

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860065

研究課題名（和文） 電磁波吸収・遮へい材料の評価及び反射・透過特性測定装置の開発

研究課題名（英文） Evaluation of Electromagnetic Wave Absorber Panels, Shielding Materials and Measurement Setups for reflection, transmission characteristics

研究代表者

山本 真一郎 (YAMAMOTO SHINICHIRO)

兵庫県立大学・工学研究科・助教

研究者番号：10514391

研究成果の概要（和文）：本研究では不要電磁波対策として使用されている電波吸収体・電磁遮へい材に着目し、その評価法及び反射・透過特性が測定可能な装置の開発を目的とした。まず、電波吸収体の評価法として反射係数行列の対角化による評価法を確立し、その有効性を確認した。次に、ミリ波帯において電波吸収体の評価が可能な装置を作製した。本装置により吸収体の複素反射係数が正確に測定できるようになった。また、電磁遮へい材を評価するために、送受信アンテナを上下に対向させた透過係数測定装置を新たに作製した。本装置は通常の実験室内に納まるようにコンパクトに構成されており、遮へい材の透過係数が正確に測定できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：In this study, the evaluation method of electromagnetic wave absorber panels and shielding materials are discussed. First, the diagonalization method of reflection coefficient matrix for absorber panels is proposed. By using this method, the reflection coefficients at principal axes and the directions of principal axes can be easily specified. Second, the measurement setup of reflection characteristic at millimeter waves is developed. The reflection coefficient of this setup can be correctly measured from 50GHz to 75GHz. Next, the transmission coefficient measurement setup of electromagnetic shielding materials at microwave frequencies is proposed. Transmission coefficients of several materials by this setup are discussed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	920,000	276,000	1,196,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,720,000	516,000	2,236,000

研究分野：環境電磁工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：電磁環境、EMC、電波吸収体、電磁遮へい材、反射係数、透過係数

1. 研究開始当初の背景

近年、携帯端末、無線 LAN、自動車衝突防止レーダ等に代表されるような各種電子情報通信技術が急速に発展しており、電磁波の有効利用は我々の生活空間には必要不可欠なものとなってきている。

それに伴い、電磁波障害問題も社会的な関心を集めている。電磁波障害の原因としては、電子機器等で発生した電磁雑音以外に、通信や情報伝達を目的とした電磁波も含まれる。それらは通信相手でない者にとっては、本来の目的ではない不要電磁波と同等であり、電磁波障害源となってしまう。例えば、船舶レーダ電波が大形橋梁により反射され生じる偽像問題、不要電磁波による心臓ペースメーカー停止等の問題が挙げられる。

これら不要電磁波の影響を低減するためには、全ての電子機器は外来電磁波の影響を受けないように、また逆に不要電磁波発生により他の電子機器に影響を与えないように設計する必要がある。従来より、不要電磁波対策として電波吸収体、電磁遮へい材が多く用いられ、多種多様の吸収体、遮へい材が開発されてきた。

本研究では、これらの背景を基に電波吸収体、遮へい材の評価に着目した。

2. 研究の目的

不要電磁波を抑制する対策として、種々の電波吸収体、電磁遮へい材が用いられている。電波吸収体とは、電磁波エネルギーを熱エネルギーとして吸収し、反射波を小さくする材料のことである。入射波電界、反射波電界を各々 E_i 、 E_r とすると、吸収体の反射係数 Γ (dB) は $20\log_{10}(E_r/E_i)$ で与えられる。また、電磁遮へい材とは、透過波を小さくする材料であり、透過波電界を E_t とすると、遮へい材の透過係数 S (dB) は $20\log_{10}(E_t/E_i)$ で与えられる。

電子機器に対する不要電磁波対策は、従来は 1GHz 以下の周波数帯が主であったが、近年では高速無線 LAN、ITS、自動車衝突防止レーダ等の発展により、マイクロ波 (3~30GHz) からミリ波 (30~300GHz) を含む高周波数帯の電磁環境が重要性を増してきており、ミリ波を含む周波数帯での電波吸収体、電磁遮へい材の開発、評価が必要となっている。

本研究では、電波吸収体・遮へい材の評価について、マイクロ波からミリ波に亘る広周波数帯において実験的、理論的両観点から検討を行った。

3. 研究の方法

本研究では、電波吸収体、遮へい材の評価及び吸収体の反射係数、遮へい材の透過係数が測定可能な装置の開発、作製を行った。研究方法を平成 20 年度、21 年度に分け、以下に示す。

