

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：32690

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11363

研究課題名(和文)ヘテロコア光ファイバセンサの人工皮膚へのマルチモーダルな知覚機能化

研究課題名(英文)Multi-modal perception on artificial skin using Hetero-core fiber sensor technique

研究代表者

渡辺 一弘 (watanabe, kazuhiko)

創価大学・理工学部・教授

研究者番号：40240478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本開発では、歪み・触覚、振動(加速度)液体付着、湿度などの複数の刺激に対して、感じるマルチモーダル知的構造体を実現し、性能を評価することにある。数マイクロメートルの歪み、数 μm の面粗さ、10-1000 Hzの周波数帯域で 1.0×10^{-2} dB/Gの振動、液体付着、相対湿度(-90%R)などの機能確立し、ハニカム構造パネルへの実装の結果、開発のセンサーは全ての性能を発揮した。最終的に、マルチモーダルセンサデバイスをシリコンラバー人工指先に実装し知覚化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヘテロコア技術は、従来の光ファイバセンサに比べ温度依存性がほとんどなく耐電磁誘導性や耐腐食性にも優れている上に、光強度ベースの計測方式を確立しているため、高いロバスト性とコスト効率をもった光学センサといえる。これらのセンサ機能を備えた光ファイバを知的構造体を実装することができれば、環境に左右されることなく、あたかも人間の神経のように様々な感覚を構造体に与える「光ファイバ式感覚神経」が実現できる。これにより、汎用性の高いマルチモーダルな感性を備えた人工皮膚による次世代ヒューマノイドロボットや人工義肢の高機能化が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research has been made to develop an artificial skin to cover future humanoid body. In order to realize such a multi-modal sensitive function on the artificial smart materials, hetero-core sensing techniques are successfully introduced in terms of sensing capabilities such as physical strains, tactile, vibration, liquid adhesion and humidity. These physical quantities has been detected in the form of a honeycomb panel. A artificial finger made of silicone rubber has been developed to show percpeption in the orders of micro epsilon in strain, micro meter of surface roughness, 10-2 dB/G of acceleration, together with liquid monitoring.

研究分野：光電子工学、光ファイバセンサ、レーザ工学

キーワード：光ファイバセンサ マルチモーダル ヘテロコア 知覚機能 人工皮膚

1. 研究開始当初の背景

次世代のロボティクス発展において、人間の感覚を獲得する技術が不可欠となり、工学的に実現できれば未来の大きな飛躍になるであろう。特に皮膚感覚は、皮膚内部に分布する数種類の感覚受容器により、物体の接触や振動、触覚、湿気・温度などに対する多元的感受性をもつ。これまで、電気的センサもしくは光学センサを用いて皮膚感覚を知的構造体に持たせる試みはなされているが、実装自由度や周囲の外乱(温度依存、電磁干渉、経時的腐食)、コスト効率を考慮すれば従来の電気的・光学的方式とは異なる新規性が必要である。

申請者が提案し、開発したヘテロコア光ファイバは、図1に示すようにコア径の異なる二つのファイバ同士を融着した構造をもち、意図的にコア内伝送光を外部へ漏洩させることで緩やかな曲げに対する感受性をもたせた(K. Watanabe et al. IEICE TRANS. ELECTRON. 2000; E83: 309-314)。またヘテロコア部のクラッド層周囲に金属薄膜を蒸着することで SPR(Surface plasmon resonance: 表面プラズモン共鳴)を励起し、外界の屈折率変化から液体などを検知する化学系センサ(M. Iga, A. Seki, K. Watanabe. Sensor and Actuators B. 2005; 106:363-368)としても広範な有用性が実証されてきた。さらに従来の光ファイバセンサに比べ温度依存性がほとんどなく耐電磁誘導性や耐腐食性にも優れている上に、光強度ベースの計測方式を確立しているため、高いロバスト性とコスト効率をもった光学センサといえる。これらのセンサ機能を備えた光ファイバを知的構造体の実装することができれば、環境に左右されることなく、あたかも人間の神経のように様々な感覚を構造体に与える「光ファイバ式感覚神経」が実現できると発想した。

