

2018年度 委託研究

課題 207

Beyond 5G に向けたモバイル収容  
大容量光アクセスインフラの研究開発

研究計画書



## 1. 研究開発課題

『Beyond 5G に向けたモバイル収容大容量光アクセスインフラの研究開発』

## 2. 本課題が含まれる研究開発の全体像

### はじめに

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）は、機構自ら行う研究や委託研究などを効果的に連携させながら、機構に与えられた中長期目標の達成を目指している。本課題はこのような連携の一部となる研究であるため、研究開発プロジェクト（以下、「プロジェクト」という。）の全体像について十分に理解したうえでの研究提案や実施が求められる。プロジェクトは、プロジェクトオフィサー及び機構職員で構成されるプロジェクトチームによりマネジメントされる。

### 2. 1 プロジェクトの目的・ビジョン

本プロジェクトでは、5G 及びそれ以降において予想される大量の通信トラフィックを収容可能なアクセス基盤を実現するため、光アクセスから光コアまでをシームレスに繋ぎ、エンドユーザへの大容量通信等を支えるアクセス系に係る技術の研究開発に取り組み、新たな価値創造や社会システムの変革をもたらす統合 ICT 基盤の創出を目指す。

特に、アクセスの最大ユーザ通信速度が 100Gbps を超えると想定される 5G の次の世代の通信ネットワークにおいて、4K/8K・VR/AR 等の多様なサービスが要求する品質条件に従ってユーザトラフィックを収容するため、超大容量モバイル基地局に適した光アクセスインフラを実現する。

上記の光アクセスインフラ実現に当たっては、現在の光コアネットワーク技術を適用する場合には大幅なコストダウンをしても求められるコスト要求には届かないため、経済的で、高速・省エネルギー等の設営性に富んだ革新的な技術開発を実施する。

### 2. 2 社会的な背景・国内外の状況

2030 年のモバイルサービスにおいては、基地局当たり 100Gbps 級に達する通信速度（最大ユーザ通信速度 100Gbps）が必要となると見込まれている。4K/8K・VR/AR 等の多様なサービスを享受し、生活の質と安全を向上させるには、高速な通信速度は欠かせない。そのためには、ミリ波等の高周波数帯のアンテナを多数設置し、多方向から複数のビームをユーザ機器に照射等を行い、かつ、それらを簡素に構成することで、設営性に優れた無線アクセスシステムを実現することが重要である。

無線アクセスネットワークのフロントホール部分に関して、2020 年に実現予定の 5G では基地局機能分割等の技術により実用化レベルで 10Gbps が達成されると予想されるが、その技術の単純な延長では、2030 年に必要となるユーザ通信速度 100Gbps を実現することは困難である。そのためには、多数設置する高周波数帯のアンテナも含めた、複数アンテナの協調制御機能と伝送容量のトレードオフを解消する革新的な方式が求められる。また、国際的には、伝送システムは、

近年当該分野のトップカンファレンスにおいて発表数が増え、RoF (Radio over Fiber) ・IFoF (Intermediate Frequency over Fiber) が Beyond 5G に向けた有力技術という認識が広まっている。

現在、総務省・電波資源開拓のための研究開発課題として「ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発」(2014年度～2018年度)が実施中であり、限られたセルを直線上に配置することで鉄道等の高速移動体へのミリ波帯を用いた大容量無線通信を実現する施策として進められている。また、同施策「IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発」(2017年度～2020年度)では、外部の無線通信を室内や車内の閉じた空間に光を介してリレーする技術が研究開発されている。しかし、屋外で 100Gbps 級の超大容量モバイル基地局を指向した光アクセス通信技術に関する研究はまだ実施されていない。

2016年5月の総合科学技術・イノベーション会議における「科学技術イノベーション総合戦略2016について」の答申では、「Society 5.0」における基盤技術を強化するネットワーク技術に関して、無線アクセスの高収容化技術の確立の重要性や超小型・超低消費電力デバイスの開発の必要性が説かれている。

