情報処理学会論文誌 Vol.62 No.4 1128–1141 (Apr. 2021)

推薦論文

自動運転のための合流支援システムによる車両挙動安定性の評価

菊池 典恭[1,a)] 矢野 貴大[1] 中林 昭一[1] 金子 富[1] 浜口 雅春[1]

受付日 2020年5月27日, 採録日 2021年1月12日

概要：自動運転の研究開発が進展しているが，快適で円滑な走行の実現には十分とはいえない場合がある．その１つとして，高速道路の合流シーンがあり，合流線と本線が建造物に遮られた場合では，合流車両は本線車両の位置や速度等を合流の直前にならなければ把握できず，合流のタイミング調整が困難な状況が発生する．当該課題を解決するためには，自動運転車両に備えられた車載センサのみでは得られない本線車両の情報を提供する新たな支援システムが必要である．本論文では自動運転車両の円滑な走行を支援するために路車間通信を用いた合流支援システムを検討し，導入による車両挙動安定性への効果を評価する．

キーワード：車両挙動，合流支援システム，路車間通信，車両制御モデル，自動運転

Evaluation of Stability of Vehicle Behavior by Merging Support System for Self-driving Vehicles

Noriyasu Kikuchi[1,a)] Takahiro Yano[1] Shoichi Nakabayashi[1]
Yutaka Kaneko[1] Masaharu Hamaguchi[1]

Received: May 27, 2020, Accepted: January 12, 2021

Abstract: Although research and development of self-driving vehicle is progressing, there are still insufficient situations to achieve comfortable and smooth driving. One example is a merging situation of an expressway. In the case the merging lane and the main lane are interrupted by the building, the merging vehicle cannot recognize the position and speed of the main lane vehicle until immediately before the merging, and it may be difficult to adjust the merging timing. To solve this problem, a new support system that provides information on main lane vehicles that cannot be obtained only with the sensors provided in self-driving vehicle is required. In this paper, we investigate the merging support system using vehicle to infrastructure communications to support the smooth driving of self-driving vehicles and evaluate the stability of vehicle behavior by introducing this system.

Keywords: vehicle behavior, merging support system, vehicle to infrastructure communications, vehicle control model, self-driving vehicle

1. まえがき

高速道路では交通渋滞がたびたび発生しており，様々な施策が講じられているが，近年でも十分に解決されたとはいえない．国土交通省の報告によれば，年末年始の高速道路の交通損失時間は 546 万人・時間に及ぶとされており [1]，交通渋滞の緩和は急務となっている．

一方，自動運転の研究開発が進み，今日では実用化に向けて実証実験等が行われる段階に至った [2]．自動運転が普及すれば，ドライバの負担が減るだけでなく，高速道路の交通渋滞の緩和が期待できる．現在検討が進められている自動運転車両の多くは，レーザレンジファインダ等の車両単独で周辺の障害物等を検知できる車載センサを備えるこ

[1] 沖電気工業株式会社
Oki Electric Industry Co., Ltd., Minato, Tokyo 108–8551, Japan
[a)] kikuchi434@oki.com

本論文の内容は 2019 年 9 月の FIT2019 第 18 回情報科学技術フォーラムにて報告され，同プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である．

© 2021 Information Processing Society of Japan

とで実現することを想定している [3]．レーザレンジファインダは見通し内の物体を検知できるが，障壁等があれば，その先にある物体を検知することはできない．高速道路の交通渋滞を起こす要因の 1 つとされる合流シーンにおいて，合流線側を走行する車両（以下，合流車両）は，建造物等に遮られた本線側を走行する車両（以下，本線車両）を確認できない状況となることが予想される．したがって，車載センサのみから構成される自動運転車両の場合，合流シーンにおいて近隣から得られる情報は，人間が運転する場合と本質的に変わらないと考えられ，合流における交通渋滞の課題に対して自動運転による改善効果は限定的となる可能性がある．当該課題を解決するためには，車載センサのみでは得られない本線車両の情報を提供する支援システムが必要であると考えられる．

