



## 放送業者のための SMPTE2022 ガイド： 映像のコントリビューションと配信 アプリケーション

SMPTE 2022 は、IP ネットワーク上で伝送するための高性能ビデオ信号をカプセル化するための標準的な方法です。この規格は、圧縮および非圧縮の標準画質と高精細映像の両方をカバーしており、複数のメーカーの機器がシームレスに連携できるようになっています。SMPTE 2022 の継続的かつ広範な採用により、放送局は、スタジオ全体と管理された IP ネットワークを介して、エラーのない映像を伝送することが可能になりました。このガイドでは、この規格の概要を説明し、この技術が現在すでに適用されている主要な分野についての情報を提供します。

### はじめに

独自の映像伝送システムは、テレビ時代の黎明期から存在していました。10 年以上前の放送施設では、隅っこの隅っこに独自の映像伝送装置の一部が隠されていないことはまずありません。これらの機器の多くはシングルベンダーのソリューションであり、サプライヤーがサポートを停止したり、新世代に移行したりすると、すぐに陳腐化してしまいます。幸いなことに、複数のベンダーからの相互運用性と長期的なサポートを提供する標準ベースの製品に代わって、これらの古い技術を段階的に廃止することができる新しい標準規格が導入されました。これは、ビデオサービスフォーラム (VSF) と SMPTE の作業に基づいた一連の規格で、IP ネットワーク上で配信されるプロ品質のビデオに焦点を当てています。2007 年に初めて導入された SMPTE 2022 規格は、もともと MPEG-2 トランスポートストリームで伝送される圧縮ビデオに焦点を当てていました。その後、この規格は、最大 3Gbps 以上の速度で非圧縮ビデオ、オーディオ、データをカバーするように拡張されました。今日では、多くのメー

カーがこの技術をさまざまな製品に実装しています。その理由を理解するには、次の SMPTE 2022 規格群が提供する多くの利点に注目すると良いでしょう。

- SMPTE 2022 は、世界中の放送局で展開されているグローバル規格です。
- 525 および 625 ラインの SD システム、50 Hz および 60 Hz のプログレッシブおよびインターレース HD 信号、MPEG-2 TS (Transport Stream) コンテナフォーマットを採用した圧縮信号など、さまざまなテレビシステムの全てのビデオフォーマットをサポートしています。
- 現在、多くのメーカーが圧縮および非圧縮ビデオアプリケーション用に SMPTE 2022 技術を利用した製品を製造しています。単体で提供される製品もあれば、より複雑な機器に SMPTE 2022 技術を組み込んだ製品もあります。
- SMPTE 2022 は、あらゆるタイプのメディアコンテンツに IP を使用すると同時に、伝送中に発生する可能性のあるエラーに対処するという課題に対応するために設計されました。IP ネットワークのエラーは通常、シングルビットのエラーではなく、パケット全体の損失を引き起こすため、衛星や

他のリンクで使用されている従来のエラー訂正方式では機能しません。SMPTE 2022 の行 / 列エラー訂正方式は、損失の多いパケットネットワークにかなり適しています。

とデスティネーションは、SMPTE 2022 などの IP パケットにビデオをカプセル化するための共通規格を使用して通信できる必要があります。

ネーターにとっては、地上波 IP リンクを使用して比較的少数の配信先に信号を配信する方が費用対効果が高くなります。第二に、より多くの地方テレビ局は、設備と人

## 代表的なアプリケーション

### 長距離コントリビューションとバックホール

ビデオ・コントリビューションとは、遠隔地のソース（スポーツ・アリーナなど）から高品質のビデオを放送施設に送信して、制作と配信を行うプロセスです。バックホールは、完全に制作されたリニアビデオチャンネル（ローカル放送局の系列局など）を、衛星テレビ、CATV、OTT オペレータなどの全国または地域のテレビ配信プロバイダに送信するプロセスです。一般的に、バックホールおよびコントリビューションリンクの数は比較的少なく、長距離をカバーすることもあり、低遅延で高品質なビデオ信号フォーマットに焦点を当てて傾向があります。

