

ACバイアス・デジタル磁気記録の基礎的性質

西川 正明*・横山 昌幸**・桐原 昭雄*

Fundamental Properties of AC-Biased Digital Magnetic Recording

Masaaki NISHIKAWA, Masayuki YOKOYAMA and Akio KIRIHARA

Abstract

The amplitude and pulse width of isolated read signal from AC-biased digital magnetic recording were examined and the results were compared to the behavior of medium residual flux.

The combination of write signal and ac-bias current level (I_w, I_b) divides write operation range of magnetization into three regions: initial magnetization, over-bias demagnetization and over saturation region. In initial magnetization and over saturation region, amplitude and pulse width of isolated read signal are both determined by the sum of I_w and I_b ; whereas in over-bias demagnetization region, read signal amplitude follows I_w/I_b ratio.

The characteristics of read signal amplitude versus write density were also examined. Half amplitude density D_{50} was compared to half width of isolated pulse W_{50} . The inverse-proportionality between D_{50} and W_{50} was ascertained.

1. ま え が き

デジタル磁気記録では、一般に記録媒体の正負の飽和磁化を利用して二値信号の記録が行われている。このため、媒体の未飽和域で生ずる磁化の非線形性については、従来余り問題にされていなかった。

然し、最近になって、多値レベル記録や記録波形等化により高記録密度化を計るために、媒体の未飽和域を直線化する必要性が生じ、その手段として、デジタル記録においても AC バイアス記録方式の導入が試みられるようになった^{1),5)}。AC バイアス記録方式を用いると、又、データ信号に各種のパイロット信号を重ね書きすることも可能となり、これを利用して信号処理の信頼性を向上させることが出来る^{1),6)}。

さて、このような AC バイアス・デジタル磁気記録方式を設計しようとする場合、まず必要なことは、AC バイアス磁界の印加がデジタル再生特性にどんな影響を与えるかを定量的に知ることであるが、これについては2, 3の報告^{2),7)}が散見されるものゝ、なお不明確な点が多い。

* 電気工学科

** 大学院電気工学専攻 (現在 ソニー株式会社)

本論文は、デジタル記録に及ぼす AC バイアスの影響を基礎的な特性面で調べ、その設計指針を与えることを目的としている。まず最も基本的な特性であるデジタル孤立再生波の性質が AC バイアスの印加によりどのように変化するかを実験的に検討する。つぎにこの場合の媒体の残留磁束を簡単なモデルで考察し、実験的な知見と照合することにより、動作領域による再生特性の相異を明らかにする。さらに高密度干渉領域における再生特性について若干の検討を加える。

2. 実験方法

Fig. 1 に実験で用いた記録回路の構成を示す。すなわち、データ発生器で発生する NRZ データ信号と、バイアス発生器で発生する AC バイアス信号を混合器で重畳し、これを直線増幅して記録ヘッド巻線に供給する。データ及びバイアス信号の位相関係を互いに固定するため、両信号は共通の 800 kHz 主クロックを分周して作るように構成した。Fig. 2 に記録ヘッドに流れる電流波形の例を示す。

供試記録媒体には、Table 1 の上部に示す特性 (実測) を持った市販のオープンリール形磁気テープを使

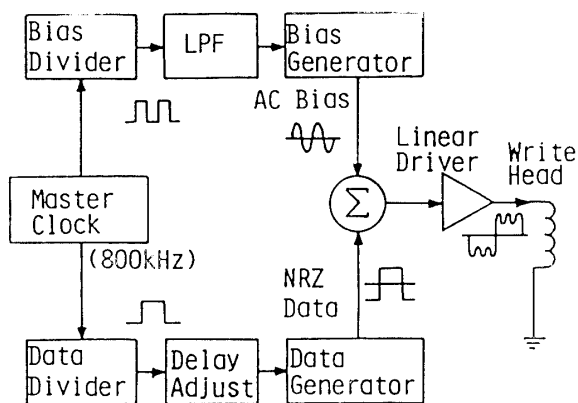


Fig. 1 Block diagram of experimental write circuit.

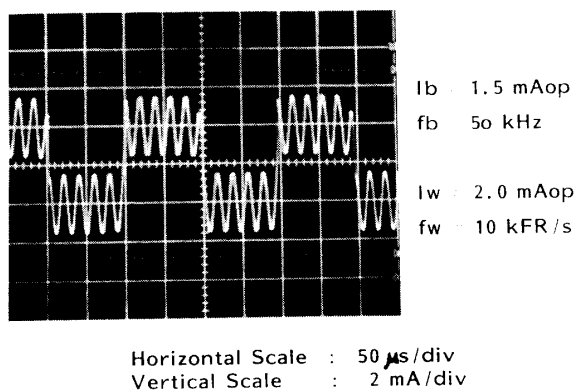


Fig. 2 An example of write head current with ac-bias.

