

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ハンズフリーモビリティの提案 - 個人のメンタルモデルに合わせた人・機械相互学習型操作系 -
Title(English)	Proposal of a new Hands-Free Mobility- Human-Machine Interactive Learning Operation System Adapted to Personal Mental Model -
著者(和文)	西畑智道, 佐久間菜月, 二瓶美里, 鎌田実, 菅原雄介, 島悠貴, 松浦大輔, 武田行生, 金天海
Authors(English)	Tomomichi Nishihata, Natsuki Sakuma, Misato Nihei, Minoru Kamata, Yusuke Sugahara, Yuki Shima, Daisuke Matsuura, Yukio Takeda, Chyon Hae Kim
出典(和文)	LIFE2018 講演論文集,
発行日 / Pub. date	2018, 9

ハンズフリーモビリティの提案

— 個人のメンタルモデルに合わせた人・機械相互学習型操作系 —

Proposal of a new Hands-Free Mobility

- Human-Machine Interactive Learning Operation System Adapted to Personal Mental Model -

○ 西畑 智道 (東京大) 佐久間 菜月 (東京大) 二瓶 美里 (東京大) 鎌田 実 (東京大)
菅原 雄介 (東工大) 島 悠貴 (東工大) 松浦 大輔 (東工大) 武田 行生 (東工大)
金 天海 (岩手大)

Tomomichi NISHIHATA(Utokyo), Natsuki SAKUMA (Utokyo), Misato NIHEI(Utokyo),
Minoru KAMATA (Utokyo), Yusuke SUGAHARA(Tokyo Tech), Yuki SHIMA(Tokyo Tech),
Daisuke MATSUURA(Tokyo Tech), Yukio TAKEDA(Tokyo Tech), Chyon Hae KIM(Iwate University)

Abstract: In this research, a new mobility vehicle for elderly is being developed, which cancels the limits of upper limb movement and combines lower limbs exercise effective for improvement of walking function. In this report, the evaluation of operation interface is described which can perform acceleration/deceleration and steering by the pedaling movement and tilting body movement of the bicycle. Learning operation system including learning of operator's operating characteristics during turning and additional learning for improvement of straight running stability went by using Deep Binary Tree is evaluated by running on the virtual space. Running time and deviation degree improved more than when additional learning was not in use. The effectiveness of operation system tailored to personal characteristics and to improve by additional learning was shown.

Key Words: Personal Mobility Vehicle, Elderly, Human-Machine Interactive Learning Operation System, Rehabilitation, Evaluation

1. 緒言

近年、先進諸国では平均寿命の延長により、高齢期を迎えてからの健康寿命や介護予防に焦点が当てられるようになった。特に、移動活動は、身体機能や認知機能のほか、さまざまな活動や社会参加にも関連することから、介入対象としてその重要性が指摘されている。そのため、厚生労働省では、中高年からの体操、ウォーキング、軽スポーツの普及促進が進められている。

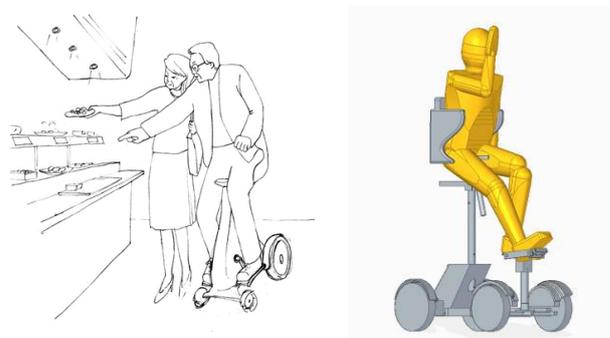
一方、加齢や心身機能の低下により移動に関わる身体機能が低下すると、日常生活活動や参加の維持のために移動支援機器が導入される。しかし機器の導入によりさらに身体機能が活用されなくなり、機能低下が起こる可能性がある。さらに、近距離移動機能の補助や代替手段として杖や歩行器などの福祉用具を用いる際には、歩行の安定性を上肢等で代替するため、移動時に上肢活動の制約が生じる。

そこで、本研究では中年や高齢者の運動機能の維持が可能で、使用中に上肢動作が阻害されない、ペダリング動作から搭乗者の操作意図を推定する手法を用いた新しい移動支援機器の開発を行った。本論文では、ペダリング動作時の上体や下肢の動作から直進や旋回などの操作意図を抽出し、搭乗者の操作特性に合わせて人と機械が相互学習を行う新しい操作系の開発を目的とした。

2. 開発した移動支援機器

2-1. 対象とターゲット²⁾

サルコペニアやフレイルを予防するには、早期介入が効



(a) use scene (b) mobility design
Fig. 1 The concept images of the new mobility³⁾