2017年5月の科学技術予算イノベーション予算戦略会議においては、官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)に係るターゲット領域が議論され、そこでは2019年度以降の設定が望ましい領域として、革新的ICTプラットフォーム技術(ネットワーク)、革新的省エネルギー技術が定められた。本研究課題はこれらの領域の技術確立に資する。

## 2.3 プロジェクトの概要

機構が自ら実施する研究開発では、フォトニックアンテナに適用が可能なアレー型光検出技術や、100GHz ミリ波帯に対応する光＝ミリ波変換デバイス技術、ミリ波帯 IFoF、RoF 技術等に関して基盤的な光アクセス技術の研究開発に取り組んでいる。

本委託研究においては、無線アクセスでの最大ユーザ通信速度が 100Gbps を超えると想定される Beyond 5G において、設営性や低遅延性に優れ、かつ、高い周波数利用効率の光・無線融合アクセスインフラを実現するためのデバイス・システム技術の開発を実施する。

より具体的には、無線アクセスの大容量化を経済的に実現するため、ワイヤレス信号を高い効率で送受信するためのリモートアンテナ基盤技術、及び、ワイヤレス信号を光信号に重畳して伝送する 100Gbps 級 RoF ・IFoF 伝送技術等の研究開発を実施する。さらに、光と電気の信号処理やアナログ・デジタル技術を高度に融合することで、アンテナ数の大幅な増大に対応できる経済的で省エネルギー、かつ低遅延な革新的伝送デバイス・システム技術の開発を実施する。

Beyond 5G 時代における無線アクセスネットワークでは現在のセルサイズはさらに細分化され、セルサイズの小型化が図られると予想され、これに伴い小型セルへ供給する光ファイバケーブル数は増加し、ファイバ1本当たりの光パワーは小さくなると予想される。よって低光入力パワーを高電気出力へ変換可能な光・電気の相互変換デバイス技術やモジュール化技術、高周波等のシンプルな実装技術の確立を行う。また、各種要素となる光・無線融合デバイスを開発し、それらを用いたユーザ通信速度が 100Gbps (ダウンリンク時) を超える双方向型 RoF ・IFoF

伝送システム技術を確立する。

機構が自ら実施する研究開発との連携によって、アンテナ数の大幅な増大に対応するために新規波長帯域利用等の効率的な無線信号の光への収容方法や、MBH (Mobile Backhaul)、RoF/IFoF MFH (Mobile Fronthaul) を含むアクセスインフラの最適構成に関する方式についても検討する。

## 2. 4 プロジェクトオフィサー

ネットワークシステム研究所 ネットワーク基盤研究室 室長 山本直克

## 3. 本委託研究

### 3. 1 概要及び位置付け

本委託研究では、2. 3で述べたように、Beyond 5G 時代の多様なサービス要求条件に従ってユーザトラフィックを収容できる、設営性と低遅延性に優れ、高い周波数利用効率を有する光・無線融合アクセスインフラに関する基盤技術を実現する。

より具体的には、モバイルアクセス網の大容量化を経済的に実現するため、ワイヤレス信号を光信号に重畳して伝送する 100Gbps 級 RoF・IFoF 伝送技術、IFoF 信号 (周波数軸上に多重化された多数の RoF 信号) から単一チャネルもしくは複数チャネルからなるバンドを効率的に選択して無線アクセス区間の信号に変換するため、デジタル・アナログ技術を効果的に融合した低遅延・広帯域フィルタリング等の信号処理デバイス技術、及びワイヤレス信号を高い効率で送受信するための光・無線融合リモートアンテナ等の研究開発を実施する。また、各種要素となる光・無線融合デバイス技術を開発し、それらを用いた最大ユーザ通信速度が 100Gbps を超える双方向型 RoF・IFoF 伝送システム技術を確立する。特にダウンリンクのみならず、アップリンクの大容量化を見据えた光・無線融合アクセスインフラに関する研究開発を実施する。本プロジェクトにおける具体的なシステムの成果イメージを以下に示すが、委託研究期間内での動作実証に資するデモンストレーションおよび基礎的な動作試験による方式検証の両方が望まれる。

