

2025 年度 高度通信・放送研究開発委託研究

課題 244

空孔構造光ファイバエコシステムに向けた
光ファイバと接続技術の研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『空孔構造光ファイバエコシステムに向けた光ファイバと接続技術の研究開発』

2. 目的

近年、ネスト型反共振ノードレスファイバー（NANF: Nested Anti-resonant Nodeless Fiber）やフォトリソニックバンドギャップ光ファイバ（PBGF: Photonic Bandgap Fiber）など、空孔構造を用いた新たな光ファイバの研究開発が世界的に活性化している。これらの空孔構造光ファイバは、既存の石英系光ファイバに比べ、低損失性、低遅延性、並びに高入力性に優れる。しかし、低損失化に伴う大容量化の効果は、検討中の石英系の空間多重光ファイバに比べ低く、低遅延性や高入力性の特長に着目した活用が有効と考えられる。このため、NANF や PBGF をベースとした高入力性を持つ光通信システムの利活用の研究も推進されており、Beyond5G 以降の有線・無線アクセス網における光ファイバ給電や大電力アナログ Radio over Fiber (RoF)などのアプリケーションが検討されている。

空孔構造光ファイバエコシステムが将来的に構築されることを想定した場合、周辺技術や光ファイバ設計・製造技術を含む基盤技術の確立が不可欠となる。特に、空孔構造光ファイバ間の接続技術、並びに既存の光送受信器や光分岐・合流器等の利用のための既存光ファイバ（標準シングルモード光ファイバ）との接続技術は最も重要な要素技術であるが、これらの研究開発はまだ十分になされていない。空孔構造光ファイバ間の接続技術として、光コネクタによる接続は融着と異なり、誰でも簡単に繰り返し使用可能な点で大きく優位性を有するため、光コネクタの研究開発が不可欠である。また、既存光ファイバとの接続特性は空孔構造光ファイバの設計条件により変化するため、良好な接続特性を得るための光ファイバ特性要件を明確化する必要がある。光ファイバ設計・製造技術については、空孔構造光ファイバの損失、波長帯域、並びに高入力特性は、設計条件に依存して多様に変化するため、高入力性と既存光伝送技術の整合性を両立する最適な設計技術を確認することが重要になる。また、NANF や PBGF の製造は、既存の光ファイバの製造プロセスと大きく異なり、量産化に対しては大きなハードルとなることから、空孔構造光ファイバの基本的な製造技術について設計技術と対比しながら体系化することが必要である。さらに、量産に適した製造技術を検討する上で、空孔の活用を光ファイバのコア領域に限定することなく、クラッド領域への適用も考慮することで、既存光ファイバよりも優れた低損失・高入力性を実現しつつ、NANF や PBGF よりも簡易に製造可能な空孔構造光ファイバの可能性についても網羅的に検討することが重要と考えられる。

NANF 等の空孔構造光ファイバ自体の研究開発は海外を中心として活発に行われていることから、我が国でも空孔構造光ファイバに関連する研究開発を推進し、国際競争力を強化することが喫緊の課題である。一方で、空孔構造光ファイバの周辺技術に関する報告は海外でもあまり活発でないため、我が国では空孔構造光ファイバ通信技術のエコシステムに関する研究開発にフォーカスすることで、当該技術分野における我が国の研究開発の活性化と国際競争力の強化が期待できる。

以上の背景に鑑み、本委託研究は、空孔構造光ファイバを活用した光通信システムの社会実装に向けたエコシステムの構築、並びに空孔構造光ファイバ通信システムの高入力性に着目したアプリケーション実現に資する基盤技術を確認することを目的として、空孔構造光ファイバの光コネクタ技術、空孔構造光ファイバと既存光ファイバ間の接続技術、並びに高入力光伝送用空孔構造光ファ

イバの設計・製造技術の研究開発を実施する。光コネクタ技術については、情報通信研究機構（以下、「機構」という。）で保有するコアが空洞の光ファイバ（空孔コア光ファイバ）の光コネクタの技術・知見等¹を活用し、実用化のための光コネクタ技術を開発し、早期の社会展開を目指す。

