

磁性粉体材料で作製した磁性木材の磁気特性の温度依存性について

Temperature dependence of the magnetic characteristics
of magnetic wood using magnetic powder.

○高橋 潤*, 岡 英夫*, 浪崎 安治**

○Jun Takahashi*, Hideo Oka*, Yasuji Namizaki**

*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：磁性木材 (magnetic wood)、塗布型 (coating type)、粉体型 (powder type)、
磁性粉体 (magnetic powder)、温度依存性 (temperature dependence)

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

従来の磁性木材^[1]は、常温あるいは比較的溫度変化の少ない環境下で用いられることを想定して作製されたものがほとんどである。そのため溫度変化の著しい環境下で使用されるような磁性木材の作製のための設計、制御はなされていない。今まで溫度依存性の高い感溫磁性材料^{[2], [3]}とキュリー点が 200℃以上である従来岡研究グループで用いられてきた Mn-Zn フェライト BH2、Ni-Zn フェライト 100L 粉体を用いて作製された磁性木材の溫度依存性については十分な説明はなされていない。

本研究では、感溫磁性材料 Mn-Cu 系フェライト STc40 をはじめ一般的な磁性材料 2 種類のフェライト粉体 (中心粒径 90 μm) を付与した磁性木材の磁気特性の周波数及び溫度依存性^[4]を比較し、そ

の基礎的機能を検討する。ここでは、粉体型磁性木材 (PMW)^[4]、塗布型磁性木材 (CMW)^[5]を用い、磁性粉割合を 20、40、60 vol % の 3 種類変化させた試料を測定に用いる。なお、これら 2 種類の磁性木材は磁性材料にフェライト粉体が用いられる。

2. 試料の作製

岡研究グループで用いられている材料には、高透磁率材料である Mn-Zn フェライト BH2、高周波特性に優れている Ni-Zn フェライト 100L はキュリー溫度が 200℃以上と磁性木材として使用する溫度変化に対しては影響のない磁性材料である。これらは普段用いる時は周囲溫度に関わらず、一定の磁気特性が得られると考えられる。一方、比較的溫度変化に敏感に磁気特性が変化する磁性

材料が感温磁性材料 Mn-Cu 系フェライト STc40 である。感温磁性材料は比較的低温において磁気特性が変化する性質を持ち、前述の高キュリー温度を有するフェライトとは使用目的が異なる。このため、室温で特性が変化する感温磁性材料及び変化のないフェライト等の効果的応用は異なる。こうした材料特有の性質を生かすために試料を、各磁性木材の透磁率等の周波数及び温度依存性を測定する。

2.1.1 粉体型磁性木材(PMW)の作製

粉体型磁性木材の作製に用いる材料は木粉に広葉樹のヤチダモ材 ((株) マルイ造形家具工業) で粒径は 1mm 以下を用い、磁性粉には、感温フェライトである Mn-Cu 系フェライト STc40 ((株) 北光電子)、一般的材料として Mn-Zn フェライト BH2 ((株) Tokin)、Ni-Zn フェライト 100L で共に平均粒径 $90\mu\text{m}$ を用いた。接着剤として熱硬化フェ

ノール樹脂 ((株) 昭和高分子) を用いた。

図 1 は作製法のフローチャートである。なお、ボード全体積中に占める磁性粉割合を 20、40、60vol% となるように作製した。

2.1.2 塗布型磁性木材(CMW)の作製

塗布型磁性木材の作製に用いる材料は木材にスターウッド(北進産業社)、磁性粉には PMW に用いた 3 種類の磁性粉を用いる。磁性粉の粒径は比較的小さい方がラッカーとよく混合することから、PMW 同様平均粒径 $90\mu\text{m}$ とした。ラッカーには「クリアーラッカー」((株) シントーファミリー社) を用いた。作製において磁性粉割合を PMW 同様 20、40、60vol% となるよう作製した。図 2 は作製法のフローチャートである。

