VTR におけるデジタル化音声の多重記録方式

正会員 荒井孝雄[†], 竹内敏文[†]
 野口敬治[†], 正会員 尼田信孝[†]
 正会員 三浦邦昭^{††}

A Depth Recording Technique of Digital Audio Signals for VTR

Takao Arai[†], Toshifumi Takeuchi[†], Takaharu Noguchi[†],
 Nobutaka Amada[†] and Kuniaki Miura^{††}

Abstract: This paper describes a depth recording technique for commercial VTR in which the digital audio signal and the video signal are recorded on the depth-multiplexed layer of a magnetic tape. Digital audio signals with a data rate of 2.6Mbps were recorded with video signals. To avoid crosstalk, a digital modulation method has been studied which gives less low-frequency components. The O-QDPSK method was most suitable to magnetic recording. A data error rate of less than 10^{-4} was obtained and interference was eliminated.

1. ま え が き

VTR では、高画質、高音質を目的とし多くの研究がなされている。映像信号系を対象に、キャリア周波数のアップによる高解像度化、 C/N の向上、映像ジッタ低減などが実用化され、音声信号系では、固定ヘッドバイアス記録方式から回転ヘッドによる周波数変調記録方式^{1)~3)}、PCM 記録方式⁴⁾ への発展がみられる。

VTR に、映像信号とデジタル音声信号を多重する方式として、表 1 に示すように、エリア分割多重、時分割多重、周波数多重等がある。エリア分割多重は、磁気テープ上で映像信号と音声信号の記録エリアを分ける方法で、相互妨害が少なく記録密度も映像信

表 1 ビデオ機器におけるデジタル音声多重化方式
 Digital sound multiplex recording method for video signal

	多重化方式	変調方式
衛星放送	周波数分割多重	Q-DPSK-FM
ビデオディスク	周波数分割多重	EFM (Eight to Fourteen Mod)
8 ミリ VTR	エリア分割多重	Bi- ϕ Mod
検討 VTR	深層多重	Offset-QDPSK

号と同程度まで向上できる利点はあるが、テープ使用量が増える。時分割多重は映像信号の垂直同期や帰線期間に音声信号を挿入する方式で、充分な情報を伝達

キーワード: VTR, PCM, 深層記録, O-QPSK 変調, アジマス損失

1986 年 4 月 8 日, Proc. ICASSP 86 で発表

1990 年 8 月 1 日受付, 1991 年 5 月 13 日最終受付

[†] 株式会社日立製作所 映像メディア研究所 (〒244 横浜市戸塚区吉田町 292, TEL 045-881-1241)

^{††} 株式会社日立製作所 東海工場 (〒312 勝田市大字稲田 1410, TEL 0292-73-1111)

[†] Image & Media System Laboratory, Hitachi, Ltd. (〒292 Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244, Japan)

^{††} Tokai Works, Hitachi, Ltd. (1410 Inada, Katsuta-shi 312, Japan)

できない欠点がある。周波数多重は、通信分野では広く用いられている方法であるが、VTRに適用すると磁気テープの持つ非線形による相互妨害が障害となる。

本論文では、磁気テープの厚さ方向に映像信号とデジタル音声信号を多重記録する深層記録方式における深層記録系の波長依存性、 C/N 、クロストークによる妨害および狭帯域デジタル変調方式について述べる。

2. 深層記録方式の概要と目標仕様

2.1 深層記録方式の概要

深層記録方式は、VHS-HiFi⁵⁾にみられるように、表層部に記録する信号は1層記録と同じ特性が得られるが、前もって深層部に記録された信号は、表層部に記録する信号を重ね記録することにより C/N 、周波数特性が劣化する。したがって、この方式をVTRに適用するためには、表層部に映像信号を、深層部にデジタル音声信号を多重記録し、両者共充分な記録再生特性を確保することが必要になる。