Table 1 Parameters of experimental tapes and heads

Tape Name	Coating Thickness (μm)	Coercivity		Residual Flux Density B_r (T)	Squareness Ratio	
		(kA/m)	(Oe)		B_r/B_s	S^*
A	8.0	24.7	310	0.108	0.78	0.66
B	3.3	29.8	375	0.120	0.88	0.71
C	2.6	41.4	520	0.149	0.79	0.62

Write Head

Gap Length $g_w = 7.9 \mu\text{m}$ Coil Impedance; 48Ω at 1 kHz
 Head Saturation Current: about 14 mA
 Head Material; Hard permalloy

Read Head

Gap Length $g_r = 3.5 \mu\text{m}$ Coil Impedance; $1.1 \text{ k}\Omega$ at 1 kHz

用した。テープの走行機構には、テープ速度 $v = 9.5 \text{ cm/s}$ の市販録音機を利用した。再生は巻戻し再生減磁の影響を避けるため、記録同時再生方式で行った。又、供試媒体は記録に先立ちバルク消磁して実験した。

Table 1 の下部に、実験で用いた記録及び再生ヘッドの要目を示す。なお、記録ヘッドのポールチップ飽和電流は実測により約 14 mA であることを確かめた。以下の実験範囲はこの 14 mA 以下であり、ヘッド飽和の影響は含まれない。

AC バイアス周波数 f_b は、媒体の任意点が記録ヘッドギャップ領域を通過する際に十分な AC バイアス磁界の交番を受けるように高くとらねばならない。こゝでは記録ヘッドギャップ長が $7.9 \mu\text{m}$ であることを念頭におき、 $f_b = 25 \sim 100 \text{ kHz}$ の範囲で予備実験を行ったが、その範囲では再生特性に差異を認めなかったため、以下の実験では 50 kHz に固定した。

又、 f_b とデータ信号の反転周波数 f_w は

$$f_b = n f_w \quad (n: \text{整数}) \quad (1)$$

の関係を保つようにして実験した。これは、上式が満

されない場合、データ信号の各反転区間でバイアス信号との合成波形が異なることから、同じ合成波形となる周期に同期した低周波成分が再生波に重畳することがあり、このような現象を避けるためである。

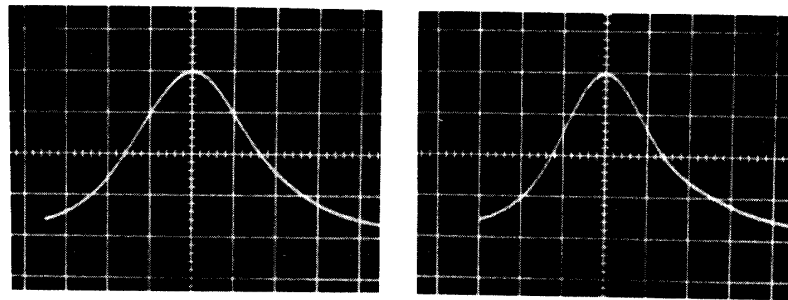
3. 孤立波特性

3.1 実験結果

こゝでは、データ信号反転周波数 f_w を $1000 \text{ Flux Reversal/s}$ (反転密度 $D_w = f_w/v \approx 10.5 \text{ FR/mm}$) と十分に低くとり、隣接再生波の干渉を無視できるようにした孤立再生波の振幅と波形幅を、データ信号電流と AC バイアス電流の種々の組合せについて測定した。

Fig. 3 に無バイアス時及び AC バイアス印加時の孤立再生波に波形例を示す。(a) と (b) は、 $I_b + I_w$ の和を両者等しく選んである点に注意されたい。

以下、再生振幅を E 、半値波形幅を W_{50} 、データ信号電流を I_w 、AC バイアス電流を I_b で表わすが、これらの記号の定義は Fig. 4 のとおりである。



(a) $I_b=0, I_w=4.5 \text{ mAop}$ (b) $I_b=4 \text{ mAop}, I_w=0.5 \text{ mAop}$
 Tape : A Horizontal Scale : $4.75 \mu\text{m/div}$
 Vertical Scale : Arbitrary

Fig. 3 Examples of read signal waveform.

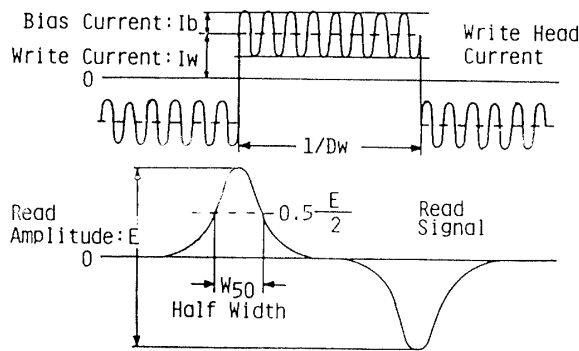


Fig. 4 Notations.

