

2018年度 委託研究

課題 203

マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発

研究計画書



1. 研究開発課題

『マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発』

2. 本課題が含まれる研究開発プロジェクトの全体像

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（以下、「自主研究」という。）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

機構では、5G 及びそれ以降において予想される通信トラフィックの増加に対応するため、フォトリックネットワーク基盤技術の一つとして、光ファイバの伝送容量を拡大することを目的とした「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」の研究開発を行っている。「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」を実現するための要素技術である、マルチコア／マルチモードファイバを用いた空間多重方式をベースとしたハードウェアシステム技術及びネットワークアーキテクチャ技術などについては自主研究において研究開発すると共に、産学官と連携して要素技術を組み合わせたシステムの社会実装を目指したフィールド実証等を進めることにより、ペタビット級の交換ノードを有する超大容量マルチコアファイバネットワークシステムの基盤技術を確立することを目指している。

このように、自主研究と産学官連携による取組を総合的に進めることにより、「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」を早期に社会実装し、海底ケーブルシステムや陸上コア系ケーブルシステムの抜本的な容量拡大を実現すると共に、5G 及びそれ以降の新規高品質通信サービスの基幹ネットワークへのスムーズな収容や、大容量化の進むデータセンタ内における短距離通信の超高速化等を実現する。

2. 2 社会的な背景・国内外の状況

全世界のインターネットトラフィックは年間ゼタバイトを越え、さらに年率 2.4 倍ほどで増加を続けている。そのため、このような爆発的なトラフィックの増加を支える光通信インフラの持続的な発展が不可欠であり、近年ではシングルモードファイバ（SMF）の伝送容量の限界を打破するため、空間多重方式による伝送容量拡大の研究開発が盛んに進められており、国際的な競争も激化してきている。

国内では、機構が主導して、空間多重方式に関するコンソーシアム（EXAT 研究会）を設立し、

国内の多くの通信キャリア、システムベンダ、ファイバメーカ、アカデミアがこの中で連携し、先進的に研究開発を進めてきている。空間多重方式を導入したノード装置や光増幅器に関しては、海外の主要な研究機関等による開発が先行しているが、伝送媒体となるマルチコアファイバ（MCF）に関しては、機構のこれまでの委託研究により、光ファイバ一本あたり毎秒 10 ペタビットに達する伝送能力が実証されており、我が国は世界をリードする基盤技術を有しているといえる。我が国の光通信技術におけるプレゼンスを示すためには、こうした優位性を生かしつつ、次世代の光通信インフラを世界に先駆けて実証し、その成果を社会に実装していくことが重要となる時期を迎えている。

科学技術イノベーション総合戦略 2017 においても、新たな経済社会「Society 5.0」（超スマート社会）を実現するプラットフォームを支える基盤技術の強化が重点施策として挙げられている。次世代の光通信プラットフォームとなる MCF をベースとした光通信インフラの開発は、フィジカル空間の基盤技術強化に繋がる重要な課題であり、機構における「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」の研究開発は、こうした空間多重方式を採用した光通信インフラに適應可能なネットワークシステムの構築を目指すものである。

