

多層構造による電磁波吸収材料の高度化

林 達郎 ^{*1)}

Effect of double layer Electromagnetic Wave Absorber

HAYASHI Tatsuro ^{*1)}

Interference of electromagnetic wave happens when a lot of wireless communication systems and electric equipments exist in adjacent environment. Electromagnetic wave absorber is an effective material to prevent such problems by the function to control a reflection.

In this paper, a double layer electromagnetic wave absorber is proposed for development of the absorption characteristic in wide frequency range in comparison with a single layer model.

As a result, a double layer absorber which coated electroconductive film on the surface of a single layer absorber showed approx. -20dB absorption characteristics at two frequency ranges.

1. 緒言

無線ネットワークを多用したオフィスや住居環境が一般化し、屋外においても高度道路交通システム ITS(Intelligent Transport System)など、無線通信技術を駆使した新しいサービスが計画されている。

しかし、限られた周波数帯域と、近接した空間において、多数の無線通信システムが共存する環境では、電磁波の反射や干渉による問題が生じやすく、その対策として有効な電磁波吸収材料に求められる要求は、今後ますます複雑かつ多様化するものと考えられる。

筆者は、これまで単層型の構造をもつ電磁波吸収材料について、その設計ならびに試作を行ってきたが¹⁾²⁾、材料の使用目的や用途によっては、より広帯域の吸収特性が要求されるケースがあった。

そこで本研究では、電磁波吸収材料の吸収帯域を広域化することを目的に、単層型吸収材料を拡張して2層構造化した材料を試作し、その評価ならびに考察を行ったので報告する。

2. 材料の構造と用途

電磁波吸収材料の構造については、基本となるいくつかの形態が知られており³⁾、これらを発展することで、より広帯域の吸収特性をもつ材料を実現する方法が考えられる。

一般に、シート状に作られた単層型の吸収材料は、損失材料の配合具合や、厚みの設計が適切な場合において、十分な吸収特性を得ることができるが、吸収帯域を広域化することが難しい。

そこで本研究では、単層型の吸収材料の表面に、抵抗性

の皮膜を形成して2層構造化することで、吸収帯域の広域化を試みた。

また、無線通信システムの安定運用を側面から支援する用途に焦点をあて、大面積の材料を実現できること、加えて可能な限り軽量であることを条件に、発泡樹脂を試作材料のベースに用いた。

なお、吸収効果を期待する周波数帯域は、無線ネットワーク等で利用される2~3GHz周辺と、5~8GHz周辺の2つの帯域である。

3. 実験方法

3.1 電磁波吸収特性ならびに比誘電率の測定方法

材料のもつ電磁波吸収特性の測定は、ダブルリジッドホーンタイプの送受信アンテナを2基装備したアーチ式支持台を自由空間に設置し、金属板の上に置いた材料に電磁波を入射したときの反射損失をネットワークアナライザにより測定する方法を用いた。

また、材料の比誘電率は、同軸導波管内に材料を挿入したときの透過損失をネットワークアナライザにより測定し、この値を伝送線理論式と比較して近似計算により推定する方法を用いた。

いずれも測定範囲は40MHz~8GHzである。

3.2 材料の試作

2層構造をもつ材料を試作するための予備実験として、まず抵抗性の皮膜による吸収効果のみをもつ材料と、単層型の吸収材料を別々に試作し、それぞれの特徴を抽出した後、これらの吸収効果の併用を試みる手順をとった。

*1) 機械・電子・情報技術チーム

3.3.1 抵抗性の皮膜による吸収材料の試作

電磁波の波長を λ としたとき、金属板から $\lambda/4$ だけ離れた位置に平面波の波動インピーダンス($\approx 377\Omega$)と等価的な抵抗率をもつ皮膜を配置した場合に、皮膜側から入射した電磁波が金属板の反射による共振点を生み、その位置に配置した皮膜が、電磁波の電界成分を吸収する効果を用いるものである。

目的とする周波数の電磁波波長を λ とした場合、理論上、材料に必要な厚み d は次式で表される。

$$d = \frac{\lambda}{4}$$

ただし、比誘電率が ϵ_r の誘電材料の内部を進行する電磁波の波長 λ_s は次式で表されるため、材料の厚み設計には皮膜と金属板の間に位置するベースの比誘電率を考慮した。

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\lambda: \text{空間の波長})$$

材料の試作は、抵抗性の皮膜による吸収効果のみを検証するために、ベースに無損失の発泡樹脂を使用し、材料表面に抵抗率が $200\sim 500\Omega$ に収まるよう導電性のカーボン塗料を用いた抵抗性皮膜を形成した。

試作した材料の構成を Fig.1 に、またベースに用いた発泡樹脂の比誘電率を推定した結果を Fig.2 に示す。

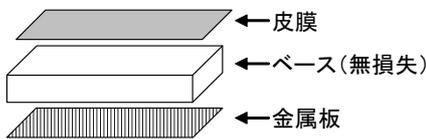


Fig. 1 Structure of absorber coated a film on the surface.