(1) 平成 20 年度

① 電波吸収体の評価について

対角化評価法を用いた異方性電波吸収体の評価に取り組んだ。反射係数行列の対角化により得られる固有値、固有ベクトルは各々方向性の軸（反射係数が最大値あるいは最小値となる軸）での反射係数、方向性の軸の方向とみなせる。先ず、方向性の軸が未知の吸収体を例に取り本評価法の有効性について検討した。測定試料として、目視により方向性の軸が特定できないゴムフェライト吸収体、カーボン繊維複合材を用いた。

吸収体の反射係数は、本研究室所有のアーチ型測定装置を用いた自由空間法により、ネットワークアナライザで測定した。

② 電磁遮へい材の評価について

マイクロ波帯において平板状遮へい材の透過係数が測定できる装置の開発を試みた。図 1 に測定装置外観図を示す。装置は通常の実験室内に十分に納まるように、高さ、幅、奥行きをそれぞれ 210cm、90cm、90cm とした。また、測定試料台を床から高さ 1m の位置になるように設定し、測定者が立った状態のままで、試料の取り扱いが容易に行えるようにした。装置内側をピラミッド形電波吸収体で覆い、測定のダイナミックレンジ（試料窓に金属板を設置した場合の透過係数と何も設置しない場合の透過係数の差）を大きくするために、装置内部を送信アンテナ側と受信アンテナ側で分離した。

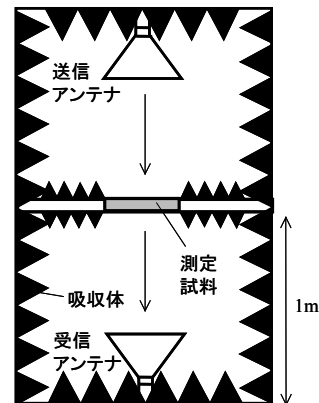


図 1 透過係数測定装置

平成 20 年度内に評価装置の試作を完了させ、基本的な動作が確認されるかどうか確認することを目的とした。

(2) 平成 21 年度

① 電波吸収体の評価について

対角化評価法を用いた異方性電波吸収体の応用に取り組んだ。具体的に、ある周波数帯（例えば、8~10GHz）では、方向性の軸は角度 α の方向に、別の周波数帯（例えば、11~13GHz）では、方向性の軸は角度 β ($\alpha \neq \beta$)の方向となるような吸収体が設計できれば、周波数毎に方向性の軸を任意に設定できるようになる。幾つかの異方性吸収体を互いの方向性の軸が一致しないように積層させた試料を作成し、対角化評価法により方向性の軸の周波数依存性について検討した。

以上の検討は主にマイクロ波帯で行うが、実用を考え、ミリ波帯で吸収体の複素反射係数が測定可能な装置を作製した。測定装置構成を図 2 に示す。装置上部内側に送受信アンテナを別個に設け、装置下部に測定試料台を設置した。

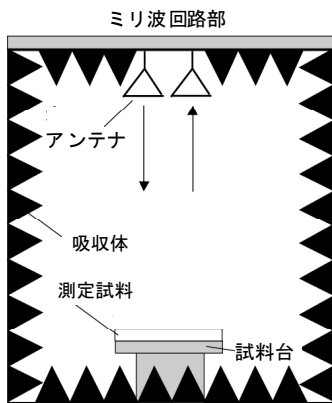


図 2 反射係数測定装置

次に、装置上部に発振器、増倍器、アイソレータ、方向性結合器、マジックティー等から成るミリ波回路部を設置した。本装置では、スペクトラムアナライザを用い、測定を行うため、反射波の振幅成分のみしか測定できない。そこで、反射波の位相成分の測定が可能となるように測定試料台を送受信アンテナ方向に微小量（波長程度）移動する機構を加えた。この手法により、ミリ波帯の吸収特性を簡便かつ正確に測定できるようになる。

② 電磁遮へい材の評価について

平成 20 年度に試作した図 1 に示す装置のダイナミックレンジを評価した。さらに、本装置を用い種々の遮へい材の透過係数を測定した。また、遮へい材の入射波編波特性が測定できるように送信アンテナを任意に回転できる工夫を加えた。

4. 研究成果

研究成果を平成 20 年度、21 年度に分け、以下に示す。

(1) 平成 20 年度

① 電波吸収体の評価について

反射係数行列の対角化を用いた手法を確立した。本手法により、異方性電波吸収体の方向性の軸を特定できることを確認した。さらに、目視等により方向性の軸が特定できない試料においても本評価法が有効であることを確認した。

従来より用いられている評価法としては、測定試料を数度毎に回転させ、方向性の軸を特定していたため、多大な測定時間、手間を要していた。本対角化評価法は、方向性の軸を簡便、且つ、正確に特定できるため、実用において非常に有効な手法となる。

