8. テープ録音技術

8-1 磁気録音技術と VTR の音声記録

ティアック株式会社 橋 本 寛 保

1. ま え が き

磁気録音の歴史は 70 年になるが、テープレコーダーが実際に普及し始めたのは第 2 次大戦後のことで、およそ 20 年ほど前からである。当初はその性能のすばらしさから放送局やレコードスタジオなどで使われ、まもなく小形で会話を目的としたテープレコーダーが家庭、学校、会社などで利用されるようになった。その後 10 年にしてステレオテープが家庭に進出し、こんにちではホームステレオ、カーステレオなど、音楽の鑑賞あるいは背景音楽用としてディスクと並んでテープによるステレオブームがやってきた。

テープレコーダーはさらに音の記録、再生だけではなく、計測用、電子計算機用、ビデオ用などその利用は広範囲にわたり、あらゆる分野の必需品となってきた。

なかでもビデオへの応用、すなわちテレビ映像の録画はテレビ放送開始当初から望まれていたもので、当時フィルム録画であるために現像過程を必要とし、ただちに

再生が困難であるばかりではなく、費用がかさみ、そのうえ画質が低下するなどから、音声とともに画像を直接記録し、またすぐ再生できる良質の録画方式の開発がもたれた。当然のことながら、磁気記録方式が採用され、これを広帯域化しようとする研究が各方面で進められ、1956 年（昭和 31 年）、米国 Ampex 社によって開発されたビデオレコーダー（VTR）が発表されて以来、VTR がテレビ放送の主役となった。

テレビにおける磁気記録は、いまさらいうまでもなくラジオ放送の場合と同様、タレントの利用度向上、編集の容易性、さらに米国においては東西の時差をうめる手段としても利用され、すぐれた性能と経済性の点から放送事業にはきわめて重要なものとなった。

近年、磁気記録による録画は、録音機の場合と同様、放送を含む業務用から教育用、さらに家庭用としても利用されようとしており、技術の進歩と相まって今後の発展が大いに期待されている。

この時期においてビデオレコーダーには欠かせない音声記録部分について論じることは意義あることと思われる、以下に録音技術の概要、そして VTR の音声記録について限られた紙面で述べることとする。

2. 磁気録音技術

2.1 磁気録音機の構成

磁気録音と磁気録画との間には、電気的信号を記録媒体である磁気テープ上の残留磁束として記録するという点で本質的な差異はなく、単に記録信号の性質からテープ上の記録トラックの走査方式と、記録再生時の信号の伝送方式が異なるだけである。

図 1 に一般的な磁気録音機の構成を示す。図 1 (a) は消去、録音、再生それぞれ専用のヘッドよりなるものだったがって録音・再生専用の増幅器をもち、録音時に同時再生ができるという特長がある。図 1 (b) は録音と再生に兼用のヘッドおよび増幅器を使用したもので、録音

写真 1 VTR

"Magnetic Tape Recording Techniques—1. Magnetic Recording Techniques and Audio Recording in VTR" by Hiroyasu Hashimoto (TEAC Co., Ltd., Tokyo)

(a) 3ヘッド式

(b) 2ヘッド式

図1 磁気録音機の構成

時に再生モニターができないという欠点はあるが、経済性から普及形のものに多く使われている。

録音時、録音ヘッドには音声信号のほかに、100kHz前後の正弦波信号が録音バイアスとして重畳され、同じ信号を消去ヘッドにも流し消去用としても利用している。バイアスおよび消去用信号は偶数高調波の少ない安定な発振器から供給される。

2.2 磁気録音機の特性

(1) 周波数特性

録音ヘッドの入力電流を一定にして録音を行ない、再生したとき、再生ヘッドの出力電圧は原理的には6dB/octで周波数に比例して上昇するはずであるが、実際には録音ヘッドから再生ヘッドまでの間に生ずる各種損失が周波数が高くなるにつれて大きくなるため、図2のような周波数特性となる。

なお、高域特性を劣化させる各種損失のうち、渦電流損失以外はすべて録音波長に関係し、したがって、テープ速度が大きければ録音波長は長くなるので損失は少なくなり、周波数特性は良くなる（図3）。

また、録音バイアスは深いほど周波数特性は悪くなる（図4）。これはバイアス磁界の深さが見掛け磁性体の厚みと等しくなり、厚み損失や自己減磁損失などが作用し

図2 各種損失による周波数特性 (例)

