

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高齢者向け上肢フリー移動体のための下肢動作を活用した操作手法の開発
Title(English)	Development of Operation Method for Upper Limb Free Mobility for Elderlies
著者(和文)	佐久間菜月, 二瓶美里, 西畑智道, 菅原雄介, 松浦大輔, 島悠貴, 武田行生, 鎌田実
Authors(English)	Natsuki Sakuma, Misato Nihei, Tomomichi Nishihata, Yusuke Sugahara, Daisuke Matsuura, Yuuki Shima, Yukio Takeda, Minoru Kamata
出典(和文)	第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, , , pp. 695-698
Citation(English)	, , , pp. 695-698
発行日 / Pub. date	2017, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2017 The Society of Instrument and Control Engineers

高齢者向け上肢フリー移動体のための 下肢動作を活用した操作手法の開発

○佐久間 菜月¹, 二瓶 美里¹, 西畑 智道¹, 菅原 雄介², 松浦 大輔²,
島 悠貴², 武田 行生², 鎌田 実¹
(¹東京大学 ²東京工業大学)

Development of Operation Method for Upper Limb Free Mobility for Elderlies

○Natsuki SAKUMA¹, Misato NIHEI¹, Tomomichi NISHIHATA¹, Yusuke SUGAHARA²,
Daisuke MATSUURA², Yuki SHIMA², Yukio TAKEDA², and Minoru KAMATA¹
(¹The University of Tokyo ²Tokyo Institute of Technology)

Abstract: In this research, a new mobility which is operable without upper limbs movements is being developed. In this report, the development of operation interface is described which can perform acceleration/deceleration and left/right turning by the pedaling movement and tilting body movement of the bicycle. The feature extraction related to the operation is extracted by the analysis based on sensor values installed on pedals and a saddle of a bicycle. Also, operating system using the extracted feature extractions will be developed and its operability will be verified using a simulator.

1. 研究背景と目的

近年、高齢者の介護が必要となる要因としてフレイルやサルコペニアが注目されている。フレイルは加齢に伴い健康障害に対する脆弱性が増す現象¹⁾, サルコペニアは加齢に伴い筋力や筋量が低下する現象²⁾のことを指し、介入により予防や健康状態に戻る可逆性を有することが指摘されている³⁾。フレイルやサルコペニアは体重・活力・筋力・歩行速度・活動度の低下状況から判断され¹⁾, 活動度の向上のために外出頻度を増やしたり、歩行機能を含む下肢機能の維持・向上を行ったりすることで回復が期待できる。

ここで、近距離移動機能の補助や代替手段として杖、歩行器、車椅子などの福祉用具を用いる際には、移動時に上肢活動の制限が生じる。先行調査で日常生活の上肢動作を調べた結果⁴⁾, 歩行補助杖や歩行器、シルバーカーを使用することで普段行っていた動作が制限され、動作の変更を余儀なくされたり、動作にかかる時間が増加したりすることが明らかになった。

そこで本研究では、フレイル・サルコペニアの改善が可能な高齢者（アクティブシニアを含む）を対象とし、(1) 外出頻度の低下を防ぐために移動の支援が可能で、(2) 下肢機能の維持のために下肢運動を促すことができ、(3) 上肢を操作のために拘束しない「上肢フリー」であること、の3点を満たす移動体の開発を目指す。

この機器は高齢者が日常生活中で用いることを想定しているため、装着の手間がかからないこと、転倒や事

故の危険がないことが必要である。これらの要件から、（端）座位で乗車できる静的・動的に安定した構造であり、かつ操作に下肢動作を用いる「フレイル・サルコペニアの改善を目指した座位乗車型上肢フリー移動体」を本報告では提案する。機器のコンセプトイメージを図1に示す。

本研究において開発を目指す上肢フリー移動体は、下肢運動を活用した操作手法を必要とする。そこで、本研究では「上肢フリー移動体実現のための下肢運動を活用した移動体操作手法の開発」を目的として定めた。この目的を達成するために、(1) 操作方法と操作に用いるパラメータの検討、(2) 操作体系の作成と操作性の検証、の2つの目標を設定した。

