

レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築と それを用いた混合交通の特性評価

蝶野 大地[†] 長谷川孝明[†]

[†] 埼玉大学 大学院理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255
E-mail: [†]{chouno,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を前提とした交通流シミュレータの構築およびそれにより得られる知見について述べている。はじめに、想定する交通環境として、道路の両側にスロービークルレーンを設置するものとしている。次に、実測に基づいて低速車両をモデル化し、そのモデルを導入したレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行っている。最後に構築した MMTS を用いて混合交通の特性評価を行い、平均アイドリング時間が最小となる点が存在することを明らかにしている。以上より、レーン分離された3モード交通社会における混合交通の特性に関する1つの知見を提供している。

キーワード 混合交通, 低速車両, 自転車, シミュレーション, 特性評価

Constructing the Lane Separated Multi-Modal Traffic Simulator MMTS and Characteristic Evaluation of Mixed Traffic Using MMTS

Daichi CHONO[†] and Takaaki HASEGAWA[†]

[†] Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan
E-mail: [†]{chouno,takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

Abstract This paper describes construction of the simulator presuppose pedestrian/slow vehicle/vehicle the lane separated three-mode traffic society and knowledge was obtained from that. First, assuming traffic environment have laid the slow vehicle lane on the roadside. Second, modeling of slow vehicle based on measurements. Third, we construct the lane separated mixed traffic flow simulator MMTS include the slow vehicle model. Finally, we evaluate characteristics of mixed traffic using MMTS. From the results, it show existing point which minimize average idling time. The above, we provide knowledge which is characteristics of mixed traffic for the lane separated three-mode traffic society.

Key words Mixed Traffic, Slow Vehicle, Bicycle, Characteristic Evaluation

1. ま え が き

近年、安全や健康、環境負荷低減に対する関心が高まっている。それに伴い、低速車両の重要性が高まっている。低速車両の一つとして自転車がある。自転車に関する研究は数多く行われている。例えば、オランダでは1992年にBicycle Master Planを策定し、自転車の積極利用を推進する政策を数多く実施し、自転車の利用者数を増加させてきた[1]。また米国では公共の交通機関と自転車を組み合わせ、効率的な輸送を推進する研究[2]が行われている。日本では、移動の安全性向上の観点から自転車交通とスローモビリティをめぐる論点を整理する研究[3]が行われている。また、超高齢化が進行していることから、文献[4]では、高齢化を迎える都市では安定性の高い三輪

自転車やアシスト自転車が重要な選択肢の一つになる可能性があることが述べられている。文献[5]で述べられている社会実験では、2km程度までの短距離の移動では電動アシスト自転車の利用頻度が高くなっている。上記に加え、近年徒歩と自動車との新たな交通モードとして超小型電気自動車が目ざされている。文献[4]では、ゆっくりでも着実に移動でき、体力の低下を補える安全で自由度の高い近距離移動手段として、超小型電気自動車の利用があげられている。また、超小型電気自動車をういた社会実験[5]が行われており、文献[6]ではさいたま市版の超小型電気自動車であり、(有)タケオカ自動車工芸の「ルーキー」をベースとした「彩りイヴ」について述べられている。国土交通省でも、“超小型モビリティ導入に向けたガイドライン”[7]が策定されるなど普及に向けた取り組みが進んでいる。

以上のことから、今後自転車や超小型電気自動車などの低速車両の利用者が増加し、歩行者/普通車両の2モード交通社会から歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離の3モード交通社会へ移る可能性がある。

しかし、レーンで区別した3モード交通社会に関する知見が少ない。そこで本稿では、交通流特性を定量的に評価する手法であるシミュレーションにより、レーン分離混合交通の解析を行う。現在の交通流シミュレータとして、VISSIM や AVENUE [8]、筆者らが開発してきたシミュレータ [9] などがある。ここでは、実測に基づいた低速車両のモデル化を行い、拡張のしやすさから文献 [9] をベースとして歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を前提とした混合交通流シミュレータ MMTS を構築し、混合交通の特性評価を行うことで、レーン分離された3モード交通社会へ移行するための知見を提供することを目的とする。

