

2 確定遅延通信

大容量・低遅延／確定遅延によるデータ転送の メリットをアプリケーションまで届ける

NTTのオールフォトニクス・ネットワーク（All-Photonics Network、以下、APN）IOWN1.0は高速・大容量、低遅延・ゆらぎゼロ、に加え、遅延の可視化・調整による遅延の確定という価値を提供する。NTT未来ねっと研究所（以下、未来研）はこうしたAPNのメリットをアプリケーションから利用しやすくするNWインタフェース“IOWN SmartNIC”の開発に取り組んでいる。

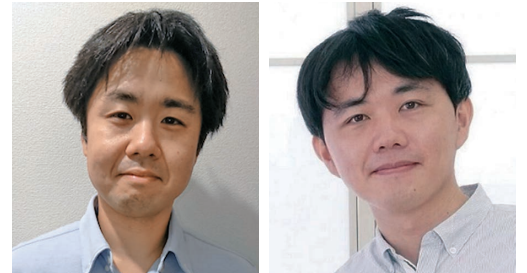
APNの特長が活きるICT基盤 “Data Centric Infrastructure (以下、DCI)”

2023年3月にAPN IOWN1.0の提供が開始された。NWの全区間で光波長を専有し高速・大容量、低遅延・ゆらぎゼロのNWサービスを実現しているほか、端末装置“OTN Anywhere”を組み合わせることによる遅延の可視化・調整も可能だ。APNの特長を活かして各所に散在する大量／大容量のデータを転送／処理することにより、新たなサービスが実現されていくことが期

待されている。

APNの特長を活かすには、スケーラビリティやパフォーマンスに関し非常に高い要求に応えられるICT基盤が必要となる。しかし既存のICT基盤ではその要求に応えることは難しかった。特に金融サービスにおけるトランザクション処理のように、一定の時間内に処理を終える必要がある場合にこの点が問題となる。

このような問題を解決すべく“Data Centric Infrastructure（以下、DCI）”というICT基盤とその



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) 主任研究員 益谷 仁士 氏
(右) 研究主任 日比 智也 氏

実現に向けたアーキテクチャの検討がIOWN Global Forum（以下、IOWN GF）において進められている。IOWN GFはIOWN構想の実現に向け世界中から多数の企業が参加している団体であり、さまざまな議論が行われている。

確定遅延を可能にする DCI向けNWインタフェース “IOWN SmartNIC”

DCIにより遠隔の複数のデータセンタ（以下、DC）に分散するデータを活用してサービスを提供する際も遅延が問題となる。特にIoTを活用し現実世界で収集したさまざまなデータを仮想空間で解析、現実世界へフィードバックするいわゆるサイ

