

耐摩耗性パーマロイ 「タフパームYEP-HD」材の特性

Wear-resistant Permalloy “Tufperm YEP-HD”

低歪率の磁気ヘッドに適した生産性の良い耐摩耗性パーマロイの開発を目的として、材料特性とヘッド特性との相関、磁気テープによる材料の摩耗及び外力によるパーマロイの磁性劣化などの基礎実験から出発し、「タフパームYEP-HD」材を確立した。「タフパームYEP-HD」材では、ヘッドの歪率はコア材の飽和磁束密度を6,500 G以上に設定することにより、耐摩耗性はMo、Nb、及びTiを添加することにより、また外力による磁性劣化は磁歪の大きさを零を含むある範囲に設定することによりそれぞれ解決するとともに、ストリップの生産性及びホットエッチング性についても配慮してあり、現在オーディオ、及びコンピュータヘッド用として、特性の安定したストリップを量産化するに至っている。

宮崎 健* Miyazaki Takeshi
沢田良三* Sawada Yoshizô
古賀政義* Koga Masayoshi
乾 勉** Inui Tsutomu

1 緒 言

最近のオーディオ用磁気ヘッドに使用されているコア材料には、表1に示すようなものがある。このうちPCパーマロイは価格も安価で最も多量に使用されており、感度、音質共に良好であるが、摩耗が激しく、寿命が短いという欠点がある。センダスト系合金¹⁾は、良好な軟磁性と耐摩耗性とを兼ね備えているが、塑性加工が極めて困難な硬質脆性材料であるため、多量生産に不向きである。

一方、フェライト系材料は比抵抗が大きく、高周波での透磁率が高いので、高音域特性の優れたヘッドとして一部実用されているが、量産性、価格などの点からあまり多量には使われていない²⁾。

このような情勢下で、かつてパーマロイの優れた量産性と

軟磁性特性とを生かし、その最大の欠点である耐摩耗性を改良した合金として各種高硬度パーマロイが開発されてきた³⁾。しかし、従来型高硬度パーマロイは、硬さを上げる必要から多量の非磁性元素を含有させているため、飽和磁束密度が低く、かつ高保磁力テープへの適用が困難であり、またカセット用録音・再生ヘッドとしては歪率が大きくなるという問題があった。

日立金属株式会社は、従来より高硬度パーマロイYEP-HM材³⁾を市場に提供していたが、今回、飽和磁束密度その他に特徴のある耐摩耗性パーマロイとして、「タフパームYEP-HD」材を開発し量産に入った。本稿はこれに関し詳細を報告する。

表1 各種磁気ヘッドコア材とその特徴 現用ヘッドコア材の特徴を比較して示した。PCパーマロイは耐摩耗性に、フェライトは磁束密度の点に問題があり、センダストは表中には明示していないが、被加工性(したがって、生産性)に問題がある。

項 目	材 料 鋼種名	PCパーマロイ	硬質耐摩耗性パーマロイ	セ ン ダ ス ト 合 金		焼結フェライト (高密度材)	単結晶フェライト
		PC	「タフパーム YEP-HD」	「タフパーム YEP-TB」	「タフパーム YEP-TC」		
組 成		Ni: 79 Mo: 4.5 Fe: Bal	Ni 79 特殊元素 (Nb, Ti, Mo)	Al Si Fe 特殊元素	Al: 5.5 Si: 9.6 Fe: 84.5	Mn-Zn系	Mn-Zn系
実効透磁率 μ_e (1 kHz)		25,000 (0.1t)	30,000 (0.1t)	3,100 (0.3t)	9,000 (0.3t)	8,000 (100 kHz)	500 (5 MHz)
保 磁 力 H_c (Oe)		0.015	0.015	0.065	0.030	0.03	0.02
飽和磁束密度 B_{10} (G)		7,500	6,800	7,500	10,000	5,000	4,300
キュリー温度 T_c (°C)		460	350	400	500	190	170
ビッカース硬さ H_v		115	150	470	470	650	680
比 抵 抗 ρ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)		55	65	130	75	2×10^6	2×10^5
磁性の耐歪性		△	◎	◎	◎	—	—
耐 摩 耗 性		△	○	◎	◎	◎	◎
耐 食 性		◎	◎	◎	△	◎	◎
ホットエッチング性		◎	◎	—	—	—	—
ヘッドの歪率		◎	◎	◎	◎	△	△

注：◎＝極めて優秀，○＝優秀，○＝良好，△＝問題あり

* 日立金属株式会社磁性材料研究所 ** 日立金属株式会社安来工場冶金研究所

2 録音・再生に伴う音の歪

カセットテープを用いるレコーダでは、スペース上の制約から録音・再生を一つのヘッドで行なう録音・再生兼用型ヘッドを用いているものが多く、このタイプのものではヘッドの電気的特性、特に歪率がしばしば問題となる。