果的であるといわれている。加齢による筋肉量の低下や、身体機能の低下、活動量の低下などは50歳代から低下し始めることが報告されているため⁴⁾、本研究での対象者は、60代から70代前半の中年および前期高齢者と設定した。

2-2. 移動支援機器のコンセプト²⁾

本研究では、座位(端座位)乗車型で下肢機能を活用し、さらに走行時に手指や上肢の動作を妨げない『歩行機能維持を目指した座位乗車型ハンズフリーモビリティ』を提案している。具体的には、①移動支援が可能であること、②下肢機能維持のために適切かつ持続可能な負荷を与えること、③上肢を操作のために拘束しない「上肢(ハンズ)フリー」であること、を機能的要求とした。図1にコンセプトイメージと開発した機器を示す。



Fig. 2. The prototype of new concept vehicle

機器構成は、後輪駆動輪・前輪オムニホイールの4輪構成とし、下肢動作を用いて端座位で乗車する乗り物である。図2に開発した試作機を示す。車両の設計は、上肢の作業領域を拡大するために、最小化設計を目指し、一方で上肢動作や下肢動作による安定性を考慮して支持基底面の十分性を兼ね備えた構造とした。また、下肢動作は、歩行機能改善に有効な運動負荷を与えるペダリングシステム(開発中)⁵⁾を導入することとした。さらに、操作系には上肢や手指ではなく、足部および上体の運動から操作者の意図に近い操作信号を抽出することとし、ペダル部とサドル部に取り付けた力センサ、ペダル回転数の値を用いて操作動作を抽出することとした。

3. 操作系の開発

3-1. 移動体の操作系の特徴

本研究では、左右ペダル部とサドル部にかかる力やモーメントから操作者が移動体に対して行わせようとしている運動を推定する方法を提案した。

本研究で開発する移動体は、操作入力動作と移動体の運動があらかじめ設定されているわけではない。このため、搭乗者のイメージ次第で内部モデルが異なってくることが欠点であり利点でもあるという特徴を持つ。この内部モデルを設計側が一意に定めてしまうと、操作者の思う通りの運動を移動体にさせにくくなる。そこで、移動体の操作系については、操作者が移動体の操作学習を行う中で、移動体側も操作者の特性を学習するような学習器、すなわち人・機械の相互学習を促進させるための学習器を備えていることが望ましいと考えた。

3-2. 人・機械の相互学習に関する先行研究とその課題

人・機械の相互学習に焦点を当てた学習器に関する先行研究は、下肢操作式小児麻痺児用電動車いす⁶⁾、筋電義手^{7,8)}、小型ロボットの制御⁹⁾、などがある。これらは人の動作を入力として、対象機器を制御する際に、学習器とニューラルネットワーク(NN)や自己組織化マップ(SOM)、隠れマルコフモデルなどを用いたパターン認識などを用いている。しかし、これらの出力値は数種類のパターン、つまり非連続的な値である。

本研究で提案する操作者のペダリング動作から、移動体の進行動作や旋回動作に必要な速度や角速度の推定を行う際には、入出力ともに連続値を扱う。そのため、非連続的な動作を学習させるこれらの先行研究の手法は適用できない。

そこで本研究では連続値を入出力として推定を行う学習器の一つである力学系学習木¹⁰⁾(DBT, Deep Binary Tree, AI Sing LTD.)を用いることとした。DBTは、(1)汎化機能を持ち、訓練データに登録されていない入力信号に対してデータ補完を行って出力を生起できること、(2)パラメー

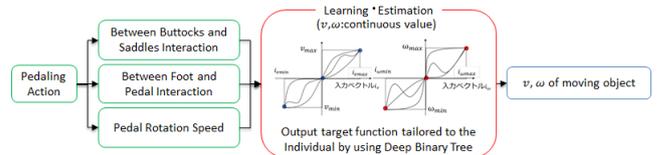


Fig. 3 The flow of operation system

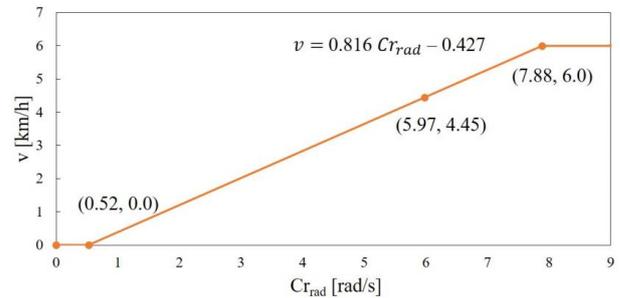


Fig. 4 Relational expression

between crank rotation speed and velocity of mobility 々の調整が不要であること、(3)追加学習が可能であること、何度同じデータを学習しても同じ学習結果が得られることが挙げられる。

