

## 高周波電波吸収特性に優れたソフトフェライト粉

## Ferrite Powders for High Frequency Radio Wave Absorber

## 1. はじめに

電気通信技術の発達と携帯電話，衛星放送，ETC（有料道路における自動料金支払いシステム），無線 LAN などの普及により，地球上の至るところ目に見えない電波があふれ，電磁環境対策（EMC）の必要性が増している。Mn-Zn 系，Ni-Zn 系などのスピネル型フェライトをフェライトタイルとして TV ゴーストの改善に寄与した歴史がある<sup>1)</sup>。デジタル時代になり，フェライト粉としてさらに高周波のメガヘルツ～低ギガヘルツ帯域での電波吸収性能の有効性も認められてきた<sup>2,3)</sup>。JFE ケミカルと JFE マグパウダーは，JFE フェライトの協力で，これらスピネル型フェライト粉を開発，商品化した。Mn-Zn 系，Ni-Zn 系でそれぞれ材質，粉体特性の異なる材料を揃え，さまざまな顧客のニーズに対応している<sup>4)</sup>。

## 2. 製品特性

## 2.1 Mn-Zn 系フェライト粉

## 2.1.1 粉体特性

Mn-Zn 系フェライトは高温で焼成して初めてスピネル構造となるため，粉体にするためには強力で粉砕する必要が

あるが，過剰な粉砕では磁気特性が劣化する上に嵩密度が小さくなる。嵩密度が比較的大きく粉体の取扱いが容易な 10  $\mu\text{m}$  を中心径とするフェライト粉を商品化した（表 1）。空気透過式測定法（SS -100）による平均粒径は 4～5  $\mu\text{m}$  であり，レーザー回折式粒度分布測定（日機装（株）製 Microtrac）では 50% 径 D50 が 10～12  $\mu\text{m}$  である。粒度分布を図 1 に，粒子形状を写真 1(1) に示す。

## 2.1.2 磁気特性

Mn-Zn 系の材質は 2 種類を製品化した。磁気特性を表 1 に示す。振動試料型磁力計（VSM）で測定した粉体粒子の磁気特性，および焼結コア（リング形状）の磁気特性を示す。LD-M と LD-MH は，それぞれ一般に電源材，高透磁率材と呼ばれる材質であり，電源材は高透磁率材に比べ，初透磁率 ( $\mu_i$ ) は低い，キュリー点 ( $T_c$ ) および飽和磁束密度 ( $B_m$ ) が高い。この材質特性を反映してフェライト粉の電波吸収特性としては，特に周波数特性に影響し，低  $\mu_i$  の LD-M が LD-MH に比べ高周波特性に優れる。

## 2.2 Ni-Zn 系フェライト粉

## 2.2.1 粉体特性

Ni-Zn フェライトは比較的低温焼成でスピネル化するため

表 1 電波吸収体用フェライト粉の粉体および電磁気特性

Table 1 Powder &amp; magnetic characteristics of the ferrite powder for radio wave absorber

Sample name	Mn-Zn Ferrite		Ni-Zn Ferrite 1			Ni-Zn Ferrite 2		
	LD-M	LD-MH	KNI-106	KNI-106GSM	KNI-106GS	KNI-109	KNI-109GSM	KNI-109GS
Particle size by SS-100 ( $\mu\text{m}$ )	4-5	4-5	0.6	11	—	0.6	11	—
Particle size, D50* ( $\mu\text{m}$ )	12	11	0.8	20	90	0.8	21	100
Bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.8	1.6	1.0	2.2	2.4	0.9	2.2	2.3
Saturation magnetization, $\sigma_s$ by VSM** (emu/g)	84	66	69	70	71	51	49	49
Coercive force, $H_c$ by VSM** (Oe)	11	2.4	31.1	9.8	2.4	18.1	10.0	1.6
Magnetic characteristics of the bulk materials by R31/19/8 core								
Initial permeability, $\mu_i$ at 10 kHz***	2 500	10 000	400 (23°C)			1 700 (23°C)		
Saturation flux density, $B_m$ at 30 Oe**** (Gauss)	5 100	4 150	4 100 (23°C)			2 700 (23°C)		
Remanence flux density, $B_r$ at 30 Oe**** (Gauss)	1 300	760	2 500 (23°C)			800 (23°C)		
Coercive force, $H_c$ **** (Oe)	0.18	0.04	1.0 (23°C)			0.2 (23°C)		
Curie temperature, $T_c$ (°C)	215	115	180			110		
Electrical resistivity( $\Omega$ cm)	400-600	10-20	>10 <sup>7</sup> (23°C)			>10 <sup>7</sup> (23°C)		
Sintered density( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	4.9	5.0	5.15			5.15		

\*Particle size distribution data by laser diffraction method \*\*Vibrating sample magnetometer

