

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	協調学習操作系を用いたハンズフリーモビリティにおける事前学習の有効性評価
Title(English)	Evaluation of the Effectiveness of Prior Learning in Hands-Free Mobility with Cooperative Learning Operation system
著者(和文)	西脇佑理, 呂超, 陳志韜, 小野敬済, 武田行生, 菅原雄介, 二瓶美里
Authors(English)	Yuri Nishiwaki, Chao Lyu, Chitao Chan, Takazumi Ono, Yukio Takeda, Yusuke Sugahara, Misato Nihei
出典(和文)	LIFE2022講演論文集,
発行日 / Pub. date	2022, 8

協調学習操作系を用いたハンズフリーモビリティにおける事前学習の有効性評価

Evaluation of the Effectiveness of Prior Learning in Hands-Free Mobility with Cooperative Learning Operation system

○ 西脇佑理 (東京大) 呂超 (東京大) 陳志韜 (東京大)
小野敬済 (東京大) 武田行生 (東工大) 菅原雄介 (東工大)
二瓶美里 (東京大)

Yuri NISHIWAKI(The University of Tokyo), Chao LYU (The University of Tokyo), Chitao CHAN (The University of Tokyo), Takazumi ONO (The University of Tokyo), Yukio TAKEDA (Tokyo Institute of Technology), Yusuke SUGAHARA (Tokyo Institute of Technology), Misato NIHEI (The University of Tokyo)

Abstract: In recent years, preventive interventions for age-related frailty syndrome and sarcopenia have received many attentions. Especially, since lower extremity functions are susceptible to aging, mobility aids may be used due to functional degradation, which lead to concerns about further functional deterioration. In previous studies, hands-free mobility that maintains and improves walking capability have been proposed and developed. We have shown the effectiveness of the sequential learning operation system, which learn individual's operation characteristics, is higher than that of the standard operation system, which is not individual-oriented. In this paper, we implemented the pre-learning function of individual operation characteristics in the sequential learning operation system and verified its effectiveness.

Key Words: Personal Mobility Vehicle, Elderly, Machine Learning, Operation System, Evaluation

1. 緒言

近年、加齢に伴う機能低下による健康障害に陥りやすくなる状態であるフレイル⁽¹⁾や、筋力や筋量の減少するサルコペニア⁽²⁾への予防的介入が注目されている。特に、歩行に関わる下肢機能は加齢による影響を受けやすいことから、機能低下により移動支援機器を使用することがあるが、それによるさらなる機能低下が懸念される。また、移動支援機器は一般的にはハンドルやジョイスティックなどの手指による操作が用いられるが、それにより上肢動作が制限される⁽³⁾ことが前提となっている。

そこで、筆者らは歩行機能を維持・改善するハンズフリーモビリティ (Fig. 1) を提案した⁽⁴⁾。この乗り物は端座位で乗車する小型モビリティであり、以下の2点をコンセプトとする。

- A) 上肢による操作を必要とせず、操作をペダリング動作及び上体の運動によって行う「ハンズフリー」操作である
- B) ペダリング動作を通じて歩行機能改善のために適切で持続可能な運動負荷を搭乗者に与える

B) については、歩行機能改善に有効な運動負荷を与える楕円軌道ペダル機構と負荷パターンの同時最適化に関する設計が行わ

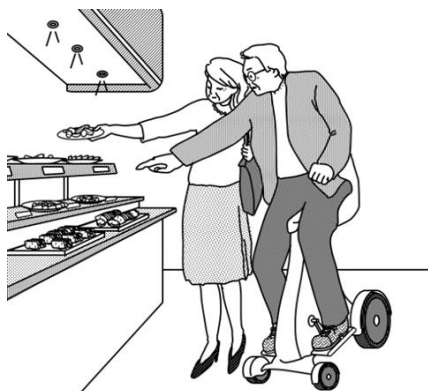


Fig.1 Image of Hands-Free mobility⁽⁵⁾

れてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。著者らは、A) を実現するために、ハンズフリーモビリティを操作するための操作者の操作意図を抽出する力学系学習木を用いた操作系の原理モデルの開発を行った。この操作系は、複数のセンサを用いて搭乗者の挙動から操作意図を抽出し、力学系学習木を用いることで個人特性に合わせて車両の直進と旋回運動の性能を自動的に調整できる機能を有する⁽⁷⁾。さらにジョイスティック操作による操作学習をアシストする協調学習操作系の開発と評価を行った⁽⁸⁾。旋回動作の協調学習システムを実装したハンズフリーモビリティを用いて実機による協調学習操作系の検証が行われ、走行軌跡の逸脱度からその閾値を用いた標準操作系に対する有効性が示唆された。しかし、走行軌跡の逸脱度による評価では、協調学習システムにおける個人特性の事前学習の有無が操作に与える影響を評価することができなかった。

