

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：51501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16476

研究課題名(和文)異なるセンサ情報を融合による介助式車椅子のアシスト力の生成と実装

研究課題名(英文) Generation and implementation of assistive force for assisted wheelchair by fusion of different sensor information

研究代表者

小野寺 良二 (Onodera, Ryoji)

鶴岡工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：40460331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：超高齢社会を迎えた我が国の老老介護の現状に対し、介護者のQOL向上を目的に福祉機器の中でも需要が高い車椅子に着目した。車椅子操作のメカニズムの定量的な解析方法、および解析に基づく車椅子形状の提案をした。さらに、慣性センサを用いた簡易的な歩行状態の計測により、車椅子操作時の介助者の動作と介助力は連動し、その両者には規則性があることを明らかにした。最終目標である運動と力覚情報の融合によるアシスト力の生成法の提案には至らなかったが、実現のための有効な結果を残した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題を遂行するにあたり、日常的に使用頻度の高い福祉機器である車椅子の介助者および乗車者の操作メカニズムを明らかにした。これにより、今後の新たな機器の提案に有効なものとなったと考える。また、力覚情報による人間が操作の解析や、これまで複雑な解析が用いられてきた歩行動作をモーションセンサのみで簡易的に把握できることを示したことで、車椅子以外の3次元運動における種々の解析に有効な手法の一例となった。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the QOL of caregivers, I focused on wheelchairs, which are in high demand among assistive devices, in the current state of "elderly care by the elderly" in Japan, which had entered a super aging society. I proposed a quantitative analysis method of wheelchair operation, and a wheelchair structure based on the analysis results. Furthermore, by measuring the walking state using a small motion sensor, I clarified that the movement and the assistance force of the caregiver during wheelchair operation are linked, and that both have regularity. Although I could not reach the final goal of generating assist force by fusing the motion information and the force information, I obtained effective results for the realization.

研究分野：計測制御工学、医療福祉工学

キーワード：車椅子 力覚情報 介助力 歩行

### 1. 研究開始当初の背景

総務省の人口統計によれば、現在我が国の総人口に対し、65歳以上の高齢者人口の割合は20%を越え超高齢社会をむかえており、2050年には4人に1人は高齢者となることが予測されている。加えて、厚労省の介護保険事業報告書によると、要支援者および要介護者の増加傾向にある。この高齢化は被介護者のみならず介護者にもおよび、高齢者が高齢者を介護する「老老介護」が深刻な問題となっている。そのため、介護側の負担軽減のための高齢者の自立支援、福祉用具や支援機器の提案、すなわちQOL向上のための支援技術が注目されている。

様々な福祉用具や支援機器の中でも杖や特殊新台の利用・所有状況の割合が多い中、移動を支援する機器では車椅子の需要は高く、上述の高齢化の現状からもその需要は増加することが推測される。そこで、本研究では福祉用具・支援機器の中でも需要が高い車椅子に着目し、車椅子を使用する介助者の負担軽減のための新たなアシストシステムの研究を開始した。

### 2. 研究の目的

アシスト付きの車椅子は1990年代中頃より着目され、研究・開発が行われている。しかし、その多くは車椅子使用時の力およびトルクの力覚情報によるアシスト力の生成であった。車椅子による介助をアシストする上で力覚情報は重要なパラメータであるが、操作性や制動性等にも配慮する際、力覚情報以外の運動情報、特に介助者の運動情報が重要であると考えた。そこで、本研究では、車椅子操作における力覚情報および介助者の運動情報を定量的に捉え、車椅子操作のメカニズムの解明、操作しやすい車椅子形状の検討、さらに力覚情報と運動情報の関連性を明確にし、最終段階としてそれらの結果を融合させたアシスト力の生成法を提案することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 車椅子の感覚的操作の定量的解析：既存の車椅子を用い、車椅子操作の力学的特徴を抽出した。主な検討項目は介助者の介助力、乗車者の操作力とした。まず、介助力については、図1に示すように、既存の車椅子のハンドル部に6軸力覚センサを設置し、介助時のハンドル部に作用する力およびトルクより、ハンドル高さおよび形状について調査した。ハンドル形状は既存のハンドルの持ち手の他に横持ち(内・外)、縦持ちの計4種類とした。



