

『電波吸収体の性能評価』

2004.11.10 ~ 11.12

1. 研究概要

近年の情報通信技術の発達に伴い、我々の電波環境は悪化の一途をたどっている。その結果、我々の周りでも電子機器の誤作動や人体への悪影響といったことが問題視されており、こうした背景の中、電波吸収体が有効な解決策として期待されている。

本研究では帯域・吸収性を考慮した電波吸収体の設計を目的としているが、そのためには材料定数を正確に知ることが必要となる。本研究室では入射角が大きい場合でも高精度に測定するために、各測定法の入射角による影響を検討している。

2. 測定

【測定試料】

測定試料として金属繊維混入シートを取り上げているが、これはファイバー状に切削した母材と金属繊維の複合材料から製造される。本材料は軽量で加工しやすく、柔軟性にも優れており、製作コストもかからないという特徴があげられるが、特に優れている点は厚みと金属繊維の含有率により、その材料特性を容易に変化させることが出来るという点である。しかし、本材料は破損しやすい点や偏波依存性が出てくる点などから測定が難しいため、より高精度な測定が要求されている。

【測定方法】

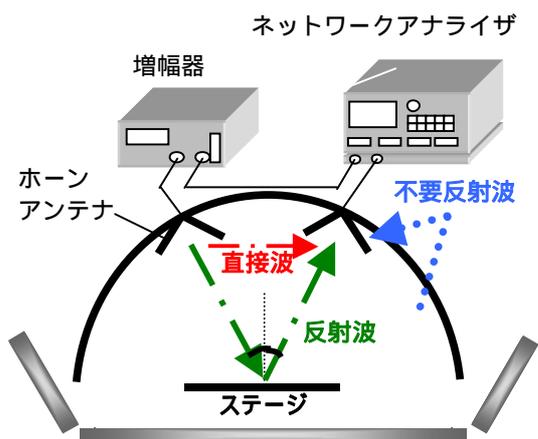


図1 測定装置

本研究室では、電波吸収体の測定法に自由空間法を用いている。自由空間法とは、自由空間を伝送路と考え、この空間に置かれた被測定試料の反射係数の結果から伝送理論を用いて複素誘電率を求める方法である。

反射波の測定は電波暗室内で行い、アーチ型測定器を用いている。ここで問題となるのは、受信波には必要とするステージからの反射波以外に、アンテナ間の直接波や外部からの不要反射波も含まれていることである。そこで、これらを取り除くために以下の2つの方法で測定を行っている。

電界ベクトル回転法

ステージの高さをわずかに変化させることによってステージからの反射波の位相だけが変わる事を利用し、不要受信波を分離して測定する方法である。測定を10回を行い中心を求め、その半径がステージからの反射波となる。測定プログラムのインターフェースを図3に示す。

また複素反射係数・複素比誘電率は次式により求められる。

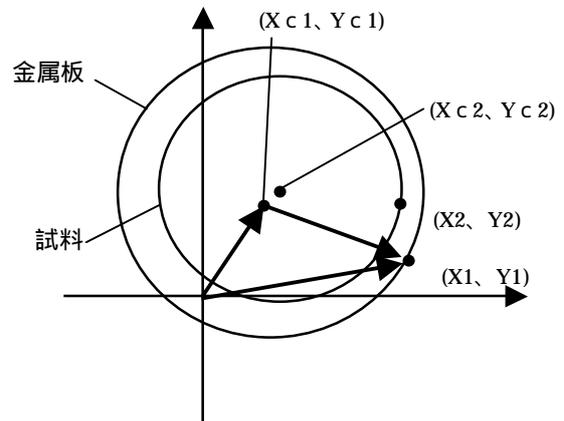


図2 電界ベクトル回転法

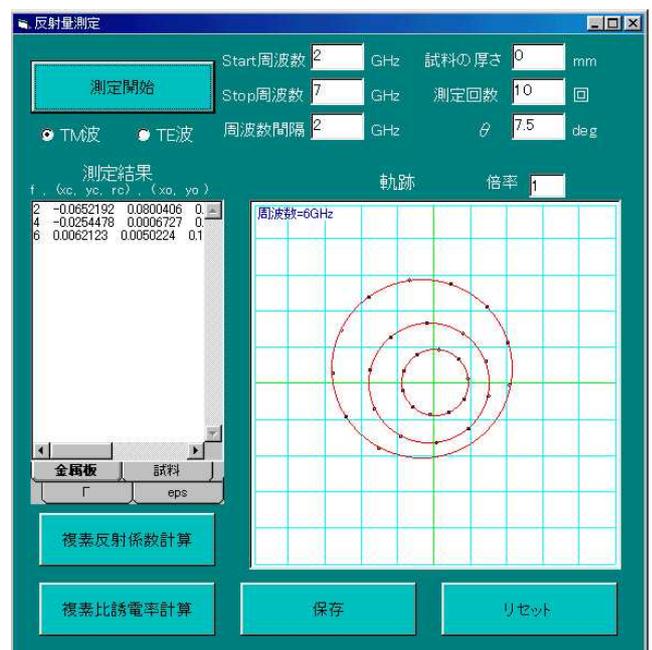


図3 測定プログラムのインターフェース

TM 波

$$\dot{\Gamma} = \frac{(X2 - Xc2) + j(Y2 - Yc2)}{(X1 - Xc1) + j(Y1 - Yc1)} \quad (1)$$

$$\frac{1 + \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\Gamma}} \cdot \cos\theta = \frac{\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\epsilon_r} \tanh\left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}\right) \quad (2)$$

