2. 各種記録方式の最新技術

2-1. 磁気記録

2-1-1. テープ型記録メディア

正会員 奥田 治雄[†]

キーワード ● データストレージ、メタル塗布テープ、斜方蒸着テープ、リニアスキャン、ヘリカルスキャン

1 ま え が き

テープ型記録メディアは、体積当たりの記録密度が高くて大容量、メディアの交換や保存が可能、安価で取り扱いが容易という特長を持っている。このため永く映像用、コンピュータ用の記録メディアとして中心的な役割を果たしてきた。ランダムアクセスが難しいことからデータアクセスを頻繁に行う用途には向かないが、光ディスクなどのアクセス性に優れた記録メディアの普及が進んだ今日でも、新技術の開発と性能向上が続いている。ここでは、テープ型記録メディアの代表である放送用・家庭用デジタルVTRとコンピュータ用のデータストレージで、主に2000年以降に出てきたものについて述べる。

2 デジタルVTR

放送用VTRは1986年にD-1が開発されて以降、それまでのアナログ記録（FM記録）からデジタル記録に急速に置き換わった。D-1は標準テレビのコンポーネント信号を記録したが、その後、標準テレビのコンポジット信号やハイビジョンを記録するもの、ビットレート圧縮を導入したものなど、多くのフォーマットが開発されていった。それらは一部を除いてSMPTEで規格化され、D-x（xは数字）と称されている。家庭用VTRは1995年に開発されたDVCによりデジタル化が始まった。放送用に比べるとデジタル化の浸透は遅く、代わりに光ディスクなどへの置き換えが進んでいる。図1に、開発されたデジタルVTRの変遷を示す。

2.1 放送用デジタルVTR

実用化されたデジタルVTRのテープは、すべて2リールのカセットに収容されている（唯一の例外として1インチオープンリールにハイビジョンを記録するものがある）。テープ幅は3/4インチ（19.01mm）、1/2インチ（12.65mm）、1/4インチ（6.35mm）などがある。

標準テレビ用デジタルVTRの最新フォーマットはD-10

[†] NHK 放送技術研究所

"Advanced Technologies for Various Recording Method; Magnetic Recording Technologies; Magnetic Tape Recording Media" by Haruo Okuda (Science & Technical research Laboratories, NHK, Tokyo)

（商品名MPEG IMX）で、2000年に製品化された。MPEG-2 4:2:2@MLに準拠した圧縮方式を採用している。圧縮率は1/3.3（50Mbps）で、1フレームで圧縮が完結する。このためフレーム精度での編集が可能である。テープは1/2インチ幅のメタル塗布型で、Lカセットに184分の記録ができる。VTRフォーマットがSMPTE 365M、記録するストリームの仕様はSMPTE 356Mとして規格化されている。VTRにはMPEGビットストリームインタフェースであるSDTI-CP（SMPTE 326M）を搭載し、各種サーバやノンリニア編集器とデータを相互に転送して利用できる。1/2インチ幅テープを使用する既存のベータカム/SP（アナログ）、デジタルベータカム、ベータカムSXと互換再生機能を持つ機種もある。

ハイビジョンを記録する新しいフォーマットにはD-12とD-16がある。

D-12（DVCPRO HD）は、100Mbpsに圧縮したHDTVを記録するデジタルVTRフォーマットである¹⁾。2000年に製品化された。D-7（DVCPRO）と同じ形状のカセットを使用し、機構部はD-7用をベースにしている。1080/60i、1080/50i、720/60pの映像に対応し、フレーム内DCTにより圧縮して記録する。音声は48kHz、16ビット/サンプルの信号を8チャンネル記録可能である。テープは1/4インチ幅のメタル塗布型で、Lカセットに最大46分記録できる。VTRはドラムの回転数を4,500rpm、9,000rpm、18,000rpmと変えることで、25MbpsのD-7、50MbpsのD-7（DVCPRO 50）、100MbpsのD-12のすべてのフォーマットのテープを記録再生できる。また、D-7と同様に圧縮データは、シリアルデータ転送インタフェースSDTI（SMPTE 305M）を用いてネットワークに転送して利用できる。記録フォーマットはSMPTE 371Mとして規格化された。カセットの規格はD-7と共通のSMPTE307Mである。2004年に記録密度を2倍にしたDVCPRO HD-EXが開発され、XLカセットを使って126分の長時間録画が実現した。

