

自動運転車両普及期における交差点での交通流改善手法の検討

古川義人¹ 清原良三²

概要: 自動運転技術は車車間通信・路車間通信など、手動運転では得られない周辺の情報を得ることができるため、渋滞改善や事故防止などの改善効果が見込まれている。しかし、自動運転技術はレベルが異なることや、市場化に長い年月が必要と想定されるため、自動運転と手動運転が混在した環境が生じると予想される。また、こうした混在環境下では本来自動運転技術が想定した動作ができないことが予想できる。本論文では、マルチエージェントシミュレータを用いて混在環境を構築し、今後普及した際に起こりうる問題の発見を試みる。また、この問題を解決するための自動運転技術を利用した改善手法について検討する。

A Study for improvement traffic flow method at intersection in the period of diffusion of autonomous vehicle

HIROTO FURUKAWA¹ RYOZO KIYOHARA^{†1}

1. はじめに

ITS(Intelligent Transport System)は交通事故の削減や渋滞の軽減を目的に様々な研究・開発が行われている[1]。これにともない日本国内では2020年までに交通事故死者数を2500人にしようとする動向が見られる[2]。しかし、自動車の使用年数が増加傾向[3]であることから、2020年までに現在道路を走行している車両がすべて自動運転技術を搭載している車両(以下自動運転車両と省する)に乗り換えられることは現実的ではなく、今後は既存の手動運転車両に自動運転車両が混在する環境(以下混在環境と省する)が生じると予測される。

自動運転技術は自車以外の車両の情報を車車間・路車間通信により取得することができる。このように車両や道路が情報を共有しあう自動運転技術を協調型ITSと呼ぶ。一方で手動運転のような自律型の自動運転では、運転に必要な情報がドライバーの視覚的に得られる情報に限定されるため、ドライバーの反応速度が遅いことや見落としがある場合、渋滞や交通事故の原因になる可能性がある。また、LTE通信を利用したアプリケーションの検討もされており、通信による情報の獲得はできながら、制御は人間のドライバーが行う単方向的な協調型の自動運転の登場が予測される[4]。現状予想される米国運輸省道路交通安全局(NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration)によって定められた自動運転技術レベルの定義を表1に示す。

このような車両が混在した道路では、通信できる車両が周辺に存在しない場合や、自動運転レベル3のドライバーが

通信によって獲得した情報に従わない場合、本来予想される効果が得られない可能性がある。また、レベル4以降の車両では操作主体が人間でないことから、車両の行動が人間のドライバーと異なる場合、周辺を走行する車両に違和感を与える可能性があり、場合によっては交通流に悪影響を与えることが予想される。

例えば、ACC(Adaptive Cruise Control)は前方車両との車間距離をセンサ情報によって保持する機能であるが、これを応用した技術にCACC(Cooperative Adaptive Cruise Control)があり、これは前方車両と通信することで車間距離

表1 自動運転技術のレベル別定義

Table 1 Definition of the autonomous technology level

レベル	概要	操作主体
レベル0 手動運転	運転者がすべてのタスクを実施	人間
レベル1 運転支援	前後・左右いずれかの車両制御のサブタスクをシステムが実施	人間
レベル2 部分運転自動	前後・左右両方の車両制御のサブタスクをシステムが実施	人間
レベル3 条件付き 自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。緊急時は人間が介入	システム 人間
レベル4 高度自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。緊急時の人間介入なし	システム
レベル5 完全自動運転	システムがすべての運転タスクを実施。人間の操作は一切なし	システム

¹ 神奈川工科大学大学院

² 神奈川工科大学

を一定に保つ技術であり、より高精度である。しかし、手動運転では前方車両との車間距離は前方車両との相対速度で調節しており、前述したように、ドライバの反応速度によって変化する。

本論文では、こうした通信機能の有無、車間距離の調節手法の差に着目し、自動運転車両、部分自動運転車両、自動運転車両の3つの種類の車両を定義する。また、これらの占有率を変化させることで混在環境を定義する。さらにこれらをマルチエージェントシミュレーションに実装し、混在環境における問題点を明らかにする。最後に、混在環境で生じる問題を解決する手法を提案し、これを評価する。

2. 関連研究

Guni Sharon ら[5]は米国の信号機と道路の特性を利用した、渋滞軽減手法を提案している。ただし、米国の交通ルールを前提としているため、日本での適用に関しては別途交通ルールに関して議論されるべきである。Peiqun Lin ら[6]は、交差点通過時の軌跡を通信により計算し、通行予約を行う手法で、渋滞を削減する方法を提案している。混在環境に関しては通信可能な車両が提案手法を適用することができ、それ以外の通信不可能な車両は適用されないものとしている。宮崎ら[7]は非優先道路の渋滞削減に自動運転技術が効果的であると示し、渋滞軽減手法を提案している。混在環境という点では、手動運転車両と自動運転車両の交差点進入距離に差があるものとしている。

