

# ETC/DSRC 用シートタイプ電波吸収体の開発

## Development of The Sheet-Type Electromagnetic Wave Absorber for ETC/DSRC

柏原 一之<sup>\*1</sup>    藤田 望<sup>\*1</sup>    橋本 長<sup>\*2</sup>    井尻 康夫<sup>\*3</sup>  
 K. Kashihara    N. Fujita    H. Hashimoto    Y. Ijiri  
 細谷 勝宣<sup>\*4</sup>    三ツ井 孝禎<sup>\*4</sup>    工藤 敏夫<sup>\*4</sup>  
 K. Hosotani    T. Mitsui    T. Kudo

### 要 約

5.8GHz帯のマイクロ波を使用する高速移動通信システム DSRC（狭域通信）は、2001年より ETC（ノンストップ自動料金支払システム）として一般運用が開始され、これからは主に民間主導でさまざまな分野にその用途を拡大するものと予想されている。このような背景のもと、電波環境を整え、通信の信頼性を確保するための電波吸収体の適用箇所についても、複雑かつ多岐にわたるものと考えられる。当社は既に高速道路料金所キャノピー下面に設置するパネルタイプ電波吸収体を開発し、全国の料金所において運用されているが、曲面あるいは小面積かつ形状の複雑な箇所など、さまざまな設置状況に対応するためには、電波吸収体にも多様性が求められている。本報は、このような用途に適用可能な薄型シートタイプ電波吸収体の開発経緯についてまとめたものである。

磁性損失材を使用したシートタイプ電波吸収体は、伝送線路理論に基づく設計により ETC および DSRC で使用される 5.8GHz帯の円偏波に対して、日本道路公団殿の要求仕様を満足する吸収性能を 1.9mm の薄い厚みで実現している。また、シートタイプであるため、柔軟性に富み、加工も容易なことから、その適用可能な範囲は広く、DSRC システムの早期実用化にあたりその役割が期待される。

**キーワード：** ETC，DSRC，電波吸収体，伝送線路理論，円偏波

### Summary

DSRC (Dedicated Short Range Communication), which is a communication system for high-speed transportation, uses microwave of the 5.8 GHz band and has been used as ETC (Electronic Toll Collection) for the public since 2001. In the near future the DSRC is expected to expand into various private fields. Under such circumstances, the wave absorber which adjusts the electromagnetic environment and secures the reliability of communications will be applied to various places in many forms.

We have developed wave absorbing panels for the canopy of tollgates on the expressway which are installed all over the country. Many kinds of the wave absorbers are necessary for various installing situations (e.g. curved surfaces, small and complicated places).

This report describes the development of a thin sheet type wave absorber suitable for these situations. Our sheet type wave absorber designed by transmission line theory and for use under the circularly polarized wave realizes absorption performance which meets ETC specifications by JHRI (Japan Highway Public Corporation Research Institute) at only 1.9 mm in thickness. Furthermore, it is very flexible and easy to cut into any size or shape, so it can be used for any purpose. We expect that our sheet-type wave absorber will contribute to the early realization of the DSRC system.

Key words : ETC, DSRC, Electromagnetic wave absorber, Transmission line theory, Circularly polarized wave

## 1. まえがき

2001年3月より、千葉地区などで一般運用が開始された ETC「ノンストップ自動料金支払いシステム（Electronic Toll Collection System）」は、総務省の発表によると、2002

年度末には、全国約 900ヶ所の料金所（日本道路公団（以下、JH）殿の料金所は約 1,300ヶ所）へ拡大する予定とされている<sup>(1)</sup>。

一方、DSRCシステム「狭域通信(Dedicated Short Range Communications)」と呼ばれ、ETCに代表されるような無

\* 1 技術本部 総合研究所    \* 2 技術本部 ITS事業推進室    \* 3 技術本部 開発企画部  
 \* 4 部品事業本部 箕島製作所 技術開発部

線通信を応用した情報収受システムは、今後、高速道路だけでなく、駐車場管理や物流管理、あるいはガソリンスタンドやドライブスルーにおける代金支払いなど、さまざまな分野が構想されている（Fig. 1 参照）。特に民間への普及拡大が予想されており、一部の駐車場やドライブスルーでは、DSRC の実証実験もなされている。

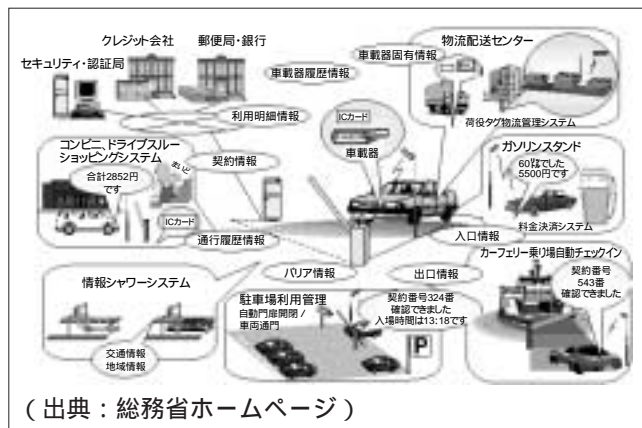


Fig. 1 An image of the DSRC system (Extracted from the Ministry of Public Management, House Affairs, Posts and Telecommunications homepage)  
DSRC (狭域通信) システムのイメージ (総務省ホームページより抜粋)

ETC と同様、5.8 GHz 帯のマイクロ波を使用する DSRC システムにおいても、送受信アンテナ間における電波の多重散乱波によるシステム誤動作の問題が懸念されており、この不要電波による問題に対する対策の一つとして、電波吸収体の適用も検討されている。

当社では、これまで ETC 用電波吸収体として、パネルタイプおよび直貼りタイプの製品を開発してきたが、これらパネルあるいは直貼りタイプの電波吸収体は、平面かつ広い面積にわたる施工に優れる一方で、曲面、小面積部分あるいは複雑な形状の箇所への施工が困難という問題があった。そこで、この問題を克服するべく、柔軟かつ施工現場での形状合わせなど、加工の容易なシートタイプ電波吸収体の開発に着手する運びとなった。

## 2. シートタイプ電波吸収体の目標性能

DSRC (5.8 GHz 帯) 用シートタイプ電波吸収体の開発において、電波吸収性能は、当面、ETC へ適用されることを想定し、JH 殿より発行された ETC 対策工法書「ETC 電磁波吸収シート仕様書 (ETC-D00600P Ver.1.0)」(以下、JH 仕様書)<sup>2)</sup>に記載される電磁波吸収性能規格値から、TYPE-B を目標性能とした (Table 1 参照)。

