

令和 4 年 9 月 7 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01451

研究課題名（和文）超高時間分解能・広帯域ファイバインパルス応答測定法の開拓と応用展開

研究課題名（英文）Study on ultrafast and broadband impulse response measurement method and its applications

研究代表者

伊藤 文彦（Ito, Fumihiko）

島根大学・学術研究院理工学系・教授

研究者番号：40593596

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,010,000円

研究成果の概要（和文）：線形サンプリング法をベースとした超広帯域光ファイバインパルス応答測定法（または広帯域スペクトル伝達関数測定法）を開発した。従来の広帯域インパルス応答測定法と異なり、本手法は、短尺のサブシステムから長距離伝送路までの様々な長さのシステムに適用可能な唯一の広帯域インパルス応答測定法である。開発した手法を応用することで、次世代の光伝送路として期待されるマルチモード/マルチコアファイバの空間モード分散、モード依存損失を測定し、空間モード分散、モード依存損失の全通信波長に渡る測定が初めて可能となった。それにより、空間モード分散の統計的性質など、従来の測定技術では解析が困難であった事象の解明を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の単一モード光ファイバを用いた光ファイバ通信技術は、非線形シャノン限界によりこれ以上の伝送容量拡大が困難とされ、次世代の光ファイバとしてマルチコア/マルチモード光ファイバによる空間多重伝送技術が注目されている。本研究は、光ファイバの超広帯域インパルス応答測定法の開発を主眼としたもので、これらの新型光ファイバの基本的性質である空間モード分散やモード依存損失の解析に対して有力な手段となる。研究成果として、短尺のサブシステムから長距離伝送路までの様々な長さのシステムに適用可能な唯一の広帯域インパルス応答測定法を開発し、マルチコア/マルチモード光ファイバの評価に有効であることを示した。

研究成果の概要（英文）：An ultra-broadband optical fiber impulse response measurement method (or broadband spectral transfer function measurement method) based on the linear sampling method has been developed. Unlike conventional broadband impulse response measurement methods, this method is the only broadband impulse response measurement method that can be applied to systems of various lengths, from short subsystems to long-distance transmission lines. By applying the developed method, spatial mode dispersion and mode dependent loss of multimode/multicore fibers, which are expected to be the next-generation optical transmission lines, can be measured over all communication wavelengths for the first time. This has enabled us to elucidate the statistical properties of spatial mode dispersion and other phenomena that have been difficult to analyze with conventional measurement techniques.

研究分野：光計測、光ファイバセンシング

キーワード：光ファイバ インパルス応答 広帯域測定 線形サンプリング法

1. 研究開始当初の背景

単一モード光ファイバ(SMF)による光伝送システムは、非線形光学効果によるパワー入力制限による伝送容量の限界に直面し、代わって 1 本の光ファイバに複数の伝搬モードまたはコアを有するマルチモードファイバ/マルチコアファイバ(MMF/MCF)の開発が進んでいる。このような複数の伝搬モードを持つ伝送路では、各モードが固有の損失を持つ(モード依存損失)、伝搬中にモード間で結合が生じる(モード間結合)、各モードで群速度が異なる(群遅延時間差)、などにより、伝搬中の信号の振る舞いが単一モードファイバに比べて複雑になる。複素インパルス応答(光短パルスを入力した場合の出力振幅波形)は、上記のようなモードの挙動によって決まる伝送路の線形応答であり、伝送装置の設計にあたって極めて重要な指標であると同時に、ファイバやその接続点での微弱なモード間結合の検出やモード間群遅延時間差の高精度な分析ができるという点でも重要と考えられる。

上記のような MMF/MCF 伝送路の解析のためには、高時間分解能かつ高ダイナミックレンジ(高感度)での複素インパルス応答測定が不可欠である。また当然ながら、様々な環境(実験室または現場に敷設された光ファイバ)で、かつ通信波長帯域全体で測定することが必要である。その測定法として FMCW(Frequency-Modulated Continuous Wave)法を応用した方法がある(J. Carpenter, et al. Opt. Express 22, 2706, 2014 など)。しかしこの方法は、被測定光ファイバと光源のコヒーレンス長以内の精度で同じ長さ(~50m 以内)の参照経路(別の光ファイバ)を必要とする。このような制約は、例えば敷設された光ファイバの測定を不可能にするばかりでなく、被測定ファイバの長さは様々であるため、実験室においてさえこのような参照経路を準備することは容易ではなかった。

