

# 知っておきたいキーワード

## SMPTE ST 2022

(正会員) 川本潤一郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NHK 放送技術研究所

"SMPTE ST 2022" by Junichiro Kawamoto (NHK Science and Technology Research Laboratories, Tokyo)

キーワード: Video over IP, Media over IP, FEC, 2022, 2110, 2059

### まえがき

近年、通信速度の高速化やビットコストの低下による普及に伴い、放送局の番組制作現場においても、IP (Internet Protocol) ネットワークを利用した番組素材信号伝送が盛んに行われるようになってきました。SMPTE ST 2022は、IPネットワークを介して番組素材信号を共有するための伝送に関する標準規格です。図1に示すように、中継現場と放送局、放送局間、もしくは、放送局内のスタジオ間など、番組素材伝送の現場において幅広く適用され、その性質からVideo over IPやMedia over IPなどと称されることもあります。本稿では、現在の番組素材伝送に欠かせない存在となった

SMPTE ST 2022 規格について解説します。

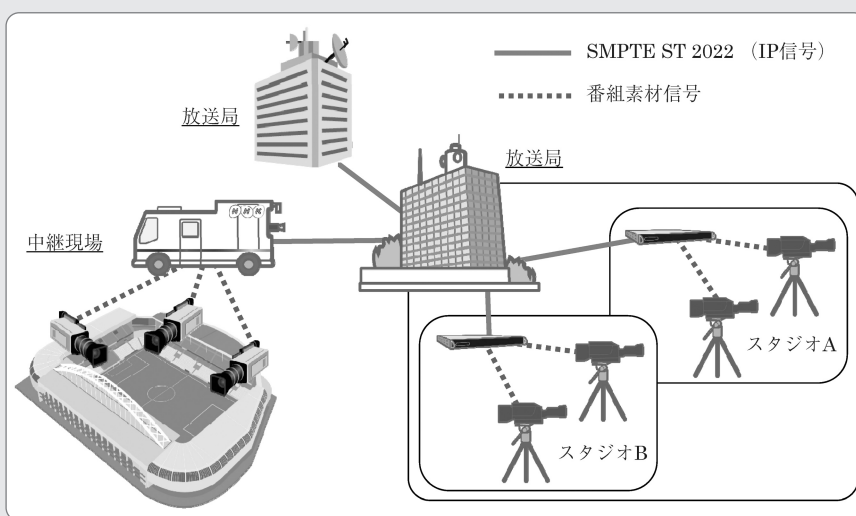


図1 SMPTE ST 2022の適用領域

### SMPTE ST 2022の概要

SMPTE ST 2022は7つの規格から構成されています(表1)。各規格は、伝送対象とするストリームの種類や伝送レートによって大まかに分類することができます。各規格のもう少し詳細な中身について説明します。

・ SMPTE ST 2022-1/2  
MPEG-2トランスポートストリームを固定ビットレートで単方向にIP伝送する規定がなされています。RTP (Real-time Transport Protocol) パケットにカプセル化された信号を仮想的に配列形状に配置し、行方向/列方向のRTPパケットのXOR (排他的論

理和) 演算による誤り訂正符号化 (FEC: Forward Error Correction) を規定する2022-1と、MPEG-2トランスポートストリームのRTP/UDP/IPパケットへのカプセル化 (encapsulation) を規定する2022-2から構成されます。伝送レートの観点から、圧縮ストリーム信号と

表1 SMPTE ST 2022の概要

| 規格              | 名称                                                                                                 | 伝送対象                     | 伝送レート | 主な内容                               |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|------------------------------------|
| SMPTE ST 2022-1 | Forward Error Correction for Real-Time Video/Audio Transport Over IP Networks                      | MPEG-2トランスポートストリーム       | 固定    | 誤り訂正符号化                            |
| SMPTE ST 2022-2 | Unidirectional Transport of Constant Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks              |                          |       | カプセル化, 同期など                        |
| SMPTE ST 2022-3 | Unidirectional Transport of Variable Bit Rate MPEG-2 Transport Streams on IP Networks              |                          | 可変    | カプセル化, 同期, 誤り訂正符号化など (同期信号間のレート一定) |
| SMPTE ST 2022-4 | Unidirectional Transport of Non-Piecewise Constant Variable Bit Rate MPEG-2 Streams on IP Networks |                          |       | カプセル化, 同期, 誤り訂正符号化など (同期信号間のレート変動) |
| SMPTE ST 2022-5 | Forward Error Correction for Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)     | SDIストリーム                 | 固定    | 誤り訂正符号化                            |
| SMPTE ST 2022-6 | Transport of High Bit Rate Media Signals over IP Networks (HBRMT)                                  |                          |       | カプセル化, 同期など                        |
| SMPTE ST 2022-7 | Seamless Protection Switching of SMPTE ST 2022 IP Datagrams                                        | 2022-1~2022-6で規定されたストリーム | 固定/可変 | 伝送路間のシームレス切替                       |

