

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11419

研究課題名(和文) 障害者の安全・安心のためのウェアラブルセンシングシステム

研究課題名(英文) Wearable sensing system for the safety and security of persons with disabilities

研究代表者

外山 滋 (Toyama, Shigeru)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害工学研究部・研究室長

研究者番号：50360681

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：既開発のせん断力センサの改良や測定システムの高機能化などを行い、共同研究者を通して応用研究を行った。具体的には義足の中にセンサを挿入して測定を行ったり、被験者の身体(衣服の上)にセンサを貼り付けた状態で車椅子上で測定を行ったりした。また、センサの基盤となるハンダ付け可能なフレキシブル電極は我々のオリジナル技術であるが、これを利用してシート型トルクセンサなどを新規に開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の成果はセンサや測定システム自体に伴うものと、それをを用いた応用研究成果との両面がある。センサ開発に関しては、既開発のせん断力センサの改良やシステム化になるので学術的な成果とは言いにくい。新たに開発したシート型トルクセンサは構造的にも原理的にも従来に無い物である。特にセンサの構成に液体材料を用いている点は新しい試みであると考えている。一方、応用面では義足の中や車椅子の座席と身体との間など、これまでに測ることができなかった場所のせん断力の測定を行った点で新規性がある。そのため、リハビリテーションの分野での基礎研究になっている。

研究成果の概要(英文)：We improved the already-developed shear force sensor and improved the functionality of the measurement system, and conducted applied research through collaborators. Specifically, the sensor was inserted into the prosthesis to perform the measurement, and the measurement was performed on the wheelchair with the sensor attached to the subject's body (on clothes). In addition, the solderable flexible electrode that forms the basis of the sensor is our original technology, and we have newly developed a sheet-type torque sensor using this.

研究分野：センサ工学

キーワード：せん断力センサ トルクセンサ シート型センサ 車椅子 義足

1. 研究開始当初の背景

現在、様々なウェアラブルデバイスが研究されており、市販されている物も数多くある。しかし、実際のところウェアラブルデバイスを使用することは不快な身体拘束に繋がるため、それに勝るメリットを探す必要がある。一方で、障害者の場合、義手や義足に代表される様に既に身体にデバイスを装着しているため、そこにセンサを組み込むことにさらなる抵抗感は少ないものと考えられる。車いすなども見方によっては装着物の延長であるが、そこにセンサを組み込むことに抵抗感は少ないものと考えられる。特に、障害者特有の事情により、健康管理においても健康者よりセンサを常時装着することのメリットは大きい場合がある。

例えば、褥瘡（床ずれ）などの創傷の発生原因は皮膚へ圧力やせん断力が加わった結果、血流阻害が発生し、それにより細胞が壊死することによるものと考えられている。それに加えて皮膚周辺の湿潤環境等も影響を及ぼすことが知られている。そのため義足との接触部位における圧力やせん断力、あるいは車いすシート上の臀部にかかる圧・せん断力、さらに血流量や皮膚水分量などの計測が有用であると思われる、センサによる測定が可能となれば創傷の予防に繋がる。しかし、センサ自身の物理的サイズのために体表面を圧迫することで、センサ自体が創傷の原因となってしまう。これを避けるには、センサは形状的に薄く、また体表面に合わせて変形可能であることが望ましい。

我々はこれまでに独自の構造と原理に基づくシート型せん断力センサを開発してきた(Toyama et al., Sensors, 17, 1752 (2017))。一般にセンサは固体材料だけで構成されるデバイスであるが、我々の考案したセンサ(図1左)は液体電解質を電極で挟まれたセンサの内部に内包するという特異的な構造をしている。そして、センサに加わる機械的な力による変形を電極間の電流変化として捉えることを動作原理としている(図1右)。このセンサは比較的小型で(厚さ 0.7 mm、直径 10 mm)ある。さらに周辺回路や測定用ソフトを含むシステムも独自に開発してきた。

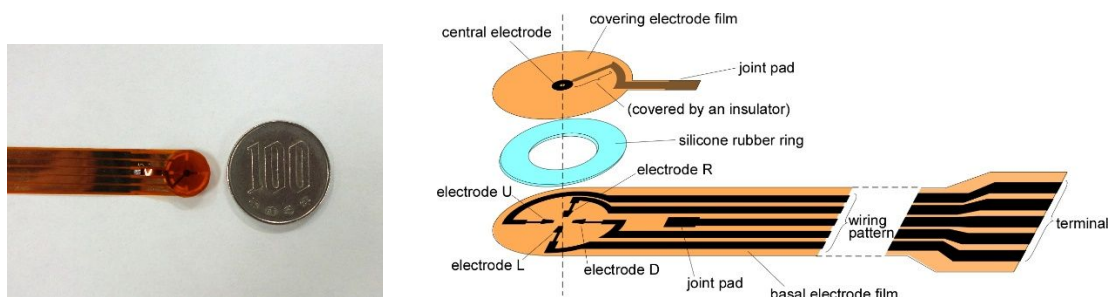


図1 セン断力センサ(左)及びその構造(右)