3.1.1 再生振幅

Fig. 5 に I_b をパラメータとして I_w と E の関係を求めた実験結果の 1 例を示す。この曲線は媒体の飽和特性曲線と呼ばれ、曲線の右上りの部分は媒体の未飽和域を、最高点は飽和点を、右下りの漸減部は過飽和域をそれぞれ示している。

従来のデジタル記録の場合には、図の曲線のうち、無バイアス ($I_b=0$) 時の曲線のみが有意である。これは Fig. 6 の模式図に示すように著しい非線形性を示し、 $I_w \leq I_o$ の範囲に一種の不感帯を有する。この場合、 I_w の値は通常、飽和電流 I_s より若干高めに選ばれ、いわゆる飽和形記録が行われている。

本論文ではこの飽和特性曲線が I_b の増加とともにどのように変化するか重要で、これを図について I_b の範囲ごとに調べてみると以下のように整理できる。

(1) $I_b \leq I_o$ の範囲：(図の例では I_o は 1 mA_{op} よりやゝ小さい。) 特性曲線はこの範囲では I_b の増加した分だけ全体が左に平行移動している。従ってこの領域では、 E は $I_b + I_w$ の和のみに依存し、両者の割合には依らない。この性質を以下、 $I_b + I_w$ の加法則が成立つと言う。

(2) $I_o \leq I_b \leq I_{bo}$ の範囲： $I_b = I_o$ に達すると、無

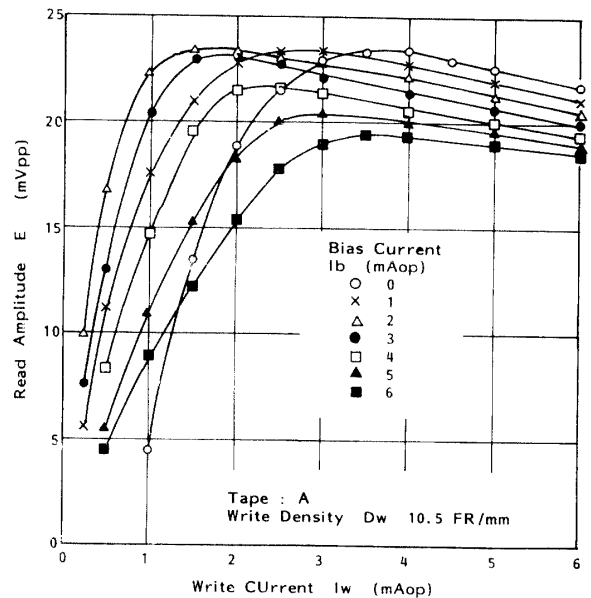


Fig. 5 Read amplitude versus write current with bias current as a parameter.

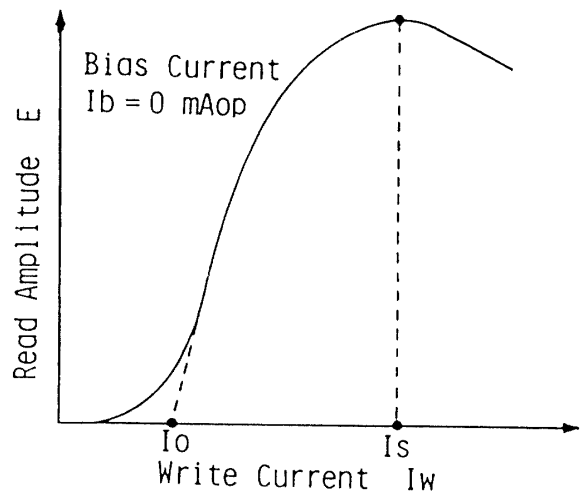


Fig. 6 Form of unbiased saturation curve.

バイアス時に存在した前記の不感帯はほぼ消滅する。
 I_b を更に増加すると、曲線の未飽和部は下の方から
 I_b に対する平行移動を拘束される。この結果、未飽和部
 の線形性は I_b の増加とともに改善される。 I_b があ
 る特定値 I_{b0} に達すると平行移動の拘束は飽和点にま
 で及ぶ。このとき、未飽和部の立上り傾斜は最大とな
 る。すなわち、この I_{b0} を最高感度バイアスと言
 うことができる。 I_{b0} は図示の場合、約 2mA と読める
 が、更に I_b を細かく変えて調べると、Fig. 7 に示す
 ように、テープ A の場合、約 2.4 mA_{o-p} である。平
 行移動を拘束された部分の E は、 $I_b + I_w$ の加法則で示
 される値よりも減少する。

一方、曲線の右下り部、すなわち過飽和部は I_b の
 増加とともに左平行移動を続け、この部分については
 $I_b + I_w$ の加法則が常に成立している。

(3) $I_b \geq I_{b0}$ の範囲：この範囲になると飽和点は
 I_b の増加とともに右へ移動するようになり、この結
 果、未飽和部における I_w の直線動作範囲が次第に広
 がる。過飽和部は I_b の増加とともに依然として左平
 行移動を続け、その結果として飽和点振幅は漸減する。

以上の結果を別の表現でまとめるため、同じ相対再
 生振幅を与える I_b と I_w の関係を Fig. 6 から求め
 ると、直線グラフ上で Fig. 7 のようになる。曲線 A は
 各 I_b について飽和点再生振幅 E_s を与える I_w を

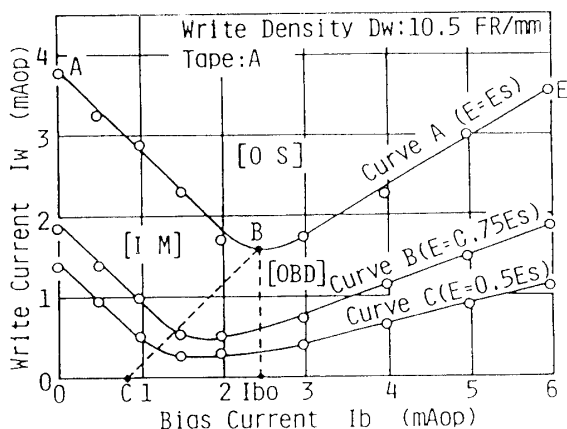


Fig. 7 Write current I_w giving the same relative read amplitude versus bias current I_b .

