

# 未飽和形デジタル磁気記録の諸特性

田口雅一\*・西川正明\*\*

## The Characteristics of Unsaturated Digital Magnetic Recording

Masakazu TAGUCHI and Masaaki NISHIKAWA

### Abstract

This paper describes the recording characteristics, including the performances of recording density and over-write erase ratio, in unsaturated digital magnetic recording. The effects of the medium thickness  $\delta$  and the gap length  $g_w$  of a write head are particularly noticed.

The experimental results can be summarized as follows:

- (1) In general, half amplitude density  $D_{50}$  increases with decreasing write level  $K$ ; however, an irregularity resulted from the gap effect of a write head appears in excessively decreased regions of  $K$  ( $K \leq 0.5$ ).
- (2) The dependency of  $D_{50}$  on  $\delta$  becomes less with decreasing  $K$ . The value of  $D_{50}$  in which the same value of read output is obtained is approximately independent of the medium thickness  $\delta$  in the range of  $K \leq 1$ . The dependency of  $D_{50}$  on  $g_w$  is relatively small.
- (3) In general, over-write erase ratio decreases with decreasing  $K$ . The value of over-write erase ratio is hardly related to the  $\delta/g_w$  ratio; however, if the value of  $\delta/g_w$  becomes as small as 0.5, for example, over-write erase ratio becomes improved.

### 1. まえがき

デジタル磁気記録における高記録化の一方法として、記録レベルを媒体の未飽和域にとる未飽和形デジタル磁気記録の検討を行った。未飽和形記録は飽和形に比べ磁化反転幅が減少して記録密度特性が向上することはよく知られている。しかし記録密度向上に反し、オーバーライト消去特性の劣化や記録の安定度の劣化があったり、記録ヘッドギャップ効果として知られる密度特性の波打ち現象を生じたりして実用上問題が多く、これらの全体を踏まえた総合的な検討はこれまで十分なされていとは言えない。そこで本報告では、媒体及び記録ヘッドの各種パラメータに対する未飽和形デジタル磁気記録特性を実験的に幅広く把握し、未飽和形記録の実用設計においての資料と指針を与えることを目的に論じる。

### 2. 実験装置

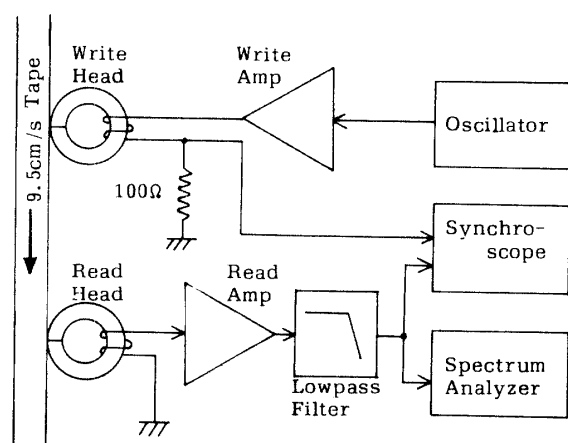


Fig. 1 Block diagram of experimental circuit.

本実験に用いた測定回路をFig. 1に示す。記録系回路について、記録電流は、オシレータにより矩形波を発生させ記録アンプで増幅し、記録ヘッドへ供給する。その際記録アンプの出力端子に直列に接続された

\*大学院 電気工学専攻

\*\*電気工学科

100Ω 観測用抵抗間をシンクロスコープにより測定し記録電流振幅  $I_w$  を測定した。再生系回路について、再生アンプは、十分線形性の成立する範囲内で使用した。また低記録電流なのでノイズの影響が多分にあるため再生出力波形に影響が及ばぬよう5次系パタワース形ローパスフィルタを使用した。

媒体走行機構には、市販の6.35mm幅のオープンリールデッキをテープ速度 9.5cm/s で使用した。記録供試媒体及び記録・再生ヘッドの諸元を Table 1 及び、Table 2 に示す。記録供試媒体は、実験に先立ちバルク消磁を行った。なお測定は、巻き戻し再生減磁の影響を除くため記録同時再生方式で行った。

Table 1 Magnetic characteristics of experimental medium.

