(26-4)

平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発　課題ウ　マルチコア・マルチモード伝送技術の研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

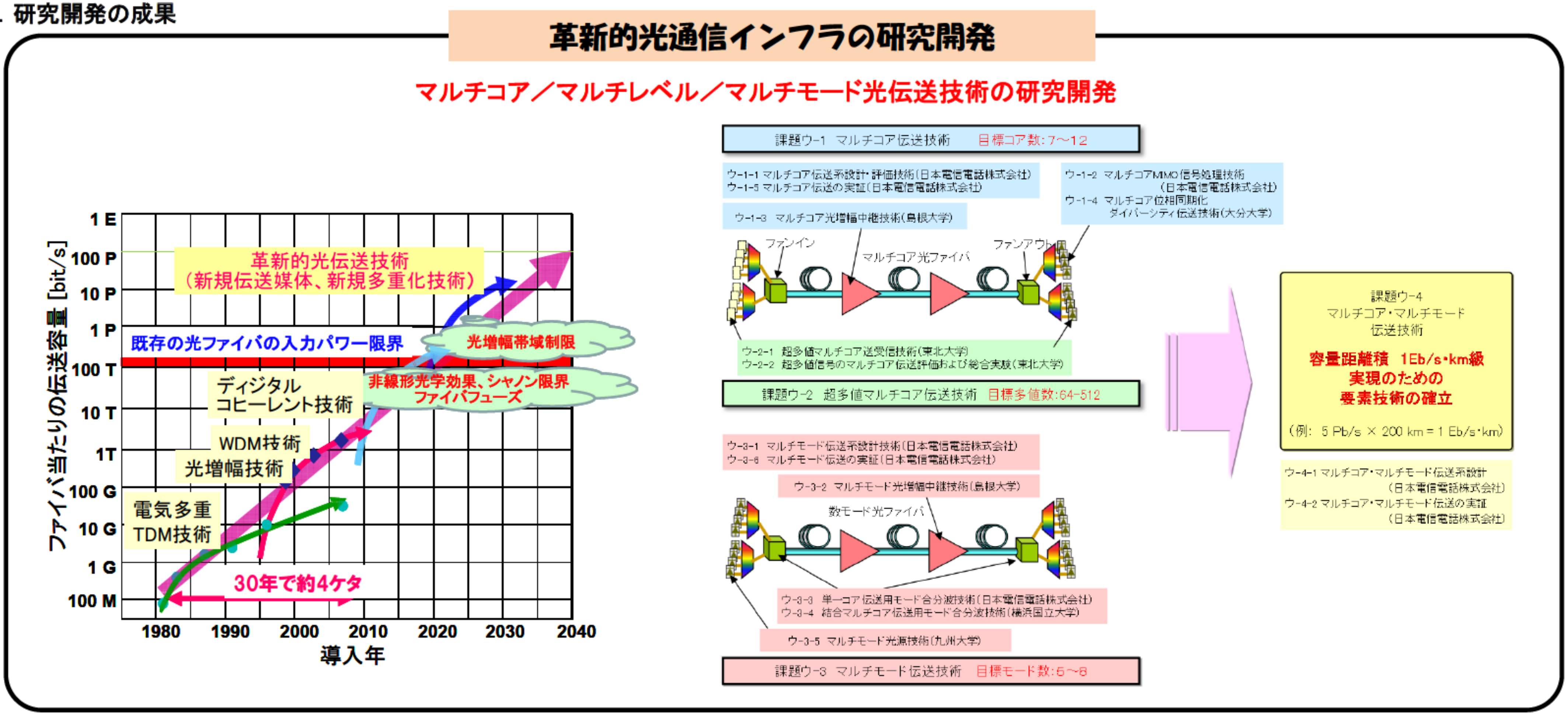
1. 実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- 実施機関　　日本電信電話株式会社（代表研究者）、東北大学、島根大学、大分大学、横浜国立大学、九州大学
- 研究開発期間　　平成23年度から平成27年度（5年間）
- 研究開発予算　　419百万円（平成26年度 79百万円）