図3 テープ速度と周波数特性の関係 (例)

図4 バイアス電流と周波数特性の関係 (例)

図5 周波数補償 (例)

て周波数特性に影響を与えることになるためである。

(2) 周波数補償

原理的に図2のように山形となった周波数特性を総合的に平坦な特性とするためには、録音と再生を通じて大幅な周波数補償が必要である。補償は、SN比、ひずみなどを考慮して、主として録音のときに高域、再生のときに低域に対して行なわれ（図5）、互換性の点から標準

表 1 標準再生補償特性の時定数 (単位: μs)

規格(年)	38		19		9.5		4.8		備 考
	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	
BTS (1968)	3180	35	3180	50	—	—	—	—	*改訂案
CCIR (1966)	—	35	—	70	—	—	—	—	
DIN (1968)	—	35	—	70	—	—	—	—	スタジオ用 家庭用
IEC (1968)	—	35	—	70	3180	90	1590	120	
JIS (1967)	—	—	3180	50	3180	90	3180	120*	*改訂案
NAB (1965)	3180	50	3180	50	3180	90	3180	90	
RIAA (1968)	—	—	3180	50	3180	90	3180	120

図 6 標準再生補償特性

図 7 磁気録音機の周波数特性(例)

補償特性が国際的に定められている (表 1, 図 6)。

図 7 に各テープ速度における録音再生総合周波数特性の例を示す。

(3) 録音感度と高調波ひずみ

録音感度と高調波ひずみ率は、テープとその使用条件 (バイアス値と録音レベル) に関係し、バイアスと録音レベルの設定が重要となる。交流バイアス法の場合、図 8 の例に示すように最高感度バイアスより深いほどひずみが少なくなる。したがって、バイアス値は感度、ひずみ、高域の周波数特性などを考慮し、最高感度バイアスまたはこれより出力が 0.5~1dB 落ちる深めのバイアス値に設定される。なお、バイアスの設定は普通、テープ速度 19 または 38cm/sec の場合、録音信号周波数は 400 または 1000Hz で行なわれる。

図 9 は録音入力対再生出力の関係を示したもので、飽和点はテープ自身によるものである。録音はこの飽和点

図 8 バイアス特性

図 9 録音時の直線性と高調波ひずみ率(例)

より下で行なわれなければならない、ひずみの少ない録音を行なおうとすれば、録音レベルは下がり、SN 比が悪くなる。したがって、録音レベルは録音するプログラムのスペクトラム分布、周波数補償特性、レベル指示器の動特性などから最適値 (レベル指示計の 0VU) がきめられる。これを標準録音レベルといい、普通、飽和点から 10~15dB 下 (周波数 400~1,000Hz)、ひずみ率が 3% となるレベルからは 5~10dB 下に設定される。

(4) 雑音

磁気録音機の雑音は増幅器自身のもの、モーター、電源トランスなどからヘッドその他への誘導ハム、スイッチの切換時に生じるクリック雑音などのほかに、テープ自身あるいは録音によって生じる雑音がある。

テープ雑音は、完全に消磁された状態では雑音となっていないが、部分的にはごくわずかであるが帯磁して、これが雑音となって再生される。テープ磁性体の磁氣的不均一または塗布むら、消去不完全、バイアス波形の非対称、磁気ヘッドの直流帯磁などがあれば当然雑音は増加する。このほか、テープとヘッドやガイドとの摩擦でテープが振動し、雑音 (テープ鳴き) となってしまうこともある。

また、録音信号があるときに現われる雑音、これを変調雑音と呼んでいるが、磁性体の不均一またはドロップアウトによる信号レベルの変動、テープとヘッドとの接

触不良によるレベル変動，テープとヘッドやガイドとの摩擦でテープ速度が変動して起こる録音信号の周波数変動，録音信号とバイアスとの間に生じるビート波などがある。

(5) ワウ，フラッター

録音または再生動作において，テープ速度の変動に起因して生じる信号周波数の動揺をワウ，フラッターと呼んでいるが，人間の耳はレベルの変動に対しては比較的鈍感であるが周波数の変動には敏感で，ワウ，フラッターの良否は磁気録音機の品質をきめる重要な要素のひとつである。

