一般口演
一般口演23
ネットワーク・ IoT・バーコード
2018年11月25日(日) 13:40 ~ 15:40 C会場 (4F 411+412)

# [4-C-3-1] 誘電体正方格子型周期構造を用いた周波数指定電磁遮へい

<sup>○</sup>三浦 光貴<sup>1</sup>, 工藤 孝人<sup>2</sup>, 花田 英輔<sup>3</sup> (1.大分大学大学院工学研究科, 2.大分大学理工学部創生工学科電気電子 コース, 3.佐賀大学理工学部知能情報システム学科)

現在, 医療機関で無線 LANの導入が急速に進んでいるが, 無線通信機能を搭載した電子機器が医療機関に持ち込 まれ使用されることもあり, これらの電子機器が院内無線 LANに干渉するような問題も存在している. この問題 を解決するには, 電磁波遮へいが一手段として考えられる. 電磁波を遮へいするには一般的には金属シールドを 用いればよいが, この方法では, 医療機関で必要な無線通信までも遮断してしまう. そこで, 特定の周波数の電 磁波のみを遮へいできるようにするため, 光エレクトロニクスの分野で用いられているフォトニック結晶構造に 着目する. フォトニック結晶とは, 異なる屈折率をもつ物質を周期的に配置した構造体のことで, 光の伝搬が禁 止されるフォトニックバンドギャップが存在することが知られている. 本研究では, フォトニック結晶構造をマ イクロ波の周波数領域に適用し, 帯域選択的な電磁波遮へいを可能にする構造物の開発を目指している. 本報告 では, 誘電体支脈を用いた正方格子型の周期構造に対し, Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法に基づく数 値解析により, 電磁波の遮へい特性について検討する. 従来行ってきた2次元解析を3次元解析に拡張し, 実際 の空間により近い条件で周波数特性と空間特性を解析している. 現在のところ, 無線 LANの5GHz帯を遮へいでき るように周期構造のパラメータを設定しており, 同周波数帯において一定の遮へい効果があることを確認してい る. 今後の課題として, 他の周波数帯にも対応できるようにすることなどが挙げられる.

## 誘電体正方格子型周期構造を用いた周波数指定電磁遮へい

三浦光貴<sup>\*1</sup>、工藤孝人<sup>\*2</sup>、 花田英輔<sup>\*3</sup> \*1 大分大学大学院、\*2 大分大学、 \*3 佐賀大学

# Frequency Selective Electromagnetic Shielding by Using Dielectric Square Lattice Type Periodic Structure

Kouki Miura<sup>\*1</sup>, Takato Kudou<sup>\*2</sup>, Eisuke Hanada<sup>\*3</sup>

\*1 Oita University Graduate school, \*2 Oita University,

\*3 Saga University

#### Abstract

In recent years, wireless LAN has been rapidly introduced to in hospitals. Electronic devices equipped with wireless communication functions are sometimes used in hospitals, and there is a problem that such electronic devices interfere with in-hospital wireless LAN. In order to solve this problem, shielding of electromagnetic waves is considered as one of the methods. We focused on the photonic crystal structure so that only electromagnetic waves of a specific frequency band can be shielded. In this research, we aimed to develop a device that enables band-selective shielding of electromagnetic waves by using photonic crystal structure. In this article, we investigate the shielding characteristics of the square lattice type periodic structure using dielectric branches by numerical analysis based on FDTD method. Currently, the parameters of the periodic structure are set so that 5 GHz band of the wireless LAN can be shielded, and it is confirmed that there is a certain shielding effect in the same frequency band. As a future work, we are aiming to deal with other frequency bands as well.

Keywords: electromagnetic wave, dielectric structure, photonic crystal, FDTD method

## 1. 緒論

現在, 医療機関で無線 LAN の導入が急速に進んでいる が、モバイルルータのような無線通信機能を搭載した電子機 器が医療機関に持ち込まれ使用されることもあり、これらの電 子機器が院内無線 LAN に干渉するような問題が存在してい る.1)この問題の解決策として、周波数選択的な電磁波遮へ いが一手段として考えられる.一般的には金属シールドを用 いることで電磁波を遮へいできるが、この方法では、医療機 関で必要となる無線通信までも遮断してしまう. そこで,特定 周波数の電磁波のみを遮へいし,他の周波数帯の電磁波を 透過させるようにするため,光学分野で用いられているフォト ニック結晶構造に着目している.フォトニック結晶とは,異なる 屈折率をもつ物質を周期的に配置した構造体で,光の伝搬 が禁止されるフォトニックバンドギャップが存在することが知ら れている.本研究では、フォトニック結晶をマイクロ波の周波 数帯域に適用し,帯域選択的な電磁波遮へいができる構造 物の開発を目指している. 2)3)

#### 2. 目的

本稿では,誘電体支脈を用いた正方格子型のフォトニック 結晶構造(以下,周期構造と呼ぶ)に着目し,周波数特性と空 間特性について数値的に検討した.

