



# IOWN for Mobile Networkの技術検討

IOWN for Mobile Network Task Force (IMN-TF) にて IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) におけるモバイルおよびトランスポートネットワークにかかわる技術トピックとして、モバイル領域における5G（第5世代移動通信システム）の現状から6G（第6世代移動通信システム）に向けたトランスポートネットワークの主要要件の検討、IOWN Global Forum がめざすユースケースを実現するうえでの技術ギャップの分析と解決提案、さらに APN (All-Photonics Network) および DCI (Data Centric Infrastructure) フレームワークを活用した将来のトランスポートネットワーク・アーキテクチャの探究などの活動を行っています。本稿では、その活動内容を紹介します。

キーワード：#Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology, #PoC Reference, #IMN

## Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology

IOWN for Mobile Network Task Force (IMN-TF) では、IOWN Global Forum (IOWN GF) のインフラストラクチャを利用するモバイルおよびトランスポートネットワークに求められるユースケースや技術についてグローバルベンダ、および通信キャリアなどと研究、提案、議論を行っており、これまで2022年1月に Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology<sup>(1)</sup>、2023年4月に Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology- Advanced Transport Network Technologies for Mobile Network<sup>(2)</sup>の文書を公開しています。今回は現在IMN-TFにてこれまでの活動として議論してきたトピックを中心に紹介します。

5G（第5世代移動通信システム）で求められる多くの先進的ユースケースにおいて、例えば、エリアマネジメント、遠隔手術、AR (Augmented Reality)・VR (Virtual Reality)、産業オートメーションなどの映像中心のアプリケーションや遅延にセンシティブなケースでは、モバイルネットワークに対し膨大なエンド・ツー・エンド帯域容量、高い信頼性と可用性、そして極めて低遅延が要求されます。モバイル・セルサイトにトランスポートネットワークを提供する場合にはさまざまな技術がありま

すが、中でもファイバは、大容量でかつ広く設置されているため、固定ネットワークサイトには最適なソリューションです。そこで、IOWN GFのDCI (Data Centric Infrastructure) および Open All-Photonic Network (Open APN) アーキテクチャに関連するモバイルネットワーク用のファイバベース光伝送ネットワークを用いた実現方法の提言をIMN-TFで行っています。

5Gではミリ波周波数帯を利用して、広い帯域幅で高いデータレートを実現していますが、エリアをカバーするにはセルサイトをより高密度に配置する必要があります。一方でモバイルネットワークのインフラストラクチャは、クラウドネイティブなネットワーク機能仮想化へと進化しているためサービス導入の改善、プロビジョニングのアジャイル性の向上、運用コストの削減などの技術的・経済的な観点から、技術トレンドに合わせさまざまなトランスポートネットワークの選択肢と構成について研究と議論を行っています。

5Gで実現する新サービスやアプリケー

ションでは、拡張モバイルブロードバンド (eMBB: enhanced Mobile Broadband)、超高信頼低遅延通信 (uRLLC: ultra-Reliable Low Latency Communication)、大量のマシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communication)、高速固定無線アクセス (FWA: Fixed Wireless Access) の技術が用いられます。これらの新サービスやアプリケーションは、より大量のデータを発生するとともに、その低遅延要求は極めて厳しくなっています。モバイルネットワークのデータが増えると、バックホールからデータセンタまでの全トランスポートネットワークが大容量となることを求められる一方で、モバイルユーザが利用する、時間にセンシティブなアプリケーションは増え続けており、それらはミリ秒オーダーの超低遅延が要求されます。3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) 技術報告書のうち、3GPP TR 38.801<sup>(3)</sup>、3GPP TR 38.806<sup>(4)</sup>、3GPP TR 38.816<sup>(5)</sup>には、8つの可能な RAN (Radio Access Network) 機能スプリットオプションの規定がありますが、