Tape	A	B	C
Type	3M-290	3M-S800	TDK-T555
Tape thickness ( $\mu\text{m}$ )	17.1	46.2	35.0
Coating thickness $\delta$ ( $\mu\text{m}$ )	4.4	8.1	13.0
Retentivity Br(Gauss)	960	985	1100
Coercive force Hc ( $\text{Oe}$ )	265	285	320
Br/ Hc	3.62	3.45	3.44

Table 2 Characteristics of experimental heads.

Write head	a	b	c
Gap length $g_w$ ( $\mu\text{m}$ )	2.03	4.28	8.1
PS current* (mA)	4.0	5.5	9.0
Impedance ( $\Omega$ )	71	75	86
Core material	Ni-Zn ferrite		
Read head gap length	2.0 $\mu\text{m}$ (Permalloy)		

\* PS current: Pole tip saturation current

### 3. 実験方法

記録電流波形及び再生電圧波形を Fig. 2 に示す。Fig. 2 に示すように記録電流  $I_w$ 、記録密度  $D_w$ 、再生電圧  $E$  及び再生パルス半値幅  $W_{50}$  を定義する。実験は、孤立波特性、記録密度特性及びオーバーライト消去特性について行った。

#### 3.1 孤立波特性

各テープ及び記録ヘッドに対する飽和記録電流  $I_s$  を知る目的で、記録密度が十分低い ( $D_w=4.0 \text{ FR/mm}$ ) 状態で再生電圧波形の  $E$  及び  $W_{50}$  を孤立波特性として測定した。

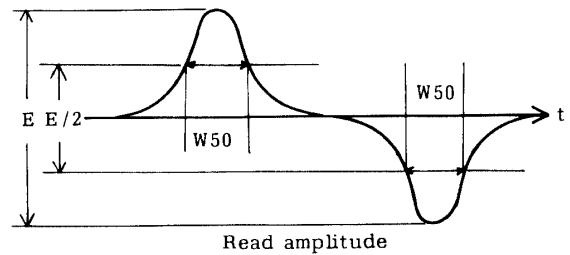
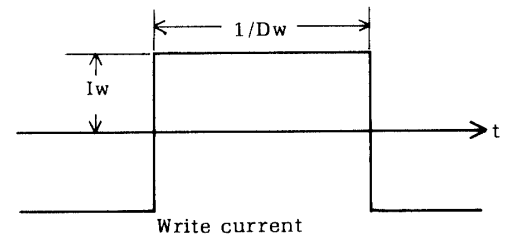


Fig. 2 Waveform of write current and read amplitude.

#### 3.2 記録密度特性

先に述べたとおり未飽和領域の記録において記録密度が向上するのは公知である。ここでは  $I_w$  の変化に対する  $D_w$  を、媒体厚  $\delta$  及び記録ヘッドギャップ長  $g_w$  をパラメータとして測定した。記録密度向上の判断目安として、Fig. 3 に示すように孤立再生波形の再生電圧  $E_0$  の半値  $E_0/2$  を与える  $D_w$  を半値記録密度  $D_{50}$  と定義して用いた。

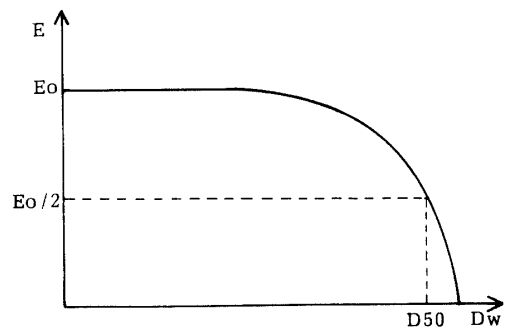


Fig. 3 A definition of Half write density  $D_{50}$ .