2. 研究開発の目標

- マルチコアファイバを用いた大容量空間多重光伝送技術、「周波数」および「空間」の2つの資源を最大限に活用した超多重化コヒーレント伝送技術、およびマルチモード伝送技術を研究開発し、1 Eb/s・kmを達成する大容量空間多重光伝送技術の見通しを得る。

3. 研究開発の成果



平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発
課題ウ　マルチコア・マルチモード伝送技術の研究開発」の目標・成果

①マルチコア伝送技術（課題ウ－１）

目的：マルチコア伝送について伝送設計および伝送特性向上技術の開発を行い、大容量空間多重光伝送技術を確立する。

成果：

◆マルチコア伝送系設計・評価技術、マルチコア伝送の実証（NTT）

・課題 150 ア、イおよび課題 170 と協力して、マルチコア EDF、FI/FO デバイスおよび 7 コアファイバを用いたマルチコア遠隔励起光伝送系を設計・構築し伝送実験を実施(図1-1)。

・7 コアファイバ 204.6 km を用いた遠隔励起光伝送実験に成功し、無中継光伝送において世界最大記録である総容量 120.5 Tb/s、周波数利用効率 53.5 b/s/Hz が得られた（図 1-2）。

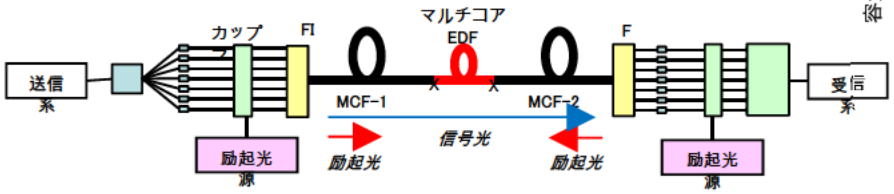


図1-1　マルチコア遠隔励起光伝送実験系

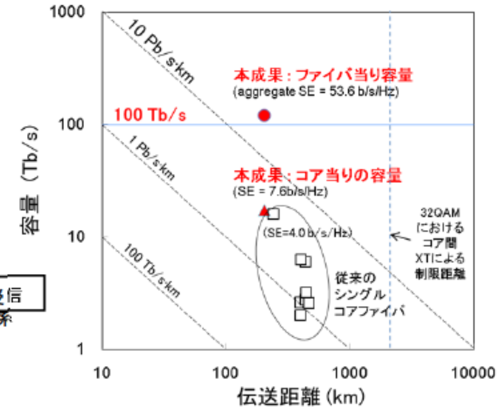


図1-2　主な遠隔励起光伝送実験

◆全光型フィードフォワード利得一定制御技術（島根大学）

・励起光源共有型のマルチコア EDFA に適用可能な全光型フィードフォワード AGC 方式の提案と、動作特性の実験検証を行った。本方式が、高い励起効率を有し、高励起効率・低消費電力のマルチコア EDFA を用いた光増幅中継システムに使用可能であることを明らかにした。

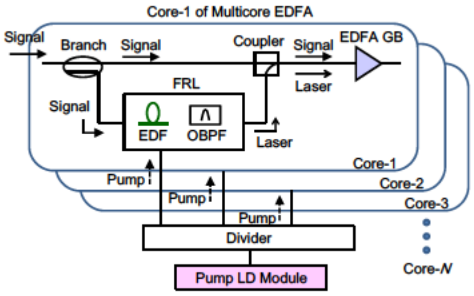


図1-3　システム構成

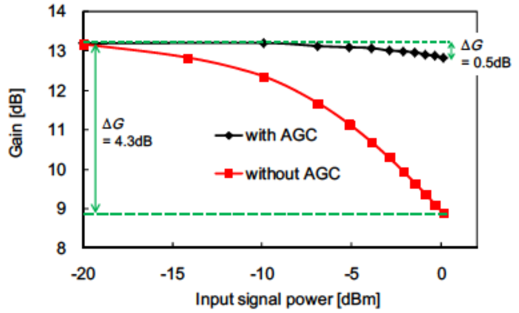


図1-4　AGC特性

◆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）

・信号光とその位相共役光を用いて 2 コア伝送による 3 dB 以上となる Q 値復元に関する実証実験を行った。非線形過程に基づく雑音に含まれる空間相関成分の相殺効果は、シミュレーションによる予想を超えている。

