

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02183

研究課題名(和文)革新的光ファイバ通信のための結合型マルチコアファイバ技術

研究課題名(英文) Coupled multicore fiber technology for innovative optical fiber communications

研究代表者

齊藤 晋聖 (Saitoh, Kunimasa)

北海道大学・情報科学研究院・教授

研究者番号：20333627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、光ファイバの曲げやねじれなどの決定論的に与えられる摂動に加え、ランダムな構造摂動によって生じるランダム位相誤差、およびランダム偏波モード結合を考慮したマルチコアファイバ設計技術を開発し、結合型マルチコアファイバにおける空間モード分散の実験的な測定結果と数値シミュレーション結果との比較により、実際の伝送路における摂動量と空間モード分散の関係を定量的に明らかにした。また、マルチコア技術とマルチモード技術を組み合わせた結合型マルチモードマルチコアファイバへの拡張性を検討し、異なるモード群間のランダムモード結合を促進するための条件を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、マルチコア技術とマルチモード技術を融合させた結合型マルチモードマルチコアファイバの空間分割多重伝送路への適応性を確認した。結果として、空間多重数の向上と伝送距離の拡大のトレードオフ関係の課題を解決する可能性を示し、将来の毎秒ペタビットからエクサビット級の光ファイバ通信実現に向けての研究開発の見通しを得た。

研究成果の概要(英文)：In this research, a multi-core fiber design technology that considers random phase errors caused by random structural perturbations and random polarization mode coupling, in addition to deterministically given perturbations such as bending and twisting of optical fibers has been developed. By comparing the experimental measurement results and the numerical simulation results of the spatial mode dispersion in coupled multi-core fibers, the relationship between the perturbation amount and the spatial mode dispersion in the actual transmission line was quantitatively clarified. In addition, the possibility of a coupled multi-mode multi-core fiber that combines multi-core technology and multi-mode technology was examined, and the conditions for enhancing random-mode coupling between different mode groups were clarified.

研究分野：光ファイバ通信、光エレクトロニクス、光ファイバ応用技術

キーワード：光デバイス・光回路 光ファイバ 空間分割多重 マルチコアファイバ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国内の光通信システムの伝送容量は、過去 20 年間に 1000 倍の大容量化を実現してきたが、2030 年以降の超スマート社会のためには、伝送容量をさらに 100~1000 倍程度拡大する必要があると考えられる。しかしながら、現在の単一モード光ファイバ (SMF) による伝送容量は、周波数利用効率向上の限界や光増幅器の帯域制限等の観点から、100 Tbps 程度が上限であると見積もられている。こうした状況のもとで、光通信システムに残された最後の多重軸である空間分割多重 (SDM) の導入による伝送容量の拡大に関する研究開発が活発に行われている。SDM には、1 本の光ファイバに多数のコアを収容したマルチコア技術と、一つのコアの中を伝搬する複数の固有モードを利用したマルチモード技術があるが、特に、SDM 伝送用光ファイバとしてのマルチコアファイバは、収容したコアの数だけ伝送チャネルが増えることになるため、空間多重数の拡張性に優れた SDM 用光ファイバとして期待される状況であった。

2. 研究の目的

マルチコアファイバにおいて多重化された空間チャネルは、伝送路内で多少なりともお互いに干渉 (結合) することになるが、異なる空間チャネル間の結合をできるだけ抑制するものは非結合型 (あるいは弱結合型) ファイバ、空間チャネル間の結合を許容するものは結合型 (あるいは強結合型) ファイバとして分類される。本研究では、モード分散による群遅延広がりが伝搬距離の平方根に比例するという特徴がある結合型マルチコアファイバを研究対象とし、従来の光ファイバ通信の限界を打破する空間分割多重伝送技術確立することを目的とする。具体的には、結合型マルチコアファイバの設計・評価技術を開発し、空間分割多重伝送用光ファイバとしての適用性を明らかにするとともに、マルチコア技術とマルチモード技術を組み合わせた結合型マルチモードマルチコアファイバへの拡張性を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 結合型マルチコアファイバの設計・評価技術の確立

結合型マルチコアファイバの設計の上では、空間モード分散に伴う群遅延広がりを正確に見積もることが重要となる。本研究では、モード結合理論を基礎とし、光ファイバの曲げやねじれなどの決定論的に与えられる摂動に加え、新たに、ランダムな構造摂動によって生じるランダム位相誤差、およびランダム偏波モード結合を考慮したマルチコアファイバ設計技術を開発する。さらに、この設計手法を駆使し、結合型マルチコアファイバにおける空間モード分散の実験的な測定結果と数値シミュレーション結果との比較により、実際の伝送路における摂動量と空間モード分散の関係を定量的に明らかにする。

