

革新的情報通信技術研究開発委託研究

Beyond 5G 機能実現型プログラム

基幹課題 研究計画書

課題 002

Beyond 5G 超大容量無線通信を支える

空間多重光ネットワーク・ノード技術の研究開発



1. 研究開発課題

『Beyond 5G 超大容量無線通信を支える空間多重光ネットワーク・ノード技術の研究開発』

2. 目的

現在、各国で導入が進む第5世代移動通信システム（5G）は、高速・大容量、高信頼・低遅延、多数接続を特徴とする新しい通信インフラであり、AI、IoT 等のデジタル技術の社会への浸透を加速化させている。さらなる ICT の発展により 2030 年代には、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）を高度に融合したサイバー・フィジカル・システムが構築され、経済発展と社会的課題解決を両立する社会（Society 5.0）の実現が期待されている。これを支える次世代通信インフラが、5G をさらに高度化した Beyond 5G（B5G）であり、円滑かつ確実な社会実装に向け、高度化に伴う技術課題を抽出し、国際競争力を意識した戦略的な研究開発の推進が必要となっている。

モバイル通信の高速化に伴い、より高い搬送波周波数への移行や無線局の急速な増加が進んでいる中、モバイル通信ネットワークの大部分を構成する光ネットワークの通信トラフィック量も増加を続けており、特に 2030 年代の B5G 時代における光のコアネットワークは、現在の 100 倍にあたるペタビット級の通信容量が必要になると予想される[1][2]。B5G 時代の電波資源の有効利用を促進し、増大するモバイルトラフィックを収容するには、大容量かつ経済的な光ネットワークの持続的発展が不可欠である。

B5G を支えるペタビット級光ネットワークは、現在の単一モードファイバのみを用いた光リンクでは構成が困難であることから、我が国は世界に先駆けてマルチコアファイバ（MCF）をはじめとする空間分割多重（SDM）技術の研究開発に取り組んできている。これまでの研究開発の成果として優れた MCF 製造技術を保有するに至り、毎秒 10 ペタビットを超える伝送容量ポテンシャルを示したほか、SDM に対応する光増幅技術やコネクタ技術など、世界をリードする成果が示されている。一方、SDM 光ネットワークの構築には、SDM 信号を交換する SDM ノードが不可欠であるが、既存の光ネットワークと親和性が高く実用的な SDM ノード技術は世界的に見ても未確立であり、導入シナリオも明確になっていない。

通信トラフィックの増大に対応するためには、ネットワーク・ノード間やアンテナ・基地局への敷設ファイバ数を増加させる必要があり、B5G 時代には、効率的に光ファイバ網を提供できる SDM 光ネットワークの導入が必須となる。特に、無数のスモールセルを収容する基地局間をつなぐモバイルバックホールやデータセンタ間ネットワークや光海底ケーブルネットワークにおいて、現在よりも遥かに多くのファイバアクセスが必要となり、低コストかつ大容量な SDM ノードが必要となる。しかしながら、既存の波長分割多重（WDM）信号の処理をベースとする光ノードに対して SDM 技術を導入するにあたり、単純な並列化による大容量化は、構成機器を増大させ、消費電力や導入コストの増加を抑えることができない。大容量かつ拡張性が高く経済的に優れた SDM ノードを実現するには、WDM と SDM の異なる多重信号をトラフィック需要に応じて効率的に処理する新しいノード・アーキテクチャが必要である。

本研究開発では、B5G に要求されるペタビット級光ネットワークを実現するため、新しい SDM ノード・アーキテクチャに基づく光ノード技術を開発する。これにより、我が国が強みを

もつ SDM 技術のさらなる強化を図るとともに、B5G 時代の Society 5.0 を支える通信基盤となる大容量かつ経済的な光ネットワークの実現を目指す。また、B5G のモバイルネットワークの基地局については、高速モバイル通信に対応する無数のスモールセルを収容することにより大容量のデータが送受信され、モバイルバックホールの通信容量がボトルネックとなることが想定される。こうした課題に対し、本委託研究の成果を活用することで基地局全体の無線リソースの最適制御を可能とし、周波数がひっ迫する基地局における電波の効率的な利用を促進することで、電波の有効利用に資する。