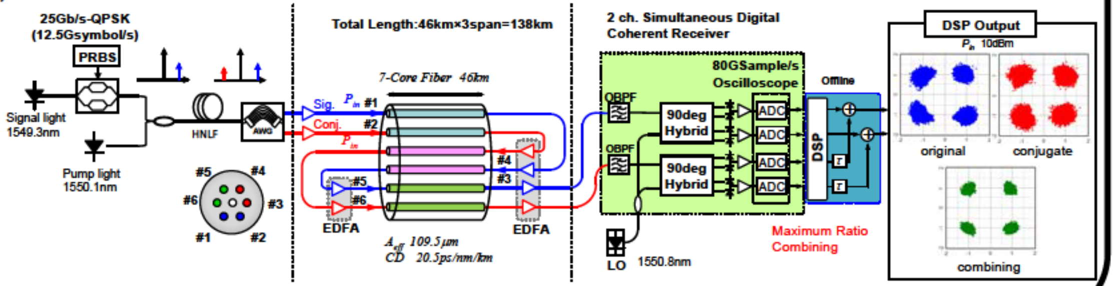


図1-5　信号光&位相共役光2 コアファイバ伝送による3dBを超えるQ値復元

平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発
課題ウ　マルチコア・マルチモード伝送技術の研究開発」の目標・成果

