

平成25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 419百万円(平成25年度 84百万円)

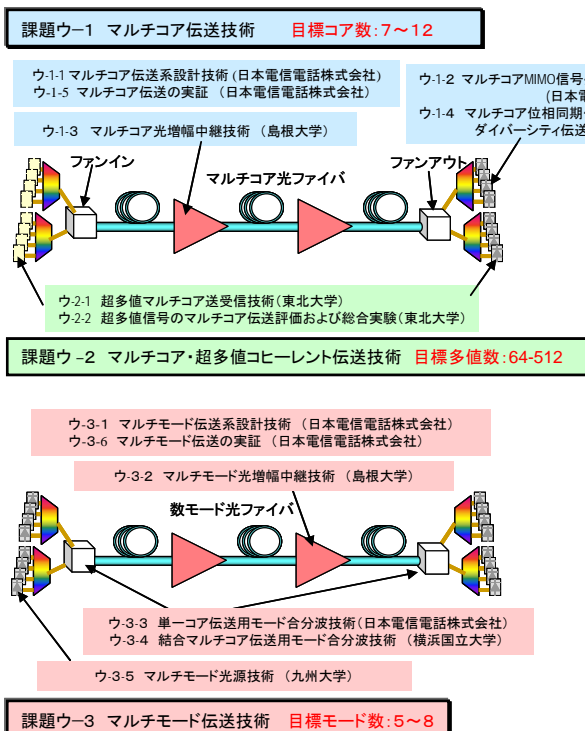
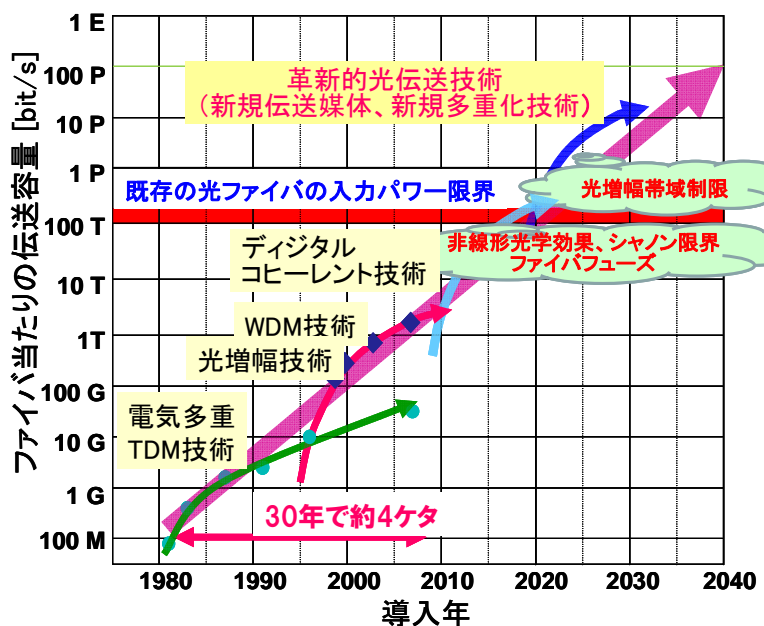
2. 研究開発の目標

- ◆ 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-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25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 (NTT)
 - ・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周回伝送系を設計・構築し伝送実験を実施。
 - ・伝搬方向インタリーブ光中継伝送方式によるクロストーク低減およびデジタル信号処理による光非線形補償により、総合容量距離積 $1 \text{Eb/s} \cdot \text{km}$ を超える WDM 多中継伝送実験 (1500km、 $2 \times 344 \text{Tb/s}$) に成功した (図 1-1)。

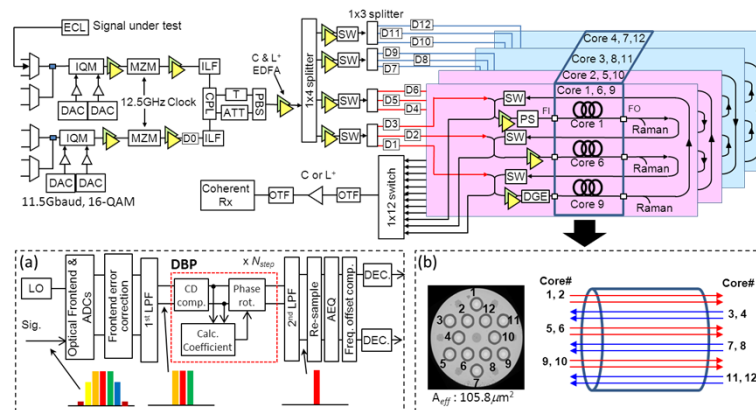


図1-1 $1 \text{Eb/s} \cdot \text{km}$ 大容量・長距離マルチコア伝送実験系

- ◆マルチコア分布ラマン混在系の光増幅特性明確化 (島根大学)
 - ・マルチコア分布ラマン増幅 (DRA) システム最適化を目指し、DRA 混在系の提案及びそのシステムの光増幅特性の明確化を行った。特に、コア間クロストーク量の DRA 利得依存性を理論および数値解析により明らかにした。