なお、本課題は、「Beyond 5G 研究開発促進事業 研究開発方針」（令和3年1月28日総務省国際戦略局）における「3. 研究開発項目」の「① Beyond 5G 機能実現型プログラム」（p.3）のうち、ア）開発目標（数値目標等）を具体的かつ明確に定めてハイレベルな研究開発成果の創出を目標とし、研究計画書を作成し、実施者を公募する課題（基幹課題）として実施する。

3. 内容

本委託研究では、WDM/SDM レイヤを分離し、効率的な空間及び波長多重信号の処理を実現する SDM 光ネットワークを構築するため、コア単位の（一つのコアに含まれる全信号を分離しない）光ルーティングに基づく SDM 光ネットワーク及び光ノードの最適設計技術や、監視技術などの SDM システム技術と、拡張性に優れ低損失な空間クロスコネクタを構成する空間光スイッチ、光増幅器、高密度光配線部材等を開発する SDM 光スイッチ技術の研究開発に取り組む。また、本課題に関連する研究との連携で相乗効果が見込める場合には、連携等を行うとともに、通信事業者を中心としたベンダ、アカデミア等の緊密な連携や国内外の標準化への寄与による国内産業の競争力強化を推奨する。

・研究開発項目 1 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術

コア・メトロ及びモバイルバックホールに対して、コア単位の光ルーティングに基づく、経済的で空間及び波長多重信号の転送性能等に優れた SDM 光ネットワーク及び空間クロスコネクタの最適な設計技術を開発し、経済性を検証する。さらに、**研究開発項目 3、4 及び 5** の開発成果を統合した空間クロスコネクタ・プロトタイプを試作し、コア単位の光ルーティングを実証する。

・研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術

階層型ノード・アーキテクチャに基づく SDM 光ネットワークのシステム化技術を開発する。SDM ノードの保守や拡張性を考慮し、省電力・省スペース化を進めた中継システム構築技術やリンク接続技術、障害検知のための監視技術を開発する。また、**研究開発項目 1** と連携し、これらの要素技術で構成された SDM 光中継伝送システムと空間クロスコネクタ・プロトタイプを組み込んだ SDM 光ネットワークを構築し、伝送性能評価の実施を通じて、各開発技術を総合的に評価し、実現性を明確化する。さらに、多数のスモールセルを収容可能なモバイルバックホール向け SDM 光ネットワークを、本課題で研究開発する SDM ノードやリンクを用いて構築し、その導入が B5G 無線通信における周波数の効率的な利用に有

効であること示す。

• **研究開発項目 3** SDM 全方向光増幅技術

空間クロスコネクタにおいて、伝送性能の向上、伝送距離の延伸化、及び伝送方向の柔軟化を実現するため、MCF ベースの光増幅技術を開発する。MCF 入出力に対応し、コア毎に伝搬方向の異なる信号の一括増幅等にて実現する全方向光増幅器を実現する。

• **研究開発項目 4** SDM 空間光スイッチ技術

空間クロスコネクタにおいて、拡張性に優れ、低損失なコア単位での光ルーティングを実現するため、MCF のコア単位で切り替え可能な空間光スイッチ技術を開発する。1 MCF 入力・複数 MCF 出力の空間光スイッチを実現する。

• **研究開発項目 5** SDM 高密度配線・接続技術

空間クロスコネクタにおいて、接続コア数やポート数の増加に伴う物理サイズの大型化や光損失増加を抑えるため、MCF をベースとした高密度配線・接続技術を開発する。光空間スイッチや光増幅器間の内部接続に最適となる高密度 MCF を設計及び製造し、標準コネクタ規格を用いた低損失・高密度 SDM 配線部材を実現する。

