

# 高性能電磁波吸収材料の開発（第2報）

林 達郎<sup>\*1)</sup>、山本政男<sup>\*2)</sup>

## A Study of Electromagnetic Wave Absorber with Plastic Base.

HAYASHI Tatsuro<sup>\*1)</sup>, YAMAMOTO Masao<sup>\*2)</sup>

Electromagnetic wave absorber is an effective material for stabilized operation of the electromagnetic radiation use system and the malfunction prevention of electronic equipments.

In this study, we examined electromagnetic wave absorber with a plastic base and evaluation system of electromagnetic wave absorption characteristic. In addition, we developed dielectric constant estimation system for materials with electromagnetic loss in band of microwave(1 ~ 8GHz).

Some materials mixed small carbon powder of the particle size has electromagnetic wave absorption characteristic.

### 1. 緒言

電磁波吸収材料は電磁環境問題への対策や、電磁波利用システムの安定運用に寄与する汎用性の高い機能性材料として注目されており、将来に向けてその用途が拡大することが予想されている。

そこで本研究では、電気・機械装置などの筐体などに広く用いられている汎用性の高いプラスチック材料をベースに、入手が容易なカーボン材料の配合物を添加して GHz帯における電磁波の吸収特性を付与した板状の電磁波吸収材料の試作を行ってきた。

また、併せて電磁波吸収材料の開発段階で不可欠な、高周波領域における材料の複素比誘電率を推定するシステムの開発を行ったので、試作した電磁波吸収材料の複素比誘電率推定結果とともに、材料設計における活用事例を報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 材料の試作

電磁波吸収材料は電磁波の損失材料であり、電磁波が材料中を進行する際に、電気的損失や磁氣的損失により、次第にそのエネルギーが材料中に熱エネルギーとして吸収される<sup>1)</sup>。

したがって、電磁波吸収材料の設計においては、電気的な損失又は磁氣的な損失、或いはその両方の損失が起こる材料を構成する必要がある。

本研究では引き続き、電気、機械装置の筐体などへの適用性が高く、広い分野で工業、生活用品に利用されているポリプロピレンをベース材料とし、これに入手が容易なカーボン材料を配合することで電気的な損失効果をもつ電磁波吸収材料を試作した。

配合に用いたカーボン材料を Table 1 に示す。

カーボンの選定にあたっては、ベース材料に対する導電性付与効果等の影響要因となる粒子径や比表面積などが異なる4種類のカーボン材料を選んだ。

実際のサンプル作製に際しては、ベース材料であるポリプロピレンとカーボン材料を一定の条件下(210℃, 10min)においてミルで混練し、次に材料を小型の射出成形装置で厚み3mmの板状サンプルに成形する手順をとった。

また、いずれのカーボン材料についても、電磁波吸収効果が最適となる条件を見いだすため、配合率(質量比mass%)の異なる複数のサンプルを作製した。

Table 1 Details of carbon.

No	一般名	粒子径	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	ヨウ素吸着量 (g/kg)
1	黒鉛パウダー	1.5 ~ 90 μm	3 ~ 25	-
2	カーボンブラック	23nm	220	-
3	カーボンブラック	34nm	1270	-
4	カーボンブラック	40nm	58	63

(メーカー公表値)

#### 2.2 材料の電磁波吸収特性の測定

材料の電磁波吸収特性は、Fig.1 に示す反射端を設けた同軸導波管を構成するサンプルホルダー内に小型サンプルを挿入して、材料への入射波に対する反射波の比(反射係数)を測定する方法<sup>2)</sup>により実施した。なお、対象とした周波数は1 ~ 8GHzである。

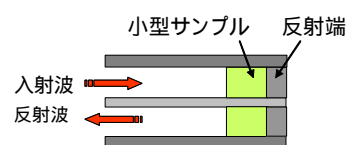


Fig.1 Sample holder for reflection loss measurement.

\*1) 機械・電子・情報技術チーム \*2) 機械・電子・情報技術チーム(当時)

2.3 材料の複素比誘電率の推定

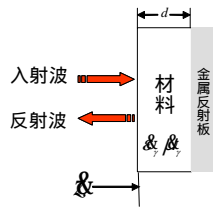


Fig.2 Single layered absorber model.