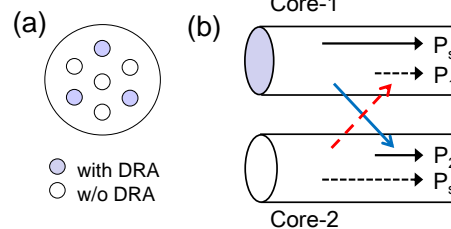


図1-2 解析モデル

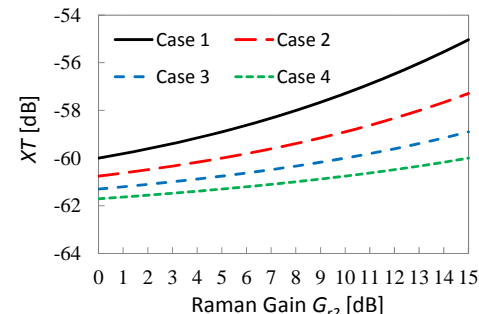


図1-3 クロストーク特性

- ◆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)
 - ・パラメトリック過程によって増強された ASE 雑音は空間相関を有することを示し、その結果を踏まえて 2 コアダイバーシティ伝送による Q-factor 向上の実証実験を行った。実験とシミュレーションはほぼ一致している。今後空間相関雑音の取扱いが課題となる。

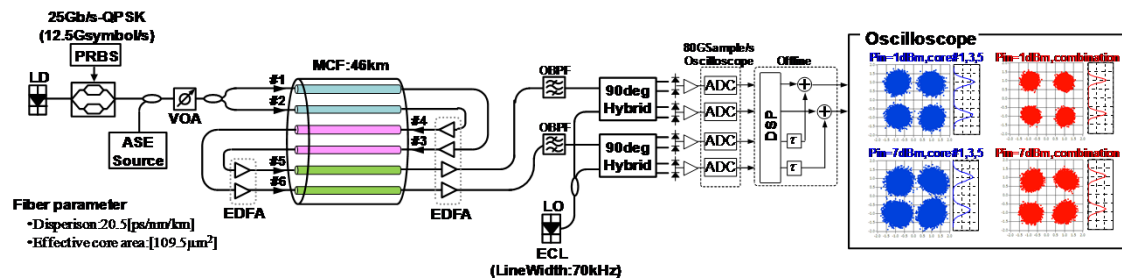


図1-4 2 コアファイバ伝送系による Q-factor 向上

平成25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）

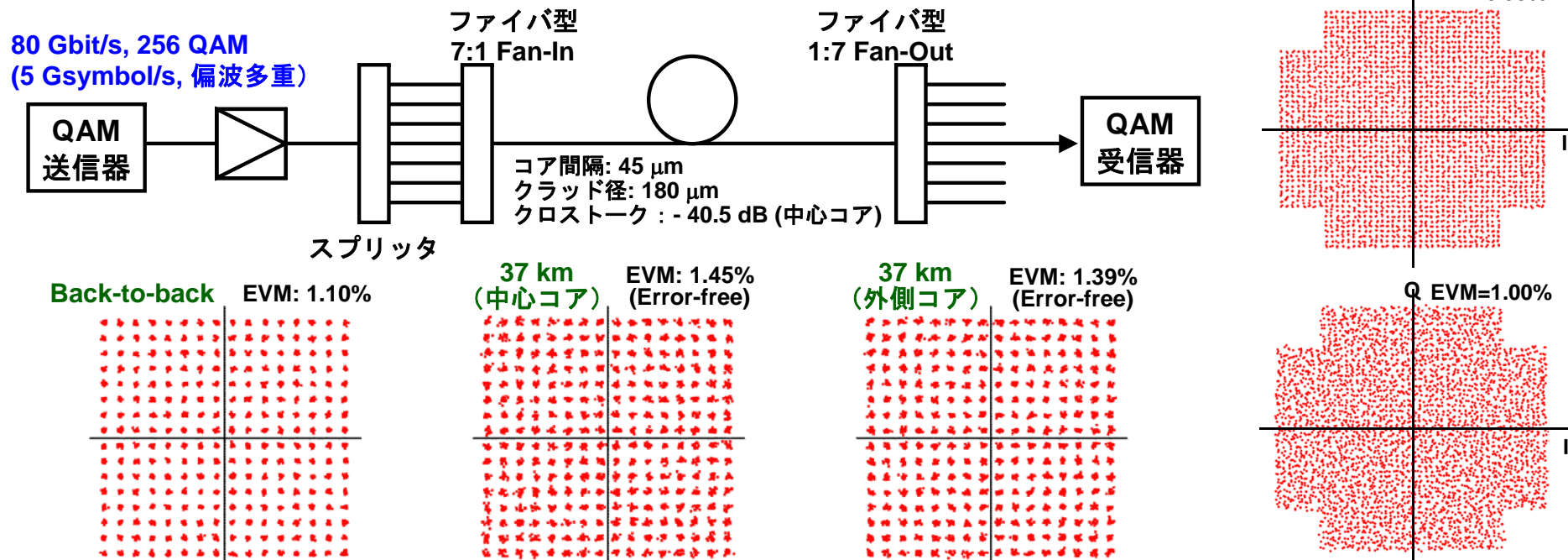
・目標:

