

## 4 遅延マネージドネットワーク

# ユーザーの手元まで超低遅延かつ遅延差／遅延ゆらぎのない通信環境を提供

ネットワーク（以下、NW）の遅延がオンラインのサービスやコミュニケーションに影響し、ユーザー体験（以下、UX）を低下させている例は少なくない。NTT 未来ねっと研究所（以下、未来研）は、NW 遅延を極限まで削減することに加え、距離などの違いによって生じる NW 遅延を調整し、高速かつ安定した通信環境を提供するための技術を開発した。

### リモートアクティビティの UX に通信の「遅延差」や「遅延ゆらぎ」が影響

NW 利用の高度化やコロナ禍の影響により、オンラインカンファレンスや、大勢の人がバーチャル空間からイベントに参加／視聴するようなリモートアクティビティが急速に拡大している。なかでも複数拠点間でインタラクションが行われるアクティビティの場合、通信遅延が UX に与える影響を無視できない。

近年、日本でもコンピューターゲームをスポーツ競技として行う e スポーツのプロ選手やプロチームが登場するようになった。この e スポーツの大会をバーチャル空間で開催するケースを例に考える。各選手が異なる拠点からリモート参加する場合、「通信遅延が選手毎に異なると公平な対戦が実現しない」、「観客の歓声のタイミングがばらつき一体感が損なわれる」といった問題が生じやすい。

「対戦型ゲームで相手より遅延が大きいと、相手のプレーに対する反応が遅れてしまいます。スーパープレイに対する歓声があがっても、そ

れが選手に届くタイミングがずれると、選手には相当の違和感があるでしょう。通信遅延が UX に影響するのは、e スポーツのような特に遅延にセンシティブなイメージのあるユースケースに限りません。たとえば Web 会議も遅延の影響を受けています。Web 会議で掛け合いのような議論が難しいのも、遅延が影響していると言えるでしょう。」（小田氏）

### 遅延を極限まで削減し、遅延ゆらぎと遅延差はゼロに

通信遅延の影響を軽減しより良い UX を実現するには、まず低遅延の通信環境が不可欠だ。さらに、遅延



NTT 未来ねっと研究所  
トランスポートイノベーション研究部  
（左から）研究主任 小田 拓哉氏  
研究主任 新宅 健吾氏

の見える化により問題を把握し、遅延を適切にマネジメントする必要がある。

このような背景から未来研が取り組んで来た研究開発について、小田氏は次のように述べている。

「通信遅延を物理的極限に迫るほど減らすことに加え、拠点間に遅延差が無く、さらに遅延の揺らぎも無い通信環境、いわば『遅延マネージ

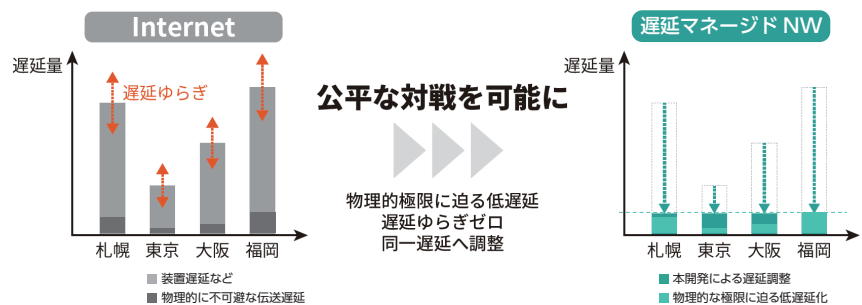


図1 eスポーツ大会への適用例

ドNW』を実現するための研究開発に取り組みました。この研究の目的は、eスポーツを含むエンターテインメント領域を皮切りに、文化芸術、リモートワーキング、教育、遠隔医療、遠隔コラボレーションなど、遅延にセンシティブなアプリケーションにおけるUX変革をもたらすことです。」(小田氏)