歪率のバイアス電流依存性は、テープ磁性層の磁化の深さに対応して、図1に示す二つの山(P_1 , P_2)と二つの谷(V_1 , V_2)をもつことが指摘されており、通常は厚さ方向に一様磁化された V_2 の位置で用いられている。しかし、各種高硬度パーマロイでは、 V_2 の近傍に第三の山 P_3 が現われて適正バイアス値範囲をせばめるか、場合によっては歪率自体を大きくすることが問題となっている。当初、この原因がどこにあるのか明確でなかったが、飽和磁束密度の異なるコア材のヘッド特性測定結果(図1)にみられるように、 B_{10} の低いものほど低バイアス側に山 P_3 が移行することなどからみて、これがヘッドコア先端部の磁氣的飽和に起因していることを突き止めた。そして、このような各種材料についての実験結果から歪率の点で厳しいドイツ工業品標準規格(3%以下)を満足するためには、 B_{10} として6,500 G以上を必要とすることを見いだし⁴⁾、今回「タフパームYEP-HD」材でこれを実現している。

3 樹脂モールドによる磁性劣化

パーマロイ、フェライトなどの磁気特性は著しく構造敏感であり、応力、変形によって磁性値は大幅に劣化する。磁気ヘッドコア材は最終焼鈍後、各種の機械加工を受けるので、当然磁性の劣化が起こっているが、これを定量的に把握することは簡単でない。そこで我々は実際のヘッド製造工程を参考にして、熱硬化性樹脂で磁性測定試料(リング)をモールドし、このときの磁性劣化からこれを推定した。表2に市販PC材の樹脂モールドによる磁性劣化の一例を示す。これからモールド後の初透磁率 μ_0 は $\frac{1}{20}$ に保磁力 H_c は5倍にもなり、本来パーマロイのもっていた高透磁率性はほとんど失なわれてしまっていることが分かる。

このような歪による磁性劣化を無くすには材料の磁歪(λ)を零にすればよいが、実用材でこれを実現することは不可能で、実際、正か負のどちらかに傾いており、モールド樹脂の圧縮応力によって生ずる磁気異方性は模式的には図2のように示される。すなわち、 $\lambda < 0$ の場合磁壁移動だけが磁化反転を支配するような磁区構造となり、逆に $\lambda > 0$ の場合にはスピンの一斉回転だけが磁化反転を支配するような磁区構造となる。磁歪の異なる材料の $\mu_e \sim f$ 特性を図3に示す。 $\lambda = +0.28 \times 10^{-6}$ と大きな正值の材料は、モールド後、低周波から高周波までほぼ一定の μ_e を示す。一方、 $\lambda = -0.28 \times 10^{-6}$ と大きな負値の材料では低周波の μ_e は比較的大きいが、周波数が高くなると急激に低下する。モールド後も比較的大きな μ_e を得る(0.1 t,

