

# 新技術 の動向

## MPEG符号化技術

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

浅井 光太郎・山田 悦久・小川 文伸・  
関口 俊一・西川 博文・海老沢 秀明

### 要旨

デジタル放送を実現する最も大きな要因は、映像や音声の高能率符号化技術及び符号化情報をパケット化して、同期情報とともに多重化伝送する技術の国際標準化である。ISO/IEC13818として規格化されたMPEG2標準は、上記の要求にこたえる技術として、世界各国のデジタル放送に採用されている。これにより、番組資産と機器の互換性・接続性を確保することが可能になった。

MPEG標準には、ビデオCDなど蓄積メディア用のMPEG1、デジタルテレビジョン用のMPEG2がある。標準の主たる規定範囲は、映像の符号化方式であるビデオ、音声の符号化方式であるオーディオ、符号化情報のパケット多重化と同期制御を扱うシステムの各パートに分かれている。MPEG2では、標準テレビやHDTVなどの映像フォーマット、伝送路や蓄積媒体に特化した誤り対策や変調などは規定せず、システム構築上の自由度を持た



### MPEGによるマルチメディア情報符号化

MPEG2標準では、双方向予測やフィールド/フレームDCTなどの技術を用い、映像情報を符号化することができる。インタフェースポイントを明確にして規定を最小限のパートに分割することにより、放送・通信・パッケージメディアでの広範な利用が可能になった。

せている。また、使用する技術要素に対応したプロファイルとパラメータ範囲に対応したレベルとによってクラス分けを行っている。応用範囲は、衛星・地上波・ケーブルの各放送、ATMなどの通信、DVDなどのパッケージと多岐にわたり、これらの間でコンテンツを共有することも可能である。

MPEGでは、現在、広範囲のマルチメディアアプリケーションを想定するMPEG4の標準化作業中である。我々は、MPEG標準を利用した応用技術の開発、装置とシステム開発への反映、新たに標準化されるべき技術の開発に取り組んでいく。

## 1 まえがき

デジタル放送を可能にする要素技術は、映像と音声の高能率符号化技術、及び符号化されたメディア情報や各種データをパケット化して流通可能とする技術である。この要求にこたえるものとして、MPEG2標準がある。MPEG (Moving Picture Experts Group) はISO/IECの合同委員会JTC1/SC29に属する作業グループWG11の通称であり、WG11によって検討された国際標準方式をも指す。衛星放送や地上波放送、ケーブルテレビなど、放送業界のほとんどがMPEG2を採用する。MPEG2は、放送のみならずDVDなどのパッケージやATM (Asynchronous Transfer Mode) 映像伝送などの通信分野においても用いられ、ビデオCDなどのMPEG1、間もなく標準化されるMPEG4とともに、マルチメディアの中核をなす基盤技術である。

当社は、MPEG標準化活動に積極的に参画して方式提案を行うとともに、装置やシステムの先行開発を行ってきた。

本稿では、MPEG2を中心とする符号化技術の概要とデジタル放送との関係、MPEG標準を活用してシステム要求を満たすための技術開発、将来技術としてのMPEG4、MPEG7などの標準化動向について述べる。

## 2 MPEGの概要

### 2.1 MPEG標準化の流れ

MPEG標準化活動は1988年に開始された。第1期のMPEG1 (1993年標準化) は、DSM (Digital Storage Media) への適用と1.5Mbps程度までのビットレートが想定され、現在はビデオCD、カラオケ、マルチメディアパソコンなどで利用されている。第2期のMPEG2 ('94年標準化) では、デジタルテレビ (DTV) 一般が想定され、現在は放送やDVDビデオに採用され、急激に利用が拡大している。標準テレビでは4~10Mbps、HDTVでは20Mbps程度が用いられる。現在、MPEGでは、無線やインターネットでの利用、映像の高度な編集・検索など、新たな機能を実現するMPEG4 (バージョン1: '98年標準化) やMPEG7 (2001年標準化) などの課題に取り組んでいる。

