

リサイクルフェライトを用いた電波吸収体の電波反射特性 に及ぼすカーボン粉体添加の効果

Effect of Carbon Powder Addition on Wave Return Property of
Electromagnetic Wave Absorber by using Recycling Ferrite

松尾良夫・橋本敏隆・小野清人・鈴木利保・中尾文昭

F D K (株), 静岡県湖西市鷺津 2281 (〒431-0495)

Y. Matsuo, T. Hashimoto, K. Ono, T. Suzuki and F. Nakao

FDK CORPORATION, 2281 Washizu, Kosai-shi, Shizuoka 431-0495

We studied the feasibility of electronic components manufactured from recycling powder composed of a MnZn ferrite grinding sludge and commercially available clay for earthenware and carbon powder. The effects of the mixing ratios, matching thickness, and matching frequency on the high-frequency magnetic properties and dielectric properties of rubber sheeted samples of added carbon powder were investigated. As a result, we found it possible to utilize the mixtures as composite materials for producing electromagnetic wave absorbers that exhibited value of peak frequency (f_0) increase by adding carbon powder. It is possible to design electromagnetic wave absorbers for an arbitrary frequency between several hundred MHz and a few GHz.

Key words: Mn-Zn ferrite, earthenware clay, carbon powder, return loss, electromagnetic wave absorbers

1. はじめに

近年、地球規模の環境保全などの観点から、産業廃棄物は極力その量を削減することが社会的に要請されており、産官学においても積極的に廃棄粉体のリサイクル化を推進している。前回、我々は無人搬送システムや電気自動車などの非接触型充電システム (Fig. 1) に利用されているフェライトコア[1, 2]の寸法形状調整後の研削スラッジと市販の非磁性粉体 (工業用陶土) との複合化によって、新しい磁性材料としての可能性を検討した[3]。

このような複合フェライトは、従来の焼結フェライトでは実現できなかったUHF帯以上の周波数域において自然共鳴による磁気損失が得られるため、近年、電磁シールド材や電波吸収体などに多く利用されている[4-9]。一般的に電波吸収体に利用されている複合フェライトは、ゴムやプラスチック中にフェライト材料の粉末を混練させたものが多い。その粉末としては、スピネル系のMnZnフェライト、NiCuZnフェライト、MnMgZnフェライトなどがあり、また最近では焼結材料としてUHF帯以上の周波数域において自然共鳴による磁気損失が得られるフェロックスプレナーなどの六方晶系フェライトの開発も盛んに行われている[10, 11]。

以前 Birksらは γ -Fe₂O₃を用いて、複合フェライトの磁気特性が(1)式に示すLichteneckerの対数混合式に従うことを明らかにしている[8]。そしてこのような関係は、Fig. 2 (NiZnフェラ

イト粉末の混合体積比による μ_r 依存性)に示すように、化学式の異なるフェライトに対しても、体積混合割合0.7程度までよく一致することが確認されている。

$$\log |\mu_r| = \nu \cdot \log |\mu_a|, \quad \tan \delta \mu = \nu \cdot \tan \delta a \quad (1)$$

μ_r : 複合フェライトの複素比透磁率, μ_a : γ -Fe₂O₃の複素比透磁率,

ν : 混合体積中に占める γ -Fe₂O₃の体積割合

またフェライト粉体の粒子径に関しては、平均粒子径を変化させた時の μ_r の周波数依存性などが報告されている[8]、その報告によると平均粒子径を5nm~50 μ mまで変化させることで μ_r のピーク周波数が300MHz~2GHzまで変化されている。

一方、カーボン粉体を用いた多層型電波吸収体については、主にカーボンゴム、カーボン含有発泡ウレタン、カーボン含有発泡ポリスチロールなど誘電性電波吸収体に関する報告が多い[8]。最近、Kasajimaらのグループは、シリコンラバーにカーボンブラック、MnZnフェライト、NiCuZnフェライトおよびFeSiアモルファスを混練した新しいEMC材料について報告している[12]。その中で彼らは、カーボンブラックと磁性材料を混合した条件において、高い電波吸収特性が得られており、その要因としては、誘電率の高い虚数部の影響であるとしている。

このように今日まで複合フェライト材料に関する多くの研究がなされており、フェライト粉体の混合量および粒子径と電磁気特性の関係、プラスチック、ゴム、セメントなどの混合量と物理的特性など詳細に研究されている[6, 8, 13, 14]。しかしカーボンをフェライト材料に複合した報告例は少ない。さらに我々が報告している、リサイクルを目的としたフェライト、工業用陶土、カーボンおよびゴムなどの複合化による高周波特性について調べた報告はほとんどない。そこで本研究ではこのフェライト粉体、工業用陶土、ゴムおよびカーボン粉体との複合化、およびフェライト粉末と工業用陶土をゴムに混練したシートとカーボンフィルムとの積層化などによって高周波特性がどのように変化するかを調べたので報告する。

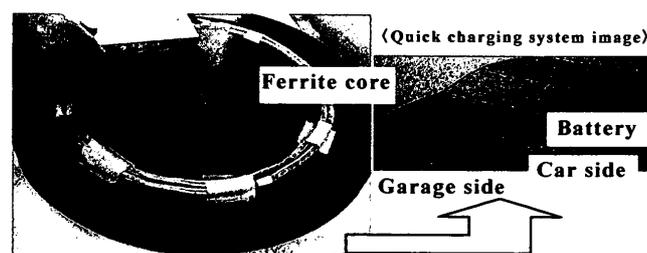


Fig. 1 Ferrite core for quick inductive charging system.
(diameter: 520 mm, thickness: 20 mm, weight: 17 kg).