ETC では円偏波が使用されるため、ETC 用シートタイプ電波吸収体は、各直線偏波 (TE 波, TM 波) の両方または円偏波に対して、Table 1 の性能規格値を満たす必要がある。

Table 1 Required performance for the ETC electromagnetic wave absorption sheet (5.8 GHz band/a TE and a TM polarized wave or a circularly polarized wave incidence properties)

### ETC 電磁波吸収シートに対する要求性能 (5.8GHz 帯 / TE 波, TM 波あるいは円偏波)

入射角度 $\Phi$	性能規格値	
	TYPE-A	TYPE-B
$0.0^\circ < \Phi < 45.0^\circ$	- 25 dB	- 20 dB
$45.0^\circ < \Phi < 47.5^\circ$	- 20 dB	- 20 dB
$47.5^\circ < \Phi < 50.0^\circ$	- 15 dB	- 15 dB
$50.0^\circ < \Phi < 55.0^\circ$	- 10 dB	- 10 dB

## 3. シートタイプ電波吸収体の設計と試作

シートタイプ電波吸収体の開発では、伝送線路理論に基づいて、電波吸収体の構造およびその電波吸収特性を設計・試作し、評価を実施してきた。本章では、電波吸収体の電波吸収特性を設計するのに必要な基礎理論および開発における具体的な設計法・評価結果について述べる。

### 3.1 電波吸収体設計のための理論的基礎事項

ここでは、電波吸収体の電波吸収特性を推定あるいは設計するために必要な基礎的事項について概説する。

#### 3.1.1 伝送線路理論<sup>(3), (4)</sup>

単層型電波吸収体 (Fig. 2 参照) の等価回路は、Fig. 3 として表される。この等価回路より、電波吸収体表面から終端負荷側を見込んだ入力インピーダンス  $Z_{in}$  は (1) 式となる。

$$Z_{in} = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh \gamma d}{Z_c + Z_L \tanh \gamma d} \dots (1)$$

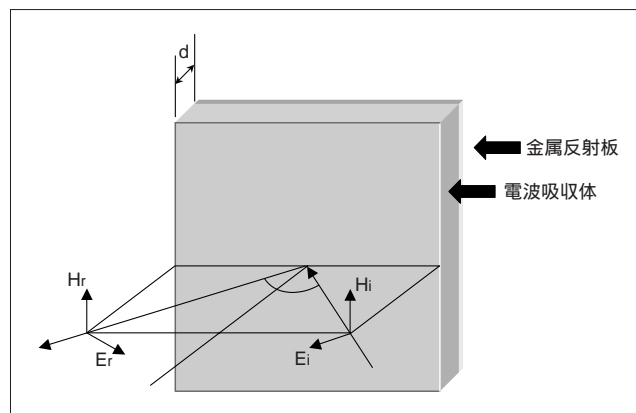


Fig. 2 Schematic illustration of the one layer type electromagnetic wave absorber (A case of TM polarized wave incidence)  
単層型電波吸収体模式図 (TM 波入射)

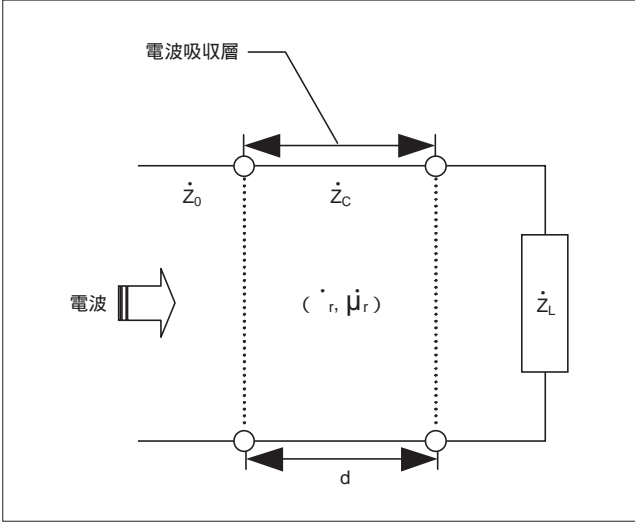


Fig. 3 Equivalent circuit of the one layer type electromagnetic wave absorber  
単層型電波吸収体の等価回路

ただし、 $\dot{\gamma}$  : 伝播定数、 $\dot{Z}_c$  : 電波吸収体の特性インピーダンス、 $\dot{Z}_L$  : 終端負荷の特性インピーダンス、 $d$  : 吸収体シート厚である。

Fig. 2 に示されるように電波吸収体に対して、電波が斜め方向から入射する場合、伝播定数  $\dot{\gamma}$  および TE 波、TM 波に対する特性インピーダンス  $\dot{Z}_{c(TE)}$ 、 $\dot{Z}_{c(TM)}$  はそれぞれ、(2) および (3) 式で与えられる。

$$\dot{\gamma} = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta} \quad \dots (2)$$

$$\dot{Z}_{c(TE)} = \frac{\dot{\mu}_r Z_0}{\sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta}}, \quad \dot{Z}_{c(TM)} = \frac{Z_0 \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta}}{\dot{\epsilon}_r} \quad \dots (3)$$

ただし、 $\dot{\epsilon}_r$  : 電波吸収体の複素比誘電率、 $\dot{\mu}_r$  : 電波吸収体の複素比透磁率、 $q$  : 電波の入射角度、 $\lambda$  : 波長である。

今  $\dot{Z}_L$  は金属板の特性インピーダンスであるから、 $\dot{Z}_L = 0$  として、これら、(1) ~ (3) 式より、単層型電波吸収体における TE 波、TM 波の両偏波に対する、入力インピーダンス  $\dot{Z}_{in(TE)}$ 、 $\dot{Z}_{in(TM)}$  はそれぞれ (4)、(5) 式となる。

$$\dot{Z}_{in(TE)} = \frac{\dot{\mu}_r Z_0}{\sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta}} \tanh \left( j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta} \right) \quad \dots (4)$$

$$\dot{Z}_{in(TM)} = \frac{Z_0}{\dot{\epsilon}_r} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta} \tanh \left( j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\dot{\epsilon}_r \dot{\mu}_r - \sin^2 \theta} \right) \quad \dots (5)$$