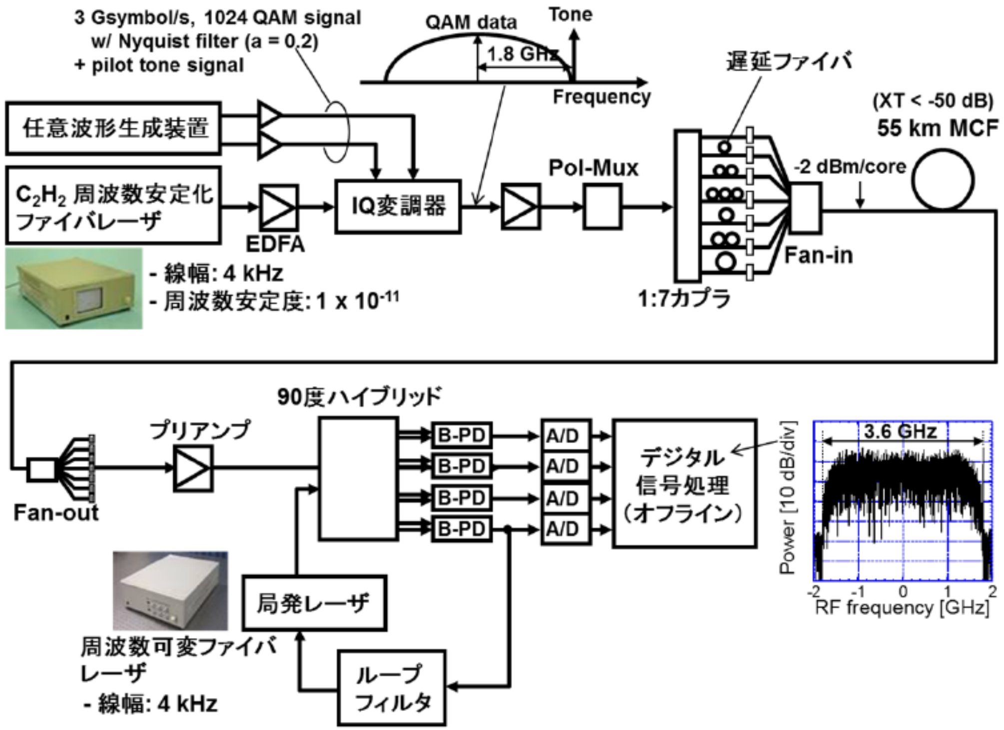
②超多値マルチコア伝送技術（課題ウ－2）（東北大学）

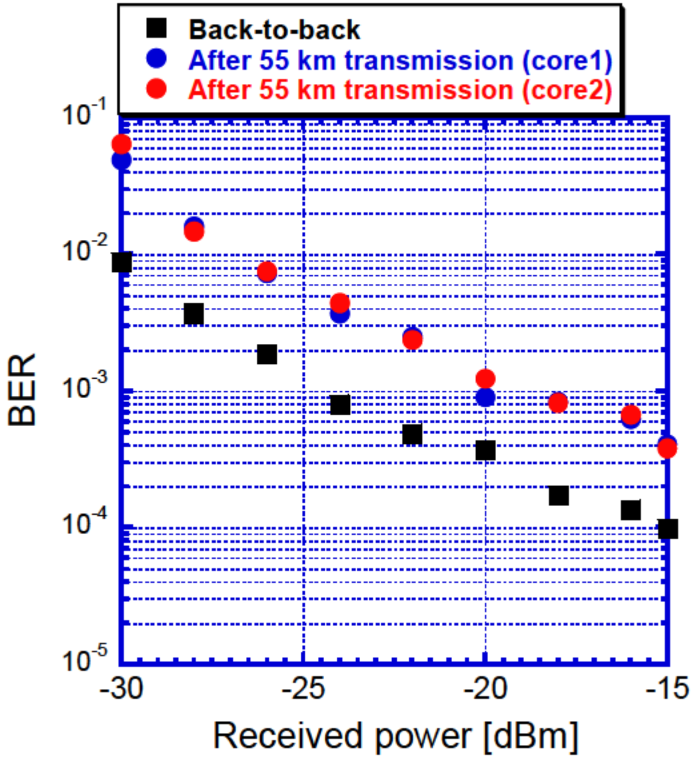
・目標：

ファイバ 1 本あたり 100 bit/s/Hz の超高周波数利用効率を目指して、変調多値度の拡大により 1 コアあたり 14 bit/s/Hz を上回る周波数利用効率（7 コア伝送で 100 bit/s/Hz に相当）を実現する。超多値コヒーレント QAM 信号空間多重送受信部を構築し、7 コア空間多重伝送（無中継伝送）を実現する。

・成果：

55 km の 7 コアファイバとファンイン・ファンアウトデバイスで構成される超多値マルチコア伝送系を構築し、3 Gsymbol/s、420 Gbit/s（60 Gbit/s × 7 コア）1024 QAM 伝送を実現。1 コアあたり 15.6 bit/s/Hz、ファイバ 1 本あたり 109 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を単一モードのマルチコアファイバで初めて達成





60 Gbit/s (3 Gsymbol/s) 1024 QAM信号の7コアMCF 55 km伝送系（左）および誤り率特性（右）

平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発
課題ウ　マルチコア・マルチモード伝送技術の研究開発」の目標・成果

③マルチモード伝送技術　（課題ウ－３）

目的:　伝送技術、合分波技術、光源技術、伝送ファイバに要求される特性等の検討を行い、大容量モード多重伝送の見通しを得る。

◆結合型マルチコア伝送用モード合分波技術　（横浜国立大学）

4 コア結合型マルチコアファイバ用のモード合分波器の実証

- 非対称テーパー結合モード遷移型モード合分波器をポリマー導波路を用いて製作して、合波器として基本機能を実証（図3-1）。

モード多重用3モードファイバのモードのモード励振比（クロストーク）評価

- LP_{01}、LP_{11}^{even}、LP_{11}^{odd} の3モード間の励振比（クロストーク）を偏光状態まで含めて分析する方法を開発。
- 分布屈折率3モードファイバへの適用性も確認。