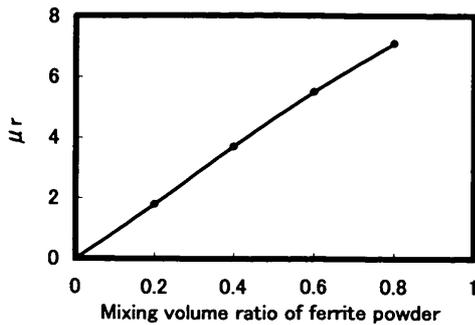


Fig. 2 Relationship between μ_r and mixing volume ratio of NiZn ferrite powder.

2. 実験方法

2.1 磁性粉体および非磁性粉体の調製

非接触充電システムに利用されている MnZn 系フェライトコア [1, 2] (FDK 製 6H40 材) を平面研磨機装置 (OKAMOTO MACHINE TOOL WORKS LTD, 仕様: PFG-500C, 砥石: 外径×幅×内径: 180×15×31, 回転速度: 3400rpm) を用いて研削を行い, そこで発生した研削スラッジ (以降 MnZn スラッジと略す) をマグネットロールにて回収し, 乾燥機にて 120°C で数時間乾燥した. 非磁性粉体については, 市販の工業用陶土を乾燥機にて 120°C で 24 時間乾燥し, 解砕後分級した粉体を用いた [3].

2.2 カーボン粉体の調製

カーボン粉体は, 塊状コークスをピンミル (左右の対向する鋼鉄製円盤にピンがセットされ, 可動部側のみが回転し, 円盤の内側面部に設けられたフィルターを通過した粉体が装置下部の容器で捕集される) を用いて粗粉碎し, その後ジェットミル (高圧力の空間に一定量の粉体を供給することによって粉体と粉体および粉体と壁面との衝突によって粉体を瞬時に微粉化する) にて微粉化したものを用いた.

2.3 評価試料の調製

磁性粉体と非磁性粉体を所定量秤量し, 混合機にて乾式混合した. そして混合粉体とゴム系樹脂およびカーボン粉体を十分に混練し, 肉厚 1mm のシート状に加工した. Fig. 3 に詳細な混合条件を示す. 磁性粉体と非磁性粉体の混合比率は 100 wt%:0, 75 wt%:25 wt%, 50 wt%:50 wt% の 3 条件とした.

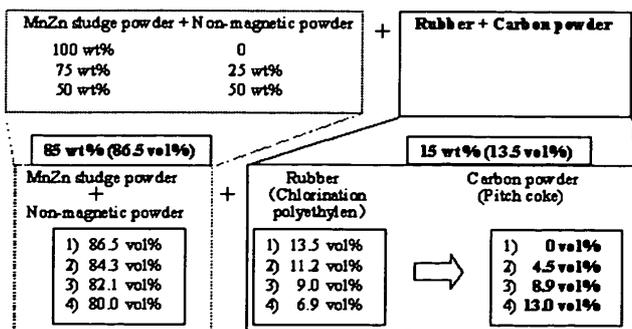


Fig. 3 Mixing conditions of various powders.

粉体とゴム系樹脂とのブレンド比は 85 wt%:15 wt% に固定し, ゴム系樹脂部 85 wt% をカーボン粉体で置換した. カーボン粉体は, シート全体の含有量としては 0, 4.5 vol%, 8.9 vol%, 13.0 vol% (磁性粉体と非磁性粉体の混合比によって数値に多少の変動あり) とした. また磁性粉体と非磁性粉体のみからなるシートとカーボン粉体のみを含んだフィルム (フィルム厚さ 10 μm で, フィルムの全面にカーボン粉体がコーティングされている) を Fig. 4 に示すように積層状のシートに加工した.

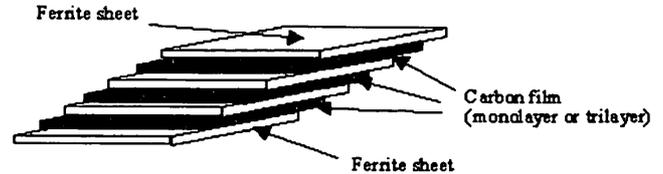


Fig. 4 Laminated sheets.

