

平成 28 年度 委託研究

## 課題 188

空間多重フォトニックノード基盤技術  
の研究開発

研究計画書



## 1. 研究開発課題

『空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発』

## 2. 研究開発の目的

総務省の統計によれば、日本のダウンロードトラフィックは年率53.5%で増え続け、今後も多様な大容量データの送受信に対する需要は増えつづけていくことが予想される[1]。4k・8kに代表される高精細動画のストリーム配信、携帯端末の大容量化、ウェアラブルネットワーク端末や、ビッグデータ・IoT等をフルに活用したネットワークアプリケーションの飛躍的な進化は、今後の社会の様々な問題を解決すると同時に、新たな産業分野の創出による我が国の国際競争力を強化するものとして期待されている。このような背景から、今後のブロードバンド環境の発展を担うべき大容量光ネットワーク基盤の更なる進化は、上述した我が国のネットワークアプリケーションの飛躍的な進化と品質を支える上で必要不可欠と考えられる。その実現のために最も必要な技術の一つとして、光ネットワークにおける長距離大容量トランスポートを実現する技術とともに、高機能・大容量なルーティングノードを実現するための技術がある。

長距離大容量トランスポートを実現する技術に関しては、これまで、情報通信研究機構（以下、「機構」という）では、デジタル信号処理を活用した多値変復調技術の研究開発を推進し、委託研究等を通じ本分野の我が国における研究開発を先導、支援してきた。近年の大規模デジタル信号処理を駆使したデジタルコヒーレント技術の急激な進展・実用化により、現在では、1本の光ファイバで10Tbps級の長距離伝送を実現するシステムが、我が国のみならず世界で実用化され、日本の国際競争力の強化にも貢献している。さらに、長期的な伝送容量のスケールビリティの実現には、本質的な課題となる既存の光ファイバの物理限界を克服する必要がある。本課題の克服にむけて、機構では、世界に先駆けて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）の研究開発を提案し、その原理実証を推進している[2]。同時に、委託研究を通して我が国における要素技術の研究開発を推進することで、1本のファイバでの1Pbps級伝送 [3]や大洋横断距離での100Tbps超の大容量長距離伝送の実験実証 [4]等、我が国発の世界を先導する研究成果が生まれ、本分野のグローバルな研究開発トレンドを先導してきた。

一方で、既存の光ファイバを用いた大容量光ネットワークは、高機能・大容量なフォトニックルーティングノードの発展により、point-to-point システムから、リング・メッシュシステムへと進化し、広く実用化され、急激なトラフィック変動の経済的な収容を実現してきた。近年では、波長選択スイッチ（Wavelength Selective Switch: WSS）を駆使した大容量マルチリング光パスネットワークが実用化され、波長あたり100Gbps級容量の光パスの方路設定が柔軟に実現可能になっている。今後、上述した超大容量SDM伝送技術を活用した更なる大容量光ネットワークを経済的に実現するためには、Pbps級の超大容量光信号を

電気で終端することなく、トランスペアレントに自由に方路設定するための大規模空間多重光ルーティングノードの実現が必須となる。

本研究では、ルーティングノードの大容量化・高機能化・省電力化を実現し、既存の光通信インフラから2桁以上高い10Pbps級のノードスループットの向上を実現する将来の大容量空間多重光ルーティングノードの実現にむけ、空間多重フォトニックノードアーキテクチャ・システム制御技術、空間多重ノード光増幅・方路制御技術、空間多重配線技術に関する要素技術の研究開発を行う。

### 3. 採択件数、研究開発期間及び予算

採択件数 : 1件

研究開発期間: 契約締結日から平成32年度までの5年間。

研究継続条件: 平成30年度に実施する中間評価にて、平成31年度以降の研究開発計画の再提出を求め、契約延長の可否を判定する。契約延長が認められた場合については、平成32年度まで契約を延長する。契約が終了することが適当と判断された場合、3年目の平成30年度で終了する。

研究開発予算: 各年度、総額150百万円(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ります。)

研究開発体制: 単独の提案も可能であるが、産学官連携等、複数の研究開発機関による研究グループ体制を推奨する。

### 4. 提案に当たっての留意点

延長期間を含めた平成32年度末までの研究開発計画を示すこと。採択評価は、延長期間を含めた提案を対象に実施する。

### 5. 研究開発の到達目標

本研究開発課題は、空間多重通信システムの研究開発の推進にあたり、既存のノードシステムのブレークスルーとなるために空間多重技術要素を適所に配した、次世代の空間多重ノードシステム実現に向けた革新的な技術基盤の研究開発の実施を想定している。重点技術領域としては、以下のような観点での空間多重技術要素を盛り込むことが望まれる。なお、非結合型の単一モードマルチコア光ファイバ<sup>※1</sup>を想定する。

