金属磁性粉塗布型テープとその周辺技術

NHK 総合技術研究所 横 山 克 哉

金属磁性粉塗布型テープは、20 年以上前から高密度記録に適しているとの観点から研究されてきたが、種々の問題からなかなか実用化されなかった。昨秋にようやくオーディオ用コンパクトカセットテープとして実用のはこびとなった。本稿においては、オーディオ用にかぎらず金属磁性粉塗布型テープの技術的な位置づけを、磁気記録の原理からの考察、その性能、製法、実用化に当たっての問題点、などから行うとともに、本テープに関連して、磁気ヘッド用の高 B_r なコア材であるセンダストの研究も盛んになっているので、その動向についても解説した。

1. ま え が き

昨秋に、米国 3M 社が金属磁性粉塗布型テープをオーディオ用コンパクトカセットテープとして商品化を行い、同年 10 月のオーディオフェアには、このテープ対応のカセットデッキが登場し話題を呼んだ。これを契機に国内オーディオ機器メーカーは次々と新テープ対応デッキを商品化し、また、テープメーカーは本年 5 月頃より金属磁性粉塗布型のコンパクトカセットテープの発売を行っており、“メタルテープ”、“メタルテープ対応デッキ”の名で新聞広告などを賑わしている。

この“メタルテープ”の名称は日本電子機械工業会(EIAJ)と磁気テープ工業会とが共同でワーキンググループを作り、このテープの標準化について昨年 7 月以来検討を進める中で、従来、合金テープ、合金磁性粉テープ、金属テープ、メタルパウダーテープなど多くの名称が通用していたので、名称の乱立からくるイメージの混乱を避けるために統一したものである。

また、金属磁性粉塗布型テープに関連して、従来、放送用ビデオヘッドのコア材にしか使用されていなかったセンダスト材が見直されようとしており、その研究も盛んになっている。

本稿では、オーディオ用コンパクトカセットテープに限定せず、金属磁性粉塗布型テープと磁気ヘッド用センダスト材について、その技術的な背景と展望について解説する。

2. 磁気テープの性能と磁気特性の関係からみた金属磁性粉塗布型テープ

磁気記録は“信号に対応した長さや強さの磁石をテープ上に並べる技術”と考えることができる。よって、テープ用磁性材料は強力な磁石を作ると同様な考え方で開発をすればよいことになる。正弦波信号の 1 周期は、図 1 に示すように同極を突き合せた 2 個の磁石に対応する。低周波信号に対応する記録は細長い磁石となり、高周波信号に対応する記録は短太の磁石となる。

これをテープの磁気特性、 $B-H$ カーブ上で考えると、磁石内部に発生する反磁界の影響で図 2 に示したような動作ライン上で記録(磁化)されることになる。

この反磁界の影響を磁気記録理論では“自己減磁損失”と称している。以上からわかるように、残留磁束密度 B_r を大きくすると低周波信号の出力が大きくなり、抗磁力 H_c を大きくすると高周波信号の出力が大きくなる。しかし、 H_c を大きくするとテープ磁性層の内部まで十分に磁化しにくくなるので低周波信号の出力は小さくなる。磁性層の厚さの関係も同様の考えで周波数特性に関係する。

このような関係は古くから検討されており、デジタル記録に関しては、Speliotis¹⁾、法橋²⁾、西川³⁾らにより、

$$[\text{弧立波再生パルスの波高値}] \propto \sqrt{B_r H_c \delta}$$

$$[\text{弧立波再生パルス幅}] \propto \sqrt{B_r \delta / H_c}$$

の関係や、高密度記録時の出力が弧立波波高値の 50% に低下するときの波長 λ_{50} が $\sqrt{B_r \delta / H_c}$ にほぼ比例するとの関係などが発表されている。

また、VTR などに使用される無バイアスアナログ記

“Magnetic Metal Powder Coated Tape and Techniques Attached to It” by Katsuya Yokoyama (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

図 1 磁気記録過程と記録波長

録に関しても、明石らはテープの磁気特性をパラメータとした多くの記録再生結果の回帰分析により実験式を求めている⁴⁾。村松も理論式の係数を実験データで求める手法により、短波長領域で再生出力を精度良く求める下記のような実験式を与えている⁵⁾。

$$E = \frac{8}{\pi} \eta v B_r L_D L_{sp} L_{sr} L_{gp}$$

$$\begin{cases} L_D = \tanh\left(\frac{2.3}{B_r/H_c}\right) \\ L_{sp} = \exp\left[-\left\{2\pi + 0.85 \log\left(1 + \frac{B_r}{H_c}\right)\right\} \frac{S_p}{\lambda}\right] \\ L_{sr} = \exp\left[-\left\{0.576 + 4.03 \tanh\left(0.458 \frac{B_r}{H_c}\right)\right\} \frac{S_r}{\lambda}\right] \end{cases}$$

