

平成 25 年度 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

研究計画書



1. 研究開発課題

『革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発』

2. 研究開発の目的

年率40%に達する勢いで増大するネットワークトラフィックを支える光ファイバ通信の伝送容量は、たゆまぬ技術開発により堅調に増加してきたが、近年、挿入パワー限界などの物理的制約がもたらす容量枯渇の可能性が指摘されてきている。この容量枯渇問題を未然に回避するべく、マルチコアファイバを中心とした空間分割多重技術（Space Division Multiplexing: SDM）の研究分野開拓に我が国が先鞭をつけている[1]。一方で、実装システムの将来的な優位性を巡ってモード分割多重分野も包含した国際的な競争が激化している。本件では、我が国の企業などがいち早く商用化をにらんだシステムや技術提案を行えるなど、国際競争力獲得の機会増進に資するために、次世代の光ファイバ網の根幹であるマルチコアファイバの実用化に向けた基盤技術確立し、知的財産化および国際標準化推進を目的とする。

NICTは、マルチコアファイバを含む革新的光ファイバの技術的可能性の探索的研究を推進してきたところである。またマルチコアファイバの光増幅や入出力技術など通信システムとして必要な要素技術の研究を進めている。その結果、現時点ではマルチコアファイバ伝送容量がモード分割多重伝送を二桁凌駕している。

それらの優位性・知見を継承すると共に、実用化・標準化に向けた研究開発を加速し、基幹系等の中・長距離伝送に使用可能なマルチコアファイバ設計指針の確立・高信頼化の推進が第一の課題である。また、その一環としてマルチコアマルチモードファイバ（学会等ではSDM光ファイバなどと呼ばれることもある）の実用性の可否を技術的に検討することが第二の課題である。

3. 研究開発期間、採択件数、契約変更条件および予算

研究開発期間：

契約締結日から平成29年度までの5年間。

採択件数：

最大3件を採択する。採択の判定基準を「7. 受託者の選定基準」に示す。

契約変更条件：

平成27年度に実施する中間評価時に、平成28年度以降の研究開発計画の再提出を求める。中間評価において、それまでに達成した成果と技術レベルおよび成長性を総合的に評価し、平成28年度以降の予算額を見直す。（評価基準を「8. 中間評価における判定基準」に後述する）

予算：

- 平成25年度は総額290百万円を上限とする。

- 1件当たり提案上限を160百万円とする。
- 平成26年度以降は、対前年度比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。
- 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。

4. 提案に当たっての留意点

研究開発課題の到達目標の概要は「5. 研究開発の到達目標」に記載するとおりとする。到達目標の定義や定量的な事項については、提案の際に具体的に記述すること。

平成27年度に実施する中間評価により、達成した成果と技術レベルおよび産業上の成長性を総合的に評価し、当初の平成28年度以降の予算計画に対して最大20%の幅で増減する。

提案においては、中間評価以後の予算額変更を想定せずに平成29年度末までの研究開発計画を示すこと。なお、中間評価時に平成28年度以降の研究開発実施計画の再提出を求める。

5. 研究開発の到達目標

- ① 下記の条件を満たすマルチコアファイバを研究開発の対象とする。
 - ファイバ当たりペタビット級の潜在的伝送能力を持ち、基幹系適用（100km級）を想定していること
 - 波長多重・多値変調等の大容量化に資する光ファイバ伝送技術などと容易に併用可能であること
- ② 上記①のマルチコアファイバの実用化に向けた設計指針を確立する。そのために次の観点から研究開発すること。
 - 製造性ならびに伝送性能向上の可能性を踏まえた設計指針
 - 高信頼化のための設計指針
 - 材料の検討も含め、実用化を加速する作成手法。具体的には、設計指針の提案と共に、実物の試作、性能試験と設計指針への反映というサイクルを通して、設計指針の妥当性を検証すること。
- ③ 上記①②の実施にあたっては、一例として挙げられる、低損失化、低非線形化、波長分散制御、偏波モード分散（PMD）低減、コア間干渉制御、適切なクラッド外径寸法、曲げの影響、均一性、機械的強度、コストダウン等の実用化・標準化に向けた評価指標を考慮すること。また、解析的・数値的な理論的背景を強化すると共に、効率的・効果的なファイバの評価手法も検討すること。
- ④ 各コアの伝搬モードとしては実現性の高い単一モードが想定されるが、国際動向などを鑑み、技術的優位性を明らかにするために、数モード、多モードなど

