



IOWN APN 対応メディアコンバータの 低遅延化

Achieving Low latency for IOWN APN Compatible Media Converters

田中 竜彦*

Tatsuhiko Tanaka

高島 稔弘

Toshihiro Takashima

野元 一樹

Kazuki Nomoto

高木 厚

Atsushi Takagi

上町 新也

Shinya Uemachi

西本 裕明

Hiroaki Nishimoto

NTTが提唱した次世代情報通信基盤の構想であるIOWN（アイオン）^{*1}構想は、IOWN Global Forum（IOWN GF）^{*2}の活動を通じて、世界規模で異業種の企業が参画し、社会実装に向けて技術とユースケースが議論されており標準化団体への提言として展開されている。IOWN構想は、オールフォトンクス・ネットワーク（APN: All-Photonics Network）をベースとした低遅延（1/200）・大容量化（伝送容量125倍）・低消費電力（電力効率100倍）を特徴としている。特に従来の1/200という低遅延性は、データセンターの配置や金融システム高度化への貢献に加え、今まで不可能であった新たな映像サービスの創出が期待でき、当社ブロードネットワークス（BNS）事業部の映像機器部門では新たな市場開拓に向けた基盤技術と商品開発に取り組んでいる。今回その一環としてIOWN構想のAPNの特徴を活かした超低遅延メディアコンバータ（LLMC）を開発した。本稿ではその設計思想と、IOWN GFのAI支援エンターテインメントILM^{*3}（AIC-Entertainment Interactive Live Music）ユースケースにおいて定義された目標性能に対し、低遅延性能を実現した結果を報告する。

The NTT proposes the IOWN concept as the next generation of information and communications infrastructure, characterized by low latency (1/200), high capacity (125 times greater transmission capacity), and energy efficiency (100 times improved power efficiency) based on an all-photonics network (APN). Through the activities of the IOWN Global Forum (IOWN GF), diverse companies from various industries worldwide participate in discussions regarding technologies and use cases for practical implementation. These discussions are then presented to standardization organizations. Particularly, this enhanced low latency aims to facilitate previously impossible video services and contribute to advancements in data center configurations and financial systems. The Broad Networks (BNS) Video Equipment Division is actively developing foundational technologies and products for new market opportunities. As part of this effort, we developed an ultra-low latency media converter (LLMC) that leverages the characteristics of the IOWN APN. This paper reports on the design philosophy and the measured low latency performance achieved in accordance with the target specifications defined in the IOWN GF AI-assisted Entertainment ILM use case.

キーワード：IOWN GF、LLMC、APN、PoC

1. 緒 言

IOWN GFでは、オープンオールフォトンクス・ネットワーク（Open APN^{*4}）技術とデータセンター技術を基盤にEnd-to-Endの情報通信サービスの低遅延化（1/200）・大容量化（伝送容量125倍）・低消費電力化（電力効率100倍）をおこなうIOWN（アイオン）構想の実現に向け、ユースケースの探索、概念実証試験（PoC）の定義（PoC Reference）と実証、標準化団体への発信に取り組んでいる。これら通信ネットワークの大容量化・高速化・低遅延化の進展、およびAI技術の普及やこれを支えるGPU（グラフィックス・プロセッシング・ユニット）の高性能化により、遠隔地の空間同士、あるいは、現実世界とクラウド上の仮想空間とをリアルタイムで結ぶXRなどの新しい映像サービスへの期待が高まっている。我々はAPNの低遅延・高速伝送を活かした新たなAI支援映像通信サービスの市場を開拓するため、IOWN GFの作業部会の参照実装モデル（Reference Implementation Model (RIM)）タスクフォースにおいてソニーグループ^(株)、NTT他各社と共同で、視線

