

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04060

研究課題名（和文）座席型モビリティ機器を使う重度肢体不自由者の為の12時間自動シーティング技術開発

研究課題名（英文）Development of 12-hour automatic seating technology for individuals with severe physical disabilities using seat-type mobility devices

研究代表者

白銀 暁（Shirogane, Satoshi）

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

研究者番号：90404764

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：座席型モビリティ機器を使う肢体不自由者にとって、褥瘡リスクは社会参加を妨げる要因である。そのリスク管理に関して、本研究は終日保持可能な安全な座位環境を実現するための自動シーティング技術の開発を目指した。シーティング技術、モニタリング技術、座席制御技術の3つに分けて開発を進め、文献調査に基づき目標背座角度を抽出し、圧・せん断力センサの多点計測システムを開発してその範囲内での角度変化による接触面の状況を確認、3軸加速度センサを内蔵した小型無線マイコンから変位角度を計測し高性能マイコンを介して電動車椅子の外部入力端子にスイッチ信号を入力することで、背座角をプログラマブルに制御できるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電動車椅子使用者の褥瘡発生リスクの低減を目的とした研究は多数存在するが、過去の研究は自己除圧可能な者や介助者が介入可能な者を対象としたものが多く、重度肢体不自由者を対象として自動的に褥瘡リスクを軽減させるための技術開発の意義は大きい。単に背もたれを倒すのではなく作業姿勢を維持できる座位姿勢の範囲、電動車椅子上で座者の身体接触面の状態をモニタリングするための薄く柔軟なセンサとその多点計測システム、それらを踏まえて電動車椅子の姿勢をプログラマブルに制御する技術は、将来の重度肢体不自由者のさらなる社会参加、一億総活躍社会の実現に向けた貢献が期待できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The risk of pressure ulcers is a hindrance to social participation for people with disabilities who use seating mobility devices. This study aimed to develop an automatic seating technology to achieve a safe and stable seating environment that can be maintained throughout the day. The development was divided into three categories: seating technology, monitoring technology, and seat control technology. Based on literature research, the target backrest angle was determined. A multi-point pressure and shear force sensor measurement system were developed to confirm the contact surface situation due to angle changes within the predetermined range. A small wireless microcontroller with a 3-axis accelerometer was used to measure the displacement angle, and a high-performance microcontroller was used to input switch signals to the external input terminal of the electric wheelchair to programmable control the seat and back-support angle.

研究分野：福祉工学

キーワード：シーティング 電動車椅子 褥瘡予防 自動制御 社会参加 車椅子 座位保持装置 補装具

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2017年11月、第195回国会において「一億総活躍社会の創造」が宣言された。2019年7月には、参議院選挙において2人の重度障害者が国会議員となったが、その就労中には障害者総合支援法に基づく介護サービスが受けられないという問題が明らかとなった。電動車椅子等を使用する重度肢体不自由者において、食事や排泄の介護の必要性は当然のことながら、長時間座位による褥瘡発生リスクは社会参加を阻む最重要課題の一つである。そのリスク管理に関する研究は数多く行われているが、多くは活動度が高く自ら除圧動作を行うことができる者を対象とするか、介助者を必須とするか、あるいは安静時臥位などの特定状況下に限定された。重度肢体不自由者が、健常者と共に社会の一員として地域活動や就学・就業等に参加するためには、現実的に、朝起床して電動車椅子に乗車してから夕方帰宅して降車するまでの(一部の休憩時間を除いた)約12時間の座位保持が必要である。しかし、研究開始時点では、介助無しにこれを実現するような技術、および、その実現に向けた研究は見当たらない状況であった。

2. 研究の目的

このような課題に対する理想的な解決法の一つは、多くの現場で導入される褥瘡予防用マットのように、車椅子使用者の企図に関わらず褥瘡リスクが自動的に管理されることである。しかし、褥瘡予防用マットは使用者がその上で背臥位を取り、自身では動かない安静状態を想定しており、そのため圧計測も十分に行わずに各部の空気圧管理のみを行っているのに対し、本研究が対象とする座席型モビリティ機器の上での実用的な座位姿勢では、各種の活動参加による姿勢変化およびそれに伴う接触面の圧・せん断力の変化が見込まれるため単純ではない。このため、それらをモニタリングしつつ、電動車椅子のティルト・リクライニング角度等を制御するような技術開発が必要であると考えられた。本研究の目的は、12時間の座位保持に必要なシーティング技術、身体接触面の圧・せん断力モニタリング機能、および電動車椅子のティルト・リクライニング角度制御機能の開発を通して、実現可能な方法論を明確化することであった。