すぎはら まなぶ  
杉原 学<sup>†1</sup>  
しまつ よしつぐ<sup>†2</sup>  
島津 義嗣<sup>†2</sup>

NTT 研究企画部門<sup>†1</sup>  
NTT 技術企画部門<sup>†2</sup>

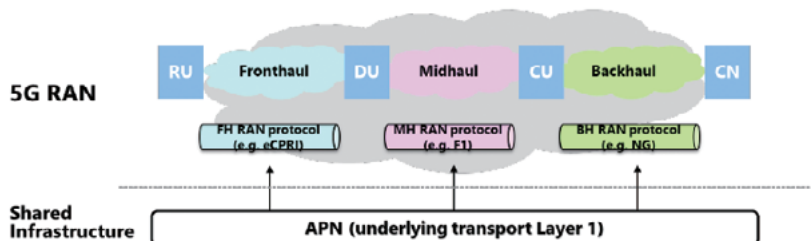


図1 RANとAPN

表 さまざまなRANスプリットオプションでの目標とするフロントホール帯域幅と遅延要件

KPI	5G (2020)	6G (2030) (Projected)
E2E		
Peak Data Rate	<10Gbps	<100Gbps~1Tbps
User Plane Latency (ms)	1	0.1
TRANSPORT : LOWER LAYER SPLIT (OPTION 7)		
Bandwidth	<25~50Gbps	<250Gbps~5Tbps
Frame delay (one-way)	0~160us Fiber delay : 0~150us (0~30km) Packet delay Variation (PDV) : 0~160us (0~2swiches)	0~larger than 160us Fiber delay : 0~larger than 150us (0~larger than 30km) PDV : 0~less than 10us
TRANSPORT : HIGHER LAYER SPLIT (OPTION 2)		
Bandwidth	<10Gbps	<100Gbps~1Tbps
Frame delay (one-way)	Up to ms order (up to 100km order)	Up to ms order (up to 100km order)

モバイルキャリアが検討している要件の中でもっとも厳しい要件を表に示します。これらの厳しい要件に対しトランスポートネットワークソリューションの実現可能性についてPoC (Proof of Concept) を実施することとしています (図1)。

さらに、主にAPNとDCI技術を活用したIOWNモバイルネットワークについて、IOWN GF APN/DCI上でのRAN展開シナリオやDCIとAPNによる高可用性や障害耐性、またモバイルトラフィックの昼と夜の変動に応じた最適な数での基地局運用で、低消費電力を実現するエラスティックロードバランシングのユースケース議論などを行っています。

#### ■ APN/DCI上でのRAN展開シナリオ

APN/DCI上でのRAN展開シナリオを検討するにはトランスポートレイヤの接続機能と性能を考慮する必要があります。トランスポート接続サービスの定義には、一般に、トポロジー、UNI (User Network Interface)、トラフィック・帯域幅プロファイル・特性、プロトコル、そのサービス属性の集合などが含まれますが、RAN機能に接続する際には例えば、FH (Fronthaul) RANプロトコルの標準化されたeCPRI (enhanced Common Public Radio Interface) での接続のようにRAN領域の特性をサポートすることが重要です。

各RAN機能をAPNに接続する方法には、光トランシーバで直接波長パスを終端する方法と、フレキシブルブリッジサービスな

どのブリッジ機能を利用する方法があります。

RU (Radio Unit) 側にAPNに直接接続する方法としてPON (Passive Optical Network) 技術が利用可能であり、TDM (Time Division Multiplexing) -PON がその実現方法の1つです。しかし、TDM-PONを適用する場合、PDV (Packet Delay Variation) 要件 (10マイクロ秒) を超える影響を吸収するために、RU-DU (Distributed Unit) 間の距離を10 kmに制限する必要があります。一方で、フレキシブルブリッジサービスは、ユースケースに応じて複数のQoSレベル (遅延やジッタなど) をサポートするために、複数タイプのサービスを定義することができるのが利点です。フレキシブルブリッジサービスを含めさまざまなAPN適用ソリューションを議論し、厳しいモバイルフロントホール要件や多種多様な基地局設置形態を満足するMobile FH over APNの実証モデルをPoC Reference<sup>6)</sup>にまとめています。