追従映像（motion-to-photon）遅延等、その要件定義と原理実証試験計画の立案に参加した。その実現手段の1方式として、台湾のDisplayPort^{*5}対応メディアコンバータメーカーであるATEN International Co., Ltd.とLLMC技術の共同開発を行った。これはユーザ制御信号と高リフレッシュレートのHD/4K映像信号を超低遅延でIPネットワークにより伝送する技術である。XR映像の描画サーバ技術と評価技術を持つソニーグループ^(株)と、同描画サーバ、本LLMC、当社製Open APN終端装置を用い、IOWN GFのPoC Referenceに準拠した共同実証試験を実施し、目標とする10ミリ秒のmotion-to-photon遅延の実現を確認した。この結果は、IOWN GFのエキスパートメンバーによる査閲を経て、Recognized PoCとして2025年2月にPoC Reportとして公表された⁽¹⁾。本技術により最先端のXRサービスが提供する臨場感や没入感を遠隔で体験できるようになると期待される。本稿ではLLMC技術の概要を紹介するとともに、その低遅延性能に関する実測結果を報告する。

2. 目標性能と従来技術の課題

本章では目標性能となる motion-to-photon 遅延と従来技術の課題について述べる。motion-to-photon 遅延とは、視聴者が頭部の位置や視線を移動する動作がセンサで検知され、その情報が描画装置に伝送された後、3D空間情報に基づき2D映像が生成され、ヘッドマウントディスプレイやXRグラス内の映像パネルの表示に反映されるまでの一連の処理全体に要する時間を指す。XR映像酔いを抑えるには motion-to-photon 遅延を10ミリ秒程度以下に抑える必要があると考えられており、IOWN GFや3GPPにおいては10ミリ秒未満を motion-to-photon 遅延の目標値に定めている^{(2)、(3)}。

しかしながら市販されている低遅延メディアコンバータ製品を用いた場合、メディア変換遅延が2.5ミリ秒以上、motion-to-photon 遅延が20ミリ秒を超えており目標とする遅延要件の達成が困難であった。これは従来製品では映像データを低遅延で圧縮するDSC (Display Stream Compression)^{*6}の透過伝送に対応しておらず装置内で映像圧縮の必要があること。かつネットワークインターフェースの速度が10Gbps以下であるため、遅延時間の改善に有効な高リフレッシュレートに対応できないこと等に起因する。この遅延を克服するには、メディアコンバータ自身の低遅延化に加え、APNの低遅延・大容量・高速伝送を活かしたインターフェースの高速化とDSCの透過的な伝送が欠かせないと考えられた。

3. 低遅延化に向けた機器構成の検討

当社と ATEN International Co., Ltd.はこの課題を解決する超低遅延メディアコンバータ技術の開発を行った。これはヘッドマウントディスプレイやXRグラスに使用される DisplayPort 信号を汎用の Ethernet 信号へ変換し、受信側ではその逆変換を行う技術である。本技術のシステム構成を図1に示す。DisplayPort 信号を改変することなく透過的に伝送するためDSC対応機器との接続にも支障がない。ネットワーク遅延や描画装置や表示装置による遅延を考慮し、映像送受信装置による遅延の目標値を1ミリ秒以下とした。

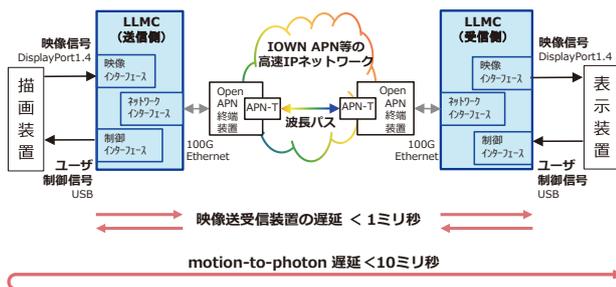


図1 システム構成

本装置は視線追従のためのユーザ制御信号としてUSBを用いており、motion-to-photon遅延の測定においてはUSBキーボード、マウスやコントローラの信号を本装置の受信側から送信側に送る。描画装置ではユーザ制御信号に応じて映像を生成し、DisplayPort 信号を出力する。その DisplayPort が本装置送信側の入力信号となる。伝送する DisplayPort Ver.1.4aの帯域は最大で8.1Gbps 4レーンとなる。図2に示すように DisplayPort 映像データと DisplayPort AUX 信号、ホットプラグ信号、USB HID (Human Interface Device) データなどその他のデータを64Byteのデータとして構成し、12個分のデータ毎にUDPヘッダーを付与し、832ByteのIPパケットとして100Gbpsで送信する。本装置で送信した Ethernet 信号は、Open APN 終端装置を通じて IOWN APN 網に接続し、本装置受信側に送られる。

