

## 2 超低遅延 8K 非圧縮映像伝送

# 非圧縮 8K120fps 映像の超低遅延伝送を可能にした 世界初の伝送技術

IOWN 構想の要素技術である APN (All Photonics Network) が実用化されると、高解像度の映像コンテンツもネットワークを通じて伝送しやすくなることが期待される。NTT 未来ねっと研究所 (以下、未来研) はそうした未来を見据えた映像伝送技術の研究開発に取り組んでいる。本稿では非圧縮の 8K 映像を超低遅延で伝送するための研究開発について紹介する。

### 広帯域映像の伝送需要が拡大

2018 年 12 月に“新 4K8K 衛星放送”が開始され、8K 放送の本放送も始まった。放送以外でも医療や監視などを目的とし、4K 60fps や 8K 60fps のような広帯域映像を伝送するニーズが高まっている。しかし同軸ケーブルを使い映像を伝送するための規格である SDI (Serial Digital Interface) では、こうした広帯域映像に対応しきれなくなりつつある。たとえば 8K 60fps の映像を SDI で伝送するには、4 本の同軸ケーブルが必要だ。

### 放送分野においてネットワーク伝送への移行がトレンドに

これに対し、Ethernet の伝送容量は著しい速度で増大し続けている。SDI の伝送容量の限界と、Ethernet の伝送量の増大を背景に、放送業界では同軸ケーブルではなく Ethernet/IP 通信によって広帯域映像を伝送する方式への移行がトレンドとなっており、そのために必要な放送用ネットワーク伝送方式の規格化も進んでいる。たとえば映像／音声／補助データを

伝送する際のプロトコルを規定した SMPTE ST 2110 などがある。

### 放送局で中継映像を編集する リモートプロダクション

スポーツイベント等のライブ中継を行う場合、一般的には中継現場に配置した中継車で編集を行い、編集済みの映像を放送局に伝送している。編集設備を搭載した中継車両に加え、編集を行うスタッフを現地に派遣する必要があり、人手やコストがかかる。こうした負

担を削減するため、中継車を使わず、中継映像の編集も放送局側で行う「リモートプロダクション」への注目が高まっている。

放送局側で編集を行うためには、映像の画質を落とさず、また極力遅延のない形で現場からの映像を伝送するのが理想だ。しかし従来の IP



NTT 未来ねっと研究所 フロンティアコミュニケーション研究部  
(左から) 主任研究員 持田 康弘氏  
主幹研究員 水野 晃平氏 研究員 山口 拓郎氏

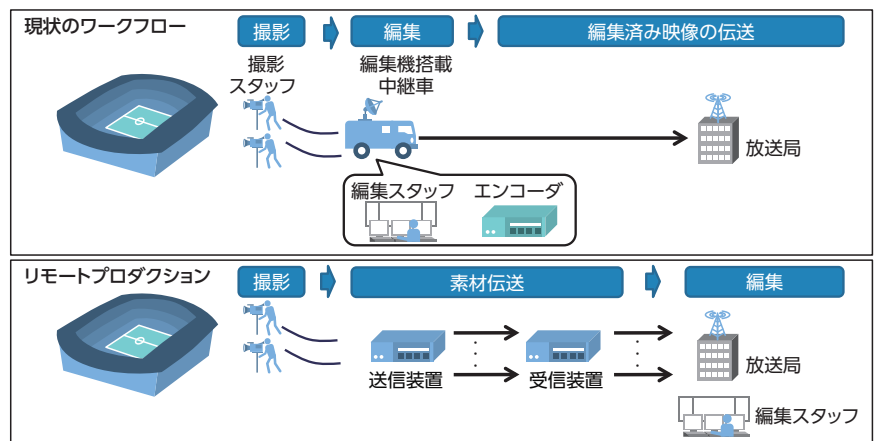


図 1 現状のワークフローとリモートプロダクションの比較

網サービスでは広帯域映像フォーマットを非圧縮のまま伝送するのは難しかった。

## 超低遅延 8K 非圧縮映像伝送技術の概要

NTTのIOWN構想では、エンド・ツー・エンドで光技術を活用するネットワークであるAPNの実現を目指しており、現在よりも飛躍的に広帯域映像の伝送に対応しやすくなることが期待される。APNを支える技術の研究開発に取り組んでいる未来研は、APNの実現を見据え、APN等の光ネットワークに直結して8Kの非圧縮映像を超低遅延に送受信することが可能な、新しいアーキテクチャの映像伝送技術を開発した。図2にこの技術を活用したリモートプロダクションの実現イメージを示す。

