

## Lichtenecker の対数混合則を用いた

### 粉体型磁性木材の電波吸収特性に関する検討

# Electro-magnetic Wave Absorption Characteristics of Powder-Type Magnetic Wood Using Lichtenecker's Logarithm Mixed Law

佐藤光治<sup>\*</sup>, 岡英夫<sup>\*</sup>, 浪崎安治<sup>\*\*</sup>

Koji Sato<sup>\*</sup>, Hideo Oka<sup>\*</sup>, Yasuji Namizaki<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>岩手大学, <sup>\*\*</sup>岩手県工業技術センター

<sup>\*</sup>Iwate University of Technology, <sup>\*\*</sup>Iwate Industrial Research Institute

キーワード：磁性木材 (Magnetic Wood), 電波吸収体(Electro-magnetic Wave Absorber), 木粉(Wood Powder), 圧力(pressure), Lichtenecker の対数混合則(Lichtenecker's Logarithm Mixed Law)

連絡先：〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学部 電気電子工学科

岡研究室 岡英夫、Tel&Fax：019-621-6389 E-mail：hoka@iwate-u.ac.jp

## 1. はじめに

近年、携帯電話 (0.8、1.5、2.0GHz) や無線 LAN (2.4、5.2GHz) の普及による室内 GHz 帯電磁波環境の悪化に伴い、木質機能に電波吸収機能を付与した木質系電波吸収建材ボードが求められている。しかし、一般的なプラスチック、ゴム、コンクリート系電波吸収体には木質機能は備わっていない。

一方、磁性廃棄物<sup>[1][2]</sup>および廃棄木材<sup>[3]</sup>のリサイクルを考慮した磁性粉および木粉から構成される粉体型磁性木材は木質系電波吸収建材ボードとして期待されている<sup>[4]</sup>。

これまでに粉体型磁性木材の電波吸収特性は磁性体の体積割合、磁性粉種類、厚さ、磁性粉粒径、木粉粒径を可変パラメータとした場合の実験結果が報告されているが<sup>[5][6]</sup>、電波吸収特性の設計手法に関しては十分に明らかにされてはいない。

金属板を裏打ちした単層型電波吸収体にお

いて、試料の複素比透磁率  $\mu^*$  あるいは複素比誘電率  $\epsilon^*$  の周波数特性は所望の電波吸収特性を示す電波吸収体を設計するのに重要な要素である。任意の複合材料体積割合の  $\mu^*$  あるいは  $\epsilon^*$  を求める方法として Lichtenecker の対数混合則が知られているが<sup>[7]</sup>、粉体型磁性木材に適応する場合、磁性材料と非磁性材料の複合材となり、対数混合則をそのまま適用することが困難であると考えられる。また、粉体型磁性木材において、ボード作製時でのプレス圧力による木粉体積の変化を把握することが必要となる。

本研究では磁性粉体積・木粉体積から電波吸収特性を求める電波吸収特性の設計手法として補正を施した Lichtenecker の対数混合則の適用性を検討した。さらに、木粉体積のプレス圧力を考慮した対数混合則について報告する。

## 2. 試料の構成と作製

磁性粉と木粉とを熱硬化性樹脂粉をバインダーとして 150 にて 20 分間熱圧縮することで粉体型磁性木材を作製した。磁性粉体は Mn-Zn フェライト BH2(Tokin 製、平均粒径約 70 μm)を、木粉にはタモ材を、バインダーにはフェノール樹脂(シヨウノール BRP-511、昭和高分子製)を用いた。作製試料は木粉体積のプレス圧力依存の検討用および磁性粉割合を変化させた磁性粉 100Vol%の材料定数推定用とした。表 1 に作製した試料のパラメータを示す。作製時のボード形状は 300mm × 300mm × 4.5 ~ 12.8mm である。

表 1. 作製試料のパラメータ

試料名	プレス圧力 [MPa]	磁性粉割合 [Vol%]	木粉割合 [Vol%]	バインダ割合 [Vol%]
WP_1	1	0	86	14
WP_5	5	0	86	14
WP_10	10	0	86	14
WP_15	15	0	86	14
MW43	10	43	43	14
MW57	10	57	29	14
MW72	10	72	14	14
MW86	10	86	0	14

