

平成28年度研究開発成果概要書

採択番号：18801

課題名：空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発

個別課題名：－

副題：空間多重光通信技術を適用したスケーラブルフォトニックノードの研究

(1) 研究開発の目的

本研究では、空間多重光通信技術をフォトニックノードに適用することにより、ノードスループットを現在の100倍以上の10 Pbit/s以上に拡大するための要素技術を確立する。具体的には、ノードアーキテクチャ技術とネットワークにおける方路制御技術を検討するとともに、膨大な光信号の方路制御を行うための光増幅・光スイッチの大規模化・小型化・省電力化技術の確立ならびに実現性を検証し、さらには装置内や装置架間の高密度配線を実現する空間多重ノード配線技術を確立する。産学官連携により、それぞれの強みを持ち寄ることによってオープンイノベーションを推進し、世界に先駆けた技術確立を目指す。

(2) 研究開発期間

平成28年度から平成32年度（5年間）

(3) 実施機関

日本電信電話株式会社<代表研究者>

国立大学法人名古屋大学（実施責任者 教授 佐藤健一）

株式会社KDDI 総合研究所

日本電気株式会社

古河電気工業株式会社

学校法人千葉工業大学（実施責任者 教授 長瀬亮）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 450百万円（平成28年度 150百万円） ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

課題ア 空間多重ノードアーキテクチャ・システム制御技術

課題ア-1…空間多重ノードアーキテクチャ技術（国立大学法人名古屋大学）

課題ア-2…空間多重ネットワーク収容設計技術（日本電信電話株式会社）

課題ア-3…空間多重中継ノードシステム制御技術（株式会社KDDI 総合研究所）

課題イ 空間多重ノード光増幅・方路制御技術

課題イ-1…空間多重光増幅方路制御中継ノードの構成設計・評価技術（日本電信電話株式会社）

課題イ-2…空間多重光増幅方路制御中継ノードの省電力化技術（日本電気株式会社）

課題ウ 空間多重ノード配線技術

課題ウ-1…空間多重ノード装置間配線技術（日本電信電話株式会社）

課題ウ-2…空間多重ノード装置内配線技術（古河電気工業株式会社）

課題ウ-3…空間多重ノード配線用光コネクタ技術（学校法人千葉工業大学）

(28-1)

(6) これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	6	6
	外国出願	1	1
外部発表	研究論文	3	3
	その他研究発表	30	30
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	3	3
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題ア 空間多重ノードアーキテクチャ・システム制御技術

課題ア-1 空間多重ノードアーキテクチャ技術（国立大学法人名古屋大学）

【目標】

MCF を含む複数の光リンクを接続するスループットが 10 Pbit/s 超まで拡張可能なフォトニックノードアーキテクチャの実現に向け、以下の研究開発を行う。

平成 28 年度は、将来の MCF が導入される時代のネットワークサービスと各レイヤテクノロジーのジェネリックな機能を整理する。それに基づき、マルチコア/シングルコアファイバを収容する光ノードのスイッチング機能を、波長領域と空間領域スイッチに分割し、その適切な組み合わせ方法を考案する。

【実施内容と成果】

将来のフォトニックノードアーキテクチャの実現に向け、ネットワークサービスと各レイヤテクノロジーのジェネリックな機能を整理するとともに階層的なスイッチ機能配備の検討、並びにノード規模を小規模から大規模に拡大するための機能条件を検討した。特に将来的な大規模波長ルーティングノードの実現に関しては、サブシステムモジュール構成の拡張性に関して各種のネットワークトポロジーを用い、所要光ファイバ数、エンド-エンドの光損失（平均/最悪）、ネットワーク内所要 WSS 数等を評価し、トラヒックが 1 桁程度増大しても高い拡張性を有し、現行ノードと比較しても 80%程度 WSS 数を削減可能であることを明らかにした。

課題ア-2 空間多重ネットワーク収容設計技術（日本電信電話株式会社）

【目標】

平成 28 年度は、方路数 8 以上の空間多重ノードから構成される空間多重ネットワークにおいて、波長領域の自由度に加えて、コア数 10 以上の空間領域の自由度を考慮し、コア/方路/波長といったネットワークリソースを最大限に活用するネットワーク収容設計技術の機能要件を検討する。機能要件の検討においては、必要な空間多重ノード特性を評価し明確にする。

【実施内容と成果】

（収容設計技術の機能要件の検討）

空間多重ノードから構成される空間多重ネットワークにおいて、コア/方路/波長を最大限に活用するネットワーク収容設計技術のネットワーク収容設計方式の実現に向けて、収容設計方式の機能要件の検討を行い、伝送特性を考慮した収容設計基本方式の予備検討を実施した。また、空間多重ノード内の多方路制御要素技術であるベンチトップ型スイッチ光学系の光学特性評価のための実験系を構築し、ネットワーク収容設計技術の検討に必

