1. 総 論

1-1 デジタル記録技術の動向

正会員 大 場 吉 延[†]

1. ま え が き

デジタル記録はコンピュータ分野で、磁気ドラム、テープ、ディスクなどを媒体とするデータの記録装置に最初に導入された。音声や画像信号はデジタルで表現するとデータ量は非常に多く、特に画像はデータ量が膨大であるとともに転送レートが高く、これらの信号の記録には高記録密度、高転送レートを実現するデジタル記録方式の研究開発が必要であった。そのため、音声や画像のデジタル記録の実用化はコンピュータ分野と比べて遅れた。

デジタル信号は信号処理、繰り返しコピーによる品質劣化がないこと、すべての情報が統一的に取り扱えることなどの特長があることから、情報の高品質化、多様化・パーソナル化に向かう高度情報化社会において、情報のデジタル化は必然の流れであり、それを支える技術も整ってきている。なかでも、デジタル記録技術は、すべての情報サービスが記録(記憶)機能を必要とすることから、不可欠な技術である。

テレビを中心とする情報サービスでデジタル記録技術を必要とする分野は、オーディオ、画像記録はもとより、最近、各方面で議論されているマルチメディアのためのデータ記録がある。マルチメディアの定義は必ずしも定まっているわけではないが、様々な情報サービスを統合し、ソフト技術を駆使してインタラクティブでパーソナル化することが本質的なことと考えられる。このため、マルチメディアサービスには、コンパクトで容量が大きく、安価な記録装置を有するインテリジェント端末が必要となる。

音声や画像のデジタル化は、高品質化とともに品質劣化の少ないビットレート圧縮技術の進歩をもたら

した。後者の技術は、デジタル記録、伝送、コンピュータ技術の進歩と相まって、デジタル放送やマルチメディアサービスを可能にし、家庭用の音声記録や画像記録機器に大きなインパクトを与えようとしている。

本小特集では、これらの状況を踏まえて、高密度記録技術、デジタル記録のための信号処理、そしてその応用として各種の記録装置が論じられる。

2. オーディオ記録

アナログ録音は S/N 、周波数特性、ワウ・フラッタ、高調波歪みなどの諸特性に限界があり、これらの欠点を克服するためにデジタル化の研究が進められた。初めて実験機が試作された1967年頃には、ステレオ録音に必要な1 Mb/sを越えるビットレートのデジタル記録技術は未完成であり、デジタル信号を1.0の画像信号として取扱い、VTRで記録する方法を採用せざるを得なかった。

エラー訂正技術についても、発生分布、符号配列などの研究が進んでいなかったことから、二重書きによってエラーを保護する程度であった。それでも、アナログ録音の欠点を改善できることから、1972年頃から放送用VTRを使用したPCM録音機がディスクレコードのマスタリングに採用されている。その後、エラー訂正技術の研究は急速に進み、バーストエラーを考慮したクロスワード符号が開発されたり、隣接符号、クロスインタリーブが使用されたが、依然として記録部には業務用や家庭用VTRが用いられた。この種のデジタル録音機は、ディスクレコードのマスタリング、放送局、オーディオマニアには使用されたが、多く普及するには至らなかった。

放送局ではテープ録音機は手切り編集機能が不可欠であるとして、固定ヘッド方式のデジタル録音機の開発が進められ、DASHとPRODIGIフォーマットが実用化された。

[†] NHK放送技術研究所
“Introduction, Trends of Digital Recording Technology”
by Yoshinobu Oba (NHK Science and Technical Research
Laboratories, Tokyo)

DASH は、エラー訂正方式はクロスインタリーブ、変調方式はビット同期の取り易い HDM-1 が、一方、PRODIGI には、それらに対応してリードソロモン積符号、2/4 M (多チャンネルは 4/6 M) が採用されている。

家庭用にはディスクレコードとコンパクトカセット (C カセット) が一般的に使われており、これらのデジタル化が検討された。その結果、ディスクレコードに代るものとして CD が、C カセットに対しては R-DAT がそれぞれ開発された。

CD や光磁気ディスクなどディスクタイプの記録装置には、要素技術として、変調方式には EFM、エラー訂正方式にはインタリーブを強化したリードソロモン積符号が採用されている。CD はデータ転送レート 2.03 Mb/s、記録密度 683 Mb/in² (0.94 $\mu\text{m}^2/\text{b}$) を達成し、直径 120 mm のディスクで最大 74 分が収容できる。その後、ビットレート圧縮技術が進歩し、光磁気記録方式の高信頼度化、低価格化が図られたことから、記録・再生可能なミニディスク (MD) が実用化されている。

