

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06024

研究課題名(和文) 非金属周期構造を用いた帯域的電磁波遮へい材の開発と医療電磁環境への応用

研究課題名(英文) Research on development of band-selective electromagnetic shielding materials using non-metal periodic structures and its adaptation to medical electromagnetic environment

研究代表者

工藤 孝人 (KUDOU, Takato)

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：60225159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、医療機関内で必要とされる無線通信を確保しつつ、不要な電磁波を遮断することを念頭におき、周波数帯域を選択して電磁波を遮へいするための方策について検討した。フォトニック結晶と呼ばれる周期構造がもつバンドギャップ(帯域遮断)特性に着目し、2次元及び3次元非金属フォトニック結晶構造をマイクロ波帯に適用して電磁波の反射と透過に関する計算機シミュレーションを実行した。数種類の周期構造について周波数特性と空間特性を解析し、帯域的電磁波遮へい材を作製するための基礎データを取得した。遮へい材の試作とその特性評価実験は今後の課題である。

研究成果の概要(英文)：We have investigated a method to achieve band-selective electromagnetic shield in view of keeping required wireless communications and intercepting undesired electromagnetic waves in medical institutions. We have noticed the band-gap (band-stopping) characteristic of photonic crystal, which is a kind of periodic structures, and have performed computer simulations concerned with the reflection and transmission of electromagnetic waves by adapting two-dimensional and three-dimensional non-metal photonic crystals to microwave band. We have analyzed the frequency and spatial characteristics for some kinds of periodic structures, and have obtained fundamental data for making band-selective shielding materials. The trial production of the materials and the experiment for evaluating the characteristic of them are future subjects.

研究分野：電磁波工学(電磁波諸現象に関する理論解析と数値解析)

キーワード：帯域的電磁波遮へい 周期構造 シミュレーション 医療電磁環境

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 医療機関における帯域的電磁波遮へいの重要性

電波環境協議会が「病院内での携帯電話使用に関する新指針」(平成26年8月)を発表したことにより、携帯電話の使用を認める医療機関の増加は必至と考えられた。また、可動型検査機器と無線LANを組み合わせたデータ伝送システムなどが普及し、無線通信に対する医療現場の考え方は、「規制」から「両立」へと急速にシフトしつつあった。

一方、医療機器と無線通信電波との電磁干渉による診療への悪影響の防止や無線傍受による医療情報の漏えいの防止など、電磁波遮へいの必要性が高まっていた。この状況は現在も変わっていない。

### (2) 周期構造と帯域的電磁波遮へい

電波の周波数帯における電磁波遮へいは遮へい対象となる物体や空間を金属で覆うのが一般的であるが、金属では医療機関内で必要とされる無線通信まで遮断してしまう。よって、周波数を選択して電波を遮へいする工夫が必要であるとの見解に至った。

光エレクトロニクスの分野には「フォトニック結晶」と呼ばれる周期構造があり、光が透過しない周波数帯域(フォトニック・バンドギャップ)が存在することから、帯域遮断フィルタとして機能することが知られていた。電波と光の差異は基本的に周波数のみであるので、周期構造のスケーリングを変えることで、電波の周波数帯における帯域的電磁波遮へいが可能ではないかとの着想を得た。

### (3) 国内外の研究動向と本研究の位置づけ

研究開始当初はマイクロ波用の共振器やアンテナ制御素子など、光よりも低い周波数帯へのフォトニック結晶の応用研究が活発化しており、本研究の着想は時宜を得たものと考えられた。研究代表者らの知る限り、フォトニック結晶構造をマイクロ波帯の帯域的電磁波遮へい材として利用し、それを医療電磁環境に応用した研究は皆無であった。

本研究では、医療現場において今後更に利用度が高まると予想されるマイクロ波帯の電磁波に焦点を絞り、これまでの研究で培った電磁界シミュレーション技術を基盤にし、非金属フォトニック結晶構造を利用したマイクロ波帯の帯域的電磁波遮へい材の開発を志向した。

