

# W帯用広帯域型電波吸収体の開発

池原潤一郎\*1      藤沢勝秀\*1      柏原一之\*2      工藤敏夫\*2  
Junichiro Ikehara    Katsuhide Fujisawa    Kazuyuki Kashihara    Toshio Kudou

\*1 日本ラインツ株式会社 技術部 〒242-0018 神奈川県大和市深見西 1-5-2

\*2 三菱電線工業株式会社 総合研究所 〒660-0856 兵庫県尼崎市東向島西之町8

E-mail: j\_ikehara@nrz.co.jp, fujisawa@nrz.co.jp, kazuyuki\_kashihara@mitsubishi-cable.co.jp  
toshio\_kudou@mitsubishi-cable.co.jp

要約 W帯(75~110GHz)用電波吸収体として、表面に角錐形状の凹み(インボス)を設けた電波吸収体を試作し、その評価を行った結果、角錐インボス深さをW帯の下限周波数(75GHz)の約1波長程度とすることで、W帯全域に亘り良好な電波吸収体の得られることを確認した。

キーワード W帯, 広帯域, 電波吸収体,

## Development of Broadband Electromagnetic Wave Absorber for W band

Junichiro Ikehara\*1    Katsuhide Fujisawa\*1    Kazuyuki Kashihara\*2    Toshio Kudou\*2

\*1Engineering Division Nippon Reinz Co., LTD.

1-5-2 Fukami-Nishi, Yamato-shi, Kanagawa-ken, 242-0018 Japan

\*2Central Research Laboratory Technology Division Mitsubishi Cable Industries, LTD.  
8, Nishinocho, Higashimukoujima, Amagasaki-shi, Hyougo-ken, 660-0856 Japan

Abstract: Electromagnetic Absorber with pyramidal dents at the surface has been made as the W-band type (75-110GHz). It was recognized that the absorber had excellent absorbance property at the whole W-band area in the case that the depth was about 1 wave length of lower frequency (75GHz).

Key Word: W-band, Broadband, Electromagnetic Wave Absorber,

### 1. まえがき

現在、AHS(走行支援道路システム)の研究は各方面で着実に行われており、その一つとして76GHzのミリ波を使用する障害物検知レーダシステムが考えられている。

このような背景のもと、道路インフラによるレーダの反射障害などを防止するための電波吸収体の検討が行われている[1][2]。

しかし、ミリ波体用吸収体では電波吸収体厚さの制御が難しく、また、単層型では使用周波数帯域が狭い。

そこで、本研究では、電波入射面に角錐形状の凹み(以下、角錐インボス)を形成した場合の電波吸収特性について検討した。

### 2. 角錐インボス形状の設計

インボス形状の設計にあたり、カーボンを添加した平板状試料のW帯における複素比誘電率を推定するために、表1の配合で100mm×100mm×2.97mm厚の試料を作製した。

表1 吸収体原料配合

配合剤	配合量(phr)
ポリオレフィン系樹脂	100
導電性カーボン	10
無機難燃剤	100
難燃助剤	25

材料定数の測定は、平板状試料の反射減衰量周波数特性と斜入射特性(45°, 50°, 60° および 70°)を実測し、その実測値と伝送線路理論<sup>(3)</sup>による計算値との残差二乗和が最小となるよう、フィッティングにより推定した。

吸収特性の算出条件を表 2、式(1)に示す。

表 2 吸収特性の算出条件

項目	周波数特性	斜入射特性
周波数 (GHz)	75 ~ 80	76
入射角度 (°)	50	45 ~ 70

$$F(\hat{\epsilon}_r) = \sum_{N} (X - Y)^2 \quad \text{----(1)}$$

ここで

- $X$ : 吸収量実測値
- $Y$ : 吸収量計算値
- $N$ : 測定点数

フィッティング結果を図 1, 2 に、決定された材料定数推定値を表 3 にそれぞれ示す。

次にこの材料定数を使用して、角錐インホス形状での反射減衰量特性の計算を行うにあたり、角錐インホス部分の複素比誘電率を図3の面積比モデル<sup>(4)</sup>で近似し、さらに同図のように、 $\pi$ -部分と角錐インホス部分を3分割し、合計4層構造として伝送線路理論により検証した。