この実現のために，無線通信により情報を提供する支援システムの検討が進められている [4], [5], [6]．たとえば，文献 [4] では路車間通信を利用したインフラ技術，文献 [5] では合流における協調技術に関して計算コスト，交通効率，燃料消費量の観点から検討が進められている．また，文献 [7] では近接した車両間において車車間通信による合流支援の安定性を評価している．国内では SIP2（戦略的イノベーション創造プログラム第 2 期）により，首都高速道路におけるインフラ整備および実フィールドにおける検証が実施されている [8]．車車間通信はサービスを必要とする範囲に無線機を備えた車両が存在しない場合では情報を伝達できない．自車両が無線機を単独で備えたとしても情報伝達が期待できない場合があり，路車間通信に比べて，無線機の普及がサービスの実現にさらに影響する．以上より，将来的には車車間通信および路車間通信が協調する支援システムの構築が期待されるが，当該支援システムにおける普及の黎明期では路車間通信を用いた支援システムが実用上では先行される可能性がある．また，路車間通信を用いた支援システムに着目した場合，支援システムの導入による交通渋滞への緩和について評価した文献が不足しており，実用に先駆けて評価や検討を実施し，知見を充足させていく必要がある．

そこで本論文では，交通流をより円滑にすることを目的とした，路車間通信を用いた合流支援システム（以下，本システム）を検討の対象とし，本システムの導入により合流時の車両挙動がどのように安定するのかをシミュレーションにより評価する．具体的には，典型的な高速道路の合流シーンを想定し，車両検出装置により取得する本線車両の情報を路車間通信により本線到達前に合流車両に伝え，合流車両は本線車両が存在しない時刻に合わせて本線に到達するように速度を調整するシステムを考え，これが合流シーンの車両挙動の安定化に有効であるかを検証する．

以降の 2 章ではシステム構成について説明し，3 章ではシミュレーションに適用する車両制御モデルについて説明する．4 章ではシミュレーションによる評価を行い，最後に 5 章で本論文をまとめる．

2. システム構成

本システムの構成を図 1 に示す．本システムは，車両検出エリア内の本線車両の位置，速度および車長の情報を取得する手段と，通信機を備えた合流車両へ当該車両情報を伝達する手段から構成される．情報を取得する手段としてはレーザレンジファインダ等の車両検出装置を適用し，本線側に設置する．また，取得した車両情報は有線通信等を経由し合流線側の路側機まで伝送され，路側機の通信エリアに進入した合流車両に向けて路車間通信により伝送される．なお，本論文で扱う車両は高速道路上における自動運転レベル 2・3（SAE Society of Automotive Engineers International の定義による）の自動運転車両を対象とする [9]．

次に，本システムを導入する場合としない場合における車両挙動の違いについて図 2 に示す．従来のように本シ

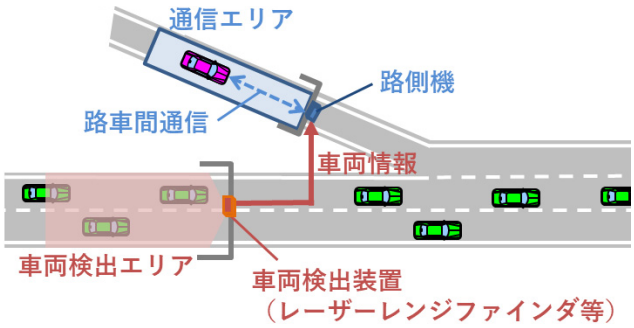

図 1 システム構成
Fig. 1 System configuration.

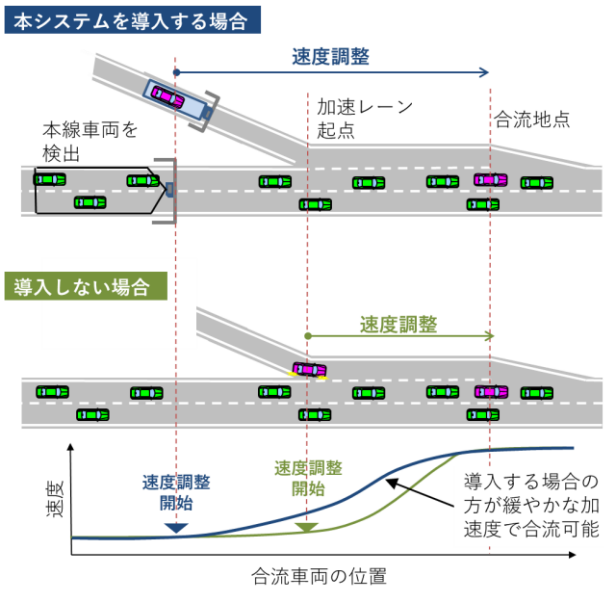

図 2 本システムの導入による車両挙動の違い
Fig. 2 Differences in vehicle behavior by introducing this system.