ただし

E : 単位トラック幅、ヘッドコイル 1 巻当りの再生出力電圧 (ヘッド開放電圧)

η : 再生ヘッド磁束伝達効率

v : テープ・ヘッド相対速度

S_p : 再生時テープ・ヘッド間隔

S_r : 記録時テープ・ヘッド間隔

L_D : 理想磁化状態減磁損失

L_{sp} : 再生時の間隔損失

L_{sr} : 記録時の間隔損失

L_{gp} : 再生ヘッドギャップ損失

このままではわかり難いので、 H_c 、 B_r をそれぞれ横軸、縦軸とする座標上に等出力線として表わすと図 3 のようになる。この結果は B_r/H_c が 1~3 の範囲で H_c と B_r とをバランス良く増加させることが出力増加に効

図 2 オーディオテープの周波数特性と磁気特性との関係

いてその概略を以下に示す。

コンパクトカセットシステムは 1962 年にフィリップス社により開発され、1964 年頃から実用化された。当初のテープは γ -Fe₂O₃ 塗布型テープで、その性能は帯域 10kHz 以下、SN 比 50dB 以下、ひずみ 3%以上、ととうてい音楽用として使用できるものではなかったが、図 5 に示したような過程を経て現在の性能となっている。

図 5 は横軸に年代、縦軸にテープの磁気特性の代表として抗磁力 H_c を示してある。図 5 の中の棒は、あるタイプのテープの出現の時期とこのテープの H_c の範囲を示しており、さらにこの棒の下に B_r の範囲を数値で示してある。

コンパクトカセットテープ改善の歴史は、オープンリール 19cm/sec、4トラックのテープレコーダーの性能に近づけるための努力の歴史とも考えることができる。19cm/s 4トラックに対しカセットは相対速度で約 1/4、トラック幅で約 1/2 と、1桁近い面積密度になっているため、その性能向上は非常に厳しい条件にある。

磁気テープの性能向上は、第一に前節に述べた磁気特性の改善による高出力化にあるが、いまひとつ、低ノイズ化の考慮も必要である。このためには、磁性粉を微粒子化し、これを高分散・均一塗布することが重要である。

この観点から、まず γ -Fe₂O₃ の微粒子化が行われた。初期の磁性粉は長さ 0.8~1 μ m 程度、軸比 1: 6 程度であったものが、長さ 0.5~0.6 μ m 程度、軸比 1: 8 程度と改善され、塗布技術もカレンダー加工が採用されるなどテープ表面の平滑化も行われ、1968 年には、音楽用として可能性のあるテープ（帯域 12.5kHz 程度）が TDK 社から発表されている（これが、LH 級——ローノイズハイアウトプット級——のはしりである）。

一方、高抗磁力化の検討も進んでおり、1970 年にはデュポン社から CrO₂ 塗布型テープが発売された。このテープは、高 H_c 化により従来のテープにくらべて 10dB 近くも高域特性が改善されたため、従来のイコライザーの特性では、この性能を十分に発揮できないことから、新しいイコライジング特性が設けられるようになった。このため、当時開発されたドルビーノイズリダクションを入れると、ノイズも 13~14dB 程度下り、SN 比も向上したが、磁気特性から中・低域の感度低下をきたし、これがこのテープの欠点であった。いまひとつ CrO₂ はヘッド摩耗が多いという問題もあった。

この改良品として酸化鉄に Co をドーブしたり表面に被着させたりしたものが開発された。今日のクロム型と称されているものである。これに対して、 γ -Fe₂O₃ 塗布型をノーマル型と分類している。

一方、CrO₂ の高域特性の良い点と γ -Fe₂O₃ の低域特性の良い点とを兼ね備えさせようとの考えに基づき、1973 年に表面約 2 μ m に CrO₂、その下に低 H_c の γ -Fe₂O₃ を 4 μ m 程度塗布した 2 層構造のものがソニー社から発表された。このテープはバイアス、イコライザーともに特別の値をとる必要から、ひとつのタイプを形成し、フェリクロム型と称されている。

一方、 γ -Fe₂O₃ も非常に改良が進んでおり、従来の粉が多孔質であった欠点を改良するなど高純度化をはかったことにより、予想以上に H_c や B_r を上げることができるようになった。このテープのはしりは 1974 年に富士写真フィルム社によって発表されたもので、バイアス、イコライザーは従来の γ -Fe₂O₃ 塗布型テープと同じで、磁気特性の改善分だけ高性能化されてる。