表 3 材料定数推定結果

周波数 (GHz)	複素比誘電率	複素比透磁率
76	1.98 -j0.68	1 -j0.0

図 3 左の  $z$  軸上の位置  $z$  において、 $z$  軸に垂直な断面の形状は同図右のようになり、従ってこの

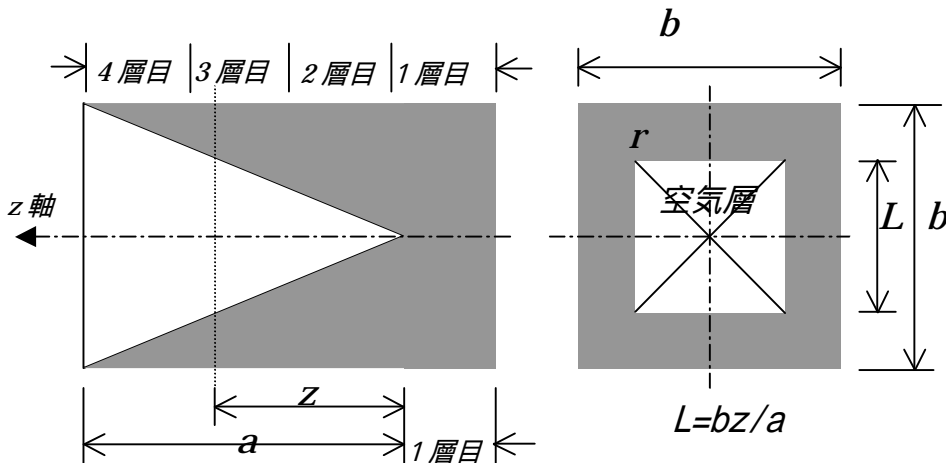


図 3 角錐インホスの面積比モデル

断面における材料の占有面積  $S_u$  及び空気の占有面積  $S_a$  は、 $z=0$  を底面位置として、それぞれ

$$S_u = b^2 - S_a \quad \text{----(2)}$$

$$S_a = L^2 = \left(\frac{bz}{a}\right)^2 \quad \text{----(3)}$$

である。この面積比で誘電率の平均化を図ると、同断面内の等価比誘電率は次式のようにになる。

$$\hat{\epsilon}_{eff} = \frac{S_u \cdot \hat{\epsilon}_r + S_a}{S_u + S_a} \quad \text{----(4)}$$

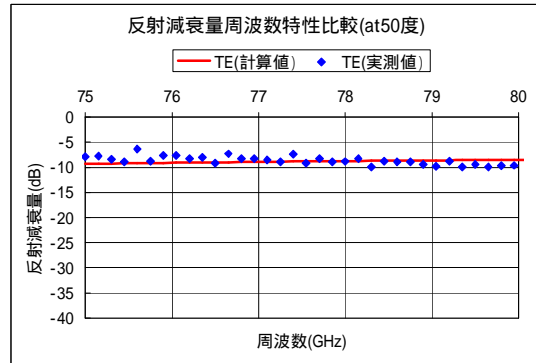


図 1 実測値との比較(周波数特性 at 50°)

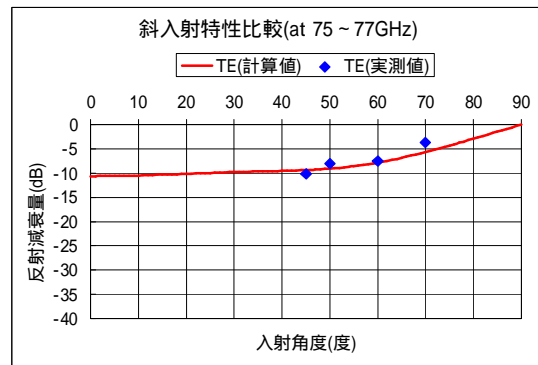


図 2 実測値との比較(斜入射特性)