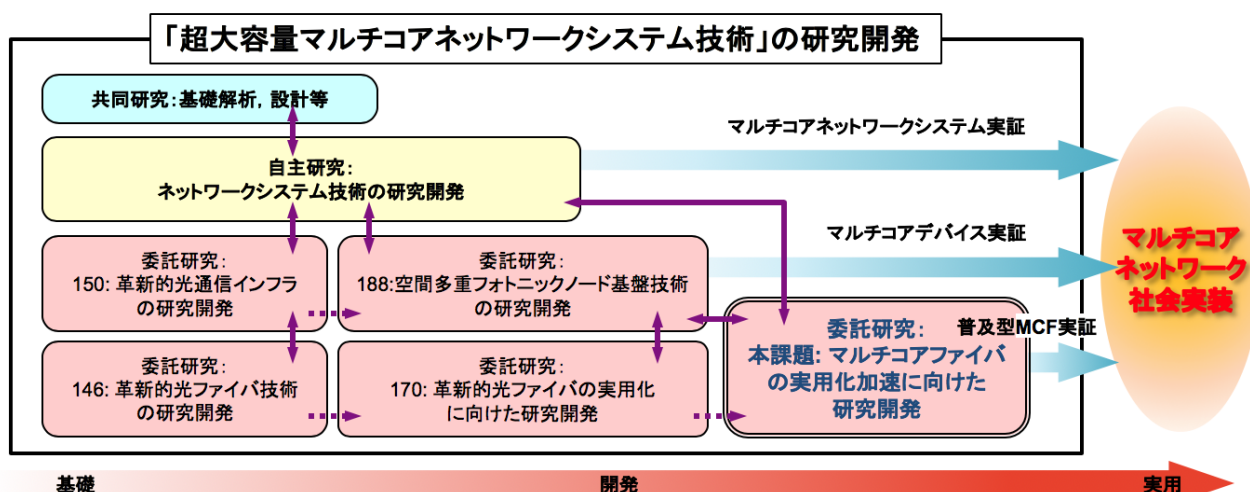
2. 3 プロジェクトの概要

「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」の研究開発では、2. 1 で述べたように、要素技術を自主研究で研究開発することに加え、要素技術を組み合わせたシステムの社会実装を目指したフィールド実証等を、委託研究を含む産学官連携によって実施することにより、研究開発による成果を最大化できるように全体のプロジェクトを推進している。

自主研究では、マルチコア/マルチモードファイバを用いた空間多重方式をベースとしたハードウェアシステム技術及びネットワークアーキテクチャ技術、さらにオール光スイッチング技術、送受信機間低クロストーク化技術、空間スーパーモード伝送技術等のマルチコアネットワークシステムに関する先鋭的な基盤技術の研究開発を進めている。一方、委託研究においては、マルチコアネットワークシステムの段階的な実用化に向けて、各要素技術を横断的に網羅しながら実施してきており、これまでに MCF 製作技術や光増幅技術、接続技術等に関する研究開発を進めてきた。特に、昨年度終了した課題 170 [4]においては、段階的な MCF の実用化・普及促進並びに標準化戦略について、既存の商用光ファイバと同一のクラッド外径 $\phi 125 \mu\text{m}$ を第一に採用し、さらに発展型の MCF においては既存の商用光ファイバと同一の被覆外径 $\phi 250 \mu\text{m}$ を採用する段階的な取り組みが指針として示されている [8]。既存ファイバとクラッド外径或いは被覆外径を共通化することで、光ファイバおよび光ケーブル製造設備などの全面的あるいは部分的な共有が可能となり、実用化に向けた最重要課題であるコストメリットの最大化につながることを期待される。特に、標準クラッド外径の共有化は、マルチコア構造で懸案となる接続技術の確立においても、既存のコネクタ部材の流用が可能となるなどのメリットも考えられる。一方で、標準クラッド外径 MCF の実際の紡糸長は 100km 強に留まっており、コアの空間多重度を加味しても既存 SMF の製造レベルには及ばず、一般的な通信伝送基盤で長期信頼性の指標として使用されている、光ファイバ紡糸時のブルーフレベルも十分に考慮されてい

ない。本委託研究では、第一段階の標準化戦略目標である、標準クラッド外径 $\phi 125 \mu\text{m}$ を前提条件として、これまでの成果を抽出して早期実用を目指し、既存ファイバ（SMF）と外径互換性のある普及型（標準外径）MCF の開発を進める。

これまでに委託研究で開発された MCF や光増幅器は、自主研究で研究開発するネットワークシステムに導入し、世界記録となる伝送容量の実証などに繋げてきている。今回の公募により実施する『マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発』の委託研究では、普及型 MCF を実現することにより、マルチコアファイバネットワークの共通プラットフォームとして光通信機器の第一段階の実用化研究を加速すると共に、更なるスケールビリティを追求して自主研究の成果を社会実装していく上でのマイルストーンとなることを期待する。また、MCF の光スイッチング技術に関しても、普及型 MCF を実現することにより、スイッチファブリックなどの主要デバイスの実装研究を加速し、社会実装することを目指す。



