

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 01001

研究開発課題名 Beyond 5G 時代に向けた空間モード制御光伝送基盤技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

B5G時代の超高速無線アクセスシステムを支える大容量・長距離基幹光ネットワークを実現する空間多重光伝送システムにおいて、空間モードを制御可能な標準クラッド外径を有する結合型マルチコア光ファイバ(MCF: Multi Core Fiber) /ケーブル設計・実装・接続技術と、それに適合する光増幅中継技術、加えて、伝送リンクの動的変動に追従可能な新たな低負荷 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 信号処理技術を検討することで、空間多重数4かつ3000 km以上の伝送距離に相当する領域に適用可能な空間モード制御光伝送基盤技術の確立を目指す。

(2) 研究開発期間

令和3年度から令和6年度(4年間)

(3) 受託者

日本電信電話株式会社<代表研究者>
住友電気工業株式会社
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

(4) 研究開発予算(契約額)

令和3年度から令和4年度までの総額920百万円(令和3年度391百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1) 空間モード制御光ファイバ実装技術

- 項目1-a) ケーブル伝送路設計・実装技術(日本電信電話株式会社)
- 項目1-b) ケーブル伝送路接続・構築技術(住友電気工業株式会社)

研究開発項目2) 長距離ダイナミック低負荷 MIMO 処理構成基盤技術

- 項目2-a) 低負荷ダイナミック MIMO 信号処理方式基盤技術(日本電信電話株式会社)
- 項目2-b) 長距離 MIMO 処理検証基盤技術(日本電気株式会社)

研究開発項目3) 空間モード多重光増幅中継基盤技術

- 項目3-a) 空間モード制御伝送統合検証技術(日本電信電話株式会社)
- 項目3-b) 空間モード多重光増幅設計・評価技術(古河電気工業株式会社)
- 項目3-c) 空間モード多重伝送コネクタ設計・評価技術(学校法人千葉工業大学)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	2	2
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	9	9
	標準化提案・採択	2	2
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1) 空間モード制御光ファイバ実装技術

項目 1-a) ケーブル伝送路設計・実装技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】

空間モード数(コア数)と各種伝送特性との関係を計算により明らかにし、ケーブル実装検討に使用する4～10程度の空間モード数を有する結合型MCFの設計仕様を確定する。また、ケーブルに実装する光ファイバの試作に着手する。

【実施内容および成果】

計画通りコア数と各種伝送特性の計算検討に着手し、まずは曲げ損失、閉じ込め損失、遮断波長のコア数依存性の検討を実施した。コア数が増加することによる各種光学特性の変化を定量的に明らかにし、計算結果に基づき4、8、12コア構造をターゲットとしたMCFの設計仕様の確定および試作発注を完了した。加えて、令和4年度におけるケーブル試作検討に向け、基本特性検証用シングルモード光ファイバ(SMF: Single-Mode Fiber)ケーブル試作発注および評価を完了し、特性制御のためのケーブル構造パラメータの可変範囲についてデータを蓄積した。

項目 1-b) ケーブル伝送路接続・構築技術 (住友電気工業株式会社)

【目標】

結合型MCFの融着接続において1接続あたり0.2 dB/4コア以下の接続損失を実現する。

【実施内容および成果】

製造ばらつきを反映した結合型MCFサンプルを準備し、目標の低損失で融着接続する検討を行った。接続損失の原因となるコア位置ずれ、小さなモード径、長手方向の急峻なモード分布変化を低減する調心方法、加熱方法などの接続条件を検討・評価し、目標の接続損失を実現した。接続方法に関する特許1件を出願した。

研究開発項目 2) 長距離ダイナミック低負荷MIMO処理構成基盤技術

項目 2-a) 低負荷ダイナミックMIMO信号処理方式基盤技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】

10空間多重度程度までスケールかつ空間モード多重伝送路におけるチャネル動的変動に追従可能な低負荷MIMO信号処理構成・アルゴリズムの提案および基礎評価系構築を行う。

【実施内容および成果】

空間モード多重伝送路の動的変動に追従するマルチキャリア型MIMO信号処理方式を検討し同方式を低負荷化する見通しを得た。また、受信側でシングルモードに変換後の空間多重信号を時間軸で並列化し一括受信を行うことで対応空間多重度をスケール可能な空間多重信号の基礎評価系の構築を完了した。本評価系を用いた10空間多重信号の伝送を行い、良好な信号伝送特性を確認した。