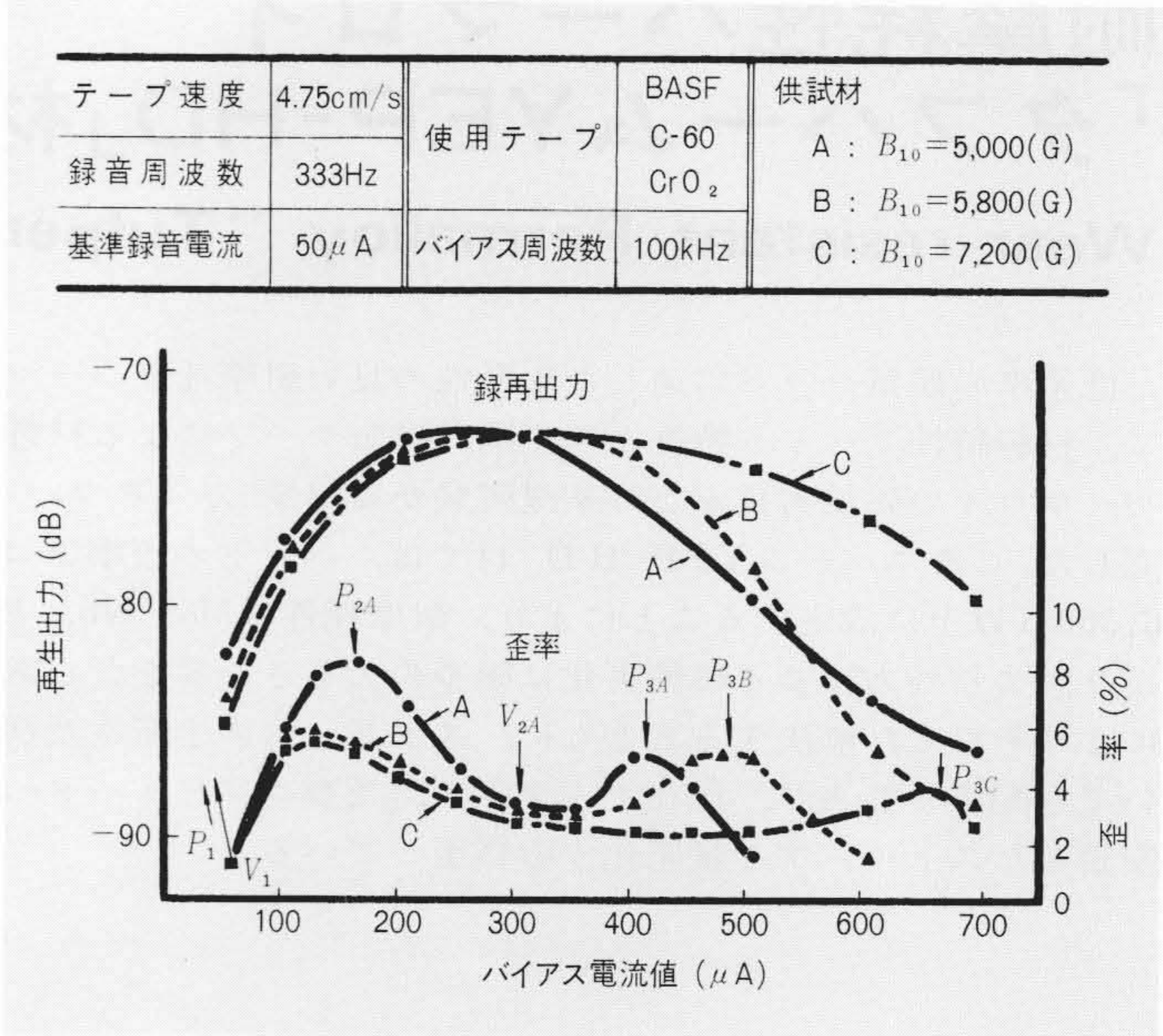


図1 磁気ヘッドのバイアス特性に及ぼす飽和磁束密度(B_{10})の影響
録音再生出力と歪率のバイアス電流依存性を示す。通常は歪率の谷 V_2 のバイアス値で使用されるが、コア材の B_{10} 値に対応して山 P_3 が存在するため、 V_2 の谷底をより低くするためには、 B_{10} として6,500 G以上必要となることが結論づけられる。なお図には歪率の第1の山 P_1 は明確には記入されていない。

