

平成23年度研究開発成果概要書
「革新的光通信インフラの研究開発」

(1) 研究開発の目的

光通信技術は過去40年間、超低損失光ファイバ、狭線幅半導体レーザ、低雑音光検出器、高速電子回路、広帯域光増幅器などの数多くの革新的な発明により着実に伝送容量を増加させており、特に過去20年間では1000倍の大容量化を実現している。現在、我が国の基幹系商用システムでは1ファイバあたり1.6 Tb/sが、また実験レベルでは100 Tb/s伝送が実現している。

この超大容量光通信技術は伝送路である光ファイバや光増幅器の物理的限界に達しつつある。具体的には、超大容量化に伴う光信号の高パワー化により光ファイバ中に誘起される非線形光学効果と、パワー集中により光ファイバのコア部が熔融して光ファイバを逆走するファイバフューズ、光ファイバの低損失波長域と光増幅器の帯域制限などである。これに対して、現在我が国の通信トラヒックは依然として年率1.4倍で伸びており、20年後には1000倍の需要が予想される。

技術が確立している石英系光ファイバを使用しつつこの物理限界を打破するためには、コア部に集中する光信号パワー密度の最大値を下げる必要がある。

光信号パワー密度低減方法として最も有効なものは複数のコアに光信号を分散させるマルチコア伝送である。マルチコア伝送によって、通常の単一モードファイバを使用した場合に比べるとコア数分の伝送容量の拡大が期待できる。光信号パワー密度低減の別法としては単一モードファイバに比べてコア径の大きいマルチモードファイバを用いる伝送がある。従来マルチモードファイバ中をシングルモード伝送させる研究は行われているが、各伝搬モードを個別の伝送チャンネルとして用いるモード多重伝送を行う事により伝送容量の拡大も可能となる。また、モード多重伝送においては、伝搬モードごとにコア断面中の強度分布が異なるため、光信号パワー密度の最大値を低減できる可能性がある。

さらに、マルチコア・マルチモードに加え、3つ目の超多重化技術としてマルチレベル（超多値）伝送方式を導入することにより、光ファイバの伝送能力をさらに向上させることが出来る。光の振幅と位相を同時に用いる QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 方式は、周波数利用効率を 10 b/s/Hz 以上に拡大できるため、限られた帯域の中で伝送容量を飛躍的に増大させることが出来る。この技術に空間多重を組み合わせることが出来れば、ファイバ1本あたりの周波数利用効率を一挙に 100 b/s/Hz にまで引き上げることが可能となり、

光通信のパラダイムシフトを引き起こすことが出来るものと期待される。
本研究開発では、これらマルチコア伝送とマルチモード伝送、およびマルチコア伝送と超多値伝送を併用した革新的光伝送方式を採用することで将来の超大容量光通信の需要に対応する技術を開発する。

(2) 研究開発期間

平成23年度から平成27年度（5年間）

(3) 委託先企業

日本電信電話株式会社<幹事>、
国立大学法人東北大学、
国立大学法人島根大学、
国立大学法人大分大学、
国立大学法人横浜国立大学、
国立大学法人九州大学

(4) 研究開発予算（百万円）

平成23年度	95百万円	(契約金額)
平成24年度	90百万円	(契約金額)
平成25年度	84百万円	(契約金額)
平成26年度	79百万円	(契約金額)
平成27年度	75百万円	(契約金額)

(5) 研究開発課題と担当

課題ウー1：マルチコア伝送技術の開発

1. マルチモード伝送系設計・評価技術（日本電信電話株式会社）
2. マルチコア MIMO 信号処理技術（日本電信電話株式会社）
3. マルチコア光増幅中継技術（島根大学）
4. マルチコア位相同期化ダイバーシティ伝送技術（大分大学）
5. マルチコア伝送の実証（日本電信電話株式会社）

課題ウー2：超多値マルチコア伝送技術の開発

1. 超多値マルチコア送受信技術技術（東北大学）
2. 超多値信号のマルチコア伝送評価および総合実験（東北大学）

課題ウー3：マルチモード伝送技術の開発

1. マルチモード伝送系設計技術（日本電信電話）
2. マルチモード光増幅中継技術（島根大学）
3. 単一コア伝送用モード合分波技術（日本電信電話）

4. 結合マルチコア伝送用モード合分波技術 (横浜国立大学)
5. マルチモード光源技術 (九州大学)
6. マルチモード伝送の実証 (日本電信電話)

課題ウー 4：マルチコア・マルチモード伝送技術の開発

1. マルチモード伝送系設計技術 (日本電信電話)
2. マルチコア・マルチモード伝送の実証 (日本電信電話)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	4	4
	その他研究発表	15	15
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

具体的な成果

- (1) マルチコアファイバ伝送ではコア数拡大・コア密度向上の可能性追求するハイブリッド波長・空間多重の構成法、結合型マルチコアファイバの結合モードの選択的励振法やクロストークの検討等の検討を行った。また、課題 150 ア・150 イとの連携のもと、7 コアファイバによるラマン分布増幅を用いた伝送実験を行い、多値変調信号で長距離の光伝送が可能であることを実証した。(150 ウ 1)
- (2) 超多値マルチコア伝送の実現に向けて、本年度は1 コアあたりの多値度の拡大、シンボルレートの高速度ならびに長距離化に取り組んだ。その結果、ラマン光増幅器、周波数領域等化(FDE: Frequency Domain Equalization)法ならびに逆伝搬法と呼ばれる歪み補償技術を導入することにより、4 Gsymbol/s, 256 QAM 伝送(64 Gbit/s)において従来 160 km であった伝送距離を 560 km まで拡大することに成功した。(150 ウ 2)

- (3) マルチモード光源基本構造を検討し、単一の 1 次モードのみが出力される MMI 構造候補を、シミュレーションにより確認した。C 帯全域で過剰損失 0.5dB 以下で 2 モードの合波が可能であることを明らかにした。また、PLC 方向性結合器型モード合分波器の検討ではモード変換とモード合波を同時に行う方式を検討し、試作した合分波器を介して 2 つの入力光を数モードファイバに結合させ、数モードファイバ中で 2 つのモードを適切に励振できる事を確認した。同種結合マルチコアファイバでは、4 コア同種結合マルチコアファイバへの入射角度制御による選択的モード励振と定量的モード励振分布評価技術を開発し、曲げによるモード変換が曲げ半径 25mm まで起こらない事を確認した。(150 ウ 3)