項目 2-b) 長距離 MIMO 処理検証基盤技術 (日本電気株式会社)

【目標】

結合型 MCF 伝送のシミュレーションモデルを構築する。コア数 4 の結合型 MCF を用いた長距離伝送実験系を構築する。伝送シミュレーションや伝送評価により、長距離伝送における高スループット受信側 MIMO 処理に必要な要素技術を見極める。

【実施内容および成果】

受信側 MIMO 処理について、回路実装制約を含まない基本的なシミュレーションモデルを構築した。コア数 4 の結合型 MCF を用いた長距離伝送実験を構築し、オフライン信号処理による伝送評価を実施した。結合型 MC-EDFA (Multi Core Erbium-Doped Fiber Amplifier) 光増幅中継ループ伝送で、2900 km 程度の伝送を確認した。MIMO フィルタの適応制御のため受信側での既知のトレーニング信号との同期手法の必要性和、長距離伝送のための伝送路のモード依存損失の低減の重要性を確認した。また、機械学習の効果検証を目的とした計算機シミュレーション評価環境を構築し、初期検討としてシングルコア光ファイバ (SCF : Single Core Fiber) 伝送について伝送信号点配置・生起確率の最適化に関する評価を実施し、伝送容量の改善効果を確認した。

研究開発項目 3) 空間モード多重光増幅中継基盤技術

項目 3-a) 空間モード制御伝送統合検証技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】

空間モード制御光ファイバ/ケーブルおよび光増幅中継器の接続方式を策定する。

【実施内容および成果】

令和 4 年度の伝送リンク策定に向けて検討を開始し、仕様規定の観点から、空間モード制御光ファイバ/ケーブルおよび光増幅中継器の接続インタフェース候補を複数提示し、接続方式を策定した。

項目 3-b) 空間モード多重光増幅設計・評価技術 (古河電気工業株式会社)

【目標】

増幅器の入出力ファイバを結合型 4 コア MCF とし、全コアを一括増幅可能な構成を示し、その課題を明確にする。

【実施内容および成果】

結合型 4 コア MCF から入力された信号を増幅するための要素技術として、増幅器内でのクロストークの解析を進めた。結合型 MCF から増幅器に入力された信号はファンアウトにて 4 つの SMF に分岐される。その後、一括励起型マルチコア増幅器に入る際に発生するクロストークの挙動調査として、増幅器内の励起、非励起状態でのクロストーク挙動を確認した。

全コアを一括増幅した後に結合型 4 コア MCF に再入力することで実現される増幅器の各機能ブロックの構成動作条件を整理した。

項目 3-c) 空間モード多重伝送コネクタ設計・評価技術 (学校法人千葉工業大学)

【目標】

まず、空間モード多重伝送コネクタのコア位置を高精度に測定できる装置とともに、結合型 MCF 各コア光パワー分布のシミュレーションと測定環境を整備する。次に、光コネクタ接続特性 (接続損失、モード依存損失 (MDL : Mode Dependent Loss)、モード間クロストーク) と各コアの軸ずれとの関係を明らかにし、研究開発項目 1) および研究開発項目 2) で要求される光コネクタ接続特性を実現するための必要精度を求める。

【実施内容および成果】

結合型 MCF を接続するためには、非結合型 MCF と比較してフェルール軸回り角度精度の高精度化が必須であるため、組立治具および手順の改善を行った上で非結合型 4 コア MCF コネクタ

40 端子を組み立ててランダム接続損失を測定した結果、平均 0.12 dB から 0.07 dB に改善した。また、標準化提案に向けて結合型 MCF 用光コネクタ単体で接続特性を測定する方法として、各コアの反射減衰量を推定できる測定法を考案し、検証した。

(8) 今後の研究開発計画

令和 4 年度は、短尺光ケーブル実装および単一融着接続点における空間モードの制御性を明らかにし、その特性情報を研究開発項目 2) と共有することにより、動的変動制御の簡易実証、ならびに長距離伝送シミュレータの確立を完遂する。また、結合型 4 コアの一括光増幅特性を明らかにする。