

令和 4 年 5 月 6 日現在

機関番号： 14701  
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）  
研究期間： 2018～2021  
課題番号： 17KK0006  
研究課題名（和文）高安全な移動支援機器のための人間と機械の相互インターフェース技術に関する研究  
  
研究課題名（英文）Survey on human-vehicle interface technology for safe and high mobility performance of personal mobile platform  
  
研究代表者  
中嶋 秀朗（Shuro, Nakajima）  
  
和歌山大学・システム工学部・教授  
  
研究者番号：30424071  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,800,000円  
渡航期間： 12ヶ月

研究成果の概要（和文）：段差を含めた環境を移動できるパーソナルモビリティビークル（以下PMV）の実現を目指し、PMVの移動性能の向上を図った。開発した機能の検証は、国際競技会Cybathlon 2020への参加も通して行った。また、安全性を高めるためにPMVの制御に生体信号情報を活用できるかの調査のために、ETH ZurichのSensory-Motor Systems Lab.で在外研究を行った。分解能や安定性、センサ取り付け環境などの点で、安全を担保するために生体信号を使うのは、現時点ではまだ研究段階である。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

段差なども含めた徒歩の環境を移動できる小型の乗り物（PMV）の実現は、移動に不自由がある人（足の不自由な障害者、高齢者など）のQOLも向上できるため、今後の社会にとって必要性が高く、意義がある。そのため、階段や傾斜などへの対応能力と、移動の大半を占める舗装路面上でのエネルギー効率と高速性能の高さを備えたPMVを開発した。さらに搭乗者の生体情報を融合してPMVの制御に活用できれば、安全性の高いPMVにつながるという期待から、現状における実現性を調査した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to realize a personal mobility vehicle (hereinafter referred to as PMV) that can move in an environment of our daily lives including steps and stairs. We improved the mobility performance of the PMV. The developed functions and improvements were verified through participation in the international competition Cybathlon 2020 as well as enough experiments. In addition, an overseas study at the Sensory-Motor Systems Lab., ETH Zurich to investigate whether biological signal information could be used to control a PMV for improving safety. Through surveys on biological signal information, the use of biological signals to ensure safety is found to be still in a research stage in terms of resolution, stability, sensor mounting environment, etc. at this moment.

研究分野： ロボティクス

キーワード： パーソナルモビリティビークル 人間支援技術 移動技術 ヒューマンマシンインターフェース 電動車いす

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

超高齢社会である日本は、人に役立つ科学技術を創出できる課題先進国とも捉えられる。「移動」は動く物である動物の本質であり、例えば自動車や鉄道などは人の生活そのものを変えてきた。超高齢社会+情報社会という今までと構成要素が異なる社会において、徒歩移動圏での新しい乗り物の必要性が言われるようになり、その移動支援機器の具体例として各種パーソナルモビリティビークル (Personal Mobility Vehicle, 以下 PMV) が提案、開発されている。行動的な健常者の使用を前提としたセグウェイなどの立ち乗り型 PMV や高齢者も含めて誰もが座って移動できる WHILL などの電動車いす型 PMV など、新しい PMV が今後の来るべき社会をにらんで盛んに製品化されている。ただし製品レベルの PMV は 15cm 前後の段差や 20 度以上の傾斜路面、10 度以上の左右に傾斜した路面などに対する不整地移動能力は低いのが現状である。海外製品では正面からの移動に限定されるものの、階段を移動可能な電動車いすが商品化されている例はある。ただし、今後必要であると予想される徒歩移動圏での新しい乗り物に求められる移動能力は、例えば歩道や店の前の段差などに対して柔軟な進入角度で対応可能なことや、単発的な段差ではない連続的な階段への対応能力である。また、舗装路面が主体の都市環境では、舗装路面での移動エネルギー効率や高速性能の高さが求められる。

上記のような徒歩移動圏での必要十分な移動能力を持ち、かつ、エネルギー効率と高速性能の高さを備えたものとして、我々は RT-Mover PType WA(以下 P-WA)の研究開発を進めてきた。そこでは、数段までの段差が移動可能な PMV を実現した。

## 2. 研究の目的

PMV が社会で真に活用されるためには、もう一段高い「移動能力の向上」に加えて、高速移動時や不整地移動時の「安全性の向上」が必要である。「安全性の向上」の意味は広く、例えば