## 2. 研究の目的

本研究課題の申請時における当初の研究目的は次の3点であった。

(1) 2次元及び3次元フォトニック結晶構造における電磁波の反射・透過特性について計算機シミュレーションによる数値解析を行い、マイクロ波帯における帯域的電磁波遮へい材の試作品を作製するための仕様を策

定する。

(2) 帯域的電磁波遮へい材の試作品を作製し、試作品の特性評価実験を実施する。

(3) 特性評価実験の結果を踏まえ、医療電磁環境における帯域的電磁波遮へい材の具体的な活用指針を提示する。

## 3. 研究の方法

本研究課題の研究方法は次のとおりであった。

(1) 周期構造における電磁波の反射・透過に関する計算機シミュレーション

既に完成していた2次元シミュレーション用のプログラム(ソース・コード)を用い、正方格子型に限らず、層状媒質型や三角格子型など、種々の2次元フォトニック結晶構造による電磁波の反射・透過に関する計算機シミュレーションを繰返し実行し、周期構造におけるバンドギャップ特性を評価するための手法を確立する。

2次元シミュレーションの検証終了後直ちに、3次元フォトニック結晶構造における電磁波の反射・透過特性に関する計算機シミュレーションに移行する。2次元問題に比べて計算量・計算時間ともに格段に増加するが、自作予定の高速演算装置をフルに活用し、帯域的電磁波遮へい材を作製するための基礎データを取得する。得られた数値データを解析し、遮へい材の試作品を作製するための仕様(具体的には、格子定数(周期)、媒質定数など)を決定する。

FDTD(時間領域差分)法やCIP(制約付内挿)法などの差分近似解法を電磁波の支配方程式であるマクスウェルの方程式に適用し、高速演算装置を利用した大規模計算を繰返し実施する。シミュレーション・プログラムの作成及びデータ処理に関しては、研究代表者が所属する講座の大学院生や卒業研究生に研究補助を依頼する。また、電磁波解析手法やシミュレーション技法など、常に最新の計算手法を入手する。

(2) シミュレーション結果の可視化技法に関する検討

電磁波は可視光線の周波数帯を除いて一般に不可視であるため、専門的知識の有無にかかわらず、その存在を意識することは困難である。電磁波の可視化技法についての検討は、計算機シミュレーションの有用性及び医療機関における帯域的電磁波遮へいの重要性を社会に広く発信するために是非とも必要である。よって、画像処理の分野で用いられている様々な手法(擬似3D表示、アニメーションによる時間経過表現など)を活用し、シミュレーション結果の可視化技法、即ち、効果的な視覚表示方法について検討する。

### (3) 帯域的電磁波遮へい材の試作

上記(1)で策定した仕様に基づき、帯域的電磁波遮へい材の試作品を作製する。試作品の作製については、専門業者と綿密に打ち合わせて委託する。研究経費の許す範囲で可能であれば、断面積や奥行き異なる複数個の試作品を作製する。

### (4) 試作品の特性評価実験及び医療電磁環境における活用に関する検討

上記(3)で作製した試作品の遮へい効果について周波数特性を測定する。データの取得に関しては、電磁環境測定に精通した専門業者に委託する。実験に必要な測定機器及び電波暗室については使用頻度が低く、高価であるため借用する。実験結果に基づき改善点を把握し、医療電磁環境での具体的な活用方法について検討する。

## 4. 研究成果

### (1) フォトニック結晶構造における電磁波の反射・透過に関する特性解析

2次元及び3次元非金属フォトニック結晶構造をマイクロ波帯に適用し、特定の周波数帯のみの電磁波を遮へいする技術に関する計算機シミュレーションを実施した。遮へい対象は、医療機関への普及が近年著しい、無線LANの周波数帯(2.4GHz帯及び5.2GHz帯)とした。シミュレーション・プログラムを2次元解析においてはTM・TE両偏波へ対応させるとともに、より汎用性の高い3次元解析へ対応させるべく改良した。

