薄膜磁気ヘッドの記録再生特性に及ぼすトラック端部漏れ磁界の影響

Effect of Side-Fringing Field on Read-Write Characteristics for Thin Film Magnetic Heads

岩倉忠幸・宮本詔文・田辺正則・相原 誠・福井 宏・大津孝佳*

(株)日立製作所日立研究所, 日立市久慈町 4026 (☎319-12)

* (株)日立製作所小田原工場, 小田原市国府津 2880 (☎256)

T. Iwakura, N. Miyamoto, M. Tanabe, M. Aihara, H. Fukui and T. Otsu*

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd., 4026, Kuji-cho, Hitachi, Ibaraki 319-12

*Odawara Works, Hitachi, Ltd., 2880, Kozu, Odawara, Kanagawa 256

Side-fringing fields of thin film heads were studied with three dimensional simulation. Readback signals were calculated by the principle of reciprocity. Outputs as a function of linear density were calculated by superposition of isolated pulses. The three dimensional calculation of isolated pulses, off-tracks and outputs as a function of linear density, correspond to these measurements. From the calculations and measurements, the effect of side-fringing field appears in isolated pulses of narrow track heads. It was found that asymmetry of isolated pulses results from the effect of side-fringing field. By narrowing the track width, the effect of side-fringing fields increases. Readback pulses from the outside of the track are broader than ones on the track center and therefore resolutions of narrow track heads decrease.

Key words: magnetic recording, thin film head, narrow track head, side-fringing field, three dimensional simulation

1. はじめに

磁気ディスク装置のトラック密度の向上に伴い狭トラック化が進むと、磁気ヘッドのポール長に対するトラック幅の比率が小さくなるため、磁極のトラック端部での漏れ磁界の記録再生特性に対する影響が大きくなると考えられる。このトラック端部での漏れ磁界の効果を数値計算により検討するには、長手方向・媒体厚み方向だけでなく、トラック幅方向をも加えた3次元解析¹⁾が必要となる。3次元数値計算による、“記録にじみ・クロストーク”の検討が、岸上ら²⁾や森川ら³⁾によってすでに報告されている。

狭トラック幅の薄膜磁気ヘッドの再生波形は、2次元数値計算では説明できない非対称性を示しており、その原因はトラック端部での漏れ磁界の非対称効果によるも

のと推定される。そこで、再生波形に現れるトラック端部での漏れ磁界の影響について、実測および数値計算により検討した。

2. 数値計算方法

磁極のトラック端部の漏れ磁界により、記録磁化領域の幅がトラック幅よりも広くなる記録にじみを生ずる。この効果を考慮するために用いた関数近似による記録媒体の磁化分布のモデルを Fig. 1 に示す。3次元有限要素法 (TOSCA)^{4), 5)} によって薄膜磁気ヘッドが作る磁界分布を計算し、磁界強度の長手方向成分 H_x が記録媒体の保磁力 H_c と等しくなる^{6), 7)}等磁界曲面を求める。記録媒体位置での、この等磁界曲面形状を記録媒体の磁化反転位置 X_0 とする。記録媒体内の磁化分布は、磁化反転位置 X_0 から長手方向に双曲正接関数で与える。記録媒体磁化は長手方向成分のみを考える。この記録媒体磁化分布モデルにより、磁気ヘッドの書き込み能力に対応した記録にじみの効果を取り入れることができる。

再生電圧は磁気ヘッドが線形動作する弱電流における磁界分布と記録媒体磁化分布から相反定理により求めた。また再生出力の記録密度特性は孤立再生波形の重畳

Fig. 1 Schematic diagram of reproducing process.

Fig. 2 Comparison between the calculated and measured isolated pulses.

