

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24760188

研究課題名(和文) 車両の軽量化と高齢者の運転の相互作用ダイナミクスを利用した走行安定化技術の構築

研究課題名(英文) Stabilization of the personal mobility vehicle integrating dynamic interaction between elderly driving and lightweight-design of the vehicle

研究代表者

中川 智皓 (Nakagawa, Chihiro)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70582336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、軽量のパーソナルモビリティ・ビークルとして、倒立振り子型車両および4輪型立ち乗り式車両に着目し、車両および人間の運動を検討した。人間の重心移動に応じて前後に移動する倒立振り子型車両については、マルチボディダイナミクスを用いた数値シミュレーションおよび三次元動作解析装置を用いた実験により、車体の形状(取っ手の有無等)が人間の挙動および車両の運動に与える影響を明らかにした。また、静的安定性を保持することが可能な車両の一例である4輪型立ち乗り式車両については、車両と詳細な人間モデルを構築し、姿勢安定化メカニズムについて検討し、車両のホイールベースや取っ手位置などの設計指針を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the dynamic motion of the lightweight personal mobility vehicles (PMVs) and a human was investigated. As forms of PMVs, an inverted pendulum vehicle and a four-wheel stand-up type vehicle were focused on. The numerical model of an inverted pendulum vehicle which moves according to the movement of a driver's center of gravity was constructed by using multibody dynamics. From the proposed numerical simulations and the experiments using the three-dimensional analysis system, the influence of the shapes of the vehicle on the human behavior and the vehicle motion was shown. Further, the four-wheel stand-up type vehicle that is one example of a vehicle with static stability was modeled with a driver as a coupled model. The simulation results showed the design guidelines, such as the wheelbase of the vehicle and the handle position.

研究分野：機械力学

キーワード：パーソナルモビリティ 運動力学 マルチボディダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

高齢社会にける緊急の課題の一つとして、交通弱者のための歩行の代替となりうる移動手段の開発がある。足腰の衰えから長距離を歩くことが負担また困難な高齢者向けに、シニアカーなど歩行を補う移動手段が開発されている。シニアカーは、自動車に比べコンパクトで軽量であり、その手軽さから近年使用者が増えている。一方、シニアカーの増加に伴い、段差や傾斜での転倒、操作ミスなどの事故が増えている。シニアカーの他にもパーソナルな移動手段として、電動三輪スクータ、電動アシスト自転車、電動車椅子が市販されている。電動ではない移動手段では、フレーム形状を工夫した自転車や軽量車椅子などが挙げられる。また、新しいモビリティとしては、倒立振り子型車両が研究されている。これは平行に2つの車輪を有し、制御によって安定性を保持する乗り物である。操縦者は、重心移動によって車両を自由に操ることができる。このように、移動の負担を低減させるパーソナルモビリティ・ビークルは、持ち運びや省スペース性の観点から、近年軽量小型化されることが望まれている。

2. 研究の目的

しかしながら、車両が軽量になると、車両は人の重量と同程度となり、人との相互作用が無視できなくなる。安全性や安定性を確保するためには、人の影響を考慮した軽量車両のダイナミクスを把握し、それを考慮した車体設計、制御系を構築することが重要である。よって、本研究では車両の軽量化と人間の操縦についての相互作用を統合的に評価し、車両の走行安定化技術を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、パーソナルモビリティ・ビークルとして、倒立振り子型車両と立ち乗り式四輪型車両について着目する。それぞれの車両について、車両と人間の連成モデルを構築し、運動解析を行う。また、必要に応じて、走行実験を行う。

(1) 倒立振り子型車両

主に軽量車体である倒立振り子型車両を取り上げ、車両と詳細な人間モデルをマルチボ

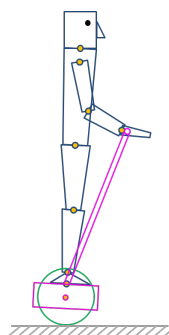


図1 倒立振り子型車両と人間の連成モデル

ディダイナミクスを用いて構築し、姿勢安定化メカニズムについて検討する。車体の形状（取っ手の有無等）が人間の挙動および車両の運動に与える影響を示す。図1に車両と8剛体人間モデルの連成モデルを示す。実験では、三次元動作解析装置を用い、人間の詳細な動きを把握する。図2に三次元動作解析装置を用いた走行実験の様子を示す。

