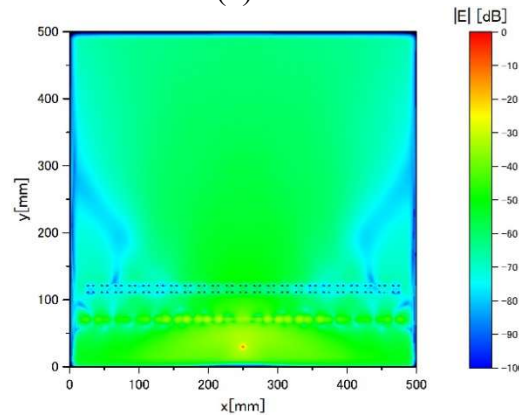
(b)、(d)はそれぞれ目標遮へい帯域であるあたるため空間が効果的に遮へいされていることが確認できる。



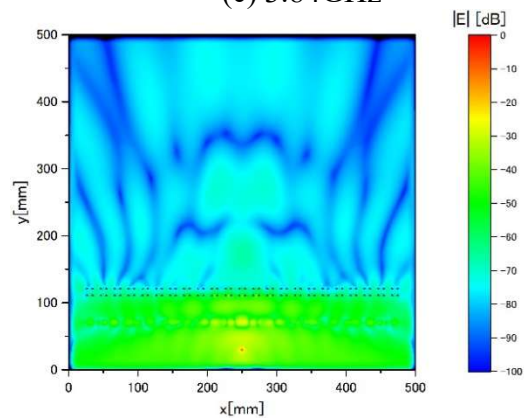
(a) 1.51GHz



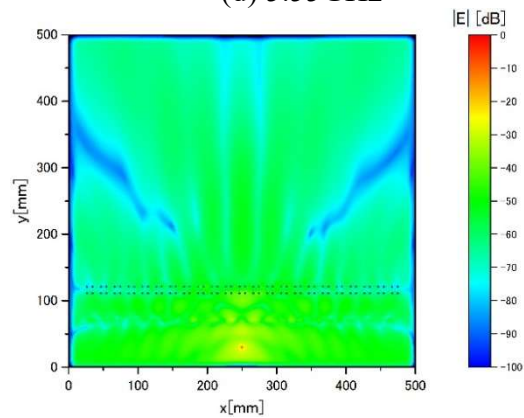
(b) 2.46GHz



(c) 3.84GHz

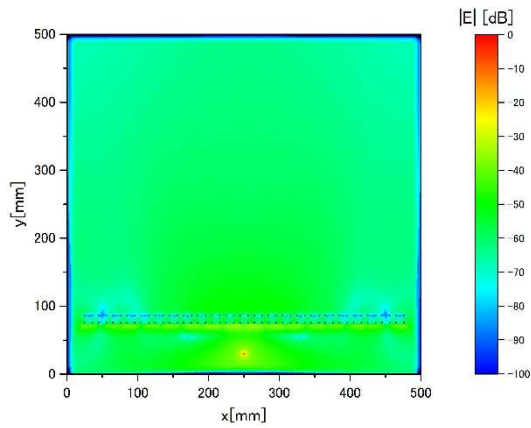


(d) 5.55GHz

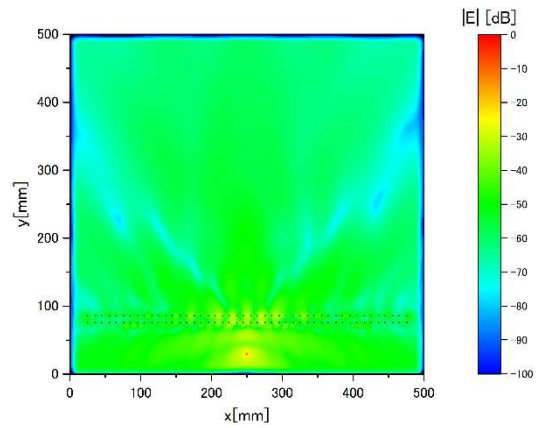


(e) 6.51GHz

図5 パラメータ設定①の空間特性

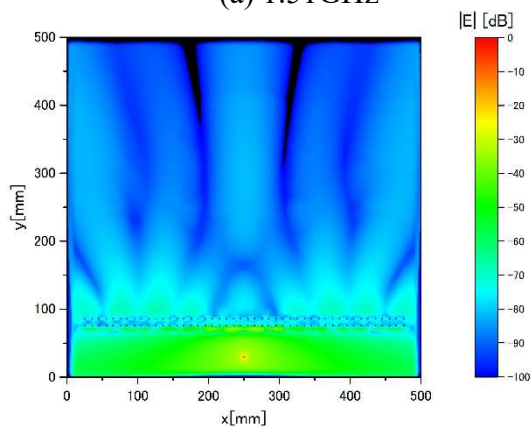


(a) 1.51GHz

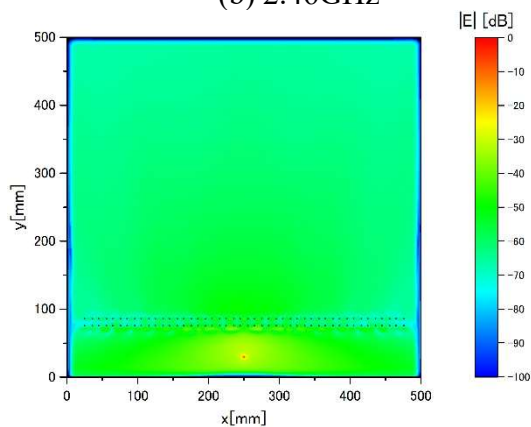


(e) 6.51GHz

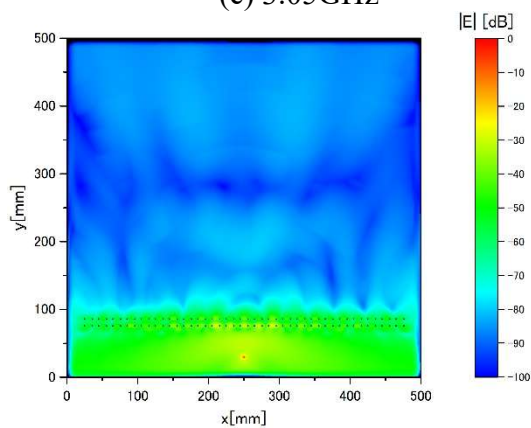
図6 パラメータ設定②の空間特性



(b) 2.46GHz



(c) 3.05GHz



(d) 4.05GHz

## 5. まとめ

3層の正方環型 FSS を使った選択的電磁波遮へいはパラメータ設定や FSS 同士の間隔を目標周波数帯に応じて調整することで可能であることがわかった。今後はパラメータを調整し、更なる改善を試みるとともに、実用性のある周波数帯の電磁波遮へいも行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] 河野誠太, 工藤孝人, 2019 年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-02, 2019.
- [2] 柳井友徳, 工藤孝人, 2023 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 11-1A-05, 2023
- [3] 安部慎太郎, 工藤孝人, 2024 年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-01, 2024.
- [4] 宇野亨, 何一偉, 有馬卓司, 数値電磁界解析のための FDTD 法 -基礎と実践-, コロナ社, 2016
- [5] K.R. Jha et al., "A simple synthesis technique of single square-loop frequency selective surface, " Progress In Electromagnetics Research B, vol. 45, pp.165-185, Oct. 2012.