

次世代の通信インフラを担う光伝送技術の研究開発

基本計画書

1. 目的

近年、データセンターやAIサービス、IoT機器等の普及が進んでおり、今後も急激な増加が見込まれる通信トラヒックへの対策として、次世代の通信インフラを担う光伝送技術が必要とされている。そこで、更なる大容量化・低消費電力化・低遅延化を実現する最先端の光伝送技術や革新的光ファイバ技術を確立し、我が国の光伝送技術の国際競争力を強化するとともに、我が国の社会・経済活動を支える情報通信インフラの持続的な維持・発展に貢献することを目的とする。

2. 政策的位置付け

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）において、国民の安全と安心を確保する持続可能で強靭な社会への変革に向けて、サイバースペースとフィジカル空間の融合による新たな価値の創出が必要であるとされている。また、通信インフラについては、ネットワーク上を流通するデータ量が今後爆発的に増えていく中で、省電力性、信頼性、リアルタイム性等の課題が数多く指摘されており、抜本的な対応が必要であるとされている。

「統合イノベーション戦略 2025」（令和7年6月6日閣議決定）において、先端科学分野の戦略的な推進として、オール光ネットワーク技術を中心とする低遅延・高信頼・低消費電力な次世代情報通信基盤（Beyond 5G）の令和12年頃の本格導入に向けて、研究開発・国際標準化を推進するとされている。

「経済財政運営と改革の基本方針 2025」（令和7年6月13日閣議決定）において、社会課題解決の原動力となる次世代情報通信基盤（Beyond 5G）等の技術について、分野をまたいだ技術融合による研究開発・社会実装を一気通貫で推進するとされている。

「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2025 年改訂版（令和7年6月13日閣議決定）」において、GX・DXの着実な推進のため、オール光ネットワーク・モバイル等の次世代情報通信基盤（Beyond 5G）等について、研究開発・国際標準化などを進めるとされている。

「デジタル社会の実現に向けた重点計画（令和7年6月13日閣議決定）」において、AI-フレンドリーな環境の整備として、オール光ネットワークを中心とした次世代情報通信基盤（Beyond 5G）や量子暗号通信の研究開発・社会実装、デジタルインフラ整備と一体的な地域課題解決に資するソリューションの創出・展開に取り組むとされている。

「DX・イノベーション加速化プラン 2030（令和7年5月23日策定）」に基づき策定された、「デジタルインフラ整備計画 2030（令和7年6月11日策定）」、「デジタル海外展開総合戦略 2030（令和7年6月11日策定）」において、オール光ネットワーク（APN）・次世代情報通信基盤（Beyond 5G）等が取組分野として位置付けられ、必要な取組を推進するとされている。

3. 目 標

（1）政策目標（アウトカム目標）

近年、データセンターやAIサービス、IoT機器等の普及が進んでおり、今後も急激な増加が見込まれる通信トラヒックへの対策として、次世代の通信インフラを担う光伝送技術がますます重要となっている。次世代の光伝送技術の確立に向けては、信号処理の高速化に伴う信号処理速度の限界や信号の劣化、加えて光エネルギー増加に伴うファイバヒューズ現象（高強度光により光ファイバの内部が溶融・破損する現象）等の課題に対応する必要がある。

そこで現在研究開発が行われている、毎秒1.6テラビット級光伝送技術よりもさらに高速大容量かつ低消費電力を実現し、市場や技術・標準化動向を踏まえた毎秒2テラビット超級光伝送に必要な信号処理技術を確立するとともに、低遅延・大容量に加えてファイバヒューズ耐性かつ低損失という特性を備えた空孔コア光ファイバ技術等を確立することで、我が国の社会・経済活動を支える情報通信インフラの継続的な維持・発展に貢献する。また、我が国が有する技術を結集させて、技術的課題を解決し、研究開発成果の国際標準化・市場展開を推進することで、我が国の光伝送技術の国際競争力を強化し、次世代の通信インフラを担う光伝送技術の実現に寄与する。

（2）研究開発目標（アウトプット目標）

光トランシーバ1台当たり毎秒2テラビット超級光伝送用信号処理技術の実用化を目指し、高度な光伝送方式に要求されるデジタル信号処理の基本技術を確立する。また、各信号処理技術を連携させ、低消費電力デジタル信号処理回路の基本技術を確立する。これにより、2013年から国内で広く普及した既存の毎秒100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較して、100ギガビット当たりの消費電力を1/20以下とする。

