

磁気テープの圧残留磁気と接触複製への応用

松本光功*・小山安正**

(昭和49年5月25日受理)

1 ま え が き

磁気記録は記録媒体の磁気の残留現象を利用した技術であるが、この残留磁気を生成過程のうえから分類してみるとほぼ表1のようになる。つまり、ふつうの磁気履歴現象に基づく等温残留磁気以外は、バイアスとして高周波磁界、熱などのエネルギーを利用するもので、磁性体の種類によっては弱磁界の存在で大きな残留磁気を得ることができる。

表1 残留磁気の種類

名 称	バ イ ア ス
等温残留磁気	なし(直流磁界)
非履歴残留磁気	高周波磁界
熱残留磁気	熱
圧残留磁気	圧力
沈澱残留磁気	引力、クーロン力 化学的結合力
化学残留磁気	化学的結合力

このうち等温残留磁気と非履歴残留磁気は、磁気ヘッドによる通常の記録手段としてすでに応用されているが、最近さらに磁気テープの接触による大量複製方法として、非履歴残留磁気ならびに熱残留磁気の応用が注目され、実用の段階に近づいている。

その他に、記録済テープに Co-Ni メッキを行なうと、記録済テープから発生するもれ磁界によりメッキ膜へ信号磁化が転写されるという報告があるが¹⁾、これは沈澱残留磁気の応用例とみることができる。圧残留磁気は、戦後急速に発展した地球物理学の一分野である岩石磁気学の分野でかなり研究されているが、その対象は主としてチタン磁鉄鉱を中心とする岩石である²⁾。

* 精密工学教室助教授

** 精密工学教室技官

本報告は、圧残留磁気注目して、現在市販されている磁気テープならびに開発中の磁気テープの圧残留磁気特性を調べ、その磁化機構ならびに接触複製への応用の可能性について考察したものである。

2 実験結果

2.1 加圧減磁

圧残留磁気の大い材料を見出すには、加圧減磁を調べればよい。実用的には、微少加圧に対して影響が少なく、ある適当な加圧値の範囲で急激に減磁されることが望ましい。

本実験に用いたテープはすべて粒子配向されており、粒子形状は針状で、その磁気特性を表2に示す。図1に、トルク曲線から得られる回転ヒステリシス損失 W_r を示す。これにより、異方性磁界の分布や磁化曲線の形が推察できる。つまり CrO_2 、 $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4\text{A}$

表2 テープ試料の磁気特性

試料	Co含有量 (重量%)	塗布厚 (μ)	Hc (Öe)	Br (Gauss)	K (erg/cc) ※
$\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	10.2	5	1350	700	0.45×10^5
$\text{Co-Fe}_3\text{O}_4\text{A}$	3.6	6	1500	1200	1.57
$\text{Co-Fe}_3\text{O}_4\text{B}$	1.0	5.5	550	990	0.84
CrO_2	—	3	450	1500	2.04
$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	—	4	270	1050	0.45

※ $H \rightarrow \infty$ に外挿して求めた。塗布層単位体積当たりの異方性エネルギーを表わす。

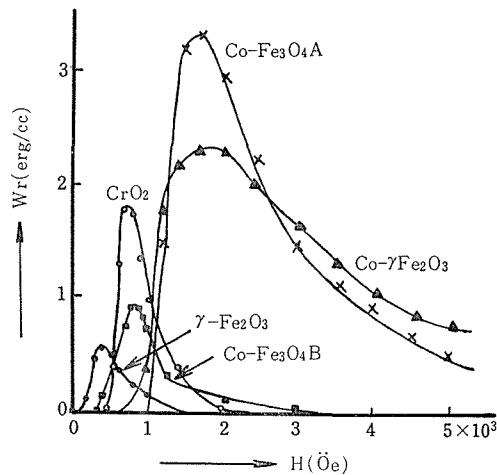


図1 テープ試料の回転ヒステリシス損失 (W_r)