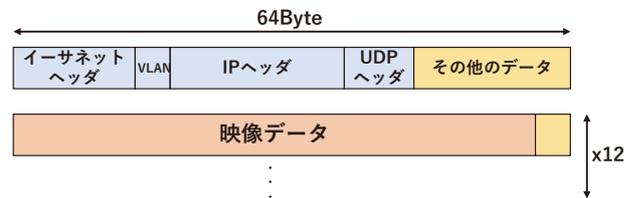


図2 IPパケット構成

本技術では装置内部で映像変換等の処理をしないため遅延の主要因はIP伝送時のバッファサイズとなる。バッファを増やせば、IP伝送時の耐ジッター性能が向上するが、遅延が増える。逆にバッファを減らせば遅延は減少するが耐ジッター性能が低下し映像乱れが発生しやすくなるためバッファサイズの最適化が必要となる。

バッファサイズと密接にかかわるのがクロック復元技術である。放送分野では送受装置間で27MHzのPCR (Program Clock Reference) を用いたシステム同期を行い安定した映像・音声再生を実現している^{(4)、(5)}。同様に本装置においても同期をとるためにクロック復元が必須であるが、図3に示すように物理的な配線にクロック専用線がなく機器間の接続時にリンクトレーニング^{*7}が必要となるため、高速

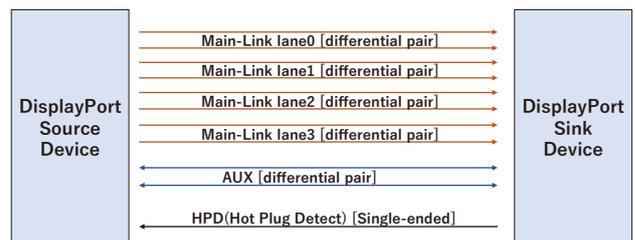


図3 DisplayPortの信号構成

かつ正確にクロック復元ができないと映像伝送の開始すらできない⁽⁶⁾。

本装置では送信側の DisplayPort 入力信号から 202.5 MHz のクロックを抽出し、このクロック情報を IP パケットで伝送する。受信側では IP パケットからクロック情報を取得し、それを基に DisplayPort 出力信号用のクロックを再生成する方式を採用している。

4. 低遅延メディアコンバータの仕様

低遅延メディアコンバータの筐体外観図を図4に、本装置の諸元を表1に示す。本装置は DisplayPort 入力映像信号を IP パケットに変換し送信する LLMC (TX) と、その IP パケットを受信し DisplayPort 出力映像信号を生成する LLMC (RX) から構成され、筐体、主基板は同一である。本装置は Xilinx 社製 FPGA をメインチップとして搭載し、DisplayPort 入力端子 (TX)、出力端子 (RX)、100Gbps Ethernet (SFP28 x4)、キーボードやマウスで操作するための USB2.0 インターフェースを備える。



図4 筐体外観図 (TX、RXで同一筐体)

表1 機器諸元

ITEM	TX	RX
Device Name	Xilinx XCKU5P	
WAN Interface	100Gbps Ethernet (SFP28 x4)	
USB interface (for User Control Data)	USB2.0 Standard-A receptacle x1	USB2.0 Type-C receptacle x1
DisplayPort Interface (for Rendered Video)	VESA DisplayPort 1.4a input x1	VESA DisplayPort 1.4a output x1
Resolution Refresh Rate	Support up to 1920 x 1080 @ 360Hz Support up to 2560 x 1440 @ 360Hz Support up to 3840 x 2160 @ 120Hz	
DSC	Support (Transparent)	
Size (mm)	290 x 250 x 52	

本装置を用いたシステム構成を図5に示す。映像を生成する描画装置 (Renderer Node)、LLMC (TX) および LLMC (RX)、Open APN 終端装置として当社製 Open APN 終端装置 FTU9100^{*8}、APN-T として Infinera Corporation 製

コヒーレント光トランシーバ ICE-X^{*9}、DisplayPort 入力を搭載した高リフレッシュレートモニター又はヘッドマウントディスプレイから構成される。

