

平成24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・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆ 実施機関 日本電信電話株式会社(幹事者)、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)
- ◆ 研究開発費 422百万円(平成23年度 95百万円、平成24年度 90百万円、平成25年度 84百万円、平成26年度 79百万円、平成27年度 75百万円)

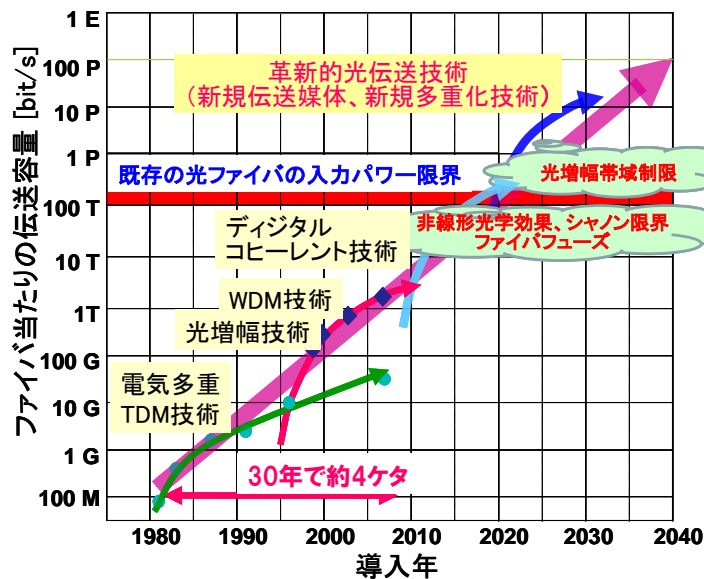
2. 研究開発の目標

- ◆ 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。

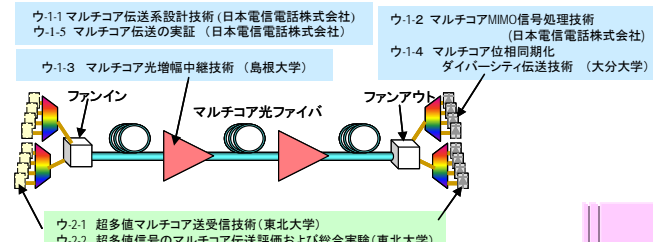
3. 研究開発の成果

革新的光通信インフラの研究開発

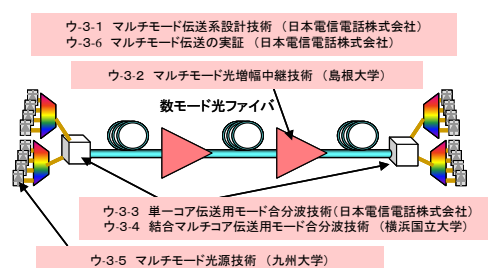
マルチコア/マルチレベル/マルチモード光伝送技術の研究開発



課題ウ-1 マルチコア伝送技術 目標コア数:7~12



課題ウ-2 マルチコア・超多値コヒーレント伝送技術 目標多値数:64-512



課題ウ-3 マルチモード伝送技術 目標モード数:5~8

課題ウ-4
マルチコア・マルチモード
伝送技術

容量距離積 1Eb/s・km級
実現のための
要素技術の確立

(例: 5 Pb/s × 200 km = 1 Eb/s・km)

ウ-4.1 マルチコア・マルチモード伝送系設計 (日本電信電話株式会社)
ウ-4.2 マルチコア・マルチモード伝送の実証 (日本電信電話株式会社)

平成24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（課題ウー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（日本電信電話株）

- ・課題 150 ア、イおよび課題 146 と協力して、マルチコア EDFA、ファンイン・ファンアウトデバイスおよび 12 コアファイバを用いたマルチコア伝送系を設計・構築し伝送実験を実施(図 1-1)。
- ・クロストークに応じた最適伝送方式設計を行い、偏波多重 32 値 QAM デジタルコヒーレント技術および上記技術を用いることにより、周波数利用効率 91.4 b/s/Hz、光ファイバ当たり 1 Pb/s の大容量光伝送(距離 53 km)に初めて成功した(図 1-2)。