© 2021 Information Processing Society of Japan

ステムを導入しない場合では，自動運転車両は車載センサにより見通し内に存在する車両しか認知できないため，合流の直前にならなければ本線車両の位置，速度および車長が検出できない．このとき，合流にともなう速度調整は加速レーン起点の通過以降から開始することになるが，加速レーン終端までに本線に合流する必要があるため，本線車両が存在する位置，速度，車長および加速レーン長によっては，大きな加速あるいは減速をともない合流せざるをえない場合が発生する．

一方，本システムを導入する場合では，車両検出エリア内を走行中の本線車両の位置，速度車長の情報を，合流車両は加速レーン起点に到達する前に取得できるため，この情報を利用して本線車両が存在しない時刻に合わせつつ，合流車両が合流地点に到達するように速度を調整すれば，合流時の急激な加速あるいは減速を回避できる．これにより円滑な合流が実現できる．

3 章では本線車両の情報を利用し，できる限り緩やかな加速あるいは減速で本線車両と速度を合わせつつ，本線車両が存在しない時刻に加速レーン起点に到達するように合流車両の走行を調整する車両制御モデルについて考える．なお，以下では便宜上，加速度および減速度を加速度に統一して示し，加速度には負の値も含めることとする．

3. 車両制御モデル

3.1 公知の検討

合流時の交通流に関する検討がこれまで進められている [10], [11], [12]．文献 [10] では合流における基本的な車両挙動が述べられており，文献 [11] では混雑時の合流トラフィック量の特徴が述べられている．また，文献 [12] では合流にともなう車両挙動について車両制御モデルを組み合わせて評価している．本論文においても，前方車両を追随して走行する挙動と合流にともない走行する挙動では異なるアルゴリズムにより動作すると考え，これらを使い分けて考える．すなわち，シミュレーションを実行するうえで，本線車両と合流車両の走行地点に応じてこれらの車両制御モデルを選択することを考える．

次に，前方車両を追随して走行する車両制御モデルと合流にともない走行する車両制御モデルを選定する．前方車両を追随して走行する車両制御モデルについては，これまで GHR [13]，Gipps モデル [14]，Krauss モデル [15]，IDM (Intelligent Driver Model) [16], [17] 等が提案されており，これらの比較検証も進められている [18], [19]．いずれの車両制御モデルも大局的な交通流を表現できるが，本論文では高速道路でのシミュレーション評価を目的とするため，自由流において目標速度を設定できること，他の文献での採用頻度を考慮し，IDM を選定する．IDM は「自車両の速度」「前方車両の速度」「自車両と前方車両との車間」「目標速度」から，前方車両との車間を調整するための加速度を求める車両制御モデルである．なお，本来 IDM は人が運転する車両における車間制御をモデル化したものである．自動運転車両であれば人が運転する場合より効率的な車間制御を実現できる可能性はある．しかし，車間制御に対する搭乗者の心理的影響を考慮すると，人が運転する場合に比べて，大きく異なった車間制御を自動運転車両が行うことは考え難い．したがって，本システムの導入による車両挙動安定性への効果を検証することが主旨である本論文においては，人の運転と同じ車間制御を自動運転車両に適用しても問題ないと判断した．

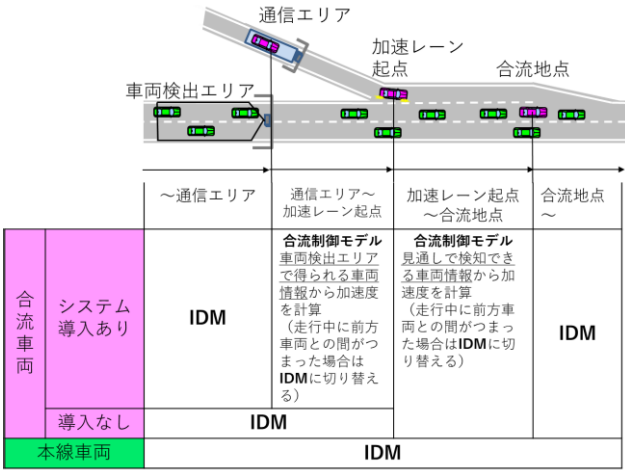

図 3 適用する車両制御モデル
Fig. 3 Use of vehicle control model.