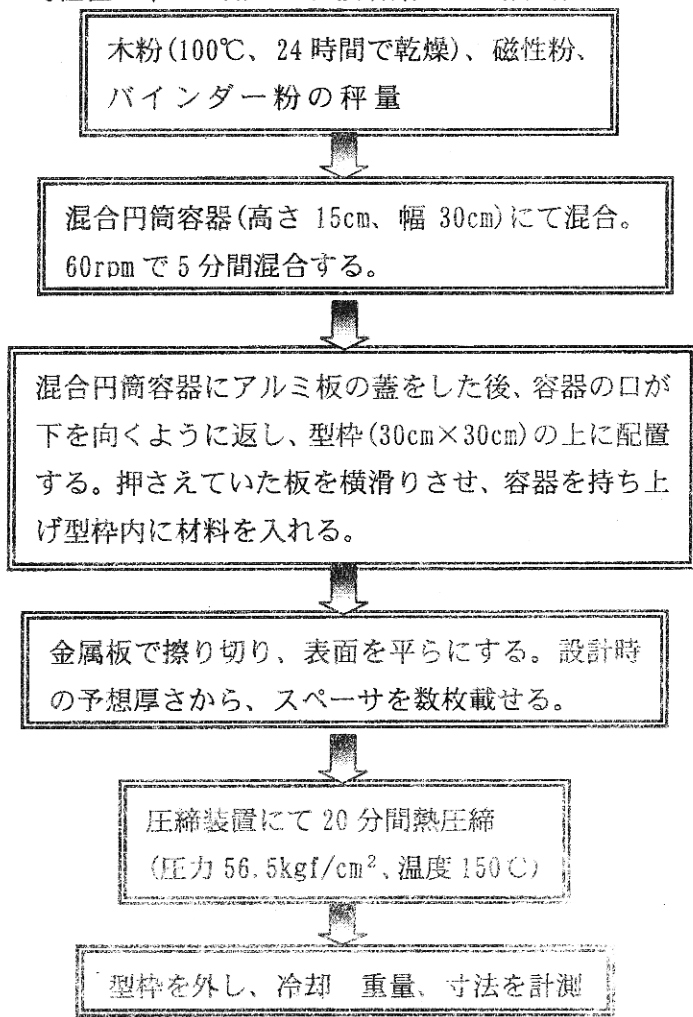


図 1 粉体型磁性木材(PMW)の作製フローチャート

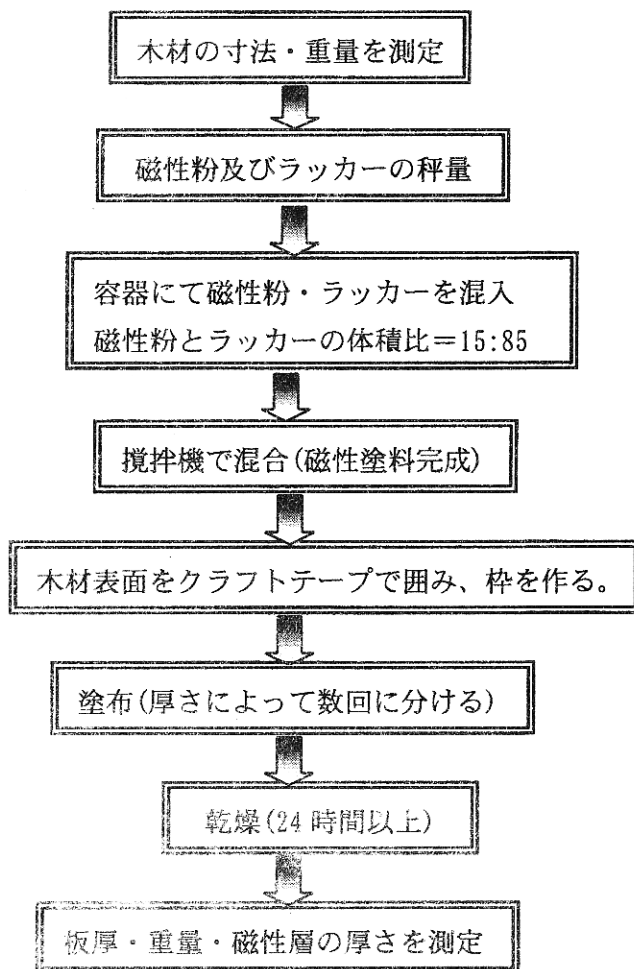


図 2 塗布型磁性木材(CMW)の作製フローチャート

3. 交流磁気特性の測定

PMW、CMW を測定試料にするため、環状試料に加工した。なお、PMW は 30cm×30cm のボードを 4 等分し、その 1/4 から磁気特性用環状試料を 9 個確保できるように、CMW においても 10cm×10cm 四方のボードから環状試料を 9 個確保できるようにした。これら試料の切り出しにはドリルやホールソー等を用いて行い、それを寸法精度±5%となるよう電動ヤスリで削り出した。PMW においては、環状試料寸法は内径 9.7mm、外径 16.8mm、高さ 9mm(±5%以内の誤差)、CMW においては内径 6.0mm、外径 16.8mm、高さ 3~6.5mm(木材層 2.5mm)(±5%以内の誤差)とした。CMW においては環状試料作製中に剥離や亀裂等の諸問題が生じるため、内径において PMW と同様にすることができなかった。これは今後の改善が必要であると思われる。