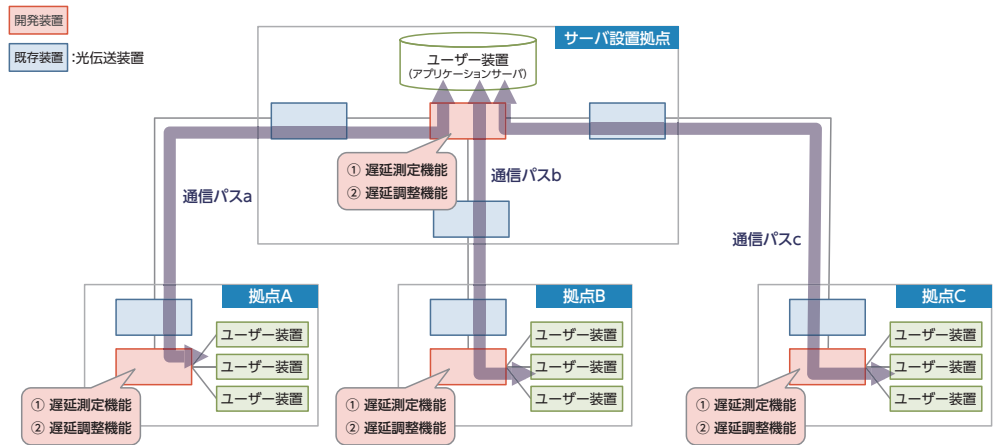


図2 遅延マネージドNW構成概要

## 遅延マネージドNWの適用イメージ

たとえばeスポーツの大会を、複数拠点から選手が参加する形で開催すると仮定する。対戦ゲーム用のサーバーを東京に設置し、選手は東京、札幌、大阪、福岡からリモートで参加したとすると、図1左のように通信距離に応じて通信遅延に差が生じる。濃いグレーは信号が届くのに最低限必要な物理的極限に近い遅延、薄いグレーはインターネットプロバイダーも含め各種NW機器による処理で生じる遅延、オレンジ色の矢印はNWの混雑具合など、時間により変化する条件に影響される遅延、を意味する。一般的に低遅延で接続するユーザーが早く反応できることからサーバーが設置される東京の選手が明らかに有利であり、このような通信環境での公平な対戦は難しい。

遅延マネージドNWでは、インターネットを介さない通信パスを用意することにより、遅延を極限まで減らす。図1右の薄いグリーンは、極限まで低遅延化した遅延の値を意味している。このままでは、やはり場所による遅延差が生じてしまうため、今度は遅延が大きい場所に合わせる形で遅延を追加する制御を行う。それが濃いグリーンで示した部分であり、ユーザー間での遅延差がゼロの状態になる。

このような物理的極限に迫る超低遅延かつ通信遅延差も遅延ゆらぎもない安定した通信環境により、公平な対戦が可能になる。

## レイヤー1の通信制御により極限まで遅延を削減

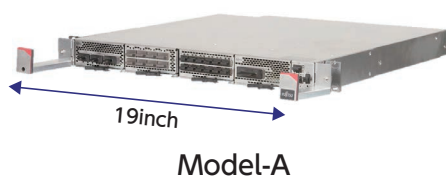
物理的極限に迫る低遅延を実現するため、遅延マネージドNWでは、OSIの物理層であるレイヤー1にお

いて、OTNプロトコルベースの通信制御を行う。

「わかりやすく言えばかつてのメタル回線による電話網における回線交換のようなものです。レイヤー2や3で行うようなパケット交換と異なり、通信相手との接続が確立した後は、通信パスの帯域を占有します。そのため原理的には遅延の揺らぎもなく通信帯域が固定された通信を実現できます。レイヤー2や3でもVPNのような技術によって、帯域を占有する通信パスの実現は可能ですが、通信が集中した際にパケットをキューイングしたり、パケットロスが生じた際に再送したりといった処理を行うため遅延や遅延の揺らぎが生じやすいと言えます。レイヤー1だけで通信制御を行う場合はそうした処理が不要なため、物理的な限界に近い低遅延を実現できます。」(小田氏)

## 遅延マネージドNW構成概要

遅延マネージドNWの構成例を図2に示す。回線交換の方式は前述のOTNプロトコルベースであり、図中の「開発装置」は本研究により



Model-A



Model-B

図3 遅延マネージドNWの通信装置 (試作機)

多様な通信媒体を対象に新たな通信パラダイムを切り拓く  
NTT未来ねっと研究所

開発した遅延マネージドNW専用の装置を意味する。図3に示したのがこの装置の試作機だ。これらを既存の光伝送装置に接続し、通信パスのエンド・ツー・エンドで遅延マネジメントを行う。