② 電磁遮へい材の評価について

図 1 に示す板状遮へい材の透過係数測定装置を作製した。本測定装置は、送受信アンテナを地面に対し上下方向に配置しているため、従来の電波暗室等で使用されている衝立の評価装置に比べ、コンパクトに構成でき、通常の実験室内に十分に納まる程度の大きさとなった。

数種類の遮へい材の透過係数を測定したところ、妥当な結果が得られた。

(2) 平成 21 年度

① 電波吸収体の評価について

まず、異方性電波吸収体の方向性の軸の周波数依存性について検討した。具体的には、有限長金属線を一方に配列させた試料を二種類（試料(A)、(B)）用意し、それらを互いの方向性の軸が一致しないように積層させた試料を作製した。

反射係数行列の対角化による評価法により方向性の軸を求めたところ、例えば図 3 に示すように 8GHz では方向性の軸は試料(A)の方向（角度 α ）に、11GHz では試料(B)の方向（角度 β ）となることを確認した。本構成法により、方向性の軸を任意に設定可能となった。つまり、所望の周波数帯において方向性の軸を予め設定できるため、入射波を周波数毎で使い分けることができる。

次に、ミリ波帯（50~75GHz）において図 2 に示す電波吸収体の反射特性が測定可能な装置を試作した。測定試料台の上下移動機構により反射波の位相成分が測定できるようになった。種々の電波吸収体を評価した結果、良好な結果が得られた。本装置によりミリ波帯において電波吸収体の複素反射係数が簡便且つ正確に測定可能となった。

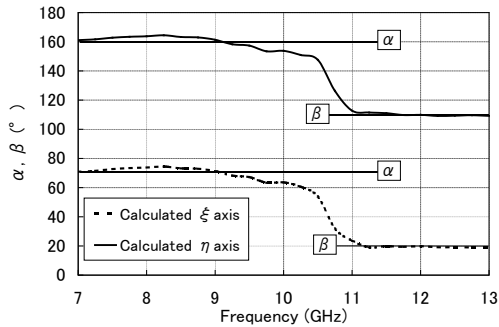


図3 積層試料の方向性の軸

② 電磁遮へい材の評価について

平成20年度に作製した図1の透過係数測定装置を用い、種々の電磁遮へい材の透過係数を測定した。また、本測定装置内部の測定試料窓周辺をピラミッド型電波吸収体で完全に覆うことによりダイナミックレンジの改善を試みた。本装置のダイナミックレンジを測定した結果を図4に示す。ダイナミックレンジはおよそ68dB程度得られた。この値が大きいくほど透過係数が大きな遮へい材の評価が可能となる。本装置では通常の評価装置に比べ、10~20dB程度ダイナミックレンジが改善された。

本装置では、送信アンテナ及び測定試料を任意に回転できるようにしている。この特徴を利用し、電磁遮へい材の入射波偏波依存性が測定できることを確認した。本装置は非常にコンパクトに構成されており、試料取り扱いも容易であるため、実用において遮へい材を評価するために非常に有効な手段である。

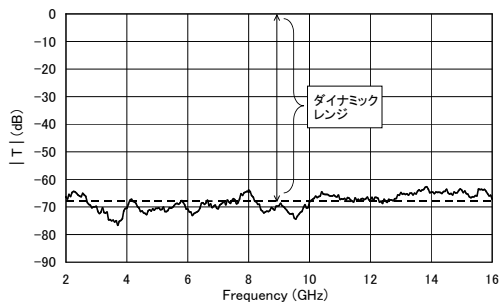


図4 透過係数測定装置のダイナミックレンジ

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)

- ① S. Yamamoto, T. Iwai, K. Hatakeyama, An Evaluation Method for Anisotropic Absorber Panels Using a Diagonalization Method, IEICE Transactions on Communications, 査読有、2010年7月掲載決定

- ② 山本真一郎、畠山賢一、金属線配列材による電波吸収体の斜め入射特性改善法、電気学会論文誌A、査読有、Vol. 130、No.3、2010、pp.291-292
- ③ 畠山賢一、蔦岡孝則、兼本貴仁、山本真一郎、岩井通、金属格子の反射・透過特性と単層形電波吸収体裏地としての応用、電子情報通信学会論文誌B、Vol. J93-B、No.1、2010、pp.101-111

[学会発表] (計20件)