このように、マルチモードファイバ/マルチコアファイバ(MMF/MCF)の開発の進展により、その評価手段としての超高速複素インパルス応答測定技術が希求されていた。これに応えるべく、筆者は、2 台の独立なパルスレーザ(信号パルスとサンプリングパルス)間の位相雑音を補償する位相雑音補償線形サンプリング法を発案・開発してきた。これにより、数 ps の高時間分解能と、約 80 dB という高いダイナミックレンジを合わせ持つ複素インパルス応答測定技術を実現し、数十 km 長の伝送路にも適用可能であることを実証している(N. Kono, F. Ito, 他 IEEE/OSA J. Lightwave Technol. 35, 4392-4398, 2017 など)。このような、参照経路を必要とせず、短尺~長尺の光ファイバにも適用可能な高時間分解能・高感度インパルス測定は筆者の知る限り他に例を見ない。しかし本研究の開始時点では、その測定のスペクトル帯域は数 nm にとどまっておき、様々な応用に対する制約となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、この測定スペクトル帯域を 10 倍以上拡大させることで、100 fs レベルの時間分解能を実現し、かつ C 帯(1530~1565 nm)または L 帯(1565~1625 nm)全域での複素インパルス応答を測定可能な技術を実現することを目的とする。複素インパルス応答のフーリエ変換は、伝送路のスペクトル伝達関数(伝送路の損失・利得スペクトル並びに分散)である。特に、各入出力モード間のスペクトル伝達関数を成分とするスペクトル伝達行列の特異値解析により、伝送路のモード依存損失を求めることができる。さらに、広帯域に渡る複素インパルス応答の取得により、モード間群遅延時間差を帯域ごとに解析することも可能になると考えられる。このようなマルチコア/マルチモード伝送路の主要なパラメータの解析を、通信帯域全体で行えるようにすることを本研究の主要な目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、測定スペクトル帯域として数十 nm(数 THz)以上を実現することを目標とする。このスペクトルの拡張は、時間軸において 100 fs 以下という極めて高精度な時間分解能(実効サンプリング間隔)を実現することと等価であり、そのような場合、信号パルスレーザとサンプリングパルスレーザの繰り返し周波数の揺らぎがジッタとなって時間分解能を劣化させる。この課題に対処するため、繰り返し周波数揺らぎをモニタし、数値処理によって時間軸のスケールを伸縮させることで、その影響を除去する手法を中心とした検討を行う。この時、パルスレーザの繰り返し揺らぎは、筆者がこれまでの研究で用いたパルスレーザの位相雑音のモニタリング技術を拡張し、発振スペクトル内の 2 つの周波数(波長)で同時に行うことで高精度に検出可能である。

更に、本手法をマルチコア/マルチモード伝送路の複素インパルス応答測定に適用し、そのモード依存損失、群遅延時間差測定の適用性を検証する。

4. 研究成果

主要な研究成果を以下に示す。

(1)高非線形による広帯域光発生を用いた帯域拡張

微小な正常分散をもつ高非線形光ファイバにより、プローブ光とサンプリング光のスペクトルを拡張し、これを線形サンプリング法に用いることで、測定帯域の拡張が可能であることを示した。これにより、帯域 20nm~30nm にわたる複素インパルス応答の測定を実現し、外部変調器の広帯域での性能評価などに適用した(IETC Transactions on Communications,

10.1587/transcom.2021EBP3132 など)。

(2)マルチモード伝送路の複素インパルス応答測定とモード依存損失評価

開発した広帯域複素インパルス応答測定技術により、2モード伝送路のモード依存損失(MDL)評価に適用した(T. Arakawa, F. Ito, et al. Opt. Express 27, 12080, 2019, F. Ito, et al. 2018 European Conference on Optical Communication, 10.1109/ECOC.2018.8535108 など)。数十 nm に渡る帯域の MDL 測定が可能であることを示したが、測定された MDL の精度には課題が残っている。

(3)結合型マルチコアファイバの群遅延時間評価

帯域 20nm の複素インパルス応答測定により、結合型マルチコアファイバの群遅延測定(空間モード分散: SMD)を評価した(Uyama, Ito, et al. Optical Fiber Conference, 10.1364/OFC.2022.M1E.5)。結合型マルチコアファイバは極めて小さい SMD を呈し、空間多重伝送路として有力視されているが、その SMD を高精度に測る手段として線形サンプリング法は有力と考えられる。本成果では、サブピコ秒レベルの高時間分解能で SMD を評価するとともに、取得したスペクトル伝達関数を帯域ごとに解析することで、帯域ごとの SMD を解析する方法を提案し、SMD の統計的揺らぎを観察できることを示した。

