

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04067

研究課題名(和文) 座り乗り式車輪倒立型PMVの「心地よい操縦感」を実現する操縦支援手法の構築

研究課題名(英文) Build a driving assistance method to realize "comfortable maneuvering feeling" for a sit-riding type WIP PMV

研究代表者

鄭 聖熹 (Jeong, Seonghee)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号：50422176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、座り乗り式倒立型パーソナルモビリティ(PMV)を模倣した実験装置を制作し、不安定な搭乗部上で座っている被験者のバランス運動能力を評価した。実験結果、座面の回転剛性2.45Nm/deg以上で、座面の傾き角が ± 1 度以内に維持できることが確認できた。また、PMVの加減速操縦に必要な座面の傾き角度及び角速度において、座面傾き角度が約 ± 6 度以上から被験者の不安感が大きくなっていることが分かった。座面の傾き角速度においては12deg/s以上になると被験者の不安感が大きくなることが分かった。操作方式では、上半身動作で座面を傾ける場合がジョイスティック操作時より不安感を感じにくいことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施により、座り乗り式倒立型パーソナルモビリティビークル(PMV)の走行制御系設計に必要なパラメータ、すなわち、搭乗者の上半身のみの動作による車体のバランス制御がしやすい姿勢角制御ゲイン、加減速動作及び急制動動作において搭乗者が不安感を少なく感じる車体角度及び角速度の定性的なしきい値を得ることができた。

同結果を立ち乗り式PMVの制御系設計に応用することで、搭乗者にとってはよりすくない身体的・心理的負担で安定的に走行できる心地よい操縦感の達成が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, an experimental simulator imitating a sit-riding type pendulum personal mobility vehicle (PMV) has been developed to investigate rider's physical and psychological burden. In the evaluation of the balancing ability on an unstable seat, the subjects were able to keep the seat within ± 1 degree under the condition of rotational stiffness 2.45Nm/degree. Regarding to the tilt angle and angular velocity of the seat required to operate the PMV, the subjects more anxious when the tilt angle and angular velocity were larger than ± 6 degree and 12 degree/s, respectively. For the operating method, it became clear that the subjects less anxious when tilting the seat with their upper-body motion than with operating a joystick.

研究分野：ロボット工学

キーワード：車輪倒立型パーソナルモビリティ 不安感評価 バランス評価 電動車椅子

1. 研究開始当初の背景

2輪のみで走行できる車輪倒立型パーソナルモビリティビークル (PMV) は補助輪を持たないメリット、すなわち、コンパクトな車体と走行効率の高さ、凹凸を含む路面での優れた旋回能力を持つ。その反面、体重移動を伴う身体動作が車体の挙動にダイレクトに現れるため、走行性能が搭乗者の身体的・心理的要因に大きく依存される。

セグウェイのように立位姿勢で走行する「立ち乗り式」は、足首を軸として体重が移動できるため加減速操縦が容易であり、車体の挙動にもすばやく反応できる。一方、座位姿勢で走行する「座り乗り式」は、体重移動が腰を軸とした上半身運動に限定される。これによる加減速操縦性の低下は搭乗者の不安感に繋がるのが先行研究で分かっている[1]。スライド機構を用いて座位姿勢での重心移動を容易にし、加減速操縦性を向上させる手法も提案されている[2]。しかし、「座り乗り式」を乗り物として厳密に評価するためには、加減速操縦性だけでなく、搭乗者の走行中の身体的・心理的な面も含めた総合的な操縦感についての考察が要求される。

2. 研究の目的

本研究では、搭乗者の座位姿勢での重心運動特性、走行時の身体的・心理的負荷の実験的評価を基に、座り乗り式倒立型 PMV の「心地良い操縦感」を実現する操縦支援手法の基盤技術を構築することを目的とする。座り乗り式に関しては、上半身の揺れを抑制して系の安定化を図る制御手法が多く提案されているが、搭乗者の座位姿勢での重心運動特性とそれが車体の走行制御系へ及ぼす影響については検討が不十分である。

