



平成26年度「デジタル映像の制作・流通の
ファイルフォーマットに関する調査」

調査報告書

平成 27 年 3 月 31 日

【目次】

1. はじめに.....	6
2. 調査目的.....	7
3. ファイルフォーマット.....	8
3. 1. フォーマットとコーデック.....	8
3. 2. フォーマットの要素.....	8
3. 2. 1. 圧縮.....	8
3. 2. 2. ビットレート.....	8
3. 3. ワークフローにおけるファイルフォーマット.....	9
4. コンテナフォーマットの種類.....	11
4. 1. MXF.....	11
4. 1. 1. 概要.....	11
4. 1. 2. 背景と経緯.....	11
4. 1. 3. 特徴.....	13
4. 1. 4. ドキュメント公開状況.....	18
4. 2. Quick Time.....	20
4. 2. 1. 概要.....	20
4. 2. 2. 背景と経緯.....	21
4. 2. 3. 特徴.....	21
4. 2. 4. ドキュメント公開状況.....	22
4. 3. AVI.....	23
4. 3. 1. 概要.....	23
4. 3. 2. 背景と経緯.....	23
4. 3. 3. 特徴.....	24
4. 3. 4. ドキュメント公開状況.....	25
4. 4. MPEG-2 TS.....	25
4. 4. 1. 概要.....	25
4. 4. 2. 背景と経緯.....	25
4. 4. 3. 特徴.....	26
4. 4. 4. ドキュメント公開状況.....	29
5. 映像コーデックの種類.....	30
5. 1. Prores.....	30
5. 1. 1. 概要.....	30
5. 1. 2. 背景と経緯.....	30

5. 1. 3. 特徴.....	30
5. 1. 4. ドキュメント公開状況	32
5. 2. MPEG-2 Video.....	32
5. 2. 1. 概要.....	32
5. 2. 2. 背景と経緯.....	32
5. 2. 3. 特徴.....	33
5. 2. 4. ドキュメント公開状況	33
5. 3. H.264.....	33
5. 3. 1. 概要.....	33
5. 3. 2. 背景と経緯.....	34
5. 3. 3. 特徴.....	35
5. 3. 4. ドキュメント公開状況	36
5. 4. H.265.....	36
5. 4. 1. 概要.....	36
5. 4. 2. 背景と経緯.....	37
5. 4. 3. 特徴.....	38
5. 4. 4. ドキュメント公開状況	41
5. 5. AVC-Ultra	41
5. 5. 1. 概要.....	41
5. 5. 2. 背景と経緯.....	41
5. 5. 3. 特徴.....	42
5. 5. 4. ドキュメント公開状況	45
5. 6. DNxHD.....	46
5. 6. 1. 概要.....	46
5. 6. 2. 背景と経緯.....	46
5. 6. 3. 特徴.....	46
5. 6. 4. ドキュメント公開状況	47
5. 7. Motion JPEG.....	48
5. 7. 1. 概要.....	48
5. 7. 2. 背景と経緯.....	48
5. 7. 3. 特徴.....	48
5. 7. 4. ドキュメント公開状況	50
5. 8. VP6.....	50
5. 8. 1. 概要.....	50
5. 8. 2. 背景と経緯.....	50
5. 8. 3. 特徴.....	51

5. 8. 4. ドキュメント公開状況	52
5. 9. Cineform.....	52
5. 9. 1. 概要.....	52
5. 9. 2. 背景と経緯.....	53
5. 9. 3. 特徴.....	53
5. 9. 4. ドキュメント公開状況	53
6. 画像フォーマットの種類.....	53
6. 1. DPX.....	53
6. 1. 1. 概要.....	53
6. 1. 2. 背景と経緯.....	54
6. 1. 3. 特徴.....	54
6. 1. 4. ドキュメント公開状況	55
6. 2. JPEG	55
6. 2. 1. 概要.....	55
6. 2. 2. 背景と経緯.....	56
6. 2. 3. 特徴.....	56
6. 2. 4. ドキュメント公開状況	57
6. 3. JPEG 2000	57
6. 3. 1. 概要.....	57
6. 3. 2. 背景と経緯.....	57
6. 3. 3. 特徴.....	58
6. 3. 4. ドキュメント公開状況	58
6. 4. TIFF	59
6. 4. 1. 概要.....	59
6. 4. 2. 背景と経緯.....	59
6. 4. 3. 特徴.....	60
6. 4. 4. ドキュメント公開状況	60
6. 5. OpenEXR.....	60
6. 5. 1. 概要.....	60
6. 5. 3. 特徴.....	63
6. 5. 4. ドキュメント公開状況	64
6. 6. BPG.....	64
6. 6. 1. 概要.....	64
6. 6. 2. 背景と経緯.....	64
6. 6. 3. 特徴.....	65
6. 6. 4. ドキュメント公開状況	65

6. 7. DNG	65
6. 7. 1. 概要.....	65
6. 7. 2. 背景と経緯.....	65
6. 7. 3. 特徴.....	66
6. 7. 4. ドキュメント公開状況	67
6. 8. RAW	67
6. 8. 1. 概要.....	67
6. 8. 2. 背景と経緯.....	67
6. 8. 3. 特徴.....	68
6. 8. 4. ドキュメント公開状況	68
7. 音声フォーマットの種類.....	68
7. 1. WAV	68
7. 1. 1. 概要.....	68
7. 1. 2. 背景と経緯.....	69
7. 1. 3. 特徴.....	69
7. 1. 4. ドキュメント公開状況	70
7. 2. BWF	70
7. 2. 1. 概要.....	70
7. 2. 2. 背景と経緯.....	70
7. 2. 3. 特徴.....	71
7. 2. 4. ドキュメント公開状況	72
7. 3. MP3	72
7. 3. 1. 概要.....	72
7. 3. 2. 背景と経緯.....	72
7. 3. 3. 特徴.....	73
7. 3. 4. ドキュメント公開状況	74
7. 4. AAC	74
7. 4. 1. 概要.....	74
7. 4. 2. 背景と経緯.....	74
7. 4. 3. 特徴.....	74
7. 4. 4. ドキュメント公開状況	76
引用文献	79

1. はじめに

映像制作のデジタル化に伴い映画、放送、CMの映像制作ジャンルの境目がなくなりつつある。特にデジタルカメラの普及に伴い、同カメラで撮影することが増えてきており、結果ワークフローにおけるファイルフォーマットが各ジャンルで共通化される傾向がある。

また、VTRであれば、録再機とテープメディアが一体であり、ファイルフォーマットを意識することなく活用することができていたが、メディアとファイルフォーマット別々で扱うことになり、より複雑な運用が必要になっている。このような背景から、現在、デジタル映像の制作・流通に用いられているファイルフォーマットに対し、概要、背景と経緯、特徴、ドキュメント公開状況について明記する。さらに、フォーマットに関わる要素ならびにワークフローにおける視点も含め調査することとする。

2. 調査目的

この調査を基に、アーカイブや保存の観点からフォーマット検討ならびに選定の一助とすることを目的とする。

3. ファイルフォーマット

3. 1. フォーマットとコーデック

コーデックとは、あるデータを別の形式のデータに変換するための、ソフトウェアやハードウェアのしくみのこと。動画ファイルに含まれている、動画データ、音声データはすべてではないが圧縮されており、その圧縮ならびに伸張するプログラムをコーデックという。あるデータを異なるデータ形式に変換することをエンコードと呼ぶ。また、エンコードされたデータを元のデータ形式に戻すことをデコードと呼ぶ。コーデックには、エンコーダとデコーダのどちらか一方、または両方が含まれる。

なお、あるコーデック形式でエンコードされたデータは、ファイルフォーマットという「入れ物」に格納され、動画ファイルとなる。コンテナフォーマットとも呼ばれる。[1, p. 146] [2]

3. 2. フォーマットの要素

3. 2. 1. 圧縮

映像ならびに画像、音声ファイルはその用途によって圧縮される。圧縮には、非可逆圧縮と可逆圧縮に分けられる。また、圧縮を行わない非圧縮も存在する。

可逆圧縮とは、デコードすれば、完全にもとの品質に戻すことができる（＝劣化が生じない）圧縮方式のこと。非可逆圧縮とは、デコードしても、もとの品質に戻すことができない（＝劣化が生じる）圧縮方式のことを言う。

可逆圧縮が、「数学的な方法でデータをまとめて」ファイルサイズを小さくしている。対して、非可逆圧縮は「人に感知されにくい部分（データ）を実際に削って」ファイルサイズを小さくしている。可逆圧縮はデータが劣化しないため、「ロスレス (Lossless) 圧縮」とも呼ばれている。同様に、不可逆圧縮は「ロッキー (lossy) 圧縮」とも言う。

元に戻すことができるなら、可逆な方法で圧縮した方が良いように思えるが、逆圧縮には以下のようなデメリットがある。

- ・不可逆圧縮に比べ、圧縮率が低いことがある。
- ・デコード時、CPU に負荷がかかり、結果処理時間がかかる。

なお、圧縮自体を行わない非圧縮も存在し、映像制作といった繰り返しエンコードする必要があるポストプロダクションなどでの処理において、使用されることが多い。つまりは、自分の環境、用途や目的に応じて 圧縮方法を使い分ける必要がある。[3]

3. 2. 2. ビットレート

単位時間あたりに何ビットのデータが処理あるいは送受信されるかを表す語。単位としては「ビット毎秒」(bps : bits per second)を使うのが一般的。圧縮された映像データや音声データが 1 秒あたりどのくらいの情報量で表現されているかを表し、通信回線が 1 秒間にどのくらいのデータを送受信できるかを表す際に用いる。[4]

基本的にフレームサイズの大きい画像は、高いビットレートを設定する必要があり、小さな画像ではビットレートが低めでも、あまり気にならない傾向がある。また、ファイルサイズを抑えるためには、フレームサイズを小さくするだけでは意味がなく、小さくしたサイズに対して最適のビットレートを選択する必要がある。例えば、インタビュー動画などを Web サイトなどで小さく表示する場合において、高いビットレートを割り当てても、ファイルサイズが大きくなるだけで、画像の品質にそれほど変化は生じない。

また、必要十分なビットレートは画像の内容によっても違いがある。実際の多くの動画では、速い動きと遅い動き、空間周波数が高いシーン、低いシーンが入り混じっており、絵柄、動きのスピード、画面サイズの要素が組み合わされてはじめて「最適」なビットレートが割り出せる。高いビットレートを割り当ててしまえば、全シーンで綺麗な仕上がりになりますが、データ量としては膨大になる。

そのため、動画のエンコード（圧縮）には「可変ビットレート」という方式が用意されている。たとえば動きの少ないシーンの映像には低いビットレート、動きが激しく背景も細かい部分は高いビットレートのように、ソフトウェアがシーンの複雑さに応じて、ビットレートを割り当てる。なお、動画全体をスキャンして、シーンに応じた最適なビットレートを計算して割り当てるため、エンコードに時間はかかるが、画質が良くファイルサイズが小さいといった効果が得られる。この際、「ターゲットビットレート」と「最大ビットレート」を求められる場合がある。ターゲットビットレートは使用するビットレートの平均値。ソフトウェアによって指定することができる。また、「固定ビットレート」というビットレートを固定する方式がある。ファイルサイズが推測されるため、デコード時の処理がシンプルといったメリットがある。 [5]

3. 3. ワークフローにおけるファイルフォーマット

以下に一般的な映像制作におけるワークフローを明記する。

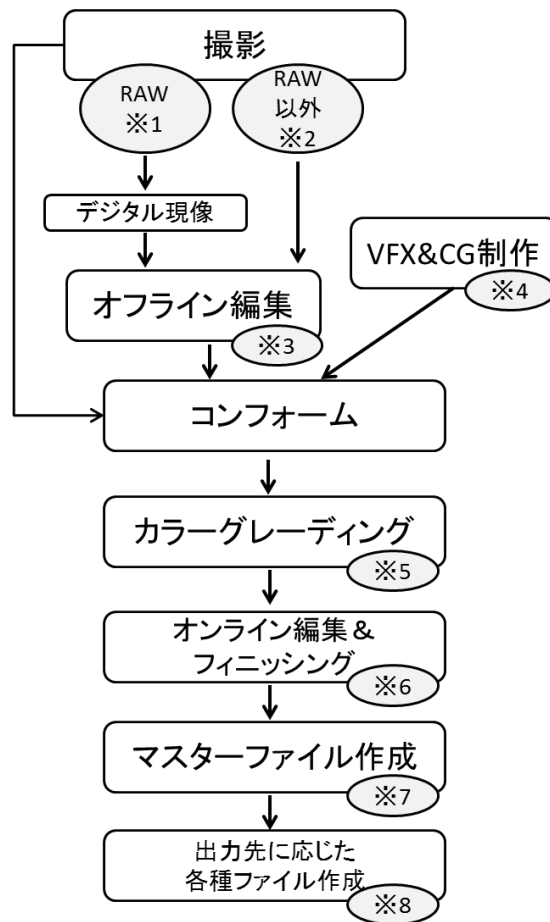


図 1 一般的なワークフロー

また、図に明記された各工程でのテナフォーマット、ファイルフォーマットの例を以下に明記する。

※番号	ファイルフォーマット・コーデック(テナフォーマット)例
1	Sony F65RAW, F55RAW, Red® Code RAW, Canon Cinema RAW など カメラメーカーがカメラごとに開発している。詳細は 6.8. RAW 参照。
2	H. 264 (MXF), Prores (MOV) など
3	Prores (MOV), DNxHD (MOV, MXF) など
4	DPX, OpenEXR, TIFF など
5	DPX, OpenEXR, Prores (MOV) など
6	DPX, OpenEXR, Prores (MOV) など
7	DPX, WAV, OpenEXR, Prores (MOV), JPEG2000 (MXF) など
8	DPX, WAV, H. 264 (MXF), JPEG2000 (MXF) など

4. コンテナフォーマットの種類

4. 1. MXF

4. 1. 1. 概要

MXF は、Material eXchange Format の略称で、映像・音声を機器間やシステム間でやりとりする際のデータの持ち方を規定した規格である。業務用映像ファイルフォーマットの標準として策定されているため、カメラやビデオレコーダだけでなく、素材から送込に至るまでの幅広い用途で活用されている。例えば、VTR 規格（XDCAM™、DVCPRO P2 など）で採用されており、ノンリニア編集機やカラーグレーディングソフトでも対応製品が増えている。また、デジタルシネマでは映画館の配給データ（DCP*1）として MXF フォーマットが採用されている。 [1, p. 244] [6]

なお、Digital Cinema Initiatives, LLC の Member Representatives Committee が DCP 含む仕様を作成している。 [7]

4. 1. 2. 背景と経緯

コンピュータやネットワークなど IT 技術の高性能化に伴い、映像をファイルとして取り扱うことができるようになってきた。ノンリニア編集機やビデオサーバなど、テープレスのビデオシステムがさまざまな用途で使われるようになってきた。しかし、これらの機器は多くの場合独立しており、ファイル化のメリットを引き出す必要があった。従来の映像ファイルフォーマットでは、機能的な問題があった。例えば、メーカー間や機器間の互換性やタイムコードなどのメタデータや字幕データの格納、特定のフォーマットに依存しない用途に合わせた圧縮技術の対応、プレイリストに代表される付加情報を規定して格納するといった機能的な面が欠けており、それらを補うため MXF が策定されることになった。 [8, pp. 227-228]

*1 DCP (Digital Cinema Package : デジタルシネマパッケージ)

各映画館でデジタル上映できる形態に映像をパッケージングしたもの。KDM (Key Delivery Message) と呼ばれる各映画館と上映期間が指定された鍵データによる暗号解読されて上映される。コーデックとしては JPEG2000 を採用。

MXF は放送関係者とビデオ機器会社が集まって設立された業界団体の一つ Pro-MPEG Forum と、SMPTE^{*2}+EBU^{*3}の共同プロジェクトが連携して策定された。1999 年に開始された MXF プロジェクトは、EBU と SMPTE が 1996 年から進めてきたファイルによる番組交換のための標準化プロジェクトと合流し、標準化作業の後、2003 年に SMPTE の標準規格となった。

なお、AAF (Advanced Authoring Format)⁴の開発メンバーもその標準化プロジェクトの活動に参加し、要求に適合する編集フォーマットとして AAF の確認を進め、その後 2000 年に特定企業から独立した非営利団体の AAF 開発団体として AAF Association (AAFA) を設立した。AAFA は 2007 年の NAB において MXF の効果的なワークフローとして MXF Mastering Format を発表し、同年 5 月に MXF ワークフロー開発を所掌に加えて AMWA (Advanced Media Workflow Association) に改組した。AMWA は継続して MXF 標準化活動に寄与し、MXF のビジネス活用を推進するための検討開発を続けている。 [8, pp. 228, 265]

また、MXF 策定にあたり、以下の要求条件がまとめられた。 [8, p. 229]

1. 番組の映像・音声と同様に、番組に関するメタデータやさまざまなデータを持つことができる。
2. ファイル伝送が完了する前に、受け取り側で次の処理をスタートできる。
3. ファイル伝送時にデータの一部が欠落しても、残りの部分を再生できる機能を持つ。
4. ファイルフォーマットはオープンな標準で、かつ圧縮方式から独立している。
5. 番組全体もしくは番組の一部をやり取りすることができる。
6. リアルタイムで処理できる簡潔さを持つ。
7. 拡張可能で OS や伝送方式、格納されるメディアから独立している。

ちなみに、AMWA では、ファイルフォーマットのモデルを検討する Model Specification (MS)、MXF ワークフローや AAF のイフェクト編集用メタデータを検討する Application Specification (AS)、MXF の Web サービス等を検討する Interface Specification (IS) の 3 領域のプロジェクトを運営しているが、長期アーカイブや保存に関するものとして、AS-07 というプロジェクトがある。これは、Federal Agencies (米国連邦政府機関) や Library of

*2 SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers : 米国映画テレビ技術者協会)
映画やテレビ放送に関する基準技術規格を策定している団体。

*3 EBU (European Broadcasting Union : 欧州放送連合)
欧州の放送事業者を中心として、放送に関する技術的、法律的に寄与するために設立。標準化も推進。

*4 AAF (Advanced Authoring Format : 先進オーサリングフォーマット)
プラットフォームやアプリケーションに依存しないデジタルコンテンツを交換するためのフォーマット。

Congress (アメリカ議会図書館) のリクエストにより発足し、FADGI^{*5} のオーディオビジュアルワーキンググループによって、2009 年から 2012 年にかけてドラフティングされ、現時点で 2 つのドキュメントが準備されており、最新版は 2014 年 9 月 23 日に作成されている。

AS-07 MXF Archive and Preservation Format REVIEW DRAFT, September 23, 2014 [9]

AS-07 Baseband Shim Derived from AS-07: MXF Format for Archive and Preservation REVIEW DRAFT September 23, 2014 [10]

なお、2014 年 12 月 10 日まで一般向けにレビューされており、現在そのドラフト仕様の改定を行っている。

4. 1. 3. 特徴

MXF は、自由度と互換性の相反する機能を併せ持つことができる特徴がある。映像や音声については、非圧縮を含むさまざまな圧縮方式を許容している。これは、すでにさまざまな圧縮方式が実用されていることに加え、今後も改良や開発が続くため固定できないという側面もある。一方で、映像・音声が異なるため、互換性がとれないということも発生するが、共通のメタデータ形式にすることで、再生時間やタイトル、内容説明、権利情報などが共通化でき、コンテンツ管理上は一元的となり、処理の自動化も可能となる。 [11]

ファイルを構成する要素

DMS-1

実際のところ、メタデータを統一すること自体も難しく、用途・目的によってさまざまなメタデータが存在するが、何らか統一しないと共通性・互換性がとれないため、MXF ではメタデータについて以下のような 2 つからなる構成で整理された。まず、コンテンツの技術的な要件についてのメタデータ、つまり圧縮方式、解像度や再生時間などについては、すべての MXF に共通の構造系メタデータ (Structural Metadata) として規定された。一方、コンテンツの内容、つまりタイトルや内容説明、権利情報などは記述系メタデータ (Descriptive Metadata) として、任意のメタデータを許容することになった。

記述系メタデータについても、共通のメタデータ DMS-1 (Descriptive Metadata Scheme) が規定された。これにより、DMS-1 互換のメタデータを格納しておけば、メタデータに関しての互換性がとれることがいえる。この DMS-1 は、MXF の記述系メタデータの標準として策定され、AAF との連携はもちろん、MPEG-7、TV Anytime、P/Meta との連携も考慮して策定された。DMS-1 は、以下の 3 つのフレームワークで構成され、各フレームワークはさまざまなメタデータ項目を持つ。

*5 FADGI (Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative : 連邦機関デジタル化ガイドラインイニシアチブ)

米国連邦政府機関が 2007 年から共同で結成しているグループで、歴史的なコンテンツを持続可能な方法でデジタル化するための共通のガイドラインや手法、実務を規定することを目指している。

Production (作品につけるメタデータ)
Clip (素材につけるメタデータ)
Scene (特定の場所につけるメタデータ)

DMS-1 のデータは、ファイル上ではバイナリデータとして格納される。MXF を取り扱うシステムやソフトがメタデータを取り出したり読み込んだりする場合は、XML 表現とすることが多い。なお、DMS-1 に不足するメタデータ項目については、ユーザーサイドで拡張可能だが、独自に拡張すると拡張部分の互換性がなくなるため、DMS-1 のみで使う場合あるいは拡張する場合のいずれのケースでも MXF 運用のためのメタデータの業界標準を用途毎に設定する必要がある。 [11]

ジェネリックコンテナとエッセンス

MXF では、映像・音声・タイムコード・アンシラリデータなど時間軸に沿って格納されるデータをエッセンスと呼ぶ。このエッセンスを格納する仕組みとしてジェネリックコンテナと呼ばれる手法が規定されている。ジェネリックコンテナでは、システム・ピクチャー・サウンド・データの 4 つの領域にカテゴリー分けして格納する。 [8, p. 240]

格納される映像・音声データ (エッセンス) は以下の通り [6]

映像

- ・非圧縮
- ・DV
- ・D11
- ・MPEG-2
- ・MPEG-4
- ・H. 264
- ・JPEG2000
- ・VC-1
- ・VC-3

音声

- ・非圧縮
- ・MPEG
- ・A-law

オペレーショナルパターン

カメラで収録した素材が MXF ファイルとして存在している際、その素材のことをファイルパッケージと呼び、その素材ファイルをノンリニア編集機で編集したタイムラインに並

ぶリンク参照されている素材（プレイリスト上に並んだ状態）をマテリアルパッケージと呼ぶ。単純な構造の MXF ファイルではファイルパッケージとマテリアルパッケージは 1:1 の対応である。しかし、複雑な構造の MXF ファイルでは、1 ファイル内で複数の素材をプレイリストにならべることができる。ファイルパッケージとマテリアルパッケージの関係を以下の図に示す。

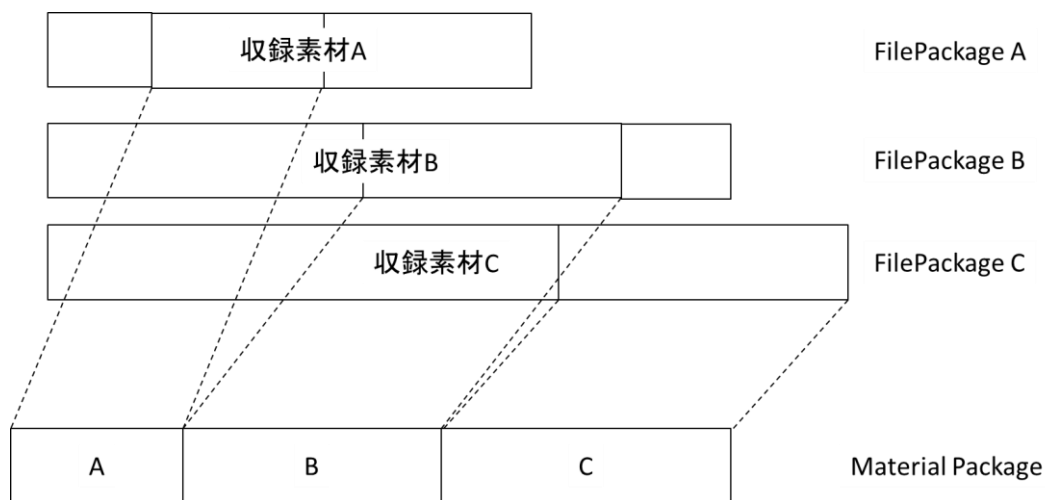


図 2

すべての MXF 対応機器で、複雑な構造に対応することは困難なため、オペレーショナルパターンという構造の分類が決められている。例えば、ファイルパッケージとマテリアルパッケージが 1:1 対応のものを OP1a と呼ぶ。単純なひとつのマテリアルパッケージのものを「a」、複数のファイルパッケージをひとつのマテリアルパッケージ上に合成する場合を「b」、複数のマテリアルパッケージを持つ場合を「c」と呼ぶ。また、マテリアルパッケージ(プレイリスト)が 1 種類の場合を「1」、複数のクリップの合成である場合を「2」、複数のクリップを IN/OUT 付で合成する場合を「3」と呼ぶ。これらの組み合わせでオペレーショナルパターンの名前が決まる。まとめると以下のようなになる。