(2) 結合型マルチモードマルチコアファイバへの拡張性の検討

結合型マルチコアファイバにおける空間モード分散低減効果は、各コアがシングルモードである場合には比較的容易に実現することができるが、本研究では、各コアがマルチモードとなった場合にも同様の空間モード分散の低減効果が実現可能であるかを調査する。具体的には、マルチコアファイバのコアパラメータやコア配置を変化させ、異なるモード群間のランダムモード結合を促進するための条件を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 結合型マルチコアファイバの設計・評価技術の確立

結合型マルチコアファイバを 1 つの導波路系として考えると、各コアが独立して存在している場合 (孤立系) の固有モードの線型結合として与えられる結合モード (スーパーモード) がコア数と同じだけ存在するため、1 種のマルチモードファイバとみなすことができる。本研究では、結合型マルチコアファイバにおけるこれらのスーパーモード間のモード結合現象を、伝搬モード数を N とすると、次式で与えられるモード結合方程式を用いて評価する手法を開発した。

$$\frac{d\mathbf{a}_n(z)}{dz} = -j\beta_n(z)\mathbf{a}_n(z) - j \sum_{m \neq n}^N \kappa_{nm}(z) \begin{bmatrix} f_{xn}(z) & 0 \\ 0 & f_{yn}(z) \end{bmatrix} \mathbf{a}_m(z) - j \frac{\mathbf{b}_n(z) \cdot \boldsymbol{\sigma}}{2} \mathbf{a}_n(z)$$

ここで、 $\mathbf{a}_n(z) = [a_{xn}(z) \ a_{yn}(z)]^T$ 、添字 n, m はそれぞれモード n 、モード m に関する量、 $a_{xn}(z)$ 、 $a_{yn}(z)$ はそれぞれ水平偏波 (x 偏波) と垂直偏波 (y 偏波) の複素モード振幅を表しており、 z は伝搬方向である。また、 $\beta_n(z)$ はモード n の伝搬定数、 $\kappa_{nm}(z)$ はモード n とモード m 間のモード結合係数、 $f_{xn}(z)$ 、 $f_{yn}(z)$ はそれぞれ、 x 偏波、 y 偏波に対するランダム位相関数である。さらに、 $\mathbf{b}_n(z)$ はモード n における複屈折ベクトル、 $\boldsymbol{\sigma}$ はパウリ行列を意味している。光ファイバの曲げやねじれなどの決定論的に与えられる摂動は、右辺第 1 項の $\beta_n(z)$ により考慮されるが、本研究では、右辺第 2 項のランダム位相関数 $f_{xn}(z)$ 、 $f_{yn}(z)$ 、および右辺第 3 項の複屈折ベクトル $\mathbf{b}_n(z)$ のランダム性により、ランダム摂動によって生じるモード結合を評価することを可能とした。

一例として、図1に、結合型4コアファイバにおける1 km 伝搬後の群遅延広がり σ の曲げ半径依存性（ファイバ曲げによる構造摂動依存性）を示す。ここで、ファイバのねじれ率は $\gamma=0.5\pi$ rad/m、コア半径は $4.5 \mu\text{m}$ であり、コア-クラッド間の比屈折率差 Δ 、およびコア間隔 Λ は、ランダムモード結合が最も促進される値に設定している（ Δ の製造誤差の標準偏差は0.001%）。また、波長は $\lambda=1550$ nm、ランダム位相関数の相関長は10 mであり、群遅延広がり σ の値は100回の計算の平均として算出している。曲げ半径 R が1000 mm程度までは、 R の増加とともに群遅延広がり σ は単調に減少しており、実験結果（黒丸のプロット）ともよく整合した傾向である

