

CarryOtto: 人と機械が一体化した移動デバイスの開発

佐藤 綱祐^{1,a)} 上林 功² 小野田 圭祐³ 片桐 祥太⁴ 矢野 博明⁵ 岩田 洋夫⁵

概要: 我々は新しい移動感覚を提示するデバイスを開発した。人と機械が一体となり、人間はデバイスに着座しながらモータデバイスを手綱によって操作する。これまでの機械を用いた移動は主に、車やバイクのように出力の大きな動力源を、ステアリングなどの仲介物を介して制御してきた。本研究では「ヒューマンスケールの移動」を新たに定義し、歩行動作とは違った身体動作により走行することで移動感覚を拡張する。人間と機械が一体化し、自分の体の一部として機械を体得していく過程に新たな体験がある。また視点が低いことで移動感・爽快感が十分に確保できるだけでなく、安全性の担保にもつながる。本論文では身体性支援と移動感覚の拡張の検証、およびその後の応用先としてのスポーツの展開について述べる。

CarryOtto: Development of a Mobility Device Which a Person and a Machine are Integrated

KOSUKE SATO^{1,a)} ISAO UEBAYASHI² KEISUKE ONODA³ SHOTA KATAGIRI⁴ HIROAKI YANO⁵
HIROO IWATA⁵

Abstract: In this study, we propose a novel concept of "sense of locomotion based on an innate human capacity", that extends the sense of locomotion by moving through the body motion that is different from the walking motion. Ordinary vehicles, such as cars and motorcycles, are convenient, and provide joy of ride. However, users have to control high-powered output source which is exceeded human capacity. Therefore, they require special skills and give someone a lot of stress. Our device consists of a small motor-powered wheel, and a wagon. A user sit on the wagon, and operates the wheel by using reins. The maximum speed of the device is limited under human walking speed. The user's eye level perspective also set within 70 cm from the ground. In spite of such low maximum speed, it can provide a sense of locomotion, exhilarating, and safety, by the effect of the user's low eye level perspective. We verified the expansion of the movement sensation and discussed about development of new sport with it.

1. はじめに

近年、近距離移動を対象とした個人のための移動手段として、様々なパーソナルモビリティビークル (PMV: Personal Mobility Vehicle) が市販されている。これまで多様な形態の PMV の研究・開発が行われているが、Segway(Segway Inc.) や Winglet(トヨタ自動車(株)) に代表される平行二輪

タイプの立ち乗り型 PMV が特に注目を集めている。他の形態の PMV や自転車等と比較して、地面に対する占有面積が小さいこと、体重移動のみで速度や進行方向の変更ができること、手軽であることなどの特徴があり、今後社会へ広く普及すると考えられている [1]。一方で、立ち乗り型 PMV は乗りこなすまでの上達時間を多く要することや、搭乗者の重心の位置が高いことにより、転倒時の事故・怪我の危険性が高いことが問題視されている。また、搭乗姿勢が立位姿勢に限定されていることで、身体が健康状態ではない人、麻痺疾患患者、高齢者や子ども、車椅子使用者にとっては利用が困難である [2]。

そこで本研究では様々な身体状態の人が利用可能となるように搭乗姿勢を着座姿勢とし、従来の PMV と異なる

¹ 筑波大学グローバル教育院エンパワーメント情報学プログラム
University of Tsukuba, Ph.D. Program in EMP. Informatics

² 早稲田大学スポーツ科学研究科
Waseda University, Graduate School of Sport Science

³ 慶應義塾大学メディアデザイン研究科
Keio University, Graduate School of Media Design

⁴ 株式会社クルー CREW inc.