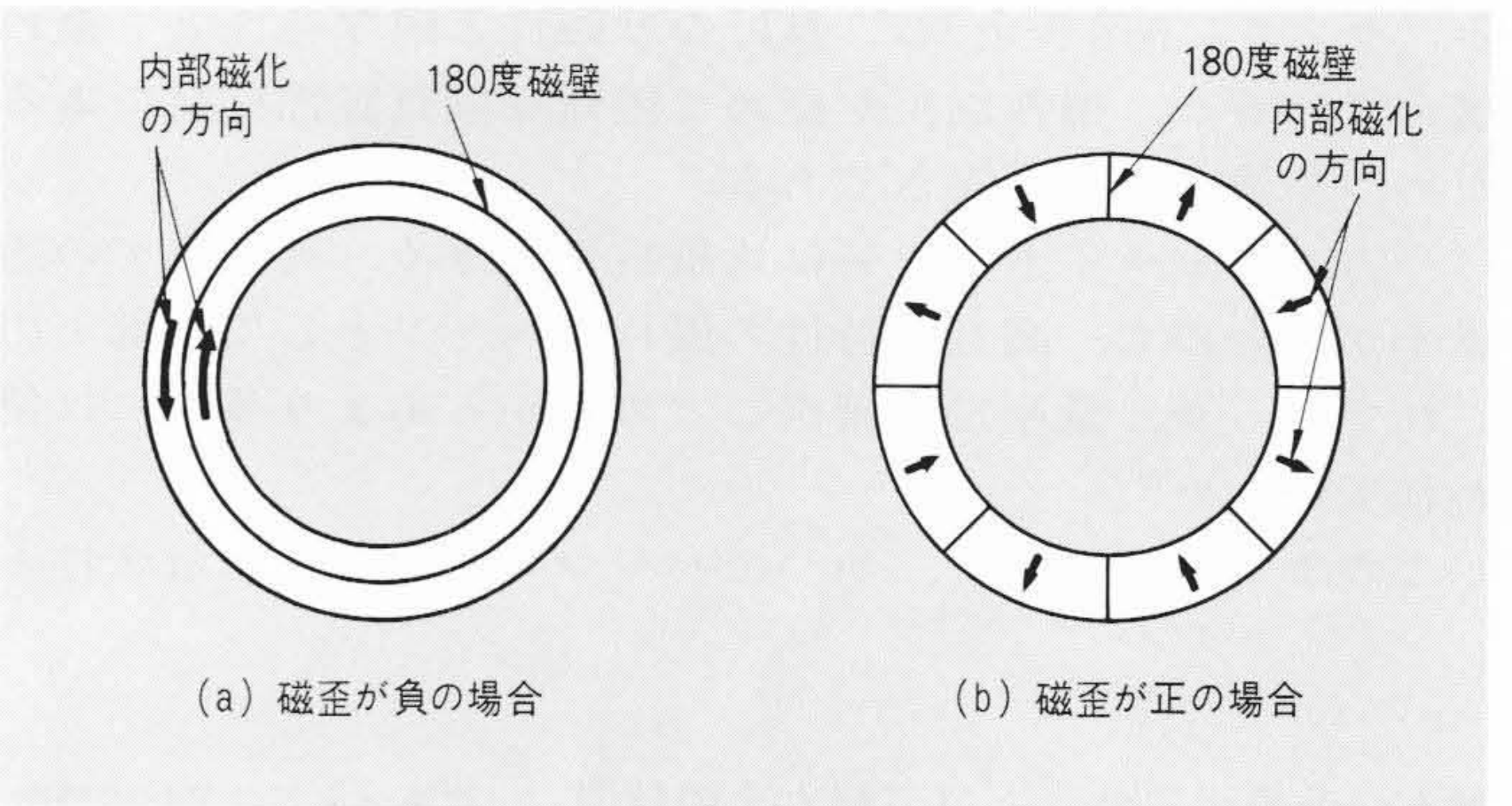


図2 樹脂モールド後の磁性試片の磁区構造 外部磁場が円周方向に沿って働くときに、磁歪が負の場合は180度磁壁だけが、正の場合にはスピンの一斉回転だけが磁化反転に寄与する。

1 kHzで $\mu_e = 6,000$ 以上)ためには、磁壁移動とスピンの一斉回転が同時に寄与できる磁歪値がよく、これらの実験結果から磁歪として $-0.13 \times 10^{-6} < \lambda < +0.03 \times 10^{-6}$ の範囲が適切であることが結論づけられる⁴⁾。なお、パーマロイの磁歪は主に合金の化学組成、特にNi量に強く依存しており「タフパームYEP-HD」の場合、他の合金成分とのバランスを考慮した上でNi量

表2 PCパーマロイの樹脂モールドによる磁性劣化 ほとんどすべての市販のパーマロイは、磁性焼鈍した後では著しく優れた磁気特性を示すが、樹脂モールドなどのわずかの外力により、その高透磁率性は失われてしまう。実際のヘッドでは、モールド後の磁性程度しか生きていないものと考えられる。

	μ_0	μ_m	H_c (Oe)	B_r (G)	$B_{0.1}$ (G)	μ_e (1kHz)	μ_e (100kHz)	B-H 曲線
モールド前	60,000	200,000	0.02	4,000	6,000	28,000	1,000	
モールド後	3,000	15,000	0.10	500	1,500	1,000	500	

