ヒステリシスループ形状の高記録密度特性への影響

Effects of Hysteresis Loop Shape on High-Density Recording Characteristics

橋本敏朗・平田信之・西本幸三*

日本電気(株)周辺装置事業部, 府中市

*日本電気(株)基盤技術研究所, 川崎市

T. Hashimoto, N. Hirata and K. Nishimoto*

Peripheral Equipment Div., Nippon Electric Company, Ltd., Tokyo

*Basic Technology Research Labs., Nippon Electric Company, Ltd., Kawasaki

Effects of hysteresis loop shape on recording density characteristics have been examined for particulate coated disk media. High-density recording characteristics have been evaluated with experiments and computer simulations. Potter and Schmulian's method is applied to computer simulations, except that media $M-H$ loop formulation is modified to get better fits to measured loops. Following results were obtained. For media with 0.76 to 0.81 squarenesses $S(\equiv B_r/B_s)$, the difference in coercive squareness S^* ranging 0.67 to 0.72 gives no significant effects on their recording density characteristics. However, in case of remarkably different 2nd quadrant $M-H$ loop media, for example 0.72S, 0.78S* and 0.81S, 0.65S*, the former larger S^* media is superior to the latter higher S media.

1. ま え が き

磁気記録における高密度化は、記録媒体の高抗磁化力と角形性の向上に負うところが大きい。特に角形性の向上は、配向性に優れた針状磁性酸化鉄粉の開発と配向技術の採用とが相俟って、媒体の記録特性を飛躍的に向上させた。デジタル記録に着目すると、角形性向上は単に残留磁束密度 B_r の増大による再生出力の上昇のみならず、磁化遷移長が短くなることから、出力が孤立波出力の $1/2$ になる記録密度 D_{50} が増大し、その結果、分解能を増大させることにつながる。

角形性を表わすパラメータとして $S(\equiv B_r/B_s)$ 、 S^* (coercive squareness)、SFD (switching field distribution) がある。これらは、媒体ヒステリシスループの一部分を断片的に定量的表現するものであるが、実際の記録過程においては、ループの第2象限における連続的な形状が問題となる。媒体特性と記録特性の関係については過去に多くの報告があるが、いずれも磁性塗膜が比較的厚いテープ媒体であったり²⁾、上記パラメータのみを取り扱った報告³⁾であり、厳密なループ形状と記録特性の関係

については報告の例がない。

以上の観点から、本論文は塗膜厚が $1\mu\text{m}$ 以下の高抗磁力磁気ディスク媒体について、ヒステリシスループ形状が記録密度特性に与える影響を、実験および媒体の実測ループを精度よく表現できるループモデルを用いた self-consistent 法計算とから検討したものである。

2. 実 験

形状が異なるヒステリシスループを有する媒体の記録密度を検討するために、Table 1 に示す磁気特性のディスク媒体を用いた。ここで、パラメータ R 、 S_{11} 、 S_{12} 、 S_2 はループ形状を精度よく表わすための補助的パラメータである⁴⁾。ディスク媒体 Co-A-1 は Co 被着 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 酸化鉄を、Co-B-1、Co-B-2 は Co ドープペルトリッド酸化鉄を用いており、針状比はいずれも 8 : 1 である。記録密度特性の測定は、ギャップ長 g_L ; $0.85\mu\text{m}$ 、トラック幅 T_w ; $21\mu\text{m}$ 、コイル巻数 N ; 12+12ターン、浮上量 d ; $0.2\mu\text{m}$ なる Mn-Zn フェライトモノリシックヘッドを用いて、ディスク周速 25.4 m/s にて行なった。また、再生回路の周波数特性は、ヘッド負荷を含めて 10 MHz

Table 1

Magnetic properties, and parameter's values fitted for measured $M-H$ curves.

Disk	H_c (Oe)	B_r (G)	S	S^*	SFD	Parameters' values			
						R	S_{11}	S_{12}	S_2
Co-A-1	700	760	0.81	0.67	0.50	0.4	0.52	0.99990	0.99
Co-B-1	740	830	0.76	0.72	0.43	0.5	0.52	0.99990	0.99
Co-B-2	730	780	0.72	0.70	0.47	0.6	0.53	0.99900	0.95

Fig. 2
Relation between critical recording density D_{50} and half value width W_{50} .