合流にともなう車両制御モデルについては，これまで文献 [12], [20] 等の検討が進められている．しかし，本システムによって本線車両の情報が提供された場合に，合流車両の挙動を模擬する車両制御モデルは，これまでの検討では十分な確認がとれない．本論文では，本線車両の情報が提供された場合に，その情報により本線車両との横並びを回避するように走行する車両制御モデルを新たに考え，この車両制御モデルのことを合流制御モデル（Merging Control Model）と呼ぶことにする．具体的な計算手順は 3.3 節に示す．

なお，本論文では，合流車両が主導して調整し，本線車両は自発的に合流車両の円滑な合流を助ける動作はしないことを前提とし評価する．

3.2 シミュレーション構成

合流車両および本線車両の走行地点に応じた車両制御モデルの切替えについて図 3 に示す．

合流車両は通信エリアに進入するまで IDM を適用して走行する．合流車両は通信エリアから加速レーン起点までは，本システムを導入する場合と，しない場合で車両制御モデルが異なる．導入しない場合は IDM を適用する．導入する場合は合流制御モデルを適用する．なお，合流制御モデルに従って各車両が独立して走行すると，前方車両と

© 2021 Information Processing Society of Japan

の車間が著しく狭くなる場合が発生する．このような場合では，前方車両との車間が IDM のパラメータである最小車間距離を下回る直前で，合流制御モデルでの走行を諦め，IDM に切り換えて以降の走行を継続する．

合流車両は加速レーン起点に到達すると，本システムの導入に限らず，再び，合流制御モデルにより合流位置を計算する．このとき，自動運転車両が備えるレーザレンジファインダ等の車載センサにより半径 100 m 以内に存在するすべての本線車両を検出できることを前提とし，検出した本線車両の位置と速度から合流位置を再計算する．なお，加速レーン起点に到達した時点ですでに横並びが回避されている状況では，再計算しても結果は変わらず，加速レーン起点到達直後に本線に合流することができる．合流が完了すると以降は IDM により走行する．

また，本線車両は本システムの導入にかかわらず，本線の全域において，IDM による車間制御から加速度を算出し走行する．

3.3 合流制御モデル

合流制御モデルは，本線車両の情報を利用して本線車両が存在しない時刻に合わせつつ合流地点に到達するように速度を調整することで，合流時の急激な加速あるいは減速を回避する車両制御モデルである．具体的には，事前に取得する本線車両の情報を基に，横並びを回避するための複数の走行パターンを想定して加速度を計算し，それぞれの走行パターンで計算された加速度の中から最も加速度が低くなる場合の走行パターンを選び，その走行パターンに従って走行する．合流車両は横並びを回避して加速レーン起点に到達するためには**図 4** に示すいずれかの走行パターンになると考えられる．桃色にハッチされた領域はいずれの走行パターンでも同じ面積となり，加速レーン起点までの走行距離を意味する．

いずれの走行パターンの場合が最も加速度が低くなるかは，合流車両の速度，本線車両の現在位置および速度によって決まるため，各合流車両によって異なる．以下では，便宜上，走行パターン①の計算手順について説明する．ただし，その他の走行パターンも走行パターン①と同様の手順で計算できる．

次に合流制御モデルのパラメータを**図 5** に示す．合流車両は車両検出装置により車両検出エリア内を走行する本線車両の位置，速度，車長およびこれらの情報を取得した時刻について路側機から無線通信により取得できる．本線車両の位置の時間変化は，取得した車両位置に対して，取得してから経過した時間に当該車両が等速で進んだ変位を加算することで推定できる．また，すべての車両情報はスナップショットのように一括で取得できるものとし，車両検出エリアのサイズ L はあらかじめ把握できることを前提とすれば，車両検出エリア内に存在するすべての本線車両