注：1. 板厚=0.1mm材
2. モールド前は磁性焼鈍後の初期特性を表わす。

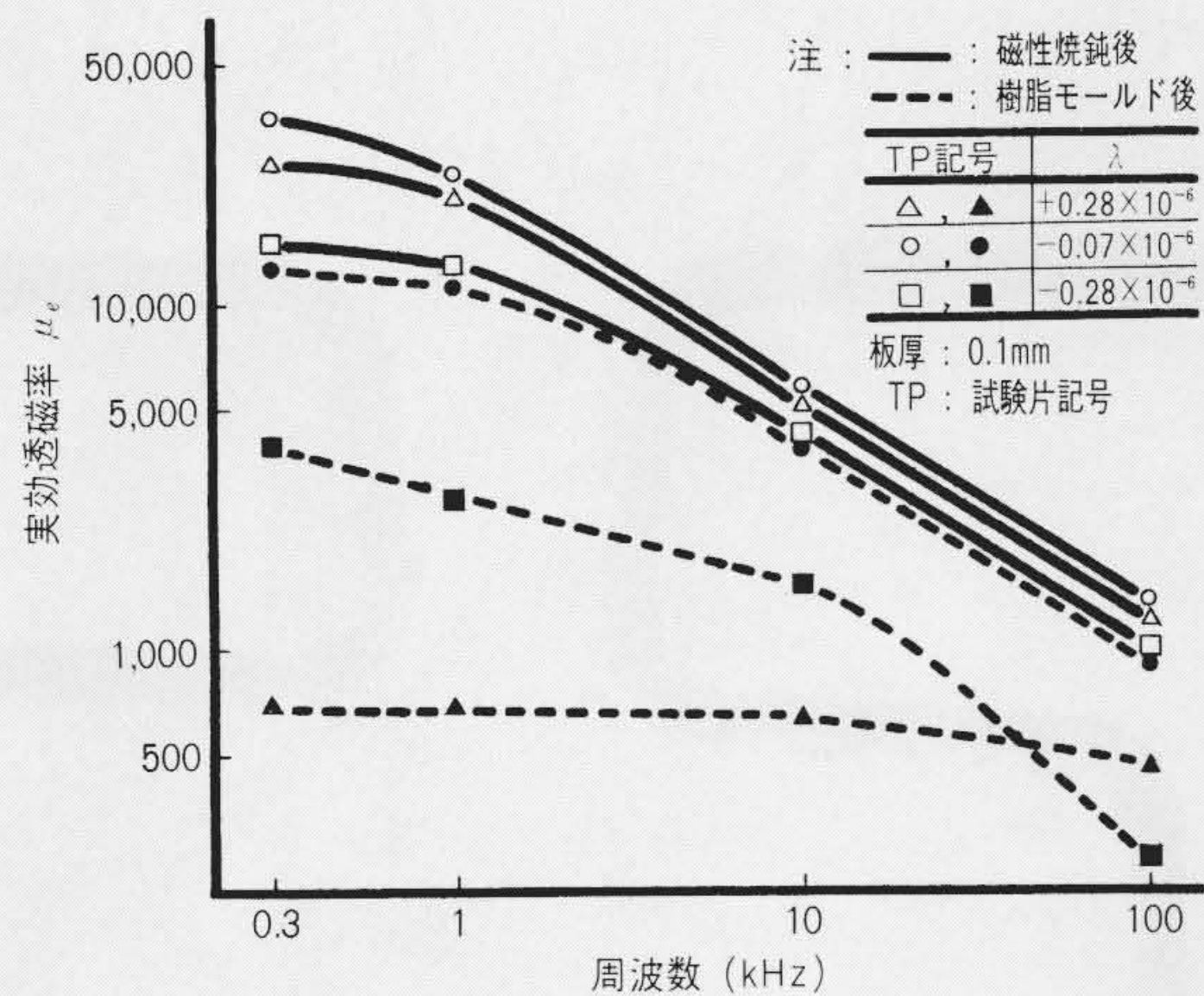


図3 樹脂モールド前後の $\mu_e \sim f$ 特性 磁歪を正、負及びほぼ零の3水準に変えた試験片について樹脂モールドの前後で $\mu_e \sim f$ 特性がどのように変化するかを示した。■と▲は好ましくない。●のものがヘッド用として最適である。これらをもとにして、最適磁歪値の範囲が結論づけられる。

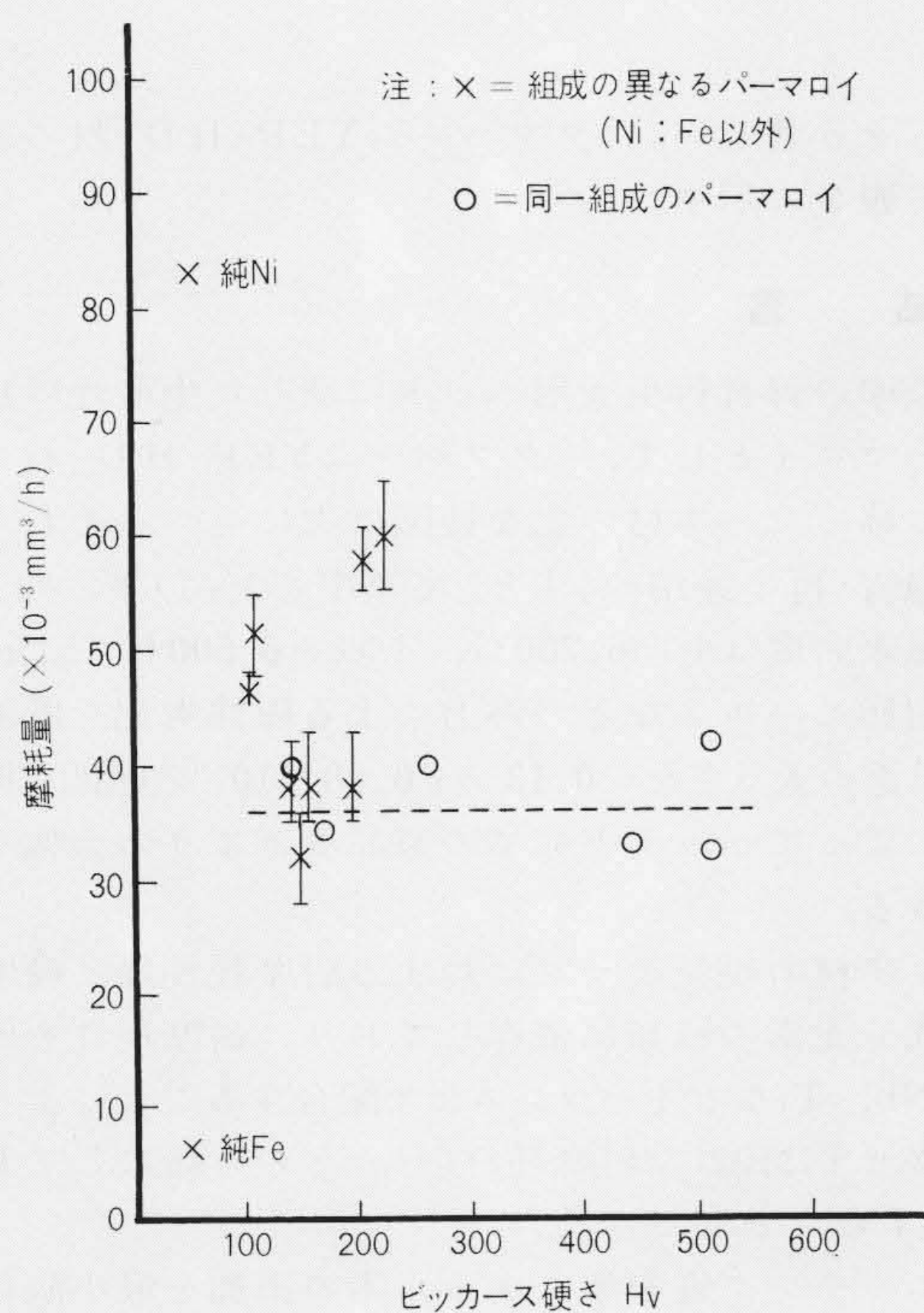


図4 各種合金の硬さと摩耗量の関係 純Fe, 純Ni以外の×印は、組成の異なるパーマロイ合金を表わし、○印は同一組成で熱処理と加工により硬度を変えたものを示す。すなわち、硬さは摩耗に対して第一義的效果を持っていないこと、摩耗は主として化学組成に依存していることが結論づけられる。