		単一項目再生	複数項目再生	EDL 再生
		1	2	3
単一のメディア データを再生	a	OP1a	OP2a	OP3a
複数のメディア データを1つとして 再生	b	OP1b	OP2b	OP3b
複数のMPを持つこ とができる バージョンング	c	OP1c	OP2b	OP3c

なお、これらのオペレーショナルパターンに当てはまらないものとして、OP-Atomが規定されている。OP-Atomは映像・音声といったエッセンスを、それぞれ別ファイルとして取り扱うもので、データ構造を単純化している。OP1aとOP-Atomの違いとして下図のように示される。[8, pp. 241-242] [12]

OP-1a

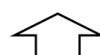
映像	⑦	⑤	③	①
音声	⑧	⑥	④	②



細かく映像と音声を
交互に載せて輸送



映像	⑦	⑤	③	①
音声	⑧	⑥	④	②



受け取り始めると映像と音声を
同期して試みる事が可能

OP-ATOM

映像	⑦	⑤	③	①
音声	⑧	⑥	④	②



まず、映像のみを載せて輸送
その後、音声のみを載せて輸送



音声	⑧	⑥	④	②	映像	⑦	⑤	③	①
----	---	---	---	---	----	---	---	---	---



すべてを受け取ってから映像と音声を
同期して試みる事が可能

図 3

例えば、XDCAM の MXF ファイルと P2 の MXF ファイルのオペレーショナルパターンで見れば、ソニーは同一ファイル中に映像・音声を格納する OP1a を採用し、パナソニックは映像・音声を別ファイルとして格納する OP-Atom を採用している。ノンリニア編集ソフトウェアで扱うには、映像・音声は別ファイルである OP-Atom のほうが読み書きに容易な点はあるが、実際にはノンリニア編集機の性能により OP1a での編集は問題なく行え、その影響はほとんどない。実際には、ファイル形態よりも、映像そのものがフレーム独立か否かという部分の方が大きい。パナソニック P2 の DVCPRO HD (DV100) や AVC-Intra はフレーム独立のコーデックで、ソニー XDCAM HD の MPEG-2 Long GOP ではフレーム間圧縮をしているコーデックで、処理の重さが異なる (MPEG-2 Long GOP より AVC-Intra の方が重い)。 [6]

なお、実用化されている XMF ファイルの形式を以下に示す。 [8, p. 233]

SD/HD	オペレーショナル・パターン	コーデック (括弧[]は通称)	代表採用ベンダー
SD	OP1a	DV25 [DV/DVCAM]	ソニー
	OP1a	MPEG-2 I-only (4:2:2) [IMX]	
	OP-Atom	DV25, DV50 [DV/DVCPRO/DVCPR050]	パナソニック
	OP-Atom	MPEG-2 I-only(4:2:2)	東芝・池上通信機
HD	OP1a	MPEG-2 Long GOP(4:2:0)	ソニー、バルデン (買収前はトムソングラスバレー)、ハーモニック (買収前はオムネオン)
	OP1a	MPEG-2 Long GOP(4:2:2)	
	OP-Atom	DV100 [DVCPRO-HD]	パナソニック
	OP-Atom	AVC-Intra	
	OP-Atom	MPEG-2 Long GOP(4:2:2)	東芝・池上通信機
	OP-Atom	MPEG-2 I-only(4:2:2)	

UMID

それらの Package には、唯一無二の ID である UMID (Unique Material Identifier) がつけられる。これにより、その映像が将来どう使われていても識別可能となる。UMID については、図 4 の構成となっており、32 バイトもしくは 64 バイトのデータとなる。素材番号には MAC アドレスなどの機材固有の情報が入る。コンテンツがいつどこで誰がどの装置によって生成したかがわかるようになっている。なお、File Package および Material Package ともに基本 UMID (32 ビット) を用いている。 [8, p. 242] [12]

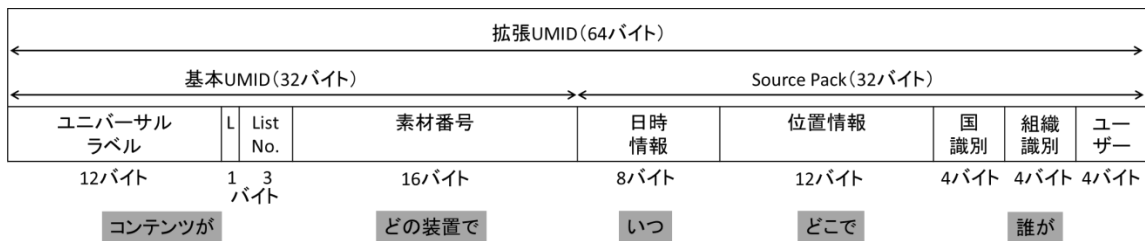


図 4

4. 1. 4. ドキュメント公開状況

MXF の規格は、SMPTE 377M を中心として、補足する様々な規格で構成される。 [8, p. 242]

規格番号	タイトル
フォーマットとコード化	
SMPTE 377M	(MXF) File Format Specification MXF ファイルフォーマットの基本
SMPTE 410M	Generic Stream Partition (策定中) エッセンスではないストリームデータを格納する
SMPTE 429-6	(MXF) Track File Essence Encryption エッセンスの暗号化
SMPTE 434M	(MXF) XML Encoding for Metadata and File Structure information メタデータとファイル構造情報の XML 表現
オペレーショナルパターン	
SMPTE 378M	(MXF) Operational Pattern 1a (Single Item, Single Package) オペレーショナルパターン OP1a (単一項目、単一コンテンツ)
SMPTE 390M	(MXF) Operational Pattern “Atom” (Simplified Representation of a Single Item) オペレーショナルパターン OP-Atom
SMPTE 391M	(MXF) Operational Pattern 1b (Single Item, Ganged Package) オペレーショナルパターン OP1b (単一項目、集合コンテンツ)
SMPTE 392M	(MXF) Operational Pattern 2a (Play-List Items, Single Package) オペレーショナルパターン OP2a (プレイリスト、単一コンテンツ)
SMPTE 393M	(MXF) Operational Pattern 2b (Play-List Items, Ganged Packages) オペレーショナルパターン OP2b (プレイリスト、集合コンテンツ)
SMPTE 407M	(MXF) Operational Pattern 3a and 3b オペレーショナルパターン OP3a、OP3b
SMPTE 408M	(MXF) Operational Pattern 1c, 2c and 3c オペレーショナルパターン OP1c、2c、3c

エッセンス・コンテンツ構造	
SMPTE 379M	(MXF) MXF Generic Container XMF 汎用コンテナ
SMPTE 385M	(MXF) Mapping SDTI-CP Essence and Metadata into the MXF Generic Container Generic Container に SDTI-CP データを格納
SMPTE 389M	(MXF) MXF Generic Container Reverse Play System Element Generic Container 用に逆再生データを格納
SMPTE 394M	(MXF) System Scheme 1 for the MXF Generic Container Generic Container にシステムデータを格納するための基本構造
SMPTE 405M	(MXF) Elements and Individual Data Elements for MXF Generic Container System Scheme 1 394M に従った実際に使われるシステムデータの詳細を規定
エッセンス・コンテナ規格	
SMPTE 381M	(MXF) Mapping MPEG Streams into the MXF Generic Container (Dynamic) Generic Container に MPEG を格納
SMPTE 382M	(MXF) Mapping AES3 and Broadcast Wave Audio into the MXF Generic Container Generic Container に非圧縮音声 (AES3、BMF) を格納
SMPTE 383M	(MXF) Mapping DV-DIF Data to the MXF Generic Container Generic Container に DV-DIF を格納
SMPTE 384M	(MXF) Mapping of Uncompressed Pictures into the MXF Generic Container Generic Container に非圧縮画像を格納
SMPTE 386M	(MXF) Mapping Type D-10 Essence Data to the MXF Generic Container Generic Container に D10 (IMX) を格納
SMPTE 387M	(MXF) Mapping Type D-11 Essence Data to the MXF Generic Container Generic Container に D11 (HDCAM) を格納
SMPTE 388M	(MXF) Mapping A-law Coded Audio into the MXF Generic Container Generic Container に A-law オーディオを格納
SMPTE 422M	(MXF) Mapping JPEG2000 Code streams into the MXF Generic Container Generic Container に JPEG2000 を格納
SMPTE 436M	(MXF) Mapping for VBI Lines and Ancillary Data Packets VBI、アンシラリー情報の格納
SMPTE RP2008	(MXF) Mapping AVC Streams into the MXF Generic Container Generic Container に H.264/AVC を格納

SMPTE 2019-4	(MXF) Mapping VC-3 coding Units the MXF Generic Container Generic Container に DNxHD を格納
SMPTE 2037	(MXF) Mapping VC-1 into the MXF Generic Container Generic Container に Windows Media Video をもとにした VC-1 を格納
記述メタデータ	
SMPTE 380M	(MXF) Descriptive Metadata Scheme-1 (Standard、Dynamic) メタデータ DSM-1 (Descriptive Metadata Scheme-1)
エンジニアリングガイドライン	
SMPTE EG41	(MXF) Engineering Guideline (Informative) MXF の技術ガイドライン
SMPTE EG42	(MXF) MXF Descriptive Metadata 記述メタデータの解説
開示資料	
SMPTE RDD 03	e-VTR MXF Interoperability Specification ソニーe-VTR での MXF 実装情報
SMPTE RDD 09	MXF Interoperability Specification of Sony MPEG Long GOP Products ソニーLong GOP MPEG 製品での実装情報
登録済ユニバーサルラベルキー	
SMPTE RP210	Metadata Dictionary Registry of Metadata Element Descriptions ファイル中のデータ種別を示す Universal Label Key のリスト。
SMPTE RP224	Metadata Dictionary Register ファイル中のビデオやオーディオの種別を示す Universal Label Key のリスト
関連規格	
SMPTE 336M	Data Encoding Protocol using Key-Length-Value MXF ファイルの基本構造である Key-Length-Value の規定

4. 2. Quick Time

4. 2. 1. 概要

Apple®が開発したフォーマットで、非圧縮または可逆圧縮のコーデックと組み合わせて、高画質の映像素材を運ぶことも可能。映像制作現場で素材運搬用として使われている。

QuickTime®ファイルは映像や音声だけではなく、テキストや MIDI データなど様々な種類のデータを扱うことができ、対応するコーデックが複数ある。ムービー再生には QuickTime Player が推奨される、また家庭用マルチメディアプレイヤーで QuickTime 対応の製品が出てきている。拡張子は、「.mov」または、「.qt」。 [1, p. 149]

4. 2. 2. 背景と経緯

ISO (国際標準化機構) は、MPEG-4 ファイルフォーマットの基礎として、QuickTime (.mov) というファイル形式を承認した。MPEG-4 ファイルフォーマットの仕様は、2001年に発表された。なお、QuickTime 形式の仕様に基づいて作成された。1999年に出版された MPEG-4 パート 1: システム仕様の改訂版のように、MP4 (.mp4) ファイル形式は、2001年に出版されている。

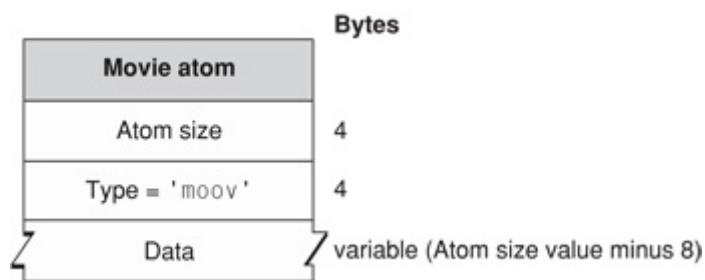
2003年、MP4 フォーマットの最初のバージョンは修正され、MPEG-4 パート 14: MP4 ファイルフォーマットに置き換えた MP4 ファイルフォーマットは、時間ベースのメディアファイルへの一般的な構造を定義する ISO ベースメディアファイルフォーマット ISO/IEC14496-12:2004 に一般化された。その後、MOV 形式は他のマルチメディアファイルフォーマットの基礎として使用される (例えば: 3GP, Motion JPEG 2000)。ISO ベースメディアファイルフォーマットのあらゆる登録済みの拡張子のリストは、公式登録機関のウェブサイト*6で公開されており、「MP4 ファミリー」ファイル内のコードポイントの登録機関は Apple Inc となっている。 [13]

4. 2. 3. 特徴

QuickTime は Atom という階層型の入れ子で構成されており、再生情報やデータ (ビデオやサウンドやテキスト等) は全て Atom に入れられ管理されている。各 Atom は自身の大きさとタイプ (ASCII 文字列) が先頭に記述されていて、子を持つか、どういった情報を持つかなど予め仕様書で定義されている。 [14]

1つのまとまったデータブロックを atom という単位で表し、その atom では、先頭の 4 バイトにその atom のバイト単位のサイズ、後続する 4 バイトにその atom の種類を格納するヘッダをデータの先頭に付加している。

そのため、QuickTime ファイルの先頭の 8 バイトで最初の atom のサイズと種類を知ることができ、ファイルの先頭からその最初の atom のサイズだけシーク (atom の先頭アドレスに atom のサイズを加算したアドレスへ移動) することにより、後続する atom にアクセスすることが可能となる。



*6 公式登録機関のウェブサイト
www.mp4ra.org

図 5 Atom コンテナの構造

また、atom はファイル内に連続して記録できるだけでなく、moov atom 内の trak atom のように、atom 内にさらにいくつかの atom をもつことが可能であり、atom を入れ子にすることができる。

ここで、moov atom とは、いくつかの AV データが記録されている mdat atom 内データの管理情報が登録されている atom である。また、trak atom は、moov atom 内に存在し、音声や画像などを再生するために必要な管理情報を保持している atom である。

ファイル内の任意の atom を検索するには、ファイルの先頭より、atom のヘッダを読み出し、最初の atom の種類が目的の atom であるか確認する。もし、最初の atom の種類が目的の atom でなかった場合は、最初の atom のデータサイズだけファイルの先頭より読み飛ばし、後続する atom のヘッダ情報を取得する。

取得した atom のヘッダ情報より、atom の種類が目的の atom であるかの確認を行う。これをファイルの最後まで繰り返すことにより、目的の atom を検索することができる。以上のアクセス方法により、QuickTime ファイル内の任意の atom を検索することが可能となる。Atom はシンプルなコンテナでサイズを示す length フィールド、ASCII 文字を示す type フィールド、その後にデータが続く。

1 つの Atom は任意の階層に入れ子として使用可能となり、その内部にさらに入れ子となるツリー構造となっている。 [15] [16]

格納される代表的な映像・音声コーデックは以下の通り [17]

映像コーデック

- H. 261
- H. 263
- MPEG-4 Video
- H. 264
- DVCPRO HD
- DV
- Pixlet

音声コーデック

- MP3
- AAC
- Apple Lossless

4. 2. 4. ドキュメント公開状況

以下のドキュメントが Web 上で公開されている。

Apple Inc.

- QuickTime File Format Specification [18]
- QuickTime Movie Basics [19]

4. 3. AVI

4. 3. 1. 概要

Microsoft®が開発したフォーマットで、非圧縮または可逆圧縮のコーデックに寄り、高画質の素材運搬も可能。AVI フォーマットには、対応するコーデックが複数ある。ムービー再生ソフトは、Windows Media Player が推奨されるが、AVI フォーマットに対応した再生ソフトは他にも多数ある。また家庭用マルチメディアプレイヤーで再生可能。 [1, p. 149]

4. 3. 2. 背景と経緯

Microsoft は 1991 年の 9 月、Windows® 3.0 の拡張として「MME (MultiMedia Extention)」と呼ばれるパッケージをリリースしてマルチメディアを扱えるようにしたが、この中には動画を扱えるフォーマットが存在していなかった。

この機能は 1992 年 4 月に登場した Windows 3.1 でもカバーされず、同年 11 月に登場した「Video for Windows (VFW)」という拡張パックでようやく実現される。この VFW でサポートされたのが、AVI フォーマットになる。ただ、この時点で QuickTime はかなりのシェアを握っており、さらに「QuickTime for Windows」の登場もあった。

そこで、AVI フォーマットにはさまざまなコーデックを組み合わせて、これを使って動画の圧縮を試みることになった。初期から比較的に利用されていたのが、Radius が開発した「Cinepak」と呼ばれるコーデックで、現在は Compression Technologies がこれを引き継ぎ、「CinepakPro」と呼ばれる製品をリリースした。

次いで、Intel®が開発した「Indeo®」と呼ばれるコーデックもかなり広く利用されるようになった。この Indeo、多く流通しているバージョンには 3.2/4.1/5.1 といったものがありますが、互換性がないことが問題であった。

また、Microsoft 自身も「Microsoft Video 1」と呼ばれるコーデックを開発した。その後多くのコーデックが AVI で利用できるようになっており、「Motion JPEG」をはじめ、DivX/Xvid/VP3/VP5/VP6/MPEG4/WMV9/TrueMotion など、現在も新しいものが次々に登場している。

Microsoft は「Windows Media Video (WMV)」という新しいフォーマットを制定し、拡張子としての AVI は主流から外れる方向の道筋をつけた。ところが、それに関わらず AVI フォーマットはいまだに現役であり続けている。その理由の大きな部分は、コーデックを選ばないことによる。例えば、DivX Networks の DivX を使ってエンコードする場合、フォーマットは (MP4 や OGM/MVK などに対応していますが) AVI にするのが一般的。また、DV フォーマットの場合も、Windows 環境ではやはり AVI にするのが一般的となる。最近利用が始

まった H.264 でも、やはり AVI を使うことが多い。

新しいコーデックを作っても、それをサポートするためのファイルフォーマットがなければ利用するのは難しく、新しいフォーマットを作るとなると、それを再生するためのプレイヤーや、生成するためのエンコーダも用意しなければなりません。ところが AVI フォーマットを使うと、コーデックさえ提供すれば、プレイヤーやエンコーダはすでにあるものを使うことができるため、非常に手軽となる。そして、新しいコーデックが最新技術を提供してくれれば、AVI フォーマットは十分魅力的となる。そのため、Microsoft は WMV を前面に押し出しているものの、AVI は引き続き使われ続けると思われる。 [20]

4. 3. 3. 特徴

正式名称は「Audio Video Interleaving」で、RIFF と呼ばれるフォーマットをもとにした、画像データと音声データを交互に織り交ぜた構造になっているのが特徴。(Audio Video “Interleaving” という名前もここからきています)。 [20]

AVI フォーマットには、「AVI1.0」と「AVI2.0」の2種類がある。AVI1.0 フォーマットは、Video for Windows (VfW) フォーマットとも呼ばれ、歴史が古く、非常に多くの映像処理ソフトウェアが対応している。また、家庭用マルチメディアプレイヤーで再生可能。なお、AVI1.0 フォーマットのファイルサイズは最大 2GB に制限される。

AVI2.0 フォーマットは「OPENDML」「DirectShow」とも呼ばれる。AVI1.0 フォーマットの改良版で、ファイルサイズ 2GB の制限がなく、制作現場で素材運搬用として使われている。ただし、AVI2.0 フォーマットのファイルを AVI1.0 フォーマットにのみ対応するソフトで開こうとすると、最初の 1~2GB 分しか読み込まれないことが発生する。

[1, p. 149]

格納される代表的な映像・音声コーデックは以下の通り [17]

映像コーデック

- MPEG-4 (DivX 等)
- WMV7/WMV8/WMV9
- DV (DVSD/DVIS)
- Motion JPEG (MJPG)
- LossLess JPEG (LJPG)
- H.264 (AVC/H264)
- H.263 (H263/S263)
- H.261 (H261)

音声コーデック

- LPCM
- WMA

- ADPCM
- MP3
- AC-3
- AAC
- HE-AAC

4. 3. 4. ドキュメント公開状況

以下のドキュメントが Web 上で公開されている。 [21]

Microsoft

- AVI RIFF ファイルのリファレンス
- AVI ファイル フォーマットの DV データ

4. 4. MPEG-2 TS

4. 4. 1. 概要

MPEG-2 のデータを格納あるいは送受信するためのデータ形式の一つで、映像、音声、静止画、文字など様々な形式のデータをまとめて一つの流れとして扱うことができる。

MPEG2 TS は 188 バイトの固定長の「トランスポートパケット」(transport packet)あるいは「TS パケット」と呼ばれるデータが連続したものとなっている。先頭部分がデータの種別を表す情報で、続く後半部分がデータ本体となっている。デジタル放送などでは様々な種類のデータを格納したパケットが混在した状態で次々に送信されており、テレビ受信機などが受け取ったデータを種別別にまとめて元の状態に組み立て、映像を表示し音声を流す。

日本の地上デジタル放送や BS デジタル放送を含む各国のデジタル放送規格で送信形式の一つとして採用されているほか、映像の録画装置や Blu-ray Disc™などでも記録形式の一つとして採用されている。コンピュータでファイルとして保存・再生する場合には「.ts」「.m2t」「.m2ts」などの拡張子が用いられることが多い。 [22]

4. 4. 2. 背景と経緯

MPEG は Windows3.1 と同時期の 1993 年に MPEG1 フォーマットが標準化された。つづいて 1994 年に MPEG2、2000 年に MPEG4 が動画圧縮フォーマットとして標準化されている。

MPEG1 は 1993 年に標準化された「ビデオ」「オーディオ」を多重化して蓄積メディアに動画データを保存することを目的としたフォーマット。圧縮した動画データは CD-ROM に 1 時間程度記録できる動画圧縮方式でビットレートは 1.5Mbps (100kbps~1.8Mbps) の低ビットレート。解像度は 352×240、320×240 の 2 種類。フレームレートは 24fps、25fps、29.97fps があり、Windows3.1 の頃に標準化されたため現在でも WindowsMediaPlayer や QuickTime、RealPlayer などで MPEG1 フォーマットの動画データを再生することができる。

る汎用性の高い動画圧縮フォーマット。

MPEG2 は 1994 年に標準化された方式で従来の MPEG 1 をベースに「ビデオ」「オーディオ」に加えて「データ」信号を高ビットレートで多重化し高品質な映像処理により、放送通信など幅広い用途に向けて拡張された動画圧縮フォーマット。そのため MPEG 2 の汎用性は DVD のみならず放送や動画通信にまで使用されている。ビットレートは 2Mbps～80Mbps の高ビットレートで解像度は 720×480、704×480、640×480、1920×1080、1920×1152。フレームレートは 24fps、25fps、29.97fps、50fps、60fps があり MPEG 2 は DVD-Video、デジタル放送、テレビ電話などで使用されている。

MPEG4 は 2000 年に標準化された「ビデオ」「オーディオ」「データ」と「BIFS*⁷」を多重化してコンピューターグラフィックスや合成音声などインターネット配信を目的とした動画圧縮フォーマットで、ナローバンド(狭帯域回線)でのストリーミング再生が可能です。ビットレートは 5kbps～38.4Mbps ビットレートで解像度は多様。(最大 1920×1080) フレームレートは可変可能で MPEG4 は主として携帯電話やインターネットで使用されている。

MPEG2 は MPEG1 や MPEG4 に比べて最も高品質な画質に重心を置いた動画圧縮フォーマットと言える。そのため様々な分野で使用される MPEG2 では記録メディアを対象として単一番組を多重する MPEG2-PS(Program Stream)と放送通信を対象として複数番組を多重する MPEG2-TS(Transport Stream)の 2 種類が存在する。MPEG2-PS は主に DVD などの蓄積メディアで使用され、MPEG2-TS はデジタル放送やインターネット配信で使用することを目的として標準化されている。 [23]

4. 4. 3. 特徴

MPEG-2 TS は MPEG-2 PS と同じくコンテナに該当するものであるが、その違いとして、MPEG-2 PS は 1 つの映像しか扱えないが、MPEG-2 TS は複数の映像を 1 つのストリームで扱うことができる点がある。これは録画ビデオとテレビ放送のイメージで考えると分かりやすく、録画ビデオは 1 つの番組しか見る事が出来ないが、TV 放送ではチャンネルを変更すると色々な番組を見ることができる(厳密には MPEG-2 PS でも複数の動画、音声を内包する事が可能であるが、あくまで 1 つの映像として扱われる)。

*⁷ BIFS

BIFS(BInary Format for Scene)は MPEG4 におけるオブジェクト記述の方式で、動画、テキスト、音声など異なるデータを自由に重ね合わせ 1 つのコンテンツとして表示することができる方式。