1 GbE (ギガビットイーサネット) などの伝送路との親和性が高く、2007年に規格が発効されて以来、世界中の多くの放送局や回線事業者において使用されています。

#### ・ SMPTE ST 2022-3/4

これらはいずれも、MPEG-2トランスポートストリームを可変ビットレートで単方向にIP伝送する方法を規定しています。二つの規格の違いは、受信側の再生ストリーム同期に使用するPCR (Program Clock Reference) メッセージ間のMPEG-2トランスポートストリームのビットレートにあり、当該レートが一定として同期再生を行う構成とした2022-3と、当該レートがネットワークジッタなどで変動することを想定して構成した2022-4になります。これらの規格は構成が若干複雑であるため、2022-1/2に比較し

てあまり普及しておらず、規格対応する製品を販売するベンダーも多くありません。

#### ・ SMPTE ST 2022-5/6

非圧縮のSDI (Serial Digital Interface) ストリームを固定ビットレートで単方向にIP伝送する規定がなされています。2022-1と同様のXOR演算による誤り訂正符号化を規定する2022-5と、非圧縮SDIストリームのRTP/UDP/IPパケットへのカプセル化を規定する2022-6から構成されます。10 GbEや40 GbE、100 GbEなどの高速通信デバイスの標準化と普及に伴って、高画質/高ビットレートの番組素材信号をIPネットワークで低コストに交換することが可能となり、2012年に規格が発効後世界的に急速な広がりを見せています。

#### ・ SMPTE ST 2022-7

IPネットワークの低コスト化に伴って、冗長化された伝送路を準備することが、映像の安定伝送を効率的に実現する有効な手段の一つになってきました。そこでこの規格では、冗長化された伝送路上を各々伝送される同一コンテンツのストリームをシームレスに切替えるための受信機が備えるべき要件を規定しています。ストリーム間をシームレス (ヒットレス) に切替えることで、伝送路品質の劣化や機器障害によるデータ誤りの発生に影響されずに、安定した映像信号の再生を担保することが可能となります。現在市販されているベンダー製品の多くは、2022-5/6/7規格に準拠しており、各ベンダー間の相互運用性を担保するためにも、これらの規格への対応が不可欠となっています。

## カプセル化の具体例

ここでは、SMPTE ST 2022-6を例に、カプセル化の具体例について説明します。RTPパケットへのカプセル化構造を図2に示します。SDIストリームは、映像の他に音声やデータがエンベデッドされていますが、この規格ではSDIストリームを1376 byte毎に区切ってMedia Payloadとし、後述するPayload Headerを付加後、12 byteのRTP Headerをさらに付加し

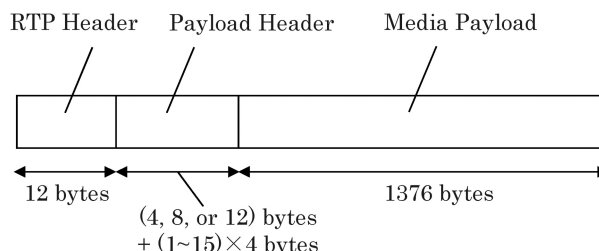


図2 RTPパケットの構成

てRTPパケットにカプセル化します。Payloadで伝送するストリームの中身や誤り訂正の方法など受信側で

判別するための情報が示されます(表2)。IP伝送では送受信間は通常非同期で運用されており、受信側でSDIストリームを安定して再生するためには、同期の復元(送信側の映像信号クロック周波数の再生)が必要となります。送受信間同期には、Video Timestamp 情報を用いることが可能です。またFEC usageでは、誤り訂正符号化の有無やその構成(列方向もしくは、行および列方向)を示します。カプセル化されたRTPパケットは、さらにUDP/IPヘッダを付加すること