プロットしたものであり、曲線 B 及び C は未飽和部
 において $E = 0.75 E_s$ 、及び $0.5 E_s$ を与えるプロット
 である。

これらの曲線の右下り部分は傾斜 -45° の直線上に
 あり、この部分に相当する (I_b, I_w) の組合せでは、 I_b
 $+ I_w$ の加法則が成立することが分る。一方、曲線の右

上り部分は、 I_b が大きくなるにつれて概ね原点を通
 る直線に漸近している。すなわち、この部分に相当す
 る (I_b, I_w) の組合せでは、 E に対する I_w と I_b の比
 例則が成立していることが分る。比例係数は 1 よりも
 小さい。

曲線 A の上面は、Fig. 6 では各曲線の過飽和部に
 当り、この領域では前述のように $I_b + I_w$ の加法則が
 成立している。又、前述の最高感度バイアス I_{b0} は
 曲線 A の谷 B 点に当る I_b で、図の例では約 2.4
 mA_{o-p} と読める。なお、この I_{b0} は無バイアス記録
 における飽和電流 I_s (図の例で約 3.75 mA_{o-p}) の 1/2
 より大きいことを指摘できる。

なお、図示の領域番号、IM, OBD, OS の意味につ
 いては 3.2 で述べる。

Fig. 8 は、Fig. 7 の曲線 A、すなわち各 I_b に対す
 る飽和記録電流 I_{ws} の関係を他の供試媒体 B, C の場
 合も含めて示したもので、曲線の基本的な性格は媒体
 によって変らない。

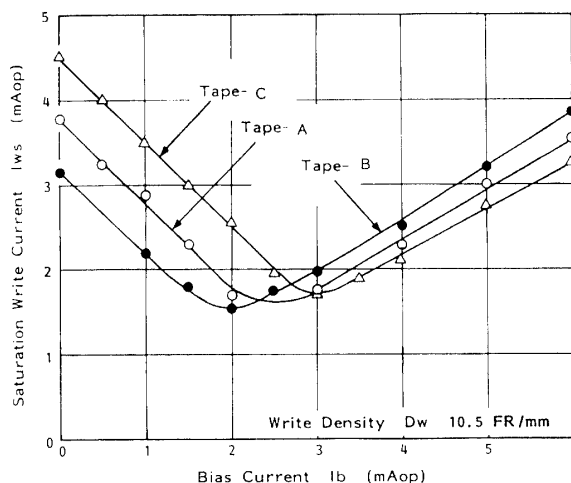


Fig. 8 Saturation write current I_{ws} versus bias current I_b .

3.1.2 半値波形幅

Fig. 9 に I_b をパラメータとして I_w と W_{50} の関
 係を求めた実験結果の 1 例を示す。点線は Fig. 7 か
 ら求まる IM, OBD 及び OS 領域の境界線を示したも
 のである。

I_b の増加に伴う W_{50} の変化について調べると、
 (I_b, I_w) が IM 領域にある場合、及び OS 領域にある
 場合には曲線は I_b の増加分だけ左へ平行移動して
 おり、この範囲では、前述の E に対すると全く同様に、
 W_{50} についても $I_b + I_w$ の加法則が成行している。

一方、 (I_b, I_w) が OBD 領域にある場合には、この
 平行移動則が成立せず、 W_{50} の値は単なる平行移動

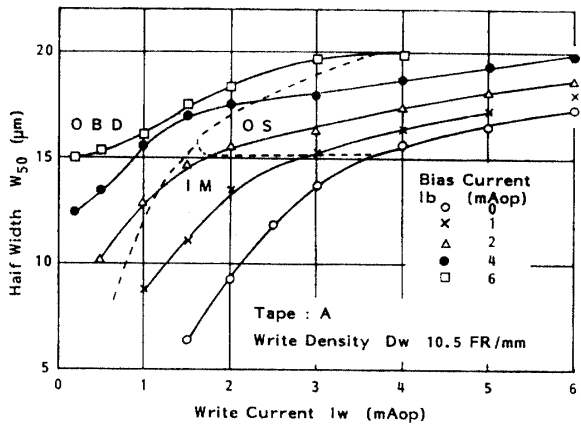


Fig. 9 Half width of read signal versus write current with bias current as a parameter.