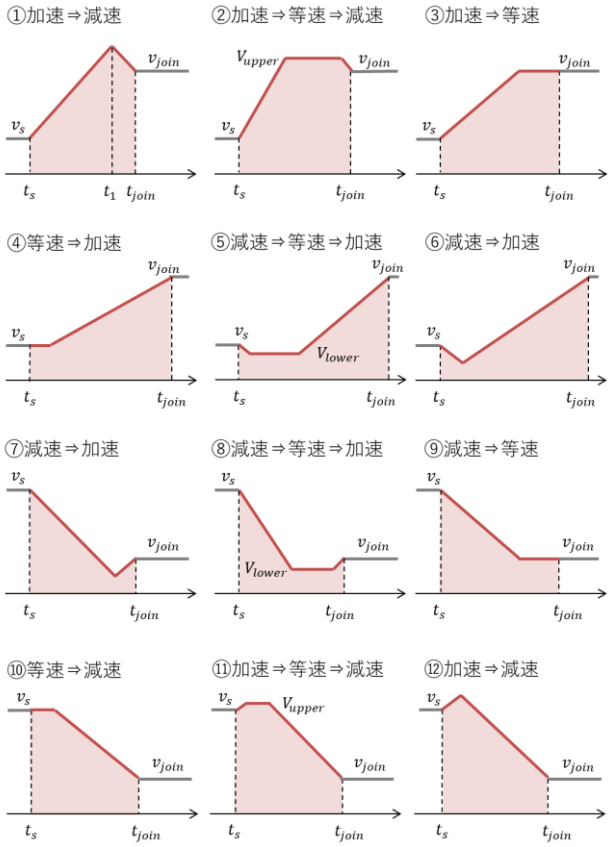

図 4 合流制御モデルにおける走行パターン
Fig. 4 Driving patterns by Merging Control Model.

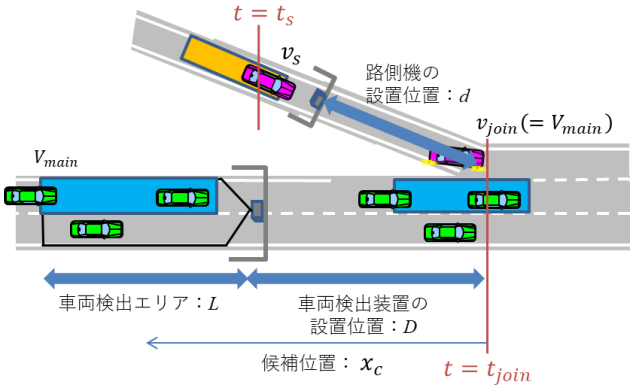

図 5 合流制御モデルのパラメータ
Fig. 5 Simulation parameters for Merging Control Model.

の情報から逆算して，加速レーン起点に本線車両が存在しない時刻も推定できる．この時刻から見積もった本線車両が存在しない範囲のことを候補位置 x_c と呼ぶ．

図 6 に x_c の範囲の例を示す．図 6 の各例において，赤でハッチされた領域が x_c の範囲を示す．加速レーン起点から車両検出装置の設置位置までの距離を D とすれば，車両検出エリアに車両が存在しない場合では，x_c は D 以上，$D+L$ 以下の範囲の値をとる（図 6 左上）．車両が存在する場合では，x_c は当該車両の車長 l_a と前後の最小車間距離 s を除いた範囲の値をとる．具体的には，車両 A の車頭位置を x_A とすると，x_c は車両 A の前方の D 以上，$x_A - s$ 以

© 2021 Information Processing Society of Japan

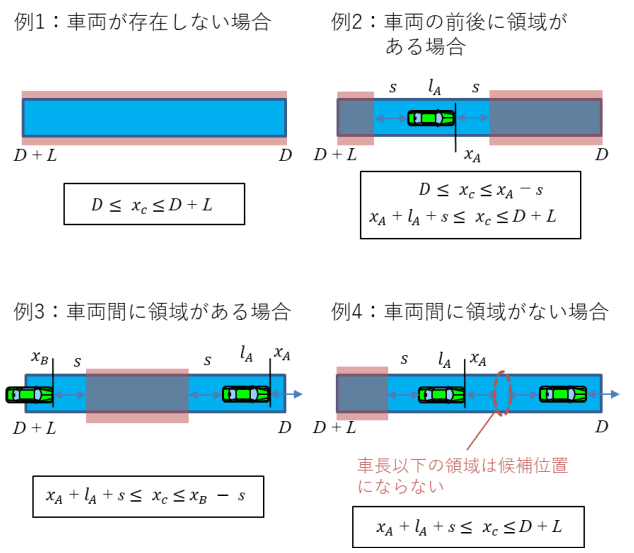

図 6 候補位置の範囲の例
Fig. 6 Example of range of candidate positions.

