

大学構内での共同利用実験における セグウェイ利用状況と運転挙動に関する分析

山田健太¹・薄井智貴²・山本俊行³・森川高行⁴

¹非会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 (〒464-8603愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail: yamada.kenta@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学グリーンモビリティ連携センター 特任講師
E-mail: usui@gvm.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学エコトピア研究所 教授
E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学 グリーンモビリティ連携研究センター 教授
E-mail: morikawa@nagoya-u.jp

近年、低炭素・省エネルギー交通システムとしてパーソナルモビリティ (Personal Mobility : PM) が注目を集めている。本稿では名古屋大学構内において実施されたセグウェイ共同利用実験のもと、セグウェイの利用状況と運転挙動に関して、セグウェイに固定したスマートフォンから得られるセンサデータを用いて分析した結果を報告する。分析にあたっては、セグウェイ利用頻度の多い3名の被験者を対象として、停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左の動作に着目し、発生場所と取得したセンサの閾値からドライバーの運転挙動を推定することで定量的にドライバーの操作診断を行った。

Key Words: *Personal Mobility, Segway, Smartphone, Sensor*

1. はじめに

近年、端末交通や近距離移動、高齢者の自動車運転の代替手段として、また低炭素・省エネルギー交通システムとして、パーソナルモビリティ (Personal Mobility : PM) が注目されている。PM の例としては、立ち乗り型の Segway 社の「セグウェイ」やトヨタ自動車社の「Winglet」、座乗型のトヨタ車体社の「コムス」、トヨタ自動車社の「i-REAL」などに代表される次世代型1人乗り (または2~3名) の電動駆動体などがあり、従来の早さ、安さを追求したファストモビリティではなく、街や自然、人と人との会話などを重視したスローモビリティをコンセプトとし、魅力的な街づくりのための次世代モビリティとしても期待が高い。しかし一方で、PM の認知度は半数以上あるものの、乗車経験のある人は数%程度で¹⁾、操作性などに対する不安も少なくない。また、名古屋大学のパーソナルモビリティ共同利用実験のアンケート調査から、被験者に実際に乗車した感想を答えてもらった結果、「怖い」「危ない」との回答が40%強あった²⁾。よって、実社会の導入にあたって、運転挙動の定量的な評価が必要であるだろう。

さらにパーソナルモビリティ共同利用実験でのセグウェイの利用状況を把握しセグウェイがどのような利用のされ方をするか分析する必要がある。

セグウェイの走行安全の実験で大野ら³⁾は、ステップ部に専用のセンサをつけ、加速・制動・定常円旋回試験を行い、セグウェイの加速度、角速度を測定し、限界値や平均値を求めて、セグウェイの安全性を検討している。また、セグウェイの走行挙動特性において、塩見ら⁴⁾はビデオ撮影により、セグウェイの走行軌跡を抽出し、そのデータを解析しており、加減速試験からは乗車経験者の差により特性が異なり、急制動試験からは停止距離についてセグウェイと自転車の走行挙動の類似性を指摘している。

こうした背景のもと、本研究では、専用のセンサやビデオ映像の代わりに、加速度やジャイロ、GPSといった各種センサを搭載したスマートフォンを利用し、パーソナルモビリティ共同利用実験において得られた運転挙動データから、共同利用実験における被験者のセグウェイ利用状況と運転挙動を定量的に分析し、今後のパーソナルモビリティ普及促進のための基礎的資料とする。具体的には、本稿では、センサから得られたデータからドライバーの運転挙

動を推定し、ドライバー診断を行った結果について報告する。

2. パーソナルモビリティ (PM) 共同利用実験

名古屋大学グリーンモビリティ連携研究センターでは、次世代パーソナルモビリティのシェアリングサービスのビジネスモデルを検討するため、パーソナルモビリティ共同利用に関する実証実験を H23 度、H24 年度と実施している²⁾。本実験では、次世代モビリティの実社会における潜在的なニーズ、受容性、心理的抵抗感など把握することを目的として、名古屋大学東山キャンパス内で実証的に実施した。実験は Web 予約によるシェアリングシステムを構築し、セグウェイ 3 台を図 1 に示すキャンパス内のポートに 5 ヶ月間配置し、参加者 49 名に共同利用してもらった。また、今年度はセグウェイの操作部に GPS センサ加速度センサおよびジャイロセンサを搭載したスマートフォンを設置し、セグウェイの運転挙動(急加速、急減速、急旋回右、急旋回左、停止)などの分析する。表 1 に実験概要を示す。