この他、4 コア弱結合型マルチコアファイバの複素インパルス応答の 80dB のダイナミックレンジでの測定が可能であることを実証し、ファイバ内での微弱なモード間結合の検出ができることを示した(T. Arakawa, et al. Opt. Fiber Technol. 10.1016/j.yofte.2019.03.027)。

(4)光ファイバセンサへの応用

共同研究者(田中哲)とともに、レーザ共振器中に埋め込んだ長周期ファイバグレーティングによる温度センサを検討した。レーザ共振器への内蔵により、1桁以上の制度改善が可能であることを示した(K. Fukushima, et al. Optics Express, 10.1364/OE.389235)。この他、強度変調のみを用いた相関型ブリルアンファイバセンサの研究にも取り組んだ(D. Miyake, et al., Optical Fiber Technology, 10.1016/j.yofte.2021.102656)。

総括として、線形サンプリング法をベースとした超広帯域光ファイバインパルス応答測定法を開発した。従来の広帯域インパルス応答測定法と異なり、本手法は、短尺のサブシステムから長距離伝送路までの様々な長さのシステムに適用可能な唯一の広帯域インパルス応答測定法である。開発した手法を応用することで、次世代の光伝送路として期待されるマルチモード/マルチコアファイバの空間モード分散、モード依存損失を測定し、空間モード分散、モード依存損失の全通信波長に渡る測定が初めて可能となった。それにより、空間モード分散の統計的性質など、従来の測定技術では解析が困難であった事象の解明を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 OSAKA Yuki, ITO Fumihiko, IIDA Daisuke, MANABE Tetsuya | 4. 巻 E103.B |
| 2. 論文標題 Measurement of Spectral Transfer Matrix for DMD Analysis by Using Linear Optical Sampling | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications | 6. 最初と最後の頁 1233 ~ 1239 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.20190BP0002 | 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 Fukushima Koken, Bui Quoc Hung, Nakaya Koki, Soares Manuel Guterres, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 EDF ring laser using cascaded-chirped long period fiber grating for temperature measurement | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 13081 ~ 13081 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.389235 | 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 Fukushima Koken, Guterres Soares Manuel, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Loss-Modulation-Based Wavelength-Range Shifting of Tunable EDF Ring Laser with Cascaded-Chirped Long-Period Fiber Grating for Temperature Measurement | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 2342 ~ 2342 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21072342 | 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 Soares Manuel Guterres, Nakaya Koki, Fukushima Koken, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Strain Characteristics of Cascaded-Chirped Long Period Fiber Gratings Depending on Order of Cladding Mode | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of 2020 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC) | 6. 最初と最後の頁 1 - 3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/OECC48412.2020.9273551 | 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 Fukushima Koken, Soares Manuel Guterres, Nakaya Koki, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Wavelength Tunable and Switchable EDF Ring Laser using Cascaded-Chirped Long Period Fiber Grating | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of 2020 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC) | 6. 最初と最後の頁 1-3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/OECC48412.2020.9273436 | 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 Arakawa Takuya, Ito Fumihiko, Iida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Simultaneous mode-by-mode impulse response measurement of multi-mode optical systems based on linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 12080 ~ 12080 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.012080 | 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 Arakawa Takuya, Ito Fumihiko, Iida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 Impulse response of weakly-coupled multicore fiber measured by using high-dynamic-range linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Technology | 6. 最初と最後の頁 188 ~ 193 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2019.03.027 | 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 Osaka Yuki, Ito Fumihiko, Iida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Measurement of spectral transfer matrix for DMD analysis by using linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of 2019 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC) | 6. 最初と最後の頁 1-3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PS.2019.8818007 | 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 Sunagawa Junya, Sagisaka Yusuke, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Characterization of high-speed modulators over wide wavelength by using linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of 2019 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC) | 6. 最初と最後の頁 1-3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PS.2019.8817819 | 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 T. Arakawa, F. Ito, D. Iida, and T. Manabe | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 Impulse response of weakly-coupled multicore fiber measured by using high-dynamic-range linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Technology | 6. 最初と最後の頁 188-193 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2019.03.027 | 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 T. Arakawa, F. Ito, D. Iida, and T. Manabe | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Simultaneous mode-by-mode impulse response measurement of multi-mode optical systems based on linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optics Express | 6. 最初と最後の頁 12080-12089 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.012080 | 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 Ito Fumihiko, Arakawa Takuya, Lida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Measurement of Spectral Transfer Matrix of Few-Mode Fibres by Using Coherent Linear Optical Sampling | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 2018 European Conference on Optical Communication (ECOC) | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ECOC.2018.8535108 | 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 Osaka Yuki, Ito Fumihiko, Iida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Measurement of spectral transfer matrix for DMD analysis by using linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC) | 6. 最初と最後の頁 TuC2-2 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PS.2019.8818007 | 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 Sunagawa Junya, Sagisaka Yusuke, Ito Fumihiko | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Characterization of high-speed modulators over wide wavelength by using linear optical sampling | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC) | 6. 最初と最後の頁 TuP4-D2 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/PS.2019.8817819 | 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 Fukushima Koken, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 508 |
| 2. 論文標題 EDF laser temperature sensor using double-pass cascaded-chirped long-period fiber grating in sigma-cavity configuration | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Optics Communications | 6. 最初と最後の頁 127713 ~ 127713 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optcom.2021.127713 | 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 Zhang Chao, Zhang Zheyuan, Liu Sifan, Jin Lei, Sugiura Yohei, Set Sze Yun, Yamashita Shinji, Ito Fumihiko | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Amplitude-modulated continuous-wave laser rangefinder employing Bessel-Gauss beamforming | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Applied Optics | 6. 最初と最後の頁 7485 ~ 7485 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.432556 | 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 Miyake Daiki, Ito Fumihiko | 4. 巻 66 |