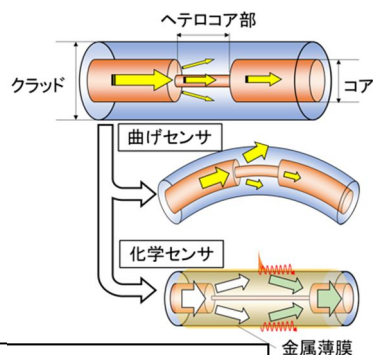


図1 ヘテロコア光ファイバセンサ

2. 研究の目的

本研究の目的は、ヘテロコア光ファイバを知的構造体の実装するために最適なセンサ形態を実験的に明らかにし、人工的な感覚神経として知的構造体にマルチモーダルな知覚機能を付与できるようにすることである。本研究最大の特徴は、ヘテロコア光ファイバの物理量・化学量ともに検知できるセンサ特性を生かし、人工皮膚に対して人間の皮膚相当もしくはそれ以上に広範な感受性を実装しようという点にある。従来の研究では、圧力や振動といった物理量を計測する圧電素子や歪ゲージなどはその限られた周波数応答性によって別個の感覚モダリティとして区別しセンサ同士を組み合わせる必要があったが、申請者が開発したヘテロコア光ファイバ式機械受容器(図2、H. Yamazaki, M. Nishiyama, K. Watanabe. the IEEE Sensors Journal. 2017; 17:5123-5129)は、人間の皮膚が感じ取れる周波数帯(DC-1 kHz)の皮膚変形を単一の素子で感知することができ、硬さや凹凸など人が認識しうる触感に対する感受性を指状の皮膚素材に付与できることを報告した。

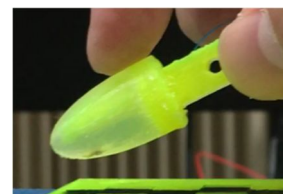


図2 ヘテロコア光ファイバ式機械受容器を内蔵した人工指

また、SPR現象を利用したヘテロコア光ファイバ SPR センサは表面に蒸着する金属薄膜により液体の付着や湿度に感受性をもたせることができる。また、表面に各種の層を修飾すること pH や界面活性剤などの物質を選択的に感じる。こういった多機能・光ファイバセンサを人工皮膚に実装できるセンサ形態が確立すれば、人間の皮膚が感じ取る湿気や温度また触覚だけでなく、実装すべき知的構造体の用途に応じて、例えば危険な化学物質の感知や

酸性・アルカリ性の識別など拡張的な感覚をもった人工皮膚の実現可能性が大きく広がる。

3. 研究の方法

検出方式の全く異なる刺激に対して感度をもつようセンサを実装するために、それぞれの刺激に合わせたセンサの実装法を考案する必要がある。図2に柔軟な人工指への実装を想定して考案した4つのセンサ実装法を示す。まず図2(a)の様に曲げセンサを皮膚表面付近に直接埋め込む方式では、皮膚表面の変形に追従してセンサの曲率が変化するため、物体の接触時に受ける接触力と振動の検出に適している。次に、図2(b)の様に人工指内部に設けた空洞に曲げセンサを片持ち梁状に固定する方式では、人工指自身が移動する際にその慣性力によりセンサが曲率変化する。この方式では、指先の変形具合に依らず指先の動きを検知することが可能となる。図2(c)の様に皮膚表面に空洞及び化学センサを設ける方式では、皮膚表面に付着する液体が空洞内に侵入した際に生じるファイバ周囲の屈折率変化を検出する。化学センサを用いた方式では、センサ部を覆う筐体は外部接触によるセンサの湾曲を防ぐ役割があり、なおかつ液体が浸透しやすいように構造を工夫する必要がある。図2(d)の様に指先内部に化学センサとその筐体設ける方式では、外気をセンサに伝えるための通気孔を作ることで、外から流入する湿気にセンサが反応する。