図 1 名古屋大学内のセグウェイ設置場所

表 1 PM 共同利用実験概要

項目	内容
実施期間	平成 24 年 8 月 6 日～平成 24 年 12 月 27 日
参加者	名古屋大学教職員・大学院生 49 名
貸出ポート数	3 個所に各 1 台を設置
利用範囲	名古屋大学東山キャンパス内
利用可能時間	平日 9:00～18:00 1 回あたり 2 時間以内
料金	参加費・利用料金は無料
貸出方法	Web による事前予約、IC カードによる貸出
事前講習会	学科・実技講習 2 時間+アンケート調査 学内ツアー 1 時間+アンケート調査
貸出物	セグウェイ、ヘルメット、スマートフォン
取得データ	GPS、加速度・方位センサ、ジャイロ

3. パーソナルモビリティ利用状況

(1) 参加者の属性

共同利用実験は、名古屋大学教職員および大学院生 49 人を対象として実施し、男性 71%、女性は 29% と、男性の利用者が多くなっている(図 2)。さらに年代別にみると、40 代参加者が全体の 1/3 を占めており、20 代の男性にも多く利用されていることがわかる(図 3)。

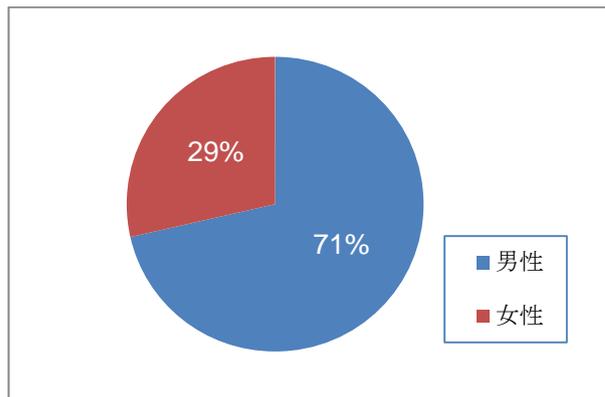


図 2 参加者の性別

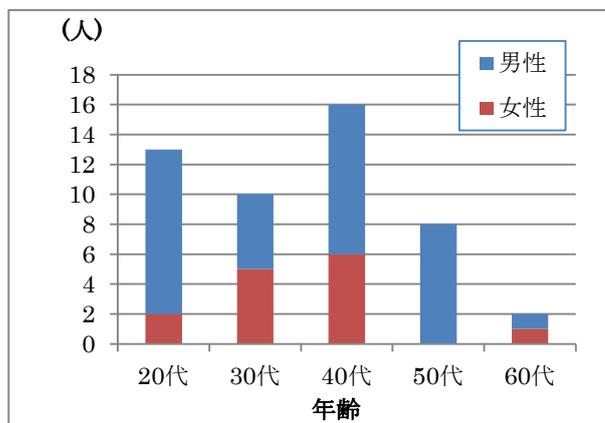


図 3 参加者の年代別男女比

(2) 全参加者の利用状況

全参加者の移動範囲を図 4 に示す。図は、セグウェイに取り付けたスマートフォンの GPS センサから 5 秒毎に取得した位置情報を、GIS 上にプロットしたものである。図を見ると ES 館(中央上部)からエコトピア科学研究所区間(右下)と IB 館(中央)から全学教育棟付近区間(左上)を移動するデータが多い。これは利用頻度の高い数名の参加者の移動によるものである。

