

# セグウェイの走行安全の実験

大野 寛<sup>1</sup>・富永 茂<sup>2</sup>・岡野 道治<sup>3</sup>  
西内 裕晶<sup>4</sup>・轟 朝幸<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 日本大学大学院 理工学研究科機械工学専攻 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)  
E-mail:cshi12011@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 日本大学助教 理工学部機械工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)  
E-mail:stomi@mech.cst.nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 日本大学教授 理工学部機械工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14)  
E-mail:okano@mech.cst.nihon-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 日本大学助教 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1-744)  
E-mail:nishiuchi.hiroaki@nihon-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1-744)  
E-mail:todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

本研究では、パーソナルトランスポーターの代表例であるセグウェイの走行安全性の実験を行った。走行実験は、加速試験、制動試験、定常円旋回試験を行った。加速試験、制動試験からは、セグウェイの最大発生減速度とそのときのライダーの最大ピッチ角を算出した。定常円旋回試験からは、最大横加速度とライダーのロール角を算出した。また、最大ロール角とそのときにライダーの危険感を評価した。以上の試験結果を整理し、セグウェイの走行安全性について考察した。

**Key Words :** *Paeronal Ttanspoter, safety, Vhicle and rider dynamics*

## 1. はじめに

近年、都市空間内における歩行者との親和性を重視した新しい一人乗り用の乗り物が注目されている。その総称をパーソナルモビリティ・ビークル(Personal Mobility Vehicle, 以下PMV)といい、その一例として2001年にSegway Inc.から発表されたセグウェイがある。しかしながら、それらPMVの走行特性の統一化された評価方法は確立されていない。

そこで本研究ではそれらを明らかにし、PMVの短所を見つけ、その短所を補うことが出来るPMVを開発することを目的とした。

本稿では選定した実験車両について加速試験、制動試験および定常円旋回試験を行い、限界走行特性を測定した。さらにその結果を先行研究と比較・評価したので報告する。

## 2. 実験車両

代表的なPMVとしてSegwayPTi2(Segway Inc.)を選定した。この車両は倒立振り子のPMVである。この実験車両を用いて走行実験を行い、結果からPMVの限界走行特性を明らかにする。図1に作成した実験車両のモデル図を示す。なお、ここで車体ピッチ角を $\theta_{vp}$ 、ライダーピッチ角を $\theta_{rp}$ 、操舵角を $\theta_s$ 、ライダーロール角を $\theta_{rr}$ とする。

## 3. 実験装置

セグウェイの車体ステップ部に3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサを設置し、加速度、角速度を測定した。

さらに角速度の測定値から車体ステップ部の角度を算出した。また、走行中の様子をビデオカメラで撮影し映像から車体およびライダーの挙動、走行速度を測定した。

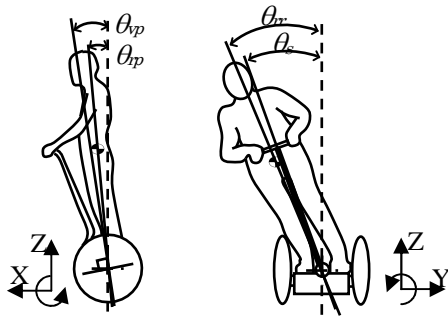


図1 セグウェイの測定項目

#### 4. 実験方法

##### (1) 加速試験

15 mの直線試験路にて加速走行を行った。走行中の最大加速度  $\alpha_{xmax}$  およびステップ部の最大ピッチ角  $\theta_{vpmax}$  を測定した。

##### (2) 制動試験

助走区間10 m, 制動区間3 mの直線試験路にて走行中に急制動を行った。制動区間中の最大減速度  $\alpha_{dxmin}$ 、ステップ部の最小ピッチ角  $\theta_{vpmin}$  および制動前の走行速度を測定した。

##### (3) 定常円旋回試験

旋回半径4.3 mの円形試験路にて定常円旋回走行を行った。走行中の横加速度  $\alpha_y$ 、操舵角  $\theta_s$ 、ライダーロール角  $\theta_{rr}$  を測定した。また走行中の恐怖感について乗員からアンケートを採った。実験は試行ごとに低速域から転倒の危険感じるまで徐々に走行速度を大きくして行った。