により求めた。

3. 再生波形に現れるトラック端部漏れ磁界の影響

3.1 孤立再生波形

パーマロイ薄膜磁気ヘッド・塗布媒体での孤立再生波形の実測値と計算値の比較を Fig. 2 に示す。磁気ヘッドはポール長 $6.6\mu\text{m}$ 、トラック幅 $12.2\mu\text{m}$ であり、下部磁極幅は上部磁極幅より $4.6\mu\text{m}$ 広い。記録媒体の膜厚は、 $0.3\mu\text{m}$ 、磁気ヘッド・記録媒体間のスペーシングは $0.3\mu\text{m}$ である。また、数値計算における磁化反転係数は波形半値幅が実測値と一致する値に選んだ。

実線で示した実測値は、点線で示した記録にじみを考慮しない 2 次元的な数値計算による再生波形と異なる傾向を示す。実測の再生波形はアンダーシュートのリーディング側とトレーリング側での非対称が大きく、トレーリング側での波形の裾野部分の出力値が大きい。このような傾向は、上部磁極幅と下部磁極幅の差が大きい磁気ヘッドでは、顕著に現れる。一方、破線で示した記録にじみを考慮した 3 次元数値計算による再生波形は、実測値と良い一致を示す。したがって、狭トラック幅の磁気ヘッドの再生波形にはトラック端部の漏れ磁界の影響が現れていることが分かる。

3.2 再生波形のトラック端部成分

トラック端部の漏れ磁界の効果が再生波形全体にどのような影響を与えているかを検討するために、オフトラック特性を用いて再生波形のトラック端部成分を分離することを試みた。Fig. 3 に再生波形のトラック端部成分の分離方法を示す。オフトラック量が小さい時は記録にじみのために再生出力の減少は緩慢である。オフトラック量が増すと再生出力は直線的な減少傾向を示す。再生出力が直線的な減少傾向を示す範囲内のオフトラック $\Delta T_1\mu\text{m}$ の再生波形とオフトラック $\Delta T_2\mu\text{m}$ の再生波形の差から、磁気ヘッドのトラック中央部分（幅 $\Delta T_1 - \Delta T_2\mu\text{m}$ ）で読み出す再生波形を求める。この再生波形

Fig. 3 Off-track characteristics.

Fig. 4 Isolated pulse shape (total output) and outputs from the inside and outside of track.

のトラック中央成分のトラック幅分をオントラック時の再生波形から引くことにより、再生波形のトラック端部成分を分離することができる。再生出力のオフトラック特性の実測値と計算値は良い一致を示しているの、再生波形のトラック端部成分の分離を数値計算でも同様に行い実測値の結果と比較する。

Fig. 4 に再生波形のトラック端部成分を示す。ここで磁気ヘッドはポール長 $5.3\mu\text{m}$ 、トラック幅 $12.0\mu\text{m}$ 、上部下部磁極幅の差は $4.9\mu\text{m}$ である。再生波形には波打ちが生じている。再生波形は磁気ディスク上の同一位置の磁化反転からの出力を平均化している。このため磁気ヘッドからのランダムなノイズは無視できるので、記録媒体の磁性粒子の不均一、磁性層表面の粗さなどによる再生出力の揺らぎによって波形に波打ちが生じるものと考えられる。トラック端部成分は出力が低いノイズの波打ちが強くでているが、トレーリング側での出力が高くなる著しい非対称性を示し、数値計算結果とも良く一致した傾向を示す。この結果から、Fig. 2 の孤立再生波形の実測値で見られたアンダーシュートの大きさの非対称性およびトレーリング側で裾野の出力の高さが、トラック端部成分の影響として説明できる。このように再

Fig. 5 Outputs as a function of density.

Fig. 6 Pole shapes on air-bearing surface of slider.

生波形のトラック端部成分は、トラック中央成分に比べて著しい非対称性を示し、再生波形全体に影響を与えていることが実測および数値計算より裏付けられた。

3.3 記録密度特性

ところで、Fig. 4 から分かるようにトラック端部成分は、波形が非常に幅広であるという特徴が見られる。このトラック端部成分のために、再生波形全体の半値幅はトラック中央成分の半値幅よりも広がっている。したがって、幅広なトラック端部成分のために再生出力の記録密度特性の低下が予測される。

Fig. 5 に再生出力の線記録密度特性を示す。再生波形のトラック端部成分は記録密度特性が悪いため、再生出力全体への寄与は線記録密度 30 kFCI 程度になるとなくなってしまう。このことはトラック端部の漏れ磁界の効果が大きくなると、高記録密度での再生出力の低下率が增大することを意味する。再生出力の記録密度特性は、実測値と計算値で良い一致を示している。そこで次章では、トラック幅が狭くなりトラック端部の漏れ磁界の効果の相対的寄与が大きくなることの影響を、数値計算によって低記録密度と高記録密度での再生出力の比で検討する。

Table 1 Constants for the calculations

Head	Medium
$I = 0.5$ A T	$H_c = 700$ Oe
$B_s = 1.0$ T	$\delta = 0.3$ μm
$\mu_r = 1000$	$a = 0.28$ μm
Read/Write	
$d = 0.2$ μm

Fig. 7 Resolution versus track width with different pole lengths.

