

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入したレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS を用いた通信性能評価

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モード交通社会におけるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能を定量的に評価可能な基盤の構築を行っている。交差点はレーン分離された環境においても低速車両と普通車両が交錯するため、安全のための通信を行うことは重要である。そこで交差点および社会的コストに着目した本方式をレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) に導入し、評価指標として必要情報取得率を用いる基盤の構築を行っている。構築した基盤を用い、想定する状況のシミュレーションを行った結果、必要情報取得率は自転車の利用者が多い場合に全体的に向上するが、帯域幅が広がると飽和状態となることを明らかにしている。以上より、構築した基盤はレーン分離混合交通空間においてマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能を定量的に評価可能なことを示している。

キーワード 混合交通, 低速車両, 自転車, マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式, 交差点, 路車間通信, 車車間通信

Communication Performance Evaluation Under the Lane Separated Mixed Traffic Flow Using MMTS Include Multi-Class Zone ITS Communication Scheme

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 the evaluation framework that can quantitatively evaluate performance of the Multi-Class zone ITS communication scheme under pedestrians/slow vehicles/vehicles the lane separated three-modes traffic society. Communication for safety is important at intersections, because there mix a slow vehicle and a vehicle at the lane separated environment. Therefore, we construct the framework which the lane separated mixed traffic flow simulator MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) includes this scheme. In addition, the evaluation index uses the Ratio of received information necessary. Furthermore, we have simulated communication performance using our framework under supposing situation. From the results, the Ratio of received information necessary increased that on the whole under a large number of bicyclist, but wide-bands have saturated that. Constructing framework show that can quantitatively evaluate performance of the Multi-Class zone ITS communication scheme under the lane separated mixed traffic flow environment.

Key words Mixed Traffic, Slow Vehicle, Bicycle, Multi-Class Zone ITS Communication Scheme, Intersection, I2V Communication, V2V Communication

1. ま え が き

近年、安全や健康、環境負荷低減に対する関心の高まりに伴い、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]や自転車通行帯に関する研究[3]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[4]や自転車歩行者道におけるレーン表示効果を検証する研究[5]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[6]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[7]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、近年徒歩と自動車の間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[6]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、超小型電気自動車および“スローモビリティレーン”を用いた社会実験[7]が行われており、文献[8]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。以上のことから、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会が到来する可能性がある。

一方で、特に交差点付近では人・車・インフラ間の情報共有(Vehicle Information Sharing ; VIS) [9]が重要である。VIS環境を実現するため、車車間通信に関する研究[10]、路車間通信に関する研究[11]、車車間・路車間統合通信に関する研究[12]～[14]が多くなされている。文献[10]のような車車間通信では、各車両が自律分散型の通信を行うため基地局を設置する必要がなく、社会的コストが小さい利点があるが、路車間通信に比べ帯域利用効率は低くなるという欠点がある。しかし、路車間通信では基地局による集中管理を行うため帯域利用効率が高く、高品質な通信が可能であり、路側センサ情報等のフィードバックも可能である。車車間・路車間統合通信は、車車間通信と路車間通信の長所を組み合わせることが可能である。

VIS環境を実現するための高効率な情報通信方式としてマルチクラスゾーンITS情報通信方式が提案[13],[14]されている。この通信方式は、事故の発生しやすい交差点中心付近で確実な通信を行い、それ以外ではコストの小さい車車間通信を行うため、図1に示すように通信領域を3つに分割している。各領域は交差点に近い順に最近傍領域、準近傍領域、その他領域と定義し、最近傍領域では確実な通信、準近傍領域では最近傍領域で使用するスロットの予約と衝突のある通信、その他領域ではインフラを用いない車車間通信を行う。

レーン分離された混合交通環境においても、交差点では低速車両と普通車両が交錯する。普通車両に対して低速車両は交通弱者となるため、このような環境で安全のための通信を行うことは重要である。しかし、マルチクラスゾーンITS情報通信方式の従来研究では歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を想定した評価は行われていない。そこで本稿では、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会においてVIS環境の実現に関する知見を得ることを目的として、レーン分離混合交通空間におけるマルチクラスゾーンITS情報通信方式の性能を定量的に評価可能な基盤の構築を行う。具体的には、レーン分離混合交通流シミュレータ

