

デジタル形磁気記録の高密度干渉特性

西川 正明*・糸山 喜勝**・桐原 昭雄*

High Density Interference Characteristics in Digital Magnetic Recording

Masaaki NISHIKAWA, Yoshikatu ITOYAMA and Akio KIRIHARA

Abstract

The influences of medium parameters and recording level on the playback signal amplitude of high density digital magnetic recording have been experimentally examined.

Several magnetic tapes with a thickness of 2.8 to 14 μm were used for the experimental media. The playback signal amplitude from symmetrically recorded transition pattern was measured with varying recording transition density and recording current level. The transition density at which playback signal amplitude decreases to 50% of isolated signal amplitude, D_{50} , was noticed as a measure of overall resolution.

The result of experiments can be summarized as follows:

- (i) The half amplitude density D_{50} is sensitive to recording current level in a thick medium, but this recording level dependency of D_{50} becomes less with decreasing medium thickness.
- (ii) The dependency of D_{50} on medium thickness δ can be approximately expressed as the form, $D_{50} \propto \delta^{-\alpha}$. The value of α depends on the recording level K . For example, α is about 0.8 and 0.3 for K is 2 and 0.5 respectively.
- (iii) As it can be expected from the superposing calculation of isolated playback pulses, D_{50} shows inversely proportional relationship to the half pulse width W_{50} of the isolated signal. The actual inversely proportional constant, however, somewhat differs from the calculated value.

1. ま え が き

デジタル形磁気記録において、媒体上の磁化反転密度をある程度以上に高めると、隣接信号間の干渉により再生信号の振幅低下や位相変化が大きくなり、遂には情報の正常な読出しが困難になる。

この干渉特性に及ぼす諸要因の関係をj知るため、従来、デジタル孤立再生波の重畳計算による特性の予測(例えば^{1)~3)}や、さらに記録過程の非線形性を考慮した、コンピュータシミュレーションによる多重反転パターンの解析などが行われている。^{4),5)}しかし、実際の実験結果から諸因子の影響を論じた例は意外に少なく、実用的な意味でなお論議の余地も多い。

ここでは、厚さや磁気特性の異なる数種の磁気テ

ープを試料としてとりあげ、種々の記録条件で対称的デジタルパターンを記録した場合の干渉特性を実験的に検討し、各因子の及ぼす影響を考察した。またあわせて、孤立波の重畳計算との一致性も検証した。

2. 実験方法

2.1 供試記録媒体

実験用の記録媒体として、市販の録音用及び計測用1/4インチ・オープンリール形磁気テープのなかから、磁性層厚みや磁気特性の異なる5種を選んだ。Table 1にそれらの要目を示す。

2.2 実験装置

磁気テープ駆動機構には、市販の1/4インチ・オープンリール形録音装置(松下 Technics 1500)のデッキを使用した。テープ速度は19 cm/sとした。

記録、再生ヘッドは上記デッキに実装されている、

* 電気工学科

** 大学院電気工学専攻(現在大阪労働基準局)

Table 1 Properties of experimental tapes

Tape name	H-2.8	L-4.4	L-8.1	M-12	M-14
Coating thickness δ (μm)	2.8	4.4	8.1	12	14
Retentivity B_r (Gauss)	1500	960	985	1150	1070
Coercivity H_c (Oe)	530	265	285	350	340
B_r/H_c (Gauss/Oe)	2.8	3.6	3.5	3.3	3.1

Table 2 Parameters of experimental heads

Head		Recording head	Playback head
Gap length	g (μm)	7.9	3.5
Impedance (at 1 KHz)	$ Z $ (Ω)	48	1100
	Angle (deg.)	71	82
Core saturation current (mA_{o-p})		about 13	—

高硬度パーマロイ積層コアの磁気ヘッドをとりあえずそのまま使用した。Table 2 にその実測ギャップ長、インピーダンス、及び磁気飽和をおこす巻線電流を示す。なお、記録ヘッドのギャップ長は低記録レベル時のギャップ縁二重記録現象⁶⁾から、再生ヘッドのギャップ長は周知のギャップ損失による再生応答のミニマ波長から求めた。また、記録ヘッドの磁気飽和電流は Fig. 1 (a) の測定系により同図 (b) のようにヘッドコアのおよその磁化特性を観測し、磁束の変曲点に対応した巻線電流の値を求めたものである。3章に述べる実験は、記録ヘッドの飽和の影響が含まれることを避けるため、原則としてこの飽和記録電流 (13 mA) 以下の範囲で行ったが、13 mA 以上に対するデータについてはその都度注記する。

Fig. 2 は実験用記録回路を示す。パルス発生器から、フリップフロップを介して差動スイッチング回路を駆動するもので、図のようにつないだ記録ヘッドには正

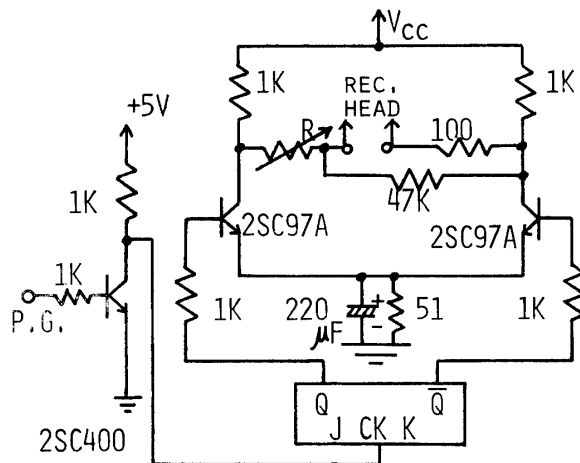


Fig. 2 Recording circuit.