放送局と各イベント中継会場に、非圧縮映像伝送用のモジュールが装着された光伝送装置が設置されている。放送局と各中継会場はデジタルコヒーレント技術を利用した大容量光伝送によって接続されるため、80kmや100kmといった距離を、途中でスイッチやルータによる中継を挟むことなく、非圧縮の広帯域映像を伝送できる。さらに、増幅のための光アンプを挟むことで伝送距離を延ばすことが可能である。

「光信号を電気信号に変換する必要がなく、従来のIP網におけるスイッチやルータで生じるような遅延が、本構成では生じません。エンド・ツー・エンドで光通信の帯域を占有するため、非圧縮8K 60fpsのような超広帯域の映像を伝送することが可能。」(持田氏)

映像伝送においては、映像端末間

のクロックを揃え、バッファ溢れやバッファ枯渇を防止するために、同期が必要とされる。放送用ネットワーク伝送においてPTP(Precision Time Protocol)により映像端末間の同期を行うための規格として、SMPTE ST 2059が規格化されており、この規格では1 $\mu$ s以下の同期精度が要求される。

「放送局側に設置されたPTP grandmasterから同期用のPTPパケットを配信して映像の同期を実現します。従来のIP網では遅延ジッタが生じやすいため、長距離ネットワークにおけるPTPパケットによる映像の同期は困難ですが、光パスで直結すれば遅延ジッタの増大を抑えることができるため、このような構成で同期が可能です。」(持田氏)

## ディスアグリゲーション構成の光伝送装置を活用

光伝送装置は通信キャリアのコアネットワーク向けに垂直統合型で提供されてきた。単一のメーカーがハードウェアからソフトウェアまでを統合的に提供するこの形態は、性能や信頼性の担保といった面でメリットが大きいものの、光伝送装置のメーカーではない未来研が映像伝送機能を追加するような取り組みは、非常に難しかった。

そこで未来研が目にしたのが、近年の光伝送装置に関するオープン化

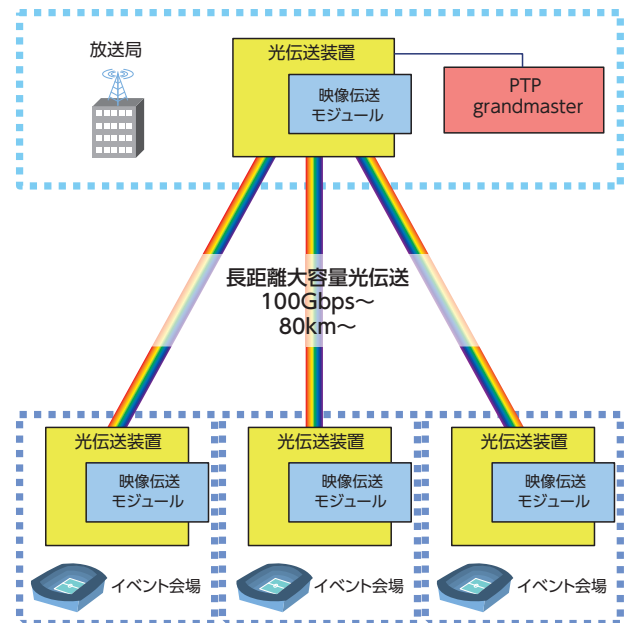


図2 未来研技術を利用したリモートプロダクションの実現イメージ

のトレンドから生まれた「ディスアグリゲーション構成」の光伝送装置であった。ここでのディスアグリゲーションは、光伝送装置を構成する各機能の分割を意味する。光伝送装置の機能をレイヤーごとに分離し、レイヤー同士のインターフェイスを規定しておくことにより、用途に応じて必要な機能を自由に組み合わせ、光伝送装置をカスタマイズすることが可能となっている。

未来研は、光伝送装置のオープン化を推進するコンソーシアム“TIP (Telecom Infra Project)”に参画しているが、そこで提案されたアーキテクチャに基づいたディスアグリゲーション構成を有する光伝送装置が既に複数販売されている。今回、映像伝送機能の実装にそうした光伝送装置を利用した。

## 光伝送装置に非圧縮映像伝送機能を追加

まず従来の規格であるSDIの信号を、ネットワーク伝送用の規格で



ある SMPTE ST 2110 のパケットに変換する光伝送装置用のプラグインユニット（以下、VideoPIU）を開発した。この VideoPIU により変換したパケットを、デジタルコヒーレントを利用した大容量光伝送によって伝送する。加えて光伝送装置の OS 上で動作する、映像伝送の監視／制御ソフトウェアを新たに開発した。