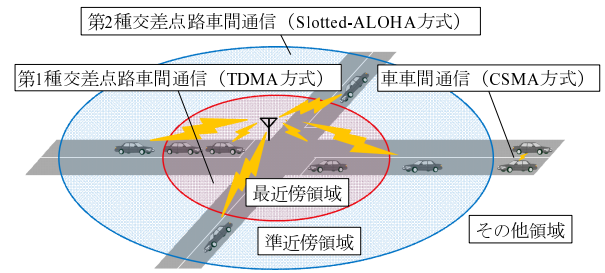


図1 マルチクラスゾーンITS情報通信方式

MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) にマルチクラスゾーンITS情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象としたITS情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いる基盤の構築を行う。さらに、構築した基盤を用いて想定する状況のシミュレーションを行い、通信性能の定量的な評価が可能であることを示す。

2. レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS とマルチクラスゾーンITS情報通信方式

本節では、レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS とマルチクラスゾーンITS情報通信方式ならびに衝突の可能性が高い車両のみを評価対象としたITS情報通信システムの評価基準である必要情報取得率について述べる。

2.1 レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS [15]

MMTSは、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を想定した交通流シミュレータである。道路環境は、道路の両側にスロービークルレーンを設置可能であり、交差点を含む仮想的な一般道である。また、低速車両の停止線は普通車両の停止線より交差点に近い位置に設定している。各交差点には信号機が設置されており、交差点数、車線数、右折専用車線の有無は任意に設定が可能である。MMTSの道路環境の例を図2に示す。車両は、普通車両として乗用車、低速車両として自転車と(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」である。また、MMTSは移動したいと思う人の発生間隔の平均値を人の移動需要の発生間隔の平均値として導入している。車両の発生はまず、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。なお、交通分担率の定義は評価領域内の各交通モードを利用する人の割合である。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う。低速車両の乗車人数は1人、乗用車の乗車人数は1～10人であり、平均1.33の指数分布で与えている。ドライバーは周囲の交通状況を判断して運転する。信号機を見て、信号現示に従った運転をする。自転車は二段階右折をし、「イヴ」は右折専用車線込みで片側3車線以上の場合に法令通り二段階右折をする。

以上のように、文献[15]は、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を想定しており、交通流の特性を評価可能である。

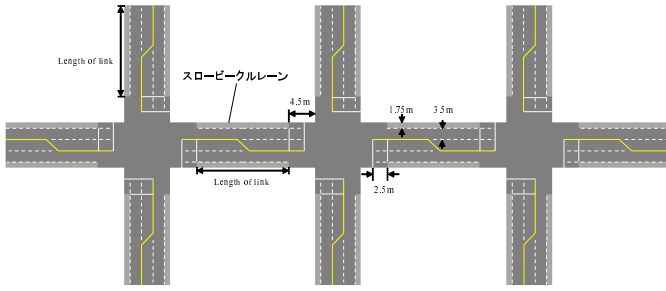


図 2 MMTS の道路環境の例

2.2 マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式 [13] [14]

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では、事故の発生しやすい交差点中心付近で確実な通信を行い、それ以外ではコストの小さい車車間通信を行うため、図 1 に示すように通信エリアを 3 つに分割し、それぞれで役割の異なる通信を行う。各領域は交差点に近い順に、最近傍領域、準近傍領域、その他の領域と呼ばれる。各領域ではそれぞれ、第 1 種交差点路車間通信、第 2 種交差点路車間通信、車車間通信を行う。第 1 種交差点路車間通信では TDMA (Time Division Multiple Access) 方式による 100ms ごとの確実な通信、第 2 種交差点路車間通信では Slotted-ALOHA 方式による 1s に 1 回以上の通信と最近傍領域で使用するスロットの予約、車車間通信では CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 方式によるベストエフォートな通信を行う。通信の切替は、高精度な自位置特定と基地局の位置情報データベースの搭載を前提とし、各車両が通信領域の変更を判断して行う。また、交差点間の距離が短い場合に路車間通信領域が重なることを考慮して隣接交差点では異なる通信帯域を利用する。なお、割り当てスロット数不足の場合、基地局は最近傍領域に近い車両に優先的にスロットを割り当てる。図 3 に路車間通信のフレーム構成を示す。メインフレームは第 1 種交差点路車間通信サブフレームと第 2 種交差点路車間通信サブフレームで構成され、アップリンクとダウンリンクは時分割で行う。アップリンクでは上記の方式を用いて各車両が情報を送信する。ダウンリンクでは基地局が各車両から受け取ったエリア内の車両情報や予約情報、路側センサ等の情報をブロードキャストする。

