

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01605

研究課題名(和文)多層化した導電性編物製敷布による褥瘡予防システムの開発

研究課題名(英文)Development of bedsore preventing system using multilayer conductive knit

研究代表者

藤岡 潤 (Fujioka, Jun)

石川工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：20342488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：感圧層と配線層の4層で構成された体圧分布測定敷布を開発し、編物ながら高い面密度での体圧分布測定を容易に可能とした。これにより柔軟で通気性に優れるだけでなく、高い収縮性により、就寝時のしわや抛れに強く、長時間にわたり被験者に負担の無い就寝時の体圧分布測定が可能なデバイスを実現した。また、敷布の測定結果に基づき、DNNによる就寝体位の識別を行った結果、従来研究と比較しても極めて高い識別率を得られた。さらにHOG特徴量とSVMによる褥瘡好発部の検出を行い、高い適合率と、3%以下の誤検出率を得た。以上の結果から本システムが就寝者の日常的な褥瘡好発部のモニタリングに有効であることが実験的に示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した体圧分布測定敷布は層構造の編物で構成されており、柔軟で通気性に優れるだけでなく、高い収縮性によりしわやよれに強い。そのため被験者に負担の無く、長時間の就寝時体圧分布測定が高い面密度で可能なデバイスである。これにより、重度の要介護者の就寝状態を恒常的にモニタリングすることで、褥瘡予防について定量的な指標が得られることから、超高齢化社会における介護者負担の低減といった面で本成果には大きな意義がある。また、DNNやSVMなどの機械学習や画像判別技術により、体圧分布画像として視覚だけに頼らない判定判別が可能であることを示したことは、画像認識技術の応用に関して、学術的な意義を示したと言える。

研究成果の概要(英文)：For early detection of the pressure ulcer in daily life, we developed a monitoring system, by using a fabric sensor sheet. This sheet is made of conductive knitting, and it has function as a sensor for measuring body pressure distribution of a user sleeping on it directly. That doesn't disturb the movement of the user, and has an advantage to be superior in breathability and flexibility in comparison with an existing pressure sensor. We measured the sleep postures and visualized those clearly. Furthermore, we attempted to distinguish each sleep postures by using DNN, and to estimate the positions where the pressure ulcer is caused well by using SVM. We showed that it was possible to discriminate the sleep postures with high accuracy of 98% or more, and it was also possible to identify the well caused portions of the pressure ulcer. In particular, the identification of the pressure ulcer department is the result that hasn't been reported with similar device until now.

研究分野：メカトロニクス, ロボット工学

キーワード：褥瘡予防 体圧分布測定 スマートテキスタイル 導電繊維 機械学習 DNN SVM

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本格的な超高齢化社会を迎えつつあるわが国では、高齢化の進行にともなって要介護者数も増加し、2045年には960万人に達すると見込まれる。特に要介護3以上の要介護者数の増加率が大きく、重度の要介護者割合は4割を占めると予測される。褥瘡予防はこうした要介護者や高齢者の医療や介護において極めて重要な看護課題である。褥瘡は持続的圧迫による虚血性皮膚壊死であり、その予防として、体圧分散マットレス等の予防寝具の使用と定期的な体位変換が強く推奨されている。さらに、適切な体位変換計画のためには、就寝者の睡眠姿勢や体圧分布状態の測定結果から、加圧中心の変動や持続的圧迫を分析し、体圧分散効果の定量的に評価することが重要であるとされている。またその際、睡眠中の生体測定は、生理的・精神的な負担の低減やセンサの脱落や破損防止、日常生理状態の維持等の観点から、無侵襲・無拘束な手法が好ましいとされる。しかし従来の体圧分布測定装置は、センシング部の柔軟性や通気性に欠け、システムが大掛かりで持ち運びが不便であるなどの問題から、一般的な介護施設や在宅での日常利用には不向きである。特に柔軟性や通気性の低さは褥瘡の進行要因ともなることから、日常的な利用はかえって弊害となる。