#### 3.3 オーバーライト消去特性

オーバーライト消去特性として本実験では、実用設計条件を目的とすることから、一般に用いられている二周波法を使用した。記録密度特性より得られた  $D_{50}$  の周波数を二次記録周波数  $f_2$  とし、 $D_{50}/2$  の周波数を一次記録周波数  $f_1$  とした。実験は、 $f_1$  の信号で記録した後同じ  $I_w$  の  $f_2$  の信号でオーバーライト（重ね書き）を行い、スペクトルアナライザーを用いて  $f_1$  の残留再

生信号成分  $1F'$  及び  $f_2$  の再生信号成分  $2F$  を測定した。得られた  $1F'$  と  $2F$  の成分から、オーバーライト消去率を  $1F' / 2F$  として求めた。

#### 4. 実験結果及び検討

ここでは孤立波特性、記録密度特性及びオーバーライト消去特性について得られた結果を示し、それらを基に未飽和形デジタル磁気記録の設計条件及び指針を考察する。

##### 4.1 孤立波特性

孤立波特性の代表例としてテープ A (媒体厚  $\delta=4.4\mu\text{m}$ )、記録ヘッドギャップ長  $gw=8.1\mu\text{m}$  の場合の記録電流  $I_w$  と再生電圧  $E$  の関係を Fig. 4 に示す。孤立波特性において  $E$  が最大値 (飽和再生電圧  $E_s$ ) を得る  $I_w$  を飽和記録電流  $I_s$  とし、飽和度 (Write level または Equalizing rate)  $K$  を

$$K = I_w / I_s$$

と定義する。以下  $I_w$  を  $K$  で規格し論じる。

各  $\delta$  と  $gw$  の組み合わせによる孤立波特性をまとめてそれぞれの  $I_s$  と  $E_s$  を Table 3 に示す。  $K$  に対する  $E$  の変化は、どの組み合わせについても Fig. 4 と同様な傾向を示した。

また  $K$  に対する再生パルス半値幅  $W_{50}$  の特性を Fig. 5 に示す。 Fig. 5 上の PS はヘッドのポールチップ飽和を示し、これより右の範囲はポールチップ飽和の影響を受けていることに注意する必要がある。未飽和領域である  $K \leq 1$  の範囲に注目すると、  $W_{50}$  はこの範囲でほぼ  $K$  に比例しており、  $K$  を小さくすると  $W_{50}$  が小さくなることが確認できた。しかし  $K$  を小さくしすぎると  $W_{50}$  は反って増加している。この増加は未飽和形記録において現われる記録ヘッドギャップ効果による現象として既に公知である。)

Table 3 Saturation current  $I_s$  and saturation voltage  $E_s$  for various combinations of heads and medium.

Tape	Write head	a	b	c
		$gw=2.03\mu\text{m}$	$gw=4.28\mu\text{m}$	$gw=8.1\mu\text{m}$
A	$I_s$ (mA)	2.4	2.6	3.6
	$E_s$ (mV)	21.5	21.0	21.5
B	$I_s$ (mA)	3.4	3.4	4.0
	$E_s$ (mV)	26.0	27.0	26.0
C	$I_s$ (mA)	4.0	3.6	4.0
	$E_s$ (mV)	30.0	32.0	31.0