以上の経過からわかるように、酸化物磁性粉の改良も行き着くところまできた感じがあったうえ、性能上でも

表 1 カセットテープの分類、特徴（村松）

バイアス	イコライザー	種別	磁性体	最大出力 315 Hz	飽和出力 10 kHz	SN比	特 徴
ノーマル	120 μs	LN	γ-酸化鉄	3〜5	−15〜−10	49〜52	最大出力が最低。従来のものは周波数特性も悪いものが多かったが、最近のものは LH 型に近くなった。
		LH		5〜7	−10〜−7	50〜52	
		LHS	一部 2 層塗りあり	7〜8	−10〜−5	50〜51	高出力。感度も高いものありドルビー使用時注意。アンチドルビー派向き。2 ヘッド機で使用時、メタルよりも最大出力の高いものあり。
フェリクロム	70 μs	2 層塗	CrO ₂ + 酸化鉄	5〜7	−7〜−5	53〜55	バイアス電流を多くせずに高出力と周波数特性の良さを両立。フェライトヘッドの 2 ヘッド機で高性能を求めるとき最適。
ハイ		クロム	CrO ₂	4〜6	−7〜−5	53〜55	周波数特性は良いが最大出力が低く、ひずみの多いのが欠点、現在国産品なし、西独製のみ。
		コバルト添加	コバルト酸化鉄	5〜7	−10〜−5	52〜55	70 μs の高 SN 比と高出力を両立させた。2 ヘッドの場合、センダストヘッドが望ましい。
メタル		メタル	Fe Fe-Co	8〜10	−2〜2	53〜55	最大出力の増加は 3 dB 位であるが、高域の直線性が大幅に改善。生録に適している。現状では 3 ヘッド機で真価発揮。

数値の単位はすべて dB₀。基準レベルはすべて 160 nWb/m、最大出力：第 3 高調波ひずみ 3%。

高域のダイナミックレンジが大幅に不足しているといったところに、金属磁性粉塗布型テープ登場の背景があったといえる。

メタルテープの性能の詳細は本誌技術資料欄に掲載されているので、そちらを見ていただくこととし、ここには、NHK 技研の村松が現行のコンパクトカセットテープについて、その特徴を整理分類した表があるので参考までに表 1 に示した⁷⁾。

2. 金属磁性粉の製法

金属磁性粉の製法としては、これまでに多くの方法が検討され発表されているが、以下の 3 手法が実用性のある製法として残っている。

4.1 液相還元法^{8)~11)}

Fe, Co などの強磁性金属塩を水溶性の還元剤で還元して直接金属の微粒をつくる方法である。還元剤として硼素の水素化物(ナトリウム・ボロハイドライド)を用いるものと、リンの化合物(次亜リン酸)を使う方法が代表的である。いずれの方法においても、濃度、温度、攪拌条件を調節することにより粒度が変えられ、金属イオンの組成により磁気特性や酸化安定性を調節している。Fe, Co などの金属の結晶は立方対称を持ち粒状のパウダーとなってしまう。磁気テープに必要な形状異方性はこの金属粒の析出反応を 1,000 Oe 程度の磁場中で行うことにより写真 1 に示すような数珠状の粒子をつくることにより得ている。

4.2 気相法^{12)~14)}

Fe, Co, Ni などの金属を $19^{-1} \sim 3$ mmHg 程度の不活性ガス(アルゴン、ヘリウム)中で蒸発させ、気相中で凝縮させて、微粒子を作る方法である。

粒度、粒子のつながり方、合金組成と磁性など液相法と非常によく似ている。金属を加熱する方法として、アルゴンガスのプラズマを金属面にふきつけるのが工業的に使われているようである。

4.3 酸化物還元法^{15)~20)}

写真 1 液相還元法・磁場中処理により作った金属磁性粉の例

最も古くから試みられている方法であり、大別して 2 つの方法がある。第一の方法は Fe, Co, Ni などの蓚酸塩よりスタートするものである。この方法の特徴は金属の組成が自由に選べる、粒子形状が棒状となることである。初期に東北大学で試みられたのはこの方法によるものである。しかし最近では、 γ -Fe₂O₃ と同じようにゲーサイトから出発する方法が一般的となってきた。

Fe を主成分とし、これに少量の Co, Ni, Cr, Zn など配合したものが使われている。

金属鉄の微粒は非常に活性で反応し易いため、還元後直接空気にふれぬよう溶剤に浸してとり出した後、少量の空気を送って表面にうすい酸化被覆を作り、安定化をするような技術が開発されてきている。