図1に深層記録方式の原理を示す。この方式は記録波長の異なる信号を独立のヘッドで記録した場合、記録の深さが波長に依存することを利用したものである。まず、映像信号に比べて記録波長の長いデジタル音声信号を、音声ヘッドで記録する。次に映像ヘッドにより映像信号を記録する。この結果、相互で記録波長が異なるため記録の深さに差が生じ、磁気テープの表層部には映像信号が、深層部には記録の深さの差だけデジタル音声信号が記録される。

この方式は、表層部および深層部の信号をそれぞれ独立に記録するため、テープに飽和記録をしても信号間のビート妨害が発生しない利点がある。しかも表層部に記録された信号は、深層部の記録信号の有無にかかわらず、同じ性能で信号が記録できる。しかし、深層部は記録深さの差しか記録信号が残らないため、表層部の記録の深さだけスペーシング損失が生ずる。ま

図1 深層記録方式の原理
Principle of multi-layer recording.

た、表層部と深層部間のクロストークは信号間相互の妨害となる。

2.2 目標仕様とシステム概要

映像信号と多重するデジタル音声信号の仕様を、表2に示す。音声信号の性能はCD⁶⁾、DAT⁷⁾、衛星放送⁸⁾の音声Bモードと同等の性能が得られ、DATと同等な誤り訂正能力⁹⁾を確保する目的から、伝送速度は2.6 Mb/sと設定した。

映像信号は1/2インチ幅テープ民生用VTRとの両立性を考慮し同一方式を採用した。

図2に映像信号とデジタル音声信号の周波数配置を示す。映像信号は現行VTRに則り、輝度信号は周波数偏移3.4~4.4 MHzの周波数変調を、色信号は低域変換した後、輝度信号と重畳記録する。デジタル音声信号は映像信号と音声信号の分離のし易さ、相互妨害低減の観点から、輝度信号と色信号の中間に配置し深層多重記録する。

図3に試作VTRの構成を示す。映像信号の記録は前述の通り現行VTRと同じ信号処理をした後、映像ヘッドで記録する。音声信号は、A/D変換器でデジタル信号に変換し、同期信号、誤り訂正符号、付加情報などの信号処理を行った後デジタル変調し、音声ヘッドにより記録する。映像ヘッドと音声ヘッドの関係は、前述の通り、まず音声ヘッドにより書込まれ

表2 デジタル音声信号の仕様
Specifications of digital audio signal.

項 目	試作 VTR	DAT
チャンネル数	2	2
標本化周波数(kHz)	48	48
量子化	16 ビット直線	16 ビット直線
音声帯域幅(kHz)	20	20
誤り訂正符号	リードソロモン符号	リードソロモン符号
符号伝送速度(Mb/s)	2.6	2.46

図2 記録信号周波数配置
Signal allocation.

図 3 試作 VTR の構成
Block diagram of the prototype VTR.

たトラックの上を，後から映像ヘッドが重ね書きする深層記録ができる配置にする．映像ヘッドで再生された映像信号は，フィルタにより輝度信号と色信号に分離し，FM 復調，色信号復調などの映像処理を行い復調する．音声ヘッドで再生されたデジタル音声信号は，波形等化，デジタル復調後，誤り検出訂正，付加情報の復調を行い，D/A 変換器で元のアナログ音声信号に復調する．

本システムの課題は，

- (1) 深層記録系の記録再生特性 伝達速度 2.6 Mb/s の情報を伝達する周波数帯域およびデジタル信号の復調に必要な C/N の確保．
- (2) 多重化による相互干渉とその低減 2.6 Mb/s の広帯域信号を多重化することによるクロストークの改善および狭帯域デジタル変調方式．