2. 研究の目的

これまでに開発してきたせん断力センサを起点に、創傷発生の早期発見等に役立つ他のフレキシブルシート型センサの開発を進め、総合的な計測を利用した判断が可能なウェアラブルシステムを開発し、障害者の安全・安心に繋げることを目的とする。

3. 研究の方法

本課題では、上記の様に我々の既開発のせん断力センサを基軸に、その改良による実用化と応用研究に最適な測定システムの拡充を行う。また、せん断力センサを開発する際に培ってきたフレキシブル電極の作製技術(Toyama et al., Sens. Mater., 28, 179 (2016))を利用することで、新たなシート型センサの開発に挑戦する。

さらに、本課題で改良・開発したセンサや測定システムを応用研究者に供給し、障害者の身体表面に関わる応用計測実験を行うことで実用性を確立する。

4. 研究成果

4.1 セン断力センサの高機能化および測定システムの改良

成果の一つとして複数のシート型せん断力センサを同時に使用できる様にマルチセンシングシステムを開発した。図2にその写真を示すが、最大で4個までのせん断力センサの同時計測に対応する。測定システムはモバイル測定回路、及びノートパソコンからなる。測定回路はセンサの信号を受け、これを無線にてノートパソコンに送信するものであるが、マイコンとアナログ回路から構成されている。また、パソコン用ソフトは測定回路からの無線信号を受け、これに補正計算などの演算処理を施したうえで、リアルタイムで画面表示しかつファイル化する。なお、24時間にわたる長時間測定が可能であり、センサ機能のセルフチェックなどを有する。

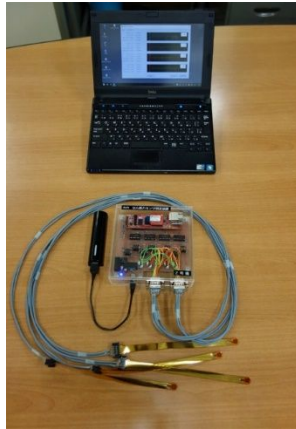


図2 マルチセンシングシステム
(最大4個のセンサに対応)

また、別の成果として、シート型せん断力センサとシート型圧力センサ(市販導電性ゴム型圧力センサ)とを積層化させたハイブリッド型3軸力覚センサを開発した(図3)。図4にはセンサ構造を示すが、異なる原理のセンサを組み合わせることで、厚みの薄い(トータルの厚さ0.9mm)3軸力覚センサを実現した。なお、対応する回路およびノートパソコン用ソフトも開発した。このセンサについてはセンサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム(2018)にて発表した後、論文としてまとめた(Watanabe et al., Sens. Mater., 32, 779 (2020))。