で、IPパケットを生成します。SMPTE ST 2022-6では、1080pビデオを伝送

する3G-SDIの非圧縮ストリームまでのIP伝送を規定しています。

表2 Payload Header内のデータ例(一部)

| 名 称             | ビット数 | 機 能             |
|-----------------|------|-----------------|
| Frame Count     | 8    | 映像フレーム毎にインクリメント |
| FEC usage       | 3    | 使用する誤り訂正符号化の種類  |
| Clock Frequency | 4    | 映像信号のクロック周波数    |
| MAP             | 4    | SDIストリームの種別     |
| FRAME           | 8    | 映像信号の画素数など      |
| FRATE           | 8    | 映像信号のフレーム周波数    |
| SAMPLE          | 4    | 映像信号のサンプリング構造   |
| Video Timestamp | 32   | 送受信間の映像信号同期     |

### 誤り訂正符号化の構成

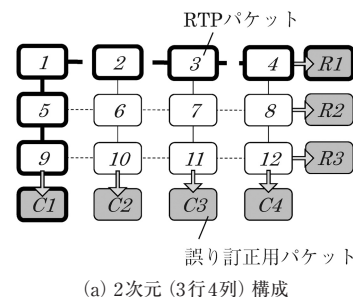
次に、SMPTE ST 2022-5を例に、誤り訂正符号化の具体例について説明します。SMPTE ST 2022規格で用いられる誤り訂正符号化は、Pro MPEG ForumのCOP3を基に構成されています。図3(a)に、誤り訂正符号化の例を示します。カプセル化されたRTPパケットをRTP Header内のRTPシーケンス番号順に配列状(本例では3行4列)に仮想的に配置し、XOR演算の誤り訂正符号化によって行方向および列方向の2次元で誤り訂正用パケットを生成します。IP伝送ではイーサネットスイッチなどの機器を介して伝送されますが、伝送路の品質劣化などに起因して信号が誤ると、当該機器が伝送パケットのFCS(Frame Check Sequence)エラーを検知して破棄することで、誤りが生じたパケット全体が消失する場合があります。受信側では、RTPシーケンス番号の不連続を検知し、かつ当該パケットが一定時間受信されない場合には、消失を

認識することができます。

XOR演算を用いた誤り訂正符号化では、原理的には1個の誤り訂正用パケットを生成するのに用いられた複数のRTPパケットのうちの1個の消失を復元することができます。あるRTPパケットに対して、行方向と列方向で二重に誤り訂正用パケットを生成することで、複数のRTPパケットの消失を効果的に復元することが可能となります。図3(b)の例ではすべての消失パケットを復元できます。誤り訂正符号化は、伝送パケットの消失に耐性を持たせることで高品質な信号伝送が実現できる反面、誤り訂正用パケットの生成による伝送帯域の増大と、誤り訂正処理に係る遅延時間の増大が課題となります。

実際のシステム運用では、あらかじめネットワークの伝送品質を把握(伝送路の誤り率はどの程度か?誤りの発生はランダム/バーストか?など)した上で、使用可能な伝送帯域と許容できる遅延時間の関係から行列サイズを総合的に決定する必要があります。

行方向および列方向のRTPパケットのXOR演算により誤り訂正用パケットを生成



受信したRTPパケットと誤り訂正用パケットから、消失したRTPパケットを復元

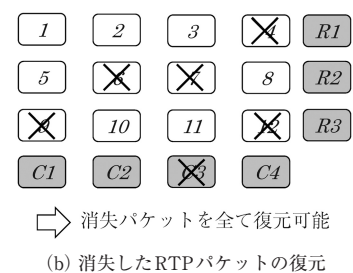


図3 誤り訂正符号化の例

### シームレス切替

SMPTE ST 2022-7を例に、シームレス切替について説明します。図4にSMPTE ST 2022-7の概要を示します。この規格では、SMPTE ST 2022送信機から出力された複数の伝

送路の遅延時間差などを規定します。受信機は常時同一のパケットを異なる伝送路から受信し、片方のバッファ(本例ではバッファ1)からストリームを再生します。伝送路1に障害が発生した際には、バッファ1で受信するパケットが途切れることになるため、そ

のまま再生を続けると再生ストリームに乱れを生じることになります。そこで、伝送路2の冗長系に切替えますが、切替える際に再生ストリームを安定して出力することができるように、バッファ1とバッファ2で保持するデータに一定程度の相関を持たせる