車両の追従挙動モデルに関しては、前方車両が存在しない場合の自由走行と、前方車両が存在した場合の追従走行の2種類に大分され、様々なモデルが検討されている[8]。今枝ら[9]は追従走行に着目し、手動運転による車間距離調節モデルを始めACCやCACCによる車間距離調節モデルを構築することで、混在環境に自動運転技術が効果的であることを示している。西村ら[10]は、加減速モデルとしてIDM(Intelligent Driver Model)を採用し、これに車線変更モデルを加えることで、混在環境下で種類の異なる車両同士のストレスを抑制する車両挙動モデルを提案している。

森田ら[11]は、人間のドライバのブレーキ操作の特性に関して実験結果を報告している。また、これによりブレーキランプの点灯時、非点灯時の人間の減速反応時間を明らかにしている。原ら[12]は非優先道路から交差点に進入してくる車両に対して、優先道路を走行する車両がブレーキを踏む距離を明らかにしている。これは優先道路を走行する車両が交差点に進入してくる車両を認識するための距離を示している。また、人間のドライバは車間時間(先頭車両までの現在速度での到達時間)を車間距離の調節に使用していることが知られている。太田はこの車間時間は、主観的な感覚と客観的な感覚に差異があることを心理学的に提言している[13]。一方で自動運転では、この車間時間をユーザが設定することで、自動的にその車間距離を調節する

[14]。実験の結果、この設定値に対してもユーザによって異なることが明らかになっている。

上記の研究では、混在環境を表現するための車両モデルが通信だけに着目したものや、走行モデルに着目したものなど、単一的な条件での差を図るものであった。また、我々はこれまで、混在環境における渋滞削減手法に着目して改善を試みてきた[15][16]。しかし、交差点進入時の他車両への影響に関して考慮していない。本論文では、混在環境のパラメータに複数の条件を組み込むことで、より現実的な混在環境の構築とその問題点の発見を試みる。また、特定の道路の渋滞削減とそれに伴う周辺道路への影響も評価する。

3. 実験

実験では、ネットワーク型シミュレーションのScenargie 2.1[17]を利用した。車両の挙動にMulti-Agent Extension Module、通信にはITS Extension Moduleを使用した。

3.1 車両モデル

混在環境下で想定される車両として手動運転車両と、部分自動運転車両、自動運転車両の3種類を定義する。車両を定義するパラメータを表2に示す。操作主体は、車間時間の設定や車間距離の調節の際に使用される反応時間を決定する。

車間距離パラメータは交差点の進入に必要な進入距離の計算式であり以下の(1)~(3)のように設定する。

$$accel_{i+1}(t+T_{action}) = \frac{a_1}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} \{v_i(t) - v_{i+1}(t)\} \quad (1)$$

$$accel_{i+1}(t+T_{delay}) = \frac{a_2}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} \{v_i(t) - v_{i+1}(t)\} \quad (2)$$

$$accel_{i+1}(t+T_{delay}) = a_3 \frac{v_i(t) - v_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + a_4 \{accel_{i+1}(t) - accel_i(t)\} \quad (3)$$

式中の*i*は先頭車両、*i+1*はそれに後続する追従車両を表す。*t*は現在時刻であり、*accel*(*t*)は加速度[m/s²]、*x*(*t*)は車両の現在位置、*v*(*t*)は速度[m/s]を表している。また、*a*は反応強度であり、車両ごとに異なる数値が設定される。反応強度は事前にシミュレーションを行うことで、事故が起こらない範囲での反応係数を設定し、ここから車間距離の差を求めることでドライバの設定する車間距離の差を表現

表 2 車両の機能を考慮した車両の定義

Table 2 The definition by vehicle's ability

名称	操作主体	車間距離	交差点進入	V2X
手動運転	人間	(1)	(4)	無
部分自動運転	人間	(2)	(4)	有
自動運転	システム	(3)	(5)	有

する。 *Taction* は人間の相対速度に対する反応遅れ時間[s]を示しており, 関連研究[13]を参考に 1.0~1.4[s]をランダムに設定した。ただし *Tdelay* はシステムの遅延時間を考慮したもので, すべての車両で 0.1[s]を設定した[9]。また, 前方車両が存在しない場合は, 「ドライバの求める快適な加速度などをパラメータとして設定できる IDM モデルを設定した。