このように、大規模な交差点の中心付近では高い周波数利用効率で QoS (Quality of Service) 保証型の通信を行うことができ、小規模な交差点や交差点以外の場所では基地局未設置の通信が可能であり、社会コストの面も考慮されている。しかし、本方式の従来研究では、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された 3 モード交通社会を想定した評価は行われていない。

2.3 必要情報取得率 [14]

互いに距離があり接触のリスクが小さい車どうしの情報交換の重要性は、互いに近く接触のリスクの高い車どうしの情報交換の重要性に比べはるかに小さい。すなわち、遠い車どうしの情報交換と至近距離の車どうしの情報交換の成功率を画一的に評価することは ITS 情報通信の性能評価基準としては適切ではない。必要情報取得率 R は衝突の可能性が高い車両のみを

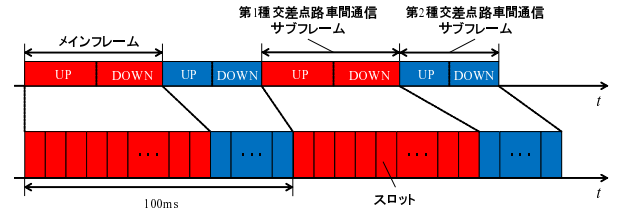


図 3 フレーム構成

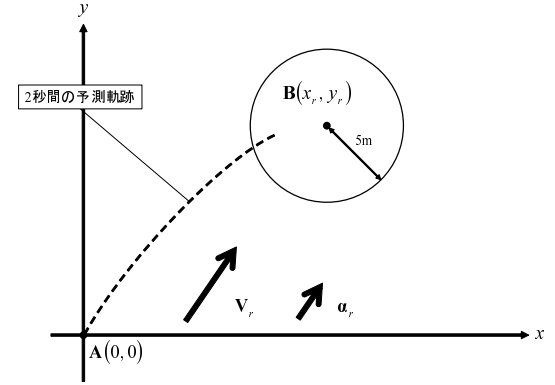


図 4 危険性が高い車両の判定

評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準であり、車の中心が 2s 以内に半径 5m 以内に入る車どうしの通信のみを評価対象とする ITS 情報通信システムの性能評価指標であるが、シミュレーションにおいては、式 (1) のように、必要情報の取得回数 $N_{information_necessary}$ を、衝突の可能性が高く他の車両の情報取得を必要とした回数 $N_{high_risk_vehicle}$ で除した値として計算される。なお、衝突の可能性が高い車両は、判定は図 4 のように、相対位置 A, B , 相対速度 V_r , 相対加速度 a_r を用いて行う。

$$R = \frac{N_{information_necessary}}{N_{high_risk_vehicle}} \quad (1)$$

3. 想定する環境と評価方法

本節では、想定する環境と通信性能の評価方法について述べる。

3.1 想定する環境

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 モード交通社会へ移行した場合を想定している。また、普通車両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は 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、道路の両側にスローピークルレーンとして設置した環境を想定している。実環境でのスローピークルレーンの設置は、道路ダイエット [16] 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「イヴ」(図 5 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と想定している。普通車両は



図5 「彩りイヴ」

乗用車のみとしている。「イヴ」および乗用車は通信機器を搭載し、通信を行うものとする。しかし、自転車に専用の通信機器を搭載することはコスト面で現実的でないことから、通信は行わないものとする。

3.2 評価方法

レーン分離混合交通空間において、通信性能の評価を行うため MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入する。構築した交通流-通信統合シミュレータは、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いる。

4. 混合交通空間におけるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能評価

本節では、シミュレーション諸元と構築した基盤を用いて評価を行った結果について述べる。

4.1 シミュレーション諸元

道路環境は図6に示すように、道路の両側にスロービークルレーンを設置し、主道路両側3車線、従道路両側3車線、人の移動需要の発生間隔の平均値は3.5sとした。ただし、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150s、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8s、二回目の黄色信号時間2s、全赤時間2sとする。路車間通信を行う場合、最近傍領域は停止線上流50m以内、準近傍領域は停止線上流50mから250mまでの200mの範囲とする。CSMA方式のキャリアセンス待機時間は平均20msのポアソン分布に従うものとする。通信諸元を表2に示し、シミュレーション時間は5000sとした。また、評価指標は3.2で述べたように、必要情報取得率を用い、評価対象領域は停止線上流50m以内とする。なお、帯域幅の計算は、誤り訂正、ロールオフ率、ヘッダをすべて含めて1Hz = 1bpsとして計算するものとする。

