

電波暗室を利用した電磁波吸収体測定技術に関する研究

- 自由空間法による吸収量測定の実験 -

上野大介* 戸枝保* 土生拓史**

Study on the Electromagnetic Wave Absorber Measurement in the Anechoic Chamber

- Automation of the amount measurement of absorption by the free space method -

UENO Daisuke*, TOEDA Tamotsu*, HABU Takufumi**

抄録

電磁波の吸収量測定を高精度化するため、送・受信アンテナ間のカップリングが測定に及ぼす影響を低減する方法について検討した。また、測定効率向上のため、角度特性の自動測定装置を開発した。大型電波暗室で反射体や吸収体を設置しない場合、余計な反射波は少なく、カップリングを正確に測定できる。そこで、反射波とカップリングの混在した測定結果からカップリング量を差し引くことにより正確な反射強度を求めた。その結果、垂直入射から60度までの角度特性の測定が可能となり、自動料金収受システムや、無線 LAN システムでの実用化が可能な 20dB を超える吸収特性を有する吸収体を開発した。

キーワード：電磁波吸収体，自由空間法，ネットワークアナライザ，タイムゲート処理

1 はじめに

21 世紀に入り携帯電話等の普及により、電磁波環境は電波洪水といつてよいほど悪化の一途をたどり、この悪化する電磁波環境を改善するための各種電磁波吸収体の必要性はますます高まってきた。このような背景において、特に自動料金収受システム(ETC)や、無線 LAN システムにおいては電磁波吸収体の研究・開発が活発に行われ、電磁波環境改善のために利用されている。しかし、GHz 帯における電磁波吸収体評価技術は国際基準がまだ設けられておらず、様々な測定法が模索されている状況である。本研究では電波暗室の自由空間を利用して、電磁波吸収体の特性を正確に測定する方法について検討を行った。

2 実験方法

2.1 測定方法

本研究で使用した機器を表 1、測定系を図 1、角度特性の自動測定装置を図 2 に示す。信号発生器を SG、ベクトルネットワークアナライザを VNA、スペクトラムアナライザをスペアナと表記する。アンテナ測定物間距離は 100cm とした。測定室内の SG とスペアナによる測定系を実線、VNA による測定系を点線で示した。

表 1 使用機器

品名	メーカー	品番
アンテナ	SCHWARZBEC	BBHA9120B
ケーブル	HUBER+SUHNER	SUCOFLEX
プリアンプ	Agilent	8847D
SG	Agilent	E8257C
スペアナ	Agilent	E4440A
VNA	Agilent	8753ES
遮蔽板	E&Cエンジニアリング	AN-75

* 電子情報技術部

** (株)サンケイ技研

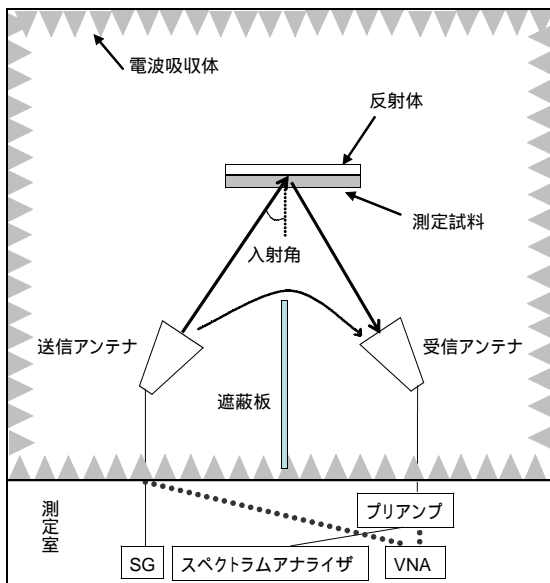


図1 測定系の概要



図2 角度特性の自動測定装置の外観

2.2 測定試料

本研究で測定した吸収体の配合を表2に示す。寸法は 350mm × 350mmであり、これらの測定試料は(株)サンケイ技研で開発中のゴム製吸収体である。

表2 配合 (phr) 及び厚み (mm)

材料名	メーカー	試料		
		A	B	C
EP33	JSR	100	100	100
酸化亜鉛	境化学工業	5	5	5
ステアリン酸	-	1	1	1
アクセルCZ	川口科学	2	2	2
アクセルBZ	川口科学	0.2	0.2	0.2
硫黄	境化学工業	1.5	1.5	1.5
PW-90	出光興産	10	10	10
ファインメット	日立金属	-	-	80
FE50Ni	戸田工業	200	-	-
センダスト	戸田工業	-	40	-
計		319.7	159.7	199.7
厚み		3.04	4.04	5.14