以上より、本研究ではより妥当性が高いと思われる走行に関する特徴量を用いて協調学習システムにおける個人特性の事前学習の有無が操作に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 本研究で用いるハンズフリーモビリティ

2.1 機能と構造

Fig. 2 に開発したハンズフリーモビリティ PeriPa02 を示す。このモビリティは、WHILL (Model CR)⁽⁹⁾ をベースに開発され、後輪駆動・前輪は受動オムニホイールの4輪構成で、サドルとペダル、ペダルに負荷を与える負荷装置により構成される。システム構成を図3に示す。

ハンズフリー操作を実現するために、車両とヒトとのインタフェース部分にあたる足部—ペダル部と臀部—サドル部に6軸力センサ (レプトリノ社 FFS055YS102U6 (左右ペダル), FS080YS102U6 (サドル)) を配置し、ペダルの回転数を測定するロータリエンコーダ (Cadence E 38S-4096-2MD) を取り付けした。車両の目標速度はペダルの回転数から、旋回角速度は3個の6軸力センサ (両側部-ペダル, 臀部-サドル部) の値から算出された。

2.2 操作系

本研究では旋回操作に対する制御システムとして、協調学習システムを含む以下3つの操作系を実機に対して実装し、その検証



Fig.2 Overview of peripa

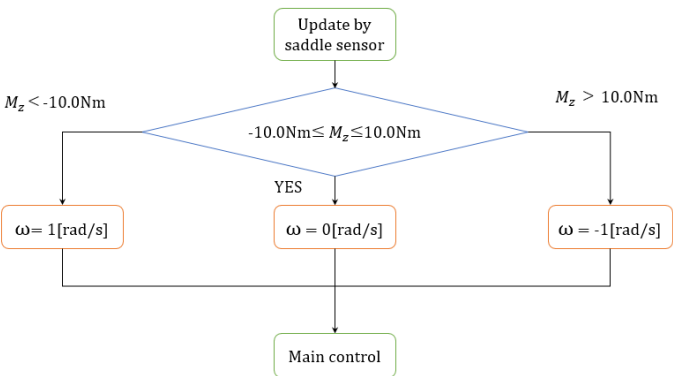


Fig.3 Algorithm of Standard System

を行った。

- A) 標準操作系
- B) 協調学習操作系 (事前学習あり)
- C) 協調学習操作系 (事前学習なし)

A) 標準操作系は協調学習機能との比較対照として用いた, 初期設定値および旋回角速度の設定が予め決められている操作系である。標準操作機能は, 先行研究⁽⁴⁾で抽出された旋回動作戦略の一つである側屈動作型(左右に身体を側屈させる方法)とし, サドルに掛かる代表的な力である z 軸(搭乗者の上体重心における軸)周りのモーメントと旋回閾値を用いることとした。Fig. 3に標準操作機能の基本的なアルゴリズムを示す。なお, 旋回閾値は, 実験により試行錯誤的に決定した。