交差点進入パラメータでは図 1 に示すようなタイミングで進入に必要な距離を求めるために計算される。計算式は以下の(4), (5)の様である。

$$x = v \times (t + T_{rand}) \quad (4)$$

$$x = v \times (t + T_{rand}) + d \quad (5)$$

x は交差点の侵入に必要な車間距離[m], v は交差点進入方向に関する対向車両の速度[m/s], t はあらかじめシミュレーション実験によって獲得した交差点通過に必要な時間[s]である。ここで T_{rand} は操作主体に依存し, またドライバごとにランダムで設定される車間時間[s]である。設定される車間時間は先行研究を参照した[13][14]。設定される車間時間とその割合を表 3 に示す。

通信機能パラメータは通信が可能であるかのパラメータである。

以上の 4 つのパラメータによって車両モデルは定義される。特に交差点進入の差は, 事故につながりやすい。例えばそのため, 操作感覚に差を感じたドライバは急ブレーキを踏む可能性がある。そこで, 前方車両の認識度によってブレーキの踏み方に差をつけるために, 車両に図 2 のように車間距離ごとのブレーキ操作を定義した。対向車両の車間時間と速度の積によって求められる距離の中に進入車両が交差点に進入してきた場合, 対向車両は急ブレーキを踏む。また, 対向車両の車間時間と速度の積によって求められる距離の 2 倍の距離の中に進入してきた場合, 対向車両は車間距離に余裕があるにもかかわらずブレーキを踏む。

表 3 車両の占有率

Table 3 Occupancy of vehicles

	占有率[%]		
	手動運転	部分自動運転	自動運転
A	100	0	0
B	75	0	25
C	50	0	50
D	25	0	75
E	0	0	100
F	25	25	50
G	0	25	75

3.2 道路モデル

実験では簡易化のため歩行者や二輪車は想定しないものとする。使用する道路のモデルを図 3 に示す。十字路であれば信号機が設定されている可能性が高く, 機械的な処理の信号に従って行けば歩行者がいない限り事故は少ない。そこで今回は交差点進入時に特にドライバ間のネゴシエーションが必要になる丁字路を使用する。

3.3 シミュレーション環境

本論文では混在環境をシミュレーションに実装して実験を行う。この時使用するプロパティを表 4 に示す。また,

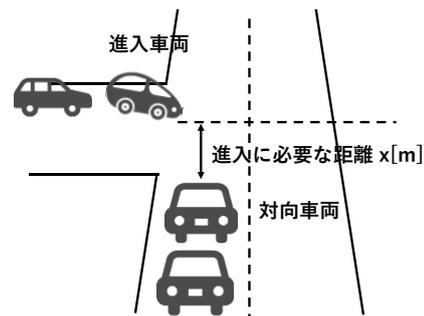


図 1 交差点の進入に必要なプロパティ
Figure 1 Parameters of crossing intersection

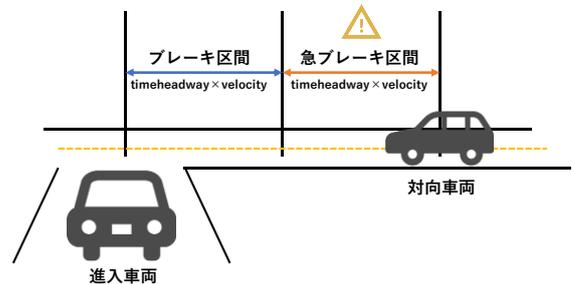


図 2 ブレーキを踏む距離の定義
Figure 2 Definition of stepping brake

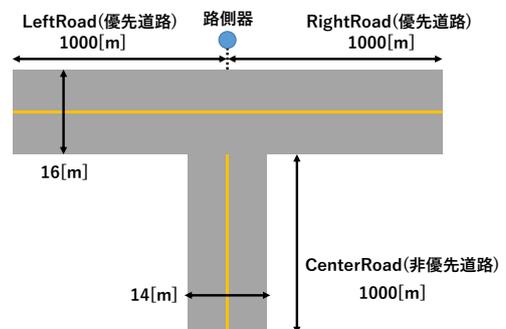


図 3 道路モデル
Figure 3 Road model

混在環境には、各車両の占有率によって普及初期段階から普及完了段階までを表現する。実験に使用する占有率のケースを表5に示す。実験の評価には各占有率のケースを10回実行したときの平均値を使用する。

3.4 実験結果

実験結果を図4、図5、図6に示す。図3は最大渋滞台数。図4は交差点通過時間平均、図5は優先道路の車両が交差点の非優先道路からの侵入が原因で急ブレーキを踏んだ回数を表している。また、ここでは単に手動運転車両と自動運転車両の占有率での比較をしている。部分自動運転を含むパターンF、Gは後述する提案手法の評価の際に実験する。またL、C、Rはそれぞれ図3に従ってLeft、Center、Rightを示している。

