重ね記録における再記録機構の考察

Study of Re-recording Mechanism in Overwrite Recording

中川貴之 菅谷汎

九州芸術工科大学

Takayuki Nakagawa Hiroshi Sugaya

Kyushu Institute of Design

Abstract - Overwrite recording is very popular, but there are few studies of re-recording phenomena. In this paper, the re-recording dip is explained by the newly introduced "contact printing model." The previously recorded signal can be transferred onto the overwritten signal area by the bias effect of the overwritten signal's magnetic flux. This model can be confirmed by some experiments including the phase measurement at both area after and before re-recording dip.

Key words :

Overwrite Recording, Overwrite Erasing
Re-recording Phenomenon, Contact Printing

1. はじめに

現在、重ね記録は、VHS VTRなどにおけるFM音声記録やデータ記録における重ね書き消去などに利用されている。しかし、その記録メカニズムは非常に複雑であり[1]、未だに理論的には確立されていない。先に記録する信号をS-1、後から記録する信号をS-2とする。S-1にS-2を重ね記録したとき、S-2の記録波長(λ_2)または記録電流(I-2)に対するS-1の相対残留レベル特性にディップ(極小点)を生じる現象が起こることがある。このディップを生じる現象は再記録現象と呼ばれ[2]、まだ十分な説明はなされていない[3][4]。そこで、我々は、この再記録現象を説明するためにコンタクト・プリンティング・モデル(Contact Printing Model)を新しく提案した[5]。

このモデルによれば、ディップが起こる前と後では、重ね記録後のS-1の位相が 180° 反転することになる。これまで、S-1の相対残留レベルの λ_2 依存特性に関して、S-1の位相がディップの前後で反転することが実験によって確かめられている[6][7]。一

方、I-2依存特性に関しては、重ね記録後のS-1の出力が非常に小さいため、これまで波形の測定ができていなかった。しかし、今回、再生系にさらに増幅器を追加するなどの改善を加えることによりS-1の位相を調べることができ、このモデルがさらに分かりやすくなった。このことにより、コンタクト・プリンティング・モデルの必要条件の一つが説明できたので、本論文に報告する。

2. 実験

記録再生測定系のブロック図を図1に示す。実験はドラムテストを用いて行なった[8]。ヘッドとテープの相対速度は5.9m/s(現行VHS HiFi VTRとはほぼ同一)とした。実験に用いたヘッドとテープの諸元を表1に示す。Head Aは8mm Video用のMIG型ヘッドであり、Head BはVHS用のフェライトヘッドである。測定時には、これらのヘッドのアジマス

図1 重ね記録測定系

表1 ヘッドとテープの諸元

	Track Width[μm]	Gap Length[μm]	Azimuth Angle[degree]
Head A	29	0.23	+10
Head B	70	0.33	-6

Media	Ms//[emu/cc]	Mr//[emu/cc]	Hc//[Oe]	Thickness[μm]
Co-γ-Fe ₂ O ₃	150	120	840	4

角度は0° になるよう調整した。また、テープはS-VHS用の1/2"ビデオテープである。

まず、先に記録する信号S-1を最適記録電流でテープに記録する。次に、後から記録する信号S-2を同一トラックに同じヘッドを用いて重ね書き記録する。そして、この時のS-1の出力レベルをスペクトラムアナライザで測定し、S-1の相対残留レベル(Relative Residual Level)を求める。S-1の相対残留レベルは次のように定義する。

$$\text{S-1の相対残留レベル} = (\text{重ね記録後のS-1の出力レベル}) - (\text{重ね記録前のS-1の出力レベル}) [\text{dB}]$$

位相の観察では、再生系に増幅器とローパスフィルタを追加し、デジタルオシロスコープで波形を観察した。

3. 再記録現象

図2は、S-1の周波数 f_1 (波長 λ_1)を3.0 MHz(2.0 μm)、S-2の周波数 f_2 (波長 λ_2)を5.0 MHz(1.2 μm)とし、記録電流 I_2 を変化させたときのS-1の相対残留