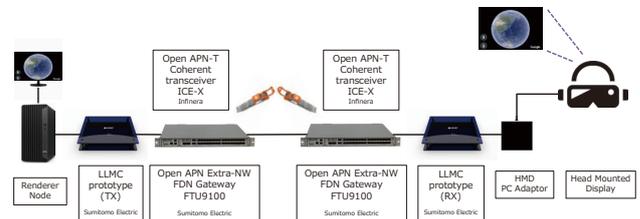


図5 システム構成

5. 技術的課題への対応

本章では本開発における技術的課題への対応について述べる。

5-1 100G スイッチへの対応

本装置ではインターフェースとして 100Gbps Ethernet を採用しているが、IOWN APN への接続経路として 100G スイッチを経由する構成が想定されるため 100G スイッチへの接続対応が求められる。本装置 TX と RX を直結時は 3 章で述べた IP パケットのクロック情報を用いたクロック復元手法を用いれば映像伝送できるが、100G スイッチ経由時は設計上の工夫を要する。これは LLMC (TX) と LLMC (RX) 直結時と 100G スイッチ経由時では IP パケット到着タイミングが異なるためである。図6と図7は LLMC (RX) における IP パケットの受信タイミングを示している。TX-RX 直結時は図6に示す通り毎回同じタイミングで IP パケットを受信することができる。その一方で 100G スイッチを経由した場合は、図7に示すように 100G スイッチ内部の処理遅延によりジッターが発生し同じタイミングで IP パケットを受信することができなくなる。その結果、FIFO バッファのアンダーフローやオーバーフローが発生し、安定した映像伝送に失敗する。IOWN APN では光信号処理のためジッターは極めて小さいが⁽⁷⁾、Open APN 終端装置によってはジッターが発生する可能性があり、これを適切に



図6 RXのIP受信タイミング (直結)



図7 RXのIP受信タイミング (100Gスイッチ経由)

吸収する機構が必要となる。

耐ジッター性能を向上させるためには、ジッターに対応可能なバッファサイズの確保に加え、ジッターのある環境下でも安定して動作するクロック復元が求められる。第3章で述べたクロック復元手法だけでは、ジッターの影響により正確なクロック情報の伝搬が困難となり、結果としてバッファの破綻を招くことになる。本課題を解決するにはIPパケットのクロック情報に加えて、**図8**に示すようにFIFOバッファ位置の閾値を監視しクロックを調整する方式が有効である。これは閾値の上限になれば、クロックを上げ、閾値の下限となればクロックを下げる、当社の開発したIPセットトップボックス^{※8}でも使用している手法である。

図9に**図8**記載の方式を採用した場合のFIFOバッファ位置の変化を示す。IPパケットのクロック情報だけでは、FIFO Readクロックが追従できずにオーバーフローが発生する。変更後はFIFO バッファの位置が閾値上限に達したらFIFO Readクロック速度を増加し、閾値下限に達したらFIFO Readクロック速度を減少させて、バッファの破綻を防ぐ仕組みとなっている。この手法により安定したクロック復元が可能となる。

ジッター量を考慮しバッファサイズを最適化した上で測定した本装置の遅延測定結果は後述する。

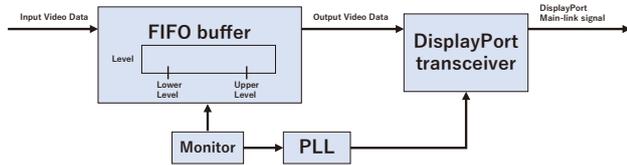


図8 ジッターを考慮したクロック復元方式

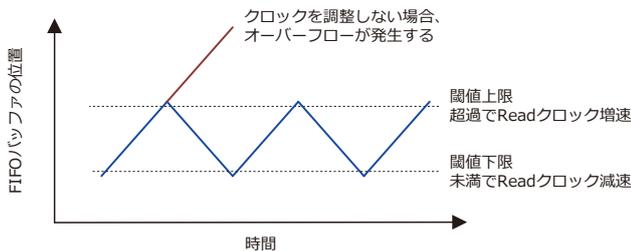


図9 FIFOバッファ位置の変化

5-2 高リフレッシュレート4Kモニターへの対応

次に高リフレッシュレート4Kモニターへの対応について説明する。前述した通りDisplayPort ver1.4aは最大8.1Gbps、4レーンであるが、使用する解像度やリフレッシュレートに応じて速度やレーン数を変更する規格となっている。市販の4Kモニターを用いて4K@120Hz映像出力