図3では自動運転車両の増加に伴い各道路の渋滞台数が変化していることを示している。道路Cは非優先道路であるが、自動運転車両が増加したことで、図7に示すように優先道路を走行する車両が車群を構成することで明確な進入タイミングが得られたため、渋滞台数が削減される。同様の理由で道路Lの渋滞台数も削減していることが確認できた。一方で進入タイミングを増やす分道路Rはわずかながら渋滞台数が増加した。

図4では、渋滞台数とは異なり、非優先道路以外での大きな変化は見られない。このことから、車両一台一台の交差点通過にかかる時間に大きな変化はなく、ドライバごとの旅行時間は非優先道路での改善以外に特に影響がない。

しかし、図5の急ブレーキの回数では、非優先道路からの進入に伴う急ブレーキが特に道路Lで変化があることが

表4 シミュレーションのプロパティ

Table 4 Property of simulation

シミュレーション時間	3600[s]
出発・目的地	ランダム
車両台数	300[台]
最高速度	40km/h

表5 車間時間の設定

Table 5 Setting the time head way

操作主体	車間時間[s]	割合[%]
人間	1.0	12.8
	1.5	28.1
	2.0	24.7
	2.5	14.4
	3.0	13.1
	3.5	6.9
システム	0.64	50.0
	0.78	50.0

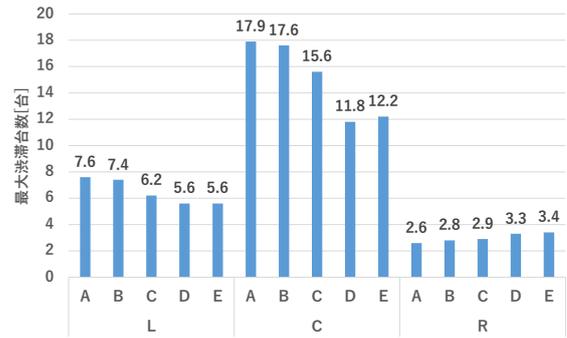


図4 最大渋滞台数の変化

Figure 4 Maximum number of vehicles in congestion

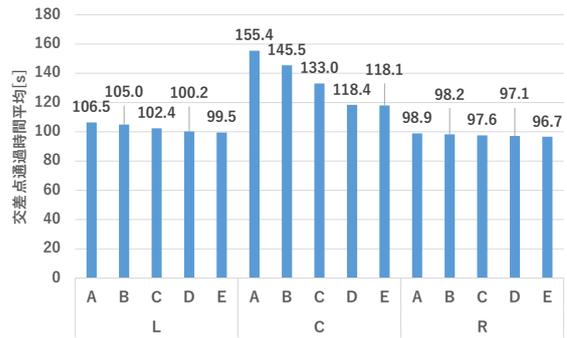


図5 交差点通過時間の平均の変化

Figure 5 Average time of passing through intersection

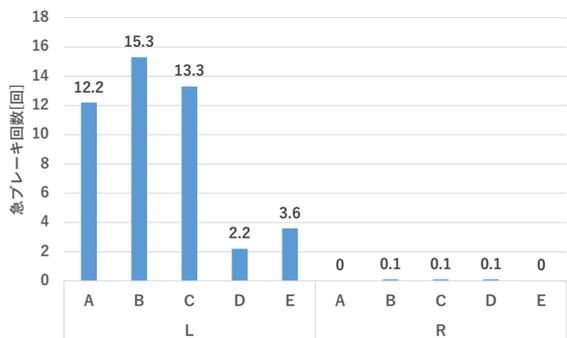


図6 急ブレーキの回数の変化

Figure 6 Number of stepping sudden brake

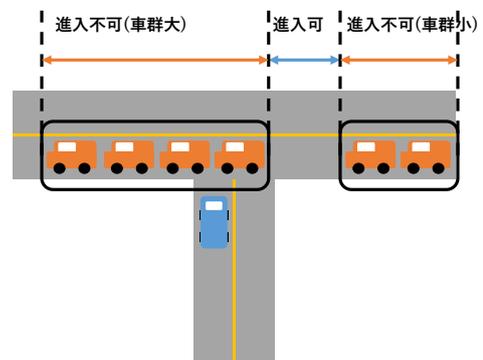


図7 非優先道路の進入可能タイミング

Figure 7 Timing when a non-priority road can enter

見られる。特に自動運転車両 25%と、普及初期段階での急ブレーキの回数が多く、自動運転車両が 75%以上普及したパターン D から急激に減少していることが確認できる。一方で道路 R は急ブレーキの回数は少ない。自動運転車両は一般的に進入時に対向車両に急ブレーキを踏ませないために、式(5)に示すように侵入に関係する車両が最悪停止できる安全距離を考慮している。そのため道路 R のように進行方向に直進と左折しかない道路では特に急ブレーキを踏む場面は確認できなかった。

