3. MPEG の符号化方式

3-1 MPEG の機能要求

正会員 大久保 榮[†]

1. ま え が き

動画像とそれに付随するオーディオの汎用符号化に関する MPEG-2 標準は、1994 年 11 月にシンガポールで開かれた ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 会合で、システム符号化、ビデオ符号化、オーディオ符号化の 3 部が ISO/IEC 13818-1, 2, 3 として予定通り成立した^{1)~3)}。このうちシステムとビデオ符号化の標準は、ITU-T 勧告との共通テキストで、それぞれ H. 222.0, H. 262 として 1995 年の前半に承認予定である。

この国際標準は、マルチメディア時代の核となる標準で、特定の応用に特化した標準ではなく、多様なアプリケーションに適用しうる汎用標準 (generic standard) であることがその大きな特徴である。これにより、異なるアプリケーションの間でデジタルオーディオビジュアル情報の相互流通が可能となる。

MPEG では、技術開発担当のサブグループとは独立した Requirements サブグループを設け、汎用標準を実現するための要求条件をまとめるとともに、ビデオ符号化について多くのアプリケーションが共通に使えと思われるサブセットを切り出して標準作成を支援してきた。本稿では、その成果を紹介する。

2. MPEG-2 標準化の枠組み

MPEG-2 標準化作業は 1990 年 7 月に始まった。作業の流れを図 1 に示す。

MPEG-1 標準が主に CD-ROM のようなデジタル蓄積メディアへの応用を対象としていたのに対し、MPEG-2 標準では汎用性を追求するため、まずいろいろなアプリケーションからの特性・機能性に関する要求条件を集めることから始められた。この作業は、

[†] グラフィックス・コミュニケーション・ラボラトリーズ
“3. Coding Systems of MPEG; 3-1 Requirements for the MPEG Standards” by Sakae Okubo (Graphics Communication Laboratories, Tokyo)

図 1 MPEG-2 標準の作成過程

表 1 MPEG-2 標準のアプリケーション

分 野	アプリケーション
放送・分配	・デジタルテレビ番組の直接衛星放送
	・デジタルテレビ番組の地上放送
蓄積メディア	・ニュース、できごと情報
	・地上、衛星によるデジタルオーディオ放送
通 信	・光、同軸などによるテレビ番組のケーブル分配
	・オーディオ番組のケーブル分配
情報検索	・ENG, SNG
	・ヘッドエンドへの固定衛星サービス
通 信	・光ディスクなどの対話型蓄積メディア
	・デジタル VTR などのテープ蓄積メディア
情報検索	・テレビ会議・テレビ電話などの個人間通信
	・遠隔映像監視
情報検索	・マルチメディア電子メール
	・電子シネマ
情報検索	・家庭テレビ劇場
	・ATM などによるネットワークデータベース

MPEG のみでなく ITU-T SG 15 ATM ビデオ符号化専門家グループと共同で行われたほか、ITU-R, EBU, SMPTE など外部機関の協力を得て進められた。想定したアプリケーションは、大きくは放送・分

配、蓄積メディア、通信、情報検索の分野を包含し、具体的には表1に示すものである。

これらの要求条件は、技術担当サブグループで対応する符号化要素技術に翻訳され、必要な技術の新規開発あるいは既存技術のパラメータ選択が行われた。

要素技術の標準化手法はサブグループで異なり、シ

ステム符号化では机上検討による設計、ビデオ符号化ではリファレンスモデルを用いたシミュレーション実験、オーディオ符号化ではハードウェアによる品質評価試験が主に用いられている。

最後に、標準草案の内容は、当初設定した要求条件と照らし合わせ、不足のないことが確認された。

3. 機能・特性要求条件

多様なアプリケーションからの要求条件に関する情報は、用語の定義、パラメータ値などを合わせて1つの文書に整理された⁴⁾。さらにこれを基にして、作成する標準が満たすべき必須の条件が、技術開発担当の各サブグループへの指針として簡潔な文書にまとめられた³⁾。その項目を表2に示す。これは標準を製品と見立てればその仕様書に相当し、図1に示した最終段階のチェックにも使用された。ここでは表2の中の特徴的な項目について概説する。