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フォトニックネットワークシステム研究室 淡路祥成

3. 本委託研究

3. 1 概要及び位置付け

本委託研究は、全体プロジェクトの「超大容量マルチコアネットワークシステム技術」のうち、普及型 MCF を実現するための役割を担うものである。空間多重方式の早期実用化を図り、国際競争力を強化するためには、伝送媒体としての MCF に、既存ファイバと外径互換性のある「標準クラッド外径」を採用すること及び、「産学官連携による我が国の国際競争力強化」を図ることが喫緊の課題となっている。そこで、本委託研究では、量産化・コストダウンに向けた有力な MCF 製造方法の研究開発を行い、早期実用可能な普及型 MCF を実現するための道筋を明らかにすると共に、MCF の標準化提案に向けて、国際的な評価指標を示す。

MCF の商用導入を容易にするためには、クラッド直径として既存商用ファイバの標準外径

φ125 μm を採用することが重要であることから、先行委託研究（課題 170）で有望とされた複数の MCF 製造法について比較検証し、MCF 製造性・信頼性の向上を目指す「標準外径 MCF 製造技術に関する研究開発」を行う。さらに標準外径 MCF に対応した周辺技術や評価技術の確立を目指すため、「標準外径 MCF 周辺技術及び評価技術に関する研究開発」を行う。

「標準外径 MCF 製造技術に関する研究開発」では、複数の有力な MCF 製造方法の比較検討に重点をおく。具体的な MCF 製造法としては、先行委託研究（課題 170）で有望とされた、加工精度の高い「孔開け法」、コア配列の柔軟性と母材大型化の両立性を有する「クラッド一括形成法」、工数の大幅削減による生産性の向上が期待される「ロッドイン線引き法」などを比較検討の対象とし、それぞれの製造性・信頼性を向上させ標準外径の MCF を試作すると共にコストメリットに関する検証を行う。また、これらの MCF 製造方法について、本委託研究の中間評価段階でそれぞれの特性に応じた具体的な適用アプリケーションと、更なる拡張性に向けた検討課題を示すものとする。

「標準外径 MCF 周辺技術及び評価技術に関する研究開発」では、既存商用ファイバ用の装置を用いたケーブル化やテープ芯線化を進め、これに伴う特性変化の有無やその制御性について評価する。また、標準外径 MCF に対応した入出力インターフェースを開発し、その高品質化、低コスト化等の改善を進める。さらに、標準外径 MCF と周辺技術を組み合わせたサブシステムにおける伝送特性評価や、全コアを一括評価するような高速測定技術等を開発する。このような研究開発によって確立する伝送特性評価や全コアの一括評価の技術から、MCF の標準化提案に向けたアクションプランを示し、ITU-T あるいは IEC などの主要国際標準化団体への具体的な標準化提案に繋げる。

3. 2 到達目標

2022 年度末までに以下の到達目標を達成する。

1) 標準外径 MCF 製造技術に関する研究開発

- 標準クラッド径 (φ125 μm) で既存 SMF に対する外径互換性をもつ MCF を対象とし、複数の製造法 (孔開け法、クラッド一括形成法、ロッドイン線引き法など) を比較検討しつつ製造技術を深化・発展させる。空間分割多重のシステムメリットを得るため、コア数 4 以上の MCF デザインが望ましい。さらに、コストメリットの指標として母材の大型化および紡糸長さが挙げられるが、コア数とのトレードオフを考慮して、コア数・紡糸長さ積を評価指標とし、長期信頼性を加味した上で前述の評価指標が 1,500 (km・コア) を超える MCF 製造法の要素技術を確立する。加えて、2,000 (km・コア) を視野に入れた各要素技術のポテンシャルを明確化する。

2) 標準外径 MCF 周辺技術及び評価技術に関する研究開発

- 標準クラッド径 MCF に対するケーブル化のための設計、試作、評価技術を確立すると共に、ケーブル化に伴う光学特性、機械特性、伝送ポテンシャル等を明確にする。また、ケーブル化に係るコストや経時的な伝送品質なども考慮した、既存ファイバ (SMF) との比較検討を加味する。

- 標準クラッド径 MCF に対応した高品質な光入出力を実現する専用インターフェースを開発すると共に、評価技術を確認し、接続特性等を明確にする。また、これらの専用インターフェースは既存ファイバ（SMF）で構成されたシステムと比べて追加コストとなり得ることに留意する。
- ケーブル化された標準クラッド径 MCF と専用インターフェースを用いた伝送試験の実施により、伝送特性の経時変化等も加味した、標準化提案のための特性評価技術、評価指標を確立する。