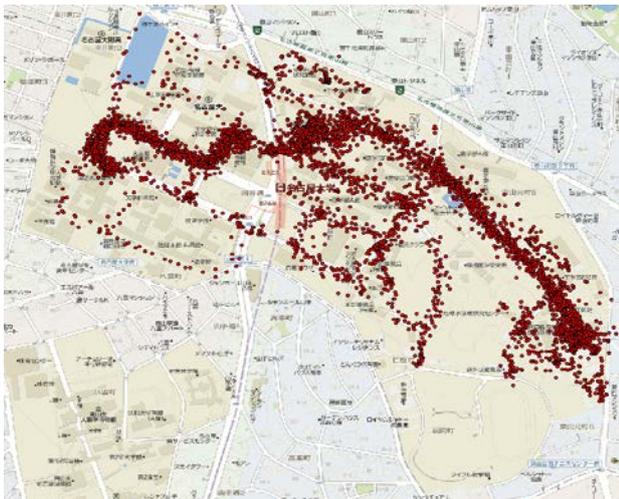


図4 全被験者のセグウェイ移動範囲

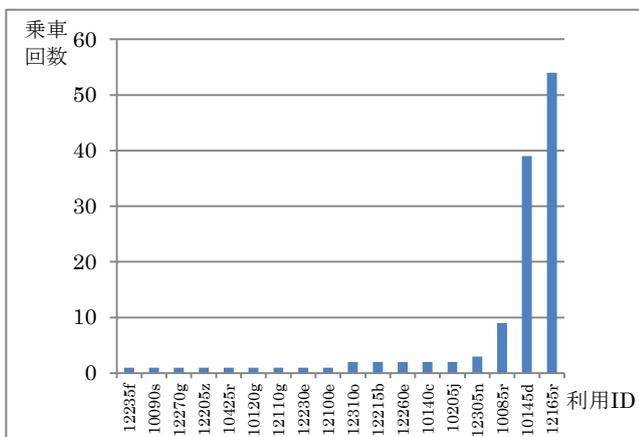


図5 参加者 ID 別の乗車回数

図5に参加者ID別のセグウェイ乗車回数を示す。図より、参加者の大半は約5ヶ月間の実証実験の中でわずか数回と利用回数が非常に少ないことが分かるが、一部、利用回数が非常に多い参加者がいることも分かった。

本研究では、乗車回数の多い3名を対象として、No.1, No.2, No.3 という名称で参加者を定義し、セグウェイの運転挙動の詳細を確認することとした。

表2に参加者の利用状況を集計した。乗車回数を見ると、参加者No.1が全体の5割近くを占めており、参加者No.2と合わせると二人で75%を占めることが分かる。しかし一方で、1トリップあたりの平均距離や乗車時間を見ると、No.1はいずれもNo.2や全参加者より少なくなっており、つまりNo.1は短い距離を頻繁に利用し、No.2やNo.3は長距離を定期的にご利用していることが分かる。本稿では、これら利用形態の異なる3名の運転挙動を詳細に分析することで運転者の特徴把握を試みる。

表2 ヘビーユーザーの基礎集計

参加者	No.1	No.2	No.3	全参加者
乗車回数(回)	54	39	9	124
トリップ数	104	65	16	213
合計距離(km)	47.3	61.5	14.1	186.2
平均距離(m)/トリップ	455	946	883	870
合計乗車時間(h)	3.3	4.4	1.1	18.4
平均乗車時間 /トリップ	1分58秒	4分4秒	4分20秒	5分11秒
平均速度(km/h)/トリップ	13.9	14	12.2	10.1

4. スマートフォンを用いた制動データの収集

(1) スマートフォンセンサによるデータ取得

本実験において、利用者の行動特性、潜在的なニーズを把握するため、前述の通りセグウェイ貸出時にスマートフォンも同時に貸し出した。参加者はセグウェイに乗車する前にセグウェイ操作部中央部に取り付け、スマートフォンのアプリをログインすることでセンサデータの計測を開始する。今回の実験では、OSにAndroid4.0を搭載したスマートフォン AQUOS Phone SERIE をデバイスとして用い、GPS、加速度、ジャイロ、地磁気センサ値を取得するアプリケーションを開発し、利用者の位置情報や操作データを収集した。センサ情報取得間隔は200ms[Normal]モードで、位置情報は5秒間隔で取得している。スマートフォンは利用者の運転に影響が出ないように操作ハンドルの中断のちょうど太もも部分に設置できるようにした(図6)。