4. アウトプット目標・アウトカム目標

本研究開発の実施により、ペタビット級光リンク容量が必要となるネットワーク環境において、現行技術（既存の波長選択スイッチのみで構成したノード）を用いる場合と比べて、1 ビット当たりの転送コスト 50%以上の削減と転送距離 50%以上の延伸化を実証する。

• **研究開発項目 1** SDM 光ネットワーク・ノード設計技術

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

現行技術を用いる場合と比べて、1 ビット当たりの転送コストを 50%以上削減可能な SDM ネットワーク・ノードの構成法を明らかにする。また、ペタビット級光リンクに対応可能な空間クロスコネクタ・プロトタイプ（2 台以上）からなる SDM ネットワークテストベッドを用いて、コア単位の光ルーティングが可能であることを実証する。

2022 年度末におけるアウトプット目標

経済的で転送性能等に優れた SDM ネットワーク・ノードの構成・設計法の基本検討を完了し、実現可能性を明示する。

• **研究開発項目 2** SDM 光ネットワークシステム技術

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

空間クロスコネクタ・プロトタイプと SDM 光中継伝送システム及びコア監視機構を組み合わせ、周回ループ等を用いて SDM 光ネットワークを構築し、現行技術を用いる場合と比

べて、転送距離 50%以上の延伸化を満たす SDM 光ネットワークシステムを実証する。さらに、SDM ノード等により構成された SDM ネットワークの大容量化及びその導入がもたらす周波数の効率的な利用を実証する。

2022 年度末におけるアウトプット目標

SDM 光中継伝送システムの基本設計を完了し、その実現可能性を提示する。

• **研究開発項目 3** SDM 全方向光増幅技術

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

コア数 4 以上の MCF 入出力に対応し、コア毎に伝搬方向の異なる信号を一括増幅する伝送方向無依存の光増幅器を実証する。コア毎の光増幅特性として、増幅利得 12 dB 以上、雑音指数 7 dB 以下を実現する。

2022 年度末におけるアウトプット目標

全方向 SDM 光増幅器原理実証に向け、コア毎に予め定めた方向で双方向光増幅（コア数 2 以上）の原理実証を完了する。

• **研究開発項目 4** SDM 空間光スイッチ技術

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

入力 MCF の各コアを任意の出力 MCF の対応するコアに接続可能な、コア数 10 以上の MCF を用いた 1 入力・8 出力以上で挿入損失 10 dB 以下の光空間スイッチを実証する。

2022 年度末におけるアウトプット目標

パッケージングを含めた高信頼な SDM 空間光スイッチの基本設計を完了するとともに、これに基づく試作と評価を行い、さらなる大規模化に向けた設計指針を提示する。

• **研究開発項目 5** SDM 高密度配線・接続技術

2024 年度末におけるアウトプット目標（最終目標）

コア数 10 以上の MCF と標準コネクタ規格（SC、MU 等）をもつ装置内光配線用高密度 SDM 配線部材を設計、製造し、挿入損失 3dB 以下、コア間クロストーク-30dB 以下を実現する。

2022 年度末におけるアウトプット目標

伝送路用 MCF に対して、コネクタ内のコア密度を 2 倍以上とする高密度 SDM 配線部材の基本設計を完了するとともに、これに基づく試作と評価を行う。

「空間多重光ネットワーク・ノード技術の研究開発」

アウトカム目標

本研究開発成果をもとに、ノード・アーキテクチャやシステム技術の標準化や各要素技術の知財化に取り組み、SDM 光ノード及び構成機器の商品化やネットワーク導入を目指す。

2028年 スケーラブル光スイッチ・ノード内 SDM 配線の商品化

2029年 SDM 光ノードの商品化

2030年以降 B5G ネットワーク、データセンタ間ネットワーク、光海底ケーブルネットワーク等の大容量化・経済化に貢献

5. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 研究開発項目 1、2、3、4 及び 5 ごとに 1 件。

研究開発期間：契約締結日から 2024 年度（2022 年度に実施するステージゲート評価を踏まえ、継続の必要性等が認められた場合には、2024 年度まで継続予定。ステージゲート評価や Beyond 5G 研究開発促進事業の後年度予算の状況等により、研究開発期間を変更する場合がある。認められなかった場合 2022 年度末で終了。）。