MPEG-2標準の前には、すでにMPEG-1標準、H.261などの標準があり、新たな標準との互換性(compatibility)が問題になる。これには図2に示すように、既存標準によって符号化したビット列(以下ビットストリーム)を新たな標準の復号器が再生できる前方互換性(forward compatibility)と、新たな標準のビットストリームを既存標準の復号器が再生できる後方互換性(backward compatibility)がある⁶⁾。ビデオ符号化では、後方互換性のメカニズムとして後述の空間スケーラビリティ(空間解像度階層化機能)を用意すること、前方互換性については必須ではないが可能な限り取り入れること、とされているのに対し、オーディオ符号化ではMPEG-1標準に対し双方が必須の条件となっている。

スケーラビリティ(scalability)とは、ビットストリームの一部を捨てても復号器がそれなりの画像あるいはオーディオを再現できる機能で、

表2 MPEG-2標準への要求条件

MPEG-2 標準	要 求 条 件
システム符号化 ITU-T Rec. H. 222.0 ISO/IEC 13818-1	<ol style="list-style-type: none"> 1) 統合シンタックスによる規定 2) 階層符号化ビデオ、オーディオの多重化 3) ビット誤り、セル損失への耐性 4) MPEG-1, H. 261 に対する後方互換性 5) ランダムアクセス、チャンネルホッピング機能 6) 特殊再生モードへの対応 7) マルチチャンネル、マルチリンガル・オーディオへの対応 8) 複数プログラムの多重 9) エレメンタリ・ストリームの識別 10) 暗号化、スクランプリング 11) ビットストリームの編集 12) ATM 伝送への対応 13) 可変ビットレート動作 14) 多重化されたストリームの組み替えによる再多重化 15) コンポジットビデオ信号に必要なクロック再生
ビデオ符号化 ITU-TV Rec. H. 262 ISO/IEC 13818-2	<ol style="list-style-type: none"> 1) 統合シンタックスによる規定、拡張性の組み込み 2) 多様な映像フォーマット <ul style="list-style-type: none"> ・インタレース/プログレッシブ 4:2:0/4:2:2/4:4:4, 最大 16 K²画素 ・プログレッシブ信号源に必要な表示 ・ムービーに必要な表示 ・表示ウィンドウへの対応 3) 高画質 4) ITU-R BT. 601 映像に対する最適化 5) 固定ビットレートと可変ビットレート 6) 符号化・復号化遅延が 150 ms 以下の低遅延モード 7) ランダムアクセス、チャンネルホッピング 8) ビットストリームのスケーラビリティ 9) MPEG-1, H. 261 に対する後方互換性、前方互換性 10) フォーマットの違いに対する互換性 11) ハードウェア複雑性と特性選択の自由度 12) 符号化ビットストリームの編集 13) 特殊再生モードへの対応 14) ビット誤り、セル損失、パケット損失への耐性
オーディオ符号化 ISO/IEC 13818-3	<ol style="list-style-type: none"> 1) 統合シンタックスによる規定、拡張性の組み込み 2) マルチチャンネル、マルチリンガル・オーディオ <ul style="list-style-type: none"> ・標準化周波数: 48/44.1/32 kHz, 5+1 チャンネルあるいは5言語 ・MPEG-1 オーディオとの後方互換性、前方互換性 ・ビットストリームのスケーラビリティ ・誤りに対する保護 ・マルチチャンネル識別の信号、ユーザデータの挿入 ・低遅延 3) MPEG-1 オーディオの低標準化周波数版 <ul style="list-style-type: none"> ・入出力: 標準化周波数 32 kHz 以下, 1 あるいは 2 チャンネル ・MPEG-1 オーディオとの前方互換性 ・誤りに対する保護 ・ユーザデータの挿入