本研究では、不安定搭乗部上における座位姿勢でのバランス能力と急速体重移動能力を明らかにし、座り乗り式の安定走行制御系及び効率の良い急制動支援制御系設計についての知見を得る。また、腰の曲げ伸ばしで加減速操縦が行われる座り乗り式において、操縦動作による身体的・心理的負荷を調べる。これを明らかにすることで、心地よい操縦感を指標とした新しい操縦支援手法を設計するための知見を得る。

3. 研究の方法

本研究では、まず、(1) 搭乗者の操縦運動能力及び心理的負荷が計測可能な座り乗り式倒立型 PMV を模倣した実験装置を製作する。同実験装置を用い、(2) 不安定搭乗部上での座位姿勢時の搭乗者のバランス運動能力及び急速重心移動能力を評価する。その後、(3) PMV の加減速操縦に必要な搭乗部座面の傾き角度が搭乗者へ及ぼす恐怖感の評価及び(4) 加減速動作時の座面の傾き角速度が搭乗者へ及ぼす恐怖感の評価を実施する。

4. 研究成果

(1) 座り乗り式二輪倒立型 PMV 実験装置

搭乗者の操縦運動能力及び心理的負荷が計測可能な座り乗り式倒立型 PMV を模倣した実験装置の構造と制御システム構成を図 1 に示す。同実験装置は、被験者が座る座面下部の回転軸周りが最大±12度まで回転する構造であり、二輪で走行を行う座り乗り式 PMV の前後方向の不安定性が物理的にシミュレートできる。座面の回転方法は、座面後部に取り付けられた直動アクチュエータによる電動式と、座面下部の前後に取り付けられた固定フレームと座面間の圧縮ばねの復元力によって回転を行う機械式の2通りある。電動式は、搭乗者の重心移動量とジョイスティックの操作量に応じて座面の傾き角度が細かく設定できる。機械式は、回転軸回りの回転を素早く行うことができ、回転剛性の異なるばねを取り換えることで回転剛性が変更できる。実験は、両方式の特徴を考慮して適切な方法で実施する。座面の回転角度はエンコーダで検出し、SH2-7136 で傾き角に変換する。SH2 は、搭乗者の重心移動量や操作インターフェイスによる操作量に対する傾き角の制御入力を計算し、PWM でモータドライバを (ESCON 70/10) を制御する。各センサからの荷重に比例する計測電圧値は AD 変換され、SH2 で重心位置及び踏み込み力が計算される。

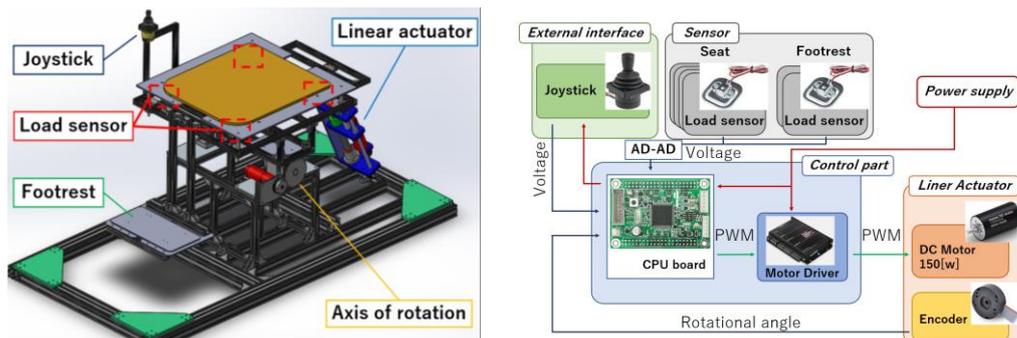


図 1 実験装置の外観及び制御システムの構成

(2) 座位姿勢でのバランス運動能力及び急速重心移動能力評価

座位姿勢での人のバランス運動能力及び急速体重移動能力の評価実験を実施した。実験では、実験開始直後の初期の座面角度を目標値として、30 秒間バランス動作を行う実験を行った。上半身のみを使ってバランス運動が行えるよう、膝を直角で曲げた座位姿勢で被験者の足を固定した。バランス動作は4種類の回転剛性でそれぞれ5回ずつ計測した。得られた異なる回転剛性での被験者8人分の座面の最大傾き角の結果を図2に示す。同グラフより、回転剛性 2.45Nm/deg 以上では座面の傾き角が±1 度以内に維持できていることが確認できる。しかし、回転剛性 1.78Nm/deg では、傾き角の範囲が-3.4 度から 4.0 度内で大きく振れており、結果的に安定してバランスが取れていないことが確認できた。