図2 再記録現象とスペーシングロス

レベルを示している。S-1の記録電流 I_1 は最適記録電流で14mA p-pであり、S-2を単独で記録した場合の最適記録電流は10mA p-pである。この図2から、 I_2 が14mA p-pで、S-1の相対残留レベル特性にディップが生じていることが分かる。この現象は再記録現象と呼ばれている。

図2に見られるような再記録現象は、これまでもいくつか報告されている。J.G.McKnight(1963)は、比較的低い周波数の正弦波信号を交流消去する過程において、この再記録現象が生じることを初めて報告した[2]。しかし、その具体的な検討はなされていなかった。

その後、沢田ら(1979)によって2つの再記録理論が報告された[3]。すなわち、“反磁界の再記録”と“ヘッドコアの誘導による再記録”である。まず、“反磁界の再記録”とは、先に記録してある信号S-1が消去磁界中を通過した後も残っている場合、その反磁界が消去磁界をバイアスとして再記録されるというものである。このとき、S-1の消え残り磁化と反磁界による再記録磁化とは向きが逆であるので、2つの磁界が適当な条件で等量になると互いに打ち消し合い、ディップが生じることになる。しかし、その厳密な再記録モデルについては現在もなお十分な説明はなされていない。次に、“ヘッドコアの誘導による再記録”であるが、これは消去磁界の大きさとは関係なく、S-1の磁界がヘッドコアあるいはギャップを通してヘッドのトレーリング側に誘導され、交流消去磁界でバイアス記録されるというものである。このようなヘッドコアの誘導による再記録現象は、D.Wachenschwanz(1985, [4])や伊藤ら(1992, [9])によっても報告されている。しかし、このヘッドコアの誘導による再記録理論では十分に説明することができない現象もいくつか報告されている[5][6][10]。そこで、我々は再記録現象を説明するためにコンタクト・プリンティング・モデル(Contact Printing Model)を提案した[5]。

4. コンタクト・プリンティング・モデル

最適記録電流で記録されるS-1の記録深さは、記録波長 λ_1 のほぼ1/4となる[11]。重ね記録信号S-2は、あらかじめ記録されていたS-1の表層部を消去する。したがって、S-1の再生時にはその消去された部分がスペースとして働くため、重ね記録後のS-1の再生出力はスペーシングロスによって減少する

[12]。そこで、図2にf-1が3.0 MHzの場合のS-1のスペーシングロス L_s を点線として加える。ただし、スペーシングロス L_s は次式によって与えられる。