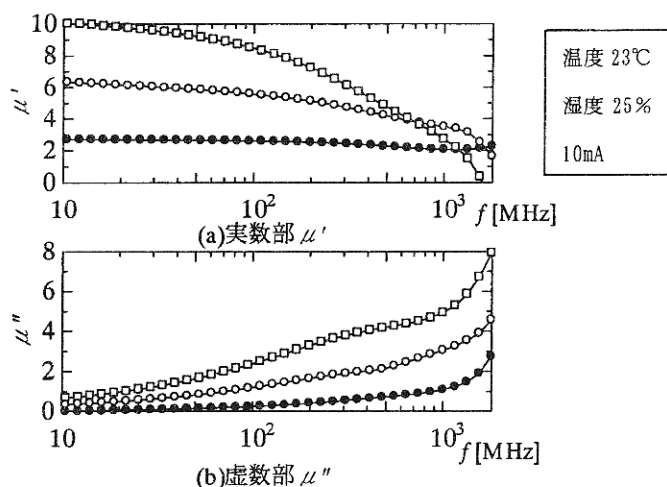
交流磁気特性の測定については、B-H/Z アナライザ HP E5060A(10kHz~1MHz、励磁条件 1A)、インピーダンス/マテリアル・アナライザ HP4291A(10MHz~1.8GHz、励磁条件 10mA)を用いて測定を行った。PMW 環状試料について、巻数は 20[Turn]、CMW については 14[Turn]とした。

表 1 は B-H/Z アナライザ HP E5060A での PMW、CMW の複素透磁率の実数部 μ' 、虚数部 μ'' の比較である。磁性粉割合の倍加で μ' の値は比例以上の傾向が得られた。全体的に磁性粉が集中している CMW の特性が良好であった。

図 3~8(a)、(b)は HP4291A での複素透磁率の実数部 μ' 、虚数部 μ'' の周波数特性を示す。100MHz~1.8GHz の特性で Ni-Zn フェライト 100L 粉体が μ' の減少が低く抑えられていることがわかった。これは高周波特性に優れていると考えられる。