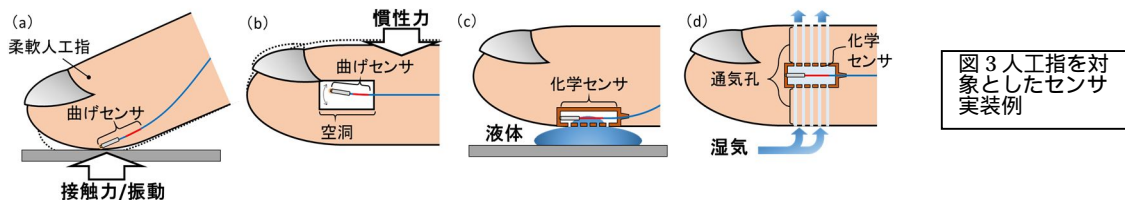


図3 人工指を対象としたセンサ実装例

4. 研究成果

将来、ロボットの外部を覆う人工皮膚を想定して接触力、振動、慣性力、液体付着、湿度に感受性をもたせるマルチモーダル感覚センサデバイスの構築と人工皮膚への実装法を開発するという当初の目的は下記のように達成した。実装を前提にした、歪みゲージ、触覚センサ、振動

図4 水検知センサー特性

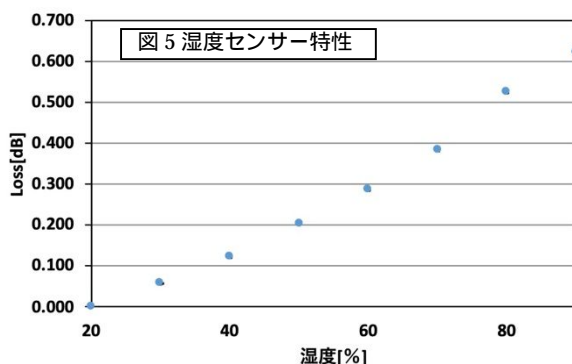
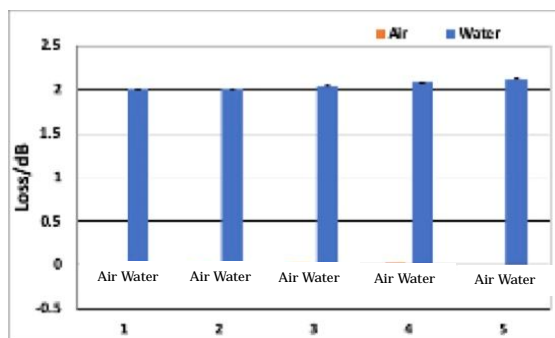


図5 湿度センサー特性

センサ、液体検知センサ、湿度センサを試作し、動作特性を明らか

にした。a.歪み・触覚については、数 μ の歪み、また数 μ mの凹凸の触覚を検出するセンサ構造を確立した。b.振動(加速度)においては、カンチレバ型の超小型(1cm立方)加速度センサにより10-1000 Hzの周波数帯域で 1.0×10^{-2} dB/G以上の感度で加速度を検出できることを確認した。c.液体付着検知(Au 60 nm /Ta205 20 nmの2層構造),d.相対湿度20-90%の検出構造(TiO2-ポリリジンを交互積層)も確立した。図4は液体(水)の検知結果で、水の付着により光損失は0から2 dBへと大きく変化した。また、図5は相対湿度(20-90%R)変化特性を示している。

試作したセンサの単独の特性を明らかにした上で、これらを構造体に埋め込み、構造体と一体となった場合のセンサの検出性能を評価しなく

てはならない。ここでは、2種の構造体(ハニカム構造パネル、シリコンラバ)を用いて段

階的に検討した。最終的には人工皮膚への埋込・固定を行うが、製作上一度固化してしまつと構造体のセンサへの拘束程度を評価しにくいので、まずは構造が確定しており、センサの着脱がしやすいハニカムパネルで試験を行なった。パネル内部への実装の結果、開発した4種のセンサは構造体特有の機械的特性を反映しつつ、全ての性能を発揮した。