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:

①37 kmの7コアファイバとファイバカップラで構成される超多値マルチコア伝送系を構築し、7x80 Gbit/s (5 Gsymbol/s) 256 QAM伝送を1コアあたり13.3 bit/s/Hzの周波数利用効率で実現。

②SMFを用いて超多値伝送の基盤技術として2048 QAM超多値コヒーレント信号の150 km伝送に世界で初めて成功し、14 bit/s/Hzを上回る周波数利用効率を実証



①80 Gbit/s (5 Gsymbol/s) 256 QAM信号の7コアMCF 37 km伝送

②2048 QAM信号(66 Gbit/s)のコンスタレーションマップ

平成25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
- 平成24年度の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に基づく素子製作は、ポリマー導波路で続行中。
- モード分割用2モードファイバのモードの選択的励振と励振分布評価
- 結合型MCF用に開発した、光源波長の微小変化時の遠視野像変化からのモード励振分布評価法を階段屈折率2モードファイバに適用して励振分布を評価(図3-1)。
- 分布屈折率2モードファイバへの適用性も確認。

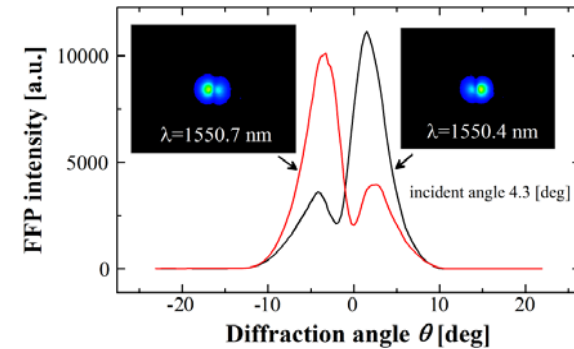


図3-1 光源の波長を微小変化させたときの階段屈折率2モードファイバの遠視野像の変化

◆マルチモード光源技術 (九州大学)

- MMI導波路を利用し、単一の1次モード光が得られていることを実験的に確認した(図3-2)。
- 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をシミュレーションにより確認した(図3-3)。

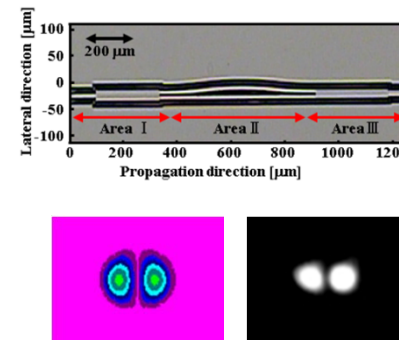


図3-2 試作デバイスと得られたNFP

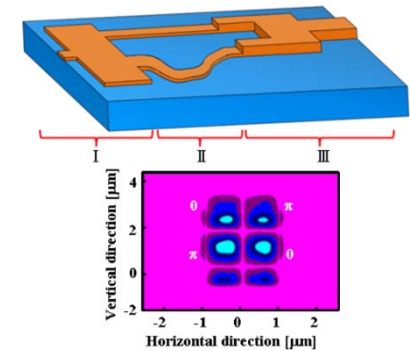


図3-3 LP21モード対応デバイス

◆単一コア伝送用モード合分波技術 (NTT)

- 3モード合分波平面光波回路の設計、作製および評価(図3-4)
- 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。