図1 介助力計測用の車椅子のハンドル部

した。実験方法は、ハンドル高さおよび形状を変えることができる計測用の車椅子を用いて、身長異なる5名の男性協力者にて実施した。それぞれの協力者において、ハンドル高さを6段階で実施し介助力を計測した。なお、走行区間は平坦直線路10mとし、操作開始2mと停止前2mを除いた定常走行状態の6mの取得データを採用した。次に操作力については、図2のように、既存の車椅子のハンドリム部を改造し、車軸部の6軸力覚センサを取り付け、乗車者自らが車椅子を操作する際のハンドリム把持部の力とトルクを計測した。車椅子操作の特性をより明確にするために、平坦面ではなく6度の勾配をつけた傾斜面上の走行とした。なお、ハンドリム把持部の操作力の計算においては、力覚センサ情報は車軸上のもので把持部のものではないため、実際の操作力とは異なる。そこで、得られたセンサ情報をハンドリム把持部に変換する必要がある。本研究では金城らの変換方法を採用し、車軸上のセンサ情報からハンドリム把持部に変換し操作力(力とトルク)を得た。



図2 車軸上への力覚センサ設置

(2) 介助者の車椅子操作時の運動情報の取得と介助力との関係：上記(1)の結果をもとに、介助者の車椅子操作時の運動と介助力の関係について検証した。介助者の運動は主に車椅子操作時の歩行動作とし、車椅子を前方に押し出す動作である。歩行動作は小型モーションセンサを用い、外踝から上方に10cmの位置にセンサを左右両脚に貼り付け歩行状態を取得した。図3に用いたモーション

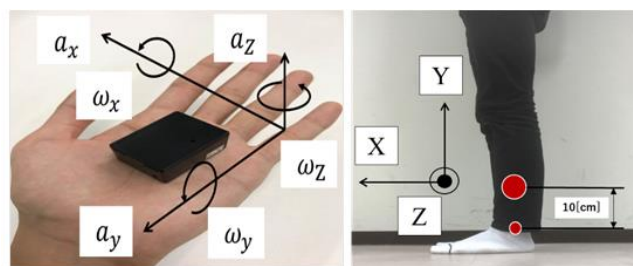


図3 小型モーションセンサ(左)、センサ貼付位置(右)

センサと貼り付け位置を示す。この状態で車椅子を操作することで、モーションセンサより3軸方向の並進加速度と3軸方向の角速度が計測できる。なお、モーションセンサから得られる情報の中で、人体を横から見た面(以下、矢状面)におけるZ軸まわりの角速度 $\omega_z$ を数値積分した角度(以下、下腿部角度 $\theta_z$ )から歩行動作を把握した。介助力は車椅子を前進させる際の前

向への押し出し力から把握した。図 4 に計測用の車椅子を示す。センサ部は上記(1)と同じ構造であり、その他にポータブル電源、計測用 PC、65kg の乗車者を想定した 20kg のポリタンク 2 個、20kg の錘、その他計測機器 5kg を載せている。これにより操作時の 3 軸方向の力と 3 軸まわりのモーメントが計測できる。なお、本実験では力覚センサから得られる情報の中で前後方向の力  $F_z$  のみに着目した。実験は屋内の 30m の平坦直線路で実施した。両センサのサンプリング周波数を 100Hz で合わせ、同期についてはオンライン上ではできないためトリガー信号を与えオフラインで同期させた。