MPEG-2 標準の特徴のひとつである。ビデオ符号化では、次のようなスケーラビリティが可能である。

- ・空間スケーラビリティ：異なる空間解像度の画像を対象とする。例えば通常のテレビと HDTV 画像。
- ・時間スケーラビリティ：異なる時間解像度の画像を対象とする。例えば毎秒 30 枚の画像と毎秒 15 枚の画像。
- ・SNR スケーラビリティ：異なる符号化雑音の画像を対象とする。
- ・色解像度のスケーラビリティ：異なる色解像度の画像を対象とする。例えばスタジオ標準の色解像度を持つ 4:2:2 画像と垂直方向の色解像度を半分にした 4:2:0 画像。

一方、オーディオ符号化では、MPEG-2 ビットストリームが MPEG-1 のチャンネルを再現できる。

このほか、MPEG-2 標準では、リアルタイムの放送、通信がアプリケーションに加わったことにともない、符号化・復号化遅延を少なくし得ること、受信番組を次々に切り替えたとき（チャンネルホッピングという）すばやく画像・音声が出てくること、伝送チャンネルに符号誤りやセル/パケット損失があっても、ある程度耐えられること、などが MPEG-1 標準への要求条件とは異なる部分である。

また、システム符号化では、異なる基準クロックを有する複数のプログラム（1つのプログラムを構成する画像、音声は同一の基準クロックを共有する）の多重・分離ができること、ビデオ符号化では、インタレース信号を扱えることが MPEG-1 標準にはない新たな機能である。

な機能である。

4. 汎用符号化標準の構成

多様なアプリケーションの要求条件をすべて満たす汎用標準が安価に実現できれば、標準に準拠するすべての復号器は、どのようなビットストリームも標準に準拠している限り受信でき、異なるアプリケーション間でデジタルオーディオビジュアル情報の相互流通が可能となる。しかし、このような標準が定めるすべての符号化ツールを持ったスーパーセットの復号器は、標準が複雑な符号化ツールを含む場合、特定のアプリケーションには無駄な部分があることを意味し、少なくとも当初は実用的でない。また、ビデオ符号化の画像フォーマットのようにハードウェア量に直接関わるパラメータもあり、どのような場合にも最大サイズの復号器を使うことは、非現実的である。

一般に汎用符号化標準の構成法は、図 3 に示すように、(a)の単一標準と(c)のツールキット標準がビットストリームの流通性追求とアプリケーション毎の最適化追求の両極端である。ここでは、標準の構成要素である符号化ツールを点で、その集合体であるサブセットを丸で囲って表現し、標準は符号化ツールとサブセットの全体で表している。MPEG-2 ビデオ符号化標準では、これら(a)、(c)の中間解として、(b)に示すような、標準の中に限られた数のサブセットを定義する方法を採用することとした。サブセットが階層的に定義されていれば、ビットストリームの流通性を高めながら、符号化・復号化デバイスの共通性したがって量産化に資することができる。

MPEG-2 ビデオ符号化標準のサブセットを表 3 に示す。サブセットは、必要な符号化ツールを示す Profile と画像サイズを示す Level の 2 次元平面で表され、各サブセットは“MP@ML” (Main Profile at Main Level) のように表記される。現在、アプリケーションの市場性を考慮し、表 3 に記された 11 のサブセットが定義されている。これらは、階層的になっており、あるサブセットに従う復号器は、それより下位

図 2 前方互換性と後方互換性

図 3 汎用符号化標準の構成

表 3 MPEG-2 ビデオ符号化標準のサブセット

High H: 1920 V: 1152 T: 60	×	80 Mb/s	×	×	100 80 25 Mb/s (注 3)
(注 1)			(注 1)	(注 1)	
High- 1440 H: 1440 V: 1152 T: 60	×	60 Mb/s	×	60 40 15 Mb/s (注 4)	80 60 20 Mb/s (注 4)
(注 1)			(注 1)		
Main H: 720 V: 576 T: 30	15 Mb/s	15 Mb/s	15 10 Mb/s	×	20 15 4 Mb/s (注 5)
				(注 1)	
Low H: 352 V: 288 T: 30	×	4 Mb/s	4 3 Mb/s	×	×
(注 1)				(注 1)	(注 1)
Level (注 2)	Simple 4:2:0 I,P 単層	Main 4:2:0 I,P,B 単層	SNR scalable 4:2:0 I,P,B 最大 2 層	Spatially scalable 4:2:0 I,P,B 最大 3 層	High 4:2:2 I,P,B 最大 3 層
Profile					