3. 3 評価項目とアウトカムの設定

受託者は、提案書において到達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ものとする。特に、製造方法や MCF 設計の違いによるコストメリットについては、数値的に比較可能な評価指標を提示することが望ましい。

また、国際的な競合の状況について留意し、国際競争力を効果的に高めるという観点から、社会実装など目指すべきアウトカム及び達成時期、その達成に向けた適切な研究成果の取扱い及び社会実装に向けた方策（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）についても提案書に記載して設定する。特に、今後の標準化活動については ITU-T や IEC などの主要な国際標準化団体等への提案目標時期、ないし、現時点で優先度の高い他の標準化事項との比較検討などの情勢分析を通じた、今後の見通しなどを第 2 期（後述）における重要課題と位置づける。

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 年度から 2022 年度までの 2 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、170 百万円（税込）を上限とする。

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

- 本委託研究による研究開発について、3. 2 の到達目標を実現するための具体的な研究課題を設定し、且つそれらの研究課題を担当する機関の役割分担を明確化して提案すること。
- 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。

- 本委託研究課題に取り組むにあたり、先行して実施された委託研究課題 170「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」による MCF 製造法に関する要素技術等の研究開発成果を踏まえて活用すること。また、先行して実施中の委託研究課題 188「空間多重フォトリックノード基盤技術の研究開発」との連携を密に図ることとする。
- 本研究開発成果の社会実装に向けて、そのシナリオや取組について具体的な目標、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。公開可能な科学的なデータの有無、および、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。

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必要があるため、留意すること。
- 必要に応じ、本委託研究遂行によって作成した MCF を、プロジェクトオフィサーが他の実験に使用するためのサンプル提供を求める場合があるため、対応すること。

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により、MCF 市場の開拓と普及を円滑に進めるなどの社会実装に向けた取組を行うこと。

4. 参考

[1]Y. Awaji, “Review of Space-Division Multiplexing Technologies in Optical Communications,”
IEICE TRANSACTIONS on Communications

http://search.ieice.org/bin/pdf_advpub.php?category=B&lang=E&fname=2017EBI0002&abst=

[2]「革新的光ファイバ技術の研究開発」（平成 22 年度 高度通信・放送研究開発委託研究課題 146）

本課題の研究計画書を以下に掲載している。

http://www2.nict.go.jp/commission/keikaku/h22/146_keikaku.pdf

本課題の成果概要を以下に掲載している（採択番号 146 ア 01～146 イ）。

http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku_3rd_chuki.html#block_top2

[3]「革新的光通信インフラの研究開発」（平成 23 年度 高度通信・放送研究開発委託研究 課題 150）

本課題の研究計画書を以下に掲載している。

http://www2.nict.go.jp/commission/keikaku/h23/150_keikaku.pdf

本課題の成果概要を以下に掲載している（採択番号 150 ア 01～150 ウ 02）。

http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku_3rd_chuki.html#block_top2

[4]「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」（平成 25 年度 高度通信・放送研究開発委託研究 課題 170）

本課題の研究計画書を以下に掲載している。

http://www2.nict.go.jp/commission/keikaku/h25/170_keikaku.pdf

本課題の成果概要を以下に掲載している（採択番号 17001、17002）。

http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku_4th_chuki.html#block_top4

[5]「空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発」（平成 28 年度 高度通信・放送研究開発委託研究 課題 188）

本課題の研究計画書、成果概要等を以下に掲載している。

http://www.nict.go.jp/collabo/commission/k_188.html

[6] 永島拓志、中西哲也、佐々木隆、齋藤達男、「穴開け直接線引法によるマルチコアファイバの製造」電子情報通信学会総合大会（2016）、B-10-14

[7] 安間淑通、福本良平、竹永勝宏、愛川和彦、「クラウド一括成法を用いた 50km 超 4 コアマルチコアファイバ」OFT 研究会、信学技報, vol. 117, no. 323, OFT2017-53, pp. 63-66, 2017 年 11 月

[8] K. Nakajima, T. Matsui, K. Saito, T. Sakamoto, and N. Araki, “Multi-Core Fiber Technology: Next Generation Optical Communication Strategy,” IEEE Communication Standard Magazine, pp. 38-45, September, 2017.