

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820146

研究課題名(和文)人工材料を用いた反射・透過制御材設計法の確立とミリ波帯電磁遮蔽量測定装置の開発

研究課題名(英文) Design Method of Reflection/transmission Controlling Device Using Artificially Designed Materials and Shielding Effectiveness Measurement Setup for Millimeter Waves

研究代表者

山本 真一郎(YAMAMOTO, Shinichiro)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10514391

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)：本研究ではまず、新たな電磁環境対策材料として、金属線配列材を用いた反射・透過制御材設計法を確立し、反射・透過特性を評価した。具体的には、負の等価比誘電率を持つ金属線配列材と誘電体を組み合わせた構成により、バンドパスフィルター、ハイパスフィルターが設計可能であることを示した。さらに、有限長金属線配列材を制御材の一部に取り入れることにより、全透過・全反射周波数を制御できることを確認した。

次に、近年注目されているミリ波帯での遮蔽材を評価するため、ミリ波用透過係数測定装置を新たに作製した。種々のミリ波遮蔽材を評価することにより、妥当な結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, the reflection/transmission controlling device using artificially designed materials are proposed. As the artificially designed material, dipole array sheets and wire grids are used here. Laminated structures consisting of the metal wire array sheets and dielectric material are proposed. Reflection and transmission characteristics of these structures can be controlled by changing the metal wire parameters such as spacing gaps between the wires, and the dielectric material's thickness and relative permittivity. The reflection and transmission characteristics of the laminated structures are evaluated by measurements in free space and by transmission line theory.

Recently, the technologies using millimeter wave frequencies, for example, automotive radar, high-speed wireless LAN, have been developed. In order to evaluate the shielding effectiveness of materials at millimeter wave range, the free space transmission coefficients measurement setup is newly developed.

研究分野：環境電磁工学(EMC)

キーワード：人工材料 反射・透過制御材 等価比誘電率 電磁遮蔽量測定装置 ミリ波

1. 研究開始当初の背景

電磁波を利用した情報通信技術は急速な発展を遂げており、我々の生活空間や社会において必要不可欠なものとなっている。具体的にはスマートフォン、無線LAN、各種センサ等、数多くの最新技術が開発されており、今後さらなる応用が見込まれる。新しい形態の通信技術が導入された場合、そこに新たな電磁環境問題が発生する可能性がある。例えば、本来の使用を目的としない不要な電磁波が発生し、それが原因で生ずる通信機器間での電磁波干渉や機器自体の電磁波内部干渉等が起こり、誤作動やシステムの信頼性を損なうといった事態を招いてしまう。

このような不具合を無くすためには、機器本体が不要電磁波の影響を受けないように、あるいは機器自体が不要電磁波を放射しないように電磁環境を整備する技術(EMC: Electromagnetic Compatibility)が必須である。その技術として電波吸収体・電磁遮蔽材が種々の箇所において利用されている。近年ではさらなる応用として、ある特定の周波数のみの電磁波を吸収・遮蔽したいという要望も増えている。また、使用周波数もマイクロ波からミリ波を含む高周波数領域まで移行してきている。この背景を基に本研究課題に取り組んだ。

2. 研究の目的

上記の研究背景を基に、本研究では、メタマテリアルの一種である人工材料を用いた新たな反射・透過制御材の設計・評価、ミリ波帯における電磁遮蔽量測定装置開発の2テーマに取り組むこととした。

(1)人工材料を用いた反射・透過制御材設計法の確立について

近年、媒質の等価比誘電率・等価比透磁率が同時に負の値を示すような通常の自然界には存在しない特徴を持つ人工材料(本研究では金属線配列材と称す)に関する研究が盛んに行われている。また、最近の技術的要望として、ある特定の周波数でのみ電磁波を透過させ、それ以外の周波数帯では反射させるといった用途が期待されている。

本研究では、従来にはない新機能材料を開発するため、負の等価比誘電率を持つ金属線配列材と誘電体材料を組み合わせた反射・透過制御材設計法の確立に取り組む。これにより、電波吸収体としての性能に加え、電磁遮蔽材としての性能を同時に併せ持つような材料が構成できれば、実用において非常に有効なEMC対策法となると考えた。