があげられる．以下これらの課題につき考察する．

3. 深層記録方式の伝送特性

3.1 磁化特性

深層記録方式では深層部の特性は表層部の記録の深さに依存する．そこで，記録の深さとスペーシング損失効果から深層部の特性を考察してみた．

図 4 に示すヘッドのギャップから，テープの磁性面方向の磁界の強さ H_x はカールギスト (Karlqvist)¹⁰⁾ の式から (1) 式で示される．

$$\frac{H_x}{H_0} = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{g}{2y} \quad (1)$$

ここで， H_0 はギャップの中心における磁界の強さ， y はギャップからの距離， g はギャップ長を示す．

(1) 式から y について求めると，

$$y = \frac{1}{2} \frac{g}{\tan\left(\frac{\pi}{2} \frac{H_x}{H_0}\right)} \quad (2)$$

(2) 式になる．ここで H_0 は記録電流 i ，コイルのターン数 N とギャップ長で決まる．

$$H_0 = \frac{Ni}{g} \quad (3)$$

図 4 ヘッドギャップ近傍の磁界
Magnetic field near the head gap.

また，磁界の強さ H_x が磁気テープの持つ保持力 H_c をこえた時磁化されると仮定すれば，テープ表面からの記録の深さ y_d ，機械的スペーシング量 y_M とすると (2) 式は (4) 式で表される．

$$y = y_M + y_d = \frac{1}{2} \frac{g}{\tan\left(\frac{\pi}{2} \frac{g}{Ni} H_c\right)} \quad (4)$$

ここで，表 3 に示す映像ヘッド，音声ヘッドの特性から，それぞれの記録の深さを計算してみる．結果を表 4 に示す．ここで，テープの保持力は 700 Oe とした．飽和磁束密度 B_s に磁化する磁界の強さをテープの保持力の 1.25 倍とすると，(4) 式における H_c は 880 Oe となる．記録時の機械的なスペーシング量は $0.1 \mu\text{m}$ とした．表 4 からわかるように，記録の深さ y_d は最適記録電流を設定した記録波長 λ の約 1/2 になる．この結果，深層記録系の特性は表層部の記録波長の 1/2 の深さだけ消去され，その分のスペーシングを持ったのと同じになる．

この深層記録の実験結果を図 5 に示す．図 5 で横軸は深層部の記録周波数を示す．深層部の記録電流は 2 MHz 最適記録電流に設定した．縦軸は出力レベルを示し，各周波数共 0 dB は表層記録をしない時の出力

表 3 映像および音声ヘッドの仕様
Specifications of video and audio heads.

	映像系		音声系	
	SP	EP	SP	EP
ヘッド幅(μm)	65	30	26	
トラック幅(μm)	58	19.3	26	19.3
ギャップ長(μm)	0.5		0.9	
アジマス角	±6°		±30°	
巻数(T)	8	10	15	
記録電流(mApp)	50 (4 MHzORC)	44 (4 MHzORC)	56 (2 MHzORC)	

表 4 最適記録電流設定時の波長と記録深さ
Recording wavelength and depth at the optimum recording current.

ヘッド		記録波長λ (μm)	記録深さ y_d (μm)	$\lambda/2$ (μm)
映像	SP	1.45	0.79	0.73
	EP	1.45	0.88	0.73
音声		2.90	1.78	1.45

図 5 映像信号による音声信号消去特性
Erasing characteristics of audio signal by video signal.

レベルである。実測値は表層部に 4 MHz の単一信号のみ最適記録電流で書込んだ時の深層部の出力レベルおよびカラーバー映像信号を同一電流で記録した時の深層部の出力レベルをプロットした。表層部の記録深さを $\lambda/2$ としたスペーシング損失から計算したものと比べ、±2 dB の範囲にある。

この結果、深層記録における深層部の特性は、表層

図 6 記録再生系の周波数特性
Frequency characteristics in a recording and reproducing channel.

