



# 豊かな社会生活の実現を支えるワイヤレス技術

NTT研究所では、6G（第6世代移動通信システム）/IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）時代に向けて、無線端末・無線方式・利用アプリケーション・利用形態の多様化に伴うさまざまな要件に対応する無線通信技術の研究開発に取り組んでいます。本稿では、プロダクトとして具現化した技術群であるマルチ無線プロアクティブ制御技術（Cradio<sup>®</sup>：クレイディオ）と、さらなる高度化に向けた研究開発技術について紹介します。

キーワード：#6G, #無線アクセス, #Cradio<sup>®</sup>

おがわ ともあき  
小川 智明

NTTアクセスサービスシステム研究所

## 6G/IOWN 時代の無線アクセス

次世代のネットワークの姿として、光を中心とした高速大容量通信、膨大な計算リソース等を提供可能とするネットワーク・情報処理基盤の構想であるIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想が提唱されています。こうした流れの中で、無線アクセスについては、以下の方向性で進展すると考えられます（図1）。

- ・無線アクセスの高度化：6G（第6世代移動通信システム）に向けた新無線方式の確立、新周波数帯の開拓、宇宙・海中などの未踏領域の開拓といった無線アクセスシステムそれ自身を高度化する技術確立（ポテンシャルのさらなる拡大）。特に本稿では、無線方式の標準化・制度化への寄与と機能を取り出した低遅延高信頼化技術、大規模エリアの受信電力推定技術について紹介します。
- ・環境変化に追従するネットワーク提供：高度化された無線アクセスを融合させて、刻々と変化する無線環境下であっても、多様なユーザやサービスを収容するため大容量・高信頼・低遅延といったエクストリームな要件に対応するネットワークサービスを提供する技術確立（ポテンシャルの最大活用）。特に本稿では、マルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio<sup>®</sup>の概要と構成要素の技術の1つである無線通信品質予測技術、Cradio<sup>®</sup>の事業活用事例、光区間と無線区間を連携したリアルタイム

制御について紹介します。

## 無線アクセスの高度化

無線アクセスの利用ニーズの急激な増加に伴い、電波という公共の資源を最大限活用するために、広帯域に利用可能な無線周波数帯の開拓（法制度化）と、無線方式の標準化が推進されています。無線方式の進

展の方向性を図2に示します。現在、広く普及している無線方式は、ユーザの接続性を高確率に担保し公衆での活用を想定した3G（第3世代移動通信システム）、4G（第4世代移動通信システム）、5G（第5世代移動通信システム）といったセルラ系無線と、Wi-Fiのように最大のスループットは高いが周囲の利用状況や干渉の状況によってスループットが変動するベストエフォー