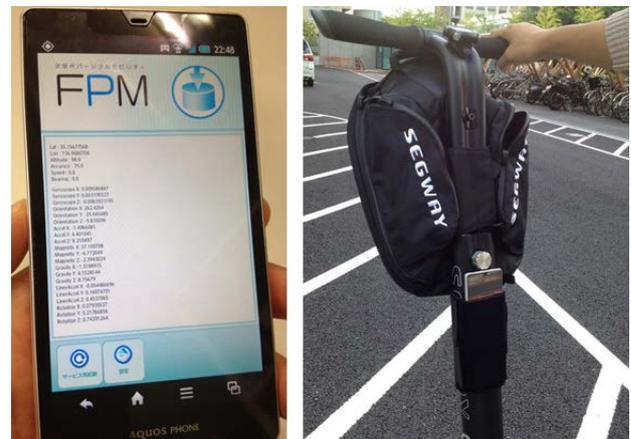


図6 開発したスマートフォンアプリと設置位置

(2) 教師データの取得

セグウェイの安定走行挙動を把握するために、セグウェイインストラクターの協力のもと、停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左の動作に関する教師データを取得した。また、この教師データの各挙動発生タイミングを確認するためにビデオ撮影も同時に行った。インストラクターには、危険だと思われる極限の動作を、停止は1秒間、2秒間、3秒間を三回ずつ、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左はそれぞれ5回ずつ実行していただき、取得したそれら動作のセンサデータを教師データとした。

(3) 教師データにより得られた各運転挙動の閾値

教師データにより得られた、停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左時のジャイロセンサ値と加速度センサ値を分析し、危険閾値を算出した。閾値は、停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左時の各センサの平均値を算出し閾値とした。表4にインストラクターの走行から得られたセンサ値により算出した各運転挙動の閾値を示す。ここでジャイロセンサ値のA、B、Cはセグウェイが設置されている名古屋大学IB館、ES館、環境総

合館の3箇所に配置したスマートフォンのデバイスの名称であり、3つのスマートフォンジャイロセンサにそれぞれ固有の誤差があったため機体毎に閾値を定めた。ただし、加速度センサにおいてはデバイス固有の誤差は見られなかったためすべて同じ値とした。なお、停止に関しては、閾値条件が1秒以上続いた場合に「停止」と判断した。これら運転挙動により得られたセンサ値に対し、この閾値範囲に該当する動作を危険挙動とし、利用頻度の高い参加者に対して運転操作の診断を行う。

5. 利用者のドライバー診断

(1) 各運転動作の発生位置

教師データから求めた閾値条件式とGPSセンサによって、利用頻度の高い参加者3名の停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左の発生場所と回数を推定した。例として参加者No.1の急減速の位置および参加者No.3の停止位置を図7、図8に示す。図より、交差点付近や発着場所で、急減速や停止が頻繁に行われる傾向があることが分かる。

表4 各運転挙動の閾値と条件式

センサ	デバイス	停止	急旋回右	急旋回左	急加速	急減速
ジャイロX軸 [rad/s]	A	—	—	—	$Z > 0.43$	$Z < -0.35$
	B	—	—	—	$Z > 0.63$	$Z < 0.05$
	C	—	—	—	$Z > 0.68$	$Z < -0.1$
ジャイロY軸 [rad/s]	A	—	$-1.3 < Y < -0.21$	$-0.21 < Y < 1.69$	—	—
	B	—	$-1.3 < Y < -0.2$	$-0.23 < Y < 1.67$	—	—
	C	—	$-1.5 < Y < -0.4$	$-0.4 < Y < 1.5$	—	—
ジャイロZ軸 [rad/s]	A	$-0.38 < Z < -0.01$	$Z < -0.2$	$Z > -0.238$	—	—
	B	$-0.21 < Z < 0.07$	$Z < -0.07$	$Z > -0.07$	—	—
	C	$-0.54 < Z < -0.26$	$Z < -0.4$	$Z > -0.4$	—	—
加速度X軸 [m/s ²]	A,B,C	$Z < 0.49$	—	—	—	—
加速度Y軸 [m/s ²]	A,B,C	$Z < 1.36$	—	—	—	—
加速度Z軸 [m/s ²]	A,B,C	$Z < 1.1$	$Z > 0.2$	$Z > 0.2$	$Z < -3.3$	$Z > 6.9$