ただし、 $Z_0$  : 自由空間の電波インピーダンス ( $120\pi\Omega$ ) である。

また、電波吸収体の反射係数  $\dot{\Gamma}$  は、これらの入力インピーダンスより、(6)、(7) 式として得られることから、単層型電波吸収体による電波の吸収量 (reflection loss/ 以下、反射

減衰量) は (8) 式より得られることとなる。

$$\dot{\Gamma}_{TE} = \frac{\dot{Z}_{in(TE)} - Z_0 / \cos \theta}{\dot{Z}_{in(TE)} + Z_0 / \cos \theta} \quad \dots (6)$$

$$\dot{\Gamma}_{TM} = \frac{\dot{Z}_{in(TM)} - Z_0 \cos \theta}{\dot{Z}_{in(TM)} + Z_0 \cos \theta} \quad \dots (7)$$

$$reflection\ loss = 20 \log |\dot{\Gamma}| \quad \dots (8)$$

ETC あるいは DSRC システムで使用される電波の周波数は 5.8 GHz 帯に限定されていることから、吸収すべき電波の波長  $\lambda$  は固定されており、電波吸収体の複素比誘電率  $\dot{\epsilon}_r$ 、複素比透磁率  $\dot{\mu}_r$  (以下、材料定数) を求め、シート厚  $d$  および入射角度  $\theta$  を与えることによって、電波吸収特性を解析することができる。

### 3.1.2 円偏波に対する電波吸収特性<sup>(5), (6)</sup>

位相が  $\pi/2$  だけ異なった電界成分が直交する 2 つの電波 (例えば、TE 波、TM 波に相当) の合成波は円偏波と呼ばれ、その合成電界ベクトルは時間と共に、その方向が変化する。例えば、(9) 式に与えられる直線偏波、(10) 式で与えられる位相が  $\pi/2$  だけ進んだ直線偏波を合成した場合、円偏波は (11) 式として与えられる。

$$\dot{E}_x = E_0 e^{j(\omega t - kz)} \quad \dots (9) \quad (\text{TE (TM) 波に相当})$$

$$\dot{E}_y = E_0 e^{j(\omega t - kz - \frac{\pi}{2})} \quad \dots (10) \quad (\text{TM (TE) 波に相当})$$

$$\dot{E} = E_0 \left\{ \hat{x} e^{j\omega t} + \hat{y} e^{j(\frac{\pi}{2} + \omega t)} \right\} e^{-jkz} \quad \dots (11)$$

(11) 式は、右旋円偏波を表しており、合成電界ベクトルは時間と共に右回りに回転することとなる。

ここで、円偏波の反射係数について考えるため、この円偏波が TE 波、および位相が  $\pi/2$  だけ進んだ TM 波の合成波と仮定し、TE 波、TM 波の各偏波に対する反射係数をそれぞれ、 $\dot{\Gamma}_{TE}$ 、 $\dot{\Gamma}_{TM}$  とする。

円偏波の反射係数は電波吸収体からの反射波の偏波回転方向が金属板からの反射波と同方向か逆方向かによって、同相成分反射係数  $\dot{\Gamma}^e$  および逆相成分反射係数  $\dot{\Gamma}^o$  に区別され、各直線偏波に対する反射係数は、これら  $\dot{\Gamma}^e$  および  $\dot{\Gamma}^o$  の合成として与えられる。

電波吸収体に、このような円偏波が斜め方向から入射した場合、電波の伝播方向に対する波動インピーダンスを考慮せねばならないため、両偏波に対する反射係数は異なり ( $\dot{\Gamma}_{TE}$ 、 $\dot{\Gamma}_{TM}$ )、それぞれを先の  $\dot{\Gamma}^e$  および  $\dot{\Gamma}^o$  で表すと、(12) 式で与えられる。

$$\begin{aligned} \dot{\Gamma}_{TE} &= \dot{\Gamma}^e + \dot{\Gamma}^o \\ \dot{\Gamma}_{TM} &= \dot{\Gamma}^e - \dot{\Gamma}^o \quad \dots (12) \end{aligned}$$

(12)式より、円偏波に対する反射係数，同相成分反射係数  $\dot{\Gamma}^e$  ，および逆相成分反射係数  $\dot{\Gamma}^o$  は，それぞれ(13)式，(14)式となり，

同相成分反射係数（入射波：右旋，反射波：左旋）：

$$\dot{\Gamma}^e = (\dot{\Gamma}_{TE} + \dot{\Gamma}_{TM}) / 2 \dots (13)$$

逆相成分反射係数（入射波：右旋，反射波：右旋）：

$$\dot{\Gamma}^o = (\dot{\Gamma}_{TE} - \dot{\Gamma}_{TM}) / 2 \dots (14)$$

各偏波に対する反射係数が得られれば，各偏波の反射係数について位相成分を考慮したベクトル平均として求めることができる。

### 3.2 開発手順フローチャート

一般的に電波吸収体の開発は，電波損失材料の材料定数を測定した後，その電波損失材料を用いて，目的とする電波の周波数帯に応じた電波吸収体の実現可否を，先に述べた伝送線路理論に基づいて検討する。続いて，この電波損失材料を使用して，理論上，電波吸収体実現の可能性が確認された場合，理論に従い，具体的な損失材料の添加量およびシート厚を設計，試作することとなる。

本シートタイプ電波吸収体の開発においては，電波損失材料として磁性損失材を使用し，Fig. 4に示すフローチャートに従って開発を進めてきた。

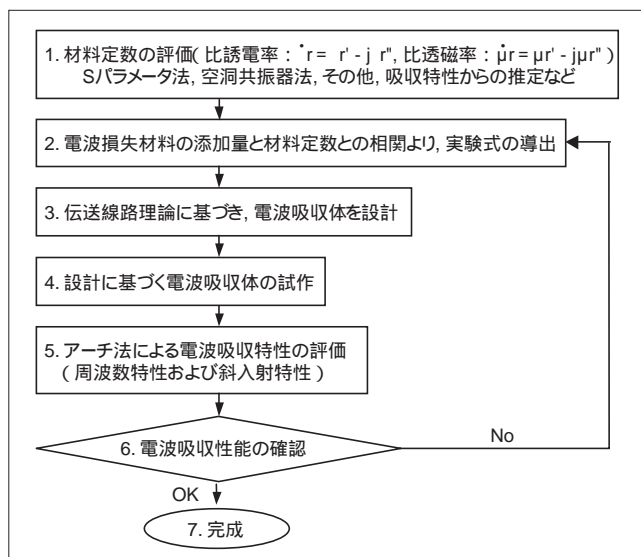


Fig. 4 Schematic diagram of the development process of a sheet type wave absorber