2.4 高周波特性の評価

これらの試料をトロイダル形状 (外径: 7mm, 内径 3mm, 厚さ 1mm) に加工し, 高周波特性を測定した. 評価方法は, ベクトルネットワークアナライザ (HP8753C) と同軸管 (外径: 7mm, 内径: 3mm) の S パラメータ用測定治具を使用した. 30MHz~6GHz の測定周波数帯域で S_{11} (複素反射率) および S_{21} (複素透過率) パラメータを測定し, これらの値から複素比誘電率 ($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$) と複素比誘電率 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$) を求めた. そしてこの値を式 (2), (3) に代入し, 反射減衰量 (Return Loss: R.L.) から電波吸収特性を評価した [15-17]. ここで式 (3) において入射面から見た入力インピーダンス Z が真空の固有インピーダンス Z_0 に等しくなる条件にすることで反射を最小にし, R.L. を最大に設計することができる [10]. 入射面での反射率を Γ とすると式 (4) となり, 式 (5) の条件のとき 20dB 以上の電波吸収特性が得られる.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (2)$$

Z : 規格化入力インピーダンス, j : $\sqrt{-1}$
 d : 試料の厚さ, λ : 波長,

$$\text{Return Loss (R.L.)} = -20 \log_{10} \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| \quad (3)$$

Z_0 : 真空の固有インピーダンス

$$\Gamma = \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| \quad (4)$$

$$\left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right| < 0.1 \quad (5)$$

3. 実験結果および考察

3.1 実験に用いた粉体の評価

Fig. 5 に実験に用いたカーボン粉体の SEM 写真, 粒度分布および

び平均粒子径の代表例を示す。粉碎前の塊状コークスは数 cm サイズで固定炭素成分は 99.8%であった。まずピンミルにて平均粒子径が数十 μm 付近まで粗粉碎し、その後ジェットミルにて微粉碎した。その結果、平均粒子径が 11.9 μm で比較的凝集の少ないシャープな粒度分布の粉体が得られた。

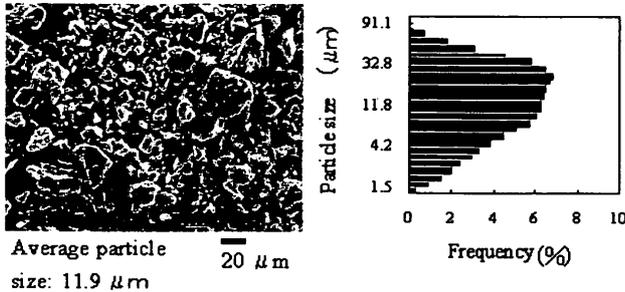


Fig. 5 SEM micrograph and particle distribution of the carbon powder.

3.2 高周波特性の評価

3.2.1 積層状シート

金属板で短絡した同軸管へ積層状シートをトロイダル形状(外径:7mm, 内径3mm, 厚さ1mm)に加工した試料を挿入し、ベクトルネットワークアナライザ(HP8720C)にて50 MHz~20 GHz帯域でのR.L.を直接測定した。フェライトシート中の粉体は、条件①:MnZn スラッジ100wt%, 条件②:MnZn スラッジ:非磁性粉体=75wt%:25wt%とし、フェライトシートは4層または5層、また各層のカーボンフィルムは1層あるいは3層とした。Fig. 6は条件①におけるR.L.の周波数変化を示す。その結果、厚さ4mmの4層フェライトシートに比べ、4層のフェライトシートと各シート間に1層のカーボンフィルムで構成[シート厚さ:4.2mm:フェライトシート間のカーボンフィルム1層⇒4.2mm(C1)]で構成した試料は、R.L.が若干減少するがピーク位置が高周波側にシフトしていることがわかる。また5層[シート厚さ:5.2mm:フェライトシート間のカーボンフィルム1層⇒5.2mm(C1)]の場合は、R.L.のピーク位置は低周波側にシフトするがピーク値が上昇した。Fig. 7は条件②におけるR.L.の周波数変化を示す。その結果、厚さ6mmの6層フェライトシートに比べ、6層のフェライトシートと各シート間に1層のカーボンフィルムで構成[シート厚さ:6.1mm:フェライトシート間のカーボンフィルム1層⇒6.1mm(C1)]した試料は、R.L.のピーク値が400MHzほど高周波側にシフトした。フェライトシートを7層[シート厚さ:7.2mm:フェライトシート間のカーボンフィルム3層⇒7.2mm(C3)]にすると吸収帯域が増加した。更に5層のフェライトシートと各シート間に3層のカーボンフィルムで構成[シート厚さ:5.7mm:フェライトシート間のカーボンフィルム3層⇒5.7mm(C3)]した試料は、R.L.のピークが600MHzほど高周波側にシフトした。次にこれらの結果を周波数の帯域幅からみた電波吸収体のよさF(Figure of merit)で評価する。Fは以下に示す(6)式で表される[8, 13]。

$$F = \Delta f / f_0 \quad (6)$$

Δf はFig. 8に示すように許容反射係数 S_a 以下となる周波数帯域幅、 f_0 は中心周波数、 S は反射係数を示し、設定された許

容反射係数に対してできるだけ薄く、 $|S| \leq |S_a|$ を満足する Δf ができるだけ広い材料がよい電波吸収体となる。Fig. 9に中心周波数とシート厚さの関係を示す。

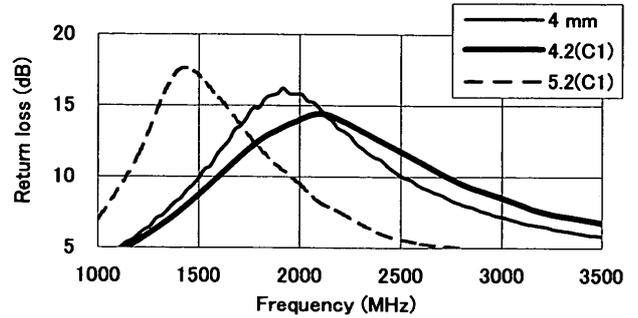


Fig. 6 Frequency dependence of the return loss for the laminated sheets (MnZn-sludge 100 wt%).