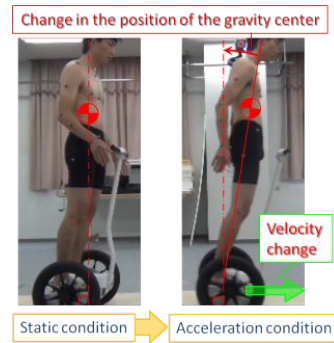


図2 三次元動作解析装置を用いた走行実験

(2) 4輪型立ち乗り式車両

コンパクトでありながらも静的安定性を保持することが可能な車両の一例として4輪型立ち乗り式車両を取り上げる。車両の加速時における前輪の浮き上がり、及び制動時における後輪の浮き上がりによる転倒を検討するため、加速モデルと制動モデルに分けて構築する。さらに、車両と詳細な人間モデルを構築し、姿勢安定化メカニズムについて検討する。加減速時の安定性に対する車両パラメータの影響を数値シミュレーションによって示す。図3に前輪の浮き上がりを考慮できる3剛体車両モデル、図4に4輪型立ち乗り式車両と人間の連成モデルを示す。

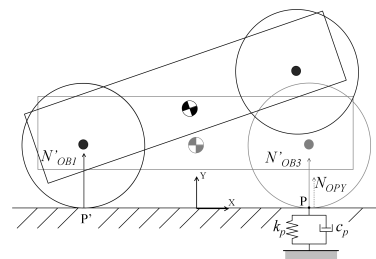


図3 前輪の浮き上がりが考慮できる車両モデル

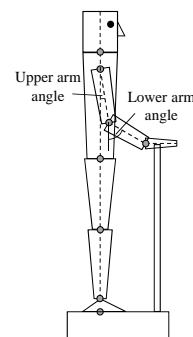


図4 4輪型立ち乗り式車両と人間の連成モデル

#### 4. 研究成果

##### (1) 倒立振り型車両

連成モデルにおいて、操縦者が「取っ手を持つ場合」と「持たない場合」に着目し、操縦者の加速・減速操作時の各挙動を数値シミュレーションによって把握した。また、取っ手を持つ場合は、腕部を意図的に動かす場合と動かさない場合の2通りを検討した。数値シミュレーション結果の一例（胴体部側の目標傾き角度が小さい場合）として、図5に体重心の傾き角度、図6に車両速度を示す。操縦方法の違いによって、車両速度変化に大きな差が出るのが分かった。また、操縦者が取っ手を意図的に操作して加減速する場合、胴体部側の状態によらず加減速しやすい操縦方法であることを把握した。

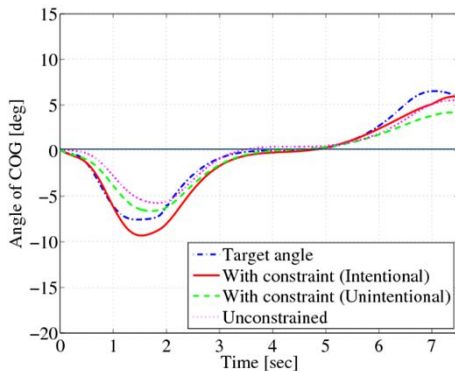


図5 体重心の傾き角度

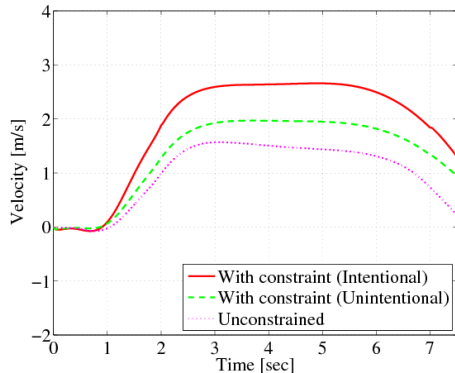


図6 車両速度

##### (2) 4輪型立ち乗り式車両

車輪の浮き上がりが考慮できる車両と人間の連成モデルを用いた数値シミュレーションの結果、加速時については乗車位置が後方になるほど、制動時については乗車位置が前方になるほど車両が転倒しやすくなることが確認できた。立位姿勢保持の限界と推定した加速度  $1.61 [m/s^2]$  以下とする場合、ホイールベースは約  $0.4 [m]$  以上確保すれば良いと考えられる。図7に加速度と限界ホイールベースの関係を示す。