2. ベースにする交通流シミュレータ [9]

本節では、後述するレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS でベースとして使用するモデルについて述べる。このモデルは、文献 [9] の交通流シミュレータでも同様のものが使用されている。

道路モデルは、交差点を含む仮想的な一般道であり、主道路と従道路で構成される。交差点数、車線数、右折専用車線の有無、リンク長は任意に設定が可能である。また、交差点には信号機が設置しており、信号機は停止線上に位置する。車線幅員は3.5m、停止線から直交する路肩までの距離は4.5mとしている。道路モデルの例を図1に示す。

車両モデルは、乗用車を仮定しており、車両長4.5m、車両幅は1.7mである。評価対象エリアへの進入は各車線ごとにポアソン分布に従う。最低車間距離以内で車両が進入する場合、車両プールで待機し、最低車間距離確保後に進入する。

ドライバーは、周囲の交通状況を判断し運転する。信号機を見て、信号現時に従った運転をし、車線変更は右左折を希望する車両で、右左折可能な車線にいない場合または直進車両で現在いる車線よりも他車線が空いていると判断した場合に車線変更を行う。ただし、交差点に近づきすぎ、ドライバーが車線変更できないと判断した場合には右左折、車線変更とも中止し、直進する。また、車両停車時から発車する場合には遅延時間を設定している。

文献 [9] は、歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定しているため、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会の解析を行うことはできない。本稿では、文献 [9] をベースとして、後述の低速車両のモデルを組み込んだレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行い、解析を行う。

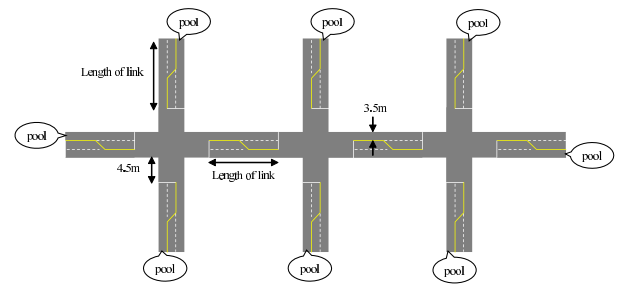


図1 従来の道路モデルの例



図2 彩りイヴ

3. 想定する交通環境と3モード交通社会を評価するための混合交通流シミュレータ MMTS の構築

3.1 想定する交通環境

本稿で想定する交通環境として、歩行者/乗用車の2モード交通社会から歩行者/低速車両/乗用車の3モード交通社会への移行した環境を想定している。また、乗用車のみや低速車両のみの環境では都市設計そのものが大きく変化するため、低速車両の交通分担率が5%から95%の間を扱うものとする。ここでの交通分担率の定義は、各交通モードを利用する人の割合である。道路構造は、乗用車の1車線を半分にし、道路の両側にスロービークルレーンとして設置した環境を想定している。また、二段停止線を参考に低速車両の停止線は乗用車より交差点に近い位置に設定した。実環境でのスロービークルレーンの設置は、道路ダイエット [10] 等により実現可能である。想定する低速車両は、最高速度が30km/h程度までの車両とし、本稿では自転車と（有）タケオカ自動車工芸の超小型電気自動車「ルーキー」をベースとした「イヴ」（図2参照）を扱うものとする。「イヴ」は、機構的に最高速度が30km/h強に厳しく制限されているため、自転車とのレーン共有が可能であると想定している。

3.2 低速車両としての「イヴ」のモデル化

ここでは、低速車両としての「イヴ」のモデル化を行う。まず、「イヴ」の走行特性を知るために観測実験を行った。実験の内容は、150mの直線区間において発車から停止までを行うも