- ① 兼本貴仁、山本真一郎、岩井通、畠山賢一、金属格子の近傍界遮へい特性に関する実験的検討、2010年電子情報通信学会総合大会、2010年3月18日、東北大学川内キャンパス
- ② 山本真一郎、石原大輔、畠山賢一、金属線配列材を用いた斜め入射特性改善用電波吸収体の設計、2010年電子情報通信学会総合大会、2010年3月17日、東北大学川内キャンパス
- ③ 石原大輔、山本真一郎、畠山賢一、金属線配列材を用いた斜め入射時における電波吸収体の吸収特性に関する研究、第15回学生会研究発表講演会、2010年3月10日、大阪大学吹田キャンパス
- ④ 橋本流一、長谷川和明、岩井通、山本真一郎、畠山賢一、50~75GHz帯における複素反射係数測定装置の試作・評価、第15回学生会研究発表講演会、2010年3月10日、大阪大学吹田キャンパス
- ⑤ 兼本貴仁、岩井通、山本真一郎、畠山賢一、蔦岡孝則、金属格子とパーマロイ複合材シート積層体の反射・透過特性、2009年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2009年9月17日、新潟大学五十嵐キャンパス
- ⑥ 山本真一郎、岩井通、畠山賢一、電波吸収体の異方性に関する実験的評価、2009年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2009年9月17日、新潟大学五十嵐キャンパス
- ⑦ 山本真一郎、畠山賢一、電磁波吸収材料を用いた不要電磁波除去法、兵庫県立大学シンポジウム、2009年9月11日、神戸市産業振興センター
- ⑧ T. Iwai, S. Yamamoto, K. Hatakeyama, Effective Permittivity and Transmission of 2-Dimensional Straight Conductive Strip Array, 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC'09 Kyoto, 2009年7月24日、京都国際会館
- ⑨ S. Yamamoto, Y. Takae, T. Iwai, K. Hatakeyama, Study on the Principal Axis of Anisotropic Absorber Panel by the Use of Diagonalization Method, 2009

International Symposium on Electromagnetic Compatibility、EMC'09 Kyoto、2009年7月24日、京都国際会館

- ⑩ S. Yamamoto, Y. Takae, K. Hatakeyama, Study on the Practical Evaluation Method for Anisotropic Absorbers at Microwave Frequencies、2009 Korea-Japan Joint Conference on AP/EMC/EMT、2009年5月15日、RFID/USN Center, Korea
- ⑪ 山本真一郎、高江義昭、畠山賢一、異方性のある平板状遮へい材の評価法、2009年電子情報通信学会総合大会、2009年3月20日、愛媛大学城北地区
- ⑫ 越智祥史、山本真一郎、畠山賢一、金属線配列シートを用いる製合法の検討、2009年電子情報通信学会総合大会、2009年3月18日、愛媛大学城北地区
- ⑬ 名倉良祐、兼本貴仁、岩井 通、山本真一郎、畠山賢一、金属線周期配列材の電波伝搬特性を利用した反射・透過制御材設計例、環境電磁工学研究会 (EMCJ)、2009年1月23日、九州工業大学戸畑キャンパス
- ⑭ 高江義昭、岸田治展、岩井 通、山本真一郎、畠山賢一、直線偏波、円偏波反射係数を用いた異方性電波吸収体評価に関する研究、環境電磁工学研究会 (EMCJ)、2009年1月23日、九州工業大学戸畑キャンパス
- ⑮ S. Yamamoto, Y. Takae, K. Hatakeyama, Evaluation Method of Anisotropic Absorber Panel at Microwave Frequencies、20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility、2009年1月14日、ETH Zurich, CHN building, Switzerland
- ⑯ 山本真一郎、高江義昭、畠山賢一、マイクロ波帯における異方性電波吸収体の実用的評価法 ～反射波電力および異方性の大きさについて～、環境電磁工学研究会 (EMCJ)、2008年11月21日、産業技術総合研究所臨海副都心センター
- ⑰ 名倉良祐、山本真一郎、岩井 通、畠山賢一、マイクロ波帯遮蔽量測定装置の試作、2008年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2008年9月19日、明治大学生田キャンパス
- ⑱ 高江義昭、山本真一郎、岩井 通、畠山賢一、金属線配列材を用いた電波吸収体の斜入射特性に関する検討、2008年電子情報通信学会ソサイエティ大会、2008年9月18日、明治大学生田キャンパス
- ⑲ 山本真一郎、高江義昭、畠山賢一、反射特性に僅かな異方性を示す電波吸収体の実用的評価、2008年電子情報通信学会

ソサイエティ大会、2008年9月18日、明治大学生田キャンパス

- ⑳ 山本真一郎、高江義昭、畠山賢一、異方性電波吸収体の円偏波反射係数測定法に関する検討、環境電磁工学研究会 (EMCJ)、2008年6月20日、北海道大学大学院情報科学研究科

〔図書〕 (計1件)

- ① 畠山賢一、他、シーエムシー出版、最新電波吸収体設計・応用技術、2008、161～174

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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