#### 3. 解析手法

本稿では、Finite-Difference Time-Domain(FDTD)法に基づく3次元解析により、電磁波の帯域的な遮へい特性について数値的に検討する.FDTD 法とはマクスウェル方程式を差分化し、時間領域で解く方法で、Yee アルゴリズムが基本となっている.<sup>4)</sup>

#### 3.1 解析領域

図1に解析領域の全体図、図2にx-y断面図(アンテナギ ャップ面)を示す.図中の(*imax.jmax.kmax*)は原点からの最遠点、 (*isor.jsor.ksor*)は波源、*jp*は周期構造領域のy軸方向における最 小セル番号、黒点は周波数特性の観測点を示している.波 源には半波長ダイポールアンテナを設定する.また、解析領 域を解放領域として考えるために吸収境界条件として、 BerengerのPerfectly Matched Layer (PML)を用いる.<sup>5)</sup>これ は必要とするメモリは増加するが、現在最も有効な吸収境界 条件の一つとして知られている.

図 3,4 は誘電体支脈からなる正方格子型周期構造を表している。<sup>6</sup> 図中の *d* は誘電体支脈の厚さ,*a* は空気層の一辺の長さ,*L* は *y* 軸方向の空気層数を表す。



図1 解析領域(全体)



図3 誘電体支脈からなる正方格子型周期構造(立体)



図4 誘電体支脈からなる正方格子型周期構造(x-y 断面)

## 3.2 電界透過率の設定

本稿では、周期構造の遮へい特性を電界透過率として表 している.この電界透過率の計算では、まず周期構造を配置 せずに電磁波を放射し、観測点で電界振幅を観測して、平 均値 E<sup>0</sup>を求める.次に周期構造を配置し、同様の観測を行 い平均値 E<sup>1</sup>を求める.最後に両者の比を導出し、これを電 界透過率*Refcと*する.本稿では式(1)に示すように、電界透過 率を利得表記(dB)にしている.

$$R_{EFC} = 20\log_{10}(E^1/E^0) \tag{1}$$

#### 3.3 諸元設定

本稿の FDTD 法における解析の諸元設定を表 1 に示す. 表中の $\Delta t$  はタイムステップ,  $\Delta u$  は解析領域内の一つのセルの大きさ,  $\varepsilon_r$  は誘電体支脈の比誘電率を表している.

本稿では, 遮へい対象を無線 LAN の使用周波数帯のうち 5GHz帯(5.15~5.35GHz, 5.47~5.73GHz)とする.

表 1 諸元設定 (1000,1000,1000)

(imax,jmax,kmax)	(1000,1000,1000)	$\Delta t$	1.5ps
(isor, jsor, ksor)	(500,90,500)	∆u	1mm
<i>j</i> <sub>p</sub>	150	ε <sub>r</sub>	8.9
波源周波数	2~6GHz	L	6層
ステップ回数	9500	а	10mm
アンテナの向き	z軸方向	d	2mm
PML 層数	16 層		

## 4. 結果

### 4.1 周波数特性

図 5 に電界透過率の周波数特性を示す.3次元解析の場合の結果と比較するために、2次元解析において同条件で解析した結果も同図に示す.本稿の2次元解析は TM 波(電界が紙面に垂直な偏波)の結果を用いている. 5GHz帯



#### 4.2 空間特性

図6~9に遮へい帯域である5.55GHzにおける空間特性を 示す.まず,図6,7にアンテナギャップを含むx-y断面の空間 特性を示す.図6は周期構造を配置した場合で,図中の白 破線は周期構造の範囲を示している.図7は周期構造を配 置していない場合の空間特性である.図6より,周期構造によ って電磁波の透過が抑えられていることがわかる.また,周期 構造を配置していない場合では電磁波が一様に広がってい ることが確認できる.図8,9にアンテナ素子を含むy-z断面の 空間特性を示す.x-y断面と同様に図8は周期構造を配置し た場合(白破線内が周期構造)で,図9が配置していない場合 である.本稿では半波長ダイポールアンテナを用いているの で,図9のようにアンテナ素子方向には電磁波があまり放射さ れていないことがわかる.また,x-y断面と同様に,周期構造 により電磁波の透過が抑えられていることがわかる.

遮へい帯域である 5.55GHz では, 最大で 47.1dB, 最小で 6.67dB, 透過側の空間全体の平均で 15.6dB 減衰しているこ とを確認している.