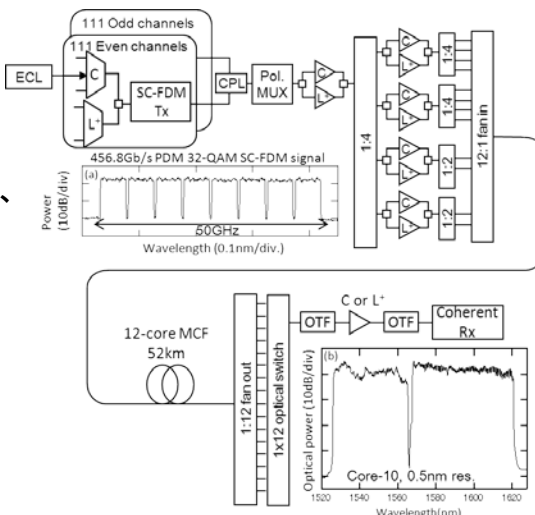


図1-1 1 Pb/s マルチコア伝送実験系

◆分布ラマン混在系の提案とクロストーク特性明確化（島根大学）

- ・分布ラマン混在系(コア間ラマン利得ばらつきを含む)を提案し、クロストーク特性のシミュレーション及び実験による明確化を行った(図 1-3、1-4)。

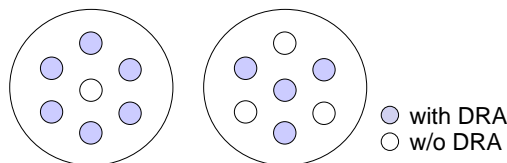


図1-3 分布ラマン混在系の構成例

◆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)

- ・最大比合成理論のマルチコア光ファイバ伝送系への理論展開を行った。
- ・SNR 回復値の波長分散依存性(シミュレーション)を行い、ゼロ分散波長では 3 dB の復元、波長分散 16 ps/nm/km では 2 dB の復元が可能であることを確認した(図 1-5、1-6)。