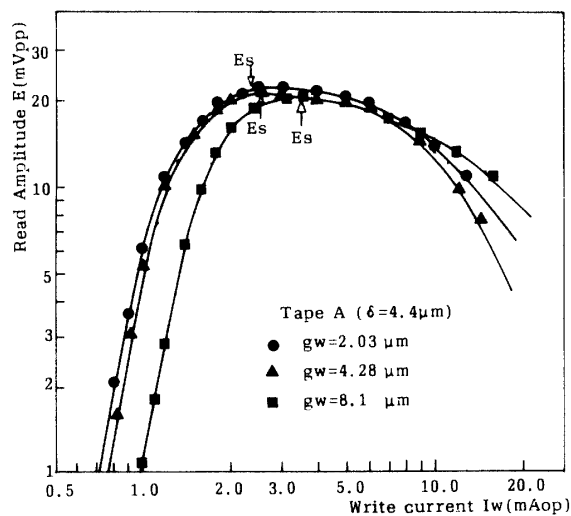


Fig. 4 Read amplitude  $E$  versus write current  $I_w$  for Tape A ( $\delta=4.4\mu\text{m}$ ) at Half write density  $D_{50}=4.0\text{FR}/\text{mm}$ .

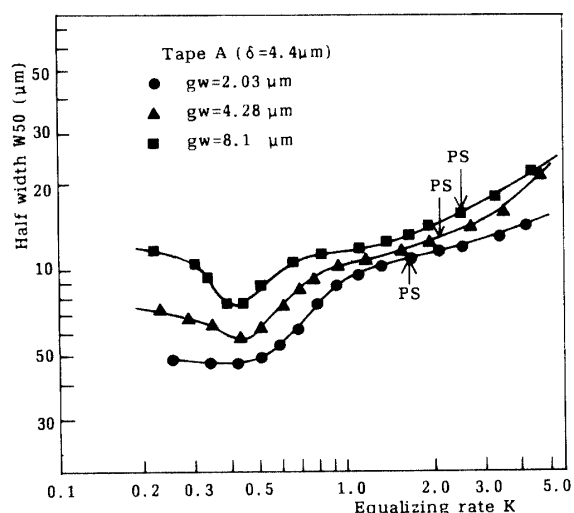


Fig. 5 Half width  $W_{50}$  versus Equalizing rate  $K$  for Tape A ( $\delta=8.1\mu\text{m}$ ).

#### 4.2 記録密度特性

##### 4.2.1 飽和度 $K$ に対する記録密度特性

$K \leq 1$  の範囲を中心に  $\delta$  をパラメータとして  $K$  に対する  $D_{50}$  の特性を Fig. 6 に示す。  $K$  をある程度以下に小さくする ( $K \leq 0.5$ ) と、実際の密度特性には記録ヘッドギャップ効果による Fig. 7 のような波打ち現象が現われるので、これから  $D_{50}$  を機械的に求めるとプロット点は不連続となる。ここでは記録ヘッドギャップ効果を除いて検討するため密度特性を Fig. 7 の点線のように補正して  $D_{50}$  を求めた。 Fig. 6 中において波打ち現

象が現われたKに対して無補正の $D_{50}$ を白ぬきマーク、補正した $D_{50}$ を黒塗りマークでプロットしてある。

Fig. 6 からわかるように $D_{50}$ はKの減少とともに全般的に増加する。また、 $D_{50}$ の $\delta$ 依存性は $K > 1$ の領域では大きい、 $K \leq 1$ の領域ではKの減少とともに少なくなることがわかる。

Fig. 6 には、 $gw=8.1\mu\text{m}$ の場合について示したが、 $gw$ を変えた場合 ( $gw=4.28\mu\text{m}$ 、 $gw=2.03\mu\text{m}$ ) も $\delta$ に対して同様な傾向を示した。

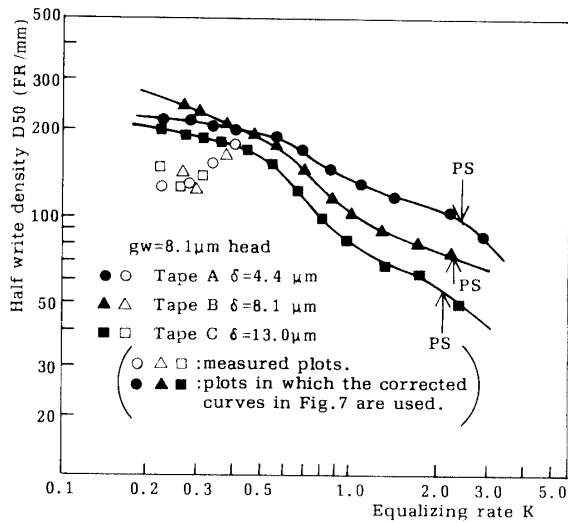


Fig. 6 Half write density  $D_{50}$  versus Equalizing rate K for  $8.1\mu\text{m}$  gap head.