研究開発予算：各年度、研究開発項目 1、2、3、4 及び 5 を合わせて総額 800 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。ステージゲート評価や Beyond 5G 研究開発促進事業の後年度予算の状況等により、各年度の研究開発予算を変更する場合がある。）。

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。

6. 提案に当たっての留意点

- 研究開発項目 1、2、3、4 及び 5 のいずれか又は複数の研究開発項目に提案することができる。複数の研究開発項目に応募する場合、提案書は一つにまとめること。
- 各研究開発項目の開発成果の統合にあたっては、研究開発項目間で連携して進めること。
- 本課題に関連する研究との連携で相乗効果が見込める場合には、連携などを行うこと。
- 提案書には、ステージゲート評価後 2024 年度まで実施することを仮定して、2024 年度までの計画を記載すること。
- 具体的目標に関しては、2022 年度後半のステージゲート評価を受ける際の間目標と、当該評価で継続が認められた場合の 2024 年度の最終目標について、定量的に提案書に記載すること。
- 本研究開発の遂行過程で得られるデータについては、広くオープンにするのが望ましいことから、公開できると想定するデータがある場合には、その公開や利活用促進に関する計画（例：公開するデータの種類、公開先、公開方法等）を提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- 本委託研究で研究開発する技術について、具体的に B5G の実現にあたりどのような分野のどのような知的財産の取得が期待できるのか、何件程度の特許出願を目指すのか、また、知的財産の取得とともに標準化活動の推進も重要であることから、どのような分

野のどのような標準の策定が期待できるのか、どのような標準化活動を推進するのか、知財戦略と標準化戦略をどのように一体的に推進しようとしているかについて提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。

- 外国の民間企業、大学、アライアンス、コンソーシアム等との連携体制が構築できている又は計画している場合には、具体的な連携の方法について提案書に記載すること。なお、本項目は採択評価時の評価項目とする。
- 実施体制については、本研究開発の目的に則した実施体制を構築することとし、それぞれの役割を明記すること。
- 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言をいただくとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導をいただくため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、到達目標の項目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）、体制、方策等を記載すること。その際、持続的に自走するための計画等についても記載すること。
- 研究開発成果の情報発信を積極的に行うこと。

7. 運営管理

- 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で開催すること。
- 国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「機構」という。）と受託者の連携を図るため、代表提案者は、機構の指示に基づき定期的に関連調整会議を開催すること。
- 社会情勢や研究環境の変化等、必要に応じて、機構が研究計画書を変更する場合があるので、留意すること。

8. 評価

- 機構は、研究開発終了時に終了評価を実施する。2022 年度後半において、評価委員会による評価（ステージゲート評価）を実施し、継続の必要性等が認められた場合には、2024 年度まで委託研究を継続し、2024 年度末に委託研究を終了する。評価の結果、継続性の必要性が認められなかった場合は 2022 年度末に終了とする。
- 機構は、本委託研究終了後に成果展開等状況調査を行い、追跡評価を行う場合がある。
- 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。

9. 成果の社会実装等に向けた取組み

- B5G の実現を支える技術として、知的財産戦略及び標準化戦略、さらには製品化と海外市場への展開戦略を記載するとともに、知財獲得に向けて必要な取組みを視野に入れること。
- 実用化、事業化、社会実装に向けた出口戦略を明確とすること（委託研究後の事業化等の内

容を明確にする)。

- 上記の出口戦略を実現するため、場合によっては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）も行う等、成果の社会実装等に向けて必要な取組みを行うこと。

参考

参考文献

- [1] 総務省「Beyond 5G 時代の有線ネットワーク検討会 取りまとめ 概要」（2020年2月19日）https://www.soumu.go.jp/main_content/000675072.pdf
- [2] P.J. Winzer and D.T. Neilson, “From scaling disparities to integrated parallelism: A decathlon for a decade,” J. Lightwave Technol., vol.35, no.5, pp.1099-1115, 2017.]