B), C) の協調学習操作系は, 軌跡の時系列データ算出された各時刻でのモビリティの進行方向とゴール方向の差 (Fig. 4) と,



Fig.4 Example of direction data

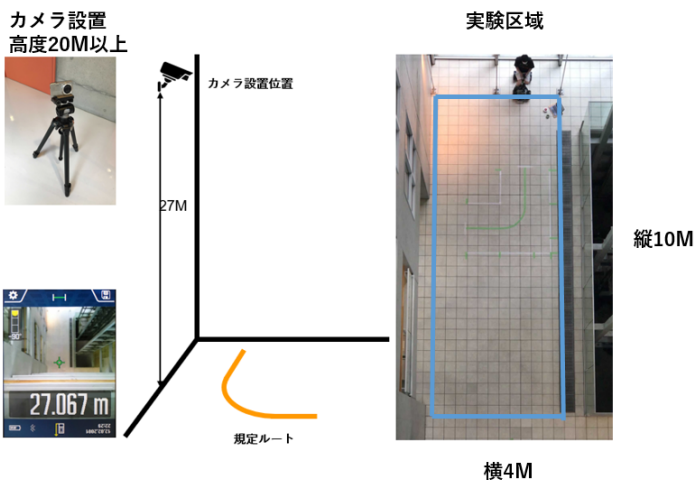


Fig.5 Settings of a camera

その時のセンサー値を学習し, 内部のモデルを更新する操作系である。入力には, 先行研究で明らかにされた旋回動作戦略の 4 パターン (回旋動作型, 側屈動作型, 左/右ペダル踏み込み型) を反映する前述の 3 つの 6 軸力センサの値を採用した。学習には先行研究を参考に MST (Memory Saving Tree) (AISing 社製) を用いた。

B), C) の違いは操作系の内部モデルの初期状態にある。B) は事前学習を行わない操作系であり, 初期状態の内部モデルは A) 標準操作系と共通である。一方で, C) の内部モデルは事前学習によって搭乗者の操作特性を学習した状態が初期状態である。ここで事前学習とは車両が停止した状態で指示した 3 方向 (正面, 左方向 60° , 右方向 60°) に進むことを意識してモビリティを操作してもらい, その際のセンサ値を学習するものである。

3. 方法

3.1 実験プロトコル

本研究における走行課題は 10m の直進路をできるだけ早く正確に走行するものである。実験は条件 1) の標準操作系での走行実験を行い, 次に 2) の追加学習操作系-個人設定追加学習操作系を実施するグループ A (3 名), または 3) の個人設定追加学習操作系-追加学習操作系を実施するグループ B (3 名) の 2 つに分けて実施した。各機能の内容や効果については被験者に伝えていない。なお, 条件 1) の後にはキャリーオーバー効果を考慮し 2 週間のウォッシュアウト期間を設けた。但し, 条件 2) と条件 3) の間には都合上ウォッシュアウト期間は設けなかった。また, 試走行は各条件において 8 回行った。

3.2 走行軌跡

本研究では走行時に上空から撮影した動画から軌跡を取得した。Fig. 5 に示すように, カメラは走路上 27m の位置に設置し, 走行ルート全体が入るように角度調整した。図 8 に右図に示す規定走路を走行する予備実験の様子を示す。撮像した結果は, 画像処理ソフト (Kinovea) を用いて搭乗者の頭部を自動検出・追従することで, 走行軌跡を算出した。予備実験の結果から, 操作時の頭部のブレなどが走行軌跡に大きな影響を与えないこと, 逸脱度を算出するのに十分な精度が得られることを確認した。

3.3 評価指標

先行研究では式 1 で表される逸脱度を用いた評価が行われている。本研究においてこの指標は走行軌跡が直線からどれだけ外れていたかを表すものである。この指標では, 直進経路から外れてしまった後にその地点から車両の方向をゴール方向へ転回操作し, 再度ゴールを目指すような操作を適切に評価できない。そこ

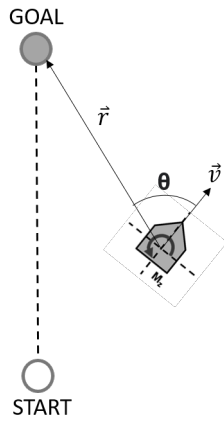


Fig.6 Relative velocity and Relative angle

で本研究では新たな評価指標として, Fig. 6 に示す相対角度と相対速度を用いた. 相対角度は, モビリティの進行方向とモビリティから見たゴール方向の差の角度であり, 式 (3) で表される. 操作意図をよりよく反映した操作系の軌跡はこの値が0に近づくと考えられる. 相対速度はモビリティとゴールまでの距離の時間変化を-1倍したものであり, 単位時間あたりにどれだけゴールに近づいたかを示す指標である. 操作意図をよりよく反映した操作系の軌跡はこの値が大きくなるものと考えられる. これらの指標について各参加者の各試行ごとに平均値を求めた.