急速体重移動動作実験において、被験者は実験開始からランダムなタイミングで与えられた視覚的トリガを基に上半身を後方へ急速に移動させる。実験では、異なる3つの回転剛性と下肢部の使用の有無による影響を明らかにするため、足置き有/無の6種類の計測実験を行った。得られた被験者1人分の挙動を図3に示す。被験者の重心位置の挙動は、視覚的トリガから約0.33秒まで反応がなく(phase1)、0.33秒から反応し始め、0.52秒付近まで前方へ移動する(phase2)。その後、0.62秒まで初期位置へ戻り(phase3)、0.62秒以降目的の後方移動する(phase4)ことが分かった。足置きの有無に関しては、後方運動動作を開始する時間の差は無く、重心移動量における差も確認できなかった。これは、下肢障がい者でも健常者の同様の重心移動が行えることを示す結果である。

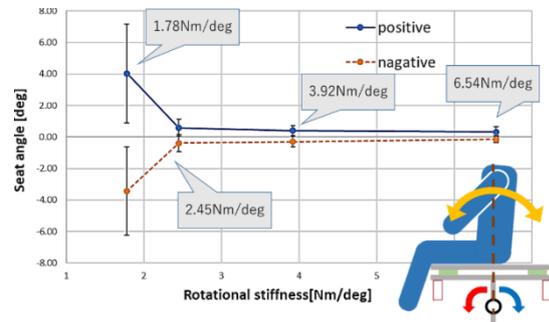


図2 バランス動作実験結果

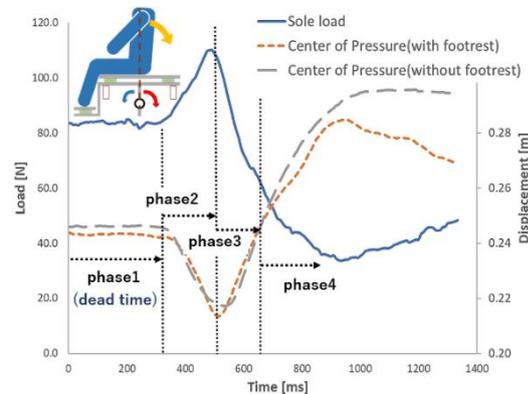


図3 急速体重移動動作実験結果

(3) 座面の傾き角度による不安感の評価

座面の傾く角度によって人が感じる不安感をアンケート記入による主観的評価法を用いて調査した。図4に示すように、被験者は両足を座面の動きと連動する足置き場に置き、両手は座面側部を把持する。これにより、被験者の上半身及び頭部が座面に対して垂直となり、座面と一体化した動きとなる。座面の傾きは、被験者が上半身の屈曲運動で重心を移動させることで変化する。座面が傾く最大角度は、座面と座面下部の固定フレーム間に高さの異なるブロックを置くことで調整できるようにした。被験者が前方に傾く場合を正方向、後方へ傾く場合を負方向とした。評価実験は、健常男性10名(平均年齢 22.2 歳±1.2、身長 169.0cm±4.8、体重 68.2kg±6.1)を対象に実施した。座面部の傾く角度は被験者には事前に伝えず、±1 度から±9 度までをランダムに設定した。被験者は、実験開始前に練習を行わず、各傾き角度に対して1回目の計測における不安感程度に関してアンケートに回答した。傾き角に対する不安感の程度は、「かなりある(5)・わりあいある(4)・ふつう(3)・あまりない(2)・まったくない(1)」の5段階とした。図5(左)に前方に座面が傾いた際の被験者全員分のアンケート結果の平均と標準偏差を示す。傾き角度が4度以下では不安感の程度はほとんどみられず、6度以上から不安感が大きくなっていることが分かる。また、図5(右)は、後方に傾いた場合の結果を示しており、ばらつきが大きいものの-4度以下では不安感を感じず、-6度以上で不安感が大きくなっていることが確認でき