また、空孔コア光ファイバの実用化を目指し、同ファイバの適用先を踏まえた伝送技術とリンク技術を確立する。適用先を踏まえた伝送技術の研究開発では、データセンター間通信やアクセス網、モバイルフロントホール、光給電への適用を想定し、広帯域無中継伝送技術、超多波長 WDM-PON（※1）技術、高効率・高多値大容量双方向コヒーレントアナログRoF（※2）伝送技術、光給電伝送技術を実験等により検証し、次世代光ネットワークの基本技術を確立することを目指す。リンク技術の研究開発では、上記の適用先を踏まえた空孔コア光ファイバの最適化（曲げ損失や伝送損失など、各適用先に応じた設計・作製等）に加え、光トランシーバや従来光ファイバとの接続

のための接続機構や融着等の周辺技術を確立する。また、従来光ファイバ比で10倍以上のファイバヒューズ耐性と従来光ファイバとの高い互換性（延長や修理等における融着接続を含む）を確立する。最終的には、適用先を踏まえた伝送技術とリンク技術を統合したフィールド実験を実施し、空孔コア光ファイバの社会実装を加速する。

※1 : Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network

※2 : Radio over Fiber

4. 研究開発内容

(I) 光トランシーバ当たり毎秒2テラビット超級光伝送技術の研究開発

① 概要

次世代通信インフラの基盤となる光ネットワークの大容量化を実現する技術として、市場・技術・標準化動向をふまえつつ、光トランシーバ当たり毎秒2テラビット超級長距離光伝送を高い電力効率で実現する光並列送受信技術及び伝送信号等化技術を開発し、毎秒2テラビット超級光伝送基本技術を確立する。また、毎秒2テラビット超級光伝送において、主要な信号処理を担うデジタル信号処理回路を低消費電力で実現し、既存の毎秒100ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較して100ギガビット当たりの消費電力を1/20以下に低減可能な低消費電力回路設計基本技術を確立する。

② 技術課題

ア) 光並列送受信基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送は、CMOS電子回路の動作速度限界によりシンボルレートの向上だけでは実現できず、光送受信機の並列構成、変復調方式及びシンボルレート等の組み合わせを最適化し、伝送路の状況に応じて適応的に変化させる必要がある。そこで、毎秒2テラビット超級光伝送において、消費電力の増大を抑えつつ長距離伝送可能な性能を実現する高シンボルレートの光並列送受信基本技術を開発する。

また、光並列送受信の全体アーキテクチャ、及び信号歪み推定・補償回路構成の最適化技術を確立する。

イ) 静的信号等化基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送を低消費電力で実現する高シンボルレートの光並列送受信に対応した、波長分散やクロストークなどの静的な伝送信号歪みを補償する静的信号等化基本技術を開発する。

また、増大する回路規模と消費電力に対応するための静的信号等化処理回路の最適化技術を確立する。

ウ) 動的信号等化基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送を低消費電力で実現する高シンボルレートの光並列送受信に対応した、伝送路の動的波形歪みである偏波変動、偏波モード分散、光源位相雑音及びさらなる高シンボルレートで生じる動的な波形歪みを補償する動的信号等化基本技術の研究開発を実施する。

また、増大する回路規模と消費電力に対応するための動的信号等化処理回路の最適化技術を確立する。

エ) 信号処理統合設計基本技術

課題ア)、イ)、ウ)で検討した各機能・回路等を市場動向に応じて選定・統合して、光並列送受信の主要な信号処理を担うデジタル信号処理回路の全体性能や消費電力を評価するための高速インターフェース、統合プラットフォーム、統合評価モデル等を実現する基本技術を開発する。

また、機能間及び回路間の連携動作を検証し、信号処理全体の最適化技術を確立する。

③ 到達目標

ア) 光並列送受信基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送を実現するための高シンボルレートの光送受信機の並列構成、変復調方式及びシンボルレート等の最適化により、消費電力の増大を抑えつつ毎秒2テラビット超級で長距離光伝送を実現可能な全体アーキテクチャ設計及び送受信デバイス特性・光ファイバ伝送信号歪み推定・補償方式を確立する。

