

## FSS と誘電体周期構造を組み合わせた構造体による 2周波帯域の電磁波遮へい

○柳井 友徳\* , 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

\*\*大分大学理工学部理工学科 電気エネルギー・電子工学プログラム

### 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，医療機器との電波干渉などの危険性がある．確実に電波を届かせる技術と同程度に，遮へいする技術も重要である．

本研究では，正方環型 FSS(Frequency Selective Surface) と交差型誘電体周期構造に着目し，これらを組み合わせた構造体による電磁波遮へいについて検討している [1], [2]．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 帯の 2 つの帯域とし，FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 法 [3] 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．

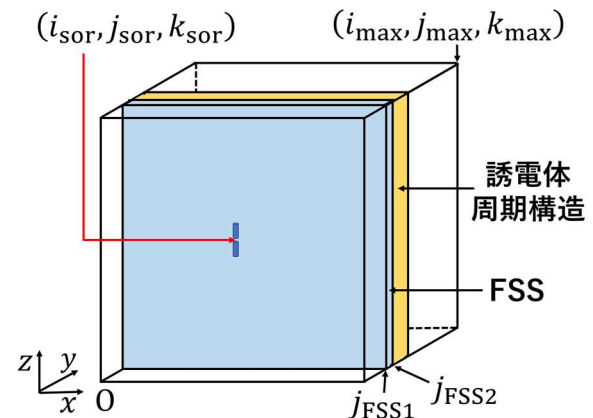
### 2. 問題設定

図 1(a)に解析領域の全体図，同図(b)に解析領域のアンテナギャップを含む  $x-y$  断面図を示す．波源として半波長ダイポールアンテナを設定する．図中の  $(i_{\text{sor}}, j_{\text{sor}}, k_{\text{sor}})$  はアンテナギャップの座標， $(i_{\text{max}}, j_{\text{max}}, k_{\text{max}})$  は原点  $O$  からの最遠点を示す． $j_{\text{FSS1}}$ ,  $j_{\text{FSS2}}$  はそれぞれ 1 層目と 2 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，吸収境界条件として 16 層の PML(Perfectly Matched Layer) [3] を用いている．

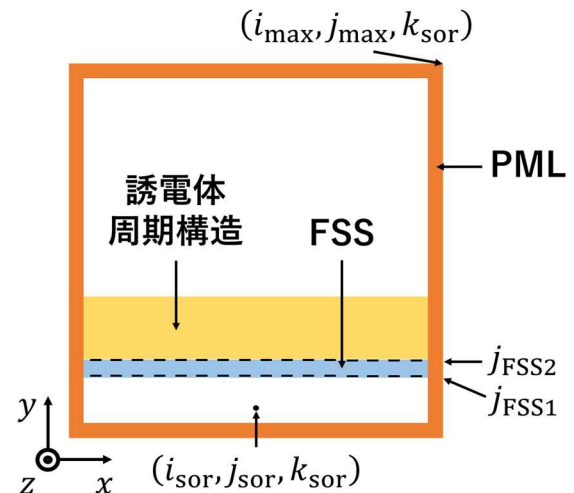
図 2 に単位正方環型 FSS の正面図および正方環型 FSS の全体図を示す．本稿では，異なる 2 種類の正方環型 FSS を組み合わせている．図 2 (a)中の  $p$  は単位正方環型 FSS の一辺の長さ， $d_1$ ,  $d_2$  は導体の一辺の外径， $w_1$ ,  $w_2$  は導体の幅， $\epsilon_{\text{rg}}$  はガラスの比誘電率， $\sigma$  は導体の導電率を表

す [4]．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により，周期構造を構成する．

図 3 に交差型誘電体周期構造の全体図および  $x-y$  断面図を示す．図 3(a)中の  $L$  は，誘電体周期構造の層数を表す．図 3(b)中の  $a$  は空気層の一辺の長さ， $b$  は誘電体支脈の厚さを表す．また，誘電体の比誘電率を  $\epsilon_{\text{rd}}$  とする．