3. 研究の方法

自動シーティングに必要な技術の開発研究は、大きく以下の3つに分けて進められた。

[1]シーティング技術の開発

本研究は、一定時間毎にリクライニング姿勢を取るような単純な対応ではなく、地域活動や就業・就学等においては座位での作業姿勢を可能な限り保持したまま、褥瘡リスクを低減させるような介入方法を検討した。これまでの研究報告等に関する文献調査等を行い、座席のティルト・リクライニング角度などを検討し、12時間座位保持のアルゴリズム案を作成する。

[2]モニタリング技術の開発

我々は過去の研究によって、厚さ1mmを切るせん断力センサ(約1cm, 図1)を独自開発しており、さらにシート型圧力センサを積層して圧計測定にも対応したもの(シート型3軸力覚センサ、図2)を開発済みである。

シート型3軸力覚センサの基礎となるせん断力センサは上下2枚のポリイミド製電極フィルムの間に厚さ0.5mmのゴムリングを挿入したものである。2枚の電極フィルムとゴムリングとに囲まれた円板状の空間には電解質(液体)が充填されていることがこのセンサの特徴で、この点がオリジナルな構造となっている。センサの表面に水平な力(2次元)が加わるとゴムの変形により上下のフィルム上の相対する電極の位置関係が力の方向にずれる。これにより上下の電極間の距離が変化することとなり、電解質を介して流れる電流が距離の変化に応じて増減する。一言で述べれば電極間の静電容量変化(よく誤解される)ではなく抵抗変化を利用している。

本研究課題では身体と電動車椅子との間の様々な部位における計測を同時にすることから計測システム面での開発を進め、臀部、背部など8つの部位を12時間持続的に計測可能な装置を開発することとした。



図1 せん断力センサ(2軸)



図2 3軸力覚センサ(せん断力センサと圧力センサを積層)

[3]座席制御技術の開発

専門職や介助者の介入無しに、身体接触面に作用する圧・せん断力を変化させるには、座席自体が動く必要がある。本研究では、この点に関しては既存の技術を応用することとし、ティルト・リクライニング機能を有する高機能電動車椅子を用い、それを外部からの入力信号によって制御できるようにした。

4. 研究成果

3つに分けて進めた開発技術の詳細、および、それらを組み合わせるなどして行った人型ダミーおよび実際のヒトを対象とした試験について以下に説明する。

[1]シーティング技術について

座位姿勢に関連する文献調査によって、目指す 12 時間シーティングにおける姿勢変換のアルゴリズムの素案となり得る情報を収集・抽出した。

人間工学領域においては、オフィスでの作業姿勢に関する規格(JIS Z8515:2002)が抽出され、椅子に座った状態での「観視角」は水平から下方 60 度の範囲であるとされていた。医学領域において、Janら (Arch Phys Med Rehabil., 94(6):1207-10, 2013) はティルト 15 度以上で体重が臀部から背部へ移動するとし、ティルト 45 度、リクライニング 120 度で最大除圧になるとした。また、Janら (Arch Phys Med Rehabil., 94(6):667-72, 2013) はドップラー血流計を用いた計測において、除圧後 1 分 51 秒で臀部の血液の還流が回復するとし、3 分間以上の除圧を推奨した。これらを踏まえ、車椅子上で前方に可視領域を残したまま可能なリクライニング角度の上限値を 60 度に設定した。作業姿勢の維持を条件とする今回のケースでは、最大除圧姿勢は取り得ないが、ティルト 15 度以上の実現は可能であり、除圧姿勢の 3 分間以上の継続と組み合わせることで用いることとした。

[2]モニタリング技術について

3. [2]で述べた様に本課題下では最大で 8ch のシート型 3 軸力覚センサを同時に取り扱うための測定システムの開発を行った。装置は主に測定回路とノートパソコンとで構成されている(図 3)。