- ・不整地移動中に PMV が倒れないこと
- ・周囲の障害物に PMV がぶつからないこと
- ・搭乗者を考慮して停止すること

なども、重要な一項目である。本研究では、人と機械のインターフェース技術の視点から、上記の安全性を向上させることを当初の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 生体信号計測技術の調査

生体信号情報を PMV に融合し、高安全なシステムにできるかどうかを検討するために、最先端レベルの知見が集積している ETH Zurich (スイス) の Sensory-Motor Systems Lab. に赴き、在外研究を行った。コロナ禍で、研究方法や環境など各種制限はあったにも関わらず、ほぼ予定通りの期間である 2020 年 3 月~2021 年 3 月の 1 年間実施した。

生体信号情報のロボティクス機器での活用に関するレビュー論文も含めた文献調査や、訪問先の研究室で開発したロボティクス機器の体験調査などを実施した。訪問先の研究室の教授や研究者らと生体信号情報の現状や活用可能性についてディスカッションを行った。

### (2) 搭乗者を考慮した PMV 制御技術の開発

P-WA はまだ研究段階であり、もう一段高い移動能力が必要であるため、特に次のような観点から搭乗者を考慮した改良研究を行い、P-WA Mark-II の開発につなげた。

- ・PMV が段差動作中に、搭乗者が緊急停止スイッチを押した際の、搭乗者の乗り心地を考慮した停止動作の検討 (実験機としては PType シリーズの PType2 を使用)
- ・搭乗者の位置や姿勢を考慮した、連続した階段の PMV 移動制御方法の提案
- ・搭乗者と高機能 PMV をつなぐインターフェースとなる操縦コントローラの操縦方法の User-centered development 手法を活用した開発
- ・性能評価を世界レベルで行うために、ETH Zurich が大学を挙げて開催している Cybathlon 2020 に出場した。Cybathlon は、障害者が技術を使ってその障害を克服した上で競い合う障害者アスリートによる国際競技大会であり、その中の一種目である Powered wheelchair (パワード車いす) 部門に出場し、同じ土俵で P-WA Mark-II の機体性能評価を行った。走行コースは、電動車いすユーザ、あるいは、車いすユーザが日常生活で大きなバリアとして挙げている移動困難な場所 (タスク) からなっている。(なお、Cybathlon 2016 にも我々は参加した。)

### (3) 搭乗者計測の基盤技術の構築

安全性向上は多角的に行う必要があるため、搭乗者と PMV のインターフェースをキーワードとして、広く安全につながる要素技術の構築を、以下の観点から行った。

- ・多機能な PMV に特有な機能の搭乗者への情報提供方法
- ・搭乗者の運転操縦の支援
- ・搭乗者の計測システムの基礎的開発

## 4. 研究成果

### (1) 生体信号計測技術の調査

搭乗者から取得できそうな生体信号には、脳波 (EEG)、眼電図 (EOG)、心電図 (ECG)、筋電図 (EMG)、呼吸 (Respiration)、ガルバニック皮膚反応 (GSR)、脈波 (PPG)、生体電位信号 (BES) などがある。それらの PMV 制御への適用可能性を広く調査した。例えばリハビリ、アシストロボットなどのロボティクス機器で生体信号が活用されている例があり、Cyberdyne 社の HAL では BES (bio-electric signals) を活用している。あるいは、自動車分野のドライバーモニタリングシステムにおいて生体信号情報が研究段階として活用されている。

ただし、HAL を含めたロボティクス機器で生体信号情報を活用するような場合、生体情報から抽出したい判断内容や分類数は比較的単純である一方で、搭乗者が周囲環境を把握しながら、その状況に応じて PMV を操縦するような場合には、高度で複雑な認識や判断が必要である。また現時点では、複雑な判断を要するタスクにおいて、必要な分解能で生体信号の変化を抽出することは難しく、あるいは、動きの伴う搭乗者に生体信号センサを装着して SN 比の高い信号を検出することは難しい。そのため自動車のモニタリングシステムにおいても、生体信号情報は自動車の制御に使うまでには至っておらず、あくまでドライバーを計測する用途での研究開発段階である。

当初は、PMV 搭乗者の生体信号を安全性向上のために活用することを検討していたが、この分野の最先端の研究を実施している訪問先の教授や研究者との議論も経て、即応性、分解能、信頼性、ノイズの面で、生体信号情報を安全に関わる制御に直接活用することは、現時点においては実用面で課題が多いことがわかった。