#### ■ 高可用性とエラスティックロードバランシング

APN、DCIとサブシステムであるRANインテリジェントコントローラ (RIC : Intelligent Controller) を組み合わせることで、FHネットワークはDCIリソースプール内でDUを柔軟にスイッチすることができるようになります。vDU (virtualized DU) はネットワーク機能仮想化基盤 (NFVI : Network Functions Virtualiza-

tion Infrastructure) 上で動作する仮想ノードであり、異なる地理的位置にある複数のNFVI上で自由に再構成できるようになるため、この特徴を活かし低消費電力の実現が可能と考えています。FHネットワークにおける物理サーバDUとRUの関連付けは、関係するコンポーネントの故障状態、ロードバランシング要件、省エネ要件などの外部トリガに基づいて変わります。トラフィックの変動やネットワークによって検出された障害やサービス低下などの問題の検知などのトリガの発生により、RUとDUの間の物理的関連付けをAPN波長パス切り替えの機能を用いて変更し、高可用性を実現します。

例えば、RUに接続されたすべてのユーザデバイス (UE : User Equipment) が、物理的に異なるサーバ上で再設定された新しいDUに再接続を行う、また、DUに接続されているRUの一部が、物理的に異なるDUにリソースのバランスを取りながら接続変更されるなどのケースです。このFHネットワークにおける柔軟性とリソース利用率の向上をめざして検討しているのがエラスティックロードバランシング機能です。これにより、従来のFHと比較して、RANシステムの可用性と電力効率の向上が期待され、例えば、電力効率の面では、未使用のDCIリソース (vDU) をシャットダウンし電力消費を可能な限り減らすことで、RANシステムの電力効率向上をめざしています (図2)。

■拡張CTI

現在のIMN-TFのメインのワークアイテムとして、上記2点以外にIOWN技術を利用したエンド・ツー・エンド低遅延・低ジッタサービスを提供するために、モバイルネットワークとAPNの間の拡張CTI(Extended Cooperative Transport Interface)の研究と議論をしています。

モバイルシステムのトランスポート網として光アクセスシステムを使用する場合、モバイルシステムで許容される遅延時間が非常に短いことから光アクセスシステムの遅延時間を低減させる必要がありました。そこで、モバイルシステムと連携して光アクセスシステムの通信タイミングを決定することで遅延時間を低減する機能であるCO-DBA (Cooperative Dynamic Bandwidth Allocation) が規定され、CO-DBAを動作させるために必要となる情報をやり取りするためのモバイルシステムと光アクセスシステム間のインタフェースがO-RAN (Open Radio Access Network) WG (Working Group) 4でCTIとして規定されました。既存のCTI仕様は、低遅延が要求されるサービスをモバイルネットワークで提供するショートTTI (Transmission Time Interval) やモバイルMH (Midhaul) /BH (Backhaul) には適用できないため、CTI仕様をIOWN GFアーキテクチャにおける拡張CTIとして機能拡張する必要があります。遅延制御に向けトラフィック負荷の集計などのモバイル情報を収集し、モバイルネットワークとAPNを連携するオーケストレータがAPNコントローラにデータを転送する方法を検討しています。また、ロボット等の高精度遠隔制御や自動運転を実現する場合、パケット到着時間の揺らぎ(ジッタ)が大きいと安定した制御が難しくなることから、これまでのネットワークでは性能要件として規定されていなかったジッタについても一定時間以内に抑える必要があります。

無線区間の送信タイミングや送信量に関する情報を用いてモバイルシステムとトランスポート網を構成する装置を制御することで、遅延揺らぎを抑制する手法の実現に向け取り組んでいます(図3)。