### 2.2 MPEG2の構成

表1にMPEG2のパート一覧を示す。パート1のシステムは多重化と同期管理、パート2はビデオ符号化方式、パート3はオーディオ符号化BC (MPEG1互換) に対応する。標準が規定するのは、これらの情報が符号化・多重化されたビット列 (ビットストリーム) の構造を記述・解読する規則 (シンタックス) と復号方法である。パート1~3は図1のような関係にあり、基本的にデコーダを規定している。パート4と5は規格適合試験と方式検証用ソフトウェアである。パート6のDSM-CCは、ネット

パート	内 容
Part 1	System (パケット多重化と同期管理)
Part 2	Video (ビデオ符号化)
Part 3	Audio BC (Backward Compatible)
Part 4	Compliance Test
Part 5	Technical Report
Part 6	DSM-CC (CC : Command and Control)
Part 7	AAQ (Advanced Audio Coding)
Part 9	RTI (Real Time Interface)
Part 10	Compliance Test for DSM-CC

注) Part8は欠番

表1 MPEG2のパート一覧

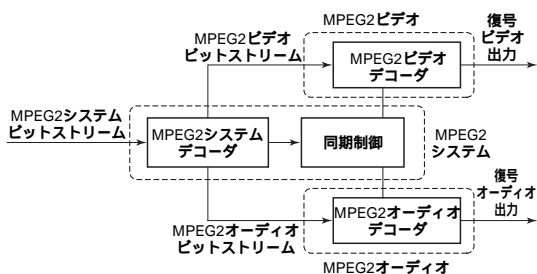


図1 MPEG2主要3パートの規定範囲

ワーク経由でMPEGコンテンツの送受を行うプロトコルセットである。パート7はMPEG1と非互換のオーディオ符号化方式AAC、パート9は各種ネットワークやDSMのゆらぎを吸収してデコーダへ供給するためのI/F仕様である。パート10はパート6の規格適合試験である。

### 2.3 MPEG2ビデオのプロファイルとレベル

MPEG2ビデオには、汎用性を想定したため、多くの符号化ツールが含まれている。各アプリケーションに対応した装置が複雑になりすぎないように、MPEG2には、プロファイルとレベルによるクラス分けが定義されている。’98年5月現在のプロファイルとレベルを図2に示す。

プロファイルは、使用できる符号化ツールとシンタックスの範囲を示し、レベルは扱える画像の規模（解像度）などパラメトリックな範囲を示している。

デジタル放送にとって重要なプロファイルはMain、Simple、4：2：2の三つである。Mainと

High Level ~1,920 pel / line ~1,152 line		MP@HL ~80Mbps			HP@HL ~100Mbps	422@HL 審議中	MVP@HL ~130Mbps
H-1,440 Level ~1,440 pel / line ~1,152 line		MP@H-14 ~60Mbps		Spt@H-14 ~60Mbps	HP@H-14 ~80Mbps		MVP@HL ~100Mbps
Main Level ~720 pel / line ~576 line	SP@ML ~15Mbps	MP@ML ~15Mbps	SNR@M ~15Mbps		HP@ML ~20Mbps	422@ML ~50Mbps	MVP@HL ~25Mbps
Low Level ~352 pel / line ~288 line		MP@LL ~4Mbps	SNR@LL ~4Mbps				MVP@HL ~8Mbps
■ は未定義	Simple Profile	Main Profile	SNR Scalable Profile	Spatially Scalable Profile	High Profile	422 Profile	Multiview Profile

図2 MPEG2ビデオのプロファイルとレベル

Simpleの相違は後に述べる双方向予測の有無であり、Mainと4：2：2の相違は後者が色信号の密度が高い4：2：2フォーマットなど高品質化に適したプロファイルになっていることである。各家庭への放送はMainが中心になるが、低遅延や品質の均一さが重視される場合にはSimpleが、スタジオ編集など再利用性も考慮した高品質符号化には4：2：2が主に用いられる。

レベルでは、Mainレベルが標準テレビに相当し、HighレベルとH-14レベルがHDTV（高品位テレビ）に相当する。現在、4：2：2プロファイルのHighレベルは定義されていないが、HDTVコンテンツの作成に必要なことから、急ぎ追加手続きがとられている。