長距離 IP ネットワークのコスト効率が向上し、そのパフォーマンスが専用線サービスのそれに近いものに改善されるにつれて、より多くの放送局がそのコントリビューションとバックホールのビデオ回線を管理された IP ネットワークに移行するようになります。この傾向は、専用衛星回線に代わる地上波ポイントツーポイントサービスで特に顕著になっています。

### 施設インフラストラクチャ

放送施設内のビデオ信号の伝送は、以前は SDI および HD-SDI トランスミッタ、レシーバ、ビデオルータの独占的なドメインでした。今日では、多くの異なる信号形式に対し単一の統合インフラストラクチャを持つことの説得力ある利点により、IP ベースの技術に移行する放送局が増えています。これを実現するためには、信号ソース

### プログラム配信

完全に制作されたリニアテレビ番組（放送やケーブルテレビのチャンネルなど）を視聴者に送信するには、通常、2 つ（またはそれ以上）のステップを経る必要があります。まず、コンテンツは、地元の放送局、ケーブルテレビシステム、IPTV/OTT プロバイダ、または衛星サービスなどのプロバイダに配信されなければなりません。そこから、信号は個々の視聴者に配信されます。配信リンクでは、視聴者に配信する前にトランスコードされた信号のエンドブライン品質を確保するために、高品質の圧縮フォーマットが一般的に採用されます。

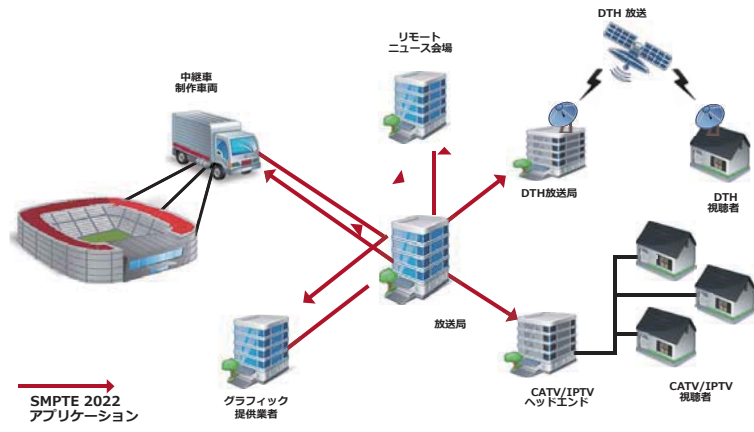
IP ベースの配信システムの経済性を高めているのは、3 つのトレンドです。第一に、AT&T U-verse などの大手 IPTV/OTT プロバイダ、Comcast などの大手 CATV システム、家庭用衛星テレビの大手プロバイダなど、多くの配信プロバイダが、スーパーヘッドエンドをより少ない場所に集中させています。これにより、複数のヘッドエンドに必要な機器の量やスタッフの数を減らすことができ、番組オリジ

件費を削減するために、集中型のプレイアウト/マスター制御システムに移行しています。これらの制御/プレイアウト施設（それぞれが数十から数百のローカル放送チャンネルを管理することができる）は、IP ネットワークベースの配信に適したもう一つの場所となっています。第三に、番組制作者が専門的な視聴者向けのコンテンツを作り続けているため、ニッチ/スペシャル・インタレスト・チャンネルの数は急速に増加し続けています。視聴者数が限られているため、これらのチャンネルは衛星トランスポンダの費用を支払うほどの収益を生み出さないかもしれませんが、IP 技術を使ってコスト効率の良い配信を行い、ターゲットを絞った配信事業者に届けることができるかもしれません。

### コンテンツ交換

ライバル放送局間でビデオやオーディオクリップを共有することは、テレビニュースでは長い歴史があります。ニュースソースが特定のイベントで許可されるカメラの数を制限している場合もあれば、ある組織が将来的に見返りを期待して好意を持っている場合も

SMPTE 2022 アプリケーション





あります。また、スポーツリーグでは、ある放送局のショートクリップを他の放送局と共有して、まとめやまとめの取材を行うことを奨励しています。これらの交換が効果的に機能するためには、送信者と受信者の両方が互換性のある技術を使用することが重要です。これが SMPTE 2022 の役割であり、IP ネットワークを介してライブコンテンツやライブに近いコンテンツを迅速かつ費用対効果の高い方法で交換するために使用できるデバイスのプールを広げるのに役立っています。