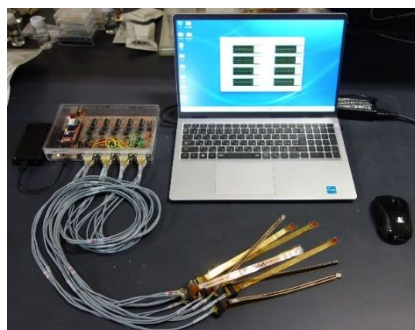


図 3 測定システム概観

開発した測定回路は図 4 の様に自主開発した回路基板に市販の小型マイコンモジュール、電源回路、アナログ回路などで構成されている。この測定回路には 8 つのコネクタが取り付けられており、最大で 8 つの 3 軸力覚センサを接続可能である。電源は市販のスマホ用モバイルバッテリーを接続して用いる様になっているが、電源電圧を安定化させるために DC/DC コンバータを経て回路に電源供給を行っている。センサからの信号はオペアンプを主体とするアナログ回路によって電流電圧変換、増幅、整流、平滑化を受けた後、アナログマルチプレクサを介してマイコン上の A/D 変換器を介してデジタル化される。さらにデジタル値として簡単な処理(移動平均など)を受けた後、Bluetooth によりノートパソコンにタイムスタンプとともに測定値が送信される仕組みとなっている。上述の様にアナログマルチプレクサを使用しているため、容易に多チャンネル対応ができるものの、チャンネル数が増えるとサンプリング速度が遅くなるとともにデータ通信に負荷がかかる。そこで、1ch モード、2ch モード、4ch モード、8ch モードと必要に応じて切り替えられる様になっており、この切り替えはノートパソコンからの指令によって行うようにした。これによりチャンネル数が少ないときには高速なサンプリングが可能となっている。

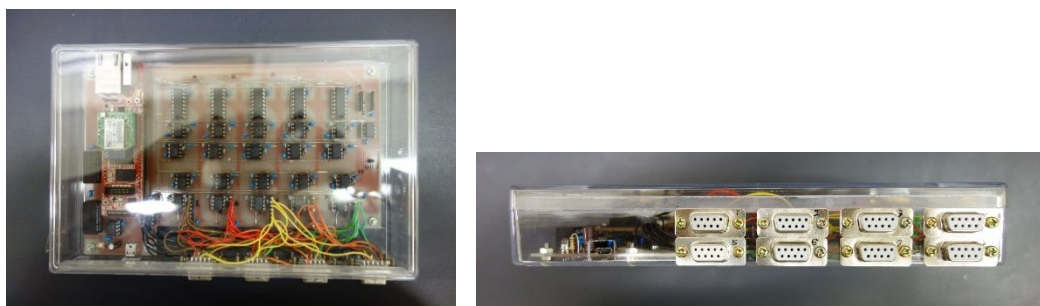


図 4 測定回路(左: 正面写真、右: 側面写真)

図 5 にはノートパソコンの画面例を示す。ノートパソコン用のソフトも自主開発してものであり、測定回路からのデータ受信、測定回路への測定開始および停止指令や測定モード指定、測定値のデータ処理、画面へのリアルタイムデータ表示、ファイルへの保存等の機能がある。

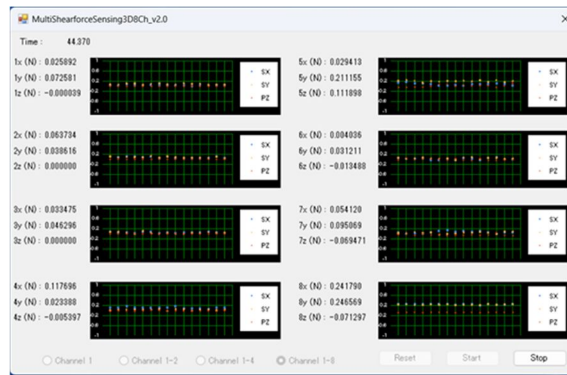


図5 測定画面例

[3] 座席制御技術について

電動車椅子のティルト・リクライニング角度制御を実装するにあたり、以下の3つの要素を開発した。1. 背面、座面の角度検出用センサの作製。2. 電動車椅子の外部入力端子へのスイッチ指令を送信する装置の作製。3. 1、2を接続し、適切な背座角度になるような制御プログラムの作成。作製した電動車椅子背座角度制御システム（図6）の詳細を以下に示す。

1. ティルト角度の検出用として座面、リクライニング角度の検出用として背面にそれぞれ3軸加速度センサを内蔵した小型無線マイコン（M5Stick C Plus）を取り付け、重力方向からの変位角度を計測した。
2. 高性能マイコン（Raspberry Pi 3 Model B+、以下、RPI）の外部出力端子に電磁リレーを接続し、電動車椅子の外部入力端子にスイッチ信号を入力することで、電動車椅子へのティルトおよびリクライニングの上下方向へのモーター駆動を実現した。
3. RPIを加速度センサとBluetooth接続し背座角度を取得し、その角度に合わせてRPI内蔵のPythonプログラムにて電磁リレーをON-OFF制御することで目標角度の ± 5 度の範囲に制御するようにした。