この装置は遅延を測定し、遅延揺らぎと遅延差をゼロにする役割を果たす。遅延を測定する機能は全ての装置が備えており、アプリケーションサーバーの設置拠点に設置する装置（図3に示した試作機では左側）だけが遅延を調整する機能を備えている。このため各拠点に設置する装置（図3に示した試作機では右側）は比較的小型化が可能だ。

これらの試作機により、現時点で1装置あたり100Gbpsまでの通信が可能な遅延マネージドNWを構築できる。

**eスポーツ大会への適用を  
想定した実証実験／デモを実施**

この試作機を用いて、これまでさまざまな実証実験やデモが行われてきた。特にわかりやすいのが、前述のeスポーツへの適用だ。

2021年11月に開催された“NTT

R&D FORUM — Road to IOWN 2021”では、対戦ステージを設け、プロチームに所属するトップレベルのeスポーツ選手2名に対戦してもらった。遅延差のある従来のNWを模擬した通

信環境で対戦した場合と、遅延マネージドNWにより選手間の通信遅延差の無い状態での対戦を比較することにより、その効果を実感してもらうことが目的であった。

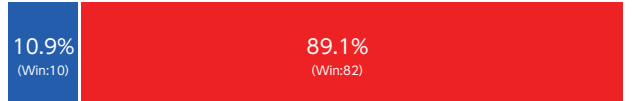
この対戦ステージは、東京と大阪の各拠点から選手が参加し対戦することを模擬して構築された。東京と大阪は直線距離にしておよそ400kmだが、東京-大阪間に敷設されている光ファイバーケーブルのルートはおよそ700kmの距離があるため、同じく700kmの光ファイバーケーブルで接続される模擬的な東京会場と大阪会場を用意した（図4）。

「ファイバーケーブル中を光が700km往復するだけで約7msの伝

OSAKA

TOKYO

不公平 / Unfair Latency (Internet)



公平 / Fair Latency (Delay Adjustment)



図5 対戦の結果

送遅延が生じるため、通信装置内の処理遅延を加味しても東京-大阪間で7.5ms程度が最短遅延であると想定できます。」（小田氏）

ゲーム用のPCは大阪側に設置し、ディスプレイとキーボードやコントローラーなどの入出力装置は、NWを通じてゲーム用PCと接続した。入出力装置の信号を、NWを通じてPCに伝送するために別途、信号変換装置を使用している。コンピューター本体と離れた場所にある入出力装置を接続するための装置であり、市販のものを利用した。

ゲームは対戦格闘ゲームを使用した。従来のインターネット接続を模擬した環境と比較するため、まず東京側のみ50msの通信遅延が生じる状態で対戦し、その後、遅延マネージドNW技術により東京、大阪双方の通信遅延を7.5msに揃えた状態で対戦してもらった。