MD に採用されている要素技術は、ビットレート圧縮技術を除けば CD と全く同じである。詳細は別稿で述べられる。ディスク方式は面積密度は高いが、媒体の厚さが 1.2 mm となり、体積密度は必ずしも高くない。

R-DAT はテープはメタル塗布型 (MP) を採用して高記録密度化を図り、カセットは C カセットより小型で 2 時間以上の記録が可能である。テープ録音機には変調方式としては直流成分を含まない 8-10 変調が、エラー訂正には符号構成に柔軟性があり、訂正能力の高いリードソロモン積符号が使用される傾向にある。転送レートは 2.46 Mb/s、記録密度 114 Mb/in² (5.65 $\mu\text{m}^2/\text{b}$) が達成されている。光記録より記録密度が低いのは、トラック幅を広くして (CD の 1.6 μm に対して 13.6 μm)、トラッキング精度を確保するためである。しかし、テープ厚は 13 μm で、ディスクの 1.2 mm の約 1/100 で、体積密度はテープ録音機の方が高い。

R-DAT はコピーに対する著作権の問題から普及が遅れ、ビットレート圧縮を採用したデジタルコンパクトカセット (DCC) や MD が実用化されたことから、放送用など高音質で編集機能の充実が必要な分野などで主として使用されることになる。

家庭用に普及しつつあるテープ録音機 DCC は、C カセットと再生互換を有する固定ヘッド方式のフォーマットである。DCC を可能とした技術として、IC 技

術による記録ヘッドと再生用 MR ヘッドの実用化に注目する必要がある。詳細は別稿で述べられる。

メモ録音用にアナログ方式ではマイクロカセットが使用されているが、これに対応して、デジタルマイクロレコーダ NT フォーマットが実用化されている。このフォーマットの最大の特長は、再生時トラックを正確にトレースしなくても音声信号を正しく再生できることである。このため、トラックピッチは 9.8 μm と非常に狭くなっている。装置を小型化するためにカセットの大きさは 30.0×21.5×5.0 mm³ と小さく、テープはアラミドをベースフィルムとする 4.8 μm 厚の金属蒸着型が使用されている。変調方式 LDM-2、エラー訂正符号クロスインタリーブを採用し、最短記録波長を 0.76 μm としていることから、記録密度 173 Mb/in² (3.7 $\mu\text{m}^2/\text{b}$) を実現している。

音声のデジタル記録は画像と異なり、収容するデータ量は大きくないが、再生されるデータの誤りを少なくしなければならない。これは音声は時間方向の 1 次元信号であり、しかも相関が小さく、コンシールでは品質劣化するためである。このため、記録・再生系の信頼性を高めるとともに、エラー訂正能力を強化する必要がある。

将来の方向としては、R-DAT より量子化数を増やすなど更なる高品質化を図ることや、多チャンネルによるサラウンド効果等に対応する装置の実用化がある。

3. 画 像 記 録

放送局では番組制作過程において、画像処理、編集が不可欠であり、VTR で多くのコピーが繰り返される。アナログ記録では n 回のコピーで S/N が $10 \log(n)$ dB 劣化し、番組制作に大きな制約となる。また、アナログ記録方式は画質も充分でなく、調整など保守維持に多くの時間を要するなど、改善を求められていた。

小型のカセットを使用するデジタル VTR はこれらの要求を満足し、しかも運用性を著しく改善することから、測り知れないメリットがある。

しかし、記録データが 100 Mb/s を越えて膨大になることから、デジタル記録の各要素技術について、改善や新技術の開発が要求された。1970 年代の終りになって、テープ・ヘッド系が著しく進歩したことから、短波長記録、狭トラック化が可能になり、併せて変調方式やエラー訂正符号の研究が進んだことから、デジタル VTR が試作され、実用化の見通しが得られた。

一方、画像信号のデジタル符号の規格化に関して、1982年、CCIRにおいてコンポーネント信号の符号化規格勧告601が作成された。この勧告に準拠するデジタルVTRのフォーマットの審議はSMPTEとEBUが中心になって進め、1986年勧告756(SMPTEはD-1と命名としたことから、現在この名称で一般的に呼ばれている)が制定された。