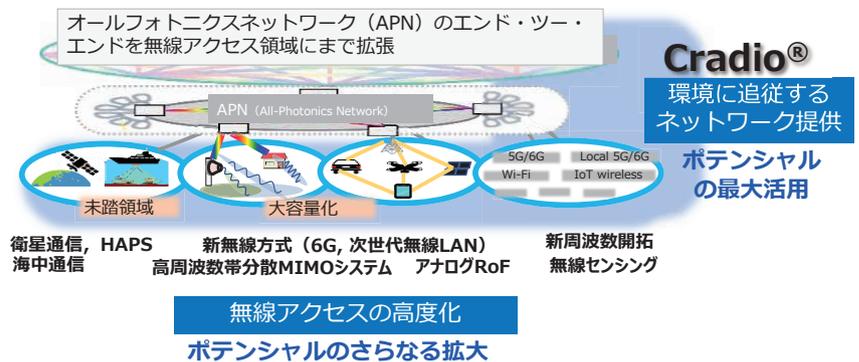


図1 無線研究開発の方向性

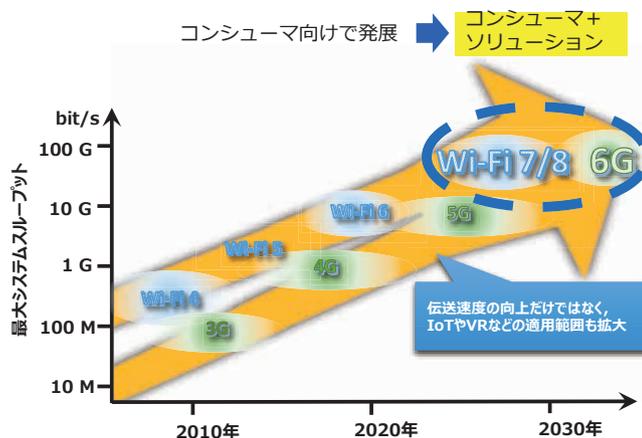


図2 無線方式の進展の方向性

ト型の自営系無線に大別できます。これらは年代を追って進展してきました。今後、セルラ系無線でいうところの「6Gの時代」には、コンシューマ向けとビジネスソリューション向けのユーザの利用要件が融合することに伴い、両者をインテリジェントに駆使することによりトータルで要求を満たしていくような無線アクセス環境の提供が求められると考えます。Wi-Fiの標準化については、現在、次世代Wi-Fiに向けて高信頼化がスコープとして議論されており、NTT研究所のメンバも重要ポジションを拝命して積極的に参画しています。またセルラについては、さらなる高度化に向けて、ミリ波などの高周波数帯の開拓と、それら

の安定活用を実現するための技術実証が重要となります。NTT研究所では6Gに向けてNTTドコモやメーカ各社とも連携して技術実証を推進しています<sup>(1)</sup>。

最新の標準化機能を積極的に活用した新技術の開発にも取り組んでいます。図3は例として、次世代Wi-Fiで搭載されるマルチリンク通信機能を活用したアンライセンズバンドによる低遅延高信頼化技術です。Wi-Fi 7から、端末やアクセスポイントの具備する複数の無線インタフェースを同時に通信できるマルチリンク通信の機能が導入されましたが、低遅延化へのアプローチとしては各無線インタフェースそれぞれでのフロー制御を行うにとどまっていた。

そこで、無線インタフェース横断の情報となる背景トラフィック情報と無線レイヤの混雑率の情報を組み合わせてフロー制御を行うことによって低遅延化を実現しました。

また、利用する周波数帯が高周波数帯になってくると、障害物による影響が大きくなるなど、電波の届くエリアを推定するための条件が複雑化し電波の伝搬を推定するための計算時間が増大することが課題になります。NTT研究所では、機械学習を用いた独自の推定手法により、影響力が大きいアンテナパターンや建物の断面図、周辺建物の高さなどのシンプルなデータを入力として深層学習を行うことにより、高速に大規模エリアの受信電力推定が可能な技術