⁵ 筑波大学システム情報系 University of Tsukuba

a) kosuke@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp



図 1 CarryOtto 走行外観
Fig. 1 Overview of CarryOtto

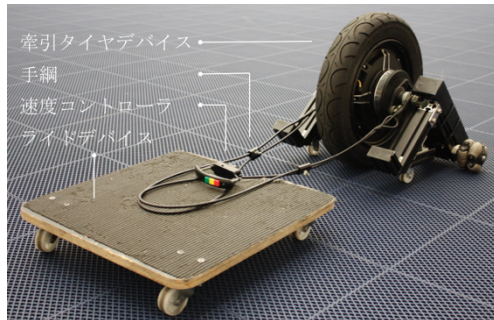


図 2 システム構成
Fig. 2 System configuration

身体動作による移動手段の確立を目的とする。これまでも座り乗り型 PMV は、Marcus(産業技術総合研究所) や UNI-CUB(本田技研工業株式会社), WHILL(WHILL 株式会社) などが提案されているが、PMV にセンサを搭載して自律走行を行うタイプや手先のコントローラやジョイスティックにより操作を行うタイプ、僅かな体重移動により操作を行うタイプなど、そのほとんどにおいて搭乗者の身体性が失われてしまっている。そのため移動手段としての利便性は高いものの、現代病として問題視されている運動不足による健康問題へと繋がると危惧される。そこで本研究では人間の身体性を保存したまま、その能力を PMV の制御に取り入れることにより、座り乗り型 PMV でありながらも身体性を支援することを目指す。

本研究では「ヒューマンスケールの移動」を新たに定義する。現代の移動手段は人間の能力をはるかに超えた性能を持つ動力源を使用したものがほとんどであり、長距離・長時間の移動を前提としているため人の負担を極力減らす方向に向かっている。これらは便利である反面、身体動作が減少し運動不足などへと繋がっているといえる。これに対して人間が生得的に持つ能力と同等程度の動力源を用いて、身体構造の特徴を考慮した移動手段(ヒューマンスケールの移動)を提供することにより、安全に身体動作を誘発することができる。また、従来の歩行動作とは異なる身体動作により走行することで移動感覚を拡張する。立ち乗り型 PMV と比較して、座り乗り型 PMV は搭乗者の視点が低いことで移動感・爽快感が十分に確保できる。さら



図 3 速度コントローラ
Fig. 3 Velocity controller

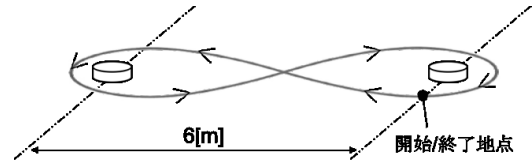


図 4 実験走行コース
Fig. 4 Experimental driving course

に、搭乗者の重心の位置が低いことで安全性の向上にもつながる。

本論文では、2 章で本研究において提案する座り乗り型 PMV についての概要、3 章でその走行性能評価と人間と機械の関係性についての実験、4 章で実験の結果と考察、5 章でまとめとその後の応用先としてのスポーツの展開について述べる。

2. システム構成

これまでの PMV は動力を有するデバイスに人間が乗り込む形態がほとんどである。しかしこれらは乗り込む動力部に対して身体が拘束されるため、身体動作が制約される。また、動力部に対する身体動作の影響度が小さい。そこで本研究は動力部と搭乗部を分離することで、人間は搭乗部とのみ拘束され、動力部との拘束は疎になり身体動作の自由度が解放される。また人間と機械を手綱で連結することにより、走行のためのインタフェースとして全身の身体動作を必要とする PMV を提案する(図 1)。本システムは動力部となる牽引タイヤデバイス、人間が搭乗するライドデバイス、牽引タイヤデバイスの速度を制御するコントローラから構成される(図 2)。移動手段としての下肢からの入出力、手による物体操作、体感による頭部のバランス維持、以上の 3 つの身体的な役割を、ヒューマンスケールの動力を持つ牽引タイヤデバイス、手綱と速度コントローラ、ライドデバイスでそれぞれ分担させることで全身運動を誘発させる。