D-1のデータ転送レートは225.3 Mb/sで、トラック幅40 μm 、ガードバンド5 μm 、最短記録波長0.9 μm で、ビット当たりの占有面積は20.3 μm^2 となっている。

D-1はコンポーネント信号を記録するフォーマットであるが、放送局のシステムはコンポジット信号が中心であることから、コンポジットデジタルVTRに対する要求が強く、D-2フォーマットが1986年12月SMPTEに提案された。D-2はMPテープとMIGタイプのヘッドを採用して高密度化を図り、ガードバンドのないアジマス記録、消去ヘッドを除去できるオーバライトなどの新しい技術が導入された。データ転送レートはコンポジット信号であることから127 Mb/sとなり、トラック幅39.1 μm 、最短記録波長0.85 μm で、ビット当たりの占有面積は16.6 μm^2 となった。このフォーマットはテープ幅が19 mmのD-1と同じカセットを採用していることから、放送局で多く使用されているカメラと一体型のVTRとすることは困難である。このことから1/2インチのテープを利用する小型化可能なフォーマットの研究開発が行われ、その成果として、D-3が開発された。

D-3は番組のスタジオ制作から野外制作、報道用にも使用することを目的としたフォーマットである。小型化を可能とするため、高密度記録を実現する新しい技術として、テープ・ヘッド系の改善、8-14変調方式、ベアヘッド構成、編集互換の向上化技術などが開発され、導入されている。これらの技術は今後のデジタル記録にインパクトを与えるものである。データ転送レートは125.2 Mb/sで、トラック幅20 μm 、最短記録波長0.77 μm (ビット長当たり0.67 μm)、ビット当たりの占有面積は6.7 μm^2 と、著しい高密度化が達成されている。D-3は1991年2月にSMPTEに規格提案されている。

ハイビジョン信号を記録するデジタルVTRは、1988年に1インチテープを使用するタイプCの機構系をベースとするフォーマットが実用化されている。記録する信号はBTA S-001(SMPTE 240 M)に準拠していることから、データ転送レートは1188 Mb/sと非常に高く、このため8 chに分けて各チャンネル

148.5 Mb/sとして記録している。トラック幅33.5 μm (ガードバンド3.5 μm)、最短記録波長0.69 μm で、ビット当たりの占有面積は12.7 μm^2 である。このVTRはオープンリールテープを使用していることから運用性が悪く、カセット化に向けて研究開発が進められている。

現行放送用、ハイビジョン用合わせて4種類のデジタルVTRフォーマットが実用化され、さらにコンポーネント信号を記録する小型VTRやハイビジョンカセット型VTRのフォーマットが開発されている。これらはこれまでのVTRの開発成果を引き継いだフォーマットである。

長期的観点からは、画像信号自体がスケーラビリティやエキスパンダビリティなどの要求によって、走査線数、アスペクト比が可変となり、さらに将来への拡張性が考慮されることになり、VTRもこれに対応できなければならない。これらのことから、記録装置にレイヤ構造やプロトコルを定め、物理的にも信号レベルにおいても互換性・拡張性のあるシステムを構築する必要がある。

家庭用デジタルVTRについては、現行方式、ハイビジョン両方式に対応して、それぞれ開発が進められている。これらのVTRを実現するために、ビットレート圧縮技術、可変再生時の映像・音声の確認、高密度記録技術などの研究開発が進められている。データ転送レートはエラー訂正を含めて、おおよそ現行放送用30 Mb/s、ハイビジョン用50 Mb/s程度で、記録密度は1ビット当たり2 μm^2 程度となろう。

4. マルチメディア

マルチメディアサービスに含まれる情報としては、画像、音声、文字、図形、コンピュータソフトなどがある。これらの情報は放送、通信および記録メディアを通してサービスされるが、ユーザ端末はCPUと小型で大容量な記録装置が不可欠となる。マルチメディアの記録装置に必要な機能は取り扱う情報の範囲などによって異なり、記録容量、アクセス速度、媒体の交換性、書込み/再生などにオプションがある。情報に必要な容量については、MPEG(Moving Picture Experts Group)Iでは映像は1.15 Mb/s、音声はステレオで0.25 Mb/sであり、文字の場合、アルファベット換算で1文字1バイトで、おおよそ広辞苑1冊分は30 MBに相当し、これらを考慮してシステム構成を図ることになる。記録媒体の容量は3.5インチのフロッピーディスク2~4 MB、13 cmの光ディスク540 MB、3.5インチ光磁気ディスク128 MB、2.5インチ