負対称の連続反転方形波電流が流れる。電流振幅は、 V_{cc} と R を調節することにより最大約 20 mA_{o-p} まで実験できるようにし、このとき、電流反転時間は $8 \mu\text{s}$ (テープ長換算 $1.5 \mu\text{m}$) 以下になるように設計した。電流反動波形のオーバシュートはとくに媒体の未飽和範囲での実験値にかなりの影響を与えることがわかったので、実験に際し波形を観視しつつオーバシュートが出ないように V_{cc} と R の調節を行った。

Fig. 3 は再生増幅器とその利得特性を示す。再生ヘッドを人力に直列に接続して測定した特性で、約 50 kHz まで平坦な特性を示している。50 kHz はテープ上の記録波長で約 $4 \mu\text{m}$ (反転密度で 500 FR/mm) に相当し、ここでの実験範囲に対してはほぼ十分な特性と言える。

2.3 実験方法

以上の実験装置により供試磁気テープに連続的な対称磁化反転パターンを記録し、これを巻戻してから再生した。再生信号の振幅、波形幅、波形などは再生増幅器の出力をオシロスコープで直読することによって測定した。なお、記録に先立って供試磁気テープは消去ヘッドで AC 消去してから使用した。

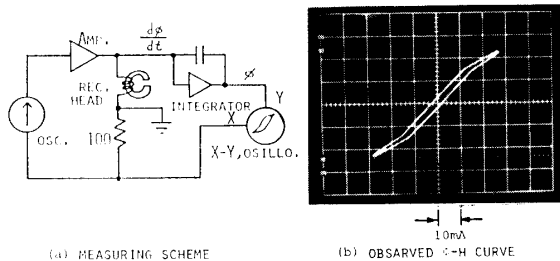


Fig. 1 Magnetizing characteristic of the recording head.

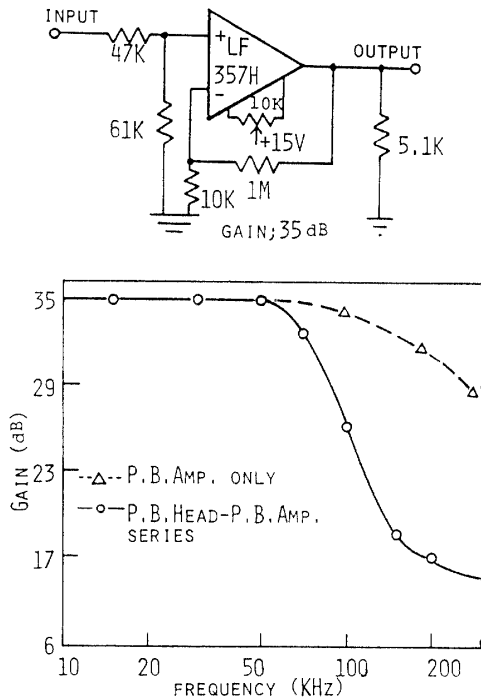


Fig. 3 Playback amplifier and its frequency-gain characteristic curve.

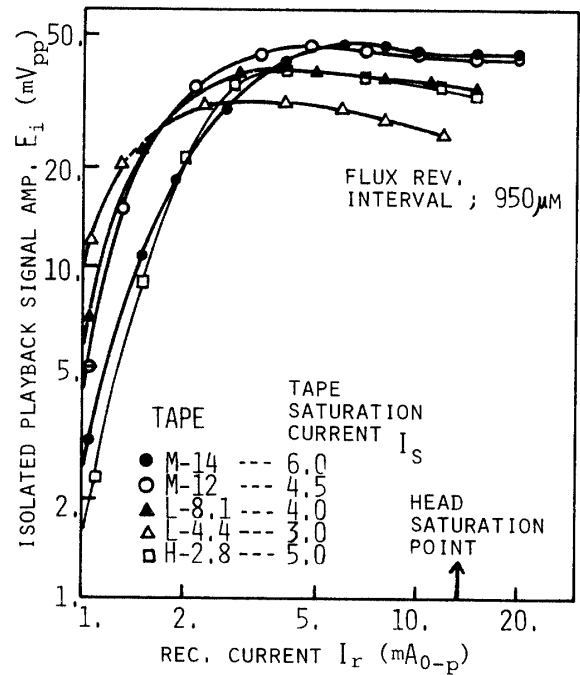


Fig. 4 Saturation characteristic curves of experimental tapes.

3. 実験結果

3.1 孤立波特性

隣接波間の干渉特性を論ずるには、まずひとつひとつの孤立的な磁化反転に対する再生波の特性を把握しておく必要がある。そこで、磁化反転間隔を十分に長くとり、これを 950 μm として孤立再生波の性質を調べた。以下にその結果を示す。

Fig. 4 には、各供試磁気テープの飽和特性、つまり記録ヘッド電流振幅 I_r と再生ヘッド出力信号振幅 E_i の関係を示す。各供試磁気テープの飽和記録電流 I_s 、つまり E_i 最大となる I_r の値をこの図から求めると、ほぼ Table 3 のようになる。各種の記録特性は、記録電流レベルがこの I_s の何倍であるかによって変わるので、以下、記録レベルは実際の記録電流振幅 I_r とそのテープの飽和電流 I_s の比、 $K=I_r/I_s$ によって規正する。

Fig. 5 に、ひとつの磁気テープ (例として L-8.1 の場合を示すが、他のテープもほぼ同様である。) について、記録レベル K を 0.25~3 に変えた場合の孤立再生波形の変化を示す。 $K=0.25$ では特徴的な双峰性波形がみられるが、これは低記録レベル時に現れる記録ヘッドギャップの前後縁二重記録現象⁶⁾ によるもので、双峰の間隔はすでに知られているとおり、記録ヘッドギャップ長 $g_r=7.9 \mu\text{m}$ に等しい。 $K=0.5$ 以上