未来研がプロトタイプ実装した VideoPIU は、1 枚あたり 8K 60fps の非圧縮映像を送受信可能となっている。8K 60fps の非圧縮映像が必要とする帯域は 40Gbps だが、SMPTE ST 2022-7 という規格で規定されている完全冗長伝送方式（シームレスプロテクション）を適用する場合に必要な 80Gbps の伝送にも対応する。

### 最大 33ms の遅延差に対応するシームレスプロテクション

一般的にリアルタイム映像伝送では、ある程度の冗長度を付けてデータを伝送することにより、パケットロスと回復するという手法が用いられる。しかし広帯域映像を超低遅延で伝送するには、この

方式では問題がある。

「従来の方式ではある程度受信データを溜めてから回復処理を行う必要があり、遅延の原因になります。この問題を回避できるのが、SMPTE ST 2022-7 で規格化されている『シームレスプロテクション』という方式です。同じ映像データを 2 本のストリームで冗長伝送することにより、パケットロスが生じた際に他方の映像データから欠損を回復します。我々が行った評価実験では、一方のパスが切断されるネットワーク障害が発生しても、映像がエラーなく再生可能であることを確認しています。」（持田氏）

2 つの映像が伝送されるパスが異なれば、遅延にも差が生じる。この差を吸収するため、送信タイミングを制御する機能も実装した。遅延の差が 33ms までであれば、シームレスプロテクションが機能することを、評価実験により確認している。

### 世界初、SMPTE ST 2110 による 8K120fps 非圧縮映像伝送

未来研は 2022 年 2 月、紹介して

きた技術を適用した光伝送装置を用い、世界初となる SMPTE ST 2110 による「8K 120fps」の非圧縮映像伝送に成功したことを発表した。「8K 60fps の映像を 4K 相当の映像データ 4 つ分に分割し、並列処理することによって、より低遅延な映像伝送が可能にしています。さらに、VideoPIU を 2 本並列動作させることによって、伝送処理を合計 8 並列化し、8K 120fps の非圧縮伝送を実現しています。」（持田氏）

8K 120fps は横方向 7,680 画素、縦方向 4,320 画素の 8K 画像を 120 フレーム／秒で描画するということであり、シームレスプロテクション適用時の所要帯域は 160Gbps に達する。

「遅延を無視できるほど短い光ファイバーを使用した場合には、送信側における SDI 信号の入力から受信側における SDI 信号の出力まで、1ms 以下の遅延であることを実験により確認しました。80km の光ファイバーに接続した場合も、1.4ms 以下の遅延で伝送できることを確認済みです。光伝送であるため、

#### ディスアグリゲーション構成の光伝送装置

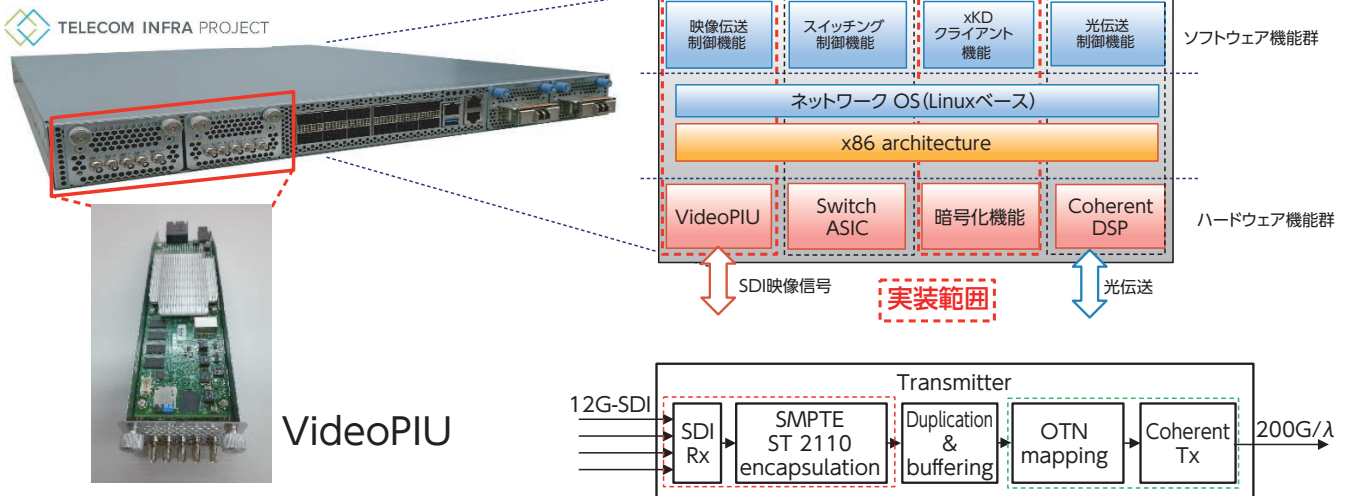


図 3 ディスアグリゲーション構成の光伝送装置向けに VideoPIU を開発

伝送距離が増えても伝搬遅延が増えるだけであり、遅延ジッタの増大を見込む必要はありません。」(持田氏)

