

Social Force Model を用いたセグウェイ挙動の再現に関する基礎的研究

長岡技術科学大学 正会員 ○西内 裕晶

長岡技術科学大学 正会員 佐野可志志

元長岡技術科学大学大学院 非会員 加藤 凜

1. はじめに

近年, 新たな移動手段として注目されているのが電動二輪車パーソナルモビリティ(以下, PM)である. その代表的な例としてアメリカで 2001 年に発表された電動立ち乗り二輪車, セグウェイがある. セグウェイは電気を動力とし排出ガスを出すことなく, 環境に優しいエコモビリティである. また, セグウェイはアクセルやブレーキ操作なしに重心移動によって, その動きを制御することが可能となっているため, 発車や停止をスムーズに行える. つまり, セグウェイは直感的な操作が可能であり, 新たな移動手段となることが期待される. 実際に茨城県つくば市の「つくばモビリティロボット実験特区」においては, PM の公道実証実験走行が進められており, 今後, セグウェイも含めた PM が公道で利用できる可能性がある. PM を公道に導入する際には, それらがどのような条件下での導入が可能なのか, 歩行者や自転車などとの錯綜等の安全性をどうすれば確保できるのかについて検討する必要がある. その知見から, PM を公道に導入する際の安全性や交通計画・走行ルールを作成することが重要である.

本研究では, セグウェイを対象として, その走行挙動を再現し, セグウェイを公道で導入するにはどのような状況下および交通ルールが必要なのかを検討することにある. 特に本稿では, セグウェイの挙動を再現するために, 歩行者挙動の再現に多く用いられる Social Force(以下 SF)モデルに着目し, SF モデルにセグウェイ特有の条件の追加およびパラメータを設定し, SF モデルでセグウェイ挙動を再現できるかを確認する.

2. Social Force モデル

SF モデルとは, Helbing¹⁾らが提案したモデルで, 歩行者挙動の再現に適したモデルである. SF モデルでは, 歩行者を質量をもった質点とし表わされ, その質点ごとに運動方程式に当てはめることである時刻の歩行者の位置から, 次の時刻への進む方向, 歩行速度などが算出される. つまり他の歩行者や障害物からの見かけ上の力として仮定することで算出する. SF モデルでは, 以下の式のように単位時間 t 毎の歩行者 i の加速度 a_i が定式化されている.

$$a_i(t + \Delta t) = \eta (v_i(t) - v_i^0(t)) + \tau \sum_j \exp\left(\xi \frac{x_i(t) - x_j(t)}{|x_i(t) - x_j(t)|}\right)$$

$v_i(t)$, $v_i^0(t)$, $x_i(t)$ は, それぞれ歩行者 i の時刻 t における速度と希望速度, 位置を示している. また, 歩行者 j は歩行者 i の周辺歩行者を指しており, η , τ , ξ はパラメータである. パラメータ η は, 目的地方向への力を調整するパラメータ, パラメータ τ およびパラメータ ξ は, 他者へ障害物から受ける反発力を調整するパラメータとなっている. 第 1 項は目的地方向へ希望速度で進むために現在の速度と向きを修正する項, 第 2 項は周辺の歩行者から離れようとする反発力項となる.

3. セグウェイ走行実験

セグウェイの影響範囲を明確にするための実験を実施した. 同時に, セグウェイのより詳しい回避挙動特性を把握するための事件も実施した. 具体的には, 歩行者密度別のセグウェイのすれ違い挙動の違いを把握するための実験, セグウェイの歩行者との距離による速度の違いを把握する実験, セグウェイに対する壁の影響を把握する実験を実施した. セグウェイ搭乗者は搭乗経験のある 3 名が搭乗し, すべての実験に対し 1 名 3 回

キーワード パーソナルモビリティ, Social Force Model, 車両挙動, セグウェイ

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-47-9677

実験する。実験は、日本大学理工学部船橋キャンパス内の走行試験路に幅 4 全長 15m 側面は壁(つuitate)および車道と想定した通路を設置し実施した。

4. セグウェイ挙動の再現

セグウェイ走行実験からセグウェイ挙動を再現するに当たり、必要であろう条件を追加する。追加する条件は、速度を考慮した影響範囲を設定する条件およびセグウェイ搭乗者の視野角を考慮する条件、走行速度による反発力変動条件、横方向距離による影響有無の判断条件の 4 つとした。この条件を加味し、SF モデルのパラメータに前章のセグウェイ走行実験の結果を入力し、SF モデルによるセグウェイ挙動の再現性を 3 種の歩行者密度別に確認した。