なおここでの下肢運動としては、歩行機能の改善に寄与する、臀部の大殿筋や腸腰筋、大腿部前後の大腿直

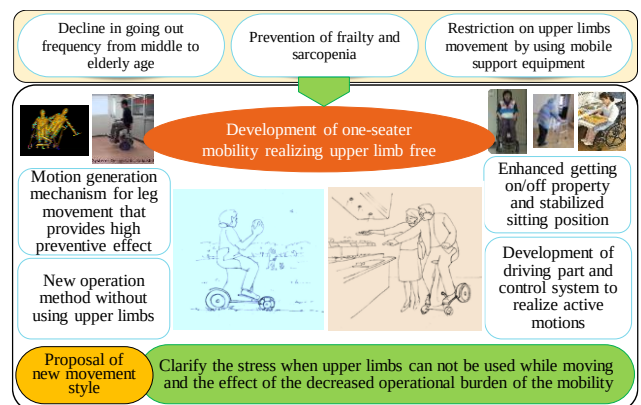


Fig.1 The concept image of the new mobility

筋や大腿二頭筋，下腿部前後の前脛骨筋やひらめ筋などの筋群⁵⁾の機能の維持・向上ができる動作が望ましい．このため，これらの筋肉が効果的に運動する下肢動作を検討した結果，本研究ではペダリング動作を用いて移動体への動力の供給と搭乗者への運動負荷を与えることとした．実際には各筋群をより効果的に鍛えられ，また左右のペダルが独立して動作するような特殊なサイクル機構を開発しているが，本報告ではその前段階として一般的な円軌道のペダリング動作を用いて，ペダルへの力のかけ方や上体の動かし方によって操作ができるかを確認する．

2. 操作方法と操作に用いるパラメータの検討

2.1 先行研究

動作の意図推定には，筋電や脳波などの生体情報をもとにする方法と，位置や速度，力の変化などの動作の結果をもとにする方法が存在する．本研究ではペダリング動作から意図推定を行うため，後者を検討する．

先行研究では，足部に取り付けた加速度計から足振り動作で電動車いすの前進・左右旋回操作を行うために，NN（バックプロパゲーション法）を用いた手法⁶⁾や，SOMを用いた手法⁷⁾が開発されてきた．そこでは入力動作を前進・右折・左折の3通りに切り替えることにより操作を行う手法が考案されているが，本研究では連続的にペダルを漕ぐペダリング動作のみを操作に用いるとしたため，動作のパターン分けにより操作を切り替えることは不可能である．

一方，連続的な動作をもとにした意図推定を行う手法として，複数の小型ロボットが人と協調して物体を移動するシステムが開発されている⁹⁾．ここでは人が物体に対して入力した力をロボットが計測することによって，その値に基づいた協調搬送を実現している．しかし，本研究で用いるペダリング動作は本来，自転車であれば上肢を，一輪車のような乗り物では上体運動を用いて操作を行うため，ペダリング動作から操作意図を一意に抽出できるか不明であることや，移動体を制御するには高い信頼性や確実性が必要になるため，それらについても検討する必要がある．

2.2 意図推定に必要な特徴量の抽出実験

以下では，移動体上で行う下肢動作から操作に適した特徴量を抽出する実験を行い，主成分分析により操作者の意図推定に必要なパラメータを抽出する．

本研究で開発する移動体の運動としては，前進・後退，左右旋回，加減速，その場旋回を想定している．このため，操作意図の推定を行うための要素として，方向転換時の旋回角度や速度に応じた特徴が生じるパラメー

タをペダリング動作から抽出する必要がある．

ここで，上肢を使わずにペダリング動作を行う場合，操作者が機器に接するのは左右ペダル部とサドル部である．これらの部位にて測定できる項目としてペダルの回転数や回転速度，各部にかかる力やモーメントなどが考えられるが，ここでは左右ペダル部・サドル部にかかる力やモーメントに着目し，特徴量の抽出が行えるという仮説を立て，この検証を目的とした実験を実施した．

(1) 実験装置

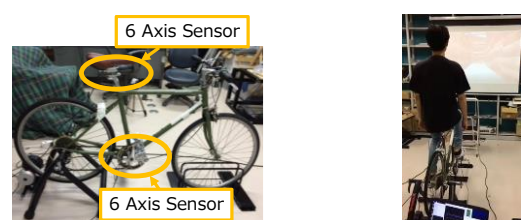
図2(a)に示すように，移動体の代わりとなる自転車の左右両ペダルとサドル下部に6軸力覚センサ（レプトリノ社，FFS055YS102U6（左右ペダル），FFS080YS102U6（サドル））を取り付け，前輪は固定台に，後輪はローラー台に設置した．サドルから前方距離1.8mの位置に1.2m×1.65mのスクリーンを配置し，速度や角度の異なる走路動画を投影した．動画は動画a（右左折路・後退），動画b（速度変更・その場旋回）の2つを用いている．詳細は表1に示す．なお，動画はUC-win（FORUM8社）を用いて作成した．