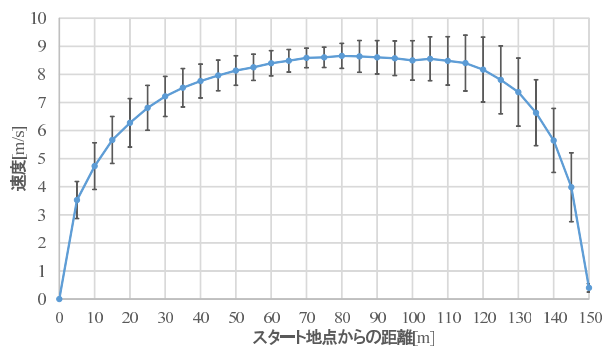


図 3 走行特性の観測実験の結果

のである。使用した車両は「彩りイヴ」、被験者は、男性 7 名である。走行特性の観測実験の結果を図 3 に示す。図 3 に示しているのは、7 名分の観測結果の平均と標準偏差である。この結果に基づき、「イヴ」のモデルを構築する。最高速度 8.6m/s、速度が 7m/s より大きい場合の加速度は、0.04G、7m/s 以下の場合の加速度は 0.04G、減速時の加速度は-0.16G と-0.1G の 2 パターンとする。車両長および車両幅は文献[11]に基づき、車両長 1.79m、車両幅 0.72m とする。また、「イヴ」は右折専用車線込みで片側 3 車線以上の場合には二段階右折を行う。二段階右折のモデルは 3.3 で述べる。

3.3 低速車両としての自転車のモデル化

ここでは、低速車両としての自転車のモデル化を行う。まず、交差点における自転車の挙動を知るために観測を行った。観測地点は自転車レーンのない国道 463 号線埼玉県さいたま市桜区上大久保 725 付近の交差点と国道沿いに自転車レーンが設置されている国道 463 号線埼玉県さいたま市中央区新中里 1 丁目 3-3 付近の交差点である。観測時間は前者の交差点では 2014 年 9 月 11 日 16:10~17:10、後者の交差点では 2014 年 9 月 12 日 8:10~9:10 の 1 時間である。

次に、観測結果に基づき二段階右折のモデルと進行方向が赤のときの左折のモデルを構築した。二段階右折する車両は 2 列で待機し、現示の切り替わり後に交互に出発する。進行方向の現示が赤の場合、自転車を降車し、交差点手前を歩行者として横断する。現示の切り替わり後、右折後の走行車線まで徒歩で移動することで二段階右折を行う。歩行状態の移動速度は文献[12]に基づき、青信号時 1.5m/s、点滅または赤信号時は 2.0m/s とし、歩行状態での挙動は文献[13]のモデルに従うものとする。なお、「イヴ」の場合は降車して手前で横断することはないものとし、自転車を降車した状態を自転車運転者の一時歩行者化と呼ぶこととする。また、左折する自転車は進行方向の現示が赤の場合でもそのまま左折を行うものとする。

最高速度は文献[14]に基づき、5.55m/s とする。また、加速度については文献[15],[16]に基づき、速度が 0.9m/s より大きいとき、0.087G、0.9m/s 以下のとき、0.178G、減速時の加速度は-0.278G とする。車両長および車両幅は文献[17]に基づく、車両長 1.8m、車両幅 0.6m とする。

3.4 乗用車のモデル化

乗用車のモデルは基本的には文献[9]に基づいているが、低

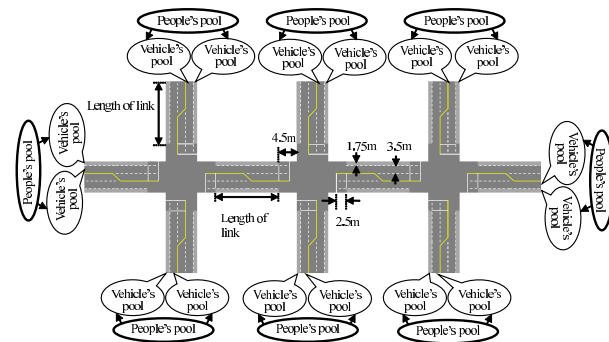


図 4 MMTS の道路モデルの例

速車両の導入により、左折時に巻き込み確認を行う必要があるため、巻き込み確認の判断を組み込み、モデルの拡張を行った。巻き込み判断のモデルは、左側を走行する前後の車両の速度と距離から判断を行うものである。