その結果を表 1 に、セグウェイ SF モデルの走行軌跡の確認の一例を図 1 ならびに図 2 に示す。なお、両図内のセグウェイ実測値は、セグウェイ走行実験で得られたデータの平均値を、SF モデル推定値は、前述の 4 つの条件を加味しない SF モデルにより再現した走行軌跡を示し、新モデル推定値は、4 つの条件を加味した SF モデルによる走行軌跡の再現を示している。表 1 より、各代表値は概ね実測値と同じような傾向を示している。しかし、両図より、歩行者密度が低い場合には、4 つの条件を加味しない SF モデルよりも再現性は高く、歩行者密度が高くなると、他の歩行者の影響を受け、歩行者回避の位置が実測とは異なることが分かる。これは、再現初期時の歩行者の配置により、セグウェイの回避方向が決定されることより、歩行者密度が高い場合には、実測値とは異なる走行軌跡を示したと思われる。

5. おわりに

本研究は、SF モデルを用いて、条件を追加することでセグウェイの挙動をモデル化し、その再現性を考察した。限られた範囲での再現性の検証となってしまったものの、歩行者密度が低い場合においては、実測値と似た走行軌跡を示すことが可能であった。しかしながら、周囲の歩行者密度が高くなると、その影響により、実測値とは異なる歩行者回避の走行軌跡を示す結果となった。この問題に関しては、より多くの場合のセグウェイ走行実験を進めることと、ジグザグ走行等のセグウェイが持つ特有の走行軌跡を再現するための他モデルの検討を進める必要がある。その上で、PM を公道に導入する際のシミュレーションツールの作成が必要である。

参考文献

- 1) Helbing, D. and Moinar, P. : Social force model for pedestrian dynamics: PHYSICAL REVIEW E, Vol. 51, No. 5, pp. 4282–4286, 1995.

表 1. 歩行者密度別セグウェイ SF モデル再現性の比較

評価項目	歩行者密度 0.1 [人/m ²]		歩行者密度 0.2 [人/m ²]		歩行者密度 0.5 [人/m ²]	
	実測値	SFモデル (誤差率)	実測値	SFモデル (誤差率)	実測値	SFモデル (誤差率)
最高速度 [m/s]	3.50	3.36 (4.0%)	3.47	3.46 (0.3%)	3.22	3.14 (2.0%)
平均速度 [m/s]	2.51	2.67 (6.0%)	2.21	2.37 (8.0%)	1.94	2.30 (18.0%)
目的地付近到達時間[s]	6.50	6.80 (5.0%)	6.60	6.40 (3.0%)	7.40	6.40 (5.0%)
回避開始 x 位置 [m]	0.00	0.00 (0.0%)	3.12	4.71 (50.0%)	2.87	4.53 (57.0%)
すれ違い時の横方向距離 [m]	0.60	0.76 (26.0%)	0.63	0.67 (11.0%)	0.85	0.67 (4.0%)

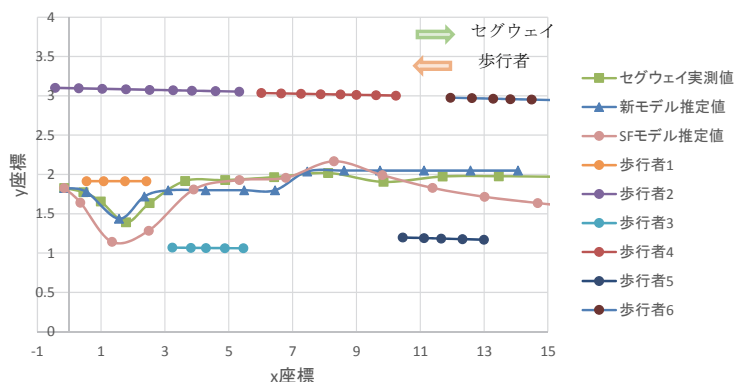


図 1. 歩行者密度 0.1 人/m² 時の走行軌跡図

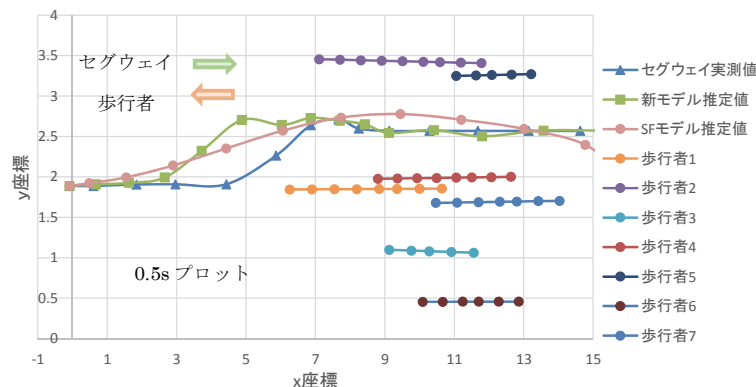


図 2. 歩行者密度 0.1 人/m² 時の走行軌跡図