

低温加熱による粉体型磁性木材の材料定数特性

Material constants of Powder-Type Magnetic Wood by Low Temperature Thermal Treatment.

○工藤和樹, 岡 英夫, 久保田賢二, 三浦健司, 浪崎安治, 関野 登

○Kazuki Kudo, Hideo Oka, Kenji Kubota, Kenji Miura, Yasuji Namisaki, Noboru Sekino

岩手大学, 岩手県工業技術センター

Iwate University, Iwate Industrial Research Institute

キーワード：高周波電磁特性(high frequency electromagnetic characteristics),
電波吸収体(wave absorber), 磁性木材(magnetic wood),連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学部 電気電子・情報システム工学科
岡研究室 岡英夫, Tel.& Fax : 019-621-6389, E-mail: hoka@iwate-u.ac.jp

1. 序論

最近の情報家電機器のワイヤレス化に伴い電磁環境の快適性の要求が高まり、壁材や天井材として使用可能な室内用電波吸収建材ボードが必要である。

これまでに内館等は低温加熱により電波吸収特性を変化させることを考案した¹⁾。しかし加熱温度による粉体型磁性木材の材料定数及び電波吸収特性の変化量に対する現象解明及びその要因については十分に明らかになっていない。

そこで本研究では新たに MnZn フェライト磁性粉の体積割合 0, 40, 84 Vol% で作製した粉体型磁性電波吸収ボードをそれぞれ 200~260°C で加熱し、これらのボード試料の加熱温度での材料定数特性及び電波吸収特性変化の比較と検討を行い、特性変化の要因と加熱温度特性を明らかにした。

2. 試料作製

2.1 ボード試料の構成及び作製手順

本研究では 1.0~5.0 GHz で高い複素誘電率を示す MnZn フェライト磁性粉 [TDK 製 PC-40 粒径 45~75 μ m]、木質材にタモ材 [粒径 1 mm 以下]、バインダにフェノール樹脂 [昭和高分子製 BRP-511, ショウノール] を用いた。MnZn フェライト磁性粉体積割合 0, 40, 84 Vol%、バインダ体積割合 16 Vol% にて混合し鉄枠に流し込み、

150°C, 10 MPa に設定したホットプレス機で 20 min の熱圧縮し 300×300×5 mm のボード試料を作製した。

Table. 1 Design value of volume percent and density, surface temperature.

Samples	Wood [Vol%]	Mn-Zn [Vol%]	Binder [Vol%]	Density [Vol%]	Surface Temperature [°C]
MZ00				0.93	-
200MZ00				0.87	202.1
220MZ00	84	-	16	0.86	218.8
240MZ00				0.75	241.1
250MZ00				0.69	251.7
260MZ00				0.65	264.0
MZ40				1.71	-
200MZ40				1.75	198.7
220MZ40	44	40	16	1.68	218.8
240MZ40				1.64	243.3
250MZ40				1.74	251.3
260MZ40				1.60	260.5
MZ84				2.68	-
200MZ84				2.67	197.6
220MZ84				2.70	222.4
240MZ84	-	84	16	2.65	237.9
250MZ84				2.66	252.2
260MZ84				2.68	260.9

サンプル名は、三桁数値：加熱温度, MZ: MnZn,

二桁数値：磁性粉体積割合を示す

2.2 ボード試料の加熱処理

電気炉[F0810, ヤマト科学製]を 200, 220, 240, 250, 260°C に設定し、ボード試料をアルミホイルで包み密閉し脚付きの金網に乗せ中空で燃焼した。また燃焼中の雰囲気気は酸素濃度 0.8~1.0% である²⁾。ボード試料表面温度をミディロガーで測定しながら設定温度に達した時点で加熱を停止し、自然冷却した。Table.1 にボード試料の体積割合と密度、試料表面到達温度を示した。

3. 材料定数測定結果

3.1 測定方法

作製した環状試料を恒温恒湿槽を用いて全乾状態 (105°C, 48 h 乾燥) とし、ネットワークアナライザ HP8720D に同軸管(CHSI-APC7 sample holder)を接続して測定周波数 0.5~10.0 GHz で S パラメータを測定し、HP85071 ソフトウェア内の Nicolson-Ross 法を用いた計算プログラムより材料定数を導出した。