で示される値より減少している。これは OBD 領域における E の性質と同じである。このことを、再生波形全体について示した例が、先出の Fig. 3 である。すなわち、その (b) の場合は (I_b, I_w) が上記の OBD 領域にあり、その波形は、 $I_b + I_w$ を等しくした無バイアスの場合の波形、(a) より全体として狭まっている。

3.2 残留磁束の考察

孤立再生波に関する以上の所見を媒体の残留磁束の性質から推定するため、ここでは媒体の磁化ヒステリシス曲線をモデル的に追跡し、(I_b, I_w) の組合せによって残留磁束がどのように決まるかを考察する。簡単のため、記録過程で生ずる減磁界や媒体の自己減磁は無視する。

Fig. 10 (a)~(d) の各図の上面には、与えられた媒体を与えられた記録ヘッドで磁化する場合のヘッド電流 I と媒体内の全磁束 Φ の間のヒステリシス特性のモデルを示す。但し、 I_s は媒体の飽和電流、 I_0 はヒステリシスループの減磁点に相当する電流、 Φ_r は媒体中の残留磁束、 Φ_s は媒体の飽和磁束である。

又、各図の下面の三角状図形は、下方に時間軸をとり、媒体の一点が記録ヘッド後縁を通るときに受ける磁界の減衰を示すモデルで、AO 線はバイアス重畳交番磁界の正ピークの包絡線を、BO 線は負ピークの包絡線を示している。AC バイアス周波数は十分に高く、この包絡線は連続であるとする。(磁界の減衰は実際にはベル状であるが、以下の考察に対してそのことは本質的でない)。なお磁界の強さはここでは便宜上それに相当するヘッド電流値で表わす。

このモデルで Φ_r の性質を調べると、以下に述べるように、(I_b, I_w) の組合せによって Φ_r の減磁が起る場合と起らない場合が区分される。

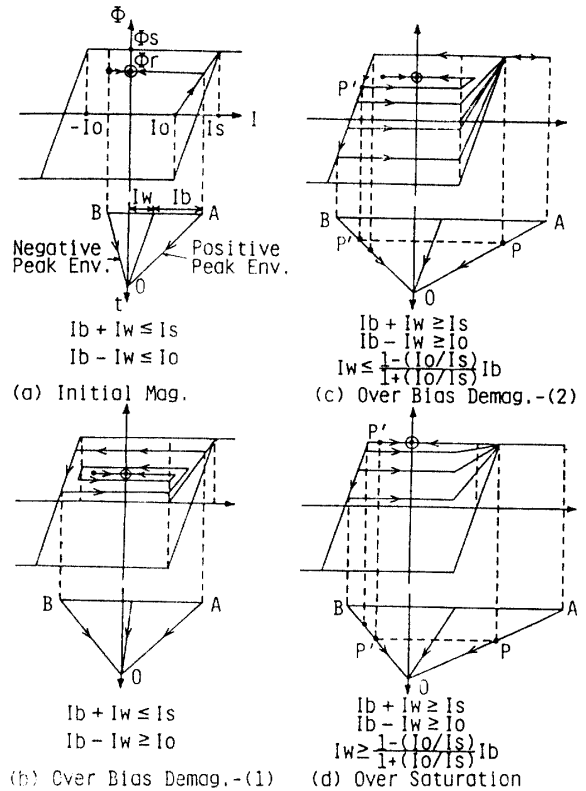


Fig. 10 Explanation models to estimate medium residual flux.

(1) 初期磁化領域 (IM): (I_b, I_w) の組合せが

$$\left. \begin{aligned} I_b + I_w &\leq I_s \\ I_b - I_w &\leq I_0 \end{aligned} \right\} (2)$$

の条件を満たす場合には、Fig. 10 (a) で分るように、 Φ_r は初期磁化曲線から折返す分岐線と Φ 軸の交点から一義的に決まる。この分岐点は $I_b + I_w$ の和で決まるので、 Φ_r は $I_b + I_w$ の和のみに依存し、両者の割合には依らない。言い換えると、この場合には Φ_r について $I_b + I_w$ の加法則が成立つ。

式 (2) を満足する (I_b, I_w) の領域を、以下、初期磁化領域 (Initial Magnetization — IM) と呼ぶ。

(2) 過バイアス減磁領域 (OBD): Fig. 10 (b) の場合のように、(I_b, I_w) が

$$\left. \begin{aligned} I_b + I_w &\leq I_s \\ I_b - I_w &\geq I_0 \end{aligned} \right\} (3)$$

の条件になる領域では、交番磁界の正ピーク最大値が媒体の飽和値 I_s に達することなく負へ折返し、負ピークが I_0 を越すために Φ_r の減磁が起る。このため、 $I_b + I_w$ の値が同じでも、得られる Φ_r は (1) の場合よりも減少する。

Fig. 10 (c) は ϕ_r の減磁が起るいまひとつの状態を示している。これは、 (I_b, I_w) が

$$\left. \begin{aligned} I_b + I_w &\geq I_s \\ I_b - I_w &\geq I_o \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