## SMPTE 2022 の 7 つのパート

SMPTE や IETF の他の仕様とは異なり、SMPTE 2022 は、長年にわたって開発された複数のパートから構成されています。これらはすべて、IP ネットワーク上の高性能ビデオトラフィックに関連する技術に焦点を当てており、主にコンテンツリビューションと配信アプリケーションで使用されています。SMPTE 2022 の各パートは、それぞれ特定の機能を定義しており、タスクを達成するために必要に応じて使用することができます。

各パートは、パケットストリームを作成するために使用される機能を定義し、そのため、ストリームを受信するデバイスに要求される機能を決定するために重要です。言い換えれば、信号を送信するために使用される SMPTE 2022 規格のどのパートであっても、信号受信サイトでもサポートされていなければなりません。これは、AVC (MPEG-4) や MPEG-2 のような規格にも同じ概念が適用され、MPEG 圧縮トランスポートストリームを完全にデコードするためには、エンコーダによって使用される規格の約 30 のパートのいずれかがデコーダに実装されていなければなりません。また、SMPTE 2022 のいくつかのパートは、SMPTE 2022-5 が SMPTE 2022-6 と動作するように設計されているように、相互に関連していることにも注意してください。以下の段落では、SMPTE 2022 のさまざまな部分を定義し、それらが互いにどのように関連しているかを説明します。

### ST 2022-1:2007

"Forward Error Correction for Real-Time Video/Audio Trans-

port Over IP Networks" は、IP ビデオストリームの行 / 列 FEC (Forward Error Correction) を定義しています。この規格は、パート 2 と共に広く実装されています。行 / 列 FEC は、IP ビデオパケットを論理的な行と列にグループ化し、各行と各列に 1 つの FEC パケットを追加することで動作します。1 つのパケットが行または列から失われた場合、そのパケット内のデータは、行または列内の他のパケットと組み合わせることで FEC パケットの内容を使用して完全に再作成することができます。この方法は非常に良く機能し、パケットストリームが失われたパケットの長いバーストに耐えることができます。

### ST 2022-2:2007

"Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks" では、MPEG-2 トランスポートストリーム内でエンコードされた一定ビットレートの圧縮ビデオ信号が、どのように IP パケットにカプセル化されるかを規定しています。この規格は、タイミングとバッファサイズに関するコメントと同様に、トランスポート層

## SMPTE 2022 標準

日付	標準	加盟会社名
Feb. 2005	COP3R2 マルチキャスト 20 Mbps ストリーム	Aastra DV, C-COR, Path 1, IneoQuest, Qvidium, Tandberg TV, Thomson, Tut Systems
Feb. 2006	COP3R2 マルチキャスト 20 Mbps ストリーム	Aastra DV, BT, Path1, Qvidium, Sencore, Tandberg TV, Thomson Grass Valley, Tut Systems, T-VIPS
Feb. 2007	COP3R2 マルチキャスト 20 Mbps ストリーム	Harris, Path1, Tandberg TV, Thomson Grass Valley, T-VIPS
Feb. 2011	2022-5 and 2022-6 270 Mbps ストリーム	Artel, Media Links, Thomson Grass Valley
Feb. 2012	2022-5 and 2022-6 1.5, 3 Gbps ストリーム	Macnica, Nevion, Xilinx
Feb. 2013	2022-5 and 2022-6 1.5, 3 Gbps ストリーム	Evertz, Macnica, Nevion, Xilinx
Feb. 2013	2022-1, 2022-2, 2022-7 20 Mbps ストリーム	Cisco, Evertz, Nevion, Xilinx
Feb. 2014	TR-01 (2022-1, 2022-2) HD ビデオ JPEG 2000 @80 Mbps	Artel, Barco Silex, Ericsson, Evertz, Imagine Communications, IntoPIX, Media Links, Macnica, Nevion, Xilinx