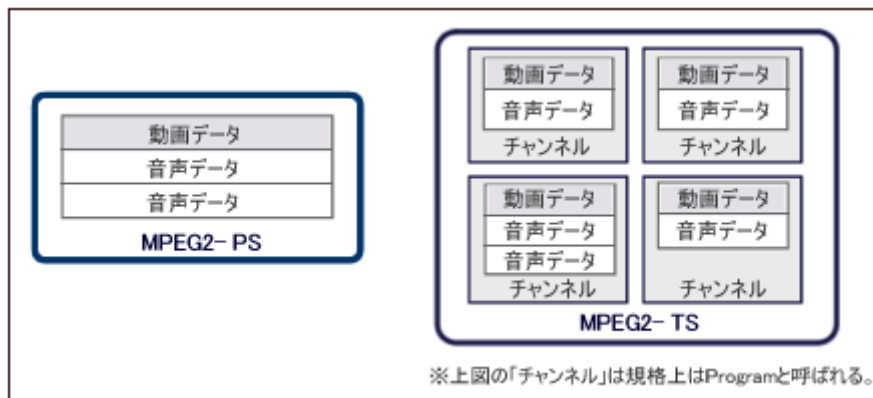


図 6 MPEG-2 PS と MPEG-2 TS の概念図

MPEG-2 PS は、データ欠落などエラーのない蓄積メディア (DVD、HDD など) 向けに、MPEG-2 TS は衛星、地上波、IP 回線など多少エラーがあるかもしれない回線を使用した遠隔地への伝送や放送を目的として設計されている。

広域伝送では多くの伝送機材を経由するためデータ欠落が発生しやすいが、MPEG-2 TS では小規模なデータエラーが発生してもエラーの検出が可能となるように設計されている (エラー訂正が出来るという意味ではなく検出ができるというもので、実際のエラー訂正については、送出、伝送装置によってそれぞれ異なる)。

また、仮にエラーが発生しても、受信・再生を止めずに継続できるような仕組みになっている。MPEG-2 TS には再生する為に必要な情報以外の情報が含まれるため、放送素材として保存している場合をのぞき、容量制限がある蓄積メディア向けに使用される事はまれである。

なお、MPEG-2 TS は内包する映像の形式との依存関係がない。内包する映像の形式に取り決めはなく、一般的に内包される MPEG-2 Video や MPEG-1 Audio 以外にも MPEG-4 AVC/H. 264 や、映像以外のデータ形式を内包させる事ができる。

以上の違いにより、DVD や PC 上でのテレビ録画などでは MPEG-2 PS、放送や通信では MPEG-2 TS が主に利用される。

MPEG-2 TS は 188 バイト単位のデータとなる。この 188 バイト単位のデータを「TS パケット」と呼ぶ*⁸内包する動画、音声データを最大 184 バイト単位で分割し、TS ヘッダと呼

*⁸ TS パケット

ISO/IEC 13818-1, ITU-T Rec. H. 222.0 では MPEG-2 TS パケットは 188 バイトであると規定されているが、利便性を高める為に拡張データを付加する場合もある。代表的なものとして、FEC (Forward Error Correction: 順方向誤り訂正) があり、受信側が行うエラー訂正の為に情報を付加したものとなる。FEC を付加した TS パケットのサイズは、204 バイトとなる。MPEG-2 TS 送信、伝送、受信機も 188 バイト以外の MPEG-2 TS パケットが扱えるよう設計されているものが多い。

ばれるデータを付加し 188 バイトとしたものとなる。

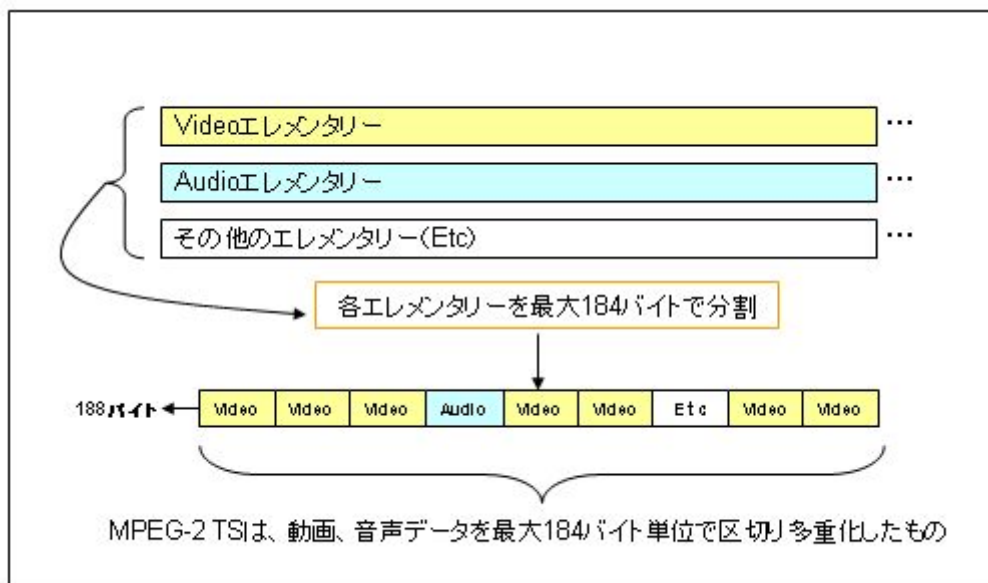


図 7 MPEG-2 TS のデータ形式

TS パケットの種類が異なると PID も異なる。PID により、ある TS パケットがどのような意味を持つのかを簡単に見分けることができ、各要素のうち、重要な項目は以下となる。

同期ワード

必ず「0x47」となり、MPEG-2 TS パケットの先頭である事を表す。受信、再生機は、この値があるデータ位置を MPEG-2 TS パケットの先頭として処理する。

PID

この MPEG-2 TS パケットがどのようなデータを内包しているのかを表すパケット識別子。PAT/PMT (詳細後述) で記述されるパケット識別子と同じもの。

巡回カウンター

MPEG-2 TS パケットに欠落が無いか検査する為のカウンター。0~15 の値を取り、MPEG-2 TS パケット毎に 1 ずつ増えていく。ただし後述するアダプテーションフィールドのみのペイロードが存在しない MPEG-2 TS パケットの場合はこのカウンターは常に 0 となる。また、TS パケットが同じ内容となる「連送パケット」の場合、巡回カウンターは増加せず、前回と同じカウンター値となる。連送パケットは 2 回まで許可されている。 [24]

格納される映像・音声コーデックは以下の通り [2]

映像コーデック

- MPEG-2 Video
- H. 264
- VC-1 Advanced Profile

音声コーデック

- PCM
- Mpeg Audio
- AC-3
- 非圧縮 LPCM

4. 4. 4. ドキュメント公開状況

ITU-T*⁹と ISO/IEC*¹⁰の合同規格で、ISO/IEC では「13818-1:2000」、ITU-T 勧告では「H. 222. 0」
として規格化されている。 [24]

*⁹ ITU-T
国連の専門機関の 1 つで、技術の標準化を行うための組織。

*¹⁰ ISO/IEC
国際標準化機構/国際電気基準会議という民間の団体で、技術の標準化を行うための組織。

5. 映像コーデックの種類

5. 1. Prores

5. 1. 1. 概要

Apple が開発した映像コーデックで、Final Cut Pro[®] (Final Cut Studio[®])のためのコーデックとして提供されている。SDTV 並みのファイルサイズながら、非圧縮 HDTV に近い画質を実現するなど、省データ量高画質をセールスポイントとしている。 [1, p. 151]

映像制作においては、オフライン編集やオンライン編集、カラーグレーディングとして用いられ、実績も多くスタンダードのコーデックとなっている。また、市場動向に合わせ、4K ならびにハイフレームレートにも対応している。

5. 1. 2. 背景と経緯

2007 年に Final Cut Studio2 のリリースとともに Prores 422 と Prores 422 (HQ) のコーデックがリリースされた。Final Cut Pro にてフルフレーム、10Bit、4:2:2、HD の映像がマルチストリームでリアルタイム処理できるためのコーデックであった。2009 年に Prores 技術のより広範囲にわたる活用のため、Prores 422 (Proxy)、Prores 422 (LT)、Prores 4444 が追加された。 [25] その後、2014 年 6 月に Final Cut Pro X とともに最もハイスペックとなる Prores 4444 XQ が追加された。

5. 1. 3. 特徴

すべての Apple ProRes コーデックは、フル解像度であらゆるフレームサイズ (SD、HD、2K、4K、および 5K を含む) をサポートする。データレートは、コーデックのタイプ、イメージの内容、フレームサイズ、およびフレームレートによって異なる。Apple ProRes には次のような形式がある。

Apple ProRes 4444 XQ

4:4:4:4 イメージソース (アルファチャンネルを含む) 用 Apple ProRes の最高品質版。この形式は、非常に高データレートで、現在の最高品質のデジタルイメージセンサーによって生成された高ダイナミックレンジのイメージの細部までを保持。Apple ProRes 4444 XQ は、Rec. 709 イメージのダイナミックレンジより数倍も大きなダイナミックレンジを保持。これは、トーンスケールの黒またはハイライトが非常に広い、高度な視覚効果処理の厳しい要求にも対応可能。標準の Apple ProRes 4444 と同じように、このコーデックは、イメージチャンネルにつき最大 12 ビットまで、アルファチャンネルに対しては最大 16 ビットまでサポートしている。Apple ProRes 4444 XQ のターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps の 4:4:4 のソースで約 500 Mbps。ProRes 4444 XQ は、OS X[®] Mountain Lion v10.8

以降でサポートされている。

Apple ProRes 4444

4:4:4:4 イメージソース（アルファチャンネルを含む）用 Apple ProRes の高品質版。このコーデックは、フル解像度、マスタリング品質の 4:4:4:4 RGBA カラー、視覚的にはオリジナルのマテリアルと区別できない品質という利点がある。Apple ProRes 4444 は、モーショングラフィックスとコンポジットの保存およびやりとりのための高品質なソリューションであり、デコードとエンコードを何回繰り返しても維持される高いパフォーマンスと数学的にロスレスなアルファチャンネル（最大 16 ビット）を備えている。このコーデックでは、非圧縮の 4:4:4 HD と比べ、データレートが大幅に低くなっている。ターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps の 4:4:4 のソースで約 330 Mbps。RGB と Y'CBCR の両方のピクセル形式での直接エンコードおよびこれらへの直接デコードも提供する。

Apple ProRes 422 HQ

Apple ProRes 422 の高データレート版で、視覚的には Apple ProRes 4444 と同程度の高い品質を保ちますが、4:2:2 イメージソース用のコーデック。Apple ProRes 422 HQ は、ビデオのポストプロダクション業界で広く使われており、シングルリンクの HD-SDI 信号で伝送できる最高品質のプロ仕様の HD ビデオを視覚的にロスレスに維持。このコーデックは、10 ビットピクセル深度のフルワイドの 4:2:2 ビデオソースをサポートしながら、デコードとエンコードを何回も繰り返した後も、ビデオを視覚的にロスレスで維持する。ターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps のソースで約 220 Mbps。

Apple ProRes 422

高品質の圧縮コーデックで、Apple ProRes 422 HQ のほぼすべての利点を備えているが、データレートは 66 % であり、マルチストリームのリアルタイム編集でのパフォーマンスはより高くなっている。ターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps のソースで約 147 Mbps。

Apple ProRes 422 LT

Apple ProRes 422 より圧縮率の高いコーデックで、データレートは約 70 % で、ファイルサイズは 30 % 小さくなっている。このコーデックは、ストレージ容量およびデータレートが限られている環境に最適となっている。ターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps のソースで約 102 Mbps。

Apple ProRes 422 Proxy

Apple ProRes 422 LT よりもさらに圧縮率の高いコーデックで、低データレートでありながら、フル解像度のビデオを必要とするオフラインのワークフローで使うためのコーデック。ターゲットデータレートは、1920x1080、29.97 fps のソースで約 45 Mbps。

関連情報として、Apple ProRes 4444 および Apple ProRes 4444 XQ は、視覚的にロスレスのため、モーショングラフィックスメディアのやりとりには最適となっている。さらに、これらはアルファチャンネルをサポートする唯一の AppleProRes コーデックでもある。 [26]

5. 1. 4. ドキュメント公開状況

Apple から White Paper が公表されている。

- Apple Prores White Paper (2014年6月) [27]

5. 2. MPEG-2 Video

5. 2. 1. 概要

ISO/IEC の JTC1 “Information Technology Standards” の SC29 “Coding of audio, picture, multimedia and hypermedia information”のワーキンググループ Moving Picture Experts Group(MPEG) が規定した規格の一つで、ISO/IEC 13818 及び、ITU-T(国際電気通信連合 電気通信標準化部門)の H.262 として標準化されている。ビットレートは、動画と音声を含めて約 4Mbps~15Mbps で S-VHS ビデオと同程度の画質。高精細度テレビジョン信号では約 20Mbps~60Mbps。DVD ビデオから、標準画質テレビジョン放送、高精細度テレビジョン放送まで、広く使われている。 [28]

別名 H.262、MPEG-2 Part2。

5. 2. 2. 背景と経緯

MPEG-2 video/H.262 は MPEG-1 を拡張する形で規格化が進められたもので、ISO/IEC と ITU-T の共同作業により、1994 年に ISO/IEC より標準化、ITU-T より勧告化された。1990 年代前半に検討されていたテレビジョン放送のデジタル化や高品質映像パッケージメディア、高速ネットワークを用いた映像通信といった多様なアプリケーションへの利用を想定し、タイトルにもあるように汎用的な符号化方式を目指して策定された。MPEG では、SDTV 解像度のものを MPEG-2、HDTV 解像度のものを MPEG-3 として標準化する計画が立てられていたが、MPEG-2 の方式の大枠が固まった段階で HDTV でも十分な性能が得られることが確認されたため、MPEG-3 を吸収する形で MPEG-2 が HDTV 解像度まで拡張された。DVD の映像圧縮方式や日米欧でのデジタル放送方式として、国際的に広く普及している。 [29]

5. 2. 3. 特徴

MPEG-2 が MPEG-1 から拡張されている最大のポイントは、インタレース映像信号に対する符号化機能、ツールの導入である。1991 年秋の横須賀市久里浜で開催された会合において、各機関から提案された符号化手法による圧縮映像に対して主観評価実験が行われた。性能が良いと評価された符号化ツールを組み合わせた参照モデル (TM : Test Model) を作成し、参照モデルのバージョンアップにより手法の改善が進められた。参照モデルは MPEG-2 part 5 3) として標準化されている。

インタレース信号に対する符号化ツールとして、ピクチャ構造 (フィールドピクチャ、フレームピクチャ)、動き補償予測 (フィールド予測、フレーム予測、デュアルプライム予測)、DCT (フィールドブロック、フレームブロック)、量子化係数のスキャン (zigzag、alternate) などがあげられる。映画のようなフィルム素材のものや動きのないシーンではフレームピクチャを、動きのあるシーンではフィールドピクチャを、といったようにシーン単位で選択することがエンコーダでは可能である。シーン内に動きのある領域と動きのない領域が混在するような場合には、マクロブロック単位で動き補償予測や DCT に対してフレーム、フィールドを選択することが可能である。

MPEG-1 で採用された半画素動き補償予測は、画素と画素の間の半画素位置に対して補間処理により求められた仮想画素を予測に使用するもので、精細な画像に対する予測効率の向上や、補間処理で使われるフィルタ機能により符号化雑音が低減され符号化効率が向上するなどの効果が得られる。

MPEG-2 は汎用方式を目指したものであるため、様々な符号化ツールが採用されているが、アプリケーションによっては不要な符号化ツールもある。例えば、リアルタイム双方向通信を行う場合には、遅延が発生してしまう両方向予測は使用したくない、というような場合があげられる。そこで MPEG-2 では「プロファイル」が導入され、それぞれの用途に合わせて最適な符号化ツールを備えた H/W 構成が取れるようにされている。また、扱う映像の解像度などに応じて最適な処理速度やメモリ量を備えた H/W 構成が取れるように「レベル」が導入されている。 [29]

5. 2. 4. ドキュメント公開状況

ITU-T Rec. H. 262 | ISO/IEC 13818-2:2000: Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video として規格化されている。

5. 3. H. 264

5. 3. 1. 概要

MPEG-4 国際規格の広範な技術の 1 つで、ITU-T による名称が「H. 264」、ISO/IEC による正式な名称が「MPEG-4 Part 10 Advanced Video Coding (AVC)」となっていることから、一般には、「H. 264/MPEG-4 AVC」、「H. 264/AVC」、「H. 264」、「MPEG-4 AVC」、「AVC」など様々な

名称で呼ばれている。

H. 264 のコーデックは AVI, QuickTime, MP4 などのファイルで利用できる。H. 264 のコーデックは、従来の映像圧縮技術をはるかにしのぐ圧縮性能を達成しているが、ソフトウェアでの圧縮処理は非常に複雑で時間がかかる。

H. 264 は、携帯電話、ワンセグ、Blu-ray Disc、QuickTime、iPod[®]、PSP[®]（プレイステーションポータブル）などに幅広く採用されている。 [1, p. 150]

5. 3. 2. 背景と経緯

H. 264 | MPEG-4 AVC は MPEG-2 Video や MPEG-4 Visual に対してさらに効率の高い符号化技術を求める声に応じて新たに規格化された映像圧縮符号化方式である。標準化作業は ITU-T の VCEG (Video Coding Experts Group : 映像符号化専門家グループ) と ISO/IEC の MPEG (Moving Picture Experts Group : 動画像符号化専門家グループ) によって 2001 年 12 月に設置された JVT (Joint Video Team : 合同映像チーム) において進められた。

2つの呼称は各機関におけるこれまでの映像圧縮符号化技術の勧告もしくは標準化作業を受け継いだものである。H. 264 は 1990 年の H. 261 に始まる ITU-T の映像圧縮符号化技術に係る勧告を指し、一方、MPEG-4 AVC は ISO と IEC が合同で設立した委員会 JTC1 (Joint Technical Committee 1 : 第 1 合同技術委員会) の作業グループの通称でもある MPEG の名で標準化された映像圧縮符号化方式を指す。さらに MPEG では MPEG-4 Visual の新たな符号化方式 “AVC : Advanced Video Coding” として ISO/IEC 14496-10 の規格番号が与えられたことから、MPEG-4 Part10 と呼ばれることもある。

MPEG では当初 MPEG-4 を MPEG-2 に対してより低いビットレート環境での符号化方式と位置付け、放送のみならず、WWW (World Wide Web) や双方向サービスにも高い適合性を持つ方式として標準化が進められた。MPEG-4 は 1998 年に初版、1999 年に第 2 版が作成されたが、時を同じくして、最新の符号化技術に MPEG-4 を超える性能を持つものが少なくないとの意見が強まり、新方式 (と同時に MPEG-4 を超える符号化効率を有する根拠の明示) の募集に至る。これが 1999 年 12 月の MPEG 会合における “Call for Evidence” である。

その後、応募方式に対する検討の結果、2000 年 7 月の MPEG 会合においてさらに具体評価に進むことが決定され、最終的には 2001 年 7 月に、新方式の標準化に十分な評価結果が得られたとして H. 264 | MPEG-4 AVC の標準化作業が開始された。これと同時に方式の応募者でもあった ITU-T との合同作業が決定し、前述の JVT 設置を経て標準化作業が進められ、2003 年に初版が発行された。

また、2003 年の初版発行と同時に、より一層の高解像度化、高画質化を目的とした追加検討が開始された。初版が一般視聴を念頭に 4:2:0 映像信号の 8 ビットサンプリングを前提として標準化されたのに対し、ここでは 4:2:2 や 4:4:4 の映像信号を 10 ビットあるいは 12 ビットでサンプリングすることを狙いとし、業務用途の制作、伝送や HDTV 用

の DVD、さらにはデジタルシネマ等への利用が目的とされた。この追加仕様については 2003 年 3 月の MPEG 会合で提案募集があり、初版で採用を見送った技術の見直しも併せてなされた結果、4:2:0 映像信号の 8 ビットサンプリングへのツール追加も含む形で 2004 年 7 月に標準化が完了している。この追加仕様は Fidelity Range Extensions (FRExt : 高忠実度化規格) と呼ばれており、従来の Baseline、Main、Extended の 3 つのプロファイルに加え、新たに High、High 10、High 4:2:2、High 4:4:4 の 4 つのプロファイルが規定された。 [30]

5. 3. 3. 特徴

AVC/H. 264 は、ITU-T の VCEG の H. 26L プロジェクトがその始まりである。2001 年末に MPEG と共同で JVT (Joint Video Team) を組織して規格化された。したがって、双方の組織の規格名を合わせてもっている。この規格では、多くの符号化ツールを目的に応じて組み合わせ、プロファイルを定義している。

MPEG-4 では、多くの機能を実現することに努力を払ってきたのに対して、この規格の最大の狙いは、符号化効率の向上である。概ね MPEG-2 の 2 倍の符号化効率があると言われている。ちなみに、2 倍の符号化効率とは、同じ画質で半分のデータ量に圧縮できるという意味を示している。AVC/H. 264 では、ハイブリッド符号化の考え方をより高度化し、多くのツール群の集合体となっている。

これらの多くの符号化ツールを取り込むことができたのは、標準化の参照ソフトウェアにレート-ひずみ最適化の枠組みが実装され、それに基づいてツールの性能評価をしてきたという背景がある。一方、この最適化技術は、符号化効率を稼ぐことができる反面、仮の符号化を繰り返してその結果を評価するため、演算量が多いという問題点がある。そのため、特にエンコーダの実装上においては、この規格の潜在能力をいかに維持しつつ、演算量を削減することができるか大いに工夫の余地がある。

当初策定された三つプロファイルのうち、ベースラインプロファイル (Baseline Profile) は携帯電話やテレビ会議などの通信系でデコーダの演算量が少なくてすむようなアプリケーションを想定している。一方、メインプロファイル (Main Profile) は放送蓄積メディアを想定していた。メインでは、ベースラインの誤り耐性関係のツール以外と、B スライス、重み付き予測 (Weighted Prediction)、インタレース関係のツール、コンテキストベース適応算術符号化 (CABAC : Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) が追加される。なお、その後、実際の AVC/H. 264 の使用状況に合わせる形で、ベースラインプロファイルとメインプロファイルとサブセットの部分を制約付きベースライン (Constrained Baseline Profile) として使えるようにしている。

ハイプロファイル (High Profile) は、FRExt (Fidelity Range Extensions) として追加されたプロファイルの一つで、メインプロファイルに 8×8 変換や量子化スケーリングリストが追加されている。この二つのツールは、高精細テレビ (HDTV) の符号化効率の

向上と映画素材におけるフィルムグレインノイズの再現性に寄与している。FRExt に関しては、プロフェッショナル用途向けに更に拡張し、プロフェッショナル用途のフォーマットへの対応やイントラのみプロファイルなどが定められている。

その後、標準化が行われたスケーラブル符号化 (SVC : Scalable Video Coding) は、映像の時間、空間、画質のスケーラビリティを実現するために、映像を階層的に符号化する技術である。階層的に符号化することで、例えば、空間スケーラビリティならば、符号化データの一部を取り出すことで、携帯電話で再生するような小さな画面サイズの映像から、HDTV のような大きな画面サイズの映像までスケーラブルに再生することができる。これまでのスケーラブル符号化はその機能を実現するために、符号化効率が大幅に低下するという欠点を抱えていたが、H. 264/AVC の SVC では、この点に関して改善が図られ、時間スケーラビリティならば、ほぼオーバーヘッドなしに、空間スケーラビリティと SNR スケーラビリティならば二階層のとき、約 10 %のオーバーヘッドで、実現できると言われている。

マルチビュー符号化 (MVC : Multi View Coding) は、複数のカメラを配置し、同時に多視点で撮影された映像を符号化する技術である。AVC/H. 264 の MVC では、符号化の基本的な部分は変更せずに、符号化構造の上位レベルの変更でその機能を実現している。AVC/H. 264 は、符号化効率の面で飛躍的な性能向上を果たした結果、HDTV 解像度の映像のビデオ映像の記録・再生をする光ディスクやメモ리카ードに記録するビデオカメラなどの新しいアプリケーションを生み出してきている。また、携帯電話でデジタル TV 放送が楽しむことができる地上波デジタル 1 セグメント放送も実現した。今後、実用面での更なる発展が期待されている。 [31]

5. 3. 4. ドキュメント公開状況

ITU-T Recommendation H. 264: Advanced video coding for generic audiovisual services (03/2005)として規格化されている。

5. 4. H. 265

5. 4. 1. 概要

「H. 265」とは、次世代の動画圧縮規格の1つで、「HEVC」とも呼ばれる。HEVCは、高効率ビデオコーディングを意味する High Efficiency Video Coding の略。

現在、よく利用される動画規格「H. 264/MPEG-4 AVC」の後継規格として、国際標準化機構 ISO/IEC の MPEG と、国際電気通信連合の部門の1つで通信分野の標準策定を担当する電気通信標準化部門「ITU-T」の VCEG によるビデオコーディングの共同研究開発チーム (JCT-VC) によって提案され、2013年1月には、ITU-T が標準「ISO/IEC 23008-2」として承認しました。ITU では、この「H. 265 HEVC」が“次の10年をサポートする規格”だとしている。