これら 3 つの方法のいずれによっても、長さ 0.2~0.3 μ m, 縦横比 5~10 程度、 H_c 900~1,500 Oe の金属磁性粉がつくれるようになってきている。

5. 金属磁性粉塗布型テープ実用化の問題点

図 6 は、1958 年 4 月 4 日付朝日新聞の切抜きである。

図 6 朝日新聞より

当時、東北大学の永井健三教授のグループが硫酸塩還元法により金属磁性粉を製造する研究を行っており、この成果を国際会議で発表することになったとの記事である。

このように金属磁性粉の製法に関する研究は約20年前から行われており、特にわが国においては、東北大学における研究をはじめとして、各所で多くの研究がなされてきたが、今日まで実用にならなかった理由として、次の4点をあげることができる。

第1は酸化の問題であった。特に金属鉄の微粉末は活性であり、急激に酸化させれば一種の爆発を起こすことになる。よって磁性粉製法時に表面処理を行うが、テープに構成した後に徐々に酸化が進むことを防止することも必要である。これを耐候性と称している。

第2は、ノイズの問題であった。これは磁気的エネルギーが大きいために、金属磁性粉をバインダー中に均一に分散させることが酸化物磁性粉にくらべて困難であり、テープノイズが多くなり、再生出力は大きくてもSN比は良くならないということである。また、微粒子化によりノイズを軽減させる場合、 H_c が高くなりすぎて具合が悪いといった点も問題であった。

第3はコストの問題であった。活性な金属微粉末を安定にしかも経済的なコストで量産するには、化学的に安定な酸化鉄系磁性粉の量産にくらべ、それ相応の努力が必要であった。

第4は既成の記録再生システムにそのままでは適用できない点にあったと考えられる。バイアス値、イコライザー、ヘッド性能などの変更を考慮する必要のある点が多くあったオーディオ用コンパクトカセットシステムの

例からもわかるように、そのままではテープの能力を十分に発揮できないばかりでなく、再生信号の品質を劣化させることにもなりかねない点が、単なるローノイズテープの実用化とは異なる点である。

以上の中でも、磁気ヘッドの問題解決がひとつの大きなポイントであった。

高 H_c のテープの記録にも、消去にも、ヘッドギャップより強い磁界を発生する必要があるが、これに関連してフェライトヘッドか？メタルヘッドか？の選択が問題となった。

フェライトは高周波特性が良く、摩耗にも強い特長があるが、フェリ磁性のため本質的に飽和磁束密度が低く、強磁界を発生させようとするヘッド先端が磁的に飽和するという問題がある。メタルテープに関しては、検討の結果、消去ヘッドはフェライトでも構成可能であるが、録再兼用ヘッドはフェライトでは構成困難とされている。

6. 磁気ヘッド用センダスト材

以上のような観点から、従来放送用ビデオヘッドにしか使用されていなかったセンダスト(Fe-Al-Si合金)が見直され、最近その研究が非常に盛んとなっている。

センダストにはヘッドコア材として、次の諸点の改良が望まれている。

- (1) ヘッド摩耗に関し、フェライト材に劣る
- (2) 加工性が悪い
- (3) フェライト材にくらべ高周波特性が悪い
- (4) モールド時のひずみによる磁気特性の劣化などである。これらの要求に対して、どのような対策が

図7 磁気ヘッド用センダスト材の改善の現状

- (1) Cr および特殊元素を添加する方法^{21)~23)}
- (2) Ti, 希土類元素などを添加する方法²⁴⁾
- (3) 鑄造手法の改善により微小な空孔や巣を除去する方法
- (4) テープ摺動面表層を酸化処理する方法²⁶⁾
- (5) 表面層をプラズマ溶射により緻密にする方法²⁶⁾

難加工性に対する第2のアプローチは、センダスト薄帯製法の試みである。図9に示すような Fe-Si-Al 系において、最大透磁率の第2の極大値を示す組成近傍で第4元素として Ni³²⁾ または Nb³³⁾などを添加すると、センダストとしての基本的な磁気特性をあまり落すことな

ヘッド製作時には、樹脂による接着、固定の工程がある。この際の樹脂の硬化収縮および硬化後の体積収縮によりコアに大きな圧縮ひずみに加わり、透磁率や抗磁力が変化する。センダストはその添加物、組成によってはパーマロイよりもモールドによる特性劣化が大きくなる。この対策としては、磁わいを完全に零にできればよいが、実用材では実現困難であるので、磁わい零近傍で、