必要があります。

そこで、SMPTE ST 2022-7では、伝送路間の遅延時間差がどの程度まで相関を持たせることができるか、すなわちシームレス切替可能か、受信機性能をClass A～Class Cで分類しています。小さい遅延時間差を想定したClass A受信機では、伝送路の遅延時間差が10 ms以下の場合にシームレス切替が動作するように受信機バッファなどを設計する必要があります。一方、最も大きな遅延時間差を想定したClass C受信機では、SMPTE ST 2022-5/6ストリームの場合、伝送路の遅延時間差が150 msまで対応する必要があります。良好な伝送品質が想定される放送局の建物内ネットワー

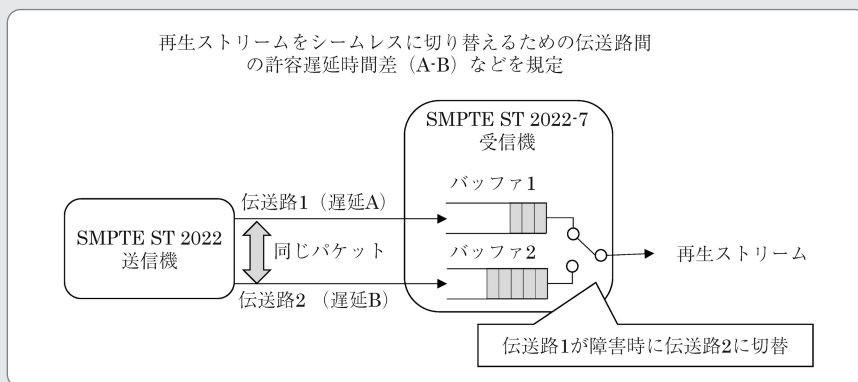


図4 SMPTE ST 2022-7の概要

クなどでは、SMPTE ST 2022-5などの誤り訂正符号化を適用せずにSMPTE ST 2022-7による冗長系でシステムを構築しても安定伝送が充分

期待できます。一方で、放送局外のネットワークなどでは、誤り訂正符号化と冗長系を併用したシステム構築が有効であると考えられます。

## SMPTE ST 2110との関係

現在、SMPTEでは放送局番組制作インフラのIP化に向けて、SMPTE ST 2110の議論が進行しています。そこで最後に、SMPTE ST 2110とSMPTE ST 2022の関係について簡単に説明します。規格上の両者の大きな違いは、カプセル化と送受信間同期にあります。SMPTE ST 2022規格では、IPネットワークを介してMPEG-2トランスポートストリームやSDIストリームの送受信が容易にできる反面、一つのパケットに映像や音

声などが混在して伝送されるため、例えば、映像だけを受信したい場合でも必要以上に伝送帯域を消費してしまうという特徴があります。一方、SMPTE ST 2110規格では、映像や音声を個別のパケットとして伝送することが可能となります。また、送受信間同期については、SMPTE ST 2022規格では、主にRTPパケットのタイムスタンプ情報を元に単方向で送受信間同期（周波数同期）を実現してきました。一方、SMPTE ST 2110規格では、SMPTE ST 2059で規定された、双方向通信回線を利用した

PTP (Precision Time Protocol) によって、各機器が約1 μs以内の誤差で高精度に同期（時刻同期）することが可能となります。これらの規格を適用することで、IPの利点を最大限に活かした、柔軟で自由度の高い番組制作が実現可能となることが期待されます。なお、誤り訂正符号化やシームレス切替などは2017年10月の本稿執筆時点ではSMPTE ST 2110規格に含まれておらず、今後SMPTEで議論されていく可能性があります。

## むすび

SMPTE ST 2022規格について概要を解説しました。IP技術の進展に伴って、番組素材を高品質かつ低コス

トで伝送できる時代が到来しており、同技術のさらなる普及が想定されます。SMPTE ST 2110規格に関する議論も進展中であり、これからの放送局番組制作インフラの構築に欠かせな

い有力な技術の一つとして、今後もIP化に注目していきたいと思います。

(2017年10月29日受付)

## 参考文献

- 1) P. Elmer and H. Sariowan: "Interoperability for Professional Video Streaming over IP Networks", in SMPTE Motion Imaging Journal, 114, 2-3, pp.81-85 (2005)
- 2) "Pro-MPEG Forum Code of Practice 3 Release 2", Transmissions of Professional MPEG-2 Transport Streams Over IP Networks (2004)



かわもと じゅんいちろう

**川本潤一郎** 2002年、筑波大学大学院工学研究科修士課程相当修了。2008年、NHK入局。2011年より、NHK放送技術研究所にて、番組素材の光伝送技術に関する研究に従事。2017年、筑波大学大学院システム情報工学研究科博士課程修了。博士(工学)。正会員。