

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04623

研究課題名（和文）周波数選択性をもつ機能的周期構造の研究開発と医療電磁環境への応用

研究課題名（英文）Development of functional periodic structures with frequency selective characteristic and its application to medical electromagnetic environments

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：医療機関で必要な無線通信を確保しつつ、不要な電磁波を遮断するため、周波数選択的な電磁波の遮へいについて研究した。誘電体周期構造と FSS（周波数選択板）がもつ帯域遮断特性に着目し、これらを組み合わせた構造体の電磁波遮へい効果について3次元計算機シミュレーションを実行した。遮へい効果の周波数特性と空間特性を解析し、2周波帯域を同時に遮へい可能であることを明らかにした。また、電磁波遮へい材の具体的な活用に関し、医療電磁環境における問題点の確認及び改善指針の提案を行った。なお、構造体の試作とその特性評価実験も当初は研究計画に含めていたが、コロナ禍で実現しなかった。これらは今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

誘電体周期構造とFSS（周波数選択板）を組み合わせた構造体をマイクロ波帯の帯域的遮へい用素材として利用し、それを医療電磁環境に応用するという研究は過去に無かった。本研究において、この構造体により複数の周波数帯域を同時に遮へい可能であることが示され、かつ、構造体の実現に向けての基礎データを取得できたことは、大きな学術的意義をもつ。この成果はパーティション、壁材、採光窓など、建築材料の設計にも寄与すると考えられる。また、電磁環境に起因する医療機器への悪影響防止、医療情報のセキュリティ強化など、在宅を含む安全・安心な医療電磁環境の構築を促進する観点から、社会的にも意義のある研究成果である。

研究成果の概要（英文）：We researched band-selective electromagnetic shielding in view of keeping required wireless communications and intercepting undesired electromagnetic waves in medical institutions. We noticed band-gap characteristics of DPS (Dielectric Periodic Structure) and FSS (Frequency Selective Surface), and performed three-dimensional computer simulations concerned with the shielding effect of the structure that combines them in microwave band. We analyzed frequency and spatial characteristics for some kinds of structure parameters and showed two frequency-bands shielding is simultaneously possible. We also identified current problems and proposed improvement guidelines in medical electromagnetic environments regarding the specific use of shielding materials. We included the production of a prototype of the structure and an experiment to evaluate its characteristics in the initial plan, but these were not possible due to COVID-19 pandemic. These are future issues.

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：周波数選択性 電磁波遮へい 周期構造 シミュレーション 医療電磁環境

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 医療機関における周波数選択的電磁波遮へいの重要性

5 G規格無線通信の本格的導入を間近に控え、患者や家族の利便性の観点から、携帯電話の使用を限定的に容認する医療機関の増加は必至と考えられた。また、無線 LAN などの通信設備は既に病院情報システムの基盤の一部となっており、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」へとシフトしていた。

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、確実に電波を届かせる技術と同程度に、電波を遮へいする技術の必要性が高まっていた。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、それ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。

(2) 周期構造と周波数選択的電磁波遮へい

光エレクトロニクスの分野には「フォトニック結晶」と呼ばれる誘電体周期構造があり、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周波数選択的電磁波遮へいが可能ではないかとの着想を得た。また、金属線などを平面状にパターン化した FSS (Frequency Selective Surface, 周波数選択板)と呼ばれる周期構造があり、元々、特定の周波数の電波を遮断する特性を有していたことから、誘電体周期構造と組み合わせることでより機能的な周波数選択的電磁波遮へいが実現できる可能性があると考えた。

(3) 国内外の研究動向と本研究の位置づけ

西暦 2000 年前後より、マイクロ波帯用の導波路・共振器やアンテナ制御素子など、光より低い周波数帯へのフォトニック結晶構造の応用研究が活発化していたが、研究代表者らの知る限り、誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体をマイクロ波帯の周波数選択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、そ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て、誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体の特性解析とその試作品の作製を志向した。

2. 研究の目的

本研究課題の申請時における研究目的は次の 4 点であった。

(1) マイクロ波帯の電磁波に対し、同型または異型の FSS を複数層用いた場合の反射・透過特性について計算機シミュレーションによる 3 次元数値解析を実施し、効果的な電磁波遮へいを実現するための基礎データを取得する。

(2) (1)と同じ帯域の電磁波に対し、誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体による反射・透過特性について計算機シミュレーションによる 3 次元数値解析を実施し、効果的な電磁波遮へいを実現するための基礎データを取得する。

(3) 遮へい構造体の試作品を作製し、試作品の特性評価実験を実施する。

(4) 特性評価実験の結果を踏まえ、医療電磁環境における周波数選択的電磁波遮へい構造体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) 複数層の FSS 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

同型または異型の複数層の FSS による電磁波の反射・透過・遮へい特性に関する 3 次元計算機シミュレーションを反復的に実行し、マイクロ波帯における遮へい特性を評価する。FDTD (Finite-Difference Time-Domain, 時間領域差分) 法や CIP (Constrained Interpolation Profile, 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、自作の高速演算装置を利用した大規模計算を繰返し実施することで、周波数選択的電磁波遮へいを実現するための基礎データを取得する。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学生に研究補助を依頼する。