注 1: コンフォーマンス点として未定義。

注 2: H, V, T はそれぞれ水平画素数, ライン数, 毎秒画面数の上限を示す。

注 3: ビットレートは, 下から, 基底層, 基底層+中間層, 全層の値を示す。低解像度画像は H/V/T=960/576/30。

注 4: 低解像度画像は H/V/T=720/576/30。

注 5: 低解像度画像は H/V/T=352/288/30。

のサブセットのビットストリームは再生できない。例えば, MP@ML 復号器は, MP@ML ビットストリームのみでなく, MP@LL, SP@ML ビットストリームを復号できない。ビットストリームと復号器のすべての組合せが標準に記されており, 各サブセットの復号器が復号できないビットストリームが明示されている。これは将来, 階層的ではないサブセットが追加された場合でも有効な規定方法である。

表 3 のサブセットのうち, MP@ML はデジタル化された標準テレビ信号を用いる近未来の広範なアプリケーションを意識したサブセットで, 対応するデバイス(特に復号器)が大量に生産されることが期待されている。

5. む す び

MPEG-2 符号化標準は, 高度な符号化技術を駆使

し, 多様なアプリケーションに適用可能な汎用標準である。すでに, 衛星放送, CATV, 米国 ATV, ATM ネットワークによるオーディオビジュアル通信, 蓄積メディア, 動画像データベースなどの産業界から支持が表明されており, マルチメディアシステムのインフラを支える基本的な標準となろう。本稿では, この汎用標準の枠組み作りを行ってきた要求条件に関わる作業の成果を述べてきた。現在, この標準を拡張する作業が進められており, それを報告することでむすびとしたい。

- 動画像データベースと端末の間の制御プロトコル DSM-CC (Digital Storage Media Control Command)
- MPEG-1 オーディオとの互換性の条件をはずした NBC (Non Backward Compatible) マルチチャンネルオーディオ符号化
- リアルタイムの転送を考慮したシステム符号化のインタフェース規定
- スタジオにおけるノンリニア編集などプロフェッショナルな用途に適したビデオ符号化サブセット

(1994 年 11 月 30 日受付)

(参 考 文 献)

- 1) MPEG Systems Sub-Group: "ITU-T Rec. H. 222.0: ISO/IEC 13818-1 Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Systems", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 文書 N0801 (Nov. 1994)
- 2) MPEG Video Sub-Group: "ITU-T Rec. H. 262: ISO/IEC 13818-2 Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 文書 N0802 (Nov. 1994)
- 3) MPEG Audio Sub-Group: "ISO/IEC 13818-3 Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Audio", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 文書 N0803 (Nov. 1994)
- 4) MPEG Requirements Sub-Group: "Information on Requirements for MPEG-2", JTC1/SC29/WG11 文書 N0300 (Nov. 1992)
- 5) MPEG Requirements Sub-Group: "Guide for MPEG-2 Work", JTC1/SC29/WG11 文書 N0432 (Apr. 1993)
- 6) S. Okubo: "Requirements for High Quality Video Coding Standards", Signal Processing: Image Communication, 4, 2, pp. 141-151 (Apr. 1992)

おおくぼ さかえ
大久保 榮 昭和 39 年, 広島大学工学部卒業。同年, NTT 研究所に入る。以後, 主にテレビ電話・テレビ会議システム, 広帯域通信網の研究開発に従事。昭和 59 年以降, ITU-T SG 15 と MPEG での画像符号化とオーディオビジュアル通信システムの国際標準化に携わっている。平成 6 年 4 月, GCL に入社。正会員。