(RTPとUDP)をカバーしていません。

### ST 2022-3:2010

"Unidirectional Transport of Variable Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks" は、PCRメッセージ間のビットレートが一定であることが制約されている可変ビットレートMPEG-2トランスポートストリーム用のIPパケットを定義しています。(ピースウィズコンスタントと呼ばれている)。この規格はまだ広く実装されていません。

### ST 2022-4:2011

"Unidirectional Transport of Non Piecewise Constant Variable Bit Rate MPEG-2 Streams on IP Networks" は、PCRメッセージ間でビットレートが一定であるという制約を取り除いた点以外は、パート3に類似しています。この規格は、まだ広く実装されていません。

### ST 2022-5:2013

"High Bit Rate Media Transport over IP Networksの順方向エラー訂正" は、パート1を拡張し、最大3 Gbps以上のビットレートの信号をサポートするために、より大きな行/列FECの組み合わせを可能にします。

### ST 2022-6:2012

"Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)" では、MPEG-2トランスポートストリームにカプセル化されていない高ビットレート信号(非圧縮3 Gbps 1080pビデオを含む)をトランスポートする方法が規定されています。

### ST 2022-7:2013

"SMPTE ST 2022 IP データグラムのシームレスな保護スイッチング" では、ソースから異なるパスを介して宛先に2つの一致するストリームのパケットを送信し、受

信機にそれらの間で自動的に切り替えさせる方法について説明しています。これによって、両方のパスが同時に故障しない限り、完全なビデオ信号を受信機で再構成することができます。

## JPEG 2000

特に長距離ネットワークアプリケーションでは、放送局は、回線コストと帯域幅、遅延、画質、およびハードウェアリンクコストのバランスをとるために、多世代対応の視覚的にロスのない圧縮技術を使用することがよくあります。JPEG 2000 (J2K) や AVC-I などの技術は、10 ビットサンプリングの4:2:2:2色空間を使用して信号を送送するためによく使われています。シングルフレームまたはより低いエンドツーエンド遅延は、イントラフレーム (Iフレーム) またはスライス符号化方式を使用して達成されます。どちらの圧縮方式も市販されていますが、技術的な理由と経済的な理由の両方から、多くの放送局が J2K の導入を選択しています。

高いビットレート (80 Mbps 以上) が使用され、複数世代のエンコーディングとデコーディングが使用される場合 (コントリビューション/制作環境では一般的)、J2K ベースのシステムは AVC-I と比較してエンドツーエンドのパフォーマンスが大幅に優れていることが示されています。コスト面では、4:2:2、10 ビットビデオをサポートする J2K エンコーダーは、通常、同等の AVC-I エンコーダーの2分の1から4分の1の価格で販売されています。デコード側では、複数のオーディオチャンネルを持つ 1080p 4:2:2 10 ビット 3G HD-SDI 出力をサポートするプロ品質の MPEG および J2K デコーダがほぼ同じ価格で販売されています。このように、エンコーダーとデコーダーの比率が通常 1:1 のコントリビューション

アプリケーションでは、J2K を使用することで大幅なコスト削減が可能です。さらに、FPGA 上の J2K 実装は、MPEG ベースのハードウェアがエンコードまたはデコードに特化した ASIC であるのに対し、さらに、FPGA 上の J2K 実装は、MPEG ベースのハードウェアがエンコードまたはデコードに特化した ASIC であるのに対し、エンコードまたはデコードノードとして容易に適応することができます。

最近まで、異なるメーカーの J2K エンコーダやデコーダは相互運用性がありませんでした。幸いなことに、状況は最近、2014 年の VSF (Video Services Forum [www.videoservicesforum.org](http://www.videoservicesforum.org)) 技術勧告 TR-01 "Transport of JPEG 2000 Broadcast Profile Video in MPEG-2 TS over IP" の公表により変化しました。この新しい技術勧告は、SMPTE、MPEG、および他の組織によって作成された複数の規格から引き出された、FEC を使用して IP 上の MPEG-2 トランスポートストリーム上の JPEG 2000 のためのマッピングを記述を行っています。ビデオ圧縮とカプセル化のための全く新しいスキームを定義するのではなく、TR-01 は既存の規格の中で共通の動作点を定義することで、初めて真の JPEG 2000 の相互運用性を可能にしました。TR-01 をサポートする複数のベンダーの機器のデモンストレーションは、VSF の VidTrans2014 技術会議で行われました。