ハードディスク (HD) 20~120 MB, 1.8 インチ HD 20~80 MB, フラッシュ EEPROM 20 MB となっている。これらの容量については、近い将来 2 倍程度に高密度化が図られるであろう。各メディアの特徴について以下に述べる。

フロッピーディスクは容量、転送レートは高くないが、最大のメリットは安価であることで、操作性に優れ、互換性がある。

光磁気(相変化)ディスクは記録密度が高く大容量であるが、転送速度が遅い。価格は HD に比べては安く、約 1/3 程度であり、互換性がある。

CD-ROM は CD と同じ記録方式であり、容量が大きく安価であるが書込みができないことから、百科辞典や辞書などデータベースの収容に適している。

HD は転送レートが高く、書込み速度も早いことから、信号の処理機能を必要とするシステムに適している。最近、小型化高密度化が進みノートパソコンに多く利用されている。光ディスクと HD については別稿で最近の動向について解説される。

フラッシュ EEPROM は、半導体 ROM で小型化大容量化が進み、低消費電力、アクセス速度、重量および耐衝撃性において HD より優れていることから、これに代るメディアと考えられるが、価格が高く、記録容量も小さい。

マルチメディアがどのようなシステムになるかまだ不明であるが、画像、音声、文字などの認識技術の研究が進み、情報メディア変換が容易になると広く普及し、それぞれの特徴を活かして記録メディアが多く使用されることになろう。また、高密度デジタル技術の進歩はマルチメディアの発展に大いに影響を与えるものと思われる。

5. 高密度記録技術の課題

記録技術は、媒体、ヘッド、信号処理、サーボ、トライボロジーなどの総合技術であり、それぞれの技術がバランス良く進歩しなければならない。

磁気記録技術では、磁性層を薄く $0.2\ \mu\text{m}$ 程度に塗布できる技術、蒸着テープ、垂直磁気記録などによって短波長化が大きく進歩してきている。このため、スペースロスの大きくなる $0.5\ \mu\text{m}$ 以下の記録波長の信号を能率良く検出する技術が重要になり、ヘッド・テープのインタフェースに関するトライボロジー、超電導のマイスナー効果利用による磁束の収束技術、巨大 MR 効果ヘッドなどの研究を進展させる必要がある。

光磁気を含む光記録技術では、エッジ記録、IRIS-

TER (IRIS Thermal Eclipse Reading) などの技術が開発され、高密度化が進んでいる。さらに高密度化を図るには、光源の短波長化とそれに対する媒体、そして多重記録が今後の研究課題になる。光源の短波長化については、II-VI 族化合物半導体によるレーザダイオードの研究が進んでおり、近い将来、青から紫外にかけての波長で室温連続発振が可能になることが期待できる。光磁気媒体では、ガーネットや Pt/Co などが有力な候補である。多重記録は有機物系を含めて研究が進められているが、実用化はかなり先になるものと思われる。

信号処理技術としては、波形干渉を積極的に導入するパシカルレスポンス (PR) と、ビットバイビットの復号より S/N の改善を図れるビタビ復号法が研究されている。テープ媒体、ディスク媒体、いずれを採用する方式においても、高密度化の有力なひとつの技術であろう。

狭トラック化による高密度化に関係するサーボ技術について、光ディスク媒体はグループを設けて高精度なトラッキングを可能としているが、テープ媒体ではこのような方法は採用できない。アジマス記録方式をとるフォーマットでは、再生時隣接するトラックに記録された同期パターンの検出される時間差を測ることによって精密なトラッキングは可能である。したがって、記録時に基準になる信号がテープ上に存在すれば狭トラック化が可能になる。将来、フォーマット化された記録テープによる狭トラック記録実現に期待したい。

サーボ技術については、NT フォーマットのようにデジタル記録の特長を活かし精密トラッキングを必要としない方式、オブザーバ方式、ニューロネットワークなど、AI 技術を利用するソフトウェア制御が一般的となるものと考えられる。

6. む す び

21 世紀のテレビ技術は、本来アナログ情報である画像と音声の入力部 (撮像、マイクロフォン) と出力部 (ディスプレイ、スピーカ) を除いて、信号処理、伝送、記録、放送など、すべてデジタル化されることは必至である。