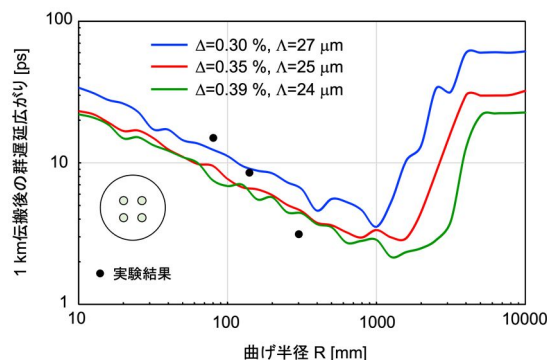


図1 結合型4コアファイバの群遅延広がり σ の曲げ半径 R 依存性

ことがわかる。一方、 R が非常に大きくなると、群遅延広がり σ が急激に大きくなるのがわかる。これは、構造摂動による伝搬定数の変動が、モード間の伝搬定数差に比べて大きい場合には、 R が大きい方が各モードの平均的な遅延時間差が小さくなるため、結果として群遅延時間差が低減されることを意味している。一方、構造摂動による伝搬定数の変動が、モード間の伝搬定数差に比べて小さくなると、モード間結合が生じないため、群遅延広がり σ が急激に大きくなる。このように、結合型マルチコアファイバの空間モード分散を低減するためには、伝送路の摂動量（決定論的摂動およびランダム摂動）を考慮してファイバパラメータを設定することが必要である。

(2) 結合型マルチモードマルチコアファイバへの拡張性の検討

結合型マルチコアファイバの各コアがマルチモードとなった場合、全てのモード間でランダムなモード結合を生じさせるためには、次の2つの条件が必要である。

条件1：異なるモード群間（各コアに2つのLPモードが伝搬する場合はLP₀₁モード群とLP₁₁モード群との間）の結合を促進するためには、それぞれのモード群が同程度の速度で伝搬する（モード群間の平均的な群遅延時間差が小さい）必要がある。

条件2：異なるモード群間の結合を生じさせるには、強い構造摂動（具体的には小さな曲げ半径）が必要になる。これは、同じモード群内におけるモード間の伝搬定数差に比べて、異なるモード群間の伝搬定数差が非常に大きいためである。

図2に、結合型2LPモード4コアファイバにおけるモード群間の平均的な群遅延時間差 DMGD_{ave} のファイバパラメータ依存性を示す。ここで、コア-クラッド間の比屈折率差は $\Delta=0.3\%$ 、曲げ半径は $R=100$ mmである。図中の破線は、 DMGD_{ave} の等高線を表しており、実線は、 DMGD_{ave} が0になる構造を示している。この実線上の構造を採用することにより、「条件1」を満足することができる。

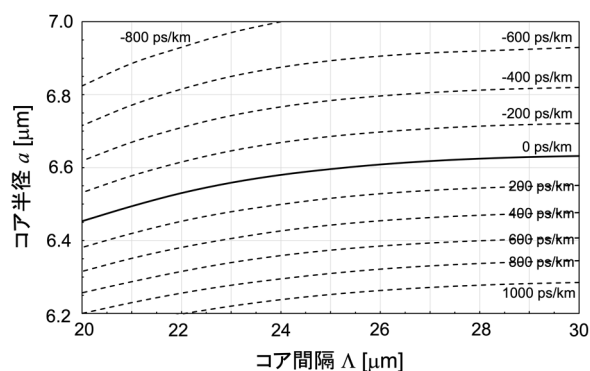


図2 結合型2LPモード4コアファイバにおける DMGD_{ave} のファイバパラメータ依存性

実線上の構造の一例として、 $\Delta=0.3\%$ 、コア半径 $a=6.5 \mu\text{m}$ 、コア間隔 $\Lambda=21.5 \mu\text{m}$ とした結合型2LPモード4コアファイバの群遅延広がり σ の伝搬距離依存性を図3に示す。ここで、波長は $\lambda=1550$ nm、ねじれ率は $\gamma=0.5\pi$ rad/m、ランダム位相関数の相関長は10 mであり、群遅延広がり σ の値は100回の計算の平均として算出している。曲げ半径 R が小さくなるとともに群遅延広がり σ が低減されており、「条件1」と「条件2」が同時に満足されることにより、伝搬距離の平方根に比例する群遅延広がり σ の変化が、短い伝搬距離で実現できることがわかる。