先行研究¹¹⁾では小型船舶の外乱推定を扱ったものがある。ここでは入力を無動力無外乱時の船舶の速度状況、出力を船舶の加速度として学習させ、学習済みの学習木から船舶に働く加速度の推定を行うことで、小型船舶の制御を自律的に行うシステムである。この手法では、船舶の速度という連続値を入力とし、同じく連続値である加速度を出力として推定を行うことができる。しかし一方で、小型船舶の旋回性は個人用移動体と異なること、さらに移動車両の走行制御自体に適合された例はない。

3-3. 操作に用いる物理量の決定¹²⁾

機械学習を行うためには、操作者がある目標の速度や角速度に応じて移動体を動かそうという操作意図をもって入力動作を行ったときに、その目標値と相関がある物理量を入力に設定する必要がある。このため、左右のペダルとサドルにかかる力やモーメントから特徴量の抽出を行った。

開発する移動体と同様のサドル、ペダル位置関係の実験用自転車にハンドルを握らない状態(ハンズフリー)で座り、前方に視覚刺激となる速度や旋回角度の異なる走路動画を投影することで、そのオプティカルフローに対する身体反応を6軸方向の力とモーメント計18種類のデータを用いて主成分分析により抽出した。

8名の実験結果より、旋回時の搭乗者の身体反応は4種類に分類され、個人によりその旋回戦略は異なることが示された。また、それらの4種類の旋回に必要なセンサの物理量として、6軸方向の力とモーメント計18種類のデータの内、6種類のセンサ値を各搭乗者の操作特性に合わせて学習させることが適当であると考えた。

3-4. 操作系の開発

図3に操作システムの概要を示す。ペダリング動作により直進や旋回を行う際には、ペダルの回転速度から車両の速度 v を決定し、サドルとペダルの力センサの6種類のセンサ値とDBTを用いて個人に合わせた旋回角速度 ω を出力する。車両の最大速度と最大旋回角速度は開発に用いた駆動部に依存し、速度は0-6[km/h]、最大旋回角速度は3.03[rad/s]である。

3-5. 操作系の開発

(1) 移動体の速度

クランク回転数[rpm]は歩行率[step/min]の半数に相当するといわれており、高齢者の最適歩行速度および最適歩行

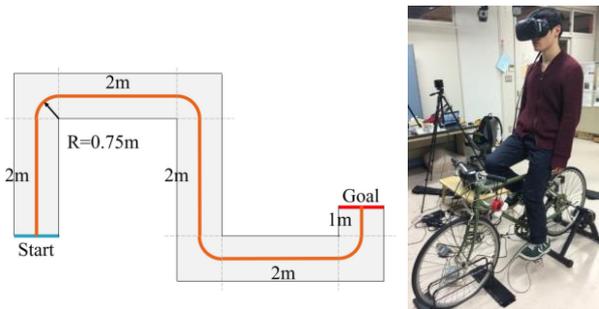


Fig. 5 Test course and state during the experiment



Fig. 6 Overall view of experiment equipment and sensors
率の男女平均値を用いてクランク回転数が 57.0[rpm]の時に移動体の速度が 4.4[km/h]となるように定めた. 図 4 にクランク回転数[rad/s]と移動体の速度 v [km/h]の関係を示す. なお, 直進安定性を考慮し, 5[rpm]以下に不感帯を設けた.

(2) 移動体の旋回速度

旋回速度については(a) 旋回時の操作者の操作特性の学習, (b) 直進性の向上, の2段階で行った.

(a) 旋回時の操作者の操作特性の学習

初期キャリブレーションは, サドル中心から 1.8m の円周上に, 前方 0[deg]と左右 90[deg]の位置に目標物を置き, 目標物に向かって移動体を移動させようと入力動作を行った際のセンサ値について, それぞれ ω を 0[rad/s], -3.03[rad/s], 3.03[rad/s]として設定し, DBT を用いて学習させた.

(b) 直進性能の向上

旋回角速度の誤検出による直進性能の低下およびそれによるふらつきを低減するため, 角速度の誤検出時に補正するアルゴリズムを追加した.