下の範囲の値と，車両 A の後方の $x_A + l_a + s$ 以上，$D + L$ 以下の範囲の値をとる（図 6 右上）．なお，車両が複数台存在する場合も同様に l_a と車両の前後の s を除いた範囲の値をとる（図 6 左下）．ただし，車両間に領域が空いていたとしても，自車両の車長以上の領域がない場合には，x_c の範囲として除外される（図 6 右下）．

合流車両における加速レーン起点での車両速度を v_{join}，路側機通過の時刻を t_s，そのときの速度を v_s，加速レーン起点の到達時刻を t_{join} とし，加速と減速が切り換わる時刻 t_1 とする．このとき，最も低い加速度の値となるためには，加速と減速の絶対値が同じになる必要がある．つまり，t_s から t_1 までの加速を a とすれば，t_1 から t_{join} までの減速は $-a$ となる場合が最適解となる．以上より式 (1) が導ける．

$$v_{join} = V_{main} = v_s + a(t_1 - t_s) - a(t_{join} - t_1) \quad (1)$$

さらに通信エリアから加速レーン起点までの走行距離は路側機設置位置までの距離 d と同じになるため，式 (2) が導ける．

$$d = v_s(t_1 - t_s) + \frac{1}{2}a(t_1 - t_s)^2 + (v_s + a(t_1 - t_s))(t_{join} - t_1) - \frac{1}{2}a(t_{join} - t_1)^2 \quad (2)$$

ここで，$T = t_{join} - t_s$ とおき，式 (1)，(2) から加速度 a について解くと，式 (3) が導ける．

$$a = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - AC}}{A} \quad (3)$$

ただし，A，B および C は下記とする．

$$\begin{cases} A = T^2 \\ B = v_{join}T + v_sT - 2d \\ C = -(v_{join} - v_s)^2 \end{cases}$$

また，本線車両が等速 V_{main} で走行することを仮定した場合，車両が存在しない候補位置 x_c も同様に移動し，T 秒後には加速レーン起点に到達することから，式 (4) が導ける．

$$T = \frac{x_c}{V_{main}} \quad (4)$$

ここで，x_c を図 6 に示すような範囲において値を変更しながら式 (3)，(4) に代入していき，出力された加速度の中から最も低くなる値を走行パターン①での加速度 a_1 とする．この計算を各走行パターンで実施し，求められた加速度 a_1 から a_{12} の中から最も低い加速度の走行パターンを選択する．なお，後述する道路ケースの法定速度等を考慮すれば，車両速度は上限 V_{upper} と下限 V_{lower} が設けられるため，走行パターン②⑤⑧⑪のように途中で等速の区間が発生する場合がある．ただし，いずれの走行パターンも同様の手順で方程式を立てれば加速度 a を求めることができる．

また，連続した複数台の合流車両のうち，前の合流車両は減速し，後ろの合流車両は加速する場合等では，本線車両間に合流車両が複数台入る状況が考えられる．合流車両は加速レーン起点に到着すると，車載センサにより半径 100 m 以内の本線車両の情報を入手し，自車両の前方車両がすでに本線側に合流したことは確認できる．さらに，当該前方車両が x_c の領域内に含まれる場合には，前方車両の車長と最小車間距離が占める領域を除いて，x_c を更新する．後方の合流車両は，更新された最新の x_c を利用して，合流位置を再計算する．このとき，最新の x_c において，当初予定していた合流位置の近傍に空いている領域があれば，そのまま合流し，本線車両間に複数台の合流車両が加わることになる．また，前方車両が占めることで合流できる領域に空きがなくなった場合には，当初予定していた合流位置を諦め，半径 100 m 以内の空いている領域から合流位置を再探索する．