図3 ハイブリッド型3軸力覚センサ概観

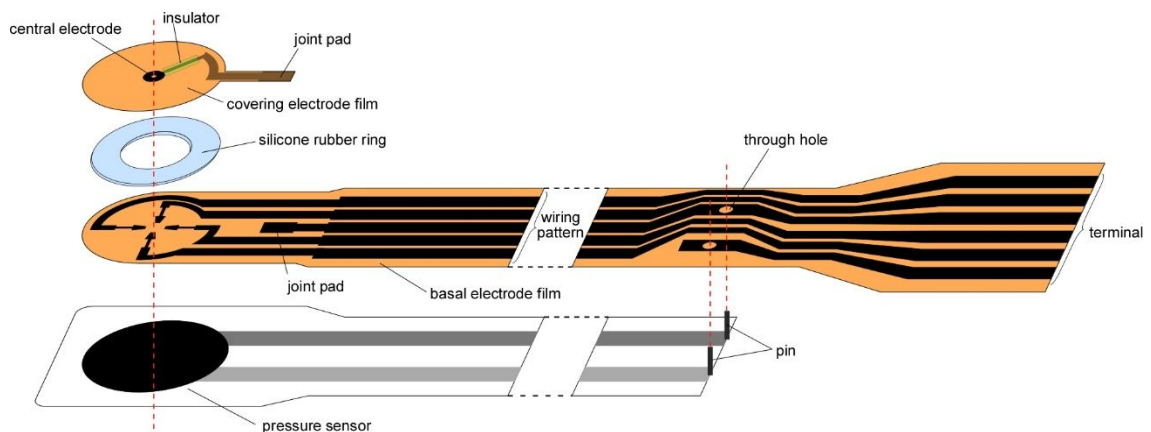


図4 ハイブリッド型3軸力覚センサの構造

4.2. 新規シート型センサの開発

せん断力センサとは別に、新たにシート型トルクセンサを開発した(併せて測定システムも開発)。図5にセンサの写真、図6にセンサの構造図、図7にセンサの動作を示したものを示す。トルクセンサはせん断力センサと同様に、2枚の電極シートとゴムリングとからなる。また、電極シートとゴムリングに挟まれた円板状の空間には電解質が封入されている。このセンサはセンサの鉛直軸を中心とするトルク(ねじれ)によって上下の基板上の電極に重なりや間隙が生じることによる電極間電流の変化を検出する。その電流値からトルクを推定するというものである。上下にそれぞれ2つの電極があるので、隣接する電極間電流は4つになるが、これらの電流を独立に計測する必要がある。そこで、回路的にはアナログマルチプレクサを用いて、高速にスイッチングすることで、4つの電極間電流を順番に計測することとした。その4つの電流値を計算式に入れることによりトルクを算出した。このトルクセンサについては IEEE Sensors 2019

において発表した。なお、その際の Proceedings はオンライン掲載されている。また、国内においてもセンサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム(2019)で発表した。なお、このセンサの応用としては例えば靴の中に設置することにより運動時の足裏のねじれを測定できるのではないかと考えられる。センササイズはせん断力センサと揃えているので、積層化させることも可能である。

さらに、シート型皮膚水分センサの開発も試みた。皮膚湿度が高いことは褥瘡の発生要因の一つとされており、頸椎損傷者の臀部においてしばしば問題となっている。センサとしては複数の電極シートを積層し、厚さが0.3-0.5mmの物を試作した(図8)。このセンサは単純に2つの電極を皮膚に接触させ、その間の電流を測定するものである。せん断力センサと組み合わせることで、褥瘡の発生をより良い確度で予測することに繋がれることと期待できる。

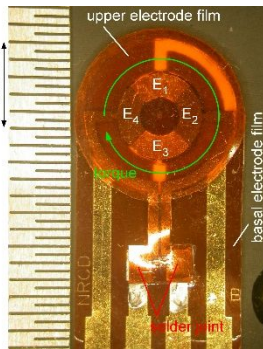


図5 シート型トルクセンサ

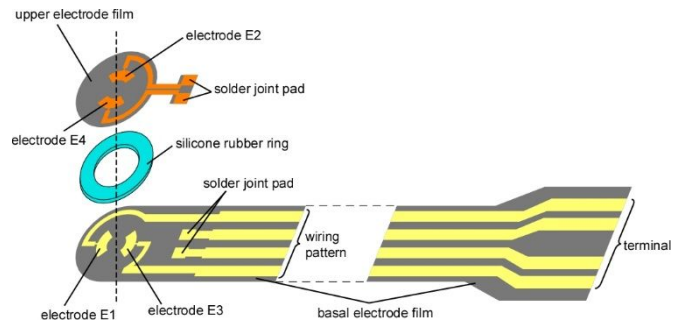


図6 シート型トルクセンサの構造

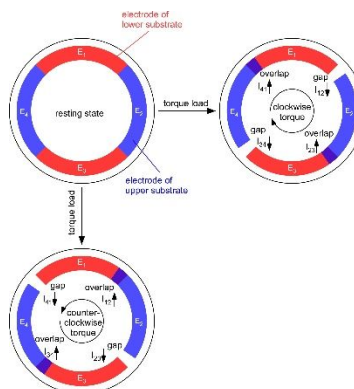


図7 シート型トルクセンサの測定原理

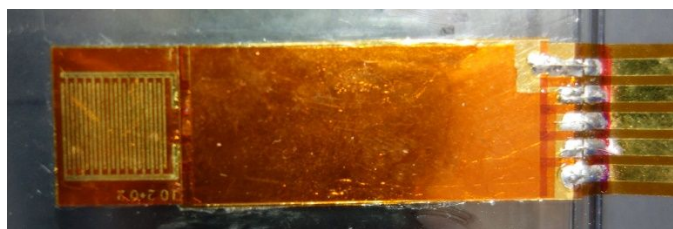


図8 試作皮膚水分量センサ

4.3. 応用計測

上述したセンサや測定システムは必ずしも全て応用研究に供されてはいないが、多くの応用実験が分担研究者らを通してなされた。まず、開発したマルチせん断力測定システム(先述)を用い、車椅子の上で被験者が様々な姿勢をとったときのせん断力を測定した。図9にはその際のセンサの取り付け方の様子を示す。この写真の様に身体側にセンサを貼り付けた後に車椅子に座り、測定を行っている。その結果はせん断力センサやマルチ測定システムの紹介と共に国際学会にて発表した(Euroensors2018)。