しかし、道路 L では、進行方向に右折があるため、右折を待機する際に、道路で渋滞が生じる可能性がある。この時、右折が可能になったタイミングで本来は図 7 に示すように、自動運転車両が連続している場合には、交差点の進入時に追従走行をするため、進入車両に進入に必要な距離を与えない。しかし、図 8 右折待機車群の中に手動運転車両が混在している場合、右折待機車群の先頭が進入する際に追従が間に合わないため、進入車両が、進入可能と判断する。そのため、進入車両は、図 2 に示した右折待機中の優先道路の車両の急ブレーキ区間に進入してしまい、急ブレーキを踏ませてしまう。

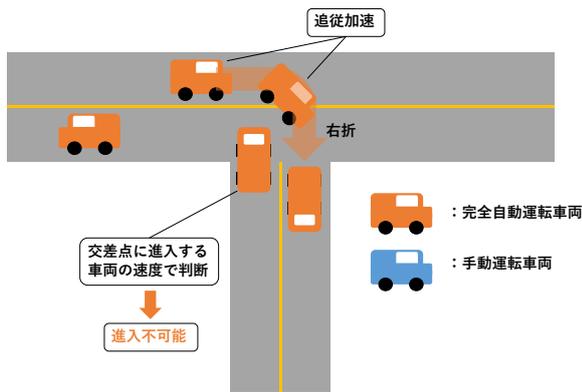


図 8 理想的な交差点の進入

Figure 8 Ideal simulation case of enter the intersection

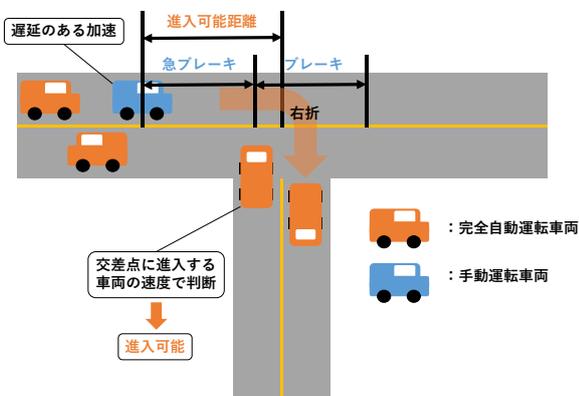


図 9 混在環境で生じる交差点の進入

Figure 9 Actual simulation case in the mixed environment

4. 提案手法

4.1 概要

予備実験から、混在環境では、自動運転車両の操作によって手動運転車両に対して危険な挙動を取る可能性があることが明らかになった。特に普及初期段階であるパターン D や C で危険な挙動がある場合、自動運転車両に対する信頼性を欠く。しかし、自動運転車両の普及に伴い渋滞台数や、交差点の通過時間に改善が見られたことも明らかになった。そのため、自動運転車両の初期段階において自動運転車両の本来の渋滞軽減効果はそのままに、急ブレーキを踏むことによる危険な挙動を減らす手法を提案する。

急ブレーキの原因は、優先道路を走行している手動運転と非優先道路を走行している自動運転車両の進入がぶつかる場合に生じることが判明した。そのため、非優先道路を走行する自動運転車両は原則的に、非優先道路から進入を路車間通信によって優先道路を走行する車両に共有する。これにより、自動運転車両の進入と優先道路を走行する自動運転車両の進入が被るように調節する。

通信プロトコルの概要を図 10 に示す。路車間通信に関しては、Scenargie が提供している ARIB T109 の規格を使用した。通信範囲は交差点を中心に半径 98[m]の円とした[18]。通信プロトコルの手順を以下に示す。ここで提案手法の通信エラー率は Scenargie で提供されているモデルを使用した。ただし車両モデルで述べた式(1)~(6)で使用される車両情報は、これを利用せず、通信に必ず成功し、取得するものとしている。

進入依頼(プロトコル開始)

通信は非優先道路で進入を待機する車両が、通信可能か一定時間待機した場合に開始する。この時、非優先道路の車両は、路側器に対して進入依頼メッセージを送信する。一般的に車車間・路車間通信ではブロードキャスト通信であるため、この時の進入依頼メッセージは他の車両も受信することができる。プロトコル開始条件を満たさない車両がこの進入依頼メッセージを受信した場合、プロトコ

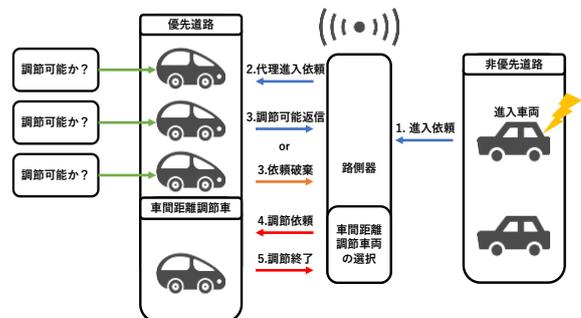


図 10 提案手法(プロトコル)