## 820kmの遠隔からマラソン競技会場へ応援を届ける実験

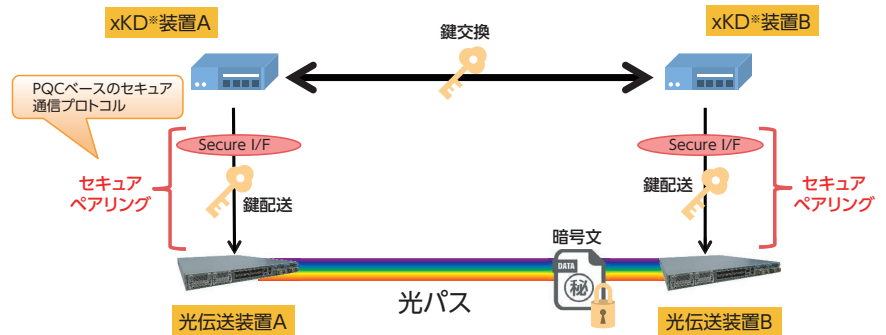
マラソン競技の応援を遠隔から行い、その様子を競技会場にリアルタイムで届ける実証実験に、本技術が活用された。札幌で行われた国際大会の会場で50mに渡り複数のLEDディスプレイを設置、820km離れた東京の応援会場にも同様に50mに渡りLEDディスプレイを設置した。このディスプレイに、2Kカメラ8台で撮影するお互いの様子を映し出すというものであった。

「送信側、受信側のVideoPIUの間の伝送遅延が片道20msでした。カメラで撮影した2K映像8本を、伝送・表示に適した形にするための映像合成/分離処理をNTT人間情報研究所が実装したのですが、その処理を含めても片道の遅延が約100msという低遅延でお互いの映像を映し出すことに成功しました※。ここまでの低遅延であれば、応援する人にも臨場感がありますし、1秒に約5mの速度でディスプレイの前を走り抜けてしまう選手にも、声援が届きます。」(持田氏)

※リモート応援の詳細は下記のNTT技術ジャーナル記事を参照  
<https://journal.ntt.co.jp/article/15557>

## 量子計算機時代にも安全な暗号方式を適用したセキュア光トランスポートを実現

劣化の無い非圧縮映像を使ったりモプロにおいては、素材映像の流出を防止するために、セキュアな映像



※xKD: 耐量子計算機暗号(PQC)等による鍵交換(PQKD)など

図4 セキュア光トランスポートの模式図

伝送が必要である。将来的に量子計算機が実用化され普及すると、現在の暗号方式は突破されてしまうことから、NTT社会情報研究所(以下、社会研)が耐量子計算機暗号を研究している。未来研はその成果による暗号プロトコルを光伝送装置の暗号通信機能と組み合わせた「セキュア光トランスポート」に関する研究開発も進めている。

「8K非圧縮映像伝送にも適用し、超低遅延かつセキュアな光伝送が実現可能であることを確認しました。暗号化に伴う遅延はμ秒単位と、極わずかです。IOWN時代に必要な機能の検証ができたと考えています。この取り組みもディスプレイ構成の恩恵を受けています。社会研の技術による暗号鍵の制御を行うソフトウェア機能を光伝送装置に追加したのですが、将来新たな暗号鍵方式が必要になっても、ソフトウェア機能の追加で対応可能です。」(山口氏)

## 本成果を利用した製品がInterop Tokyo 2022でAward受賞

NTTエレクトロニクスが未来研の研究成果を活用した4K/8K非圧

縮映像光伝送装置“MediaRouterX”を2022年6月に発表した。ディスプレイ構成での光伝送装置GalileoにVideoPIUを装着する構成だ。

同製品は2022年6月に幕張メッセで開催された展示会“Interop Tokyo 2022”の会場で利用されるネットワーク“ShowNet”でも利用され、「Best of Show Award」の「Media over IP部門」において準グランプリを受賞した。グランプリは該当無しであったため、この部門では最高の評価であった。

## 適用領域を探りフィージビリティを検証していく

本技術に関する研究活動の今後について、持田氏は次のように述べている。

「放送以外の分野からも問合せをいただいています。今後はNTTグループ内外のパートナーと協力して適用領域を探り、フィージビリティ検証を進めます。リモートプロダクション以外では、たとえば超低遅延を活かしてロボットの視覚を伝送し、制御に利用するといったアイデアを考えています。」