部に記録した記録の深さだけのスペーシング損失効果を考慮すれば、ほぼ実用上問題ないことがわかった。

図 6 は、表 3 に示す特性のヘッドおよびトラック幅における表層部および深層部の周波数特性と雑音レベルを示した。深層部に記録したデジタル音声信号系の周波数特性は、表層部にカラーバーを記録した特性である。符号伝送速度 2.6 Mb/s の情報信号を記録再生するためには、少なくとも 1.3 MHz の帯域が必要である。そこで雑音レベルを 1.3 MHz の帯域で積分した結果も示したが（このノイズレベルは波形等化後の値に換算した）、2 MHz において SP モードで C/N 22 dB, EP モードで約 18 dB 得られることがわかった。

この結果、デジタル音声信号を深層記録により記録するためには、C/N 20 dB 程度が確保できる 2~2.5 MHz 以下の周波数帯で記録可能な変調方式が必要である。

3.2 信号間のクロストーク

深層記録では、表層部と深層部に異なった波長の信号を記録するが、同一磁気テープ上に記録されているため、再生時には表層部と深層部間のクロストークが発生する。

映像ヘッドおよび音声ヘッドからの出力 e_{ov} , e_{oa} は、

$$e_{ov} \propto W_v B_v L_{gv} L_{SM} + W_A B_A L_{gv} L_{SM} L_{sd} L_a \quad (5)$$

$$e_{oa} \propto W_A B_A L_{ga} L_{SM} L_{sd} + W_v B_v L_{ga} L_{SM} L_a \quad (6)$$

になる。ここで W_v , W_A は映像と音声のトラック幅、 B_v , B_A はそれぞれの残留磁束密度、 L_{gv} , L_{ga} はへ

ヘッドのギャップ損失, L_{SM} はテープ・ヘッド間の機械的スペーシング損失, L_{sd} は表層部の記録の深さによるスペーシング損失, L_a は映像ヘッドと音声ヘッドのアジマス角の差によるアジマス損失を示す.

両式共, 第1項は信号出力であり, 第2項はクロストーク出力である. 映像ヘッドが読出す音声トラックからのクロストーク比 C_{TV} , および, 音声ヘッドが読出す映像トラックからのクロストーク比 C_{TA} は,

$$C_{TV} = \frac{W_A}{W_V} \frac{B_A}{B_V} L_{sd} L_a \quad (7)$$

$$C_{TA} = \frac{B_V}{B_A} \frac{1}{L_{sd}} L_a \quad (8)$$

これらの式からわかるように, クロストークの低減には映像ヘッドと音声ヘッドのアジマス角に差をつけるのが最も有効な手段である.

ここで, 映像ヘッドのアジマス角を θ_v , 音声ヘッドのアジマス角を θ_a とすると,

$$L_a = \frac{\sin\left\{\frac{\pi W_A}{\lambda}(\tan \theta_v - \tan \theta_a)\right\}}{\frac{\pi W_A}{\lambda}(\tan \theta_v - \tan \theta_a)} \quad (9)$$

で与えられる.

図7にトラック配置とヘッド幅を示す. SPモード

(a) SPモード

(b) EPモード

図7 映像および音声ヘッドとトラックパターン
Video and audio heads and track patterns.

のアジマス損失効果は(9)式で与えられる. EPモードは, ガードバンドレスであるため再生トラックの深層部からのクロストーク以外に隣接深層トラックからのクロストークも考慮する必要がある. (5)式, (6)式で示したように, クロストーク量は, 深層部や表層部の出力特性にトラック幅を補正しアジマス損失効果を加えればよい. 深層部から表層部へのクロストークの計算結果を図8, 図9に示す. 図8はSPモード, 図9はEPモードを示す.

このように, 深層部から表層部へのクロストークは, 表層信号の記録の深さによるスペーシング損失効果およびアジマス損失効果により, 短波長領域に配置された輝度信号系への妨害は少ないが, 長波長領域に配置された色信号系への妨害は, SPモードで約30 dB, EPモードでは約12 dBの改善効果しかない. この結果, 色信号への妨害を軽減するためには, デジタル信号の変調方式は低域スペクトルを持たない方式

図8 映像系の再生特性および音声系からの妨害
Frequency characteristics of the video channel and interference from the audio channel.