D-16（HDCAM-SR）は、MPEG-4スタジオプロファイルの低圧縮率のHDTVを記録するデジタルVTRフォーマットである²⁾。2003年に製品化された。10ビット/サンプルの1080/60iまたは1080/24p、25p、30pや720/59.94pなど、さまざまなHDTV映像を記録できる。RGB信号（4:4:4）に

図1 デジタルVTRの変遷

も対応する。映像のビットレートは約440Mbpsである。ポータブル型VTRではさらに倍速の880Mbpsの記録も可能である。音声は48kHz、24ビット/サンプルで12ch記録できる。1/2インチ幅の薄磁性層メタル塗布型テープを使用し、30p/60iモードで最大124分の記録ができる。従来のHDCAMやデジタルベータカムの再生もできる。2005年にSMPTE409Mとして規格化された。高画質であることを生かしてデジタル合成やCGイメージを多用する映画・CM用のマスタVTR、あるいは、デジタル放送における送出用VTRといった用途などが想定されている。

このほかに、8チャンネルの音声を記録できるD-14、D-15フォーマットが規格化されている。それぞれD-5およびHD-D5フォーマットをベースにしたもので、2004年にSMPTE 398M、SMPTE 399Mとして規格化された。

2.2 家庭用デジタルVTR

家庭用デジタルVTRは、放送用デジタルVTRの開発が一段落した1990年代になって開発の機運が高まった。デジタルVTRは、家庭用といっても基本的な構成は放送用と大きく変わらない。主にビデオカメラで使用するDV (Digital Video) およびそれから発展したフォーマット³⁾と、据え置き型デッキで使用するD-VHS (Data-Video Home System) フォーマットがある。

DVは、1993年に発足したHDデジタルVCR協議会 (国内外の55社が参加) が開発した家庭用デジタルVTRのフォーマットである。このフォーマットのVTRをDVC (Digital Video Cassette Tape Recorder) という。最初から標準テレビ用とHDTV用のフォーマットが提案され、IEC61834として規格化された。標準テレビ用は1995年にビデオカメラが製品化され、後に据え置き用デッキも出た。HDTV用の製品化は当初のフォーマットではなく、720/30p信号を記

録するビデオカメラが2003年に発売された。その後、1080/60iなども加えてHDV (High Definition Digital Video) として規格化された。映像はフレーム内処理のMPEG-2 MP@H-14で現行DVフォーマットと同じ25Mbpsに圧縮して記録する。音声は48kHz、16ビット/サンプルの信号をMPEG-1 Audio Layer IIで384kbpsに圧縮する。

D-VHSは、1995年に開発されたVHS上位互換のデジタルVTRフォーマットである。MPEG-2のTSをそのまま記録する。STD、HSおよびLSモードがあり、デジタルHDTVを記録可能なHSモード対応機は1999年に発売された。使用するテープはS-VHSとほぼ同等で1/2インチ幅である。HSモードで最大4時間、STDモードで最大8時間までの記録ができる。LSモードではSTDモードの2～7倍の記録が可能である。

3 データストレージ

テープ型記録メディアは、コンピュータでは主にデータアクセスをあまり行わないバックアップ用やデータの保存、交換用として使われる。テープは、幅が3/4インチ (19mm)、1/2インチ (12.65mm)、8mm、1/4インチ (6.3mm)、3.81mm (4mmといわれる) と多彩で、最近の製品はすべてカートリッジやカセットと呼ばれるケースに収容されている。データを記録するトラックの方向がテープに並行のリニアスキャン型と、VTRのような斜め方向のヘリカルスキャン型がある。

データストレージは記録メディアの形状によりQIC (Quarter Inch Cartridge) 型、1/2インチ単一リール型、放送用デジタルVTRをベースとするもの、8mm幅ヘリカルスキャン型、4mm幅ヘリカルスキャン型などに分類できる。図2に、主なデータストレージの変遷を示す。