Figure 10 Proposed method (Protocol)

ルが開始されたと認識し、それ以降にプロトコル開始条件を満たした場合は、通信の輻濫を防ぐために進入依頼メッセージの送信を行わない。

予備実験の結果から自動運転車両が普及した環境においても、非優先道路からの交差点への侵入が困難であることが判明した。そこで、提案手法の自動運転車両の進入を、手動運転車両にも適用できるようにする。具体的には、通信条件を満たした車両が渋滞長の先頭でない場合においても(先頭車両が通信できない車両の場合)、進入依頼を代理で送信するものとした。

(2) 代理進入依頼

進入依頼を受信した路側器はこれを優先道路の通信可能な車両に対して代わりに進入依頼メッセージを送信する。これは、建物による通信の妨害を考慮したためである。

(3) 調節可能返信

路側器から代理の進入依頼メッセージを受信した通信可能な車両は、自車が減速による速度調節によって、実際に進入依頼を送信した車両を交差点に進入させることができるかを計算する。ただしこの時の減速は、減速する車両が後続車にブレーキを踏ませないような速度を目指す。

車間距離の調節が可能かどうかの判定は図 11 の場合に式(6)~(8)によって計算される。

$$T_i = D_1 / V_i \quad (6)$$

$$T_{i+1} = D_2 / (25 / 3.6) \quad (7)$$

$$D_2 = D_{response} + D_{stop} + (V_o \times T_o) \quad (8)$$

まず、提案手法は前方車両が存在することが前提である(前方車両がない場合調節なしで進入できるため)。前方車両が存在する場合、式(6)のように前方車両が交差点に到着するまでの時間 T_i (交差点通過時間)を計算する。次に、進入依頼を受信した車両は、目標速度に達するまでに現在位置からどの程度交差点に近づくかを計算する。ここで目

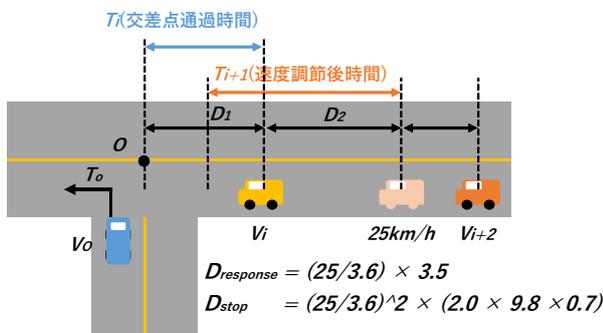


図 11 車間距離調節判定

Figure 11 Judgement of adjustment inter-vehicle distance

標速度は、交差点進入を促すための速度であり、25[km/h]としている。そして、式(7)のように速度調節が完了した位置から、交差点進入依頼を送信した車両が、交差点の進入に必要なとする距離と安全を確保できる位置までの距離(式(8)で計算される)を計算する。最後に、求めた距離を目標速度で走行するため、式(7)の式で、進入可能距離に至るまでの時間(速度調節後時間)を計算する。以上の結果 T_i よりも T_{i+1} が大きい場合に車間距離の調節が可能であると判断する。

車間距離調節が可能であることを判断した車両は路側器に対して車間距離調節可能メッセージを送信する。

(4) 調節依頼

(3)で調節可能メッセージを受信した路側器は、受信した車両の中から、非優先道路の進入方向に関係のある車両であり、かつ最も交差点に近い車両を選択し、その車両に対して、車間距離調節依頼メッセージを送信する。

車間距離調節依頼メッセージを受信した車両は実際に目標速度に向けて速度を調節する。ここで、車間距離調節メッセージを受信しなかった車両は、交差点を通過した時点で交差点通過メッセージを路側器に送信することで、車間距離調節対象から削除される。

(5) 調節終了

プロトコルにより交差点に進入することができた車両は交差点通過メッセージとプロトコルの終了メッセージを路側器に送信し、プロトコルを終了する。

5. 評価

5.1 予備実験との比較

予備実験と同じ条件で、提案手法を適用した場合との比較実験を行った。

最大渋滞台数の削減率の変化を図 12 に示す。道路 C はパターン D を除いて、自動運転車両の増加に伴って渋滞台数の削減が確認できた。道路 L も同様である。道路 R は自動運転車両の占有率の増加に伴い増加していることが分かる。これは提案手法によって道路 C や R の車両を交差点に進入する機会を増やしたため、代わりに渋滞する台数がわずかに増えたものと考えられる。

交差点の通過時間の平均の変化を図 13 に示す。道路 C は最大渋滞台数と同様にパターン D を除いて自動運転車両の増加に伴って通過時間が削減していることが分かる。ただし、道路 L ではパターン D において、通過時間が悪化していることが確認できた。道路 R に関しては渋滞台数と同じような傾向が見られた。