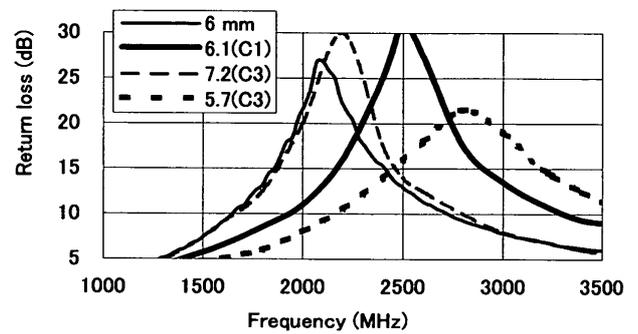


Fig. 7 Frequency dependence of the return loss for the laminated sheets (MnZn-sludge 75 wt%).

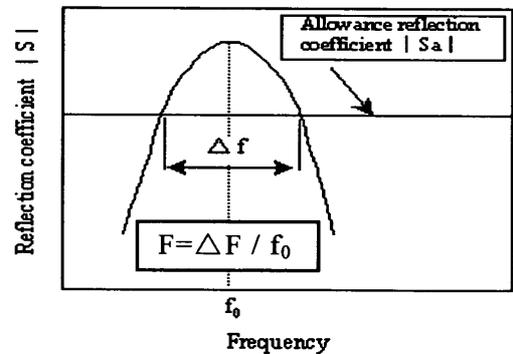


Fig. 8 Figure of merit (F) of electromagnetic wave absorbers.

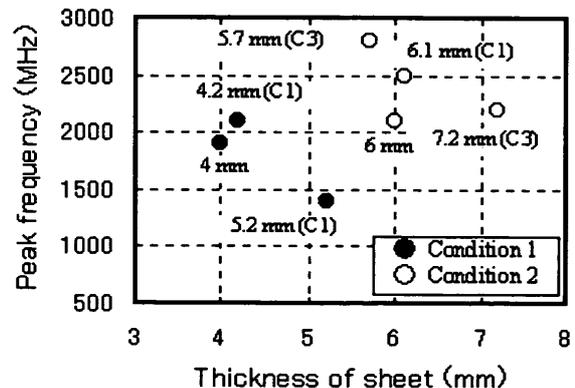


Fig. 9 Relationship between peak frequency and thickness of laminated sheets.

この図から2つのことが確認できた。(1)厚さ4mmの4層フェライトシートおよび厚さ6mmの6層フェライトシートと各シート間に1層のカーボンフィルムで構成された4.2mm/C1および6.1mm/C1を比較すると、中心周波数が高周波側にシフトしている。これはFig. 18に示す単層形試料の結果とは異なる。一般的に単層形吸収体は狭帯域形であるのに対し、多層形吸収体はより広帯域特性を有する[8]。そのためフェライトシート間にカーボンフィルムなどの異種材料層を構成したことによって、R.L.の周波数特性が広帯域となり中心周波数が高周波側にシフトしたと考えられる。(2)4.2mm/C1および5.7mm/C3と5.2mm/C1および7.2mm/C3を比較すると、双方ともに中心周波数が低周波側にシフトしている。これはFig. 15~Fig. 17にも示すように、吸収体の厚さが厚くなることによって中心周波数が低周波側にシフトする単層形吸収体と同様な傾向である。Fig. 10に条件①、条件②におけるF値と試料厚さの関係を示す。

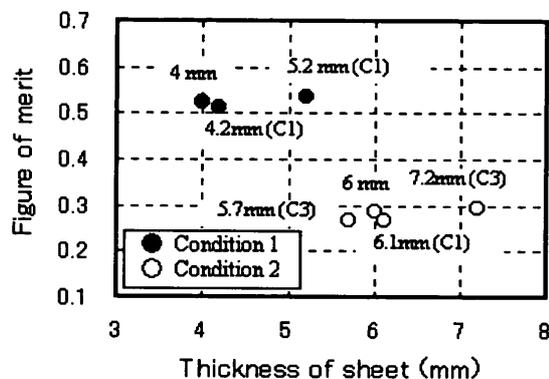


Fig. 10 Relationship between figure of merit and thickness of laminated sheets.

条件①は、反射係数0.32 (R.L.=10 dB)、条件②は、反射係数0.18 (R.L.=15 dB)を使用した(条件①、条件②におけるFの絶対値は、この反射係数の設定の影響である)。その結果、厚さ4mmの4層フェライトシートおよび厚さ6mmの6層フェライトシートについては、各シート間に1層のカーボンフィルムを構成(4.2mm/C1および6.1mm/C1)することによって、F値は双方ともに減少する。しかしさらにフェライトシートおよびカーボン層を増やした条件(5.2mm(C1)および7.2mm(C3)にすることで各々のF値は増加した。以上のように非磁性粉体を混合したフェライトシートとカーボンフィルムの積層化によって、R.L.の周波数特性を容易に制御できることがわかった。これは積層構造にすることによって、各層において入射電波の損失が制御され吸収体が広帯域特性を示したためである。主な要因としては、フェライトシート層とカーボンフィルム層の材料定数、各層の厚さ、各層の組み合わせ、および空気層の厚さなど多くのパラメータが存在する。