Table 3 Tape saturation current

Tape	H-2.8	L-4.4	L-8.1	M-12	M-14
Saturation current I_s (mA _{0-p})	5.0	3.0	4.0	4.5	6.0

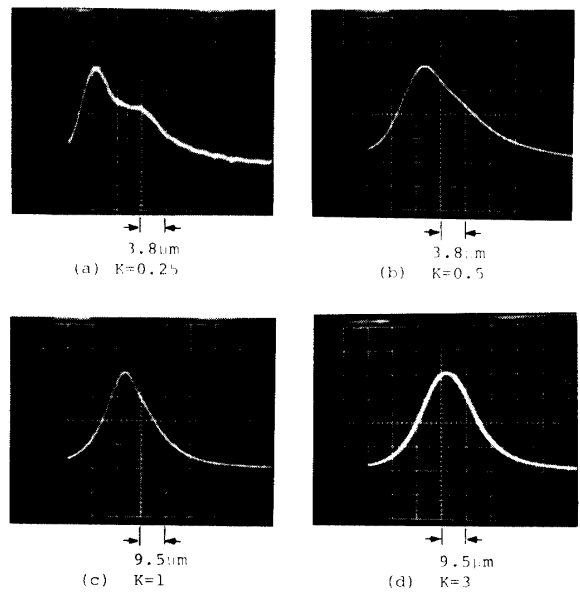


Fig. 5 Isolated playback signal waveforms for various recording levels. (Tape: L-8.1)

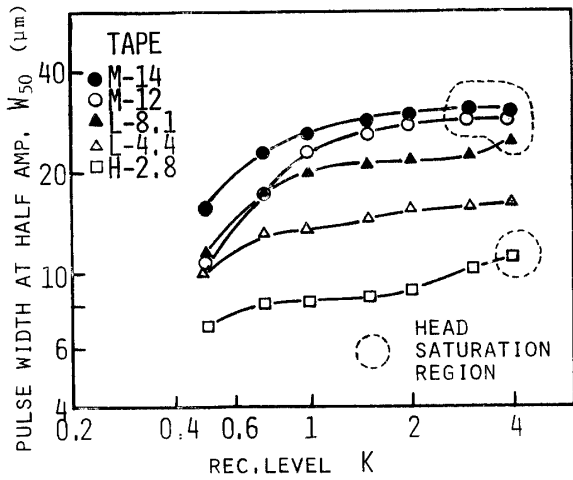


Fig. 6 Pulse width at half amplitude versus recording level.

ではこの記録ヘッドギャップ効果はほぼ消失し、 \tan^{-1} 関数の微分形であるローレンツ形波形を示すが、ピーク点の左右に関してやや非対称性が認められ、 K が低い場合ほど立上りが急、立下りが緩となっている。また波形全体の幅が K の増加とともに増加している。

Fig. 6に、この孤立再生波の50%振幅点でみた波形幅 W_{50} を各磁気テープについて各記録レベルで測定した結果を示す。 W_{50} はテープ長換算の長さである。なお $K < 0.5$ では上述のような記録ギャップ効果によ

る双峰波形のために W_{50} が見掛上増加する場合があるので、この図ではその範囲は除いた。また、図の点線で注記した点は、記録ヘッドの電流が 13 mA_{0-p} をこして記録ヘッドが飽和している範囲で、そのデータには記録ヘッド飽和の影響が含まれていることに注意すべきである。

3.2 干渉特性

記録周波数を上げて磁気テープ上の磁化反転密度を高めると、再生信号の振幅 E は孤立波振幅 E_i から次第に減少し、場合によってはある反転密度で E の最小点（ミニマ）を生ずる。

ここでは、各供試磁気テープについて、種々の記録レベルで記録した場合、この磁化反転密度の増加に対する再生信号振幅 E の変化を測定した。なお、記録パターンは2章で述べたように、正負対称の連続的な磁化反転パターンである。

Fig. 7にその測定結果を示す。横軸は磁化反転密度で、たて軸は再生ヘッド出力における再生振幅の $p-p$ 値でプロットしている。なお、図で点線で示している、TAPE: M 14の $K=3$ の場合と TAPE: M 12の $K=3$ の場合は、Table 3を参照すればわかるように実際のヘッド記録電流値が 13 mA_{0-p} をこす値で記録したもので、このデータには記録ヘッドの飽和の影響が含まれている。