Fig.2 に示すように、金属反射板が裏打ちされた単層型の材料表面に電磁波が入射する際の入力インピーダンスは高周波領域における伝送線理論との比較により次式で示され、これより電磁波吸収特性（反射係数）の予測が理論的に可能であることから、電磁波吸収材料の設計においては、対象となる周波数領域における材料のもつ電気パラメータ（複素比誘電率、複素比透磁率）を知ることが重要となる。

ただし、磁性損失材料を用いない場合は、複素比透磁率を 1 として取り扱うことができる。

$$\epsilon_c = z_0 \sqrt{\frac{\epsilon_c''}{\epsilon_c'}} \cdot \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_c'' \epsilon_c'} \cdot d)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_c' - j\epsilon_c''$$

$$\mu_c = \mu_c' - j\mu_c''$$

- ε\_c: 材料表面から内部をみたインピーダンス
- z\_0: 材料表面までのインピーダンス
- ε\_c', ε\_c'': 電気パラメータ(複素比誘電率, 複素比透磁率)
- λ: 電磁波の波長(m)
- d: 材料の厚み(m)

そこで、本研究では小型のサンプルを用いて材料の複素比誘電率（複素比透磁率 = 1）を推定することを目的に、2.2 節の電磁波吸収特性評価環境を応用して測定した物理量を基に、複素比誘電率の推定を試みた。

推定に際しては、まず図 Fig.3 に示すような金属反射板の裏打ちが無い状態における材料への入射波に対する透過波の比（透過係数）をネットワークアナライザにより測定する。

次にここで得られた透過係数測定値と、伝送線理論との比較による透過係数理論式<sup>3)</sup>に任意の複素比誘電率初期値を与えた透過係数の計算値との比較を行う。

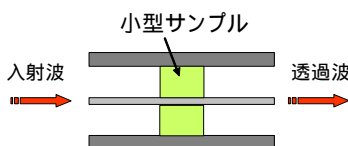


Fig.3 Sample holder for transmission loss measurement.

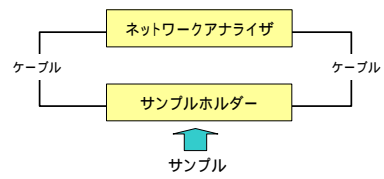


Fig.4 Measurement configuration for transmission loss.

測定値と、任意の複素比誘電率初期値を与えた透過係数計算値との誤差を徐々に減らすためには、透過係数の大きさについての関数 f と、位相差についての関数 g からなる 2 次元方程式をニュートン・ラプソン法により構成し、誤差が許容値となるまで複素比誘電率初期値を繰り返し修正して近似計算を行い、誤差が許容範囲に収束した時の複素比誘電率初期値を当該材料の複素比誘電率推定値とした。

なお、この推定システムは汎用のパーソナルコンピュータ上に構築、実装している。

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \epsilon_c'} & \frac{\partial f}{\partial \epsilon_c''} \\ \frac{\partial g}{\partial \epsilon_c'} & \frac{\partial g}{\partial \epsilon_c''} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \epsilon_c' \\ \Delta \epsilon_c'' \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f(\epsilon_c', \epsilon_c'') \\ g(\epsilon_c', \epsilon_c'') \end{bmatrix}$$

3. 結果及び考察

3.1 材料の電磁波吸収特性

ポリプロピレンをベース材料に、Table 1 に示すカーボン材料の No.1 ~ 4 を配合して作製した厚み 3mm のサンプルを反射端が設けられたサンプルホルダー内に挿入して吸収特性（反射係数）を測定した結果を Fig.5 ~ Fig.8 に示す。

粒子径が μm クラスで比表面積の小さなカーボン材料 No.1 を配合した材料については、配合率を 40mass% まで高めても顕著な吸収効果を確認することはできなかった。

しかし、粒子系が nm クラスで比表面積が 50m<sup>2</sup>/g をこえる No.2 ~ 4 のカーボンブラックを配合した材料では、それぞれに最適な配合率が異なるものの、いずれも 15 ~ 20dB を超える吸収効果を得ることができた。

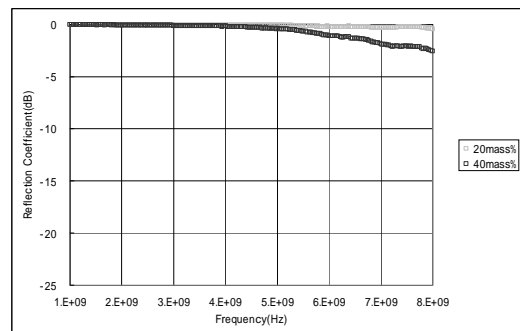


Fig.5 Reflection coefficient of sample mixed carbon No.1.

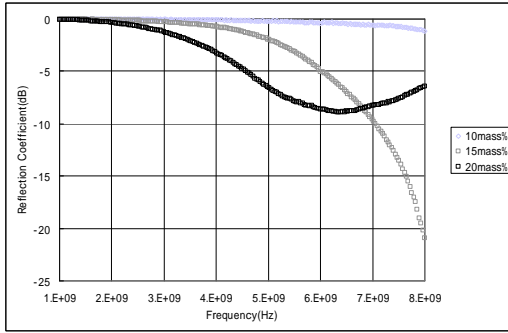


Fig. 6 Reflection coefficient of sample mixed carbon No.2.