SNR scalable、Spatially scalable、HighそしてMulti-viewの各プロファイルでは階層性が定義されている。前者三つでは、同等の品質を前提とした場合に、階層符号化の総符号量が単一階層の符号量よりも大きくなると報告されている。Multi-viewは立体符号化であり、二つのviewすなわち左眼画像と右眼画像を基本階層（ベースメントレイヤ）と拡張階層（エンハンスメントレイヤ）に分けて符号化する。いずれの階層符号化においても、基本階層は通常のMainプロファイルデコーダで復号可能であり、互換性を保っている。

## 3 MPEG2標準方式

### 3.1 ビデオ

ビデオパートでは、特定の画像フォーマットを規定しない。画像は、図3のように、ピクチャー、スライス、マクロブロック、及びブロックという階層に分けられる。このうち、サイズが固定であるのは16×16のマクロブロックと8×8のブロックだけであり、上位階層のサイズはマクロブロックの倍数を条件として柔軟に決定することができる。このため、MPEG2では、標準テレビやHDTVなど各種の画像フォーマットを利用することが



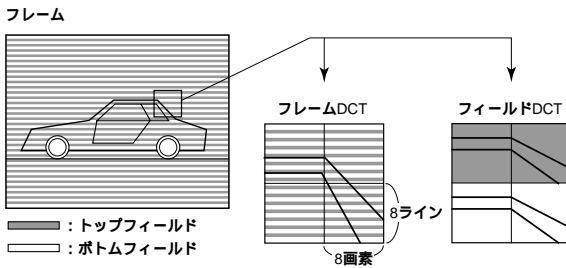


図5 フィールドDCTとフレームDCT

などの変化があり、両フィールドを組み合わせると垂直方向の高域に大きな電力が発生する場合に有効である。その他の多くの場合、垂直方向に隣接するラインの距離が小さいと電力集中効果が高まるため、フレームDCTが有利である。二つのDCTはマクロブロック単位で切換え可能である。

### 3.2 オーディオ

MPEG2オーディオ符号化方式として、まず'94年11月にBC (Backward Compatible) 方式、'97年4月にAAC (Advanced Audio Coding) 方式が規格化された。

#### 3.2.1 BC方式

この方式は、MPEG1方式の符号化アルゴリズム (帯域分割符号化 + 聴覚モデルによる適応量子化) を基本とし、映画や放送などのアプリケーションを意識して、マルチチャンネル / マルチリンガルのオーディオ信号を伝送できるように拡張したものである。また、低サンプリング周波数への拡張も図られており、音声主体のアプリケーション (例えば8kHz帯域) にも対応できるように配慮されている。

BC方式は、MPEG1方式との後方互換性を持っており、MPEG1に準拠した復号器にMPEG2 BC方式で符号化されたマルチチャンネルの符号化データを与えた場合、ステレオ (2チャンネル) としてオーディオ信号を再生することが可能である。

#### 3.2.2 AAC方式

上述のBC方式は、符号化アルゴリズムが

MPEG1方式と同一であるため、符号化効率 (ある品質を満足する1チャンネル当たりのビットレート) は同等であり、マルチチャンネルの伝送では符号化データ全体のビットレートが大きくなってしまふ。そこで、互換性の制約を取り除き、その後の技術的進歩を符号化アルゴリズムに取り入れることによって符号化効率を向上させた方式の標準化を行った。これがAAC方式である。

この方式は、3種類のプロファイルで構成されており、音質を最優先したMainプロファイル、符号化 (復号) の処理量やハードウェアの規模を重視したLC (Low Complexity) プロファイル、階層符号化 (帯域可変) を可能とし再生帯域を制限することにより更にデコーダ規模を小さくできるSSR (Scalable Sampling Rate) プロファイルからなる。プロファイル同士の互換性に関しては、LCで符号化されたデータをメインのデコーダで再生できる構成となっている。

AAC方式において新たに導入された符号化手法として、予測 (メインのみ) や時間領域での量子化雑音整形などが挙げられる。また、7.1チャンネル (0.1は重低音用の補助チャンネル) までの信号を符号化することが可能である。