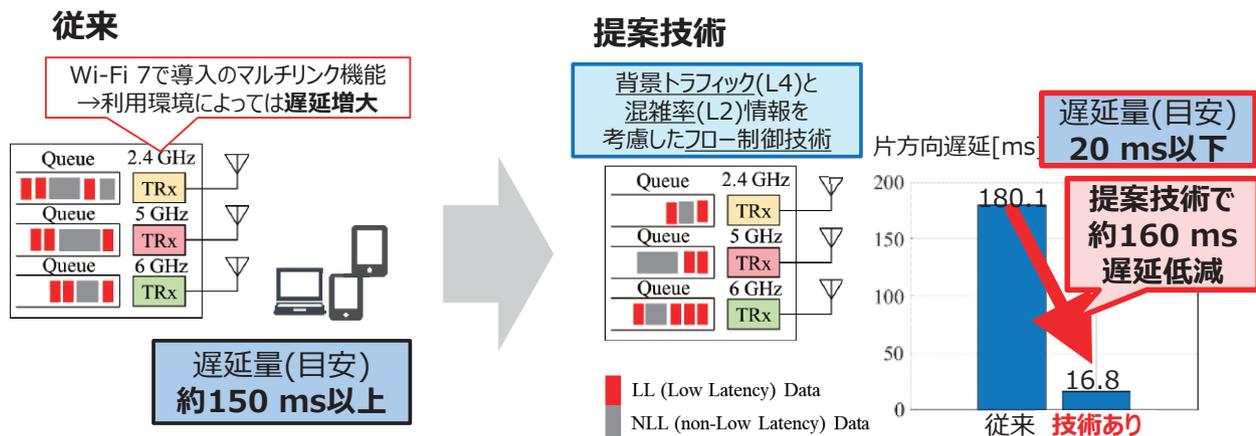


図3 アンライセンズ無線による低遅延高信頼通信技術

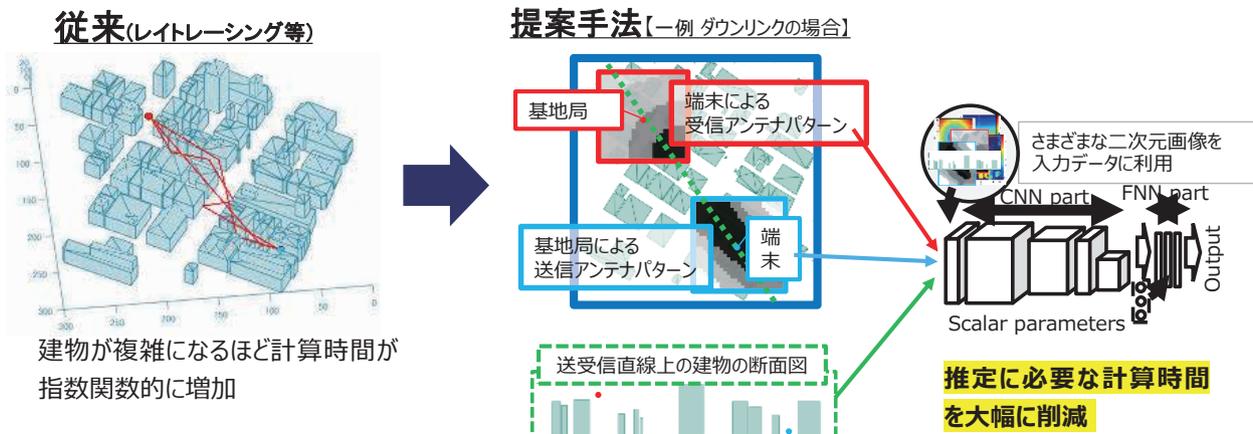


図4 深層学習で大規模エリアの受信電力推定

を確立しました (図4)。

### 環境変化に追従するネットワーク提供

環境変化に追従するネットワーク提供に向けて、NTT 研究所では、複数の無線アクセスシステムを組み合わせた場合でも、ユーザに無線アクセスシステムを意識させないようなナチュラルな使用感を実現するための技術群として、マルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio® の研究開発を進めています<sup>(2)</sup>。Cradio® では、無線通信環境に関する把握・予測・制御の3技術を連動させることにより、さまざまな無線ネットワークが環境変化や通信状況の変化に追従、または事前適応することを可能にします。Cradio® では、無線アクセスシステムから得られる無線に関する情報だけでなく、地図データや建築物情報等デジタル空間基盤等の外部サービス、社会システムや外部データベースと連携することで得られるあらゆる情報を駆使して、無線アクセスシステムのポテンシャルを最大限引き出します。また、これにより、既存の業務システムとのシームレスな連携による価値向上も可能になります (図5)。

把握技術は、無線通信システムから取得可能な無線情報を高度に解析することで、各々エンドユーザ側の無線品質の状態 (混み具合、端末ごとの利用状況、干渉状況) まで把握する技術です。さらに把握した無線情報を用いて端末の位置推定や電波環境に影響を与える構造物や周辺物体の変動の把握といったデバイスレスセンシングに応用することを検討しています。

予測技術は、把握技術により得られた無線品質情報を基に、深層学習を活用して周辺環境や端末位置などにより時々刻々と変化する将来の無線通信品質を予測する技術です。これにより無線通信の品質劣化を未然に検知し、より良い品質のネットワークに切り替えたり、送信する映像の伝送レートを事前に調整するなど、端末やアプリケー

ションのプロアクティブな制御が可能となります。

制御技術は、把握技術や予測技術に基づいて、ネットワーク設計や運用要件に従う無線アクセスネットワークの動的設計や制御を行う技術です。例えば、設置予定の基地局種別やアンテナ特性を考慮した電波伝搬推定に基づいて、面的な無線力バレッジを動的設計したり、無線方式ごとにリンクレイヤの無線品質を推定する機能を用いて無線機器のパラメータを算出し制御することによって、局所的な輻輳を回避するネットワークの設計と運用を実現します。