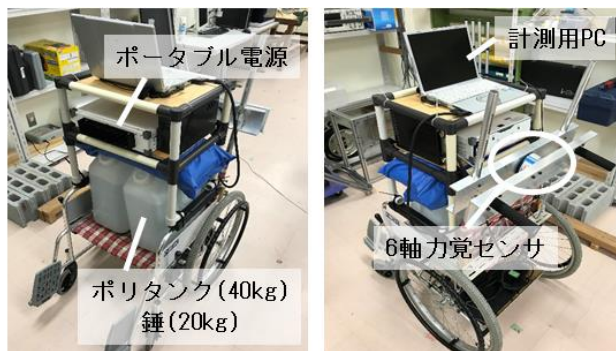


図 4 介助力の計測用の車椅子

#### 4. 研究成果

(1) 介助者の車椅子操作時の介助力の研究成果を述べる。図 5 から図 7 に平坦直線路走行における協力者 5 名の各ハンドル高さにおける作用力とトルクを示す。走行が平坦直線路であることから、本研究では上下方向の作用力  $F_y$ 、進行方向の作用力  $F_z$ 、 $x$  軸まわりのトルク  $M_x$  に着目し、5 回分の平均値を示している。この結果より、ハンドル位置が高くなるにつれ、作用力およびトルクともに小さくなる傾向が確認された。これより、平坦直線路での車椅子の操作においては、ハンドルが高い方が操作しやすいことが示唆された。この結果からはセンサ取り付け前のハンドル高さが約 810mm であることから、市販されている車椅子のハンドル高さは操作のしやすさをみた場合は低いと考えられるが、日本人の青年男子の平均 (1705 mm) より高い協力者が多かったことと高齢者の平均身長 (1586mm) を鑑みると既存のハンドル高さが適切であることが言えた。また、ハンドル形状についても同様に既存の車椅子の持ち手が総合的に操作しやすいという研究成果を得た。

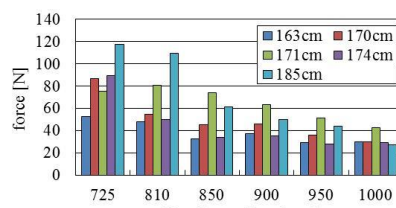


図 5 上下方向の作用力  $F_y$

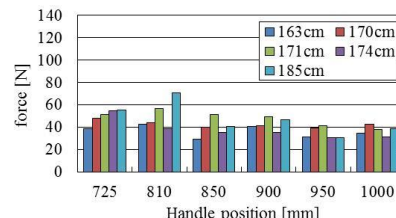


図 6 進行方向の作用力  $F_z$

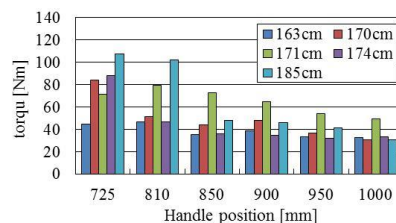


図 7  $x$  軸周りのトルク  $M_x$

(2) 乗車者の車椅子操作時の操作力の研究成果を述べる。図 8 に勾配角 6 度の傾斜面上を走行したときの操作開始から一漕ぎ時のハンドリム把持部の作用力とトルクを示す。なお、横軸は操作の開始から完了までを正規化し、進捗を 0-100% で表している。すなわち 100% で一漕ぎの操作が完了したことになる。この計測結果より、車椅子を操作するにあたり、進行方向 (前進) の  $x$  軸方向の作用力  $F_{hx}$  よりも、斜面に対して押しつける  $y$  軸方向の作用力  $F_{hy}$  や車軸方向である  $z$  軸方向の作用力が大きな値となることが確認された。特に開始直後には  $z$  軸 (車軸) 方向の作用力が大きい。また、各軸まわりのモーメント、すなわちトルクにおいては、各軸のトルクの発生やピークのタイミングはほぼ一致しているが、 $y$  軸関するトルク  $M_{hy}$  が他軸に比べ大きく検出された。これより、実際の車椅子操作では、操作開始時に一度ハンドリム把持部を体方向に近づけ、その後前進するために手首を外側に捻りながらハンドリムを押し出す動作であることがいえる。つまり、本来前進するための推進力として予想された  $x$  軸方向の作用力以外の要素が、車椅子操作時に作用していることを確認した。

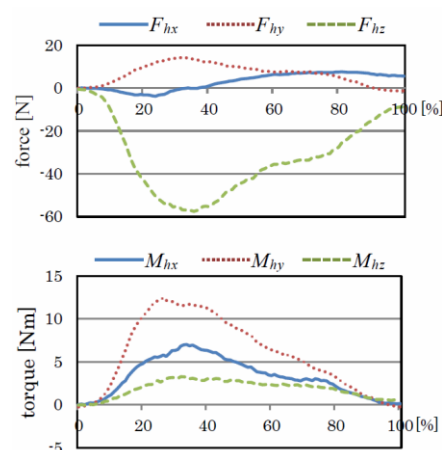


図 8 傾斜面走行一漕ぎ時の操作力 (上図が作用力, 下図がトルク)