## 3. プレス圧力による木粉体積依存

図 1 にボード体積(木粉体積)のプレス圧力依存の結果を示す。圧力が増加するにつれボード体積は飽和的な曲線となった。この飽和曲線から木粉が収縮の限界に近づいていると予想され、プレス圧力 15[MPa]までで、ほぼ収縮が収まると考えられる。その近似曲線を最小二乗法の対数形式で求めた。さらに対数混合則への応用を考え、木粉  $x$ [g]当たりの圧力を考慮した木粉体積を求める式を導出した結果、以下の式となった。

$$W = x \cdot (a_1 + b_1 \ln(p)) \cdot \dots \cdot (1)$$

$W$ : ボード体積(木粉体積) [cm<sup>3</sup>]

$x$ : 木粉重量[g]

$a_1$ : 定数(2.68)

$b_1$ : 定数(-0.389)

$p$ : プレス圧力[MPa]

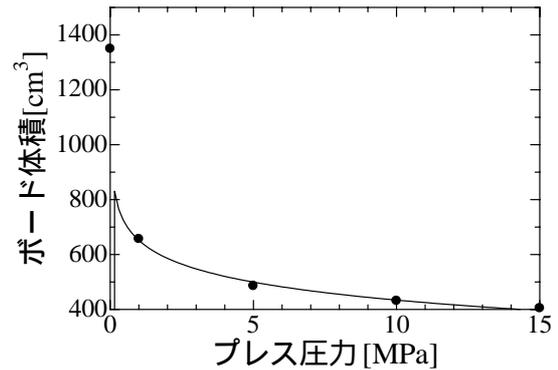


図 1. ボード体積のプレス圧力依存

## 4. 対数混合則の適応

磁性粉割合による材料定数の近似曲線として対数を用いた最小二乗法により磁性粉 100Vol%の材料定数  $m$ 、 $\mu_m$ を推定する。その値を以下の(2)、(3)式に示す Lichtenecker の対数混合則に適用し、 $V_M$ を 43Vol%とした場合の  $\mu$ を求める。本実験では磁性粉体積割合 43Vol%の試料 MW43 を対数混合則との比較試料とした。

$$\ln = V_M \ln m + V_W \ln w \cdot \dots \cdot (2)$$

$$\ln \mu = V_M \ln \mu_m + V_W \ln \mu_w \cdot \dots \cdot (3)$$

$V_M$ : 磁性粉の体積割合[Vol%]、

$V_W$ : 木粉の体積割合[Vol%]

$m$ : 磁性粉 100Vol%の複素比誘電率、

$w$ : 木粉 100Vol%の複素比誘電率

$\mu_m$ : 磁性粉 100Vol%の複素比透磁率、

$\mu_w$ : 木粉 100Vol%の複素比透磁率

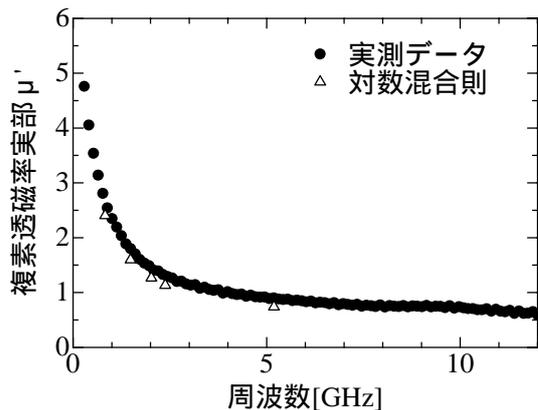
### 4.1 電気・磁気材料定数測定

測定には外径 7mm ( - 0.05mm )、内径 3.05mm ( + 0.05mm )、厚さ 3.5mm ~ 4.5mm に加工した環状試料を用い、ネットワークアナライザ HP 8720D によって同軸管  $S$  パラメータ法により 0.3GHz ~ 12GHz での材料定数(複素比透磁率・複素比誘電率)を導出した。磁性粉割合による材料定数から対数を用いた最小二乗法により磁性粉 100Vol%の材料定数を推定した。表 2 に磁性粉 100Vol%時の材料定数推定値を示す。この値を Lichtenecker の対数混合則に適用した。図 2(a) - (d)に MW43 と対数混合則との比較結果を示す。複素比誘電率虚部  $\mu''$ 、複素比透磁率実部  $\mu'$  においては実測値との差が約 0.5 ~ 17%の範囲となったが、複素比透磁率虚部  $\mu''$  において実測