近年、Cradio® の事業活用に向けた取り組みが進んでいます。ここでは、NTT 西日本と株式会社竹中工務店によるトライア

ルについて紹介します。本トライアルでは Cradio® と3次元の建物モデル (BIM: Building Information Modeling) を活用し、建物完成後の無線環境を正確かつ効率的に推定できるかについて以下の観点で評価しました<sup>(3)</sup>。

- ・ BIM データの変換精度および Cradio® による電波伝搬推定の正確性確認
  - ・ 無線 LAN 基地局設置位置の設計時間およびコストに関する一般的な従来方式との比較検討
  - ・ 専用ビューワを用いた Cradio® のシミュレーション結果の可視化 (図6)
  - ・ 建設業界における電波伝搬シミュレーションの有用性評価
- 結果として、受信電力推定値と実測値の

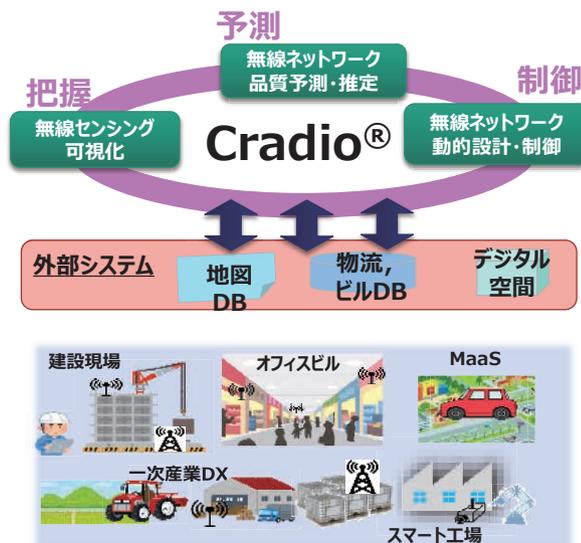


図5 マルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio®

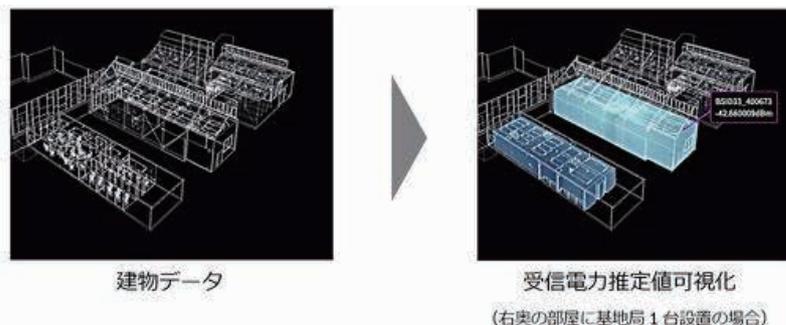


図6 Cradio® による建物データ上での受信電力推定値の可視化の例

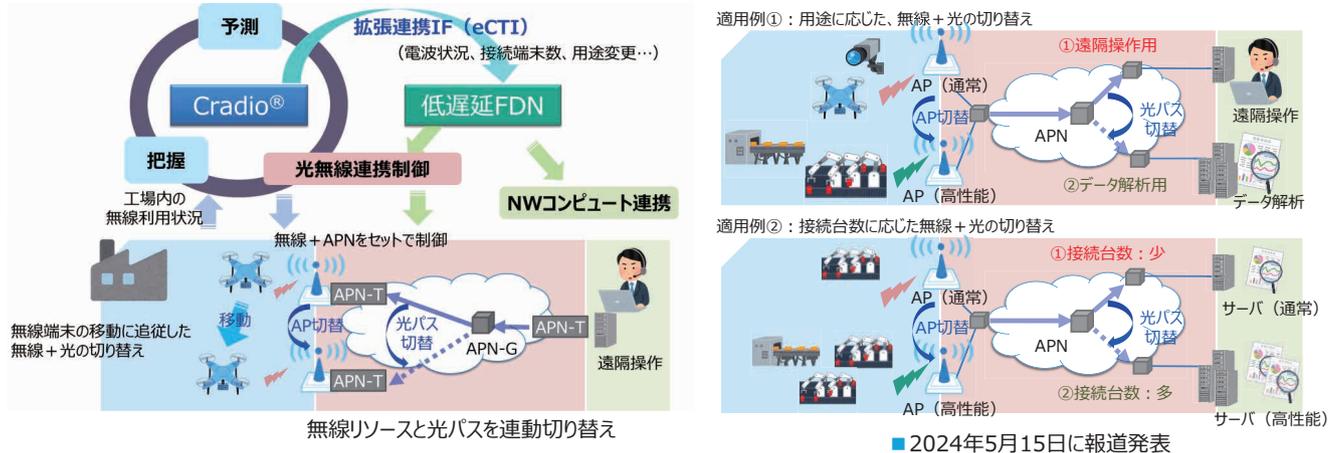


図7 光バスと無線アクセスの切替制御

比較誤差は中央値で5 dB未満、設計時間について、シミュレーションと従来方式の比較では、シミュレーションによる場合が30%削減、シミュレーションによる設置位置の設計と従来方式での設置位置の設計では、シミュレーションによる場合が50%の設備数削減が可能であることが確認できました。

次に、光回線のパスと無線アクセスを利用状況に応じてリアルタイムに連携制御する実証について紹介します(図7)。本実証では、Wi-Fiアクセスポイントと遠隔操作やデータ解析を行うクラウドサーバとをIOWN APN (All-Photonics Network) で接続し、無線利用状況を把握するCradio®機能を実装した無線コントローラと、IOWN APN 回線について光パスレベルで切替を行うコントローラとを、IOWN Global Forumで規定したeCTI (Extended Cooperative Transport Interface) を介して連携制御することに世界で初めて成功しました<sup>(4)</sup>。例えば、工場内でWi-Fiを利用する場合に接続されるユーザ端末数とアプリケーショントラフィックの急激な変化をCradio®の把握技術で検知し、その情報に基づいて自動でアプリケーションの接続先サーバへの光パスを切り替えるといった利用が可能となります。実験

では100 ms程度で連携動作が完了することが確認できました。