(2)ミリ波帯における電磁遮蔽量測定装置の開発について

実際に設計した反射・透過制御材を評価するためには、試料の透過係数が測定できる装置が必要となる。本研究室では、1~18GHzのマイクロ波領域における測定装置を保有

している。近年では、自動車衝突防止レーダーに代表されるように、使用周波数もミリ波を含む高周波数まで拡張されているため、ミリ波帯での電磁遮蔽量測定環境の確立が急務となっている。そこで、本研究では、ミリ波帯において板状試料の透過係数が測定可能な装置を作製することとした。これにより、マイクロ波からミリ波帯での一貫した電磁遮蔽材の評価が可能となる。

3. 研究の方法

(1)人工材料を用いた反射・透過制御材設計法の確立について

まず、基礎データとして、反射・透過制御材を構成する上で必要な金属線配列材の等価比誘電率を測定する。本研究で用いる金属線配列材は図1に示すように、金属線(銅線)を間隔 a 、直径 d で一方向に周期配列し、金属線保持のため両側をPETフィルム(比誘電率:3.2、厚み:100 μ m)で挟み込んだ材料とした。この材料の等価比誘電率は、間隔 a 、直径 d に依存して変化し、測定周波数帯において負の値を示す。

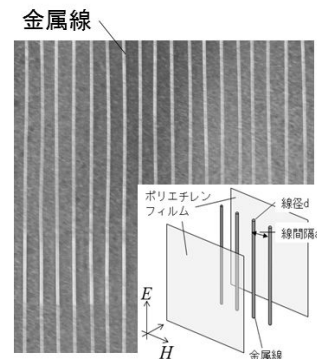


図1 本研究で用いる金属線配列材の構造

図1の金属線配列材と正の比誘電率を示す誘電体(例えば、ガラス板、アクリル板等)を組み合わせることで、構成試料全体の等価比誘電率を自由空間(空気)と同じ1と設定でき、その周波数において全透過の特性を得ることができる。

次に、制御材構成として、図2に示すように、(a)金属線配列材の両側に誘電体を配置、(b)誘電体の両側に金属線配列材を配置、(c)誘電体の片側に金属線配列材を配置した場合の反射係数、透過係数を評価し、反射・透過制御材として最適な構成法を確立する。さ

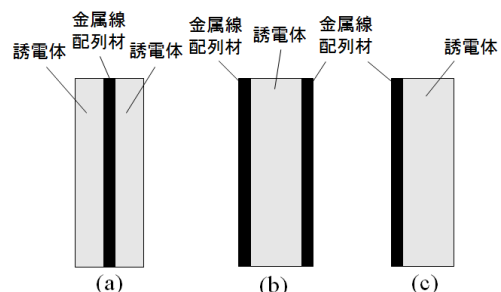


図2 反射・透過制御材構成例

らに、制御材の一部に有限長の金属線を一方に配列した材料を組み込み、この材料特有の比誘電率が共鳴分散を示す性質を利用することにより、反射周波数・透過周波数を同時に有するという新機能を併せ持つ周波数選択性材料の確立を目指す。

(2)ミリ波帯における電磁遮蔽量測定装置の開発について

マイクロ波帯での遮蔽量測定は、本研究室の透過係数測定装置を用いるが、本装置は測定周波数範囲が1~18GHzであり、18GHzより高い周波数での遮蔽量測定が行えない。そこで、ミリ波帯での遮蔽量評価が可能な装置を新たに開発する。本装置は、図3に示すように通常の実験室に十分に納まるように、高さ、幅、奥行きを各々86cm、60cm、60cmの箱型とする。