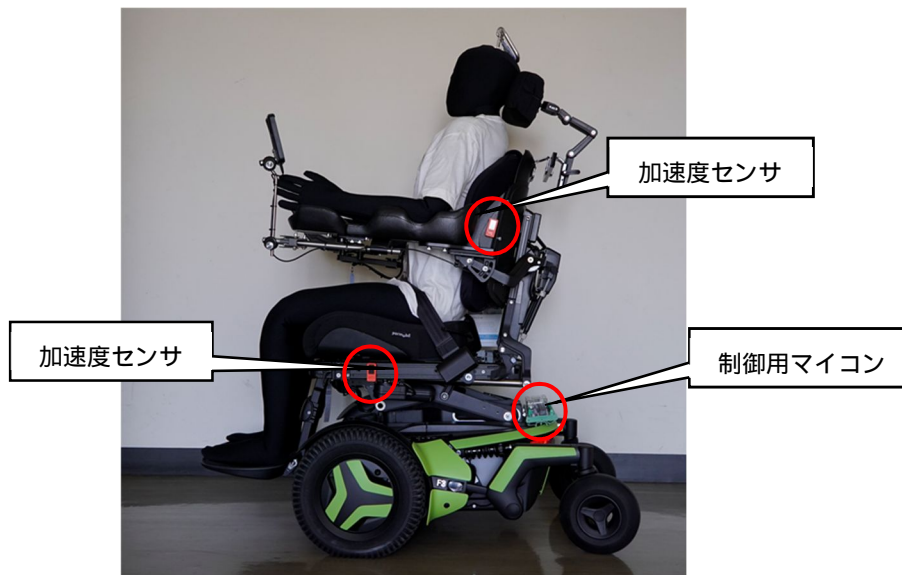


図6 作製した電動車椅子背座角度制御システム

[4] ダミーおよびヒトを対象とした確認試験について

構築したシステムの動作確認、および抽出した設定角度における接触圧およびせん断力の状況を確認するために、まずヒト型ダミーを用いて実験を実施した。人型ダミーの背中と臀部の4カ所にセンサを設置し、電動車椅子を5回ずつティルト・リクライニングさせた。その結果、センサの出力パターンは再現性があり、ヒト対象試験へ進むのに十分な妥当性を持っていることが確認された（図7、図8）。一方、ティルト・リクライニングでは大きく現れないと考えられた内外方向のせん断力が予想以上に大きく、機器や試験方法の見直しが必要であることがわかった。

これらの確認を経て、最終的に健常者1名を対象とした実験を実施し、設定角度範囲内での電動車椅子のティルト・リクライニングにおける接触圧およびせん断力の変化を確認した。現在、詳細な解析を行っており、今後、公表を予定している。