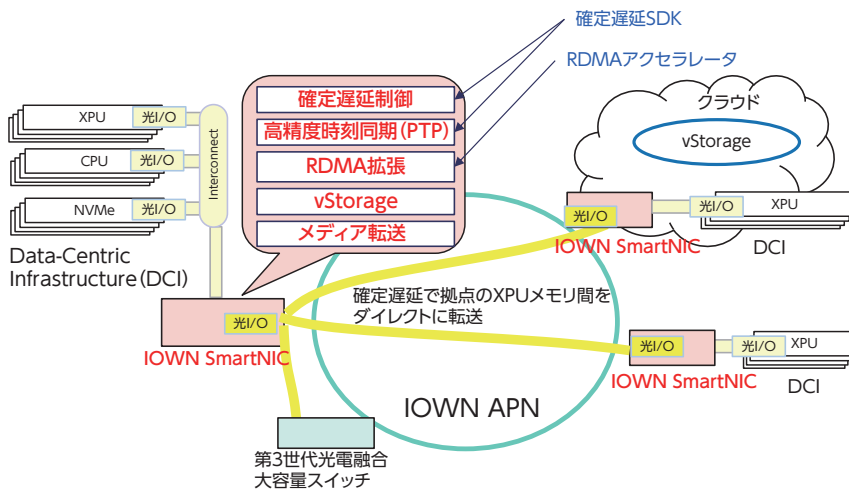


図1 DCI向けNWインタフェース“IOWN SmartNIC”の概要

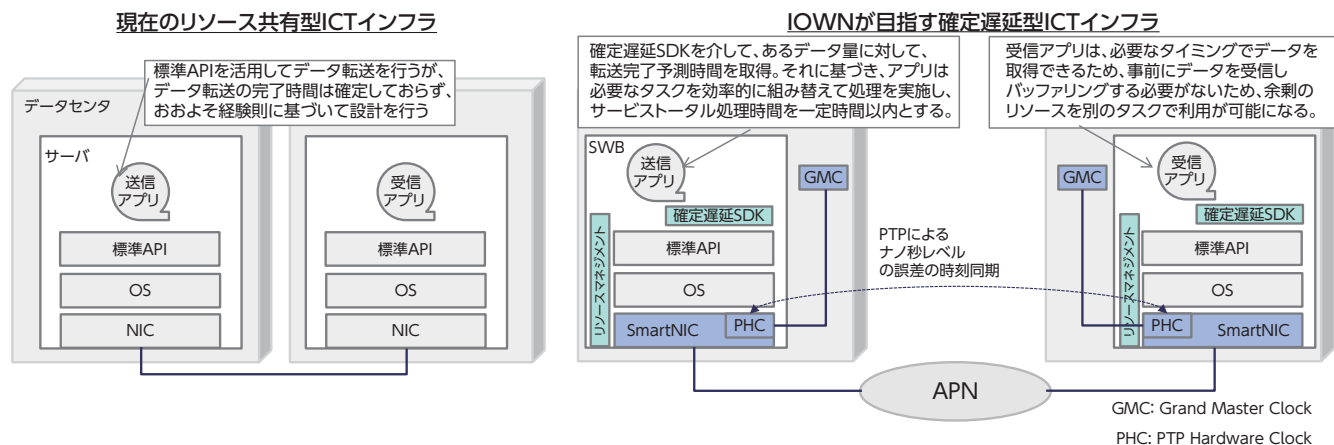


図2 既存の ICT インフラと IOWN がめざす確定遅延型 ICT インフラ

バーフィジカルシステム（以下、CPS）では、遅延を一定時間内に抑えることが求められるユースケースが少なくない。交差点で危険な状況が発生した際に周辺の車両に通知するスマート交差点などが挙げられる。

この課題に関連し、産業用ネットワーク（以下、NW）の分野では Time-Sensitive Networking（以下、TSN）という一定時間内のデータ転送を保証する NW 規格に注目が集まっている。TSN に関する議論の中では遅延を一定時間に抑えることを「確定遅延」と表現している。

未来研が DCI の NW インタフェースとして開発している「IOWN SmartNIC」（図1）は、この確定遅延を複数データセンタ間通信において実現するものとして期待される。

「IOWN SmartNIC は従来なし得なかった高速・大容量、低遅延・ゆらぎを極力抑えたデータ伝送を NW だけでなく、アプリケーションまで届ける役割を果たします。現在検討・開発を進めている機能は5つあり、そのうち確定遅延制御、高精度時刻同期、RDMA 拡張が確定遅延を実現する上で重要な機能です。IOWN

SmartNIC の開発は2段階に分けて考えており、現在は Step1 の開発中です」（益谷氏）。

ハードウェアに関する技術については実用化寄りの研究開発を担っている NTT デバイスイノベーションセンタの領域であり、本研究においても密接に連携している。

Step1：市販のスマートNICとSDKにより確定遅延通信機能を提供

Step1 では PTP / RDMA の各機能を有する市販のスマートNICを活用する。現在はスマートNICの機能をベースに確定遅延制御を可能にする機能群を開発しており、それらを SDK の形で提供する準備を進めている。

PTP (Precision Time Protocol) は NW 全体で時刻を同期するためのプロトコル。ナノ秒レベルの誤差で時刻同期を行うために利用する。RDMA (Remote Direct Memory Access) はホスト上のメモリや GPU などのメモリにあるデータを、リモートにあるコンピュータのメモリへ転送を行う機能を指す。RDMA を利用する場合、SmartNIC 上の

アクセラレータをデータ転送機能で利用するため、CPU を介した処理を極力抑えることができ、効率の良い高速なデータ転送が可能だ。一般的には同一 DC 内のコンピュータ間で利用されるものであり、そのままでは DCI で想定する遠隔地の DC との間でのデータ転送には適さない。そのため後述するように独自の機能拡張に取り組んでいる。

Step2：ハードウェアに各機能を実装。光電融合デバイスとの連携も視野に。

Step2 では Step1 で確立した各要素技術をできる限りハードウェアに実装する予定だ。これにより処理遅延をさらに小さくするほか、ハードウェアの小型化、エネルギー効率向上につなげる。

