

RTK-GPSを用いたパーソナル トランスポーターの走行挙動特性に関する研究

石坂 哲宏¹・佐田 達典²・笹本 高輔³

¹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)
E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

²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)
E-mail:sada.tatsunori@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学学生 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)
E-mail:

パーソナル・トランスポーター (PT) を不特定多数の人が歩行者と同一の空間を安全に走行させるには、PTの走行挙動は十分に明らかにし、ルール作りを進めていかなければならない。PTのひとつであるセグウェイの制動距離、及び歩行者を追い抜く際の回避開始距離と側方通過距離を高精度測位可能なRTK-GPSを用いて計測し、その走行挙動特性を明らかにすることを目的とする。セグウェイと歩行者1人にRTK-GPSを取り付けてその走行軌跡を取得する実験を行った。その結果、各速度における制動距離と回避開始距離、側方通過距離が明らかとなった。周囲の歩行者の密度など周辺環境に大きく左右されるが、速度が比較的遅い5km/h、10km/hでは、万が一不測の事態が生じ急停止の必要に迫られても十分に安全に停止・走行できることが分かった。

Key Words : Personal Transporter, Segway, Running behavior, RTK-GPS

1. はじめに

パーソナルトランスポーターの一種であるセグウェイはテーマパークやイベント会場、ショッピングモールなど、歩行者と同じ空間で利用されている。したがって、歩行者とセグウェイの接触事故等を未然に防止するための対策が必要とされている。しかし、既存の研究ではセグウェイ乗車時の視点や感覚などの研究はされているが、安全性を検討するための基礎となるセグウェイの走行挙動の特性が十分に明らかにされているとは言えない。本研究ではセグウェイの制動距離・回避距離を明らかにするための実験を行い結果を評価することで歩行者と同じ空間に存在するセグウェイの安全な速度を導きだすことを目的とする。

2. 既存研究の整理

これまで本学ではセグウェイを用いて走行挙動に関する検証を行ってきた。

江守ら¹⁾はセグウェイと自転車との回避開始距離を比較して、セグウェイが自転車より長いこと、すれ違い時の側方間隔などは、概ね自転車と同じであることを明らか

にした。一方、セグウェイの台数が増えてきた場合は、セグウェイは自転車より回避開始距離が長いこと、歩行者密度などの空間密度に留意する必要があることを指摘した。

佐藤ら²⁾は歩行者との安全距離と視点といった観点から歩行者が安全と感じる距離は自転車よりもセグウェイのほうが1.1~1.5m長い結果となり、セグウェイの方が自転車より歩行者に圧迫感を与えており、平均注視回数も自転車が28回であるのに対してセグウェイは35回となり、自転車より多くなることを明らかにしている。空間幅を設定した空間にセグウェイを走行させることにより、壁のあり・なしを問わずに幅員は2.2m以上必要であることを明らかにしている。

斎藤らはセグウェイの単独および相互走行時のすれ違い時における結果から、互いに右側に回避する傾向があることを明らかにしている。

既存の研究では、格子上に引いたラインの中を走行させてビデオ解析にすることにより回避距離を導き出すなどの研究がされている。これらのデータの分解能は10cm単位で結果を出していたが、安全性を考えるにはもっと細かくデータを取得する必要があるといえる。

2. RTK-GPSの利用

本研究ではリアルタイムにセグウェイと歩行者の正確な位置関係を導き出す方法として、高精度測位が可能なRTK-GPSを用いることとした。ビデオ解析では10cm単位で距離を計測するのに対して、RTK-GPSでは約2cmの精度で測位することができ、その動きを20Hzで取得することができる。

RTK-GPSとはReal-time Kinematic GPSと呼ばれる実時間でキネマティック測位を行う方式である。基準局（写真-1）はその観測した位相積算値データを通信システムに介して移動局へ伝送する。移動局（写真-2）ではそのデータを利用し、リアルタイムに移動局の干渉測位計算を行い結果を出力する1)。