ここで  $\dot{\epsilon}_r$  は材料の複素比誘電率。従って等価比誘電率  $\dot{\epsilon}_{eff}$  は角錐インホスの一辺  $b$  とは無関係になり、角錐インホス深さ  $a$  と座標  $z$  の関数となる。

$$\dot{\epsilon}_{eff} = \dot{\epsilon}_r \left( 1 - \frac{z^2}{a^2} \right) + \left( \frac{z^2}{a^2} \right) \quad \text{----(5)}$$

表 4 に示す各層の厚さでの、角錐インホス部分の実効比誘電率の計算結果を図 4 に、図 5~6 に 4 層近似モデルでのシミュレーション結果を、それぞれ示している。

表 4 シミュレーションに用いた各層の複素比誘電率と厚さ

項目	複素比誘電率	厚さ(mm)
1層目	1.98 - j0.68	1.1
2層目	1.95 - j0.66	1.3
3層目	1.74 - j0.51	1.3
4層目	1.29 - j0.20	1.3

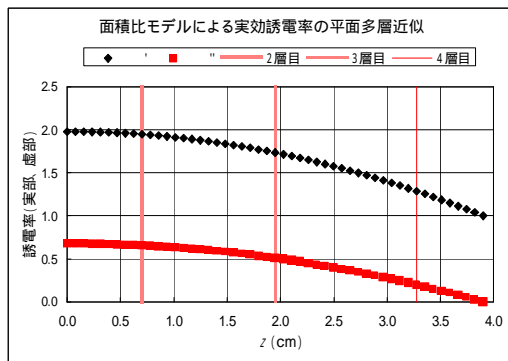


図 4 角錐インホス部分の実効比誘電率計算結果

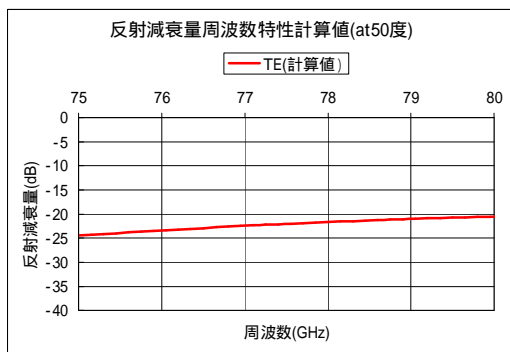


図 5 反射減衰量周波数特性の計算結果

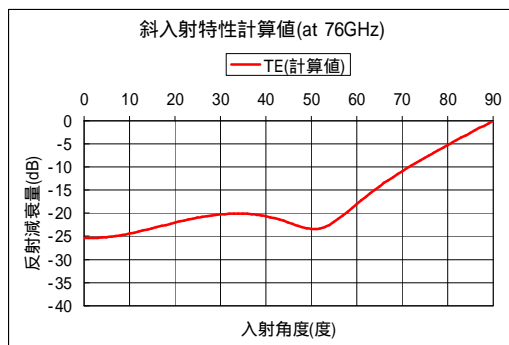


図 6 斜入射特性の計算結果

上記結果から、角錐インホス深さを使用周波数 76GHz の 1 波長(3.95mm)程度(トータル厚さは約 5mm)とすることで、入射角度 60°程度まで 15dB 以上の吸収性能が確保できる目処が得られ、この寸法で試作評価することとした。

### 3. 試作試料の概要

配合は表 1 に記載のものとし、混練は 2 軸ロールを用いて行った。また、角錐インホス形状の深さおよびピッチは、それぞれ 76GHz の 0.5~1 波長、1~1.5 波長とし、それぞれ熱プレスを用い試料表面に次の ~ の形状をつけた(一辺長さ \* 一辺長さ \* 深さ)。

4 \* 4 \* 2      4 \* 4 \* 3      4 \* 4 \* 4  
6 \* 6 \* 2      6 \* 6 \* 3      6 \* 6 \* 4