を行う場合には非圧縮伝送時で最大帯域の8.1Gbps、4レーンが必要となる。しかしながらLLMCで採用したFPGAで使用されるDisplayPort用トランシーバでは8.1Gbps、2レーンまでしか動作せず高リフレッシュレート4Kモニターに対応できない課題があった。これはDisplayPort用トランシーバ内のバッファリングによるスキューに起因する。

図10に示す通りDisplayPort規格では各レーン間のスキューは2シンボルと規定されている。一方、DisplayPort信号を入力する本装置LLMC (TX) ではレーン0、レーン1に対してレーン2とレーン3のレーン間のスキューが10~20シンボル分ずれることが確認された。このためレーン2とレーン3の映像信号は正常な信号とみなされず4Kモニターに4K@120Hz映像を映すことができなくなっていた。

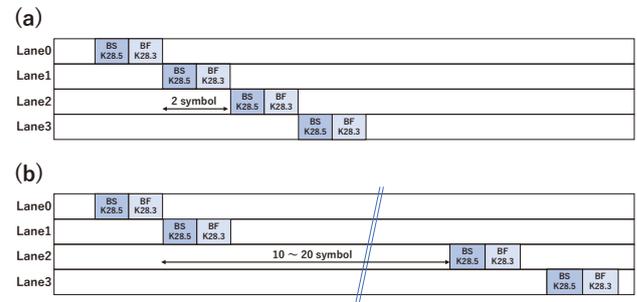


図10 規格(上)と本装置TX(下)のスキュー

本問題を回避するためレーン間スキューを補正する回路をFPGA内に追加で実装した。その結果、8.1Gbps、4レーン構成におけるリンクトレーニングに成功し、4K@120Hz映像の正常な出力が可能となった。

6. 評価方法及び評価結果

6-1 評価方法

評価には**図11**に示すIOWN GF既定のmotion-to-photon遅延測定方法を用いた。フォトダイオードを持つ測定器具を用い、USBキーボードの入力を受けて描画装置(Renderer Node)で測定用映像を生成し、その映像がモ

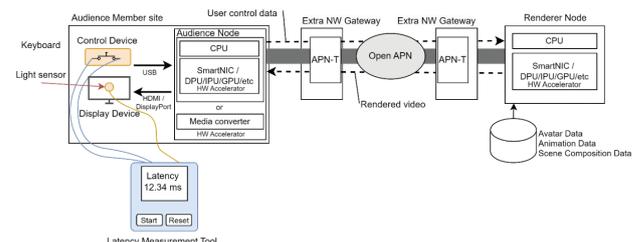


図11 PoC System and Latency Measurement Tools⁽¹⁾

モニターに映しだされるまでの時間を計測する。キーボードにはポーリングレート8000HzのRazer社BlackWidow V4 Pro、1920x1080 360Hz対応の高リフレッシュレートモニターにはASUS社ROG Swift 360Hz PG27AQN、4KモニターにはASUS社ROG Strix XG32UQを使用した。

6-2 評価結果

IOWN GFのワーキンググループによる実証試験結果を説明する。当社は、ソニーグループ(株)と共同で、本技術のユースケース検討にあたり、双方向遠隔XR映像サービスの1つであるILMサービスの概念実証試験(PoC)を行った。PoCで測定したmotion-to-photon測定結果を図12に示す。Full HD 120Hzで12.7ミリ秒、240Hzで8.6ミリ秒、360Hzで6.7ミリ秒となり、240Hz以上の高リフレッシュモニターを用いれば、IOWN LIM RIM目標値の10ミリ秒未満となることを確認した。描画装置(Renderer)をエッジデータセンターに設置する場合、石英コア光ファイバの伝送遅延時間0.5ミリ秒/100kmから、視聴者との間の距離100km(@リフレッシュレート240Hz)、300km(@同360Hz)の往復伝送遅延を考慮しても、視線追従映像遅延平均値は目標10ミリ秒を満足することが確認された。今回の共同評価では4Kコンテンツに対しリフレッシュレート240Hzおよび360Hzのmotion-to-photon遅延が測定できていないが、これは、同条件の映像信号を再生可能な市販のモニターが調達できなかったためである。