3. 内容

本委託研究では、空孔構造を持つ光ファイバに着目し、高入力性に優れた新たな光ファイバ通信技術のエコシステムを確立することを目的とし、空孔構造光ファイバの光コネクタ技術、空孔構造光ファイバと既存光ファイバ間の接続技術、高入力光伝送用空孔構造光ファイバの設計・製造基盤技術の研究開発を実施する。

研究開発項目1 弱接触接続方式を用いた端面更新型光コネクタの研究開発

機構の自主研究との連携、機構の保有する技術・知見等¹の活用により、空孔構造光ファイバの欠点である接続端面の脆弱さを解決するため、単心の SC 形光コネクタをベースとし、コネクタ内部の空孔構造光ファイバを端面方向に突き出すように移動させ、突き出た空孔構造光ファイバを任意の長さに切断して新しい光ファイバ端面を供給することが可能な新規構造を有する端面更新型光コネクタの開発を行う。開発する端面更新型光コネクタは既に普及している PC（Physical Contact）接続方式を応用し、接続しようとする空孔構造光ファイバ 2 本のそれぞれに押圧力を軸方向に加え接続する新しい弱接触（W-PC: Weekly Physical Contact）接続方式を用いるとともに、実物の試作、性能試験というサイクルを通じて、プロダクト化のためのコネクタ構造の最適化を図る。また、W-PC 接続にて要求する光学特性を満たすことが可能な空孔構造光ファイバ押圧条件を明らかにする。本研究開発項目で接続する空孔構造光ファイバは、PBGF や NANF のような空孔コア光ファイバを対象とする。また、研究開発項目3と連携して、開発された空孔コア光ファイバを用いた光コネクタの接続実証を行う。

研究開発項目2 空孔構造光ファイバと既存光ファイバの接続技術の研究開発

既存光デバイスを活用した光伝送システムの構築を勘案した空孔構造光ファイバと既存光ファイバの接続方法を検討し、接続損失や反射減衰量等の接続特性を検証する。本研究開発項目で対象とする空孔構造光ファイバは、PBGF や NANF のような空孔コア光ファイバを対象とする。空孔構造光ファイバのコア径に対して、既存光ファイバとの良好な接続特性と、低損失・高入力性とを両立する空孔構造光ファイバの特性要件について解析する。また、異種ファイバ接続点における高入力耐性を明らかにする。

研究開発項目3 高入力光伝送用空孔構造光ファイバの設計・製造基盤技術の研究開発

（1）低損失 NANF の設計・製造基盤技術に関する研究開発

空孔コア母材製造および空孔コア紡糸に関する基盤技術を確立するとともに、構造依存性の

¹ 機構が有する技術・知見等については、必要に応じて「応募要領」の「14 問い合わせ先」まで問い合わせること。

解析と試作結果の対比により NANF 構造の最適化に必要な設計・製造の基盤技術を体系化する。また、研究開発項目 1 と連携して、光コネクタ接続実証のために空孔コア光ファイバを提供する。

(2) 高次モード制御を勘案した高入力新規構造 NANF の設計技術に関する研究開発

高次モードの伝搬特性を積極的に制御し、NANF あるいは PBGF と同等の高入力耐性を有する新たな高入力空孔コア光ファイバの設計指針を確立する。

(3) 低損失・高入力空孔クラッド石英コア光ファイバの設計・製造技術に関する研究開発

クラッド領域に空孔構造を有し、コアが石英から構成される光ファイバ（空孔クラッド石英コア光ファイバ）として、空孔クラッド構造の中実型マルチコア光ファイバ、並びに空孔アシスト構造を有する中実型光ファイバについて検討し、既存光ファイバと同等以上の低損失性・広帯域性と、既存光ファイバよりも優れた高入力性を有し、NANF よりも優れた製造性を実現する新たな空孔構造光ファイバの要素技術を確立する。

4. アウトプット目標

研究開発期間終了時までには達成すべき目標は下記のとおりとする。

研究開発項目 1 弱接触接続方式を用いた端面更新型光コネクタの研究開発

機構の自主研究との連携、機構の保有する技術・知見等¹の活用により、光コネクタ内部の空孔構造光ファイバを保持・解放する仕組み、光コネクタ内部の空孔構造光ファイバを接続面方向に押し出す仕組み、空孔構造光ファイバの被覆を除去して光ファイバを切断する仕組みを有する W-PC 接続方式の端面更新型光コネクタを開発し、プロダクトとして実用的なコネクタ構造を有する光コネクタを実現すること。また、要求される接続特性を満たすことで W-PC 接続方式の技術を確立すること。光学特性は IEC-61300-3-34 に準拠する測定条件で、IEC-61755-1 における grade B（97%が 0.25 dB 以下）の接続損失と反射減衰量 40 dB 以上を目標とする。また、研究開発項目 3 で開発される空孔コア光ファイバを用いた光コネクタ接続実証を行うこと。