3.5 MMTS の構築

ここでは、前述のモデルを込みこんだレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行う。構築するシミュレータでは、移動したいと思う人が発生する間隔の平均値を人の移動需要の発生間隔の平均値と定義し、導入する。車両の発生にはまず、評価領域内の全人数と各モードの人数から交通分担率を算出し、設定した交通分担率以下のモードを選択する。次に、選択されたモードの乗車人数分の人が発生した時点で車両を生成し、車両プールに追加する。人の移動需要の発生はポアソン分布に従い、車両プールからの出発および基本的なドライバーの挙動は文献[9]に基づいている。低速車両の乗車人数は 1 人、乗用車の乗車人数は文献[18]に基づき平均 1.33 の指数分布で与えるものとし、最大乗車人数は 10 人、最小乗車人数は 1 人とする。また、自転車は右折時に一時歩行者化することがあるため、歩行者用信号機を導入した。歩行者用信号機の点滅時間は文献[19]に従い、道幅 $W[m]$ に対して、 $W/2[s]$ とした。構築した MMTS の道路モデルの例を図 4 に示す。

4. 評価する環境とシミュレーション諸元

本節では、特性評価を行う環境と評価指標について述べる。

4.1 シミュレーション諸元

道路環境は交差点数 3、リンク長 600m、主道路両側 3 車線、従道路両側 3 車線とし、中心の車線は右折専用車線とする。主道路と従道路の移動需要の発生間隔の平均値の比は 1:2 とする。右左折率を表 1 に示す。信号制御のパラメータはサイクル 100s、スプリット 0.7、オフセット 0s、一回目の黄色信号時間 4s、右折矢時間 5s、二回目の黄色信号時間 2s、全赤時間 2s とする。低速車両の交通分担率を 0.1 から 0.9 まで 0.1 刻みで変化させる。

表 1 直進・右左折希望率

	直進	左折	右折
主道路	0.8	0.1	0.1
従道路	0.2	0.4	0.4

4.2 評価指標

本稿で用いる評価指標は、平均アイドリング時間と平均旅行速度である。平均アイドリング時間は、車両が発生してから評価対象エリアを通過するまでに運転者および乗客が不快と感じるような低速走行時間（2m/s 以下で走行する時間）の全人数平均と定義する。平均旅行速度は、評価対象エリア内の車両の速度の全人数平均と定義する。

5. 混合交通の特性評価

本節では、構築した MMTS を用いて混合交通の特性評価を行う。5.1 では自転車の交通分担率を固定し、「イヴ」の交通分担率を変化させた場合の特性を評価する。5.2 では「イヴ」の交通分担率を固定し、自転車の交通分担率を変化させた場合の特性を評価する。5.3 では「イヴ」、自転車の交通分担率を固定し、人の移動需要の発生間隔の平均値を変化させた場合の特性を評価する。

5.1 「イヴ」の交通分担率を変化させた場合の特性

自転車の交通分担率をそれぞれ 0.1, 0.2, 0.3 で固定した場合の平均アイドリング時間を図 5～7、平均旅行速度を図 8～10 にそれぞれ示す。図 5～7 より、平均アイドリング時間が最小となる点が存在する。「イヴ」の交通分担率が低い場合、モーダルシフトにより乗用車の台数が減少するため平均アイドリング時間が改善する。他方、「イヴ」の交通分担率が高い場合、スロービークルレーンを走行する車両が増加し、混雑するため平均アイドリング時間が悪化する。また図 8～10 より、平均旅行速度はモーダルシフトが進むことにより低下している。これはモーダルシフトの発生により、乗用車より大幅に最高速度の低い「イヴ」の利用者が増加するためであると考えられる。