(2) 実験方法

実験参加者7名（男性5名，女性2名，22-23歳）に対し，ハンドルを握らないように指示して自転車に乗車させた．乗車時の様子を図2(b)に示す．参加者には，前方スクリーンに映される動画中の道を走行中だと想定し，動画に合わせてペダルを漕ぐように教示した．参加者7名のうち3名（A，B，D）が動画a，参加者4名（C，E，F，G）が動画bを見て実験を行った．

(3) 測定情報

左右ペダルとサドルにかかる6軸方向の力とモーメントの値をセンサから取得する．各センサの座標系を図3(a)(b)に示す．また左右ペダル部の x 軸， y 軸まわりのモーメント M_x ， M_y に関してはペダルの構造上モーメントがかかりえない部位であるため，今回の実験では分析対象に含めないこととした．



(a) Appearance of equipment (b) State of riding

Fig. 2 Appearance of equipment of experiment

Table 1 Settings of movie

a-1	Drive at 3 km/h on the 0-90 degrees right/left turning road
a-2	Drive back 0 degrees road at 1 km/h
b-1	Drive at 1-6 km/h on the 30, 60, 90 degrees right turning road
b-2	Turning in place

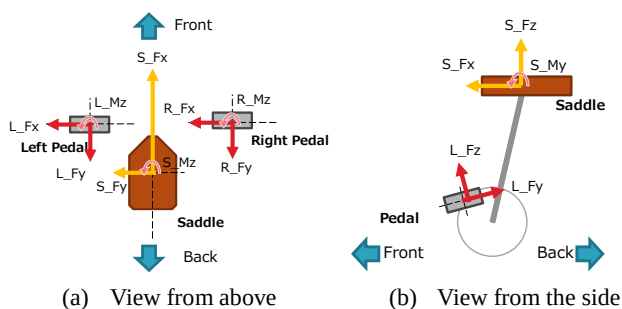


Fig. 3 Sensor axis direction

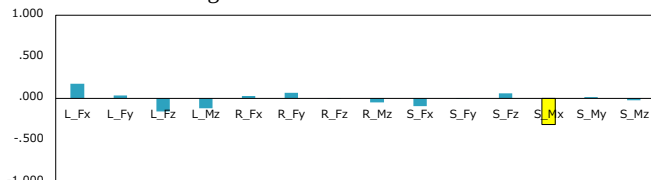


Fig. 4 The factor load amount of the PC No.5

Table 2 Contribution ratio and cumulative contribution ratio of principal component (each participants)

Participant	v		ω	
	PC	Cumulative contribution ratio	PC	Cumulative contribution ratio
A	5	80.80	5	79.40
B	6	82.09	5	77.69
C	4	84.60	4	79.81
D	6	80.93	5	72.03
E	5	74.23	6	80.16
F	5	79.15	4	70.83
G	5	72.42	5	71.06

以上の実験で得られたセンサ値のデータから速度や旋回角度に相関があるパラメータを抽出するため、主成分分析により特徴量を抽出する。以下に手順を示す。

実験から得られた左右ペダル・サドルの各センサの力・モーメントの値と動画中の進行速度・旋回角速度を用いて、ペダリング動作のセンサ値データベースを作成する。まず得られたセンサ値を次式(1)(2)で示されるベクトルにそれぞれ格納する。

$$x_v = [L_{Fx}, L_{Fy}, L_{Fz}, L_{Mz}, R_{Fx}, \dots, S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}, v] \quad (1)$$

$$x_\omega = [L_{Fx}, L_{Fy}, L_{Fz}, L_{Mz}, R_{Fx}, \dots, S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}, \omega] \quad (2)$$

ここで、 $L(R)_F$ は左右ペダルセンサから得られる力、 $L(R)_M$ は左右ペダルセンサから得られるモーメント、 S_F はサドルセンサから得られる力、 S_M はサドルセンサから得られるモーメント、 v は速度[km/h]、 ω は旋回速度[rad/s]を示している。

