

# 非浮上形単磁極ヘッドを用いた 垂直磁気リジッドディスク装置の検討

PERPENDICULAR MAGNETIC RIGID DISK SYSTEM USING NON-FLYING TYPE SINGLE-POLE HEAD

山本 節夫  
Setsuo YAMAMOTO

渡辺 功  
Isao WATANABE

大内 一弘  
Kazuhiro OUCHI

中村 慶久  
Yoshihisa NAKAMURA

東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

## 1. まえがき

これまで筆者らは、主としてフレキシブル磁気ディスクや磁気テープなど、有機フィルムを基板とする媒体を用いて垂直磁気記録方式の研究を進めてきた。

通常、有機フィルム基板と金属薄膜では線膨張係数やヤング率に差があるため、媒体を作成する工程において熱経験や張力を受けると、出来上がった媒体には“しわ”やカールなど、巨視的な表面荒れやミクロンオーダーの微視的な表面荒れが発生している場合が多い<sup>1)</sup>。

また有機フィルム基板を使用した媒体では、基板表面に吸着したガスや基板の汚れ、基板の残留溶媒から発生するガスなどが原因となって異常成長した突起粒子が出現したり、基板中に含有されているオリゴマーが成膜時に析出して媒体表面に微小な突起物などが生じることがある。

このように表面性が良くない媒体では、ヘッド・媒体間の接触状態が不安定で、良好なエンベロープの再生電圧が得られないばかりでなく、ヘッド・媒体が損傷を受けやすく、十分な耐久性が得られ難い。このため有機フィルムを基板とする現状の媒体では、垂直磁気記録方式が本来持っている高密度記録再生特性を十分に引き出せていない恐れがある。

筆者らは、表面性の良い媒体を再現性良く作成するには、有機フィルム基板そのものを改善

することが根本的な解決法であると考えているが、まずは媒体の形態にとらわれずに、できるだけ表面が平滑で異常突起物などの少ない媒体を用いて、理想的なヘッド・媒体間の接触状態を実現し、超高密度領域での垂直磁気記録方式の可能性を追求したいと思う。

そこで筆者らは、平滑な表面状態を実現するためにガラスを基板としたリジッドディスクを作成し、これにスペーシングが小さい状態で記録再生が行えるように、自重で媒体に接触する方式の単磁極ヘッドを組み合わせたことを試みている<sup>2)</sup>。

本報告では、まずこの方式について説明した後、本方式によるヘッド・媒体間インターフェースの特徴、スペーシングと記録密度特性についての検討結果、さらに本方式を用いたリジッドディスク装置へのカラー静止画の記録再生実験について述べる。

## 2. リジッドディスク媒体および 非接触形単磁極ヘッド

### 2.1 リジッドディスク媒体

図1にリジッドディスク媒体の構造を示す。基板にはテクスチャの無いガラス基板を用いた。磁性層とガラス基板との間の付着力を増すために、基板の上には最初に厚さ  $250 \text{ \AA}$  の Cr 下地層を設け、その上に Ni-Fe 軟磁性裏打ち層、Co-Cr 垂直記録層をスパッタ法で堆積させた。

さらにその上には、 $\text{SiO}_2$  保護層をプラズマ CVD法で付けた。実際の使用時には、媒体表面に液体潤滑剤も塗布して用いた。

触針式表面粗さ計で測定したガラス基板の中心線平均粗さ( $R_a$ )、最大高さ( $R_{max}$ )はそれぞれ $25\text{\AA}$ 、 $125\text{\AA}$ で、媒体作成後もこの粗さにはほとんど変化は無かった

## 2.2 非接触形単磁極ヘッド

リジッドディスク媒体と組み合わせて使用する非浮上形単磁極ヘッドの概略図を図2に示す。これには、筆者らがフレキシブル用に開発した主磁極励磁形単磁極ヘッドが、上下方向にのみ自由にスライド可能なシリンダーの先端に取り付けられており、ヘッドは自重でリジッドディスクに接触して走行する構造になっている。ヘッド自身の重さは $50\text{mg}$ 程度、シリンダーを含む総重量は数百 $\text{mg}$ 程度である。筆者らが使用している記録再生特性評価装置におけるディスクの面振れは $10\mu\text{m}$ 程度あるが、ヘッドはディスクの面振れに追従して自由に上下にスライドして、安定した接触状態を維持できる。

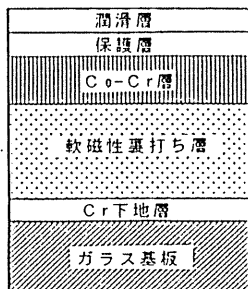
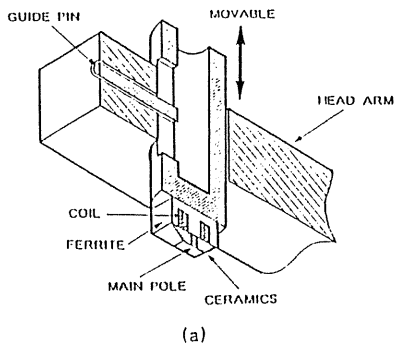
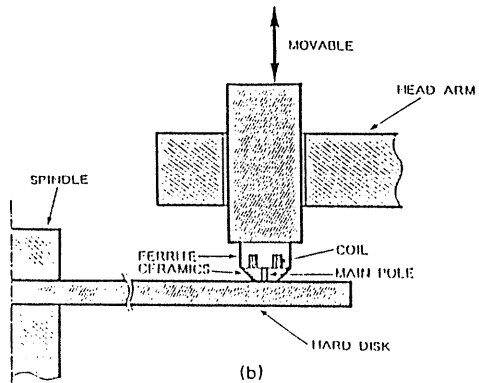


図1 リジッドディスク媒体の構造(断面図)



(a)



(b)

図2 非浮上形単磁極ヘッドの構造

## 3. ヘッド・媒体間インターフェース

非浮上形単磁極ヘッドとリジッドディスクの組合せでのヘッド・媒体間スペーシングを光干渉法<sup>3)</sup>を用いて調べた。図3に、ガラス製のダミーヘッドを用いて得られたヘッド先端の干渉縞を示す。この測定には波長 $528\text{nm}$ の単色光を用いた。リジッドディスクの表面には $\text{SiO}_2$ 保護層がついているが、媒体からの反射光はCo-Cr層からのものが主であると仮定し、 $\text{SiO}_2$ 保護層の屈折率約1.5を考慮して保護層の厚み分を補正すると、媒体保護層表面からのヘッドの浮上量は、約 $300\text{\AA}$ と見積られた。

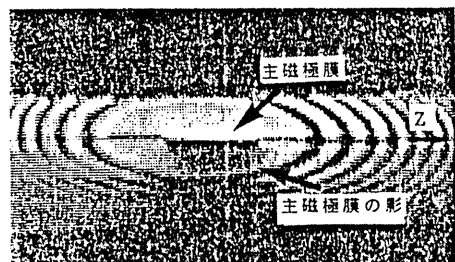


図3 ヘッド先端の干渉縞

図4に、ディスク回転数を変えながら媒体を走行させたときの、ヘッド浮上量とヘッド・媒体間相対速度の関係を示す。14 m/sの速度まで測定し、この測定範囲内ではヘッドの浮上量は300~400 Åとほぼ一定の値で、媒体との接触状態に変化はなかった。このヘッド浮上量は、単磁極ヘッドと表面性の良いフレキシブル媒体の組合せでのヘッド浮上量200 Åと比べると、100~200 Å程度大きい値である<sup>4)</sup>。

このように十数m/sの速度までスペーシング量が変わらないことは、実際のヘッドを用いて、周速2m/sで5kFRPIの信号を記録し、その後周速を15m/sまで増加させたときに、再生電圧が周速にほぼ比例して増加することからも確認された。

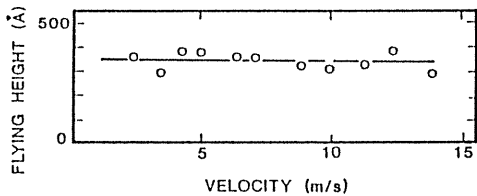


図4 ヘッドの浮上量とヘッド・媒体間相対速度の関係

図5に、再生電圧とパス数の関係を示す。この測定では、最初に50kFRPIの信号を記録し、その後は再生を続けながら再生電圧をモニターした。ヘッド・媒体間の相対速度は2.0m/s、ディスク回転数796rpmであった。この測定例では、媒体はわずか25 Åの厚みのSiO<sub>2</sub>保護層を使用しているにもかかわらず、400万パス後にも初期値の約80%の再生電圧が維持されていた。このとき目視では媒体表面に損傷は認められなかった。ヘッド先端をクリーニングした後、再度記録をしておすと、実験当初の場合と同じ再生電圧値が得られた。

このように再生電圧がパス数とともに若干減少するのは、ヘッド先端が尖っている初期の段階においてヘッド先端が若干削られ、その研削粉がヘッドと媒体の間に入り込み、スペーシングを増加させたためである。ヘッド先端への付着した物質をエネルギー分散形X線マイクロアナライザで成分分析を行った結果、媒体の磁性

層には損傷が無いことが判明した。

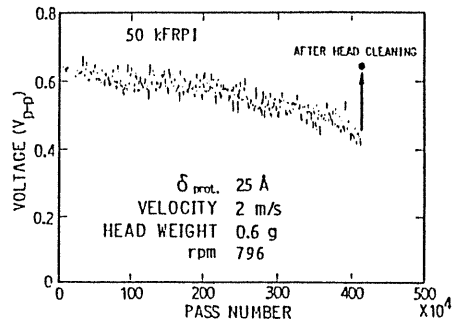
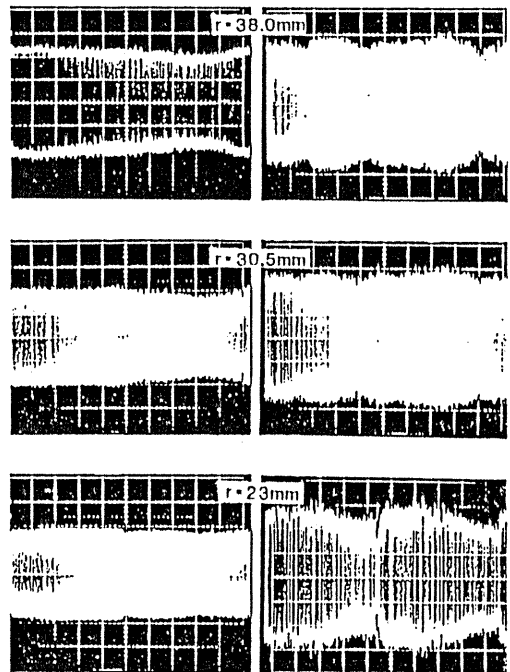


図5 再生電圧とヘッドパス数の関係



(a) Rigid Disc (b) Flexible Disc

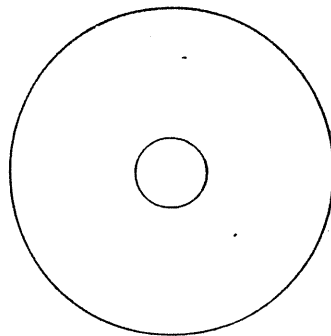
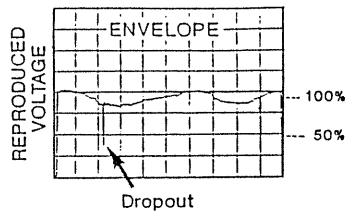
V=2m/s, D=50kFRPI, W=100μm

図6 再生信号のエンベロップ(ディスク1周)

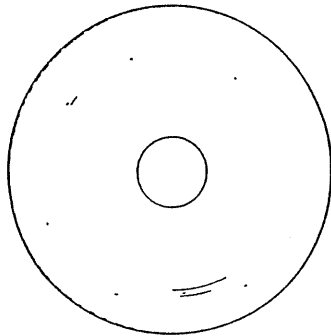
図6に再生信号のエンベロップを示す。(a)はリジッドディスクと非浮上形単磁極ヘッドの組合せの場合、(b)はフレキシブルディスクの場合である。フレキシブルディスクの場合には、

ヘッドパッドを媒体裏側から押しあててヘッドと媒体の接触状態を確保した。(a)(b)両方共、3.5インチディスクのほぼ中央のトラックである半径30.5mmの位置において最も良好なエンベロープが得られるようにヘッドと媒体の接触状態を調整し、そのままヘッドを最内周または最外周に移動させて記録再生を行った。

図のように、リジッドディスクの場合には、どのトラック位置でも良好なエンベロープが得られているのに対して、フレキシブルディスクでは、媒体全体にわたって良好なエンベロープを実現するのが容易でない。



(a) Rigid Disc



(b) Flexible Disc

図7 ドロップアウトの発生状況

媒体全体におけるドロップアウトの発生状況

を測定した結果を図7に示す。この測定は、スペクトラムアナライザのゼロスパンモードで再生信号の基本波のエンベロープを観測し、ここでは、再生電圧がディスク媒体一周での平均的な値の50%以下に落ちた場合をドロップアウトと定義し、ドロップアウトの発生状況をディスク全面について探査した。比較のため、フレキシブルディスクの場合についても調べた。記録密度は50kFRPI、トラック幅100 $\mu$ m、トラックピッチ100 $\mu$ mで測定を行った。フレキシブルディスクの場合には、媒体作成工程において発生した異常析出物に起因すると思われるドロップアウトが検出された。一方、リジッドディスクでは、フレキシブルディスク媒体と比べてドロップアウトの発生は少なく、わずか2箇所だけであった。そのドロップアウトの原因は、ディスクへ付着した塵埃とディスク表面に残った溶剤の気泡であり、これらは、クリーンな環境において媒体を取扱うことや、基板洗浄を十分に行うことで容易に除去できるものであり、本質的にはリジッドディスクの媒体欠陥は極めて少ないと言える。

#### 4. スペーシング損失

垂直磁気記録方式におけるヘッド・媒体間のスペーシング損失については、これまでにいくつか報告されている。しかしながら実験の困難さもあって、0.1 $\mu$ m以下の微少スペーシング領域で、しかも100kFRPI以上の高密度領域において検討した例はこれまで無かった。今後、高密度の垂直磁気記録のシステムの実現を目指す上で、このような領域においてヘッド・媒体間スペーシングが記録再生特性に及ぼす影響についての知見を得ることは極めて有意義である。

非浮上形単磁極ヘッドとリジッドディスクの組合せでは、安定したヘッド・媒体間接触状態が長時間にわたって実現でき、また媒体にほとんど損傷を与えることも無いので、保護層膜厚を変えることにより、0.1 $\mu$ m以下の領域でのスペーシング量を確実にコントロールできるので、スペーシング損失の検討が容易にできる。なおこの方法で測定されるのは、記録と再生時の両方込みのスペーシング損失である。

この実験には、SiO<sub>2</sub>保護層の厚さを25、80、

520, 1050 Å と変えたリジッドディスクを用意し、記録再生特性へのスペーシングの影響を調べた。表1に媒体の他の諸元を示す。使用した単磁極ヘッドは、主磁極の飽和磁束密度が20k Gauss、主磁極厚みが0.3 μm、トラック幅が100 μm、巻線数が50turnである。

表1 スペーシング損失の測定に用いた媒体の諸元

保護層膜厚		25, 80, 520, 1050 Å	
Co-Cr層	膜厚	0.1~0.11 μm	
	Hc	1150~1300 Oe	
	Ms	350~380 emu/cc	
Ni-Fe層	膜厚	1 μm	
	Hc	0.1 Oe	
	Ms	460~470 emu/cc	

図8(a)に、再生信号の基本波成分の記録波長応答を、保護層膜厚をパラメータとして示す。この図をもとに、1.016~0.424 μmの記録波長領域(記録密度50k~120kFRPI以下)について、再生電圧を $d/\lambda$ (ここで $d$ は、ヘッド・媒体磁性層間のスペーシング量で、保護層膜厚にヘッドと媒体保護層間の隙間量300Åを加えた値。 $\lambda$ は記録波長。)に対してプロットしたのが同図(b)である。このときの $d/\lambda$ の係数は約-120(dB)であった。既に筆者らは、フレキシブルディスクと補助磁極励磁形単磁極ヘッドの組合せで、単磁極ヘッドを媒体走行方向に傾けて意図的にヘッド・媒体間のスペーシング量を変えながら、記録再生特性の測定とヘッド・媒体間のスペーシング量のモニターを同時に行うことによってスペーシング損失の測定を行い、 $d/\lambda$ に対する係数として今回と同じ値を得ている<sup>3)</sup>。

図9(a)には、同じ媒体を用いて、数百kFRPI程度の高密度まで測定した基本波成分の波長応答を示す。この図に見られるように、ヘッド・媒体間のスペーシングが大きくなると、主磁極と媒体間の磁氣的相互作用が弱まってヘッド磁界分布が広がり、実効的な主磁極厚みが増して、

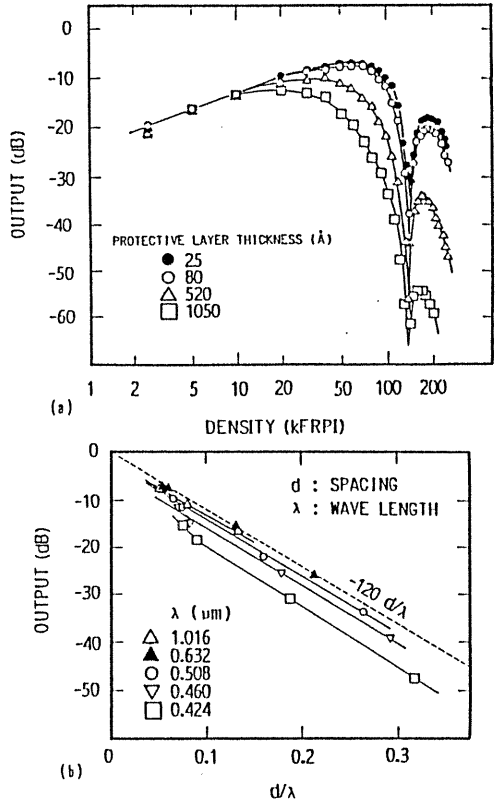


図8 基本波信号の波長応答(a)と再生電圧の $d/\lambda$ 依存性(b)

再生電圧の零点は長波長側に移動する。この影響を排除し、測定結果を無限小厚みの主磁極に対するスペーシング損失として一般化するために、波長応答の極大値を結ぶエンベロープ(図中の波線)を求め、記録波長0.508~0.085 μm(記録密度100k~598kFRPI)の範囲について、各エンベロープ上での再生電圧を $d/\lambda$ に対してプロットしたのが図11である。この記録波長領域での $d/\lambda$ に対する係数は100~110(dB)と、先の長波長領域での値120(dB)と比べると小さくなっている。これは、記録波長が短くなるほど媒体からの漏れ磁界はより媒体表面近傍にのみ極在し、ヘッドとの相互作用の影響を受けにくいからである。

図10に、-30dBと-40dBのオーバーライト値を与える記録起磁力のスペーシング依存性を示す。ここでは、1Fを30kFRPI、2Fを70kFRPIとし、

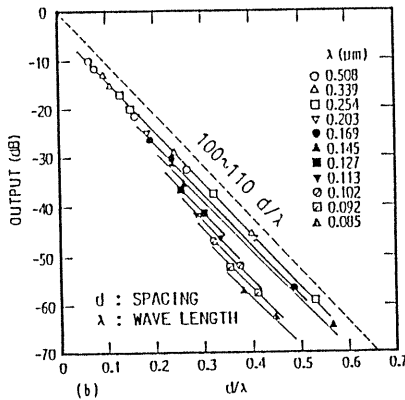
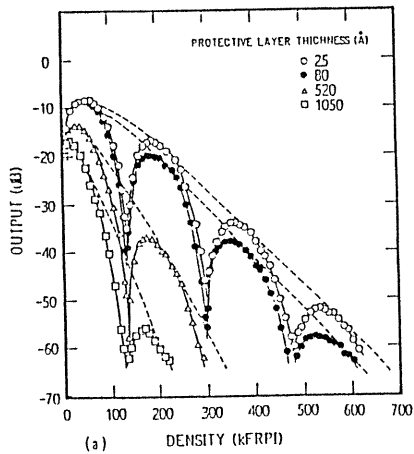


図9 基本波信号の波長応答(a)と再生電圧の  $d/\lambda$  依存性(b)

2Fを記録した上に1F信号を重ね書きしたときの、2F信号の減衰量をオーバーライト値と定義した。1350 Åのスペーシングにおいても3AT<sub>0.5</sub>の起磁力で-30dBと十分なオーバーライト値が得られた。図中に、フレキシブルディスクの場合に得られた実測結果を●▲で示す。媒体がリジッドディスクの場合でもスペーシングが小さくなると、フレキシブルディスクでの値に近づくことがわかる。

図11には、孤立再生パルスの半値幅  $W_{50}$ 、NRZ12ビットパターンにおいて20%のピークシフトを与える記録密度  $D_{PS20}$ 、および孤立再生電圧の1/2の再生電圧を与える記録密度  $D_{50}$ のヘッド・媒体間スペーシング量依存性を示す。図中には、浮上スライダに搭載した単

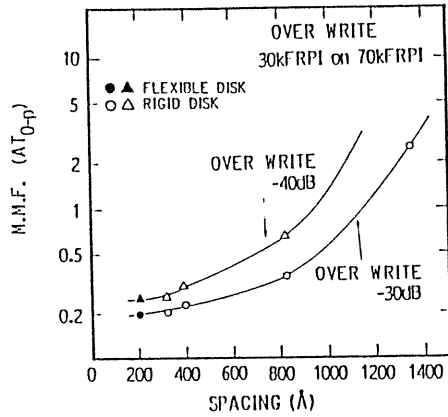


図10 オーバーライト値-40dB、-30dBを与える記録起磁力のスペーシング依存性

磁極ヘッドを使用した通常のリジッドディスクシステムを用いて、ヘッド・媒体間の相対速度を変化させることによりヘッドの浮上量をコントロールして得られた田辺らの実測結果を●で示す。500 Å以上のスペーシング領域では田辺らの実験結果とほぼ一致する結果が得られた<sup>5)</sup>。また、今回のリジッドディスクによる実測データをスペーシング量が小さい方向に外挿すると、フレキシブルディスクでの実験結果●■▲とほぼ一致し、リジッドディスクにおいても、スペーシング量を減少できれば、フレキシブルディスクなみの記録再生特性が得られることがわかる。

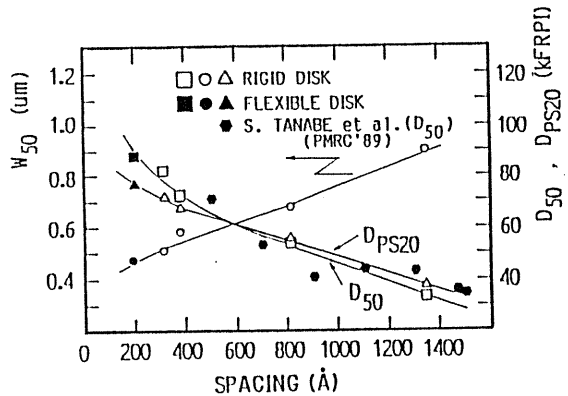


図11  $W_{50}$ 、 $D_{PS20}$ 、 $D_{50}$ のスペーシング依存性

このように、これまで通常の浮上ヘッドスライダを用いたリジッドディスクシステムとフレキシブルディスクシステムとの間では異なるシステムとして認識されていたものが、今度、非浮上形単磁極ヘッドとリジッドディスクの組合せにより、ヘッド・媒体間スペーシングをパラメータとして結びつけることができた。

## 5. 画像記録への応用

高密度で大容量の記録が可能な垂直磁気記録方式の一応用例として、筆者らはフレキシブルディスク媒体への画像記録を検討してきた<sup>6)</sup>。

前述したように、非浮上形単磁極ヘッドとリジッドディスク媒体の組合せでは、ディスクの全面において良好なヘッド・媒体間の接触状態が実現できるので、どのトラックでもモジュレーションの小さいエンベロープが得られる。しかもフレキシブルディスクの場合に比べてこのような状態を長時間にわたって安定して維持することができる。したがって、フレキシブルディスク媒体を用いた場合よりもリジッドディスクを用いた方が、大量の画像情報の記録再生実験が容易に行えることが期待できる。

ここでは1670万色のカラー静止画の記録を試みた。画像の記録実験は、MFM変調方式を用いて5Mbits/secのデータ転送レートで行なった。この実験では、エラー訂正は行っていない。記録した画像はRGBをそれぞれ8bitsで表現した1670万色のカラー静止画で、画像1枚当りのデータ容量は768kBytesである。この画像1枚を記録するのに15トラックを要した。

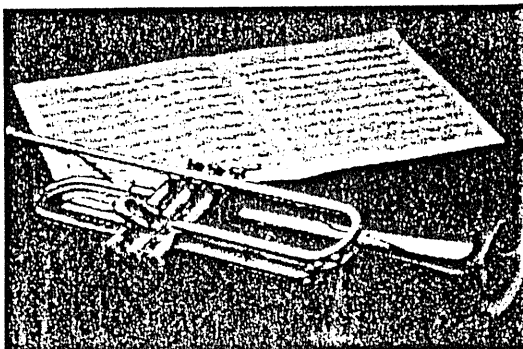


図12 再生された画像例

実験に用いた3.5インチ垂直リジッドディスクは、厚み0.5 $\mu$ mのFe-Ni-Nb裏打ち層と膜厚0.1 $\mu$ m、垂直方向抗磁力1210 Oe、飽和磁化350emu/cc、垂直異方性磁界5kOeのCo-Crからなる二層膜の上に、厚み80 $\text{\AA}$ のSiO<sub>2</sub>保護層を付けたものである。ヘッドの主磁極は、厚み0.33 $\mu$ m、トラック幅100 $\mu$ mのCo-Zr-Nb膜で、巻線数が50ターンである。図12に線記録密度55~60kFRPIで再生された画像の一例を示す。全くエラー無く記録再生できた。このときのC/Nは53dB、S/N(p-p/rms)は32dBであった。

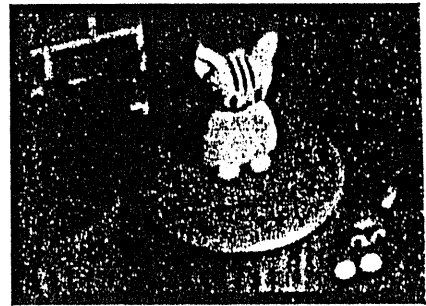


図13 再生された画像

先に述べたようにリジッドディスク媒体の保護層は薄いほうが、ヘッドと媒体磁性層間のスペーシングが小さくでき、良好な高密度特性が得られる。そこで、飽和磁束密度が20,000 Gaussと高く、膜厚が0.2 $\mu$ mと薄い主磁極を採用した単磁極ヘッドとSiO<sub>2</sub>保護層膜厚が25 $\text{\AA}$ と薄いリジッドディスク媒体の組合せで、同様にカラー静止画像の記録再生を試みた。図13にその再生画像を示す。線密度は70kFRPI、トラック密度は254TPIで、C/Nは53dB、S/N(p-p/rms)は33dBが得られ、再生した画像のエラーレートは $7.4 \times 10^{-6}$ であった。

既に筆者らはフレキシブルディスクを用いた実験で、8色の静止画を線記録密度82.5kFRPI、トラック密度254TPIで2トラックを使って記録再生している<sup>6)</sup>。今回のリジッドディスクでの実験では接触記録を行っているものの、フレキシブルディスクの場合に比べてヘッドの浮上量が100~150 $\text{\AA}$ ほど大きく、そのスペーシング損

失のためにフレキシブルディスク媒体を用いた実験ほど線記録密度は高くない。しかしながらディスク全面において良好なヘッド・媒体の接触状態が安定して得られるため、大量な情報量のフルカラー画像を複数のトラックを使用して容易に記録し再生することができた。なお今回実験した記録密度の条件では、3.5インチのディスク片面に7.3Mbytesの情報が記録できたことになる。

## 6. むすび

ガラスを基板とする極めて平坦な表面のリジッドディスク媒体と、これに自頂で軽く接触する単磁極ヘッドを組み合わせたヘッド・媒体系では、ヘッド・媒体間の相対速度が14m/s以下では、ヘッド・ディスク表面間のスペーシング量 $300\sim 400\text{ \AA}$ が実現でき、数百万パス後にも媒体はほとんど摩耗・損傷が無いことが確認された。また、フレキシブルディスク媒体と比較して、リジッドディスクでは媒体全面にわたってドロップアウトが少なく、モジュレーションの小さいエンベロープを極めて容易に実現できることが示された。このような特徴を利用し、フレキシブルディスクの場合に比べてはるかに容易に大量のカラー画像情報をリジッドディスクに記録できることを確認した。

以上の実験結果をもとに、もう一度フレキシブル媒体に戻って考えるとき、有機フィルムを基板として用いる媒体で、垂直磁気記録方式の優れた高密度特性を現実のものにするためには、記録媒体作成後にもガラス基板なみの平滑性と良好な表面性が実現できるよう、基板材料を再度見直し、改善することが望まれる。

最後に、本実験に協力された本学院生 藤村篤史君、平成1年度修了生 中三川順一君（現 富士写真フィルム(株)）、学部卒業生 泉 幸雄君（現 三菱電機(株)）および松田博幸君（現 松下通信工業(株)）に感謝する。

## 参考文献

- (1) M. Isurugi, Y. Nakamura, S. Iwasaki: IEEE Trans. Magn., MAG-24, 2658 (1989).
- (2) 福岡、中村: 信学技報 MR89-4 (1989)

pp. 1-7.

- (3) 山本、中村、岩崎: 信学技報 MR86-16 (1986)
- (4) S. Yamamoto, Y. Nakamura and S. Iwasaki: IEEE Trans. Magn., MAG-23, 2070 (1987).
- (5) S. Tanabe, T. Sakata, T. Fukuichi, T. Ozeki and H. Shibata: Journal of The Magnetics Society of Japan, Vol. 13, Supplement, No. S1 (1989) pp. 145-150.
- (6) S. Yamamoto, H. Muraoka, Y. Nakamura and S. Iwasaki: Journal of Magnetics Society of Japan, Vol. 13, Supplement, No. S1 (1989) pp. 273-278.