## 順方向誤り訂正 (FEC)

順方向誤り訂正は、送信中に発生した誤りを訂正するために使用できる余分な情報をデータストリームに追加するという、単一の強力なアイデアを実装した幅広い技術をカバーしています。この追加データは、受信機がエラーが発生したかどうかを判断し、エラーを修正できるように特別に設計され

ています。受信機の出力では、ストリームが元の形に戻るように、余分なデータが削除されます。放送では、使用される回路の種類や発生する可能性のあるエラーの種類によって、さまざまな形式の FEC が使用されています。

IP ネットワークにおける主なエラーメカニズムは、順番がずれてパケットが失われることです。多くの IP およびイーサネットプロトコルは、パケットを構成するデータビットのいずれかが送信中に値を変更したかどうかを示す各パケットヘッダ内のチェックサムまたは CRC データを使用しています。

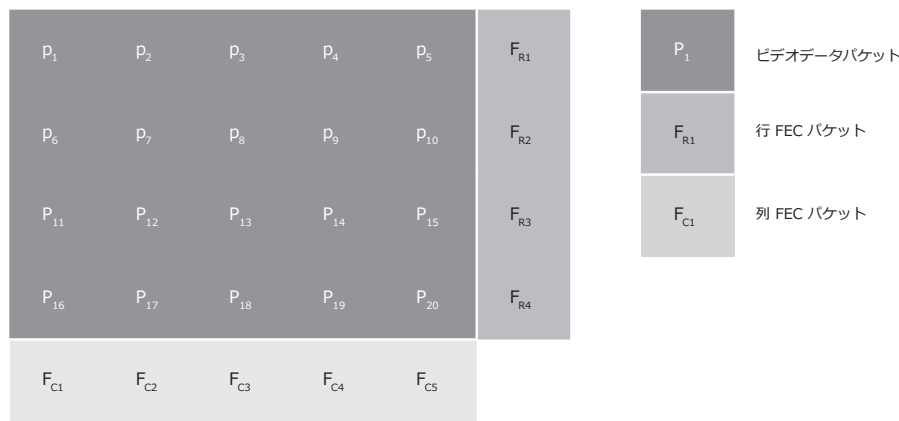
バーストエラーを修正することが可能になり、完全に欠落したパケットを置き換えることさえ可能になります。しかし、訂正できるエラーには限界があり、1 行または 1 列につき 1 つのエラーしか訂正できません。

他の技術と同様に、行 / 列 FEC にも利点と欠点があり、すべてのアプリケーションに適しているとは限りません。エラーレート、FEC データに必要な余分な帯域幅の量、および未修正データの結果との間にはトレードオフがあり、25% の FEC オーバーヘッドを表す 100 個のデータパケットごとに

## 結論

SMPTE 2022 の導入以来、IP ネットワークを介した映像送信には、全く新しい相互運用性の世界が開かれました。今日では、あるメーカーから機器を購入して、別のメーカーの製品に接続することが容易になりました。これは、独自のプライベートネットワークを運用したり、他のさまざまなソースとコンテンツを交換したりする放送局に大きな柔軟性を提供します。SMPTE 2022 は、低速で高圧縮された MPEG トランスポートストリームから、3 ギガビット 1080p ビデオやそれ以上のビデオまで、あらゆるアプリケーションをカバーしており、さまざまな放送アプリケーションに最適な選択肢となっています。

SMPTE 2022 行 / 列 FEC



1 つ以上のビットが変更されている場合、エラーが想定され、パケット全体が破棄されます。SMPTE 2022 標準規格は RTP の上に乗っていますが、これは、順番がずれたパケット（再順序化）を訂正し、送信中に失われたパケットを訂正するために行 / 列 FEC を使用します。

行 / 列 FEC は、パケットのグループを論理的な行と列に配置し、各行と各列に FEC パケットを追加することで動作します。例えば、5 行 20 列 FEC 方式では、100 個のデータパケットに対して 5 行 FEC パケットと 20 列 FEC パケットが追加されます。この追加データにより、最大 20 パケットの長さの