H. 265 HEVC は、MPEG-2 と比べて約 4 倍、H. 264/AVC と比較しても約 2 倍の圧縮性能を有するとされています。「H. 265 HEVC」と「H. 264/AVC」の2つの規格の間にある技術的な差

異としては、

- ・ブロックサイズの拡大
- ・画面内予測の改善
- ・動画画質のさらなる改善

の3つが挙げられる。

また「H265 HEVC」は、フル HD、4K、8K スーパーハイビジョンなど高解像度な映像だけでなく携帯端末向けの映像配信での利用も想定されている。NTT ドコモでは「H265 HEVC」の復号ソフトウェアのライセンス提供を行っている。

通信事業者にとっては、従来よりも伝送帯域の効率的な利用、急増する動画トラフィックの緩和につながる。一方、ユーザーにとっては、再生までの待ち時間短縮や、動画途切れの頻度軽減などより快適な動画視聴につながる技術規格である。ドコモでは、復号ソフトを国内外のベンダーやソフトウェア開発会社にライセンス提供することで、HEVC の導入を促進させたい考えがある。 [32]

5. 4. 2. 背景と経緯

H. 265 | MPEG-H HEVC (High Efficiency Video Coding) は、H. 264 | MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding、以下 AVC) に対して高効率の符号化を可能とする映像圧縮符号化方式である。標準化作業は、ITU-T の Working Party (WP) 3/16 と ISO/IEC の MPEG (Moving Picture Experts Group : 動画像符号化専門家グループ) によって 2010 年 1 月に設立された JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding Standard Development) において進められた。

2 つの呼称は各機関におけるこれまでの映像圧縮符号化技術の勧告もしくは標準化作業を受け継いだものである。「H. 265」は 1990 年の H. 261 に始まる ITU-T の映像圧縮符号化技術に係る勧告を指し、一方、「MPEG-H HEVC」は ISO と IEC が合同で設立した委員会 JTC1 (Joint Technical Committee 1: 第 1 合同技術委員会) の作業グループの通称でもある MPEG の名で標準化された映像圧縮符号化方式を指す。MPEG では、MPEG-H シリーズ (ISO/IEC 23008) のビデオパート (part2) として位置づけられる。

ITU-T、MPEG の共同作業により AVC の規格化が行われた後、WP3/16 傘下の映像符号化専門家グループ VCEG (Video Coding Experts Group) では、2004 年頃より、AVC の符号化性能を超える新しい符号化技術の検証が開始された。この活動は“Key Technical Areas” (KTA) と呼ばれる。MPEG においても、2008 年頃より新しい映像符号化技術の標準化に向けた要素技術検証 (Exploration) が開始された。これら技術検証においては、当初より次世代のアプリケーションに備えて HD 解像度以上の高精細な映像信号がターゲットに据えられた。2009 年 4 月、MPEG は AVC を超える圧縮性能を有する技術のエビデンスを確認することを目的として技術公募 (Call for Evidence) をかけ、その結果を受けて新たな標準方式の規格化に向けた活動を本格化させた。その過程において、KTA を推進する ITU-T VCEG とともに活

発な意見交換が行われ、新標準方式に対する要求条件において、UHDTV 映像への対応が共通の重要スコープとして位置づけられるに至った。

2010 年 1 月、ITU-T WP3/16、MPEG は JCT-VC の結成と、JCT-VC による新標準方式の規格化プロジェクトの名称を HEVC とすることについて合意し、正式に技術公募(Call for Proposals)を発行した。同年 4 月の第 1 回 JCT-VC 会合において提案された符号化技術を評価し、UHDTV を含む評価映像に対して AVC の 2 倍の圧縮性能を実現できる見通しが確認された。その後、同年 10 月に標準化の出発点となる作業ドラフト(Working Draft)仕様と参照ソフトウェアモデルが策定され、2012 年 1 月の標準化委員会草案(Committee Draft)を経て、2013 年 1 月の第 12 回会合にて最終規格草案(Final Draft International Standard)を発行して、HEVC 第 1 版の標準化を完了した。第 1 版の仕様では、4:2:0/8 ビットの映像信号を対象とし放送、通信、パッケージ等幅広いアプリケーションに適用可能な Main プロファイル、高品質な 10 ビット映像信号に対応する Main 10 プロファイル、4:2:0/8 ビットの静止画像信号の圧縮に対応する Main Still Picture プロファイル、の 3 つのプロファイルが策定されている。

この第 1 版発行に引き続いて、より一層の高画質化やスケーラブル符号化を目的とした追加検討が行われている。高画質化の方向については、12 ビットあるいは 14 ビットでサンプリングした 4:2:2 や 4:4:4 の映像信号を業務用途の制作・伝送の目的で圧縮する要求条件が考慮され、Range Extensions(RExt)の名称で新たなプロファイルの策定を進めている。この追加仕様については 2014 年 1 月の標準化完了を目指している。一方、スケーラブル符号化の方向に関しては、既存サービスとの互換性を維持しながら新しい映像サービスを提供し、モバイル回線や光回線など多様なネットワークへコンテンツを効率的に流通させることを目的として、1 本のビットストリームで複数の品質の映像信号を符号化できる仕様を策定中である。スケーラブル符号化機能については 2014 年 6 月の標準化完了を目指している。 [33]

5. 4. 3. 特徴

特徴として以下があげられる。

符号化・予測・変換ブロックサイズの拡張と適応化

HEVC では各ピクチャの符号化処理を、CTU(Coding Tree Unit)と呼ばれる正方形ブロックの単位で行う。CTU は MPEG-2 や AVC におけるマクロブロック(Macroblock)に相当する処理単位で、輝度信号ブロックと対応する色差信号ブロックから構成される。CTU のサイズはマクロブロックのように固定ではなく、シーケンスごとにエンコーダが選択・シグナリングできる(最大 64x64 画素ブロック)。

イントラ・インター予測、変換・量子化、エントロピー符号化などの一連の符号化処理は、CTU を再帰的に四分木分割することによって得られる CU(Coding Unit)の単位で行う。

CTU 内を多様な大きさの CU に分割して符号化を行うことができるため、映像信号の局所的な特性に対して符号化処理を適応化することが可能となる。例えば、複雑な動きや絵柄が存在する領域では CU のサイズを小さくして動きベクトルやイントラ予測モードなどの予測パラメータに符号量を多く配分することで予測性能を高め、平坦な絵柄や一様な動きの領域については CU のサイズを大きくして予測パラメータの符号量を抑制するなどの制御をおこなうことで、従来方式に比べて少ない符号量でも高画質化を図ることが可能である。一方、CU サイズのバリエーションや予測パラメータの選択肢が増えたことにより符号化処理の演算量が増加するため、高精細な映像信号をリアルタイムで高効率に符号化するためには、エンコーダの設計に従来以上の工夫を要する。

CU の符号化処理に際しては、イントラ・インター予測については、CU 内を PU(Prediction Unit)と呼ばれるブロックに分割して行われる。予測差分信号の変換・量子化処理は、TU(Transform Unit)と呼ばれるブロック単位で行われる。TU も CTU 内の CU 分割と同様、CU 内部で再帰的に四分木分割を行うことが可能である。なお、CTU、CU、PU、TU を構成する各色成分信号のブロックをそれぞれ CTB(Coding Tree Block)、CB(Coding Block)、PB(Prediction Block)、TB(Transform Block)と呼ぶ。

イントラ予測

AVC と同様のコンセプトで、PB ごとにピクチャ内の近傍の復号済みの画素（予測参照画素）を用いて空間予測を行い、予測差分信号を変換符号化する。輝度信号では、 $4 \times 4 \sim 64 \times 64$ 画素ブロックの各 PB サイズに対し、いずれのサイズにおいても 35 種類の予測モードの中から予測効率に優れたモードを選択可能である。色差信号については、輝度信号と予測モードを共通化するモードを含め、5 種類の予測モードを輝度信号とは独立に選択できる。なお、イントラ予測効率をさらに高める工夫として、予測参照画素に対する適応的な平滑化フィルタ処理、DC 予測や水平・垂直方向予測等のシンプルな予測モードに対する予測参照画素と予測画像との間に生じる不連続性を抑制するための境界フィルタ処理、斜め方向の方向性予測に対する疑似輪郭抑制フィルタ処理等が導入されている。

インター予測

インター予測においては、CB サイズを上限に、最小 8×4 ないし 4×8 から最大 64×64 画素の PB サイズでフレーム間動き補償予測を行うことができる。AVC と同様、フレームメモリ内に複数枚の参照画像を格納して、PB ごとに参照画像を特定して予を行うことができる。レベルによって異なるが最大 16 フレームを参照画像として用いることができる (HDTV に対応するレベル 4 の場合、最大 4 フレームを使用可能)。複数の参照画像を用いて多様なブロックサイズで動き補償予測を行う処理は、演算量・メモリ量・メモリバンド幅の増大要因となるが、AVC に比べて予測差分信号の符号量を大きく削減することが可能になる。

また、動き補償予測の精度は、AVC 同様 $1/4$ 画素精度までとり、小数画素位置の予測画

像の生成に 8 タップ内挿フィルタを採用して性能を高めたほか、重み付き予測も採用されている。

その他、動きベクトルの予測値を空間・時間近傍の動きベクトルから適応的に選択することによる動きベクトルの効率的な符号化手法や、近傍から動きベクトルをはじめとする予測パラメータ一式を流用して予測を行うことができるマージモードの導入などの工夫により、インター予測に関するサイド情報の符号量を低減している。

変換

MPEG-2 では 8×8 離散コサイン変換、AVC では 4×4 と 8×8 の 2 通りのブロックサイズの整数変換を用いていたのに対して、HEVC では、CB サイズを上限として、最小 4×4 から最大 32×32 画素の TB サイズを用いた整数変換を選択することができる。 16×16 や 32×32 といった大きなブロックサイズでの変換を使用できることによって、予測差分信号に残存する空間冗長度を効率的に削減できる。また、HEVC では、変換処理として離散コサイン変換だけでなく、離散サイン変換や変換スキップモード等も採用されている。

エントロピー符号化

HEVC では、CTU 以下の符号化データに対しては、全てのプロファイルにおいて圧縮効率の高い CABAC (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding) が採用されている。CABAC は AVC の Main, High プロファイルに採用されているが、HEVC ではコンテキスト適応化処理の簡易化を行い、並列処理との親和性を高めることによりスループットの向上が図られている。シーケンス・ピクチャレベルのパラメータセットやスライスヘッダ等の上位シンタックスに対しては、固定長符号ないし指数ゴロム符号 (Exponential Golomb Coding) が用いられる。

デブロッキング・フィルタ

AVC 同様、ループ内フィルタの一つとして、エンコーダおよびデコーダ内において再構成画像作成時にデブロッキング・フィルタが用いられる。本フィルタは PU や TU の境界画素に対して実行するため、大きな PU・TU サイズが選択される箇所では、AVC に比べて演算量が低減される。

画素適応オフセット

第 2 のループ内フィルタとして、符号化歪みが重畳された画像信号波形を、画素単位のオフセット値加算によって補正する画素適応オフセットが導入されている。オフセットパラメータは CTU ごとにエンコーダで決定され、ビットストリームに多重してデコーダへ伝送される。デブロッキング・フィルタがブロック境界の主観歪みを低減するのに対して、画素適応オフセットはブロック内部のリングング歪みの除去に効果がある。

AVC と比較して、HEVC のメリットとデメリットについて記述する。

HEVC のメリット

- ・新規方式による生成符号量の削減
多様な予測・変換ブロックサイズ、インター/イントラ予測や動きパラメータ削減技術などの新規方式により生成符号量が削減できる。
- ・符号化歪みの少ない復号画像
再構成画像作成時にデブロッキング・フィルタや画素適応オフセットが適用されることにより、符号化歪みの少ない復号画像が得られる。

HEVC のデメリット

- ・演算量の増大
高精度のインター/イントラ予測および画素適応オフセットなどの新規方式により、エンコーダの演算量が増大する。(デコーダの演算量は AVC と同等のオーダに抑えられている) [33]

5. 4. 4. ドキュメント公開状況

ITU-T Recommendation H.265: High Efficiency Video Coding (04/2013)として規格化されている。

5. 5. AVC-Ultra

5. 5. 1. 概要

2011年にパナソニックが開発した、マスタリング用の高画質映像から、ネットワークを介したWEBブラウジングまで幅広い用途に使用できるMPEG-4 AVC/H.264ベースのプロ用ビデオ圧縮コーデック。同社が2007年に開発したコーデック「AVC-Intra」を拡張。“次世代マスタリング高画質”を実現するという「AVC-Intra class 4:4:4」と「AVC-Intra class 200」、より高圧縮/高コストパフォーマンスの映像制作を実現する「AVC-LongG(ロングジー)」、低ビットレートでも高画質化できるH.264ベースのプロキシ映像「AVC-Proxy」を加え、新たに体系化したものを「AVC-ULTRA」としている。 [34]

5. 5. 2. 背景と経緯

H.264/AVC規格のビデオコーデックは、2007年にプロフェッショナル向け制作用フォーマットとしては業界で初めて、パナソニックよりAVC-Intraとして導入された。その後2008年以降は、すべてのP2HD機器に標準搭載されている。AVC-Intraは、最新のコーデック技術により従来と比べておよそ2倍の圧縮効率と優れた画質の両立と、編集に適したフレームごとに完結したコーデックスキームが広く受け入れられ、ノンリニア編集機やサーバーの標準フォーマットの一つとなった。また周辺機器やソフトベンダーによる各種

のツール群が整備され、45社以上の会社から90を超えるAVC-Intraサポート製品群が提供されている。これらにより、AVC-Intraによる種々のワークフローが制作アプリケーションに応じて構築可能となっている。こうした状況を踏まえ、他の主要なカメラレコーダーメーカーは、パナソニックから6年遅れて、H.264/AVCによる同様なコンセプトのビデオコーデックの導入を始めた。

いっぽう、AVC-Intra導入後の数年において、スマートフォンに代表されるモバイル端末に牽引されて、公衆網によるネットワークの伝送速度はここ数年で数十倍速くなった。これにより、映像コンテンツを視聴する形態は必ずしもテレビ放送視聴に限られず、スマートフォンやタブレット端末を含めたより多様な形態で楽しめる環境が整いつつある。

映像制作の面においても、IPネットワーク伝送を活用した時間・場所の制約を越え新しい制作ワークフローが可能になりつつある。また、大規模、高速で低電力なLSIを可能にする半導体技術の進化は、より高精細で美しい映像作品の制作を低い運用コストで実現することを可能にする。AVC-Intraで培ったH.264/AVC技術の蓄積をさらに一歩進めて、新たな映像制作の時代を築くべくAVC-ULTRAコーデックファミリーを開発することになった。
[35]

5. 5. 3. 特徴

AVC-ULTRAは、映像制作に携わる人々に、下記の3つをもたらすことを目指して開発された。

- (1) 映像コンテンツ制作ワークフローの運用コストを大きく下げる
- (2) 時間・場所の制約を越えた、ネットワークベースの映像取材・制作を可能にする
- (3) 映像作品の創作意欲を駆り立てる制作環境の提供

(1)は、Long GOP方式のMPEG2よりも低い映像ビットレートで高画質を実現できるAVC-LongGにより実現される。

(2)は、IPネットワーク経由の転送に適したより低いビットレートのAVC-LongGとAVC-Proxyにより実現される。

また、(3)のために、従来よりも映像表現力がいっそう高く、映像効果を自在に繰ることのできる加工性能に優れたClass200およびClass4:4:4がAVC-Intraの仲間に加わり、さらにより高いフレームレートへの対応、より高精細な4K映像フォーマットに対応したClass4Kの追加まで、対応するビデオフォーマットを拡張した。これら、(1)、(2)、(3)のすべてが、H.264/AVCで統一的に扱えるAVC-ULTRAにより実現される。

AVC-ULTRAファミリーは、そのすべてがH.264/AVC規格に準拠している。12bit 4:4:4, 10bit 4:2:2, 8bit 4:2:0のそれぞれにおいて、非圧縮映像に対して、AVC-Intraではおよそ1/5~1/10に、AVC-LongGでは1/25~1/125に圧縮される。またファイルフォーマットは、業界標準のMXFに加え、AVC-LongGの一部とAVC-Proxyはmov形式に対応している。

IP ネットワークやワイヤレスネットワークのインフラが整い、モバイル端末での視聴も含め多様な映像コンテンツを楽しめる環境が可能となってきた。それに伴い、より多くのコンテンツをより低い運用コストで制作することが望まれる。AVC-LongG25 は、フル HD の AVC-Intra Class100 とほぼ同等の映像品位を約 1/4 のビットレートで実現し、映像制作の運用コストを大幅に下げることのできるコーデックである。それに加え、50Mbps の SDTV 用制作インフラを最大限活かしていっそう高画質の HD を扱える AVC-LongG50 も用意されている。AVC-LongG は、フレーム間の相関を利用した Long GOP 方式を採用することで高効率な圧縮を実現している。AVC-LongG50 と LongG25 はいずれもフル HD で 10bit 4:2:2 サンプルングに対応している。また、絵柄に応じて GOP ごとにデータ量を最適化する VBR(Variable Bit Rate)制御を採用することで、安定した画質とデータレートを両立している。LongG25 を、他社が採用している 8bit 4:2:2 サンプルで 50Mbps の MPEG2 方式と比べると、高精度な動き予測、デブロッキングフィルタ、GOP 構造の最適化、算術符号化 CABAC など H.264/AVC で進化した信号処理と、人間の視覚特性を考慮し、さらに繰り返し符号化時の劣化を最小限に抑えつつ映像の性質に応じて適応的にビット配分を最適化する パナソニック 独自の適応制御技術により、ビットレートが半分でありながら同等以上の画質が実現できる。

LongG25 では必要なストレージ容量を半減できるため、素材蓄積に必要な設備投資や運用コストを大幅に抑えることができる。また AVC-LongG によって、IP ネットワークを経由した映像素材伝送時間を半減することで時間コストを抑えることができるとともに、サイト内ネットワークインフラ等にかかわる運用コストも大幅に抑えることができる。

ところで、Long GOP 方式は Intra フレーム方式と比較して、編集等に際して PC でのソフトウェア処理負荷が大きくなることが懸念される。LongG25 のエンコード/デコード速度は、Class100 と概ね同等であり、特にデコードは 33msec の 1 フレームを 3 倍以上の速度で処理できることから、複数ストリームを同時に扱うリアルタイム編集も余裕でこなすことができる。なお、毎年新しく投入されるプロセッサの進化により処理時間は年々短縮されていく。

AVC-LongG のファイルは、業界標準の MXF OP-1b 型式で記録される。OP-1b は、OP-1a と同様にビデオ/オーディオ/メタデータが 1 つのファイルにパッケージ化されるため、IP ネットワーク経由での転送がシンプルに行える。OP-1a はビデオとオーディオのセットを 1 フレーム単位で細切れに記録する構造であるのに対し、AVC-LongG の OP-1b では 2 秒単位でビデオとオーディオをセットにし、かつオーディオ情報は 2 秒間のデータがまとめて配置される。これにより、高速サーチ時のオーディオ信号の活用が容易で、また他のファイルフォーマットへの変換が高速に行える特徴を持つ。

AVC-Intra Class4:4:4 及び AVC-Intra Class4K/2K ファイルも、AVC-LongG と同様に MXF OP-1b 型式で記録される。OP-1b ファイルの構造はビデオデータとして AVC-Intra

圧縮データが格納される。

公衆網モバイルネットワークの転送速度が高速化されるに伴い、公衆回線を使って映像素材を伝送することでより素早い映像取材・番組制作の環境が整いつつある。しかしながら、AVC-Intra の HD 素材を伝送するためには、転送時間や運用コストの面において現状のインフラ環境はまだ必ずしも十分とは言えない。AVC-LongG12, AVC-LongG6 と AVC-Proxy は、ネットワーク環境を活かして、時間や場所を越えたネットワークベースの運用を実現するコーデックである。AVC-LongG12 と AVC-LongG6 は、8bit 4:2:0 サンプリングで、フル HD の画素サイズに対応している。いっぽう AVC-Proxy は、より高速な転送を優先するために画素をダウンサンプリングしている。AVC-LongG12, LongG6 のフル HD 素材を Wi-Fi や公衆網を経由して短時間で遠隔地のサイトに送り、本素材として即座に活用するワークフローが可能になる。また AVC-Proxy はいっそう高速な転送が可能のため、モバイル端末や遠隔地での内容確認やオフライン編集に適している。

AVC-Proxy は、QuickTime に対応した mov 形式のファイルとして記録される。また、AVC-LongG12 および AVC-LongG6 のファイルについても、MXF OP-1b 形式に加え mov 形式を選択することも可能である、これにより、QuickTime に対応したモバイル機器や既存の編集ソフトでのダイレクト再生が可能である。

2013 年秋に商品化されたカメラレコーダーAJ-PX5000 では、AVC-Intra、AVC-LongG50, LongG25 での記録と、AVC-LongG6 ないし AVC-Proxy のいずれかの同時記録の機能を備えている。これにより、AVC-Intra ないし AVC-LongG50, LongG25 などによる 4:2:2 サンプリングの記録と並行して、ネットワーク転送用に 4:2:0 の素材を同時に生成する効率的な運用が可能となる。

AVC-ULTRA には、AVC-Intra にも新たなメンバー、Class200 と Class4:4:4 が加わった。AVC-Intra Class200 は、10bit 4:2:2 サンプリングの映像を Class100 の2倍となるおよそ 200Mbps のビットレート(1080/59.94i の場合)で圧縮する。撮影する場面にかかわらず、非圧縮画像と視覚的にはほぼ同等の画質を確保でき、ハイエンドの高品位映像制作に最適である。EBU(European Broadcasting Union)による主観評価の結果報告 (BPN 098)においても、基本画質 および第 7 世代までの繰り返し符号化画質は、非圧縮画像とほぼ同等との評価を得ている。AVC-Intra Class200 は、HDCAM-SR SQ のおよそ半分のビットレートであることから、高品位な素材のハンドリングや運用コストを大幅に圧縮して低予算でハイエンドの制作を行うことができる。

AVC-Intra Class4:4:4 は、12bit 4:4:4 サンプリングでありながら HDCAM-SR HQ の 4:4:4 に対しておよそ 1/4、HDCAM-SR SQ の 4:4:4 モードに対しておよそ半分となる約 200Mbps のビットレート(1080/29.97fps の場合)で映像素材を扱える。12bit 4:4:4 サンプリングにより、作者の創作意図を正確に汲んだカラーグレーディングやクロマキーなどの多彩な映像加工に適したマスターフォーマットとして利用できる。さらに、Class100 においても高フレームレートへの拡張が行われ、AJ-PX5000 では、Class100 による 1080/60p

までの撮影が可能である。また、美しいスロー映像を撮影するためのいっそうの高フレームレート撮影機能もサポートされ、2014 年秋に発売された VARICAM HS では 240p までのハイスピード撮影を実現している。

AVC-Intra Class200, Class100, Class50 は、映像のフレーム毎に完結した圧縮スキームを採用するとともに、フレーム毎のデータ量が絵柄に依存することなく一定となる CBR(Constant Bit Rate)方式を採用している。このため、特定フレームのみを入れ替える編集や加工が、ストリーム全体を操作することなく容易に行える。フレーム毎一定の符号量の実現は、Figure 10 に示す 2 パス方式のエンコード処理により行われる。すなわち、ビデオフレームの性質をプリエンコードしつつ分析し、その結果によりエンコードのパラメータ制御範囲が決定される。また、人間の視覚特性を考慮し、さらに繰り返し符号化時の劣化を最小限に抑えつつ、エンコーダで発生する符号量を監視しながら適応的にビット配分を最適化することで、常にフレーム毎のデータ量を一定に保っている。AVC-Intra の仲間に加わったより高画質な記録を今までにない運用コストで実現する Class200, Class4:4:4 により、作者の創作意図に沿ったよりクリエイティブな映像作品の制作が可能となる。

パナソニック は、2012 年 2 月に HPA (Hollywood Post Alliance) Tech Retreat において、4K(4096 x 2160)、4:4:4 サンプルング、24fps で 7.6Gbps ものビットレートを有する映像を、AVC-ULTRA によりおよそ 400Mbps に圧縮した映像を公開した。

今後の 4K 映像アプリケーションの広がりを踏まえ、解像度はシネマ用途の 4096 x 2160 およびビデオ用途の UHD(3840 x 2160)に、またフレームレートは 24p からハイフレームレートシネマやビデオ用途の 60p まで対応する。サンプルングについては、後処理でのカラーグレーディングに適した 12-bit 4:4:4、およびより取り扱いが容易な 10-bit 4:2:2 をサポートしている。AVC-ULTRA の最初の 4K 対応商品として、新開発スーパー35mm CMOS センサーを搭載したデジタルシネマ用 4K カメラレコーダーVARICAM 35 が 2014 年秋に発売された。VARICAM 35 は、AVC-Intra Class 4K コーデックを搭載して 4K/UHD 映像の高画質記録を実現し、かつ AVC-Intra Class2K による 2K 記録、AVC-Intra Class200, Class100 による HD 記録機能を備えている。