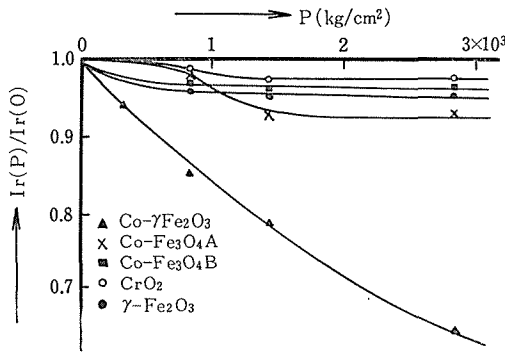


図2 加圧減磁特性

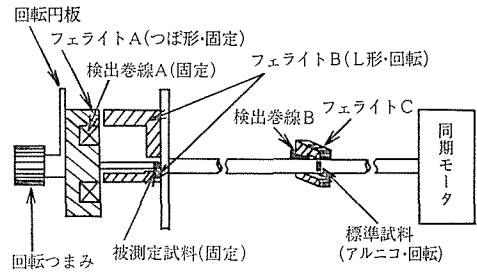


図3 残留磁気測定装置

テープは異方性磁界の分布が狭く、したがって角形性や初期磁化曲線の立上りがよく、 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープは角形性が悪いことが推測できる³⁾。

図2に、これらのテープ試料の加圧減磁特性を示す。試料は、各テープより3 mm角に切り出し、配向方向を揃えて20枚束ねたものを用いている。残留磁気の測定には、図3に示す装置を製作して用いた。これは Tjaden ら⁴⁾により使用されているのと同じ原理で、比較的小さな試料の残留磁気を測定するのに適している。磁路の一部であるフェライトBを回転させて検出巻線Aの誘起出力を巻線Bの出力と比較して求めるものである。配向方向に6000[Öe]の磁界中で飽和磁化した試料を、圧縮試験機(新興通信工業製TOM15008型万能引張圧縮試験機)により膜面に垂直方向に加圧した後の残留磁気と加圧前の値との比で示した。

実験結果から、粒子の針状性の優れている CrO_2 テープの加圧減磁がもっとも少なく、 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープが特に大きいことがわかる。Coを添加した試料では、Coの添加量は保磁力 H_c と同時に加圧減磁に大きな差異を生ずるのであるが、 H_c の大きいものでは、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 系が Fe_3O_4 系より加圧減磁が大きいようである⁵⁾。