まず、評価装置の外枠の作製から始め、次に装置内側の上下面に送受信アンテナを取り付け、上部にミリ波回路を設置する。測定試料に入射波が均一に照射されるように、アンテナ-試料間距離 r は30cm、試料面は円形(直径8cm)とする。次に、装置内部を送信アンテナ側と受信アンテナ側で完全に分離する構造とする。さらに、不要な電波散乱をなくすため、装置内部を電波吸収体で覆う。装置の作製後、ダイナミックレンジ(ノイズフロア)の測定、種々のミリ波用電磁遮蔽材の透過係数を順次測定する。

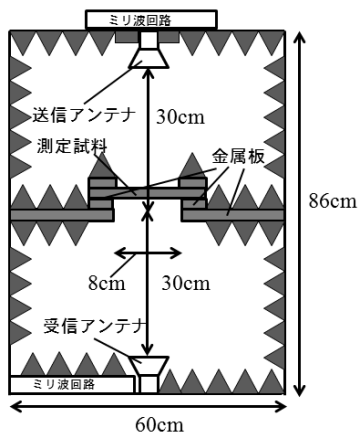


図3 新たに作製するミリ波遮蔽量測定装置

4. 研究成果

(1)人工材料を用いた反射・透過制御材設計法の確立について

まず、図1に示す金属線配列材の等価比誘電率を自由空間法により測定した。一例として、試料(a)、(b)、(c)の比誘電率を図4に示す。この結果より、配列材の比誘電率は間隔 a 、直径 d が小さくなるほど、負の方向に大きくなり、また測定周波数帯において負の値を示すことを確認した。

次に、図2に示す制御材(a)~(c)を構成し、自由空間法により透過係数を測定した。測定結果より、試料(a)のように金属線配列材の両側に誘電体を配置した場合は、ある周波数

帯域で広帯域な全透過となるバンドパスフィルターの特性が、試料(b)のように誘電体の両側に金属線配列材を配置した構造では、ある周波数以上で全透過となるハイパスフィルターの特性が得られることを確認した。

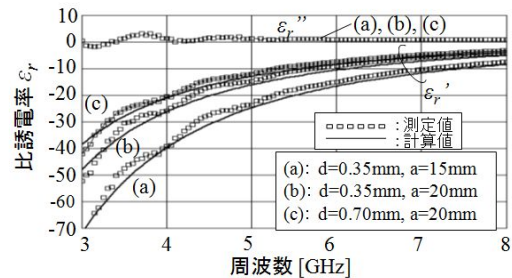


図4 金属線配列材の等価比誘電率

次に、図2(b)の構造において片側の金属線配列材を有限長金属線配列材と入れ替えることにより、全透過特性に加え全反射特性を持つ材料が構成可能かどうか検討した。図5に、3~8GHzにおける反射・透過係数測定結果を示す。ここで、有限長金属線配列材の厚みは275 μ m、金属線長さは25mmとし、図1に示す配列材の a は40mm、 d は75 μ mとした。また、誘電体は厚み1mm、比誘電率2.6のアクリル板を用いた。この結果より、有限長金属線配列材の共鳴周波数(= f_r)において反射係数 Γ が最大となり、試料全体の比誘電率が1となる周波数(= f_{t1} 、 f_{t2})において透過係数 T が最大となる結果が得られた。

以上の研究により、異なる反射周波数・透過周波数を同時に有するという新機能を併せ持つ周波数選択性材料を確立することができた。本研究成果を国内学会で多数発表し、得られた結果が有効であることが示された。また、国際会議における招待講演により国外においても情報を発信でき、今後さらに構成法等を改善していくことによりさらなる発展が見込まれる。

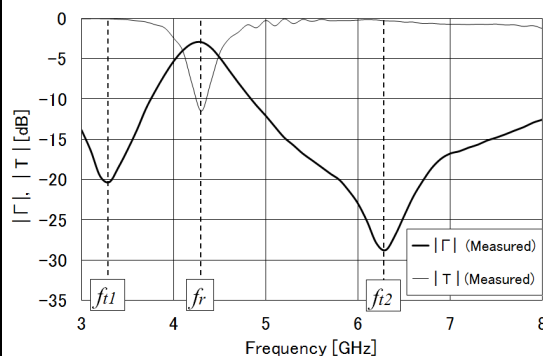


図5 有限長金属線配列材を用いた制御材の反射・透過特性

(2)ミリ波帯における電磁遮蔽量測定装置の開発について

図3に示した測定装置を作製し、装置のダイナミックレンジ(透過係数測定可能範囲: 試料台部に金属板を設置した状態の透過波

と何も設置しない状態の透過波との差)を測定したところ、26.5GHz～40GHzにおいて平均65dBm以上の値が得られた。これにより、現在使用されているほぼ全ての遮蔽材の評価が可能となった。