さらに2022年1月に開催された“docomo Open House ‘22”に参加し、ここでも同様の対戦ステージを使った

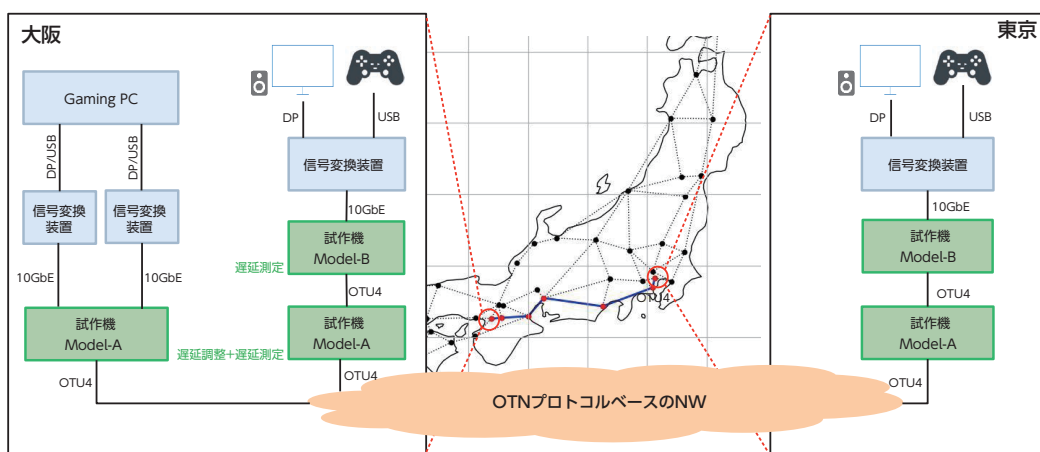


図4 東京-大阪間を模したeスポーツ対戦ステージのNW構成

デモンストレーションによって本技術をアピールした。

## 遅延マネージド NW による 公平な対戦環境の実現を確認

この東京と大阪を模した対戦ステージにおける対戦の勝敗データを図5に示す。インターネット接続を模擬した不公平な通信環境下では、50msの遅延が生じる東京側の選手が明らかに多く負けている。これに対し、遅延を調整し公平な通信環境下で行われた対戦では、むしろ東京側の選手の方が勝率は高い。

実際にプレーした選手の感想も「遅延が大きい環境では相手の攻撃に対する反応が遅れ、普段通りの力を発揮できなかった」、また「遅延の小さい環境では思い通りにキャラクターを操作できた」というものであった。

公平な通信遅延環境の重要性が実証されたと同時に、多拠点から選手が参加するeスポーツ大会を公平に行うために、遅延マネージド NW が役立つことも実証できたと言える。

## オーケストラとリモートの 演奏者による合奏に活用

コロナ禍により人同士の接触を控える必要があった間、オンラインでリモートの演奏者と合奏する試みが多く見られた。通信遅延の影響を受けやすいため、実際にはかなりの困難を伴ったことが想像できる。このようなユースケースにはまさに遅延マネージド NW が適している。

2022年3月、NTT ArtTechnologyとBunkamuraが主催して行われた東京フィルハーモニー交響楽団によるコンサートにおいて、コンサート会

場であるBunkamura オーチャードホールとNTTインターコミュニケーション・センター [ICC] に複数の演奏者が集まり、リモートで合奏するという試みが行われた。NTT 東日本の技術協力により実現した取り組みであり、NWには未来研の遅延マネージド NW 技術が活用された。

2つの会場は3kmほど離れていたが、遅延マネージド NW により、指揮者の動きやリモートの演奏者の様子、演奏を、約20msという低遅延でお互いに届けることができた。リモートでも音のずれはなく、一体感のあるハーモニーが実現した。指揮者も演奏の時差を感じなかったという。

## 要素技術を確認 専用装置の機能強化も検討

紹介してきたように、試作機による技術実証も行われており、要素技術は既に確立されている。将来的には、NTTグループの事業会社によって幅広いユーザーに利用してもらうサービスに適用できるよう、ブラッシュアップされていくものと予想される。ただし現時点でも個別の要件に合わせ、イベント会場や施設などを繋ぎ、試作機を使って遅延マネージド NW を実現することが可能だ。

今後の取り組みについて、小田氏は次のように述べている。

「要素技術はある程度確立できた状態ですが、試作機の機能拡張などは検討の余地があります。eスポーツ大会を想定した実験では、信号変換装置を使って入出力装置の信号をNW伝送していました。たとえばこの役割を我々の装置に取り込めると良いのでは、と考えています。これ

によりユーザーが体感する遅延量をさらに削減できていると思っています。」

## ユーザーの手元まで超低遅延 かつ遅延差やゆらぎのない 通信環境を提供

遅延マネージド NW の価値について、新宅氏は次のように述べている。

「我々が開発した技術の重要なポイントは、ユーザーの手元まで100Gbpsのような大容量かつ高速な通信パスを提供すること、しかも遅延の測定や調整といった遅延のマネジメントを可能にする技術であるということです。」

## さまざまなユースケースに 遅延マネージド NW を活かす

遅延マネージド NW は用途を限定した技術ではなく、さまざまなユースケースへの適用を期待できる。

「リアルタイムなインタラクションの重要性が特に高いユースケースということで、eスポーツやオーケストラとのリモート合奏の例を紹介しています。ですが遅延マネージド NW は特定のユースケースにこだわった技術ではありません。目指しているのは『遅延センシティブなアプリケーション全般のUX変革』です。たとえばWeb会議をしていると議論が白熱し発言がかぶってしまう、逆に誰も発言しない妙な間が生まれてしまうといった経験があると思います。また海外から参加する場合など、通信環境の影響で1人だけ返事をするのが遅くなってしまふ、ということもあると思います。将来的にはそうした部分にも遅延マネージド NW を活かしていきたいと考えています。」