ワウ，フラッターの原因は主として，

- (a) キャプスタンの偏心とガタ
 - (b) キャプスタン駆動機構の回転部分の偏心，不平衡
 - (c) テープのヘッド面での振動（特にテープの長手方向）
 - (d) 供給リール側のテープ張力むら
- などである。

ワウ，フラッターは純音(3kHz)を録音，再生し，その出力をワウ・フラッターメーターによって測定し，周波数の変動量と録音信号周波数の比を百分率(%)で表示する。しかし，実際には測定方法が国際的に統一されておらず，測定条件によって値が大きく異なってくる。

(6) レベル変動

テープ自身の磁性体塗布の不均一によるものと，テープとヘッドの接触状態によるものとがある。後者の場合テープ自身の機械的変形もさることながら，メカニズム自身に原因があることもある。たとえば，バックテンションの不足，ガイド幅の寸法精度，傾き，ヘッドの前後傾き，ゴミなどによってテープとヘッドの密着を悪くし，隙間損失やトラックずれがレベル変動となってあらわれる。

レベルの変動に対して人間の耳は比較的鈍感であり，その程度は信号周波数，変動量，時間などによって異なるが，普通 VU 計で測定し，3VU 以内であれば問題はないといわれている。

以上，磁気録音機の特性に関してその概要を述べたが VTR の音声記録部分は使用テープが異なるだけで基本的には何ら変わらない。写真 2～写真 4 は音声専用のテープレコーダーであるが，テレビ局でプログラムの作成過程であるいは，放送に実用されているので参考にその例を示す。写真 2 は，スタジオ録音などで使用される代表的な磁気録音機である。性能の概要を表 2 に示す。写真 3，写真 4 はテレビ局におけるスライドなどによるスポットコマーシャルの音声再生装置で，あらかじめプ

写真 2 放送用テープ式磁気録音再生機(日本コロムビア DN-331 R)

写真 3 カートリッジテープ式 30 連スポット再生装置 (ティアック R-800)

写真 4 自動テープ編集装置 (日本コロムビア DN-100 R)

表 2 放送用磁気録音機の特性例

テープ幅	6.3mm
テープ速度	19.05 または 38.1cm/sec(±0.1%)
トラック形式	シングルトラック (モノ)
録音再生周波数範囲	19.05cm/sec; 30~15000 Hz 38.1cm/sec; 30~20000 Hz
S N 比	58dB 以上
ワウ，フラッター	19.05cm/sec; 0.07% 以下 38.1cm/sec; 0.05% 以下

ラグラムに従い時間をセットしておけば自動的に再生するように作られたものである。なお，写真 4 は編集機としての機能ももっている。

3. 放送用録画装置の音声記録

放送用 VTR の音声記録も，原理的には音声テープレコーダーのそれとまったく同じものが採用されているの

図 10 50.8mm 幅ビデオテープ上磁気パターン

表 3 50.8mm 幅ビデオテープ上磁気パターンの各種寸度(ただし、テープ速度 381 mm/sec で FCC 方式の場合)

ディメンション	寸度 (mm)	ディメンション	寸度 (mm)
A	1.14 ± 0.13	G	49.81 ± 0.10
B	0.56 ± 0.05	H	1.78 ± 0.10
C	0.56 ± 0.05	P	$R/4$
D	48.11 ± 0.05	R	1.588 ± 0.025
E	$47.55^{+0.13}_{-0.00}$	W	0.254 ± 0.013
F	$1.45^{+0.00}_{-0.13}$	X	$W/2 \pm 0.005$
		α	$90^\circ 33' \pm 3'$

で、音声テープレコーダーと異なる点および放送用 VTR に要求される事項などを中心に述べてみたい。

3.1 放送用 VTR の音声記録方式

放送用 4 ヘッド回転方式の VTR には 50.8mm (2in) 幅ビデオテープが使用されるが、音声トラックとしては図 10 および表 3 に示すように、AUDIO-1 および AUDIO-2 の 2 本のトラックを有している。

AUDIO-1 は通称音声トラックと呼ばれ、収録するビデオ信号のプログラムにマッチした主音声信号を記録するために用いられ、AUDIO-2 は通称キュー音声と呼ばれ、文字どおりキュー音声信号の記録再生、音楽効果音などのミクシング、また最近では自動編集時のアドレス信号トラックとして使用したり、音声多重放送の片チャンネルとして使用することがある。