作製した装置により、上記で述べた制御材の一部である有限長金属線配列材(d)(金属線長さ $L=3.0\text{mm}$)、(e)($L=3.5\text{mm}$)、(f)($L=4.0\text{mm}$)3種類の遮蔽量を測定した結果を図6に示す。この結果より、 L が3.0mmの場合はおよそ35GHz、30mmの場合はおよそ30.5GHz、35mmの場合はおよそ28GHzにおいて遮蔽量が最大となり、 L の長さを大きくするほど遮蔽のピーク周波数は低周波側に移行していることが確認できた。これは有限長金属線配列材特有の結果であり、本装置によりミリ波帯においても有効な遮蔽特性を評価できることを示せた。

以上の研究により、本研究室所有の装置と併せ、ミリ波領域までの遮蔽材の評価が可能となった。

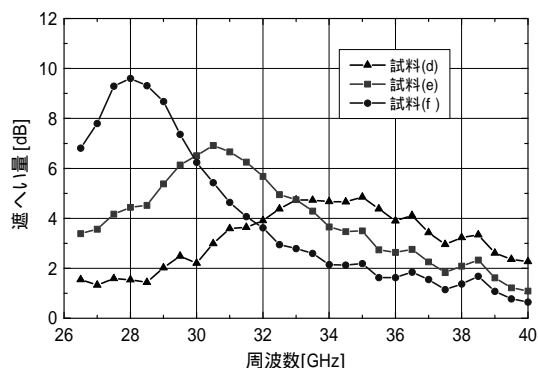


図6 有限長金属線配列材の遮蔽量測定結果

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3件)

山本真一郎、津吉航平、畠山賢一、共鳴パターン周期構造・金属格子同時配列シートを用いた電波吸収体の特性評価、電子情報通信学会論文誌 B、査読有、Vol.J99-B、No.3、2016、182-186

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j99-b_3_182&category=B&year=2016&lang=J&abst=

S.Yamamoto、K.Hatakeyama、Oblique incidence measurement setup for millimeter wave EM absorbers、IEICE Communications Express、査読有、Vol.4、No.10、2015、310-316

DOI: 10.1587/comex.4.310

S.Yamamoto、K. Hatakeyama、T. Tsutaoka、Reflection and Transmission Characteristics of Laminated Structures Consisting a Dipole Array Sheet and a Wire Grid and Dielectric Layer、IEICE Transactions on

Communications、査読有、Vol.E98-B、No.7、2015、1235-1241

DOI: 10.1587/transcom.E98.B.1235

〔学会発表〕(計20件)

M.Okita、S.Yamamoto、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、Transmission Characteristics of Multilayered Structures Using Negative Permittivity Materials and Dielectric Materials、2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation、2016年7月発表確定、高雄(台湾)

K.Tsuyoshi、S.Yamamoto、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、Study on Conductive-Strip Grid-Pattern Characteristics and their Application as Absorber Material、EMC Joint Workshop 2016 Taipei、2016年6月2日、台北(台湾)

K.Tsuyoshi、S.Yamamoto、K.Hatakeyama、EM Absorbers Consisting of a Dipole Array Sheet and a Wire Grid、2015 Korea-Japan EMT/EMC/BE Joint Conference、2015年11月23日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)

M.Okita、S.Yamamoto、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、Transmission Characteristics of Laminated Structures Using Negative Permittivity and High Permittivity Materials、The 7th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics、2015年11月5日、杭州(中国)