図10~13に透過帯域である2.46GHzでの空間特性を示している.図10,11はアンテナギャップを含むx-y断面,図12,13はアンテナ素子を含むy-z断面の空間特性である.図10,12が周期構造を配置した場合で,図11,13が周期構造を配置していない場合である.図より,どちらの断面でも周期構造により干渉縞が表れているが,空間全体では電磁波が透過していることがわかる.





透過帯域である 2.46GHz では, 最大で 40.8dB, 最小で 4.77dB, 透過側の空間全体の平均では 1.61dB 減衰している ことを確認している.

#### 5. 考察

#### 5.1 周波数特性

図5より、3次元解析した結果を2次元解析の結果と比較すると、電界透過率の値がほぼ一致していることがわかる.また、 電界透過率について、5GHz帯で遮へい効果があることが確 認できる.特に5GHz帯の高周波数帯(5.47~5.73GHz)の方 が透過を大きく抑えられているので、本稿で使用した周期構 造の諸元設定では5.47~5.73GHzを遮へいする際に用いる ことができると考えている.5GHz帯の低周波数帯(5.15~ 5.35GHz)の透過を大きく抑えることができるようにするには、 過去の研究結果より、周期構造の空気層の一辺の長さaを長 くすればバンドギャップが低い周波数帯に移動することがわ かっているので、aを長くした場合に5GHz帯すべての透過を 大きく抑えることができるように諸元の調整をする必要がある.

また、本稿ではアンテナの向きをz軸方向として解析を行ったが、アンテナの向きが本稿と異なる場合で3次元解析を行うことが今後の課題の一つである.

## 5.2 空間特性

図 6,7より x-y 断面について考察する. 図 6 から周期構造 により電磁波の透過が抑えられ,同図の周期構造より上の部 分では十分に減衰していることがわかる. 図 7 を見ると,周期 構造がない場合では電磁波が一様に広がっていることが確 認できる. 図 8,9より y-z 断面について考察する. 図 8 を見る と, x-y 断面と同様に周期構造によって電磁波の透過が抑え られていることがわかる. また,図 9 のように周期構造がない 場合は, z 軸方向にはほとんど電磁波が放射されず, y 軸方 向に強く放射されていることが確認できる.

図 10~13 より透過帯域の場合,電磁波がほとんど減衰せ ずに透過していることが確認できる.図 10,12 より,周期構造 で生じた干渉縞が確認できるが,図 11,13 と比較して電磁波 の減衰は小さい.図5の周波数特性の結果と併せて2.46GHz では遮へい効果がないと判断できる.空間特性を数値的に 比較すると,平均値は遮へい帯域の場合と透過帯域の場合



図 13 周期構造を配置していない場合の y-z 断面(2.46GHz)

では差が表れており, 透過帯域である 2.46GHz の場合と遮へ い帯域である 5.55GHz では約 14dB の差がある. 日本の規格 では無線 LAN から出力される電磁波の上限は 10mW/MHz であるので,約 14dB 減衰した場合,約 1/25 になる. すなわち, 無線 LAN から出力される電磁波を約 0.4mW/MHz まで減衰 させることができる. したがって,この周期構造では無線 LAN の 5GHz 帯(5.47~5.73GHz)の電磁波を遮へいするのに効果 的であると言える.

#### 6. 結論

誘電体支脈からなる正方格子型周期構造を用いた電磁波 遮へいについて解析を行い,指定した周波数帯の遮へい特 性について数値的に考察した.その結果,一定の遮へい効 果が得られることを確認した.今後の課題として,無線 LAN の 2.4GHz 帯を同時に遮へいできる構造の開発と,実際に周 期構造を作製して実証実験を行い,実用化に向けて研究を 進める予定である.

#### 参考文献

- 石田開,新山大地,藤原康作,塚尾浩,廣瀬稔. 医療機関に おける無線 LAN の使用状況の調査. 第2回医療電磁環境研究 会,2016. [http://www.bme-emc.jp/pdf/28no2Ishida.pdf (cited 2018-Aug-16)]
- Eisuke Hanada, Takato Kudou. Managing the electromagnetic environment of hospital IoT systems. Proceedings of 2018 Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility. 2018: 940-43
- Takato Kudou, Eisuke Hanada. Numerical analysis of electromagnetic band-stopping using non-metal periodic structures. Proceedings of 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference. 2016: 741-44.
- 字野亨. FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析. コロナ社, 1998.
- Jean-Pierre Berenger. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves : Journal of Computational Physics, 1994; 114; 2; 185–200.
- 6)藤井壽崇,井上光輝.フォトニック結晶光の流れを型にはめ込む.コロナ社,2000:64-67.