写真-1 基準局



写真-2 移動局

3. 制動距離・回避距離に関する実験方法

(1) 制動実験

スタートラインからGPSアンテナ・受信機を装着したセグウェイを移動させ、ある程度移動したところで停止の合図を送り、ブレーキをかけて完全に停止させる。この実験を時速5km/h、10km/h、15km/hについて行った。セグウェイ搭乗者は学生5人とし、1人につき各速度で5回ずつの合計15回実験を行った。

セグウェイの運転手には、普段通りの運転を心掛け、安全を保てるように回避を開始するように指導した。

(2) 回避実験

スタートラインからセグウェイをスタートさせ、歩行者を安全に回避できる地点で回避させた。このときの歩行者の状態は「歩行者が静止している場合」、「歩行者とすれ違う場合」、「歩行者を追い抜く場合」の3ケースとし、この実験を時速5km/h、10km/h、15km/hについて(1)と同様に行った。また、回避を行うのはセグウェイだけとする。

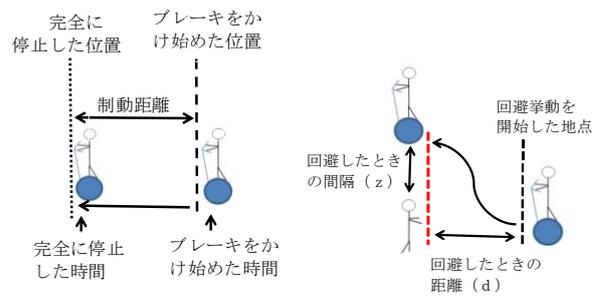


図-1 制動実験(左)・回避実験(右)の方法

4. 制動距離・回避距離に関する実験結果

(1) 制動実験

制動距離を解析した走行軌跡の結果を図-2、制動実験の結果(平均値)を表-1に示す。図-2における制動距離とはセグウェイがブレーキをかけてから完全に停止するまで距離であり、そのときの時間を制動時間とする。四角形の点は20Hzごとのセグウェイの走行軌跡を表しており、斜めの線は1m間隔で引いた目印線を表している。

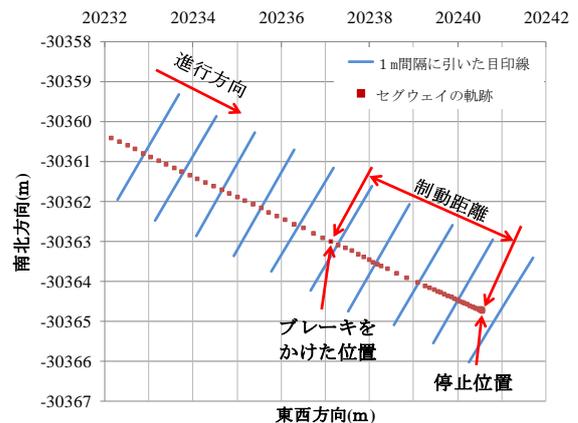


図-2 セグウェイの走行軌跡

表-1 制動実験の結果

設定速度	5km/h	10km/h	15km/h
速度(km/h)	5.7	10.4	16.2
制動距離(m)	1.3	2.73	5.65
制動時間(秒)	1.2	1.6	2.2

(2) 回避実験

回避距離を解析した走行軌跡の結果を図-3、回避実験の結果を表-2、表-3、表-4に示す。図-3における回避距離とは、セグウェイが歩行者に対して回避行動を始めた時における歩行者との距離である。四角形の点は20Hzごとのセグウェイの走行軌跡、三角形の点は20Hzごとの歩行者の移動軌跡を表しており、斜めの線は1m間隔で引いた目印線を表している。

図-4に示す通り、回避間隔Zは歩行者とセグウェイが同一方向に進んでいる場合「追い越し時」には、速度が下がるにつれ回避間隔も広がっていることが明らかになった。また、向かい合って進んでいる場合「すれ違い時」には速度の増加とともに回避間隔も広がっていることが明らかとなった。追い越し時よりすれ違い時の方が回避間隔が広いのは、歩行者が向かって進んでくるために、すれ違うまでの時間が短くなるために、回避間隔も小さくなったと考えられる。