これらの成果にもとづき、最終的にシリコンゴムで整形した人工指先に歪み・触覚、加速度

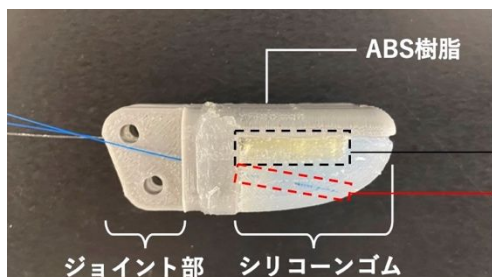
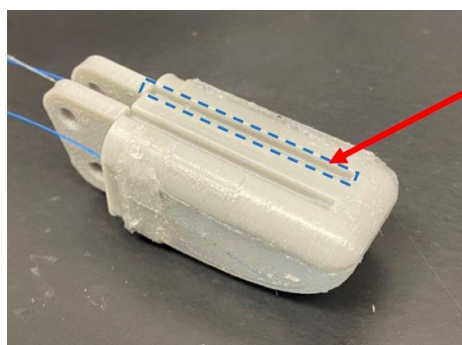


図6人工指の側面



ケミカルセンサ
固定位置

図7人工
指の爪側

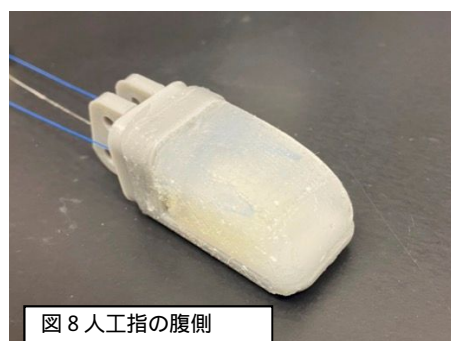


図8人工指の腹側

(振動)、液体検知を実装した。湿度センサについては湿度用の空洞をつくるスペースを確保できなかったため3つのセンサを実装した。

図6は3つのセンサを実装した人工指の側面を示している。加速度センサ

はカンチレバ式で内部に空洞を

内装し、図3(b)のように実装

している。上面は爪に相当し

ABS樹脂で作成した。図7には

爪側の写真を示している。図7

のケミカルセンサ位置に液体を

検知するセンサ素子が配置され

る。光ファイバ素線(125 μ m)

の溝にセンサ素子が露出して

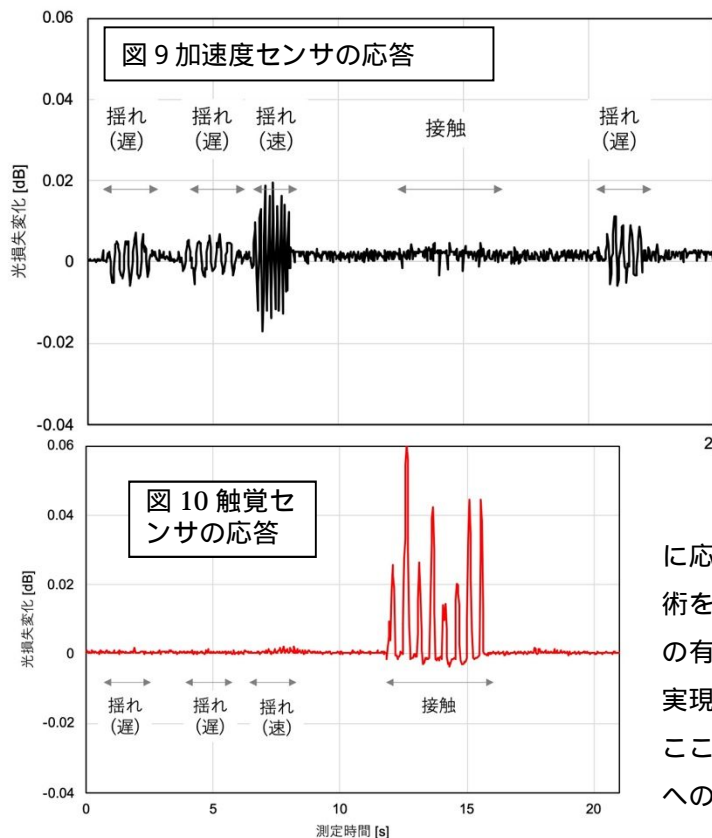
おり、液体(水など)が付着すると屈折率の変化を感じる。図4のように水の付着を鋭敏に検出できる。空気との屈折率差を感じればよいので、油類でも感じる。