※1「非結合型の単一モードマルチコア光ファイバ」とは、各コアを独立した伝送チャネルとして個別に情報信号を収容するマルチコア光ファイバ

- 空間多重ノードアーキテクチャやシステム制御技術

- 従来の方路、波長のスイッチに加え、マルチコアファイバのコア等の自由度を活用することにより、従来の100倍以上となる10Pbps級のノードスループットにスケール可能なフォトニックノードのアーキテクチャとその構成要素技術の実現性を示すこと。
  - ◇ 波長領域と空間領域スイッチの最適な分割とその組み合わせにより、上記要件を満たす空間多重フォトニックノードのアーキテクチャならびにシステム制御技術の提案を行うこと。
  - ◇ 前記アーキテクチャをベースとして、空間多重ノード内での光増幅機能、及び方路制御機能、空間多重に最適な配線技術の導入をはかり、各要素技術の制御性・実現性を明らかにすること。
- 空間多重ノード内での光増幅機能、及び方路制御機能
  - 空間多重ノード内での光増幅機能、及び方路制御機能として、マルチコア光ファイバに対応した10Pbps超のスループットを可能とする、多方路制御技術と、コア間および波長間のばらつきを抑圧する利得制御技術を提案し、有効性について実験検証を行うこと。
  - 基幹系の長距離伝送を可能とする省電力で大容量な空間多重システム向けノード技術として、高利得かつ空間及び波長域に渡って高平坦な低電力光増幅基盤技術を実験検証を行うこと。
  - なお、提案時に10Pbps超のスループットを可能とする方路数、コア数、所望帯域、所望帯域内の利得ばらつき制御精度、省電力の度合い等の達成目標を明記し、この目標を達成する実験実証を行うこと。
- 空間多重に最適な配線技術
  - 空間多重装置架間及び架内配線・多心<sup>※2</sup>接続技術に関する要件
    - ◇ 将来のマルチコア光ファイバ技術の標準化動向との親和性を有する
    - ◇ 将来の標準化及び実用化のマイルストーンとアクションプラン
    - ◇ 10コア超の一括接続<sup>※3</sup>
    - ◇ コア数の異なるマルチコア光ファイバ一括接続
    - ◇ 汎用単一コア単一モード光ファイバとマルチコア光ファイバの一括接続
    - ◇ 光部品との一括接続
    - ◇ 単心もしくは多心マルチコア光ファイバもしくは光ケーブル技術
    - ◇ 提案技術による装置間の高密度配線の実現性の検証
    - ◇ 限定空間内での高密度光配線におけるハイパワー光の取り扱い技術
  - ※2 ここで「多心マルチコア光ファイバ」とはマルチコア光ファイバのテーパーファイバ、バンドル等、一方の「単心マルチコア光ファイバ」とは1本のマルチコア光ファイバを指す。
  - ※3 一括接続とはコネクタ或は融着により同時に一括で接続できる技術
  - 空間多重単心光コネクタ技術に関する要件
    - ◇ 既存の汎用コネクタ技術との親和性を有する

- ◇ 将来のマルチコア光ファイバ技術の標準化動向との親和性を有する
- ◇ 将来の実用化に向けた標準化のマイルストーンとアクションプラン
- 上記要件すべての技術要素の研究開発に当たって、提案時に10コア超のコア数、損失、クロストーク等の接続性能の実証実験時の目標値を明記すること。

なお、本研究開発課題の実施に当たっては、平成22年度に開始された「革新的光ファイバ技術の研究開発」、平成23年度に開始された「革新的光通信インフラの研究開発」、並びに平成25年度に開始された「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」の成果を積極的に活用すること。

## 6. 研究開発の運営管理及び評価について

- 研究開発に当たっては、NICT 中期計画での成果を最大化するため、効率的かつ機動的な研究推進について自主研究との連携を図ること。係る連携・調整目的にて、受託者は連絡調整会議を定期的に設定すること。
- 機構は、平成30年度に中間評価（延長判定）、平成32年度に終了評価を実施する。また、研究開発終了後に追跡評価（成果展開等状況調査を含む）を行う場合がある。
- 機構は、上記以外にも研究開発の進捗状況等を把握するために、ヒアリングを実施することがある。

## 7. 参考

### (1) 関連する技術動向

空間多重技術を用いた伝送技術に関しては、機構の自主研究において、7コアファイバを用いた109Tbps、および305Tbpsの伝送実験を成功させ、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。

平成22年度から平成24年度にかけて検討された「革新的光ファイバ技術の研究開発」[5]では、マルチコア光ファイバを用いたコア多重による伝送容量の拡張性を中心とした検討がなされており、本検討を通じ同種19コアを用いたマルチコア光ファイバの実現性が明らかにされている。また、接続技術との親和性の観点から、多角形クラッドを有するマルチコア光ファイバ技術についても検討がなされている。