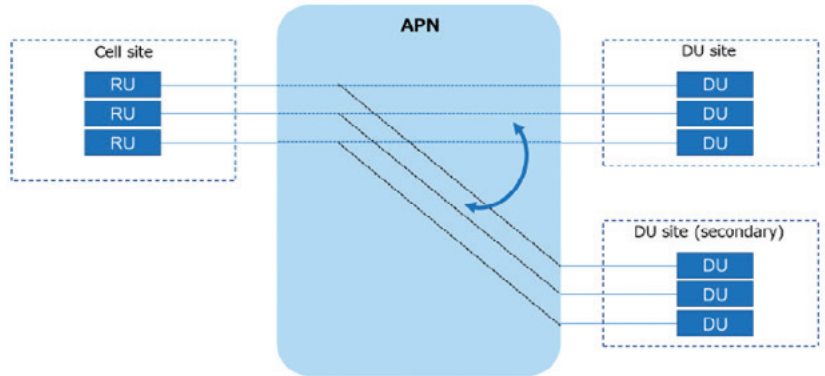


図2 高可用性とElastic Load Balancingのためのパスの動的切り替え

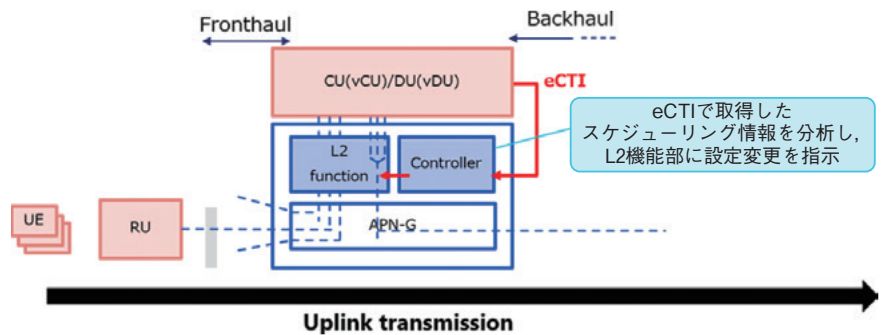


図3 eCTI概要

PoC Reference

IOWN GFが想定するユースケースをサポートするためにIMN-TFでは、非常に厳しいO-RANのFHの要件を満足することが必要であるとの認識で一致しています。Open APNは、このような要件を満たす有望なソリューションであると考えており、APNを適用したモバイルFH実現可能性について実証が必要となっています。これまで、さまざまな技術やアーキテクチャがFHソリューションとして検討されていますが、APNの適用価値を実証することで、主要なFHソリューションとして広く認知されることをタスクフォースの活動としてめざしています。

このPoCの目的は、モバイルネットワーク事業者やFHをサービスとして提供したいと考えている他の事業者に対して、FHソリューションとしてのOpen APNの利点とO-RAN KPIの実現可能性を示し、実証結果を提示することです。そしてAPN上のMobile FH (MFH) が実行可能で有望なソリューションとして認識されることで、

世界中のモバイルネットワーク事業者で採用が進み、IOWN GF関連技術をさらに促進することを期待し取り組んでいます。

PoCで実証したい点は2点あります。1つは、APNのエネルギー効率が他の代替ソリューションよりも優れている可能性があるというベンチマークです。これは、例えば、APNが電気から光への変換やその逆の変換を削減し、その結果、運用コストを削減が可能と考えているためです。もう1つは、高可用性サービスとエラスティックロードバランシングをサポートするネットワークの機能の実現です。エラスティックロードバランシングは、DU上の実際の負荷に基づいて、一連のvDUへのRU接続をアクティブで動的に切り替えることを可能にするユースケースを定義した用語です。RUとvDUを専用ダークファイバで接続し、RUが多重化などを行わずにDUに直接接続することはAPNを使用するよりも効率的ですが、専用ダークファイバでは、モバイルネットワーク事業者はトラフィックの変動に応じてDUに対し動的に計算資源などの必要なリソースを柔軟に割り当てるこ

とができません。APNの波長パスを動的に切り替えられる特徴を活かし、トラフィック量やその他の要因に応じて、宛先のコンピューティングリソースを柔軟に利用することを可能とします。これにより、APNは、モバイルネットワークオペレーターがDUコンピューティングリソースを最適化したうえで運用することを可能にし、その結果、消費電力を含めた運用コストや基地局コストの削減が実現可能になると考えています。

PoCでは、この2つの可能性をステップで分けて証明することにしています。

Step1は、APNを介したモバイルFHの実現可能性の評価です。非常に厳しいO-RAN MFH要件を満たすことを示します。この要件は、O-RAN仕様〔O-RAN Fronthaul Interoperability Test Specification (IOT)〕やIMN文書の技術要件に規定されています。

Step2は、エラスティックロードバランシングによるエネルギー効率の評価です。エネルギー効率について、通常の運用形態におけるダークファイバ上でL2/L3スイッチを使用するパケット多重化のモデルとエラスティックロードバランシングを適用したモデルを比較し、どの程度消費電力が低減されているかを実証しました。また一方でサービスや運用への影響の観点で、エンド・ツー・エンドスループットの低下やvDUホストの切り替えに要する合計時間や、DUホストのスイッチング中のエンド・ツー・エンドスループットの変化などを検証しサービス継続性への課題やその他技術的な課題の有無について明確にします。