急ブレーキの増減回数を図 13 に示す。ここでは進入に対して急ブレーキを踏む可能性のある優先道路 L と R の比較を行う。道路 L ではパターン C で最大で 7 回の削減が確認できた。また、道路 R では、パターン C と D でブレーキを踏む回数が 0 になった。

提案手法では、混在環境における問題として、非優先道路からの進入時の優先道路の急ブレーキの危険性に着目して、これを削減する手法を提案した。そこで、実際に急ブレーキの減少が、渋滞台数の削減や交差点通過の削減にどの程度の影響があったかを表6に示す。表6は、各評価パラメータに関する相関係数を表している。表から、今回着目した急ブレーキの削減は、道路Rの渋滞台数と通過時間に大きく影響があることが判明した。しかし、道路Rでは急ブレーキによる渋滞の悪化には大きく関係しないことが

判明した。

5.2 部分自動運転との比較

予備実験で行ったパターン C, D に関して、手動運転車両の占有率を、通信可能な部分自動運転車両に変えたときのパターン F, G の結果を図15に示す。

図15はパターンFとGに提案手法を適応した時の増減率の変化を示している。道路Rは自動運転車両の増加率に伴い増加しており、道路Cでも増加がみられた。このことから通信する車両が増加しても、制御できる車両は自動運転車両に限定されるため、改善効果に影響があるとは限らないことが判明した。

6. まとめ

本論文では、混在環境における問題の発見とその解決を目的とした。混在環境に関しては、操作主体、車間距離、交差点進入、通信機能の有無をパラメータとした車両モデルの実装を行った。予備実験の結果、交差点進入時の優先道路の急ブレーキを踏む危険性があることを問題点として設定した。そこで、交差点の進入時に、進入車両が自動運転車両の場合、その進入を促す車両も自動運転車両であるように、交差点の進入を優先道路に知らせて制御するプロトコルを提案した。

その結果、急ブレーキを踏む回数を削減することができ、同時に、渋滞台数や交差点の通過時間も削減することができた。しかし、部分自動運転のように、通信可能な車両が増えた場合でも、車間距離の調節ができる車両が増えないうり必ずしも渋滞台数などの交通流の改善がみられるとは限らないことが判明した。

表6 評価値の相関係数

Table 6 Correlation coefficient of evaluation values

	L	R
渋滞台数:通過時間	0.743647	0.967893
渋滞台数:ブレーキ	0.706561	0.11601
通過時間:ブレーキ	0.950484	0.221532