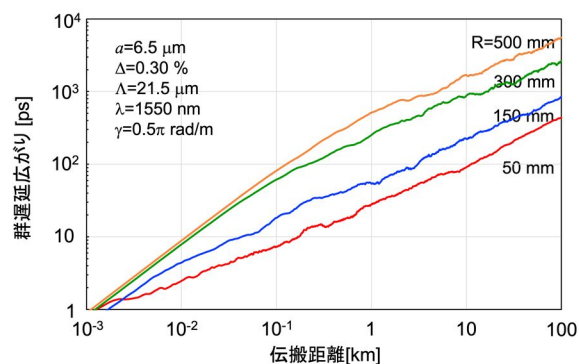


図3 結合型2LPモード4コアファイバの群遅延広がり σ の伝搬距離依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sakamoto Taiji, Saitoh Kunimasa, Saitoh Shota, Abe Yoshiteru, Takenaga Katsuhiko, Urushibara Azusa, Wada Masaki, Matsui Takashi, Aikawa Kazuhiko, Nakajima Kazuhide	4. 巻 38
2. 論文標題 Spatial Density and Splicing Characteristic Optimized Few-Mode Multi-Core Fiber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 4490 ~ 4496
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2020.2987351	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoshida Kazuki, Fujisawa Takeshi, Sato Takanori, Saitoh Kunimasa	4. 巻 27
2. 論文標題 Optimum index profile of few-mode coupled multicore fibers for reducing the group delay spread	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 16281 ~ 16281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.016281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Saitoh Kunimasa	4. 巻 13
2. 論文標題 Large Capacity Optical Communications by Optical Fibers for Space Division Multiplexing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Communications Society Magazine	6. 最初と最後の頁 166 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/bplus.13.166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shirata Motoki, Fujisawa Takeshi, Sakamoto Taiji, Matsui Takashi, Nakajima Kazuhide, Saitoh Kunimasa	4. 巻 28
2. 論文標題 Design of small mode-dependent-loss scrambling-type mode (de)multiplexer based on PLC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 9653 ~ 9653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.387890	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Yizhou, Fujisawa Takeshi, Sagae Yuto, Sakamoto Taiji, Matsui Takashi, Nakajima Kazuhide, Saitoh Kunimasa	4. 巻 39
2. 論文標題 A Novel Core Allocation in Heterogeneous Step-Index Multi-Core Fibers With Standard Cladding Diameter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 7231 ~ 7237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2021.3112656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugawara Naoto, Fujisawa Takeshi, Nakamura Kodai, Sawada Yusuke, Mori Takayoshi, Sakamoto Taiji, Imada Ryota, Matsui Takashi, Nakajima Kazuhide, Saitoh Kunimasa	4. 巻 67
2. 論文標題 Modal amplitude and phase estimation of multimode near field patterns based on artificial neural network with the help of grey-wolf-optimizer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Fiber Technology	6. 最初と最後の頁 102720 ~ 102720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2021.102720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saitoh Kunimasa	4. 巻 40
2. 論文標題 Multi-Core Fiber Technology for SDM: Coupling Mechanisms and Design	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 1527 ~ 1543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JLT.2022.3145052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Yizhou, Fujisawa Takeshi, Saitoh Kunimasa	4. 巻 506
2. 論文標題 Analytical expression for mode-coupling coefficient between non-identical step-index cores and its application to multi-core fiber design within 125- μ m cladding diameter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Communications	6. 最初と最後の頁 127552 ~ 127552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optcom.2021.127552	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Saitoh Kunimasa
2. 発表標題 Design of Randomly-Coupled Multicore Fibers
3. 学会等名 IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series (SUM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Wang, T. Fujisawa, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Nakajima, and K. Saitoh
2. 発表標題 Step index 8-core fiber with 125-um cladding diameter for O-band use
3. 学会等名 Optoelectronics and Communications Conference (OECC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Saitoh, T. Fujisawa, and T. Sato
2. 発表標題 Control of Group Delay Spread in Randomly-Coupled Multicore Fibers
3. 学会等名 Optoelectronics and Communications Conference (OECC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤晋聖
2. 発表標題 大容量空間分割多重伝送用光ファイバーの最新動向
3. 学会等名 第156回微小光学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Saitoh Kunimasa
2. 発表標題 Reduction of Group Delay Spread in Coupled Multicore Fibers
3. 学会等名 Asia Communications and Photonics Conference (ACP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝間友一, 菅原直人, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 坂本泰志, 松井 隆, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 PLC型6モード交換器の接続における最適FMF構造の検討
3. 学会等名 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Zhao, T. Sato, T. Fujisawa, and K. Saitoh
2. 発表標題 Evaluation of MDL due to Rotation During Splicing in Coupled Multicore Fibers
3. 学会等名 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安井裕貴, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 齊藤晋聖