次に、(1)(2)のベクトルには次元の異なる数が含まれているため、式(3)に基づき各列の平均が 0、分散が 1 となるよう標準化する。

$$\tilde{x}_{lv} = \frac{(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{s_i}} \quad (1 \leq i \leq l), \quad \tilde{x}_{l\omega} = \frac{(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{s_i}} \quad (1 \leq i \leq l) \quad (3)$$

ただし、 l は列数、 $\sqrt{s_i}$ は列ベクトル x_i に含まれる変数の分散、 $\bar{x}_i$ は x_i に含まれる変数の平均値をそれぞれ示している。

ベクトル x_v 、 x_ω を標準化して得られたベクトル X_v 、 X_ω を用いて、(I) 7 人分のデータを総合して分析を行った場合、(II) 実験参加者個人のデータを用いて別々に分析を行った場合の 2 通りについて主成分分析を行う。また主成分としては、カイゼル基準に従い分散が 1.0 以上になるものまでを採用することとした。なお以下では、相関の強さとして因子負荷量 1.0~0.7 を「強い相関がある (赤色)」, 0.7~0.4 を「相関がある (緑色)」, 0.4~0.2 を「弱い相関がある (黄色)」, 0.2~0.0 を「相関なし (青色)」と 4 分類して扱う。

2.3 分析結果

(I) 総合データの分析

主成分分析の結果から、速度 v については第六主成分、角速度 ω については第五主成分までが採用された。速度 v については第六主成分までの累積寄与率が 76.2%となり、第六主成分までで動作情報が説明されうることが示された。しかし図 4 に示すように、速度 v に最も相関がある第 5 主成分についての各パラメータの因子負荷量を見ると、最も相関が見られた S_{Mz} でも因子負荷量は -0.31 程度であり、目立った相関が見られるパラメータが存在していないことが分かる。また、角速度 ω については第五主成分までの累積寄与率が 69.8%と 70.0%を下回っており、第五主成分まででは動作情報が説明されているとは言えない。

(II) 個別データの分析

v 、 ω それぞれの主成分分析の結果採用された主成分数とその主成分までの累積寄与率を参加者ごとにまとめた結果を表 2 に示す。この結果を見ると、累積寄与率はどの参加者の値も v 、 ω それぞれで 70%を上回っており、その主成分までで動作情報が説明されうるといえる。また、指標 v 、 ω に対してそれぞれ最も因子負荷量が高かった主成分について、各パラメータの因子負荷量を被験者ごとにまとめたものを図 5、6 に示す。これを見ると、 v については S_{Fx} 、 S_{My} に相関がみられる被験者が 7 人中 4 人 (57.1%)、弱い相関が見られるものも含めると S_{Fx} は 7 人中 5 人 (71.4%)、 S_{My} は 7 人中 6 人 (85.7%) である一方、 ω については被験者ごとに相関があるパラメータが異なることがわかる。

以上の結果より、参加者 7 人全員のデータベースを用いて主成分分析を行った結果からは、動作情報を説明できないことがわかった。これより、上肢を使わずにペダリング動作を行う場合には、ペダルの漕ぎ方や上体の使い方に個人特性に応じた差が現れるため、被験者すべてに共通する傾向は得られないといえる。