のばらつき許容範囲はおよそ±0.3%となるが、我々はこのような微量成分コントロールを大型真空溶解で実現し、製品にそれを反映させることに成功している。

4 磁気テープに対する耐摩耗性

磁気テープ摺動によるコアの摩耗は、ヘッド寿命と直接関係する。従来この種の「ざらつき摩耗」では、「摩耗量は被摩耗

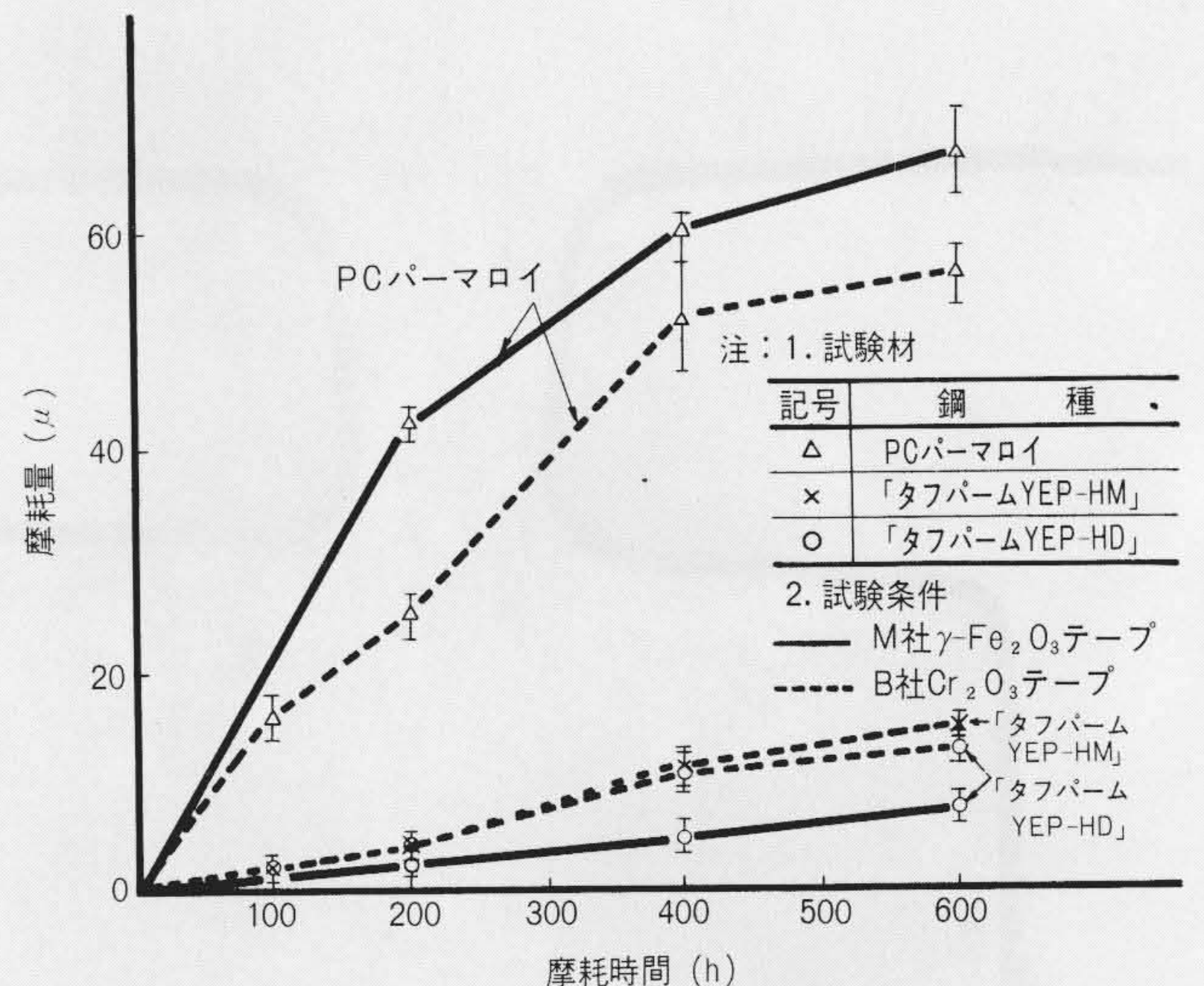


図5 市販カセットデッキによる実装摩耗試験結果 $\text{Cr}_2\text{O}_3, \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のどちらのテープに対してもPCパーマロイに比べて「タフパームYEP-HM, YEP-HD」の摩耗は少なく、「タフパームYEP-HMとYEP-HD」の差はほとんどないことが長時間実装試験によって実証されている。