一般に、加圧下においては熱の発生を考慮しなければならない。磁化は加熱によっても減磁されるから、図2における加圧減磁は、加圧のみによる減磁なのか、加熱に伴う減

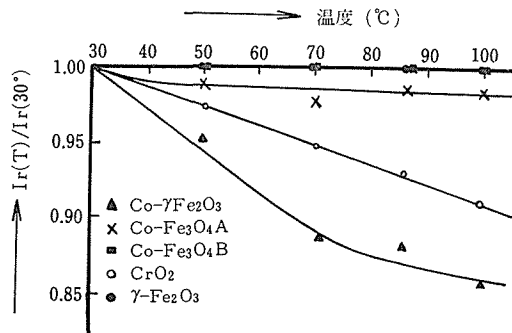


図4 加熱減磁特性

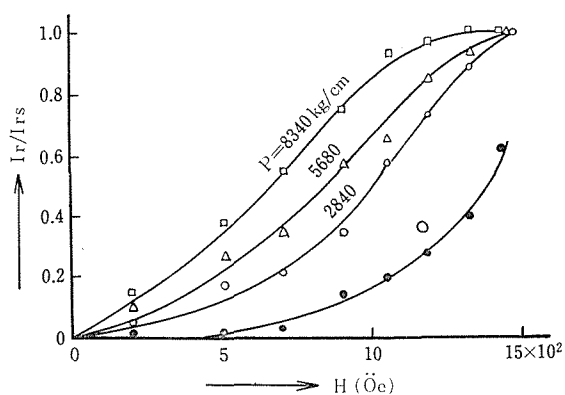


図5 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープの圧残留磁気特性

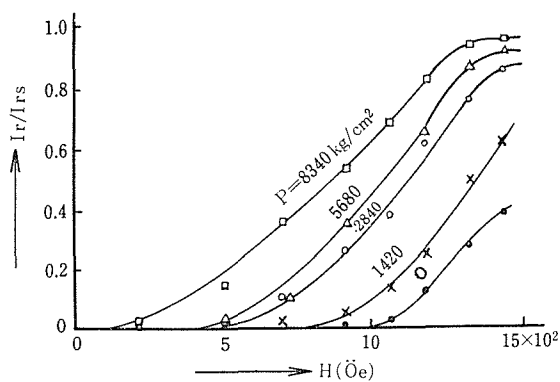


図6 $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4\text{A}$ テープの圧残留磁気特性

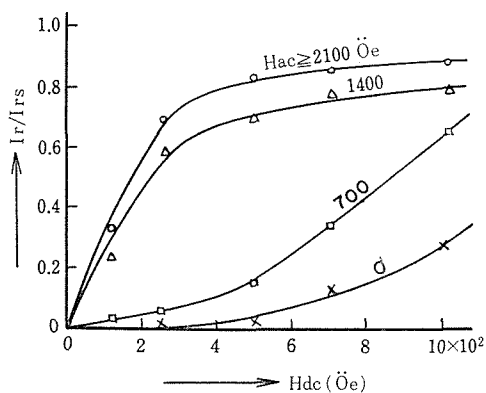


図7 (a) $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープの非履歴残留磁気特性

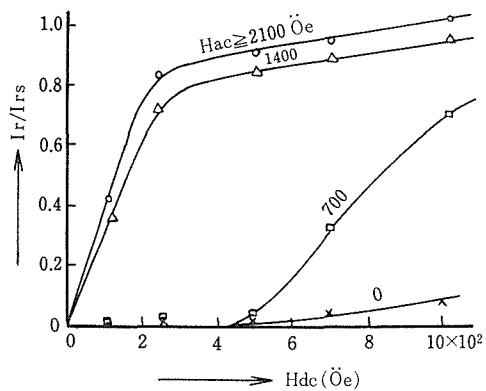


図7 (b) $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4\text{A}$ テープの非履歴残留磁気特性

磁であるか調べてみた。図2の実験では加圧減圧速度を0.5mm/minの極めて緩い速度を用いているが、0.5~50mm/minの範囲で変化させても減磁特性には有意な差は認められなかった。一方、各試料の加熱減磁特性は図4のようになるので、加熱減磁の著しいCrO₂テープについて図2と図4を比較すると、この加圧範囲では温度上昇は高々50°C程度であり、この程度の加圧範囲では加熱の効果は無視できることがわかる。

2.2 圧残留磁気

Co- γ -Fe₂O₃, Co-Fe₃O₄A 両テープの圧残留磁気特性を図5, 図6に示す。これは磁界Hを印加後、加圧、減圧し、最後にHを除く過程(これをH₁P₁P₀H₀と書くことがある)により得られる残留磁気である。圧残留磁気特性のH=0における傾きを初残留磁化率と呼ぶことにする。接触による磁気複製の場合には、初残留磁化率の大きいことが大切であり、また音声の如きアナログ信号の複製にはさらに直線的関係が要求される。比較のために図7に非履歴残留磁気特性を示した。この場合の磁化過程はPの代りに交流磁界Hacを印加して得られる。図8(a), (b)にCo- γ -Fe₂O₃テープの初圧残留磁化率、初非履歴残留磁化率を示した。

磁性粒子の弾性限界は8000kg/cm²以上であるが、テープとしての弾性限界(繰り返し加圧に対しベース、バインダが変形を生じない範囲)は約6000kg/cm²である。そこでP=5680kg/cm²の場合に着目すれば、Co- γ -Fe₂O₃テープにおいては、初圧残留磁化率は初非履歴残留磁化率の約1/6となっている。初圧残留磁化率を大きくする目的で、加圧時に100°Cに熱を加えながら圧残留磁気を求めたところ図8(a)の鎖線のように改善され、P=5680kg/cm²のときには約1/4にまで高めることができた。

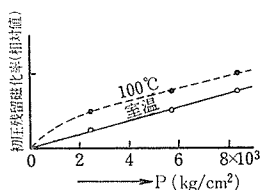


図8(a) 初圧残留磁化率

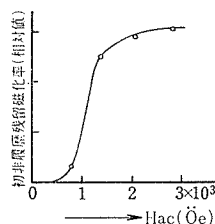


図8(b) 初非履歴残留磁化率

2.3 加圧方向の検討

現用の磁気テープを用いて圧残留磁気を磁気複製に応用するには、PとHの方向はP \perp Hとせざるを得ない。この場合に図5, 6にみられるような加圧効果を生じたのであるが、P \parallel Hの場合はどうなるであろうか、まず実験的に調べてみた。

γ -Fe₂O₃粒子を充填剤(ロックペイント057-0120)中に分散硬化させ3mm角の立体的試料を作成した。粒子の体積充填度は約30%である。無配向および配向粒子集合体の両者につき、P \parallel H, P \perp Hの場合の圧残留磁気を比較して図9(a), (b)に示した。この図で注目されるのは、粒子配向、無配向いずれの場合もP \parallel Hの場合はP \perp Hの場合よりさらに効果が大きくなる点である。