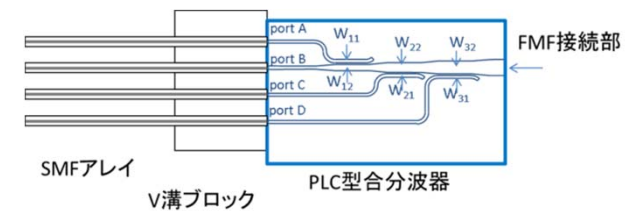


図3-4 3モード合分波回路

平成25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 (課題ウー4)

目的: 多重数20以上のマルチコア・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。

◆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・マルチモード伝送系を設計・構築し伝送実験を実施(図4-1)。

・空間多重数拡大とモード分散補償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、世界最大の空間分割多重数36、および世界最高の全周波数利用効率247 b/s/Hzの高密度空間分割多重光伝送に成功した(図 4-2)。

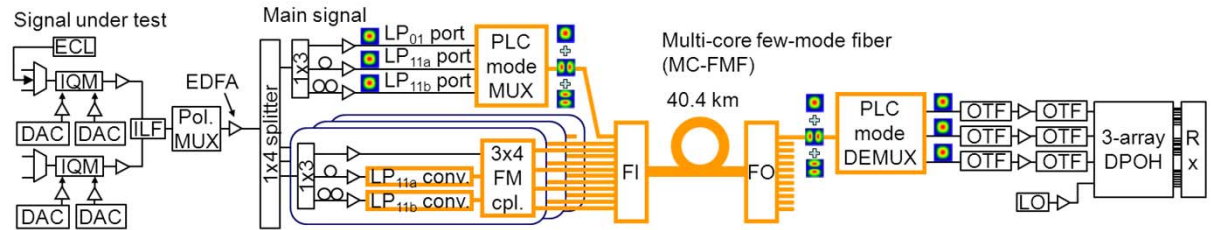


図4-1 マルチコア・マルチモード伝送実験系

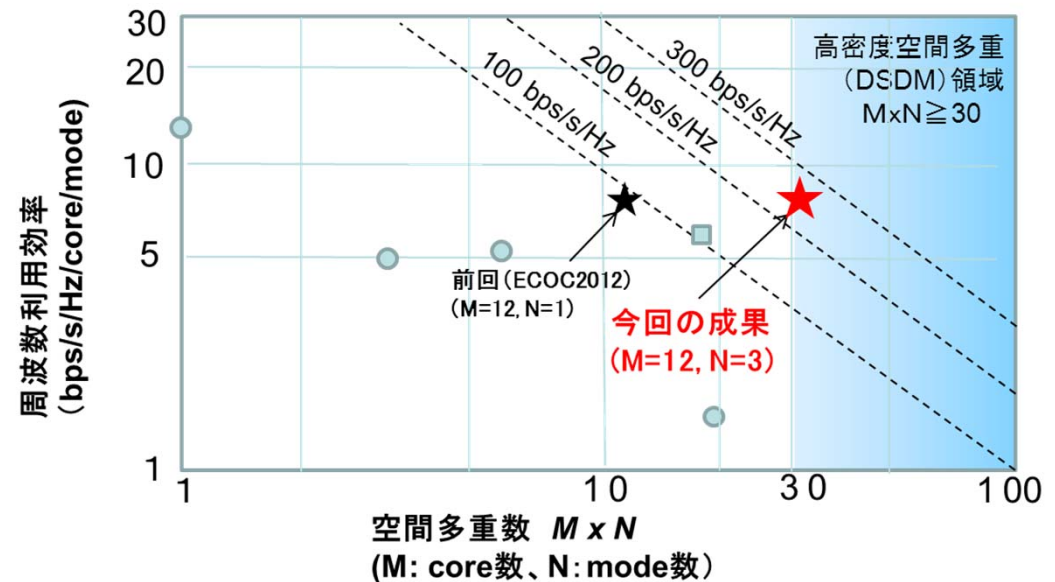


図4-2 マルチコア・マルチモード伝送実験系

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	7 (2)	0 (0)	12 (6)	108 (56)	16 (2)	11 (5)	0 (0)

5. 研究成果発表等について

(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)
- ・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)
- ・中沢正隆、第103回日本学士院賞(2013年6月)(H25)
- ・中沢正隆、2013年度NEC C&C賞(2013年11月)(H25)

(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)でパネル展示(H24)
- ・CLEO-PR & OECC/PS 2013(2013年7月、京都府京都市)でパネル展示(H25)
- ・NICTオープンハウス2013(2013年11月、東京都小金井市)でパネル展示(H25)
- ・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)でパネル展示(H25)
- ・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)でパネル展示(H25)

(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。
- ・マルチコア・マルチモード伝送技術
多重数30以上を実現するためのマルチコア・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・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。