また、最適化された光並列送受信構成及び変復調方式に適合した、送受信デバイス特性及び光ファイバ伝送信号歪みの推定・補償回路構成の最適化回路設計を確立する。

イ) 静的信号等化基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送を実現するための信号並列構成・変復調方式等に対して、静的な伝送信号歪みに応じて信号を補償し、性能・演算リソースの最適化レベルを向上させることにより、長距離伝送の実現、かつ20000ps/nm以上の波長分散補償を可能にする静的信号等化処理アルゴリズムを確立する。

また、高ボーレートの光並列送受信処理に適応して、光送受信歪みの静的信号等化処理を効率的に実現可能な静的信号等化処理機能の最適回路設計に向けた低電力回路アーキテクチャを確立する。

ウ) 動的信号等化基本技術

毎秒2テラビット超級光伝送を実現するための信号並列構成、変調方式及び符号化に対応し、伝送路の動的波形歪みである偏波変動、偏波モード分散、光源位相雑音、及びさらなる高シンボルレートで生じる動的な波形歪みを補償すること

により、長距離伝送が可能な性能向上を実現し、かつ 25ps 以上の偏波モード分散補償に対応可能な動的信号等化アルゴリズムを確立する。

また、動的信号等化処理技術において、所要の信号歪み耐力と雑音耐力向上を得るための演算器構成の最適化を行うとともに、周辺回路との回路統合、機能分割等の最適化検討を行い、光並列送受信に対応した動的信号等化処理の低電力回路アーキテクチャを確立する。

エ) 信号処理統合設計基本技術

課題ア)、イ)、ウ) で検討した各機能・回路等を市場動向に応じて選定・統合して毎秒 2 テラビット超級光伝送向けデジタル信号処理回路の統合評価モデルを構成するとともに、機能間及び回路間の連携動作の検証と最適化を実施することにより、既存の毎秒 100 ギガビット級光伝送向けデジタル信号処理回路と比較して、100 ギガビット当たりの消費電力を 1/20 以下で動作可能とする信号処理統合最適化技術を確立する。

(II) 空孔コア光ファイバに関する研究開発

① 概要

大容量通信ネットワークを実現するには、多波長の波長多重伝送が必要であるが信号光の送信電力が増大する。既存のシングルモード光ファイバでは、数ワットの光信号でファイバヒューズ現象が発生し伝送路が破壊される。また、光ファイバネットワークでは光の速度が真空中の 2/3 に低下するため遅延低減が困難である。

本研究開発では、この二つの問題を解決するために、空孔コア光ファイバを中心据え、データセンター間通信向け広帯域無中継伝送技術、アクセス網向け超多波長 WDM-PON 技術、モバイルフロントホール向け高効率・高多値大容量双方向コヒーレントアナログ RoF 伝送技術、光給電技術などの適用先を踏まえた伝送技術の研究開発を実施する。また、多数の IoT 端末から取得されるデータをエッジ/クラウドでリアルタイム解析・制御するネットワークフィジカル AI が注目されているが、実現には低遅延・大容量通信に加え、多数端末接続による通信経路の複雑化への対応が不可欠である。これに対して、光ファイバによる光給電伝送が有効であるが、IoT 機器が増えると、光ファイバ伝送路では高出力信号に伴うファイバヒューズ現象や非線形問題が生じる。これらを解決するために、空孔コア光ファイバを次世代の加入者系ネットワークに適用することを目指す。

また、適用先を踏まえた伝送技術の研究開発と相互にフィードバックを行うことで、実運用環境に即した最適設計を図りつつ、空孔コア光ファイバの作製・接続を実現するリンク技術、超多波長・高光バジェット光トランシーバによる超多波長経済化リンク提供技術、ならびに実フィールド環境に敷設した空孔コア光ファイバの試験・監視制御技術等を確立する。適用先を踏まえた伝送技術とリンク技術の両輪によって研究成果を相互活用し、社会実装を加速させる。