大北真義、山本真一郎、畠山賢一、高誘電率材料と金属格子の積層による空間帯域フィルタ～電磁波が全透過する周波数を制御する～、兵庫県立大学シンポジウム、2015年9月28日、神戸市産業振興センター(兵庫県・神戸市)

大北真義、山本真一郎、畠山賢一、岩井通、有限長・無限長金属線配列材の積層による空間帯域フィルタ、2015年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015年9月10日、東北大学(宮城県・仙台市)

S.Yamamoto、M.Okita、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、HF Characteristics of Laminated Structure Consisting of Negative Permittivity and High Permittivity Materials、EMC 2015 Joint IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and EMC Europe、2015年8月20日、ドレスデン(ドイツ)

津吉航平、山本真一郎、畠山賢一、金属線配列シートを付加したフェライトゴムの斜め入射反射特性、電子情報通信学会環境電磁工学研究会、2015年5月15日、香川産業頭脳化センタービル(香川県・高松市)

津吉航平、濱野 晃、山本真一郎、畠山賢一、金属線配列シートを付加したフェライトゴムの反射特性、2015年電子情報通信学会総合大会、2015年3月12日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス（滋賀県・草津市）

大北真義、北澤広行、山本真一郎、畠山賢一、岩井 通、高誘電率複合材と金属格子の積層による空間帯域フィルター、2015年電子情報通信学会総合大会、2015年3月12日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス（滋賀県・草津市）

山本真一郎、畠山賢一、岩井 通、蔦岡孝則、周期的に穴のあいた金属板と誘電体積層構造による帯域、高域通過フィルター、電子情報通信学会環境電磁工学研究会、2015年1月23日、沖縄県市町村自治会館（沖縄県・那覇市）

濱野 晃、山本真一郎、畠山賢一、金属線配列の状態による比誘電率周波数特性の変化、平成26年電気関係学会関西連合大会、2014年11月24日、奈良先端科学技術大学院大学（奈良県・生駒市）
北澤広行、山本真一郎、畠山賢一、マイクロ波からミリ波帯に渡る電磁遮へい材の評価、IEEE AP-S Kansai Chapter and IEEE MTT-S Kansai Chapter 合同若手技術交流会、2014年11月1日、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス（兵庫県・西宮市）

北澤広行、岩井 通、山本真一郎、畠山賢一、ミリ波帯における金属線配列シートの遮へい特性、2014年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2014年9月25日、徳島大学（徳島県・徳島市）

S.Yamamoto、K.Suezaki、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、Reflection and Transmission of Laminated Structures Consisting a Wire Grid and a Dipole Array Sheet and Dielectric Layer、2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC '14/Tokyo、2014年5月16日、Hitotsubashi Hall（東京都・千代田区）
北澤広行、山本真一郎、畠山賢一、岩井通、ミリ波帯遮へい量測定装置の試作、2014年電子情報通信学会総合大会、2014年3月18日、新潟大学五十嵐キャンパス（新潟県・新潟市）

山本真一郎、薄木 誠、畠山賢一、岩井通、金属線周期配列シートの比誘電率の数値計算、電子情報通信学会環境電磁工学研究会、2014年1月31日、佐賀大学本庄キャンパス（佐賀県・佐賀市）

末崎健太、山本真一郎、畠山賢一、岩井通、共鳴パターン周期配列材、金属格子と誘電体積層構造の反射・透過特性、2013年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2013年9月17日、福岡工業大学（福岡県・福岡市）

S.Yamamoto、K.Hatakeyama、T.Tsutaoka、Reflection and Transmission of Laminated Structures Using Finite- and Infinite-Length Metal Wire Array、2013 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility、2013年8月7日、デンバー（アメリカ）

山本真一郎、末崎健太、畠山賢一、岩井通、金属線周期配列材と誘電体積層構造の反射・透過特性、電子情報通信学会環境電磁工学研究会、2013年6月21日、京都大学吉田キャンパス（京都府・京都市）

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 真一郎 (YAMAMOTO, Shinichiro)
兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号： 10514391

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：