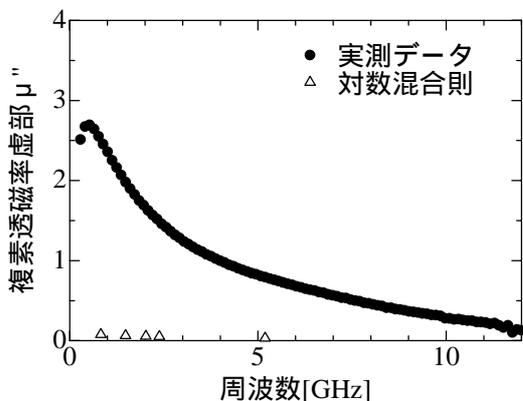
値と対数混合則値の適用結果では約 95 ~ 97%の差が生じた。これは非磁性である木粉の複素比透磁率虚部が極めて 0 に近いことが原因である。磁性材料と非磁性材料の複合の場合、対数混合則をそのまま適用することが困難であると考えられる。そこで、木粉の複素比透磁率虚部に 1 を加えた対数混合則に補正した。その結果を図 3 に示す。実測値と補正対数混合則値が最小 2.1%の差となる良好な結果が得られた。

表 2. 磁性粉 100Vol%時の材料定数推定値

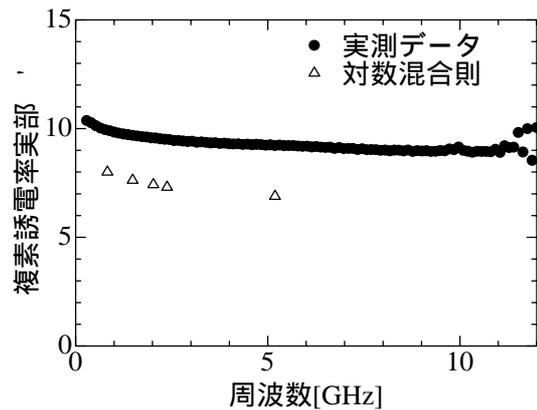
周波数[GHz]	'	"	$\mu'$	$\mu''$
0.8	29.4	7.93	5.57	5.99
1.5	27.4	6.53	2.46	4.10
2.0	26.5	7.01	1.56	3.16
2.4	26.1	7.51	1.24	2.72
5.2	23.8	11.1	0.53	1.05



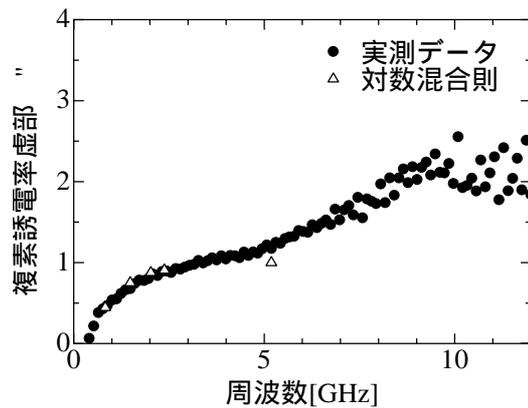
(a) 複素透磁率実部



(b) 複素透磁率虚部



(c) 複素誘電率実部



(d) 複素誘電率虚部

図 2. 実測値と対数混合則との比較

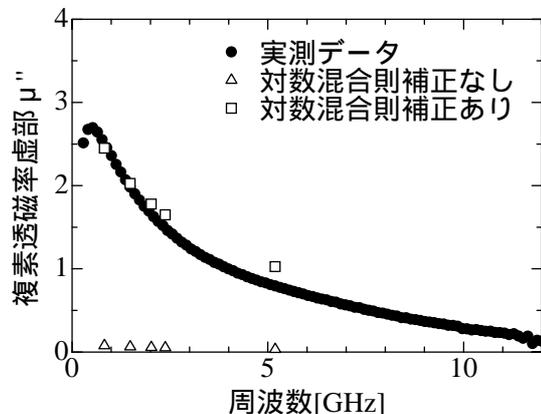


図 3. 補正対数混合則適用結果

#### 4.2 電波吸収特性の算出

以上より求めた材料定数から、試料背面を反射板で裏打ちされた単層型電波吸収体として以下の(4)、(5)式から反射減衰量  $RL$  の周波数特性を算出した<sup>[8]</sup>。図 4 に反射減衰量の実測結果と補正対数混合則の適用結果を示す。実測結果と補正対数混合則値は同様の傾向を示し、実測値と計算値との差は 0.5 ~ 4.9dB となった。

$$\dot{Z}_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{j\dot{\mu}_r}{\dot{\epsilon}_r}} \tanh\left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\dot{\epsilon}_r j\dot{\mu}_r}\right) \quad \cdot \cdot (4)$$

$$RL = 20 \log\left(\frac{Z_m - Z_0}{Z_m + Z_0}\right) \quad \cdot \cdot (5)$$

$Z_0$  : 自由空間の特性インピーダンス  
 $\dot{\epsilon}_r$  : 粉体型磁性木材の複素比誘電率  
 $j\dot{\mu}_r$  : 粉体型磁性木材の複素比透磁率  
 $d$  : 粉体型磁性木材の厚さ  
 $\lambda$  : 波長