・ダウンリンクにおいて、IFoF 伝送で最大ユーザ通信速度 100Gbps を低遅延で実現するために、帯域幅 20GHz 以下の RoF・IFoF 信号から高効率フィルタリング等により単一チャネルまたは複数チャネルからなるバンドを選択するデバイス技術の確立、さらに、無線アクセス伝送する周波数を任意に選択して光・無線融合アンテナから送出する動作デモンストレーションを実施。一方、双方向化に必要となる高効率な無線・光の相互信号変換デバイスに関する要素技術の確立、及び複数端末からアンテナへ入力されたアップリンク無線信号を効率的に光領域で多重化して収容局へ光伝送するアップリンク伝送方式の検討及び基礎動作試験を実施。

・双方向リンクにおいて、空間の周波数環境に合わせて周波数を適応的に割り当てる技術について動作検証を実施。また、5G で実際に利用が想定されている周波数帯 (28GHz 付近) を超えて、Beyond 5G で実利用が想定される 40GHz 以上の周波数帯、またさらにその先の 80GHz 以上について、高い後方互換性を有する光・無線融合アクセスインフラの構成について理論検証およびデバイス動作等の基礎試験を実施。

### 3. 2 到達目標

2021 年度末までに以下の到達目標を達成する。

#### 1) 光・無線融合デバイス・サブシステム

- a. 28、40 および 80GHz 以上の動作周波数に対応した 100 マイクロ秒以下の高速切替特性を有するビームフォーミング・ステアリング機能付 64 素子以上の光・無線融合アンテナ技術の確立
- b. 100Gbps 級に対応する広帯域 IFoF 信号から効率的に所望の無線アクセスのための信号を高精度に抽出でき、さらに 10 マイクロ秒以下の低遅延性を有する広帯域フィルタリング等の信号処理デバイス技術、および逆過程である複数のアンテナからの RoF 信号を 10 マイクロ秒以下の低遅延で光周波数軸または IF 周波数軸上で高密度多重する信号処理デバイス技術の確立
- c. 光・無線融合アクセスインフラの双方向通信に必要となる 100Gbps 相当の伝送容量を 20GHz の帯域幅以下で高効率に収容し、それを高い設営性と低遅延性を維持しながら RoF/IFoF 信号を生成・変換するための高効率な無線・光の相互信号変換デバイスに関する要素技術の確立

#### 2) RoF・IFoF 伝送システム

- a. 基地局当たり最大ユーザ通信速度 100Gbps 超の伝送システム、および 50Gbps 級のアップリンクを可能とする双方向性に優れた光・無線伝送システム技術の確立
- b. 双方向リンクにおいて、空間の周波数環境に合わせて周波数を適応的に割り当てる技術についての動作検証と、5G システムにオーバーレイ可能で、かつ、より高い無線周波数の利用を想定した Beyond 5G システムの理論検証と基礎試験の実施
- c. 開発したデバイス及び伝送システム一体による動作実証と効果検証

### 3. 3 マイルストーン

社会実装を見据えつつ、以下に示すような、研究開発プロジェクト終了後の目標とその年次についても記載すること。

2021 年度末	本基礎技術の確立
2023 年	PoC (Proof of Concept) フェーズ1：商用化時の実装形態を検討
2025 年	実装を含め周辺技術と必要な全ての要素技術を確立
2026 年～	PoC フェーズ2：商用化時の実装形態を確定するための検討
2030 年	Beyond 5G 本格実用

2021 年度以降に国際標準化活動も行う (ITU-T 及び関連方式の標準化が着手されている FSAN や 3GPP など)