### (2) 搭乗者を考慮した PMV 制御技術の開発

・搭乗者が、段差動作中に緊急停止スイッチを押した際に、その場で機体を停止すると車輪が浮いた状態になる場合など不安定な状態になることがあった。そのため、安定した停止状態である段差を上る直前の状態への機体の戻し方 (図 1) を、搭乗者の乗り心地を評価しつつ求めた [1]。

・四車輪型の移動体を前提に、連続的な階段にも対応できる移動アルゴリズムを提案、実証した [2]。動物の歩容でいうペース歩容に似た方法での階段移動方法である。搭乗者の位置は安定して動作が可能ないように、シートスライド機構を用いて十分な安定性を確保できる位置に移動する。また、搭乗者の姿勢は、階段を移動中でも水平角度から 10 度以内を維持できるようにし、搭乗者が許容できる搭乗姿勢を実現した (図 2)。

・開発技術の検証として、障害者がアスリートとなる国際競技会 Cybathlon 2020 に参加した。ユーザが開発ループに入る User-centered development 手法を活用して、ゲームコントローラによる操縦方法を開発した。コロナ禍で数回の大会開催方式変更などもあり、出場にたどり着くまで多くの壁があったが無事に出場し、結果は Powered wheelchair 部門で 4 位だった。P-WA Mark-II はすべてのタスクをクリアし、その移動能力の高さと路面に応じた動作の対応能力の高さを世界レベルで実証した。



図 1. 初期位置への車輪部を戻す一軌跡 ([1]より)

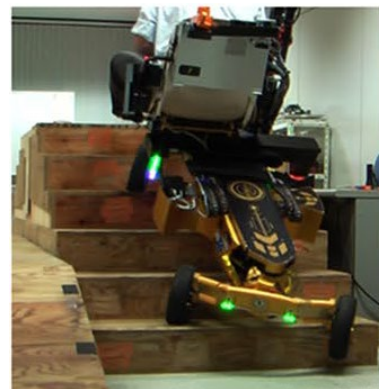


図 2. 階段を移動する PMV ([2]より)

### (3) 搭乗者計測の基盤技術の構築

安全面の向上は多角的に行う必要があるため、以下の観点から基盤技術の構築に取り組んだ。

・多機能な PMV では、搭乗位置が移動モードによって変化することも考えられるため、搭乗位置や姿勢と情報提供装置との関係について調査した (図 3)。

・運転操縦の支援のために、障害物が近くにある際に操縦ジョイスティックに力覚フィードバックをかけるシステムの構築に取り組んだ。

・搭乗者が PMV に乗って階段を移動している状況で搭乗者計測を数多く行うことは現実的ではないため、模擬的な搭乗者計測システムの開発に取り組んだ。具体的には、移動能力の高い移動体 (4 足ロボットや路面に対して大きなサイズと高出力の 4 輪移動体) にカメラを搭載して模擬路面を移動させ、それをモニターに映し出して疑似走行体験している搭乗者を計測するというアイデアである。なお、本項目は研究の進捗状況により追加で取り組むことにした内容であり、本研究期間中の成果としては、構想の整理と各要素技術の立ち上げとなった。

<参考文献>

[1] 前田孝次朗, 中嶋秀朗, “高機能電動車いすにおける段差昇り動作時の中断に対する乗り心地の良い安全確保動作の検討”, 日本機械学会論文集, vol. 86, no. 881, pp. 281-293, 2020.

[2] Shuro Nakajima, “Stair-climbing gait for a four-wheeled vehicle”, ROBOMECH Journal, vol. 7, article 20:1-8, 2020.

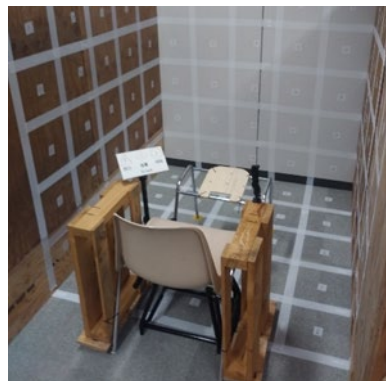


図 3. 搭乗者と情報提示装置位置の関係調査

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakajima Shuro	4. 巻 7
2. 論文標題 Stair-climbing gait for a four-wheeled vehicle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-020-00168-z	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 -