要な空間多重ノード特性の明確化に向け、光信号入力時のクロストーク特性を評価した。

課題ア-3 空間多重中継ノードシステム制御技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

【目標】

低電力を指向した中継ノードを多段につなげた環境下を想定し、ブロック(多段中継)ごとに、空間・波長域両方の利得特性を制御（平坦化や利得等化）する仕組み・技術を確立する。その際、項目内連携や関連プロジェクトの課題 150 の資産を有効活用し評価系を構築し実証を行う。

平成 28 年度は、関連プロジェクト課題 150 の資産を有効活用し単一波長帯の簡易中継ノードを構築する。その上で、中継ノード単体の空間および波長域での利得の偏差を調査し、利得等化のシステム制御手法を検討し、ブロック利得等化ノードの設計および 1 次試作を行う。

【実施内容と成果】

7 コアのマルチコア(MC)-EDFA を用いて簡易中継ノードを 2 ノード構築し、波長間およびコア間利得偏差の調査を実施した。その結果、コア間利得偏差は最大で 3.3dB、波長毎のコア間利得偏差は最大で 3.7dB、コア毎の波長間利得偏差では最大 6.9dB あることが判明し、ノード毎に必要な補償量を確認した。

構築した簡易中継ノード 2 台を用いて複数段の中継ノード（2 台）を用いて 2 スパン中継する構成を構築し、ブロック等化ノードの 1 次設計の指標作成作業を実施した。

クラッド励起 7 コア EDFA を用いて 50 x 256 Gbit/s, 5,040km 空間光多重伝送実験を実施し、クラッド励起により生じる利得偏差条件下での伝送特性を評価した。

課題イ 空間多重ノード光増幅・方路制御技術

課題イ-1 空間多重光増幅方路制御中継ノードの構成設計・評価技術（日本電信電話株式会社）

【目標】

MCF に対応した 10 Pbit/s 超のスループットを可能とする空間多重ノード構成、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、光増幅制御技術の確立に向けて、以下の計画で進める。

平成 28 年度は、ノード構成、多方路制御技術に関する要素技術、および、利得制御、光増幅制御技術に関する要素技術を検討する。

【実施内容と成果】

（ノード構成・多方路制御要素技術検討）

空間多重ノードの物理構成を検討し、スイッチ動作を確認した。また、ノードの物理構成に応じたクロストーク影響の検討を行い、クロストーク低減のための構成を提案した。

多方路制御の要素技術としてスイッチ光学系を光学定盤上のベンチトップおよびモジュールに構築し、基礎特性の評価および課題抽出を行い、重要な指標であるクロストークに関して性能評価を行った。さらに、スイッチデバイスを用いたコア間・波長間の利得平坦化の基礎検討を実施した。

（利得制御・光増幅制御要素技術検討）

前段クラッド励起、後段コア励起のハイブリッド構成のマルチコア光増幅器について、入力レベル変化やチャンネル add/drop に対する利得変化を評価し、0.8 dB 以下の利得変化で利得制御ができることを明らかにした。

課題イ-2 空間多重光増幅方路制御中継ノードの省電力化技術（日本電気株式会社）

【目標】

以下の2項目について技術開発を行う。

①省電力光増幅モジュール構成技術

省電力化に適した励起光源と光増幅媒体の組み合わせで構成される光増幅モジュール構成技術の開発を行う。具体的には、コア個別励起マルチコアエルビウムドープファイバ（EDF：Erbium Doped Fiber）にマルチモード励起光源を用いたクラッド一括励起マルチコアEDFを組み合わせるなど、省電力化を図る光増幅モジュール構成技術を確立する。

②光増幅モジュール省電力化制御技術

光増幅モジュールを効率的に制御して省電力化を図る光増幅モジュール省電力化制御技術の開発を行う。具体的には、コア内の波長多重信号光量に応じてコアごとに励起光量調整を最適化するなど、励起光源電力を効率的に制御する方式を確立する。

平成28年度は、省電力光増幅モジュールの構成検討と試作を進めるとともに、光増幅モジュール省電力化制御の仕様策定を行う。

【実施内容と成果】

省電力光増幅モジュールの構成検討と試作を行った。具体的には、コア個別励起マルチコアEDFにマルチモード励起光源を用いたクラッド一括励起マルチコアEDFを組み合わせた構成において、励起光源電力の配分を最適化することにより省電力化を図る構成を策定するとともに、モジュールの試作を行い、正常に動作することを確認した。詳細な検討項目として、実装を想定した10コアマルチコアEDF構成において、利用コア比率に応じた励起光源電力配分の最適化により省電力化が可能なることを数値シミュレーションにより示した。さらに、保有する7コアマルチコアEDFにおいて、外部温度に対応した励起光源電力配分の最適化により省電力化が可能なることを実験的に示した。検討した省電力光増幅モジュールの構成において、励起電力を最適に設定するようコアごとに励起光量を調整するとともに、励起光源の共有化や励起光の分配機構を活用して光量調整を行うことにより省電力化を図る光増幅モジュール省電力化制御の基礎検討を、解析および実験により行うとともに、特許権利化の検討を行った。光増幅モジュール省電力化制御のための効率的なモニタ方式の基礎検討を、解析および実験により行った。入力信号の光量情報を用いた効率的なモニタ方式の基礎検討に基づき、省電力化制御の仕様策定を行った。