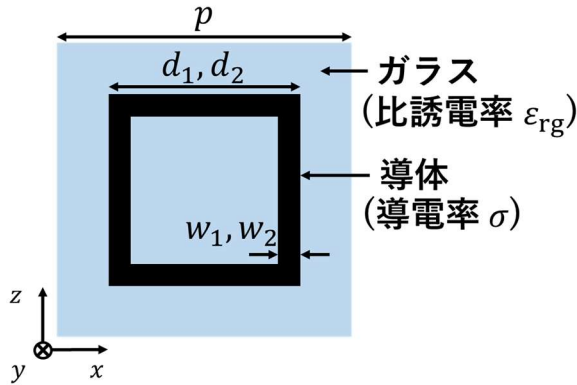
(a) 全体図



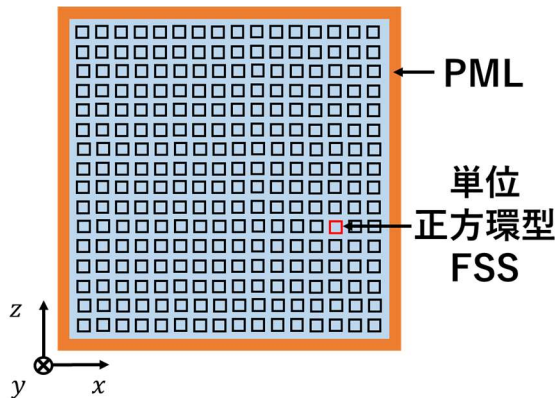
(b)アンテナギャップを含む  $x-y$  断面図

図 1 解析領域

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。



(a) 単位正方環型 FSS (正面図)

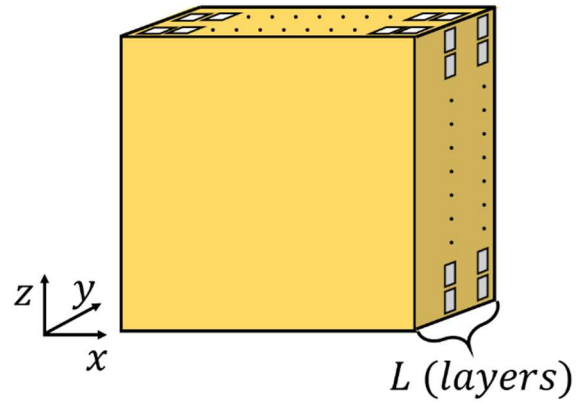


(b) 全体図

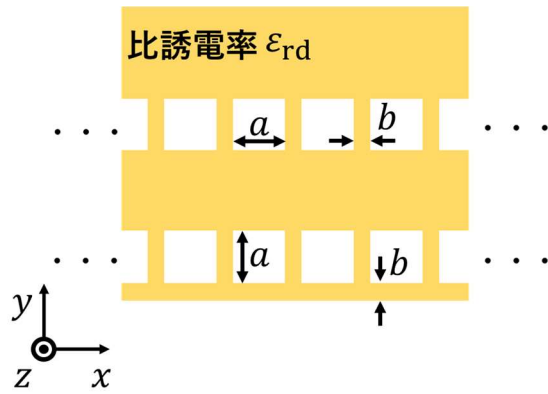
図2 正方環型 FSS

表1 諸元設定

$p$	29 mm	$(i_{\max}, j_{\max}, k_{\max})$	(500, 500, 500)
$d_1, d_2$	16 mm	$(i_{\text{sor}}, j_{\text{sor}}, k_{\text{sor}})$	(250, 30, 250)
$w_1$	2 mm	PML 層数	16 層
$d_2$	18 mm	$L$	4
$w_2$	3 mm	波源周波数	1 ~ 6 GHz
$j_{\text{FSS1}}$	60	$\Delta u$	1.0 mm
$j_{\text{FSS2}}$	81	$\Delta t$	1.5 pt
$a$	14 mm	ステップ回数	6400 回
$b$	3 mm	$\epsilon_{\text{rg}}$	6.0
$\epsilon_{\text{rd}}$	8.9	$\sigma$	$3.5 \times 10^7 \text{ S/m}$



(a) 全体図



(b)  $x - y$  断面図

図3 交差型誘電体周期構造

### 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 [5] .

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

#### 4. 数値解析結果および考察

図4に正方環型FSSと交差型誘電体周期構造を組み合わせた構造体を用いた場合、正方環型FSSのみを用いた場合、交差型誘電体周期構造のみを用いた場合の $R_{EFC}$ の周波数特性を示す。2.4GHz帯で遮へい効果が確認できた正方環型FSSと、5GHz帯で遮へい効果が確認できた交差型誘電体周期構造を組み合わせることにより、2.4GHz帯では23.5dB、5GHz帯では最大22dB程の遮へいができていることが確認できた。

図5、図6に空間特性の $x-y$ 平面図および $y-z$ 平面図を示す。図5(a)、図6(a)は2.46GHzのときの空間特性を示しており、構造体を配置することにより空間が効果的に遮へいできていることが確認できる。図5(b)、図6(b)は3.84GHzのときの空間特性を示しており、構造体を配置しても電磁波をほとんど遮へいせず、透過できていることが確認できる。図5(c)、図6(c)は5.55GHzのときの空間特性を示しており、構造体を配置することにより空間が効果的に遮へいできていることが確認できる。