図9 映像系の再生特性および音声系からの妨害
Frequency characteristics of the video channel and interference from the audio channel.

が必要となる。

4. デジタル音声信号の変調方式と映像信号へのクロストーク

4.1 各種の変調方式と映像への妨害

デジタル信号を磁気テープ上に記録する変調方式は、直流成分を含む NRZ 信号を直接記録する例は少なく、NRZ 信号をいったんコード変換し、直流成分を持たないコード (DC フリーコード) にした後、記録している。この理由は、磁気テープでは直流信号の伝送が難しいため再生信号に直流変動を生じデータ誤り率の劣化を招くためである。

まず、現在実用化されている DC フリーコードとして、DAT および 8 ミリ VTR が採用している変調方式を取り上げ、適用の可否を確かめた。

DAT では 8 ビットの信号を 10 ビットの信号にコード変換する 8-10 変換方式、8 ミリ VTR ではデジタル FM 変調と呼ばれる Bi- ϕ Mark 変調が用いられている。これらの変調方式で符号伝送レート 2.6 Mb/s の周波数スペクトルを図 10 に示す。図 10 では 10 kHz の帯域幅 (図 8、図 9 の雑音特性測定帯域幅と同じ) で測定した。また、0 dB は同一記録電流の単一周波数信号のレベルである。図 8 および図 9 は深層部に単一周波数信号を記録し、映像ヘッドによってこれを再生した場合の深層記録系の特性およびアジマス損失を加味したクロストークを示している。これにより深層記録系に図 10 に示す信号を記録した場合、映像への妨害は図 8、図 9、図 10 から求めることができる。この結果を図 11、図 12 に示す。

図 11 に示す SP モードにおいては、深層部からの

図 10 変調信号のスペクトラム
Spectrum of modulated signals.

クロストークは、1 MHz 以下の色信号帯域における映像信号系の雑音レベルに対し 8-10 変調方式および Bi- ϕ Mark 変調方式の場合、それぞれ目標仕様に對し 10 dB、5 dB 程度大きい。さらに、図 12 に示す EP モードにおいても同様に約 20 dB、10 dB 大きい結果が得られた。

4.2 オフセット QDPSK 変調

4.1 節の結果より、深層記録系でデジタル信号を伝送する変調方式としては、低域周波数成分をさらに 20 dB 改善する方式が必要となる。

そこで、帯域制限のしやすい搬送波をデジタル信号で変調する搬送波変調方式を検討した。この方式は、先のベースバンド記録方式に比べ、

図 11 映像系への妨害スペクトラム
Interference spectrum from the audio channel to the video channel.

図 12 映像系への妨害スペクトラム
Interference spectrum from the audio channel to the video channel.

図 13 QPSK 変調信号のスペクトラム
Spectrum of QPSK modulated signals.

- (1) 広帯域化が要求される。
- (2) 伝送系の非線形の影響を受けやすい。
- (3) ジッタの影響を受けやすい。
- (4) クロック再生以外にキャリア再生が必要。

などの欠点がある反面、帯域制限しやすく低周波クロストークの抑圧に有利な利点がある。

搬送波変調方式には多くの方式があるが、狭帯域伝送可能な 4 相位相変調方式⁹⁾¹¹⁾を中心に検討した。

ビット伝送レート 2.6 Mb/s、搬送波周波数を輝度信号と色信号周波数のほぼ中央で、 C/N 20 dB 程度確保できる周波数 2 MHz と設定したときの 4 相差動位相変調方式の周波数スペクトルを図 13 に示す。