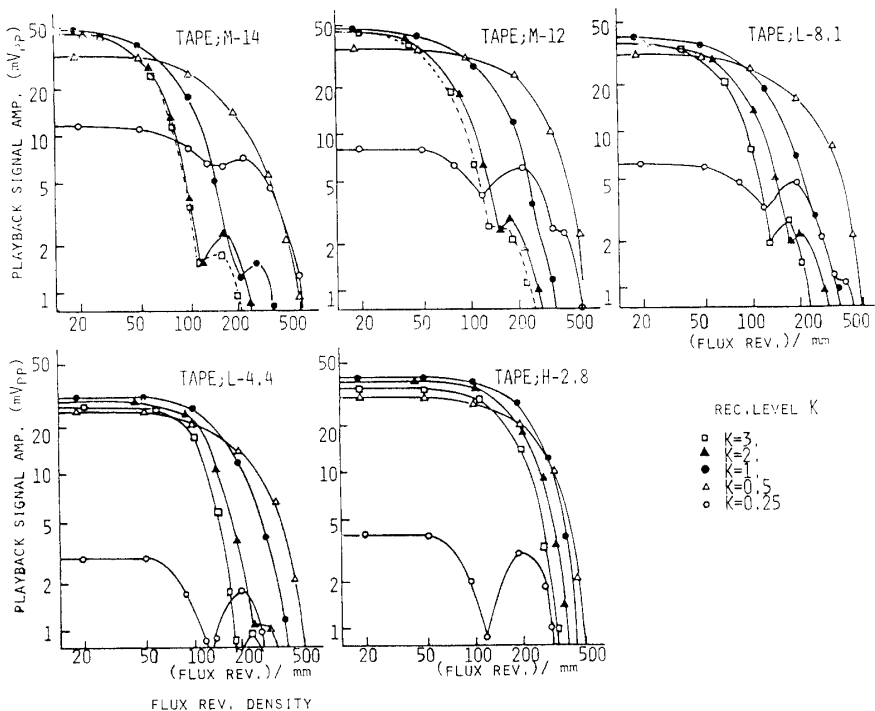


Fig. 7 Playback signal amplitude versus recording transition density.

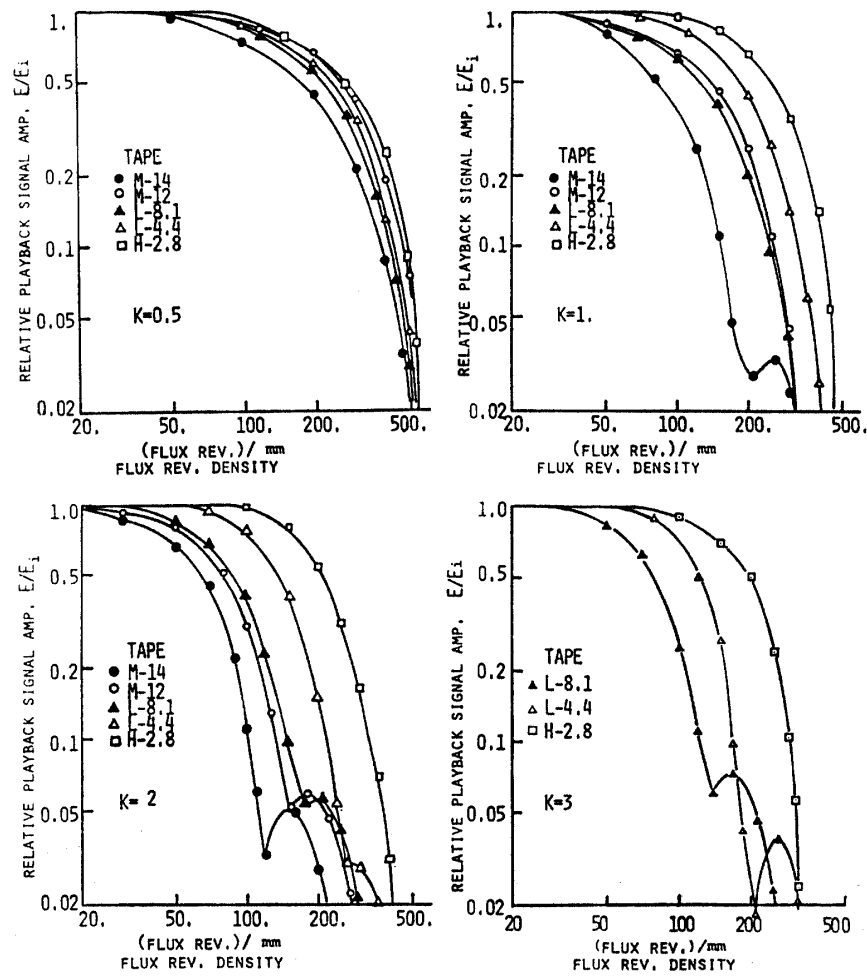


Fig. 8 Relationships between relative playback amplitude and recording transition density for each recording level.

図において、低い記録レベルの $K=0.25$ の場合にはテープの種類にかかわらずある特定の反転密度で再生振幅のミニマが見られる。これはすでに知られているように、低レベル時の記録ヘッドギャップ効果による二重記録干渉現象で生じたもので、Fig. 5 の孤立再生波の $K=0.25$ の場合を重ね合わせることも容易に推定される。このミニマ反転密度 b_n は、記録ヘッドギャップ長を g_r として、

$$b_n = \frac{g_r/2}{n-0.5}, \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

の関係にある。⁶⁾

また、 $K \geq 1$ の過飽和記録レベルの場合には、テープの種類により異なる密度において上記とは別の振幅ミニマが見られる。これはすでに知られているように、テープの厚さ方向の磁化反転位相差にもとづく記録干渉現象によるもので、このミニマ反転密度 b_s は、磁性層厚さを δ として、

$$b_s = k\delta^\alpha, \quad \alpha \cong 0.9 \quad (2)$$

の関係が報告されている。⁶⁾ 図のデータでは α は 0.9 よりも小さいようであるが、傾向としては従来の報告と合致する。

Fig. 8 は、Fig. 7 のデータを書き直し、各記録レベルにおいてテープの種類による干渉特性の差異を示すようにプロットしたもので、たて軸は各場合の孤立再生波振幅 E_i で規準化した相対再生振幅 E/E_i をとっている。なお、こつ図では記録ヘッドの飽和が生じている場合は除いた。図で明らかのように、干渉による再生振幅の低下は、テープの磁性層厚さが厚いほど低い反転密度からおこるが、記録レベルが未飽和領域、 $K=0.5$ になるとテープ磁性層厚さによる差異はかなり少なくなる。