本研究課題の開始前に着手していた正方格子型に加え、層状媒質型及び三角格子型フォトニック結晶構造のそれぞれについて、バンドギャップの周波数特性及び空間特性を解析して有効性を確認した。このシミュレーションにより、帯域的電磁波遮へい材の試作品を作製するための仕様を一定程度、取得することができた。研究成果は国内外の学会等において発表した(後述の学会発表, , , , , )。

### (2) シミュレータによる電磁波諸現象の可視化

双曲型偏微分方程式の高精度差分法の1つであるCIP法を電磁波の伝搬・散乱問題に適用し、Java言語でプログラミングした電磁波動画シミュレータを開発及び改良した。定式化においては媒質定数の周波数分散性を考慮し、シミュレータの汎用性を高めた。研究成果は国内の学会等において発表した(後述の学会発表, , , , , )  
②)

### (3) 帯域的電磁波遮へい材の試作と試作品の特性評価実験

上記(1)で策定した仕様に基づいて帯域的電磁波遮へい材を試作するため、まず、兵庫県伊丹市の樹脂加工業者に誘電体材料とそ

のマイクロ波帯における誘電率、必要となる加工技術や精度等について調査を依頼した。残念ながら調査結果は芳しくなく、誘電体材料の選定及び加工方法の決定には至らなかった。次に、大分大学の産学官連携コーディネーターにも同様の調査を依頼したが、回答を得られなかった。このため、遮へい材の試作は達成できなかった。

以上の事情に鑑みその後、遮へい材の試作品を自作する方向に研究計画を転換した。誘電体材料に関する調査は継続しつつ、3Dプリンタを購入して遮へい材の試作を試みた。研究期間内に完成に至らず、その結果、試作品の特性評価実験も実施できなかった。しかし、試行錯誤により誘電体材料の特性及び遮へい材の作製に関する知見を一定程度、取得することができた。

### (4) 医療電磁環境における帯域的電磁波遮へい材の活用に関する検討

医療情報学及び医療社会学の見地から、医療現場における帯域的電磁波遮へい材の現実的かつ効果的な活用方法について検討した。研究成果は学術雑誌、国際会議、国内の学会等において発表した(後述の雑誌論文, , , , , )、学会発表, , , , , )。

### (5) 今後の展望

帯域的(周波数選択的)な電磁波遮へいは、電磁波応用分野において今後更に重要になると予想される。周期構造や金属を含む材料について研究を継続し、より効果的・効率的な帯域的電磁波遮へい構造体の開発を目指すとともに、より安全・安心な医療電磁環境の実現に寄与していく所存である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

E. Hanada, K. Ishida, T. Kudou, Newly identified electromagnetic problems with medical telemetry systems, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 査読有, Issue 02/2018, pp.21-24, 2018

doi:10.15199/48.2018.02.06

E. Hanada, T. Kudou, Problems and solutions in the introduction of wireless communication technology to the clinical medicine setting, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 査読有, Issue 02/2016, pp.35-37, 2016  
doi:10.15199/48.2016.02.10

[学会発表](計 26件)