$$L_s = 54.6 \frac{d_2}{\lambda_1} \text{ [dB]} \quad (1)$$

ここで、 λ_1 はS-1の記録波長 λ_1 、 d_2 はS-2の記録深さであり、Karlqvistの式[13]から次のように表わされる。

$$d_2 = \frac{g}{2 \tan\left(\frac{\pi H_c}{2 H_g}\right)} - d_m \quad (2)$$

この式で、 g はギャップ長、 H_g はギャップ内の磁界、 d_m はヘッドとテープ間の機械的なスペースである。

一方、重ね記録時にはS-2の磁界はバイアス磁界として作用する。S-2は正弦波信号であるが、S-2の記録波長がS-1の記録波長と同程度に長いので、こ

(a) I-2が比較的小さい場合、S-1の消え残り磁化は転写された磁化によって弱められる。

(b) S-1の消え残り磁化と転写された磁化がちょうど打ち消しあうとき、ディップが生じる。

(c) I-2をさらに増加すると、S-1の再生出力は主に転写された磁化から得られるようになり、S-1の位相は反転する。

(d) I-2がさらに増加すると、S-1の出力はさらに減少する。

図3 コンタクトプリンティングモデル概念図

こではS-2は直流バイアスに近い磁界として作用する。一般に信号磁界が小さい場合には、直流バイアスは交流バイアスとほぼ同等の磁化率があると考えられる[18]。したがって、消え残ったS-1からの磁界を信号磁界とすれば、テープ内のS-2が記録される部分の磁化率はバイアス効果により極めて高くなる[14][17]。そのため、消え残ったS-1の磁化は、ちょうど接触転写(Contact Printing)と同様に、S-2の記録される部分へ転写される(図3 a)[14][15]。なお、図3ではS-2の磁界の矢印は図を見易くするために描いていない。このとき、転写された磁化と消え残りのS-1の磁化とは位相が 180° 反転しているため、これらの磁化は互いに弱め合うようになり重ね記録後のS-1の再生出力はスペーシングロスよりもさらに減少する(図2)。I-2を増加していくと、適当な条件で2つの磁化がちょうど打ち消し合うようになる。そうすると、重ね記録後のS-1の再生出力はゼロとなり、図2のようなディップを生じる(図3 b)。このディップを生じるときの磁化の様子は、1つの信号を記録した場合の記録減磁における回転磁化モード(Circular Mode)に似ている[16]。さらにI-2を増加すると、S-1の再生出力は再び増加す

(a) S-1を最適記録電流で記録する。

(b) S-2を重ね記録している過程

(c) 重ね記録時のテープ内の磁界の様子

図4 重ね記録時の転写過程の概念図

る(図3 c)。その後、S-1の出力は再び減少していく(図3 d)。

以上がコンタクト・プリンティング・モデルの簡単な説明である。しかし、実際の重ね記録においては、刻々と変化するヘッド磁界によって転写される動的で非常に複雑なプロセスとなる。ここでは、ある時刻にヘッド磁界が印加されたときの転写プロセスを説明する。

今、長手配向された媒体が角型ヒステリシスを持ち、記録信号S-1が図4 aのように記録されているとする。そこに図4 bのようにS-2のヘッド磁界Hhが印加されると、Hhがある程度大きい領域では、S-1は消去され、S-2のバイアス効果により磁化率が上昇する。消え残ったS-1から発生する磁界は図4 cのようになり、これがS-2の記録領域にバイアス記録される。したがって、S-1の消去とS-1の転写は同時に起こるということになり、S-1が消去されたように見えても転写された磁化が残っていることは十分に考えられる。

5. 重ね記録特性

図5は、 $f_1(\lambda_1)$ を2.4MHz(2.5 μ m)として、I-2および $f_2(\lambda_2)$ を変化させたときのS-1の相対残留レベルを示している。S-1は最適記録電流で16mA_{p-p}である。また、S-2(3MHz, 4MHz, 5MHz)を単独で記録したときの最適記録電流は、それぞれ、14mA_{p-p}, 11mA_{p-p}, 10mA_{p-p}である。この図から、 f_2 が高くなるほど(λ_2 が短くなるほど)、ディップが生じ

図5 重ね記録特性

(a) λ_2 が比較的長いとき。

(b) ディップが生じたとき。

(c) λ_2 がさらに短くなったとき。

図6 λ_2 のによる転写の変化

るI-2が小さくなるということが分かる。この傾向は、使用ヘッドがフェライトヘッドの場合にはさらに強くなる[7]。以下で、この傾向をコンタクト・プリンティング・モデルによって説明する。

I-2が一定のとき、 λ_2 が比較的長い場合には、重ね記録後のS-1の消え残り磁化は大きい、S-2の磁化パターンが粗であるため、実効的なS-2の記録深さが浅く十分な転写は生じない(図6 a)。 λ_2 が短くなると、S-2の磁化パターンが密になっていくため、実効的な記録深さは深くなっていく。その結果、転写の効率も徐々に上がり、適当な条件でディップを生じる(図6 b)。さらに λ_2 が短くなるとS-1の消え残りはさらに減少し、テープの深層部でループを形成するようになる。したがって、S-1の再生出力は主に転写された磁化から得られるようになる(図6 c)。そのため、ディップが生じるためには、 λ_2 が短くなるほど、I-2が小さくならなければならないということになる。以上により、図5の傾向が定性的に説明できた。