までフラットであり、3 dB 低下点は 18 MHz であった。

Fig. 1 は、塗膜厚さ δ に対する D_{50} の関係を示す。 D_{50} は、測定を行なった δ が $0.6 \sim 1.15 \mu\text{m}$ の全範囲にわたり Co-A-1 媒体が大きな値を示し、Co-B-1, Co-B-2 の順に小さくなる。理論値は、後述のシミュレーションによる再生孤立波の半値幅 W_{50} と (2) 式から計算を行なった。**Fig. 2** は、 W_{50} の逆数と D_{50} の関係を示す。波形の $\tan^{-1}$ 近似による重ね合せでは

$$D_{50} = 1390/W_{50} \quad (1)$$

となるが⁵⁾、**Fig. 2** より明らかなように、実験では $1/W_{50}$ が大きくなるに従い

$$D_{50} = 1410/W_{50} \quad (2)$$

の関係を示すようになり、以下に議論する δ が $0.7 \mu\text{m}$ より小さい場合については本式で十分に表現できることがわかる。

一方、 $1/W_{50}$ が小さい領域、すなわち δ が大きな領域では、 D_{50} は (1), (2) 式で示される関係よりも大きな値が得られる。これは、上式が磁性層の深部まで理想的に記録磁化される孤立波との関係であり、ピット長が短くなる高密度記録では磁性層深部まで均一に磁化されなく、実際の記録再生に寄与する実効膜厚は δ よりも小さいことによるものと考えられる。

3. 計算

実験に使用した各ディスク媒体は、 H_c , B_r がわずかに異なっており、ヒステリシスループ形状の差異のみが D_{50} に与える影響を知るには、シミュレーション手法によらなければならない。われわれは、その手法として Potter と Schmulian による self-consistent 計算法⁶⁾ を適用した。ただし、媒体の $M-H$ ループモデルについて

Fig. 1

Critical recording density D_{50} versus film thickness δ .

Fig. 3 Experimental and formulated $M-H$ loops for disk media listed in Table 1.

は、実測ループとよく合うように Potter と Schmulian によるものを改良したモデルを用いた⁴⁾。実験に用いた媒体の本モデルにおけるパラメータ S , R , S_{11} , S_{12} , S_2 は Table 1 に示す通りである。また、実測ループと本モデルによるループの比較を **Fig. 3** に示す。

以上の計算法を用いて孤立遷移磁化分布、および孤立波形の計算を行ない、その半値幅 W_{50} から (2) 式によっ

Fig. 4 Computed isolated transition and normalized output waveform.

て D_{50} を求めた。Fig. 4 は、 δ が $0.65 \mu\text{m}$ なる媒体の計算による孤立遷移磁化分布と孤立波形であり、比較のために実測した孤立波形も示した。また、Table 2 に W_{50} と D_{50} の計算値と実測値を対応させて示す。各媒体ともおおむね一致しており、特に Co-A-1 媒体においては非常によい一致を示している。Co-B-1, Co-B-2 媒体において、 D_{50} は実測値の方が大きい値を示すが、これは Fig. 4 (b), (c) より明かなように孤立波形の裾幅が狭いことによるものである。

ループ形状の差異のみを知るために、各媒体の H_c ; 700 Oe, B_r ; 760 G を一定にして同様の計算を行なった。その結果を Table 2 に示す。Co-B-2 媒体の D_{50} は、Co-A-1, Co-B-1 に比べるとわずかに小さな値を示しているが、前述の Co-B-1, Co-B-2 の計算値と実測値の差を考慮するとほとんど差がないといえる。

4. 検 討

以上、 δ が比較的小さい場合において、本シミュレーション結果は、実験結果とよい一致を示すことから、

Fig. 5 Experimental and formulated $M-H$ loops for media used in computer simulations.