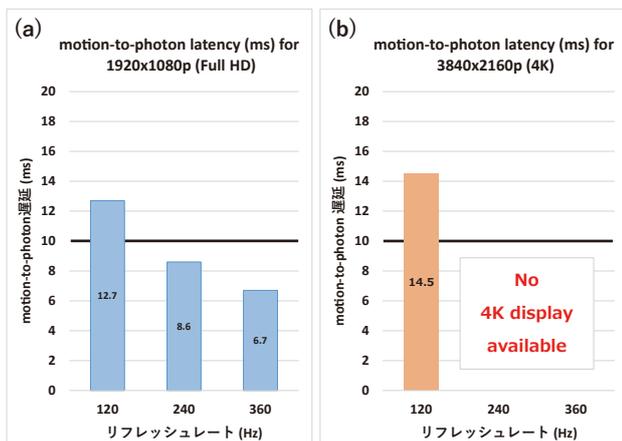


図12 motion-to-photon 遅延測定結果

6-3 評価結果の分析

6-2の結果は描画装置での映像生成時間および表示装置での表示遅延時間の処理時間を含むため、LLMCの処理時間を計測した。図13に測定結果を示す。各信号の入出力タイミングをオシロスコープで測定している。

図13に示すようにUSB処理時間 629マイクロ秒、映像処

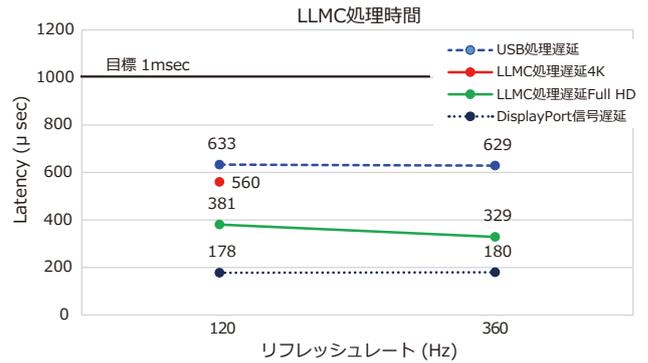


図13 LLMC処理時間

理およびIP伝送にかかる時間 180マイクロ秒の合計は809マイクロ秒となり、映像送受信装置の遅延の目標値1ミリ秒以下を達成している。LLMC処理遅延のFull HD 329マイクロ秒、4K 560マイクロ秒と809マイクロ秒と異なる理由は表示装置の表示遅延のばらつきであると考えられる。本LLMCを用いた場合のmotion-to-photon遅延の支配的要因は図11の描画装置(Renderer)とディスプレイ装置の遅延で前者はGPUの進化により更なる改善が期待されること、図13に示すように本LLMCの伝送遅延時間はFull HDと4Kで大きな差はないことを付記しておく。本稿では映像伝送の低遅延化に主眼を置いており、USB処理の詳細は省いたが今後さらなる低遅延化が要求される場合にはUSB処理を改善する必要がある。また本評価は当社製Open APN終端装置を用いて実施したものであり、異なる機器を用いる場合には、当該機器の性能特性に応じてバッファサイズの閾値等を調整する必要性が生じる可能性がある。

7. 結 言

IOWN APN向けの超低遅延メディアコンバータを開発し、motion-to-photon遅延10ミリ秒を達成した。IOWNは今後一般家庭まで普及することが想定され、セットトップボックスはIOWN向け低遅延サービスの提供する機器となることが期待される。現状では各部品の価格が高いためコストは高価であるが、今後の普及による低価格化が見込まれ、セットトップボックスとして、現状の遅延では実現できない新たな市場、サービスに向けた製品開発を推進する。

8. 謝 辞

本開発は、ソニーグループ(株)との共同実証およびATEN International Co., Ltd.との共同開発により実施されました。両社の多大なる技術支援およびご協力に深く感謝申し上げます。

用語集

※1 IOWN

Innovative Optical and Wireless Network : NTT が提唱する次世代情報通信基盤の構想。

※2 IOWN Global Forum, Inc.