図-3 セグウェイと歩行者の移動軌跡

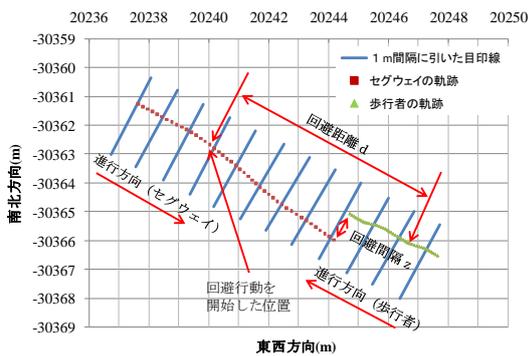


表-2 歩行者が静止している場合の回避距離

設定速度	5km/h	10km/h	15km/h
速度(km/h)	5.9	10.7	15.4
回避距離d(m)	4.78	5.79	6.78
回避間隔Z(m)	1.27	1.25	1.17

表-3 歩行者(向かい合う)とすれ違う場合の回避距離

設定速度		5km/h	10km/h	15km/h
速度(km/h)		6.3	9.7	13.6
回避距離d	平均(m)	5.34	6.47	8.52
	最大値(m)	6.24	8.13	10.65
	最小値(m)	3.83	5.14	6.19
回避間隔N	平均(m)	0.88	1.15	1.14
	最大値(m)	1.08	2.03	1.35
	最小値(m)	0.67	0.93	0.95
サンプル数		12	12	12

表-4 歩行者(同一方向)を追い抜く場合の回避距離

設定速度		5km/h	10km/h	15km/h
速度(km/h)		5.8	10.1	14.1
回避距離d	平均(m)	2.07	2.91	3.67
	最大値(m)	2.84	3.57	4.51
	最小値(m)	1.38	2.24	3.02
回避間隔N	平均(m)	1.37	1.31	1.23
	最大値(m)	1.63	1.58	1.54
	最小値(m)	1.04	1.08	1.07
サンプル数		12	12	12

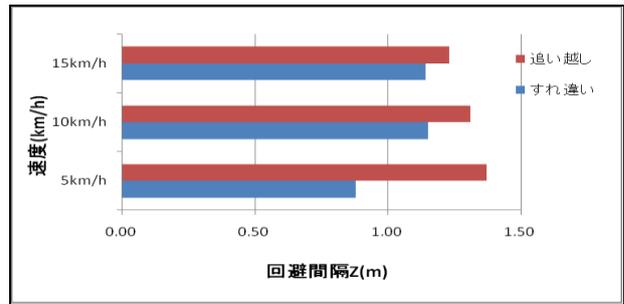


図-4 追い越し時、すれ違い時の回避間隔Z

5. 制動距離と回避距離の比較

(1) 時速5km/h及び時速10km/h

図-5に時速10km/hの場合の制動距離と回避距離を示す。図で示す回避距離はセグウェイの制動に要した時間(1.6秒)を考慮して、歩行者がその時間で移動する距離に、同一方向の場合は歩行者の移動距離を足し、向かい合う場合は移動距離を引き、回避距離とした。

時速5km/hと時速10km/hのときは「歩行者が静止している場合」、「歩行者とすれ違う場合」、「歩行者を追い抜く場合」のいずれのケースでも制動距離より回避距離が大きかった。よって、歩行者を回避するスペースがなくても歩行者の前で停止できるので、時速5km/h及び時速10km/hで走行している場合は安全であるといえる。