一方で近年、スマートテキスタイルと呼ばれる通常の繊維素材では得られない新しい機能を備えた繊維素材が盛んに研究開発されており、こうした素材を利用した日常的な生体計測可能とした様々なデバイスが発表されている。体圧分布測定においても、カバリング系間の静電容量変化を利用した間瀬らのシート状圧力センサシステムや電 PLLA 繊維を用いた圧電ファブリックなどが開発されており、比較的柔軟で通気性に優れるだけでなく、配線や装置の取り回しが容易で、計測点数や測定部位の選択性が高く、日常的な生体計測により適した繊維素材として期待されている。この種の体圧分布センサは、面分解能(面積当たりの計測点数)の高さや配線のしやすさなどから、導電性糸を縦緯糸とした織物で構成されることが多い。しかし織物は構造上、生地として縦横方向の伸縮性に欠け、しわになり易い。そのためこれらの体圧分布センサも、平坦なマット上などでは高分解能、高精度で測定可能であるが、柔軟な寝具や体圧分散マットなどの凹凸の大きい寝具ではその形状や変形に追従できず、しわや折れにより精度や再現性が大きく低下し、場合によっては測定不可能になるという構造的な問題を抱えている。そのためシート型体圧分布センサを硬質なマット上に敷いて測定する、あるいはベッドボードとベッドマットの間に挟み、寝具を挟んで間接的な体圧分布を測定するなどの方法で実験が行われているが、そうした測定結果は、褥瘡の発生原因である実際の寝具による皮膚の圧迫状況を正確に把握しているとは言い難く、褥瘡発症や進行の早期検知情報としての確実性や信頼性に疑問が残る。シート型センサを同素材の衣類型センサに置き換えることで寝具の影響を回避した例もあるが、その結果、計測部位が制限され、衣類型センサによる拘束が生じるなど、広範囲かつ無拘束・無侵襲の体圧分布測定という本来の利点が損なわれることは否めない。

2. 研究の目的

本研究では、繊維素材でありながらセンサなどの電子デバイスとして機能するスマートテキスタイルに注目し、その一種である導電性編物を用いることで、無拘束・無侵襲かつ柔軟で通気性が高く、普段の寝具として利用可能なシート型の体圧分布測定センサを開発する。さらに、同敷布により就寝時の体圧分布測定を日常的に測定することで、在宅等における褥瘡兆候の早期検知や警告が可能で、要介護者、高齢者向け見守りシステムを実現することを目的とする。

申請者が開発した導電性編物は、導電性繊維と非導電性繊維の混紡糸による編地自体が電気特性を有する編物(編構造を持つ布)で、天竺編みやゴム編みなどの一般的な編物構造で構成することが可能である。そのため、編物の利点である高い通気性と伸縮性を有し、織物構造の体圧分布センサに比べて、立体的な寝具や人体の形状や変形への追従性が極めて高い。また構造的にしわや折れが付きにくいいため、長時間の繰り返し利用に強く、高い耐洗濯性を有するなどの実用性を備える。こうした特徴から、導電性編物により製作したシート型体圧分布センサは、スマートテキスタイルを含む従来の体圧分布センサが困難であった、柔軟で凹凸に変形する寝具と皮膚との直接の接触圧力分布の測定が日常的かつ長時間にわたり無拘束・無侵襲で可能であると考えられる。さらにその測定結果から、体位変換頻度や、褥瘡好発部の持続的加圧状況の把握が可能となれば、より実用的な褥瘡の早期検知、警報システムの実現が期待できる。

3. 研究の方法

1) 体圧分布測定敷布とシステムの開発

本申請で開発した体圧分布測定敷布の構造および外観を図3に示す。敷布は感圧層2層、回路層2層の4層の編地で構成される。感圧層は20番手相当のPET70% - SUS30%混紡糸による導電性編物と、同番手のポリエステル紡績糸による編地を縦横に縞状に編み込んだ編物、回路層は同番手のPET 60% - AgNi40%混紡糸による導電性編物とポリエステル紡績糸による編地を感圧層同様に縦横の縞状に編み込んだ編物である。いずれもゲージ12Gのゴム編みで、幅40mmの導電性編地と幅10mmのポリエステル編地を交互に編成することで縞を形成する。これらを寝具上に下から回路層(縦縞)、感圧層(横縞)、感圧層(縦縞)、回路層(横縞)の順で4層重ねて敷布を構成する。各層間の縞は直交し、中2層のPET70% - SUS30%編物同士の間は感圧部となり、感圧部と上下で接する外側上下2層のPET 60% - Ag40%編物の縞はその感圧部との接点および導電経路となる。またその面分解能は敷布各層の縞幅と等しく、今回製作した敷布で