・試料A,C:ETC用
・試料B:無線LAN用

3 結果と考察

3.1 SGとスペアナによる測定

斜入射角度を 30 度とし、入射電磁波の電界が入射面に垂直な場合である TE(Transverse Electric)波における吸収特性を測定した。反射強度はスペアナにより測定した。自由空間法では図1での反射波の測定を行い、反射体と吸収体からの反射強度の比を吸収量とするものであるが、送信アンテナから受信アンテナへの直接の入射を防ぐため、遮蔽板を用いた。測定結果を青山学院大学橋本研究室の測定結果と比較して図3に示す。6GHz付近にピークのある試料Bについてはほぼ一致したが、2~3GHzに吸収ピークのある試料Aでは差が見られた。これはGHz帯の比較的低い周波数においては電磁波の直進性が弱く、図1の に示す直達波や回り込みなどのカップリングの影響が大きいと考えられる。

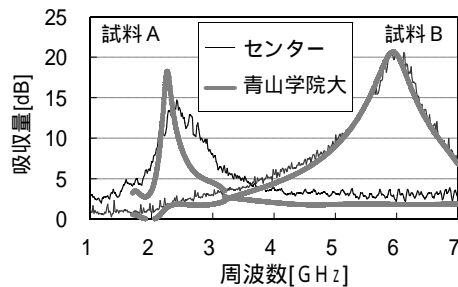


図3 SGとスペアナによる測定結果

3.2 タイムゲート処理

図1で、の伝達経路は距離の差があるため、VNAの測定結果の位相情報を用いて到達時間の差として分離するタイムゲート処理¹⁾が有用と考えられる。センターのVNAはタイムドメイン機能がないので、この処理をPC上で行った。まず、PC上で仮想的に与えたパルス出力をフーリエ変換し、VNAにより得られた伝達特性を適用する。これを逆フーリエ変換することにより、時間軸上の受信波形が得られるので、反射波部分のみを取り出す。これをフーリエ変換することにより、不要なカップリング分を除去した反射波の周波数特性を得る。3.1の試料AをVNAで測定し、タイムゲート処理を行った結果を図4に示す。ピーク周波数及び吸収量は、ほぼ一致した結果を得たと

考えられる。この場合、タイムゲート処理によりカップリング量を計算上減少させた結果、反射体からの反射とカップリングの比は 40dB 以上となり、20dB の吸収体において 1dB 以下の影響に相当する²⁾。

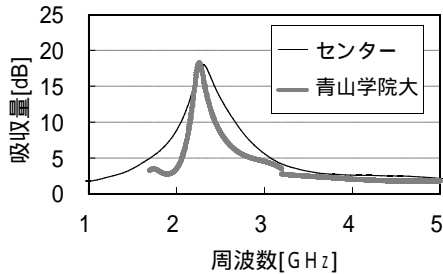


図4 VNAタイムゲート処理による測定結果

3.3 角度特性の測定

試料 C について、入射角度を TE60,50,40,30,20 度、0 度(垂直入射)及び、入射電磁波の電界が入射面に水平な場合である TM(Transverse Magnetick)波 20,30,40,50,60 度でそれぞれ測定を行った。なお、垂直入射測定は送受信を 1 つのアンテナで行った。試料 C の測定結果を図 5 に示す。

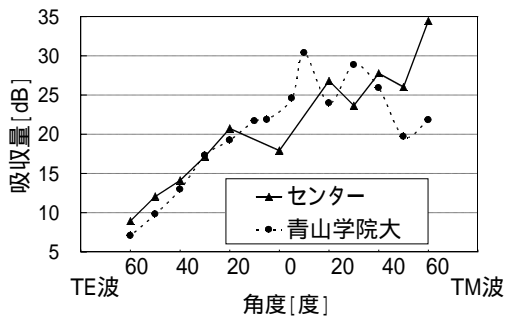


図5 角度特性測定結果 その1

当センターでの TM 波 60 度の測定結果では、他の角度の測定結果と比べ大幅に異なった値となっており、青山学院大の測定結果との差も大きい。これは、入射角が大きいと図 1 で、 の時間差が小さくなるのでタイムゲート処理によるカップリングの除去が困難となること、及び図 6 の解析例に示すように TM 波は TE 波に比べ回り込みが強いと考えられる。また、青山学院大の測定結果との差は使用アンテナの指向性³⁾の差によるものと考えられる。なお、図 6 は TE 波と TM 波の 1GHz における回折(回り込み)の様子を FD TD 法 (MAGUNA/TDM) により解析した結果を示し