について検討すること。委託研究の中間報告において、各コアの伝搬モードの違いによる技術的優位性などの動向を報告すること。また、最終報告において、各コアの伝搬モードの形態の、いずれが技術的優位にあるかを報告すること。なお研究期間中に数モード、多モードなどの優位性が高まって来たと判断される場合（自己判断、機構判断）には、研究計画書を変更し、主たる研究開発対象をそれらにすることも可能とする。

- ⑤ コア間干渉の低減や、モード間干渉の低減を含めた伝搬モードの制御については、性能と製造性を両立する方法を提案すると共に、評価方法を検討する。
- ⑥ 単一モード以外の伝搬モードのファイバ試作などを具体的に行う場合には、実用上、単一モードとの最も大きな差異である、入出力方法・結合方法・伝送能力などの検討を通して、実用性の検証を進めること。また伝搬モードの安定性についても実用に耐える見通しをつけること。
- ⑦ 上記成果に基づいた実用化・標準化提案に向けてのアクションプランを立案すること。

6. 研究開発の運営管理および評価について

研究開発に当たっては、ファイバ単体の設計・試作にとどまらず、広く通信関係の事業者、メーカーなどと連携して、Pbps 級の伝送性能を実際に測定して、通信システムとしての実用性を評価できる研究体制が望ましい。また、我が国全体としての国際競争力の最大化を図るため、連絡協議会などを設置して、受託者同士の適切な情報交換と連携の促進に努めること。

機構の自主研究との連携を図ること。必要に応じて、先行するマルチコアファイバの委託研究（課題 150）[3]との連携を図ること。

平成27年度に中間評価を行い、平成29年度に終了評価を行う。また、終了後に追跡評価を実施する場合がある。

7. 受託者の選定基準

受託者の選定は、「平成25年度（第2回）委託研究公募の応募要領」に記載した基準により行う。なお本研究開発課題においては、特に次の項目を重視する。

研究開発の到達目標①②③については、目標の具体性と達成可能性を重視する。また国際標準化と事業化への取り組みを重視する。

研究開発の到達目標④⑤⑥については、マルチコアシングルモードファイバとの差別化を明確にし、その技術的優位性あるいは欠点を明らかにすることが第一の目的であることから、実用的光ファイバという観点における目標の新規性・独創性・革新性を重視する。さらに、マルチコアシングルモードファイバとマルチコアマルチモードファイバの比較検討の結果は国際的にもコンセンサスを得ることが重要であるこ

とから、海外への学術論文発表や、国際標準化などの積極的な情報発信を目標に加えることが望ましい。

8. 中間評価における判定基準

平成27年度に実施する中間評価においては、以下に示す基準により評価する。

- ① 計画・実施体制・費用対効果
 - ・ 投入した研究経費に成果が見合っているか
 - ・ 研究手段やアプローチが妥当であるか、など
- ② 中間評価までの目標の達成状況と波及効果
 - ・ 目標の達成状況
 - ・ 実用化、標準化等の成果普及に十分に取り組んでいるか
 - ・ 知的財産に関して十分に取り組んでいるか
 - ・ 社会的インパクトが大きいのか、など
- ③ 中間評価以降の目標と実施計画
 - ・ 技術革新や社会情勢の変化に対応して、目標や手段の変更などが配慮されているか、など

特に②③に関わる報告においては通信関係の事業者、メーカーなどと連携して通信システムとして実用性を評価した結果を盛り込むことが望ましい。

9. 参考

(1) 本研究課題と機構の自主研究との関係

自主研究においては、既存の光通信インフラの限界を打破し、増大するトラヒック要求に応える技術の実現を目指して、世界初の7コアファイバでの毎秒100テラビット伝送や、19コアファイバ伝送を実現するなど、伝送実験を主軸として先鋭的かつ、高リスクの研究を推進している。これらと協調する形で、マルチコアファイバを基軸とした革新的な光通信インフラ整備に向けて産学官連携の取り組みを着実に推進することが不可欠であり、本委託研究において、実用化・標準化を目指した具体的な取り組みが求められる。

(2) 関連する技術動向

機構の自主研究においては、2011年に7コアファイバを使って109Tbit/秒の記録を達成して、マルチコアファイバが持つ大きな可能性を世界に示した[4]。さらに7から19のコア可変の空間結合装置と19コアファイバを組み合わせると305Tbit/秒の伝送実験を成功させた[5]。これによりコア数を柔軟に拡張しながら伝送容量を増やせる見通しが得られている。