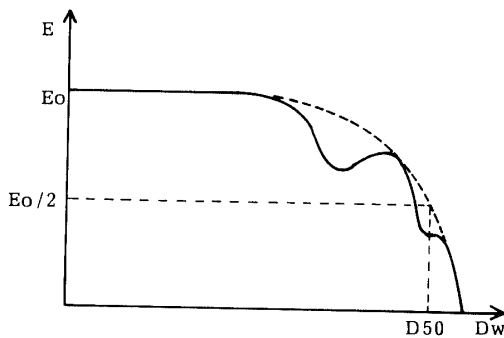


Fig. 7 A definition Half write density  $D_{50}$  with the head gap effect.

#### 4.2.2 同一再生電圧が得られる $D_{50}$ の比較

孤立再生波の $E_s$ は、媒体の最大残留磁束密度 $Br$ に最も大きく依存することが知られているが、高密度記録の立場では、 $Br$ をほぼ同じにして $\delta$ を変えた場合、同一再生電圧が得られる $D_{50}$ の値が $\delta$ に対してどのような

関係を示すかを検討してみる必要がある。この観点からFig. 6の記録密度特性上に等再生振幅点をプロットしたものがFig. 8である。Fig. 8において、 $E=21.5\text{mV}_{p-p}$ はテープAが飽和する場合の再生電圧(Table 3参照)で、この時 $\delta$ がテープAよりも厚いテープB・Cは未飽和である。また $E=26.0\text{V}_{p-p}$ はテープBが飽和する場合の再生電圧で、この時 $\delta$ が、テープBよりも厚いテープCは未飽和である。そして $E=18.0\text{mV}_{p-p}$ の時は、テープA、B、Cともに未飽和である。Fig. 8から同一再生電圧を示すような $D_{50}$ は、未飽和領域では $Br$ が等しい限り $\delta$ に関わらずほぼ等しくなることがわかる。 $gw$ を変えた場合も同様な傾向を示した。

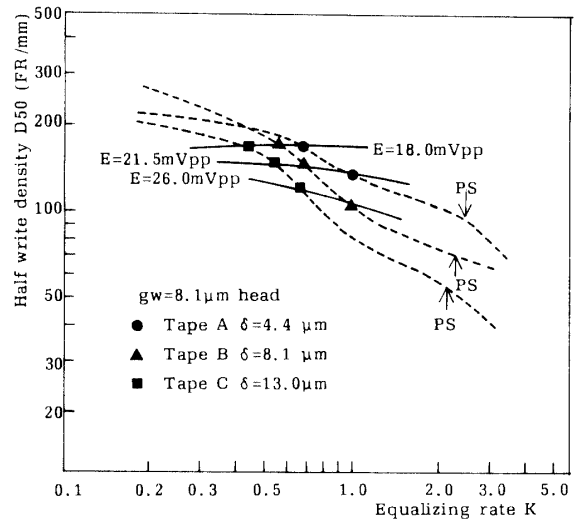


Fig. 8 Half write density  $D_{50}$  giving the same read amplitude E versus Equalizing rate K for  $8.1\mu\text{m}$  gap head.