5. 5. 4. ドキュメント公開状況

以下のドキュメントが WEB 上で公開されている。

- AVC-ULTRA 技術解説 [35]
- AVC-Intra Compression Technology overview [36]

5. 6. DNxHD

5. 6. 1. 概要

Avid®が開発し、今日のポストプロダクションやニュース制作環境において普通に行われる、複雑なコンポジット作業ややりくり等のノンリニア編集環境に最適になるように設計されているコーデックで、8-bit、10-bit の種別やビットレートは自由に選択することができ、通常のカメラコーデックよりも効率的に品質を維持することが可能。 [37]

コンテナフォーマットとしては、MXF ならびに MOV に内包される。

5. 6. 2. 背景と経緯

2004 年に HD 制作のニーズに対応するため、Avid DS Nitris®が DNxHD®をサポートする形でリリースされた。 [38] その後、Avid の Media Composer®、Symphony™ Nitris、Xpress Pro といった製品で対応し、池上通信の Editcam システムでも採用され、編集用時のコーデックとして地位を確立。 [39]

2008 年には SMPTE VC-3 標準に適合したフォーマットとして、認証を受けた。 [37]

また、2011 年 11 月には Arri Alexa カメラでの収録コーデックとして採用。 [40]、さらに 2012 年には Black Magic Design の HyperDeck Shuttle2 や HyperDeck Studio がサポートし、編集だけではなくワークフローの工程で使われることにもなった。

5. 6. 3. 特徴

10-、8-bit の HD 圧縮技術であり、ストレージ容量やバンド幅を節約しながら、最高の品質を保ち続ける。Avid DNxHD エンコードでは、様々な解像度やフレームレートに対し、4 つの圧縮比を提供している。

Avid DNxHD 220x

10-bit カラースペース画像に対し、最高品質の画像を提供。データレートはフレームレートによって変わります。例えば 1920 x 1080 30i (60 フィールド) 画像なら 220Mbps、24p なら 175Mbps となる。

Avid DNxHD 220

8-bit カラースペース画像に対し、最高品質の画像を提供。データレートは 220x の場合と同様となる。

Avid DNxHD 145

HDCAM や DVCPRO といった 8-bit カラースペース画像に対し、高品質の画像を提供。1920 x 1080 30i (60 フィールド) 画像なら 145Mbps、24p なら 115Mbps、25p なら 120Mbps となる。

Avid DNxHD 36

プログレッシブフォーマット専用のオフライン用圧縮。大量の画像を扱いオンライン / オフラインワークフローで制作される映画等の作業で、リアルタイム性を維持し、ストレージ容量を節約することが可能。

Avid DNxHD エンコードの特徴としては、

- Avid DNxHD 145 8-bit は非常に高品質でありながら、通常の 8-bit 非圧縮 SD 画像のファイルサイズの、さらに約 20%少ないファイルサイズしか必要としない。
- バンド幅が少なく済むので、通常の 4-または 8-ストライプセットのドライブで十分 HD の作業が行える。Avid DNxHD 36 なら単一ドライブでも可能。Avid Unity™ MediaNetwork または Avid Unity™ ISIS®での協調作業環境も、HD で実現可能。
- Avid DNxHD 145 なら 4 面までのマルチカメラ作業も行える。
- 一般的にすべての解像度、フレームレートに対応。 [37]

また、2014 年には DNxHD では対応不可であった 4K 対応として、新たに DNxHR コーデックが登場した。現在の HD 制作環境でも 4K 制作が可能になるように設計されている。なお、DNxHD に対し下位互換を有しており、HD と 4K を混在して編集することも可能となっている。

5. 6. 4. ドキュメント公開状況

Avid アプリケーションでは、Avid DNxHD 素材は MXF ファイルとして保存され、その他の MXF 互換のアプリケーションでも使用できるようになっている。また、Avid DNxHD のソースコードは無料で公開されており、Web から無料でダウンロードできるようになっている。Adobe AfterEffects® のような QuickTime ベースのアプリケーション用には、Avid DNxHD の QuickTime wrapped バージョンを、Windows XP、Windows Vista、Mac OS X 用にリリースしている。

Avid DNxHD コーデックは、VC-3 標準に適合した最初のフォーマットとして、SMPTE から認証を受けている。2 年間に及ぶ厳格な認証工程の結果は、VC-3 関連の 4 つの文書に書かれており、以下のドキュメントがダウンロード可能となっている。

- SMPTE 2019-1 VC-3 画像圧縮およびデータストリーム形式
- SMPTE RP 2019-2 VC-3 デコーダおよびビットストリーム適合性
- SMPTE 2019-3 SDTI による VC-3 タイプのデータストリームマッピング
- SMPTE 2019-4 VC-3 コーディングユニットの MXF ジェネリックコンテナへのマッピング [37]

また、Avid DNxHD コーデックのソースコードは無償で公開されており、希望すれば誰でも

も様々なプラットフォーム上でコンパイルすることができる。これにより、メディアのプロフェッショナルと開発者は、Avid 製以外の機器からでもメディア・ファイルに常にアクセスすることが可能となる。 [41]

5. 7. Motion JPEG

5. 7. 1. 概要

Motion JPEG とは M-JPEG 或いは MJPEG に略称され、マルチメディア PC アプリケーションに対し、開発されたフォーマットである。Motion JPEG にあるデジタルビデオシーケンスのビデオフレームとインターレースフィールドは別々に JPEG イメージに圧縮される。今日、Motion JPEG はデジタルカメラ、IP カメラ、ウェブカメラなどのビデオキャプチャデバイスとノンリニアビデオ編集システムによく利用される。Motion JPEG は Safari®、Google Chrome と Mozilla Firefox®などのブラウザと QuickTime Player と Sony Play Station コンソールにサポートするネイティブを楽しめる。 [42]

5. 7. 2. 背景と経緯

統一された規格がそもそも存在しないため、各ボードメーカーからハードウェアとして提供されており、開発メーカーによって異なるコーデックが存在していた。Windows の標準環境では Motion JPEG のコーデックを持っていないこともあり、基本再生は不可であるが、様々な種類が存在していたため、デジタルカメラのメーカーによっては、Motion JPEG のコーデックが再生できるもの、できないものが存在していた。また、QuickTime はもともとそのコーデックを持っていたため、再生は可能。そのため、デジタルカメラの動画ファイルとして .mov という拡張子で記録することを採用するカメラメーカーも存在していた。このように様々な要因が絡み、事実上の標準が乱立する状況となっている。 [43]

5. 7. 3. 特徴

Motion JPEG は離散コサイン変換(DCT)に基づき、イントラフレーム圧縮の非可逆形を採用する。この数学演算は空間(2D)ドメインから周波数ドメイン(別名変換ドメイン)にビデオソースのフレーム/フィールドを変換する。人間の心理視覚システムに基づく知覚モデルは高周波情報と色相を切り捨てる。変換領域の中に、情報の削減処理は量子化と呼ばれる。普通の言葉で、量子化は多数規模を削減する最適化な方法であり、それに、高周波係数の原因で、変換領域は、イメージの便利な表現でもある。高周波係数はほかの係数より以上のイメージに役立つ点が少なく、高い圧縮率と低価値はその特徴である。量子化係数はロスレスとシーケンスで出力のビットストリームにバックされる。ほぼ全部の Motion JPEG のソフトウェアの導入は以上の圧縮比を許可し、使用者は画像の質量を落とすことで、ファイルサイズを削減できる。エンベデッドアプリケーション(DCT-圧縮技術のような技術を使用する miniDV)で、パラメータは事前に選択され、固定される。

Motion JPEG はイントラフレームのみの圧縮技術(フレーム間予測の集中的な技術と比べ)である。MPEG1、MPEG2 と H. 264/MPEG-4 AVC のような現在のフレーム間のビデオフォーマットは 1:50 或いはそれ以上の現実世界の圧縮比に達成し、圧縮出力にある空間的なアーティファクトのトレランスに応じ、Motion JPEG のフレーム間予測の欠如はその効率を 1:20 或いはそれ以下に制限する。フレームは独立で圧縮されるから、Motion JPEG はハードウェアデバイスに低処理と必要メモリを付け込む。

純粋なイントラフレーム圧縮方式として、Motion JPEG の画質は各ビデオフレームの静的(空間)の複雑さの直接的な関数である。大スムーズトランジションやモノトーン表面があるフレームがうまく圧縮され、目に見える圧縮アーティファクトがあるオリジナルの詳細を保持する可能性がある。複雑なテクスチャ、細い曲線と直線(例えば新聞に書き込みなど)を示すフレームはリングング、スマッジング、およびマクロブロックなどの DCT-アーティファクトを展示する傾向がある。Motion JPEG の圧縮ビデオはモーションの複雑さと時間経過の変化には敏感しない。これは高度なランダム運動に邪魔されないと同時に、また動きの欠如に助けられる事もない。この二つの反対の極端はフレーム間のビデオフォーマットのテストに使用される。

なお、以下にあげるメリットとデメリットがある。

メリット

- 十分に発達なライブラリがある成熟の圧縮規格(JPG)を使うために、実装するのは簡単であり、圧縮のイントラ方法でもある。
- ビデオストリームの急速な変化を許容し、ビデオコンテンツは、各フレームの間で大きく変化する時、フレーム間圧縮を使う圧縮方式は品質の損失を容認しない経験を提供する。
- Motion JPEG は標準化団体ではなく、市場導入プロセスから登場していたから、Motion JPEG は広範なクライアントサポートを支持する。他に、ネイティブサポートやプラグインを提供するほとんどの主要な Web ブラウザやプレイヤーは使用可能。
- 計算的なインテンシブではないため、最小限のハードウェアが必要。

デメリット

- MPEG-2 のような国際規格で指定されたビデオフォーマットと JPEG 静止画符号化の規格で指定された形式とは違い、“Motion JPEG” の完全明細書として認識される単一の正確な形式を定義するドキュメントがない。これにより異なるメーカーから出力するファイルの互換性の問題は発生。

JPEG は JPEG 2000 と H. 264/MPEG-4 AVC などの現在のフォーマットと比べ、同等の品質を提供するために、より多くのビットを使用するから、効率は低くなる。1990 年代初にオ

リジナル JPEG 規格の開発以来、技術の向上は、インターフレーム圧縮を可能にした。技術の向上は変換係数値の周波数領域の予測を使用する H. 263v2 Annex I と MPEG-4 Part 2 の設計に見られる。また、最初の JPEG デザインが開発された時より、空間予測及び適応変換ブロックサイズ技術と洗練されたエントロピー符号化を使用する H. 264/MPEG-4 AVC から技術の向上は見られる。これらの Motion JPEG を作成する技術は明らかに時代遅れと低効率である。 [42]

この Motion JPEG の拡張版として MotionJPEG2000 があり、ISO/IEC 15444-3:2007 Information technology -- JPEG 2000 image coding system: Motion JPEG 2000 にその記述がされている。なお、ISO/IEC 15444-3:2012 が最新となっている。

ちなみに、JPEG 規格の拡張である JPEG XR 規格の動画フォーマットとして、Motion JPEG XR があり、ISO/IEC 29199-3:2010 Information technology -- JPEG XR image coding system -- Part 3: Motion JPEG XR にその記述がされている。 [44]

5. 7. 4. ドキュメント公開状況

Motion-JPEG には標準的な規格がない。ただ、JPEG の拡張規格である JPEG2000 に対応し、JPEG2000 の方式で圧縮する Motion-JPEG2000 方式があり、こちらは JPEG2000 の規格の中で定義されている。 [45]

5. 8. VP6

5. 8. 1. 概要

On2 VP6 (オンツーヴイピーシックス) は、On2 Technologies が MPEG-4 を基に開発した動画コーデックで、単に VP6 とも呼ばれる。当初は TrueMotion VP6 と呼ばれていた。同社が MPEG-4 を基に開発した VP3、VP4、VP5 などの後継となるもので、高画質を保ちながら高圧縮が可能で、符号化・復号化が速いという特徴がある。後に VP7 が発表された。2009 年に Google が同社を買収し、その後に発表された VP8 はオープンソース化され、Google が開発したコンテナである WebM の動画コーデックとして採用された。 [46]

5. 8. 2. 背景と経緯

Flash Player のバージョン 7 までは Sorenson Spark と呼ぶ H. 263 ベースのコーデックが採用されていた。WWW サイトのユーザーがコンテンツを投稿する、いわゆる「UGC (user generated contents)」分野の YouTube もこの Sorenson Spark コーデックを利用している。

これに対し、2005 年 8 月に登場した Flash Player 8 からは、On2 が独自開発したコーデックである On2 VP6 が推奨方式として採用された。既存の Sorenson Spark コーデックの映像も Flash Player 8 で再生可能ではあるものの、映像をエンコードするオーサリング・ツールの側では、Flash Player 8 向けにエンコードする場合、基本的には On2 VP6 コーデック

クがデフォルトで選択されるようになった。現在、UGC の配信を手掛ける MySpace が On2 VP6 ベースの FLV 形式を採用しているほか、Skype および AOL IM のビデオ・チャット機能などに On2 VP6 が採用されている。

YouTube がサービスを開始したのが 2005 年 12 月。その後、2006 年に入ってから、YouTube の成功をきっかけに UGC が一躍注目されるようになった。On2 の VP6 が旧 Macromedia に採用されたのは、こうした UGC が盛り上がる前の 2005 年 7 月。実際、On2 は過去には各種標準化団体に対し自社コーデックの採用を積極的に働きかけていた。例えば、2002 年にはストリーミングの標準仕様を策定する業界団体「ISMA (Internet Streaming Media Alliance)」に対し、オープンソースとしてアルゴリズムが公開されている同社のコーデック「On2 VP3.2」を採用するよう書簡を送付したことなどがある。

Flash Video という時流の技術で一躍、独自コーデックを普及させた On2 だが、次の狙いは組み込み分野だという。Web の分野で現在の地歩を築く以前から、On2 VP6 コーデックは中国発の次世代 DVD 規格「EVD (Enhanced Versatile Disk)」に採用されるなど、一定の評価は得てきた。例えば EVD では、H.264 と同程度といわれる On2 VP6 の圧縮率を生かして、現行の DVD の光学系を維持したまま、HDTV 映像の格納を可能にしている。[47]

5. 8. 3. 特徴

VP6 コーデックは MPEG-2 や H.264 と趣が異なり、周波数解析技術として JPEG-2000 など採用されている Wavelet 変換を用いている。MPEG-2 や MPEG-4 のように 8×8 画素といったマクロブロックごとに DCT (離散コサイン変換) で周波数領域に変換するのではなく、フレーム全体に対して周波数領域に変換する。このため原理的にブロック・ノイズが発生しないという利点がある。一般に Wavelet 変換では Haar や Daubechies といった基底が用いられるが、On2 は VP6 の符号化方式の詳細については公開していない。[48]

また、現在 VP7、VP8、VP9 が存在しているが、その概要を明記すると以下のようなになる。[49]

VP7

On2 が開発した独自の非可逆圧縮ビデオコーデックで、2005 年に VP6 の後継として発表。デジタルビデオ圧縮の向上が図られ、ビデオソース素材のアーカイブや転写に使うファイル共有作成がより便利となった。Move Networks の Firefox、Internet Explorer 向け Move Media Player プラグインとして VP7 が採用、また ABC や Fox Network のテレビ番組のストリーミングとしても採用された。

VP8

On2 が開発し Google 所有となったビデオ圧縮コーデックで、VP7 の後継。買収後の 2010 年には、VP8 はクリエイティブ・コモンズ^{*11}3.0 ライセンスのもと、その仕様が公表された。

*¹¹ クリエイティブ・コモンズ

また、同年 Google は BSD ライセンスのもと WebM^{*12}向けのビデオエンコーダ libvpx をリリースした。

VP9

VP8 の継承で、Google によって開発されたロイヤリティフリーなビデオ圧縮コーデック。HTML5 ビデオタグでの VP9 ビデオ再生が Chromium, Chrome, Firefox, Opera でサポートされている。VP8 と同画質で半分のビットレートを目指すコーデックとして 2011 年に開発がスタートした。

HTML5

WHATWG および W3C が HTML4 に代わる次世代の HTML として策定を進めている HTML 仕様。HTML5 では今まで機能が不足していたマルチメディア対応やドラッグ&ドロップなど、Web アプリケーションのプラットフォームとして必要な機能が強化される。ブラウザの多くは HTML5 のドラフトが発表されたときから段階的に HTML5 への対応を始めている。通常のクライアント環境に一切手を加えることなく、リッチなユーザーインターフェースを利用できる HTML5 はその汎用性が期待されており、機種によって細かい仕様が異なるスマートフォンなどのモバイルアプリケーションでは重宝する。 [50]

5. 8. 4. ドキュメント公開状況

以下、WEB 上に On2 Technologies のドキュメントが公開されている。

- ・WHITE PAPER Advantages of TrueMotion VP6 Technology [51]

5. 9. Cineform

5. 9. 1. 概要

高解像度のフッターの編集のために設計されたクロスプラットフォームの中間コーデック^{*13}。もともと CineForm という会社が開発していたものだったが、2011 年 3 月に GoPro[®]

クリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC ライセンス) を提供している国際的非営利組織とそのプロジェクトの総称です。CC ライセンスはインターネット時代のための新しい著作権ルールの普及を目指し、様々な作品の作者が自ら、ある条件のもとであれば自由に使用しても良いという意思表示をするためのツール。CC ライセンスを利用することで、作者は著作権を保持したまま作品を自由に流通させることができ、受け手はライセンス条件の範囲内で再配布やリミックスなどを行うことができる。

^{*12} WebM

高い圧縮率と品質を両立した動画コーデック “VP8” と、音声圧縮形式 “Vorbis” を組み合わせた動画フォーマット。Google によりオープンソース化され、誰もが無償で利用できるウェブ向けビデオフォーマットの開発が可能。

^{*13} 中間コーデック

ポストプロダクションのパイプラインにおいて単一のアプリケーションから作成され、パイプラインの次のアプリケーションに渡されるファイル

が CineForm を買収し、Go Pro Cineform という名称になった。

5. 9. 2. 背景と経緯

CineForm は 2001 年に HD 編集製品 Aspect HD を出荷し、2006 年に Raw 対応カメラ向けの初となる RAW 圧縮フォーマット (CineForm RAW) をリリースした。同年、Microsoft は Xbox Live® テレビ用の長期保存用中間コーデックとして採用。Microsoft はその Xbox Live 配信インフラとして 2000 テラバイトのストレージを有している。2007 年には初となる 12bit RGB 圧縮フォーマットで Windows と Mac で互換性のある CineForm 444 をリリース。この CineForm は、PSNR が HDCAM SR テープを超えるパフォーマンスが計測されている。2009 年にアカデミー賞を受賞した「スラムドッグ\$ミリオネア」にて Silicon Imaging の SI-2K カメラが使用されたが、その際 CineForm RAW 圧縮で収録された実績がある。 [52]

5. 9. 3. 特徴

制作工程向け中間コーデックで、以下の特徴がある [53]

- ・ 解像度非依存
- ・ 8K にも対応
- ・ クロスプラットフォーム (Win/Mac) 対応
- ・ アルファチャンネル対応
- ・ ウェーブレット変換による圧縮
- ・ 理論上ブロックノイズなし
- ・ JPEG2000 や RED CODE R3D でも採用
- ・ 多重解像度表現により、1/2, 1/4, 1/8 などでの高速デコード

5. 9. 4. ドキュメント公開状況

2014 年 6 月 6 日 SMPTE VC-5 として標準化された。

- ・ VC-5 Messanine Compression [54]
- ・ VC-5 Video Essence Part 1: Elementary Bitstream ST 2073-1:2014
- ・ VC-5 Video Essence - Part 2: Conformance Specification RP 2073-2:2014

6. 画像フォーマットの種類

6. 1. DPX

6. 1. 1. 概要

Digital moving-Picture eXchange の略で、映画のポストプロダクション内でのワークフローとして使われることが多いフォーマット。フィルムスキャンやフィルムレコーディングといったフィルムとのインターフェースとして、またグレーディングする際や劇映画の納品として使われる。ネガフィルムで表現できる発色と諧調をデジタルデータで再現する

ために作られており、グレーディングといった色調整においてフィルム映像をデータのコントロールするうえで都合が良い。非圧縮でもある DPX は、制作の過程で繰り返し書き換えられても劣化しないため、映画の DI^{*14}工程を扱うポストプロダクション会社や実写映画の VFX 会社など、映画業界にとって不可欠のフォーマットとなっている。 [1, p. 151]

6. 1. 2. 背景と経緯

1993 年、Kodak は映画のフィルムをデジタル化してコンピュータで映像を合成し、再び映画のフィルムに戻すというコンピュータシステム Cineon を開発した。最終的にこのシステムは廃止されたが、その際使用されていた画像データ形式である Cineon (拡張子 .cin) は残り、映画業界で使われ続けた。その後、2003 年に SMPTE は Cineon ファイル形式を拡張した DPX という規格を発表した (バージョン 1.0)。その後、バージョン 2.0 ならびに ADX^{*15} を活用したコンテナとなるよう修正を経て、最新版は 268M-2014 となっている。

6. 1. 3. 特徴

画像の明るさではなく、フィルムが感光してできる色素の濃さをデータ化するという発想で作られたフォーマットであり、フィルム映像の画質をデータのコントロールする上でとても好都合となる。主にビット深度は 10bit かつ対数スケールで扱われるため、一般の画像フォーマットと異なり、画像がどんなに暗くても常に同じ諧調の緻密さが保たれる (暗い絵でも諧調が荒れにくい) というメリットもある。 [1, p. 151]

対数スケール

ネガフィルムの特徴として対数反応がある。光に対して一律な反応を示すわけではなく、露光量が少ない部分ではフィルム濃度の増加量が鈍化しているが、露光量が増えるにつれてフィルム濃度が高くなり、一定の露光量からはその増加量が鈍化するといった傾向を持つ。また、人間の目の特性として、微光を明るく調整し、薄暗くても見えるようにするといった、生きていくために必要な機能を持つ。微量の光に非常に敏感に反応し、輝度が上がると感度が鈍くなるという対数反応に近い形を持つ。そのため、ネガフィルムをデジタルデータに変換したときに、対数的なスケールで行うことが適していると言える。なお、他のフォーマットへの変換やモニターに表示させる際には、LUT (次項目) を使い線形スケールに直す必要がある。 [55]

*¹⁴ DI (Digital Intermediate : デジタルインターメディアイト)

映画のための高画質デジタルマスタリングを行う工程で、従来のフィルムで行っていたネガ編集やタイミングといった調整作業をデジタルデータとして処理する工程のこと。

*¹⁵ ADX (Academy Density Exchange Encoding)

米国・映画芸術科学アカデミー (AMPAS, Academy of Motion Picture Arts and Sciences) が策定したデジタル映像制作における色管理・色再現方法の新しい業界標準規格「ACES」で使用されるフィルムネガのスペクトル感度を数値化した値のこと。

LUT（ルックアップテーブル）

諧調の特性を変更する際に使われる入力と出力の関係が明記された表（テーブル）のこと。入力の R, G, B の値に対し、出力の R, G, B の値が対応する。具体的には以下の図のように対応する。なお、ここでは 1 次元 LUT（1DLUT）を例にとったが、3 次元 LUT（3DLUT）も存在する。主に諧調変換に対しては 1 次元 LUT が使われ、色域の変換には 3 次元 LUT が使われることが多い。 [1, p. 200]

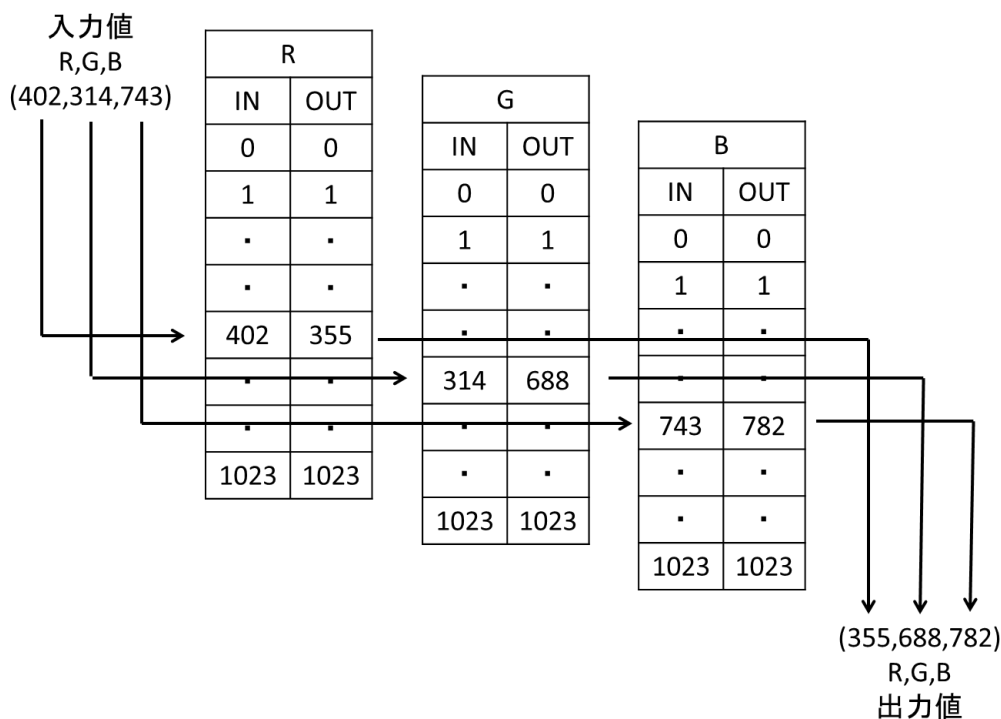


図 8

6. 1. 4. ドキュメント公開状況

SMPTE が SMPTE 268M、タイトル「for File Format for Digital Moving-Picture Exchange (DPX)」としてリリースされている。