記録技術に関しては、要求条件を満足するシステムを構成できるように各要素技術について研究開発を進めなければならない。第 1 は、言うまでもなく高密度記録の研究である。ますます増加する番組や情報の保存やコンパクトな記録装置が不可欠なマルチメディアに対応するためにも重要な課題である。第 2 は、画

像の超高精細度化や立体化に対して、データ転送レート的高速化に対応できる記録方式の開発が求められる。第3は、運用性に関して、高速アクセス性、媒体の交換性、長期安定性などが要求される。

そして従来、単一の媒体を使用する記録機器が開発されてきたが、これからはそれぞれの特長を活かして2種類以上の媒体を用いるシステムが構築されることも考えられる。

(1993年2月9日受付)

おおば よしのぶ
大場 吉延 昭和38年、東京工業大学電気工学課程卒業。同年、NHKに入局。同技術研究所で、磁性薄膜、磁気記録の研究に従事。54年より、放送衛星計画の策定に参加した後、61年、同技術本部開発技術部で記録・画像機器の開発を担当。63年より、同放送技術研究所で記録技術の研究に従事。正会員。

1-2 デジタル映像技術の動向とデジタル記録技術

正会員 藤 原 洋[†]

1. ま え が き

今世紀後半の技術革新の重要な要素のひとつは、情報表現におけるアナログからデジタルへの転換である。このデジタル技術がコンシューマ製品として、まず一般的になったのはオーディオ分野である。CDが1987年に一気にレコードを抑えて普及したのは種々の理由が考えられるが、高品質という絶対的な有為性によるところが大きい。そして、次に来るべきデジタル映像への期待が高まっている。また、情報伝達においてもデジタル化が急速な進展を見せており、程度の差はあれ、パッケージ（記録）・通信・放送の各メディアのデジタル化は、すでに実用の域に達しつつある。メディアのデジタル化は、技術のみならずインフラとしての重み等から進展度に差が出るのは当然であるが、経験的にはパッケージ→通信→放送の順で実現されていくようである。

このような状況の中で、次に起こるべきコンシューマ製品のブレイクスルーは、デジタル映像のパッケージメディアによる実現であると考えられる。しかしながら、デジタル映像の情報量はオーディオ情報の千倍以上にのぼるため、情報圧縮技術の適用が不可欠である。したがって、ここではデジタル映像（主として圧縮）技術とこれを実現する半導体技術を概観し、デジタル映像がコンシューマにとって、遅くとも今世紀末までにはデジタルオーディオに続く一大文化

へと発展するシナリオについて考えてみたい。

2. デジタル映像技術の概要

デジタル映像技術は、テレビ信号を対象とする映像入力信号処理技術と映像符号化（圧縮）技術に大別することができる。当然ながら前者は、アナログ・デジタル混在技術であり、後者は純粋なデジタル技術である。以下に、この2つについての概要とその要求処理性能について述べる。

2.1 映像入出力信号処理技術

本技術は元来、アナログ信号として入力されるテレビカメラ信号の持つ属性（信号帯域、走査方式等）をその後の符号化処理に適した形式に変換したり、復号化されたデジタル情報を使用するディスプレイの属性に適合させるために、信号形式変換を行うものである。したがって、入力信号処理には、フリッカ雑音の除去、ライン変換等が含まれ、出力処理には、符号化（圧縮）に伴う歪み除去や、ライン逆変換等が含まれる。ここでの処理はフィルタリング処理が主体であり、後述の符号化処理のような複雑なアルゴリズムはないが、画素単位の高速処理が要求される。

2.2 映像符号化（圧縮）技術

本技術は、膨大な映像情報を可能な限り削減することが目的で、主として通信分野において研究が進められてきた。記録・放送分野においても当然ニーズは高まってきており、昨今の傾向は、むしろメディア間に共通の統合符号化へ向かっている。図1に一般的な符号化・復号化アルゴリズムのブロック図を示すが、現在のところ、DCT（離散コサイン変換）等による空間相関、動き補償等による時間相関、符号発生量による

[†] 株式会社グラフィックス・コミュニケーション・ラボラトリーズ

“Technology Trend of Digital Video and Digital Recording” by Hiroshi Fujiwara (Graphics Communication Laboratories, Tokyo)