| 2. 論文標題 Brillouin optical correlation domain analysis based on intensity modulation | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Technology | 6. 最初と最後の頁 102656 ~ 102656 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2021.102656 | 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 Uyama Masafumi, Uno Masaki, Okamura Shuki, Zhang Chao, Ito Fumihiko, Nakamura Atsushi, Okamoto Tatsuya, Koshikiya Yusuke | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Wideband Impulse Response Measurement of Coupled 2-Core Fibers of Various Lengths employing Dual-Comb Coherent Sampling | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of Optical Fiber Communication Conference 2022 | 6. 最初と最後の頁 M1E-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OFC.2022.M1E.5 | 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 Zhang Chao, Ito Fumihiko | 4. 巻 12027 |
| 2. 論文標題 Recent progress of fiber diagnostic technologies for optical fiber networks: Distributed fiber sensing and fiber characterization | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings Metro and Data Center Optical Networks and Short-Reach Links | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2607242 | 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 Shimizu Sougo, Zhang Chao, Ito Fumihiko | 4. 巻 E105-B |
| 2. 論文標題 Measurement of Complex Waveforms in Wide Wavelength Range by Using Wavelength-Swept Light Source and Linear Optical Sampling | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2021EBP3132 | 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 Fukushima Koken, Soares Manuel Guterres, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Strain Measurement Using EDF Sigma Laser with Cascaded-Chirped Long Period Fiber Grating | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 26th Optoelectronics and Communications Conference | 6. 最初と最後の頁 W4D.3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OECC.2021.W4D.3 | 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 Marques Carlos, Nakajima Kazuhide, Tosi Daniele, Ito Fumihiko, He Zuyuan, Sales Salvador, Wabnitz Stefan | 4. 巻 61 |
| 2. 論文標題 Preface to the special issue on distributed fiber optic sensing | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Technology | 6. 最初と最後の頁 102411 ~ 102411 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.yofte.2020.102411 | 査読の有無 無 |
| 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 Ito Fumihiko, Arakawa Takuya, Lida Daisuke, Manabe Tetsuya | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Measurement of Spectral Transfer Matrix of Few-Mode Fibres by Using Coherent Linear Optical Sampling | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 2018 European Conference on Optical Communication (ECOC) | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ECOC.2018.8535108 | 査読の有無 無 |
| 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 Soares Manuel Guterres, Fukushima Koken, Hung Bui Quoc, Nakaya Koki, Wada Atsushi, Tanaka Satoshi, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Strain and Temperature Characteristics of Cascaded-Chirped Long Period Fiber Gratings Depending on Order of Cladding Mode | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Sensors 2020 | 6. 最初と最後の頁 W4.62 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OFS.2020.W4.62 | 査読の有無 無 |
| 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 Miyake Daiki, Kawakami Shohei, Okawa Miyu, Ito Fumihiko | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Comb-like Brillouin spectra generated by pulse trains arranged at power intervals for high-resolution analysis | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optical Fiber Sensors 2020 | 6. 最初と最後の頁 T3.43 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OFS.2020.T3.43 | 査読の有無 無 |
| 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21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤文彦、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 数モード光ファイバのスペクトル伝達行列の測定 |
| 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特別研究専門委員会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大坂祐樹、伊藤文彦、飯田大輔、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリングを用いたDMD解析のためのスペクトル伝達行列の測定 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 川上翔平、鷺坂優介、伊藤文彦、飯田大輔、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 2パルス信号を用いた新しいブリルアン相関解析法 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大川美優、川上翔平、三宅大樹、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 べき乗間隔で配列されたパルスにより生成されるコム状ブリルアンスペクトル |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 大川美優、川上翔平、三宅大樹、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 べき乗間隔パルス列を用いた高分解能ブリルアン測定法 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 清水奏吾・砂川純也・伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 波長掃引光源と線形光サンプリングを用いた広波長帯域での複素変調波形の超高速測定 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三宅大樹、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 べき乗間隔パルス列を用いたブリルアン光相関領域解析法による高空間分解能測定 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 清水奏吾、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリングを用いた広波長帯域での擬似ランダム2値信号列変調波形の測定 |
| 3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 三宅大樹、服部雄大、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 べき乗間隔パルス列を用いたブリルアン光相関領域解析法によるくぼみのないスペクトル |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 福嶋匡謙、マヌエル グテレス ソアレス、仲矢光希、和田 篤、田中 哲、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 カスケード型チャープ長周期光ファイバグレーティングを用いた 型EDFレーザによる温度センシング |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 マヌエル グテレス *ソアレス、福嶋匡謙、仲矢光希、和田 篤、田中 哲、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 カスケード型長周期光ファイバグレーティングの作製とひずみへの依存性 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 福嶋匡謙、ブイ クォック ハン、仲矢光希、マヌエル グテレス ソアレス、和田 篤、田中 哲、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 カスケード型チャープ長周期光ファイバグレーティングを用いたEDFリングレーザによる温度センシング |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大坂祐樹、伊藤文彦、飯田大輔、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリングを用いたDMD解析のためのスペクトル伝達行列の測定 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤文彦、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 数モード光ファイバのスペクトル伝達行列の測定 |
| 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特別研究専門委員会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大坂祐樹、伊藤文彦、飯田大輔、真鍋哲也 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリングを用いたDMD解析のためのスペクトル伝達行列の測定 |
| 3. 学会等名 2019年電子情報通信学会ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 清水奏吾、門部海斗、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 線形サンプリングを用いた C-band 全域での複素変調波形の超高速測定 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宇野将生、宇山将史、張超、伊藤文彦、中村篤志、岡本達也 |
| 2. 発表標題 線形サンプリング法による結合型2コアファイバのMDL測定 |
| 3. 学会等名 2021年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 相馬聡文、荒石翔太、清水奏吾、張超、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 FMCW LiDARにおける相互干渉抑圧に関する検討 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岡村柊希、宇山将史、宇野将生、張超、伊藤文彦 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリング法を用いた結合型2コアファイバの広帯域インパルス応答測定 |
| 3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 谷村大輝、田中直樹、三宅大樹、張超、伊藤文彦、吉村雄一、青鹿弘行、今井道男 |
| 2. 発表標題 位相雑音補償光周波数領域反射計を用いたひずみ計測 |
| 3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宇山将史、岡村柊希、張超、伊藤文彦、中村篤志、岡本達也、古敷谷優介 |
| 2. 発表標題 線形光サンプリング法による結合型2コアファイバの空間モード分散の測定 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計5件