3.2 材料定数の周波数特性

Fig. 2 に MnZn フェライト磁性粉体積割合 0, 40, 84 Vol% のボード試料を加熱処理した場合の材料定数の周波数特性を示す。試料 MZ00 の複素誘電率実部 ϵ_r' は加熱により低下し、特に加熱温度 240°C 以上での ϵ_r' の低下が顕著である。複素誘電率虚部 ϵ_r'' も同様の傾向を示した。試料 MZ40 は 250°C までの加熱で ϵ_r' が上昇し、250°C で最大値を示した。これは加熱により試料の構造が変化したことが原因だと考えられる。また 260°C での加熱では 250°C 以下の傾向とは対称的に ϵ_r' は減少した。これは木の炭化が起こりボード試料に変形や密度の低下が起こったためである。試料 MZ84 では加熱温度に従い ϵ_r' も上昇した。また複素透磁率 μ_r は全ての条件で高周波帯域で収束し特定の傾向は見られなかった。

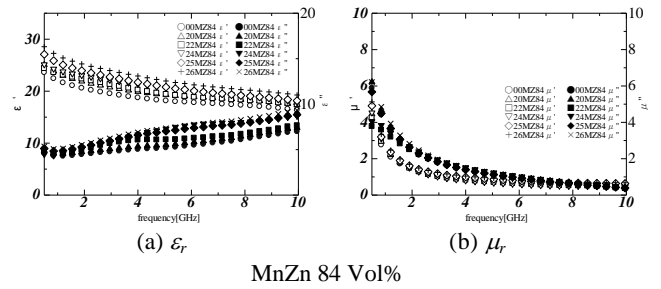


Fig. 2 Comparison between material constants of the samples before and after heating at temperatures of 200, 220, 240, 250, 260 °C. (a) Complex permittivity, (b) Complex permeability.

3.3 材料定数の加熱温度特性

Fig. 3 は周波数 2.45 GHz における材料定数と加熱温度の関係である。加熱により木の導電性は向上し、木粉のみの試料 MZ00 の複素誘電率実部は加熱温度の上昇と共に小さく減少している。磁性粉のみの試料 MZ84 の複素誘電率実部 ϵ_r' は加熱前では 20.0 の値を示し、加熱温度の上昇に従い ϵ_r' も上昇し 260°C では 22.6% 上昇し最大の 24.5 を示した。また複素誘電率虚部 ϵ_r'' も加熱前後で 4.6 から 5.9 に 28.3% 上昇している。木粉と磁性粉の複合材である試料 MZ40 は複素誘電率実部が 250°C で 17.8% 上昇し最大の 8.53 を示したが、260°C では 0.2% の上昇であり大きな変化が得られなかった。MZ40 は磁性粉と木粉の複合材であるためそれぞれの加熱による材料定数変化の影響を受けるが、誘電体として支配的である MnZn フェライト磁性粉の加熱による材料定数変化の影響が大きく、加熱温度の上昇と共に複素誘電率実部、虚部共に増加したと考えられる。