合流制御モデルの計算は，通信エリア進入から合流が完了するまで，状況に変化があった場合には再計算を実行する．たとえば，前述のように，x_c に変化があった場合には再計算するが，それだけでなく，物理的な外乱の影響を受け，加速度の制御に誤差が生じる場合には，単位時間ごとに，最新の車両速度，路側機設置位置までの距離を入力して加速度を再計算する．すなわち，取得した最新の情報および車両の状態から，その時点で最適な行動をとるように，目標値としての加速度を次々計算していく．このとき，説明の便宜上，式 (2) では通信エリアから加速レーン起点までの走行距離 d を用いて計算したが，再計算時には車両の現在位置と加速レーン起点までの走行距離に置き換えて計算する．なお，外乱の影響がなく加速度が理想的に制御できる場合には，通信エリアに進入した以降に再計算をしたとしても加速度の計算結果は変化せず，合流位置や到達時

© 2021 Information Processing Society of Japan

刻の結果も変わらない．本論文では合流支援システム導入について基礎的な検証を目的とするため，外乱による影響は無視して評価した．

4. シミュレーション評価

4.1 概要

本論文では道路ケースが異なることで車両挙動安定性が変わるかを確認するため，道路ケースとして都市高速道路および都市間高速道路を選定し評価する．4.2 節では各道路ケースにおける本線車両，合流車両の速度範囲およびシミュレーションの条件を整理する．4.3 節では本システムに適用する路車間通信について説明し，4.4 節では車両挙動安定性の評価方法を定義する．さらに，4.5 節では路側機および車両検出装置の設置位置を事前のシミュレーションにより設計する．以上で求めた設計値を用いて，4.6 節では本システムの導入による合流車両の速度と加速度の変化を，4.7 節では車両発生間隔の影響を確認する．次に，4.8 節では都市高速道路，4.9 節では都市間高速道路のシミュレーション結果について示す．また 4.10 節では本システムを導入するにあたり，普及の途中の段階でも本システムの有効性が期待できるものか，あるいは，普及が進んだ段階でないと期待できないものかを確認するため，通信機の搭載率が与える影響について評価する．さらに 4.11 節では本システムの導入コストの観点から高度な車両検出機器の必要性について評価する．最後に 4.12 節で路側機を新たに追加した場合の評価を実施する．

4.2 道路ケースとシミュレーション条件

本論文のシミュレーションでは，都市高速道路および都市間高速道路の道路ケースにおける本線車両，合流車両の速度範囲について**表 1** に示す値とする．また，評価条件としてシミュレーションで用いる各パラメータを**表 2** に示す．

4.3 路車間通信

自動運転への活用を目的とした ITS 無線通信として，ITS FORUM RC-005 [21]，LTE V2X（PC5）[22]，ARIB STD-T109 [23] および ARIB STD-T75 [24] をベースとした無線通信方式が検討されている [25]．実環境における通信成功確率や通信エリアサイズ等の通信性能は各方式で異なるが，本論文では車両の挙動に主眼を置いた基本的な評価を行うため，4.6 節から 4.12 節までの評価は，理想的な環境を想定して路車間通信の通信成功確率を 100%として実施する．

なお，4.10 節では搭載率の評価を行うが，本論文のシミュレーション上では，搭載率と通信成功確率は同様の影響として評価できるため参照されたい．

表 1 道路ケースと各位置における速度
Table 1 Road case and speed at each location.

パラメータ		都市高速道路		都市間高速道路	
		上限 V_{upper}	下限 V_{lower}	上限 V_{upper}	下限 V_{lower}
本線車両	走行速度[km/h]	60	40	120※1	40
合流車両	通信時の走行速度[km/h]	60	20※3	100※2	40
	速度制御中の走行速度 [km/h]				20※3
	加速レーン到達時の走行速度[km/h]		40		40

※1：最高速度が将来に引き上げられた場合を想定

※2：ランプ上の合流車両の最高速度が，※1 の引き上げに伴い見直された場合を想定

※3：ETC ゲート通過速度と同程度を想定

表 2 シミュレーションの評価条件
Table 2 Simulation evaluation conditions.

