

令和元年6月21日現在

機関番号：32690

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18185

研究課題名(和文)ヘテロコア光ファイバを織り込んだ知覚衣服によるライフログシステムの開発

研究課題名(英文)Development of lifelog system based on a sensitive wear inwoven with hetero-core fiber optics

研究代表者

小山 勇也 (Koyama, Yuya)

創価大学・理工学部・助教

研究者番号：10778955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無意識・無拘束な生体情報・生活行動計測のための新たな技術基盤として、柔軟・軽量な素材で構成されるヘテロコア光ファイバセンサを衣服の材料である繊維系と組み合わせ、素材そのものがセンサ機能を持つ知覚衣服を開発した。この知覚衣服を用いた生体情報の計測を可能にした。さらに、携帯型の計測器と併用し、身体動作情報から日常生活における健康状態や行動内容を認識可能なシステムを構築し、知覚衣服がライフログデバイスとして有用であると実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実現した知覚衣服は、これまでの時計、眼鏡やアクセサリ形態の電子機器を装着するウェアラブルセンサとは異なり、衣料そのものに光ファイバセンサを融合する技術を確立するという観点でその波及効果は大きいと考えられる。また、絨毯やクッション、寝具といった多様な生活用品にも応用可能性を持つ。このように本研究によって新たなIoTデバイスの可能性が拓けることにより、福祉分野のみならず、医療やスポーツ分野領域への応用が十分に期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed smart clothing that can sense the deformation of the clothes itself, toward for unobtrusive vital sign monitor and physical activity measurement in daily life. The smart clothing was realized using smart textile fabricated with weaving a hetero-core optical fiber sensor and yarn. The developed smart textile in clothes measured vital signs in sitting. Besides, human activity recognition was demonstrated using smart clothing and a portable type measuring device. These results show that developed smart clothing is useful as life log devices.

研究分野：光ファイバセンサ，計測，センサ応用

キーワード：ヘテロコア光ファイバ 織物 知覚衣服 無拘束 ライフログ

### 1. 研究開始当初の背景

少子高齢化社会の加速に伴い、高齢者や要介護者の日常生活の行動や健康状態の把握を、限られた介護人員でどのように行っていくかが問題となっている。近年、生活情報や健康情報をライフログとして取得するための様々な技術が提案されているが、日常生活において人に対していかに違和感なく活動状態をモニタリングできるかという事が重要な課題となっている。

従来の小型パルスオキシメータや加速度センサモジュール等のウェアラブルセンサを用いた手法では、着用者に“装着時における違和感”を与える事が課題であった。そこで、こういったセンサを身に着ける技術であるウェアラブルセンサデバイスでなく、日常生活で誰しもが身に着けている衣類自体にセンサ機能を持たせることにより、着用者に対して違和感なく身体動作や脈拍・呼吸といった生体情報をモニタリングする事が可能となる。衣服にセンサ機能を持たせるための関連研究に導電性繊維を用いた手法が挙げられる。導電性繊維は、金属めっきを繊維上に加工し作製される。この手法は、電気抵抗値の変化に基づいて衣類の繊維の歪みを検出し、関節動作情報の取得を試みている。しかし、繰り返しの引張によって金属めっきに断裂が生じる事や、温度変化による抵抗値の変動など計測の安定性や耐久性について課題を持つ。

柔軟・軽量・電磁誘導の影響を受けないといった光ファイバの利点を有したヘテロコア光ファイバセンサは、光ファイバ線路上のセンサ部への緩やかな曲率変化に応じて伝搬光量が鋭敏に変化するため、伝搬光強度の変化を計測する事により曲げセンサとして応用可能である。さらに、計測システムには温度補償が不要である。このような特長を持つヘテロコア光ファイバセンサを用いることにより、プライバシーを侵害する恐れのあるカメラや赤外線といった監視システムとは異なった、人に対して無意識・無拘束な生体計測・身体動作計測システムの構築が期待できる。

### 2. 研究の目的

本研究では、無意識・無拘束な生体情報・生活行動計測のための新たな技術基盤として、柔軟・軽量の素材で構成されるヘテロコア光ファイバセンサを衣服の材料である繊維系と組み合わせ、素材そのものがセンサ機能を持つ知覚衣服を開発する。この知覚衣服を携帯型の計測器と併用し、心拍・呼吸・身体動作情報から日常生活における健康状態や行動内容を認識可能なシステムを構築し、知覚衣服がライフログデバイスとして有用であると実証する。