の範囲にあり、且つ

$$I_w \leq \frac{1 - (I_o/I_s)}{1 + (I_o/I_s)} I_b \quad (5)$$

の条件を満たす場合である。式 (4) は、交番磁界の正ピーク最大値が I_s を越し、そこから折返す負ピーク最大値が I_o を越す条件を示しており、この条件でヒステリシスループの減磁線をたどるが、それだけでは実際に ϕ_r の減磁が起るとは限らない。実際に ϕ_r の減磁が起るのは、図のヒステリシス追跡で明らかのように、正ピーク磁界が丁度 I_s まで減衰した時 (図の P 点)、引続く負ピーク磁界 (図の P' 点) が I_o より大きいという条件が必要である。これを数式的に表わすと、図の A 点に対する P 点の磁界減衰比を k とし、 $k(I_b + I_w) = I_s$ のとき、 $k(I_b - I_w) \geq I_o$ となる場合であり、この2式から k を消去すると式 (5) の条件が得られる。

式 (3) の場合、或いは式 (4), (5) を同時に満たす場合には、 I_b が I_w に比し過大であることから ϕ_r の減少が起るので、この (I_b, I_w) 領域を過バイアス減磁領域 (Over-Bias Demagnetization --- OBD) と呼ぶ。

(3) 過飽和領域 (OS): ϕ_r が常に媒体の飽和磁束 ϕ_s に収束するような (I_b, I_w) 領域を過飽和領域 (Over Saturation --- OS) と呼ぶ。

そのひとつは、式 (2) の第1式のみ不等号を逆向きにした次式の場合である。

$$\left. \begin{aligned} I_b + I_w &\geq I_s \\ I_b - I_w &\leq I_o \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

この場合の説明図は省いているが、Fig. 10 (a) を延長することによって ϕ_r が常に ϕ_s に落ち着くことは容易に理解できる。

又、Fig. 10 (d) の場合、すなわち、式 (4) を満たし且つ式 (5) の不等号を逆向きにした場合には、媒体の受ける初期の負磁界ピークは I_o を越すが、P' 点磁界が I_o よりも小さいために ϕ_r の減磁は起らず常に ϕ_s に収束する。

以上、媒体の残留磁束 ϕ_r の性質と (I_b, I_w) の関係を考察し、 (I_b, I_w) の領域を3つに区分して領域ごとに ϕ_r の性質が異なることを述べた。

この3つの領域、IM, OBD 及び OS を (I_b, I_w) の

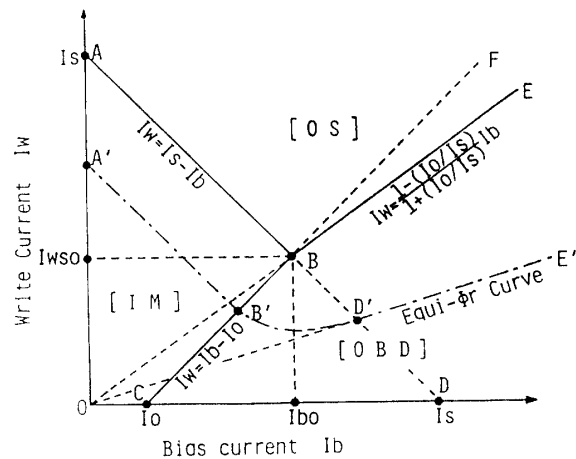


Fig. 11 Equi-residual flux curve in (I_b, I_w) plane.

直線グラフ平面上で表わすと Fig. 11 のようになる。ABCO で囲まれた領域が IM, CBE 線の右面が OBD, ABE 線の上面が OS 領域である。各領域の境界線は、式 (2)~(6) によって容易に示され、それらは I_s と I_o だけで定まる。なお、OBD 領域は、補線 BD により、式 (3) の領域と式 (4), (5) の領域に分れる。又、OS 領域は、補線 BF により、式 (6) の領域と Fig. 10 (d) の領域に分れる。

ABE の V 字形境界線は、 ϕ_r が丁度 ϕ_s に達する (I_b, I_w) の組合せを示しており、この線の下面は媒体の未飽和域に、上面は過飽和域に対応する。未飽和域のうち、IM 領域では ϕ_r に対する $I_b + I_w$ の加法則が成立し、等 ϕ_r 線は鎖線 A'B' で示すように -45° の傾きを持つ。

OBD と OS 域の境界線 BE は、式 (5) で示されるように原点を通る比例線であり、その傾きは I_o/I_s の関数である。又、ABE 線の谷に当る I_b が最高感度バイアス I_{bo} を表わしており、この I_{bo} とそのときの飽和記録電流 I_{wso} を求めると次式のようなになる。

$$I_{bo} = (I_s + I_o) / 2 \quad (7)$$

$$I_{wso} = (I_s - I_o) / 2 \quad (8)$$

OBD 領域において、A'B' に続く等 ϕ_r 線 B'D'E' の性質は、Preisach 線図による残留磁化量の考察から推定することが出来る。それによれば D'E' の部分は I_b に比例する直線となり、B'D' の部分はこの比例直線を \searrow 上回る曲線となることが知られる⁸⁾。

さて、この Fig. 11 を Fig. 7 と比較してみると、両者の性質は良く一致している。すなわち、Fig. 11 において飽和磁束 ϕ_s を与える境界線 ABE は Fig. 7 において飽和再生振幅 E_s を与える曲線 A に、又、

Table 2 Calculated and measured values of bias current giving maximum write sensitivity