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	0.4	0.3	0.3

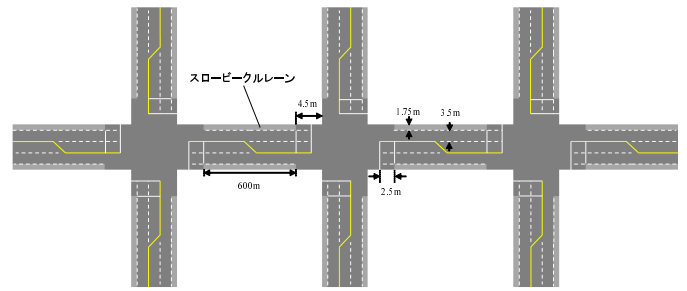


図6 道路環境

表2 通信諸元

キャリアセンス半径	200m
通信半径	100m
通信周期	0.1s
正規化遅延	0.5
通信チャンネル数	2CH
パケット長 (データ長)	70oct. (30oct.)

4.2 評価結果

構築した基盤を用いて、基地局の設置されている交差点と基地局の設置されていない交差点において、帯域幅に対する必要情報取得率の評価を行う。自転車の交通分担率を0.1で固定し、「イヴ」の交通分担率を変化させた場合、「イヴ」の交通分担率が0.6のとき平均車両密度が最大の93veh./km/laneとなる。一方、最も低い平均車両密度は30veh./km/laneで、「イヴ」の交通分担率が0のときである。また、自転車の交通分担率を0.3で固定した場合では、最大の平均車両密度は99veh./km/laneであり、そのときの「イヴ」の交通分担率は0.4である。図7に自転車の交通分担率を0.1で固定した場合の必要情報取得率を示す。これより、「イヴ」の利用者が増加すると必要情報取得率を高くするための帯域幅が増加することがわかる。今回の環境において、必要情報取得率90%を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率0.6の場合、「イヴ」の交通分担率0の場合と比較して、基地局設置では約2.5倍、基地局未設置では約2.6倍に増加する。

図8に自転車の交通分担率0.1、「イヴ」の交通分担率0.6の場合と自転車の交通分担率0.3、「イヴ」の交通分担率0.4の場合の必要情報取得率を示す。この結果より、必要情報取得率は自転車の交通分担率が高い場合に全体的に向上する。これは、通信機器を搭載しない自転車の利用者が増えるためと考えられる。また、必要情報取得率が飽和状態となる帯域幅は、基地局が設置されている場合6MHz、基地局未設置の場合13MHzとなった。この帯域幅を超えた場合、通信を行う車両に対して帯域幅に余裕ができるため、パケット衝突が発生しにくくなるので飽和状態になったと考えられる。

図7, 8より、自転車の交通分担率0.1、「イヴ」の交通分担率が0.6のときおよび自転車の交通分担率0.3、「イヴ」の交通分担率が0.4のときは約4MHz、自転車の交通分担率0.1、「イヴ」の交通分担率が0のときは約1.5MHzのとき、基地局が設置されている場合が基地局が設置されていない場合に比較して必要