図8は人工指の腹側を示している。腹側はシリコンでモールドされているので、センサ素子先端は明瞭に見えないが、歪み・触覚センサ素子によりシリコン樹脂に与えられる圧力、接触の凹凸を捉えることができる。内部空間のカンチレバ式加速度計は指全体に与えた振動、

局部的に与えた振動を検出する。

ここで開発した歪み・触覚センサおよび加速度(振動)センサは、伝送路に1.3 μ m用シングルモード光ファイバを用いて、センサ部には図1に示したヘテロコア構造(コア径5 μ m)を採用している。この構造では、ヘテロコア部にわずかな曲率変化を与えると光強度が変化し、歪み、触覚、加速度を検出できる。また、図1で示した化学センサタイプは、湿度検知、液体検知で採用した。この場合はマルチモードファイバで820nmを伝送し、ヘテロコア部のコア径を3 μ mにしてヘテロコア部では光がクラッド領域にひろがるように構成している。それにより、光ファイバクラッド表面と外界の境界面で表面プラズモン共鳴現象を発生する。全てのタイプについて、入射光をヘテロコア部に導き、その後通過光の強度変化をみるアラウンド・トリップ式で計測するか、または通過後端面を設け、その反射を計測する端面反射式でも構成できる。開発した人工指では、端面反射タイプを採用している。その理由は、アラウンド・トリップではリターン光ファイバを設ける都合上、人工指に実装する際の空間的制限があるからである。

図6、7、8に示した人工指に手動で振動や、接触を与えてその出力挙動を示したのが、図9と10である。図9で、揺れ(遅)または揺れ(速)としているのは、上下方向の振動の速さである。内部の加速度センサが指全体の上下方向の揺れに反応しているのがわかる。つぎに、手動の揺れを止めてその後12-17秒の時間帯では、指先に人間の先で軽く接触を与えてその応答を図10に示す。このとき加速度センサの出力は僅かな動きが見えるが、殆ど感知していない。指の腹部への接触(12-17s)に対しては、加速度センサは反応しないが、そのかわり触覚センサ