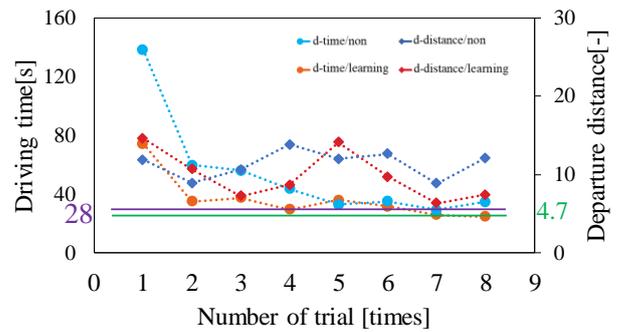
4. 操作システムの評価方法

4-1. 評価の目的

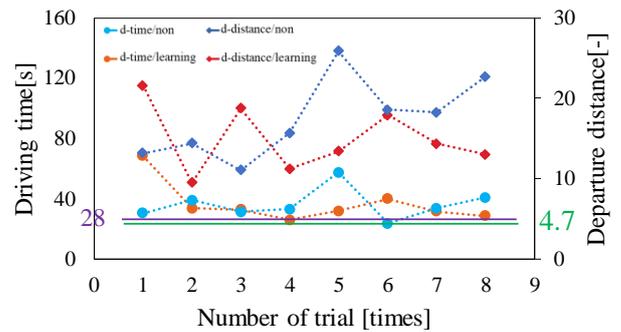
開発した操作系の評価を行うために, 仮想空間内での走行実験を行った. 評価の目的は, 開発した操作系による学習効果と, 追加学習の効果を検証することである. 基準としてまず, ジョイスティック操作系を用いることによって, 不慣れた操作系に対して走行時間や逸脱度がどのように変化するか, 操作に慣れた場合に収束する値が存在するか検証した. 本研究は東京大学倫理審査委員会の承認のもと行った.

4-2. 評価方法

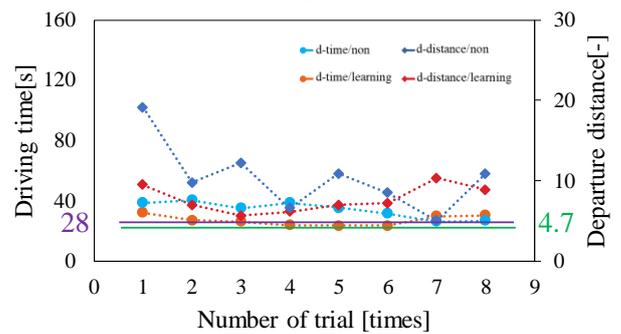
図 6 に評価用走行コースを示す. 走行コースの全長は約 10[m]で, 直進部(1[m],2[m]), 旋回部 ($R=0.75$ [m])を含む. コースの走行は走行条件を揃えるためにヘッドマウントディスプレイ (VIVE (HTC 社製)) を用い, 仮想空間上で実験を実施した. 仮想空間は Unity(ver.5.6.3f1)で作成した. 実験参加者は図 5 に示す試作装置に乗車し, VIVE を装着して画面に表示されるコースを走行する. 走行条件は, 旋回時の操作学習について, 追加学習なし条件と 1 走行ごとに追加学習させる追加学習あり条件の 2 条件を設定した. 走行回数は予備実験によって十分に学習可能な回数として,



Participant A



Participant B



Participant C

Fig. 7 The results of driving time and departure distance by each participant

各条件につき 8 回とした. また, 操作慣れによる影響をなくすため, 2 条件の実験は別日に行った.

教示内容は, 各実験参加者に対し, コース中央のオレンジ色の線からできるだけ逸脱せず, かつなるべく短時間で走破するように教示した.

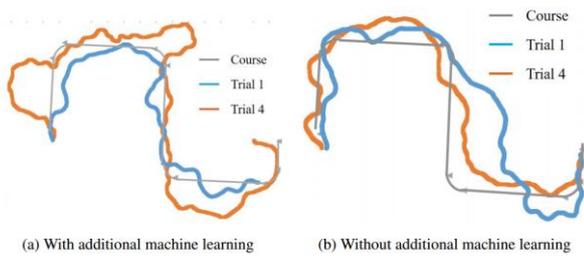
評価項目は, 走破にかかった時間(走破時間)と目標線から離れた距離の指標(逸脱度)を算出して評価を行う. また, 比較対象として, ジョイスティックによる操作の評価値を参照した(走破時間は 28[s], 逸脱度は 4.7[-]を基準とした).

4-3. 評価結果

実験参加者は健康な若年者男女 3 名(男性 2 名(参加者 A, 参加者 B), 女性 1 名(参加者 C), 23 歳)である.

実験参加者の走行回数と走破時間・逸脱度の推移を比較した結果を図 7 に示す.