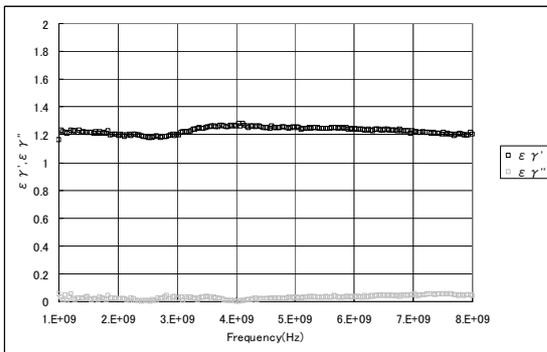


Fig. 2 Estimated dielectric constant of base material.

この結果より、材料の厚み設計に用いる比誘電率の値を近似的に $\epsilon_r \approx 1.2$ とし、材料の厚みを変化させたときに吸収のピークとなる周波数を上の計算式により求めた結果を Table 1 に示す。

Table 1 Estimated peak frequency of absorption.

材料の厚み (mm)	適合する電磁波の波長(mm)	予想される吸収ピーク周波数(GHz)
15	65.7	4.56
20	87.6	3.42
25	109.5	2.74

3.3.2 抵抗性の皮膜による吸収材料の特性

材料の厚みを 15mm、20mm、25mm に調整した材料について、TE モードで入射角度 15° における吸収特性を測定した結果を Fig.3 に示す。

それぞれの厚みにおいて、試作した材料が示す吸収のピークとなる周波数は、計算により求めた値と概ね近似することが確認できた。

特に、厚みが 25mm で作製した材料については、無線ネットワークなどで利用されている 2.5GHz 付近において -20dB を超える吸収特性が得られている。

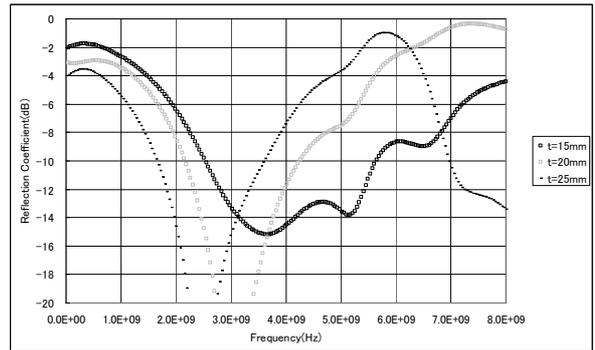


Fig. 3 Measured reflection coefficient of absorber coated a film on the surface.

3.4.1 単層型吸収材料の試作

単層型の吸収材料は、ベースとなる材料に損失材料を配合して、材料中を通過する電磁波のエネルギーを熱エネルギーに変換するものである。

ここでは、損失材料として導電性のカーボンブラックを用いて、これをベースである発泡樹脂に配合する方法により材料の試作を行った。

材料の構成を Fig.4 に示す。

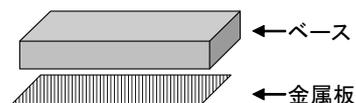


Fig. 4 Structure of single layer absorber.

発泡不良の発生を避けるため、カーボンブラックの配合率を無制限に高めることはできないが、発泡樹脂に対するカーボンブラックの配合率を最大で18mass%まで高めた材料を試作し、このときに材料が示す比誘電率から、単層型の吸収材料が単独で示す吸収特性の予測を試みた。

例としてカーボンブラックを18mass%配合した発泡樹脂の比誘電率を推定した結果を Fig.5 に示す。

またこの値と単層型吸収材料の理論式を用いて、材料の厚みを15mm、20mm、25mmと変化させた場合に予測される吸収特性を求めた結果を Fig.6 に示す。

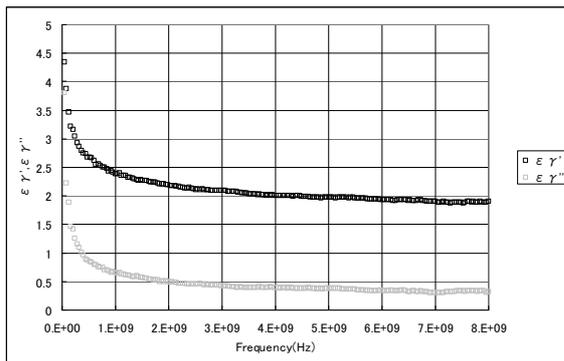


Fig. 5 Estimated dielectric constant of sample mixed carbon at 18mass%.