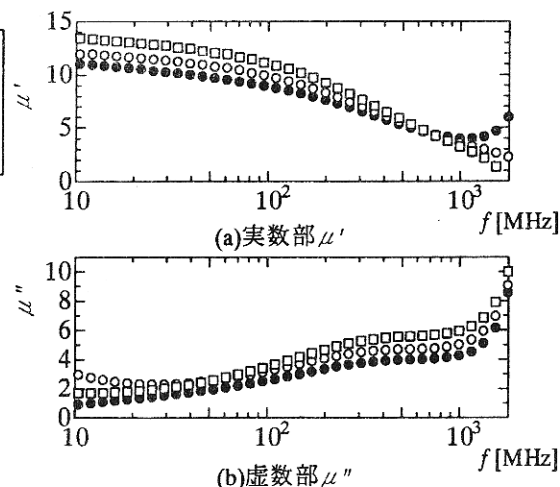
表 1 B-H/Z アナライザ HPE5060A における複素透磁率の実数部 μ' の比較(10kHz、100kHz、1MHz)
励磁条件 1A 電流一定、巻数 20[Turn](PMW)、14[Turn](CMW)、温度 23℃、湿度 25%

	磁性粉割合		20vol%			40vol%			60vol%		
			10kHz	100kHz	1MHz	10kHz	100kHz	1MHz	10kHz	100kHz	1MHz
粉体型磁性木材(PMW)	Mn-Zn フェライト BH2	比重	1.56g/cm ³			1.90g/cm ³			2.48g/cm ³		
		μ'	3.64	3.61	3.61	7.67	7.58	7.62	13.3	13.1	13.1
		μ''	0.003	0.004	0.002	0.137	0.145	0.109	0.356	0.373	0.384
	Mn-Cu 系 フェライト STc40	比重	1.42g/cm ³			1.76g/cm ³			2.23g/cm ³		
		μ'	2.63	2.59	2.60	5.51	5.46	5.36	9.15	9.00	8.55
		μ''	0.012	0.023	0.009	0.111	0.133	0.162	0.271	0.329	0.478
	Ni-Zn フェライト 100L	比重	1.46/cm ³			2.01g/cm ³			2.54g/cm ³		
		μ'	2.52	2.50	2.50	4.93	4.86	4.89	8.54	8.41	8.45
		μ''	0.006	0.002	0.001	0.064	0.063	0.013	0.199	0.209	0.147
塗布型磁性木材(CMW)	Mn-Zn フェライト BH2	比重	0.93g/cm ³			1.37g/cm ³			1.89g/cm ³		
		μ'	14.4	14.2	14.1	16.2	16.1	16.0	17.6	17.4	17.4
		μ''	0.033	0.128	0.125	0.212	0.251	0.325	0.257	0.319	0.410
	Mn-Cu 系 フェライト STc40	比重	0.96g/cm ³			1.26g/cm ³			1.92g/cm ³		
		μ'	11.8	11.6	11.4	12.3	12.1	11.5	14.4	14.2	13.3
		μ''	0.105	0.199	0.329	0.327	0.456	0.750	0.380	0.520	0.945
	Ni-Zn フェライト 100L	比重	1.06/cm ³			1.57g/cm ³			2.01g/cm ³		
		μ'	12.7	12.5	12.4	14.4	14.2	14.1	15.4	15.1	15.0
		μ''	0.103	0.186	0.196	0.325	0.366	0.415	0.320	0.416	0.461



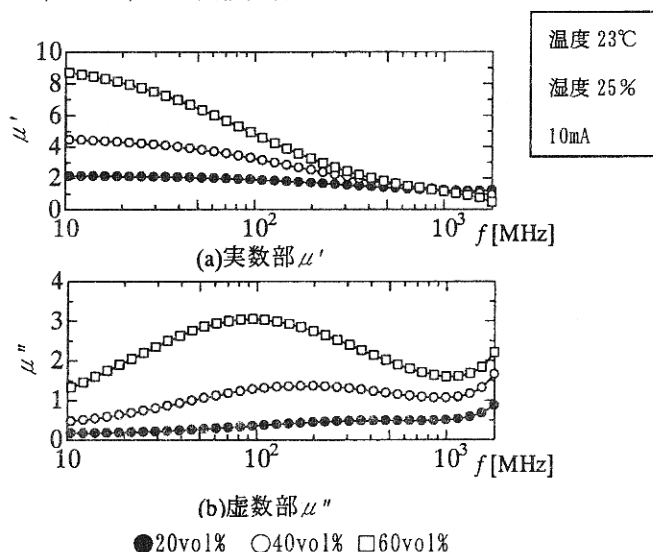
●20vol% ○40vol% □60vol%

図3 粉体型磁性木材(PMW)(Mn-Zn フェライト BH2 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)