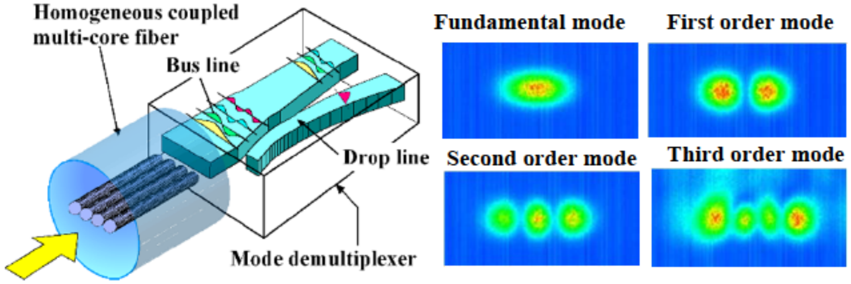


図3-1　4コア結合型マルチコアファイバ用モード合分波器の基本構造とモード合波器の出射光近視野像の測定結果

◆マルチモード光源技術　（九州大学）

- LP111モード光デバイス（図3-2）の検討を進め、設計理論を確立した。
- 更なる高次モード対応構造を提案し、LP21モード対応デバイス構造（図3-3）の検討を進め、試作評価を行った。
- 新たに、a-OAMモードによる伝送チャネル数拡大方式を提案した。

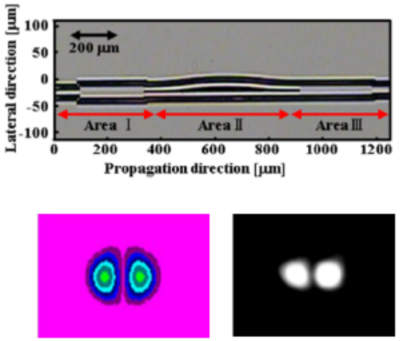


図3-2　試作デバイスと得られたNFP

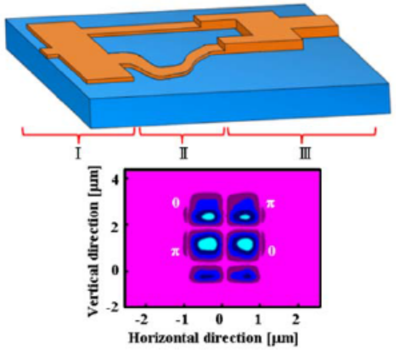


図3-3　LP21モード対応デバイス

◆単一コア伝送用モード合分波技術　（NTT）

- PLC型非対称方向性結合器型モード合分波器の多段3Dアセンブリにより5 モード変換・合分波回路を試作し動作検証を行った（図 3-4）。
- 実装作業中に出射パタンを確認する方法を考案し、高精度調心を実現。高クロストーク化実現の見通しを得た。

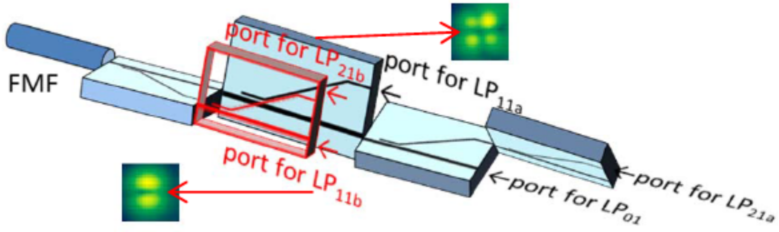


図3-4　5 モード変換・合分波回路と出射パタン例

平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発
課題ウ　マルチコア・マルチモード伝送技術の研究開発」の目標・成果

④マルチコア・マルチモード伝送技術　（課題ウ－４）

目的:　多重数30以上を実現するマルチコア・マルチモード伝送技術に関する基礎検討を行う。

◆マルチコア・マルチモード伝送の実証 （NTT）

・課題 150 ア、イおよび課題 170と協力して、マルチコア・数モードファイバ、ファンイン・ファンアウトデバイス、数モードEDFAおよびモード合分波器を用いたマルチコア・マルチモード周回伝送系を設計・構築し伝送実験を実施（図4-1）。