図 8 センダストをヘッドタップに用いたクレバイト型オーディオヘッド

できるだけ透磁率が高くなる組成および添加物を見出すことになる。最近のセンダスト材は、このような観点からも検討されており、良好なモールド特性となっている²⁴⁾。

7. 金属磁性粉塗布型テープへの今後の期待

テープメーカーおよび関連メーカーの長年の努力が実を結び、5章に述べた諸問題も一応解決され、今回のメタルテープ実用化のはこびとなったわけであるが、金属磁性粉塗布型テープの能力を考えると、まず磁気録画の分野への適用が大いに期待できる。

既成の VTR システムにも記録電流の増強、イコライザーの変更などの多少の改修により適用可能であるが、この場合には、大幅な性能アップは期待できない。

その能力を充分に発揮させるには、テープの性能に適した新システムの開発を考慮すべきである。その観点からは、機器ノイズに対する SN 比が問題となるデジタル VTR 用のテープ、小型軽量化のため、高密度記録の要請の強い 8mm フィルムカメラに対応する超小型 VTR 用のテープなどの開発は有望なテーマである。

8. む す び

話題のメタルテープの技術的な位置づけを明確にするために、その開発に対する技術的な考え方、メタルテープ実用化への経過とその背景、またメタルテープに関連して見直されつつある磁気ヘッド用センダスト材の研究状況などについて解説を行った。カセットテープの変遷に関しては筆者の独断によるまとめなので、詳細に関しては誤りがあるかもしれない。金属磁性粉塗布型テープの位置づけを明確にすることを目的に、ひとつの流れを示したものと容赦願いたい。

(昭和 54 年 7 月 16 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) D.E. Speliotis, et al.: IEEE Trans., **MAG-2** (1966) 208
- 2) 法橋: 信学会磁気記録研究会資料, MR 66-35 (1967)
- 3) 西川: 信学会磁気記録研究会資料, MR 64-2-8 (1965)
- 4) 明石ほか: 信学会磁気記録研究会資料, MR 72-9 (1972)
- 5) 村松: 昭 52 信学大全, S17-7
- 6) 法橋: 第 3 回記録用磁性材料シンポジウム (日本電子材料技術協会) (1975.5)
- 7) 村松: 日本音楽学会誌, 8 (1978)
- 8) 玉井ほか: 信学会磁気記録研究会資料, MR 73-28 (1974)
- 9) A.L. Oppergard, et al.: J. Appl. Phys., **32** (1961) 1845
- 10) G. Akashi: U.S. Patent, 3607218, Sept. (1971)
- 11) S. Harada, et al.: IEEE Trans., **MAG-8** (1972) 468
- 12) K. Kimoto, et al.: Jap. J. Appl. Phys., **2** (1963) 702
- 13) 賀集: 粉体と工業, **8**, 9 (1976)
- 14) A. Tasaki, et al.: Jap. J. Appl. Phys., (1965) 704
- 15) 永井ほか: 昭 35 四学会連大予
- 16) W.J. Schule: J. Phys. Chem., **63** (1959) 83
- 17) M. Kawasaki, et al.: IEEE Trans., **MAG-8** (1972) 430
- 18) A.A. Van der Giessen: IEEE Trans., **MAG-9** (1973) 191
- 19) E.H. Carman: Metallurgia, **52** (1955) 165
- 20) A.A. van der Giessen, et al.: IEEE Trans., **MAG-5** (1969) 317
- 21) 山川: 日本電子材料技術協会, 磁性材料研究委員会資料 (1976.12)
- 22) 山内ほか: 日本金属学会昭 52 春期大会 407 (1977.4)
- 23) 大友ほか: 信学会技術研究報告, MR 78-19
- 24) 古河電工技術資料, 「古河センダスト合金」
- 25) 俵ほか: 信学会技術研究報告, MR 75-4
- 26) 持田ほか: 電子材料, 8 (1977) 75
- 27) 日本ビクター技術資料, 「SA (センアロイ) ヘッド」 (昭 50.2)
- 28) 同上: 「Xカット SA ヘッド」 (昭 50.8)
- 29) 白井: 電子材料, 9 (1978) 103
- 30) ソニー技術資料, 「S & F (センダスト & フェライト) カセットステレオヘッド」, SONY ES REVIEW, **33** (1978)
- 31) H. Senno, et al.: IEEE Trans., **MAG-13** (1977) 1475
- 32) T. Yamamoto, et al.: Trans. of the Japan Institute of Metals, **19**, 6 (1978) 326
- 33) 金子ほか: 金属学会 1976 年春期大会, 281
- 34) 津屋ほか: 固体物理, **13**, 4 (1978) 237