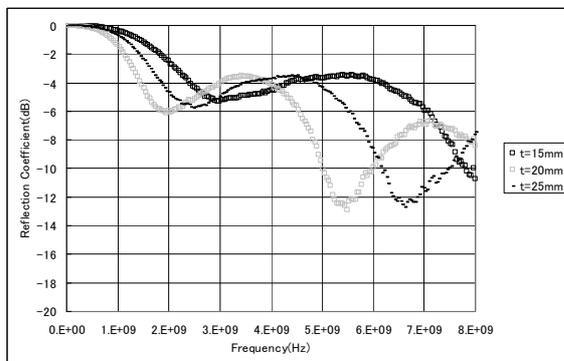


Fig. 6 Estimated reflection coefficient of sample mixed carbon at 18mass%.

3.4.2 単層型吸収材料の特性

カーボンブラックを18mass%配合した材料の場合、厚みが25mmのときに、6~7GHz付近で-10dBを超える吸収効果が得られることが予測されたので、実際にこの材料を厚み25mmで試作し、TEモードで入射角度15°における吸収特性を測定した結果を Fig.7 に示す。

これより、発泡樹脂にカーボンブラックを18mass%配合したとき、吸収効果は十分とは言えないものの、6~7GHz付近において-10dBを超えており、2層構造化する場合の併用効果として期待できることがわかった。

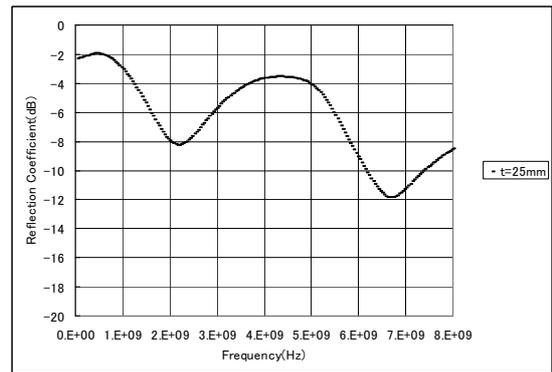


Fig. 7 Measured reflection coefficient of sample mixed carbon at 18mass%.

3.5 2層構造化による吸収帯域の広域化

これまで予備的に試作した2種類の材料がもつ吸収効果を併用して、吸収帯域の広域化を図るため、2層型の吸収材料の試作を行った。

材料の構成を Fig.8 に示す。

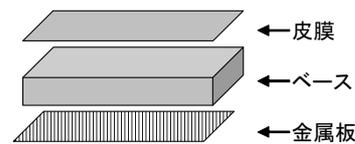


Fig. 8 Structure of double layer absorber.

吸収効果を期待する周波数帯域は、2~3GHz周辺と5~8GHz周辺の2つであるが、これまでの実験結果より、抵抗性の皮膜による吸収材料の場合は厚みが25mmのとき2~3GHz付近で20dB以上の効果が得られ、また単層型の吸収材料による吸収効果の場合は、カーボンブラックの配合率が18mass%で厚みが25mmのとき、5~8GHz付近で10dB以上の効果が得られている。

そこで、ここではまず発泡樹脂にカーボンブラックを16mass%と18mass%で配合したベースを厚み25mmで試作し、次にそれぞれの材料表面に抵抗性の皮膜を形成することで2層構造化を行った。

4. 結果および考察

カーボンブラックを16mass%、18mass%で配合したベースの吸収特性と、これら材料の表面に抵抗性の皮膜を形成して2層構造化した後の吸収特性を測定して、比較を行った。

配合率が16mass%の材料について2層構造化する前後の吸収特性をTEモードで入射角度15°、30°、45°の角度により測定した結果を Fig.10 に、同様に18mass%の材料について測定を行った結果を Fig.11 に示す。