は感圧部 40mm 平方，センサ間ピッチ 50mm で格子状に配列される．本実験ではシングルベッドを対象として 1.5m×1m の範囲で測定を行い，30×20 のマトリクス状の圧力分布を測定した．なお層構造であるため，感圧部で測定される電気抵抗値は各層の導電編物内の電気抵抗変化に加え，層間の接触抵抗変化が含まれる．

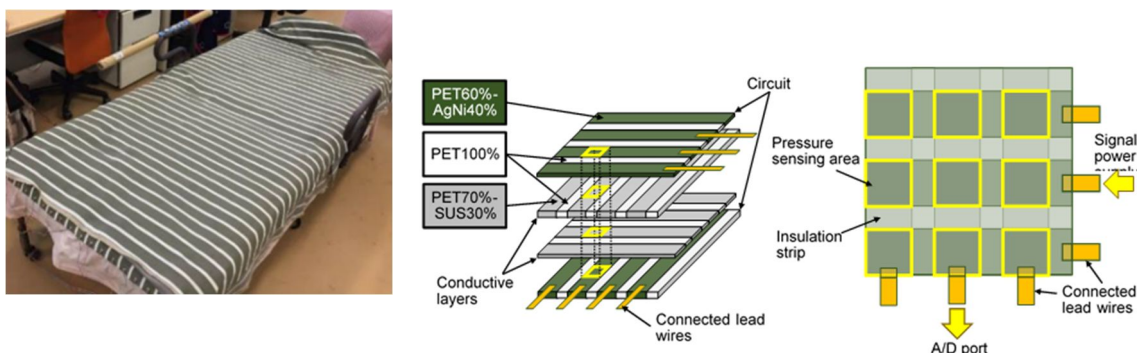
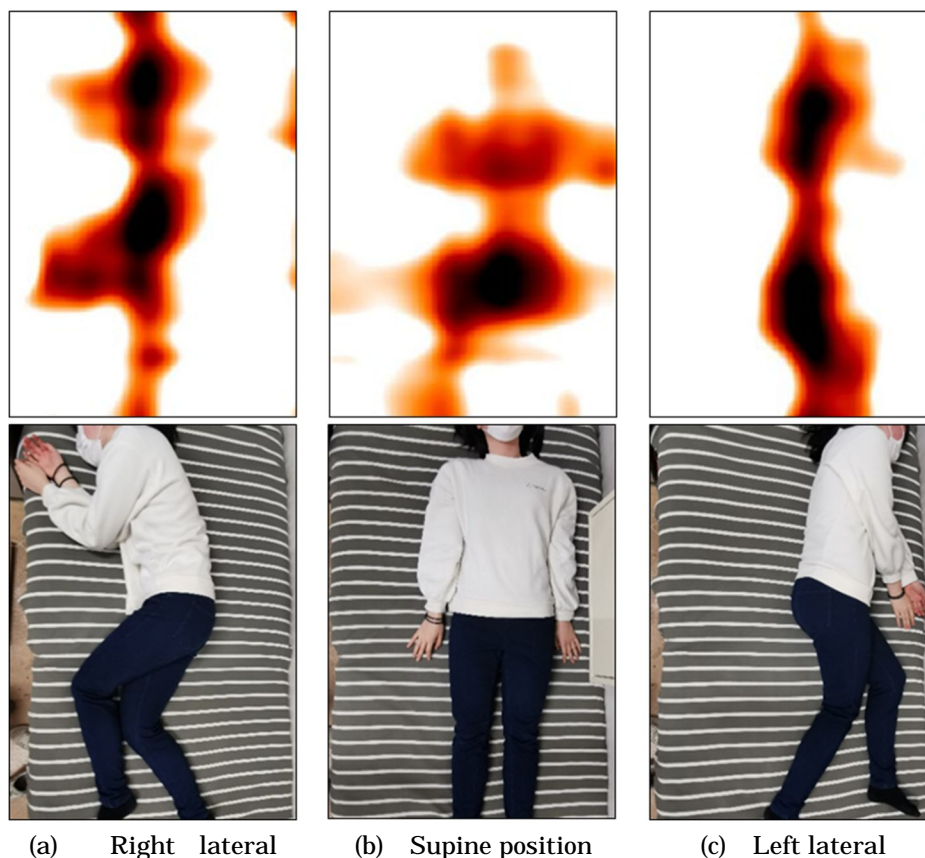