5.2 自転車の交通分担率を変化させた場合の特性

「イヴ」の交通分担率をそれぞれ 0.1, 0.2, 0.3 で固定した場合の平均アイドリング時間を図 11～13、平均旅行速度を図 14～16 にそれぞれ示す。図 11～13 より、平均アイドリング時間が最小となる点が存在する。自転車の交通分担率が低い場合、モーダルシフトにより乗用車の台数が減少するため平均アイドリング時間が改善する。他方、自転車の交通分担率が高い場合、スロービークルレーンを走行する車両が増加し、混雑するため平均アイドリング時間が悪化する。また、平均アイドリング時間が最小となる自転車の交通分担率は「イヴ」の交通分担率を

変化させた場合に比べて低くなる。これは、自転車は右折時に一時歩行者化することがあり、その状態が他の車両の右左折を妨げる要因になるため、5.1 の結果に比べて平均アイドリング時間が最小となる交通分担率が低くなった可能性がある。そのため、歩行者の影響の調査が今後の課題である。混雑時ほどスロービークルレーンの道路容量に余裕がないため、平均アイドリング時間が最小となる交通分担率は低くなる。また図 14～16 より、平均旅行速度はモーダルシフトが進むことにより低下している。5.1 と同様に、これは最高速度が低い自転車の利用者が増加するためであると考えられる。

5.3 人の移動需要の発生間隔の平均値を変化させた場合の特性

図 17, 18 に、自転車の交通分担率 0.1 で固定した場合の特性を示す。また図 19, 20 に「イヴ」の交通分担率を 0.1 で固定した場合の特性を示す。図 17, 19 より混雑時は大きくモーダルシフトすると平均アイドリング時間が悪化する。混雑時にモーダルシフトした場合、ある所まではスロービークルレーンと乗用車の車線の道路容量の平滑化により平均アイドリング時間が改善するが、その点を超えると、スロービークルレーンが混雑し始め、平均アイドリング時間が悪化する。今回の道路環境では、低速車両の自由走行の方が信号機による待ち時間が短くなったため、積極的なモーダルシフトにより平均アイドリング時間が改善した。また、図 18, 20 からモーダルシフトの発生により、低速車両を利用する人が増えるため、平均旅行速度が低下していることがわかる。

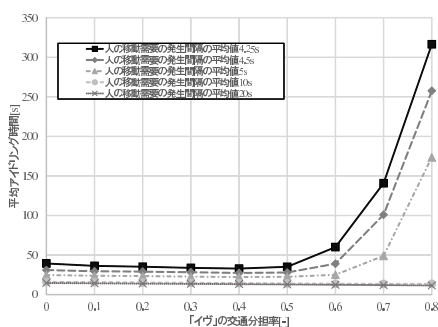


図 5 平均アイドリング時間
(自転車の交通分担率: 0.1)

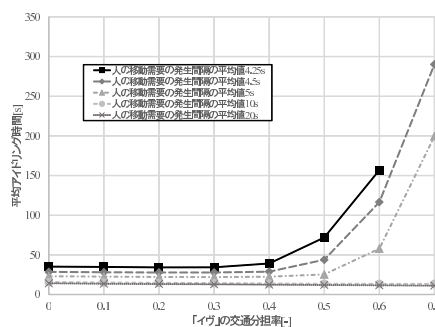


図 6 平均アイドリング時間
(自転車の交通分担率: 0.2)

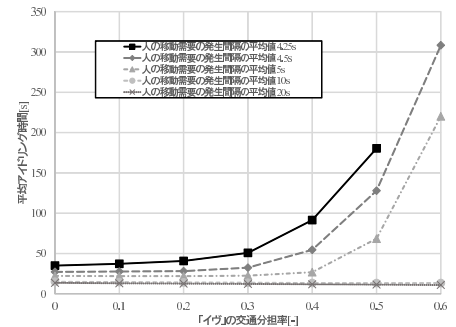


図 7 平均アイドリング時間
(自転車の交通分担率: 0.3)