タイムドメイン法

ベクトルネットワーク・アナライザは、本来、周波数領域で測定しているが、周波数領域で測定したデータは逆フーリエ変換することにより時間領域で測定を行うことができる。ここで、図1からも分かるように直接波は反射波よりも先に受信されるので、不要な時間領域特性をゲーティングにより取り除き、さらにフーリエ変換することにより、周波数領域において希望信号のみの測定結果を得ることができる。

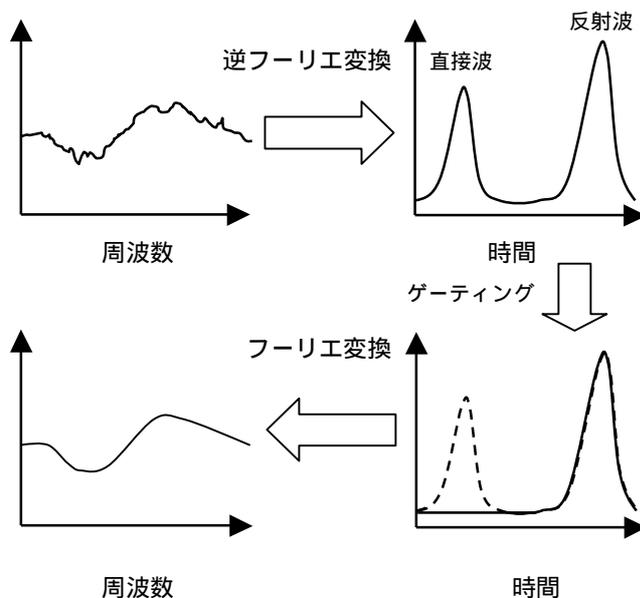


図4. タイムドメイン法の原理

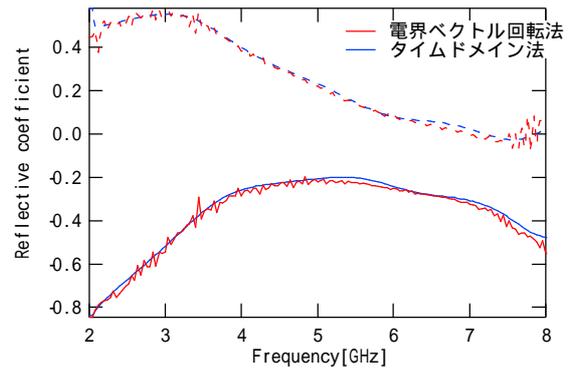
3. 測定結果

次に電界ベクトル回転法とタイムドメイン法を用い、入射角を 30、60、70 度と変化させ複素反射係数を測定した。その結果を図5に示す。

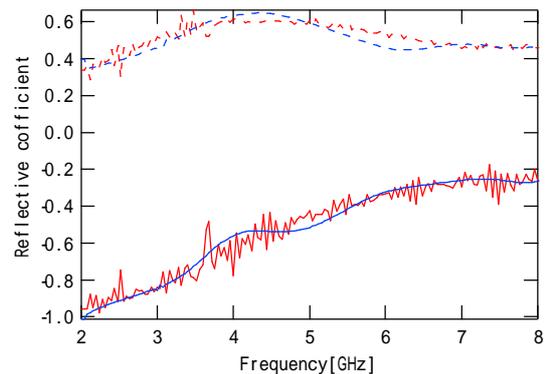
測定試料は表1に示したものをを用い、グラフは実線が実部、点線が虚部を示している。

表1. 測定試料

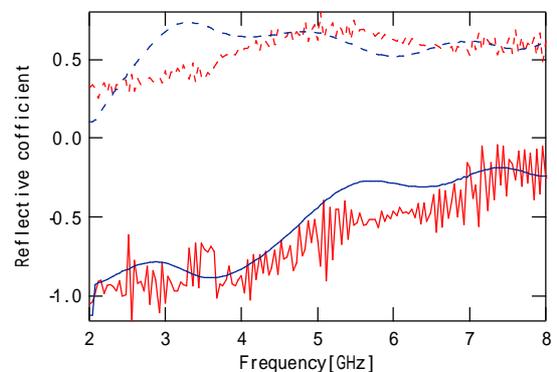
厚み	含有率	大きさ
5.43mm	2%	400 × 400mm



(a) 30 度



(b) 60 度



(c) 70 度

図5. 周波数 複素反射係数特性

入射角が小さいときには、ばらつきは小さくタイムドメイン法と電界ベクトル回転法の波形はよく一致している。

しかし広角度になるにつれて電界ベクトル回転法では、ばらつきが大きくなっていく。これは、直接波の影響が大きくなることと、ステージを上下させても位相の変化が少なくなり、不要受信波を除去しきれなくなるためである。また 70 度になると、波形も大きくずれていくが、タイムドメイン法は 70 度では直接波と反射波が重なってしまい、正確にゲーティングできなくなるためであると考えられる。