### 3. 4 採択件数、期間及び予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間：契約締結日から2020年度までの3年間（第1期）

なお、2021年度の1年間（第2期）については、次期中長期目標の状況等も踏まえ、継続について検討する。

研究開発予算：各年度、総額100百万円（税込）を上限とする。

（提案の予算額の調整を行った上で採択する提案を決定する場合がある。）

研究開発体制：単独の提案も可能であるが、産学官連携等による複数の実施主体からなる体制とすることを推奨する。その際、社会実装を考慮した体制とすること。

### 3. 5 提案に当たっての留意点

- 3. 2の到達目標を踏まえ、第2期までの研究計画を記載した上で、第1期における目標設定を明確に記載すること。採択評価は、それらの記載内容全体を対象に実施する。
- 具体的目標に関しては、定量的に提案書に記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、3. 3に記載したマイルストーンを意識しつつ、具体的な時期（目標）、方策等を記載すること。
- 本研究開発の遂行過程で得られる科学的なデータがあれば、広くオープンにするのが望ましい。公開できるであろう科学的なデータの有無、及び、もし有る場合には公開計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法）を提案書に記載すること。
- 機構が自ら実施する研究と積極的な連携を図る方策を検討し記載すること。
- 研究開発するデバイス、伝送システムを鑑み MBH、RoF/IFoF MFH を含むアクセスインフラの最適構成について併せて研究すること。
- 無線周波数資源の有効利用の観点から、無線区間に比較して光区間を可能な限り多くすること。また、片道50マイクロ秒以下の低遅延性を確保するためにアナログデバイス・伝送技術を積極的に開発、利用するとともに、高精度なデジタル信号処理技術等の導入も併せて検討すること。

### 3. 6 運営管理

- 機構と受託者の連携を図るため、代表提案者は、プロジェクトオフィサーの指示に基づき定期的に連絡調整会議を開催すること。
- 複数の機関が共同で受託する場合には、代表提案者が受託者間の連携等の運営管理を行い、受託者間調整会議を定期的に開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、プロジェクトオフィサーが研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

### 3. 7 評価

- 機構は、2020年度に評価を実施する。また、本委託研究終了後に追跡評価（成果展開等状況調査を含む）を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも本委託研究の進捗状況等を踏まえて、臨時にヒアリングを実施するこ

とがある。

### 3. 8 成果の社会実装に向けた取組

本委託研究で得られた成果のオープン化（例えば、成果発表やそれに留まらずコミュニティ先導のための国際ワークショップや国内特別セッション主催、展示、標準化、オープンソース化等）を行う等、成果の社会実装に向けて必要な取組を行うこと。

## 4. 参考

光・無線融合デバイスは、基礎研究の段階で、光・無線融合アンテナやアップリンク用無線・光変換デバイスの研究発表が始まった段階で、Beyond 5G 時代に向け日本が先行し主導権を握ることが大切である。機構では光・無線融合アンテナに適用が可能なアレー型光検出技術[1]や、100GHz ミリ波帯の光＝ミリ波変換デバイス技術[2]、ミリ波帯 IFoF、RoF 技術[3]等に関して基盤的な研究を先行実施していることから、機構が自ら実施する研究との連携による相乗効果を図る。また、機構では光ファイバ通信として従来広く利用されていない T-band や O-band 等の利用に関する研究を実施しており、その大波長空間のモバイル収容大容量光アクセスインフラへの適用可能性を検討することは重要である。

伝送システムは、近年当該分野のトップカンファレンスである OFC(Optical Fiber Communications Conference) や ECOC(European Conference on Optical Communication)等 で発表数が増え、RoF・IFoF が Beyond 5G に向けた有力技術という認識が広まっている。我が国では世界最先端の 63Gbps の IFoF 技術が発表されたばかりである[4]。国際標準化は FSAN/ITU-T、IEC、APT において RoF 関連標準化技術の策定が進んでいる。また、仮想化技術などを駆使したデジタル伝送ベースでのネットワークアーキテクチャ検討が様々な機関で進むが、RoF 利用を想定した領域で日本が先行する好機がある。

- [1] 「世界初、多数の光信号を同時に電気信号に変換する高速集積型受光素子を開発」 NICT プレスリリース（2017年9月14日）
- [2] 「光ファイバ内の光エネルギーを活用し、同一素子で 100GHz 高速光信号受信と光起電力発生を同時に実現」 NICT プレスリリース（2016年9月12日）
- [3] 「時速 500km でも接続が切れないネットワークの実現に目途」 NICT プレスリリース（2018年4月26日）
- [4] 1.032-Tb/s CPRI-Equivalent Data Rate Transmission using IF-over-Fiber System for High Capacity Mobile Fronthaul Links , ECOC 2017 (Th.PDP.B.6).