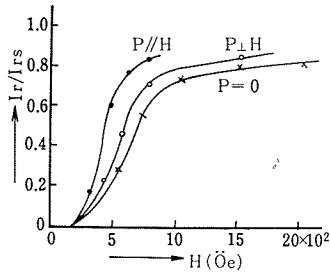


図9 (a) P//HおよびP⊥Hの場合の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 集合体 (無配向) の圧残留磁気特性 ($P = 333\text{kg/cm}^2$)

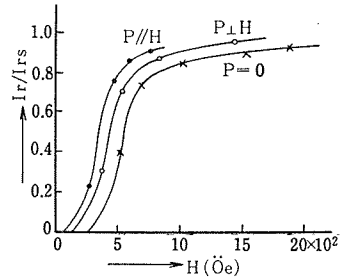


図9 (b) P//HおよびP⊥Hの場合の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 集合体 (配向) の圧残留磁気特性

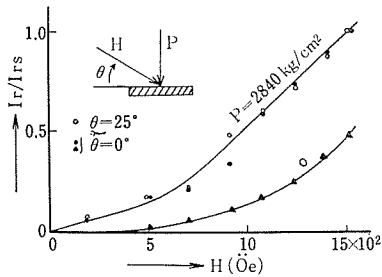


図10 P⊥Hでない場合の $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ テープの圧残留磁気特性

$\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ テープの場合は、次の実験により加圧方向の効果を調べた。図10のように、Hの方向 θ が 0° と 25° の場合に得られる残留磁気のテープ長さ方向成分を測定した。結果は、 $\theta = 25^\circ$ の場合は $\theta = 0^\circ$ より磁界の長さ方向成分が小さいにもかかわらず、両者には明確な差異がみられない。このことは、 $\theta = 25^\circ$ の場合、H方向付近に $\theta = 0^\circ$ の場合より大きな残留磁気が生ずることを示唆している。つまり、 $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ テープの場合も $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 試料と同様に、P//Hの場合にはP⊥Hより大きな加圧効果を有することがわかる。

3 磁化機構の考察

加圧減磁や圧残留磁気の原因には、まず「磁歪の逆効果」が予想されるので、これに基づいて考察しよう。テープ内の磁性粒子は一軸異方性 (異方性定数 K_u) を有するものと仮定し、図11のようにHが磁化容易軸となす角を θ 、磁化 I_s がHとなす角を φ とする。考察を簡単にするため等方磁歪とし、また磁化は coherent な回転を行なうものとする。Hの方向に圧 σ を加えるものとし、圧縮の場合 σ の符号を負にとる。この系のエネルギーEは

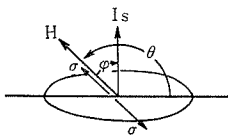


図11 H, I_s の方向表示

$$E = -\frac{3}{2}\lambda\sigma\cos^2\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) - HI_s\cos\varphi + K_u\sin^2(\theta - \varphi) \quad (1)$$

磁化 I_s はEが極小になる方向を向くから、 $\partial^2 E / \partial \varphi^2 > 0$ の条件のもとに次式を解くことにより決定される。

$$\partial E / \partial \varphi = 0 \quad (2)$$

$H / (2K_u / I_s) = h$, $(3\lambda\sigma / 2) / K_u = k$ において (2) より $\cos\varphi$ と h の関係を求めると 図12