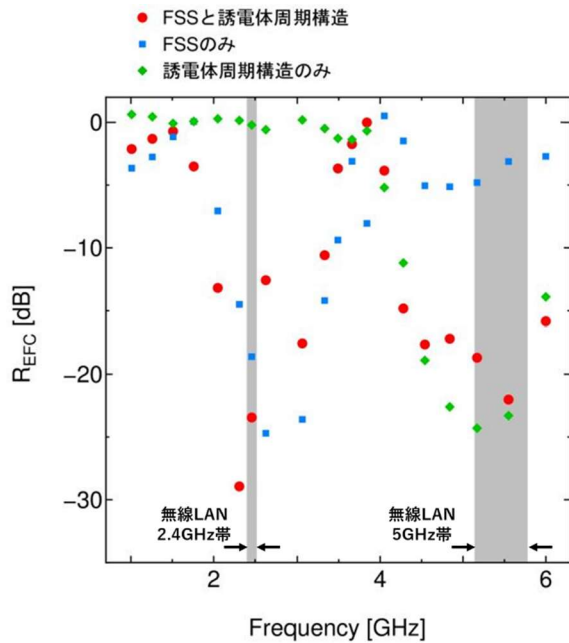
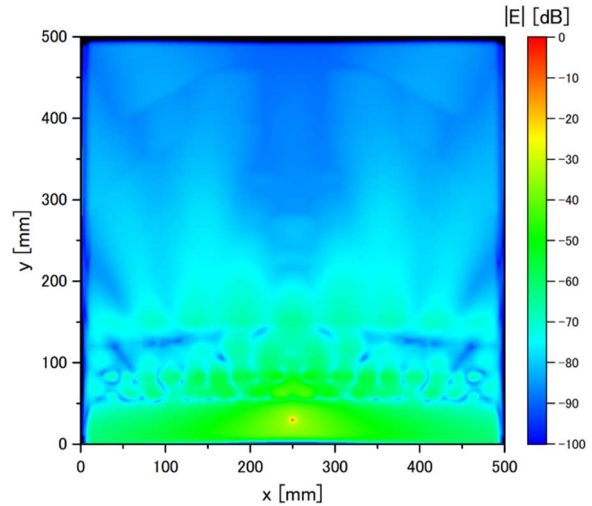
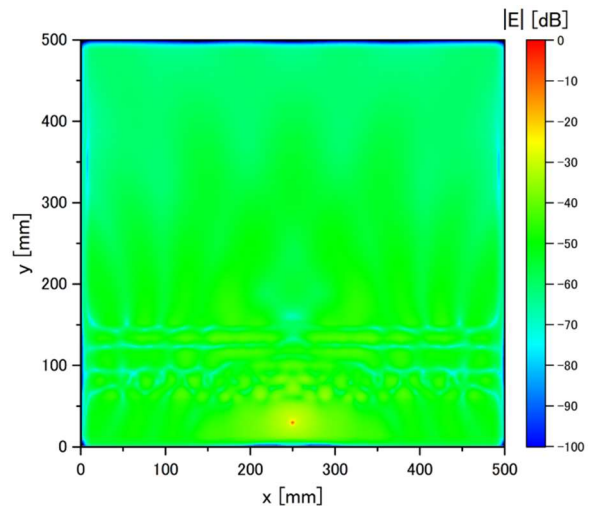