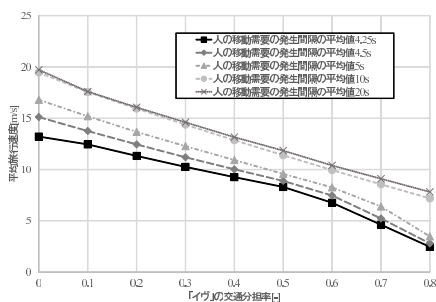


図 8 平均旅行速度
(自転車の交通分担率: 0.1)

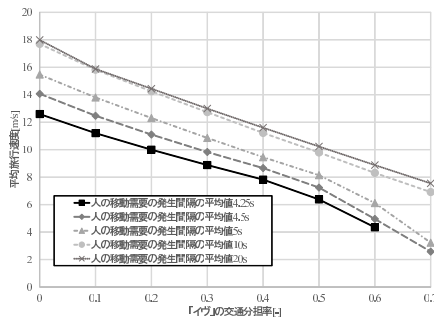


図 9 平均旅行速度
(自転車の交通分担率: 0.2)

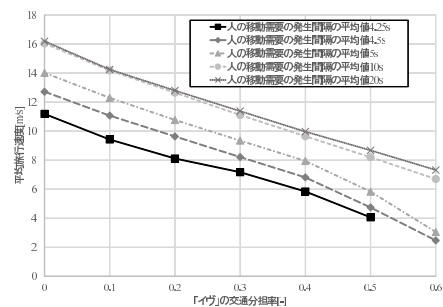


図 10 平均旅行速度
(自転車の交通分担率: 0.3)

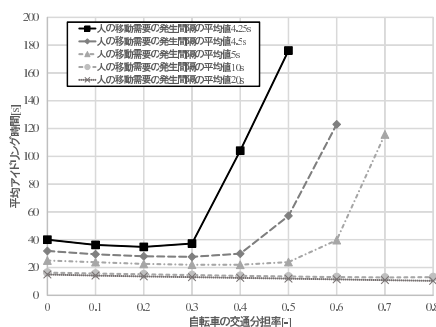


図 11 平均アイドリング時間
(「イヴ」の交通分担率: 0.1)

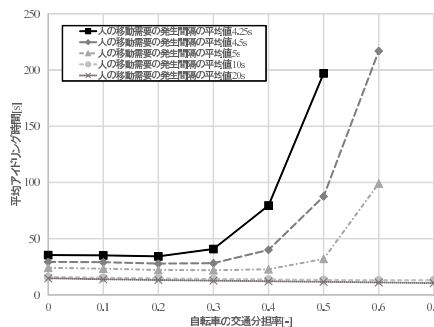


図 12 平均アイドリング時間
(「イヴ」の交通分担率: 0.2)

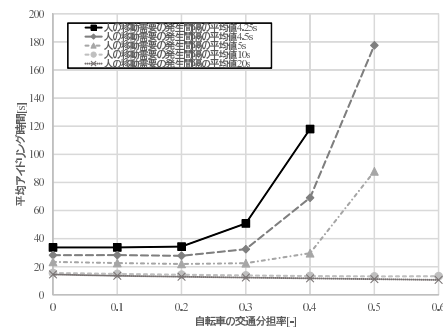


図 13 平均アイドリング時間
(「イヴ」の交通分担率: 0.3)

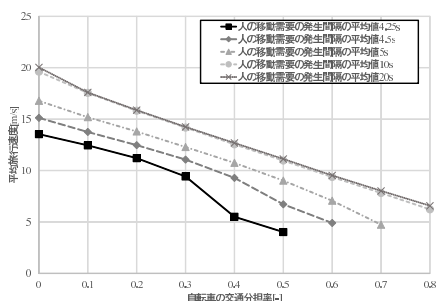


図 14 平均旅行速度
(「イヴ」の交通分担率: 0.1)