たものである。

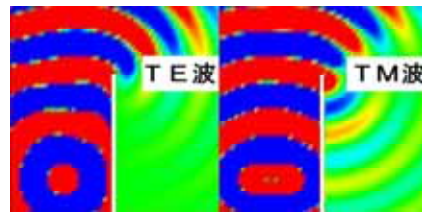


図6 遮蔽板に対する回り込みの様子

3.4 TM波60度測定 の改善法

TM 波 60 度のカップリング及び吸収体からの反射波のタイムドメインによる測定結果を図 7 に示す。

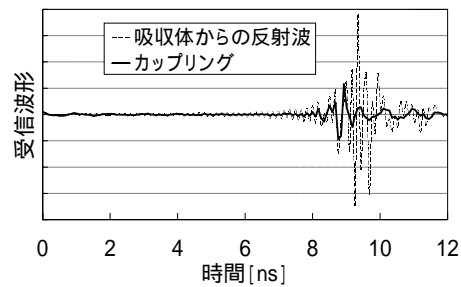


図7 時間軸表示

カップリングと反射波が同じタイミングで受信されており、タイムゲート処理ではカップリング成分を取り除くことが難しいことが分かる。本研究では大型電波暗室内においてアンテナを水平方向に設置して測定を行っている。したがって、反射体や吸収体を設置しない場合、そのほかの余計な反射波は非常に少なく、送・受信アンテナ間のカップリングを正確に測定できると考えられる。そこでタイムゲート処理の時間軸波形において、反射波とカップリングの混在した測定結果から別途測定したカップリングを差し引くことにより正確な反射強度を求めることを試みた。この処理の有無による吸収量の周波数特性の比較を図 8 に示す。

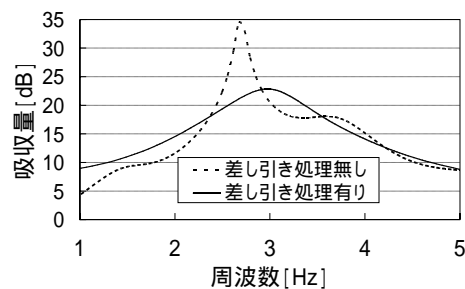


図8 時間軸での差し引き処理比較

この処理を行った吸収量の周波数特性カーブの方が滑らかで自然なカーブとなっており、本処理が有効であったといえる。本処理を用いて算出した角度特性を図9に示す。図4の従来のタイムゲート処理を用いたTM波60度における異常データがなくなり、本処理により広角度の角度特性測定が可能になったといえる。

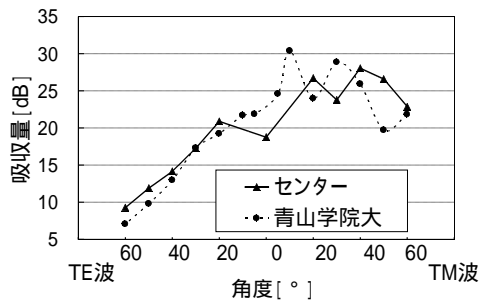


図9 角度特性測定結果 その2

なお、本処理は以下の計算に基づいて行ったものである。逆フーリエ変換は

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N F_n e^{\frac{2\pi jkn}{N}}$$

と表せるので、時間領域における二つの波形 f 、 g の差は

$$\begin{aligned} f_k - g_k &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N F_n e^{\frac{2\pi jkn}{N}} - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N G_n e^{\frac{2\pi jkn}{N}} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (F_n - G_n) e^{\frac{2\pi jkn}{N}} \end{aligned}$$

となる。従って時間領域において波形を減算することは、周波数領域における伝達特性 F と G のベクトル減算結果を逆フーリエ変換したものと等価であり、電界ベクトル回転法⁴⁾においてカップリングベクトルを差し引いたものと同様の数値処理を行い、カップリングの除去を実現したものである。

3.5 電磁波吸収体の開発

3.1 から 3.4 までの測定をすることにより自動料金收受システム (ETC) や、無線 LAN システムでの実用化が可能な電磁波吸収体を開発することができた。

4. まとめ

センターの電波暗室において自由空間法による電磁波吸収体測定について検討したところ、次のようなことが分かった。

(1) タイムゲート処理

タイムドメイン機能を有さないネットワークアナライザから取り出した伝達特性測定結果を PC 上でタイムゲート処理を行った。その結果、2.5GHz 帯に 20dB 程度の吸収量がある電磁波吸収体を TE 波 30 度で測定する場合、カップリングの影響が 1dB 以下での測定が可能となった。

(2) 時間軸での差し引き処理

当センターの大型電波暗室で反射体や吸収体を設置しない場合、カップリングを正確に測定できるので、従来のタイムゲート処理では除去できなかったカップリング成分を差し引いた。その結果垂直入射から 60 度までの角度特性の測定が可能となった。

(3) 測定結果を材料開発にフィードバックすることにより、2.5GHz (無線 LAN 用) 又は 5.8GHz (ETC 用) で 20dB の吸収能力がある電磁波吸収体を開発することができた。

(4) 角度測定の自動化装置を開発し、測定の自動化を行った。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、当センターの客員研究員として御指導を頂いた、青山学院大学理工学部橋本修教授に心から感謝いたします。

参考文献

- 橋本修：電磁波吸収体入門，森北出版，(1997) 98
- 倉田豊：電磁波の吸収と遮蔽，日経技術図書，(1997)536
- 橋本修：電磁波吸収体のはなし，日刊工業新聞社，(2001)90
- 橋本修：電磁波吸収体の技術と応用，シーエムシー出版，(2004)69