3.2.2 混合粉体で作製した試料

3.2.2.1 材料定数

フェライト粉体、非磁性粉体、ゴム系樹脂およびカーボン粉体をFig. 3に示した条件で混合後シート化し、トロイダル形状(外径:7mm, 内径3mm, 厚さ1mm)に加工した試料を同軸管へ挿入し、ベクトルネットワークアナライザ(HP8753C)にて30 MHz~6

GHz帯域での高周波特性を測定した。まず試料の材料定数〔複素比透磁率($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$)と複素比誘電率($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)〕を求めカーボン粉体量による特性の変化を確認した。その結果、Fig. 11に示すようにMnZnスラッジ量100wt%の条件では、500MHzにおいて比透磁率の実数部(μ_r')は5程度、虚数部(μ_r'')は1.5付近であった。そしてカーボン粉体量(0, 4.5 vol%, 8.9 vol%, 13 vol%)に対して μ_r' 、 μ_r'' の値に大きな変化はみられなかった。また μ_r'' が最大となる共振周波数は2GHz付近であり、カーボン粉体量による変化はほとんどなかった。一方、500MHzにおける比誘電率の実数部(ϵ_r')については、カーボン粉体量が多くなるに従い24~60へ増加した。虚数部(ϵ_r'')についても同様に最小値が2~8付近まで増加した。

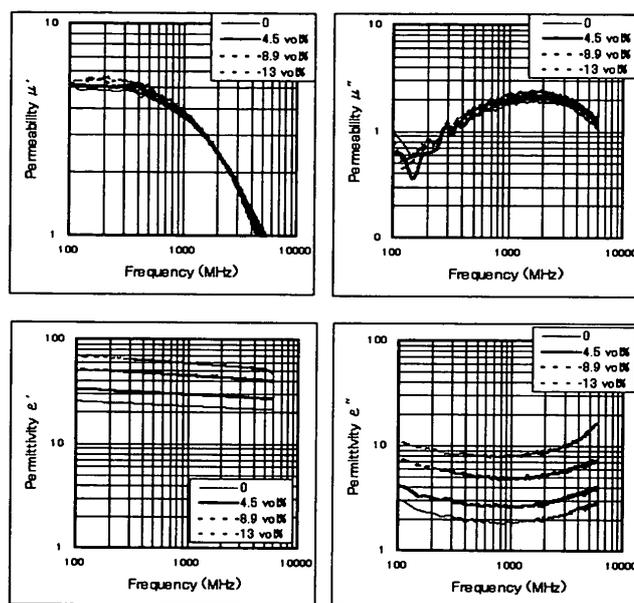


Fig. 11 Frequency dependencies of the real and imaginary parts of the relative complex permeability (μ' and μ'') and the relative complex permittivity (ϵ' and ϵ'') (MnZn-sludge 100 wt%-composite type).

次にMnZnスラッジ量75wt%の条件では、Fig. 12に示すように非磁性粉体の増加によって μ_r' および μ_r'' ともに各々の絶対値は減少した。しかしカーボン粉体量(0, 4.5 vol%, 8.7 vol%)に対する μ_r' 、 μ_r'' の値は、MnZnスラッジ量100wt%の結果と同様にほとんど大差はなかった。一方、500MHzにおける ϵ_r' については、カーボン粉体量が多くなるに従い15~30へ増加した。 ϵ_r'' についても同様に、最小値が1.3~3付近まで増加した。Fig. 13にMnZnスラッジ量50wt%の結果を示す。非磁性粉体の増加によって μ_r' 、 μ_r'' および ϵ_r' 、 ϵ_r'' 値はさらに減少している。 ϵ_r' の値は、MnZnスラッジ量100wt%、75wt%と同様に、カーボン粉体量によって増加傾向を示した。次にこれらの結果をFig. 2中にプロットしNiZnフェライト粉体の例と比較した。その結果Fig. 14に示すように、MnZn粉体の体積混合比0.40~0.87までの μ_r 値(200 MHz)の変化は、図中のNiZnフェライト粉体と同様に μ_r はMnZn粉体の体積混合量に比例することがわかった。ここで矢印で示したMnZnスラッジ0.80~0.87vol%の条件において、MnZnスラッジの体積比が減少するに従って μ_r 値が増加して

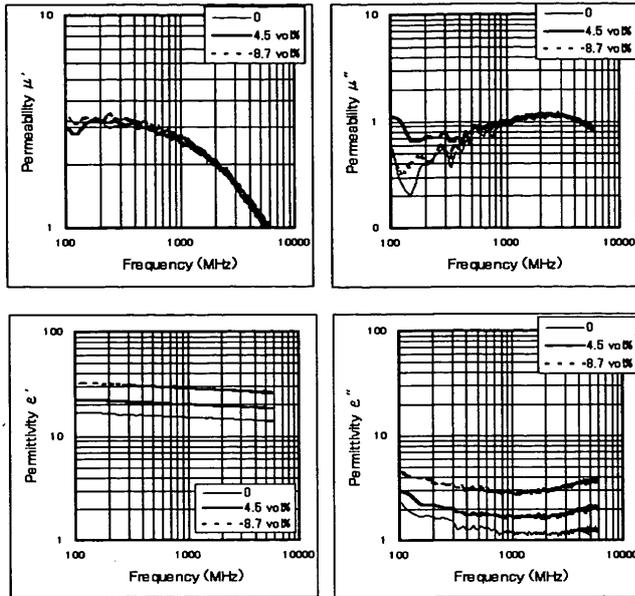


Fig. 12 Frequency dependencies of the real and imaginary parts of the relative complex permeability (μ' and μ'') and the relative complex permittivity (ϵ' and ϵ'') (MnZn-sludge 75 wt%-Composite type).