次に、人間の下肢の筋肉量は加齢に伴い減少し、80歳時には20歳時と比べて70%程度にまで減少することが示唆されている（参考文献）。これを参考に、各部位についての筋力低下を考え、数値シミュレーションを行った。図8に上腕部の角度別に、車両が加速・

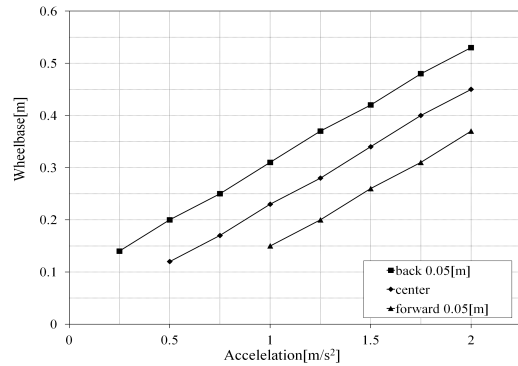


図7 加速度と限界ホイールベース

制動する際の重心移動の距離を比較した。下肢の筋力低下により、車両上の人間の重心移動の距離が大きくなることが確認された。特に、足首に関連した筋力の低下が重心移動に大きな影響を与えることが分かった。また、今回の条件では、前腕部の角度が大きくなる程、下肢の筋力低下がある場合でも重心移動の距離が小さくなることが示唆された。

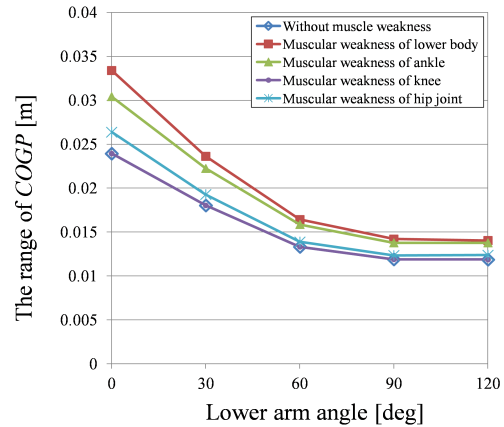


図8 重心移動の距離

また、既往研究を参考に、足底の踵部を0%、爪先部を100%とした場合の立位姿勢の保持姿勢エリアを図9に示す。図10に示す本研究におけるシミュレーション結果の等高線は、既往研究の実験から得た限界加速度の折れ線とおおよそ同じ形状であり、加速時間が長くなる程、限界加速度が小さいという傾向が一致していることを確認した。

上腕部、及び前腕部の角度を  $10 [deg]$  刻みとし、重心移動距離を表示した結果を図11に示す。重心移動距離は上腕部、前腕部の角度の組み合わせにより大きく異なることが分かった。上腕部の角度が大きいほど、重心移動距離が小さいこと、また重心移動距離が小さくなる前腕部の角度は、上腕部の角度により異なることが確認できる。特に、上腕部と前腕部が同じ角度で、かつその角度が  $30 [deg]$  以上となるような姿勢の場合、取っ手による重心移動の抑制効果が高いことが確認できる。ただし、車両上のスペースを考慮すると上腕部の角度は  $30 \sim 60 [deg]$  程度が妥当であると考えられる。