(2) 誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体による電磁波の反射・透過特性に関する計算機シミュレーション

上記(1)と同様に、誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体についてシミュレーションで得られた数値データを解析し、周波数選択的遮へいを実現するための基礎データを取得する。

(3) 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3次元表示、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。

(4) 遮へい構造体の試作と特性評価

上記(1)、(2)で取得したデータに基づき、周波数選択的電磁波遮へい構造体の試作品を作製し、遮へい効果の周波数特性及び空間特性を測定する。作製及び測定についてはそれぞれ、専門業者に委託する。測定機器や電波暗室は使用頻度が低く、高価であるため借用する。

(5) 医療電磁環境における活用に関する検討

測定結果に基づき改善すべき点を把握するとともに、医療電磁環境における具体的な活用方針を提示する。

4. 研究成果

(1) 複数層の FSS からなる構造体及び誘電体周期構造と FSS を組み合わせた構造体による電磁波の反射・透過特性に関する計算機シミュレーション

金属の正方環をガラス表面に貼付したタイプの FSS 及び四角柱状の空気穴を誘電体ブロックに空けたタイプの誘電体周期構造を考え、これらを素材とした構造体により、マイクロ波帯の特定の周波数帯のみを遮へい対象とした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 2 周波数帯(2.4GHz 帯及び 5GHz 帯)とした。

シミュレーションで得たデータより周波数特性及び空間特性を解析し、これらの 2 周波数帯を同時に遮へい可能であることを明らかにした。ただし、5GHz 帯の遮へい帯域幅が必要以上に広がったため、これを適切に狭めることが今後の課題の 1 つとなった。

(2) シミュレータによる電磁波諸現象の可視化

FDTD 法と Java3D とよばれる 3 次元グラフィックス用 API (Application Program Interface) を用いて電磁波諸現象を擬似 3 次元空間で動画化(時間経過表現及び視点回転表現)する手法を開発した。これにより、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周波数選択的電磁波遮へいの重要性をより効果的に可視化する技法を得ることができた。

(3) 周波数選択的電磁波遮へい構造体の試作と試作品の特性評価実験

シミュレーションで取得したデータに基づき、周波数選択的電磁波遮へい構造体の試作とその特性評価実験を竹中工務店技術研究所(千葉県印西市)に依頼する予定であったが、コロナ禍のため打合せ及び作製の機会を得られず、残念ながら断念せざるを得なかった。これも今後の課題の 1 つである。

以上の事情に鑑みその後、計算機シミュレーション(ソース・コードの改良とデータ処理の効率化)に重点をおいて研究を遂行した。その結果、構造体の仕様に関する詳細な知見を一定程度、取得することができた。

(4) 医療電磁環境における周波数選択的電磁波遮へい構造体の活用に関する検討

医療機関における無線通信と有線通信の効率的な併用及び医療電磁環境における電磁波遮へい材の具体的な活用指針について検討し、成果を現状の問題点の確認及び改善指針の提案という形式で数編の論文に纏めた。

(5) 研究成果の公表

研究期間全体で雑誌論文 3 編、国際会議論文 12 編、国内講演論文 20 編の成果を挙げた。

(6) 今後の展望

周波数選択的電磁波遮へいは、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。誘電体周期構造や FSS に限らず様々な遮へい材料について研究を継続し、より効果的・効率的な周波数選択的電磁波遮へい構造体の開発を目指すとともに、在宅を含むより安全・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