Step1のPoCでは、下記のネットワーク構成で実際に、vRAN (virtualization of RAN) 装置とAPN装置を用いてS-Plane, C(Control)-Plane, U(User)-Planeのレイテンシやスループットのデータを取得することでO-RAN KPI (Key Performance Indicator) を満たすことを示します。

ネットワーク構成は、RUとDUのMFHが一定距離で離れて設置され、vDUが同じサイトに集約されているケースをモデルとしています。最小構成として、1つのセ



図4 PoC Step1のネットワーク構成図

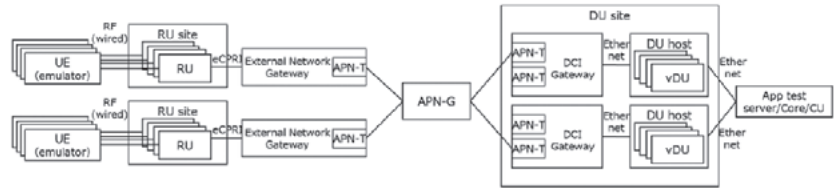


図5 PoC Step2のネットワーク構成図

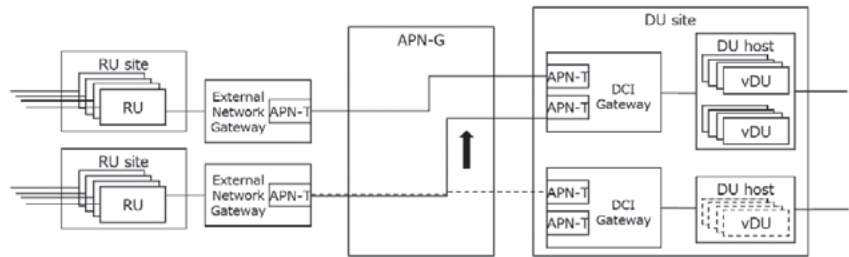


図6 光スイッチングベースの方式

ルサイトに複数のRUサイトがあり、それらを1つのファイバにAPNにて多重化するため、少なくとも2つのRUサイトが必要と定義しています\* (図4)。

Step2のPoCでは、下記のネットワーク構成でエラスティックロードバランシングの概念のフィージビリティ確認のためStep1のデータ取得に加えて、有効性と有用性を評価するために、Step1の環境を拡張し、vDUの複数ホストでの分散処理から1つのホストでの集中処理への切り替えができるように複数配置します (図5)。

このAPNの波長切り替えとして2つの動的パススイッチング方式の評価を定義しています。

方法1は光スイッチング方式です。この方式は、APN-Gが、vDUごとに集約されたトラフィック変動を元にして最適な運用数のvDUにて再構成されるときに、Extra Network GatewayとDCI Gatewayの

間の光パスを切り替える方式です。RUサイトとDUホストがそれぞれで接続された状態でDU側のワークロードが減少すると、上位の1つのDUホストにて集中して処理できるように、下位DUホストに接続されている光パスを上位DUホストに接続するように切り替えるケースを想定しています (図6)。

方法2はパケット交換方式です。この方式は、トラフィック変動によるvDUの再設定時に、DCIゲートウェイがDCIゲートウェイとDUホスト間のL2/L3パスを切り替えます。RUサイトとDUホストがそれぞれで接続された状態でDU側のワークロードが減少すると、上位の1つのDUホストにて集中して処理できるように、L2/L3パスを上位DUホストに接続するように切り替えるケースを想定しています (図7)。

Step2では、Step1のレイテンシやスループットの測定項目に加えRUサイトとDU

\* RU当りの帯域幅：10G/25G/50G, RUとDU間の距離：2パターン、10~30 km.