6. 2. JPEG

6. 2. 1. 概要

JPEG 規格を作った国際団体 Joint Photographic Experts Group^{*16}の略で、カラー静止画像を対象とした国際標準の圧縮符号化技術で作成された画像ファイル形式を指す。広く普及しており、ほとんどの画像処理ソフトや画像閲覧ソフトで扱うことが可能。JPEG 圧縮方

^{*16} Joint Photographic Experts Group
ISO IEC/JTC1/SC/WG1 と ITU-T SG 8 CCIC の共同グループとして 1986 年に設立された。

式によって生成された画像ファイルにつけられる拡張子は*.jpgが多く使用されるが、*.jpegが使われる場合もある。ビット深度は最大8bit（24bitカラー）。

ファイル形式には、Baseline JPEGと呼ばれる通常のJPEGファイル形式の他に、Interlace GIFと同様な効果があるProgressive JPEGファイル形式がある。さらにデジタルカメラ市場では、JPEG圧縮形式に様々なオプション機能を追加し拡張したExif(Exchangeable image file format)がある。Exifは、富士フィルムが開発した画像ファイル形式で、JEIDA(日本電子工業振興協会)が策定し、カメラ情報・写真撮影時の情報・サムネイル画像を格納することが出来るファイル形式になる。

その他、動画ファイル形式にはJPEG圧縮方式を利用し、従来の差分画像方式と異なる方式で保存/再生することが出来るMotion JPEG形式がある。

JPEG圧縮の基本構成はデータを切り捨て元の画像情報を完全には復元できなくなる非可逆圧縮(Lossy Compression、別名：ロッシー圧縮)を使用するのが一般的だが、可逆圧縮形式(lossless compression、別名：ロスレス圧縮)のJPEG-LSという形式もサポートしている。しかし特許などの関係で、可逆圧縮方式は詳細な画像情報を必要とする医療分野などを除いてほとんど利用されていない。[1, p. 147] [56]

6. 2. 2. 背景と経緯

JPEG画像は国際標準化機構(ISO)、国際電気標準会議(IEC)、国際電気通信連合(ITU)の合同グループ「Joint Photographic Experts Group」によって規格された。グループ結成は1986年。

BMP/GIFと登場して次に規格されたが、BMPでは容量が大きく、GIFでは色数が少ないため、「写真」や「CG」など色を多用する画像でも鮮明に記録することができ、かつ容量も少ないJPEGが開発された。なお、特許問題は起きていないため自由に使うことが可能。その便利さから現在Web上での活用から、デジタルカメラの撮影ファイルに至るまで、幅広く普及している。[57]

6. 2. 3. 特徴

画像データをDCT技術にて非可逆圧縮し、大幅にデータ量を減らしてファイルに収めることが可能。ただし圧縮率を高めるとブロックノイズやモスキートノイズが目立つことがあり、映像制作において画像データを非圧縮で運搬したいときには使われない。[1, p. 147]

DCT技術

人間の視覚特性や圧縮効率について長年の研究によって生み出されてきた方式で、入力画像は8x8ピクセルのブロックに分けられ、DCT(Discrete Cosine Transform: 離散コサイン変換)という数学計算の後、再量子化(割り算)によってデータが削減され、可変長

エンコードという方式でデータ列に置き換えられる。その圧縮手段の概略図を以下に示す。
[1, p. 145]



図 9

6. 2. 4. ドキュメント公開状況

規格書は1994年にISO/ICEから「ISO/IEC 10918」、ITU-Tから「ITU-T 勧告 T.81」としてリリースされた。後に日本工業規格 (JIS) も1995年に「規格番号: JIS X 4301」として規格した。[57]

6. 3. JPEG 2000

6. 3. 1. 概要

JPEGを発展させた仕様で、JPEGよりも画質および圧縮率の向上が図られたフォーマットになっている。また、JPEGで見られたノイズについても異なる圧縮技術を使うことで解消されている。

JPEG2000では、圧縮された状態でさらに内部的に圧縮したデータを抽出することが可能なため、一つの画像データから、携帯電話向けなどのコンパクトな画像から通常のサイズ、さらに印刷用の高解像度画像まで、様々な解像度の画像を得ることが出来る。

また、JPEGは多少のデータの損失を許容することで劇的な圧縮率を達成したが、JPEG2000ではまったく損失のない可逆圧縮も選択することが可能になった。

しかし、JPEGほど汎用性は高くなく、専用のソフトによるエンコードやデコードを行う必要がある。[56]

6. 3. 2. 背景と経緯

JPEGフォーマットを作ったJoint Photographic Experts Groupが、JPEGフォーマットの後継として、2001年に策定した。JPEGで直面していた問題について対処ならびに画質や

圧縮率向上を優先させるため、新たに JPEG 2000 が作られた。 [1, p. 148]

6. 3. 3. 特徴

使用される圧縮技術としては DWT*¹⁷で、新たな数学手法が使われている。また画像を 8x8 ピクセルの正方形に分割することなく圧縮できるため、JPEG で問題となっていたブロックノイズやモスキートノイズが発生しないという特徴がある。そのため、同じ圧縮率であっても従来の JPEG より画質が改善されているが、圧縮率を上げたときの画像の劣化は、ぼやけやにじみとして現れる。

ビット深度は 8bit 以上とすることができ、デジタルシネマでは映像データのフォーマットとして、ビット深度 12bit の JPEG 2000 フォーマットが採用されている。

JPEG 2000 では、1 枚の画像ファイルを様々な解像度で表示することができ、従来の画像フォーマットのように表示環境に応じて解像度の違うファイルを再作成する必要が無い。

また、従来の JPEG にはなかった可逆圧縮も可能であるほか、アニメーション形式、複数レイヤ、カラーマネージメント機能、透明度、アルファチャンネル、電子透かしによる著作権保護機能など、膨大な範囲の技術を含んだ国際規格になっており、これまで使われてきた様々な画像フォーマットの欠点を解消する次世代画像フォーマットとして期待されている。 [1, p. 148]

6. 3. 4. ドキュメント公開状況

以下のように、パーツごとに規格化されている。 [58] [59]

Part 番号	タイトル	内容	規格番号
Part1	Core coding system	画像を Jpeg2000 に符号化／復号化する基本的なシステム	ISO-15444-1/ITU-T Rec. 800
Part2	Extensions	Part1 の拡張	ISO-15444-2/ITU-T Rec. 801
Part3	Motion JPEG 2000	動画を取り扱う MotionJpeg2000 について	ISO-15444-3/ITU-T Rec. 802
Part4	Conformance testing	画像伝送におけるコードストリームの検証方法を規定	ISO-15444-4/ITU-T Rec. 803
Part5	Reference software	Jpeg2000 の機能を検証するための公式ソフトウェア	ISO-15444-5/ITU-T Rec. 804
Part6	Compound image file	複合画像(絵と文字が混じった画)	ISO-15444-6

*¹⁷ DWT (Discrete Wavelet Transform : 離散ウェーブレット変換)
ウェーブレット関数を用いた周波数解析の手法の 1 つで、フーリエ変換では失われる時間領域の情報を残すことが可能。活用例として、信号符号化やデータ圧縮に用いられる。

	format	像)の規定	
Part7	欠番		ISO-15444-8/ITU-T Rec. 807
Part8	JPSEC	セキュリティーを考慮した Jpeg2000	ISO-15444-9/ITU-T Rec. 808
Part9	JPIP	ネットワーク上での扱いなど	ISO-15444-10/ITU-T Rec. 809
Part10	JP3D	3次元画像	ISO-15444-10/ITU-T Rec. 809
Part11	JPWL	無線機器での通信	ISO-15444-11/ITU-T Rec. 810
Part12	ISO	ISO ベースメディアファイル フォーマット	ISO-15444-12
Part13		Part1 準拠のエントリーレベル エンコーダ	ISO-15444-13
Part14		JFXML 参照の XML ドキュメント 記述	ISO-15444-14

6. 4. TIFF

6. 4. 1. 概要

Tagged Image File Format の略で、当時 Aldus (のちに Adobe Systems に買収された) と Microsoft によって開発された画像データのフォーマット。1枚の画像データを、解像度や色数、符号化方式の異なるいろいろな形式で一つのファイルにまとめて格納できるため、比較的アプリケーションソフトに依存しない画像フォーマット。 [60]

6. 4. 2. 背景と経緯

1986年に Aldus が PageMaker を IBM-PC に移植するためにスキャナーメーカーとソフトウェアデベロッパとの共同作業の末、開発した画像ファイル形式で当時は TIFF Revision 3.0 として発表された。拡張子は*.tif もしくは*.tiff として表現される。Windows 3.0 で Windows Bitmap Image が標準になるまでは Windows でも標準の画像フォーマットの形式として使用されていたことがある。

その後、1987年に Revision 4.0、1988年にパレットカラーとLZW圧縮に対応した Revision 5.0 を発表した。1991年には TIFF の専門家が集まり TIFF Advisory Committee を設立し、結果 1992年に CMYK 画像・YCbCr 画像・Lab 画像・JPEG 圧縮に対応した Revision 6.0 を発表している。現在、Aldusは1994年に Adobe Systems と合併し、TIFF の著作権は Adobe Systems が保有している。TIFF Advisory Committee は、今後も TIFF の見直しを含め Revision 7.0

に向けて活動を続けている。 [56]

6. 4. 3. 特徴

TIFF は、標準のデータ形式を規定するものではなく各種画像データの本体及び属性を 2Byte のタグ(Tag)情報として規定する構造を持っている。タグの中に属性を格納することで異なる環境間でもデータ交換を可能にしている。そのため、画像表示だけではなくプリントアウト用途など多目的に利用できる。またプリントアウト用に複数枚のページ画像データを 1 ファイル内に収めることができる。これらの利点が DTP 業界で多用される理由になる。

しかし、このタグ情報による表現があまりにも様々であること、さらに各ベンダーが独自に拡張タグを作成することが可能なため、同じ TIFF の間でも完全な互換性を保つことが難しい問題がある。また、TIFF の規約自体にもすべてのタグをサポートする必要は無いと明記されている。

なお、デベロッパが独自に開発したタグについては、Adobe Developers Association へ連絡して認められると、登録することが可能。 [56]

6. 4. 4. ドキュメント公開状況

Adobe の Web 上で TIFF 6.0 Specification が公開されている。 [61]

また、その Web にて非公式ながら FAQ を含む TIFF の使用方法について公開されている。 [62]

6. 5. OpenEXR

6. 5. 1. 概要

OpenEXR とは、Industrial Light & Magic (ILM) が開発した、HDR のファイル形式。拡張子は「.exr」。OpenEXR の利点としては、32 b i t 浮動小数点とともに 16 b i t 浮動小数点のサポートしたこと、rle, gzip, piz の三種類の圧縮をサポートしている事などが挙げられ、その柔軟性と拡張性により、HDR 画像ファイルでの標準となっている。2013 年のバージョン 2.0 時点で「Prometheus」や「The Hobbit」、「The Avengers」といった映画作品でも使用されており、以来 ILM のメインのイメージ ファイル形式となっており、ハリウッド映画を中心に活用されている。

また、米国・映画芸術科学アカデミー (AMPAS, Academy of Motion Picture Arts and Sciences) が策定したデジタル映像制作における色管理・色再現方法の新しい業界標準規格「ACES」にてファイル互換性がある。 [63]

ハイダイナミックレンジ (HDR)

自然界のあらゆる光の強弱をすべて表しつくすのに十分なダイナミックレンジを持った特殊なデータ表現形式のこと。通常の画像データではある値以上のハイライト表現は不可

能で、また、非常に暗い色はコントロールが困難でしたが、HDR 技術ではそのような制約がほとんどなくなる。実写の撮影では、HDR 画像を作成するために、1 階の露出ではすべてのダイナミックレンジを記録しつくせないため、露出を変えて何枚も撮影し、HDR 対応ソフトで会合を縫い合わせるといった処理をする必要があった。 [1, p. 197]

しかしながら、最近 HDR 対応カメラが登場し、また、HDR 対応モニターやプロジェクターも登場し、その制作環境は変わりつつある。Dolby Vision*¹⁸や、まだ SMPTE で規格策定中であるが、4k 対応 Blu-ray Disc (正式名称 Ultra HD Blu-ray*¹⁹) でも採用がされる予定となっており、今後の普及が期待される。

色域

色空間*²⁰の中で実際に取り扱うことができる色の範囲のこと。カラーガマット、色再現とも呼ばれる。モニターなどの表示デバイスは、加法混色（光の三原色）の原理でできているが、加法混色の色域は、xy 色度図上では、三原色の色度点を頂点にした三角形となり、この三角形の内部だけを表示することができる。また、三角形の外側の色はどんな画像データであっても表示できません。三原色の色度点は表示デバイスの構造によって決まる。なお、表示デバイスの色域が大きいほど、より鮮やかな色を表示することができる。

[1, p. 182]

代表的な色域としては、

ITU-R BT. 709

正式な名前は Recommendation ITU-R BT. 709 で HDTV の国際規格

ITU-R BT. 2020

正式な名前は Recommendation ITU-R BT. 709 で 4K や 8K 含む超高精細 (UHD) の国際規格

DCI P3

Digital Cinema Initiatives で定められたデジタルシネマの色域の要求仕様

*¹⁸ Dolby Vision

1 月上旬に米国で開催された 2014 International CES で発表された、ドルビーの新映像技術。色表現やダイナミックレンジを高め、画質を向上する。

*¹⁹ Ultra HD Blu-ray

BDA (Blu-ray Disc Association) によって策定される予定で、4K 解像度（正しくは QFHD の 3840x2160 ピクセル）やハイダイナミックレンジなどを採用した規格。

*²⁰ 色空間(カラースペース)

色を数字の組み合わせで表す方法で、ある色を表す数値を「空間の座標」と考えると様々な色は「空間の中に広がっているもの」として考えられる。この色を表す空間のことを色空間いう。例 RGB, XYZ。

ACES

米国・映画芸術科学アカデミー (AMPAS, Academy of Motion Picture Arts and Sciences) が策定したデジタル映像制作における色管理・色再現方法の新しい業界標準規格

となり、それらの色域を xy 色度図上で示すと以下のようなになる。

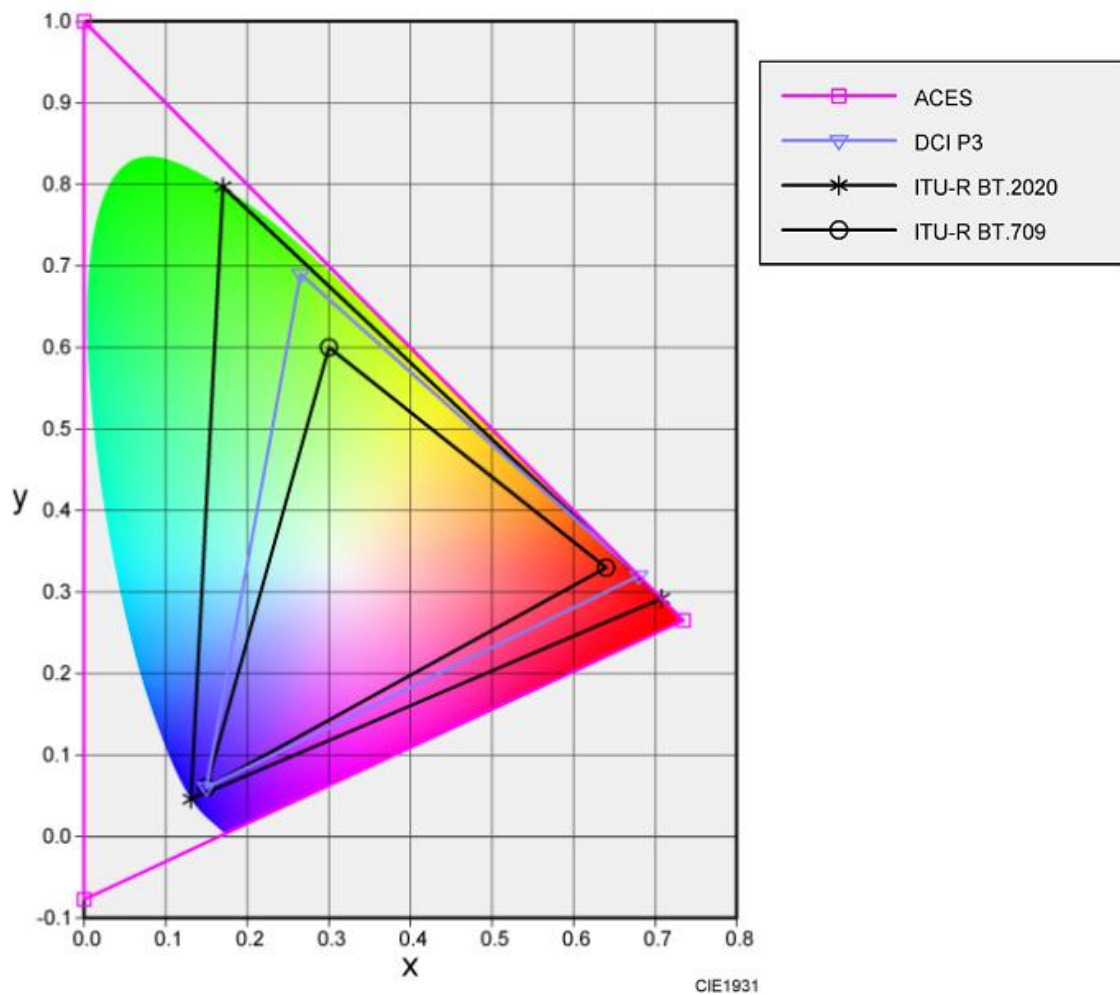


図 10 代表的な色域の xy 色度図

6. 5. 2. 背景と経緯

1999年に Industrial Light & Magic により開発され、2003年の初めに C++ライブラリのオープンソースとしてリリースされた。Weta Digital, Pixar Animation Studios, Autodesk などといった主な業界リーダーによって検証された後、2013年には Weta Digital と Industrial Light & Magic の共同で OpenEXR バージョン 2.0 がリリースされた。このメジャーバージョンアップに伴い、以下のいくつかの新機能がサポートされた。

1. Deep Data サポート

ピクセルは可変長のサンプルのリストを格納可能。それぞれのピクセル内に、深度によって異なる複数のデータを格納でき、Hard-surface と Valumetric の両方をサポート。

2. Multi-part イメージファイル

1つのファイル内に複数のデータパーツを格納することにより高速に動作することが可能。

3. 最適化されたピクセル読み込み

SSE プロセッサのデコード処理により新旧バージョンのファイルの読み込み速度が高速化。

4. Namespacing

異なるバージョンのライブラリでコンパイルされたパッケージの競合を避けるための Namespace 導入。

最新版として、v2.2.0 が 2014 年 8 月 10 日にリリースされている。 [64] [65]

6. 5. 3. 特徴

OpenEXR には以下の特徴がある。

- ・既存の 8 ビットおよび 10 ビット イメージ ファイル形式に比べて、ダイナミック範囲と色精度が向上。
- ・16 ビット浮動小数点、32 ビット浮動小数点、および 32 ビット整数ピクセルのサポート。「Half Float(ハーフ フロート)」と呼ばれる 16 ビット浮動小数点形式は、NVIDIA の CG グラフィック言語の half データ型と互換性があり、NVIDIA の新しい GeForce FX および Quadro FX 3D グラフィックス ソリューションでネイティブでサポートされている。
- ・複数のロスレス イメージ圧縮アルゴリズム。OpenEXR に組み込まれている一部のコーデックでは、フィルム グレインの含まれるイメージで、2:1 のロスレス圧縮比率を実現。
- ・拡張性。OpenEXR ソフトウェア ディストリビューションに組み込まれている C++ クラスを拡張することで、新しい圧縮コーデックとイメージ タイプを簡単に追加可能。新しいイメージ アトリビュート(文字列、ベクトル、整数など)を OpenEXR イメージ ヘッドに追加することもでき、既存の OpenEXR アプリケーションとの後方互換性も確保されている。

OpenEXR Bitmap I/O は、OpenEXR 形式自体の柔軟性を利用することで、標準の OpenEXR 形式を拡張するソフトウェアのことで多くの OpenEXR ファイル読み込みが実装の制限および現在の標準への制限によって認識できない形式であっても、このソフトウェアを使用すれば、チャンネル、アトリビュート、および汎用 RGBA データをそのような形式で書き出すことができる。例えば、完全な 32 ビット浮動小数点 RGBA ファイルを書き出すことが可能。OpenEXR API 自体はその機能を完全にサポートしており、それらのファイルを標準の OpenEXR ライブラリセットを使用して書き出すことができるが、ほとんどのアプリケーションは「標準的」な EXR ファイルと見なされている 16 ビット浮動小数点(Half Float) の RGBA ファイルだけしか読み込まない。 [66]

6. 5. 4. ドキュメント公開状況

Industrial Light & Magic の Web 上で 2013 年 11 月 5 日に更新された Technical Introduction が公開されている。 [64]

6. 6. BPG

6. 6. 1. 概要

BPG は、Better Portable Graphics の略で、フランスのプログラマ Fabrice Bellard が 2014 年に提唱した新しい画像フォーマットのことで、動画圧縮技術である HEVC のサブセットとして開発され、最終的に、現在もっとも普及している JPEG を BPG に置き換えることを目的としている。

6. 6. 2. 背景と経緯

JPEG フォーマットは、ファイル容量をとて小さくでき、表示するための処理も軽く、フルカラー写真を見るのに適していますが、写真を大きく美しく見せたいと思った場合、これに比例してファイルサイズがどうしても大きくなってしまおうというジレンマを抱えているおり、Bellard が提唱するに至った。

JPEG と同じ画質でファイルサイズを小さくできるため、特に 3G や LTE で通信するスマートフォンなどでは、よりストレスなく画像が見られるようになり、かつ通信容量が少なくなる分、通信料金が安価になることも考えられ、スマートデバイス時代に合ったフォーマットといえる。

しかしながら、画像を作成するためのソフトウェアや、BPG を表示させるためのブラウザが現時点で普及していないことが課題として挙げられる。一般のブラウザで BPG を表示させるためには、運営者側が JavaScript をサイトに設置すれば可能となるが、画像作成を含め、それをサポートする市場環境が一番大きく影響する。 [67]

6. 6. 3. 特徴

Bellard が「JPEG と同じような画質なら、はるかに小さなサイズを実現する (Files are much smaller than JPEG for similar quality)」とうたっているのが大きな特徴となっている。特に、ファイルサイズを小さくすればするほど BPG の画質が優れており、JPEG で目立つノイズが見当たらないこともあげられる。

また、「非可逆圧縮」のみならず、GIF や TIFF でも対応している「可逆圧縮」にも対応し、Exif (イグジフ) や CMYK などにも対応しているのも特徴。Exif はデジタルカメラで撮影した際、画像に埋め込まれるシャッタースピードや露出などの情報で、CMYK は印刷用に最適化された色データのこと。このほかグレースケール (白黒画像) やアルファチャンネルといった色空間情報も保持可能。 [67]

その他の特徴としては、 [68]

- ・多くの Web ブラウザでサポートされている。ただし Javascript デコーダが必要。
- ・オープンビデオ圧縮規格である HEVC のサブセットをベースに開発
- ・JPEG と同様にグレースケール、YCbCr=4:2:0、4:2:2、4:4:4 をサポート。
- ・RGB、YCbCr、CMYK などの色空間をサポートしアルファチャンネルや可逆圧縮にも対応。
- ・より高いダイナミックレンジを実現するため、各チャンネル 8 から 14 ビットまでをネイティブサポート
- ・アニメーションをサポート

があげられる。 [68]

6. 6. 4. ドキュメント公開状況

Fabrice Bellard が Web 上に Technical Information を公開している。 [68]

6. 7. DNG

6. 7. 1. 概要

Digital Negative の略で Adobe Systems によって開発されたフォーマット。デジタルカメラによって生成された各メーカー独自の RAW ファイルを一般公開できるようにしたアーカイブ形式のフォーマット。

6. 7. 2. 背景と経緯

RAW ファイル形式は、クリエイティブなプロフェッショナルに創造性の面でより優れた制御を提供するため、デジタルフォトグラフィのワークフローで主流を占めている。ただし、カメラでは多様な RAW 形式 (一般公開されていない仕様) が使用されており、さまざまなソフトウェアアプリケーションで各 RAW 形式を読み込めない場合がある。その結果、このような独自の RAW 形式を長期間のアーカイブ用として使用するのにはリスクが伴い、複