材の硬さに反比例する」というHolmの関係が成立する⁵⁾ものと考えられていた。しかし、磁気テープによる摩耗について実験を行なってみると、摩耗量と硬さの間には直接的な関係は見いだされない⁴⁾。例えば、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ テープを47cm/sのスピードで走らせたときの摩耗量でみると、硬さがHv100以下の純鉄とHv450程度のセンダストの摩耗量はいずれも $7 \sim 8 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{h}$ 程度となり有意差は見いだせない。更に、同一組成のパーマロイ合金について、軟化焼鈍温度を変えて硬さをHv150からHv500まで大きく変化させ試験を行なってみても、図4の○印にみられるように摩耗量は硬さによってほとんど増減していない。現在までのところ、テープによるコアの摩耗は上記のように硬さだけでは理解できず、この種の摩耗に寄与する因子とそのメカニズムはほとんど解明されていないといえる。ただし、我々のところでは実験的に合金された添加元素の種類が摩耗量に大きな影響をもつことを見だし⁴⁾、耐摩耗性を向上させるMo, Nb, Tiなどを適量配合することにより、生産性を阻害せずに優れた耐摩耗性パーマロイを開発することに成功した。また耐摩耗性を劣化させる代表的な元素としてはCuなどがあるが、これの混入を皆無にすることも当然のことながら配慮してある。なお、図4には各種パーマロイ合金の摩耗データを示すが、硬さに関係なく、摩耗量の少ないものには、Mo, Nb, Tiなどが配合してある。なお、このようにして得られた「タフパームYEP-HD」材の硬さは、Hv150程度と特別高くはないが、Hv230のYEP-HM材と同等の耐摩耗性をもっており、図5に示すカセットデッキによる実装摩耗試験の結果からも実証されている。

5 ホトエッチング性

オーディオ用磁気ヘッドの製造工程は、コア打抜→磁性焼鈍→ラミネート(積層)→研磨→組立て、と大きく分けられる。焼鈍後のコアは軟らかく、機械で整列させてラミネート接着させることは変形の点から難しく、ヘッド組立て工程の自動化に当たり最大のネックとなっている。一方、ホトエッチン