4. 分解能のトラック幅依存性

4.1 磁気ヘッドの計算モデル

Fig. 6 にトラック端部の漏れ磁界の再生特性への影響を検討した磁気ヘッド浮上形状を示す。磁極のポール長 P_t が 4, 5, 6 μm およびポール長が 4 μm で上部下部磁極幅の差 (片側) ΔT_w が 1, 2 μm の場合について数値計算を行った。ここで、ギャップ長は一定および上部磁性膜厚と下部磁性膜厚の比は、1.5 で一定である。記録再生の数値計算条件を Table 1 にまとめて示す。

4.2 分解能のトラック幅依存性

トラック端部の漏れ磁界の再生特性への影響を低記録密度と高記録密度での再生出力の比 (以下、分解能と呼ぶ) で検討する。Fig. 7 にポール長をパラメータにした分解能のトラック幅依存性を示す。トラック幅が狭くなると、分解能は低下する。トラック幅が 15 μm から 3 μm まで狭くなった時の分解能の低下率は、ポール長 P_t が 4, 5, 6 μm でそれぞれ 2.4, 3.7, 3.8% である。ポール長が厚くなると分解能の低下率が大きく変化する傾向がある。ポール長によって分解能が大きく変化するの、記録密度特性のうねりのためである。

Fig. 8 に上部下部磁極幅の差 (片側) ΔT_w をパラメータにした分解能のトラック幅依存性を示す。ここでポール長は 4 μm である。トラック幅が狭くなると、分解能

Fig. 8 Resolution versus track width with differences of top and bottom pole widths.

は低下する。トラック幅が $15\mu\text{m}$ から $3\mu\text{m}$ まで狭くなった時の分解能の低下率は、 ΔT_w が 0 のときの 2.4% に対し、 ΔT_w が $2\mu\text{m}$ になると 4.8% と倍になる。 ΔT_w が大きくなると分解能の低下率が大きくなる傾向がある。トラック幅が狭くなりトラック端部の漏れ磁界の効果が増大すると、再生出力の記録密度特性が悪くなり分解能が低下する。また、狭トラック幅での分解能の低下率は、ポール長が厚い（ポール長に対するトラック幅の比が小さくなる）磁気ヘッド浮上面形状や、上部下部磁極幅の差が大きい（再生波形のトラック端部成分の非対称性が著しい）形状ほど大きくなる。

5. まとめ

記録媒体の磁化反転を関数で近似する簡略なモデルを用いた 3 次元記録再生計算値と実測値は良く一致した。3 次元計算により、狭トラック磁気ヘッドで再生波形に表れる波形の非対称性は、トラック端部の漏れ磁界の効果に起因することを見いだした。

トラック幅が狭くなるとトラック端部の漏れ磁界の効果が大きくなり分解能が低下する。また、この傾向はポール長が厚く、上部下部磁極幅の差が大きいほど大きくなる。

謝 辞 本研究を推進するに当たりご指導・ご協力いただいた(株)日立製作所・小田原工場の川上寛児氏、辻義一氏、斎藤翼生氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) I. A. Beardsley: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-22**, 361 (1986).
- 2) 岸上, 三日月, 越本: 電子情報通信学会技術研究報告, MR85-22, p. 1 (1985).
- 3) 森川, 大土井, 堀端: 電子情報通信学会技術研究報告, MR89-8, p. 9 (1989).
- 4) J. Simkin and C. W. Trowbridge: *IEE Proc.*, **127**, 368 (1980).
- 5) Vector Field Ltd.: TOSCA Reference Manual (1988).
- 6) 市山義和: 電子情報通信学会技術研究報告, MR76-31 (1976).
- 7) Y. Ichiyama: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-11**, 1203 (1975).

1990 年 1 月 5 日受理, 1990 年 3 月 13 日採録