委託研究[2]においては、さまざまな形態のマルチコアファイバの試作・実験が進

められている。これまでに、6 コア、7 コア、10 コア、12 コアのマルチコアファイバが製作され、特性評価がおこなわれた。現在までのところ、コア数やクラッド径に関してはまだ最適解は見つかっていないが、今後、研究が進むにつれて、製造コストや品質も考慮された上で、世界標準に収斂すると予想される。

また、多様なマルチコアファイバを使った通信システムの実験が続けられている[3]。時間当たりの伝送容量に関して、12 コアファイバを使って世界で初めて 1Pbit/秒を越える光伝送容量を実現した[6]。長距離伝送においては、7 コアファイバで 6,000km を越える光中継伝送実験をおこない、総容量 28Tbit/秒で良好な通信品質が得られることが確認されている[7]。またマルチコアファイバ用の光増幅器として、7 コアファイバを一括励起できる光増幅器を実現し、6,000km 伝送で動作が実証された[8]。今後の研究によって、さらに実用的な入出力装置、増幅装置が研究開発されていくと期待される。

(3) 期待される社会への波及効果

日本国内では光通信インフラの整備が進み、今やブロードバンドの普及については世界のトップクラスに位置している。しかし国内のトラフィック状況はモバイルコミュニケーションの増加に影響されて年率 40%の勢いで増えている。また国際的には米国・欧州と中国・アジア間の海底ケーブル敷設が活発になっている。さらに 2011 年 3 月に発生した東日本大震災以降、国内基幹網の防災対策として多ルート化が課題となっている。

以上のように世界的に光ファイバによる通信伝送量増加に期待がかかっている一方で、従来のファイバの物理的限界にも近づきつつある。

本研究課題でめざす目標は、マルチコア化による空間多重を用いて、光伝送路の物理的な大きさ（断面積）やエネルギー消費量を増加させることなく、伝送容量を一気に数桁向上させることにある。そのような通信インフラの拡大が社会に及ぼす好影響はきわめて大きい。またマルチコアファイバの研究や生産技術においては、現在、日本が世界をリードしている状況であり、マルチコアファイバの実用化研究と国際標準化を進めることにより、日本の産業力強化にもつなぐことができる。

[参考資料および関連情報]

本計画書内で引用した資料および関連情報を下記に掲げる。

[1] 中沢正隆・他、「光通信技術の飛躍的高度化—光通信の新たな挑戦—」、オプトロニクス社、2012 年

[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」公募・課題番号 146）

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

本課題の成果概要を下記に掲示している（課題番号 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」公募・課題番号 150）
http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h23/150_keikaku.pdf
 本課題の成果概要を上記[2]と同じ所に掲示している（課題番号 150 ア 01～150 ウ 02）。
- [4] 「光ファイバ 1 本の伝送容量 109 テラビットの世界記録を樹立 新型マルチコアファイバで 100 テラビットの限界突破、1000 倍伝送への道を拓く」（NICT プレスリリース、2011 年 3 月 10 日）
<http://www.nict.go.jp/press/2011/03/10-1.html>
- [5] 「光ファイバの伝送容量を通常の 19 倍以上に！ ～マルチコアファイバと空間結合装置を用いて“ペタビット級”伝送への道を拓く～」（NICT プレスリリース、2012 年 3 月 8 日）
<http://www.nict.go.jp/press/2012/03/08-1.html>
- [6] 「毎秒 1 ペタビット、50km の世界最大容量光伝送に成功 ～光ファイバ 1 本でハイビジョン映画 約 5000 本分を 1 秒で伝送可能に～」（NTT 持株会社ニュースリリース、2012 年 9 月 20 日）
<http://www.ntt.co.jp/news2012/1209/120920a.html>
- [7] 「長距離光ファイバ伝送における世界最大容量の達成 ～世界初となる大洋横断級マルチコア光伝送実験に成功～」（KDDI 研究所プレスリリース、2012 年 9 月 20 日）
<http://www.kddilabs.jp/press/2012/0920.html>
- [8] 「大容量光通信に対応するマルチコアファイバ用光増幅器を開発 ～7 コアの光ファイバに一括励起で増幅し、大幅な省電力化を実現～」（古河電工ニュースリリース、2012 年 9 月 20 日）
http://www.furukawa.co.jp/what/2012/comm_120920.htm