

新技術・新素材 高周波域の電磁波シールド材と磁気シールド用パーマロイの研究

ニューマテリアルセンター顧問 村上 陽太郎

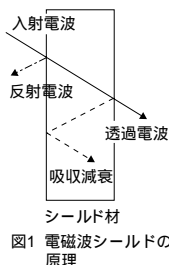
1. はじめに

高周波域での電磁波シールド材が、パソコン等の高速化に伴う1GHz以上での電磁波環境適合性、携帯電話による各種機器の誤動作、機器内基板間の混線等に対して注目されている。一方 SQUID 磁束計による微弱な磁気測定には高性能の磁気シールドが要求され、パーマロイの高性能化が研究されている。

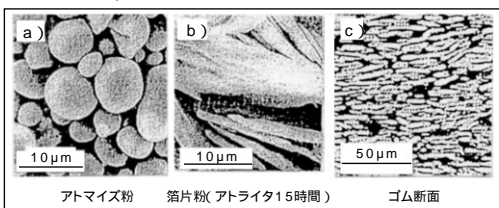
2. 高周波域の電磁気シールド材¹⁾

材料のシールド効果は図1に示すように吸収減衰を大きくする必要がある。電磁波吸収エネルギー、Pは次式のように、第1項磁気損失、第2項誘電損失及び第3項抵抗損失の合計で示される。

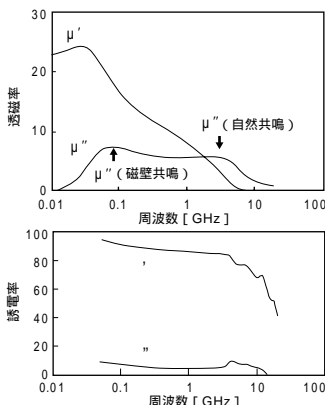
$$P = f\mu''|H|^2 + f''|E|^2 + 1/2 |E|^2 \quad (1)$$



ここで、E：電界、H：磁界、f：周波数、 μ' ：導電率で、複素透磁率 ($\mu = \mu' - j\mu''$) と複素誘電率 ($\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$) (解説を参照) が関係する。Pを大きくするには、複素透磁率の磁気損失項の虚数部 μ'' を大きくする。そのために、磁性粒子の形状を箔片化する。軟磁性フェライトは薄片化が難しいので、軟磁性金属(次節のパーマロイ等)を用いる。また、高周波対応の広帯域化が実現できる高周波域で渦電流が発生しないように、厚さは表皮効果も考慮して、skin depth 以下にし、高密度に配向させるため、



樹脂やゴム中に複合化すれば、粒間が、電気的に絶縁状態になり、数十 MHz ~ 数 GHz の準マイクロ波帯で大きな磁気損失が期待できる。次に誘導損失項 μ'' も、アスペクト比の大きい薄片を絶縁体中に層状に配向させることで大きくなり、高い誘電損失が得られる。図2に電磁波吸収ゴムシートの製造工程を示す。c) はゴムシートの断面である。図3に、このシートの μ' 、 μ'' の周波数依存性を示す。高周波域でも数値は減少せず、よい性能を示す。このシートは携帯電話周波数帯での放射ノイズの減衰特性でも、アルミ箔、銅板、シールド繊維に比較して



複素透磁率(複素誘電率)：磁性体(誘電体)に交番磁場H(電場E)をかける時、磁束密度B(電束密度D)の変化に位相的な遅れが出る場合、正弦波を複素数表示した時、BとHの比、 $\mu = B/H = \mu' - j\mu''$ (DとEの比、 $\epsilon = D/E = \epsilon' - j\epsilon''$)を言う。 μ' 、 μ'' (ϵ' 、 ϵ'')は実数である。対応する透磁率(誘電率)を複素透磁率(複素誘電率)と言う。 $\mu''/\mu' = \tan \delta$ ($\epsilon''/\epsilon' = \tan \delta$)を損失係数と呼ぶ。
渦電流：時間的に変化する磁場中に置かれた導体の内部に電磁誘導によって生じる渦状の電流。これを防ぐ為に、電気機器の鉄心等には薄い板を重ね合わせるか或いは、細いものを束ねてつくる。
表皮効果：高周波電流または、電磁場が導体の表面層に極限されて、内部に入らない現象。導体の面が平面で、電場や電流が表面の場所によらずに一定な時、透磁率 μ 、電気伝導度 σ 、角振動数 ω とすると、電場Eは $E = E_0 \exp(-z) \exp(-i\omega t)$ となり、深さzと共に、急激に減少する。電磁場の強さが表面の1/10になる厚さ、 $\delta = \sqrt{2/\mu\sigma\omega}$ をskin depthと呼ぶ。

