

自由空間法による電波吸収材料特性の推定

青山勝・渡辺哲史

Masaru Aoyama, Tetsushi Watanabe

キーワード 電波吸収特性／材料特性／同軸管法／自由空間法／無反射曲線
KEY WORDS Property of microwave absorption／Coaxial waveguide method／Free space method／Curve of no reflection

1 はじめに

現在、電波吸収材の材料特性の測定には同軸管法がよく用いられている。同軸管法は、この材料特性と電波吸収体の形状から電波吸収特性を算出する手法である。しかし、マイクロ波領域になると波長が短くなるため対応するサンプルホルダーは小さくなり、測定用試料の作製が困難な場合も多い。一方、自由空間法は試料の反射特性から直接的に電波吸収特性を測定できるが、一般に材料特性の評価は容易でない。ここでは自由空間法による測定結果と試料の厚みおよび最大吸収域の中心周波数から材料の複素比誘電率を推定した。なお、この手法は従来から電波吸収体設計手法として紹介されており¹⁾、それらを検証したものである。

2 測定方法

図1は、本研究で使用した自由空間法²⁾による電波吸収特性測定システムであり、ネットワークアナライザ、アンテナ、ポジショナの構成となっている。測定周波数範囲は1GHzから18GHzである。実験に用いた電波吸収体は90cm角で厚さ4mmの板状であり、測定条件は

偏波をTE波、TM波とし電波の入射角 θ を 10° 、 30° とした。

3 電波吸収材料特性の推定

これらの測定結果から複素比誘電率を推定するための無反射曲線計算プログラムを作成した。なお、計算に用いたプログラムはMATX³⁾で作成したものである。このプログラムは与えられた厚み d や波長 λ をもとにTE波、TM波についてそれぞれ式(1)、(2)の条件を満たす複素比誘電率 ϵ_r を調べるものである。

$$1 = \frac{\cos \theta}{\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}) \quad (1)$$

$$1 = \frac{\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\epsilon_r \cos \theta} \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}) \quad (2)$$

なお、これらの式は材料と空気の実特性インピーダンスが等しいときに成立し、 ϵ_r は複素比誘電率の実部を ϵ' 、虚部を ϵ'' としたとき $\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon''$ と表される。図2は試料K04の電波吸収

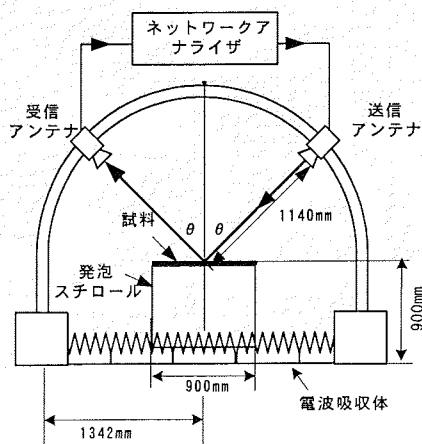


図1 電波吸収特性測定システム

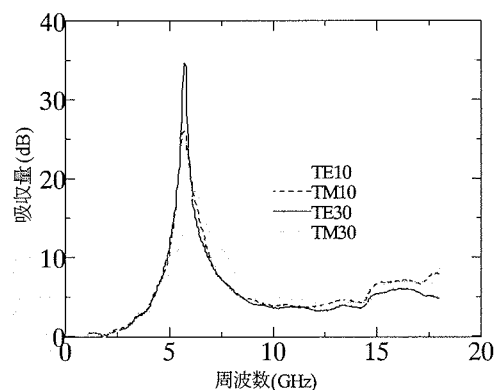


図2 K04の電波吸収特性

特性を自由空間法により測定した結果である。この試料はカーボンを主体とした導電性材料の電波吸収体の一例として用いたものである。最大吸収域の中心周波数は TE10°、TM10°、TE30° では 5.7GHz、TM30° では 6.2GHz であった。これらの中で TE30° のデータが最も大きい吸収量 34.6dB を示している。また図3は試料厚 4mm の誘電性材料の無反射曲線であり、3GHz ~ 17.5GHz の範囲を 0.5GHz 間隔で計算した結果をプロットして作成したものである。図2の TE30° における中心周波数 5.7GHz のポイントを図3の TE30 の曲線上で調べると、この試料の 5.7GHz における複素比誘電率は 11.42