② 技術課題

ア) 適用先を踏まえた空孔コア光ファイバの伝送技術

AI や IoT などの新たなニーズの拡大に対応するために、データセンターからアクセス網、モバイルフロントホールに至るネットワークに空孔コア光ファイバを適用し、大容量化、広帯域化、低遅延化、低消費電力化を実現するとともに、光給電等も含めた、適用先を踏まえた伝送技術の研究開発を行う。

データセンター間通信では、分散データセンター間を接続する光回線の広帯域化・低遅延化の対応と大容量化に向けたデジタル信号処理に伴う伝送遅延・消費電力の増加を抑制に関する検討、さらに 6G 向け分散 MIMO (※3) システムの収容等に対応するためのデータセンターと基地局間の高精度時刻同期技術を確立する。アクセス網では、ユーザごとの複数波長制御に対応する安価・低遅延・可変レートの超多波長 WDM-PON 技術を確立する。モバイルフロントホールでは、同一波長・光ファイバ 1 芯による高効率・高多値大容量双方向コヒーレントアナログ RoF モバイルフロントホール伝送技術を実現する。光給電技術に関しては、IoT 機器やネットワーク機器に対する光給電と通信を両立する技術を確立する。

※3 : Multiple Input Multiple Output

イ) 空孔コア光ファイバのリンク技術

従来の光ファイバの限界を超える空孔コア光ファイバや多波長光トランシーバ技術の開発をすすめるとともに、課題ア) の検証と連携しながら、ラボに加えて実フィールド環境における技術最適化を実施する。

空孔コア光ファイバについて、多様な適用先に対応可能な特性を追求するとともに、社会実装を加速するために、製造性・量産性・信頼性等を含めた幅広い最適化を行う。また、融着接続やメカニカル接続等の接続技術やケーブル技術等の周辺技術を含めた最適化を行う。さらに、超多波長 WDM-PON の光トランシーバについては、多波長可変光源、変調器、受光器の光集積による小型化技術の確立やチャネル制御機能を実現する。空孔コア光ファイバリンクフィールド技術に関しては、ラボに加えて実フィールド環境を構築し、環境による特性変化の把握と制御性の明確化を行う。また、データセンター間や無線アクセス等の利用シーンを想定し、空孔コア光ファイバ等の接続・敷設条件なども考慮しながら実現性を評価する。さらに、課題ア) で検討された適用先毎に、通信距離、波長帯域、通信速度、システムの並列リンク数、コストなど、複雑な要求条件が存在するため、実フィールド環境での動作試験での評価を実施する。

③ 到達目標

ア) 適用先を踏まえた空孔コア光ファイバの伝送技術

データセンター間通信について、空孔コア光ファイバを適用した構成で広帯域伝送に用いる任意のバンドに適用可能な省電力・低遅延光伝送技術を確立し、同ファイバの低非線形性・広帯域特性等を活用することで、従来のデジタル信号処

理回路を搭載した光トランシーバの LP0 (※4) 化等により約 30% の消費電力削減を目指す。また、分散データセンターの 6G モバイル網への適用を見据え、空孔コア光ファイバを介した一心双方向伝送技術を実現し、ノード間時刻同期精度 10ns 以下を実現する。アクセス網について、毎秒 25 ギガビット × 64 波長以上または毎秒 100 ギガビット × 16 波長以上 (合計毎秒 1.6 テラビット以上) の超多波長 WDM-PON 技術を確立する。モバイルフロントホールについて、上り・下り双方で毎秒 1 テラビット級の無線データレートを実現可能な高効率・高多値大容量双方向コヒーレントアナログ RoF 伝送技術を確立する。光給電技術について、光給電アンテナ等への応用を考慮すると、ポイント-ポイント接続時に最大 3 ワット以上の電力取り出しを可能とする光給電方式や光源・受光器構成設計手法、通信との両立性能評価手法を確立する。さらに、IoT ネットワーク連携アプリケーションや光給電アンテナシステムにおける、光終端装置・アンテナ機器等のスリープ動作によりネットワークの待機電力を 50% 以上削減する構成を示し、IoT ネットワーク連携アプリケーション構成技術、光給電アンテナシステム構成技術を確立する。