試料面積は 100mm x 100mm とした。

写真 1 に試料表面の写真を、写真 2 に使用した押し型の写真を示す。

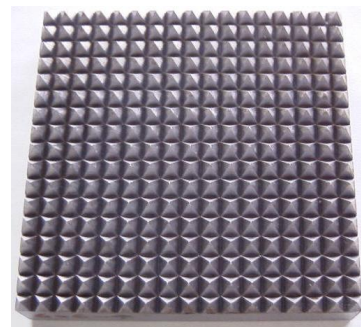


写真 1 試料表面

写真 2 金型

### 4. 測定結果

図 7 および図 8 に入射角度が 60° の場合の、それぞれ角錐インホスピッチが 4mm および 6mm の周波数と反射減衰量の関係について示す。測定は、いずれも A-チ法により、75~105GHz の TE 波について行った。測定状況を写真 3 に示す。いずれの形状でも周波数の増大とともに、また角錐インホス深さの増大とともに反射減衰量も増大する傾向を示した。また、6mm ピッチおよびその他入射角度でも同様の結果であった。

図 9 に 76GHz での斜入射特性をまとめて示す

が、4mmピッチおよび6mmピッチとも深さが大きくなるほど減衰量が増大した。深さ4mmの場合、入射角度45°～60°で25dB程度、入射角度70°でも15dB以上の減衰が認められた。

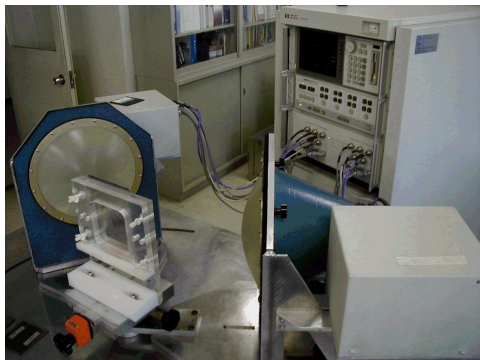


写真3 測定状況 1  
(財団法人ファインセラミックスセンター-[JFCC])

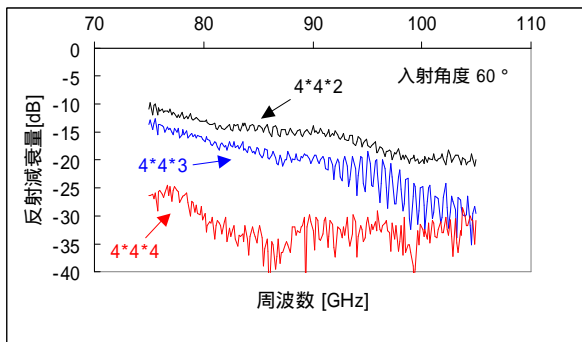


図7 周波数と減衰量の関係(ピッチ4mmの場合)

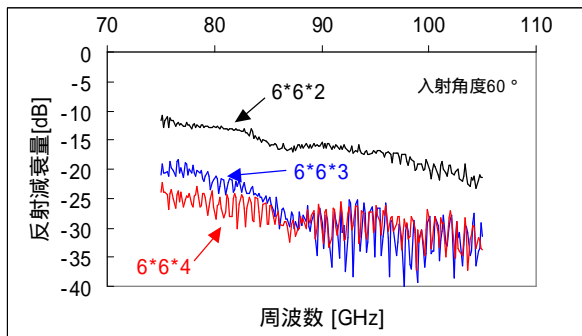


図8 周波数と減衰量の関係(ピッチ6mmの場合)

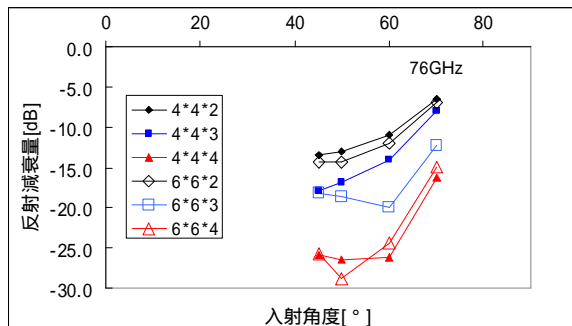


図9 入射角度と減衰量の関係(76GHz)