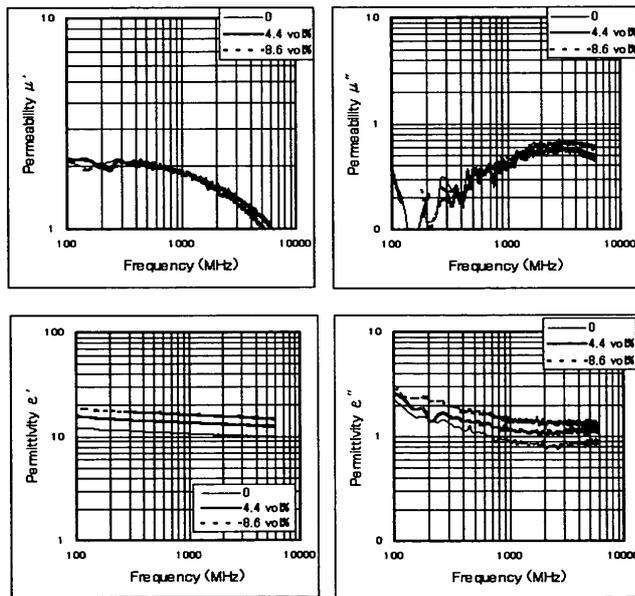


Fig. 13 Frequency dependencies of the real and imaginary parts of the relative complex permeability (μ' and μ'') and the relative complex permittivity (ϵ' and ϵ'') (MnZn-sludge 50 wt%-Composite type).

いる。これはカーボン粉体の体積比が増加することによって、以下に示すようにシート密度が増加[カーボン粉体とゴムとの混練性が良好なこと、およびカーボン粒子の密度(2.0 g/cm³)がゴム(1.1 g/cm³)に比べ大きいことなどが影響していると考えられる]したため、 μ_r 値が増加したものと考えられる。

$$3.24 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow 3.31 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow 3.43 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow 3.51 \text{ g/cm}^3$$

以上のようにカーボン粉体を添加することによって、複素比誘電率(ϵ_r' および ϵ_r'') を容易に制御することができる。また

同時により緻密なシートを作製することができ、さらに多少ではあるが磁気特性を向上させることも可能である。

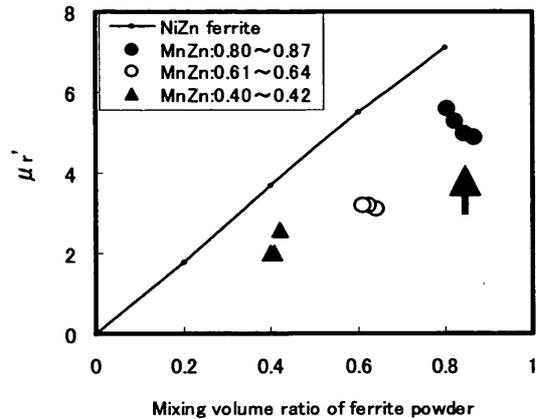


Fig. 14 Relationship between μ_r and mixing volume ratio of NiZn ferrite powder and MnZn sludge.

3.2.2.2 反射減衰特性

次に前項で得られた材料定数を式(2)、(3)に代入し、厚さdをパラメータとして変化させた時のR.L.を求めた。その結果、Fig.15~Fig.17に示すようにMnZnスラッジ量100wt% (試料厚さ8mm~10mm)、75wt% (試料厚さ8mm~10mm)、50wt% (試料厚さ6mm~9mm)のどの条件においてもカーボン粉体量の増加によって、R.L.の中心周波数が低周波側にシフトし、中心周波数値の向上が確認された。MnZnスラッジ量100wt%の条件では、カーボン量が4.5 vol%で100MHzほど、8.9 vol%では200 MHz程度、13 vol%では100 MHz程度R.L.の中心周波数が低周波側にシフトした。しかし中心周波数の絶対値については、カーボン量8.9 vol%まで20 dB以上の値が得られた。次にFig.18にR.L.の中心周波数とカーボン添加量の関係を示す。ここで試料の厚さは全て8 mmとした。中心周波数の絶対値については、前報[3]で報告したように非磁性粉体の増加によって高周波側にシフトしている。カーボン添加量による中心周波数の変化については、MnZnスラッジ量100wt%、75wt%、50wt%のどの条件においても一様に減少傾向を示した。(2)、(3)式よりR.L.を左右する材料定数としては μ_r 、 ϵ_r である。前述したように μ_r はカーボン添加量によってほぼ一定であり、 ϵ_r のみ増加傾向を示した。そのため中心周波数および絶対値の変化は、 ϵ_r 値に起因していると考えられる。Fig.19にF値とカーボン添加量の関係を示す。MnZnスラッジ量100wt%、75wt%の条件においては、カーボン添加量によって0.25~0.18付近まで減少した。これはカーボン添加量によってR.L.の中心周波数値は増加したが、 Δf が減少したためである。一方、MnZnスラッジ量50wt%の場合、カーボン添加によってF値の向上が確認された。Fig.17に示したカーボン量0 vol%の条件では、試料の厚さが厚くなると中心周波数が低周波側にシフトし、中心周波数の値は減少傾向を示すのみであった。しかしFig.17に示したようにカーボン添加量が4.4 vol%、8.6 vol%と多くなることによって中心周波数の絶対値が増加したため、F値が増加したものと考えられる。前報[3]では試料の厚さを厚くすると、単に