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 分光測定器及び分光測定方法 | 発明者 岡本達也、飯田大輔、伊藤文彦 | 権利者 日本電信電話、 島根大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-143158 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 光信号サンプリング装置及び光信号サンプリング方法 | 発明者 岡本達也、飯田大輔、伊藤文彦 | 権利者 日本電信電話、 島根大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-115175 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|--|-----------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 ブリルアン周波数シフト分布測定装置及びブリルアン周波数シフト分布測定方法 | 発明者 岡本達也、飯田大輔、伊藤文彦 | 権利者 日本電信電話、 島根大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-141405 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 ブリルアン利得スペクトルを測定する装置及び方法 | 発明者 岡本達也、飯田大輔、伊藤文彦 | 権利者 日本電信電話、 島根大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-100920 | 出願年 2018年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 ブリルアン周波数シフトを測定する装置及び方法 | 発明者 岡本達也、飯田大輔、伊藤文彦 | 権利者 日本電信電話、 島根大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-100917 | 出願年 2018年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

| |
|--|
| 伊藤研究室ホームページ http://www.ecs.shimane-u.ac.jp/~ito/ 研究室ホームページ http://www.ecs.shimane-u.ac.jp/~ito/ |
|--|

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 |
|-------------------|--|--|----|
| 研究 分 担 者 | 田中 哲 (Tanaka Satoshi) (20217029) | 防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、 電気情報学群及びシステム工学群)・電気情報学群・教授 (82723) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|