(3) 介助者の車椅子操作時の歩行動作と介助力の関係についての研究成果を述べる。乗車重量 65kg の車椅子を平坦直線路 30m 間で操作したときの、協力者 1 名の試技 1 回分の歩行動作把握のための左右の下腿部角度を図 9\_(a), (b) に、介助力を図 9\_(c) に示す。なお、図 9 の 3 図とも操作開始から終了までの間の、開始直後と終了時を除く定常状態の 5 秒から 15 秒の結果を示している。図 9\_(a), (b) の下腿部角度はモーションセンサで取得した歩行時の矢状面の角速度を積分して得ている。角度 0 度は静止立位状態であり、歩行時は 0 度を中心に正負の角度を繰り返す。図中の① (正の最

大値から負の最大値への移行)は踵接地からつま先離床時の立脚期, ②(負の最大値から正の最大値への移行)はつま先離床から踵接地までの遊脚期を表している。歩行ならびに走行は立脚と遊脚を繰り返すことで行われるが, 左右ともに立脚期と遊脚期を周期的に繰り返している。歩行は必ずどちらか一方の足裏が地面に接地する足低接地期が存在し, 足が着地した後および踵を上げる前まで両足が地面にあり, 決して両足が地面から同時に離れることはない。一方, 歩行に対して走行は両足が空中にある時間が存在する。したがって, 本実験が歩行による動作であることが確認でき, 下腿部角度から歩行動作を把握できることを確認した。なお, 他の協力者においても歩幅の大小によって正負の最大角度に違いがでてくるが同様に歩行動作を把握することができている。図9(c)は車椅子を前進させたときの進行方向の介助力である。車椅子を押し出しながら前進するため, 介助力は常に正の値となるが, その介助力には周期性があることが確認できる。図4中の塗りつぶし部分の一区間を例に説明すると, 積極的に前方に押し出す動作は谷側のピークから山側のピークにかけての区間で行われていることになる。

歩行動作と操作力の関係は, 図9(a)~(c)を時間軸上で比較し一区間を例に説明すると, 積極的に押し出したピークは左右どちらかの踵が接地したときに現れていることがわかる。一方, 踵接地側とは逆の脚については下腿部角度が正の値から0度を通して負の値に移したところで押し出しのピークが確認できる。下腿部角度0度は上述のように静止立位状態である。この状態を立脚中期とした場合, 歩行動作は立脚中期の0度を基準に周期的に繰り返されるため, 立脚中期前後に積極的な押し出しが行われているといえる。つまり, 積極的な押し出しは一方の脚が立脚中期に入る前で, かつ一方の脚が遊脚状態で開始され, 動作の終了は遊脚側が踵接地, つまり両脚が支持された時点となっていることが確認できる。これより, 積極的に進行方向に押し出す操作は歩行と連動して行われているという成果を得た。

最後に本研究の研究開始当初の目的であった上記成果を融合させたアシスト力の生成については, その有効な手法までを提案することができなかった。その理由には, アシスト力の生成に運動情報(主に加速度情報)を融合させる際に, 多軸運動による軸間干渉や数値積分処理によるドリフトが時間経過に伴い著しく大きくなり, その状態での運動情報からの適当なアシスト力の生成は困難であった。しかしながら, 補正方法が確立できれば力覚情報と運動情報の規則性の成果を新たなアシスト力の生成に発展させることができることから, 本研究における上記成果は大きいものとなった。

<引用文献>

- ① 総務省統計局, 人口統計月報公表資料, 2008.
- ② 厚生労働省, 社会保険審議会介護保険部資料.
- ③ 小野寺良二, 三村宣治, 力覚センサを用いた車椅子の介助力に関する基礎的検討, 第23回リハ工カンファレンス in 新潟 論文集, 2008, 125-126.
- ④ 金城正治, 佐々木誠, 巖見武裕 他: 車椅子の推進における後輪車軸位置の違いによる運動力学特性, 日本機械学会シンポジウム講演論文集, 2001, 170-174.
- ④ 岡田明, 生活の中の人間工学 -人間中心のモノづくり-, 日本リハビリテーション工学協会誌, Vol.17 No.3, 2002, 5-8.
- ⑤ Irving P. Herman(著), 齋藤太朗, 高木建次(共訳): 人体物理学~動きと循環のメカニズムを探る~ (Physics of the Human Body - Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering -), 株式会社NTS, 2009, 102-104.