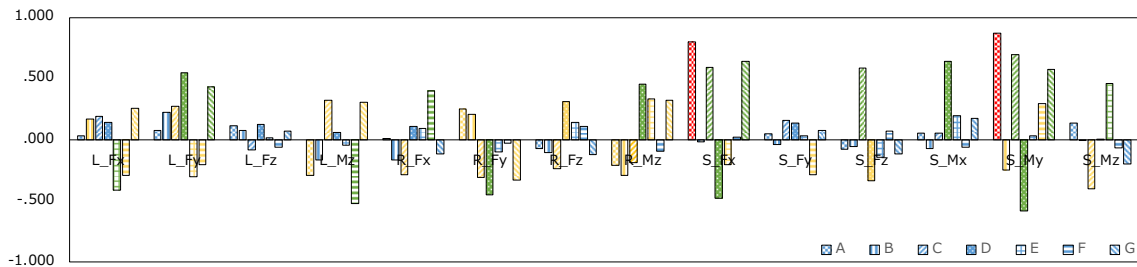


Fig. 5 The factor load amount of the principal component about v

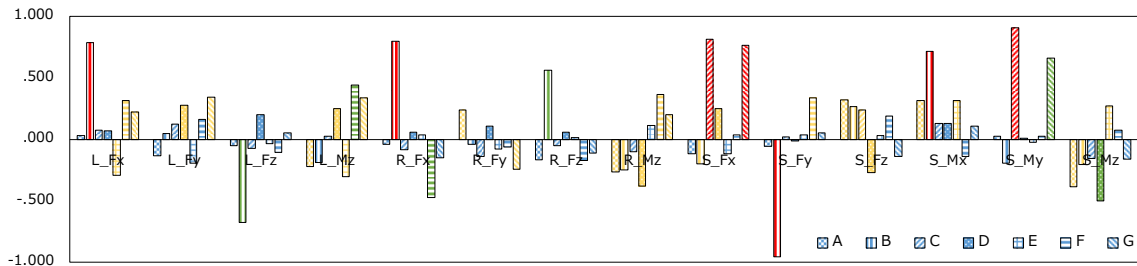


Fig. 6 The factor load amount of the principal component about ω

一方、参加者ごとのデータベースを用いて主成分分析を行った結果からは、 v 、 ω それぞれについて動作情報を説明できることがわかった。また、 v については S_{Fx} 、 S_{My} に相関がみられた被験者が多いことから、速度 v を増加させる際には上体を前傾させたり座面前後方向へ力を加えたりする動作を行う傾向が高いことがわかる。しかし、 ω については相関が見られたパラメータが被験者ごとに異なっていたため、左右旋回を行う際には個人ごとに行う動作の傾向が異なることがわかった。

以上のことから、上肢を用いないペダリング動作から操作意図を抽出することは可能であるが、個人特性に応じた手法が必要となることが導ける。

なお、本研究は東京大学倫理審査委員会の承認のもと行われた。

3. 結論

本研究において開発する移動体の操作手法として検討しているペダリング動作からは、すべての被験者に対応可能な動作特性を抽出することは難しいが、個人特性に合わせることによって左右旋回や速度に応じた動作情報を説明できるということが明らかになった。

速度については S_{Fx} 、 S_{My} に相関がみられた被験者が多いことからこの2つのパラメータを制御に用いることが妥当であると考えられる。一方、旋回角度については被験者ごとの差が大きく表れるため、人と機械の相互学習を用いることによって、個人特性に対応できる操作手法を作成する必要があると考えられる。

4. 今後の展望

本論文の結果を用いて制御手法を作成し、個人特性に対応可能な操作手法を作成する。その後、仮想空間

上でのシミュレーションを使用し、操作習得にかかる時間の測定や操作性の検証、開発中の実機への統合および評価を実施する。

謝辞

すべての実験参加者の皆様に感謝を申し上げる。また、本研究は科研費 17H02131 の助成を受けて行われた。

参考文献

- (1) 山田 陽介ら，フレイルティ&サルコペニアと介護予防，京府医大誌，121(10)，pp.535-547，2012.
- (2) 荒井秀典，フレイルの意義，日本老年医学会雑誌，51(6)，pp.497-501，2014.
- (3) 山田実，荒井秀典，フレイルの予後に影響する因子の検討 ～4年間のパネルデータによる検討～，第51回日本理学療法学会大会抄録集，43(2)，2016.
- (4) 佐久間菜月ら，ライフログを用いた歩行支援器により制限される生活動作の分析，第38回バイオメカニズム学術講演会，2017.
- (5) 安藤徳彦，下肢筋の機能解剖と歩行，日本義肢装具学会誌，15(3)，1999.
- (6) 安藤健ら，重度脳性まひ児の残存機能を利用した人・機械相互学習型電動車いすの開発，日本ロボット学会誌，30(9)，pp.51-58，2007.
- (7) M. Nihei et al., Development of a Powered Wheelchair Interface Using a Neural Network System for People with Disabilities, Assistive Technology and Research Series., 28, pp.105-112, 2011.
- (8) 平田泰久ら，人間と複数の分散型ロボットヘルパーとの協調による単一物体の搬送，日本機械学会論文集C編，68(668)，pp.1207-1214，2002.