Tape Name	No Bias Recording		Max. Sensitivity Bias I_{b0} (mAop)	
	I_s (mAop)	I_o (mAop)	Calculated	Measured
A	3.75	0.75	2.3	2.4
B	3.2	0.85	2.0	2.0
C	4.4	1.45	2.9	3.0

未飽和の等 ϕ_r 線 A'B'D'E' は Fig. 7 の未飽和等振幅線 B, C に対応している. IM 域における ϕ_r の $I_b + I_w$ に対する加法則は, 同じ領域で E についての加法則と対応している. OBD 域における ϕ_r の減磁は E の減少に対応している. 一方, OS 域においては, ϕ_r は常に ϕ_s 一定となるが, E はこの領域で $I_b + I_w$ の増加につれて漸減する性質を持つ. この性質は E の値が正確には ϕ_r だけでは決まらず, 磁化反転幅の影響も受けることからくるものである.

Fig. 11 と Fig. 7 の定量的な一致性を見るために, 最高感度バイアス値 I_{b0} を式 (7) から求め, これを Fig. 8 の谷で示される実測値と比較すると Table 2 のようになり, 両者は良く一致している. なお計算に用いた I_s と I_o の値は, 無バイアス記録の飽和特性曲線から Fig. 6 によりして求まる値を使用した.

4. 記録密度特性

以上, AC バイアス印加時のデジタル孤立再生波の性質について論議した. つぎに本章では記録密度を上げた場合の干渉領域における再生振幅特性について実験的に検討し, 又, その特性と孤立波特性の関連性を調べる.

実験では, データ信号の反転周波数 f_w をデータ分周器によって変化させ, 記録密度 $D_w (=f_w/v)$ に対する再生信号振幅 E の関係を各種の (I_b, I_w) の組合せの下に測定した. なお, データ信号は 1:1 の対称方形波とした.

Fig. 12 は, 1 例として, テープ A を用い $I_b = 2$ mAop とした場合の D_w と E の関係を各種の I_w について測定した結果である. Fig. 13 はこれらのデータをもとに, E が孤立波振幅の 50% に低下する点の記録密度 D_{50} を求め, これと I_w の関係を各種の I_b について直線グラフにプロットしたものである. この特性を Fig. 9 に示した I_w 対 W_{50} 特性と比較して見ると, W_{50} の増加と D_{50} の減少が対応しており, 大まかに見て W_{50} と D_{50} の逆数関係が成立している

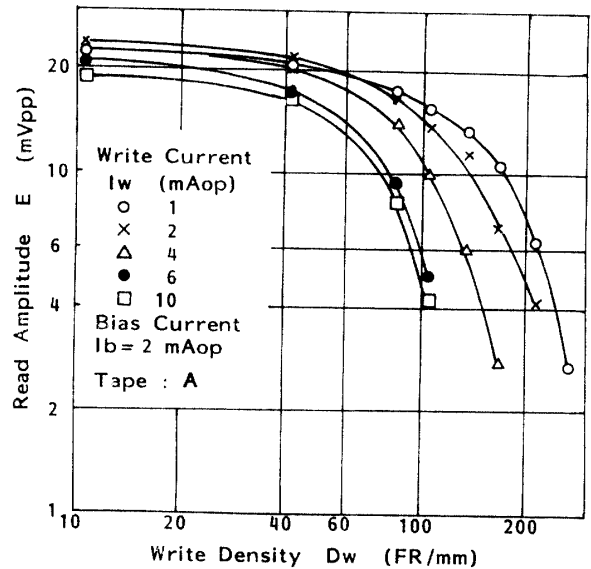


Fig. 12 Read amplitude versus write density with write current as a parameter.

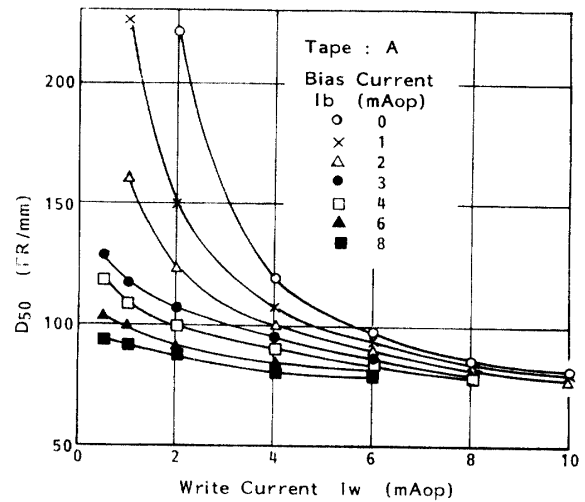


Fig. 13 Half amplitude density versus write current with bias current as a parameter.

ことが分る.