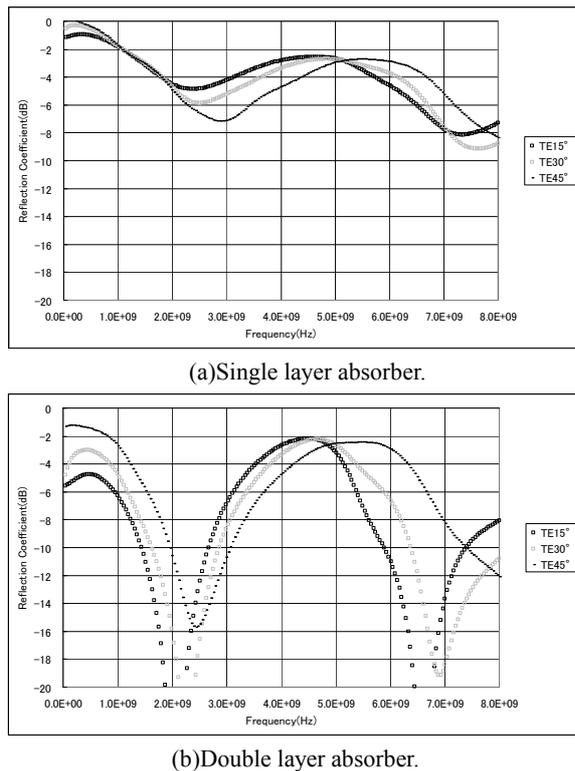


Fig. 10 Comparison of reflection coefficient between single layer and double layer, mixed carbon at 16mass%.

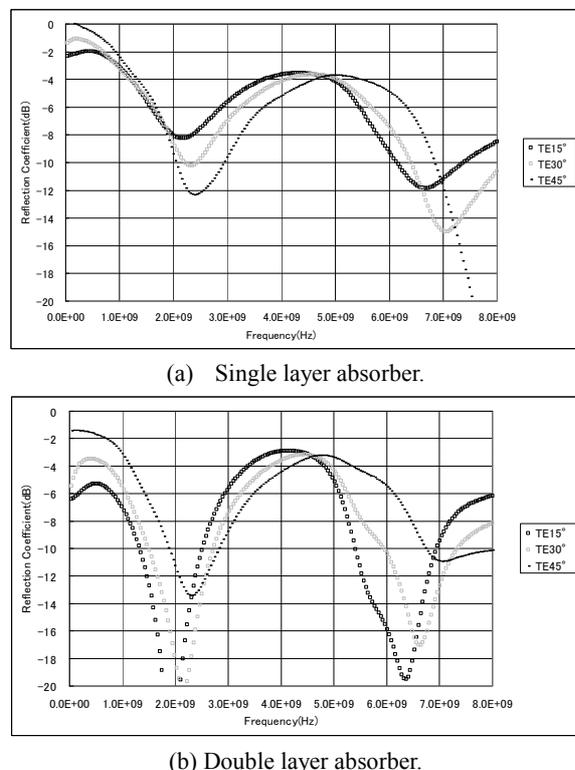


Fig. 11 Comparison of reflection coefficient between single layer and double layer, mixed carbon at 18mass%.

これより2層構造化を図った材料の場合、垂直入射に近い条件下で、2~3GHz付近と6~7GHz付近に20dB程度の吸収ピークを確認することができ、この方法が材料の吸収帯域の広域化に有効であることが確認できた。

また、ベースに対するカーボンブラックの配合率が16mass%の材料と18mass%の材料を比較すると、2層構造化を図る前の状態では吸収特性に若干の相違がみられるが、2層構造化の後では、吸収特性に大きな差が見られなかった。

ただし、2層構造化した後の材料にみられる6~7GHz付近の吸収ピーク周波数が僅かに異なっており、これがベースに対するカーボンの配合率の違いによる影響であるか否かについては、さらに多くの形態による実験を実施して、考察を行う必要がある。

5. 結言

損失材料を樹脂に配合して吸収材料を作製する場合、成形性、あるいは発泡性を確保するために、損失材料の配合率を抑制する必要が生じ、結果として十分な吸収特性が得られないケースが多く見受けられる。

本研究で試作した2層構造による吸収材料は、広帯域の吸収特性が得られると同時に、そのような場合の性能補填としても有効な方法であることを確認できた。

謝辞

本研究を実施するにあたり、発泡樹脂材料の設計ならびに試作について、多大な技術協力を頂きました安田プラスチック株式会社の安田代表取締役をはじめ、同社の皆様に感謝いたします。

なお、本研究において使用した装置は、競輪収益の一部を財源とした、財団法人JKA「機械工業振興補助事業」の補助金助成により設置したものである。

KEIRIN 

参考文献

- 1) 林達郎、山本政男ほか：高機能電磁波吸収材料の開発（第1報）、奈良県工業技術センター研究報告、20-22、2006
- 2) 林達郎、山本政男：高機能電磁波吸収材料の開発（第2報）、奈良県工業技術センター研究報告、25-28、2007
- 3) 橋本修：電波吸収体入門、森北出版、6-10、1997