図2 データストレージの変遷

データストレージは他の記録メディアと同様に高密度・大容量化、高転送レート化などの性能向上を目指してテープ、ヘッド、トラッキング、信号処理などの改善が進んでいる。テープはメタル塗布 (MP: Metal Particulate) や斜方蒸着 (ME: Metal Evaporated) により高出力、低ノイズ化が図られている。また、テープを薄くすることで長尺化し、容量を増やすことも行われる。ヘッドは永く誘導型のリングヘッドが使われてきたが、ハードディスク装置と同様にMR (Magnetoregistive) やGMR (Giant MR) ヘッドも使われ出した。トラック密度向上のためにアジマス記録を採用し、ガードバンドレスとするのが一般的である。狭トラック化に対応してトラッキング精度を向上させるため、光トラッキングサーボ方式も使われている。リニアスキャン型では、転送レート向上のため、マルチトラックヘッドの採用も進んでいる。

1/2インチ単一リール型データストレージは、1/2インチ幅オープンリールのMT (Magnetic Tape) から発展したもので、新しいものではDLT (Digital Linear Tape), LTO (Linear Tape-Open), S-AIT (Super-Advanced Intelligent Tape) などがある。テープはほぼ正方形の単一リール (シングルハブ) 型カートリッジに収容され、ドライブ側に内蔵されたテイクアップリールにより巻き取られながら記録・再生する。リニアスキャン型とヘリカルスキャン型がある。

DLT (Digital Linear Tape, 製品名はDLTtape) は、1994年にミニコン用に開発されたリニアスキャン型データストレージである。SDTLは、DLTとの下位互換性を確保しながら記憶容量などの性能を向上させたもので、最新のSDLT-2は最大300GBの容量がある。

LTOはリニアスキャン型データストレージで、大容量を指向したLTO Ultriumと、高速読出しを指向したLTO Accelisの二つの規格がある。現在、製品化されているのは前者のみである。4世代までのロードマップが示されており、最新のLTO Ultrium 3は容量400GB、転送レートは最大640Mbpsである。

S-AITは2002年に開発されたヘリカルスキャン型データストレージである。LTOと同一サイズのカートリッジを使用する。第1世代のSAIT-1は、後述のAIT-3と同じAME (Advanced Metal Evaporated) テープを使用し、500GB、240Mbpsの性能を持つ。

8mmVTRテープをベースとするデータストレージは、1988年に最初の製品が出荷された。初期の製品はD8やExabyteと呼ばれたが、その後、より高性能なAIT (Advanced Intelligent Tape) やMammothが開発された。AITはDDS (Digital data Storage, 後述) の信号処理技術と、S/Nの高いAMEテープの採用で高密度化を実現している。カセットにはMIC (Memory in Cassette) と呼ばれる不揮発性ICメモリーを搭載し、メディア管理を行うことでファイルアクセスを高速化している。最新のAIT-4の記憶容量は200GBである。

民生用DAT (Digital Audio Tape) をベースとするデータストレージはDDSと呼ばれる。1990年に最初の製品が出荷された。薄手テープによる長尺化、磁性粉の高保持力化、変復調方式やトラッキング方式の改善、フォーマットの修正等により高速大容量化が図られている。容量が36GBで第5世代に相当するDAT72も製品化されている。

4 む す び

放送用、コンピュータ用ともにストレージはテープレス化の方向にあるが、取扱が容易で、小型・大容量、長期保存性の点で、テープ型記録メディアは依然、優位にある。性能向上も続いており、アーカイブスの重要性が増しているなかで、当面は他のメディアと使い分けられながら一定のマーケットを占めるものと思われる。

(2005年10月3日受付)

〔文 献〕

- 1) 内田ほか：“放送・業務用1/4インチデジタルHD VTR (DVCPRO HD)”，映情学技報，25，1，pp.13-18 (2001)
- 2) P.C. Nottle et al.: "Super Reality -Refining HD", SMPTE2003, <http://bssc.sel.sony.com/Professional/production/productsite/files/Paper1-SMPTE03.pdf>
- 3) 沼澤，奥田ほか：“画像情報記録”，映情学誌，54，7，pp.929-937 (2000)

奥田 治雄 1975年，九州大学大学院工学研究科修士課程修了。同年，NHK入局。1979年から，同放送技術研究所において，デジタル記録システムなどの研究に従事。現在，放送技術研究所研究主幹，当学会マルチメディアストレージ研究委員会委員長，博士（工学），正会員。