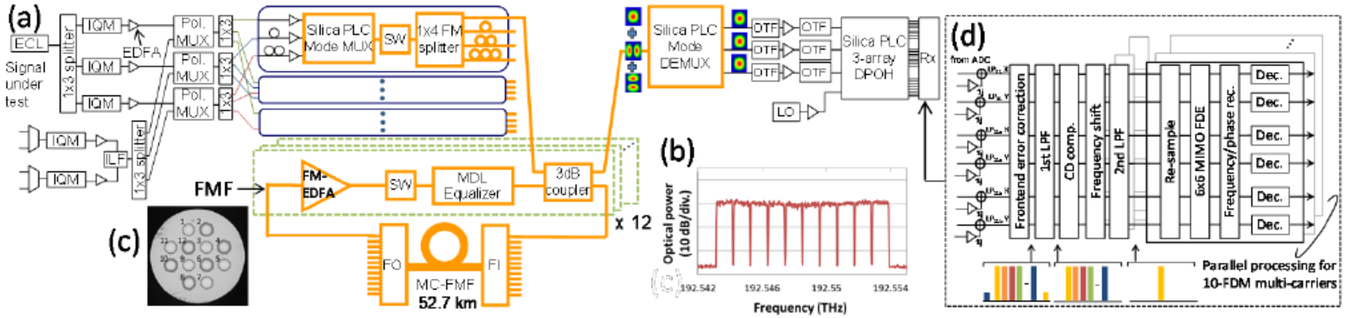


図4-1　マルチコア・マルチモード伝送実験系

・空間多重数拡大とモード分散補償量増大の両立を可能とするマルチコア・マルチモード伝送設計・MIMO信号処理技術により、世界最大のモード分散補償量33.2 nsを実現し、昨年度の12倍以上の長距離化となる527kmのマルチコア・マルチモード光伝送に成功した（図 4-2）。

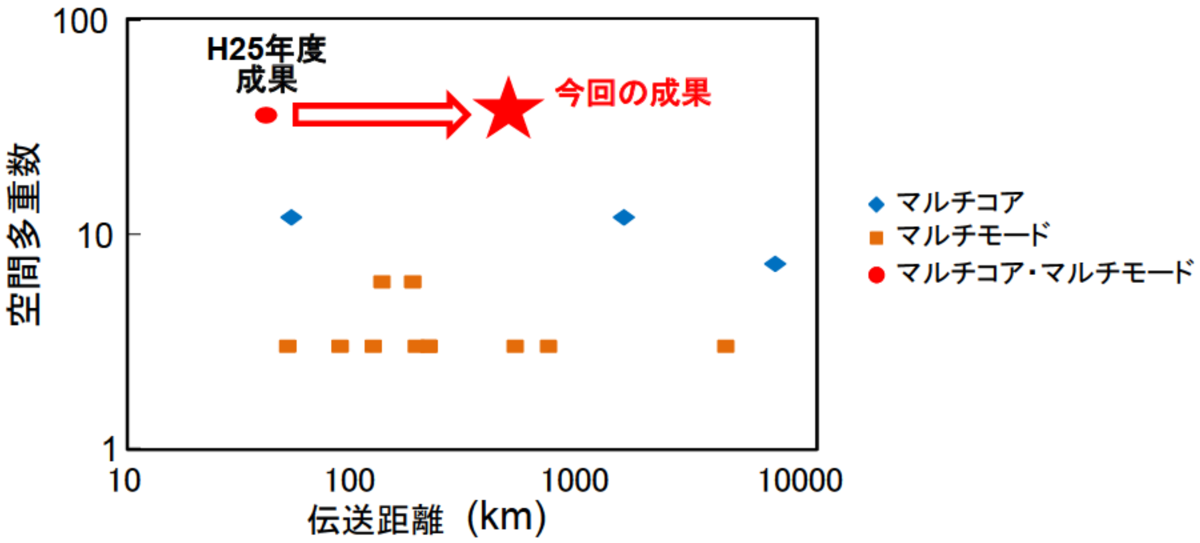


図4-2　空間多重と伝送距離の関係

4. これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース報道	展示会	標準化提案
革新的光通信インフラの研究開発　課題ウ	8 （ 3 ）	0 （ 0 ）	18 （ 5 ）	157 （ 47 ）	17 （ 1 ）	13 （ 2 ）	0 （ 0 ）