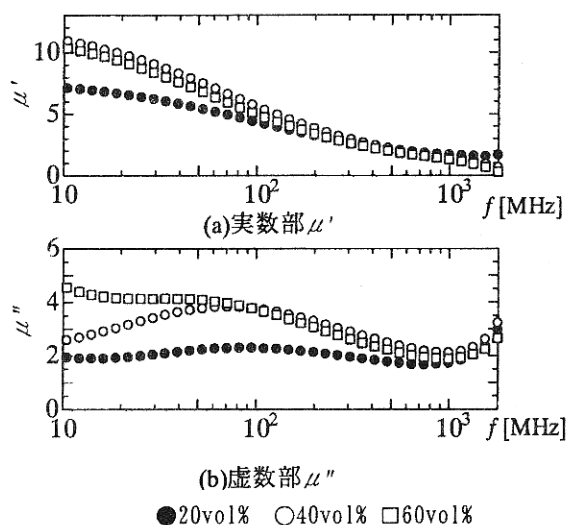
●20vol% ○40vol% □60vol%

図6 塗布型磁性木材(CMW)(Mn-Zn フェライト BH2 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)



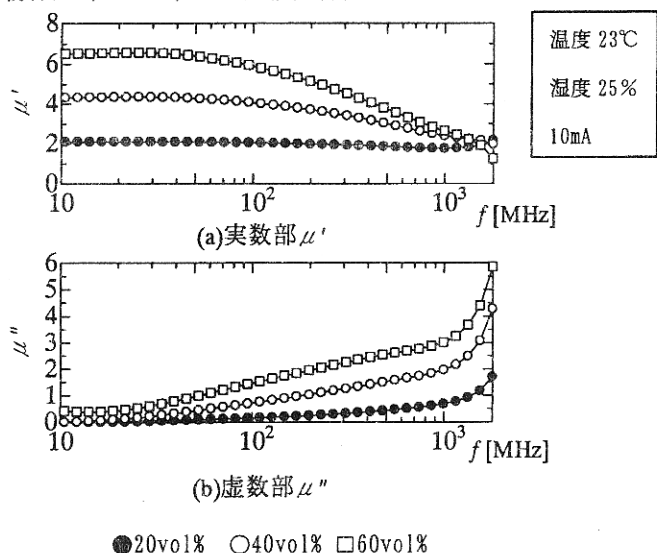
●20vol% ○40vol% □60vol%

図4 粉体型磁性木材(PMW) (Mn-Cu 系フェライト Stc40 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)



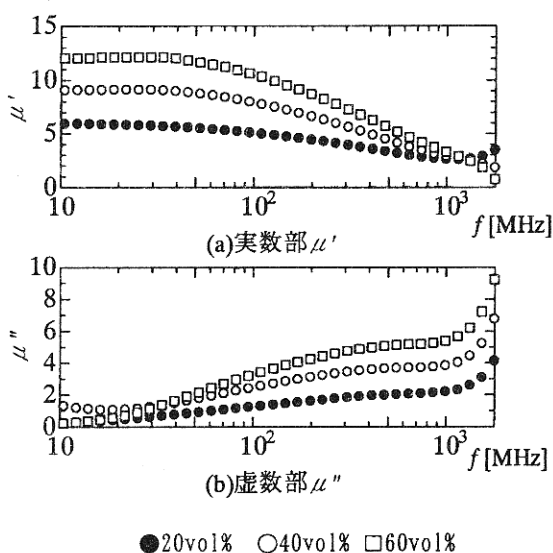
●20vol% ○40vol% □60vol%

図7 塗布型磁性木材(CMW) (Mn-Cu 系フェライト Stc40 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)