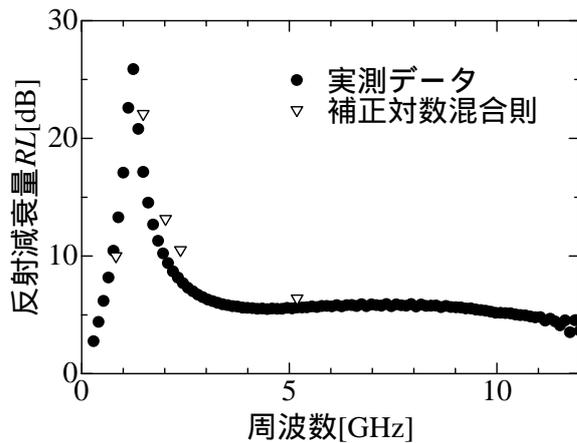


図 4. 反射減衰量の実測結果と補正対数混合則の適用結果との比較

### 5. 検討

木粉体積のプレス圧力依存を検討した結果、プレス圧力を考慮した対数混合則が得られた。圧力を可変パラメータとした場合のメリットとして材料の分量が同じでもプレス圧により厚さ、比重、電波吸収特性の異なるボード作製が可能であることが挙げられる。これによって、電波吸収特性の設計精度の向上につながると考えられる。

補正対数混合則の適応結果として、表 3 に反射減衰量の実測値と補正対数混合則値との比較を示す。実測値との差が最大 25.5%となった。これは Lichtenecker の対数混合則を複合材料で極端に粒径が違う材料へ適用する場合、正確なフィッティングが得られないものと考えられる。本研究で用いる磁性粉と木粉の粒径および粒子形状は大きく違っており、粒径、粒子形状を考慮した設計法が必要となる。本実験でも粒径による材料特性への影響を検討しており<sup>16)</sup>、木粉粒径を考慮した対数混合則により更なるフィッティングが期待できると考えられる。

表 3. 実測値と補正対数混合則値との比較

周波数 [GHz]	実測値 [dB]	補正対数混合則値 [dB]	実測値との差 [%]	実測値との差 [dB]
0.8	11.8	10.0	15.3	-1.8
1.5	17.1	22.0	22.3	4.9
2.0	9.8	13.2	25.5	3.4
2.4	7.9	10.5	24.8	2.6
5.2	5.6	6.4	12.0	0.5

### 6. まとめ

補正した対数混合則により、反射減衰量は実測と同様の傾向を示し、実測値との差が -1.8 ~ 4.9 [dB] となる簡易的な設計手法が得られた。

木粉 (ヤチダモ) 体積のプレス圧力依存からプレス圧力を考慮した対数混合則が得られ、電波吸収特性の設計精度の向上につながると考えられる。

### 参考文献

- [1] 中沢, 石川, 澤田, 笠原: 磁気テープ廃材を利用したパネルの電波吸収特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 40521, pp.1041-1042 (1996-9)
- [2] 松尾: Mn-Zn フェライトのリサイクル, 日本応用磁気学会誌, Vol.25, No.11, pp.1565-1572 (2001)
- [3] 生藤, 高谷, 岡本: 木質プラスチック複合体の試作, 第 54 回日本木材学会発表要旨集 PJ007, p.586 (2004)
- [4] H.Oka, K.Narita: Experimental results on indoor electromagnetic wave absorber using Magnetic Wood Journal of Applied Physics, Vol.91, No.10, pp.7008-7010 (2002)
- [5] 照井, 岡, 浪崎: 粉体型磁性木材の電波吸収特性決定パラメータについて(2), 信学技報, EMCJ2004-99, MW2004-175, pp.69-73 (2004)
- [6] 佐藤, 岡, 浪崎「粉体型磁性木材の構造と電波吸収特性(2)」電気学会全国大会講演論文集 Vol.2, p.158(2006)
- [7] 楠, 近藤: フェライト・SiO<sub>2</sub> 複合電磁波吸収体の吸収特性の粒径依存性, 電学論, Vol.123-2, pp.125-131 (2003)
- [8] 橋本: 電波吸収体入門, p.98, 森北出版 (1997)