

自動走行カートを用いたトランジットモールの歩行者流への影響と利用意向の分析

猪井 博登¹・武田 将司²・土井 健司³

¹正会員 大阪大学大学院 工学研究科 助教 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: inoi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-0012 大阪府大阪市北区芝田2丁目4-24)

³正会員 大阪大学大学院 工学研究科 教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: doi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

本研究は、中心市街地活性化のための取り組みであるトランジットモールについて、欧米に比べ街路が狭い日本の中心部に適合する形式を提案することを目的とする。本研究では幅員などの空間の規模の問題を解決するため、バスやLRTに代わってパーソナルトランジットといえる自動走行カートを用いたトランジットモール、パーソナルトランジットモール (PTM) を提案する。PTMの導入を特に商店街を対象に検討を行う。PTMの導入が歩行者流に与える影響として、歩行者の速度と交錯に着目し、香川県高松市丸亀町商店街をケーススタディとしてシミュレーションを用いて影響を予測した。また、実際に自動走行カートによる移動を体感する実験を行い、利用意向を調査した。歩行者流への影響と利用意向を分析した。

Key Words : *vulnerable road users, pedestrian and bicycle planning, attitude survey, personal transit*

1. 研究の背景と目的

今日、日本においては中心市街地の空洞化などの問題から、地域活性化は重要課題として認識されており、活性化に向けた様々な取り組みの一つとして、トランジットモールが注目されてきた。トランジットモールは「商店街等の通りにおいて、一般車両の通行を原則的に禁止し、歩行者とバス等の公共交通だけが通行できるようにした歩行者専用モール」²⁾と定義される。日本でも社会実験などが行われてきた。社会実験の結果、日本においてもトランジットモールにより中心市街地の活性化が期待できるとされる⁵⁾。しかし、トランジットモールの常時実施している事例は前橋市と金沢市の2事例のみである。本格実施に至らない原因については、欧米と日本では道路事情が異なることなどが挙げられている³⁾。具体的には、欧米と比べ、日本の中心市街地では、トランジットモールを導入する道路の幅員が小さいことがあげられる。欧米の事例において幅員はいずれも25m以上である⁶⁾のに対して、日本では幅員が小さい事例が多い。したがって、欧米のようなトランジットモールを導入するためには、大規模な社会基盤整備が必要となるが、現実的には困難である。また、中心市街地でトランジットモ

ールを導入することで、自動車は原則通行禁止となるため周辺道路に迂回することになり、周辺道路で渋滞が発生する。そのため、渋滞により事故の危険性が増すだけでなく、トランジットモールに対して自動車の運転者が強い不満を持つため、常時実施が困難となっている。

以上のような問題があると認識しつつも、日本におけるトランジットモールの導入には中心市街地の活性化や都市の魅力の向上が期待されており、今後も必要な施策であるとされる⁷⁾。したがって、上記の問題を解決し、日本の道路事情に合ったトランジットモールを考案することが必要であると考えられる。

本研究では上記の問題をふまえて、自動車が規制された中心市街地の商店街においてトランジットモールを展開することに着目する。バスなどのマストランジットではなく、公共交通として、超小型モビリティなどのパーソナルトランジットを用いることで交通乗用具を小型化する。これにより、商店街の幅員に合わせたトランジットモールを展開することができ、大規模な整備が必要なくなる。これをパーソナルトランジットモール (PTM) と定義する。他の公共交通と商店街を結び、さらに商店街内の新たな移動手段を提供し、商店街の魅力の一つとなれば、PTMはトランジットモールの3つの目

的を果たすことができると考える。本研究ではパーソナルトランジットとして自動走行カートを採用し、また、歩行者と利用者が PTM において重要なステークホルダーであると考え、本研究では歩行者及び利用者を研究対象とする。PTM を導入することにより、歩行者流に対し、通行を妨げるなどの悪影響を及ぼす恐れや商店街を訪れる人に必要とされない可能性がある。そこで、本研究は商店街において PTM を導入した場合の歩行者流への影響の検証と利用意向の調査を行う。そして、歩行者流に影響がないこと、利用意向が強いことを示し、商店街において PTM という日本の道路事情に合った新たな形のトランジットモジュールを提案することを目的とする。