がその接触を検知している。このように、単独の人工指にヘテロコア構造のセンシング機能を内蔵すれば、各種の刺激が独立に検知され多様な情報の獲得が可能であることが実証された。将来のヒューマノイドが開発されるとしたら、人間の皮膚感覚を与えることができるマルチモーダルな知覚構造体が必要になるだろう。また、近い人工義肢等への医療介護にも大いに応用できる。本研究は、ヘテロコア技術を内蔵させて、光ファイバセンシングの有用性をマルチモーダルな機構として実現し、当初の目的は十分に達成した。ここで得た成果は実装法のさらなる開発への大きな指標となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Hiroshi Yamazaki, Kazuhiro Watanabe	4. 巻 20
2. 論文標題 Optical strain gauge based on a hetero-core fiber macro-bending sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 13387, 13393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masahiro Mikami, Daisuke Komatsu, Ai Hosoki, Michiko Nishiyama, Hirotaka Igawa, Atsushi Seki, Shoichi Kubodera, and Kazuhiro Watanabe	4. 巻 29
2. 論文標題 Quick response hydrogen LSPR sensor based on a hetero-core fiber structure with palladium nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 48, 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 山崎大志, 渡辺一弘	4. 巻 31
2. 論文標題 ヘテロコア式光ストレインゲージとIoT展開	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 52, 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 山崎大志, 渡辺一弘	4. 巻 58
2. 論文標題 ヘテロコア光ファイバ・ストレインゲージ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 光技術コンタクト(特集 光技術計測)	6. 最初と最後の頁 20, 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masahiko Shiraiishi, Kazuhiro Watanabe, and Shoichi Kubodera	4. 巻 19
2. 論文標題 Picoliter cuvette inside an optical fiber to track gold nanoparticle aggregation for measurement of biomolecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2859-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Ai Hosoki, Michiko Nishiyama, Nozomu Sakurai, Hiroataka Igawa, and Kazuhiro Watanabe	4. 巻 20
2. 論文標題 Long-Term Hydrogen Detection Using a Hetero-Core Optical Fiber Structure Featuring Au/Ta2O5/Pd/Pt Multilayer Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 227-233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Y. Mizuno, S. Hagiwara, H. Lee, N. Hayashi, M. Nishiyama, K. Watanabe, and K. Nakamura	4. 巻 59
2. 論文標題 Strain and temperature dependencies of multimodal interference spectra in hetero-core-fiber structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys	6. 最初と最後の頁 0058002-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hiroshi Yamazaki, Ichiro Kurose, Michiko Nishiyama, and Kazuhiro Watanabe	4. 巻 18
2. 論文標題 Pendulum-type hetero-core fiber optic accelerometer for low-frequency vibration monitoring	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors 2018	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計42件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Masahiko Shiraishi, Kazuhiro Watanabe, and Shoichi Kubodera
2. 発表標題 Tracking gold nanoparticle aggregation for measurement of biomolecules with a picoliter sensing volume
3. 学会等名 The 70th anniversary of the divisional meeting of the Division of Colloid and Surface Chemistry
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Koyama, Michiko Nishiyama, Ryoko Aoki, Yuka Higashimori and Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Swallowing Measurement for a Healthy Subject Using a Hetero-Core Optical Fiber Sensor
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Shiraishi, Kazuhiro Watanabe, and Shoichi Kubodera
2. 発表標題 Detection of L-cysteine by use of an optical fiber spectroscopic cell fabricated by femtosecond laser drilling
3. 学会等名 The 8th International Congress on Laser Advanced Material Processing (LAMP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Yamazaki and Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Fiber Optic Folding Angle Sensors for Origami-Inspired Devices
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihito Matsuo, Kadokura Miyuki, Hirosh Yamazaki, Michiko Nishiyama, and Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Assessment of frequency response characteristics for a cantilever hetero-core fiber optic accelerometer