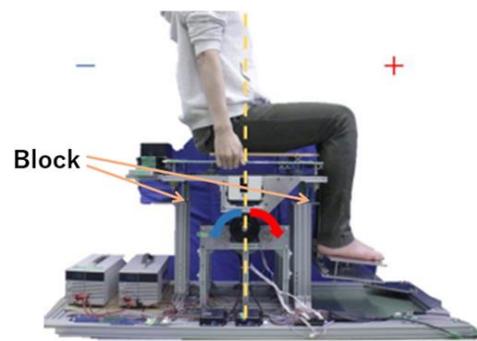


図4 座面傾き角度による不安感調査実験

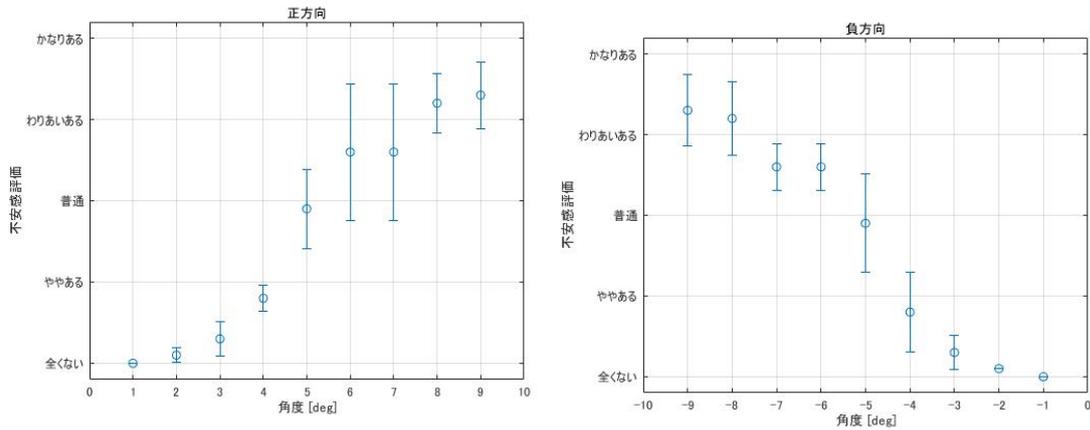


図 5 座面傾き角度による不安感調査実験結果：(左)正方向、(右)負方向

た。同結果から、前方方向でも後方方向でも車体が 6 度以上傾くと被験者らは不安感を持つ傾向があることが分かった。

(4) 座面の傾き角速度による不安感評価

座面の傾き角速度と座面を傾ける手段が人の不安感に与える影響を調べる実験を実施した。被験者は、上半身の屈曲動作で重心を移動して座面を前方方向に回転させる能動的方法(図 6 左)と、ジョイスティックの操作で座面を前方に傾ける受動的的方法(図 6 右)で座面を傾ける。評価実験は、健康男性 11 名(平均年齢 22.1 歳 ±0.67、身長 171.6cm ±6.4、体重 69.5kg ±7.4)を対象に行った。実験では、被験者が地面と平行な座面部に座り、加速動作を想定

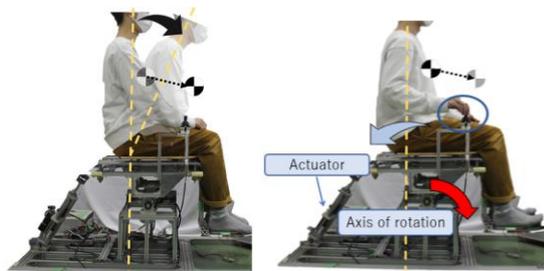


図 6 座面傾き角速度による不安感調査実験

して能動的・受動的的操作方法で座面を傾ける。座面の傾き角速度は 1~20deg/s まで 9 段階に順に設定し、傾く間は等速になるように制御した。被験者は、計測開始前に回転角速度に慣れるように練習し、計測後に不安感の程度について「かなりある(5)・わりあいある(4)・ふつう(3)・あまりない(2)・まったくない(1)」の 5 段階のアンケートに回答した。