MPEGで行われた主観評価試験において、5チャンネルの信号を320kbpsで符号化したメインプロファイルの品質が、EBU (European Broadcasting Union) が定めた基準 (原音との差を聞き分けることができない品質) を満足することが確認されている。

### 3.3 システム

システムパートの役割は多重化と同期管理である。多重化はビデオやオーディオの符号化データと各種データの packets 多重化方式を規定し、同期管理はシステムクロックの管理と各メディアの再生同期管理を規定している。

#### 3.3.1 同期管理

MPEG2システムでは、各メディアの packets に付された時刻情報であるタイムスタンプを用いて再生同期をとる。

デコーダは、各メディアのタイムスタンプを比較し、同一時刻に再生が行われるよう制御する(図6)。

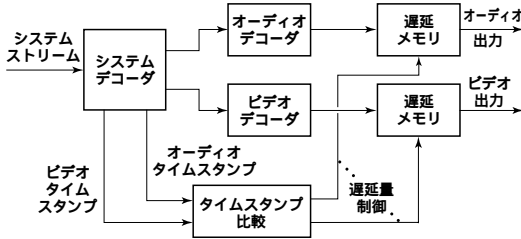


図6 タイムスタンプによる同期再生の例

タイムスタンプはクロックのカウント値で示され、精度は1/90kHzである。また、送受の双方でタイミングが一致するよう、クロックリファレンスを伝送してPLL (Phase Locked Loop) を制御する。基準クロックの周波数は27MHzであり、SCR (System Clock Reference) と番組単位のPCR (Program Clock Reference) がある。SCRは700ms、PCRは100ms以下の間隔で送信することが規定されている。

### 3.3.2 多重化

MPEG2システムには2種類のストリーム、TS (Transport Stream) とPS (Program Stream) がある。両ストリームを構成する基本要素であり、相互の変換を可能とするための中間的な状態がPES (Packetized Elementary Stream) パケットである。PESパケットは、単一のメディア情報のあるプレゼンテーションの単位でパッケージ化したもので、メディア再生の時間管理を行う単位となる。例えばビデオの場合、1枚の画像フレーム分の符号化データを一つのPESパケットとすることが多い。PESパケットは不定長のパケットであり、ヘッダ情報にはパケット長、タイムスタンプ、スクランブル情報や著作権情報、CRC (Cyclic Redundancy Check) などがある。タイムスタンプにはDTS (Decoding Time Stamp) とPTS (Presentation Time Stamp) がある。DTSは復号動作を行う時刻情報であり、PTSは再生を行う時刻情報である。PESパケットとTS、PSの関係を図7、TSとPSの特長を表2に示す。

### a トランスポートストリーム (TS)

TSは188バイト固定長のTSパケットからなり、デジタル放送を含むリアルタイム伝送・通信系で用いられる。各TSパケットは4バイト固定のヘッダを持ち、残る184バイトは可変長のアダプテーションフィールドとペイロードで構成される。ヘッダにはパケットID (PID) があり、パケットの識別を可能としている。一つのPESパケットは同一のPIDを持つTSパケットのペイロードに分割され、一つのTSパケットに複数のPESパケットの情報が含まれることはない。

ある番組がビデオ符号化ストリームとオーディオ符号化ストリームとからなる場合、両者は各々固有のPIDを持つTSパケットを単位として多重化される。こうしたメディア多重のほか、TSは複数の番組を多重化するプログラム多重の機能を持つ。多数に及ぶPIDと内容の関係を記述するため、TSはPSI (Program Specific Information) と呼ばれるテーブル情報をペイロードに格納して伝送する。