25 個の FEC パケットが追加されます。また、FEC は遅延も発生します。主に受信機では、行と列を再構築してから処理を行い、欠落しているデータを復元する必要があります。エラー率が十分に低く、結果がそれほど悪くない場合は、ユーザーは FEC の使用を完全にスキップすることを決定できます。放送施設内で使用される管理されたデータネットワークは、一般にエラー率が非常に低いように維持されており、FEC によって消費される余分な処理や帯域幅を不要にしていると考えられます。SDI 信号で一般的に行われているように、FEC なしで社内ネットワークを運用することも可能かもしれません。



## 行と列のFECサイズを選択

SMPTE 2022-1 と 2022-5 で定義されている行と列のFECは、パケットネットワークのエラーを修正するための強力な技術です。しかし、行サイズと列サイズの両方に適切な設定を選択することは、トレードオフの関係で少し厄介なことがあります。一方で、大きな行列は、より長いパケットロスのバーストを扱うことができますが、相対的なオーバーヘッドが低くなります。一方で、大きな行列はシステムのエンドツーエンドの遅延を増加させます。ここでは、使用するFECの適切な量を決定するためのいくつかのヒントを紹介します。

- 典型的なエラーバーストの持続時間を推定してみてください。次に、そのバーストの影響を受けるパケット数を計算して、その数よりも大きくなるように行の長さを設定してみてください。例えば、毎秒約 135,000 パケットを生成する 2022-6 カプセル化を使用して非圧縮 HD-SDI 信号を考えてみましょう。2 ミリ秒のバーストエラーから保護するためには、FEC 列の長さは、少なくとも 270 (2 ミリ秒あたり 135 パケットで 2 ミリ秒) である必要があります。
- 使用する FEC カラムの数は、ストリームの FEC オーバーヘッドの総量に大きな影響を与えます。

カラムの長さが 4 パケットに設定されている場合、ストリームは少なくとも 25% のオーバーヘッドを持つこととなります (4 パケットの各カラムに対して 1 つの FEC パケット)。カラムサイズが 10 に設定されている場合、FEC オーバーヘッドは 10% に近くなります (長い行が使用されていると仮定します)。- 行と列のサイズは、2022-5 では 1020 パケット、2022-1 では 255 パケットに制限されています。

- FEC による過剰な遅延を避けるために、行と列のセット全体を送信するのにかかる時間を決定します。これは、列のサイズで行のサイズを乗算し、毎秒のパケット数でそれを分割することによって計算することができます。例えば、再度ちょうどビデオデータのための毎秒 135,000 パケットから成っている HD-SDI の流れを考慮して下さい。270 パケットの行のサイズが 10 の列のサイズとの組合せで使用されれば、受信機は普通  $(270 \times 10) = 2700$  のビデオパケットの完全なマトリックスおよび発生したすべての間違いを訂正することを試みる前に、関連付けられた FEC を受け取って貯えます。ビデオデータレートが 135,000 パケット / 秒の場合、受信機 \* のバッファリングによる遅延は、 $(2700 / 135000) = 0.02$  または 20 ミリ秒となり、これは

60/59.94 プログレッシブスキャンされたビデオ信号のビデオフレームの持続時間よりも長くなります。

\* 送信機は、送信前に行と列のフルセットをバッファリングする必要はありません。また、各列で 1 つ以上のパケットが破損していないと仮定して、各列の最後の行で到着した列の FEC 値を計算することで、受信機の遅延が軽減される可能性があることにも注意してください。

AR207-000410-00\_B\_J



Artel Video Systems Corp.  
5B Lyberty Way Westford, MA 01886,  
USA  
Tel : 978-263-5775  
Email : [customercare@artel.com](mailto:customercare@artel.com)  
Website : [www.artel.com](http://www.artel.com)

株式会社デジタルクエスト  
(アーテルビデオシステムズ日本事務所)  
〒176-0001 東京都練馬区練馬1-6-3  
Tel 03-5946-3121 Fax 03-5946-3122  
Email : [info@commspecial.jp](mailto:info@commspecial.jp)