図1 体圧分布測定敷布の外観および内部層構造

2) 測定実験

寝具上に体圧分布測定敷布を敷いた状態で，実際に敷布上で就寝した被験者の体圧分布測定を試みた．被験者数は6名ですべて健康者である．6名の平均年齢は20.0歳，BMIは19.9で，およそ中肉中背と言える．また実際の就寝姿勢の取得のため，ベッド上部からカメラで撮影を行った．本環境下で被験者らはそれぞれ連続して1時間就寝姿勢の測定を行った．本実験では就寝姿勢について具体的に指示しておらず，自由な寝姿勢の体圧データである．ただし，次章の学習データの収集のため，一定間隔で仰臥位を挟み左右に寝返りを打つように指示した．被験者1名について，得られた圧力分布を可視化したものと，測定時の就寝姿勢を図2に示す．無負荷状態の電気抵抗値を基準として正規化した測定値について，ガウシアンフィルタにより平滑化した後，300×200のヒートマップ画像で濃度表示することで圧力分布を視認している．なおノイズ低減と過剰負荷の遮断のため，0.9以上の変化率については0.9，0.3以下の変化率は0.3に固定して不感帯とした．



(a) Right lateral (b) Supine position (c) Left lateral

図2 体圧分布測定敷布による就寝姿勢の測定と測定結果の可視化

3) 測定結果の分析及び就寝姿勢判別と褥瘡好発部の特定

体圧分布データを用いた就寝体位の識別に関して、近年の研究では主に DNN を用いた学習が行われ、従来方法に比べ比較的高い識別率が得られている。本研究においても敷布の体圧分布画像を学習データとして、DNN を用いた就寝体位の識別を試みた。今回用いた識別機を図 3 に示す。入力層は敷布より習得した画像の濃度情報を 25×25 にサブサンプリングして直接入力しており、ノード数は 625 個である。出力層の各ノードは就寝体位のラベルを表しており、数は仰臥位、左右側臥位、その他の 4 個とした。またそれぞれノード数 200 の 2 つの中間層を持つ。活性化関数は出力層が softmax、それ以外は ReLU とした。オプティマイザには Adam を用い、学習率は 0.001 とする。前章の実験で習得した一連の連続した測定データのうち、各体位への変換後さらに約 1 分経過した後のフレームをその就寝姿勢データとして抽出した。よって 1 姿勢につき 1 データとなる。データセットとして仰臥位 300 姿勢 (6 名)、左側臥位 300 姿勢 (6 名)、右側臥位 300 姿勢 (6 名)、その他の圧力分布 200 パターンを抽出した。データ全体を学習データとテストデータとして半数に分割し、学習データを用いて、バッチサイズ 100、エポック数 50 で学習を行い、テストデータにより検証を行った。

また得られた測定結果から、HOG 特徴量と SVM を識別器として利用した褥瘡好発部の特定を試みた。HOG 特徴量の算出から検出器の作成まで機械学習用ライブラリである dlib (King, 2009) (King, 2015) を用いて実装した。データセットのうち、各就寝体位に関する体圧分布画像の半数 450 (150×3) 枚を学習に用いた。褥瘡好発部として仰臥位における仙骨部、左右側臥位における腸骨部と寝具との接触位置を dlib 付属の imglab により矩形で指定し、指定領域の HOG 特徴量を SVM に学習させた。SVM ではソフトマージンと RBF カーネルを用い、前節同様検出器側の要素を極力排すため、コストパラメータは 5 で固定した。学習した特徴をもとに、テストデータとした残る 450 枚の画像について仙骨、腸骨部位候補領域をスライディング・ウィンドウ法により切り出し検出を試みる。検出結果については SVM が検出した矩形領域と、装置上空部から撮影した実際の就寝姿勢と比較し、実施の位置を検出できているか目視で確認した。