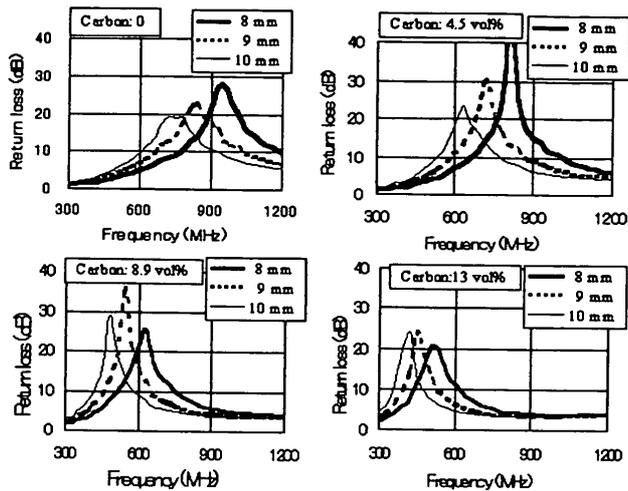


Fig. 15 Frequency dependencies of the return loss (MnZn-sludge 100 wt%).

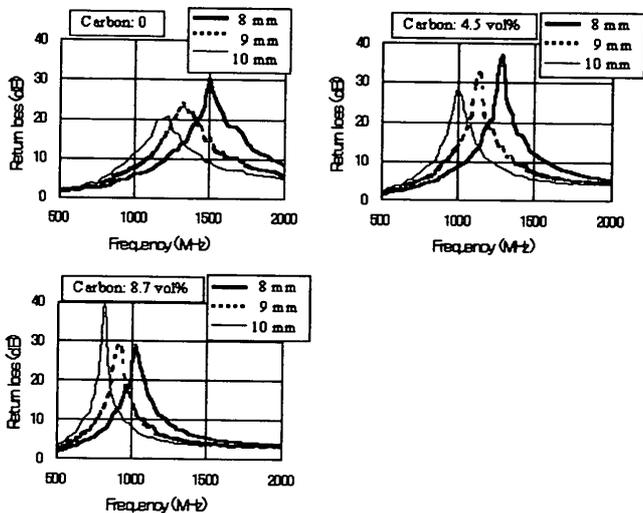


Fig. 16 Frequency dependencies of the return loss (MnZn-sludge 75 wt%).

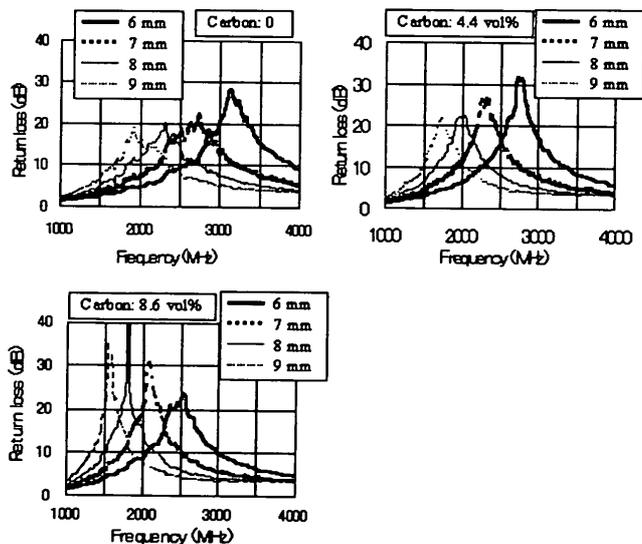


Fig. 17 Frequency dependencies of the return loss (MnZn-sludge 50 wt%).

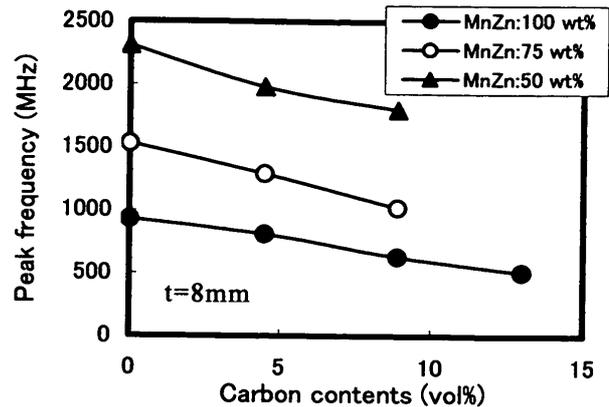


Fig. 18 Relationship between peak frequency and carbon contents (specimen thickness: 8 mm).