平成25年度に開始された「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」[6]では、「革新的光ファイバ技術の研究開発」における知見を基盤として、100Pbps・km超伝送に供するマルチコア光ファイバ技術の確立に向けた研究開発が推進されている。高品質、かつ長尺なマルチコア光ファイバの実現に向け、新たな製造技術の確立を含む技術検討が推進されている他、汎用光ファイバ技術との整合性を勘案した、125μm

のクラッド外径を適用したマルチコア光ファイバの検討も推進されている。

また、平成23年度に開始された「革新的光通信インフラの研究開発」[7]において、マルチコア光増幅技術、マルチコア接続技術、及びマルチコア・マルチモード伝送技術を用いた大容量、長距離の伝送システムの実験が続けられている。マルチコアファイバを使って、世界で初めて光ファイバ当たり1Pbpsを越える大容量光伝送、および容量距離積が1Ebps・kmを越える長距離・大容量光伝送の実証実験に成功し、マルチコア伝送が従来の光ファイバ伝送技術の限界の1桁以上の特性を実現できる可能性を示している。また、低損失で低クロストークの光接続デバイス、及び高利得で低消費電力のマルチコア光増幅器も実現している。今後の研究によって、さらに実用的な入出力装置、光増幅装置が研究開発されていくと期待される。

一方、日欧連携プロジェクトSAFARI (Scalable And Flexible optical Architecture for Reconfigurable Infrastructure, 2014-2017) では超高密度多芯光ファイバの開発が行われている。また欧州プロジェクトFP7におけるMode-Gap (Multi-mode capacity enhancement with PBG fibre Multi-mode capacity enhancement with PBG fibre, 2010-2014) では、マルチモード光ファイバを用いた空間多重光通信技術に加えて平成27年3月の光ファイバ通信国際会議では空間多重光スイッチングについても研究成果が報告され、マルチコア・マルチモード光ファイバによる空間多重技術に関して光伝送に加えて光交換の研究開発も国家プロジェクトとして進められつつある。

## (2) 国際標準化動向

現在、光ファイバ技術及び光コネクタ技術の国際標準化は、それぞれITU-T及びIECの主幹により検討されている。光ファイバ技術に関しては、デジタル信号処理技術の進展に伴い、汎用単一モード光ファイバ、あるいはコア拡大型の低損失光ファイバを中心とした議論が活発になされている。このため、将来の空間多重システムの実用化においては、既存の汎用光ファイバを用いたシステムとの協調と、将来の容量拡張に向けた円滑マイグレーションの実現が重要になると考えられる。更に、マルチコア光ファイバを用いた空間多重システムの構築では、光ファイバ技術と接続技術の協調・連携による標準化の推進が不可欠であり、要素技術検討の段階から、両技術の親和性を見据えた研究開発が推進されることが望ましい。

## (3) 期待される社会への波及効果

現在、情報通信ネットワークを支える光ファイバ伝送路では、情報トラヒックの増大が顕著であり、世界中の基幹系光通信インフラに標準的に使用される光ファイバ及びノード装置は、物理的限界に近づきつつあると言える。今後、大容量光ネットワークを実現するためには、上述した空間多重ファイバ技術及び空間多重伝送技術を活用するとともに、空間多重技術を利用したルーティングノードの大容量化・高機能化・省電力化を実現する必要がある。本研究課題でめざす目標は、既存の光通信インフラ

からノードスループットを一気に2桁以上の10Pbps級に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。

[参考資料及び関連情報]

本研究計画書内で引用した資料及び関連情報を下記に掲げる。

- [1] 総務省報道発表資料我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban04\\_02000098.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000098.html)
- [2] 「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」(機構プレスリリース、2011年3月10日)  
<http://www.nict.go.jp/press/2011/03/10-1.html>
- [3] 「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>
- [4] 「世界最大容量の大洋横断級光ファイバ伝送実験に成功 ～毎秒1 エクサ(百京、10の18乗) ビット×キロメートルの容量距離積で世界記録達成～」(KDDI 研究所プレスリリース、2013年9月25日)  
<http://www.kddilabs.jp/assets/files/press/219.pdf>
- [5] 「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」・課題番号146)  
[http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h22/146\\_keikaku.pdf](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](http://www.nict.go.jp/collabo/commission/itaku_3rd_chuki.html#block_top2)
- [6] 「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」・課題番号170)  
[http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h25/170\\_keikaku.pdf](http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h25/170_keikaku.pdf)  
 本課題の成果概要を上記[5]と同じ所に掲示している(課題番号170)。
- [7] 「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」・課題番号150)  
[http://www2.nict.go.jp/collabo/commission/keikaku/h23/150\\_keikaku.pdf](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)。