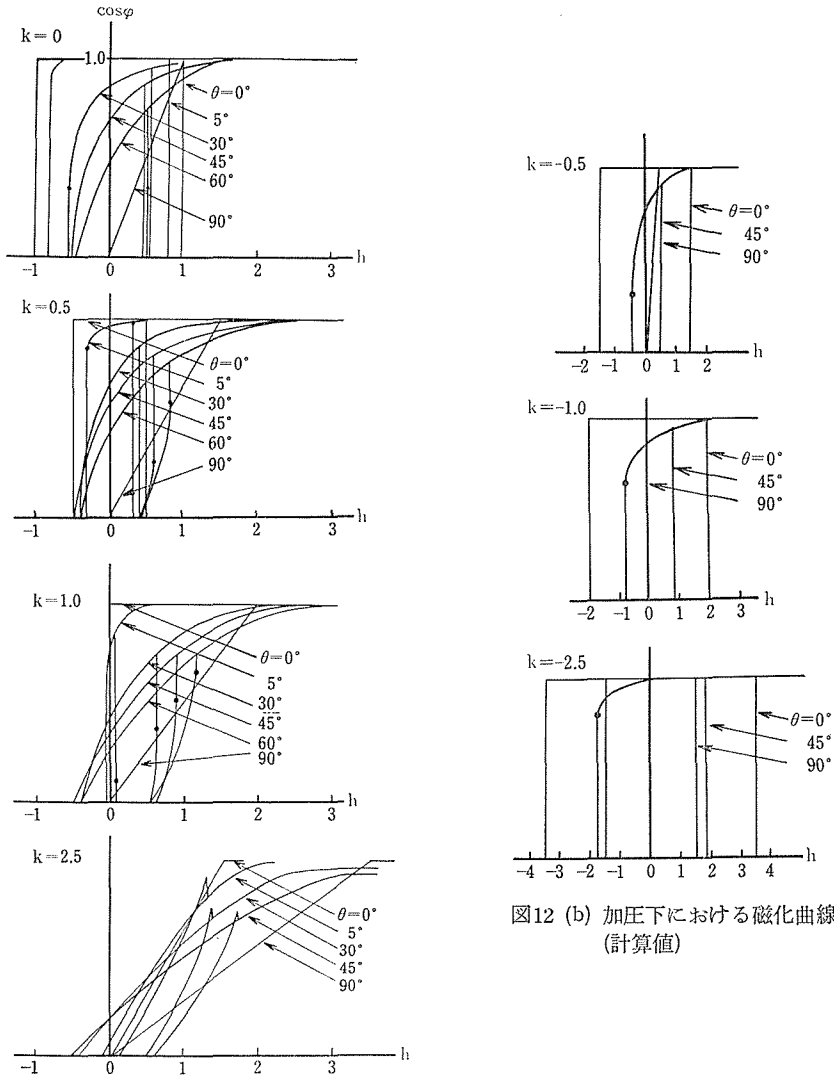


図12 (a) 加圧下における磁化曲線 (計算値)

図12 (b) 加圧下における磁化曲線 (計算値)

(a)(b) に示す磁化曲線が計算される。つまり、 $k > 0$ の場合は σ を大きくするにつれて H_c が小さくなり、さらに大きくすると磁化曲線の傾きが大きくなる。一方 $k < 0$ の場合は σ を大きくすると H_c が大きくなり、磁化反転が困難になることがわかる。実験結果と比較すると、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープは $k > 0$ つまり磁歪定数 $\lambda < 0$ であることがわかる。 $H \perp \sigma$ の場合は、図12(b)に示す $k < 0$ の結果に一致する。

以上は加圧時の特性であるが、 $H_+P_+P_0H_0$ の過程を経て得られる残留磁気は、 $\sigma = 0$ のときの (2) と比較することにより求められる。この結果を図13に示す。これによると、 $H \perp \sigma$ が大きくなる程初圧残留磁化率が大きくなることがわかる。ただし $k > 1$ の場合は

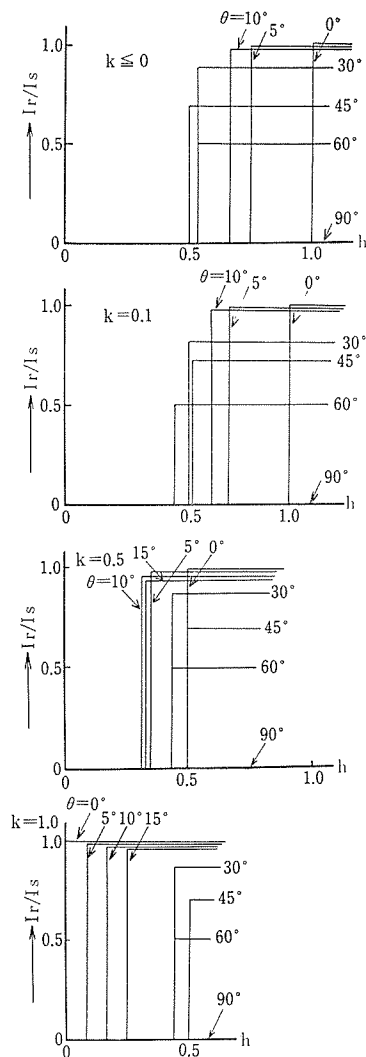


図13 圧残留磁気特性の計算値

$k = 1$ のときと殆ど変わらない。

磁歪の逆効果は一軸異方性を表わすが、図9に見られるように $H \perp \sigma$ の場合にも残留磁気の増加現象が現れる。これは、たとえば熱エネルギーのような一軸でない力を及ぼす作用を考えなければならない。ここでは、1) 空格子点への可逆的(弾性的)な原子の拡散、2) 結晶異方性の影響の2者について考察する。