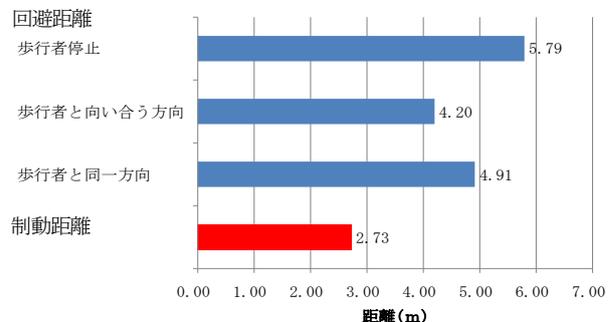


図-5 制動距離と回避距離の比較(時速10km/h)

(2) 時速15km/h

図-6も図-5と同様に、セグウェイが制動するまでの時間に進む歩行者の移動距離を考慮して回避距離を算出している。

時速15km/hのときは「歩行者が静止している場合」は制動距離よりも回避距離が大きいため、歩行者を回避するスペースがなくても歩行者の前で停止できるので安全である。しかし、「歩行者とすれ違う場合」ではセグウェイがブレーキをかけたと同時に歩行者が停止すれば安全であるが、歩行者が止まらずに進んだ場合はセグウェイの制動時間2.2秒分より歩行者が接近するので、セグウェイと衝突する危険性がある。「歩行者を追い抜く場

合」ではセグウェイがブレーキをかけたと同時に歩行者が停止しても、そのまま進み続けても回避距離 d よりも制動距離のほうが大きいため危険である。

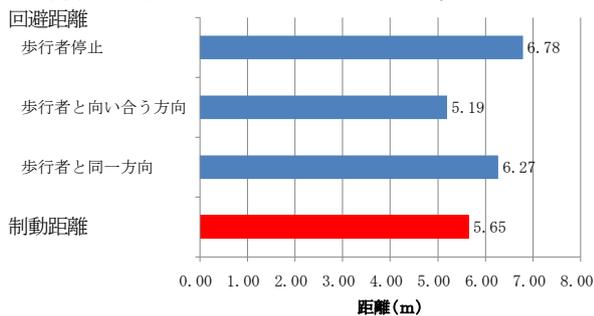


図-6 制動距離と回避距離の比較 (時速15km/h)

6. 回避間隔に関する考察

各ケースにおける回避間隔の値を比較すると、歩行者を追い抜く場合はどの速度においても大きい数値が計測された。これは歩行者が後方から近づいてくるセグウェイに気が付いていないことから、歩行者が急に進路を変えることによるセグウェイとの交錯を避ける為に十分に安全と考える間隔をとったと考えられる。

7. 結論

STUDY ON THE RUNNING BEHAVIOR OF PERSONAL TRANSPORTER USING RTK-GPS

Tetsuhiro ISHIZAKA, Tatsunori SADA and Kosuke SASAMOTO

Personal transporter such as a segway is expected one of new mobility for personal transport. In order to prevent segway clashing with pedestrian, regulation or rule should be made. The objective of this study is to running behavior of segway which is vertical and horizontal distance and stopping discanc when segway pass thourht a pedestrian. Trajectory of segway and pedestrian are collected by RTK-GPS. These distances between segway and pedestrian are revealed in each case of segway speed 5km/h, 10km/h and 15km/h. Even if emergency incident is occurred, segway can stop safely and prevent segway clashing with pedestrian in the case of segway speed 5km/h and 10km/h..

本研究では、RTK-GPSを用いてセグウェイの制動距離と回避距離について明らかにした。制動距離と回避距離の関係から、歩行者と同じ空間でセグウェイを使用する場合、走行速度 5 km/h、10km/hのときは安全に回避・停止ができるといえ、走行速度15km/hでは衝突してしまう危険性があるといえる。

今回の実験では行えなかった歩行者が複数存在しているケースなど、実際の利用に近い実験状況を再現して挙動を明らかにする必要がある。

謝辞：本研究で用いたセグウェイは、セグウェイジャパン株式会社の「セグウェイチャレンジ」に、日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻交通研究センターが応募し貸与されたものを活用したものである。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 江守央、轟朝幸、荒谷太郎：Segway の回避行動特性に関する基礎的研究，第 29 回交通工学研究発表会論文集 pp.165-168, 2009.