\*\*\*By impedance analyser \*\*\*\*By direct current B-H curve tracer

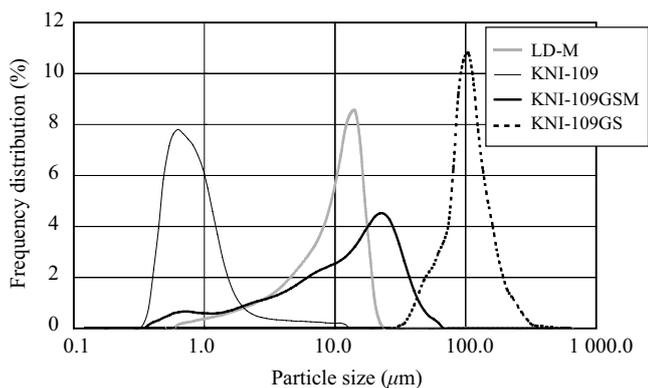


図 1 粒度分布

Fig. 1 Particle size distribution

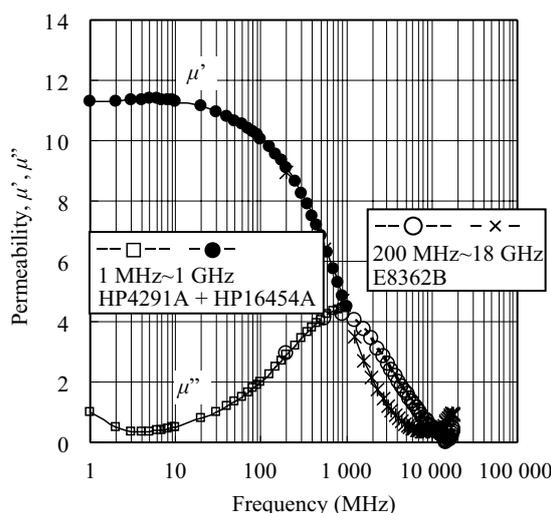


図 2 フェライト粉 LD-M の透磁率の周波数依存性  
Fig. 2 LD-M: Frequency dependence of permeability

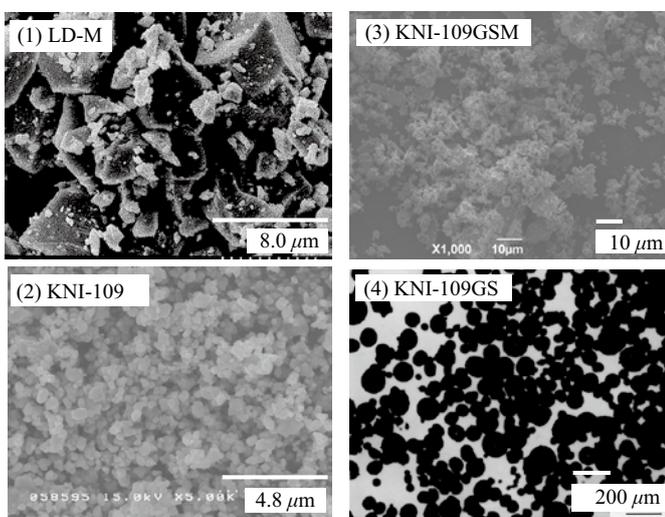


写真 1 フェライト粉電子顕微鏡 (SEM) 写真  
Photo 1 SEM Photograph of each ferrite powder

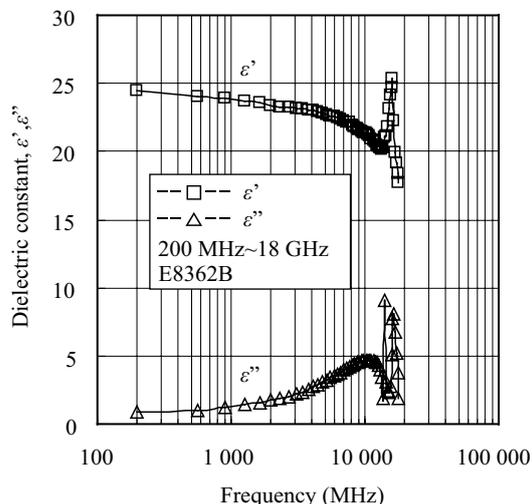


図 3 フェライト粉 LD-M の誘電率の周波数依存性  
Fig. 3 LD-M: Frequency dependence of dielectric constant

粒成長が制御しやすく、粒子径の異なる粉体を製造することが可能である。異なる市場の顧客ニーズに対応するため粒径が 1 μm, 10 μm, 100 μm の 3 水準に、材質 2 種類を揃え、計 6 種類の Ni-Zn 系フェライト粉を製品化した (表 1)。粒度分布を図 1 に、粒子形状を写真 1 (2) ~ (4) に示す。