2. 自動走行カート

自動走行カートは地中に設置された誘導線に沿って自動で走行する。自動走行カート内には、発進・停止を行うスイッチがあり、このスイッチで発進・停止が行える。また、速度の設定については、高速、標準、低速を路面にマグネットを設置することにより、自動走行カートに指示することができる。同様に、路面に設置したマグネットで、自動走行カートが停止する位置を設定することが可能である。以上の自動走行はゴルフ場などの施設において既に実用されている日本独自の技術である。しかし、現状としては車両規格が定められていないため、公道走行を認められていない。

2011年度から2013年度までの3年間にわたり、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の開発事業の委託を受け、大阪大学とIDEC(株)の共同実施により、搭乗型移動ロボットとしての自動走行カートの安全化プロジェクトが行われた。安全機器として、レーザスキャナを用いた歩行者検知装置(以後センサーとする)を開発した²²⁾²³⁾。センサーを自動走行カートの先端に取り付けることで、自動走行カートへの歩行者や障害物の接近を検知することができ、検知した時点で減速・停止を自動で行うという機能を持つ。また、この検知を行う範囲は走行環境に合わせて、自由に設定することができる。センサーにより自動走行カートと歩行者の接触事故等の心配がなく、また、自動走行を行うことで、不注意や誤操作などのヒューマンエラーによる事故が起こらないため、センサーを用いた自動走行カートは歩行者と共存するトランジットモジュールに望ましいと考え、本研究で考案する PTM において安全性は確保されているものとする。

3. 丸亀町商店街におけるPTM導入案

高松市の中心部に位置する丸亀町商店街のA街区からC街区までの範囲で PTM を導入することを検討する。丸亀町商店街では 2012 年以降、自転車の乗り入れを禁止する、自転車規制の社会実験を行い、現在は本格的に実施しており、PTM を導入した場合、自動走行カートと歩行者のみの空間となるため、センサーを用いた自動走行カートは安全に走行することが可能になる。また、美術館通りの交差点の近くにまちバスの停留所があるため、この区間で PTM を導入すれば、まちバスと連携することができると考えられる。A街区からC街区までの総延長は約 200m であり、幅員は 11m 以上である。自動走行カートの速度は直線部分では歩行者と共存するため、歩行者と同程度の 6.5km/h、転回時には自動走行カートの仕様に従い 3.0km/h とする。自動走行カートの運行方式について、本研究では二つの運行方式を提案する。一つはバス停のようなステーションをルート上に設けて、ステーションにて乗り降りを行うステーション式である。もう一つはルート上で好きな場所で自由に乗り降りを行うことができる自由乗降式である。どちらを採用すべきかについては、歩行者流に与える影響の違いやステークホルダーの意見から検討したい。本研究ではこの導入案をもとに、PTM の導入による歩行者流への影響の検証と利用意向の調査を行う。

4. 歩行者流への影響予測シミュレーション

(1) シミュレーションの設定

本研究ではマルチエージェントシミュレーションソフト artisoc により、歩行者流及び自動走行カートを仮想することで、丸亀町商店街において PTM が導入された場合に歩行者流に与える影響や自動走行カートの発進・停止挙動を予測する。丸亀町商店街をシミュレーション上で仮想するための設定を行う。PTM を展開する区間を丸亀町商店街の A 街区から C 街区までとし、200m の区間をシミュレーション上に設定する。通りの幅員を商店街の資料や実測から設定し、建物部分には歩行者が壁と認識するような設定をする。本研究では丸亀町商店街の実際の歩行者流において大半を占める、商店街を直進する歩行者のみを反映することにする。

歩行者の速度については、商店街における歩行者の速度として使用されている、1.2m/s から 1.5m/s の範囲で歩行者ごとにランダムに設定する。歩行者の自動走行カート及び自転車に対する挙動については、どちらに対しても前方 5m 以内もしくは側方 1m 以内まで近づくと回避行動を行うように設定する。

自動走行カートの設定について、速度は 6.5km/h とする。また、転回部では 3.0km/h とする。自動走行カートは商店街の中央部を走行し、A 街区から C 街区までの区間を往復する。自動走行カートは誘導線により走行ルートが固定されるため、行動パターンは発進と停止の 2 つのみとなる。安全機能としてのセンサーによる減速・停止の設定に関して、センサーの検知範囲を前方 2.5m、側方 1m とし、この範囲内に歩行者が存在するとき、停止するよう設定する。また、ステーションを設置し、そこでのみ乗り降りするステーション式と好きな場所で自由に乗り降りする自由乗降式の 2 種類の運行方式をシミュレーションのパターンとして用意する。ステーション式と自由乗降式のどちらにおいても停止時間は 20 秒とし、自由乗降式に関しては、停止する確率を定めてランダムに停止させるが、ステーション式と同程度の頻度で停止するよう設定する。