#### 4.2.3 同一記録磁界強さにおける $D_{50}$ の比較

Fig. 6 では横軸を各テープについてKで規格化した場合の記録密度特性を示していた。しかし未飽和形記録において記録磁界の強さを等しくした場合すなわち同じ $I_w$ を与えた場合には、 $Br$ 、 $H_c$ の等しい媒体では、大まかにみて磁化浸透の深さは、 $\delta$ に関わらず同程度となると考えられることから $D_{50}$ も同じ $I_w$ に対して $\delta$ に関わらずほぼ等しくなると考えられる。

このことを確かめるためにFig. 6の横軸をKではなく $I_w$ にとって $D_{50}$ をプロットしたものがFig. 9である。K $\leq 1$ の範囲では、3本の曲線がFig. 6に比べ接近している。また $gw$ を変えた場合も同様な傾向を示した。これらは上述の予想を裏付けている。

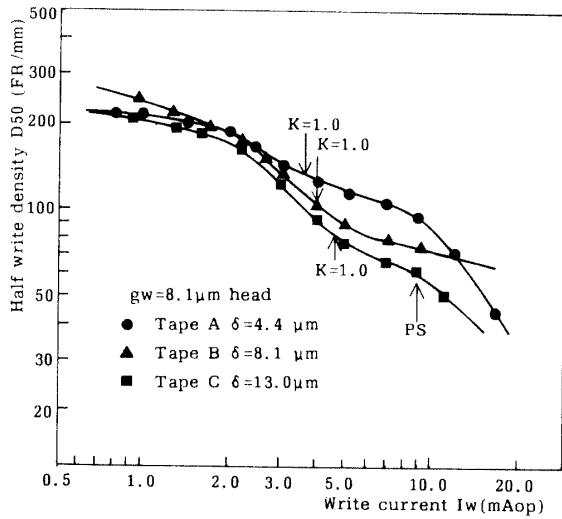


Fig. 9 Half write density  $D_{50}$  versus write current  $I_w$  for  $8.1\mu\text{m}$  gap head.

4.2.4 gwによるD50の比較

テープB ( $\delta = 8.1\mu\text{m}$ ) についてgwをパラメータとする記録密度特性をFig. 10に示す。Fig. 10において  $K \leq 1$  の範囲でgwが小さいほど同一Kに対して  $D_{50}$  が大きくなっているが、gw依存性はさほど大きいものではない。なお図中のPSより右はボールチップ飽和の影響を受ける範囲で注意する必要がある。そして他のテープについても同様な傾向を示した。

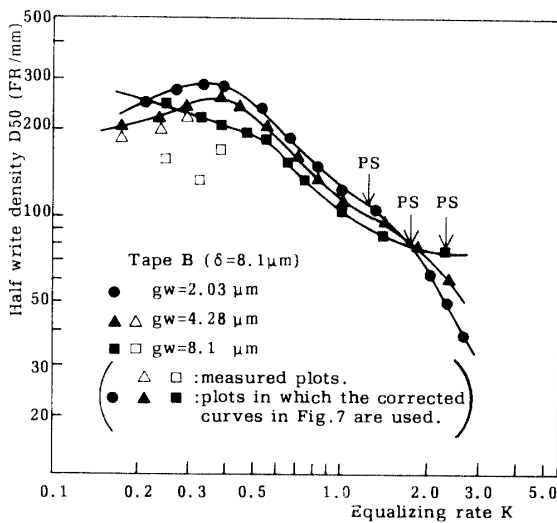


Fig. 10 Half write density  $D_{50}$  versus Equalizing rate  $K$  for Tape B ( $\delta = 8.1\mu\text{m}$ ).

4.3 オーバーライト消去特性

未飽和形記録の場合大きな問題点は、オーバーライト消去特性がKの減少にともない劣化することである。そこで記録密度特性においても重要なパラメータであった $\delta$ 及びgw、特にそれらの比( $\delta/gw$ )がオーバーライト消去特性にどう影響するか検討する。

テープAについてKに対するオーバーライト消去特性をFig. 11に示す。グラフ上のPSより右はボールチップ飽和の影響を受ける範囲であり注意が必要である。また  $K < 0.5$  の範囲においては、 $gw = 8.1\mu\text{m}$ 及び  $gw = 4.28\mu\text{m}$ の場合、記録周波数  $f_1$ ,  $f_2$  設定のための  $D_{50}$  が前述したように記録ヘッドギャップ効果により不連続性をもつことから不連続になっている。しかし記録ヘッドギャップ効果を除くと  $gw = 2.03\mu\text{m}$ と同様な傾向になることが予想される。