また、人体モデル(膝上から肩までの体幹よりなる)の4箇所シート型せん断力センサを貼り付けて電動車椅子の上に設置し、車椅子のリクライニング状況を変化させたときのデータを取得した。その結果はアイルランドで開催される国際学会(ESS2020)にて2020年6月に分担研究者が発表予定であったが、コロナウイルスの影響により学会が延期となった(その後、ESS2022で改めて発表)。

センサを義足内に挿入することによる義足の適合性評価のための数値データ化の試みが別の分担研究者によって行われた。断端の長軸方向の移動(ピストン運動)によって発生する断端表

面と義足ソケット内面とのせん断力が、義足ソケットの懸垂方法の違いによって異なることを見いだしている（第34回日本義肢装具士学会及びISPO 17thにて発表）。さらに、スリーブのみで懸垂したスリーブ懸垂と、スリーブ懸垂にワンウェイ吸着バルブを取り付けた吸着懸垂とで有意な差が現れることを見いだしている（第38回日本義肢装具士学会にて発表予定）。図10にセンサを取り付けた様子を示す。センサは義足ソケット（透明）と断端（この場合はスリーブあり）との間に取り付けられている。

さらに、脳性麻痺者等のリフト移乗の際の二次障害である褥瘡悪化予防の研究として、開発したセンサをシート型釣り具に設置し、リフト移乗の方法の違いによるせん断力の加わり具合を人体モデルによって評価することが試みられた（第35回リハ工学カンファレンスにて発表）。

今後、本研究期間終了後も新たに開発したセンサや測定システムを応用した研究を進めて行くことを予定している。



図9 臀部にセンサを設置



図10 義足ソケット内でのセンサ設置

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Toyama Shigeru, Shirogane Satoshi, Nakamura Takashi, Watanabe Kenta, Hara Kazuhiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Development of Thin Shear Force Sensor Aimed at Improving QOL for Persons with Disabilities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings	6. 最初と最後の頁 704 ~ 704
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/proceedings2130704	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 Watanabe Kenta, Hara Kazuhiro, Toyama Shigeru	4. 巻 2019
2. 論文標題 Novel Sheet-Type Torque Sensor Using Electrolyte	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Conference Paper of 2019 IEEE SENSORS	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SENSORS43011.2019.8956576	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 Watanabe Kenta, Hara Kazuhiro, Toyama Shigeru	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Hybrid Three-axis Load Sensor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 779 ~ 779
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18494/SAM.2020.2656	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10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Shigeru Toyama, Satoshi Shirogane, Takashi Nakamura, Kenta Watanabe, Kazuhiro Hara
2. 発表標題 Development of Thin Shear Force Sensor Aimed at Improving QOL for Persons with Disabilities
3. 学会等名 Eurosensors 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡辺健太、原和裕、外山滋
2. 発表標題 ハイブリッド型3軸荷重センサの開発
3. 学会等名 第35回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村康二、中村隆、今井大樹、外山滋
2. 発表標題 新規シート型せん断力センサの実用評価 -義足ソケットの懸垂方法の比較-
3. 学会等名 第34回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakamura, Koji Nakamura, Hiroki Imai, Shigeru Toyama
2. 発表標題 Measurement of Shear Stresses on a Residual Limb in a Prosthetic Socket
3. 学会等名 ISPO 17th World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Watanabe, Kazuhiro Hara, Shigeru Toyama
2. 発表標題 Novel Sheet-Type Torque Sensor Using Electrolyte
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺健太、原和裕、外山滋
2. 発表標題 液体電解質を用いた新しいシート型トルクセンサ
3. 学会等名 第36回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石濱裕規、中村靖彦、平沼祐次、白銀暁、外山滋
2. 発表標題 リフト移乗開始姿勢が利用者の仙骨部に及ぼす影響
3. 学会等名 第35回リハ工学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Shirogane, Shigeru Toyama
2. 発表標題 Using test dummy experiments to investigate shear force acting between the human body and the wheelchair during seat tilt and recline
3. 学会等名 7th European Seating Symposium (ESS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 樋口凱、中村隆、外山滋、中村康二、阿久根徹
2. 発表標題 下腿義足の懸垂方法の違いがソケットと断端間に生じるせん断力に与える影響
3. 学会等名 第38回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

シート型せん断力センサの開発
<http://www.rehab.go.jp/ri/departj/rehabeng/629/630/>

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	中村 隆 (Nakamura Takashi) (40415360)	国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 義肢装具技術研究部・義肢装具士長 (82404)	
研究分担者	白銀 暁 (Shirogane Satoshi) (90404764)	国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 福祉機器開発部・研究室長 (82404)	

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
---------	---------