$$D = \int |f(z) - f_c(z)| dz \quad (1)$$

$$v_r = -\frac{d|r|}{dt} \quad (2)$$

$$\theta_r = \arccos \frac{\vec{r} \cdot \vec{v}}{|\vec{r}| |\vec{v}|} \quad (3)$$

本研究では試行回数の増加に伴う相対角度, 相対速度の変化を操作系間で比較するため, 線形混合効果モデルを用いて試行回数と相対角度, 相対速度の回帰直線を求めた. ここで, 固定効果は操作系の違いと試行回数, 変量効果には参加者の違いを設定した.

4. 結果

4.1 相対角度

相対角度の分析結果を Fig. 7 に示す. 図中 STD, STDL, PL はそれぞれ標準操作系, 協調学習操作系 (事前学習なし), 協調学習操作系 (事前学習あり) を示している. 各点は各操作系の各試行毎に全ての参加者の相対速度の平均値を, エラーバーは標準偏差を示している. 相対角度はどの被験者も試行毎のばらつきが大きく, 線形混合モデルでの試行回数の固定効果としての当てはまりを表す p 値は 0.601 であった.

4.2 相対速度

相対速度の分析結果を Fig. 8 に示す. 図中 STD, STDL, PL はそれぞれ標準操作系, 協調学習操作系 (事前学習なし), 協調学習操作系 (事前学習あり) を示している. 各点は各操作系の各試行毎に全ての参加者の相対速度の平均値を, エラーバーは標準偏差を示している. 相対速度と試行回数にはいずれの操作系においても正の相関がみられ, 線形混合モデルでの試行回数の固定効果としての当てはまりを表す p 値は 0.001 であった.

さらに, 標準操作系での相対速度の 8 回の平均値が 0.3[m/s] を下回った参加者群 (C, G) に対して同様の手順で分析を行った結果を Fig. 9 を示す. 相対速度と試行回数にはいずれの操作系

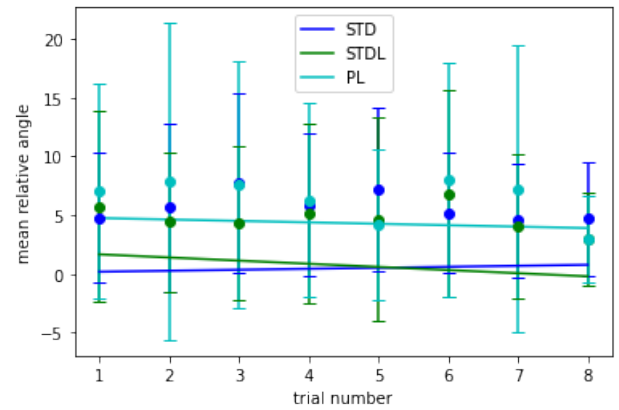


Fig.7 Mean angles

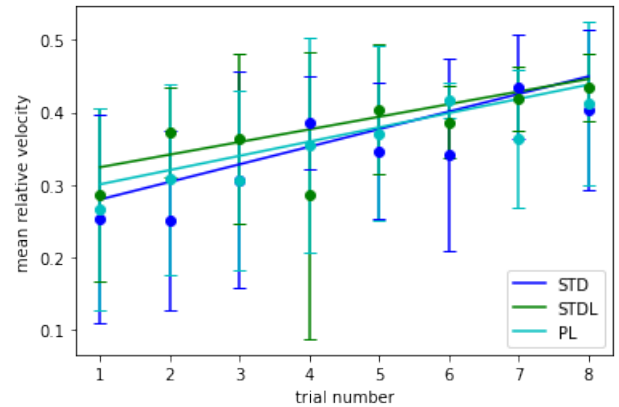


Fig.8 Mean velocity

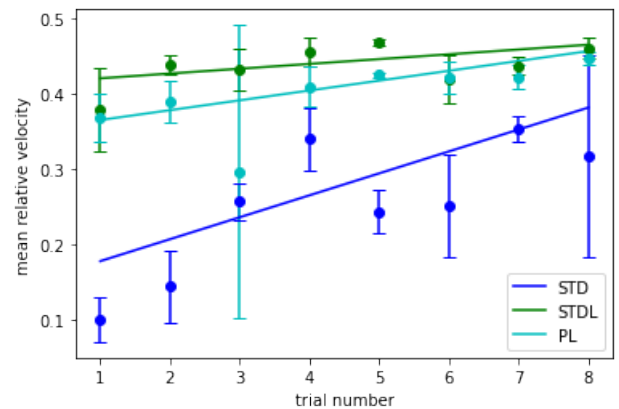


Fig.9 Mean velocity (C, G)