●20vol% ○40vol% □60vol%

図5 粉体型磁性木材(PMW) (Ni-Zn フェライト 100L 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)



●20vol% ○40vol% □60vol%

図8 塗布型磁性木材(CMW) (Ni-Zn フェライト 100L 粉体)の μ' 、 μ'' の周波数特性(HP4291A)

温度依存性の測定には周波数特性で用いた HP E5060A を用いる。励磁条件は 10kHz、励磁電流は 1A 電流一定、巻数は、PMW は 20[Turn]、CMW は 14[Turn]。温度を変えるために小型環境試験器 SH-240((株)タバイエスペック)を使用した。測定時の室温 23℃(±1℃)、湿度 25%(±5%)であったため、試験器内の湿度も 25%一定となるよう設定した。測定温度は 10、20、30、35、40、45、50、55、60℃の 9 点である。時間の間隔は 60 分とした。

図 9 は測定の概略図である。

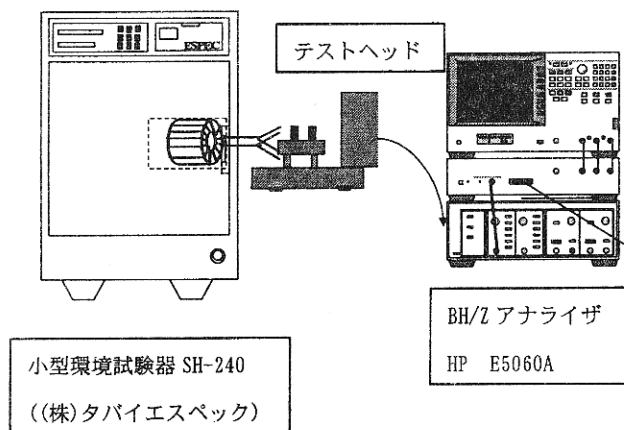


図 9 温度依存性の測定概略図

図 10、11 は、BH/Z アナライザ HP E5060A で測定した PMW、CMW(Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体)の温度依存性である。図 12 は飽和磁束密度 B_m の温度依存性である。Mn-Zn フェライト BH2、Ni-Zn フェライト 100L 粉体はキュリー温度が 200℃以上であるため、60℃までの測定では磁気特性に変化がなかった。今回用いた Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体はキュリー温度が 40℃である。つまり、感温性の特徴である、40℃で磁気特性が失われるはずである。しかし、これを用いた磁性木材は 40℃～45℃で μ' が減少する傾向を示した。急激な変化を理想とするが、期待する結果ではなかった。小型環境試験器内で温度を可変させたので、温度誤差とは考えにくい。この理由としては木材との混合であるため、あるいは磁性粉の反磁界のため、磁気特性が減衰したためと考えられる。磁性粉が集中している CMW は、透磁率の減少が良好であった。

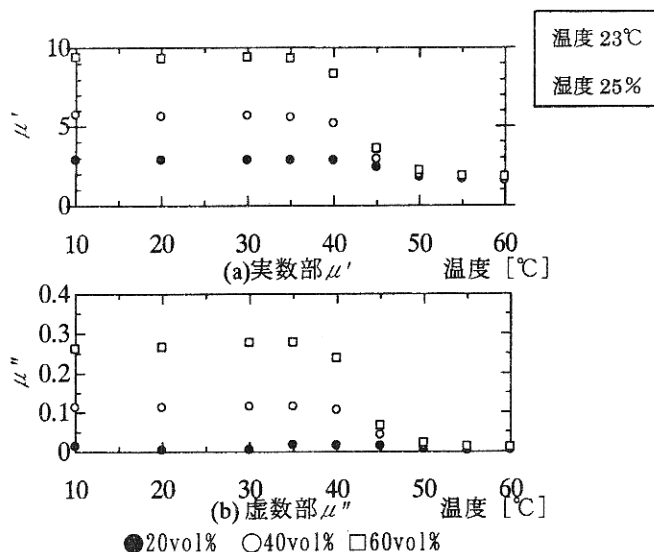


図 10 粉体型磁性木材 (PMW) (Mn-Cu 系フェライト STc40

粉体)の μ' 、 μ'' の周囲温度依存性 (HP E5060A)