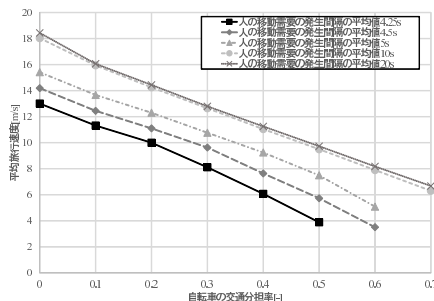


図 15 平均旅行速度
(「イヴ」の交通分担率: 0.2)

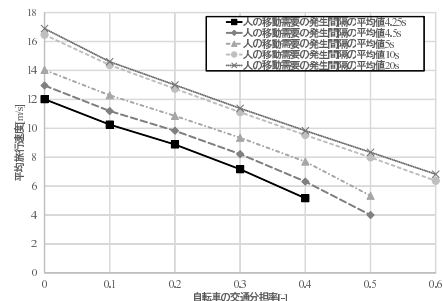


図 16 平均旅行速度
(「イヴ」の交通分担率: 0.3)

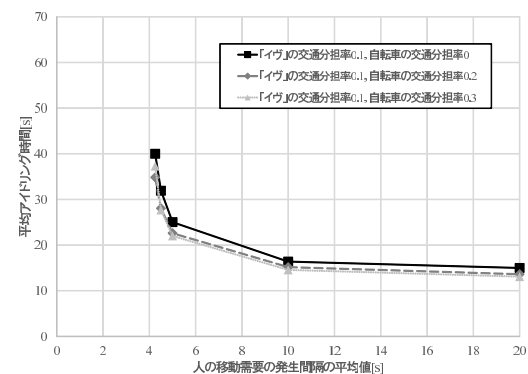


図 17 平均アイドリング時間
(自転車の交通分担率: 0.1)

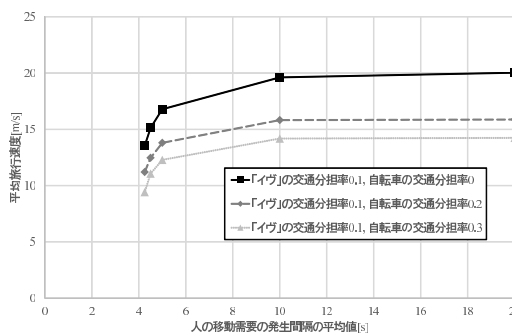


図 18 平均旅行速度
(自転車の交通分担率: 0.1)

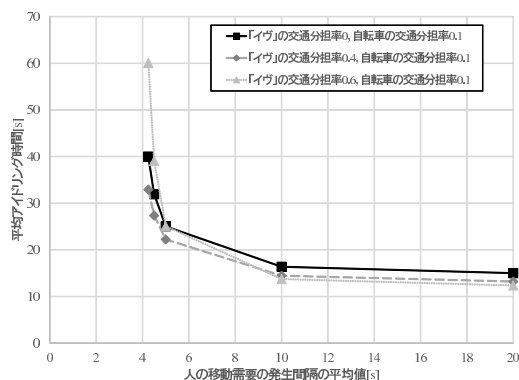


図 19 平均アイドリング時間
 (「イヴ」の交通分担率:0.1)

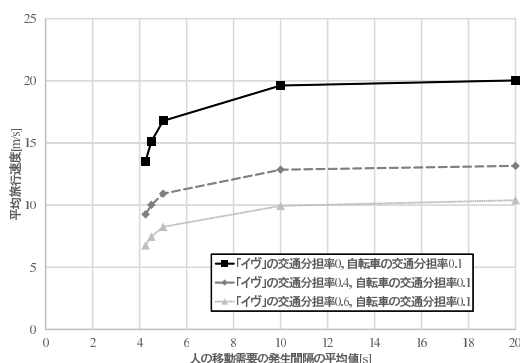


図 20 平均旅行速度
 (「イヴ」の交通分担率:0.1)