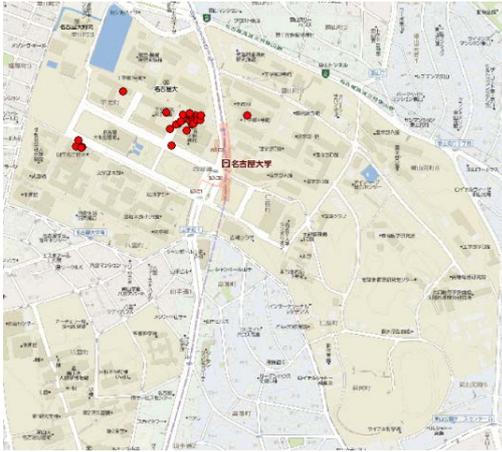


図7 参加者No.1の急減速発生場所

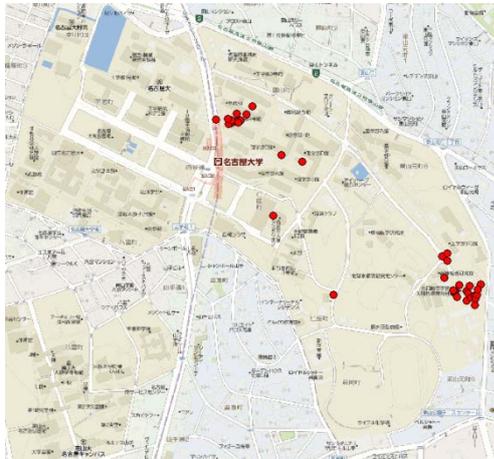


図8 参加者No.3の停止発生場所

(2) ドライバー診断

利用頻度の高い参加者を対象に、停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左の回数を指標として、セグウェイのドライバー診断を行った。一般的に普及していないPVは、周囲の人々はもとより、本人においても走行中の自身の運転挙動について安全かどうか把握できていない場合が多い。そのため自らの運転状況を定量的に把握し、他者と比較することは安全運転促進に繋がると考える。本研究においては、まず3名の参加者を運転挙動データから作成したレーダーチャートを用いて相対的に比較し、運転状況を診断した。

3名の診断結果を図9(a)(b)(c)にそれぞれ示す。まずNo.1の参加者は他の参加者と比べて停止回数が多く、また右によく急ハンドルをきる傾向がある。また、急減速も1.7回となっているため他の参加者よりも急減速回数が多く危険動作をしている回数が多い。またNo.2の参加者は他の参加者に比べて停止回数が少なく、急減速の回数は1.6回とNo.1と同様に多くなっている。ただし、急旋回右・急旋回左の回数が少ないため比較的直進の傾向が強いことが分かる。またNo.3は急減速の回数が少ないが、停止

回数や急加速はNo.2に比べると多いことが分かる。

次に、各参加者間のドライバー診断結果を比較するため、総合評価を行った(表5)。総合評価は、ハンドル操作の多さ、停止すべきところで停止していない、急減速が多い、この3つを評価基準にして相対的評価を行う。停止位置に関しては、停止箇所をGIS上で目視にて確認し、停止が必要な箇所かどうか著者が判断した。評価ランクについては、本稿では、前述の各運転挙動発生回数に応じてA、B、Cの3つのランクを付け、Aが多いほど優良ドライバーであるとした。ハンドル操作に関しては、多いと歩行者などが危険と考え、本稿では操作が多ければ危険の可能性が高い(Cランク)と判定した(表6)。