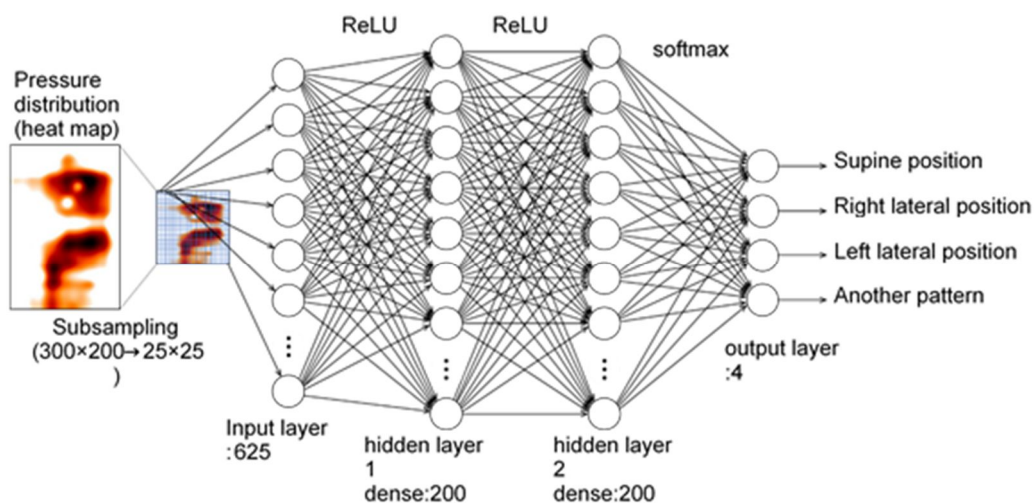


図 3 就寝姿勢判別に用いた DNN モデル

4. 研究成果

1) 体圧分布測定敷布による体圧分布測定

感圧層と配線層の 4 層で構成された体圧分布測定敷布を開発した。層構造により織物型同様、別途配線や感圧部との接点を要さず感圧部をキーマトリクス化できるため、編物ながら高い面密度での体圧分布測定を容易に可能とした。その結果、柔軟で通気性に優れるだけでなく、高い収縮性により、就寝時のしわや折れに強く、長時間にわたり被験者に負担の無い就寝時の体圧分布測定が可能なデバイスを実現した。また、実際に、複数の被験者を対象に測定を行った結果、仰臥位、側臥位とも実際の就寝姿勢と照らしあわせても妥当な測定結果が得られた。さらに褥瘡好発部である仙骨や肩甲骨部と寝具との接触状態も明瞭に確認された。

2) 測定結果による姿勢および褥瘡好発部位の特定

開発した体圧分布測定敷布の測定結果に基づき DNN により就寝体位の識別を行った結果、仰臥位については 93%、平均して 98% の識別率を得られた (表 1)。これは従来の関連研究と比べても比較的高い精度である。過学習などの識別器側の要素を極力排すため、Data augmentation の最適化無しでの学習条件と比較した場合、本研究の識別率は被験者がほぼ日常の就寝状態で測定された体圧分布に基づいた結果としては最も高い。また、特徴量や Data augmentation 最適化無しで高い識別率が得られたことは、逆説的に、開発した体圧分布測定敷布自体が就寝者の就寝体位情報を正確に把握できていたことを示す。その理由として、体圧測定において本敷布が編み物特有の高い伸縮性により就寝時の寝具変形に追従し、従来は困難であった人と寝具との接触曲面に沿った圧力分布が直接測定可能であったことが考えられる。

表1 DNNによる被験者6名の就寝姿勢の判別結果

		Predicted Class				Accuracy [%]
		01	02	03	04	
Actual Class	01 Supine position	140	0	10	0	93.3
	02 Right lateral position	1	149	0	0	99.3
	03 Left lateral position	0	0	150	0	100.0
	04 Other pressure pattern	0	0	0	100	100.0
Average of identification ratio						98.0