4. 考 察

4.1 実験結果の整理

3.2 節に示した結果から、デジタル連続反転パ

ターンに関する干渉特性について、定性的にはつぎのことが言える。

- (1) 干渉による再生振幅の低下は、一般に記録レベルによってかなり異なる。記録レベルが高いほど、低い密度から低下する。(Fig. 7 参照)
- (2) 上記の記録レベル依存性は、しかし媒体の種類によって異なる。媒体の厚みが薄いとこの依存性はかなり少ない。(Fig. 7 の TAPE : H-2.8 を他と比較せよ。)
- (3) 記録レベルが飽和より著しく低い場合には、前節でふれたように記録ヘッドギャップ効果による振幅ミナが生ずる。
- (4) 記録レベルが飽和より高くなるにつれて、前節でふれたように媒体厚みに関する磁化反転の位相差にもとづく振幅ミナが現れる。このミナ密度は記録レベルが高いほど低い密度に移動する。
- (5) 再生振幅の低下は、同じ記録レベルでは媒体の厚みが厚いほど低い密度からおこる。しかし、この媒体厚み依存性は、記録レベルが媒体の未飽和域にあるときほど大きくない。(Fig. 8 参照)
- (6) 特性の記録レベル依存性は、記録ヘッドの飽和によって影響され、ヘッドの飽和以上の領域では特性はあまり変化しなくなる。(Fig. 7 TAPE : M-14, M-12 の点線を参照。)

さらに諸因子の影響を定量的に論ずるため、Fig. 7, 8 に示した反転密度—再生振幅特性から再生振幅が孤立波振幅の50%に低下するような反転密度 D_{50} を求め、これを半値反転密度と定義して D_{50} と諸因子の関係を調べる。

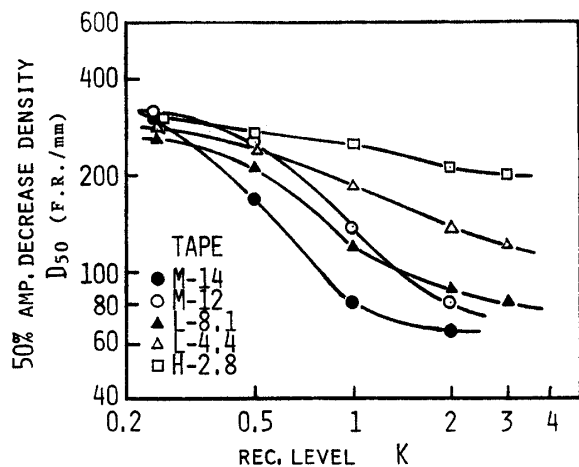


Fig. 9 The dependence of 50% amplitude decrease density on recording level.

Fig. 9 は、Fig. 8 から各記録レベル K について各テープの半値反転密度 D_{50} を求め、 K を横軸に両対数グラフ上に示したものである。これからわかるように、 D_{50} は一般に K の増加とともに最初ゆるやかに、媒体の飽和につれて急速に（最大傾斜は厚い媒体では K^{-1} に近い）、そして飽和を過ぎると再びゆるやかに減少する傾向があり、この傾向は媒体厚みが厚いと顕著に現われる。媒体厚みが薄くなるにつれて D_{50} の記録レベル依存性は少なくなる。

また K が大きいと、媒体厚みによる D_{50} の差は大きい、 $K \leq 1$ の未飽和領域では媒体厚みによる D_{50} の差が少なくなり、 $K=0.25$ 付近になると殆んど差が出なくなる。(この図の $K=0.25$ のプロットは、Fig. 7 の $K=0.25$ の曲線のピークを連ねる包絡曲線を引き、この包絡曲線のたて軸が50%に落ちる密度をとった。)

Fig. 10 は Fig. 9 を書き直して D_{50} の媒体厚み δ に対する依存性を両対数グラフ上に示したものである。

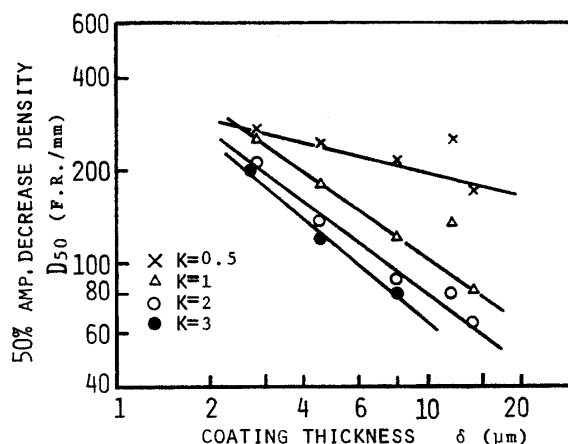


Fig. 10 The dependence of 50% amplitude decrease density on medium thickness.

なお、この厚さ δ の値は各供試テープのカタログ公称値をとったので、実際のサンプルでは誤差がありうる。図で、 $\delta=12 \mu\text{m}$ の M-12 TAPE はやや特異な値を示しているが、これを除くと δ と D_{50} の関係は両対数グラフ上でほぼ直線、すなわち、

$$D_{50} \propto \delta^{-\alpha} \quad (3)$$

で近似できる。 α の値は記録レベル K に依存しており、 $K=2\sim 3$ では0.8程度、 $K=1$ では0.7程度、 $K=0.5$ では0.3程度である。このように、 D_{50} の厚み依存性は K が飽和以上に十分大きいと δ に殆んど逆比例に近い関係をもつが、 K が1以下の未飽和域では δ 依存性は急速に減少する。なお、これらのデータは、記録ヘッドギャップ長 g_r を $7.9 \mu\text{m}$ に固定してとったものであって、 g_r を変えた場合、上記の関係がどうな