音声ヘッドアセンブリーは一体化されており、次のヘッドが収容されている。

- ① AUDIO-1, AUDIO-2 トラックの消去ヘッド
- ② AUDIO-1, AUDIO-2 トラックの記録再生ヘッド
- ③ AUDIO-1, AUDIO-2 トラックの同時再生ヘッド
- ④ ビデオモニターヘッド

AUDIO-1, AUDIO-2 トラック消去ヘッドは、それぞれ約 2mm および 0.7mm 幅を有し、70dB 以上の消去率がある。消去周波数は約 100kHz で、音声記録ヘッドのバイアスと同

表 4 代表的な音声系の性能

周波数特性	100 Hz~7.5 kHz, ± 1 dB 50 Hz~12 kHz, $+1$ dB -5 dB
ひずみ率	1.0% 以内
S/N 比	53 dB 以上
レベル変動	1 dB 以内
ワウ、フラッター	0.1% 以内

じものを使用している。

AUDIO-1, AUDIO-2 トラックのうち、AUDIO-1 トラックは主要音声信号の記録再生に使われるが、回路的にはほとんど同等な系統である。ヘッドはトラック幅がそれぞれ 1.78mm と 0.56mm と異なり、インピーダンスは $100\Omega \sim 1k\Omega$ (1kHz) の比較的低インピーダンスヘッドである。

代表的な VTR の AUDIO-1 トラックの性能を表 4 に示す。AUDIO-2 トラックは、テープ上の他の記録トラックとの関係位置から見て、ビデオトラックまたはコントロールトラックからの妨害を受けやすくなっている。この妨害はヘッド・テープ部分で生じるので、クロストーク防止用の磁気シールドが施してある。しかしコントロールトラックの 240Hz は飽和記録されているので、AUDIO-2 の回路には 240Hz のノッチフィルターが入っている。

放送用 VTR の場合、他の VTR とのテープ互換性を確保するため、回転ビデオトラックと音声トラックとの間隔はきびしく規制する必要がある。音声信号の録音位置は、テレビ信号の録画位置に対して時間的に 18.57 フレーム先行するように定められている。また電子編集を行なう都合上、ビデオヘッドとビデオ消去ヘッドとの間隔も精度良く一定に保たれる必要がある。ビデオヘッドとビデオ消去ヘッドとの間隔は通常約 18 フレームである。

AUDIO-1, AUDIO-2 同時再生ヘッドは記録再生ヘッドより約 30mm 離れて取付けられており、記録時に確認のモニターを行なう。最近のものではテープ磁性面

図 11 各部の構成と動作

図 14 IC 化した家庭用 VTR の音声回路の一例

表 6 代表的家庭用 VTR のオーディオ仕様および規格

入 力	マイクロホン (MIC IN)	-65 dB, 200~600 Ω , 不平衡 手動および AGC
	外 (AUX IN)	-20 dB, 高インピーダンス, 平衡
	線 (TV IN)	0 dB, 高インピーダンス, 不平衡
周 波 数 範 囲		80~10000 Hz
S N 比		40 dB 以上

ーボ信号への飛び込み、ノイズの発生を防ぐ必要がある。

(3) この種の普及形 VTR は使用目的から、教育用には音声 2 系統、家庭用にはステレオが望まれる。

(4) 長寿命であること。

(5) SN 比が良いこと。

(6) アフターレコーディング、電子編集機能を必要とする。

(1)項の要求事項については、次の 2 つに分けられる。

(a) 電源のハム誘導、他機器からの電磁的、静電的妨害 その他、各種モーター、ソレノイドがあり、そのままでは音声回路にとっては好ましくない妨害発生源となるため、このような発生源にはできるだけ静電的、電磁的シールドを施し、場合によっては配置上の問題を検討すること、また、妨害を受ける音声回路系では、増幅器の取付位置の検討、低レベル信号線の布線法の発見などの採用によって、ほぼ限界まで他系統の妨害を受け入れさせないようにする必要がある。

(b) ビデオテープ上のテープ・ヘッド系のクロストーク ビデオテープ上の磁気パターンは、図 11、表 5 で説明したように、音声トラックとビデオトラックの間隙は約 0.15mm で音声トラックはビデオトラックからの妨害を受けやすくなっている。この妨害はヘッド・テープ系で生じるものであり、したがって音声ヘッドにクロストーク防止用の磁気シールド機構を採用すること、