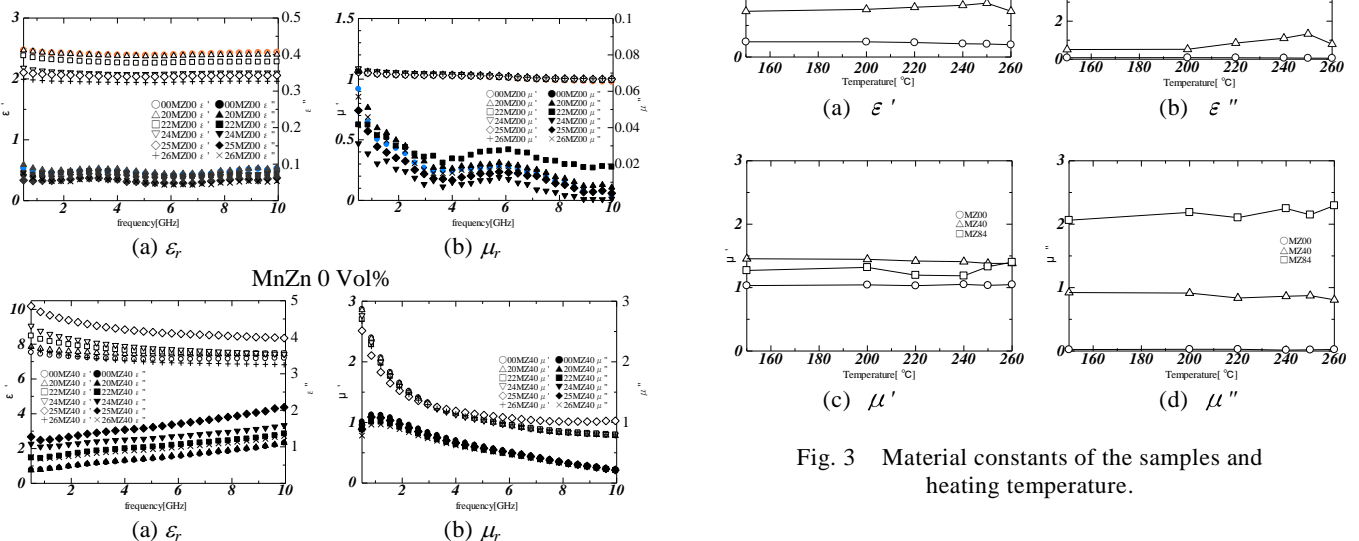


Fig. 3 Material constants of the samples and heating temperature.

MnZn 40 Vol%

4. 反射減衰量の特性

4.1 RL 算出原理³⁾

ボード試料の裏全面に完全導体を貼りつけた場合の反射減衰量 RL は以下の式(1)~(4)を用いて算出される。ボード試料厚は 5 mm とした。

$$Z_{in} = Z_C \left(\frac{Z_L + Z_C \tanh \gamma_c d}{Z_C + Z_L \tanh \gamma_c d} \right) \quad (1)$$

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right) \quad (2)$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (3)$$

$$RL = 20 \log |\Gamma| \text{ [dB]} \quad (4)$$

Z_{in} : 入力インピーダンス Z_0 : 大気中のインピーダンス

γ_c : 伝播定数 μ_r : 複素透磁率 ϵ_r : 複素誘電率

RL : 反射減衰量 d : 厚さ Γ : 反射減衰量

4.2 RL 算出結果

Fig. 4 は上記の RL 算出式から求めた反射減衰量である。GHz 帯域において木粉のみのボード試料を電波吸収体として用いた場合 Fig. 4 (a) のように電波吸収のピークは得られていない。Fig. 4 (b) では試料 MZ40 が 250°C までの加熱処理によって整合周波数が低周波側へシフトしており、また 260°C での加熱では材料定数の減少により鋭いピークを示す電波吸収特性を確認した。MZ84 は整合周波数は加熱によって 1.30 GHz から 1.00 GHz までシフトしており、また RL の値は 10 dB 前後と小さいが整合周波数のシフトに対し RL 減少も小さい。

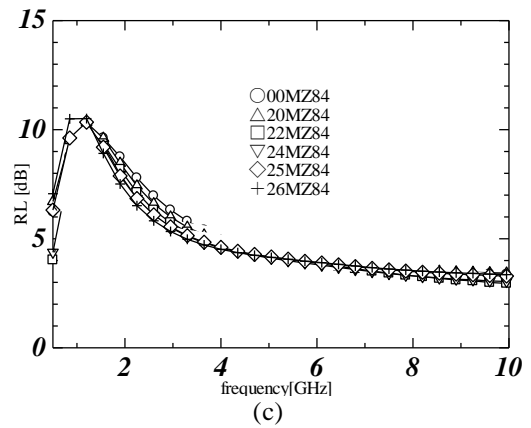
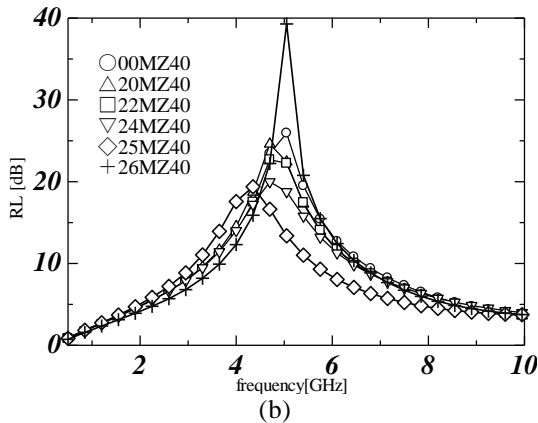
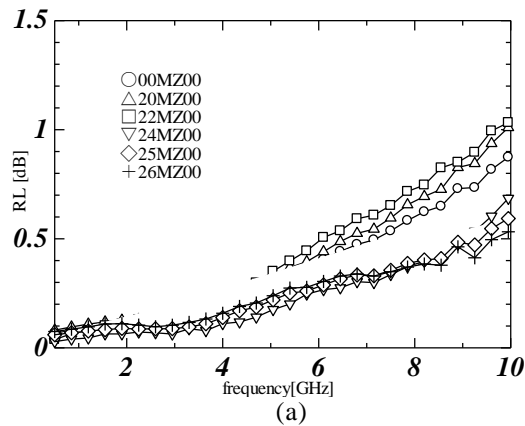