JFCC の測定器では、アンテナの大きさの都合で45°以下の低入射角度では測定できなかった。そこで、15°までの入射角度で測定が可能なキコム社製斜入射反射減衰量測定システムで、測定を行った。周波数は60～90GHzとした。写真4に測定状況を示す。

図10に6\*6\*4角錐インボスサンプルの周波数と減衰量の関係を示す。この周波数帯域でも反射減衰量は15dB以上を示し、本角錐インボスタイプが広帯域特性を有することを確認した。

また、76GHzの減衰量は、約25dBであった。このことから、入射角度15°～60°の範囲では20dB以上の減衰があると思われる。



写真4 測定状況 2 (キコム社)

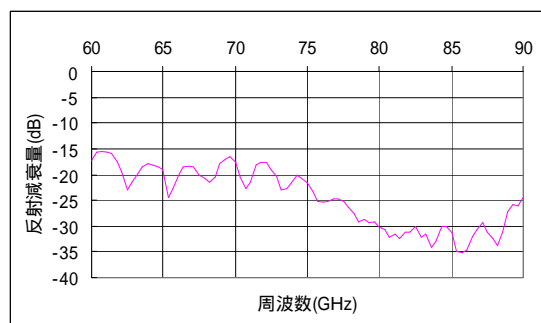


図10 周波数と減衰量の関係  
(入射角度15°, 表面形状6\*6\*4)

## 5. 考察

図11に入射角度50°の場合の、表4の各部厚さに実際の厚さ(1.0, 1.27, 1.27, 1.27)を使用した近似計算値と実測値の比較を示す。

75～80GHzの範囲において両者はよく一致しており、25dB以上の減衰があることが分かる。

図12には、角錐インボス形状6\*6\*4の場合の、76GHzでの斜入射特性の計算値と実測値を示す。両者は比較的よく一致しており、入射角度60°までであれば25dB程度の減衰があることがわかった。

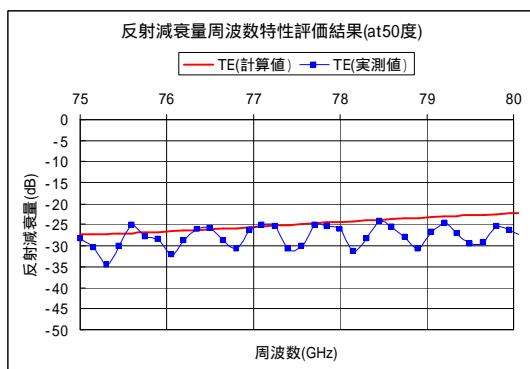


図 11 計算値と実測値の周波数特性

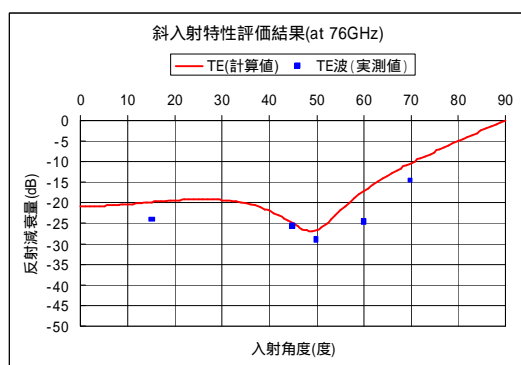


図 12 計算値と実測値の斜入射特性

## 6. まとめ

W 帯(75 ~ 110GHz)用電波吸収体として、表面に角錐形状の凹み(インボス)を設けた電波吸収体を試作し、その評価を行った。その結果、インボス深さを W 帯の下限周波数(75GHz)の約1波長程度とすることで、W 帯全域に亘り良好な電波吸収体の得られることを確認した。

今後は、各種環境性試験や量産検討を進める計画である。

## 7. 参考文献

- (1)宗他、2000 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B-4-2
- (2)小林他、信学技報、EMCJ2001-21(2001-06)
- (3)「電波吸収体入門」橋本修、森北出版、'97.10
- (4)「ピラミッド形電波吸収体の解析」安斎弘樹、他、信学技報 EMCJ93-38