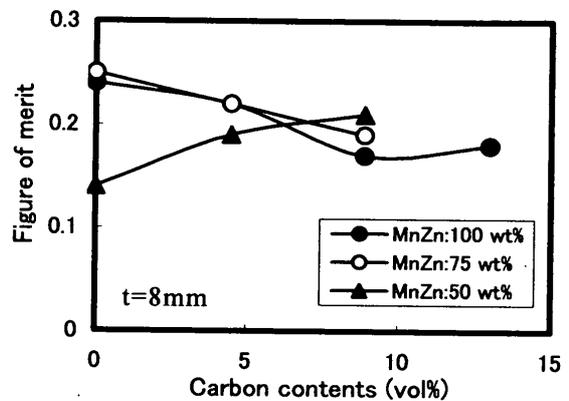


Fig. 19 Relationship between figure of merit and carbon contents (specimen thickness: 8 mm).

中心周波数が低周波側にシフトするのみのデータであったが、本報ではカーボン粉体を添加することによって中心周波数の絶対値を増加させる条件が明らかとなった。例えばカーボン粉体の添加効果は、試料厚さが6mmおよび7mmの条件では4.4 vol%まで、試料厚さが8mmおよび9mmの条件では8.6 vol%まで有効であることが確認された。この現象は前報[3]では得られておらず、今回、新たに見出された知見である。

今後は今回得た知見を応用し、非磁性粉体を湖沼汚泥にカーボン粉体を廃棄されている竹炭や廃炭などに、さらにゴム系樹脂を膨大に廃棄処分されている自動車のタイヤなどに転換し、より現実的なリサイクルシステムの段階へと発展させたいと考える。現在、タイヤのリサイクルの内訳としては、セメント焼成キルン用：28%、ボイラーなどの燃料用：16%、金属精錬や製紙用：7%、輸出用：17%、再生ゴム：12%、再生タイヤ：8%、その他：3%、未利用：9%である[18]。このように熱回収によるリサイクルが50%を占めており、再生ゴムとしての利用が少ないのが現状である。そのため再生ゴムの利用方法の開発、およびそれを促進できる環境の構築などが今後の課題である。今回、報告したような技術が、少しでも再生ゴムの利用促進に貢献できれば幸いである。

4. まとめ

本報では、リサイクル材料として研削後得られたMnZn系スラッジ、工業用陶土およびカーボン粉体をゴム系樹脂と複合化させ磁気特性や高周波特性を評価し、電波吸収体の周波数特性がどのように変化するか調べた。その結果、周波数の帯域幅からみた電波吸収体のよさFで評価した場合、カーボン粉体を添加することによって中心周波数(f_0)の絶対値を増加できる条件が明らかとなった。MnZnスラッジ量が50 wt%の条件において、カーボン粉体の添加効果は、試料厚さが6mmおよび7mmで混合比4.4 vol%まで、試料厚さが8mmおよび9mmでは混合比8.6 vol%まで有効である。この知見は前報[3]では得られておらず、今回新たに見出された。

謝辞 SEM観察および粒度分布の評価をして頂いた株式会社富士電化環境センター 美和千裕氏に感謝いたします。またカーボン粉体の調製およびその粉体物性に関して有益な情報を頂いた鈴木貴志氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Y. Matsuo, S. Otobe, F. Nakao and H. Sakamoto, EVS-16 (16th International Electric Vehicle Symposium), Beijing, (1999).
- 2) Y. Matsuo, K. Ono, M. Kondoh and F. Nakao: IEEE Trans. Magn., vol. 36, pp. 3411 (2000).
- 3) Y. Matsuo: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 25, No. 11, 1565 (2001).
- 4) H. Yanagida et al.: Advance of new ceramics, p. 64, Chemical industry company, (1971).
- 5) K. Ishino, Y. Hashimoto and T. Watanabe: Electromagnetic Wave absorber and that application, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 11, p. 71 (1974).
- 6) Y. Kotsuka: Proceeding on 1984 Int. on EMC, 18ADI, pp. 708-713 (1984).
- 7) Y. Shimizu, K. Suetake, Y. Naito and I. Wakayama: The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (B), 53, 7 (1970).
- 8) Y. Shimizu, Y. Sugiura, K. Ishino and T. Kan: Absorption and shielding of electromagnetic wave, Nikkei technology book (1989).
- 9) K. Nakayama: EMC, No. 138, 36 (1999).
- 10) H. Ota, M. Kimura, K. Okayama, S. Kondo and M. Homma: Technical Report of Ieice, MW 98-121, 67 (1998).
- 11) Y. Maeda, T. Kagotani, H. Ota, M. Kimura, M. Homma et al.: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 24, 895 (2000).
- 12) N. Kasajima, K. Kurata, Y. Sasaki and S. Kitahata: Proc. Int. Conf. Ferrite (ICF8), 894 (2000).
- 13) Y. Naito: Electromagnetic Wave absorber, Ohmsha, (1987).
- 14) O. Hashimoto: Electromagnetic Wave absorber introduction, Morikita Shuppan Co., Ltd., (1997).
- 15) M. Ishikura: No. 16 Takei Seminar, 9 (1996).
- 16) H. Ueno et al.: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 22, 881 (1998).
- 17) Y. Maeda et al.: J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 24, 895 (2000).
- 18) Japan automotive tire association: "The 1996 (from January to December) tire recycling situation", (1997).

2001年10月2日受理、2002年1月17日採録