「将来的には NTT 研究所が開発を進めている光電融合デバイスとの連携も行っていくことを考えています」（益谷氏）。

IOWN でめざす確定遅延型 ICT インフラ

図2は標準的なAPIを使いデータ転送を行う既存のICTインフラ(左)

と、APN / DCI、IOWN Smart NIC など IOWN 構想の各技術を組み合わせることにより実現すると未来研が想定している確定遅延型 ICT インフラ（右）を示している。

既存の ICT インフラではデータ転送の完了時間を予め知ることができないため、一定時間以内に処理を終え応答することも保証できない。そのため経験則に基づいてデータ転送時間を予測しサービス設計を行っている。またデータ転送に必要な ICT リソースも予測しづらいため、余剰の ICT リソースを用意しておくことが一般的と言える。

確定遅延 SDK によりデータの転送完了予測時間を取得できるようになれば、サービストータルで必要な時間を一定時間に抑えるよう設計することが可能だ。データ転送時間に応じて処理の順序を組み替えるなど効率化を考える余地も生まれる。

事前にデータを受信しバッファリングする必要がないため余剰のリソースを確保しておく必要もない。その分のリソースを他のタスクに振り分けることができるためリソースの有効活用につながり、トータルではエネルギー効率の向上にもつながると期待される。

RDMA を DC 間通信に適用するため信頼性確保の仕組みを追加

前述の RDMA では TCP/IP のように送信データに対して受信側が確認応答（以下、ACK）を返し、それを受けて次のデータを送信する RC (Reliable Connection) という方式が一般的だ。ACK を待つ間はデータを転送できないため、遠隔の DC にデータを転送する場合にはパフォー

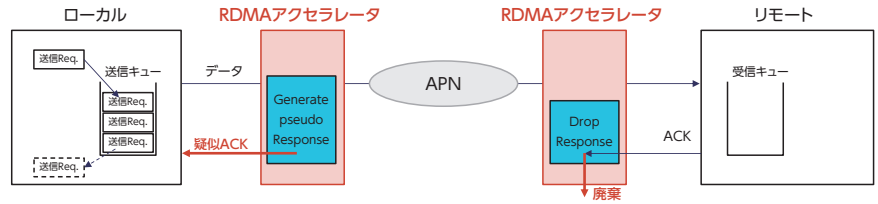


図3 RDMA アクセラレータ

マンスが落ちる。そこで未来研は ACK を待たない UD (Unreliable Datagram) という方式で RDMA を行う方針だ。ただし UD ではその名のおり信頼性が損なわれるため、別途信頼性を確保するための技術開発に取り組んでいる。

「UD への対処はいくつかの方法が考えられます。どの方法が適しているかは、最初から装置にその仕組みを実装できるかどうかといった条件にも左右されます。問題は求めているデータ転送速度が非常に速いことです。信頼性確保のための処理による速度低下の影響が出やすいと言えます。速度と信頼性の両立は容易ではありませんが、なるべく性能を落とさずに信頼性を確保することに注力しています*」（日比氏）。

疑似 ACK を返信する RDMA アクセラレータによる転送性能向上と低遅延化

未来研は RC 方式による RDMA を DC 間のデータ転送に適用する取り組みも行っている。データ送信側と受信側のそれぞれ近傍に NW を挟み込む形で RDMA アクセラレータという装置を挿入することにより、ACK を待たなくて良いようにした（図3）。

RDMA アクセラレータはデータ送信を検出すると疑似的に ACK を

返信する。データ送信側にはこの疑似 ACK が迅速に返ってくるため、すぐに次のデータを送信できる。受信側から送られる本物の ACK はもう一方の RDMA アクセラレータが破棄する。

実証実験により RDMA アクセラレータの有効性を確認

RDMA アクセラレータを活用する RDMA 通信については、ソニーグループ株式会社（以下、ソニー）と共同で行った触覚を伴う精密遠隔操作の実証実験において有効性が実証されている。

この実証実験の目的は物に触れたときに受ける抗力を高い精度で 3D 映像情報とともに遠隔にいる操作者へリアルタイムにフィードバックできること、またそれにより遠隔からでも精密なロボットアーム操作を行えることを実証することであった。

操作者の動きと遠隔のロボットアーム先端を高い精度で連動させ操作する仕組みは、ソニーが開発した精密バイラテラル制御技術により実現した。

低遅延なデータ転送は未来研が開発した非圧縮映像伝送技術および RDMA アクセラレータを用いる RDMA アクセラレーション技術を活用して実現した。

実験の結果、APN を介し約

120km 離れたエンドツーエンドで、1ms 以下の低遅延で安定しロボットアームを操作できることが確認された。RDMA を用いたアプリケーション側の通信処理については、10 μ s 以下の低揺らぎで安定的に動作することが確認されている。