Fig. 14 はこの逆数関係を更に調べるため, 各種の (I_b, I_w) に対して W_{50} と D_{50} の関係を両対数グラフ上にプロットしたもので, 実線で示した $D_{50} \approx 1.4/W_{50}$ の

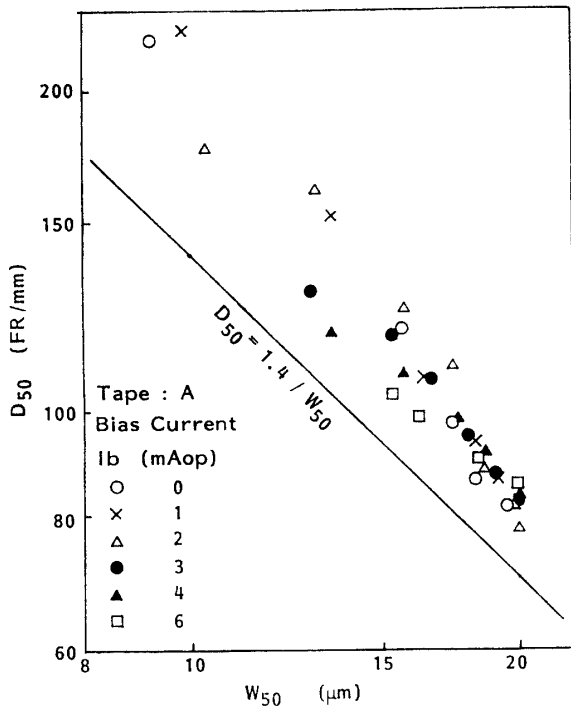


Fig. 14 Relationship between half amplitude density and half width of isolated signal.

関係は、孤立再生波をローレンツ波形と仮定し、その重ね合せから計算される関係⁹⁾である。図を全体的に見ると W_{50} と D_{50} の逆数関係はほぼ成立つと言えるが、細かく調べると、特に左上部について D_{50} が $1/W_{50}$ の逆数関係よりかなり大きくなる傾向を示しており、又、 D_{50} の絶対値は計算値より大きい。これらの細部に関する相違の理由は、一部は孤立波形の近似誤差から説明できるが、本質的には高密度領域における非線形記録干渉に基づくものであり、今後の検討にまたねばならない。

5. むすび

AC バイアスを印加したデジタル磁気記録の基本的な性質について実験的な検討を行い、又、媒体のヒステリシス追跡による残留磁束の考察と再生特性とを結び付けて磁化動作領域による特性の差異を明らかにした。要点をまとめると次のようになる。

(1) (I_b, I_w) の組合せによる孤立再生波の振舞いは、媒体の磁化動作領域を残留磁束の決定過程の差に従って IM, OBD 及び OS の 3 領域に区分して考えることにより良く理解できる。各領域の境界は、媒体の無バイアス飽和磁化電流 I_s と不感帯電流 I_0 の 2 つから簡単に定まる。最高感度バイアス I_b はほぼ $(I_s + I_0)/2$ に等しい。

(2) IM 及び OS 領域では、孤立再生波の振幅 E と半値波形幅 W_{50} は共に I_b と I_w の和で決まり、両者の割合には依らない。

(3) OBD 領域では、 I_b の過大による減磁のため、 E と W_{50} は共に $I_b + I_w$ の加法則で示される値より小さくなる。この領域で同じ E を与える I_w は I_b に比例して増加する。比例係数は 1 以下であり、 I_0/I_s が 1 に近いほど、つまり角形性が良いほど小さくなる。

(4) 半値記録密度 D_{50} は概ね $1/W_{50}$ に比例する。然し、特に未飽和領域、従って W_{50} の小さい領域ではこの関係からかなり外れる傾向が見られる。

最後に、今後の問題として、実用上重要な再生波形の非対称性、オーバーライト特性、記録分離特性、記録干渉特性などが残されている。

なお、本論文中、章 3 の骨子については同一著者により文献⁹⁾に発表した。又、供試磁気テープの磁気特性を測定して頂いた、電々公社武蔵野通研磁気記録研究室の各位に深謝致します。

参考文献

- Price, R., Craig, J. W., Melbye, H. E. and Perahia, A.: An experimental, multilevel, high-density disk recording system, IEEE Trans. Magn., MAG-14, 315-317. (1978).
- Jacoby, G. V.: High density recording with write current shaping, IEEE Trans. Magn., MAG-15, 1124-1130 (1979).
- McCown, D. P., Barbosa, L. C. and Howell, T. D.: Comparative aspects of AC bias recording, 1981 Digests of the Intermag Conference, 37-7 (1981).
- Lemke, J. U.: Ultra-high density recording with new heads and tapes, IEEE Trans. Magn., MAG-15, 1561-1563 (1979).
- Mallinson, J. C.: On extremely high density digital recording, IEEE Trans. Magn., MAG-10 368-373 (1974).
- Haynes, M. K.: Magnetic recording techniques for buried servos, 1981 Digests of the Intermag Conference, 12-1 (1981).
- Mallinson, J. C. and Bertram, H. N.: Write processes in high density recording, IEEE Trans. Magn., MAG-9, 329-331 (1973).
- 西川正明, 横山昌幸, 桐原昭雄: AC バイアスデジタル磁気記録の基本的特性, 電子通信学会論文誌-C, J65-C, 409-416 (1982).
- たとえば, Comstock, R. L. and Moore, E. B.: Ferrite film recording surface for disk recording, IBM Jour. Res. Dev., 18, 556 (1974).

(昭和 57 年 4 月 13 日 受理)