6. む す び

本稿では、実測に基づいた低速車両のモデル化およびそれを用いたレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS を構築し、混合交通の特性をシミュレーションにより解析を行った。混合交通の特性評価の結果、平均アイドリング時間が最小となる点が存在することを示した。以上のことから、レーン分離された3モード交通社会における混合交通の特性に関する1つの知見を提供した。

今後の課題として、歩行者を考慮した場合の評価および、様々な道路環境での特性評価が挙げられる。

文 献

- [1] K. Martens, "Promoting bike-and-ride: The Dutch experience," Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol.41, no.4, pp.326–338, May 2007.
- [2] K.J. Krizek and E.W. Stonebraker, "Bicycling and Transit -A Marriage Unrealized-," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol.2, no.2144, pp.161–167, 2010.
- [3] 小林成基, "安全社会の自転車交通とスローモビリティをめぐる論点," 国際交通安全学会誌, vol.36, no.3, pp.35–43, March 2012.
- [4] 土井健司, 長谷川孝明, 小林成基, 杉山郁夫, 溝端光雄, "超高齢化を迎える都市に要求される移動の質に関する研究," 国際交通安全学会誌, vol.35, no.3, pp.38–49, Feb. 2011.
- [5] 土井健司, 紀伊雅敦, 佐々木昭恵, "高齢者の外出とまちなかの回遊性を促進するためのスローモビリティとコモビリティに関する研究," 国際交通安全学会誌, vol.36, no.3, pp.6–15, March 2012.
- [6] 長谷川孝明, "システム創生論とその応用としての超小型電気自動車「イヴ」," 国際交通安全学会誌, vol.36, no.3, pp.16–26, March 2012.
- [7] 国土交通省都市局・自動車局, "超小型モビリティ導入に向けたガイドライン～新しいモビリティの開発・活用を通じた新たな社会生活の実現に向けて～," 2012. Available: June, 2012. <http://www.mlit.go.jp/common/000212867.pdf>
- [8] 堀口良太, 片倉正彦, 桑原雅夫, "都市街路網の交通流シミュレータ AVENUE の開発," 交通工学研究発表会論文集, 1993.
- [9] 麻生 敏正長谷川 孝明, "拡張したシミュレータによる高度デマンド信号制御方式の性能評価," 信学論 (A), vol.J91-A, no.1, pp.33–43, Jan. 2008.
- [10] J.A. Rosales, "Road Diet Handbook - Overview," http://www.fresno.gov/NR/rdonlyres/33F62F6C-8A82-4704-8EBF-4F6707B2104C/16280/RoadDietsD4.201_Rosales_paper.pdf.
- [11] (有) タケオカ自動車工芸, "超小型電気自動車「ルーキー」". <http://www.takeoka-m.co.jp/rookie.html>
- [12] 小塚一人, 鈴木弘司, 藤田素弘, "信号制御と交差点構造が横断者のリスク行動に与える影響に関する実証的分析," 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), no.30, 公益社団法人 土木学会, 2004.
- [13] T. Aso and T. Hasegawa, "Advanced Demand Signals -II Scheme," Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, pp.1025–1032, June 2007.
- [14] 阿部宏史, 崎大樹, 岩元浩二, 富田修一, "岡山市内国道 53 号線における自転車道整備効果の検証," 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 第 37 巻, 公益社団法人 土木学会, 2008.
- [15] 新谷栄朗, 大枝良直, 角知憲, "自転車・歩行者混合交通のモデルに用いる自転車の加速度測定に関する研究," 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第 54 巻, pp.559–560, 公益社団法人 土木学会, 2008.
- [16] 自動車安全運転センター (調査研究部), "「高齢者の交通モード別の安全行動等に関する調査研究」," April 2005.
- [17] "日本工業規格 一般用自転車," http://www.city.imabari.ehime.jp/tosisei/sougou/k4/090220_0103.pdf.
- [18] 今治市, "今治市総合都市交通体系調査検討委員会資料議案第 3 号". <http://kikakurui.com/d9/D9301-2013-01.html>
- [19] 交通工学研究会 (編), 改訂交通信号の手引, 丸善, 2006.