### シートタイプ電波吸収体の開発手順フローチャート

### 3.3 シートタイプ電波吸収体の設計

本節では，シートタイプ電波吸収体の開発にあたる設計・試作手順を，具体的に，先の開発手順フローチャート

に沿って概説する。

#### 3.3.1 材料定数 ( $\epsilon_r, \mu_r$ ) の評価

電波吸収性能の設計にあたって，まずベースポリマーに，磁性損失材を添加した配合物について，Sパラメータ法 (Fig. 5 参照) により，反射係数  $S_{11}$ ，透過係数  $S_{21}$  を評価し，これら S パラメータよりニコルソン - ロス法<sup>(5), (6)</sup> を使用して材料定数を算出した。

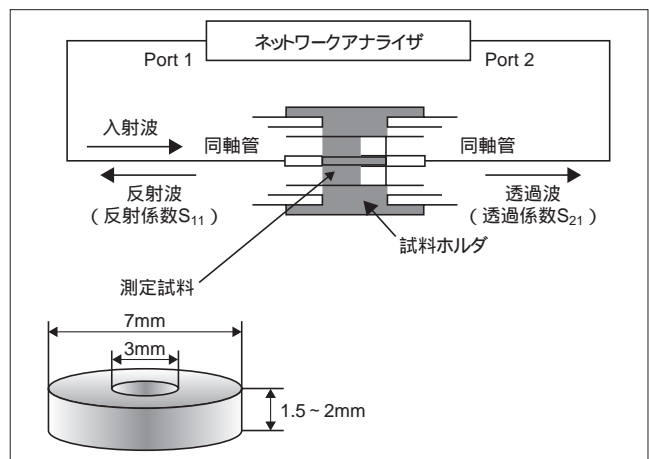


Fig. 5 Schematic illustration of the S parameter method  
S パラメータ法模式図

磁性損失材の添加量を変化させた場合，添加量に応じて材料定数は変化することとなるが，この材料定数の変化に応じて電波吸収特性についても変化することとなる。Fig. 6 に 5.8GHz における磁性損失材添加量の変化に伴う材料定数の推移を示す。

続いて，材料定数の評価結果をもとに，磁性損失材の添加量および材料定数との間の相関について，線形近似により実験式を導出した結果を Table 2 に示す。

#### 3.3.2 磁性損失材添加量およびシート厚の設計

前述の磁性損失材添加量 - 材料定数間の実験式をもとに，3.1 節に述べた理論式より，5.8GHz 帯において電波吸収特性が最も良好となるよう，磁性損失材の添加量およびシート厚の設計を試みた。

磁性損失材の添加量を変化させた場合，反射減衰量および最適なシート厚はそれぞれ Fig. 7 のように変化し，反射減衰量は 38vol% 添加時に極小となる一方，5.8GHz 帯において最適となるシート厚は磁性損失材添加量の増加に伴い，減少する結果となった。この結果より，シートタイプ電波吸収体の組成および構造に関して，磁性損失材 38vol%，シート厚 1.88mm と設計し，試作を試みた。Fig. 8 に伝送線路理論に基づいて算出した，電波吸収性能 (斜入射特性) の設計例を示す。Fig. 8 の結果によると，理論上，約 30° までの入射角に対し，TE 波，TM 波，両偏波とも 20dB 以上の反射減衰量が得られていることがわかる。また，入射波が円偏波である場合の反射係数は，3.1.2 項で述べたように TE 波の反射係数および TM 波の反射係数について位相成分を考慮したべ

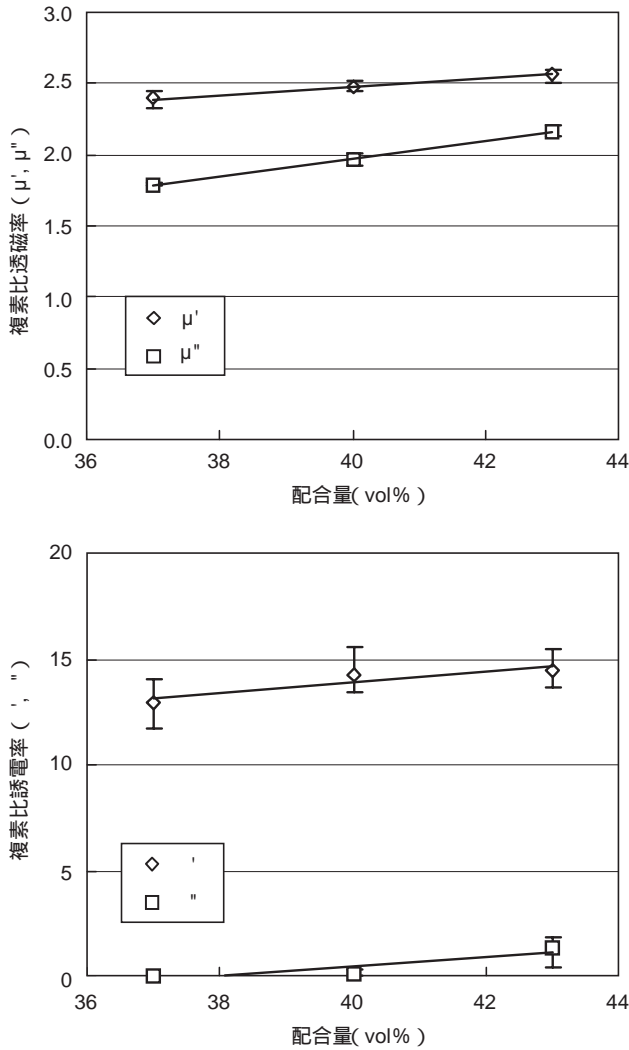


Fig. 6 The change of the material constant due to the change in the amount of magnetic loss material (5.8 GHz)  
**磁性損失材の添加量変化による材料定数の推移 (5.8 GHz)**

Table 2 Correlation between the amount of magnetic loss material and the material constants  
**5.8GHz 帯における磁性損失材の添加量変化と材料定数の相関**