※4 : Linear Packaged Optics

イ) 空孔コア光ファイバのリンク技術

空孔コア光ファイバについて、従来光ファイバ比で 10 倍以上のファイバヒューズ耐性を有するとともに、空孔コア光ファイバ同士、および従来光ファイバとの接続(融着接続やメカニカル接続)やケーブルを含むリンク性能を、課題ア) の適用先毎に必要となる特性と製造性・量産性・信頼性等を考慮して最適化し、伝送損失が 0.4dB/km 以下、またファイバ長が 5km 以上の敷設可能な最適ケーブルリンクを実現する。超多波長 WDM-PON に適用する多波長可変光トランシーバについては、1 ~ 4 波長可変の同時送受信と 1 波長当たり毎秒 25 ギガビットおよび毎秒 100 ギガビットの高速伝送を実現する。実フィールド環境での試験について、空孔コア光ファイバを敷設し、利用シーンに応じた特性変化や接続環境耐性を明らかにする。さらに、空孔コア光ファイバを敷設した実験環境を活用することで、課題ア) で示した適用先とは異なる新たな応用例を創出し、これに対応した動作試験環境検証も実現する。

5. 研究開発期間

令和 8 年度から令和 12 年度までの 5 年間

6. その他 特記事項

(1) 特記事項

提案者は、下記課題Ⅰ、課題Ⅱのいずれか又は両方の課題に提案することができる。

課題Ⅰ：光トランシーバ当たり毎秒2テラビット超級光伝送技術の研究開発

課題Ⅱ：空孔コア光ファイバに関する研究開発

(2) 提案及び研究開発の実施に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されているアウトプット目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、アウトカム目標の達成に向けた適切な研究成果（アウトプット等）の取扱方策（研究開発課題の分野の特性を踏まえたオープン・クローズ戦略を含む。）について提案すること。
- ② 実用化に関しては、光伝送技術及び関連技術に関するこれまでの国内外の研究開発動向及び市場動向を記載の上、その点を踏まえて実用化目標年度、実用化に至るまでの段階（国際標準化活動を含む。）を明示した具体的な取組計画等を記載し、提案すること。なお、提案に当たっては、製品として実装する際のコスト等（メンテナンス等の後年度負担やソフトウェア産業への展開も含む。）も考慮すること。
- ③ 目標を達成するための具体的な研究方法、実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について研究計画書の中に可能な限り具体的に記載すること。複数機関による共同研究を提案する際には、分担する技術間の連携を明確にし、インターフェースを確保すること。
- ④ 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得ると共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、学識経験者、有識者等を含む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。

課題Ⅰにおいて、平成21年度に実施された「超高速光伝送システム技術の研究開発」、平成22年度及び平成23年度に実施された「超高速光エッジノード技術の研究開発」、平成24年度から平成26年度まで実施された「超高速・低消費電力光ネットワーク技術の研究開発」、平成27年度から平成29年度まで実施された「巨大データ流通を支える次世代光ネットワーク技術の研究開発」、平成30年度から令和3年度まで実施された「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発」、令和4年度から令和7年度まで実施された「グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発」

（http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/index.html 参照）の内容を踏まえ、これらの研究開発の受託者と連携・協力し、研究開発を行うこと。課題Ⅱにおいては、平成30年度から令和3年度まで実施された「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発」、令和4年度から令和7年度まで実施された「グリーン社会に資する先端光伝送技術の研究開発」の内容を踏まえ、同研究開発の受託者と連携・協力し、研究開発を行うこと。なお、本件について不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。

(3) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。

(4) 研究開発成果の情報発信

- ① 本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、実用化に向けて必要な取組も実施することとし、その活動計画・方策については具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究開発成果については、原則として、総務省においてインターネット等を通じて発信を行い、広く一般国民へ研究開発成果を周知する予定であることから、研究開発成果を分かりやすく説明する資料、図表等を作成して成果報告書の一部として報告することとし、その旨を提案書に記載すること。さらに、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこととし、その旨を提案書に記載すること。
- ③ 本研究開発の成果を論文発表、プレス発表、製品化、Web サイト掲載等を行う際には「本技術は、総務省 ICT 重点技術の研究開発プロジェクト (JPMI00316) 『次世代の通信インフラを担う光伝送技術の研究開発』による委託を受けて実施した研究開発による成果です。」等の内容の注記を発表資料等に都度付すこととし、その旨を提案書に記載すること。文言の修正が必要な場合は総務省担当官と相談し修正すること。