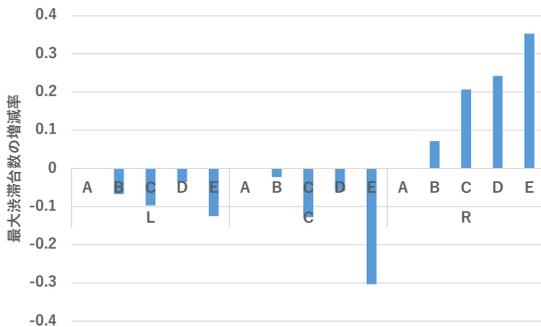


図12 最大渋滞長の増減率の変化

Figure 12 Change rate of maximum number of vehicles in congestion

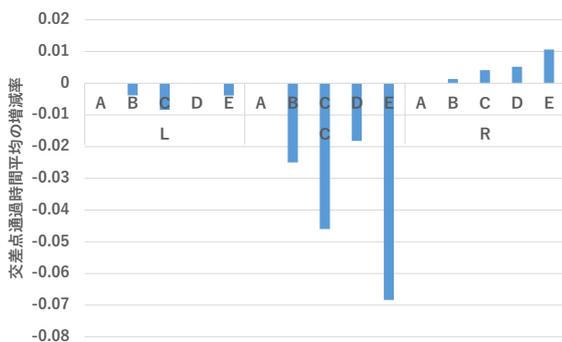


図13 交差点通過時間平均の増減率の変化

Figure 13 Change rate of average time of passing through the intersection

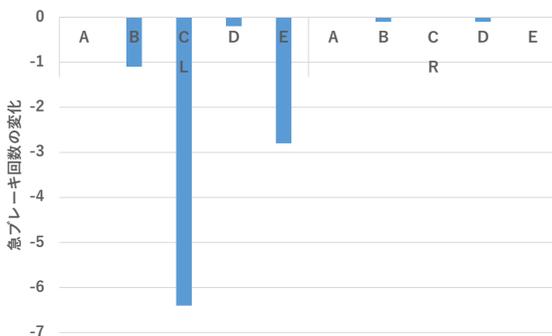


図14 急ブレーキ回数の変化

Figure 14 Change in the number of times to suddenly braking

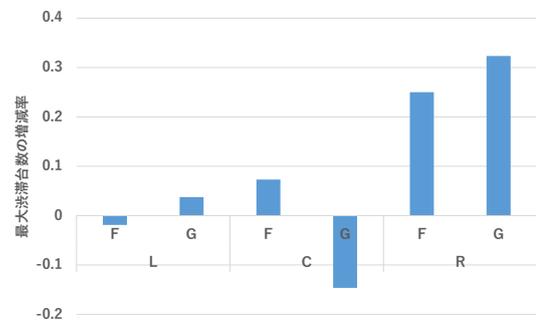


図15 最大渋滞長の増減率の変化(パターンFとG)

Figure 15 Change rate of maximum number of vehicles in congestion(pattern is F and G)

今回の実験では、急ブレーキを踏む行為を危険な行動として定義しているが、実際には、急ブレーキを踏んだ車両に後続する車両に与える影響も考慮する必要がある。

また提案手法では、提案手法の通信には、通信のエラー率を想定しているが、車両の通信による車間距離調節の計算では通信は、必ず成功するもの出、遅延もないものとしているためこれをより現実的な通信環境で評価する必要があると考える。

謝辞 本研究の一部は JSP 科研費 16K00143 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 辻野照久, 坪谷剛:自動運転自動車の研究開発動向と実現への課題, 化学秘術動向, Vol.133, pp.9-16(2013).
- [2] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部:官民 ITS 構想・ロードマップ 2017, 入手先<<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf>>(2018-05-07).
- [3] 自動車検査登録情報協定:平均使用年数, 自動車検査登録情報協会(オンライン), 入手先< <http://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000g7wb-att/r5c6pv000000g7wq.pdf> >(2018-02-10).
- [4] 高田広章, 齋藤健哉:ダイナミックマップ-自動走行/協調運転支援のための情報プラットフォーム, Vol.60, No.11, pp.457-462, DOI:10.11509(2016).
- [5] Guni Sharon, Peter Stone:A Protocol for Mixed Autonomous and Human-Operated Vehicle at Intersection, In ABMUS 2017, Sao Paulo, May.2017.
- [6] Peiqun Lin, Jiahui Liu, Peter J. Jin and Bin Ran:Autonomous Vehicle-Intersection Coordination Method in a Connected Vehicle Environment, IEEE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM MAGAZINE, pp.37-47, October, 2017.
- [7] Chihiro Miyazaki, Seiji Matsuyama, Masashi Saito, Yuichi Tokunaga, Ryoza Kiyohara:A Study of Driver's Behavior with Autonomous and Non Autonomous Vehicle, IWIN(2016).
- [8] 大口敬:高速道路単路部渋滞発生解析, 土木学会論文集, 2000 卷, 660 号, pp.39-51,(2010).
- [9] Yuta Imaeda, Kensaku Asahi and Akira Watanabe:Traffic Jam Alleviation Effect by the Popularization of CACC-equipped Cars, The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, ICMU2016.
- [10] 西村友佑, 藤田敦, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 諏訪晃, 浦山博史, 竹嶋進, 高井峰生:従来車と調和する自動運転車の運転挙動モデル, 情報処理学会研究報告 CSEC, Vol.80, 24, pp.1-8, 2018.
- [11] 森田和元, 関根道昭, 岡田竹雄, 益子仁一, 大野督史:高齢者の認知・操作特性に関する実験的検討, 交通安全環境研究発表会講演概要, 2005 卷, pp.93-98, 2005 年.
- [12] Tatsuro Hara, Ryoza Kiyohara:Vehicle Approaching Model for T-junction During Transition to Autonomous Vehicles, The 33rd, International Conference on Information Networking (ICOIN), 2018.
- [13] 太田博雄:ASV 開発への交通心理学からの提言, IATSS review, Vol.36, No.143, pp.50-56, Aug.2011.
- [14] 津川定之:自動運転の課題”, 電子情報通信学, 基礎・協会ソサエティ, Vol.10, No.2, pp.93-99, 2016.
- [15] Space-Time Engineering, LLC, <https://www.spacetime-eng.com/>
- [16] Hiroto Furukawa, Masashi Saito, Yuichi Tokunaga, Ryoza Kiyohara:A Method for Vehicle Control at T-Junctions for the Diffusion Period of Autonomous Vehicles, The 21th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2017)
- [17] 古川義人, 清原良三:自動運転車両普及期における適切な交通流実現手法の検討, 研究報告, Vol.2018-ITS-72, No.2, pp.1-7 (2018)
- [18] 伊藤敏行:自動走行システムに必要な車々間通信・路車間通信技術の基礎的研究開発,Vol.21, No.3, pp.143-153, DOI:10.1587 (2016)