課題ウ 空間多重ノード配線技術

課題ウ-1 空間多重ノード装置間配線技術（日本電信電話株式会社）

【目標】

平成28年度は、10コア超一括接続のための多心MTコネクタの設計、組み立て方式の検討および試作を行う。また、SMF-MCF接続デバイスの実現方式の選定および初期設計を行い、試作に着手する。

【実施内容と成果】

（10コア超MCF一括接続コネクタの設計・試作および評価）

10コア超一括接続の実現に向けて、4コアファイバが一括接続可能なMTコネクタ構造の設計と試作を行った。また、MCFの回転調心方式および制御機構の検討・構築を行い、125 μ mクラッド4コアファイバ用一括接続多心コネクタの作製を実施し、作製した多心コネクタにおいて光の導通を確認した。

（SMF-MCF接続デバイスの設計）

SMF-MCF間接続デバイスとして、石英系導波路を用いることとし、4心以上の125

μm クラッド4コアファイバを、コア数に対応した本数のSMFに分離可能なデバイスの設計および試作を行った。

課題ウ-2 空間多重ノード装置内配線技術（古河電気工業株式会社）

【目標】

平成28年度は、10コア一括接続を可能とするコネクタの基本設計を行う。まずは装置の外部から入力されるコネクタは課題ウ-1と共通にする必要があるため、装置入力用コネクタのインタフェース条件を確定させる。具体的にはコネクタ種とファイバ間隔、および端面状態の仕様を決める。確定したコネクタに対してフェルール設計を行うとともにコネクタ形状を完成させる。さらに課題イと協働し、ノード内に配置される増幅器、スイッチ等インタフェース条件を確定させ、必要なコネクタ設計を行うとともに、必要に応じてファイバ設計および試作を行う。

【実施内容と成果】

（多心マルチコアコネクタの開発）

10コア超一括接続を可能とするコネクタの設計し、試作・初期特性評価を行った。

コネクタの設計はMTコネクタの外寸法を採用し、ファイバ間隔、端面状態は課題ウ-1と共通とした。フェルールには最大でMCFを8心収容でき、中4心を活用することで、10コア超一括接続を可能とした。試作したMTコネクタ間の接続損失を評価し、全コアにおいて0.85 dB以下を達成した。

（マルチコアファンアウトの開発）

本課題で使用を想定している正方配置コアのMCFに接続可能なバンドル型ファンアウトの製造条件を検討した。正方配置のバンドル型4コアファンアウトを作製する場合、細径ファイバ径とフェルール孔径を寸法管理しコアの配置制御をする必要があるため、部材の寸法ばらつきによって発生するファンアウトの理想位置からのコア位置ずれをシミュレーションにより解析した。解析結果の妥当性を実測により確認し、低接続損失なファンアウトに必要な製造条件を明らかにした。

（小型多心配線部材の開発）

課題イで検討される増幅器やスイッチに最適な小型多心コネクタおよびそのファイバ開発のため、小型多心コネクタ用のフェルールやハウジング部材、専用光ファイバ等の設計を確定し、試作・評価を行った。コネクタの形状・接続方式はMTフェルールをベースとして、従来MTに対して断面積サイズを1/4に縮小し、MUハウジングに実装可能な設計とした。小型化と同時に従来MTと同等の接続心数を実現するため80 μm クラッド径ファイバを適用し、ファイバ間隔は従来MTの1/2とした。試作した小型多心コネクタ間の接続損失を評価し、0.7 dB以下を達成した。

課題ウ-3 空間多重ノード配線用光コネクタ技術（学校法人千葉工業大学）

【目標】

平成28年度は、要求されるMCF仕様に合わせてMCFコネクタを設計し、部品の試作を行うとともに組立て・測定治具を整備する。その後コネクタ組立てを行い、基本的な接続特性を評価する。

【実施内容と成果】

（MCFコネクタの設計・試作）

PC接続条件の最適化を行うため、今年度購入した有限要素解析ソフトを用い、課題150において試作した19コアMCFコネクタにおけるフェルール押圧力によるPC接続

(28-1)

端面の微小変形について解析を行った。実際に押圧力をかけた場合の各コアの接触状態の実測値と比較した結果、平均値として近い値を得た。なお今年度は、接続する双方のフェルールが対称形である前提で計算を実施した。

また、MCF 接続点における各コアの反射減衰量を正確に測定するツールとしてOLCRを購入し、ファンアウトを介して接続点までの各コアの長さを揃えるジャンパケーブルの製作を開始した。