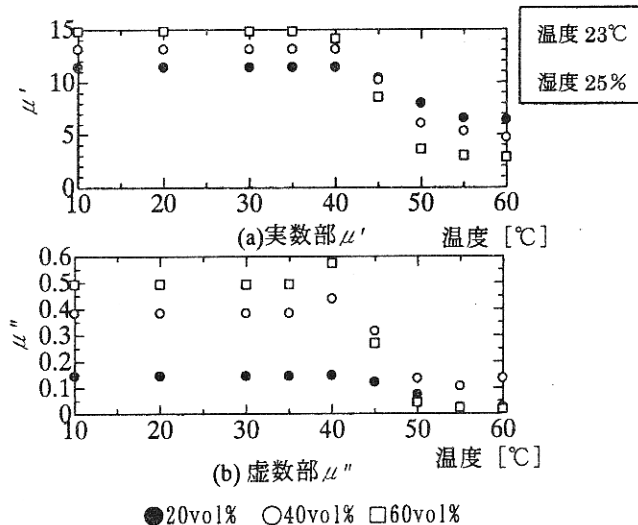


図 11 塗布型磁性木材 (CMW) (Mn-Cu 系フェライト STc40

粉体)の μ' 、 μ'' の周囲温度依存性 (HP E5060A)

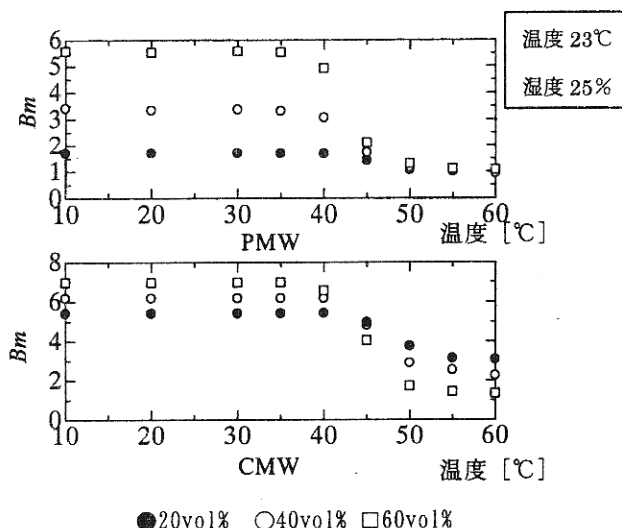


図 12 粉体型 (PMW)、塗布型 (CMW) (Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体)の B_m の μ' 、 μ'' の周囲温度依存性 (HP E5060A)

次に表2に感温磁性材料を評価する方法として、温度の変化 ΔT に対する複素透磁率の実数部の変化の割合を $\Delta \mu'$ 及び飽和磁束密度の変化 ΔB_m を用いて、性能係数 $\Delta \mu' / \Delta T$ 、 $\Delta B_m / \Delta T$ [$\text{Wb/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]を検討する結果を示す。温度変化 T はキュリー温度近傍 $30^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ とする。よって温度差 ΔT は 20°C である。 $\Delta \mu' / \Delta T$ 、 $\Delta B_m / \Delta T$ [$\text{Wb/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]ともに磁性粉割合が増加するごとに性能が向上している。しかし、実際のフェライトのバルクではこの $\Delta B_m - \Delta T$ 性能係数は $0.01 \sim 0.02$ [$\text{Wb/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]程度であり、感温性能は低い値を示した。そのため、磁性木材として用いる場合には更なる感温性能の向上が望まれる。