るかは今後の検討課題である。

4.2 孤立再生波の重ね合せとの照合

つぎに、上述の干渉特性が孤立再生波の重ね合せによつての程度説明できるかを検討する。

デジタル形記録の孤立再生波の性質と、その重ね合せによる干渉特性の解析については、すでにいくつか発表されている。付録にその概要を示した。付録の各式でわかるように、孤立再生波の波形やその半値幅 W_{50} は、媒体の磁化反転傍に現れる表面磁束密度分布の広がりを示すパラメータ a 、再生ヘッドギャップ長 g 及び再生ヘッドと媒体の分離長 d の3因子により計算できる。また、孤立波を間隔 b で反転させつ

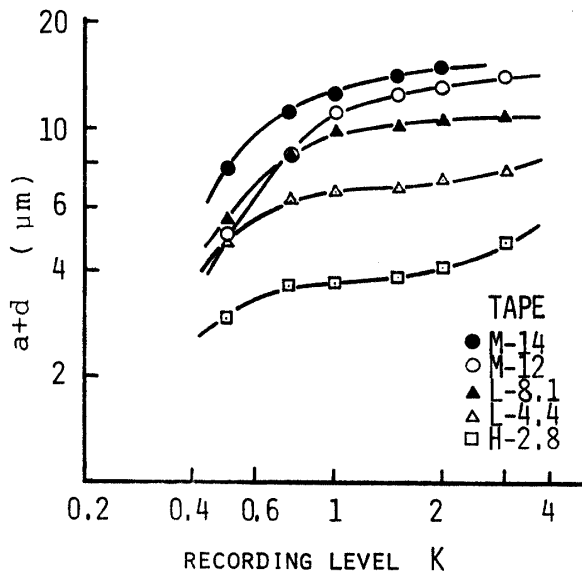


Fig. 11 Plots of parameter $(a+d)$ obtained from measured W_{50} values.

重ね合せた場合の振幅特性は、Fig. A-2 のように規準化して示すことができる。

Fig. A-2 でわかるように、 $(g/2)/(a+d) \leq 0.5$ の範囲であれば、再生振幅特性は g を零と見なした場合の特性からさほど変らない。孤立波の波形についても同様なことが言える。

さて、この計算値と実験値とを照合するため、まず供試テープの各記録レベルについて孤立再生波半値幅 W_{50} の観測値から (A-3) 式を利用してその $(a+d)$ 値を求めると Fig. 11 のようになる。H-2.8 の $K=0.5$ 附近を除くと、 $g/2 = 1.75 \mu\text{m} \leq 0.5 \times (a+d)$ の範囲にあることがわかるので、以下の照合では、計算値として、 $g \rightarrow 0$ の場合の値を用いる。

Fig. 12 は Fig. 8 の各実験結果について Fig. 11 の $a+d$ 値を適用して横軸を $b/(a+d)$ に規準化してプロットしたもので、実線は付録の Fig. A-2 に示した $g \rightarrow 0$ の場合の計算値そのものである。図でわかるように、実験値とこの計算値との一致性は、傾向としてはともかく、定量的にはあまり良いとは言えない。とくに記録レベルが小さいときに違いが大きく、また、 E/E_i が比較的大きい範囲での不一致性が目立っている。Kの大きい、また E/E_i の小さい領域では、前述の高記録レベル時に生ずる振幅ミナに引込まれる形で E/E_i が減少し、見掛上、計算値との一致性がよくなる。

また、Fig. 13 は付録の (A-6) 式を検証するために、孤立波半値幅 W_{50} と半値反転密度 D_{50} との関係を図. 6 及び Fig. 9 を用いてプロットしたものである。図からわかるように、 D_{50} と W_{50} の逆比例性は実際にもほぼ成立しているが、その係数は計算値の1.4よりかなり大きい。実際と計算値とのこのような不一

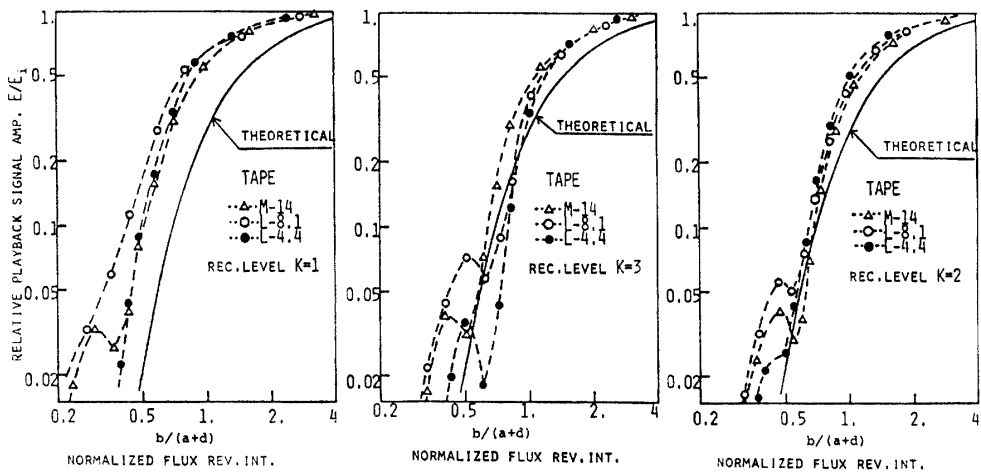


Fig. 12 Comparisons between experimental and theoretical value with respect to relative playback signal amplitude vs. normalized flux reversal interval characteristics.