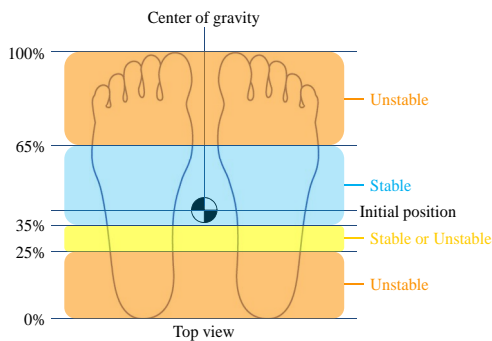


図9 立位姿勢の保持範囲

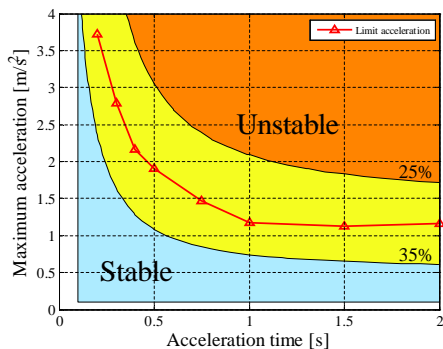


図10 立位姿勢保持の限界加速度

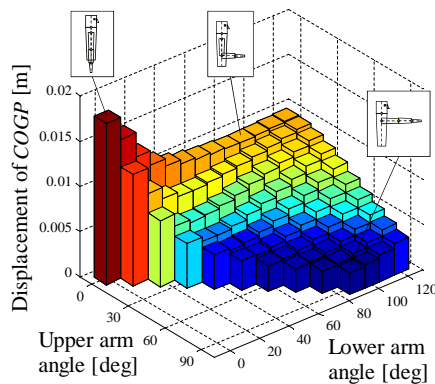


図11 立位姿勢保持の限界加速度

<参考文献>

谷本芳美, 渡辺美鈴, 河野令, 広田千賀, 高崎恭輔, 河野 公一, 日本人筋肉量の加齢による特徴, 日本老年医学 47, No.1 (2010), pp.52-57.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 10 件)

森田 悠介, 中川 智皓, 新谷 篤彦, 伊藤 智博, 加速する立ち乗り式四輪型車両上の人間の重心挙動, 日本機械学会関西支部 第 91 期定時総会講演会 (2016 年 3 月 12 日, 大阪電気通信大学, 大阪)

森田 悠介, 中川 智皓, 新谷 篤彦, 伊藤 智博, 下肢の運動低下を考慮した立ち乗り式四輪型車両上の人間の運動解析, 日本機械学会関西支部 第 90 期定時総会講演会 (2015 年 3 月 16 日, 京都大学, 京都)

森田 悠介, 中川 智皓, 新谷 篤彦, 伊藤 智博, 立ち乗り式四輪型パーソナル

モビリティ・ビークル上の人間の運動解析と実験, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2014 (2014 年 8 月 29 日, 上智大学, 東京)

C. Nakagawa, S. Arakawa, A. Shintani, T. Ito, Multibody Analysis of an Inverted-pendulum Vehicle and Driver Operation during Acceleration and Deceleration, 3rd Joint International Conference on Multibody System Dynamics (Busan, Korea, 30 June, 2014)

森田 悠介, 中川 智皓, 新谷 篤彦, 伊藤 智博, 立ち乗り式四輪型パーソナルモビリティビークルと操縦者の運動に関する基礎検討, 日本機械学会第 22 回交通・物流部門大会 TRANSLOG2013 (2013 年 12 月 11 日, 東京大学, 東京)

中川智皓, 荒川俊介, 新谷篤彦, 伊藤智博マルチボディダイナミクスを用いた加減速時における倒立振り型車両と操縦者の運動解析, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2013 (2013 年 8 月 26 日, 九州産業大学, 福岡)

C. Nakagawa, S. Arakawa, A. Shintani, T. Ito, Multibody Analysis of a Human and Inverted Pendulum Vehicle with and without a Handle-Hand Constraint, IDETC/CIE 2013, (Portland, USA, 6 August, 2013)

C. Nakagawa, S. Arakawa, A. Shintani, T. Ito, Dynamic Behavior of Inverted Pendulum, Vehicle and Driver during Deceleration, ECCOMAS Multibody Dynamics 2013, (Zagreb, Croatia, 3 July, 2013).

荒川俊介, 中川智皓, 新谷篤彦, 伊藤智博加速操作の違いによる倒立振り型車両と操縦者の挙動に関する基礎検討, 日本機械学会関西支部 第88期定時総会講演会 (2013年3月16日, 大阪工業大学, 大阪)

荒川俊介, 中川智皓, 新谷篤彦, 伊藤智博, マルチボディダイナミクスを用いた倒立振り型車両と操縦解析, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2012 (2012年9月20日, 慶応大学, 横浜)

[その他]

ホームページ等

<http://www.me.osakafu-u.ac.jp/dyna/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 智皓 (NAKAGAWA, Chihiro)

大阪府立大学・工学研究科・助教

研究者番号: 7 0 5 8 2 3 3 6