Fig. 11において  $0.5 < K \leq 1$  の範囲に注目すると、同じKに対してgwが大きいほどオーバーライト消去率は良くなっている。これはgwが大きいほど記録ヘッドギャップの発生する磁界がテープの厚み方向に対して均一化するからだと考えられる。 $\delta$ が厚い他のテープについてもオーバーライト消去率がKの減少に対し劣化する傾向は変わらないが、gwに対するオーバーライト消去率の違いはFig. 11にみられるほど大きくなかった。

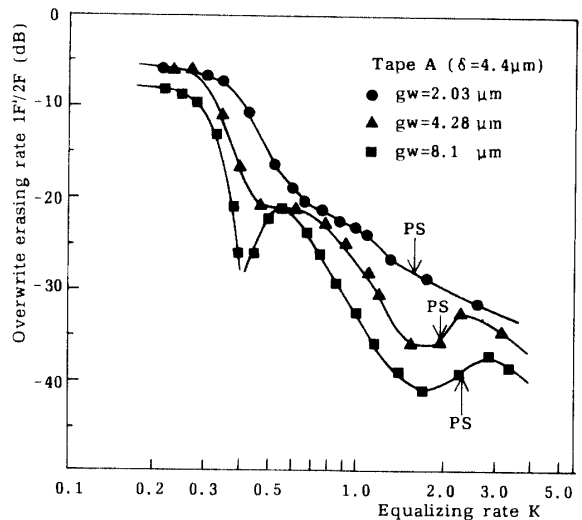


Fig. 11 Overwrite erasing rate  $1F'/2F$  versus Equalizing rate  $K$  for Tape A ( $\delta = 4.4\mu\text{m}$ ).

次に $\delta$ をパラメータにとった場合のオーバーライト消去特性をFig. 12に示す。これから  $0.5 < K \leq 1$  の範囲において  $gw = 2.03\mu\text{m}$ では $\delta$ の違いによる影響はほ

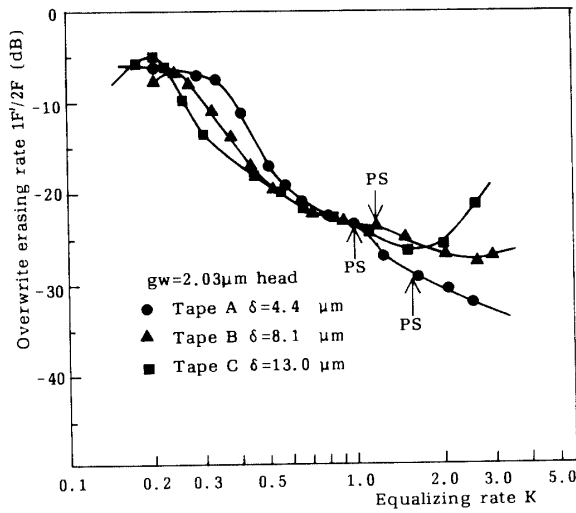


Fig.12 Overwrite erasing rate  $1F'/2F$  versus Equalizing rate  $K$  for  $2.03\mu\text{m}$  gap head.