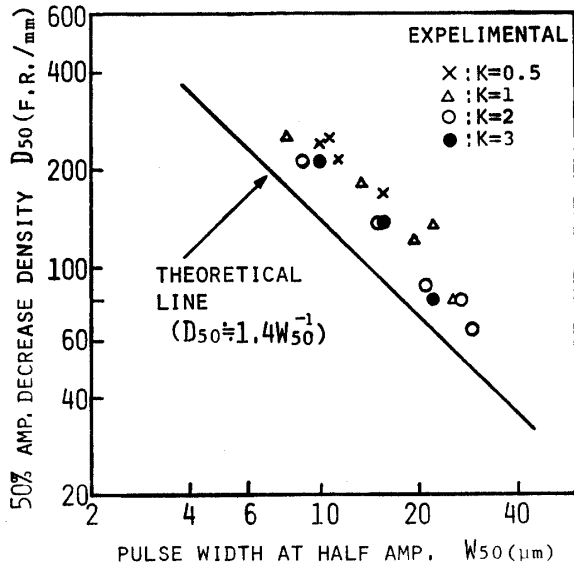


Fig. 13 Fifty percent amplitude decrease density versus pulse width at half amplitude of isolated playback signal.

致性的原因としては、孤立波形そのものの実際と理論とのずれと、本来非直線である記録過程の干渉を直線的と見なして計算している点が挙げられる。後者については、とくに干渉の深い、 E/E_i の小さい範囲においてその影響が大きくなると考えられるが、実験結果では反って干渉の浅い、 E/E_i が比較的大きい範囲で、理論値より実際がかなり大きい傾向が見られる。

そこで、孤立再生波形自身の理論と実際の相異に注目し、実際の孤立再生波形を重ね合せた場合の干渉特性を求めてみた。Fig. 14は孤立再生波形の理論値と実際を比較した例で、この例は Fig. 5 に示した L-8.1 テープの場合である。理論値は付録の (A-2) 式を用いて、 W_{50} が実際と合うようにしてえがいた波形である。図でわかるように、実際の波形は理論波形のようにピークに対して前後対称でなく、また、波形のボトム尾引きが理論よりもかなり少ない。この尾引きの少ないことは、重ね合せた場合のとくに干渉の浅い領域の特性を変化させる。

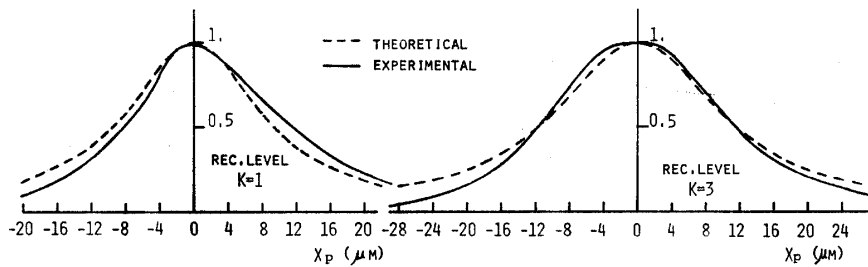


Fig. 14 Comparisons between experimental and theoretical waveforms of isolated playback signal. (Tape: L-8.1)

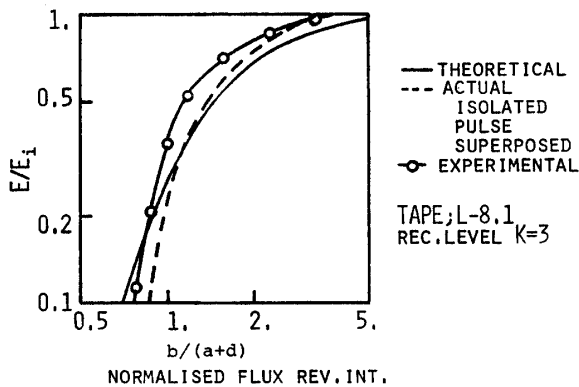


Fig. 15 Comparison between the superposition of ideal and actual isolated playback signal.

Fig. 15 は、Fig. 14 の $K=3$ の場合を例として実際の孤立波形を間隔 b で反転させつつ重ね合せた場合の振幅特性を求め、これを規準化グラフ上に点線のカーブで示したもので、前記の数式による理論値 (実線)

とくらべると、とくに E/E_i が大きい範囲において実際により近いことがわかる。

このように、干渉特性の孤立波形重ね合せによる計算は、孤立波形自体を実際により近い関数で近似すればかなり実際の特性を予測できることがわかる。たとえば、 \tanh 関数の導関数である sech^2 関数などがその候補であろう。

5. むすび

デジタル形磁気記録の高記録密度時の干渉特性について、媒体と記録レベルの及ぼす影響を調べ実験的にそれを整理するとともに、孤立再生波の重畳計算との照合もあわせて行った。要点をまとめるとつぎのようになる。

- (1) 反転密度——再生振幅特性は、一般に記録レベルが高く、媒体厚みが厚いほど劣化する。(つ

まり低い反転密度から振幅が低下する.)

- (2) 高記録レベル時の特性劣化は、媒体厚みに関する磁化反転位相差にもとづく振幅ミニマによってかなり支配されている。
- (3) 半値反転密度 D_{50} は記録レベル K の増加により減少する。媒体厚み δ が厚いと飽和附近での K に対する減少率は大きく、ほぼ K^{-1} に比例する。しかし、 δ が薄いとこの記録レベル依存性は少なくなる。
- (4) D_{50} の δ 依存性は、ほぼ $D_{50} \propto \delta^{-\alpha}$ の形で近似できる。 α は K が1より大きいとほぼ0.7~0.8であるが、未飽和域たとえば $K=0.5$ では0.3程度になり、 δ 依存性は少なくなる。
- (5) 孤立波の半値幅 W_{50} と上記 D_{50} は、かなり広い範囲にわたり逆比例関係にある。しかし、その比例係数は孤立波の重畳計算から求まる値とはかなり異なる。
- (6) 従来の関数形による孤立再生理論波形の重畳計算と実際の干渉特性は、全般にあまりよく一致しない。これは孤立理論波形が実際よりも尾引きの多い形で近似されていることも一因となっている。実際に近い孤立波を重ね合わせることによって、実際により合致する干渉特性の予測が可能である。干渉特性に及ぼす記録ヘッドギャップ長の影響やヘッドと媒体の分離の影響は極めて重要で興味ある問題であるが、今回は検討しなかった。また非対称パターンの干渉特性も今後の検討課題である。