NTT(株)、Intel Corporation、ソニーグループ(株)の3社によって設立された異業種統合型の業界団体。新規技術、フレームワーク、技術仕様、新ユースケース、リファレンスデザインの開発を通じ、シリコンフォトニクスを含むオールフォトニクス・ネットワーク、エッジコンピューティング、無線分散コンピューティングによって構成される新たなコミュニケーション基盤の促進を目的とする。(https://iowngf.org)

※3 ILM (Interactive Live Music) サービス

IOWN Global Forumのユースケースワーキンググループによって提案されたAI統合コミュニケーションを用いた双方向没入型の次世代3D/XRサービス。原理実証試験の要件定義 (PoC Reference) は、以下のURLを参照。
https://iowngf.org/content-type/proof-of-concepts/

※4 Open APN

様々な拠点間を光波長パスでダイレクトに接続することを可能としたオールフォトニクス・ネットワークで、Open APN 終端装置 (APN Extra-Network Gateway)、Open APN トランシーバ (APN-T)、Open APN ゲートウェイ (APN-G)、Open APN インターチェンジ (APN-I) などにより構成され、IOWN Global Forumにおいて規格提案が行なわれている。

※5 DisplayPort

VESA (Video Electronics Standards Association) によって規格化された、デジタルディスプレイ装置のために設計されたインターフェース規格。

※6 DSC

Display Stream Compression : VESA が策定した映像信号の圧縮方式。

※7 リンクトレーニング

DisplayPort 接続時に送信側と受信側が通信レートや信号品質を自動調整し、最適な通信環境を確立する初期化処理。

※8 Open APN 終端装置 FTU9100

Open APN と既存ネットワークを繋ぐ Open APN Extra-Network Gateway 機能と APN-T の制御機能を有する当社のイーサスイッチ。

※9 コヒーレント光トランシーバ ICE-X

米国 Infinera 社 (現 Nokia 社) が開発した光コヒーレント技術を用いて、一対多の通信を実現する光トランシーバ。

※10 IP セットトップボックス

IP ブロードバンド回線を経由して TV に映像コンテンツを配信する IPTV サービスの受信端末。

- ・住友電気工業(株)は、「IOWN」を推進する IOWN GLOBAL FORUM のスポンサーメンバーです。
- ・IOWN は NTT (株) の登録商標です。
- ・DisplayPort は Video Electronics Standards Association の米国及びその他の国における商標または登録商標です。
- ・VESA は Video Electronics Standards Association の商標、または登録商標です。
- ・3GPP は、European Telecommunications Standards Institute の登録商標です。

参考文献

- (1) IOWN Global Forum, "Reference Implementation Model for the Interactive Live Music Entertainment Use Case PoC Report Version: 1.0 Feb. 5, 2025," pp. 4-4, pp. 10-11 (Feb. 2025)
https://iowngf.org/reference-implementation-model-for-the-interactive-live-music-entertainment-use-case-poc-report/
- (2) IOWN Global Forum, "PoC Reference: Reference Implementation Model for the Interactive Live Music Entertainment Use Case" (Dec. 2023)
https://iowngf.org/poc-reference-reference-implementation-model-for-the-interactive-live-music-entertainment-use-case-december-2023/
- (3) 西本 裕明、「映像通信の進化と当社の役割」、住友電工テクニカルレビュー203号 (Jul. 2023)
https://sumitomoelectric.com/jp/sites/japan/files/2023-08/download_documents/J203-01.pdf
- (4) 馬場 昌之、「IP 網対応 MPEG-2 システムクロック再生方法の検討」、映像情報メディア学会技術報告 26.82 巻 (2002) (Dec. 2002)
- (5) 情報通信技術委員会、「JT-H222.0 映像とオーディオの汎用符号化システム 第5版 2008年8月25日制定」(Aug. 2008)
- (6) Video Electronics Standards Association, "VESA DisplayPort (DP) Standard Version 1.4a" (Apr. 2018)
- (7) NTT 東日本、「既存 WAN サービスとの性能比較」
https://business.ntt-east.co.jp/content/iown/comparison/

執 筆 者

田中 竜彦* : ブロードネットワークス事業部 主席



高島 稔弘 : ブロードネットワークス事業部 主幹



野元 一樹 : ブロードネットワークス事業部



高木 厚 : ブロードネットワークス事業部 主幹



上町 新也 : ブロードネットワークス事業部 部長



西本 裕明 : フェロー
情報通信事業本部 技師長



*主執筆者