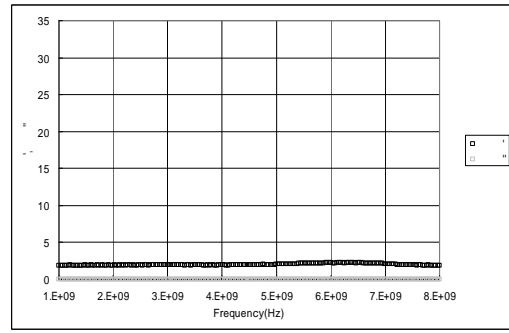


Fig. 9 Estimated dielectric constant of Polypropylene.

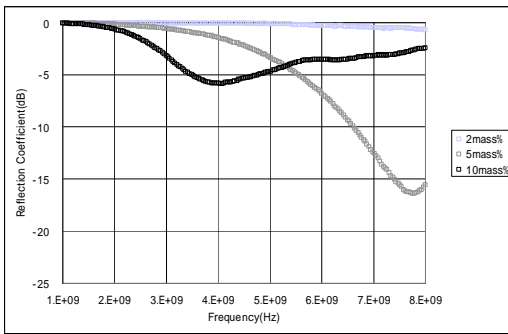
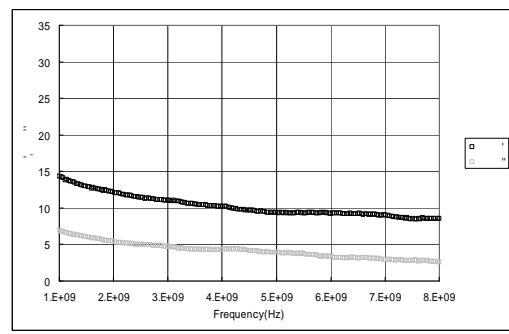


Fig. 7 Reflection coefficient of sample mixed carbon No.3.



(a) Sample, carbon mixed at 15mass%

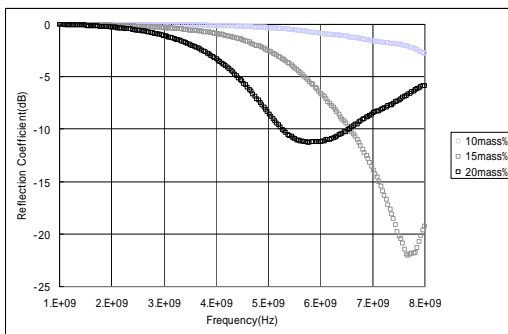
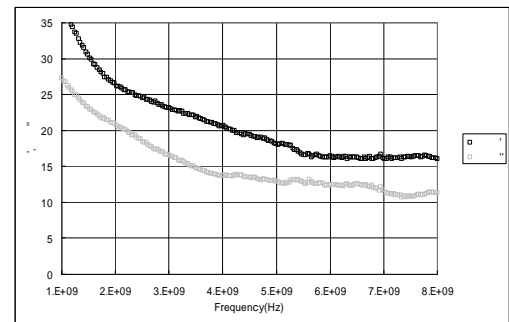


Fig. 8 Reflection coefficient of sample mixed carbon No.4.



(b) Sample, carbon mixed at 20mass%

Fig. 10 Estimated dielectric constant of sample mixed carbon No.2.

### 3.2 材料の複素比誘電率

カーボン材料を配合していないポリプロピレンの複素比誘電率推定結果を Fig.9 に示す。

また、ポリプロピレンに Table 1 に示すカーボン材料 No.2 を配合率 15mass%、20mass% で配合して作製したサンプルの複素比誘電率推定結果を Fig.10 に示す。

カーボン材料を配合していないポリプロピレンについては、複素比誘電率の実部がほぼ一定の値で虚部は0であったが、カーボン材料を配合したサンプルの場合には、いずれの場合も複素比誘電率の値が実部、虚部ともに周波数ごとに变化する様子が見られ、カーボン材料の配合率が高くなれば、複素比誘電率の値が大きくなる傾向が観察された。

### 3.3 材料の厚みを変化させた時の電磁波吸収特性予測

金属反射板が裏打ちされた単層型の吸収材料表面に電磁波が入射する際の入力インピーダンス式を 2.3 節に示したが、この入力インピーダンスが既知の場合には、次式により材料の電磁波吸収特性（反射係数）を計算上求めることが可能である。

即ち、各周波数における材料の電気パラメータが推定済みであれば、材料厚みを変化させた時の電磁波吸収特性を概ね予測することができる。

$$S = \frac{\mathcal{E}_r}{\mathcal{E}_i} = \frac{\mathcal{E}-1}{\mathcal{E}+1}$$