傾き角速度に対する被験者 11 名分のアンケート結果を図 7 に示す。両グラフより、座面の傾き角速度が大きくなることで不安感が増加し、回転角速度が 12deg/s 以上から被験者がわり

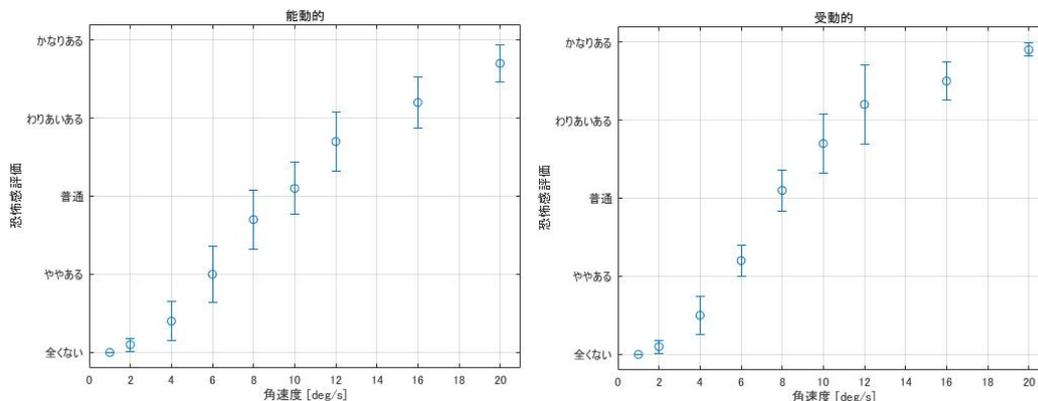


図 7 座面傾き角速度による不安感調査実験結果：(a)能動的操作、(b)受動的操作

と不安感を感じる事が分かる。両動作での結果を比較してみると、能動的に身体を動かして座面を傾ける方法(図 7 左)がジョイスティック操作で傾ける方法(図 7 右)より不安感を感じにくい傾向があることが確認された。これは、座面の傾き動作を身体で操作することによる予測可能性と、座面より身体が先に傾くことが影響していると考えられる。

本研究の実施により、座り乗り式 PMV の走行操作において、搭乗者の上半身動作による車体の

バランス制御がしやすい姿勢角制御ゲイン、加減速動作及び急制動動作における搭乗者が不安感を少なく受ける車体角度及び角速度の定性的なしきい値を得ることができた。同結果を立ち乗り式 PMV の制御系設計に適用することで、搭乗者によるより心理的負荷の少ない走行操作が可能になることが期待できる。

<引用文献>

- ①Seonghee Jeong、 Kazuki Kouzai、 Shinji Noguchi、 Influence of a rider' s weight-shifting motion on the braking behavior of a self-balancing personal mobility vehicle、 Advanced Robotics、 Vol.30、 No.7、 2016、 449-458
- ②Kazuto Yokoyama、 Masaki Takahashi、 Dynamics-Based Nonlinear Acceleration Control With Energy Shaping for a Mobile Inverted Pendulum with a Slider Mechanism、 IEEE Transactions on Control Systems Technology、 Vol.24、 No.1、 2016、 40-55

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 前田直樹
2. 発表標題 不安定機構上の座位姿勢における人のバランス能力 及び重心運動特性の評価
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田直樹
2. 発表標題 車輪倒立型電動車椅子における搭乗者の心理的負荷の評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seonghee Jeong
2. 発表標題 Driving Assist Control of Wheeled Inverted Pendulum Wheelchair Using an Active Seat-Slider
3. 学会等名 2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------