2.1 牽引タイヤデバイス

牽引タイヤデバイスはバッテリー駆動可能なインホイールモータ(神戸電気自動車製, ブラシレス DC モータ, 600W,

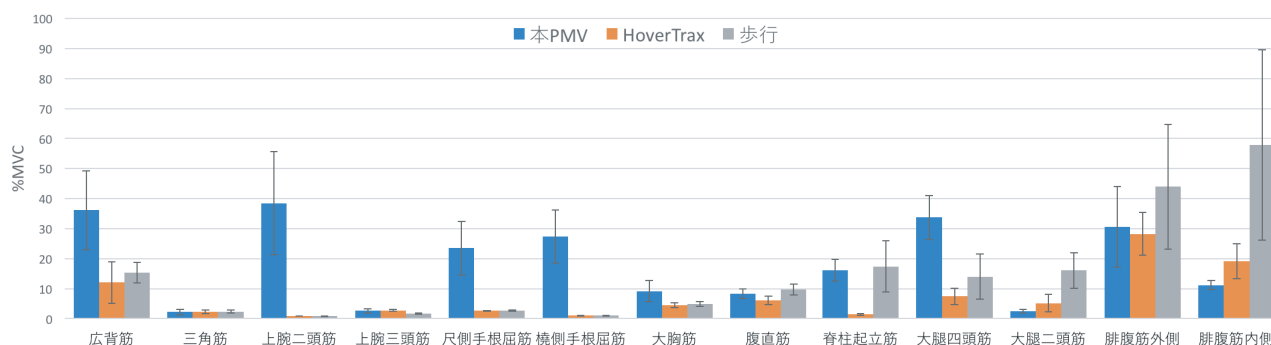


図 5 本 PMV(青), HoverTrax(橙), 歩行時(灰)における筋活動
Fig. 5 Muscle activity during CarryOtto(Blue), HoverTrax(Orange), walk(Gray)

48V) を用いる。タイヤに関しては原付バイクのチューブレスタイヤ (直径 400mm) を流用してインホイールモータに取り付ける。補助輪 4 輪支持によりタイヤが倒れないようにし、かつ鉛直軸周りに回転させることができる機構とする。フレーム重量などを含め、総重量は 20kg となる。モータの最大回転速度とタイヤの直径から、最大速度は 33km/h となる。

2.2 手綱インタフェース

牽引タイヤデバイスのモータ軸の両端 (軸の中心から 120mm の位置) に手綱 (被覆付きワイヤ, 直径 6mm, 長さ 800mm) の片端を取り付ける。もう片端を搭乗者が把持しやすくように輪形状にし、ワイヤストッパにより搭乗者の身体のスケールに合わせて長さを調整可能とする。

2.3 速度コントローラ

モータの回転速度を制御するためのデバイスとして、ボタン式速度コントローラを用いる (図 3)。各 3 つのボタン単独押下と、ボタン間の 2 つ同時押下も含めて、5 段階の変速が可能である。ボタンを押下している間、それに対応した回転速度でモータが回転し、手を離すと速度 0 へ減速する。コントローラを把持する親指で、1 速ボタンから押下しながら親指を前方へ滑らせて加速する。なお 1,2,3,4,5 速ボタンはそれぞれ 2,4,6,8,10km/h と対応する。速度コントローラと牽引タイヤデバイスの間は ZigBee ワイヤレスモジュールを用いて無線で通信を行う。

2.4 人間-機械インタラクション

人間は鉛直軸周りに自由回転する 4 つのキャスト付きのライドデバイスに着座する。なお、ライドデバイスの 4 つのキャストのうち、後方二輪に対してはキャスト角を 10 度傾けることで直進性を持たせる。両足を牽引タイヤデバイスにかけ、タイヤの両端に取り付けられた左右の手綱を引く動作と、両足の屈曲/伸展運動により、牽引タイヤデバイスの方向を制御することができる。また速度コントローラを用いて、所定の速度となるよう制御する。

3. 評価実験

本 PMV の走行における操作者の身体性を評価するため、走行中の操作者の筋電位活動の計測を行う。本論文における身体性とは、搭乗者の身体が拘束されずに全身の身体動作を有して走行を行える性質、と定義する。外的要因を受けないよう、屋内において 6 m 離れた地点に 2 箇所のマーカを配置し、そのマーカを回る八の字走行を行うコースとした (図 4)。本実験は、本 PMV の操作に慣れている健康な 20 歳代の男性 1 名を対象に行った。

全身の身体動作を把握するため、広背筋、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、尺速手根屈筋、橈側手根屈筋、大胸筋、腹直筋、脊柱起立筋、大腿四頭筋、大腿二頭筋、腓腹筋外側、腓腹筋内側の計 13 箇所 (右半身のみ) の表面筋電位の計測を行った。また比較検証のため、本 PMV の他、平行二輪タイプの立ち乗り型 PMV である HoverTrax (最高速度 10km/h) および通常の歩行においても計測を行なった。各走行において、自然な流れでスタートできるよう複数回の周回を行なった後、図 4 中の開始/終了地点を通過したタイミングから再び通過するまでを 1 周とし、計 5 周の走行を行わせた。各走行の筋疲労が影響しないよう、各走行間には休憩時間を設けた。

4. 結果と考察

本 PMV, HoverTrax, 歩行の 3 手法において、それぞれ 5 周の時間正規化を行い、最大自発筋収縮に対する相対筋電位の平均を各部位に対して算出した (図 5)。エラーバーは標準偏差を示す。また、各走行における 1 周の平均時間はそれぞれ 15.3 秒, 12.1 秒, 15.7 秒であった。HoverTrax の走行時間が短い理由としては、本 PMV と比較して加速度が高く、またブレーキの機能を有しているためである。