### 2.2.2 磁気特性

Ni-Zn 系の 2 材質は Mn-Zn 系と同様、初透磁率 ( $\mu_i$ )、キュリー点 ( $T_c$ )、および飽和磁束密度 ( $B_m$ ) が主な差異であり (表 1)、フェライト粉の電波吸収特性としては、 $\mu_i$  の低い KNI-106 系の方が高周波側に優れ、KNI-109 系は低周波向けである。

また、粒径の異なる 3 種類のフェライト粉の電波吸収特性を比較すると、一般に粒径が大きいほど低周波の、粒径が小さいほど高周波で使用される。

## 2.3 高周波磁気特性と電波吸収性能

### 2.3.1 高周波磁気特性

Mn-Zn 系フェライト粉 LD-M の複素透磁率と複素誘電率

の周波数特性を図 2、および 3 に示す。複素透磁率の実部 ( $\mu'$ ) は 10 MHz を超えると低下し 5 GHz 付近で磁性を失う。一方、損失成分に対応する虚部 ( $\mu''$ ) は、1 GHz でピークを持ち 10 GHz 近辺まで維持される。また、複素誘電率の実部 ( $\epsilon'$ ) は 10 GHz 近辺まで高い値を維持し、損失成分である虚部 ( $\epsilon''$ ) も 10 GHz 付近にピークを持つ。

Ni-Zn 系フェライト粉も透磁率  $\mu'$  と  $\mu''$  は同様の周波数特性を示すが誘電率の  $\epsilon'$  は低く、 $\epsilon''$  はゼロである。

これらの測定に用いたサンプルは、いずれもフェライト粉 90 wt%、バインダー 10 wt% でリングコア (外径 6.9 mm, 内径 3.2 mm, 高さ 2.9 mm) を作製してネットワークアナライザ (アジレントテクノロジー社製 E8362B) で測定した。

### 2.3.2 電波吸収性能

高周波での複素透磁率と複素誘電率のデータを用いて、電波吸収性能を計算できる。解析方法は伝送線路理論に従い、複素透磁率、複素誘電率の周波数特性から、入力イン

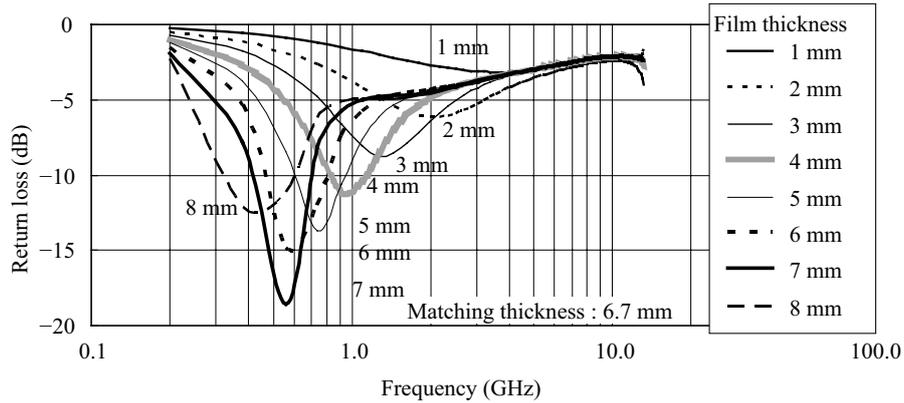


図4 フェライト粉LD-Mの反射減衰量

Fig. 4 Return loss of ferrite powder "LD-M"

ピーダンスを計算し、電波の反射減衰量 (Return loss) と周波数、吸収板厚 (Film thickness) の関係を得ることができる<sup>5)</sup>。Mn-Zn系フェライト粉LD-Mについての計算例を図4に示す。最も反射減衰量の大きい板厚 (整合厚) は6.7 mm、その時の周波数 (整合周波数) 560 MHzである。厚さを変えることで2 GHz程度まで使用可能である。

### 3. おわりに

開発粉は、電気電子製品内部の高周波電波ノイズ除去、高速道路料金所ETCの電波吸収材、さらに無線LAN環境整備を目的としたビルの内装材などにも使用されている。

また、材質磁気特性や粉体特性を顧客の要望に応じて仕

様を調整することも可能である。

#### 参考文献

- 1) 橋本康雄. 「フェライトの電磁波吸収体への応用」. 日本応用磁気学会誌. 1982.
- 2) Sugimoto, S. et al. "Barium M-Type Ferrite as a Electromagnetic Microwave Absorber in GHz Range." Materials Transactions JIM. 1998, vol. 39, no. 10, p. 1080-1083.
- 3) 花澤理宏ほか. "M型六方フェライトを用いた40GHz帯用電波吸収体". 2001電子情報通信学会ソサイエティ大会. B4-24.
- 4) Kijima, S. et al. ICF10. 2008, p. 237-240.
- 5) 橋本修. 「電波吸収体の話」. 日刊工業新聞社. 2001.

<問い合わせ先>

JFEケミカル 無機材料部

TEL : 03-5820-6537 FAX : 03-5820-6539

E-mail : inorganic-products@jfe-chem.com