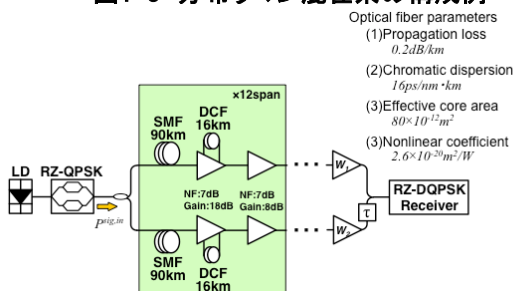


図1-5 2 コアファイバ伝送系モデル

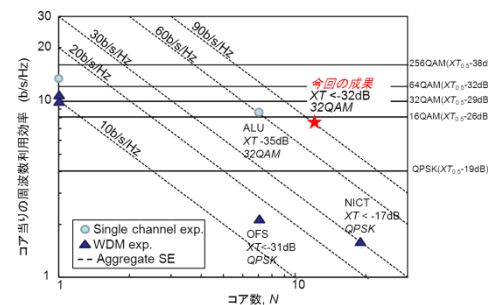


図1-2 コア数と周波数利用効率の関係

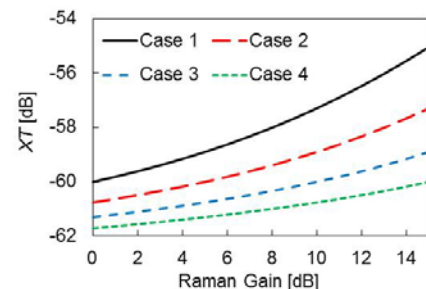


図1-4 クロストークのラマン利得依存性

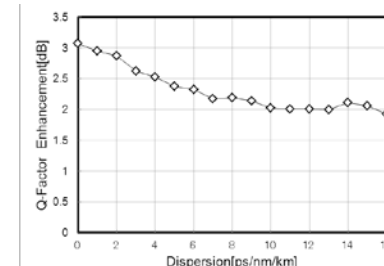


図1-6 波長分散による SNR 回復力の違い

平成24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

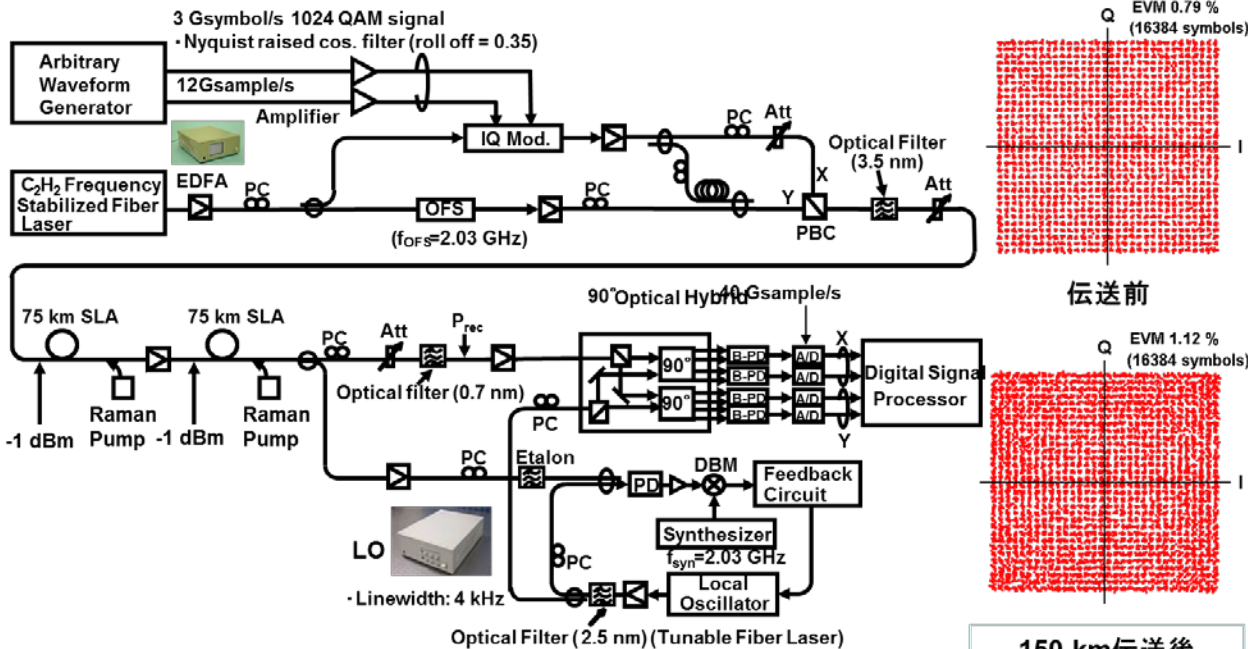
②超多値マルチコア伝送技術 (課題ウ-2)

・目標:

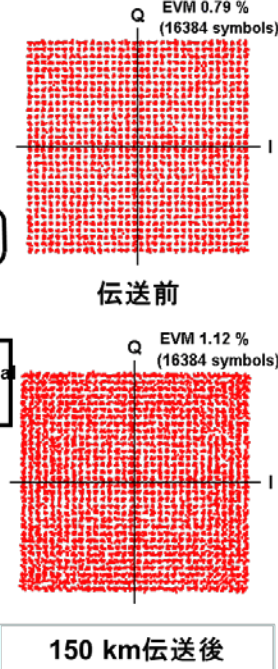
ファイバ 1 本あたり 100 bit/s/Hz の超高周波数利用効率を目指して、変調多値度の拡大により 1 コアあたり 14 bit/s/Hz を上回る周波数利用効率(7 コア伝送で 100 bit/s/Hz に相当)を実現する。

・成果:

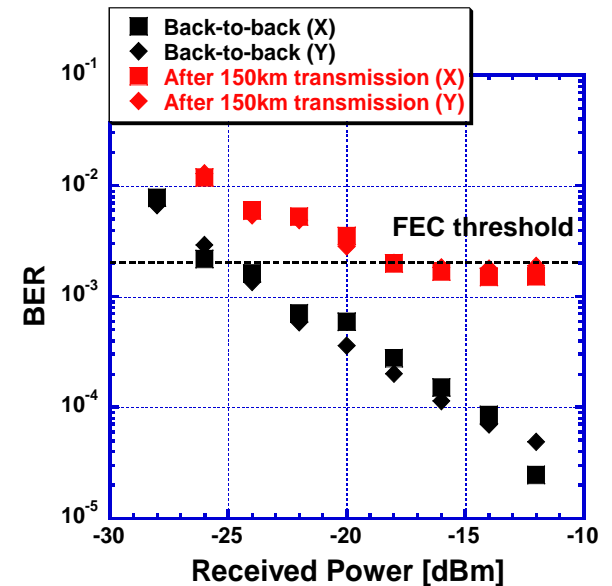
1024 値の超多値コヒーレント光伝送に世界で初めて成功。1 シンボルで 10 ビットの情報量を実現し、14.8 bit/s/Hz の周波数利用効率(FEC オーバーヘッドを考慮すると 13.8 bit/s/Hz)で 150 km の伝送を達成(東北大学)



(a)



(b)



(c)

1024 QAM (60 Gbit/s) - 150 km 光伝送実験系 (a)、伝送前後のコンステレーションマップ (b)、ならびに符号誤り率特性 (c)

平成24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 (課題ウー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の低クロストークモード合分波器の設計