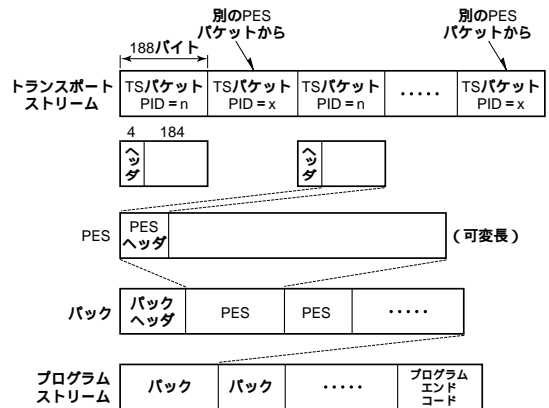


図7 PESパケットとTS、PSの関係

	適用対象	特長
TS	誤りの発生する環境で使用 放送、通信など	188バイト固定長パケット 複数番組を伝送可能 複数のクロックリファレンス可
PS	誤りのない環境で使用 蓄積メディアなど	可変長のバックが基本 単一の番組を含む 唯一のクロックリファレンス

表2 TSとPSの比較

PSIには、番組を構成する複数ストリームのPIDを示すPMT (Program Map Table)、番組番号とPMTとの対応を示すPAT (Program Association Table)、限定受信情報を示すCAT (Conditional Access Table)などが含まれる。PMTは、更に細かなセクションやデスクリプタという単位で、番組や番組を構成するストリームの説明情報を伝送することができる。デジタル放送においては、NIT (Network Information Table)などのテーブルを用い、EPG (Electronic Program Guide)の機能や、希望するチャンネルのTS受信を可能にする。

#### s プログラムストリーム (PS)

PSは、一つ又は複数のPESパケットにヘッダを付加したパックを単位とするストリームであり、パッケージメディアに適用される。PSは、一つの番組だけを含み、すべてのPESパケットが共通の基準クロックを用いる。代表的な適用例はDVDビデオである。将来的にはディスクベースの録画装置に適用される可能性もある。

## 4 デジタル放送とMPEG2

各国のデジタル放送におけるMPEG2の活用は様々である。米国DTVでは、18種類にのぼる画像フォーマットが市場原理にゆだねられ、各放送局によって異なる方針も表明された。日本ではCSデジタル放送がMainプロファイルMainレベル (MP@ML)を採用しており、BSデジタル放送では、Highレベルの放送も行われる。また、時間帯によってHighレベルと複数チャンネルのMainレベルとを切り換えるなど、様々な放送形態が予定されている。米国では音声にドルビー社のAC-3方式を用い、欧州ではBC方式を用いる。日本ではCS用の音声符号化方式としてBC方式が規格化されており、BSには新たに標準化されたAAC方式を用いることとした。いずれもMPEG2システムによる多重化を採用し、伝送路からのレイヤである誤り耐性フレーミングや変調についてはそれぞれの方式を用いる。

MPEG2をデジタル放送に活用するために、当社においても更に技術開発を行い、順次装置に反映させつつある。ビデオについては、番組の中継・編集などにおける繰り返し符号化や各種の変換、受信誤りが発生しても画質を最適に保つための技術などがある。システムについては、チャンネル切換えを最小限の時間で行う技術、プログラム多重化において各チャンネルに最適な符号量を配分する技術、複数ストリームのスプライシング技術などがある。

## 5 MPEG4とMPEGの動向

MPEGは、'98年12月のMPEG4バージョン1標準化に向けて作業を進めている。新たな機能を付加したMPEG4バージョン2は、2000年2月に標準化される予定である。

MPEG4標準の主要パートは、システム、ビジュアル、オーディオである。システムは、多重化と同期管理に加え、シーン記述方式を規定する。シーン記述とは、各種のAVオブジェクトをコンポジションして画面を作成することである (図8)。ビジュアルの場合、オブジェクトには自然画像の被写体のほかにグラフィックスで生成したオブジェクトやロゴなどがある。被写体は、個々にVOP (Video Object Plane)と呼ばれる仮想的なプレーン上にあるものとして扱うことができる。自然画像のオブジェクト符号化用には、MPEG2などを継承するテクスチャの符号化やオブジェクトの形状を符号化する方式を規定する。オーディオは、人の声や楽音など、オブジェクトに合わせて選択可能な音声符号化、高品質音響符号化、音声合成などの符号化ツールを規定する。

### 5.1 MPEG4ビジュアル符号化の特長

各VOPIは、形状とテクスチャに分けて符号化される。これにより、ビデオをオブジェクト単位に符号化・復号・操作・編集することができる。また、誤り対策として、再同期マーカや双方向復号可能なリバーシブルVLCなどが導入された。これ