### 3. 研究の方法

知覚衣服を用いた身体動作・生体情報の計測手法を確立する。(1) 光ファイバ知覚織物による身体動作の計測、(2) 呼吸・心拍動作の検出や(3) センサ感度の調整方法を検討する。次に、(4) 織物を統合した知覚衣服を試作し、着用者の生活動作認識機能を有したモニタリングシステムを構築する。携帯型計測器とスマートフォンとを用い、身体動作に対する計測値を取得する、(5) 計測値に対し機械学習を適用し、生活動作の判別性能を検証する。

### 4. 研究成果

(1) 光ファイバ知覚織物による身体動作の計測

図1に知覚織物の構造を示す。織物の材料には毛糸を用いた。ヘテロコア光ファイバはファイバ伝送路上に作製されたセンサ部分に対する曲率変化を鋭敏に検出可能であるため、織物自体の屈曲形状変化を光損失変化によって検出可能である。この織物を衣服の関節部に縫い込むことで、着用者の身体動作に伴い衣服上に生じる形状変化を検出し、身体動作をモニタリングする。尚、織物は衣服の肘部分と肩部分に配置した。

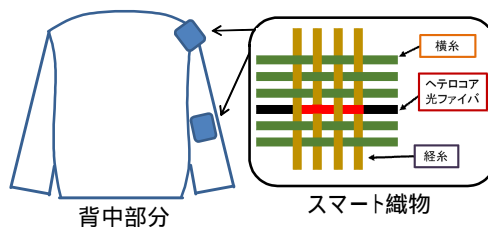


図1 知覚織物の配置図

肘関節および肩関節における屈曲動作のモニタリングを行った。本実験では、光源に波長 1.31 μm の LED, 受光部に PD, AD コンバータを採用した。図2に実験結果を示す。図2(a)より、肘屈曲動作に対して光損失が単調に変化することを確認した。次に、図2(b)より、肩部における屈曲・伸展の往復動作を光損失応答によってモニタリング可能な事を確認した。以上の結

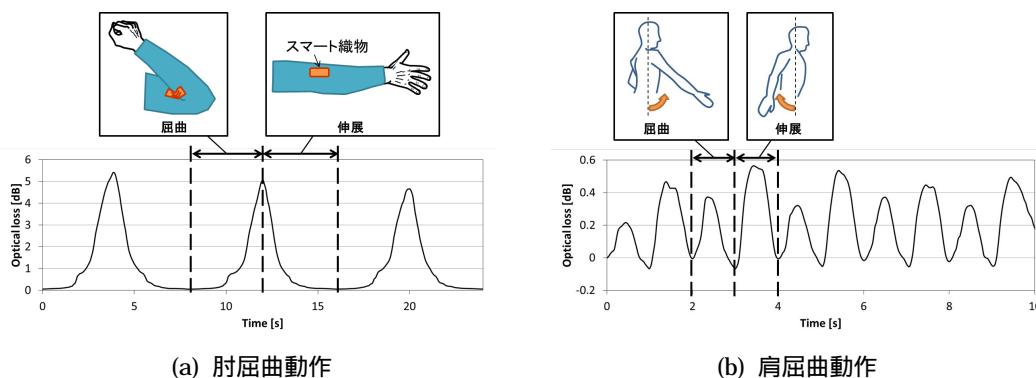


図2 関節動作に対する光損失応答

果により，ヘテロコア光ファイバを用いた知覚織物を組み込んだ衣服により，関節における屈曲動作を光損失変化によってモニタリング可能である事を示した。

## (2) 呼吸・心拍動作の検出

心拍によって衣服上に生じる変動は微弱であるため，その荷重変化を検出できなければならない，したがって，知覚織物が微弱な荷重変化を検出できるように図3のように織物を，ヘテロコア部が折り目にな

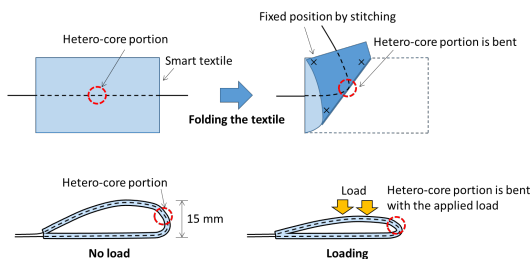
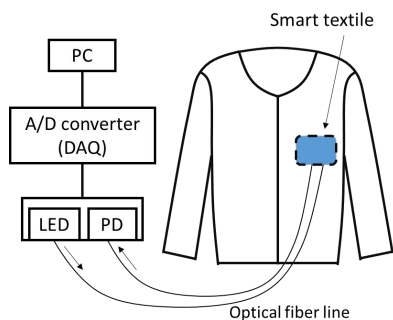
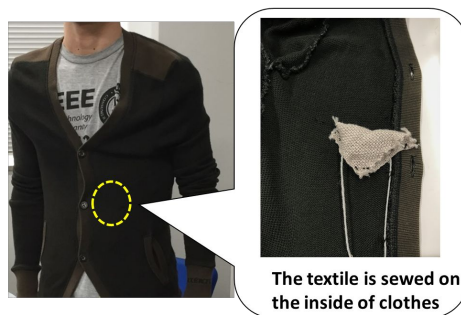