- ・テーパ結合逐次分岐型モード合分波器の小型化のための再設計。

- ・素子長を前年度比 2 分の 1 に短縮(図 3-1)。

モード分割多重用マルチコアファイバの最大伝送チャンネル数の解明

- ・同種および異種による非結合マルチコア化の最大伝送チャンネル数比較。

- ・実効コア直径 115 μm 以上では同種結合型4コアの異種非結合マルチコア化が最大伝送チャンネル数の点で最も有利(図 3-2)。

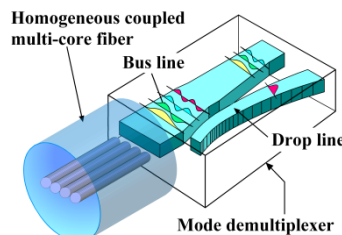


図3-1 テーパー結合逐次分岐型モード合分波器

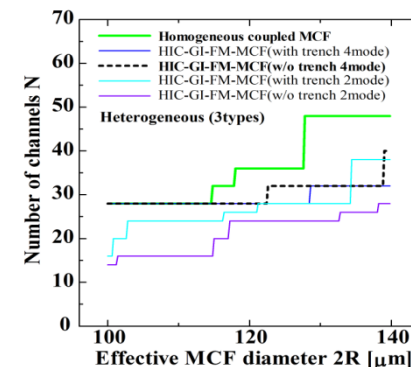


図3-2 モード多重伝送用 MCF のチャンネル数

◆マルチモード光源技術 (九州大学)

単一の高次モード発振構造で、さらなる高次モード(LP21 まで)を実現する構造の検討。

- ・MMI 構造に基づき、LP21 モードをシミュレーションにより確認(図 3-3)

- ・パッシブデバイスによる原理実証を進め、デバイス試作条件検討を行った(図 3-4)。

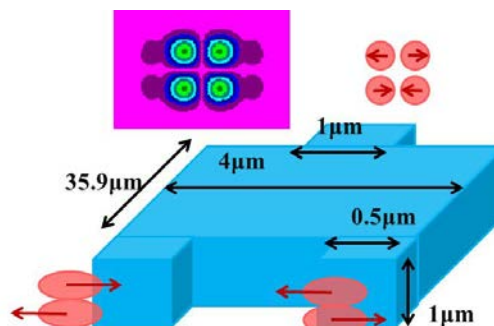


図3-3 MMI 構造

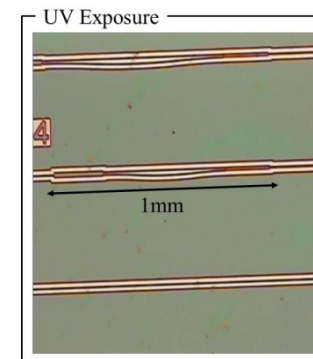


図3-4 試作デバイス¹³

◆単一コア伝送用モード合分波技術 (日本電信電話株)

- ・3 モード合分波平面光波回路の設計、作製および評価(図 3-5)

- ・対向によりモード合分波時のモードクロストークとして 20 dB 以上を確認。

- ・アライメント精度向上によりクロストーク改善の見通しを得た。

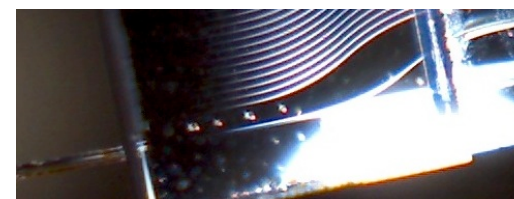


図3-5 3モード合分波回路

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

	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	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	5 (4)	0 (0)	7 (4)	52 (29)	1 (1)	7 (7)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(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)
- ・中沢正隆, 第13回応用物理学学会業績賞(2013年3月) (H24)

(2) 展示会

- ・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)でパネル展示(H24)
- ・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)でパネル展示(H24)
- ・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)でパネル展示(H24)
- ・フッ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)でパネル展示(H24)

(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)

6. 今後の研究開発計画

- ・マルチコア伝送技術:
大容量光伝送を実現するためのマルチコア伝送系の基本構成を明確化して伝送実験を実施し、マルチコア伝送を実現する上での問題点・課題を抽出する。
- ・超多値マルチコア伝送技術:
QAM信号をマルチコアファイバを用いて伝送させ、マルチコアファイバによる超多値QAM信号の空間多重伝送に伴う問題点を抽出する。
- ・マルチモード伝送技術:
マルチモード伝送系の基本構成を明確化して原理確認伝送実験を実施し、マルチモード伝送を実現する上での問題点・課題を抽出する。