6. 前記録信号の位相変化

コンタクト・プリンティング・モデルでは、ディップが生じる前後で重ね記録後のS-1の位相が180°反転していることが必要条件の1つである。そこで、今回は横軸が記録電流I-2の場合につい

図7 再記録現象によるディップ

て、実際にS-1の位相が反転しているかどうかを調べた。

まず、 $f-1(\lambda-1)$ を2.4MHz(2.5 μm)としてS-1を最適記録電流(22mA-p-p)で記録する。次に、同一トラックに $f-2(\lambda-2)$ を7.0MHz(0.9 μm)として、I-2を変えながらS-2を重ね記録する。ここで、S-2に7.0MHzという高い周波数の信号を用いたのは、ローパスフィルタ(3.75MHz)によってS-2を十分に減衰させるためである。また、S-2単独での最適記録電流は18mA-p-pである。結果を図7に示す。この条件では、I-2がおよそ26mA-p-pでディップが生じていることが分かる。また、I-2が30mA-p-pを越えたあたりからS-1の相対残留レベルがほぼ一定の値となっていることがわかる。これは、フェライトヘッドが磁氣的に飽和したためであろうと考えられる。次に、ディップの前後でのS-1の位相を調べるために、図7のA～Dの各点でS-1の再生波形を増幅器とローパスフィルタ(3.75MHz)を通してオシロスコープで観察した。その結果を図8 A～図8 Dに示す。

図8において、振幅の大きな波形はS-2を重ね記録する前のS-1の再生波形であり、振幅の小さな波形は重ね記録後のS-1の再生出力波形である。オシロスコープは回転ドラムの回転と同期しており、2つの波形は回転ドラムの回転に固定されている。したがって、回転ドラムに巻き付けられているテープがずれない限り、2つの波形の位相が動くことはない。

A、B点での測定結果。重ね記録後も位相は反転していない。

C、D点での測定結果。重ね記録後に位相が反転している。

図8 重ね記録後のS-1の再生出力波形の変化

図8の振幅の小さい波形に注目すると、A、B点では重ね記録後もS-1の再生波形の位相は変化していない。しかし、C、D点では重ね記録後のS-1の位相が180°反転していることがわかる。以上により、再記録のディップの前後では重ね記録した後のS-1の位相が180°反転していることが明らかになり、コンタクト・プリンティング・モデルの考え方と一致した。

7. まとめ

重ね記録における再記録現象は非常に複雑な現象であるが、我々が提案したコンタクト・プリンティング・モデルを用いることによりいろいろな条件下で生じたディップの定性的な説明ができることが分

かった。

また、今回、ディップの前後でのS-1の位相を調べることにより、コンタクト・プリンティング・モデルの必要条件の1つが確認された。

しかし、まだ、問題点がいくつか残っている。今後は、定量的な解析を含め、さらに検討をしていくことが必要であると思われる。

8. あとがき

磁気記録はひろく用いられているにもかかわらず、その記録のメカニズムはあまりよく分かっていない。記録信号が単一周波数のときには、岩崎ら(1975, [16])によって短波長で回転磁化モードが作られ、記録減磁が起こることが明確となり、これが、その後、垂直記録へと発展した。

2周波の信号の場合、つまり、重ね記録の場合は極めて複雑となり、粒子間の問題を含め、まだ十分に解明されていない。幸い、重ね記録における再記録現象は条件によって極めて明確に現われるため、重ね記録のメカニズムを解明する重要な手掛かりとなるものと考えられる。

今や、デジタル記録が磁気記録の主流となりつつあり、重ね記録が、日常、行なわれている。再記録現象の研究は、今後、記録密度を上げていくときに重要な手掛かりとなり、日頃、見過ごされがちな消去という現象についても有力な説明の手段を提供し、ひいては、記録のメカニズムをさらに解明するのに役立つものと思われる。