1) については、未だ明確な解決はされていないが、次のように考える。加圧時には、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 粒子では Fe 原子が、 $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ および $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4$ 粒子では Co 原子が格子点から転位して不規則な方向を向くために磁化が減少し、圧を取除けば原子が元の格子点に戻り、その際印加磁界の方向に磁化が向きやすい。そして、このような効果は Co 原子が Fe 原子より顕著であり、空格子のある $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 系の方が Fe_3O_4 系より容易に行われると考えれば、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4$ の圧残留磁気の相対的な大きさの説明が可能である。

上記の実験に用いている各テープ試料の磁性粒子の形状は著しい針状を有するので、通常の磁化機構は形状異方性に支配されているとみなして差支えないのであるが、このうち $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ テープのみはさらに結晶異方性の結果とみられる2軸性の異方性が磁気トルク曲線から明確に観測された。したがって(1)式としてさらに $K\sin^2(\theta - \phi)$ の項を付して考える必要が生ずるが、定性的には磁化反転が容易になり図1の如き異方性磁界の広い分布となって現れていると考えることもできる。 H_c の小さなものでは、 $\text{Co-Fe}_3\text{O}_4$ 系が

$\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 系より加圧減磁が大きい⁵⁾理由も結晶異方性の差によるものと予想される。

表2に掲げた粉末テープ以外に注目されているものに Fe-Co-Ni 系合金粉末テープがある。これは組成比によって結晶構造が異なっており、したがって磁歪定数も符号が異なることが予想されるので、図14に示す6種類のものを取り上げてみた。比較のため $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を含めて各粉末を重量充填度15%で分散し、図9の実験と同様に3mmの無配向の立方体試料を作成し、 $P = 30\text{kg}$ (333kg/cm^2) なる加圧を用いて圧残留磁気特性を測定した。各試料は磁気特性が異なるので、図14に示す各磁界における等温残留磁気 I_{ri} と、その磁界における圧残留磁気の I_{ri} に対する変化量 ΔI_{rp} の比で示してある。同一種類の試料は各

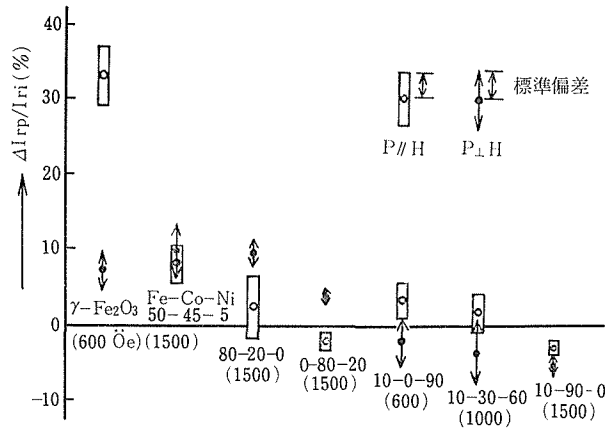


図14 Fe-Co-Ni 系合金粉末の圧残留磁気

4～5個のロットを準備し、その標準偏差も示してある。50—45—5，80—20—0は体心立方，10—0—90，10—30—60は面心立方，0—80—20，10—90—0は六方晶の結晶構造を有する。面心立方構造を有する10—0—90，10—30—60は、 $P \parallel H$ のとき圧残留磁気の増加作用は正、 $P \perp H$ のとき負となっている。バルク材料について、これらの試料の磁歪定数が負であることがわかっているので、この両者の圧残留磁気の主要原因は磁歪の逆効果によるものと推定できる。このような対応から、他の4種の合金粉末試料は $\lambda > 0$ で、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ は $\lambda < 0$ であることが裏付けられ、ひいてはこの圧残留磁気効果の原因の1つが磁歪の逆効果であることが確認された。さらに、合金粉末の加圧効果が特に小さいことは、接触複製におけるマスターテープとして合金粉末が適当であることを示している。