図 3 呼吸・心拍検出用の織物



(a)



(b)

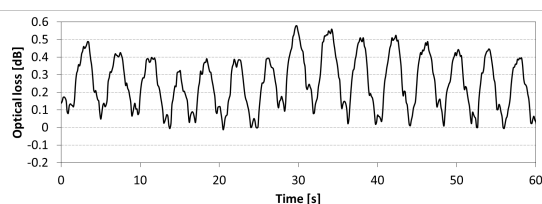
図 4 実験構成図 (a)計測構成 (b)織物の位置

るように緩やかに折り曲げて用いた。断面図に示すように，折り曲げられた織物に対して上方から荷重を付与すると，ヘテロコア部に対する曲率が増加する。したがってこの織物に付与された微小荷重を検出可能である。

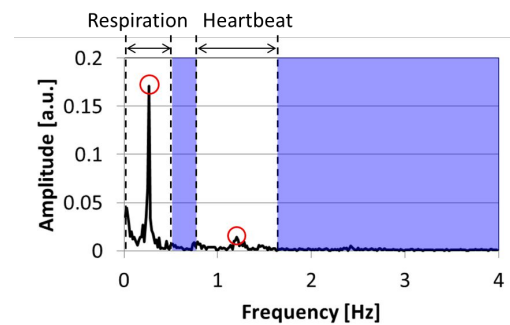
図4に実験構成図を示す。図4(a)より，光源に波長  $1.31\mu\text{m}$  の LED，受光部に PD，A/D コンバータを用いた。PC 上での電圧の計測には計測用ソフトウェア Labview を用いた。尚，計測はサンプリング周波数  $8\text{Hz}$  で行われた。図4(b)に織物の配置位置を示す。織物は，心拍と呼吸による変動を検知可能にするために，左胸部の腹筋の部分に配置した。また，織物は衣服の裏地に縫い付けられており，衣服の着用によって着圧が付与されるため，心拍や呼吸によって衣服上に生じる僅かな荷重変化を検出可能である。

図5に，着座姿勢時における織物の光損失応答を示す，被験者は静止状態で計測された，図5(a)の光損失応答より，この波形に心拍と呼吸の両方による変動成分が含まれていると考えられる。そのため，波形に FFT をかけて周波数スペクトル解析を行った。図5(b)にスペクトルを示す。図5(b)では，得られたスペクトルに対して呼吸及び心拍それぞれの成分の区間を示している。心拍によって衣服に生じる変動は，呼吸による変動よりも小さい。そのため，図5(b)では心拍に対応する周波数範囲において比較的振幅の小さいピークが得られている。図5(c)に  $0.8\text{--}1.6\text{Hz}$  の部分の拡大図を示す。図5(c)より，呼吸のピークに比べると小さいが  $1.2\text{Hz}$  の部分でピークが得られた。

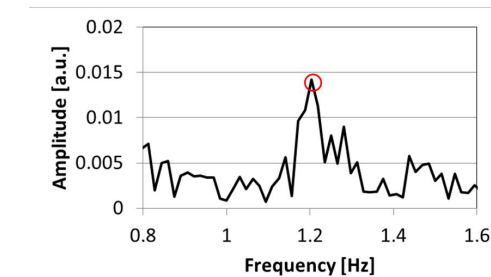
結果として，微小な圧力変化を捉えるこ



(a)



(b)



(c)

図 5 実験結果 (a) 光損失応答 (b) 周波数スペクトル (c) 拡大図

とが可能なヘテロコア光ファイバを応用した織物を衣服に組み込み、着用するだけで着用者の呼吸・心拍を同時に検出することができた。

### (3) センサ感度の調整方法の検討

布の織り方として一般的に用いられている平織、綾織、朱子織の3種類の織物に対してそれぞれの形状変化に対する光損失量を計測した。結果より、光損失量のフルスケール値は綾織、朱子織、平織の順に大きくなった。織り方によって糸の織り目が違うため、糸同士の密度が異なり、これがヘテロコア部に対する曲率の違いとなり、センサ感度に影響を与える。が異なるため光損失量に違いが生じると考えられる。実際に、布の固定幅は綾織、朱子織、平織の順で短く、光損失量フルスケール値はこの順で大きくなった。これらの実験結果から、折り方を変えることにより知覚織物のセンサ感度を調整可能なことを確認した。