自動走行カートと比較するために自転車が混在する場合のシミュレーションも行う。速度は 2.55m/s から 3.05m/s の範囲で、自転車ごとにランダムに設定する。自転車の歩行者に対する行動は、前方 5m 以内、側方 1m 以内に歩行者が存在するとき、歩行者を回避して通行するように設定する。

(2) シミュレーションの再現性

本シミュレーションは定点観測のより実測された交通量データをもとに歩行者流の再現性を得る。本シミュレーションには、得られたデータの中で最も交通量が多かったときの交通量を反映する。また、自転車についても交通量により再現性を確認する。2012年に行った自転車規制の社会実験が行われた際の交通量観測データを本シミュレーションに反映する。

(3) シミュレーションの結果・分析

シミュレーションの結果として、速度については大量の速度データが得られた。その中で、200m の空間内を端から端まで移動した歩行者の平均速度データを選択し、その中から 500 人分のデータを無作為抽出した結果を分析に用いる。交錯に関しては、300 秒間における歩行者同士の交錯時間の総計、さらに自動走行カートや自転車との交錯時間を加算した全交錯時間を 100 試行分得た。

a) Welch の検定

歩行者の速度に関する分析として、歩行者のみのデータを基準に Welch の検定を行うことにより、有意な差が見られるかどうか検証した。Welch の検定の結果、商店街でカートが走行する場合、歩行者の速度に関しては、歩行者のみの場合と比べて有意な差はみられなかった。

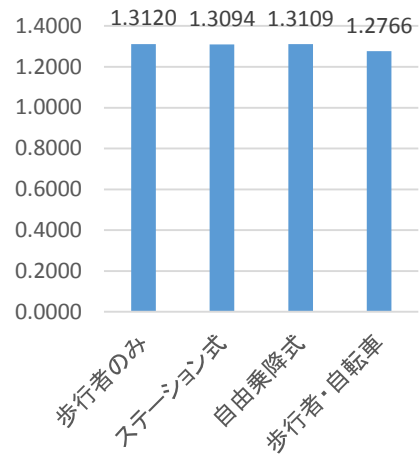


図-1 シミュレーション結果 (歩行速度)

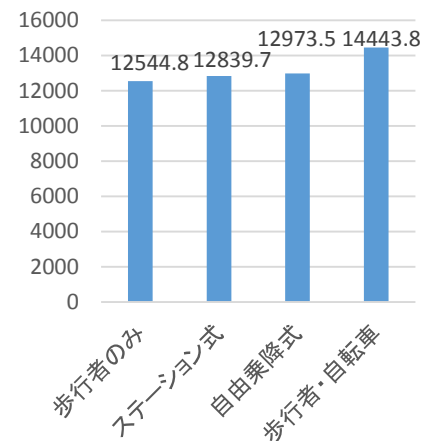


図-2 シミュレーション結果 (歩行者間の交錯)

表-1 歩行速度についての Welch の検定結果

	ステーション式	自由乗降式	歩行者・自転車
P 値	0.151	0.119	4.92E-16 **

表-2 歩行者間の交錯についての Welch の検定結果

	ステーション式	自由乗降式	歩行者・自転車
P 値	0.627	0.911	1E-10 **

一方、自転車がある場合には、1%の有意水準で差が見られたため、歩行者の速度を低下させることが予測される結果となった。

歩行者同士の交錯については、自動走行カートが走行する場合には有意な差がみられなかった。一方、自転車が通行する場合では、1%の有意水準で差が見られたため、歩行者が自転車を回避することにより歩行者同士の交錯の増加を誘発することが予測される。

b) 同等性の検定

歩行者のみの場合と自動走行カートが走行する場合の歩行者の速度と交錯について、有意な差は見られなかったが、差がないとは判断できないため、平均値の差の

95%信頼区間の推定を用いた同等性の判定を行うことで、歩行者のみの場合と自動走行カートが走行する場合の歩行者の速度と交錯に差がないかどうかを検証する。この同等性の判定は、平均値の差の95%信頼区間の推定を行った結果、信頼区間が許容誤差の範囲内に完全に含まれているとき、同等であると判定する。この許容誤差は同等性マージン（非劣性マージン）と呼ばれ10%とするのが一般的である。本研究においても同等性マージンは10%とする。