2. 発表標題 結合型マルチコアファイバのマクロバンド下における群屈折率と群遅延広がりの関係
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間和志, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 齊藤晋聖
2. 発表標題 結合型マルチコアファイバにおけるツイスト及び曲げによるモード変換
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西村健汰, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 坂本泰志, 松井 隆, 寒河江悠途, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 共通トレンチ層付加による数モード結合型マルチコアファイバにおける曲げ損失低減
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Saitoh Kunimasa
2. 発表標題 Few-mode Multi-core Fibres: Weakly-coupling and Randomly-coupling
3. 学会等名 European Conference on Optical Communications (ECOC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝間友一, 菅原直人, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 森 崇嘉, 坂本泰志, 今田諒太, 松井 隆, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 WFM法設計 6 モード交換器における導波路長依存性の調査
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Yasui, K. Yoshida, T. Sato, T. Fujisawa, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Tsujikawa, K. Nakajima, and K. Saitoh
2 . 発表標題 Simple GDS Estimation Method for Coupled Multicore Fibers with Various Core Layouts
3 . 学会等名 International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Shirata, M. Kudo, T. Fujisawa, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Tsujikawa, K. Nakajima, and K. Saitoh
2 . 発表標題 Design of Low MDL Scrambling-type PLC 6-mode Multiplexer
3 . 学会等名 Optoelectronics and Communications Conference (OECC) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Nishimura, T. Sato, T. Fujisawa, Y. Amma, K. Takenaga, K. Aikawa, and K. Saitoh
2 . 発表標題 Cladding Diameter Dependence of Inter-Core Crosstalk in Heterogeneous Multicore Fibers
3 . 学会等名 Optoelectronics and Communications Conference (OECC) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 齊藤晋聖, 藤澤 剛
2 . 発表標題 データセンタ間通信における SDM 技術の適用可能性
3 . 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shirata, T. Fujisawa, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Nakajima, and K. Saitoh
2. 発表標題 A Design of PLC-Based 6-Mode Exchanger in Mode Division Multiplexed Transmission
3. 学会等名 IEEE Photonics Conference (IPC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shirata, T. Fujisawa, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Tsujikawa, K. Nakajima, and K. Saitoh
2. 発表標題 A Broadband PLC-type Mode Converter Designed by Wavefront Matching Method
3. 学会等名 Microoptics Conference (MOC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saitoh Kunimasa
2. 発表標題 Multi-core Fiber Technology for SDM: Coupling Mechanisms and Design
3. 学会等名 Optical Fiber Communication Conference (OFC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齊藤晋聖
2. 発表標題 結合型マルチコアファイバにおけるモード分散制御
3. 学会等名 電子情報通信学会光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本夏翠, 佐藤孝憲, 藤澤 剛, 寒河江悠途, 坂本泰志, 松井 隆, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 縮退モード分離による結合型マルチコアファイバの群遅延広がり制御
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田康人, 佐藤孝憲, 藤澤 剛, 森 崇嘉, 坂本泰志, 山下陽子, 今田諒太, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 4モードスクランブラと光ユニタリ変換器を用いた2LPモード合分波器の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Wang, Y. Sawada, T. Fujisawa, T. Sato, T. Mori, T. Sakamoto, Y. Yamashita, R. Imada, K. Nakajima, and K. Saitoh
2. 発表標題 Proposal of PLC 10-mode-selective Photonic Lantern Mode Multiplexer
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Wang, T. Fujisawa, Y. Sagae, T. Sakamoto, T. Matsui, K. Nakajima, and K. Saitoh
2. 発表標題 125- μm Cladding Heterogeneous Step-Index Multi-core Fibers for Datacenter Networks
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Extremely Advanced Transmission Technologies (EXAT) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間和志, 佐藤孝憲, 藤澤 剛, 寒河江悠途, 坂本泰志, 松井 隆, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 ツイストおよび曲げを有する結合型マルチコアファイバを用いた群遅延広がり低減
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Fujisawa, T. Mori, J. Sakamoto, Y. Yamashita, T. Sakamoto, R. Imada, R. Ima, T. Sato, K. Watanabe, R. Kasahara, T. Hashimoto, K. Nakajima, K. Saitoh
2. 発表標題 Silica-PLC based mode-dependent-loss equalizer for two LP mode transmission
3. 学会等名 Optical Fiber Communication Conference (OFC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本夏翠, 佐藤孝憲, 藤澤 剛, 寒河江悠途, 坂本泰志, 松井 隆, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 螺旋型コア配置による結合型マルチコアファイバのコア密度向上
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西島 遼, 佐藤孝憲, 藤澤 剛, 森 崇嘉, 坂本泰志, 山下陽子, 今田諒太, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 偏心リングコアファイバによる群遅延広がり制御
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 朝間友一, 藤澤 剛, 佐藤孝憲, 森 崇嘉, 坂本泰志, 今田諒太, 山下陽子, 中島和秀, 齊藤晋聖
2. 発表標題 2チップで構成されたWFM法設計6モード交換器によるMDL低減
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関