※成果数は累計件数、（　）内は当該年度の件数です。

（1）学会発表・表彰

・Chitose International Forum on Photonics Science & Technology（平成21年10月）、Optics & Photonics Japan 2011（平成21年11月）の基調講演にて研究概要を発表 (H23)
・ECOC2012（2012年7月）ポストデッドライン論文に採択。世界初の1Pb/s光伝送実験に成功 (H24)
・ECOC2013（2013年9月）ポストデッドライン論文に採択。世界初の1Eb/s・kmの長距離・大容量光伝送実験に成功 (H25)
・OFC2014（2014年3月）ポストデッドライン論文に採択。世界初の高密度空間多重伝送（多重数36）に成功し、全周波数利用効率247.9 b/s/Hzの世界最高記録を達成（H25）
・M. Nakazawa, "Ultrahigh spectral efficiency systems – pushing the limits of multi-level modulation, multi-core fiber, and multi-mode control," OECC 2014 (tutorial), WE7G-1.
・M. Nakazawa, "Exabit Optical Communication Infrastructure Using 3M Scheme, " ACP 2014, Plenary Talk, November (2014).
・Y. Wang, IEEE Photonics Society Best Student Paper Awards (1st Grade Awards)（2014年11月）
・中沢正隆、第103回日本学士院賞（H25）、2013年度NEC C&C賞（2013年11月） (H25)、Charles Hard Townes Award (H26)、第64回河北文化賞 (H26)
・APC2014（2014年11月）にて、超多チャンネル空間多重／モード多重用FM-MCFの提案と設計技術について招待講演（H26）
・OECC2014 （2014年7月）、OFC2015 （2015年3月）、電子情報通信学会総合大会（2015年3月）にて、マルチコアファイバを用いた光ダイバーシティ伝送について発表（H26）
・別府翔平、電子情報通信学会学術奨励賞（2015年3月）
・David Odeke Otuya、電子情報通信学会学術奨励賞（2015年3月）
・ OFC2015（2015年3月）ポストデッドライン論文に採択。高密度空間多重（多重数36）の長距離伝送（527km）に成功（H26）

（2）展示会

・H24年度 パネル展示：
第26回　光通信システム（OCS）シンポジウム（2012年12月、静岡県三島市）、九州大学筑紫地区オープンキャンパス（2013年5月、九州大学）、
東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会（2013年2月、東北大学）、フォトニックネットワークシンポジウム2013（2013年3月、神奈川県横須賀市）
・H25年度 パネル展示：
CLEO-PR & OECC/PS 2013 （2013年7月、京都府京都市）、NICTオープンハウス2013（2013年11月、東京都小金井市）、
第27回　光通信システム（OCS）シンポジウム（2013年12月、静岡県三島市）、フォトニックネットワークシンポジウム2014（2014年3月、東京都小金井市）
・H27年度 パネル展示：
第28回　光通信システム（OCS）シンポジウム（2014年12月、静岡県三島市）、フォトニックネットワークシンポジウム2015（2015年3月、東京都小金井市）

（3）報道発表

・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～（H24）
・「光ファイバー通信量5倍に　東北大開発　ハイビジョン1000時間分　1秒で転送」 日本経済新聞（夕刊）2014.11.15

5. 今後の研究開発計画

・マルチコア伝送技術：
MIMO技術、光増幅中継技術、位相同期化ダイバーシティ伝送技術を開発し、マルチコアファイバを用いた大容量空間多重光伝送技術の確立を目指す　。
・超多値マルチコア伝送技術：
超多値コヒーレント伝送ならびにそのマルチコア空間多重により、「周波数」および「空間」の2つの資源を最大限に活用した超多値マルチコア伝送の基盤技術を世界に先駆けて実現する。
・マルチモード伝送技術：
モード合分波技術、マルチモード光増幅中継技術を開発し、マルチモードファイバを用いた大容量空間多重光伝送技術の確立を目指す。
・マルチコア・マルチモード伝送技術
マルチコアおよびマルチモードを併用した、マルチコア・マルチモード伝送技術に関する検討を行い、空間多重数30以上のスケーラビリティ拡大を達成する技術の見通しを得る。