褥瘡好発部の検出結果について、図4にSVMが実際に検出した矩形領域を、表2に検出結果のまとめを示す。側臥位における腸骨位置の検出結果に関して90%、96%の高い適合率を示した。仰臥位時の仙骨部位に関しては74%と側臥位時と比べ低い適合率であったが、3つの就寝体位いずれの検出に関しても誤検出率は3%以下という結果を示した。本敷布は実際の寝具変形面との接触圧が得られることから、各接触部位の体圧分布特徴量がより明確に抽出されたと考えられる。この結果から本システムが就寝者の日常的な褥瘡好発部のモニタリングに有効であることが示された。一方、仰臥位における仙骨部位の未検出率が高かった理由として、仙骨部の接触圧分布が腸骨に比べて形状的な特徴に欠け、その分濃度情報に依存していることが挙げられる。特に今回データセットとして用いたヒートマップ画像は、ノイズの低減と体位の視認性を優先して上下限近辺の変化率を不感帯域として処理したため、可視部以外の濃度情報が欠落し、腰部接触の浅い姿勢において接触なしと判断されたと推測される。よってノイズの影響とバスターとなるが、不感帯域を狭める、あるいは単純に学習データ数を増やすことで未検出率の低減が可能であると考えられる。

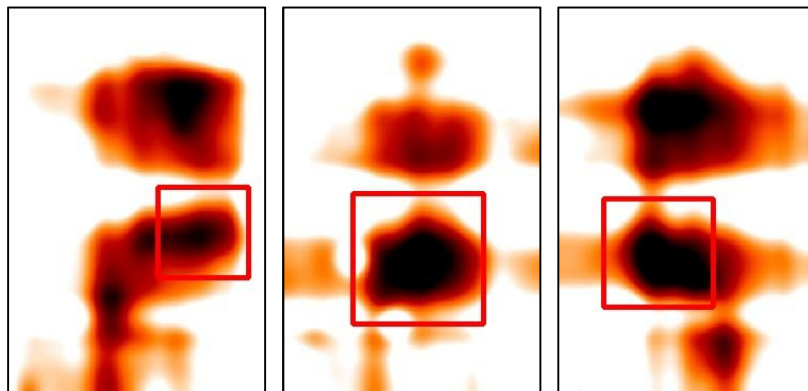


図4 SVMによる体圧分布測定敷布を用いた褥瘡好発部位の特定例

表2 SVMによる体圧分布測定敷布を用いた褥瘡好発部位の特定結果

	Detected accurate position	Detected inaccurate position	Detected no position	Accuracy [%]
Supine position	144	0	6	96.0
Right lateral position	111	2	37	74.0
Left lateral position	135	4	11	90.0
Average of detecting ratio				86.7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 藤岡 潤、吉田善洋、伊勢大成、関 啓明	4. 巻 64
2. 論文標題 導電性編物を用いたウェアラブルセンサによる人体動作の計測と行動識別	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Textile Engineering	6. 最初と最後の頁 19-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.4188/jte.64.19	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3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤岡潤
2. 発表標題 スマートテキスタイルシリーズ 感圧繊維とセンシング
3. 学会等名 石川県次世代産業育成講座・新技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 TAKUMA Riku, FUJIOKA Jun
2. 発表標題 Development of Decubitus Prevention System Using Body Pressure Distribution Measuring Sheet Made of Conductive Knit
3. 学会等名 Comfort and Smart Textile International Symposium（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宅間陸, 藤岡潤
2. 発表標題 導電性編物による体圧分布測定敷布を用いた褥瘡予防システムの開発と評価
3. 学会等名 日本繊維機械学会・繊維学会 北陸支部研究発表会
4. 発表年 2019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
研究 分担者	宮下 大輔 (Miyashita Daisuke) (70353274)	長野工業高等専門学校・機械工学科・准教授 (53601)	
研究 分担者	川除 佳和 (Kawayoke Yoshikazu) (90552547)	石川工業高等専門学校・電子情報工学科・准教授 (53301)	