歩行者の速度に関して平均値の差の95%信頼区間を推定した結果、自動走行カートが混在する場合と自転車が混在する場合のいずれも、歩行者の平均速度は同等であると判定された。ステーション式と自由乗降式の95%信頼区間については0を含んでいるため、どちらが優れているといった優越性についても優越性なしと判定される。一方、自転車については、他の場合と同様に同等性が認められるが、95%信頼区間が0を含んでおらず、歩行者のみの場合の方に優越性があると判定されるため、優劣があることがわかる。以上より、歩行者の速度への影響に関して、ステーション式と自由乗降式にかかわらず自動走行カートが混在することによる歩行者の速度への影響はないと予測される。

歩行者同士の交錯時間について、平均値の差の95%信頼区間を推定した結果、自動走行カートが混在する場合については、95%信頼区間が同等性マージンの範囲内に含まれているため、歩行者同士の交錯の発生については歩行者のみの場合と同等であると判定された。また、ステーション式、自由乗降式ともに、95%信頼区間が0を含んでいるため、優越性はないといえる。一方、自転車については95%信頼区間が同等性マージンの範囲を超えているため、同等ではないといえる。以上より、歩行者同士の交錯について、自動走行カートが混在する場合、ステーション式と自由乗降式にかかわらず歩行者同士の交錯が増加することはないと予測される。しかし、自転車が混在する場合には歩行者同士の交錯が増加すると予測される。

c) 交通量が変化した場合の停止時間の推移

商店街中の交通量が変化すると自動走行カートのセンサーによる停止時間にも変化がみられると考えられる。その変化は一次関数的に単調増加するのか、ある交通量を境に急増するのか、あるいは不規則な変化をするのかを予測した。また、運行方式に関してステーション式と自由乗降式のどちらがより停止の少ない運行方式であるかを分析した。その結果図-5に示すような結果が得られた。停止時間についても同様にWelchの検定と同等性の検定を行った。ステーション式と自由乗降式の停止時間についてWelchの検定を行ったところ、交通量が300人/hである場合を除いて、2つの運行方法において停止時間

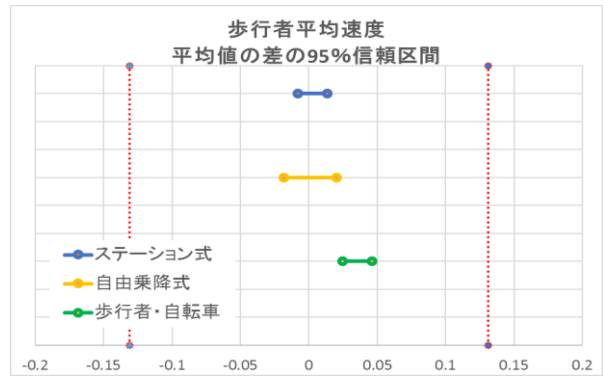


図-3 歩行速度の同等性の検定

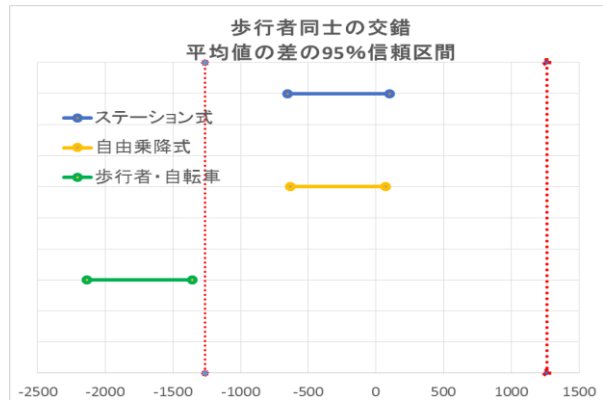


図-4 歩行者間の交錯の同等性の検定

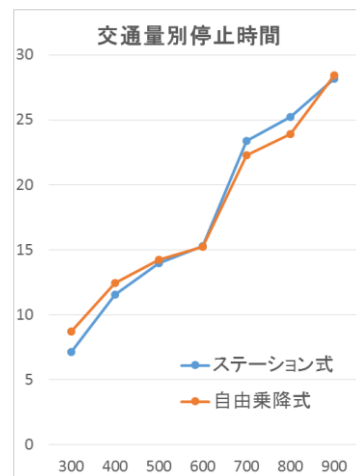


図-5 交通量別のカートの停止時間

表-3 カートの停止時間についてのWelchの検定結果

交通量	300人/h	400人/h	500人/h	600人/h
P値	0.029 *	0.071	0.785	0.853
交通量	700人/h	800人/h	900人/h	
P値	0.598	0.153	0.492	