材料定数	実験式	相関係数
透磁率実部	$\mu' = 0.0283(\text{vol}\%) + 1.3455$	$R^2=0.999$
透磁率虚部	$\mu'' = 0.0628(\text{vol}\%) - 0.5383$	$R^2=1.000$
誘電率実部	$\epsilon' = 0.2461(\text{vol}\%) + 4.0272$	$R^2=0.829$
誘電率虚部	$\epsilon'' = 0.2139(\text{vol}\%) - 8.077$	$R^2=0.808$

クトル平均として与えられることから、TE、TM両偏波の設計結果より、円偏波に対する電波吸収特性を算出すると、Fig. 8の のプロットに示す結果となった。

これらの結果から、TE、TM両偏波に対して個別には、JH仕様 TYPE-B を満たすことは困難であるが、これら両偏波の合成として得られる円偏波に対しては、高角度入射側における反射減衰量がTE、TMの各偏波ほど低下しないため、JH仕様を満足し得る可能性が示唆された。

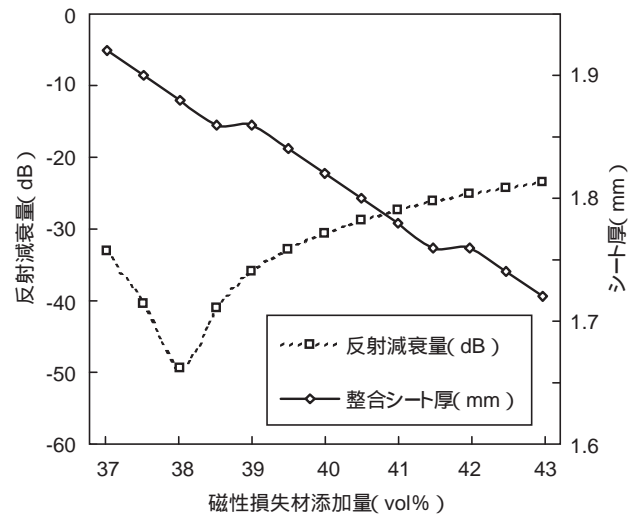


Fig. 7 Influence of amount of magnetic loss material on the return loss and the optimal thickness of the wave absorber (frequency 5.8 GHz / incident angle 0 deg.)  
**磁性損失材の添加量変化に伴う反射減衰量および最適シート厚の推移 (5.8GHz / 0°入射)**

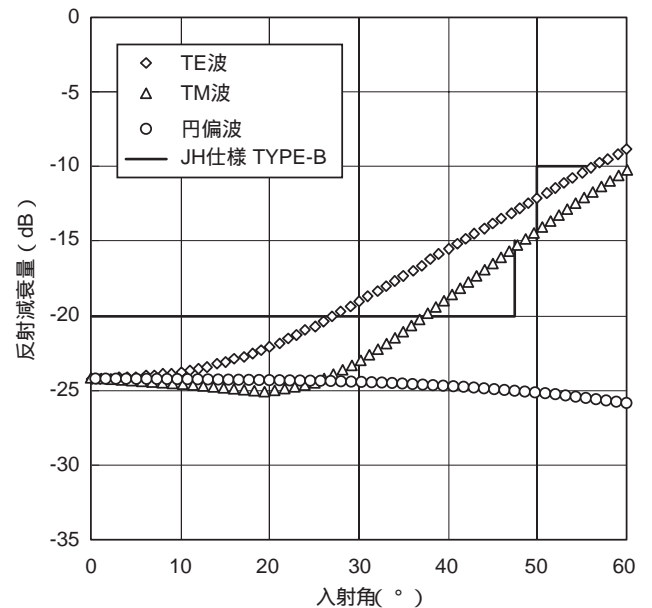


Fig. 8 A design example of the sheet type wave absorber (oblique incidence characteristic/frequency 5.8 GHz/sheet thickness 1.88 mm)  
**シートタイプ電波吸収体の設計例 (斜入射特性 / 5.8GHz/ シート厚 1.88mm)**

### 3.4 試作シートの電波吸収性能

先の磁性損失材添加量およびシート厚の設計値に基づき、試作を実施した。試作シートの厚さについては設計値である約1.9mmとし、これまでの検討から経験上、理論値よりも若干薄いシートで、吸収特性の計算結果とよい一致が得られることから、これに加えて1.8mmのシートも試作した。

これら試作シートに対する電波吸収特性の評価は、アーチ法により実施し、10°ごとの斜入射特性および周波数特性について評価した。アーチ法の測定系写真およびその概略図をFig. 9、試作シートの評価結果をFig.10、Fig.11にそれぞれ示す。

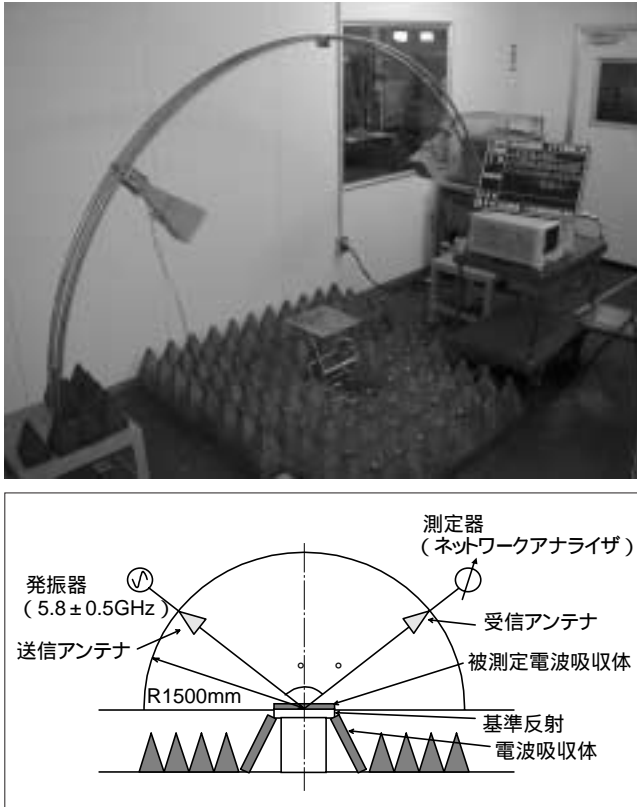


Fig. 9 Photograph and schematic illustration of the measurement system of the arch method  
アーチ法測定系およびその模式図

Fig. 10 の周波数特性に示されるように、反射減衰量のピーク位置は5.8GHzからわずかにずれているものの、5～6GHz付近に生じており、5.8 GHz付近で良好な電波吸収特性を得られていることがわかる。また、Fig.11 に示す斜入射特性の評価結果から、1.8mm の試作シートでは、20°以上の入射角で20dB 以上の反射減衰量が得られていることがわかる。