図 5 より、HoverTrax や歩行において、上肢や体幹の筋活動がほとんど観測されなかった。また HoverTrax においては全身のほとんどの筋活動が観測されず、腓腹筋による



図 6 体験会の様子

Fig. 6 Appearance of experience driving

体重移動のみで前後走行/回旋していることが見てとれる。5 周を走行するのにかかる時間が最も短く、全身の筋活動が小さいことから、容易で楽な移動手段としての位置付けとなるが、継続使用した時のユーザの運動不足や筋力低下などの問題に対して懸念される。

一方、本 PMV は下肢だけでなく上肢や体幹も含め、全身が筋活動していることが見てとれる。また歩行時の腓腹筋のような分散が大きく特定箇所が強く活動することがないため、平均的に全身の筋肉を使って走行しているといえる。これより本 PMV は搭乗者の身体性を損なわず、全身運動を通じて走行制御を行なっているといえる。

また本 PMV はこれまで様々な体験会を通じて、1500 人以上が走行体験した (図 6)。3 歳の子どもから 80 歳代のご年配の方、知的障害者や視覚障害者まで体験可能であることが明らかとなっている。このことから、本 PMV は直感的な身体動作により走行が可能であることが示唆される。また下半身不随の車椅子使用者も体験可能である (図 6 左下)。通常の操作方法とは少し異なり、下肢を牽引タイプデバイスにかけずに上肢と体幹のみで操作を行うが、通常走行と同様に走行可能であることが確認されている。本 PMV は図 5 に示すように様々な身体部位を使用して走行を行なっているため、麻痺患者においては使用不可となった身体部位を、他の部位によって補完して走行を行なっていると推察される。

体験者からのフィードバックでは、「普段あまり使わない筋肉を使っている感覚」「実際に走行してみると体が温かくなった気がする、ほんのり汗をかいだ」といった身体性に関する意見をはじめ、「視点が低いことで実速度よりも早く感じる」といった移動感覚に関する意見も多数あった。また、これまでの体験者のうち走行中の転倒は数件のみであり、さらにそのうち負傷した人はいないため、搭乗者の重心の位置が低いことで安全性が高いといえる。



図 7 競技会の様子

Fig. 7 Appearance of competition

5. まとめと今後の展望

本論文では新しい座り乗り型 PMV を提案し、人間の身体と機械のインタラクションに関する議論を行なった。今回の実験から、これまでの平行二輪タイプの立ち乗り型 PMV と比較して、全身の筋肉を使用して走行を行なっていることが明らかとなり、座り乗り型 PMV でありながら、移動における全身の身体性を支援しているといえる。また歩行時の腓腹筋のように特定筋箇所が瞬発的に強く活動することがなく、平均的に緩やかかつ適度な運動であることが観測されたため、健康者だけにとどまらず高齢者や車椅子使用者などの障害者における運動不足の解消に繋がると考えられる。

今後は子どもや高齢者、障害者の本 PMV 走行時における身体動作の計測や、継続使用の身体への影響を計測していくとともに、本 PMV のスポーツとしての応用も期待される。本 PMV を用いる走行には全身動作を伴うため、特別なコースを設置することでレース競技などのスポーツへの展開が見込まれる (図 7)。これまでの体験会から、年齢、性別、障害の有無を超えて誰もが本 PMV の走行が可能であることが明らかとなっている。そのため、各人の身体能力の差に関わらず、誰もがほぼ同等のパフォーマンスで競技可能となる。これにより、本 PMV を用いたスポーツの創造を通じて、様々な人が同一フィールドで競技を同時に行うことで各人同士のインタラクションが誘発されることが期待される。現在の日本における現代病として問題視されている運動不足の解消にとどまらず、スポーツにおける発展を通じて交流の場の創造や障害の理解の場へと繋がることが期待される。

参考文献

- [1] 西内裕品, 塩見康博, “乗車経験に着目したセグウェイの走行挙動特性に関する基礎研究”, 土木学会論文集, Vol.68, No.5, I.917-I.927, 2012
- [2] Hashimoto, Naohisa, et al. "An experimental study on changes of muscle fatigue among traveling by standing-type mobile vehicles and walking." 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2012