### (4) 携帯型計測器とスマートフォンとを用いた身体動作の計測システム

図6に、試作した知覚衣服を示す。図6より、織物は腕・脚・臀部に配置した。この衣服により、肘屈曲動作・脚屈曲動作・着座等の接触が検出可能である。計測では多チャンネルを同時に計測する事が可能な携帯型の光ファイバ計測器を用いた。計測器はBluetoothによる無線通信機能を有しており、スマートフォン端末によって計測値をモニタリング・保存可能である。このシステムにより、着用者の身体動作を常時モニタリングする。尚、計測器のサンプリング数は53Hzである。

着用者が7種類の行動(立つ・座る・歩く・階段下降・階段上昇・仰向けになる・座って飲食する)を行った際の身体動作情報をモニタリングした。結果を図7に示す。結果より、各々の行動に対する光損失応答を取得した。

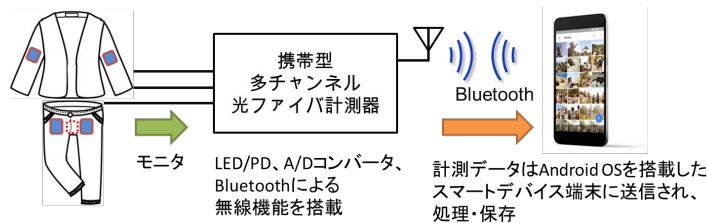


図6 実験構成図

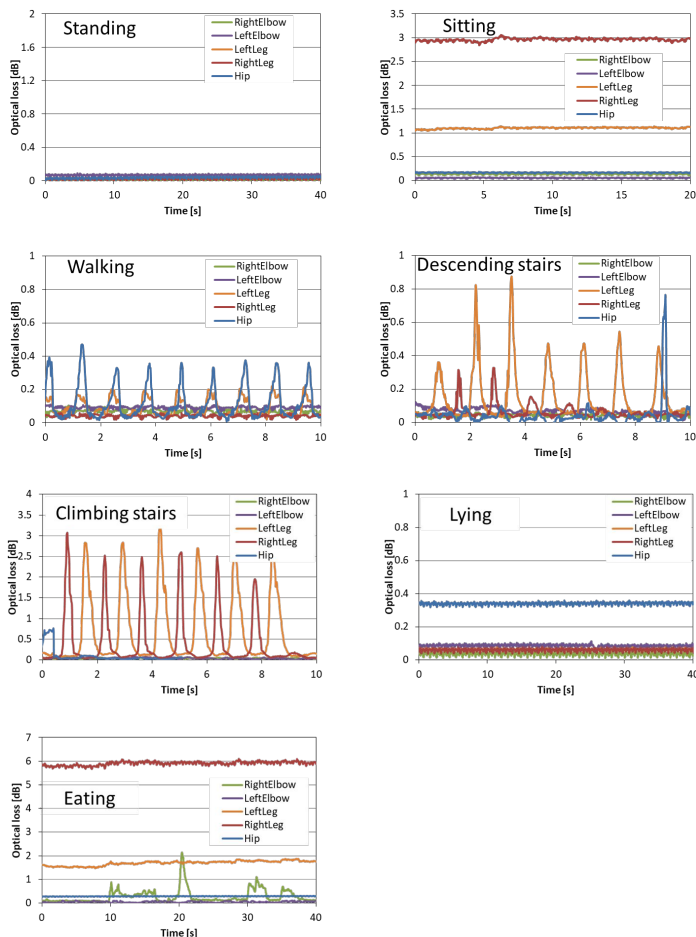


図7 実験結果

### (5) 生活動作の判別

着用者の身体動作情報に機械学習を適用し、生活動作の判別を試みた。着用者はそれぞれの行動を約 130 秒ずつ行い、光損失値を取得した。得られた時系列データから行動に対する波形パターンを特徴として取り出すため、約 4.83 秒間のデータに分けて取り出した。サンプリング周波数は 53Hz のため、1 つのデータフレームあたり 256 サンプルのウィンドウサイズである。また、ウィンドウサイズの半分(128 サンプル)を連続的にオーバーラップさせ、合計 385 個のデータフレームを得た。一つのデータフレームからは平均値、周波数エントロピー、各光損失同士の相関値を計算し、合計 30 個の特徴量を抽出し、行動内容をラベル付けした。全データセットを 8:2 の比率で学習データとテストデータに分けた。さらに学習データは標準化された。スケーリングされた特徴量は PCA により 15 個に削減した。学習は RBF カーネルを用いたサポートベクタマシン(SVM)で行った。SVM の識別器のパラメータであるカーネルのバンド幅  $\gamma$  と正則化パラメータ  $C$  は、グリッドサーチによって  $\gamma=0.1$  及び  $C=6$  に調整した。また、汎化性能を検証するために 5 分割交差検証を用いた。