これらTE波、TM波の反射係数より円偏波に対する電波吸収特性を算出した結果、円偏波に対しては、1.8mm の試作シートで JH 仕様 TYPE-B の仕様は満足しうる結果となり、1.9mm の試作シートでは仕様をやや下回る結果となった。

### 3.5 円偏波による実測値

続いて、これらの試作シートについて、実際に円偏波を使用して電波吸収特性を評価した結果をFig.12に示す。(なお、測定はキーコム(株)殿で実施した。)

Fig.12に示されるとおり、TE、TM 偏波からの計算結果は円偏波に対する実測値と比較的によく一致していること

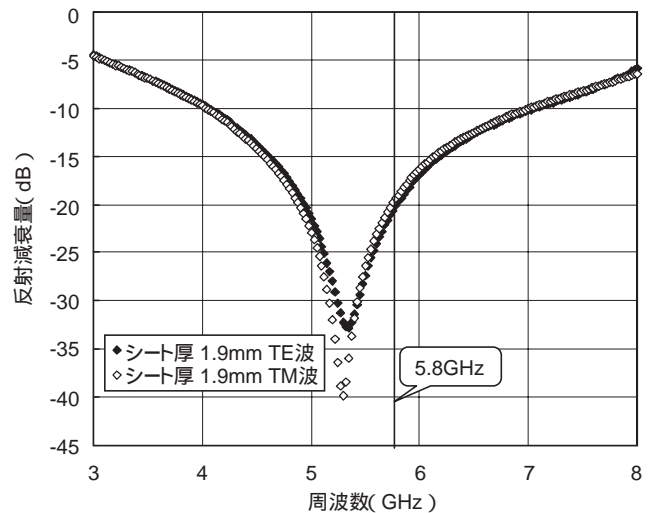
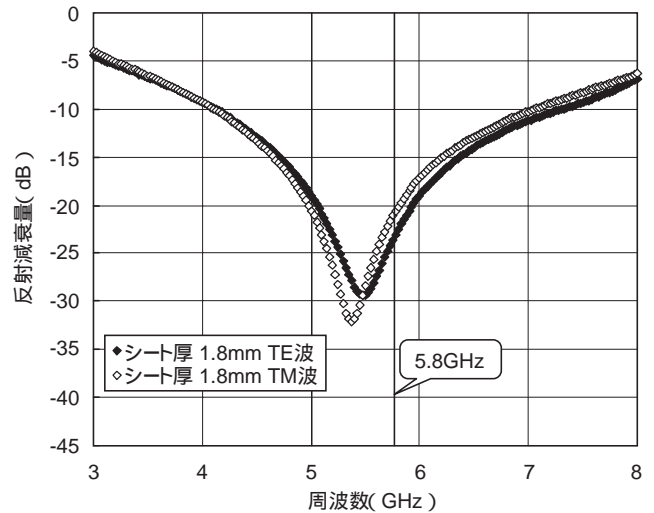


Fig.10 Return loss properties of the prototype (frequency characteristic/incident angle 10 deg.)

### 試作品の電波吸収特性(周波数特性/10°入射)

がわかる。また、実測によると、1.8mm、および1.9mmの両試作シートでJH仕様TYPE-Bを満足する電波吸収特性が得られている。

ここで、両試作シートの反射減衰量は、設計性能に比べてわずかに小さくなっているが、これはシート厚の不均一、磁性損失材配合量の設計値からのズレなど、シート作製の誤差、および測定上の誤差に起因するものと思われる。

## 4. シートタイプ電波吸収体の電波吸収性能および材料特性

新たに開発したシートタイプ電波吸収体は、2章に述べたように、当面、ETCへの適用が想定されていることから、その最終的な構造はJH仕様書に基づいて設計を行った。本シートタイプ電波吸収体の最終形態をFig.13に示す。

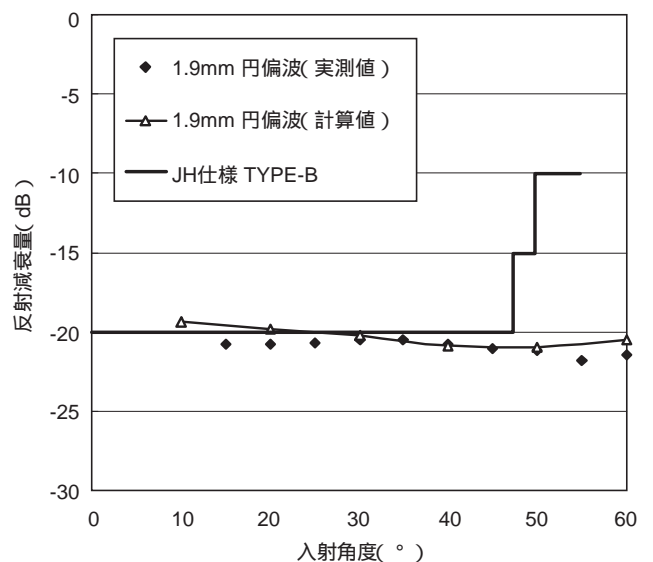
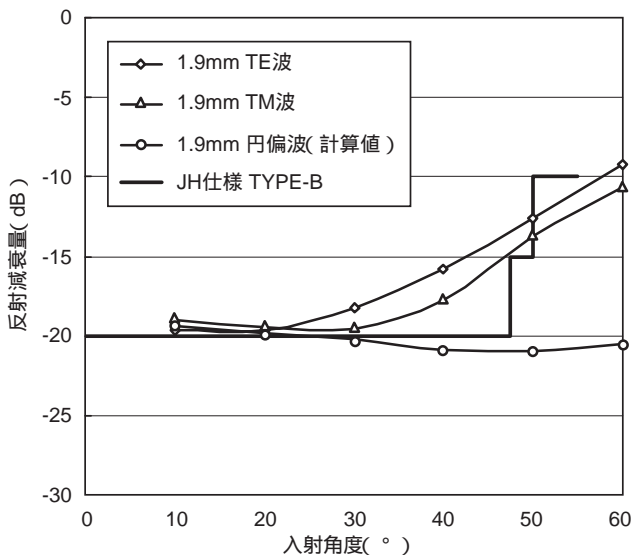
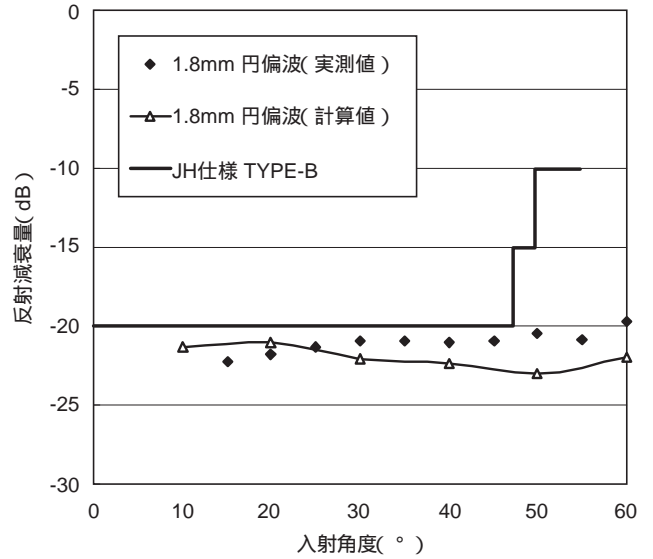
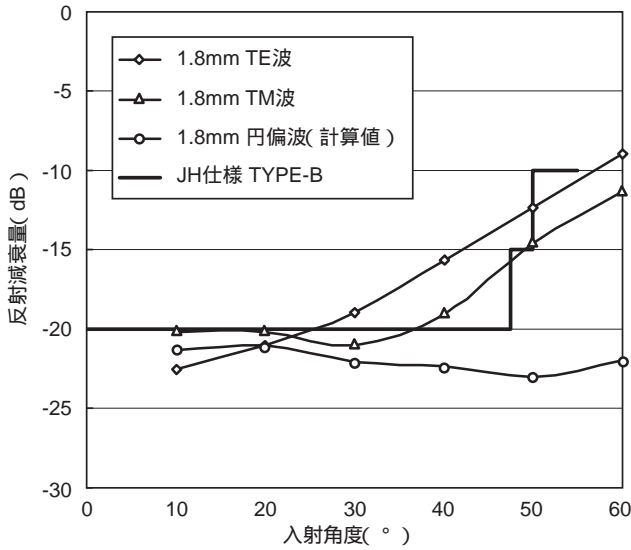