においても正の相関がみられ, 線形混合モデルでの試行回数, 操作系の違いの固定効果としての当てはまりを表す p 値はいずれも十分小さな値であった. 協調学習操作系の相対速度は標準操作系に対して 1 回目の試行から 8 回目の試行まで大きい傾向がみられた. また, 事前学習の有無に応じた大きな相対速度の差はみられなかった.

5. 考察

本研究では相対角度, 相対速度によって操作系の評価を試みた. 相対角度は試行毎にばらつきが大きく, 操作系間の比較における有意な違いはみられなかった. 本研究では各時刻における進行方向を動画の分析から得られたモビリティの座標の変化から算出しており, 前後移動を伴わない転回操作によるモビリティの方

向変化を上手く捉えられなかったことが考えられる。今後、モビリティの進行方向データの取得方法の改善の後に同一指標による評価を再度試みる必要がある。

相対速度については線形混合効果モデルによる当てはまりが良く、軌跡を用いた操作系の評価指標としての有効性が示された。個人毎に各操作系の相対速度の変化には大きな差があった。特に Fig. 9 から、標準操作での操作が比較的不得意である人にとって協調学習操作系は効果的であるといえる。また、事前学習のない協調学習操作系は1 試行目の内部モデルが標準操作系で同一のものであるにも関わらず Fig. 9 では1 試行目から大きな値を取っている。これは2 週間のウォッシュアウト期間が十分な長さではなかったためであると考えられる。これに対して事前学習により形成された操作系の内部モデルは標準操作系と異なるものであるため、Fig. 9 における標準操作系と事前学習を伴う協調学習操作系の切片の差は事前学習の有効性を示唆するものであると考えられる。

6. 結論

本研究では相対速度のハンズフリーモビリティ操作系の有効性評価指標としての有用性が示された。さらに標準操作系での操作が不得意な人にとって協調学習操作系は有効であり、また協調学習操作系を初めて操作する際には個人特性の事前学習が有効である可能性が示唆された。今後は追加実験を行い、相対速度を用いた更なる操作系の評価実験を行う予定である。

倫理的配慮

この研究は東京大学倫理審査委員会の承認のもと実施した。(審査番号: 19-353)

研究資金・利益相反

本研究は、科研費 17H 02131 の助成を受けて実施した。

謝辞

本研究の遂行にあたり WHILL Inc. 白井 一充 氏, 東京大学大学院新領域創成科学研究科 特任助教 吉武 宏 氏 にご協力いただいた。ここに謝意を示す。

参考文献

- (1) 荒井, フレイルの意義, 日老医誌 51 : 497—501, 2014.
- (2) Evans WJ, Campbell WW: Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. J Nutr 123(2 Suppl): 465-468,1993.
- (3) 二瓶ら, 重度障害児の発達を促す電動車いすの開発, バイオメカニズム, Vol.20, pp.99-109,2010.
- (4) 二瓶ら, 高齢者向けハンズフリー下肢操作式モビリティの提案 (開発コンセプト), ROBOMECH2018, 2018.
- (5) 島ら, 高齢者向け下肢捜査指揮モビリティにおける歩行機能改善に有効な負荷を与えるペダリングシステムの開発, 第 18 回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会論文集, 133-134,2018.
- (6) 菅原ら, 高齢者向けハンズフリーモビリティのためのペダリング運動負荷システム, LIFE2019, 212-216, 2019.
- (7) 佐久間ら, 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, SI 2017, 2017.
- (8) 西畑ら, 力学系学習木を用いたノンホロノミック車両のための人-機械協調学習操作系の開発 人の運動学習段階や学習能力に適応したシステムの提案, SI 2019, 2019
- (9) WHILL MODEL CR <https://whill.inc/jp/model-cr> (2022.6.24 参照)