3. 学会等名 The 8th Asia-Pacific Optical Sensors Conference (APOS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuhiro Suzuki, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe and Junichi Ida
2. 発表標題 Evaluation of hetero-core fiber CO2 sensor immersed in ionic liquid of [EMIM][BF4]
3. 学会等名 The 8th Asia-Pacific Optical Sensors Conference (APOS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田和, 白石正彦, 渡辺一弘, 窪寺昌一
2. 発表標題 光ファイバ型ピコリットル分光セルによる生体分子計測手法の検討
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 屋良朝常, 白石正彦, 渡辺一弘, 窪寺昌一
2. 発表標題 フェムト秒レーザーによる光ファイバ内部加工と屈折率変化の取得
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 3. 細木藍, 西山道子, 久米川宣一, 渡辺一弘, 矢田部壘, 田原祐助, 小野寺武, 杉山暁史, 櫻井望
2. 発表標題 脂質膜を固定化したヘテロコア光ファイバの化学センシングへの応用
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関 篤志・渡辺一弘
2. 発表標題 金ナノ粒子/ポリマー複合膜を用いる湿度センサ
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細木藍、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 W03/Ptナノ粒子を用いたヘテロコア光ファイバ水素センサ
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺一弘*, 関篤志, 山崎大志, 西山道子, 近 哲也, 佐々木博幸
2. 発表標題 ヘテロコア技術を用いた光デバイスと社会実装への展開
3. 学会等名 電子情報通信学会2020年総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門倉美幸、山崎大志、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 両端固定支持によるヘテロコア光ファイバ式加速度計の曲率半径による周波数特性への影響
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 鈴木光弘、西山道子、渡辺一弘、井田旬一
2. 発表標題 [EMIM][BF4]を用いたヘテロコア光ファイバCO ₂ センサ開発のための基礎的検討
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 門倉美幸、山崎大志、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 両端固定支持によるヘテロコア光ファイバ式振動センサを用いた機械振動応答評価
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾明人、門倉美幸、山崎大志、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 カンチレバー型ヘテロコア光ファイバ加速度センサのたわみに対する応答特性
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 末吉弘幸、山崎大志、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 ヘテロコアファイバ埋め込み型構造体による液体センシング
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 油橋幸二、三上勝広、山崎大志、西山道子、窪寺昌一、渡辺一弘
2. 発表標題 島状構造Au/TiO ₂ を用いたヘテロコア光ファイバ温度センサの特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 綿貫智美、三上勝広、窪寺昌一、西山道子、渡辺一弘
2. 発表標題 SiO ₂ /Ta ₂ O ₅ 誘電体多層膜によるヘテロコア構造光ファイバの屈折率測定のパフォーマンス評価
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西山道子、山崎大志、三上勝広、窪寺昌一、渡辺一弘
2. 発表標題 ヘテロコア光ファイバAu薄膜SPRセンサによる水位計の開発
3. 学会等名 応用物理学会第63回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎大志, 西山道子, 渡辺一弘
2. 発表標題 ヘテロコア光ファイバセンサ式ストレインゲージに関する基礎検討
3. 学会等名 応用物理学会第64回光波センシング技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎大志, 渡辺一弘, 佐々木博幸, 岩佐宏一, 澤健男
2. 発表標題 ヘテロコア型光ファイバ加速度センサによる高架橋振動測定の実験的検証
3. 学会等名 令和元年度土木学会全国大会第74回年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Yamazaki, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Haptic perception for evaluating viscoelastic property based on a fiber optic mechanoreceptor embedded in a pseudo-finger
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific Optical Sensors Conference (APOS2018), Proceedings of SPIE, in press, Shimane(Japan) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Yamazaki, Michiko Nishiyama, and Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Micro-displacement vibration measurement using a hetero-core fiber optic tip macro-bending sensor
3. 学会等名 The 26th International Conference on Optical Fiber Sensors. Optical Fiber Sensors, p.The90. Lausanne (Switzerland) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉美幸, 山崎大志, 西山道子, 伊与田健敏, 渡辺一弘
2. 発表標題 ループ型ヘテロコア光ファイバ振動センサの感度及び周波数特性の評価
3. 学会等名 信学技報 . 2018; OFT2018-38: pp.119-122
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎大志, 西山道子, 渡辺一弘
2. 発表標題 高感度振動計測に向けたヘテロコア光ファイバ変位センサの開発
3. 学会等名 第61回光波センシング技術研究会講演論文集 . 2018; pp.13-18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺一弘, 関篤志, 山崎大志, 小山勇也, 西山道子, 佐々木博幸
2. 発表標題 ファイバセンサの社会実装とヘテロコア技術の展開
3. 学会等名 第 6 回応用物理学会春季学術講演会、シンポジウム (S3 : 光・フォトンクス) 「多様な光ファイバセンシング技術」10p-M135-3 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miyuki Kadokura, Hiroshi Yamazaki, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Frequency characteristics of hetero-core fiber accelerometer with two orthogonal vibrational modes of an arch shape beam structure