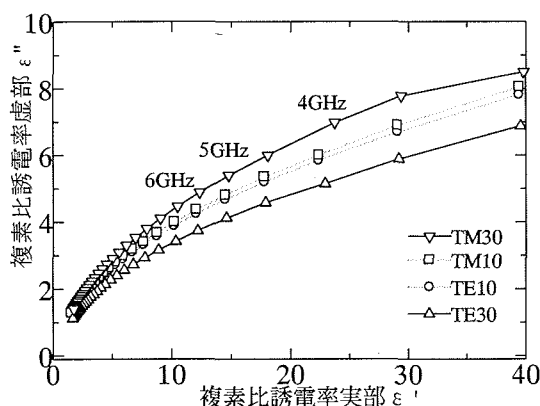


図3 4mm 誘電材料の無反射条件

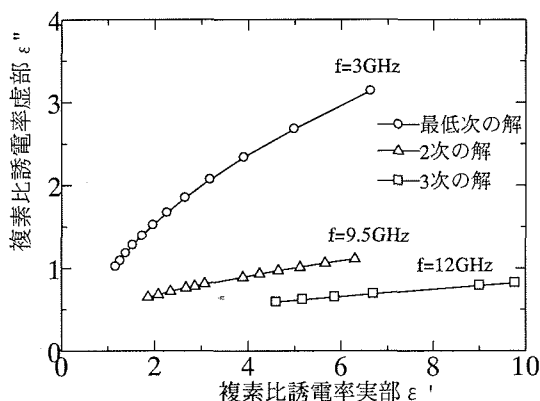


図4 10mm 誘電材料の無反射条件

— $j3.61$ となる。このようにして最大吸収域の中心周波数から材料特性を推定することができる。一般に導電性材料を含む材料の総合的な複素比誘電率の虚部 ϵ''_t は、式(3)で表される。

$$\epsilon''_t = \epsilon'' + \sigma / (\omega \epsilon_0) \quad (3)$$

ただし、 ϵ''_t は総合的な複素比誘電率の虚部、 ϵ'' は材料本来の複素比誘電率虚部、 σ は材料の導電率、 ω は角周波数、 ϵ_0 は空気の誘電率であ

る。

一例として、式(3)と図3の TE10° の無反射条件から類推すれば、導電材料の分量を減らすと σ / ω が小さくなるので複素比誘電率の虚部が小さくなり TE30° の吸収条件に近づいて大きな吸収量を得る可能性が予測でき、所要の電波吸収体設計に役立てることができる。通常、計算では(3)式の ϵ''_t を改めて一般的な複素誘電率の虚部 ϵ'' と置き換えて扱っている。また図4は試料厚 10mm の誘電材料について偏波面 TE、入射角 10° の場合について同様に無反射曲線を計算した例である。この例では2次、3次の無反射ポイントが現れており、厚みを大きくすると一つの電波吸収体で複数の周波数ポイントにおいて電波吸収特性を示すことが分る。

4 まとめ

電波吸収材料を設計するためには材料の持つ複素誘電率や複素透磁率などの材料特性を知る必要がある。その測定には同軸管法がよく用いられているが、材料によっては同軸管法に必要な精度の試料作製が不可能な場合がある。そこで空間法によって吸収特性を測定可能な誘電材料について、その特性を実測すると共に、その厚みにおける無反射条件を計算することにより複素比誘電率を推定することができた。この手法によって比透磁率が1と見なせる誘電材料および導電材料を用いた電波吸収体設計を合理的に進めることができる。同様にして、比誘電率が1と見なせる磁性材料の設計も可能であるが、それらが1と見なせない材料については複雑であり計算できない。

参考文献

- 1) 橋本修：“電波吸収体入門”，森北出版（1997）p. 30～31
- 2) 青山勝，渡辺哲史：岡工技報告，26（1999）
- 3) 古賀雅伸：“MATX による数値計算”，東京電機大学出版局（2000）