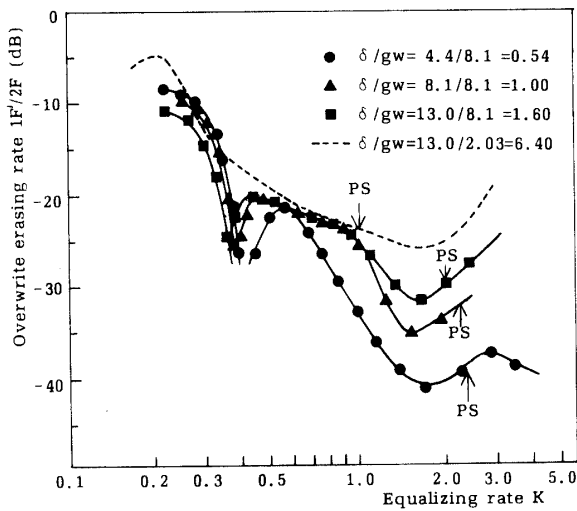


Fig.13 Overwrite erasing rate  $1F'/2F$  versus Equalizing rate  $K$  for  $8.1\mu\text{m}$  gap head.

とんどないと言える。また  $g_w = 4.28\mu\text{m}$  の場合にも同様な傾向を示した。しかしこれらとは少し異なる傾向の  $g_w = 8.1\mu\text{m}$  の場合を Fig. 13 に示す。比較のために  $\delta = 13\mu\text{m}$ ,  $g_w = 2.03\mu\text{m}$  ( $\delta/g_w = 6.4$ ) の場合を Fig. 13 中に点線で示している。Fig. 12 及び Fig. 13 からわかるように  $0.5 < K \leq 1$  の範囲では、 $\delta/g_w$  比が比較的大きな値になる組み合わせでは同じ  $K$  に対するオーバーライト消去特性の差はあまりみられず一本に集約するようである。そして  $K$  の減少にともない劣化していく傾きはゆるやかである。それに対して  $\delta/g_w$

比が小さい場合には、記録ヘッドギャップの磁界がテープの厚み方向に均一化されるためオーバーライト消去特性は良好になる。しかしこの場合、特性曲線の傾きが急なため少しの  $I_w$  の変動による変化の割合が大きくなることからわかる。したがって  $I_w$  の変動の少ないシステムにおいては  $\delta/g_w$  比が小さい方が有利であるが  $I_w$  の変動が多少激しいようなシステムの場合はむしろオーバーライト消去率の変動の少ない  $\delta/g_w$  比が大きい組み合わせを、必要なオーバーライト消去率の範囲内で使用する方がオーバーライト消去率の安定性が得られ有効であろう。

### 5. むすび

未飽和形デジタル磁気記録の各種の特性に対する設計条件の影響を実験的に検討してきた。それらの検討の要点をまとめると以下ようになる。

- (1) 孤立再生波の再生パルス半値幅  $W_{50}$  は、飽和度  $K$  が 1 以下の領域で  $K$  にほぼ比例するが、 $K$  を下げ過ぎると公知のように記録ヘッドギャップ効果のために  $W_{50}$  は反って増加する。
- (2) 半値記録密度  $D_{50}$  は、 $K \leq 1$  の領域では  $K$  が小さくなるとテープの厚み  $\delta$  への依存性が次第に少なくなる。
- (3) 同一再生電圧が得られる  $D_{50}$  は、最大残留磁束密度  $B_r$  の等しい媒体では  $K \leq 1$  の領域で  $\delta$  に関わらずほぼ同じになる。
- (4)  $D_{50}$  は、 $K \leq 1$  の領域において同じ記録磁界強さに対して  $\delta$  にあまり依存しない。
- (5)  $D_{50}$  は、 $K \leq 1$  の領域において記録ヘッドギャップ長  $g_w$  への依存性はあまりないが、 $g_w$  を大きくすると記録ヘッドギャップ効果の影響があり注意を要する。
- (6) オーバーライト消去率は公知のように  $K$  の減少とともに劣化する。その特性は  $\delta/g_w$  比が大きい範囲では  $\delta/g_w$  比にさほど依らないが、 $\delta/g_w$  比を例えば 0.5 程度に減少させるとオーバーライト消去率は改善される。

### 参考文献

1) 西川正明：デジタル形磁気記録の磁化機構(2)，電子通信学会磁気記録研資，MR66.9-12 (1969-9)

(昭和61年4月15日受理)