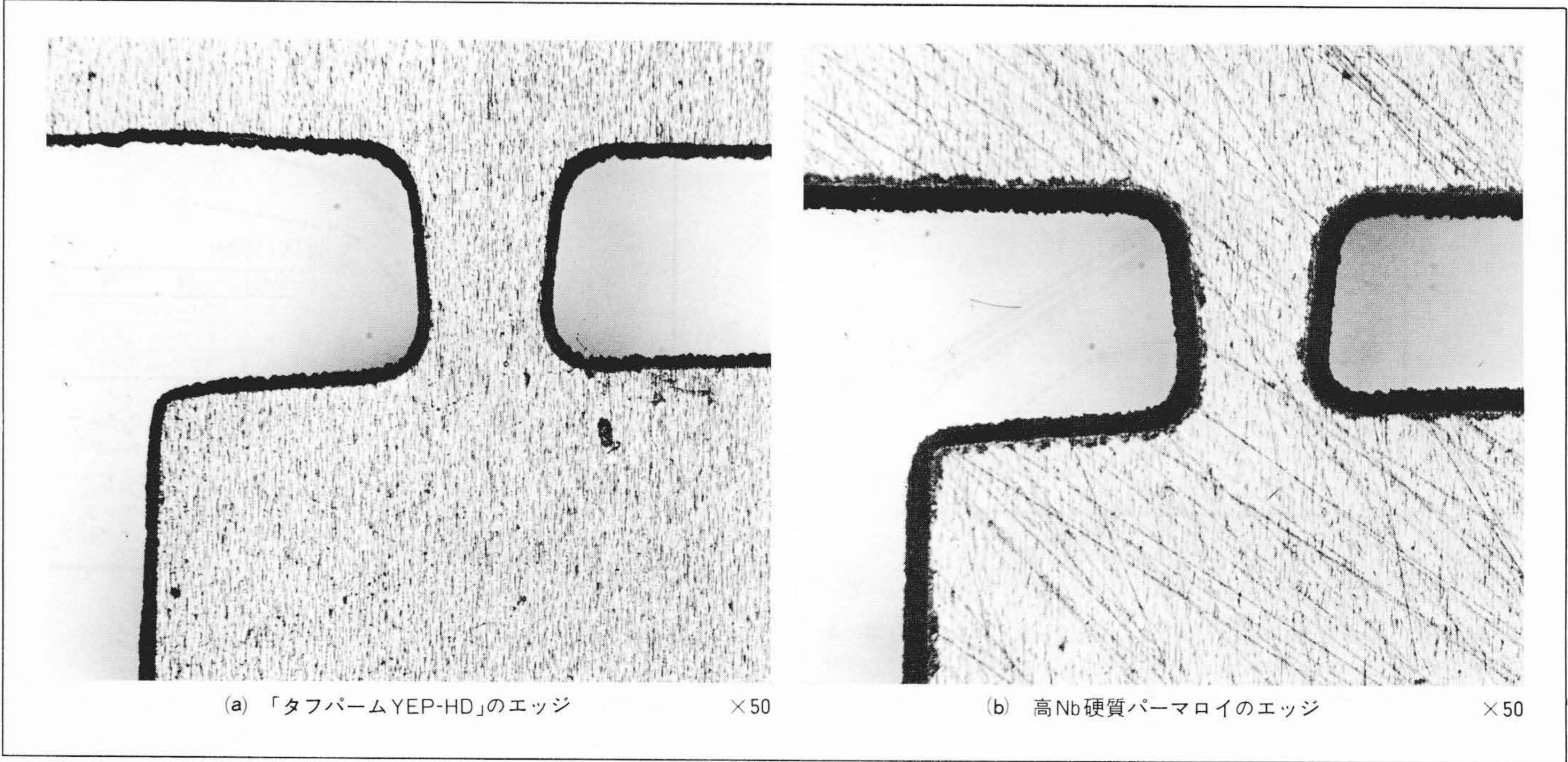


図6 ホトエッチングフレットの拡大写真 フレットエッジの黒い部分がエッジ部のダレを示し、「タフパームYEP-HD」は他の硬質パーマロイに比べて、ホトエッチング性の良いことを示している。

グ技術を利用して、1枚のシートに多数のコアを形成し、それをラミネートする方式も開発されている。この場合には、従来の機械打抜方式に比べて工程自動化に関する困難さはより少ない。なおこの方式での技術的問題は、エッチング仕上品の寸法精度である。通常腐食が困難とされるNb、Taなどを多量に含有する合金では、エッチング時間が長くなるばかりでなく、端面のダレが大きくなり、製品歩どまりも大幅に低下してしまう。「タフパームYEP-HD」では、腐食困難成分の添加を必要最小限度に抑えてあるので、図6に示すように端面のダレ量は、高Nb系パーマロイの半分程度、すなわちPCパーマロイと同程度にすることに成功している。なお、日立金属株式会社の設備では、8inの広幅物の供給も可能であり、エッチング方式を用いた場合そのコスト低減への効果

はいっそう著しい。「タフパームYEP-HD」材の諸特性をまとめて表3に示す。

6 結 言

- 低歪率の録音再生兼用ヘッドに適した生産性の良い耐摩耗性パーマロイとして、「タフパームYEP-HD」材を開発し、量産に移った。本材の主な特徴は次に述べるとおりである。
- (1) 録音・再生兼用ヘッドとして歪率を3%以下に抑える目的で、飽和磁束密度は平均6,700G、下限を6,500Gに設定してある。
 - (2) 樹脂モールドなどの外力による磁性劣化を低減させるため、磁歪の大きさを $-0.13 \sim +0.03 \times 10^{-6}$ の範囲に抑えており、これによってヘッドとしての製品歩どまりの大幅な向上が期待できる。
 - (3) コア材の磁気テープに対する耐摩耗性は、硬度よりもむしろ成分元素の種類に依存しており、耐摩耗性を向上させるMo、Nb、Tiなどをバランスよく配合することにより、生産性を阻害せずに優れた耐摩耗材(ヘッドの寿命にしてPC材の数倍)にすることができた。
 - (4) エッチング性を悪くする元素の添加を最小限に抑えているので、PCパーマロイ並みのホトエッチング性をもっている。

参考文献

- 1) 増本, 山本: 新合金センダストおよびFe-Si-Al系合金の磁気的並びに電気的性能について, 金属学会誌, 1, 127(1937)
- 2) 石井, ほか2名: Mn-Znフェライト単結晶ヘッドの摺動ノイズについて, 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR71-34(1972)
- 3) T.Miyazaki, et al. New Magnetic Alloys for Magnetic Recording Heads, IEEE Trans. Mag. Vol. Mag-8, 501(1972) Mo-Nb-Ti系耐摩耗性パーマロイについて報告している。
- 4) 宮崎, 沢田: 低歪率ヘッド用耐摩耗性パーマロイ, 金属学会, 1977春期講演にて発表
- 5) R.Holm: Electric Contact Handbook, 3rd. ed., 242(1958)

表3 「タフパームYEP-HD」の磁氣的・物理的性質 他の耐摩耗性パーマロイに比べて磁束密度が高く、ヘッドとしての歪率を低くすることができる。また、樹脂モールドによる磁性劣化は著しく少ない。

(a) 直流磁気特性

	μ_0	μ_m	$H_c(Oe)$	$B_{10}(G)$
初期特性	$\geq 40,000$	$\geq 100,000$	≤ 0.025	$\geq 6,500$
樹脂モールド後	14,000	20,000	≤ 0.06	$\geq 6,500$

(b) 交流磁気特性

	$\mu_e(1kHz)$	$\mu_e(3kHz)$	$\mu_e(10kHz)$	$\mu_e(100kHz)$
初期特性	$\geq 20,000$	$\geq 10,000$	$\geq 4,000$	≥ 800
樹脂モールド後	$\geq 6,000$	—	—	≥ 500

注: 板厚=0.1mm

(c) 物理的性質

比重	熱膨張係数($1/^\circ C$)	比抵抗($\mu\Omega \cdot cm$)	キュリー点($^\circ C$)	硬 さ
8.73	12×10^{-6}	65	350	Hv ≥ 150