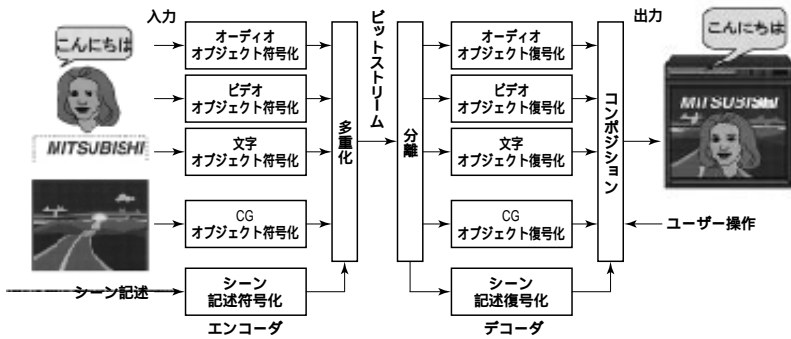


図8 MPEG4符号化・復号化

ーションやJavaベースの手続き型動的シーン記述、MPEG4ストリームのファイルフォーマット、著作権情報に連携するコンテンツへのアクセス制御などを新たな機能として追加する。

また、MPEG4に続く課題として、MPEG7の検討が開始されている。MPEG7の目的は、コンテンツの付加情報や属性、特徴などの記述を

らは誤りの早期検出・復帰、誤り隠ぺい(蔽)を可能とし、ランダム誤り $10^{-4}$ 、バースト誤り $10^{-3}$ で利用可能な性能を実現している。さらに、予測方式の改善や量子化・可変長符号化などの最適化により、特に64kbps以下の低ビットレートにおける画質が向上した。

これらのほか、静止画像をテクスチャとして符号化する際にWaveletを用いて階層的符号化を行うモード、人間の顔画像を特徴点の動きパラメータとグラフィックスによって合成するフェースアニメーションなども含まれている。

### 5.2 MPEG4の応用

MPEG4に期待されるのは、無線回線やインターネット/イントラネットなど、回線速度や品質が低い環境での利用である。強化された誤り耐性は、移動体動画伝送、ポータブル監視システム、放送の移動受信エリア確保などに有効である。デジタル放送という面では、低レートを生かした階層化やデータ放送への適用が期待される。番組ガイドや電子新聞などへの動画追加も可能性がある。オブジェクト単位の操作・編集機能は、コンテンツのオーサリングにも用いられる。将来的には、受信側がコンポジションの操作性を持つインタラクティブなサービスも可能性がある。

### 5.3 MPEG標準化の今後

'99年に予定されるMPEG4バージョン2では、グラフィックスで人物画像を合成するボディアニメ

標準化し、コンテンツの分類や検索、ひいては番組ガイドやナビゲーションを効率化することである。現在は要求条件について議論を行っている段階であり、標準化は2001年に予定されている。

## 6 むすび

以上、MPEG符号化技術の概要を紹介した。デジタル放送に直接かつ最も重要な標準はMPEG2であるが、この方式はテレビ会議など他のマルチメディア情報符号化技術の蓄積の上にある技術標準である。当社の貢献も標準方式の中に反映されている。また、標準方式は互換性を保証するための最小限の枠組みを決めるものであり、いかなる機能と性能を具現化するかは設計者に依存する。

当社においても差別化のための技術を蓄積してきた。今後とも、方式活用のための技術開発、及び新たに標準化されるべき技術の先行開発に取り組んでいきたい。

(三菱電機技報 Vol.72 No.8 1998より転載)

### [ 参考文献 ]

- 1) ISO / IEC 13818-1 ~ 3, 7 ( 1994 )
- 2) ISO / IEC JTC1/SC29/WG11 N2202 ( 1998 )
- 3) 吉村俊郎、加藤嘉明：システム、テレビ誌、49、No.4、74 ~ 83 ( 1996 )
- 4) 浅井光太郎：次世代放送のための符号化技術、テレビ誌、51、No.9、47 ~ 50 ( 1997 )