雑なワークフローでこれらのファイルを共有するのはより困難になる。

これに対するソリューションが Digital Negative (DNG) である。DNG はデジタルカメラによって生成された RAW ファイル向けの一般公開されたアーカイブ形式のことで、個々のカメラモデルによって作成された RAW ファイルのオープンスタンダードの欠落に対処し、フォトグラファーが将来的にも確実にファイルにアクセスできるようにしている。

Apple や Google をはじめとする数百社のソフトウェアメーカーが DNG のサポート機能を開発しています。Leica、Casio、Ricoh、Samsung、Pentax などの有名なカメラメーカーは、直接 DNG をサポートするカメラを市場に導入している。 [69]

6. 7. 3. 特徴

DNG では、RAW フォーマットの基盤となっている TIFF フォーマットをベースに、さまざまなカメラのデータがデジタル写真をオリジナルの状態のまま、単一のフォーマットで保存できる。

その特徴として、カメラと設定に関する詳細な情報を含んだメタデータがあり、このメタデータ情報に基づいて、DNG 互換ソフトウェアやハードウェアは、新しく発表されたカメラにも対応することが可能。

DNG の全フォーマットは同社サイトに掲載されており、法的な制限やロイヤリティが発生することなく、無償で利用することができる。 [70]

また、以下にあげる利点があげられる。

フォトグラファーの場合：

DNG 形式によって、デジタル画像ソフトウェアソリューションで将来的により簡単に RAW ファイルを開けるようになるため、アーカイブの信頼性が高まる。

単一の RAW 処理ソリューションにより、複数のカメラモデルやメーカーの RAW ファイルを処理する際に、ワークフローの効率が向上。

公開済みのドキュメント化された仕様をすぐに利用できるため、カメラメーカーはこの仕様を簡単に採用できます。この仕様は、技術革新に応じて更新される。

ハードウェアおよびソフトウェアメーカーの場合：

新機種のカメラの RAW ファイルは Photoshop や他のアプリケーションによってすぐにサポートされるため、DNG によって新しいカメラを導入しやすくなる。

DNG 形式を採用すると、新しい形式の開発が不要となり、カメラテストが簡素化されるため、研究開発コストを節減できる。

共通の形式を使用することで、サードパーティアプリケーションによる変換品質を綿密に制御できる。この仕様では、独自のメタデータを DNG ファイルに追加して、差別化

を図ることができる。 [69]

6. 7. 4. ドキュメント公開状況

2004年9月に Adobe Systems が「DNG仕様」のバージョン 1.0.0.0 をリリースし、2012年10月にリリースされた 1.4.0.0 が WEB 上で公表されている。 [71]

6. 8. RAW

6. 8. 1. 概要

カメラに搭載されている、CCD や CMOS などの撮像センサーからの出力信号を、“RAW(「生」または「未加工」)”に近い状態で保存したファイル形式のこと。そのファイル自体では画像ファイル形式となっておらず、デジタル現像処理を行うことで、画像や映像として見るることができる。 [72]

なお、各カメラメーカーならびに各カメラ製品に RAW ファイルは異なっており固有のものである。そのため、デジタル現像するツールはそれぞれの RAW ファイルに対応している必要がある。上位機種で RAW 出力が可能であることが多いが、すべてのカメラで RAW 出力可能ではない。

6. 8. 2. 背景と経緯

RAW フォーマットはデジタル・カメラのセンサーから出力された情報を可能な限り生のまま保存することを目的に考えられたフォーマットで、その点で通常の画像フォーマットとはかなり仕組みが異なる。まずフォーマットが各メーカーごとに異なる、というだけでなく、同じメーカーにおいても機種(使っているセンサーの種類)ごとに異なっているのが普通。色情報はリニアに書き出されるが、ビットデプスがそのセンサーの能力に依存するため、12、14、16ビットなどとまちまちとなっている。また、多くの RAW 画像はイメージ・プレーンが1つしかありません。これはデジタル・カメラのセンサーの多くが単板式と呼ばれる1枚で全ての色情報を拾う方式になっているため、このセンサーの前に R、G、B 各色のフィルタがそれぞれ異なる画素に割り当てられ、他の色の情報、例えば R のカラー・フィルタが割り当てられている画素は G、B を周りにあるその色情報を持った画素から補完して求めるようになっている。この RGB のカラー・フィルタがセンサー上にモザイクの様に配置されていることから、この補完プロセスをデモザイク、などと呼んでいる。このデモザイクのプロセスもまたメーカーやセンサーによって異なり、これがよりいっそう RAW フォーマットの統一化を難しくしている。これに対してアドビが、カラー・フィルタの配列情報をファイル内に保持することが出来る DNG と呼ばれるフォーマットを提唱して、統一化を呼びかけているが、このフォーマットを利用しているメーカーは今のところ一部に限られている。 [73]

また、スチルカメラ向けではあるが OpenRAW という、カメラメーカーに自社フォーマッ

トの仕様を完全公開するように働きかけ、写真家などの活動を支援するワーキンググループが活動を 2005 年から開始している。 [74]

6. 8. 3. 特徴

カメラ内で明るさや色が確定され、さらに圧縮処理が加わったファイルフォーマットでは、後から補正を繰り返すほど画質が劣化してしまうが、RAW データなら、現像ソフト上で繰り返し補正しても、元の品質を保つことができるのがメリットといえる。そして、撮影時にホワイトバランスなどの設定を気にせずに被写体に集中でき、撮影後に各種の設定（シャープネスやコントラスト、ホワイトバランス等）をユーザー自身が思うように調整することも可能。例えば、JPEG で黒つぶれや、白飛びしてしまった部分にはほとんど情報が残っていないので、もはや手の施しようがありませんが、RAW データの場合、一見、黒つぶれして真っ黒に見える部分にもしっかりと情報が残されており、明るく補正し復元することができる。また、白飛びの場合での補正も同様に可能。 [72]

なお、広色域やハイダイナミックレンジ（HDR）に変換する際の元ファイルフォーマットとして、ある決められた色域やレンジに制限する前の状態の RAW を選択する必要がある。

6. 8. 4. ドキュメント公開状況

RAW ファイルごとに各カメラメーカーが情報を保持している状態であり、基本的に公開はされていない。しかし、各カメラメーカーからデジタル現像処理を行うためのツールやサードパーティのファイル変換ツールへのプラグインや SDK の提供を行っている。

7. 音声フォーマットの種類

7. 1. WAV

7. 1. 1. 概要

Windows 標準の音声ファイルの形式。「WAVE 形式」などとも呼ばれる。音声信号をデジタルデータに変換したものを記録するための保存形式などを規定している。圧縮（符号化）方式については規定しておらず、任意のものを利用することができる。デフォルトでは PCM（無圧縮）方式や ADPCM 方式などの圧縮方式に対応している。Microsoft や他社が提供する「CODEC」と呼ばれるソフトウェアを追加することにより、MPEG-1 Audio Layer III 方式（MP3）や、Indeo

Audio 形式などの様々な圧縮方式を利用することができるようになる。 [75]

7. 1. 2. 背景と経緯

WAV は WAVE ファイルの俗称で、拡張子が .WAV であることからこの名前がつけられた。もともとは Microsoft の Windows 用に作られた規格で、正式には RIFF waveform Audio Format と言い、1991 年に IBM® と Microsoft が共同で制定した。

RIFF とは Resource Interchange File Format の略で、単に音声のみならず、さまざまなデータを交換するための包括的なフォーマットとなっている。WAV は、この RIFF の枠組みを使って音声を交換するための派生形である。

1991 年には Microsoft が「Windows 3.0 MME (Windows 3.0 with Multimedia Extensions)」を発売された年で、それまで音声や動画などの取り扱いが一切できなかった Windows に MME を追加することで音声や動画への対応が可能になった。その際の音声形式として、WAV が作成されたという経緯がある。 [76]

7. 1. 3. 特徴

WAV フォーマットはシンプルで、ヘッダのあとには生データが配置されるだけのプログラムなどで取り扱うには便利となっている。その反面、データサイズはとても巨大になる。音楽 CD としてメディアをやり取りする際の活用もあるが、インターネットなどでデータ交換を行なうにはデータサイズが大きすぎることもある。

そのため、圧縮方式が検討されており、Microsoft は「ACM (Audio Compression Manager)」と呼ばれる圧縮方法を標準で提供している。使われてはいるものの、広く普及するという状況には至っていない。その理由の 1 つは ACM の圧縮率がそれほど高くないという点で、その後に登場した「MP2/MP3」が音声圧縮の主流になった。Microsoft にしても、現在は「WMA (Windows Media Audio)」に注力しており、結果として ACM は過去との互換性を保つために維持されているといった扱いになっている。例えば、MP2/MP3 は独自の「.MP2/.MP3」という拡張子を使い、WMA もやはり「.WMA」を使うという具合に、WAV ファイルに独自音声コーデックを組み合わせるといった動きはほとんど見られず、結果として WAV は WAV フォーマットそのものでしか使われていない。

非可逆圧縮、つまり、ロスレス圧縮についても「WMA Lossless」や「FLAC」、「TTA」、「Monkey's Audio」などのフォーマットが存在しているため、こちらの用途でも普及しているとはいえないものがある。なお、マルチプラットフォームで、Mac や Unix/Linux でも WAV を扱えるツールは存在するが、これは WAV のフォーマットが非常に単純でインプリメントしやすいから、という以上の理由ではなく、逆にこれが ACM の普及を妨げる理由にもなっている。

ちなみに、オリジナルの WAV フォーマットは 2GB を越えるファイルフォーマットに対応していない (Data sub-chunk の「Subchunk 2 Size」が、2GB までしか値を入れられない) という問題がある。これを解決した「RF64」という拡張フォーマットも存在するが、普及

しているとは言いがたい状況となっている。 [76]

7. 1. 4. ドキュメント公開状況

以下の WAV に関連するドキュメントが Web 上に公開されている。

Microsoft の

- WAVE and AVI Codec Registries [77]
- Microsoft Multimedia Standards Update New Multimedia Data Types and Data Techniques (Revision: 3.0) [78]

IBM と Microsoft 共同の

- Multimedia Programming Interface and Data Specifications 1.0
Issued as a joint design by IBM Corporation and Microsoft Corporation [79]

7. 2. BWF

7. 2. 1. 概要

Broadcast Wave Format の略で、放送局や業務用途での利用を想定し、EBU（ヨーロッパ放送連合）が制定したオーディオ・データの交換用標準ファイル・フォーマット。Windows の WAV フォーマットをベースにして、データ形式やファイル形式、各種属性などを明確にドキュメント化し、コンピュータや機器によらず、相互にデータを交換できるように決められている。また、日本国内で業務上必要となる機能拡張を行った BWF と上位互換性を持っている BWF-J (Broadcast Wave Format - Japan) も存在する。 [80]

7. 2. 2. 背景と経緯

Windows で広く利用されている WAV フォーマットは、内部にチャンク*²¹と呼ばれる複数のデータ・ブロックを格納することができる柔軟性の高いファイル・フォーマットである。そのため WAV ファイルを作成するアプリケーションや機器ごとに互換性のないデータになる可能性があった。BWF ではこのチャンクに格納するデータの形式を厳密に規格化し、主に放送業務用途で利用する標準的なサブセットを決め、さらにタイトルや日時などの補助的な情報も格納できるようにしている。音声データのフォーマットは、放送用途を考慮して、16bit/48KHz/ステレオの非圧縮 PCM 形式か圧縮された MPEG-1 Layer 2 形式を主としている。 [80]

また、日本国内において、1997 年に、JPPA*²²オーディオ委員会（当時）の中に「互換性

*²¹ チャンク

WAVE ファイルを構成する基本単位で、ファイルは複数のチャンクが順番につながった構造となっている。チャンクはある特定の機能（これをチャンクタイプと言う）を持っており、音声データは data chunk (wave-data) に記録され、音声データの形式は fmt chunk に記述されている。

*²²JPPA (Japan Post Production Association: 一般社団法人日本ポストプロダクション協会) ポストプロダクションに関する調査研究・データ収集等を行う団体。

に関する委員会」が設けられ、2ch アナログテープレコーダーの代替機となりうる 2ch デジタルディスクレコーダーのファイルフォーマットについて検討を開始。EBU の BWF 規格を基に、CUE 信号機能を盛り込んだ日本独自の拡張仕様を規格化するためのワーキンググループが設置された。その後、2000 年の 5 月に BWF-J 第 1 版「Broadcast Wave Format-Japan (BWF-J) Level 1 運用規定」を発行。

2004 年 7 月に BWF-J 第 2 版「BWF-J レベル 1 運用規定」し、同時に民放連*²³が BWF-J を基にした、NAB 技術基準「R024-2004 音声ファイルによる番組交換規準」を制定。

2009 年 11 月に BWF-J 第 3 版「BWF-J オーディオファイルフォーマット」を公開。また、JEITA が BWF-J 上位互換規格となる「CP-2318 放送用音声ファイルフォーマット」を発行した。なお、納品としては、主に 16bit/48KHz であるが、24bit でも規格化されている。[81]

7. 2. 3. 特徴

各種コンピュータプラットフォームやアプリケーションでの音声データの円滑な交換を可能にするため、ファイルヘッダに拡張情報を追加している。具体的には、標準の WAV ファイルにチャンクが追加され拡張チャンク格納される。

BWF-J ファイルは、BWF ファイルに幾つかのチャンクを追加し機能の拡張を行っている。ファイルを構成するために必須となるチャンクとしては、以下になる。

- broadcast audio extension chunk (bext chunk)

放送局での運用に必要な情報を記述するためのチャンク。

- format chunk (fmt chunk)

オーディオデータの信号形式（サンプリング周波数、ビット数、ステレオ/モノなど）を示すチャンク

- wave-data chunk (data chunk)

Wave ファイルの音声データ部分。単一又は複数の音声データを格納できる。

オプションチャンクとして、放送用途で BC\$ラベルを使用する際に必要となるチャンクとしては以下になる。

- cue-points chunk (cue chunk)

Wave data に対し任意の位置に Cue-point を設定するチャンク。

- playlist chunk (plst chunk)

実行する Cue-point を記述するチャンク。

- label chunk (labl chunk)

cue-points チャンク内の cue-point に、文字列による名前を付けるためのチャンク。

*²³民放連（一般社団法人 日本民間放送連盟）

基幹放送（民放）事業者を会員とする一般社団法人で“民放共通の問題を処理”し、“民放の公共的使命達成”を目的として組織された連盟。

- file chunk (file chunk)

cue-points チャンク内の cue-point に、関連するファイルを付け加える(埋め込む) ためのチャンク。 [82] [83]

7. 2. 4. ドキュメント公開状況

以下の BWF に関連するドキュメントが Web 上に公開されている。

- EBU-TECH 3285

Specification of the Broadcast Wave Format (BWF)

A format for audio data files in broadcasting Version 2.0 [84]

- JPPA-1-2009

BWF-J オーディオファイルフォーマット 第 3 版 [82]

7. 3. MP3

7. 3. 1. 概要

正式名称は、MPEG Audio Layer-3 で、1998 年以降から普及した音声コーデック。非常に圧縮率が高いため、データ容量を抑えることができ、人間の聴覚心理を利用した圧縮をするため、音質的な劣化を感じるものが少なくなるよう設計されている。 [85]

7. 3. 2. 背景と経緯

1970 年代初頭にドイツのエルランゲン-ニュルンベルク大学のディーター・ザイター (Dieter Seitzer) 教授は、電話回線を通じて音楽を圧縮電送するという課題に取り組み始め、研究チームを設立。1979 年、そのチームは、音声圧縮の最初のデジタル信号プロセッサを開発、音響心理学でも解説されている人間の聴力特性を活用した、知覚的な音声符号化の基本的な原則ならびいくつかの符号化アルゴリズムを開発した。

その後、デジタル・オーディオ放送 (DAB) 開始のための欧州連合の資金による EUREKA プロジェクト、EU147 の一環として、エルランゲン-ニュルンベルク大学とフラウンホーファー研究所の間で研究同盟を経て、1989 年にブランデンブルグは人間の聴力領域の上下にある音をスキャンし、除去する OCF (Optimum Coding in Frequency Domain = 周波数領域における最適符号化) アルゴリズムをテーマに博士課程論文を完成させ、OCF のためのリアルタイム・システムのソフトウェアは、ベルンハルト・グリル (Bernhard Grill) によって開発された。

1991 年、フラウンホーファー・チームは、ハノーバー大学、AT&T、トムソンとの合同研究チームを組織し、OCF を改善したアルゴリズムである ASPEC (Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding) と呼ばれる強力な新しい音声コーデックを開発し、1988 年に始まった MPEG 音声標準の進化形として提案された。実際、少数の ASPEC スタジオ装置を製造・販売し、放送スタジオから I S D N によって確実に音楽を送信する最初のアプリケー

ションとして用いられた。

ASPEC から mp3 (MPEG-1, Layer3) コーデックへの進化は、他の研究である MPEG-1 音声コーダー (例えば MPEG-1, Layer2 のポリフェーズ・フィルターバンク) とジョイント・ステレオ・コーディングのバージョン追加によりいくつかの技術的調和を生み出した。それは、単一の信号によってコーダーを機能させるだけではなく、より能率的にステレオ素材を取り扱うもので、この mp3 技術は、ジュエルゲン・エール (Juergen Herre) によって開発された。

1992 年には、MPEG と ISO は、ビデオ CD (CD-I) に用いられる MPEG-1 と呼ばれている最初の圧縮の標準化を命じ、3つのコーデック・フォーマット (レイヤー-1, -2, -3) の一般的な体系化が規定された。なかでも Layer 3 はより効率的なコーデックであり、音楽を当時の PC 環境 (小容量なハードディスク、低速な 28.8kbps の通信速度) においても、インターネットを通じて音楽ファイルを移す画期的な方法として、世の中に定着していき、MPEG Layer-3 は、衛星デジタル・オーディオ放送システムのための音声フォーマットとしても選ばれた。 [86]

7. 3. 3. 特徴

Layer (層) は 1~3 があり、その中で最も圧縮率が高いのが「Layer-3」になり、MP3 コーデックで符号化したデータを、そのまま MP3 フォーマットに格納して MP3 形式とすることも、MPEG 等の動画コンテナの音声部分として他のコンテナファイルに格納することも可能。

非可逆圧縮のため劣化を元に戻すことはできないが、CD 並の音質を保ったまま、約 10 分の 1 程度までサイズを圧縮することができるコーデック (フォーマット) となっている。

MP3 形式の音楽ファイルは、高音質でファイルサイズも 1 曲 3~5MB 程度と小さいことから、ウェブや携帯音楽プレイヤー等で広く普及しており、MP3 形式は今現在で最も普及している音声圧縮形式と言える。

MP3 形式 (フォーマット) の音声ファイルの作成には、「LAME (レイム)」などの MP3 エンコーダが用いられるのが一般的で、その優れた MP3 エンコーダや、多くのデコーダ (コーデック規格に基づいてフォーマットを復号化するソフトウェアや機器)、プレイヤーソフトがライセンスフリーで利用できることが普及の要因と言われている。ただし、著作権保護のための不正コピー防止機能等を持っていないため、MP3 形式にコピーされた不正ファイルがウェブを介して出回り、社会問題となっている。

また、MP3 をベースに音質と圧縮率を向上させ、音質を保ったまま MP3 の約半分まで圧縮できる「MP3PRO (エムピー スリー プロ)」という圧縮方式も開発されている。

[87]

7. 3. 4. ドキュメント公開状況

以下を含む関連ドキュメントが WEB 上にまとめられている。 [88]

- ISO/IEC 11172 - Coding Of Moving Picture And Associated Audio For Digital Storage Media At Up To About 1,5 Mbit/s - Part 3
- ISO/IEC 13818 - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio - Part 3: Audio
- ISO/IEC 14496 - Very Low Bitrate Audio-Visual Coding - Part 3: Audio など

7. 4. AAC

7. 4. 1. 概要

Advanced Audio Coding の略で、MP3 などを超える高音質・高圧縮を目指して標準化された形式。iPod やウォークマンなどの携帯音楽プレイヤー、プレイステーション・DS などのゲーム機、携帯電話など多くの機器やソフトウェアが再生に対応。 [85]

7. 4. 2. 背景と経緯

AAC は、MPEG の音声圧縮規格の 1 つで、1997 年に「MPEG-2 AAC」として規格化された。MPEG-1 の登場後、MPEG-2 が開発されたが、MPEG-2 では互換性が重視された。MPEG-2 オーディオは MPEG-1 オーディオと基本的に同一の技術で、用途拡大のためにいくつかの機能が拡張されている。具体的には、低いビットレートで音質を改善するための低いサンプリング周波数の設定、サラウンド再生を可能とする多チャンネルオーディオなどが挙げられる。ただし、MPEG-1 との互換性を重視したために制約が多く、音質改善には限界があった。

この問題を解消するため、従来規格との互換性に縛られない音声圧縮技術として開発されたのが MPEG-2 AAC となる。AAC は 5 チャンネルの音声信号を 320kbps に圧縮した場合でも圧縮前の音声と違いが聞き分けられない音質の良さを目標に開発され、モノラルやステレオでも利用が可能。音質面では、96kbps の AAC が 128kbps の MP3 と同等とされている。

AAC は MPEG-4 規格にも採用された。より低いビットレートでの圧縮率を改善するため、MPEG-4 ではさまざまな音声圧縮技術が導入された。その中で「楽音」と呼ばれる音楽を含む高品位な音声圧縮のための技術として、AAC と「TwinVQ」が採用された。MPEG-4 AAC は MPEG-2 AAC と基本は同一で、音質を改善するためにいくつかの点が強化されている。

[89]

7. 4. 3. 特徴

AAC は MP3 と同様に、AAC コーデックで符号化されたデータ圧縮形式をそのまま AAC フォーマットに格納して AAC ファイルとすることもできる、またコンテナファイルに格納することも可能。拡張子は、どのようなコンテナに格納するかによって変わる。

例えば、MPEG4 のコンテナフォーマットに格納すれば「.mp4」となり（音声ファイルの場合は「.m4a」となることが多い）、MP3 と同様に AAC データをそのままファイル化した場合は、拡張子が「.aac」となる。（MPEG4 コンテナには、AAC 以外にも MP3 などを格納することが可能。）

AAC 形式の音声ファイルは、MP3 形式よりも 1.4 倍ほど圧縮率が高く、サンプリング周波数も、MP3 が 48KHz までだったのに対し、AAC は最大 96KHz までをサポートしている。

主に、Apple 製品に代表される携帯マルチメディアプレイヤーや、携帯の着うた、ウェブ上の音楽配信、デジタル放送の音声部分などで広く利用されており、また不正コピー防止機能を備えている。[87]

MPEG オーディオは、一部の例外を除いて「聴覚心理」を利用して圧縮率を高めている。聴覚心理とは、例えば大きな音があるとその周辺の周波数の小さな音の有無が知覚できない、というような人間の耳が持ついくつかの特性のことだ。この特性を利用して、圧縮により発生する雑音を、聞こえない領域に集めるように圧縮することで、音質を改善できる。

具体的には、まず入力信号を周波数帯域ごとに分割し、分割した周波数帯域ごとに音声の大きさを比較し、小さな音にはあまりデータを割り当てないようにする。入力された音声信号は、フィルターバンクで周波数帯域ごとに分割される。これを MDCT 計算でさらに細かなスペクトルに分解する。その後、「TNS (Temporal Noise Shaping、時間領域雑音整形)」処理で、圧縮処理に伴う雑音のレベルを、音の大きさに合わせて変化させ、音が小さな部分では雑音も小さくして聴感を向上させる。

その後の後方予測処理で、直前のデータと比較し差分を取ることで、データ量を削減する。非線形量子化処理でビットレートを意識しつつビット列に変換し、さらにハフマン符号化でビット列をハフマン符号に置き換え、圧縮する。AAC ならではの処理は、TNS と後方予測だ。そのほかの処理も MP3 から具体的な内容が変更されている。AAC 規格では、デコーダの回路規模やソフト規模を制限しやすいように、3つのプロファイルを規定している。LC (Low Complexity)、メイン、SSR (Scalable Sampling Rate) の 3種類だ。メインプロファイルは圧縮率が良いが、メモリや CPU パワーを消費する。

LC プロファイルは TNS 処理を簡単にし、後方予測を使わない。SSR プロファイルは LC プロファイルと同様な制限があるが、入力された周波数帯域の 4 分の 1~2 分の 1 の帯域のみを符号化でき、低いサンプリングレートと低いビットレートの組み合わせに有効だ。ちなみに、iPod は LC プロファイルのようだ。携帯電話、デジタル放送の AAC も LC プロファイルである。

2003 年 3 月には AAC を拡張し、音質を大きく改善する技術が MPEG 規格に新しく取り入れられた。スウェーデンの Coding Technologies が開発した「SBR (Spectral Band Replication: スペクトル帯域複製)」という技術で、これを取り入れた AAC は、「HE (High Efficiency) -AAC」や「aac-Plus」と呼ばれる。aacPlus は Coding Technologies の商標なので、最近では HE-AAC と呼ぶことが多い。