Fig.11 Return loss properties of the prototype (for linear polarized wave/frequency 5.8 GHz)

Fig.12 Return loss properties of the prototype for circularly polarized wave

**試作品の電波吸収特性 (斜入射特性 / 5.8GHz)**

**円偏波による実測値**

本章では、シートタイプ電波吸収体量産品の電波吸収性能および材料特性の評価結果について述べる。

**4.1 電波吸収性能**

電波吸収性能については、量産試作にあたって磁性損失材配合量およびシート厚を、さらに詳細に調整し、ピーク位置のずれなどを改善した。Fig.14 にシートタイプ電波吸収体量産品の電波吸収特性を示す。Fig.14 に示されるとおり、五つのサンプルについて、いずれも 55°までの入射角度に対して、20dB以上の反射減衰量が確保されており、JH仕様 TYPE-B を満たす電波吸収特性を有する良好な電波吸収体であることがわかる。

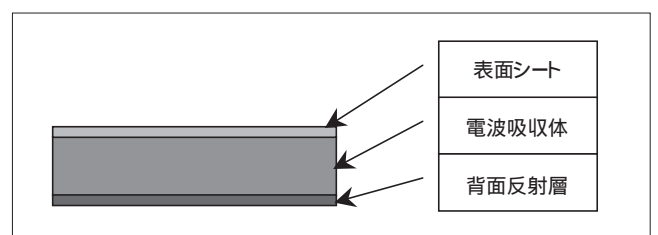


Fig.13 Schematic illustration of the sheet type wave absorber

**シートタイプ電波吸収体の構造模式図**

以下、材料特性に関し、JH仕様書にて規定される、5項目の評価結果について述べる。

**4.2 材料特性**

本シートタイプ電波吸収体の各種材料特性はETCへの適用を想定し、JH仕様書に基づいて、評価・確認している。

**4.2.1 質量**

シートタイプ電波吸収体の質量は、Table 3に示したとおり、JH仕様である 150.0 N/m<sup>2</sup> を満足している。

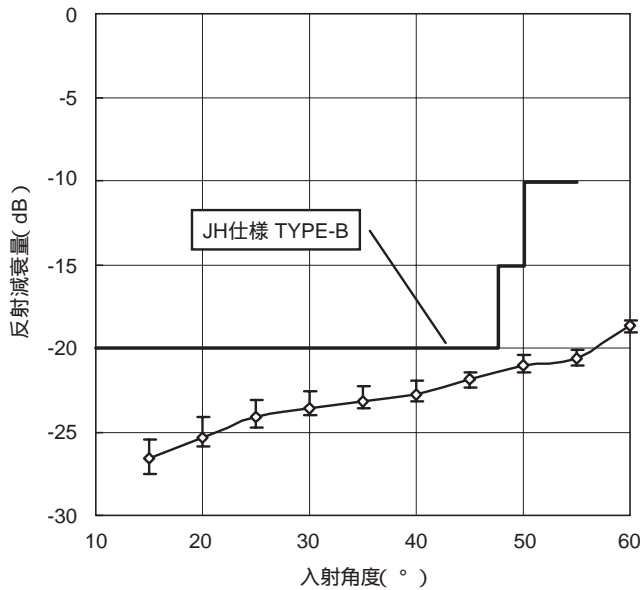


Fig.14 Return loss properties and oblique incidence of the mass-produced sheet type wave absorber (frequency 5.8 GHz /circularly-polarized wave / thickness 1.9 mm / number of sample 5)  
**シートタイプ電波吸収体量産品の斜入射特性 (5.8 GHz / 円偏波 / シート厚 1.9mm / N = 5)**