この図からわかるように、ベースバンド記録に比べ 1 MHz 以下の周波数で 5~15 dB 改善できる。この 700 kHz 以下および 3.3 MHz 以上にスペクトルを持つサイドローブ信号は、変調前のデジタル信号にナイキストフィルタを挿入することで低減できる。これが搬送波変調方式が帯域制限しやすい理由である。伝送系が線形の場合にはナイキストフィルタ特性までのサイドローブ信号は低減できる。しかし、深層記録系では磁気テープ系の非線形の影響を受ける。このため、4 相差動位相変調信号を直接磁気テープ上に飽和記録した結果、記録電流はメインローブ信号であっても、テープ上でその非線形性により再びサイドローブ信号が発生し磁化される。

このテープ系の飽和をリミッタによりシミュレーションした結果を図 14 に示す。図 14 において、ナイキストフィルタにより (A) の特性まで改善した信号を、振幅が 1/3 のレベルでリミッタをかけたものが (B) の特性になる。これはリミッタにより被変調信号に高調波が発生するためである。しかし、ナイキストフィ

(A) QPSK, O-QPSK
(B) QPSK (振幅制限あり)
(C) O-QPSK (振幅制限あり)

図 14 変調信号のスペクトラム
Spectrum of modulated signals.

ルタを入れない場合の図 13 に比べれば約 6 dB 程度は改善できる。

この場合の映像への妨害を図 15、図 16 に示す。図 15 の SP モードにおいては映像の妨害はほぼ解決できたが、図 16 の EP モードではまだ 5~10 dB 程度不足である。

4 相差動位相変調は、位相変調を直交多重したものであり、データの変化点は 2 つの直交搬送波信号に対して同時に変化する。したがって、その合成ベクトルの位相はデータによって最大 180° 位相まで変化する。この合成信号は帯域制限されると、データの変化点近傍の搬送波の振幅が下がる。これは位相の時間変化が周波数であるため、帯域制限により変化点近傍のエネルギーすなわち振幅が下がるものである。しかし、磁気テープの飽和により等価的に振幅制限された場合、この位相変化点近傍の振幅が上昇する結果、サイドスペクトルの振幅も上昇し映像信号へ妨害を与える。

そこで、2 つの直交搬送波信号のデータ変化点を 90° シフトするオフセット 4 相差動位相変調であれば、その合成ベクトルは最大 90° までしか位相変化しないことに注目し、磁気テープの飽和によりサイドスペクトルによる映像信号への妨害が改善できると考えた。そこで、4 相差動位相変調方式の変形であるオフセット 4 相差動位相変調方式¹²⁾¹³⁾を検討した。

このオフセット 4 相差動位相変調信号の振幅制限した時の周波数スペクトルを図 14 に示す。図 14 からわかるように、色信号帯域である 600 kHz 付近の周波

(A) QPSK (振幅制限あり)
(B) O-QPSK (振幅制限あり)

図 15 映像系への妨害スペクトラム
Interference spectrum from the audio channel to the video channel.

(A) QPSK (振幅制限あり)
(B) O-QPSK (振幅制限あり)

図 16 映像系への妨害スペクトラム
Interference spectrum from the audio channel to the video channel.

数成分は5~6 dB程度改善できることがわかった。
この図14の信号を深層記録系に記録したときの映像信号への妨害を図15, 図16に示す。図15のSPモード, 図16のEPモードともに, オフセット4 相差動位相変調方式の映像信号への妨害は, 4 相差動位相変調方式と比較し5~6 dB改善できることを見出した。

このオフセット4 相差動位相変調方式を採用してテープの深層部に飽和記録し, 表層部にカラーバー映像信号を記録したときの映像信号への妨害を図17, 図18に示す。図17のSPモード, 図18のEPモードともに, 映像信号への妨害をテープ雑音とほぼ同等にすることができた。

映像 カラーバー信号
(A) 音声信号: 無記録 色信号: 記録
(B) 音声信号: 無記録 色信号: 無記録
(C) 音声信号: QPSK 記録 色信号: 無記録
(D) 音声信号: O-QPSK 記録 色信号: 無記録

図 17 映像系再生スペクトラム
Spectrum of reproduced video signal.