SBR 技術を使うと、AAC の音質を 30%程度改善できる。同社のデモでは 48kbps でオーディオ CD 相当のステレオ 2ch、128kbps で 5.1ch サラウンドを実現している。

その技術の仕組みとして、高い周波数成分の楽音は低い周波数成分と強い相関関係にあることを利用している。HE-AAC エンコーダでは、サンプリング周波数が 44.1kHz のソースなら、半分の 22.05kHz でエンコードする。高い周波数成分の情報は前処理で抜き出し、低い周波数成分のエンコード結果の AAC ストリームに多重化して格納する。逆に HE-AAC をデコードする場合は、低い周波数成分（この場合は 22.05kHz）の AAC データのデコード結果に、後処理で高い周波数成分のデータを合成する。ここでは、高い周波数成分のデータ作成に低い周波数成分の情報を利用する。

HE-AAC は、MPEG-2 AAC と MPEG-4 Audio AAC の両方で、追加規格として採用された。SBR 技術は、ほかのオーディオ圧縮技術にも適用でき、MP3 に適用したものが「mp3PRO」としてリリースされている。 [89]

7. 4. 4. ドキュメント公開状況

以下のドキュメントが規格化されている。

- ISO/IEC 13818-7:2006

Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information -- Part 7: Advanced Audio Coding (AAC)

- ISO/IEC 14496-3:2009

Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 3: Audio

商標について

Microsoft、Windows、Xbox Live、Internet Explorer は、米国 Microsoft Corporation の、米国およびその他の国における登録商標または商標です。

Apple、Mac、QuickTime、Final Cut Pro、ProRes、Safari は、米国 Apple Inc の、米国およびその他の国における登録商標または商標です。

Indeo、Intel は、米国とその他の国における Intel Corporation の登録商標です。

RED のその他の商標、サービスマーク、商品名のロゴ、製品名は、米国及びその他の国にある Red.com, Inc. の商標または登録商標です。

Blu-ray Disc はブルーレイディスクアソシエーションの商標です。

Google、Google Chrome、YouTube、Android は、Google Inc. の商標または登録商標です。

P2、AVC-Intra、AVC-Ultra は、パナソニック株式会社の商標です。

Mozilla、Firefox の名称は、米国 Mozilla Foundation の米国およびその他の国における登録商標または商標です。

Avid、Avid DNxHD、Avid DS Nitris、Avid Unity、Avid Unity ISIS は、アメリカ合衆国あるいはその他の国における Avid Technology, Inc. およびその子会社の登録商標または商標です。

Netscape は、米国 Netscape Communications Corporation の登録商標です。

Opera は、Opera Software ASA の商標または登録商標です。

Dolby、ドルビー、Pro Logic 及びダブル D 記号はドルビーラボラトリーズの商標です。

Adobe、AfterEffects、Flash、Flash Player は Adobe Systems Incorporated (アドビ システムズ社) の商標です。

XDCAM、XDCAM EX、MPEG HD422、SxS、XAVC、XAVC S はソニー株式会社の商標です。

PSP、Play Station は株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメントの登録商標です。

Dolby、ドルビーはドルビーラボラトリーズの登録商標です。

Kodak は、Eastman Kodak 社の米国ならびに他の国における商標または登録商標です。

Black Magic Design、HyperDeck Shuttle2、HyperDeck Studio は Blackmagic Design Pty. Ltd の登録商標です。

OpenEXR、Industrial Light & Magic、ILM は Lucasfilm Ltd.の登録商標です。

Editcam は池上通信機株式会社の登録商標です。

GOPRO、Go Pro Cineform は、米国およびその他諸国における GoPro, Inc.の商標または登録商標です。

Skype の名称、これに関連する商標は、Skype またはその関連事業体の商標です。

IBM は、International Business Machines Corporation の米国およびその他の国における商標または登録商標です。

その他本文中に記載されている会社名、製品名およびシステム名は、各社の商標または登録商標です。

引用文献

- [1] デジタルアニメ制作技術研究会・東京工科大学 片柳研究所 クリエイティブ・ラボ, プロフェッショナルのためのデジタルアニメマニュアル, 2009.
- [2] 野村望, “動画ファイル,” 2012. [オンライン]. Available: http://www.asahi-net.or.jp/~mf4n-nmr/movie_file.html. [アクセス日: 30 1 2015].
- [3] U.G, “可逆圧縮・不可逆圧縮とは?,” [オンライン]. Available: <http://www.gigafree.net/faq/word/reversible.html>. [アクセス日: 28 2 2015].
- [4] Incept Inc., “IT用語辞典 e-Word ビットレート 【bit rate】,” [オンライン]. Available: <http://e-words.jp/w/E38393E38383E38388E383ACE383BCE38388.html>. [アクセス日: 28 2 2015].
- [5] 鹿野宏, “第10回 ビットレートを制するものは動画出力を制する!,” 13 10 2013. [オンライン]. Available: <http://shuffle.genkosha.com/products/dslr/nofear/8416.html>. [アクセス日: 28 2 2015].
- [6] “ワークフローのカギを握る MXF 01-ワークフロー構築前に知っておきたい MXF の基礎知識,” [オンライン]. Available: <http://www.pronews.jp/special/0902041101.html>. [アクセス日: 30 1 2015].
- [7] Digital Cinema Initiatives, LLC, “Digital Cinema System Specification Version 1.2 with Errata as of 30 August 2012 Incorporated,” 30 8 2012. [オンライン]. Available: http://dcimovies.com/specification/DCI_DCSS_v12_with_errata_2012-1010.pdf. [アクセス日: 22 2 2015].
- [8] The FileBase Book 編集委員会, The FileBase Book, ニューメディア, 2009.
- [9] AMWA, “AS-07 MXF Archive and Preservation Format REVIEW DRAFT, September 23, 2014,” 23 9 2014. [オンライン]. Available: http://www.amwa.tv/downloads/as-07/AS-07_reviewDraft_20140923.pdf. [アクセス日: 22 2 2015].
- [10] AMWA, “AS-07 Baseband Shim Derived from AS-07: MXF Format for Archive and Preservation REVIEW DRAFT September 23, 2014,” 23 9 2014. [オンライン]. Available: http://www.amwa.tv/downloads/as-07/AS-07_basebandShim_reviewDraft_20140923.pdf. [アクセス日: 22 2 2015].

- [11] “第1回 MXF とは何か,” [オンライン]. Available: http://www.mpeg.co.jp/libraries/mxf/mxf_01.html. [アクセス日: 9 2 2015].
- [12] 成見淳, “MXF 規格の概要,” *映像情報メディア学会誌*, 第 Vol.61, 2007.
- [13] Digiarty Software, “MOV 形式とは,” [オンライン]. Available: <http://www.winxdvd.com/blog/mov.htm>. [アクセス日: 10 3 2015].
- [14] とんすけ, “QuickTime フォーマットの勉強 その1,” 11 7 2011. [オンライン]. Available: <http://ameblo.jp/tonsuke-usagi/entry-10949928357.html>. [アクセス日: 10 3 2015].
- [15] Apple inc, “QuickTime Overview,” 11 8 2005. [オンライン]. Available: https://developer.apple.com/library/mac/documentation/QuickTime/RM/Fundamentals/QTOverview/QTOverview_Document/QuickTimeOverview.html. [アクセス日: 10 3 2015].
- [16] シャープ株式会社, “データ記録装置、データ再生装置、データ記録方法、データ再生方法、データ記録再生装置,” 15 1 2001. [オンライン]. Available: <http://astamuse.com/ja/published/JP/No/2002237139>. [アクセス日: 10 3 2015].
- [17] 株式会社朋栄アイ・ビー・イー, “第1回 ファイルフォーマットとは?,” 7 5 2000. [オンライン]. Available: http://www.mpeg.co.jp/libraries/video_it/video_01.html. [アクセス日: 10 3 2015].
- [18] Apple Inc, “QuickTime File Format Specification,” 14 2 2015. [オンライン]. Available: <https://developer.apple.com/library/mac/documentation/QuickTime/QTFF/qtff.pdf>. [アクセス日: 9 3 2015].
- [19] Apple Inc, “QuickTime Movie Basics,” 10 1 2006. [オンライン]. Available: <https://developer.apple.com/library/mac/documentation/QuickTime/RM/MovieBasics/MTEditing/>. [アクセス日: 10 3 2015].
- [20] 槻ノ木 隆, “その 86 「AVI の生い立ちとそのコーデック」,” 10 7 2006. [オンライン]. Available: <http://bb.watch.impress.co.jp/cda/bbword/14580.html>. [アクセス日: 9 3 2015].
- [21] Microsoft, “AVI ファイル フォーマット,” 2015. [オンライン]. Available: <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc352258.aspx>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [22] Incept Inc., “IT 用語辞典 e-Word MPEG2 TS 【 MPEG-2 Transport Stream 】 MPEG-2 トランスポートストリーム / TS,” 27 9 2011. [オンライン]. Available: http://e-words.jp/w/MPEG2_TS.html. [アクセス日: 10 3 2015].
- [23] 朴 念 仁 , “ PC 塾 , ” [オンライン]. Available:

- <http://host-jin.mydns.jp/pc/kyou-text/%E3%81%84%E3%81%BE%E3%81%95%E3%82%89%E8%81%9E%E3%81%91%E3%81%AA%E3%81%84/%E5%A4%89%E6%8F%9B/mpg1%E3%81%A8MPEG2.pdf>. [アクセス日: 10 3 2015].
- [24] 株式会社朋栄アイ・ビー・イー, [オンライン]. Available: http://www.mpeg.co.jp/libraries/video_it/video_03.html. [アクセス日: 10 3 2015].
- [25] Apple Inc., “Apple ProRes White Paper,” 7 2009. [オンライン]. Available: <https://www.apple.com/support/finalcutpro/docs/Apple-ProRes-White-Paper-July-2009.pdf>. [アクセス日: 18 3 2015].
- [26] Apple Inc, “Apple ProRes について,” 7 2 2015. [オンライン]. Available: <https://support.apple.com/ja-jp/HT202410>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [27] Apple Inc, “Apple Prores White Paper,” 6 2014. [オンライン]. Available: https://www.apple.com/final-cut-pro/docs/Apple_ProRes_White_Paper.pdf. [アクセス日: 15 3 2015].
- [28] KURE, “MPEG-2 (H.262) 動画コーデック,” 9 10 2011. [オンライン]. Available: <http://www.douga-soft.com/elementary/elem01002.html>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [29] 電子情報通信学会, “「知識の森」11-6 動画符号化 MPEG-2/H.262,” 11 2009. [オンライン]. Available: http://www.ieice-hbkb.org/files/02/02gun_05hen_11.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [30] 社団法人 電波産業会 デジタル放送システム開発部会 CSデジタル放送高度化作業班 映像符号化方式作業班, “情報源符号化部 H.264 | MPEG-4 AVC 規格の概要,” 24 2 2006. [オンライン]. Available: http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/bunkakai/pdf/060720_3_1-2_sa2.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [31] 電子情報通信学会, “「知識の泉」11-8 動画像符号化 MPEG-4,” 12 2009. [オンライン]. Available: http://www.ieice-hbkb.org/files/02/02gun_05hen_11.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [32] ケータイ Watch, “第 610 回 : H.265 HEVC とは,” 23 4 2013. [オンライン]. Available: http://k-tai.impress.co.jp/docs/column/keyword/20130423_597038.html. [アクセス日: 19 3 2015].
- [33] 社団法人 電波産業会 デジタル放送システム開発部会 映像符号化方式作, “情報源符号化部 H.265 | MPEG-H HEVC 規格の概要,” 23 5 2013. [オンライン]. Available: http://www.soumu.go.jp/main_content/000230399.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [34] AV Watch, “パナソニック、業務用の新映像コーデック「AVC-ULTRA」,” 8 11 2011.

- [オンライン]. Available: http://av.watch.impress.co.jp/docs/news/20111108_489337.html. [アクセス日: 19 3 2015].
- [35] パナソニック, “AVC-ULTRA Overview Revision 2.0,” 2 2015. [オンライン]. Available: http://panasonic.biz/sav/p2/AVC-ULTRAoverview_j.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [36] Panasonic Broadcast, “AVC-Intra (H.264 Intra) Compression,” 7 9 2007. [オンライン]. Available: ftp://ftp.panasonic.com/provideo/brochure/avc_intra_compression_brochure.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].
- [37] Avid Technology, “Avid DNxHD Technology,” 2006. [オンライン]. Available: http://www.avid.com/static/resources/jp/documents/datasheets/avid_dnxhd_wp_j.pdf. [アクセス日: 15 3 2015].
- [38] Avid Technology, “Avid DS Nitris Family Delivers Powerful New Features and HD Workflow Capabilities,” 18 4 2004. [オンライン]. Available: <http://ir.avid.com/releasedetail.cfm?releaseid=357154>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [39] 池上通信社, “Ikegami's total tapeless solution,” [オンライン]. Available: http://www.ikegami.com/br/products/sdtv/dng_frame1.html. [アクセス日: 15 3 2015].
- [40] ARRI Inc, “ARRI ALEXA in-camera recording using AVID’ s DNxHD MXF file format, ” 7 11 2011. [オンライン]. Available: http://www.arri.com/en/about_arri/press/english/english_single/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=7581&tx_ttnews%5Btt_news%5D=880&cHash=9fc392b5300bd065d31ab7e020fa7a8b. [アクセス日: 15 3 2015].
- [41] Avid Technology, “Avid DNxHR and DNxHD : 帯域幅の制限を受けないメリット,” [オンライン]. Available: <http://www.avid.com/jp/industries/workflow/dnxhd-codec>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [42] iReal Blu-ray Player, “Motion JPEG,” 2013. [オンライン]. Available: <http://jp.blurayplayermac.com/knowledge-base/mjpeg.htm>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [43] yama, “デジカメの動画フォーマット,” 2011. [オンライン]. Available: http://www.pit-japan.com/ws30/digi_movie.html. [アクセス日: 19 3 2015].
- [44] ISO, “ ISO/IEC 29199-3:2010, ” [オンライン]. Available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=51610. [アクセス日: 19 3

- 2015].
- [45] Weblio, “IT 用語辞典バイナリ Motion-JPEG,” 2015. [オンライン]. Available: <http://www.weblio.jp/content/Motion-JPEG>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [46] CyberLibrarian, “動画データ,” 23 9 2008. [オンライン]. Available: <http://www.asahi-net.or.jp/~ax2s-kmtn/video.html>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [47] 日経エレクトロニクス 進藤 智則, “独自コーデックの On2 VP6 が広まったわけ, Web2.0 ブームと Flash Video の威光を借りて,” 14 6 2007. [オンライン]. Available: <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20070614/134242/>. [アクセス日: 19 3 2013].
- [48] 日経エレクトロニクス 進藤 智則, “独自コーデックの On2 VP6 が広まったわけ, Web2.0 ブームと Flash Video の威光を借りて(Page2),” 14 6 2007. [オンライン]. Available: <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20070614/134242/?ST=d-ce&P=2>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [49] The Closed Captioning Project, “WHAT ARE VP6, VP7, VP8 AND VP9 FORMATS?, ” [オンライン]. Available: <http://www.closed-captioning.net/vp6-vp7-vp8-vp9-formats/>. [アクセス日: 20 3 2015].
- [50] Recruit Marketing Partners Co.,Ltd., “HTML5 とは- IT 単語帳,” [オンライン]. Available: <http://www.keyman.or.jp/it-word/61006581/>. [アクセス日: 20 3 2015].
- [51] On2 Technologies, Inc., “WHITE PAPER Advantages of TrueMotion VP6 Technology, ” 17 2 2004. [オンライン]. Available: <http://multimedia.cx/mirror/vp6-white-paper.pdf>. [アクセス日: 19 3 2015].
- [52] Cineform, Inc, [オンライン]. Available: <http://cineform.com/about-us>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [53] Adobe systems, “GoPro CineForm コーデック,” [オンライン]. Available: https://assets.adobe.com/link/8adea913-5834-4883-8a33-ff422360efa9?section=activity_public. [アクセス日: 15 3 2015].
- [54] SMPTE, “VC-5 Mezzanine Compression,” 24 4 2014. [オンライン]. Available: https://kws.smpte.org/kws/public/projects/project/details?project_id=15. [アクセス日: 15 3 2015].
- [55] ComperK, “映画の VFX 制作で使用する DPX 画像ファイルは何が優れているのか ? , ” 11 2 2015. [オンライン]. Available: <http://compojigoku.blog.fc2.com/blog-entry-22.html>. [アクセス日: 23 2 2015].

- [56] sc.u.packet-workz.co.jp, “画像フォーマット書,” [オンライン]. Available: <http://sc.u.packet-workz.co.jp/archive/graphic/GraphicFormat.pdf>. [アクセス日: 27 2 2015].
- [57] パソコン実践講座 一歩すから講堂, “BMP,JPG,GIF,PNG 画像フォーマットの違いを歴史的背景から解説,” 16 12 2012. [オンライン]. Available: http://michisugara.jp/archives/2012/img_format.html. [アクセス日: 24 2 2015].
- [58] “JPEG2000 概説,” [オンライン]. Available: <http://hp.vector.co.jp/authors/VA027608/jpeg2000/>. [アクセス日: 26 2 2015].
- [59] The Joint Photographic Experts Group (JPEG) committee, “Overview of JPEG 2000,” [オンライン]. Available: <http://www.jpeg.org/jpeg2000/index.html>. [アクセス日: 26 2 2015].
- [60] Incept Inc., “IT用語辞典 e-Word TIFF 【 Tagged Image File Format 】,” [オンライン]. Available: <http://e-words.jp/w/TIFF.html>. [アクセス日: 26 2 2015].
- [61] Adobe Systems Incorporated., “TIFF 6.0 Specification,” 3 6 1992. [オンライン]. Available: <http://partners.adobe.com/public/developer/en/tiff/TIFF6.pdf>. [アクセス日: 27 2 2015].
- [62] AWare Systems, “Imaging / TIFF / TIFF File Format FAQ,” [オンライン]. Available: <http://www.awaresystems.be/imaging/tiff/faq.html>. [アクセス日: 27 2 2015].
- [63] <http://wiki.blender.org/>, “OpenEXR,” [オンライン]. Available: http://wiki.blender.org/index.php/Doc:JA/2.6/Manual/Data_System/Files/Formats/OpenEXR. [アクセス日: 27 2 2015].
- [64] Florian Kainz, Rod Bogart, Piotr Stanczyk, Peter Hillman, “Technical Introduction to OpenEXR,” 5 11 2013. [オンライン]. Available: <http://www.openexr.com/TechnicalIntroduction.pdf>. [アクセス日: 27 2 2015].
- [65] Industrial Light & Magic, a division of Lucasfilm Entertainment Company Ltd., “OpenEXR,” [オンライン]. Available: <http://www.openexr.com/>. [アクセス日: 27 2 2015].
- [66] AUTODESK, “3DS MAX 2014 OpenEXR ファイル,” [オンライン]. Available: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/JPN/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-F9274D48-77CA-435F-A604-6DD969FFCA6C.htm,topicNumber=d30e85990>. [アクセス日: 28 2 2015].
- [67] THE PAGE, “JPEG に代わる？ 新しい画像フォーマット BPG とは？,” 25 12 2014. [オンライン]. Available:

- http://thepage.jp/detail/20141224-00000008-wordleaf?pattern=1&utm_expid=90592221-29.uzRA2AXrScmfXlXFfeP6qg.1. [アクセス日: 28 2 2015].
- [68] Fabrice Bellard, “BPG Image format,” [オンライン]. Available: <http://bellard.org/bpg/>. [アクセス日: 28 2 2015].
- [69] Adobe Systems, “Photoshop ヘルプ /,” [オンライン]. Available: <https://helpx.adobe.com/jp/photoshop/digital-negative.html>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [70] INTERNET COM, “アドビ、RAW データを統一フォーマットに変換するツールを無償で,” 29 9 2004. [オンライン]. Available: <http://internetcom.jp/webtech/20040929/5.html>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [71] Adobe Systems, “Digital Negative (DNG),” 6 2012. [オンライン]. Available: http://www.images.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/photoshop/pdfs/dng_spec_1.4.0.0.pdf. [アクセス日: 15 3 2015].
- [72] Adobe Systems, “Adobe Photoshop Magazine / RAW 現像とは?,” [オンライン]. Available: <http://www.adobe.com/jp/jos/photoshopmagazine/about/raw.html>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [73] Takumi Kimura, “写真を撮ってみる その4,” 6 7 2013. [オンライン]. Available: <http://takumikim.blogspot.jp/2013/07/blog-post.html>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [74] “OpenRAW,” [オンライン]. Available: <http://www.openraw.org/>. [アクセス日: 15 3 2015].
- [75] Incept Inc, “IT用語辞典 e-Word WAV 【 WAV フォーマット 】 .wav ファイル / WAVE ファイル,” [オンライン]. Available: <http://e-words.jp/w/WAV.html>. [アクセス日: 1 3 2015].
- [76] 槻ノ木 隆, “その 86 「AVI の生い立ちとそのコーデック」,” 10 7 2006. [オンライン]. Available: <http://bb.watch.impress.co.jp/cda/bbword/16386.html>. [アクセス日: 1 3 2015].
- [77] E. Fleischman, “WAVE and AVI Codec Registries,” 6 1998. [オンライン]. Available: <http://tools.ietf.org/html/rfc2361>. [アクセス日: 1 3 2015].
- [78] Microsoft Corporation, “Microsoft Multimedia Standards Update New Multimedia Data Types and Data Techniques Revision: 3.0,” 15 4 1994. [オンライン]. Available: <http://www-mmstp.ece.mcgill.ca/Documents/AudioFormats/WAVE/Docs/RIFFNEW.pdf>. [アクセス日: 1 3 2015].
- [79] IBM Corporation and Microsoft Corporation, 8 1991. [オンライン]. Available:

- <http://www.aelius.com/njh/wavemetatools/doc/riffmci.pdf>. [アクセス日: 1 3 2015].
- [80] Digital Advantage Corp., “BWF (Broadcast Wave Format) 【ビー・ダブリュー・エフ】”, 21 4 2004. [オンライン]. Available: <http://www.atmarkit.co.jp/icd/root/71/51087271.html>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [81] 一般社団法人日本ポストプロダクション協会, “BWF-J 関係,” [オンライン]. Available: <http://www.jppanet.or.jp/bwf-j/bwf-j.html>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [82] 社団法人日本ポストプロダクション協会, “BWF-J オーディオファイルフォーマット 第 3 版,” 11 2009. [オンライン]. Available: http://www.jppanet.or.jp/bwf-j/jppa-1-2009_bwf-j_audio_file_format.pdf. [アクセス日: 7 3 2015].
- [83] JEITA, “放送用音声ファイルフォーマット,” 3 2010. [オンライン]. Available: www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard/pdf.cgi?jk_n=1341&jk_pdf_file=20100407161858_6dixeutVfY.pdf. [アクセス日: 7 3 2015].
- [84] EBU, “Specification of the Broadcast Wave Format (BWF) A format for audio data files in broadcasting Version 2.0,” 5 2011. [オンライン]. Available: <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3285.pdf>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [85] パソコン実践講座 -道すがら講堂-, “動画・音声の規格について ~コーデック・コンテナ~, ” 9 5 2014. [オンライン]. Available: http://michisugara.jp/archives/2011/video_and_audio.html. [アクセス日: 7 3 2015].
- [86] トムソン技術研究所, “mp3 について,” [オンライン]. Available: <http://mp3licensing.jp/mp3/history.html>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [87] yamanjo, “音声ファイル ~ 主なファイル形式と特徴 ~,” 24 5 2014. [オンライン]. Available: http://yamanjo.net/knowledge/others/others_12.html. [アクセス日: 7 3 2015].
- [88] Gabriel Bouvigne for MP3"Tech, “Technical audio papers,” 11 5 2009. [オンライン]. Available: <http://www.mp3-tech.org/programmer/docs/index.php>. [アクセス日: 8 3 2015].
- [89] 竹松 昇, “アップルの「iPod」で一躍有名に、AAC オーディオ圧縮規格を解剖する,” 16 5 2007. [オンライン]. Available: <http://pc.nikkeibp.co.jp/article/NPC/20070319/265666/?rt=nocnt>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [90] weblio, “エーシースリー (AC-3), ” [オンライン]. Available: <http://www.weblio.jp/content/AC-3>. [アクセス日: 7 3 2015].
- [91] Apple Inc, “QuickTime Player がサポートするメディア形式,” 21 11 2014. [オン

ライン]. Available: <https://support.apple.com/ja-jp/HT201290>. [アクセス日: 9 3 2015].

- [92] 電子情報通信学会, “「知識の泉」 11-9 動画像符号化 AVC/H.264,” 12 2009. [オンライン]. Available: http://www.ieice-hbkb.org/files/02/02gun_05hen_11.pdf. [アクセス日: 19 3 2015].