$\mathcal{E}$ : 材料の電磁波反射係数  
 $\mathcal{E}_i$ : 入射波の電界成分  
 $\mathcal{E}_r$ : 反射波の電界成分

そこで本研究では、材料厚み 3mm のサンプルを用いて材料の複素比誘電率推定を行った後、同じ材料で厚みを 4mm、6mm と変化させた場合に、それぞれの厚みの材料が示す電磁波吸収特性（反射係数）の予測を行い、同時に、材料厚みが 4mm、6mm であるサンプルを実際に作製してこれらの電磁波吸収特性（反射係数）を測定し、予測と測定結果の比較検討を行った。

以下にポリプロピレンに Table 1 に示すカーボン材料 No.3 を配合率 5mass% で配合したサンプルによる比較検討結果を紹介する。

Fig.11 は、材料厚み 3mm のサンプルを用いて各周波数における複素比誘電率を推定した結果を示す。

また、Fig.12、Fig.13 の灰色マーカーは、同一の材料で厚みだけを 4mm、6mm と変化させた場合に予測される材料の電磁波吸収特性（反射係数）を示し、黒色マーカーは、実際に厚み 4mm、6mm で作製したサンプルを測定して得られた電磁波反射吸収特性（反射係数）を示す。

予測と測定結果の比較では、細部に相違点がみられるものの、厚み 4mm のサンプルの場合には周波数 6GHz 付近で、また厚み 6mm のサンプルの場合には周波数 4GHz 付近で吸収効果が現れる兆候が予測できており、材料の複素比誘電率の推定結果が、材料厚み設計に有効活用できることを確認できた。

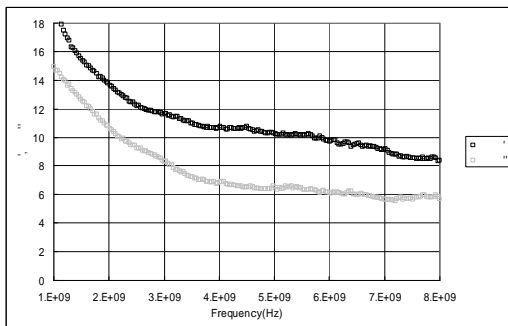


Fig.11 Estimated dielectric constant of sample mixed carbon No.3(5mass%).

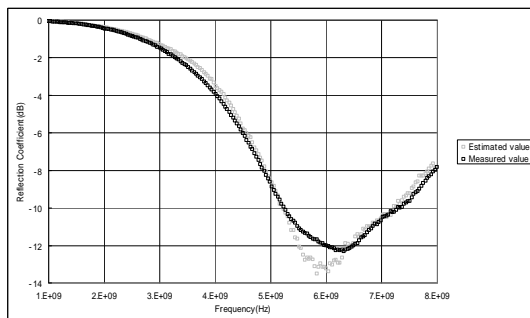


Fig.12 Comparison of estimated and measured reflection coefficient(t=4mm).

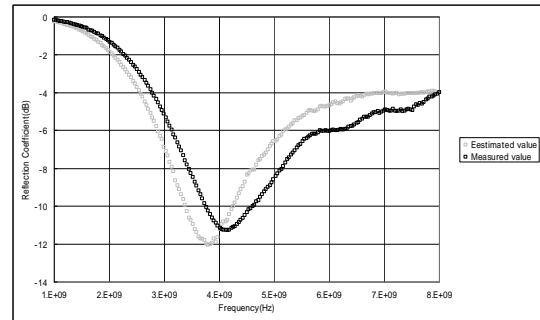


Fig.13 Comparison of estimated and measured reflection coefficient(t=6mm).

#### 4. 結言

汎用性の高いプラスチック系材料をベースに、カーボン材料を配合して電磁波吸収材料の試作を行ない、導電性付与効果の高いカーボン材料を配合したサンプルにおいて、いずれも 15～20dB の電磁波吸収効果を得ることができた。

また、高周波領域における材料の複素比誘電率の推定を行い、このデータを活用することで材料の設計時に所望の吸収帯域に適した材料厚みを予測することが可能となった。

今後の研究において、さらに吸収帯域を広くするために、単層型材料の表面に抵抗被膜を形成するなど、 $\lambda/4$  型吸収材料の機能を兼ね備えた材料を構成するなどの改良を加える必要がある。

#### 謝辞

本研究において電磁波の反射係数や透過係数の測定に使用した装置は、競輪収益の一部を財源とした、日本自転車振興会「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 00

#### 参考文献

- 1) 畠山賢一：電磁波の吸収・遮蔽技術、エレクトロニクス実装学会誌、Vol.3 No.1、66-73、2000
- 2) 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
- 3) 橋本修：高周波領域における材料定数測定法、30-36、森北出版、2003
- 4) 河井治信：電磁波吸収機能評価に関する研究、香川県産業技術センター研究報告、60-64、1999