優れており、それぞれ、8.6、14.4、7.4に対して20.6 デシベルの減衰効果を示した。

3. 磁気シールド用パーマロイ²⁾

塑性加工性の良好な軟磁性金属材料として、パーライトの高性能化が研究されている。表1に現用の各種パーマロイの磁気特性を示す。Ni-Fe系パーマロイの合金元素量と磁気特性との関係を示す指

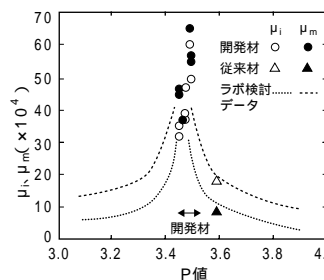
表1 各種のパーマロイの磁気特性

材料名	成分 [%]	比初透磁率 μ_i	比最大透磁率 μ_m	飽和磁束密度 B_d [T]	保磁力 H_d [A·m ⁻¹]	キュリー点 [K]	比抵抗 ρ [Ω·m]
78パーマロイ	78.5Ni, 0.3Mn	8000	100000	1.03	4	833	0.16
4-79Moパーマロイ	79Ni, 4Mo, 0.3Mn	30000	250000	0.87	12	733	0.55
Mumetal	78Ni, 2Cr, 5Cu	45000	150000	0.7	9.6	623	0.60
Supermalloy	79Ni, 5Mo, 0.3Mn	100000	800000	0.8	5.6	683	0.60

標として、Enochらによって提唱されたP値がある。Ni-Fe系合金に置換型元素を添加した場合に、磁気モーメントを有するNi原子数とFe原子数の比で、次式で示される。

$$P = \text{Magnetic Ni/Fe} = \left\{ C_{Ni} - \frac{1}{3} (5Z_i - 3)C_i \right\} / C_{Fe}$$

ここで、 C_{Ni} ：Ni at%、 C_{Fe} ：Fe at%、 C_i ：添加元素iのat%、 Z_i ：添加元素iの価電子数である。Enochらによると、P値が、3.48で透磁率が最も高くなるとしている(図4)。P値0.1に相当するNi量は僅かに0.36重量%であり、磁気特性を最大にするためには、合金元素量を極めて狭い範囲に調整する必要がある。又微量であっても磁気特性を著しく低下させる原因となる不純物元素を極限まで低減することが要求される。NKKでは、78Ni-4Mo-2Cu-Feを基本成分とし、不純物元素の低減、合金元素量の狭い範囲の制御によって、シールド



ルーム部材として使用可能な高い塑性加工性と、表1に示した従来のパーマロイに比較して優れた磁気特性を得ている。図4に完全磁気焼鈍後における透磁率とP値の関係を示す。開発された合金は、1100 °Cでの完全磁気焼鈍後において、初透磁率(μ_i): 30万~60万、最大透磁率(μ_m): 30万~65万を得ている。機械的性質(800 × 10分焼鈍)では、0.2耐力: 34.3N/mm²、引張強さ: 706N/mm²、破断伸び: 31%、Hv: 164、エリキセン値8.8mmを示している。この材料を用いて生体磁場計測用超高性能磁気シールドルーム「COSMOS」が作られ、世界最高水準の磁気シールド性能が得られている。

参考文献：下記より多くを参考にした。深謝する。
1) 斎藤章彦他：電磁波吸収ゴムシート DPR の開発、まてりあ、38 巻 (1999) 1 号、46 ~ 48 頁。
2) 山内克久他：高性能磁気シールド用パーマロイ材の開発とその応用、まてりあ、34 巻 (1995)、5 号、653 ~ 635 頁。