Fig. 4 Return loss frequency characteristics of magnetic powder type magnetic wood. (a) magnetic powder; 0% volume content (b) magnetic powder; 40% volume content (c) magnetic powder; 84% volume content.

4.3 RL の加熱温度特性

Fig. 5 はボード試料 MZ40 の RL の加熱温度での特性である。240°C までの加熱では整合周波数の低下は緩やかであるが 250°C では整合周波数が大きく低周波側へシフトした。また RL は 200°C から 250°C にかけて直線的に低下している。260°C では反対に整合周波数がやや高周波側へ移り、 RL が大きく上昇し鋭いピークを示した。

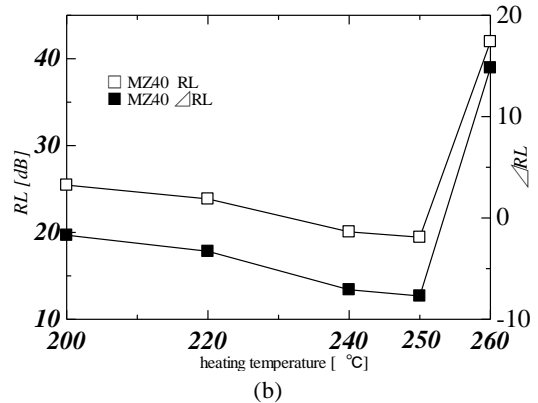
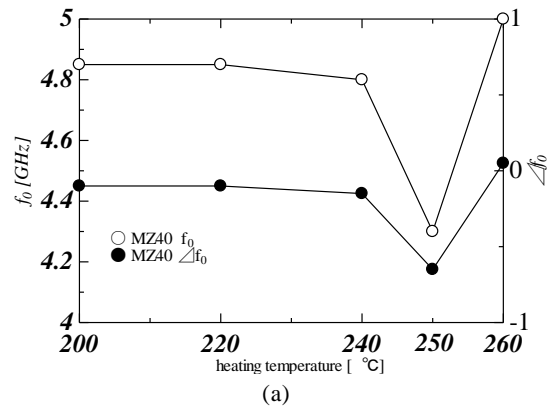


Fig. 5 Electromagnetic wave absorption characteristics of the board and heating temperature. (a) Center frequency and amount of change, (b) return loss and amount of change.

5. 加熱温度による粉体型磁性木材の特性変化量

最後にこれまでに示した加熱温度毎での材料定数、電波吸収特性の変化量を Table. 2 に示す。MZ00、MZ84 とともに 240°C までの加熱では材料定数特性変化の量が少なく、240°C 以上での加熱から特性変化が大きくなっている。また、加熱処理温度に対する整合周波数のシフト幅は 240°C まではほぼ一定であり、従って

100 MHz 程度の整合周波数調整を加熱処理にて行う場合では 200°C での加熱が最も効率が良いと言える。また 260°C 以上の加熱では急激な木のガス放出により試料が疎になるため材料定数が低下し、260°C 以前の加熱とは別の傾向を持つ電波吸収特性変化が得られる事を明らかにした。

Table. 2 Characteristics change in magnetic wood before and after heating at temperatures of 200, 220, 240, 250, 260 °C.