Disk	H_c, B_r listed in Table 1				fixed $H_c=700$ Oe, $B_r=760$ G	
	experimental		theoretical		theoretical	
	W_{50} (μm)	D_{50} (bpm)	W_{50} (μm)	D_{50} (bpm)	W_{50} (μm)	D_{50} (bpm)
Co-A-1	1.80	790	1.78	792	1.78	792
Co-B-1	1.82	782	1.88	750	1.80	783
Co-B-2	1.85	770	1.91	738	1.85	762

Table 2

Comparison of experimental and theoretical recording densities.

Table 3 Parameter's values of $M-H$ curves used in theoretical estimate.

Media	H_c (Oe)	B_r (G)	S	S^*	SFD	Parameters' values			
						R	S_{11}	S_{12}	S_2
C-1	700	760	0.81	0.65	0.56	0.3	0.37	0.99500	0.990
C-2	700	760	0.72	0.78	0.31	0.5	0.44	0.99999	0.995

Table 3 に示すヒステリシスループ形状が極端に異なる場合について、ビデオテープ媒体のループを用いて検討を行なった。C-1 媒体は Co 被着 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 酸化鉄、C-2 は Co ドープベロトライト酸化鉄を使用したものである。Fig. 5 に実測ループと本ループモデルを示す。 H_c ; 700 Oe, B_r ; 760 G, δ ; $0.65 \mu\text{m}$ として前述と同様の計算を行なった結果、 D_{50} は C-1 媒体で 783 bpm, C-2 で 829 bpm となる。したがって、ループ形状にこの程度の差異があれば、角形比 S が大きい C-1 媒体より S^* の大きい、すなわち H_c 近傍でのループの傾斜が急峻な C-2 媒体の方が大きな D_{50} が得られることがわかる。

Fig. 6 Normalized output V_{out} versus recording density characteristics for media listed in Table 1 (experimental).

Fig. 6 は、Table 1 に示した各媒体の記録密度特性の測定結果を示す。出力は孤立波出力で規格化されている。 S の大きな Co-A-1 媒体は、孤立遷移記録から 300 bpm まで一定の出力が得られるが、 S の小さな Co-B-1, Co-B-2 媒体では 150 bpm から出力低下が始まる。これは、Fig. 3(a)～(c)に示した $M-H$ ループの第 2 象限からも明らかなように、反磁界係数が一定の場合、低記録密度領域では減磁による残留磁束の減衰量が Co-A-1 媒体では小さく、Co-B-1, Co-B-2 では大きいことによるものと考えられる。

5. ま と め

実際のヒステリシスループ形状をよく表現できるループモデルを用いたシミュレーションによる計算と実験により、種々のループ形状を有する磁気ディスク媒体の高

記録密度特性の検討を行なった。その結果、 $0.76 \sim 0.81$ の角形比 S をもつ媒体では、 $0.67 \sim 0.72$ の S^* の差は記録密度にほとんど影響を与えない。しかし、 $S=0.76$, $S^*=0.78$ と $S=0.81$, $S^*=0.65$ なる媒体のようにループ形状が極端に異なる一例の比較では、前者の S^* が大きな媒体が D_{50} において、45 bpm 優れているという結果が得られた。

S^* は酸化鉄粉の製法、種類によって変わる他に、同一の酸化鉄に着目すれば、一般的には、磁気配向法の改善による角形比 S の向上に伴い大きくなるのが普通である。ディスク媒体の配向技術の改善も含め、さらに S , S^* と高記録密度特性の関係の系統だった検討については、今後の課題とし別の機会に報告したい。

本研究の遂行と発表の機会を与えていただいた当社周辺装置事業部第一技術部の岸上課長ならびに当社基盤技術研究所記憶研究部の古尾谷部長に深謝いたします。

〔参考文献〕

- 1) 橋本：昭和54年度電子通信学会総合全国大会講演論文集，1-246 (1979)。
- 2) 鈴木，岩崎：電子通信学会磁気記録研究会，MR68-33 (1969)。
- 3) 石田，浜田，小川，小川：第1回日本応用磁気学会学術講演論文集，69 (1977)。
- 4) 西本，永尾：電子通信学会磁気記録研究会，MR75-18 (1975)。
- 5) R. L. Comstock *et al.*: IBM J. Res. & Dev., **18**, 556 (1974)。
- 6) R. I. Potter *et al.*: IEEE Trans. Magn., **MAG-7**, 873 (1971)。