4. 新しい測定法

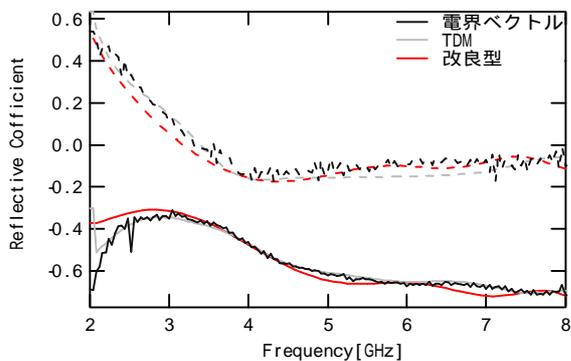
不要受信波の分離法である電界ベクトル回転法とタイムドメイン法は入射角の増加に伴い測定精度が劣化することを示した。しかし、電波吸収体の材料評価において、入射角が大きな場合でも正確な反射特性を知ることが非常に大事である。そこで本研究では、入射角度が大きい場合でも正確な反射特性を測定するための新しい測定法として改良型タイムドメイン法を考案した。

【反射係数測定】

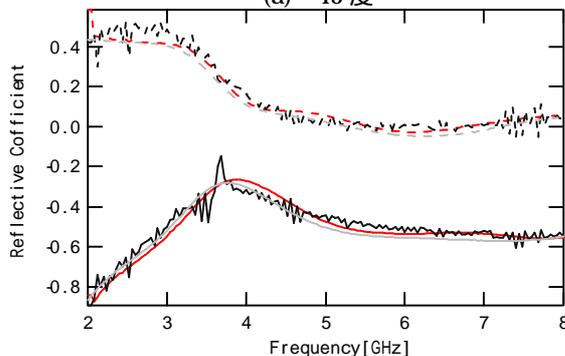
入射角を 45、60、70 度と変化させ反射係数を測定した。その結果を図 6 に示す。測定試料は表 2 に示したものをを用い、グラフは実線が実部、点線が虚部を示している。

表 2 測定試料

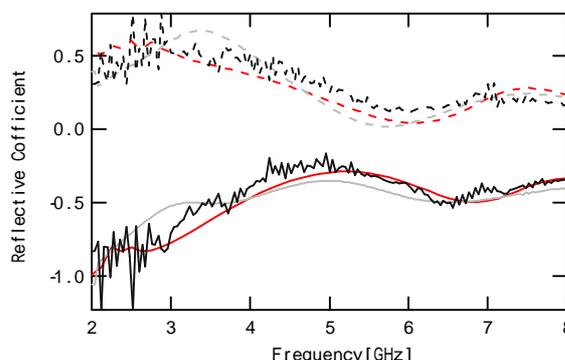
厚み	含有率	大きさ
5.65mm	5%	400mm × 400mm



(a) 45 度



(b) 60 度



(c) 70 度

図 6 . 周波数 - 反射係数特性

入射角が 45 度の場合では、従来の 2 つの方法と改良型タイムドメイン法とで、反射係数はよく一致している。60 度の場合でも改良型タイムドメイン法は、従来の 2 つの方法と一致し、電界ベクトルのようなばらつきもない。70 度の場合でも改良型タイムドメイン法のばらつきは少ない。一方、ばらつきを無視して電界ベクトル回転法と比べた場合、改良型タイムドメイン法と電界ベクトル回転法は、ほぼ同じ特性となっている。これは、数値処理によりゲーティングを行ったため不要受信波の分離が正確に行えているからであると考えられる。

電界ベクトル回転法は入射角が 45 度以下の場合には非常に安定して測定できているが、角度が大きくなるにつれてばらつきも大きくなっていく。これに対してタイムドメイン法は、従来法・改良型ともに精度は多少下がるが安定した測定結果が得られることが分かる。

5. まとめ

本研究は、マイクロ波帯において、電波吸収体のもつ誘電率を精度良く測定することを目指して行ったものである。具体的には、マイクロ波帯で良い特性を持つ電波吸収体として期待される金属混入シートに着目している。本試料の材料特性を正確に評価するために、反射波測定システムについて詳細な検討を行った。

従来まで行っていた試料からの反射波と、不要受信波を分離して測定できる電界ベクトル回転法とタイムドメイン法では、入射角度が増加するにつれ測定精度が劣化することが分かった。そこで、入射角度が大きい場合でも正確な反射特性が得られる方法として、改良型タイムドメイン法を提案した。

本法は、タイムドメイン法の欠点であるゲーティング処理に、電界ベクトル回転法の原理を取り入れることで、数値処理によりゲーティングを行う新しい方法である。この方法により測定した複素反射係数から、改良型タイムドメイン法はばらつきが少なく安定した反射係数を得られることが確認できた。

参考文献

橋本 修：“新電波吸収体の最新技術と応用”，シーエムシー、1999