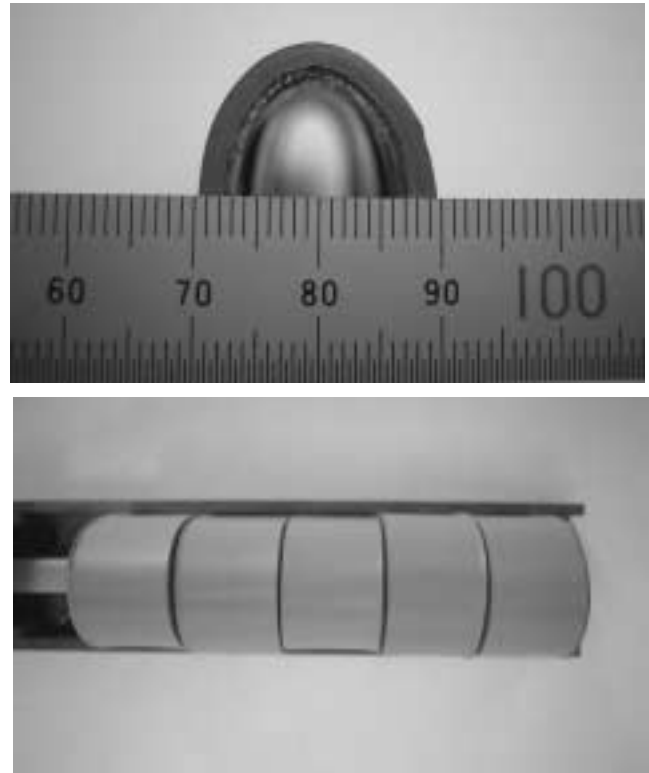


Fig.15 Bending radius of sheet type wave absorber  
**曲げ半径確認状況**

Table 3 Mass of the sheet type wave absorber  
**シートタイプ電波吸収体の質量**

測定値 (N/m <sup>2</sup> )			Avg. (N/m <sup>2</sup> )	JH仕様値 (N/m <sup>2</sup> )
74.89	72.66	72.50	73.35	150.0以下

Table 4 Tensile strength of the sheet type wave absorber  
**シートタイプ電波吸収体の引張り試験結果**

引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> )				中央値 (N/mm <sup>2</sup> )	JH仕様値 (N/mm <sup>2</sup> )
8.30	8.21	8.25	8.25	8.25	0.20以上

4.2.2 最小曲げ半径

JH仕様書によれば、最小曲げ半径は10.0mm以下と規定されている。Fig.15より確認できるとおり、シートタイプ電波吸収体は半径約10mmの曲げに対しても、曲面に割れなどを生じておらず、仕様を満たすに十分な柔軟性を有していることがわかる。

4.2.3 引張強度

シートタイプ電波吸収体の引張強度に関する評価は、JH仕様書およびJIS K 6251 (加硫ゴムの引張試験方法) に準拠して行なった。評価の結果、Table 4 に示すとおり、JH仕様である0.2 N/mm<sup>2</sup>以上を大きく上回る、引張り強度が確保されていることがわかる。

4.2.4 硬度

硬度はJIS K 6253 (加硫ゴムおよび熱可塑性ゴムの硬さ試験方法) に準じ、タイプAデュロメータを使用して評価した。Table 5 に示すように、JH仕様を満たす硬度が得られていることがわかる。

4.2.5 吸水率

シート吸水率の評価については、JH仕様書に、その評価

Table 5 Hardness of the sheet type wave absorber  
**シートタイプ電波吸収体の硬度評価結果**

ショアーA					中央値	JH仕様値
90	84	84	84	84	84	50以上

方法が規定されていないため、JIS K 7209 (プラスチック-吸水率の求め方)のうち、B法 (沸騰水に浸漬後、吸水率を測定) に準拠して行なった。評価結果を Table 6 に示す。

Table 6 より、吸水率についても、JH仕様は満たされていることが確認された。

Table 6 Water absorption of the sheet type wave absorber  
**シートタイプ電波吸収体の吸水率**

吸水率 (%)			Avg. (%)	JH仕様値 (%)
0.11	0.11	0.15	0.12	0.2以下

5. むすび

以上、シートタイプ電波吸収体の開発にあたる検討項目、および開発品の諸特性について述べた。

電波吸収特性については、伝送線路理論に基づいた設計・製作を行なった結果、ETCおよびDSRCシステムで使用される5.8GHz帯の円偏波に対して、JH仕様のうち

TYPE-Bの性能を十分に満たす電波吸収特性を1.9mmの薄さで実現することができた。また、重量、最小曲げ半径など、材料特性についてもJH仕様を満足しており、柔軟かつ取り扱い性の良好な電波吸収体が得られている。

これから増大していくDSRCシステムの実用化にあたり、本シートタイプ電波吸収体が通信の信頼性を確保するための重要な役割を担うことが期待される。

### 謝 辞

本シートタイプ電波吸収体の開発にあたり、シートの試作など終始ご協力を頂いたシーアイ化成(株)研究所小林眞和主席研究員殿、佐藤 仁研究員殿に深謝致します。

### 参考文献

- (1) 総務省 .ITS (高度道路交通システム)の推進 .総務省ホームページ .2002.
- (2) 日本道路公団 .ETC 対策工法書初版 .Ver.1.0 (00/10/17) .2000.
- (3) 橋本 修 .電波吸収体入門 .森北出版 .1997 .
- (4) 橋本 修 .マイクロ波・ミリ波帯における測定技術 .リアライズ社 .1998 .
- (5) 畠山 賢一ほか .円偏波入射における反射係数について .電子情報通信学会技報 , EMCJ-102.2001 ,p.85-90.
- (6) Kurihara, H. et al. An Improvement of the Environment for ETC Systems by Using Circularly-Polarized Wave Absorber. 第8回ITS世界会議 .2000.
- (7) Measuring the dielectric constant of solids with the HP 8510 network analyzer. Product Note 8510-3. HEWLETT PACKARD 社 .発行年不詳 .
- (8) A. M. Nicolson, G. F. Ross. Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time-Domain Techniques. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. IM-19, No.4, 1970, p.377-382.



柏原一之(かしはら かずゆき)  
技術本部 総合研究所 高機能材グループ  
電波吸収体の研究・開発に従事  
電子情報通信学会会員



藤田 望(ふじた のぞむ)  
技術本部 総合研究所 高機能材グループ  
電波吸収体の研究・開発に従事  
電気学会会員



橋本 長(はしもと ひさし)  
技術本部 ITS事業推進室  
ITS関連の事業推進に従事



井尻康夫(いじり やすお)  
技術本部 開発企画部  
研究開発テーマの進捗および予実管理に従事



細谷勝宣(ほそたに かつのり)  
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部 第三グループ  
電波吸収体の開発に従事



三ツ井孝禎(みつい たかよし)  
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部 第三グループ  
金属シール・電波吸収体の開発に従事



工藤敏夫(くどう としお)  
部品事業本部 箕島製作所 技術開発部  
機器部品(特に高周波)関連製品の開発に従事  
電子情報通信学会会員