映像 カラーバー信号
(A) 音声信号: 無記録 色信号: 記録
(B) 音声信号: 無記録 色信号: 無記録
(C) 音声信号: QPSK 記録 色信号: 無記録
(D) 音声信号: O-QPSK 記録 色信号: 無記録

図 18 映像系再生スペクトラム
Spectrum of reproduced video signal.

5. システム実験と考察

変調方式は, 映像信号への妨害, 特に色信号への妨害からオフセット4 相差動位相変調方式とした。これをもとに, 図2の周波数配置, 図3の実験ブロック図で総合的なデータ誤り率およびトラッキングエラー強度について検討した。

データ誤りは, ベースバンド信号の波形等化後の信号振幅の実効値を C , ガウス分布をした雑音の実効値を N とすると, 雑音の波高値が $\sqrt{2}C$ で与えられる

図 19 C/N 対シンボル誤り率特性
Symbol error rate vs. carrier to noise ratio.

図 20 O-QPSK 復調アイパターン
Eye patterns of O-QPSK demodulated signal.

図 21 トラッキングエラー対シンボル誤り率特性
Symbol error rate vs. tracking error.

スレッショールドレベルを越えた場合に発生する。
したがって、誤り発生確率 P_e は、

$$P_e = \int_{\sqrt{2}c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi N}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2N^2}\right\} dx \quad (10)$$

で表すことができる。

オフセット 4 相差動位相変調方式では、ベースバンド信号と同じ誤り率を確保するためには C/N を 3 dB 向上する必要がある。

この(10)式から求めたオフセット 4 相差動位相変調方式での C/N と誤り率の関係を図 19 に示す。この図で(10)式はビット誤り率であるが、これをデジタルオーディオでよく用いられている 8 ビット単位のシンボル誤り率に換算してある。

図 19 は、 C/N をパラメータとした試作機の E-E 系における誤り率および深層記録系の実験値を示した。この図で、計算値と E-E 系の差はキャリヤ再生回路など、回路上で約 2 dB 程度劣化している。深層記録系を通した場合は、ジッタ、レベル変動、テープのドロップアウトなどが加わるためと考えられる。しかし、図 6 からわかるように、深層記録系の C/N は、SP モードで 22 dB、EP モードで 18 dB 得られていることから、SP モードで 10^{-6} 、EP モードでも 10^{-4} のシンボル誤り率が得られることがわかった。この結果、DAT と同等の誤り訂正符号を用いることにより充分実用可能な誤り率が得られたと考える。また、この時の復調後のアイパターンを図 20 に示す。トラッキングエラーに対する誤り率を図 21 に示す。この図からわかるように、SP モードではガードバンドがあるためにトラッキングがずれると、このように劣化していくが、EP モードはガードバンドレスになっているため誤り率が変化しない領域がある。しかし、いずれもトラッキングエラー $\pm 10 \mu m$ の領域ではシンボル誤り率 10^{-3} 以下は確保できた。

6. む す び

民生用 1/2 インチ VTR における映像信号とデジタル音声信号の多重化記録方式について検討し試作を行い、以下の結果を得た。

- (1) 現行 1/2 インチ VTR との両立性のある深層記録方式で、搬送波周波数 2 MHz のオフセット 4 相差動位相変調方式によりビット伝送レート 2.6 Mb/s のデジタル音声信号を記録再生することができ、8 ビット単位のシンボル誤り率が SP モードで 10^{-6} 、EP モードで 10^{-4} 以下の性能が得られた。この性能は、DAT と同等の誤り訂正符号を用いることによりオーディオ

用としての実用化の見通しを得た。また、互換性に関するトラッキングエラーは $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内であれば、誤り率 10^{-3} 程度が得られることもわかった。