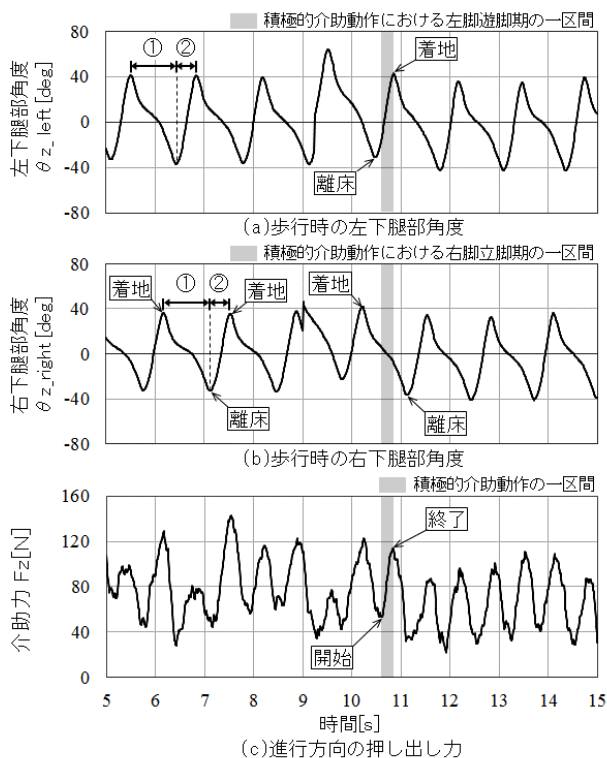


図9 車椅子操作時の下腿部角度(歩行動作)と介助力

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 小野寺良二	4. 巻 279
2. 論文標題 車いす介助者の介助動作と介助力の関係における実験的検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 95-100
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 小野寺良二	4. 巻 269
2. 論文標題 介助者と乗車者の両視点における車いす操作時の操作力と操作方法について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 92-95
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 小野寺良二，阿部輝人，宍戸道明	4. 巻 273
2. 論文標題 力覚センサと慣性センサと用いた車いす操作における介助力と介助動作の計測と両者の関係について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 93-96
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 小野寺良二，阿部輝人，宍戸道明	4. 巻 277
2. 論文標題 慣性センサを用いた歩行動作の把握からみた車いす介助動作の検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 76-81
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 小野寺良二	4. 巻 256
2. 論文標題 力覚センサを用いた車いす操作力の検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 95-98
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 小野寺良二	4. 巻 32
2. 論文標題 車いす操作におけるキャンバー角による負担軽減の検討	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 51-55
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 小野寺良二	4. 巻 253
2. 論文標題 操作開始直後の車いす操作力の計測による負担軽減の検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地域ケアリング	6. 最初と最後の頁 84-88
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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Ryoji Onodera, Teruto Abe, Shota Matsuhashi, Michiaki Shishido
2. 発表標題 Relationship between assistance force and walking motion in wheelchair operation
3. 学会等名 The 13th international Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology (i-CREAtE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部輝人, 宍戸道明, 小野寺良二
2. 発表標題 車いす操作における介助者の歩行動作と介助動作の関係
3. 学会等名 日本福祉工学会第22回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryoji Onodera, Takahiro Mori, Syota Abe, Michiaki Shishido
2. 発表標題 Investigation of Manipulation Force for Wheelchair using 6-DOF Force Sensor
3. 学会等名 The 11th International Convention on Rehabilitation and Assistive Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野寺良二, 宍戸道明
2. 発表標題 スロープ走行時の車いすの操作特性の検証
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会
4. 発表年 2017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