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Endo, T. Kano, and E. Hanada	4. 巻 -
2. 論文標題 Guidelines for medical telemetry system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IFHE Digest 2022	6. 最初と最後の頁 31-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou	4. 巻 7
2. 論文標題 How inappropriate cabling prevents hospitals from becoming "smart" and future communication system management concerns	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Biotechnology and Biomedicine	6. 最初と最後の頁 149-152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou	4. 巻 2
2. 論文標題 Considerations for the effective management of LANs in hospital buildings	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Building Engineering	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.59400/be.v2i1.568	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 3件/うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 How can we best manage the electromagnetic environment of modern clinical medicine?
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT2020) (オンライン開催) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 花田英輔
2. 発表標題 医療機関での無線通信の活用と課題
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Management of wired and wireless communication systems and the electric power supply of hospitals
3. 学会等名 Webinar on Infrastructure and Construction（オンライン開催）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野誠太, 工藤孝人
2. 発表標題 二重正方環型FSSを用いた電磁波遮へいに関する3次元FDTD解析
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中混人, 工藤孝人
2. 発表標題 Java3Dと3次元FDTD法に基づく電磁波シミュレータ
3. 学会等名 2020年度（第73回）電気・情報関係学会九州支部連合大会（オンライン開催）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野誠太, 工藤孝人
2. 発表標題 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
3. 学会等名 2020年度(第73回)電気・情報関係学会九州支部連合大会(オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Problems with voice/data communication and solutions through better facility management
3. 学会等名 Digital Health Institute Summit(オンライン開催)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Future prospects for voice communication in the field of clinical medicine
3. 学会等名 International Conference on Emerging Technologies for Communications(ICETC2020)(オンライン開催)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野誠太, 工藤孝人
2. 発表標題 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
3. 学会等名 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(オンライン開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤孝人
2. 発表標題 FDTD法とJava3Dを用いた電磁放射シミュレーション
3. 学会等名 2021年度（第74回）電気・情報関係学会九州支部連合大会（オンライン開催）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Architectural design considerations essential to realizing the infrastructure necessary for a “smart” hospital
3. 学会等名 2nd International Conference on Infrastructure and Construction（オンライン開催）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Importance of wired/wireless infrastructure in clinical settings -from building construction to management-
3. 学会等名 ESMED Congress 2021（オンライン開催）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花田英輔
2. 発表標題 無線LAN利用の問題点 - 相互干渉を防ぐ
3. 学会等名 第50回日本医療福祉設備学会（東京ビッグサイト，東京都江東区）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eisuke Hanada
2. 発表標題 Recommendations for hospital construction to improve the wireless communication infrastructure environment
3. 学会等名 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (オンライン開催) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花田英輔
2. 発表標題 病院内における無線音声通信(携帯電話、スマートフォン)の流れ～現状の問題点と今後～
3. 学会等名 第96回日本医療機器学会大会(オンデマンド開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花田英輔, 工藤孝人
2. 発表標題 病院のスマート化を阻む不適切配線とあるべき管理
3. 学会等名 電子情報通信学会ヘルスケア・医療情報通信技術研究会(オンライン開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花田英輔, 工藤孝人
2. 発表標題 医療現場のネットワークに今後発生しうる課題とその対策
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会(オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢尻凜太郎, 工藤孝人
2. 発表標題 Java3DとFDTD法を用いた電磁波シミュレータによるマジック T の動作解析
3. 学会等名 2022年度 (第30回) 電子情報通信学会九州支部学生会講演会 (オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳井友徳, 工藤孝人
2. 発表標題 2層の正方環型FSSを用いた帯域選択的電磁波遮へいに関する3次元数値解析
3. 学会等名 2022年度 (第30回) 電子情報通信学会九州支部学生会講演会 (オンライン)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花田英輔, 工藤孝人
2. 発表標題 医療現場における無線LAN活用上の今後の課題と対策
3. 学会等名 第42回医療情報学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou
2. 発表標題 Future considerations for the management of hospital LANs
3. 学会等名 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花田英輔, 工藤孝人
2. 発表標題 今後の病院ネットワークに発生しうる課題
3. 学会等名 電子情報通信学会ヘルスケア・医療情報通信技術研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳井友徳, 工藤孝人
2. 発表標題 2種類の正方環型FSSを用いた帯域選択的電磁波遮へいに関する3次元数値解析
3. 学会等名 日本生体医工学会令和4年度第3回医療・福祉における電磁環境研究会(オンライン)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou
2. 発表標題 A new way of approaching electromagnetic disturbance with/from medical devices: wireless communication failures
3. 学会等名 URSI GASS 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田匡吾, 工藤孝人
2. 発表標題 Java3DとFDTD法を用いた電磁波シミュレータによるリニアアレイアンテナの放射解析
3. 学会等名 2023年度(第31回)電子情報通信学会九州支部学生会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢尻凜太郎, 工藤孝人
2. 発表標題 Java3DとFDTD法を用いたオフセットパラボラアンテナからの放射シミュレーション
3. 学会等名 2023年度(第76回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳井友徳, 工藤孝人
2. 発表標題 交差型誘電体周期構造と正方環型FSSを組み合わせた2周波帯域の電磁波遮へい
3. 学会等名 2023年度(第76回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 工藤孝人
2. 発表標題 電磁パルス波の後方散乱応答を用いた誘電体角柱の空洞率の簡易推定
3. 学会等名 2023年度(第76回)電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou
2. 発表標題 Architectural problems related to wireless communication in hospitals and measures to ensure stable operation
3. 学会等名 2023 International Conference on Emerging Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳井友徳, 工藤孝人
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本生体医工学会令和5年度第4回医療・福祉における電磁環境研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Eisuke Hanada and Takato Kudou
2. 発表標題 Wireless communication system use in medical hospitals and management of the electromagnetic environment
3. 学会等名 EMC Japan/APEMC Okinawa 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Takato Kudou and Eisuke Hanada
2. 発表標題 Two-bands electromagnetic wave shielding using a dielectric periodic structure and FSSs
3. 学会等名 EMC Japan/APEMC Okinawa 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>https://www.eee.oita-u.ac.jp/ee4/5F/ 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 工藤研究室ホームページ</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	花田 英輔 (Hanada Eisuke) (90244095)	佐賀大学・理工学部・教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関