またテープが走行中に上下振動をしてビデオトラックを音声ヘッドが再生することがあるので、テープの高さ規制ガイドポールを施すこともある。このようにしてクロストークがノイズレベル以下になるまで効かせなければ意味がない。

(2)項の音声系統から他系統への妨害については、主に高周波バイアス (50~100kHz) 信号 (または消去信号) が、ビデオ信号に飛び込み、画面に縞状または波状のノイズを発生することがある。これは消去ヘッドと発振トランスからの漏洩がほとんどで、とくに消去回路の能率を上げるために高インピーダンス消去ヘッドを使用したとき著しい。そのため発振トランスはシールドし、また配置、アースポイントなどに注意する必要がある。

(3)項の音声の多重化については、音声を 2 系統化するためには、いくつかの案があるが、もともと普通の音声テープレコーダーに比し 1/2~1/3 のトラック幅であり、また、従来の VTR とのテープの互換性を考えた場合かなりむずかしい。現在実用化されているトラックの配置の一例を図 15 に示す。

表 7、表 8 には音声のステレオおよび多重化方式と比較を示す。

(4)、(5)項の長寿命化、SN 比の向上については、

図 15 音声ステレオヘッドの一例

表 7 分 類

方 式	式	内 容
専用トラック (2トラック)	近 接 ト ラ ッ ク	A, Bトラックを使用 A, Bトラックが近接している
	離 隔 ト ラ ッ ク	A, Bトラックを使用 Bトラックはコントロールトラック側にある
兼用トラック	ビデオ幅(W)利用	I AトラックおよびB, Cトラックを使用 B, Cトラックはビデオ幅の中にある
		II A, Bトラックを使用 Bトラックはビデオ幅の中にある
	オーディオトラック利用	Aトラックを使用 Aトラックに直接およびFMで多重記録
	コントロールトラック利用	コントロールトラックを使用 コントロールトラックにFMで多重記録

表 8 比 較

		互 換 性 (統一型)	クロス ト ー ク	ヘッドギャ ップのずれ	FMのエン ベロープ	SN比	アフレコ	価 格
専用トラック (2トラック)	近 接 ト ラ ッ ク	×	×	△	△	○	○	○
	離 隔 ト ラ ッ ク	△	○	×	○	○	○	○
専用トラック	ビデオ幅(W)利用	I	○	○	△	△	Aトラックのみ可能 △	△
		II	○	○	△	△	Aトラックのみ可能 △	○
	オーディオトラック利用	○	○	○	○	×	×	△
	コントロールトラック利用	○	○	×	○	×	×	△

音声テープレコーダーと同じ問題であるが、長寿命化についてはヘッドコアの材質、シールドおよびテープとの接触面の耐摩耗性向上があり、機構的には巻戻し、早送り中にテープとヘッドが接触しない方法が考えられる。

SN比の向上については、前述したようにトラック幅などに関しても音声テープレコーダーより条件は悪いいため、(1)項の対策の他、再生増幅器初段の低雑音化を行なう必要がある。

(6)項の特殊機能では、アフターレコーディング、電子編集などは現在のものは特に音声系統のビデオ信号との同期化について特別の機能はないが、将来、自動化にともない各種の新しい機能を必要とするであろう。

5. む す び

以上、放送用から家庭用 VTR までの音声記録について述べたが、その他、工業用 VTR についても内容的に

は同じものと考えてよい。またこの章では省略したが、固定ヘッド形 VTR の音声記録で特殊方法を使用しているが、実用化の段階には至っていない。

各種録画装置の音声記録は比較的地味な分野ではあるが、より高い信頼度保証、より合理化的設計の探究、コストダウンなど、多くのテーマをかかえており、ビデオ系統、サーボ系統、機構部の進歩とあいまって、さらに良い VTR の開発が進められることを望んで止まない。

(昭和 45 年 12 月 4 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) テレビジョン学会編：VTR 技術，日本放送出版協会
- 2) 木原：ビデオテープレコーダ，日刊工業
- 3) 木原：ビデオテープレコーディング技術
- 4) 加納，熱海：音声回路，テレビ誌，21, 9 (1967)
- 5) 電子機械工業会：統一 I 形 VTR CP-504
- 6) 阿部：テープレコーダ，日本放送出版協会