### ワイヤレス技術による「豊かな社会生活の実現」に向けて

無線アクセスの高度化と環境変化に追従するネットワーク提供を実現する技術開発とともに、併せて新しいアクセスネットワークの使い方についても議論していくことが重要であると考えます。例えば、6Gに向けたホワイトペーパー<sup>(5)</sup>では、社会課題解決、人・モノの通信、通信環境拡大、フィジカル・サイバー融合高度化といった想定されるユースケースが挙げられています。さらに具体化した新しい「ならでは」のユースケースとして、人間拡張基盤® FEEL TECHが提唱されています<sup>(6)</sup>。「身体・感覚・感情など」をあらゆる場所へ伝達・共有するものであり、これまでにないユースケース創出の可能性を秘めています。

今後も、研究開発の高度化と新しいユースケース発掘の両輪で検討を進めていくことが重要であると考えます。

#### 参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/02/22/240222a.html>
- (2) <https://journal.ntt.co.jp/article/13100>

- (3) <https://www.ntt-west.co.jp/news/2404/240424a.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/15/240515a.html>
- (5) [https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper\\_6g/DOCOMO\\_6G\\_White\\_PaperJP\\_20221116.pdf](https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf)
- (6) [https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/rd/technical\\_journal/bn/vol31\\_3/006.html](https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol31_3/006.html)



小川 智明

豊かな社会生活の実現のためには、その存在を忘れてしまうほどにナチュラルに接続し続けるネットワークが必要であり、これを実現するためにはワイヤレス技術の技術発展が不可欠です。今後もワイヤレス技術の高度化を推進し、社会を豊かなものにしていきたいと思えます。

#### ◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
無線アクセスプロジェクト  
TEL 046-859-5104  
FAX 046-859-3145  
E-mail wireless\_access\_pj@ntt.com