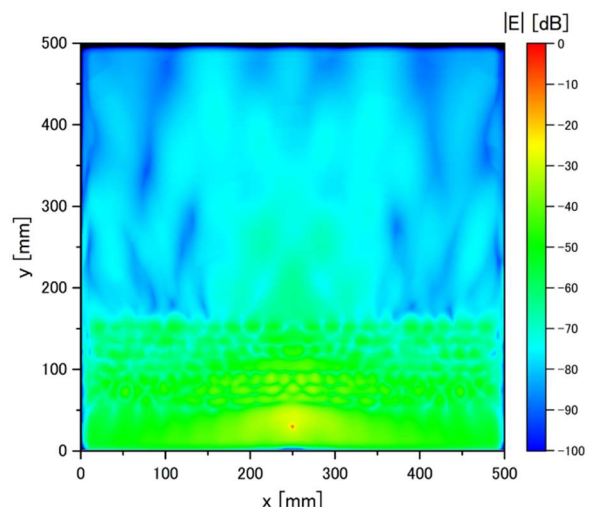
図4 周波数特性



(a) 2.46GHz

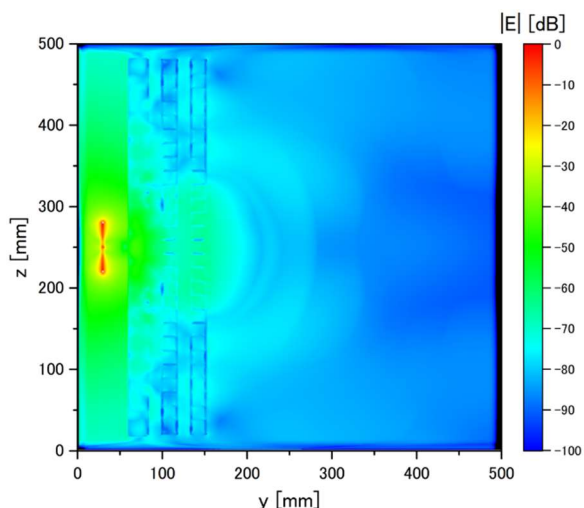


(b) 3.84GHz

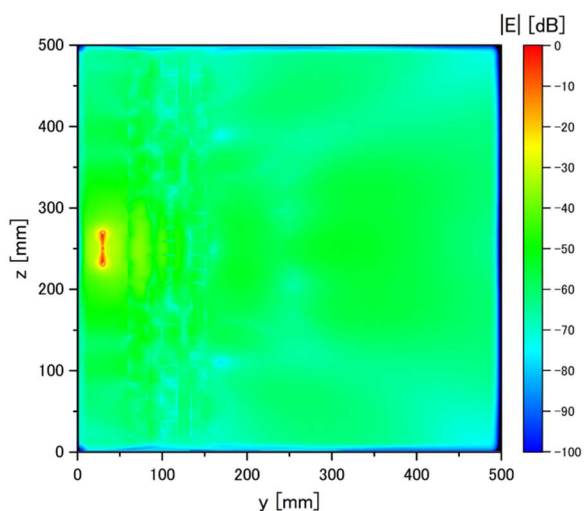


(c) 5.55GHz

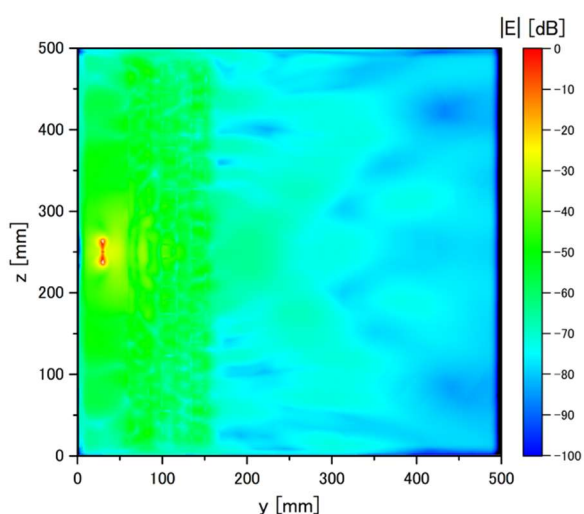
図5 空間特性 ( $x-y$ 平面図)



(a) 2.46GHz



(b) 3.84GHz



(c) 5.55GHz

図6 空間特性 (y-z平面図)

## 5. まとめ

正方環型 FSS と交差型誘電体周期構造を組み合わせた構造体の電磁波遮へい特性を解析した結果、遮へい目標である 2 つの周波数帯において、一定の遮へい効果が確認できた. 5GHz 帯の遮へい帯域幅をより狭帯域にすることが今後の課題としており、より最適な組み合わせを見つけることを目標とし、研究を進める予定である.

## 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費(基盤研究(C): 20K04623)の助成によることを付記し、謝意を表する.

## 参考文献

- [1] 河野誠太, 工藤孝人, “誘電体周期構造と FSS による帯域的な電磁波遮へいに関する 3次元 FDTD 解析,” 2020 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 08-1P-02, 2020 年 9 月.
- [2] 河野誠太, 工藤孝人, “FSS と誘電体周期構造の組合せによる帯域的電磁波遮へいに関する 3次元数値解析,” 日本生体医工学会令和 2 年度第 4 回医療・福祉における電磁環境研究会, pp. 4-7, 2021 年 1 月.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] S. Kono, T. Kudou, “3D-FDTD analysis of electromagnetic shielding by using single-square-loop frequency selective surface,” APCAP 2019, pp. 146-149, Aug. 2019.