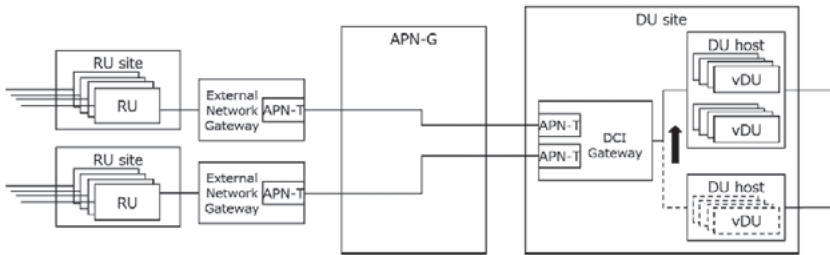


図7 パケット交換ベースの方式

サイト間のOpen APNおよび外部ネットワークのエネルギー消費量や、切り替え時間、サービス中断時間など運用やサービスレベルにかかわるデータ測定を規定しています。

## PoCの実施状況

PoCは2023年度にStep1, Step2を実施するスケジュールで、IMN-TFメンバの各社と議論やPoCに着手しています。Step1のPoCは、各社で進めており、現在5つのPoCを実施中もしくは、PoC実施に向けた準備をしている状況です。PoC実施向けには、各社よりさまざまなMFH over APNの詳細なネットワーク構成の提案を受け議論し、最終的にPoC Referenceに準じてAPN技術をベースに下記2つのモデルで合意をしました。また、提案のあったソリューションについても、有望なソリューションになり得るか引き続きメンバ間で議論し、ユースケース、メリットの明確化のうえその後PoCの実施と整理を図りつつ進めています。

一方、Step2においては、今後2023年下期に向けて本格的に詳細なユースケースや動作の条件規定やKPIや取得データの議論をしてPoC Referenceの改版をめざしているところです。

## NTTグループのIMN-TFの取り組み

IMN-TFにおけるNTTグループの取り組みは2点あります。

1点目は、NTT研究所からの光無線連携制御技術の研究活用に向けた提案です<sup>7)</sup>。無線区間を構成するモバイルシステムは基

地局装置間やコアネットワークとの接続のためのトランスポート網として有線ネットワークを使用しますが、従来、モバイルシステムとトランスポート網は、それぞれ独立して設計・構築・運用されており、モバイルシステムの状態に応じてトランスポート網の動作を動的に変更するような一体としての動作は行われてきませんでした。低遅延が要求されるサービスをモバイルネットワークで提供するには、DUなどのネットワーク装置が提供するモバイル情報を用いて、光パスやDCIゲートウェイを介して遅延を低減、制御する必要があります。遅延時間の低減機能はO-RAN WG 4でCTIとして規定されていますが、NTT研究所では、CTI仕様をIOWN GFアーキテクチャにおける拡張CTIとして機能拡張し、APNコントローラが拡張CTIを介してCU/DUからモバイル情報を取得し、エンド・ツー・エンドで低遅延・低ジッタを実現する方法の研究を行い、提案と実証に向けた議論を主導しています。

2点目は、2022年4月よりNTTドコモがCo-coordinatorとしてIMN-TFを運営・サポートしている点です。Open RAN商用展開とOREXを通じたvRAN推進の経験を踏まえ、他TFとも連携をしながら、IMN-TFにおける活動計画の策定、各トピックのゴール・ターゲット設定、メンバミーティングの議題や論点の整理、3GPPやORANなどの国際標準化動向の入力など、各社メンバとのコミュニケーションを通して、取り組みが円滑に進むようリードしています。

これからもIMN-TFの活動にてエラストックロードバランシングを用いたモバイル領域での課題解決検討に取り組んでい

きます。

## 参考文献

- (1) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Technical-Outlook-for-Mobile-Networks-1.0-1.pdf>
- (2) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-IMN-PHSE2-1.0.pdf>
- (3) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3056>
- (4) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3307>
- (5) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3364>
- (6) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-MFH-over-APN-PoC-Reference\\_1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-MFH-over-APN-PoC-Reference_1.0.pdf)
- (7) <https://journal.ntt.co.jp/article/23110>



(左から) 杉原 学 / 島津 義嗣

IOWN GFがめざすユースケースを実現するためのモバイルおよびトランスポートネットワークにかかわる技術課題について、GFメンバとともに解決に取り組んでいきます。

## ◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
TEL 03-6838-5648  
FAX 03-6838-5349  
E-mail iown-info@ntt.com