#### 5. 実験結果

##### (1) 加速試験結果

図2に走行中の最大加速度およびステップ部の最大ピッチ角を示す。

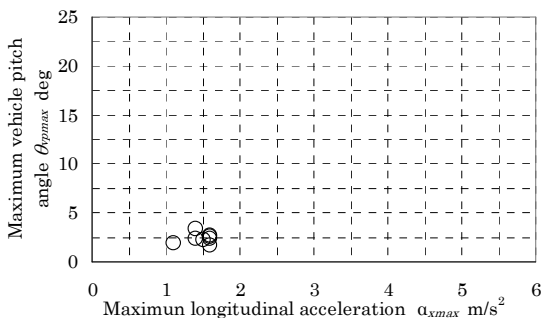


図2 加速試験におけるセグウェイの最大加速度とライダーのピッチ角の関係

図2より走行中の最大加速度の平均値は1.5  $m/s^2$ 、そのとき最大ピッチ角の平均値は2.4 degとなった。結果にはばらつきはあまり生じなかった。

##### (2) 制動試験結果

制動区間中の最大減速度、ステップ部の最小ピッチ角を図3に示す。

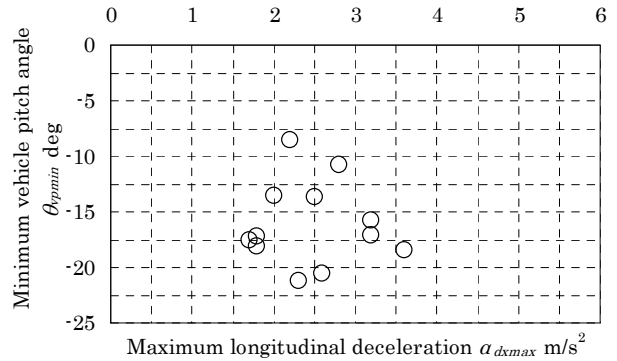


図3 制動試験におけるセグウェイの最大加速度とライダーのピッチ角の関係

図3より制動中の最大減速度の平均値は2.5  $m/s^2$ 、そのときの最小ピッチ角の平均値は-16.0 degとなった。結果にはばらつきがあり、また線形性は見られなかった。

##### (3) 定常円旋回試験結果

図4に走行中の横加速度と操舵角およびライダーロール角の関係を示す。

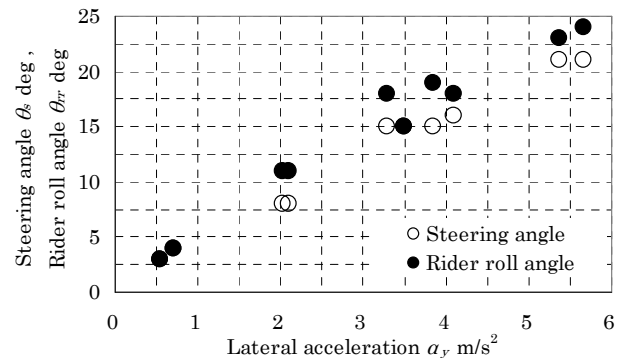


図4 定常円旋回試験におけるセグウェイの横加速度とライダーの操舵角とロール角の関係

また、図5に走行中の横加速度と乗員の恐怖感の関係を示す。なお、ここで恐怖感の点数は3で「全く恐怖を感じない」、0で「どちらとも言えない」、3で「非常に恐怖を感じる」とした。

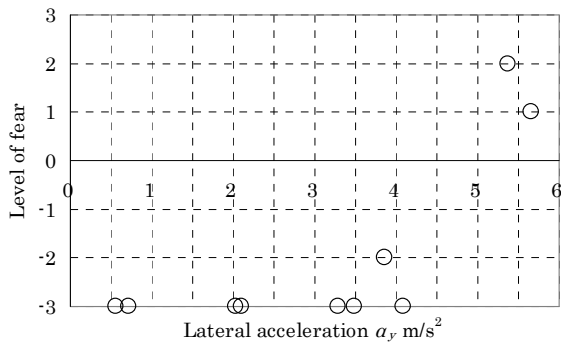


図5 定常円旋回試験におけるセグウェイの横加速度と危険感の関係

図4より走行中の横加速度の最大値は $5.7 \text{ m/s}^2$ 、そのときの操舵角は $21 \text{ deg}$ 、ライダーロール角は $24 \text{ deg}$ であり高加速度域では操舵角よりライダーロール角の方がわずかに大きくなることがわかった。横加速度と操舵角、ライダーロール角には比例的な関係が見られた。図5より乗員は横加速度が $4.0 \text{ m/s}^2$ 以上で急激に恐怖を感じ出すことがわかった。

## 6. 考察

### (1) 50 cc二輪車走行性能との比較

実験結果と文献1,2)の排気量50 ccの二輪車（以下、二輪車）の限界走行特性を比較した。加速特性について、文献より二輪車の最大加速度は $1.5 \text{ m/s}^2$ であり図2の結果とほぼ等しくなった。これより実験車両も瞬間的には二輪車と同程度の加速度を感じる事が言える。制動特性について、文献より二輪車の最大減速度は $7.6 \text{ m/s}^2$ であり図3の結果より大きな値であった。これより実験車両は二輪車に比べ急制動時の制動距離が長くなる事が考えられる。操縦安定特性について、文献より図4のグラフに二輪車の限界特性を足したものを図6に示す。