実験参加者 A は追加学習ありの条件において追加学習なしの条件よりも走破時間や逸脱度の減少が見られる結果となったため, 追加学習による効果が得られたと考えられる. 一方, 実験協力者 B の結果は, 走破時間はジョイスティック操作と同様の時間で走破できているが, 逸脱度の推移に変化が見られず, やや追加学習あり条件の方が減少傾向に



Participant B
Fig. 8 Trajectory of trial no. 1 and no.4

あった。また実験参加者 C は走破時間に減少傾向が認められるが、逸脱度については減少した後増加する傾向を示した。

4-4. 考察

実験参加者 A についてはコース序盤に直進路の逸脱度が抑えられており、直進性が向上していることがわかった。これが追加学習により得られた効果であると考えられる。

実験参加者 B の 1 回目と 4 回目の走行ログを比較したものを図 8 に示す。実験参加者 B については、もともと旋回性が低い状態で(a)の学習が終えられてしまったものに対して、さらに直進性を高める学習を行ってしまったため、より旋回動作がしづらくなってしまい走破時間及び逸脱度に減少が見られなかったと考えられる。また、実験参加者 C については、5 回目の走行以降で逸脱度が増加している。これは、アルゴリズムが過学習を起こしてしまい、実験参加者の旋回動作を機械が直進動作だと判断してしまったため、機械の学習内容と自己の操作習得・操作モデルの修正が相反してしまい、影響を受けたためだと考えられる。

本研究のアルゴリズムにおいては、直進性を学習させることはできるものの、その一方で旋回性を向上させることに限界があるといえる。このため、今後の課題としては旋回性能と直進性を両立させて向上をはかるような学習のアルゴリズムを作成することが挙げられる。

5. 結言

本研究では、高齢者の歩行機能維持を目指した、座位乗車型の下肢操作式ハンズフリーモビリティの提案を行い、この機体に搭載する操作手法の開発を行った。

移動体上で行うペダリング動作から、搭乗者の操作意図と相関がある特徴量を抽出し、これをもとに速度についてはクランクの回転数、旋回角速度については 6 つのセンサ値を用いることとした。旋回角速度は DBT を用いて、個人に合わせた旋回モデルを作成するとともに、直進性を向上させるための追加学習を行う手法を提案した。

本研究では、中年・高齢者の運動機能の維持が可能で、使用中に上肢動作が阻害されない新しい移動支援機器の操作系を開発した。健康者 3 名に対する仮想空間における走行評価の結果、相互学習効果が得られるケースと、過学習が起こるケースがあることが確認された。

今後は実験参加者数の増加と、過学習による人の学習への影響の検討、人・機械相互学習における人側の学習程度を評価する手法の開発を行う。

謝辞

本研究は、科研費 17H02131 の助成を受けて実施した。本研究の遂行に当たり WHILL Inc. 福岡宗明様、日本大学遠藤央先生、東京大学大学院新領域創成科学研究科井上洸氏にご協力いただいた。ここに謝意を示す。

参考文献

- (1) 厚生労働省, 平成 28 年簡易生命表の概況.
- (2) 二瓶美里ら, 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—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2A2-K07, 2018.
- (3) 佐久間菜月ら, 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, SI2017, pp.695-698, 2017.
- (4) 谷本芳美ら, 日本人筋肉量の加齢による特徴, 日本老年医学, 47, pp.52-57, 2010.
- (5) 島悠貴ら, 高齢者向け下肢操作式モビリティにおける歩行機能改善に有効な運動負荷を与えるペダル機構の設計, 第 18 回機械学会基礎潤滑設計部門講演会, pp.133-134, 2018.
- (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.873-880, 2012.
- (7) 吉川雅博ら, 筋電位を利用したサポートベクターマシンによる手のリアルタイム動作識別, 電子情報通信学会論文誌 92(1), pp.93-103, 2009.
- (8) 福田修ら, 生 EMG 信号による電動義手の制御, 計測自動制御学会論文集 40(11), pp.1124-1131, 2004.
- (9) 丹羽真隆ら, つもり制御: 人間の行動意図の検出と伝送によるロボット操縦, TVRSJ 17(1), pp.3-10, 2012.
- (10) Chyon Hae Kim, Shohei Hama, Ryo Hirai, Kuniyuki Takahashi, Hiroki Yamada, Tetsuya Ogata and Shigeki Sugano, “Effective Input Order of Dynamics Learning Tree”, Advanced Robotics, 32(3), pp.1-15, 2018.
- (11) 沼倉彬雄ら, 力学系学習木を用いた小型船舶の外乱推定, 情報処理学会第 77 回全国大会, pp. 269-270, 2015.
- (12) 佐久間菜月ら, 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, SI2017, pp.695-698, 2017.