研究開発項目 2 空孔構造光ファイバと既存光ファイバの接続技術の研究開発

空孔コア光ファイバのコア径に対する、既存光ファイバとの接続性および高入力耐性の関係を解析的に体系化すること。上述のコア径依存性を実験的に検証し、接続性と高入力耐性を両立する空孔コア光ファイバの特性要件を確立すること。また、異種ファイバ接続点における高入力耐性を定量化し、空孔コア光ファイバと既存光ファイバ間の許容モードミスマッチを明確化すること。

研究開発項目 3 高入力光伝送用空孔構造光ファイバの設計・製造基盤技術の研究開発

(1) 低損失 NANF の設計・製造基盤技術に関する研究開発

NANF の母材製造および紡糸のための基盤を構築すること。構造設計と紡糸結果の対比により、NANF の設計・製造基盤を体系化するとともに、低損失性（0.20 dB/km 未満）を

有する NANF の量産化に向けた技術課題を明らかにすること。

(2) 高次モード制御を勘案した高入力新規構造 NANF の設計技術に関する研究開発

高次モード制御による高入力化の新たな光ファイバ設計概念を解析的に実証し、既存光ファイバと同等の損失特性 (0.20 dB/km 未満) を有し、かつ PBGF あるいは NANF と同等の高入力耐性 (コアあたりの入力光強度 2W 以上) を有する簡易構造空孔コア光ファイバの設計条件を体系化すること。

(3) 低損失・高入力空孔クラッド石英コア光ファイバの設計・製造技術に関する研究開発

空孔クラッド石英コア光ファイバにより、既存光ファイバと同等の広帯域性 (C バンド超) を維持しつつ、既存光ファイバを上回る高入力性 (コアあたりの入力光強度 2W 以上) を実現すること。また、空孔クラッド構造による低損失帯域の拡張性 (S+C+L バンド超級) を実現すること。

5. アウトカム目標

2026 年 新規接続手法を用いた空孔コア光ファイバの光コネクタの試作
 2028 年 プロダクト化に向けた光コネクタ技術の確立
 2029 年 光コネクタの量産体制を整え、商用化を実現
 2031 年 短距離高入力光ファイバ通信基盤技術を実現
 2035 年 高入力光ファイバ通信基盤の適用距離を数 10km 級まで拡張
 2039 年 高入力光ファイバ通信基盤を活用したアプリケーションを実現

6. 採択件数、研究開発期間及び研究開発予算等

採択件数 : 1 件

研究開発期間: 2025 年度 (契約締結日) から 2028 年 10 月末

研究開発予算: 2025 年度、総額 40 百万円 (税込)、2026 年度、総額 100 百万円 (税込)、2027 年度、総額 100 百万円 (税込)、2028 年度、総額 60 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。

7. 提案に当たっての留意点

- 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。
- 本委託研究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。公開の見込みがある科学的なデータについて記載し、その研究データの取扱いについてデータマネジメントプラン (DMP) の様式に記載すること。
- 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。

- 本研究開発成果の社会実装に向けて、アウトカム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。

8. 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行うこと。
- 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。

9. 評価

- 機構は、2026 年度に中間評価を実施する。本評価結果により、当該年度で本委託研究を終了する場合がある。
- 機構は、2028 年度に終了評価を実施する。また、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。

10. 成果の社会実装等に向けた取組

- 委託研究後の成果の社会実装に向けた出口戦略を立案すること。
- 上記の出口戦略を実現するため、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、成果の普及・社会実装等に向けて必要な取組を行うこと。
- 産学官連携体制の構築、研究開発の成果を参加企業等が社会実装につなげる枠組み形成に努めること。

11. プロジェクトオフィサー

所属：ネットワーク研究所 フォトニック ICT 研究センター フォトニックネットワーク研究室
氏名：古川 英昭