IOWN GF で検討されている ユースケースに適用し 社会実装を推進

未来研は APN との連携により確定遅延で処理を完遂する技術を確立することで、既存の NW では成し得なかったミッションクリティカルな社会基盤・市場の開拓につなげたいと考えている。システム構成の例を図 4 に示す。

実用化に向けては各種ベンダーなどさまざまな企業との連携が不可欠であるため、技術開発と平行し仲間作りにも取り組んでいる。IOWN GF での活動が役立っており、具体的なユースケースについても IOWN GF で検討されている 3 つのユースケースを想定している。

1 つは「E2E Deterministic Networking and Computing」。APN と DCI によりコンピューティングとデータ伝送を含めエンドツーエンドで確定遅延により処理を完了することをめざす。ミッションクリティカルなアプリケーションへの対応を想定している。

もう 1 つは「Financial use case」。金融市場データの分析や、金融取引を確定遅延で行い、運用成績を高めるといったことを想定している。またデータベースのバックアップやレプリケーションの高速化への活用も考えられている。

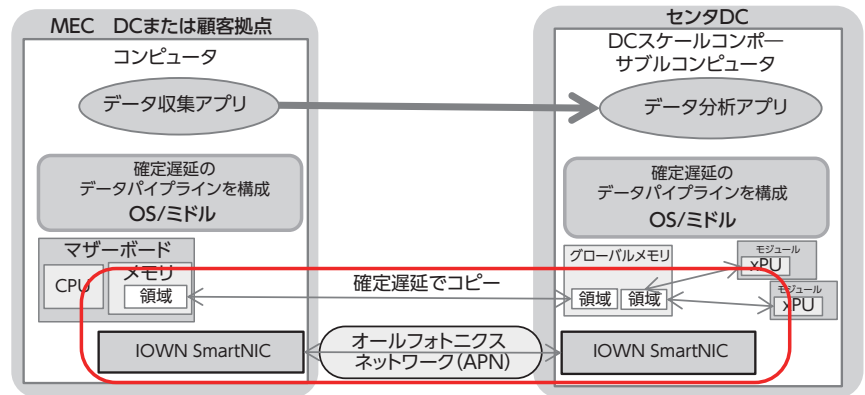


図 4 APN との連携により確定遅延で処理を完遂する ICT システムの例

もう 1 つは「Construction use case」。複数の建設現場のデータを集約、分析し、リスクを早期に検出することや欠陥をリアルタイムに検出することを想定している。

「建設現場のデータを収集し AI で推論を行うニーズがありますが、現状は特に映像データの高速・低遅延な転送が課題となっています。エンドツーエンドでの確定遅延を実現することにより、物理制御を伴うユースケースへ AI による予測や推論を適切に適用できることが期待されます」(益谷氏)。

エンドツーエンドでの 確定遅延実現に向け NTT 研究所内で連携

確定遅延型 ICT インフラを実現するためには高速にデータ転送さえできれば良いのではないという点ですが、本研究の重要なポイントの 1 つだ。エンドツーエンドで確定遅延を実現するにはデータ転送後のアプリケーションにおける処理も確定的に行えなければ意味がない。この問題については NTT ソフトウェアイノベーションセンタ (以下、SIC) が取り組んでおり、未来研と SIC で連携して研究開発を進めている。

将来的には IOWN SmartNIC を 直接 APN に接続可能に

IOWN SmartNIC の実用化に向けた研究開発の今後について、益谷氏は次のように述べている。

「当面は現在想定している機能群の開発に力を入れます。企業によりニーズは異なりますので、全ての機能をまとめて提供するだけでなく必要な機能のみ提供していくことも想定しています。たとえば RDMA アクセラレータの機能のみ提供することは十分にあり得ると考えています。Step1 で要素技術を確立した後、Step2 では実装技術に関する研究開発を主なテーマとして挙げていますが、加えて運用に必要な監視／管理機能の検討も必要になると思っています。また市販のスマート NIC を活用する Step1 の IOWN SmartNIC は APN に直接接続することができません。将来的には APN における光パスの端点である APN-T に直接接続できるようにしていきたいと考えています。」

※ NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の助成業務 (JPNP20017) の結果得られた成果。