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihito Matsuo, Miyuki Kadokura, Hiroshi Yamazaki, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Sensitivity and resonance frequency evaluations for a cantilever type hetero-core fiber optic accelerometer
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Yuhashi, Michiko Nishiyama, Junichi Ida, Shoichi Kubodera and Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Temperature characteristics of hetero-core optical fiber Au/TiO ₂ SPR sensors fabricated by sputtering and Layer-by-Layer stacking techniques
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuhiro SUZUKI, Michiko NISHIYAMA, Kazuhiro WATANABE, Junichi IDA
2. 発表標題 Hetero-core fiber SPR sensor with ionic liquid gel coating for CO ₂ detection
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masanori Maeda, Miyuki Kadokura, Ryoko Aoki, Masaru Kawakami, Yuya Koyama, Michiko Nishiyama, Kazuhiro Watanabe
2. 発表標題 Non-invasive swallowing examination device using hetero-core fiber optic pressure sensor
3. 学会等名 2021 IEEE 3rd Global conference on life sciences and technologies (Life Tech 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三上勝広, 西山道子, 窪寺昌一, 渡辺一弘
2. 発表標題 シングルモード光ファイバを用いた Au ヘテロコア表面プラズモン共鳴センサの開発
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 油橋 孝二, 西山 道子, 窪寺 昌一, 渡辺 一弘
2. 発表標題 SiO ₂ /TiO ₂ 誘電体多層膜を用いたヘテロコア光ファイバ センサの温度特性評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門倉美幸, 山崎大志, 西山道子, 渡辺一弘
2. 発表標題 両端固定支持によるヘテロコア光ファイバ式加速度センサの振幅応答特性の評価
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 山崎大志, 渡辺一弘
2. 発表標題 ヘテロコア光ファイバストレインゲージによる加速度計測の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術 (OFT) 研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 油橋孝二, 西山道子, 窪寺昌一, 渡辺一弘.
2. 発表標題 SiO ₂ /TiO ₂ 誘電体多層膜構造を用いたヘテロコア光ファイバ温度センサの積層数に着目した感度向上の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術(OFT)研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 雙松伸一, 山崎大志, 渡辺一弘
2. 発表標題 Sigfoxネットワークとヘテロコア光ファイバセンサを組み合わせたIoTモニタリングシステムの提案
3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術(OFT)研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎大志, 渡辺一弘.
2. 発表標題 折紙をセンサ化するヘテロコア光ファイバ折り畳み角度センサ
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樹山さくら, 門倉美幸, 山崎大志, 西山道子, 渡辺一弘
2. 発表標題 両端固定支持によるヘテロコア光ファイバ式3軸加速度センサの校正の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会光ファイバ応用技術(OFT)研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤枝大樹, 西山道子, 渡辺一弘, 窪寺昌一
2. 発表標題 Pdナノ粒子/Ta2O5薄膜を用いたヘテロコア光ファイバ水素センサの応答評価
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細木 藍, 西山道子, 久米川 宣一, 渡辺 一弘, 矢田部 暎, 田原 祐助, 小野寺 武, 杉山 暁史, 櫻井 望,
2. 発表標題 脂質膜を用いたヘテロコア光ファイバケミカルセンサの開発
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西山道子, 小山勇也, 細木藍, 山崎大志, 渡辺一弘	4. 発行年 2019年
2. 出版社 応用物理学会フォトニクスニュース	5. 総ページ数 4
3. 書名 「ヘテロコア光ファイバーの多機能なセンサ応用」応用物理学会フォトニクスニュース, 第5巻, 第1号, pp.39-43, 2019年2月.	

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 塩センサ装置およびその製造方法関連	発明者 関篤志, 西山道子, 山崎大志, 渡辺一弘, 佐々木 博幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2021-009149	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ヘテロコア光ファイバ二酸化炭素センサ	発明者 井田旬一, 鈴木光弘, 西山道子, 渡辺一弘, 佐々木博幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-007989	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 塩センサ装置およびその製造方法	発明者 関篤志, 西山道子, 山崎大志, 渡辺一弘, 佐々木博幸,	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2019-149024	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光ファイバセンサ	発明者 山崎大志、渡辺一弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-165072	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ヘテロコア光ファイバセンサ装置	発明者 細木藍、桜井望、西山道子、渡辺一弘、佐々木博幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-025847	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光ファイバ式センサ装置	発明者 山崎大志、渡辺一弘、西山道子、佐々木博幸	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-35287	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------