4 あとがき

針状 $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 粒子の初圧残留磁化率は初非履歴残留磁化率の約1/6で、熱エネルギーの重畳により約1/4に改善できることがわかった。圧残留磁気を応用すれば両テープは密着されるので、他の方法より複製時の「分離損失」が少なくなり、初残留磁化率が小さい欠点はいくらかカバーできる。

いま、圧残留磁気を用いて複製する場合の分離損失を無視し、非履歴残留磁気を利用する場合に複製テープ磁化が $\text{Ir} \exp(-2\pi d/\lambda)$ に比例するものとして、両者により得られる出力を比較すると、

$$d/\lambda = 0.05 \text{ のとき, } I_{pr}/I_{ar} = 1/1.4$$

$$d/\lambda = 0.1 \text{ のとき, } I_{pr}/I_{ar} = 1/1.9$$

$$d/\lambda = 0.2 \text{ のとき, } I_{pr}/I_{ar} = 1/3.5$$

となる。ここで、 d 、 λ は分離長および記録波長で、 I_{pr} 、 I_{ar} は圧残留磁気および非履歴残留磁気である。したがって、たとえば $\lambda \geq 2\mu$ 、 $d = 0.2\mu$ とするならば、初圧残留磁

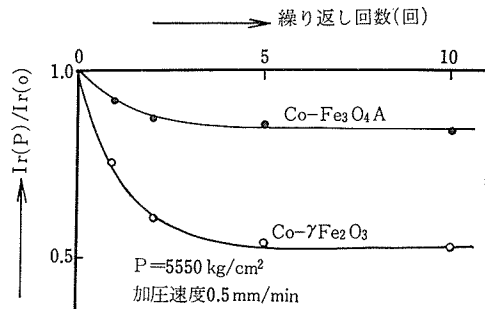


図15 繰り返し加圧による加圧減磁特性

化率が非履歴残留磁化率の1/2程度なければ同一の出力は得られない。

実際の加圧方法については、テープ製造に用いるカレンダーの如きローラによる方法と平面プレスによりテープを順次加圧する方法とが考えられる。簡便さと加える圧力の大きさからみると平面プレスが適当である。この際、テープは2回以上部分的に加圧されることになる。繰り返し加圧による加圧減磁は、図15に示すように2～3回の加圧により安定することがわかる。このことから、平面プレスによりテープを周期的に移動、停止させながら、2～3回以上加圧が行われるようにすればよい。

粒状の $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ は、本実験で用いた針状のものより加圧に敏感であることがわかっている。たとえば合金粉末テープをマスターとして組合せることにより、初圧残留磁化率を非履歴残留磁化率の大きさにまで高められ、実用可能な段階まで改善されるのではないと思われる。

最後に、日頃から御指導頂いている本学部松山潔教授、加圧実験に御協力頂いた本学部田中道彦助教授、磁気テープを提供されたTDK千曲川工場の各位、実験に協力された卒研生滝沢聖浩君に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 明石, 北本, 青沼, 川尻, 電子通信学会磁気記録研究会資料 MR771—17 (1971)
- 2) T. Nagata, Rock Magnetism, Maruzen 1961
- 3) 岩崎, 松本, 土井, 電気通信学会磁気記録研究会資料 (1965.7)
- 4) D. L. A. Tjaden and J. Leyten, Philips Tech. Rev. 25, 319 (1963/64)
- 5) 鈴木, 明石, 東北大学通研シンポジウム論文集 (磁気記録) P. 113 (1964)

Summary

Piezo-Remanent Magnetization of Magnetic Tapes and Its Application to Magnetic Contact Printing

Mitsunori MATSUMOTO and Yasumasa KOYAMA
(Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering)

Piezo-remanent magnetization of various magnetic tapes was studied for the application to magnetic contact printing.

Experimentally it was found that $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ tape is most suitable for the slave tape. It was also concluded that the origin of piezo-remanent magnetization effect of $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ tape is due to the inverse effect of magnetostriction, dispersion of Co atoms to vacant lattices and crystalline anisotropy.

The initial piezo-remanent magnetic susceptibility of acicular $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ tape used in this study was about one-sixth of the initial anhysteretic remanent magnetic susceptibility, and about one-fourth of that by the superposition of heat energy of 100°C .