E. Hanada, T. Kudou, Managing the Electromagnetic environment of hospital IoT systems, 2018 Joint IEEE

International Symposium on EMC and APEMC (EMC & APEMC2018/Singapore), 2018  
木元裕貴, 副島康生, 工藤孝人, CIP法に基づく2次元電磁波シミュレータの物体描画機能の強化, 平成29年度(第70回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 10-2P-03, 2017  
松尾英輝, 工藤孝人, 花田英輔, 非金属2次元三角格子型周期構造による帯域的電磁波遮へいに関する数値解析, 平成29年度(第70回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 10-2A-06, 2017  
三浦光貴, 工藤孝人, 花田英輔, 誘電体正方格子型周期構造による電磁波遮へいに関する数値解析 - TE波とTM波の比較 -, 2017年度(第25回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-17, 2017  
副島康生, 木元裕貴, 工藤孝人, 2次元電磁波シミュレータの改良 - 偏波選択機能等の追加及び操作性の向上 -, 2017年度(第25回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-16, 2017  
E. Hanada, K. Ishida, T. Kudou, Electromagnetic interference with wireless communication in hospitals - Newly identified problems with medical telemeter systems -, The 24th International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD2017/Bialystok, Poland), 2017  
工藤孝人, 松尾英輝, 花田英輔, IoT基盤技術としての帯域選択的電磁波遮へいに関する数値解析, 2017年電子情報通信学会総合大会, BS-6-7, 2017  
花田英輔, 工藤孝人, 石田 開, IoT時代を迎えた医療現場の電磁環境, 2017年電子情報通信学会総合大会, BS-6-1, 2017  
木元裕貴, 工藤孝人, CIP法に基づく2次元電磁波シミュレータの機能の追加及び改良, 映像情報メディア学会放送技術研究会, BCT2017-1, 2017  
水内貴大, 工藤孝人, 花田英輔, 非金属層状周期構造による帯域的電磁波遮へいフィルタに関する3次元数値解析, 平成28年度(第69回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 10-2P-08, 2016  
河野将司, 木元裕貴, 工藤孝人, 2次元電磁波動画シミュレータの改良とマイクロ波デバイスへ設計への応用, 平成28年度(第69回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 10-2P-03, 2016  
松尾英輝, 工藤孝人, 花田英輔, 非金属三角格子型周期構造による帯域的電磁波遮へいに関する数値解析, 2016年度(第24回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-06, 2016  
木元裕貴, 河野将司, 工藤孝人, CIP法に基づく2D電磁波シミュレータ - 物体描画機能及びファイル入出力機能の改良 -, 2016年度(第24回)電子情報通信学会九

州支部学生会講演会, C-01, 2016  
T. Kudou, E. Hanada, Numerical analysis of electromagnetic band-stopping using non-metal periodic structures, 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC 2016/Seoul, Korea), 2016  
E. Hanada, T. Kudou, Managing the availability of hospital wireless communication systems -From the viewpoint of the electromagnetic environment-, 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC 2016/Seoul, Korea), 2016  
工藤孝人, 花田英輔, 誘電体周期構造による帯域的電磁波遮へいに関する数値解析, 平成27年度第4回医療電磁環境研究会, 2016  
井上昂大, 工藤孝人, 花田英輔, 非金属2次元周期構造による帯域的電磁波遮へいに関する数値解析, 平成27年度(第68回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 07-1P-09, 2015  
E. Hanada, T. Kudou, The introduction of wireless communication technology to the clinical medicine setting: Problems and solutions, The 23rd International Conference on Electromagnetic Disturbances (EMD2015/Bialystok, Poland), 2015  
水内貴大, 工藤孝人, 花田英輔, 非金属層状周期構造による帯域的電磁波遮へいに関する数値解析, 2015年度(第23回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-05, 2015  
松崎賢二, 河野将司, 工藤孝人, Drude分散を適用したCIP法に基づく2次元電磁波シミュレータ, 2015年度(第23回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-02, 2015  
②河野将司, 松崎賢二, 工藤孝人, CIP法に基づく2次元電磁波シミュレータ - ファイル入出力及び媒質設定機能の追加 -, 2015年度(第23回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会, C-01, 2015

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eee.oita-u.ac.jp/ee4/5F/index.htm>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

工藤 孝人 (KUDOU, Takato)  
大分大学・理工学部・教授  
研究者番号：60225159

##### (2) 研究分担者

花田 英輔 (HANADA, Eisuke)  
佐賀大学・大学院工学系研究科・教授  
研究者番号：90244095

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )