高密度磁気記録における記録再生特性と磁化の熱安定性に関する研究

田中, 輝光

https://doi.org/10.15017/1398259

出版情報：九州芸術工科大学, 2002, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第３章

磁気ディスクにおける記録・再生にじみとその分離

3.1節 序言

2 章で述べたように記録および再生に用いるヘッドにギャップが存在する以上，記録ヘッドフリンジ磁界および再生にじみは必ず存在する．また，記録・再生のギャップ長を小さくするとそれらは小さくなるが，同時に記録・再生の性能を損なう恐れがある．一般に最も重要視されているのはトラック中央部での記録再生特性であり，記録トラックフリンジ部分の領域はトラック中央部で良好な特性を得るために生じる邪魔な副産物であると考えられる．しかし，近年このトラックエッジ部分の占める割合が大きくなりつつあり，いずれ高トラック密度化の大きな障害になると考えられる．また，トラックエッジの諸特性を解析し，新たな指針が見つかれば狭トラック記録・再生方式を採用することが出来る可能性が出てくる．そこで本研究ではトラックエッジの諸特性の基礎的な解析を行った．

ハードディスク装置はオーバーライト記録方式を採用している．オーバーライトとは，その名の通り上書き記録であり，以前に記録した信号を消去せずにそのまま新しい信号を上書きする方法である．ハードディスク装置では信号とノイズの比(S/N)は 30dB 以上必要とされており，オーバーライトした際の前歴信号の消え残りはノイズとして働く．記録ヘッドエッジ磁界はその強度が弱く，媒体を飽和磁化することが出来ない．そのため，記録トラックエッジの磁化は未飽和磁化状態となっており，さらに前歴信号の消え残りもトラック中央部に比べて大であると考えられる[18]-[20]．また，ハードディスクの磁性層は磁性分子または原子を堆積してできた膜状となっており，長手記録用のものは磁化容易軸（磁化し易い方向）が膜面内にランダムに向いているため，記録ヘッド磁界のトラック幅方向（クロストラック方向またはオフトラック方向）成分によってクロストラック方向を向く磁化も存在する．この磁化も再生時にはノイズとして働く．このように，記録ヘッドフリンジ磁界は記録トラック端部にノイズ領域をつくる．記録にじみはこのような磁化を含んでおり，高記録密度化にとって好ましいものではない．しかし，記録ヘッドフリンジ磁界の広がりが小さくなれば，このノイズ領域は狭くなり，再生時の S/N の低下を抑えることが出来る．一方，再生にじみは第 2 章で述べたように，狭トラック記録・再生方式となった場合には，記録トラックエッジ部分のノイズ領域の磁化に

より，S/N の低下を引き起こす可能性がある．

磁気ヘッドを用いて記録・再生が行われる以上，記録にじみ・再生にじみは相乗された形で現れる．そこで，本節では記録および再生時に必ず生じる記録にじみと再生にじみの解析を行う．また，常に相乗されて現れる記録にじみと再生にじみを分離し，その線密度依存性について述べる[21]-[24].

3.2節　測定システム概要

測定に使用したシステムのブロック図を Fig. 3.1 に示す．コンプレッサーを除く全ての測定機器は，自作した測定用プログラムにより GPIB を通じてコンピュータで制御されている．

Figs. 3.2, 3.3 に本研究で使用したスピンスタンドと実際に用いられているハード

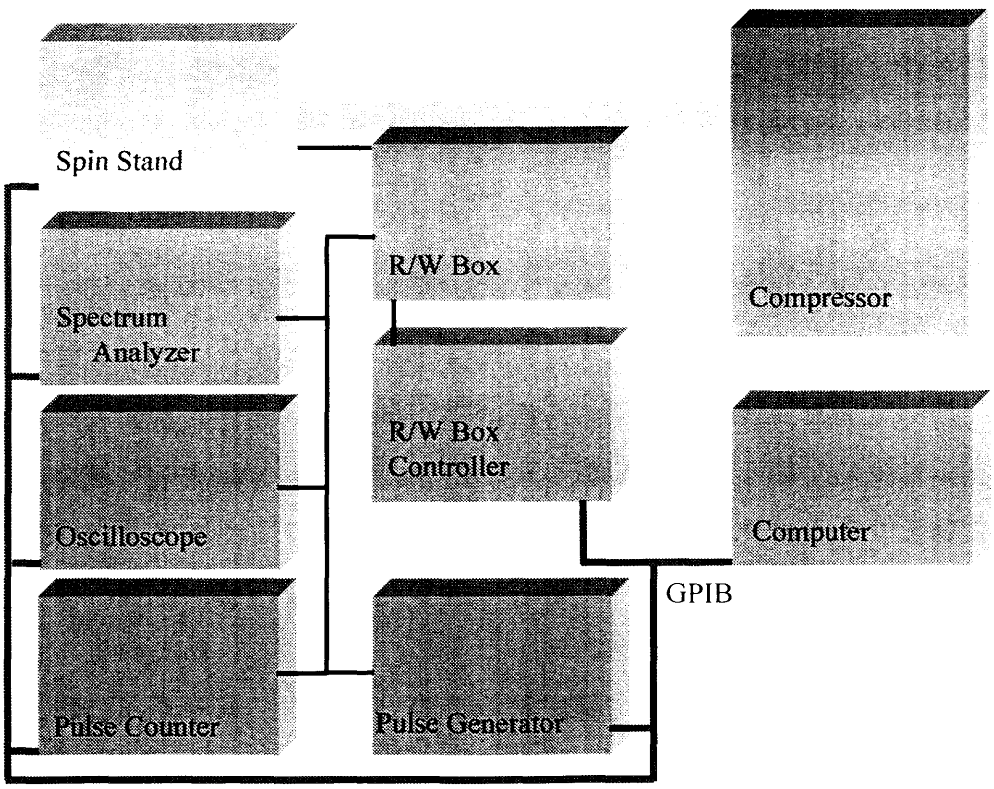

Fig. 3.1　測定システムブロック図.

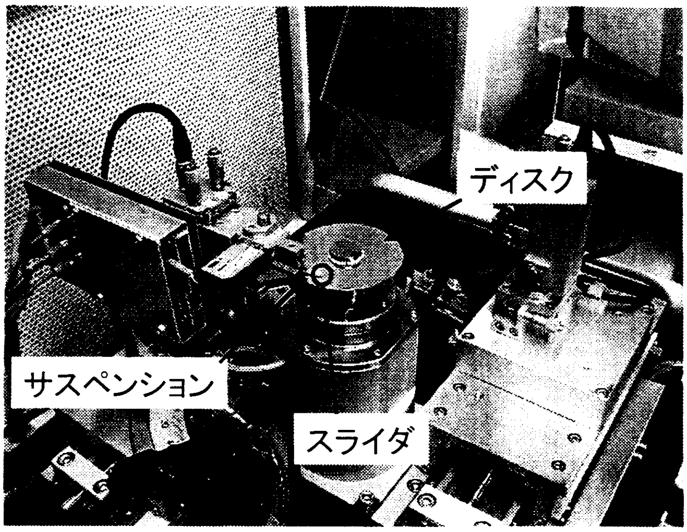

Fig. 3.2　ディスク特性測定機(スピンスタンド).

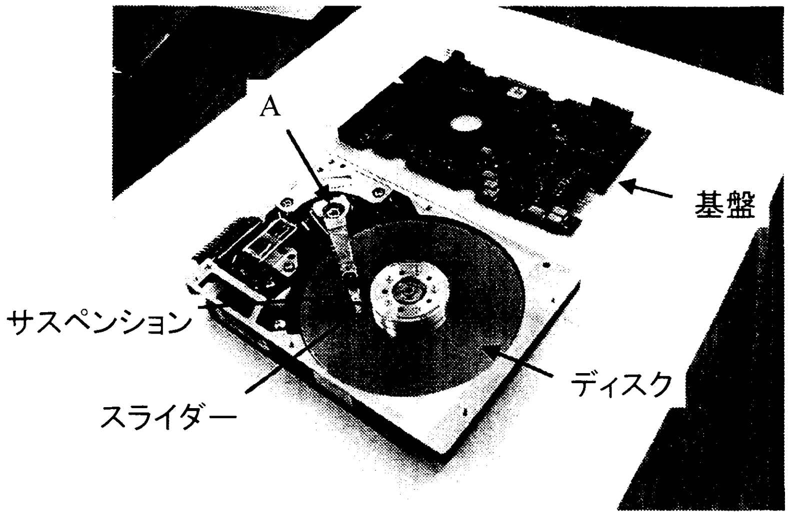

Fig. 3.3　ハードディスクドライブ.

ディスクドライブの写真を示す．スピンスタンドのオフトラック方向のポジショニング精度は最大誤差が 0.02μm である．ハードディスクドライブにおける実際の記録再生では，記録再生ヘッドの取りつけてあるサスペンションは Fig. 3.3 に示す A 点を支点として，ヘッドが円弧を描くように動くため，ヘッドはおよそ－30° から +30° のスキュー角を持つ．本研究では，このスキュー角が全て 0° の場合を想定し，

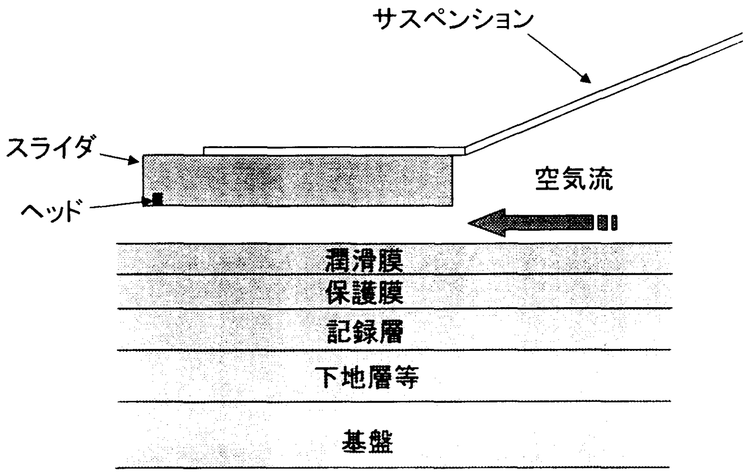

Fig. 3.4　ディスクとスライダ.

測定を行っている. Fig. 3.3 に示される基盤にはハードディスクドライブの動作を制御する回路および符号化・複号化などの信号処理を行う回路が組み込まれている.

Fig. 3.4 にディスク上をスライダが浮上している様子を示す. スライダはディスクの回転によりその下面に空気流による浮力を受け, ディスク上を飛んでいる. その浮上量は最新のハードディスクドライブでは 20nm 前後である. また, その浮上量が小さいことから, このような微小浮上量の状態はニアコンタクトと呼ばれている. 本研究で使用したスライダは two-rail slider と呼ばれるもので, スライダの下面の側部に凸状のレールがある(Fig. 3.5). これにより浮上姿勢を安定に保っているが, スキュー角がついた場合にはその浮上姿勢が悪くなるため, 現在では tripad slider と呼ばれるものが多く用いられている. この tripad slider は Fig. 3.5 に示すように 3 つのパッドが付いており, two-rail のようにスキュー角がついた時に浮上姿勢が大きく乱れることがなく安定である.

ディスクは Fig. 3.4 に示すように, 基盤の上に下地層（何層もある場合もあり, ない場合もある), その上に記録層があり, さらにその上に保護膜および潤滑膜（ない場合もある）がある. 2 節で述べた磁気的なスペーシングとはヘッドから記録層までの距離を示す. 潤滑膜および保護膜の厚みはおよそ 5～20nm 程度であり, 磁性層の厚みは近年では数十 nm 程度である. この磁性層の薄膜化は記録分解能を向上させるが, 同時に 5 章で述べる磁化の熱安定性を悪くする. ディスク基盤は磁性層表面の平滑性確保の観点から, ガラスが用いられることが多い.

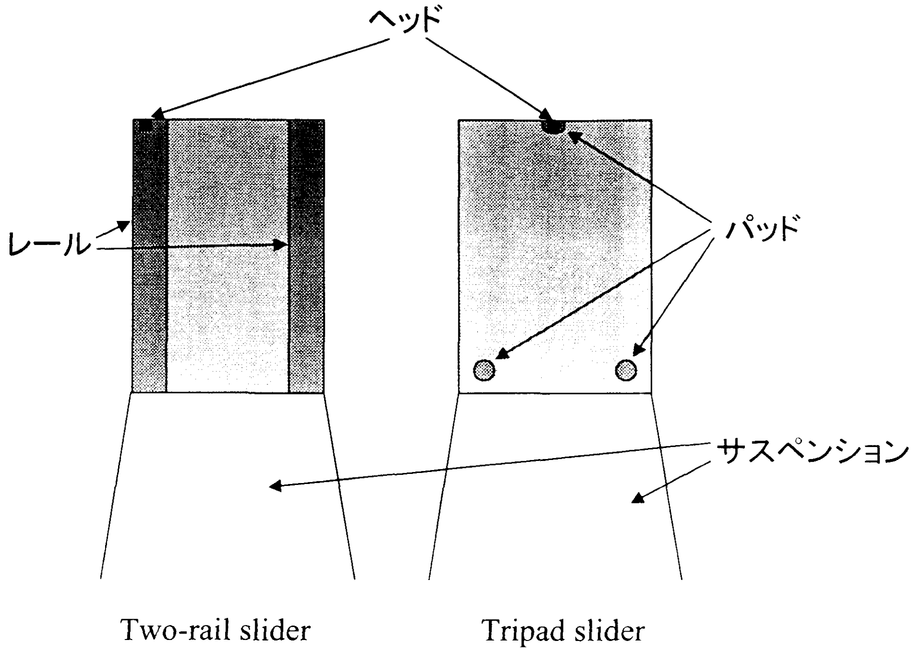

Fig. 3.5　スライダ形状.

3.3節 記録・再生にじみの分離

Fig. 3.6 に誘導型薄膜ヘッドで記録・再生した場合の出力波形の例を示す．出力電圧 e は $e=-N(d\Phi/dt)$ で表される．ここで N はヘッドコイルの巻き数である．Fig. 3.6 に示す出力波形は線密度 10 kFRPI のもので，上下に交互にパルス波形が存在する．このパルスの幅は PW_{50} と言われており，線密度に関係無く一定である．そのため線密度が高くなると，このパルス間の領域が狭くなり，波形干渉が起こり，再生出力が低下する．これは，高線密度化を制限する一因となっている．また，PW_{50} は用いたヘッド・ディスクの性能に依存し，そのヘッド・ディスクの組合せでの線方向の分解能を表す．

ヘッドコイルに電流が流れると，ヘッドコアが励磁され，ヘッドギャップの漏洩磁束がディスクに流れ込み磁性層の磁化が反転を起こす．これが記録の原理である．ヘッドコイルに流す電流にはディスクの磁気特性に影響される最適と思われる値が

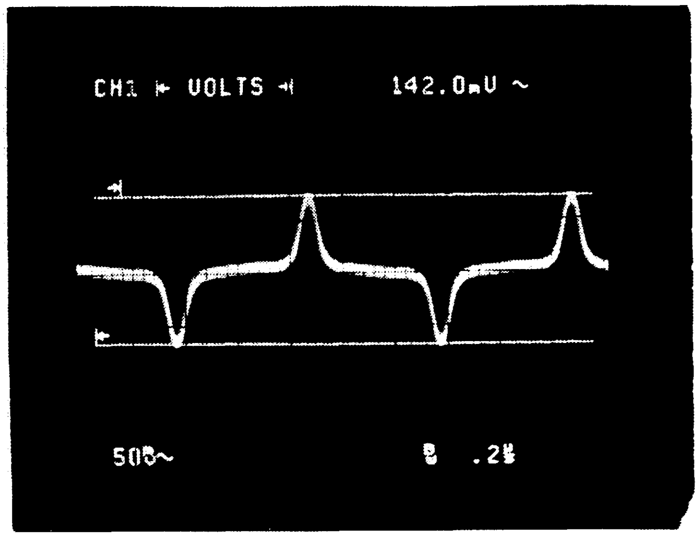

Fig. 3.6　誘導型薄膜ヘッド再生における出力波形（10 kFRPI）

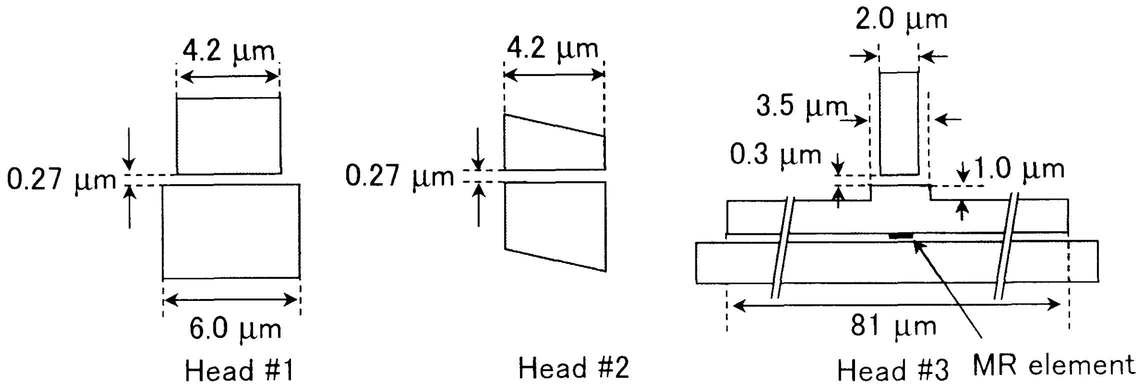

Fig. 3.7　ABS 面から見たヘッド磁極形状.

Table 3.1　　Head parameters

Head type	Track width (μm)	Gap length (μm)	$I_{90} \times n$ (A・turn)	Flying height (nm)	Comment
Thin film	4.2	0.27	0.25	70	Untrimmed pole
Thin film	4.2	0.27	0.23	70	Trimmed pole
Thin film / MR	2 / 1.4	0.3 / 0.21	0.17	31	Shielded MR

あり，記録電流がその最適値より小さければ記録磁化は未飽和となり，逆に大きければ過飽和となる．そこで，まず最初に記録電流の最適値を決定するために入出力特性（飽和記録特性と呼ばれることもある）の測定を行った．測定に使用したディスクは保磁力 2000 Oe，$B_r\delta = 90$ G-μm のものである．また，使用したヘッドの ABS 面から見た図を Fig. 3.7 に示す．Head #1，#2 は誘導型薄膜ヘッドで Head #3 はマ

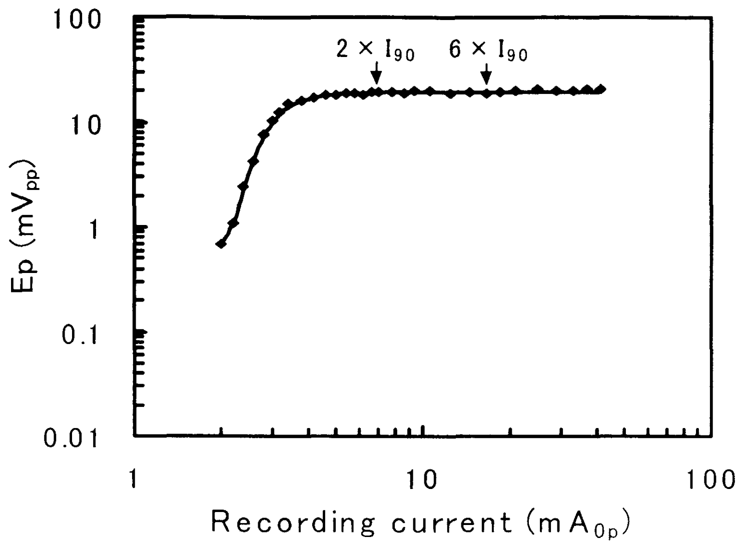

Fig. 3.8(a)　　Head #1 における入出力特性.

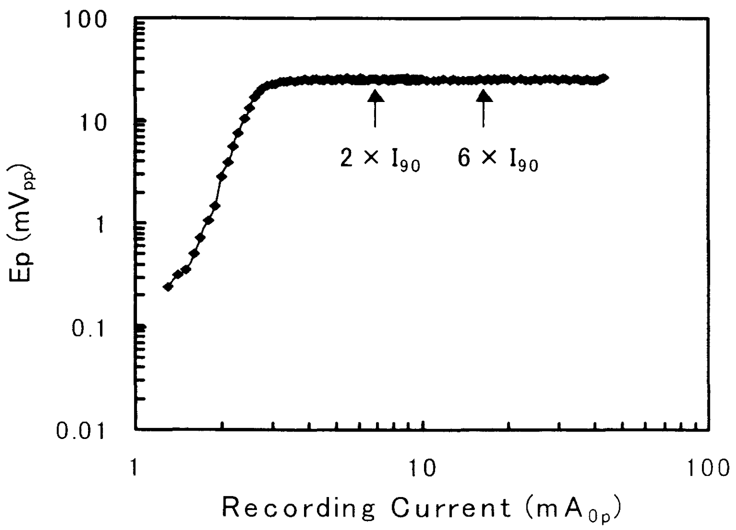

Fig. 3.8(b)　　Head #2 における入出力特性.

ージ型 MR ヘッドである．ヘッド諸元を Table 3.1 に示す．全ての測定において，ヘッド・ディスク間の相対速度は 5 m/s とした．

Fig. 3.8 に入出力特性を示す．グラフの縦軸は再生パルスの peak to peak 出力電圧値である．本研究では最適記録電流値を薄膜ヘッドでは $2\times I_{90}$，マージ型 MR ヘッドでは $1.5\times I_{90}$ とした．I_{90} とは入出力特性において，その再生出力電圧が飽和再生出力電圧値の 90%となる記録電流のことを示す．各ヘッドにおいて最適記録電流

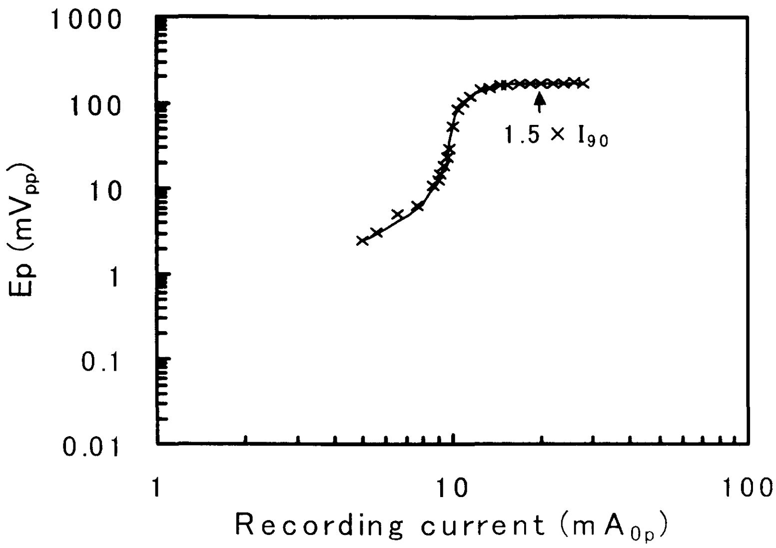

Fig. 3.8(c)　　Head #3 における入出力特性.

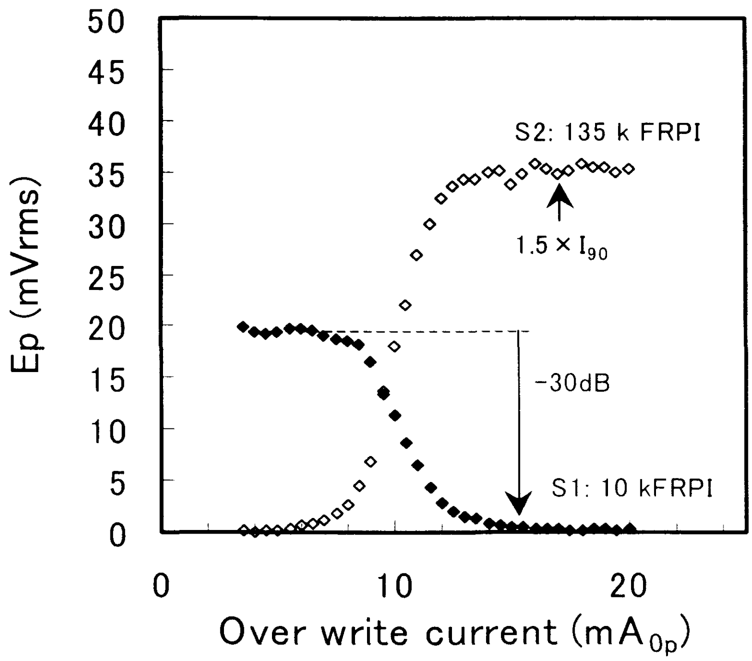

Fig. 3.9オーバーライト特性(Head #3).

値を上記のように決めた理由は，オーバーライト特性において前歴信号(S1)の出力が－30dB となる記録電流を考慮したからである．例として Fig. 3.9 に Head #3 におけるオーバーライト特性を示す．再生出力はスペクトラムアナライザで基本波成分出力を読み取った．実際の記録再生システムではエラーを低減させるために線形

信号処理を行っている．その信号処理を行うためには約 30dB 以上の S/N が必要となっている．

オフトラック特性の測定方法を Fig. 3.10 に示す．全面 DC 消去したディスクに連続信号を記録し，再生ヘッドを A 点から B 点に向かって動かしながら再生出力を測定したものが一般的なオフトラック特性である．例として，Head #1 で測定した線密度 10 kFRPI のオフトラック特性を Fig. 3.11 に示す．同図において，出力電圧が最大出力電圧の 50%となる幅を Tw_{50} と定義する．前述のパルス幅 PW_{50} が線方向の分解能を表すのに対し，Tw_{50} はトラック幅方向の分解能を表すと考えられる．また，この Tw_{50} は実効トラック幅と呼ばれ，文字通り実効的なトラック幅を表す指標として用いられる．

Fig. 3.11 のオフトラック特性は，記録・再生を磁気ヘッドで行っているため，そのプロファイルには記録にじみと再生にじみが相乗された形で入り込んでいる．Fig. 3.12 に記録にじみおよび再生にじみが存在しない場合のオフトラック特性を示す．この記録にじみ・再生にじみの存在しない場合のオフトラック特性は理想的な完全角型の記録トラック磁化分布と再生ヘッド感度分布の畳み込み計算によって簡単に求めることが出来る．このような理想的な場合のオフトラック特性において，その Tw_{50} は(3.1)式のように表せる．

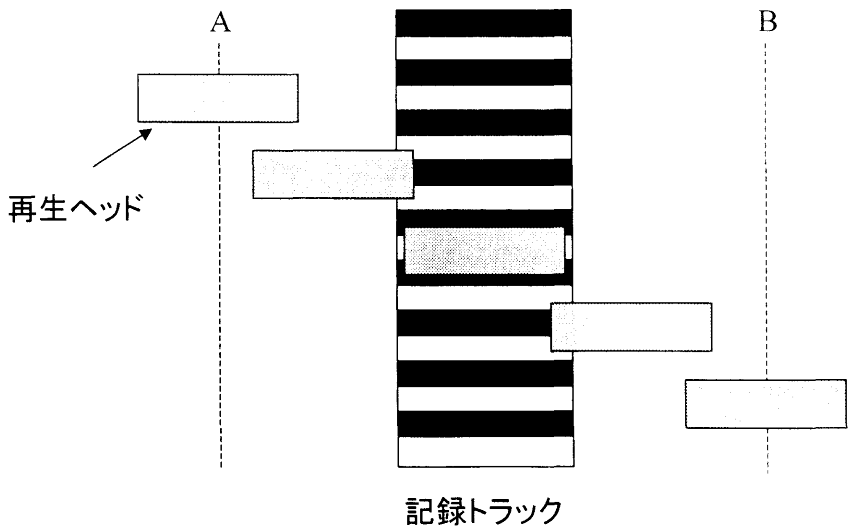

Fig. 3.10　オフトラック特性測定方法．

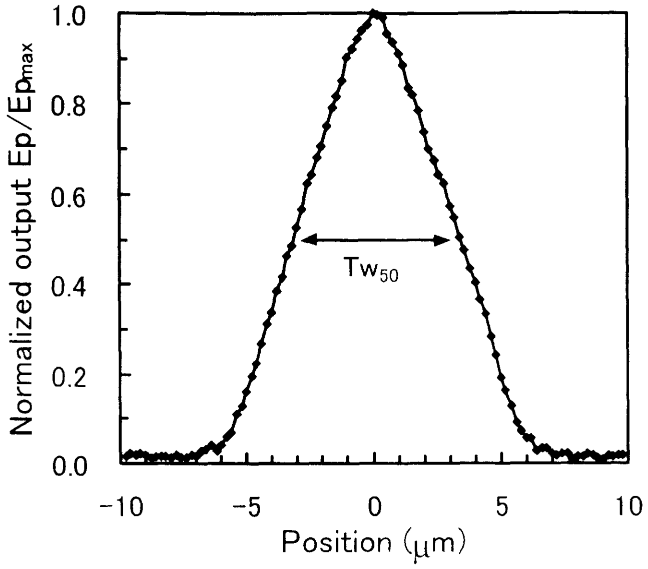

Fig. 3.11　オフトラック特性（Head #1）.

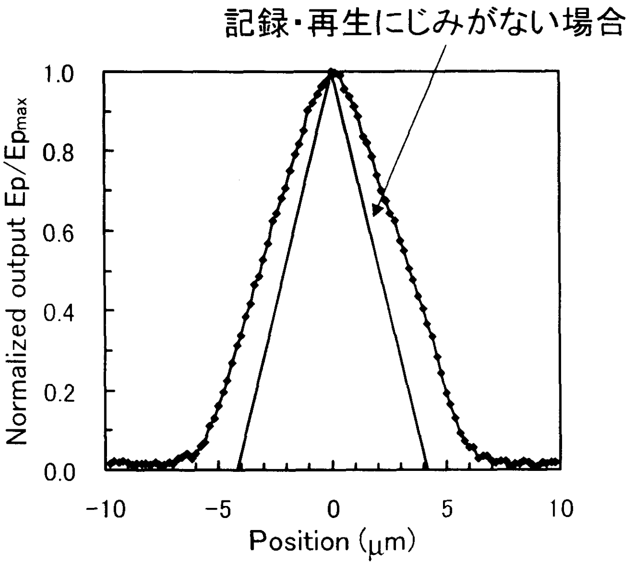

Fig. 3.12　オフトラック特性（実測と理想状態）.

$$Tw_{50} = \frac{\left(Hw_w + Hw_r - \left|Hw_w - Hw_r\right|\right)}{2} \qquad (3.1)$$

ここで，Hw_w は記録ヘッドトラック幅，Hw_r は再生ヘッドトラック幅とする．Fig. 3.12 に示す理想的なオフトラック特性では記録・再生に用いたヘッドはトラック幅

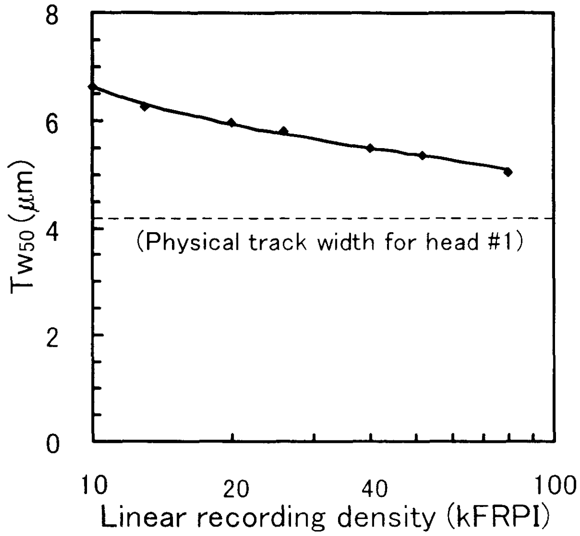

Fig. 3.13 Tw_{50} の線密度依存性

4.2μm の薄膜ヘッドであるので，(3.1)式から Tw_{50} は 4.2 μm となる．同図において，出力値を規格化しているが，実測のオフトラック特性は再生にじみにより，その最大出力が理想的なオフトラック特性の規格化前の最大値より大きくなっていると考えられる．このことから，Head #1 を用いた場合の記録・再生における実効トラック幅は記録・再生にじみにより最低でも 2.4μm ほど広くなっていると考えられる．つまり，Head #1 では記録・再生にじみにより，実効トラック幅が物理的なヘッド（Head #1 は記録および再生は同じヘッドである）幅より 57%広くなっていることになる．

Fig. 3.13 に Tw_{50} の線密度依存性を示す．記録・再生は Head #1 で行った．同図から，Tw_{50} は低線密度ほど大きく，線密度が 10 kFRPI（ビット長 2.54μm）で 6.6μm と大きく，線密度が高くなるにしたがって小さくなっており，80 kFRPI（ビット長 0.32μm）で 5.1μm の実効トラック幅となっている．前述したように記録トラック（フルトラック）のオフトラック特性から得られる Tw_{50} は記録にじみと再生にじみの両方の影響を受けている．そこで，Fig. 3.13 の Tw_{50} の線密度依存性を考える場合，その線密度依存性が記録にじみの線密度依存性によるものか再生にじみの線密度依存性によるものか，またはその両方の線密度依存性によるものか特定が難しい．その

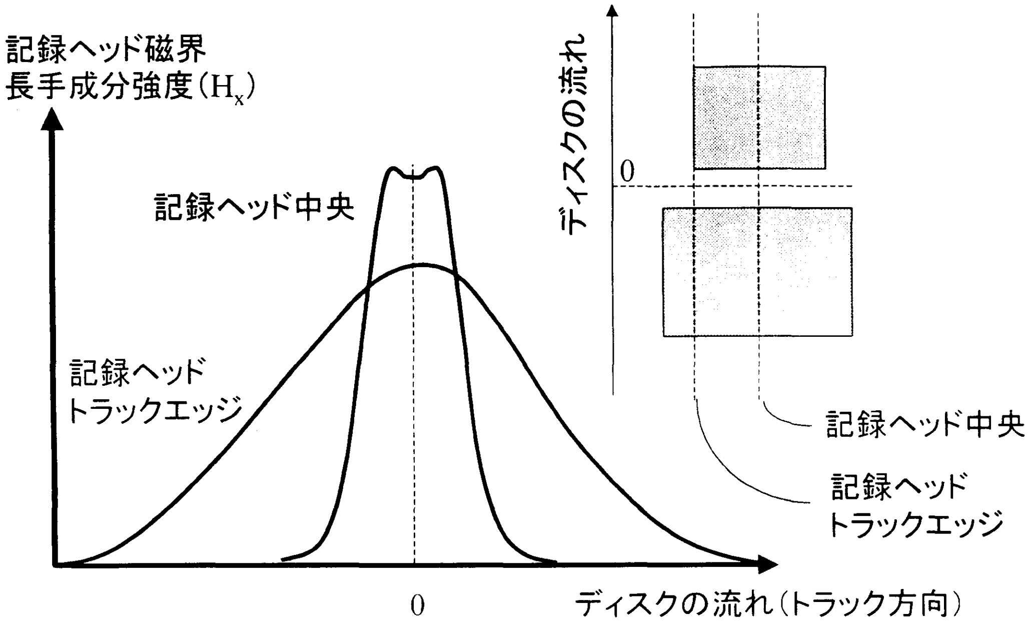

Fig. 3.14　トラック中央とトラックエッジのヘッド磁界長手成分.

理由は記録にじみと再生にじみの双方に線密度依存を示す要因があると考えられるからである.

一般に線密度が高くなると記録トラック幅は狭くなると言われている．その原因は記録ヘッド磁界長手成分のトラック方向のプロファイルが記録ヘッド中央部とエッジ部で異なるからである．Fig. 3.14 に記録ヘッド磁界長手成分の簡略図を示す．同図から，ヘッド磁界長手成分は記録ヘッド中央部では急峻な傾きを持っているが，エッジ部ではなだらかに分布していることがわかる．このなだらかに分布しているヘッド磁界により，線密度が高くなると磁界の尾引き効果により記録トラック端が擬似的に AC 消磁された状態となるために記録トラック幅は狭くなる．この結果，記録にじみは線密度依存性を持つと考えられる．一方，再生にじみはスペーシングロスにより線密度に依存すると考えられる．スペーシングロスとは，記録媒体の記録層と再生ヘッドとの間隙(スペーシング)が大きくなると再生損失が大きくなり出力が小さくなることをいう．このスペーシングロス(L_s)のデシベル表示したものを(3.2)式に示す[25].

$$L_s = 20\log_{10} e^{\frac{2\pi d}{\lambda}} = 54.6\left(\frac{d}{\lambda}\right) \qquad (3.2)$$

ここで，dはスペーシング，λは記録波長を示す．(3.2)式からL_sは dとλの比によって決まることが分かる．つまり，スペーシングが一定で波長が短くなればスペーシングロスが大きくなる．すなわち，線密度が高くなればスペーシングロスは大きくなり再生にじみは小さくなる．

前述したように記録トラック（フルトラック）のオフトラック特性から得られるTw_{50}は記録にじみと再生にじみの影響を受けている．そこで，マイクロトラックを作成することにより，記録にじみと再生にじみを分離し，それらの線密度依存性を調べた．Fig. 3.15 にマイクロトラックの作成方法を示す．全面 DC 消去したディスクに連続信号を記録し，記録トラックの両端を DC 消去する．消去後の残留トラックをマイクロトラックと言い，このマイクロトラックのオフトラック特性（マイクロトラック特性）から得られるTw_{50}の線密度依存性を調べる．ここでマイクロトラック幅の公称値を$Z_1-Z_0-Hw_{phy}$（Hw_{phy}：記録ヘッドトラック幅）と定義する*．マイクロトラックは記録トラックの両端を DC 消去されているため，記録にじみの線密度依存性は取り除かれている．つまり，マイクロトラック特性から得られるTw_{50}の線密度依存性は再生にじみの線密度依存性を示すことになる．

Fig. 3.16 にマイクロトラック特性を示す．測定は記録・消去電流を$2\times I_{90}$とし，記録･消去･再生の全てを Head #1 で行った．マイクロトラック幅の公称値は 2.1μm である．再生出力はスペクトラムアナライザで読み取った．

Fig. 3.16 のマイクロトラック特性から得られたTw_{50}の線密度依存性，すなわち，再生にじみの線密度依存性を Fig. 3.17 に示す．同図から，Head #1 の再生にじみは線密度が低いと大きく，高いと小さくなることが分かる．つまり，線密度が低いほど実効的な再生トラック幅が広くなっているということである．

再生ヘッドを用いて再生出力を測定する以上，再生にじみの影響を取り除くことはできないが，再生にじみが線密度に依存していなければ再生にじみの線密度依存性を取り除いたTw_{50}の線密度依存性，つまり，記録にじみの線密度依存性を明らかにすることは可能である．

---

* 実際のマイクロトラック幅はDC消去に用いた記録ヘッドのフリンジ磁界によって公称値よりも狭くなっているが，作成されたマイクロトラックのトラック幅が線密度によらず一定であれば問題はない．

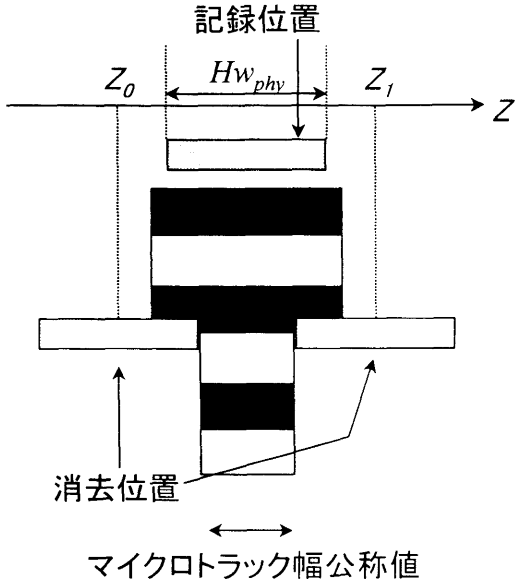

Fig. 3.15　マイクロトラック.

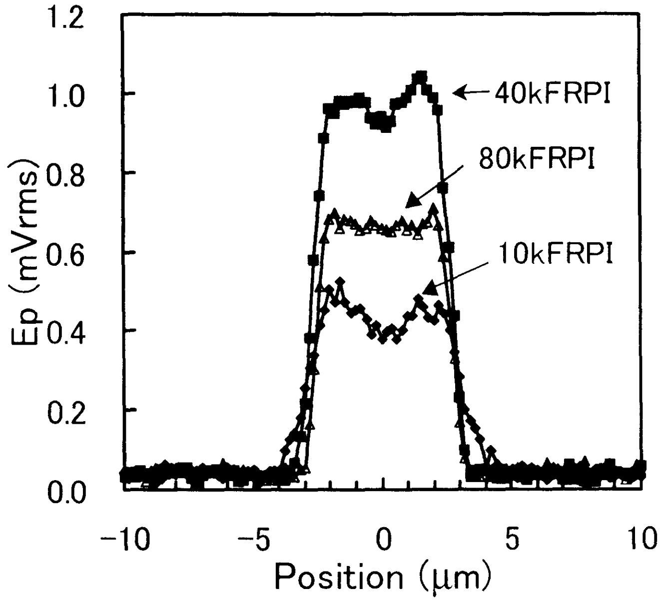

Fig. 3.16　マイクロトラック特性.

Head #3（シールド型 MR ヘッド）を用いて Head #1 と同様の測定を行った結果，シールド型 MR ヘッドの再生にじみは線密度に依存しないという結果が得られた．Fig. 3.18 に Head #3 におけるフルトラックとマイクロトラックにおける Tw_{50} の線密度依存性を示す．マイクロトラック幅の公称値は 1μm である．前述したようにマイクロトラック特性から得られる Tw_{50} の線密度依存性は再生にじみの線密度依存性

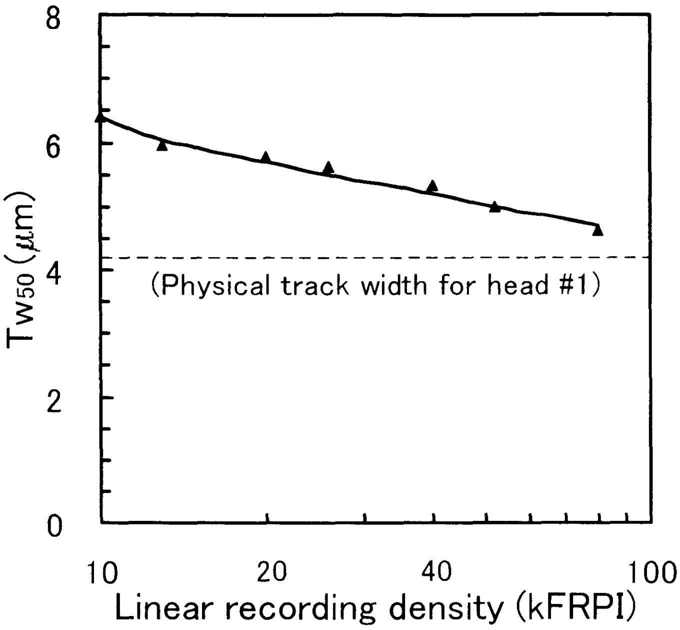

Fig. 3.17　マイクロトラック特性から得られた Tw_{50} の線密度依存性.

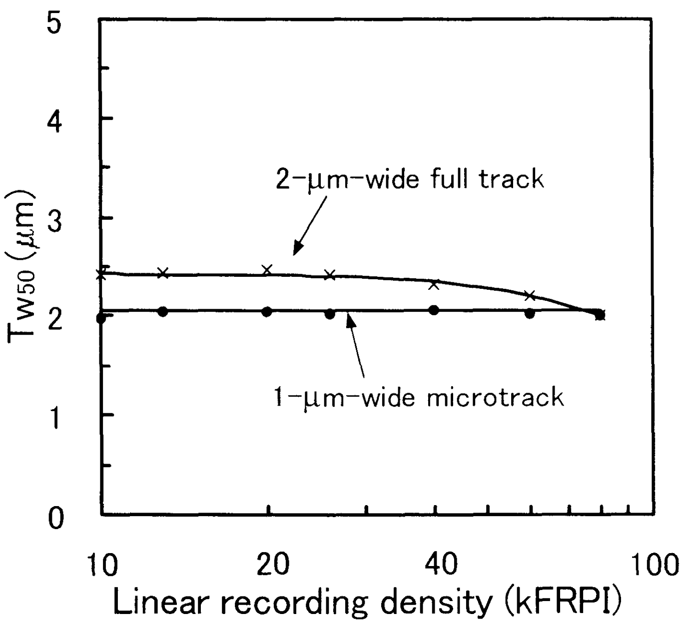

Fig. 3.18　Head #3 における Tw_{50} の線密度依存性.

を示すので，同図から Head #3 の再生にじみは線密度に依存せず一定であることが分かる．ここで，再生にじみが線密度に依存していないということは，Head #3 のフルトラックから得られた Tw_{50} は記録にじみの線密度依存性を示すことになる．つ

まり，Head #3 の記録にじみは僅かではあるが線密度が高くなると小さくなっていると言える．Head #3 における再生にじみが線密度に依存しない理由は，MR 素子の前後に配置されたシールドが MR 素子から一定の距離以上離れた地点に分布する磁束を吸い取ったため，再生にじみの線密度依存性が軽減されたと考えられる．Fig. 3.19 にその様子を示すベクトルポテンシャル分布の簡略図を示す．MR ヘッドは記録媒体が発する磁束密度の垂直成分（ディスク面に垂直な向き）に応答する．そこで Fig. 3.19 はベクトルポテンシャルの垂直成分のみを示す．ただし，線密度依存の軽減は，再生ギャップ長に比べて記録波長が長い（線密度が比較的低い）場合にはベクトルポテンシャルの分布である程度説明できるが，線密度が高くなり記録波長が短くなると，前述したスペーシングロスの影響が現れ，再生にじみの線密度依存性が大きくなると考えられる．

Fig. 3.20 に 3 つの Tw_{50} の線密度依存性を示す．(a)，(b)，(c)はそれぞれ実効再生トラック幅，実効記録トラック幅，実効トラック幅を示す．記録・消去・再生に使用したヘッドは(a)記録・消去・再生：Head #1，(b)記録/再生：Head #1/Head #3，(c)記録・再生：Head #1 である．(b)は Head #1 で記録した記録トラックを Head #3 の再生にじみが線密度に依存しない MR ヘッドで再生しているため，Tw_{50} の線密度依存性は記録にじみの線密度依存性を示すことになる．これらのことから，Head #1 における実効トラック幅の線密度依存性は再生にじみの線密度依存性に大きく支配されることが分かる．

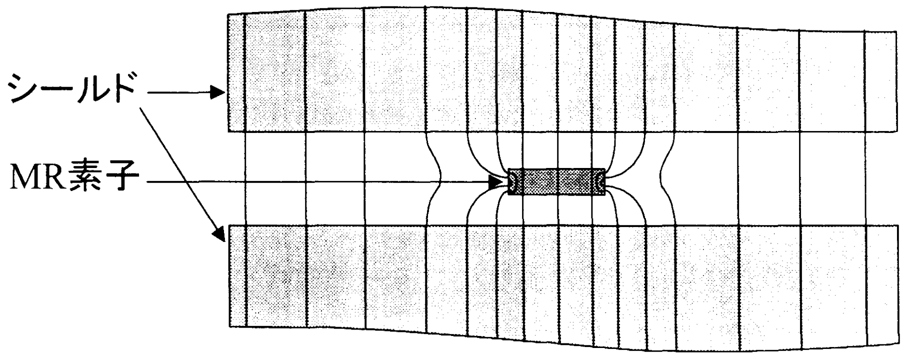

Fig. 3.19　ベクトルポテンシャル図.

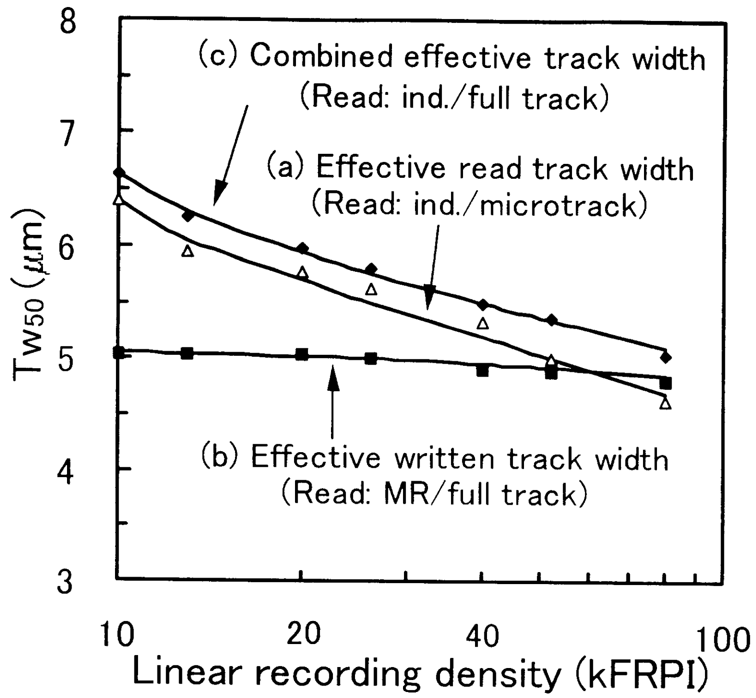

Fig. 3.20　各 Tw_{50} の線密度依存性.

3.4節　結言

本章では実効トラック幅の線密度依存性をディスクを用いた実験により示した. また, オフトラック特性において, 相乗されて現れる記録にじみと再生にじみの影響を分離し, それらの線密度依存性を明らかにした. その結果, 以下のことが明らかとなった.

(1) 実効トラック幅は線密度によって異なり, 線密度が高くなると実効トラック幅は狭くなる.

(2) 記録にじみは, ビット長が記録ギャップ長の約 1.3 倍以上（本研究では, 約 80 kFRPI 以下の線密度）ではほぼ一定である.

(3) 薄膜ヘッドの再生にじみは線密度が低いほど大きく線密度が高くなるにしたがって小さくなる.

(4) シールド型 MR ヘッドの再生にじみは，比較的低線密度の場合には線密度に依らず一定である.