学習済みのモデルを用いたテストデータに対する判別結果を表 1 に示す。表 1 より、認識率は約 98% であった。また、階段を昇る・降りるといった類似した行動同士は認識率が低下した。一方、衣服を着脱した場合や運動等の激しい身体活動を行った場合は、学習時の衣服状態から基準値が変化し識別率が著しく低下した。この衣服状態の制限事項は呼吸や心拍をモニタする場合も同様であった。そのため、本システムは衣服の着用状態が変わらないという特定の条件下であれば、生体情報の取得や生活行動の判別が可能である。

表 1 判別結果

		Predicted label						
		Standing	Sitting	Walking	Descending stairs	Climbing stairs	Lying	Eating and drinking
True label	Standing	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sitting	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
	Walking	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
	Descending stairs	0%	0%	0%	91%	9%	0%	0%
	Climbing stairs	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
	Lying	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	Eating	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

### 5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] ( 計 3 件 )

小山 勇也, 西山道子, 渡辺一弘. ヘテロコア光ファイバが埋め込まれた柔軟素材を用いた生体情報センシング(シリーズ 若手研究者の挑戦) 月刊 OPTRONICS 12 月号. pp.110-114. オプトロニクス社 . 2017/12/10, 査読無 .

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Behavior monitoring based on intensity matrix distribution in output plane of single-mode fiber bundle. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 67, no. 4, pp. 930-937, 2018, 査読有.

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Smart Textile Using Hetero-Core Optical Fiber for Heartbeat and Respiration Monitoring . IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 15, pp. 6175-6180, 2018, 査読有.

[ 学会発表 ] ( 計 7 件 )

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Smart Textile with Plain Weave Structure Using Hetero-Core Optical Fiber Sensor and Wool Threads. 2018 International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICoIAS 2018), 2018 年 3 月. Singapore. Proceeding of ICoIAS 2018, pp.18-22.

小山 勇也, 西山 道子, 渡辺 一弘 . ヘテロコア光ファイバを織り込んだスマート衣服による関節動作モニタリング . 電子情報通信学会 2018 年総合大会 . 2018 年 3 月 . 東京 .

小山 勇也, 西山 道子, 渡辺 一弘 . ヘテロコア光ファイバを織り込んだスマート織物の特性検証 . 電子情報通信学会 2017 年ソサイエティ大会 . 2017 年 9 月 . 東京 . 同大会講演文集\_通信(2) . B-13-4: p. 210.

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Smart sensing textile with embedded hetero-core optical fiber sensors into the structure for monitoring human vital signs and motion. The 1st International Conference on Material Strength and Applied Mechanics (MSAM

2018), Kitakyushu(Japan), 2018.4.

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Performance verification on weave type for smart textiles using hetero-core optical fiber. The 7th Asia-Pacific Optical Sensors Conference (APOS2018). 2018 年 5 月. Shimane(Japan).

Proceedings of SPIE, in press.

Yuya KOYAMA, Michiko NISHIYAMA, and Kazuhiro WATANABE. Physical activity recognition using hetero-core optical fiber sensors embedded in a smart clothing. 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018). 2018 年 10 月. Nara(Japan). Proceedings of GCCE2018, pp. 71-72.

小山 勇也, 西山 道子, 渡辺 一弘. (依頼講演) ヘテロコア光ファイバを用いた身体動作情報計測システム. 第 151 回微小光学研究会「スポーツ・生体情報と微小光学」. 2019 年 2 月. 東京. Microoptics news. Vol.37, No.1, pp. 49-54.

〔図書〕(計 1 件)

小山勇也, 西山道子, 渡辺一弘. 生体情報センシング ~ センサ設計開発に求められる要素技術・課題と対策ノウハウ ~ 株式会社 情報機構. 2018/5/31 発刊. 第 5 章 生体情報センシングのトピック技術と開発トレンド 第 5 節 高感度光ファイバセンサーによる外乱に強い生体計測技術(pp. 274-281)を担当

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

研究グループの HP

<http://scc1.t.soka.ac.jp/~6f/>

研究者の研究ホームページ

<https://researchmap.jp/koyamayuya/>

6 . 研究組織

- (1)研究分担者
- (2)研究協力者