付 録

孤立再生波の重ね合せによる干渉特性の計算

デジタル記録の孤立的な磁化反転に対する再生波と、その直線的な重畳による隣接波干渉特性の計算については、すでに多くの発表がある。ここでは文献(1)を参考にして要点をあげる。

デジタル記録の孤立的な磁化反転近傍において、媒体の表面から外に現れる表面磁束密度の媒体長手方向 x に沿う分布を、 $a^2/(a^2+x^2)$ の形で近似する。これをギャップ長 g なる再生ヘッドで再生したとき、再生信号波形は、その振幅 E_i で規準化して表すと、

$$\frac{e(x_p)}{E_i} = \frac{1}{2 \tan^{-1} \left(\frac{g/2}{a+d} \right)} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{x_p + g/2}{a+d} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{x_p - g/2}{a+d} \right) \right\} \quad (A-1)$$

$g \rightarrow 0$ の場合には上式は

$$\frac{e(x_p)}{E_i} = \frac{(a+d)^2}{(a+d)^2 + x_p^2} \quad (A-2)$$

に収束する。但し、 d は再生ヘッドと媒体の分離長、 x_p は再生ヘッドギャップ中心の x 座標である。

(A-1) 式から孤立再生波の半値幅 W_{50} を求めると、

$$W_{50} = 2\sqrt{(a+d)^2 + (g/2)^2} \quad (A-3)$$

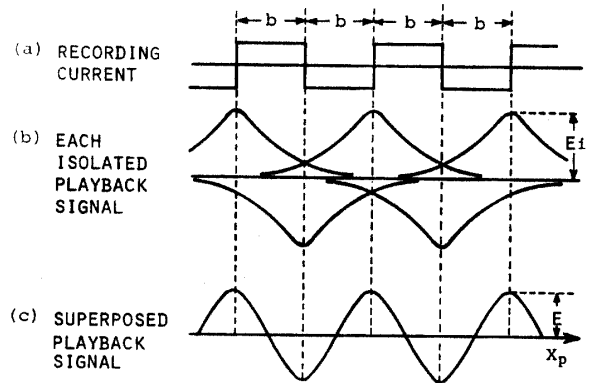


Fig. A-1 Illustration of the superposition of isolated playback signals.

いま、Fig. A-1 に示すように、媒体上に反転間隔 b (反転密度 $D=1/b$) で連続的な対称磁化反転パターンが記録された場合、その再生信号を孤立波の単なる重ね合せであると仮定して、その振幅 E を求めると、それは孤立波振幅 E_i に対して

$$\frac{E}{E_i} = 1 - \frac{1}{\tan^{-1} \left(\frac{g/2}{a+d} \right)} \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{nb+g/2}{a+d} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{nb-g/2}{a+d} \right) \right\} \right], \quad (n=1, 2, \dots) \quad (A-4)$$

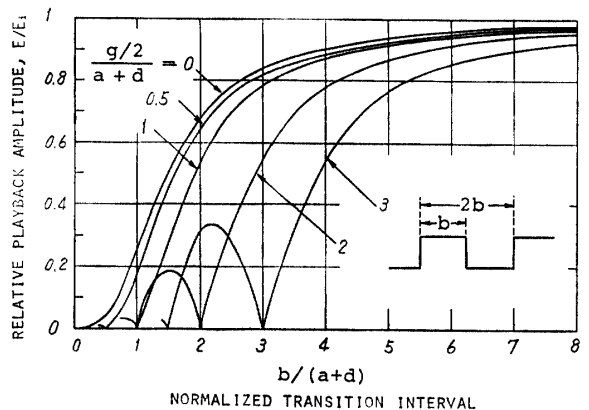


Fig. A-2 Calculated curves of relative playback amplitude with respect to normalized recording transition interval.

上式で、とくに $g/2 \ll a+d$ の場合には、

$$\frac{E}{E_i} = \left(\frac{a+d}{b} \pi \right) \operatorname{cosech} \left(\frac{a+d}{b} \pi \right) \quad (\text{A-5})$$

Fig. A-2 は (A-4), (A-5) 式を計算して規準化反転間隔 $b/(a+d)$ と E/E_i の関係を求めたものである。

$g/2 \ll a+d$ の場合には (A-3) 式の W_{50} は $2(a+d)$ に等しいから、この関係を (A-5) 式に代入し、この場合の $E/E_i = 0.5$ となる反転密度, D_{50} を求めると、

$$D_{50} \doteq 1.4/W_{50} \quad (\text{A-6})$$

の関係にあることがわかる。

参 考 文 献

1) 越本, 西川: デジタル形磁気記録の波長特性, 信学会

磁気記録研究会資料, MR 69-2 (1969)

2) D. E. Spiliotis: Theory and Experiment in Magnetic Recording, J. Appl. Phys., **39**, 1310 (1968)

3) R. L. Comstock, E. B. Moore: Ferrite Film Recording Surfaces for Disk Recording, IBM J. Res. Develop., **18**, 556 (1974)

4) 西本, 永尾: 磁気記録における多重遷移のコンピュータ・シミュレーション, 信学会磁気記録研究会資料, MR 73-23 (1973)

5) R. I. Potter, R. J. Schmulian: IEEE Trans. on Magn., MAG-7, 873 (1971)

6) 西川: デジタル形磁気記録の磁化機構 (2), 信学会磁気記録研究会資料, MR 66. 9-19 (1966)

(昭和56年4月14日 受理)