謝辞

本研究で使用した測定装置の一部は放送文化基金および松下電器産業(株)から、ビデオテープはフジ写真フィルム(株)から、ビデオヘッドはソニー(株)と松下電器産業(株)からそれぞれ提供して頂きました。ここにあらためて感謝の意を表します。

参考文献

[1] H. Sugaya, K. Kawahara, Y. Ueda and Y. Yamashita, "Influence of Perpendicular Component in Overwrite Recording," J. Magn. Soc. Japan Vol. 15 Supplement, No. S2, pp. 839-844, 1991.
[2] J. G. McKnight, "Erasure of magnetic tape," J. Audio Eng. Soc., Vol. 11, No. 3, pp. 223-233, 1963.

[3] 沢田、山口、田中、利光、"消去ヘッドにおける形状効果と再記録過程" 信学技報 MR79-10, pp. 11-20, 1979.
[4] D. Wachenschwanz and F. Jeffers, "Overwrite as a Function of Record Gap Length," IEEE Trans. on Magn., Vol. 21, No. 5, pp. 1380-1382, 1985.
[5] H. Sugaya, T. Arai and Y. Ueda, "Overwrite Recording on Different Recording Media," J. Magnetism and Magnetic Materials, 120, pp. 106-111, 1993.
[6] T. Arai and H. Sugaya, "Re-recording Phenomena in Overwrite Recording," IEICE, Tech. Rept., Vol. 92, No. 139, pp. 25-30, 1992.
[7] H. Sugaya, T. Nakagawa and T. Arai, "Re-recording in Overwrite Recording," to be published in IEEE Trans. on Magn., September, 1993.
[8] H. Sugaya and H. Noumi, "A Proposed Method of High Density Magnetic Recording," IEEE Trans. on Magn., Vol. 26, No. 5, September, pp. 2107-2109, 1990.
[9] 伊藤、田河、中村、"磁気記録におけるオーバーライト機構の解析"、電子情報通信学会論文誌C-II, Vol. J75-C-II, No. 12, pp. 762-769, 1992.
[10] 新井、菅谷、"面内配向角の異なるテープによる重ね記録"、信学技報 MR91-57, pp. 17-22, 1991.
[11] B. K. Middleton, "The Replay Signal from a Tape with Magnetization Components Parallel and Normal to Its Plane," IEEE Trans. on Magn., Vol. 11, No. 5, pp. 1173-1175, Sept., 1975.
[12] 荒井、竹内、野口、尼田、三浦、"VTRにおけるデジタル化音声の多重記録方式"、テレビジョン学会誌, Vol. 45, No. 9, pp. 1099-1108, 1991.
[13] O. Karlqvist, "Calculation of the magnetic field in the ferromagnetic layer of a magnetic drum," Trans. on Royal Inst. Tech., Stockholm, 86, 3, pp. 1-28, 1954.
[14] H. Sugaya, "Magnetic Tapes for Contact Duplication by Anhyseretic and Thermal Transfer Method," AIP Conf. Proceed, No. 10, Sec. 33, pp. 1086-1101, 1975.
[15] H. Sugaya, F. Kobayashi and M. Ono, "Magnetic Tape Duplication by Contact Printing at Short Wavelengths," IEEE Trans. on Magn., Vol. 5, No. 3, pp. 437-441, 1969.
[16] S. Iwasaki and K. Takemura, "An Analysis for the Circular Mode of Magnetization in Short Wavelength Recording," IEEE Trans. on Magn., Vol. 11, No. 5, pp. 1173-1175, Sept., 1975.
[17] W. K. Westmijze, "Studies on Magnetic Recording (Part III. The Recording Process)," Philips Res. Rep. 8, pp. 245-269, 1953.
[18] 小林、"磁気転写に関する研究"、博士論文(東北大学)、pp. 222-223, 昭和47年11月