(a) magnetic powder; 0% volume content (b) magnetic powder ; 40% volume content (c) magnetic powder ; 84% volume content

Sample	Volume content [Vol%]	Heating temperature [°C]	$\Delta \epsilon'$ (2.45GHz)	$\Delta \epsilon''$ (2.45GHz)	Δf_0 [GHz]	$\Delta f_0/\Delta t$	ΔRL [dB]	$\Delta RL/\Delta t$
00MZ00	0	-	-	-	-	-	-	-
20MZ00		200	-5.46×10^{-3}	4.82×10^{-3}	-	-	-	-
22MZ00		220	-1.15×10^{-1}	7.76×10^{-4}	-	-	-	-
24MZ00		240	-3.08×10^{-1}	-1.13×10^{-2}	-	-	-	-
25MZ00		250	-3.49×10^{-1}	-2.20×10^{-2}	-	-	-	-
26MZ00		260	-4.57×10^{-1}	-2.24×10^{-2}	-	-	-	-

(b)

Sample	Volume content [Vol%]	Heating temperature [°C]	$\Delta \epsilon'$ (2.45GHz)	$\Delta \epsilon''$ (2.45GHz)	Δf_0 [GHz]	$\Delta f_0/\Delta t$	ΔRL [dB]	$\Delta RL/\Delta t$
00MZ40	40	-	-	-	-	-	-	-
20MZ40		200	3.08×10^{-1}	1.18×10^{-2}	-0.10	-2.0×10^{-3}	-1.70	-3.4×10^{-2}
22MZ40		220	6.40×10^{-1}	3.39×10^{-1}	-0.10	-1.4×10^{-3}	-3.29	-4.7×10^{-2}
24MZ40		240	9.50×10^{-1}	5.94×10^{-1}	-0.15	-1.7×10^{-3}	-7.08	-7.9×10^{-2}
25MZ40		250	1.29	8.22×10^{-1}	-0.65	-6.5×10^{-3}	-7.70	-7.7×10^{-2}
26MZ40		260	-1.70×10^{-2}	-2.81×10^{-1}	0.05	0.4×10^{-3}	14.82	1.3×10^{-1}

(c)

Sample	Volume content [Vol%]	Heating temperature [°C]	$\Delta \epsilon'$ (2.45GHz)	$\Delta \epsilon''$ (2.45GHz)	Δf_0 [GHz]	$\Delta f_0/\Delta t$	ΔRL [dB]	$\Delta RL/\Delta t$
00MZ84	84	-	-	-	-	-	-	-
20MZ84		200	1.25	4.04×10^{-1}	-0.10	-2.0×10^{-3}	-0.44	-8.8×10^{-3}
22MZ84		220	1.81	4.51×10^{-2}	0.00	0.0	-0.15	2.1×10^{-3}
24MZ84		240	2.56	1.60×10^{-1}	-0.10	-1.1×10^{-3}	0.24	2.7×10^{-3}
25MZ84		250	3.26	3.11×10^{-1}	-0.20	-2.0×10^{-3}	0.52	5.2×10^{-3}
26MZ84		260	4.52	5.65×10^{-1}	-0.30	-2.7×10^{-3}	1.01	9.2×10^{-3}

5. 結論

本研究では低温加熱処理による粉体型磁性木材の材料定数変化の解明を目指し、200~260°Cの加熱による特性変化を確認した。以下に得られた知見を要約する。

- (1) ボード試料 MZ00 を 200~260°C で加熱した場合、複素誘電率は実部、虚部共に小さく減少した。
- (2) ボード試料 MZ84 を 200~260°C で加熱した場合、複素誘電率実部、虚部共に温度上昇に従い増加した
- (3) ボード試料 MZ40 は加熱により複素誘電率が上昇し、250°C で最大値を示し 260°C では低下した。これは MnZn フェライト磁性粉の加熱による材料定数上昇が支配なため、また 260°C の加熱で試料

が疎になり材料定数が低下した。

- (4) ボード試料 MZ40 の整合周波数は 200~250°C での加熱処理で低周波側へシフトし、260°C 以前での加熱よりも高周波側で鋭いピークを示した。
- (5) 加熱処理での整合周波数を 100MHz 程度シフトするには 200°C での加熱処理が効率がよく、またシフト量の最大値は 250~260°C の間で求められる。

参考文献

- 1) H.Oka, S. Uchida, N. Sekino, Y. Namisaki, K. Kubota, H. Osada, "Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized Powder-Type Magnetic wood" IEEE VOL.47 NO.10 pp.3078-3080 (2011)
- 2) 山口、関野他：木片炭化マットのホルムアルデヒドおよびアンモニア吸着能—表面科学特性および細孔特性からの検討—、木質炭化学会誌 7(2),76-82, p.80, (2011)
- 3) 橋本：電波吸収体のはなし, p.43, 日刊工業新聞社 (2001)