の長さに統計的に有意な差異はみられなかったため、歩行者数の違いによる停止時間の推移においても大きな差異はみられないと考えられる。どの交通量においても、平均値の差の95%信頼区間が同等性マージンの範囲よりも大きくなり、同等性はないと判定された。その理由は、停止時間は歩行者の通行状況によって大きく左右される

表4 カートの停止時間についての同等性の検定結果

交通量	300人/h	400人/h	500人/h	600人/h
判定結果	同等性なし ステーション式に優越性あり	同等性なし 優越性なし	同等性なし 優越性なし	同等性なし 優越性なし
交通量	700人/h	800人/h	900人/h	
判定結果	同等性なし 優越性なし	同等性なし 優越性なし	同等性なし 優越性なし	

ことが予想されることから、データのばらつきが大きかったためだと考えられる。300人/hの場合は、平均値の差の95%信頼区間が0を含まず逸脱しているため、明らかな差があると判定できるが、その他の交通量においてはステーション式と自由乗降式の間に優越性はなかった。ゆえに、300人/hの場合以外の交通量では、停止時間に関して運行方式による歩行者流への影響の差については言及できない。

5. 実走実験及び利用意向の調査

(1) 実走実験の概要

商店街にて自動走行カートが歩行者と共存して走行するような実験はすぐには認められないということになった。しかし、丸亀町商店街内ではないが、カーフリーデー高松というイベントにおいて、歩行者専用空間と化した車道にて閉鎖空間を設けることで走行実験を行うことが認められた。表-5に実走実験の概要を示す。

(2) 利用意向調査

a) 調査の概要

PTMに対する利用者の利用意向や客観的な意見、要望などを把握することを走行実験における意識調査の目的とし、PTM体験として自動走行カートによる移動を体感した利用者に対して、実験後すぐにヒアリングによる意識調査を行った。調査項目等の調査の概要については表-6に示す。

b) 意識調査結果

PTMが導入された場合に、商店街内を自動走行カートで移動できるならば利用したいかどうかを調査した。利用したいという回答が62%と過半数を占め、走行の条件によっては利用したいという回答を合わせると94%の人に利用する意思があるといえる。さらに、利用したいもしくは走行の条件によっては利用したいと思う理由についての結果を表-8に示す。移動がラクになるという回答が62%と最も多く、自動走行カートにより徒歩による負担を減らすことが期待されていると考えられる。その他にも、行動範囲が広がるという回答も多く、自動走行カートによって単に移動するだけではなく、今まで

表-5 走行実験の概要

実験日	2014年9月21日(日)
天候	晴れ
時間	11時~12時30分, 13時30分~14時15分
場所・延長	高松市 美術館通り 約50m
対象者	カーフリーデー高松の参加者, PTM 乗車希望者
実験従事者	5名
カートの設定(速度)	通常 6.5km/h, 減速時 3.0km/h
カートの設定(センサーの設定)	前方 2m, 側方 1m以内に障害物を検知すると 減速・停止

表-6 意識調査の概要

調査項目	徒歩による移動の負担の有無 PTMの利用意向, 理由 PTMに求める条件 センサーによる安全性 商店街活性化への期待 個人属性
調査対象	PTM体験の参加者(利用者)
調査日時	2014年9月21日(日)
調査形式	ヒアリング調査
回答形式	選択式もしくは自由回答
回答数	50

表-7 利用意向

	回答者数(人)	割合(%)
利用したい	31	62
走行の条件によっては利用したい	16	32
利用したいとは思わない	3	6
合計	50	100

表-8 利用したいと思う理由

	回答者数(人)	割合(%)
移動がラクになる	29	62
買い物が楽しくなる	14	30
行動範囲が広がる	19	40
移動時間が短縮できる	20	43
その他	2	4