- (2) $\pm 30^\circ$ アジマスのオーディオヘッドで深層記録を行った場合、8-10 変調や Bi- ϕ Mark 変調などベースバンド記録では、低域、特に色信号への妨害が回避できないことがわかった。このため、搬送波周波数 2 MHz のオフセット 4 相差動位相変調方式を採用し、深層記録方式で磁気テープ上に飽和記録をしても、映像信号への妨害をテープ雑音以下にまで改善し、SP モード、EP モードともほぼ映像信号への妨害を皆無にした。

〔参 考 文 献〕

- 1) 綿谷, 伊藤, 毛利: “FM 変調音声信号ビデオトラック重畳記録方式”, 1981 年テレビ大全, 8-8 (1981)
- 2) 釜井: “ベータハイファイビデオ”, 信学技報, MR 83-18 (1983)
- 3) 一ツ町: “VHS ハイファイ VTR”, テレビ誌, 37, 12 (1983)
- 4) 弓手: “8 ミリビデオの標準規格案について”, テレビ誌, 38, pp. 219-225 (1984)
- 5) K. Miura, et al.: “HiFi VCR System”, IEEE Transaction on Consumer Electronics, CE-30, 3 (Aug. 1984)
- 6) 林: “CD プレーヤー入門”, コロナ社, 東京 (1983)
- 7) The DAT Conference: The DAT Conference Standard “Digital Audio Taperecorder System” (June 1987)
- 8) T. Arai, et al.: “Reciever for DBS with Digital Audio Signals”, IEEE, CE-30, 3 (Aug. 1984)
- 9) T. Arai, et al.: “Digital Signal Processing Technology for R-DAT”, IEEE, CE-32, 3 (Aug. 1986)
- 10) 松本: “磁気記録”, 共立出版, 東京 (1977)
- 11) Bennett, et al., 甘利訳: “データ伝送”, ラティス, 東京 (1978)
- 12) R. K. Kwan: “The Effects of Filtering and Limiting A Double-Binary PSK Signal”, IEEE Trans. Aerosp. & Electron. Syst., AES-5, 4 (July 1969)
- 13) S. A. Rhodes: “Effects of Hardlimiting on Bandlimited Transmissions with Conventional and Offset QPSK Modulation”, in Proc. Natl. Telecommun. Conf. (1972)

あらい たかお
荒井 孝雄 昭和 43 年, 慶応義塾大学工学部計測工学科卒業。同年, (株)日立製作所に入社。以来, デジタルオーディオ機器およびデジタル音声 VTR などの伝送方式の研究開発に従事。現在, 同社映像メディア研究所主管研究員。正会員。

たけうち としふみ
竹内 敏文 昭和 52 年, 新潟大学工学部電子工学科卒業。同年, (株)日立製作所に入社。以来, デジタルオーディオ機器およびデジタル音声 VTR の研究開発に従事。現在, 同社映像メディア研究所主任研究員。

のぐち たかはる
野口 敬治 昭和 48 年, 広島大学工学部電気工学科卒業。同年, (株)日立製作所に入社。以来, 磁気記録, 伝送方式およびデジタルオーディオ機器の研究開発に従事。現在, 同社映像メディア研究所主任研究員。

あまだ のぶたか
尼田 信孝 昭和 49 年, 和歌山工業高等専門学校電気工学科卒業。同年, (株)日立製作所に入所。以来, デジタルオーディオ機器およびデジタル音声 VTR などの伝送方式の研究開発に従事。現在, 同社映像メディア研究所研究員。正会員。

みうら くにあき
三浦 邦昭 昭和 48 年, 東京大学工学部物理工学科卒業。同年, (株)日立製作所に入社, 家電研究所に所属。昭和 61 年より, 東海工場に勤務。主として VTR の開発に従事。現在は, 業務用 VTR の開発を担当。主任技師。正会員。