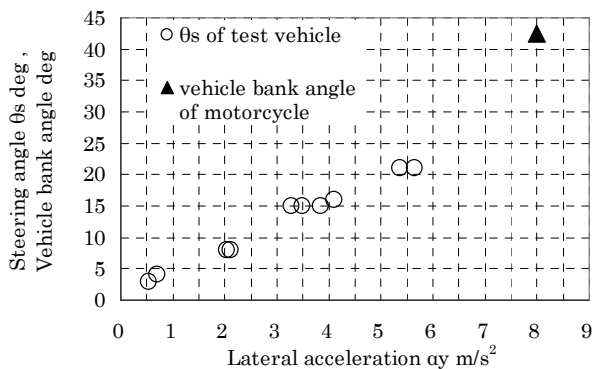


図6 定常円旋回試験におけるセグウェイと二輪車の横加速度とロール角の比較

図6より、操縦安定性について二輪車の方が実験車両よりロール方向の傾きおよびそのときの横加速度が大きいことがわかる。これより、倒立振り子型PMVより一般的な二輪車型PMVの方が操縦安定性に関する限界特性が高いことが言える。

### (2) 倒立振り子型PMV先行研究との比較および解析方法の検討

塩見ら3)は本稿と同じくSegwayPTi2を実験車両に選定し走行実験を行っていたため本稿の結果と比較する。加速試験について低速モード、高速モードの限界加速度に大きな差がないことを述べている。しかし、乗員の熟練度によって加速のスムーズさ、すなわち一定加速度で加速走行が行っているかに差異が生じていた。これは実験車両の制御特性を体感的に理解できているかの違いによるものだと考えられ、本稿の実験結果からも明らかにすることはできなかった。今後の研究では乗員がどのような入力を行うと車両はどのような挙動を示すかを車体の角度、角速度、速度および加速度に着目して解析していく。

## 7. 結論

倒立振り子型のPMVの加速・制動性能および操縦安定性の限界性能を検討するため実験車両にて加速試験、制動試験および定常円旋回試験を行った。結論を以下にまとめる。

- 1) 実験車両の最大加速度の平均値は $1.5 \text{ m/s}^2$ であり、この値は排気量50ccの二輪車に近いものであった。
- 2) 実験車両の最大減速度の平均値は $2.8 \text{ m/s}^2$ でありそのときの最小ピッチ角の平均値は $-14.0 \text{ deg}$ であった。この最大減速度は排気量50ccの二輪車に劣るものであった。
- 3) 実験車両の横加速度の限界値は $5.7 \text{ m/s}^2$ であり、そのときの操舵角は $21 \text{ deg}$ 、ライダーロール角は $24 \text{ deg}$ であった、この値は排気量50ccの二輪車に劣るものであった。

### 参考文献

- 1) 井上寿一編：モト・ライダー43(1979)206
- 2) 景山克三：自動車工学全書15モータースポーツ、二輪自動車山海堂(1980)159,164
- 3) 塩見康博、西内裕晶：セグウェイの走行挙動に関する基礎的研究、土木計画学研究会講演集、(2011)

(2012.5.6 受付)

# Experiments on Safety Performance of Personal Mobility Vehicle in Acceleration, Braking and Steady-state turn

Hiroshi Ono, Shigeru Tominaga, Michiharu Okano,  
Hiroaki Nishiuchi and Tomoyuki Todoroki

The purpose of this study is to analyze driving and safety performance of Personal Mobility Vehicle (PMV). PMV is a vehicle for one passenger. We selected SegwayPTi2 as a test vehicle. The acceleration experiment, braking experiment and steady state circular experiment were examined for the evaluation longitudinal stability and driving stability of the test vehicle. The relationship between the longitudinal acceleration and the pitch angle of the test vehicle were analyzed by using acceleration and gyro sensor. As a result, the maximum longitudinal acceleration of test vehicle is less than  $2.0 \text{ m/s}^2$ , the maximum pitch angle is less than  $3.0 \text{ deg}$  in acceleration experiment. The maximum longitudinal deceleration is less than  $4.0 \text{ m/s}^2$ , the minimum pitch angle is more than  $-25 \text{ deg}$  in brake experiment. And the maximum lateral acceleration is less than  $6.0 \text{ m/s}^2$ , the maximum rider roll angle is less than  $25 \text{ deg}$ .