5. 検討

粉体型磁性木材(PMW)、塗布型磁性木材(CMW)について、3種類の磁性粉、3種類の磁性粉割合をパラメータとする試料の周波数及び温度依存性の測定を行った。これらの測定から得られた結果をまとめると、

(i) 周波数特性…Mn-Zn フェライト BH2、Ni-Zn フェライト 100L、Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体を用いた2種類の磁性木材について磁性粉割合を可変させて、磁気特性を測定した。その結果、2乗比例に推移するのではないかと考えられる。全体的に透磁率ではCMWはPMWと比べて、約2.5倍高い数値を示した。

(ii) 温度依存性…キュリー温度が 40°C であるMn-Cu 系フェライト STc40 粉体を用いた磁性木材は 40°C を超えて透磁率の減少が見られた。しかし、 60°C になっても磁性は失わなかった。Mn-Zn フェライト BH2、Ni-Zn フェライト 100L 粉体を用いた磁性木材は 60°C までは磁気特性の変化はなく、 60°C までの間では不変であることが得られた。粉体型磁性木材(PMW)、塗布型磁性木材(CMW)は作製方法、構造上の違いはあるが、木材の温も

り、質感、磁性粉の持つ磁気特性を複合した材料である。これに加えて、感温フェライトであるMn-Cu 系フェライト STc40 粉体を用いれば、感温ボードや一定温度に保てる発熱ボードが作製可能であると思われる。高周波特性が良好なNi-Zn フェライト 100L 粉体で作製した磁性木材は電波吸収体として研究が進められている。Mn-Zn フェライト BH2 粉体は高透磁率、磁束密度を生かして、周囲温度を考慮した磁性木材の磁気吸着等に生かすことができると考えられる。

6. まとめ

Mn-Zn フェライト BH2、Ni-Zn フェライト 100L、Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体で作製した粉体型(PMW)、塗布型(CMW)磁性木材の複素透磁率を中心に温度依存性について基礎的実測結果を明らかにした。今後、これらの結果についての複合材の構成法の解明により、温度依存性を考慮した磁性木材の磁気、木質機能特性の設計及び効果的応用を明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 岡：”磁性木材の基礎特性” 日本応用磁気学会誌 Vol. 23、No. 2、pp. 757-763 (1999)
- [2] 村上・松木：”感温磁気応用工学” (培風館) (1993)
- [3] 山沢：”感温磁心の磁束制御とその応用に関する研究” 東北大学博士論文 (1980)
- [4] 徳田・岡・浪崎・千葉：”粉体型磁性木材の磁気特性に関する材料効果” 計測自動制御学会東北支部研資 資料番号 187-17 (2000)
- [5] 北條・岡・千葉：”磁性木材の磁気吸着特性に関する実験的検討(1)” 電気学会マグネティックス研資 MAG-98-118 (1998)
- [6] 高橋・岡・浪崎：”感温磁性材料を用いた磁性木材の作製とその基礎特性” 日本応用磁気学会、第23回学術講演会論文 25p F6、p. 476 (2001)

表2 PMW、CMW(Mn-Cu 系フェライト STc40 粉体、バルク)における $\Delta \mu' / \Delta T$ 、 $\Delta B_m / \Delta T$

		20vol%	40vol%	60vol%	Mn-Cu 系フェライト (バルク) STc40	
粉体型磁性木材 (PMW)	$\Delta \mu' / \Delta T$	5.3×10^{-2}	18.8×10^{-2}	35.0×10^{-2}	$\Delta \mu' / \Delta T$	1.08×10^2
	$\Delta B_m / \Delta T$	3.2×10^{-5}	11.1×10^{-5}	21.3×10^{-5}	$\Delta B_m / \Delta T$	3.23×10^{-3}
塗布型磁性木材 (CMW)	$\Delta \mu' / \Delta T$	1.7×10^{-1}	3.5×10^{-1}	5.6×10^{-1}		
	$\Delta B_m / \Delta T$	8.3×10^{-5}	16.4×10^{-5}	26.2×10^{-5}		