1. 著者名 前田 孝次郎, 中嶋 秀朗	4. 巻 86
2. 論文標題 高機能電動車いすにおける段差昇り動作時の中断に対する乗り心地の良い安全確保動作の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.19-00281	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23件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kojiro Maeda, Shuro Nakajima
2. 発表標題 Human machine interface to provide a driver with information on a next motion of personal mobility vehicles
3. 学会等名 The SICE Annual Conference 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田孝次郎, 中嶋秀朗
2. 発表標題 パーソナルモビリティビークルで使用する情報提示端末に対する要素調査
3. 学会等名 ヒューマンインタフェースシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田真, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4脚車輪型移動体のZMPを規範とした重心軌道生成
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大川力也, 中嶋秀朗
2. 発表標題 画像処理手法を用いた電動車いす上での搭乗者計測の検討
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関凌輔, 中嶋秀朗
2. 発表標題 経路生成と経路追従による車両追従制御手法の一考案
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須納瀬護, 中嶋秀朗
2. 発表標題 段差への進入角度を考慮した大域的経路計画の提案
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田真, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4脚車輪型移動体のロール軸制御を用いた段差踏破解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuro Nakajima, Shin Sawada
2. 発表標題 Methodology of climbing and descending stairs for four-wheeled vehicles
3. 学会等名 2020 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田孝次朗, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4車輪型電動車いすのための路面認識システムについての実証検証
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田真, 中嶋秀朗
2. 発表標題 重心移動を用いた四脚車輪型移動体の段差突破動作の定式化についての検討
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田孝次郎, 中嶋秀朗
2. 発表標題 四車輪型パーソナルモビリティビークルにおけるヒューマンエラーに対応できる安全システムのためのコンセプト策定とサブシステムの要件導出
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小杉哲平, 中嶋秀朗
2. 発表標題 パーソナルモビリティビークルの旋回時の乗り心地の検討
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須納瀬護, 中嶋秀朗
2. 発表標題 段差移動を考慮した大域的経路計画のための要素抽出
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森保道, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4輪車型移動ロボットによる環境認識のための三次元オドメトリ
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 前田孝次朗, 中嶋秀朗
2. 発表標題 電動車いす搭載型ロボットアームにおけるドアクローザー機構に対応したドア開け用エンドエフェクタの提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田孝次朗, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4車輪型電動車いすにおける内界情報のみによる路面認識システムの基礎的検討
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田孝次朗, 中嶋秀朗
2. 発表標題 RT-Mover PType の脚動作中断の動作軸数に関する検証実験
3. 学会等名 人と調和する支援技術, 次世代産業システム研究会, 電気学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森保道, 中嶋秀朗
2. 発表標題 高機能PMV RT Mover PType WAの対向二輪走行モードへの切り換え制御の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小杉哲平, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4車輪型移動体のロール軸を活用した不整地移動制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田真, 中嶋秀朗
2. 発表標題 動的効果を用いた4車輪型移動体の階段上り動作
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田孝次朗, 中嶋秀朗
2. 発表標題 評価実験に基づくRT Mover PTypeの脚動作中断方法の基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小杉哲平, 中嶋秀朗
2. 発表標題 4車輪型移動体のロール軸を活用した不整地移動制御
3. 学会等名 日本機械学会 関西学生会2018年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田真, 中嶋秀朗
2. 発表標題 動的効果を用いた四車輪型移動体の階段上り動作
3. 学会等名 日本機械学会 関西学生会2018年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 四車輪型移動体及びその階段移動時の制御方法	発明者 中嶋秀朗	権利者 和歌山大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-216324	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 移動体の段差移動制御方法	発明者 中嶋秀朗	権利者 和歌山大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第7038352	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>研究者が行っている研究全般の紹介  <a href="https://web.wakayama-u.ac.jp/~nakajima/">https://web.wakayama-u.ac.jp/~nakajima/</a>          Cybathlon出場に関する紹介ページ  <a href="https://web.wakayama-u.ac.jp/sys/cybathlon/index.html">https://web.wakayama-u.ac.jp/sys/cybathlon/index.html</a></p>
---

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ロバート・リーナー  (Robert Riener)	スイス連邦工科大学 チューリッヒ校・健康科学技術学部・教授	

	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
その他の研究協力者	ローランド・シーグリスト  (Roland Sigrist)	スイス連邦工科大学 チューリッヒ校・サイバロン機構・機構長	
その他の研究協力者	ピーター・ウルフ  (Peter Wolf)	スイス連邦工科大学 チューリッヒ校・健康科学技術学部・Sensory-Motor Systems研究室 副ディレクター	

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		
スイス	スイス連邦工科大学 チューリッヒ校		