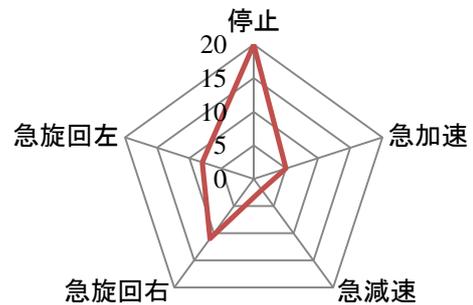


図9(a) No.1 発生回数に着目した診断結果

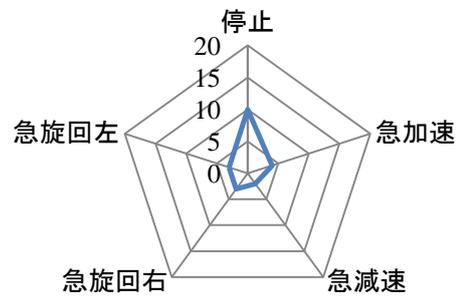


図9(b) No.2 発生回数に着目した診断結果

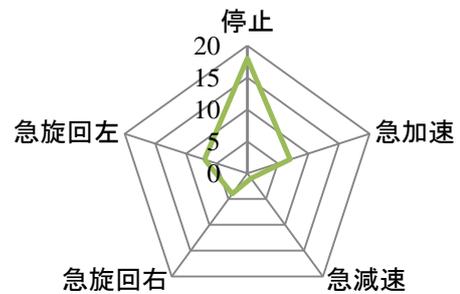


図9(c) No.3 発生回数に着目した診断結果

表5を見ると、まずNo.1参加者は、ハンドル操作の面では他の参加者よりも多かったためCランク、また急減速の面でもC、停止箇所では停止していたためAとした。No.2参加者は、ハンドル操作が少なかったためA、急減速は多くC、停止位置は停止するべき場所で停止していない場合も多くBとした。最後に、No.3参加者は左にハンドルをきる回数が多いものの右に切る回数は少なくB、急減速回数も少なくA、停止すべきところで停止していない場合も多くCとする。

以上から、著者が独自に設定した表7の総合評価判定基準値を用いて、3名の参加者のドライバー診断を行った結果、No.1参加者は総合評価D、No.2参加者は総合評価C、No.3参加者も同じく総合評価Cという診断結果を導いた。図10は、レーダーチャートを用いたドライバー診断結果で、三角形面積が大きいほど優良ドライバーを示している。

表5 参加者3名のドライバー診断結果

参加者	ハンドル操作	急減速	停止位置	総合評価
No.1	C	C	A	D
No.2	A	C	B	C
No.3	B	A	C	C

表6 ハンドル操作、急減速、停止位置の判定基準

指標	判定基準
ハンドル操作	
A	左右合計10回未満
B	左右合計15回未満10回以上
C	左右合計15回以上
急減速	
A	1回未満
B	1回以上、1.5回未満
C	1.5回以上
停止位置	
A	0箇所
B	2箇所
C	3箇所以上

表7 総合評価判定基準値(点)

A	B	C	D	E
9,8	7	6	5	4,3

※表5のハンドル操作、急減速、停止位置の診断結果からA+3点、B+2点、C+1点として合計点を総合評価として算出。A:最優良ドライバー、B:準優良ドライバー、C:普通ドライバー、D:準危険ドライバー、E:危険ドライバーとした。

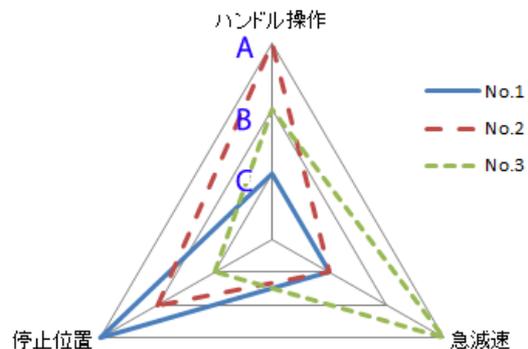


図10 参加者3名の診断チャート

6. まとめと今後の課題

本研究では、セグウェイインストラクターから入手した各運転挙動(停止、急加速、急減速、急旋回右、急旋回左)の加速度、ジャイロセンサから各挙動の閾値を算出し、得られた条件から利用頻度の高い参加者の運転挙動を推定した。また、運転挙動の発生頻度から、参加者のドライバー診断を行うことで、ドライバーの運転レベルを定量的に示す可能性があることを示唆した。

今後は、本研究で得られたセグウェイの運転挙動の分析結果を参加者一人一人にフィードバックすることにより、より多くの参加者へ安全走行を促し、セグウェイの安全性確保、広く一般への普及に貢献したい。

謝辞: 本研究は、経済産業省中部経済産業局が進める「次世代自動車地域産学官フォーラム」の活動の一環として、一般社団法人中部産業連盟の委託事業の支援により実施された。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西堀泰英, 李昂, 加知範康, 河合正吉, 安藤良輔: パーソナルモビリティに対する市民意識-パーソナルモビリティ見学者の視点から-, 土木計画学研究・講演集, Vol43, CD-ROM, 2011.
- 2) 剣持千歩, 森川高行, 三輪富生: 名古屋大学におけるパーソナルモビリティ共同利用実験, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM, 2012.
- 3) 大野寛, 富永茂, 岡野道治, 西内裕晶, 轟朝幸: セグウェイの走行安全の実験, 土木計画学研究・講演集, Vol45, CD-ROM, 2011.
- 4) 塩見康博, 西内裕晶: セグウェイの走行挙動特性に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol43, CD-ROM, 2012.

(?????.?.? 受付)