表-9 求められる走行の条件

	回答者数(人)	割合(%)
待たずにすぐ乗れる	6	38
乗り降りを手伝ってくれる	0	0
乗りたい/降りたい場所で利用できる	13	81
その他	1	6

よりも来街者の行動範囲を広げることが期待される。移動時間が短縮できる、買い物が楽しくなるというのは、まさにPTMのコンセプトとして期待される効果であるといえる。

走行の条件によっては利用したいと回答した人に、ど

のような条件が求められるか尋ねた結果、乗りたい降りたい場所で利用できる、つまり自由乗降が可能であることが最も求められている条件であると分かった。シミュレーションの結果と合わせ、利用者を考慮すると自由乗降式で運行することが望ましいと考えられる。また、自動走行カートと歩行者の接触を自動で防止するセンサーの実演を体験して、利用者がセンサーによる自動減速・停止の機能があることで安全性を感じるかどうかを調査した。センサーによる自動停止を実際に体験することにより、搭乗者という視点では 98% の人が自動走行カートの安全性を感じたといえる。

6. 結論

本研究で定義したパーソナルトランジットモール (PTM) は、歩行者の速度や交錯に対して特に影響を与えることのない、商店街内における新たな交通手段として有効であると予想される。したがって、商店街に合ったトランジットモールの形であると考えられる。また、意識調査の結果から、導入された際の利用者の需要があると考えられることから、PTM という商店街における新しいトランジットモールを提案する。丸亀町商店街の道路幅員は 11m であり、同程度以上の幅員を持つ商店街であれば、同様の結果が予測される。日本において行われたトランジットモールの社会実験においても幅員が 11m 程度の事例もあり、これらの事例に対しても PTM を導入することで、通りの規模に合ったトランジットモールが導入できると考える。

本研究では PTM の一つのパターンとして、丸亀町商店街をモデルに自動走行カートを用いた PTM が有用であると予測した。このことから自動走行カートに限らず他のパーソナルトランジットを用いるなど、条件や形態が異なる PTM を構築する場合にも、有用な結果となる可能性を示せたと考える。

最後に今後の課題について言及する。本研究では実施することができなかったが、商店街にて歩行者と自動走行カートが共存した状況下での実走実験を行うことが課題としてあげられる。実走実験を行い、利用者・歩行者の利用意向や安全に関する意見を調査することが必要である。また、実走実験の実施のためにも、自動走行カー

トの公道走行に関する法律面の課題を解決することが必要である。本研究では、自動走行カートに直接かかわると考えられることから、利用者と歩行者を対象とした。しかし、PTM の実現のための課題として、PTM の導入に関わるステークホルダーである商店に対しても導入意向等を調査することが必要である。

謝辞: 本研究は、丸亀町商店街振興組合、高松市のご協力なくして、達成できませんでした。本論文の執筆にあたり多大なご助言、ご支援をいただきました関係者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 25 年度 国土交通白書, <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h25/hakusho/h26/pdf/np204000.pdf>
- 2) 久保田尚・野中忠夫・鈴木弘之・高橋勝美・島田敦子：浜松市におけるトランジットモールの社会実験, 土木計画学研究・講演集 No.22(1) 1999 年 10 月
- 3) 中西賢也：トランジットモールの普及方策に関する考察, 第 37 回土木計画学研究・講演集 2008.6
- 4) 中西賢也：日本におけるトランジットモールの現状と課題, 土木計画学研究・講演集 Vol.35 2007.06
- 5) 栗山龍起・岡田和也・関野芳雄・有山正彦・土肥正男：高齢者社会と調和する屋外搭乗型生活支援ロボットの安全エンジニアリング技術の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011
- 6) 兼田敏之・構造計画研究所創造工学部・名古屋工業大学兼田研究室：artisc 始める歩行者エージェントシミュレーション, 構造計画研究所, 2010
- 7) 山下良久：鉄道駅構内における歩行者挙動のモデル化に関する研究, 土木計画学研究・講演集 2005
- 8) 吉村正浩・足達健夫・萩原亨・内田賢悦・加賀屋誠一：歩行者・自転車双方の心理を考慮した歩道空間の安全性評価に関する基礎的研究, 第 31 回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM, 2005
- 9) 遠藤輝・吉村功・森川敏彦・柳川堯：臨床試験における対応のあるデータでの有効率の「同等性検証」の方式, 応用統計学 Vol.24, No.2, 1996

(2015.7.31 受付)

THE INFLUENCE ON PEDESTRIAN FLOW AND THE UTILIZATION ANALYSIS FOR A TRANSIT MALL WITH AN AUTOMATIC CART

Hiroto INOI, Masashi TAKEDA and Kenji DOI