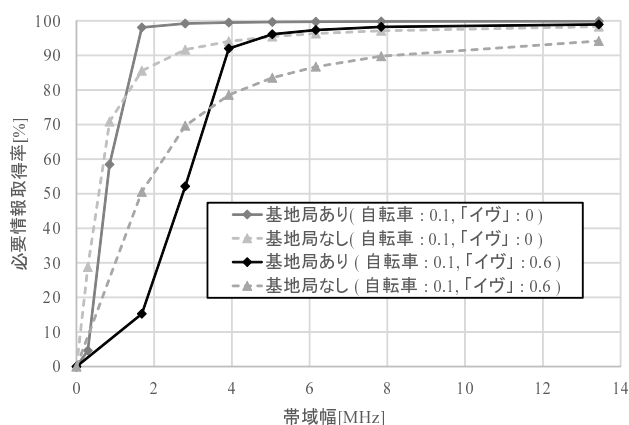


図 7 「イヴ」の交通分担率を変えた場合の必要情報取得率の比較

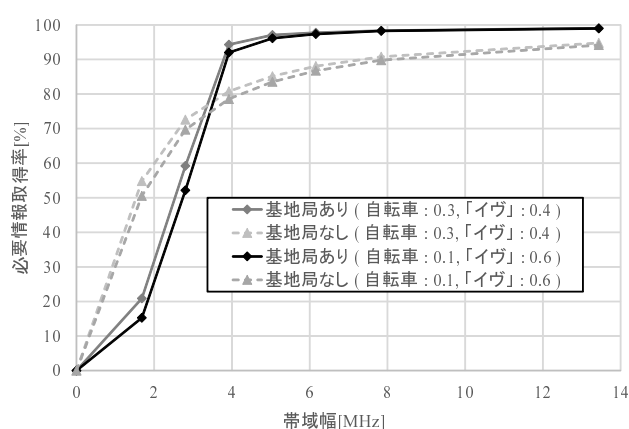


図 8 自転車の交通分担率を変えた場合の必要情報取得率の比較

情報取得率が高くなる。これは、帯域が狭い場合、第 1 種交差点路車間通信用スロットの不足および第 2 種交差点路車間通信の通信失敗によるスロットの予約失敗が多発するためと考えられる。

以上より、構築した基盤はレーン分離混合交通空間においてマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能を定量的に評価可能なことを示している。

5. む す び

本稿では、レーン分離混合交通流シミュレータにマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行った。

構築した基盤を用い、一例として交差点数 3、スロービークルレーンが設置された両側 3 車線の道路、人の移動需要の発生間隔の平均値 3.5s (主道路: 従道路 = 1 : 2) の交通環境でシミュレーションを行った。今回の環境において、自転車の交通分担率を 0.1 で固定し、必要情報取得率 90% を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率 0.6 の場合、「イヴ」の交通分担率 0 の場合と比較して、基地局を設置するとき約 2.5 倍、基地局を設置しないとき約 2.6 倍に増加した。また、必要情報取得率は

自転車の交通分担率が高い場合に全体的に向上するが、帯域幅が広がると飽和状態となることを示した。以上より、構築した基盤はレーン分離混合交通空間においてマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能を定量的に評価可能なことを示した。

今後の課題として、様々な道路環境での評価および電波環境を含めた場合の評価が挙げられる。

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] K.J. Krizek and R.W. Roland, "What is at the end of the road? Understanding discontinuities of on-street bicycle lanes in urban settings," Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol.10, no.1, pp.55–68, Jan. 2005.
- [4] 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," IATSS Review, vol.36, no.3, pp.35–43, March 2012.
- [5] 山中英生, 肌野一則, 半田佳孝, "利用者の挙動と安全間から見た自転車歩行車道におけるレーン表示の効果," 土木計画学研究・論文集, vol.19, no.4, pp.613–618, Sept. 2002.
- [6] 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," IATSS Review, vol.35, no.3, pp.38–49, Feb. 2011.
- [7] 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," IATSS Review, vol.36, no.3, pp.6–15, March 2012.
- [8] 長谷川孝明, "システム創成論とその応用としての超小型電気自動車「イヴ」," IATSS Review, vol.36, no.3, pp.16–26, March 2012.
- [9] T. Hasegawa, K. Mizui, and K. Seki, "A concept reference model for ITS communication systems - View from vehicle information sharing," Proc. 13th World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2006.
- [10] K. Tokuda, M. Akiyama, and H. Fujii, "DOLPHIN for inter-vehicle communications system," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, pp.504–509, MI, Oct. 2000.
- [11] 福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野 寛, 松下 温, "道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価," 情報学論, vol.43, no.12, pp.3931–3938, Dec. 2002.
- [12] 塚本晃司, 藤井雅弘, 伊丹 誠, 伊藤紘二, "車車間・路車間統合システムを用いた単方向巡回ネットワークの提案と評価," 信学論 (A), vol.87, no.9, pp.1236–1244, Sept. 2004.
- [13] 倉本圭太, 長谷川孝明, "交差点付近の車両の安全を目的としたリアルタイム ITS 情報通信システム," 信学技報 ITS2006-7, May 2006.
- [14] 横山達也, 倉本圭太, 長谷川孝明, 麻生敏正, 石其俊明, "マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式," 信学論 (A), vol.95, no.8, pp.683–693, Aug. 2012.
- [15] 蝶野大地, 長谷川孝明, "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," 信学技報 ITS2014-54, pp.161–166, Feb. 2015.
- [16] J.A. Rosales, "Road Diet Handbook - Overview," http://www.fresno.gov/NR/rdonlyres/33F62F6C-8A82-4704-8EBF-4F6707B2104C/16280/RoadDietsD4.201_Rosales.paper.pdf.