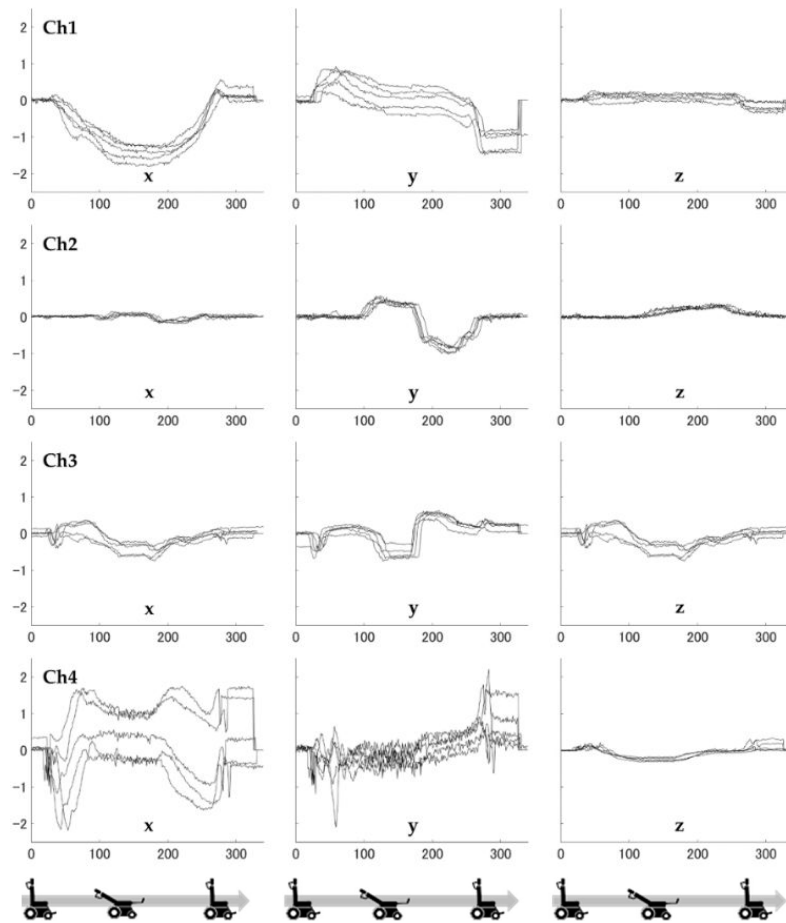


図7 各部に配置した3軸センサの計測例（リクライニングパターン）

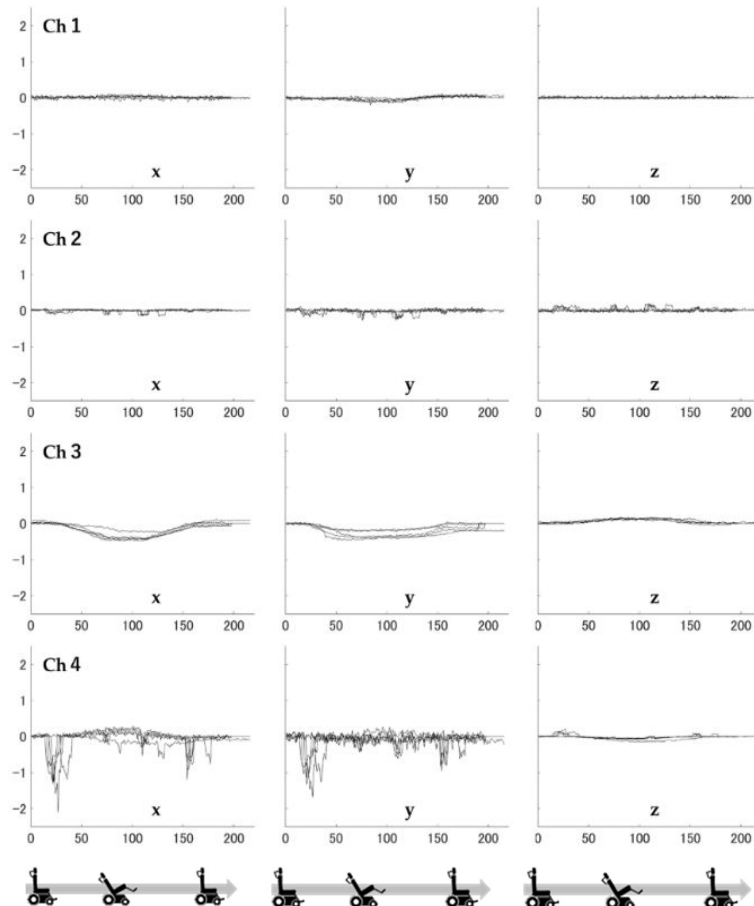


図8 各部に配置した3軸センサの計測例（ティルティングパターン）

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 1件）

1. 著者名 Shirogane Satoshi, Toyama Shigeru, Hoshino Motonori, Takashima Atsushi, Tanaka Toshiaki	4. 巻 19
2. 論文標題 Quantitative Measurement of the Pressure and Shear Stress Acting on the Body of a Wheelchair User Using a Wearable Sheet-Type Sensor: A Preliminary Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 13579 ~ 13579
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijerph192013579	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5件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 白銀暁, 星野元訓, 森田智之
2. 発表標題 自動シーティング技術開発におけるシート・バックサポート角度制御の目標値に関する文献調査
3. 学会等名 第16回日本シーティング・シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白銀暁, 外山滋, 星野元訓, 高嶋淳
2. 発表標題 車椅子ティルト・リクライニング時の接触圧とせん断力をモニタリングする システムの開発に向けた予備的計測
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022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 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白銀暁
2. 発表標題 シーティングにおいて未だ容易に見えざる力である「せん断」
3. 学会等名 第17回日本シーティング・シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 外山滋
2. 発表標題 せん断力を計測するためのウェアラブルセンサの開発
3. 学会等名 第17回日本シーティング・シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022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	星野 元訓 (Hoshino Motonori) (30425657)	国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・その他 部局等・その他（移行） (82404)	
研究分担者	田中 敏明 (Tanaka Toshiaki) (40248670)	東京大学・高齢社会総合研究機構・特任教授 (12601)	
研究分担者	外山 滋 (Toyama Shigeru) (50360681)	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 (82404)	

6. 研究組織（つづき）

	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	亀ヶ谷 忠彦 (Kamegaya Tadahiko) (90455949)	群馬医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授 (32307)	
研究分担者	高嶋 淳 (Takashima Atushi) (90711284)	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・研究員 (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