パラメータ		値		備考
		普通車	大型車	
通信エリア		33.3m		120km/h×1s に相当
車両検出エリア：L		200m		
車両	車長	5m	12m	IDM の計算で利用
	最大加速度	0.2G	0.15G	IDM の計算で利用
	最大減速度	0.25G	0.15G	IDM の計算で利用
	発生頻度	80%	20%	
車両制御	処理時間	1.5s		車両検出，通信による処置遅延を含む
	最小車間距離	5m		IDM の計算で利用

G：重力加速度

4.4 車両挙動安定性の評価方法

本論文において「車両の挙動が安定する」とは，低い加速度で車両が合流できることであると定義する．ただし，特定の車両のみが安定すればよいのではなく，全体の車両挙動が安定する必要がある．すなわち，**図 7** に示すように，合流にともなう各車両の最大加速度を統計的に求め，それを累積分布関数で表し，本システムを導入した場合の累積分布関数が，導入しない場合より加速度が低い方向に移動すれば，全体の車両挙動が安定したと評価する．

4.5 路側機および車両検出装置の設置位置

次に，路側機および車両検出装置の設置位置を設計する．式 (3) によれば，加減速モデルにより計算される加速度は，式 (5) に示すように，本線車両の走行速度 V_{main}，合流車両の走行速度 v，路側機の設置位置 d および候補位置 x_c に影

© 2021 Information Processing Society of Japan

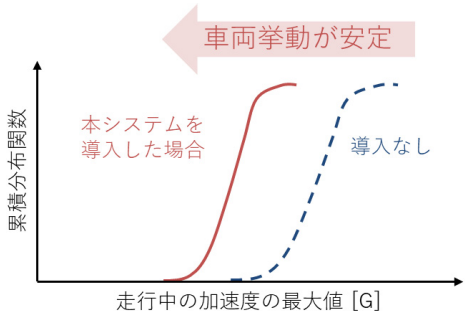

図 7 車両挙動安定性の評価方法

Fig. 7 Evaluation method for stability of vehicle behavior.

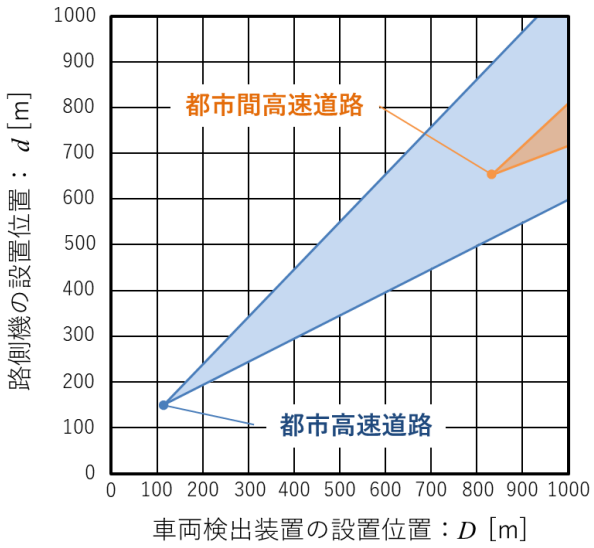

図 8 安定した走行が可能となる設置条件

Fig. 8 Installation conditions that enable stable driving.

響を与える車両検出装置の設置位置 D により計算される．

$$a = f(d, D, V_{main}, v) \tag{5}$$

ここで目標とする最大加速度を設定する．文献 [26] によれば，ドライバが不快に感じず，車両が安定的と見なせる走行において，最大加速度がおおむね 0.2 G 以下となっている．また，普通車とトラック等の大型車では挙動が安定した走行が可能となる最大加速度も異なる [27]．これらを考慮し，最大加減速は 0.15 G 以下となるように設計する．

さらに v および V は表 1 に示す範囲の値をとる必要がある．以上のパラメータの値を各範囲の中で変えていき，そのときの車両検出装置の設置位置 D と路側機の設置位置 d の値をプロットした結果を**図 8** に示す．青色にハッチされた領域が都市高速道路の場合に設置可能な範囲を示す．同様に，橙色にハッチされた領域が都市間高速道路の場合に設置可能な範囲を示す．なお，式 (5) に示すように，本線車両の速度を一定と仮定した条件での設計であることに留意されたい．

各領域の中から，設置位置が加速レーン起点から可能な限り短くなることを考慮し，都市高速道路と都市間高速道

表 3 路側機および車両検出装置の設置位置

Table 3 Installation position about the road side unit and sensor.

パラメータ	都市高速道路	都市間高速道路
路側機の設置位置：d	154m	662m
車両検出装置の設置位置：D	110m	842m

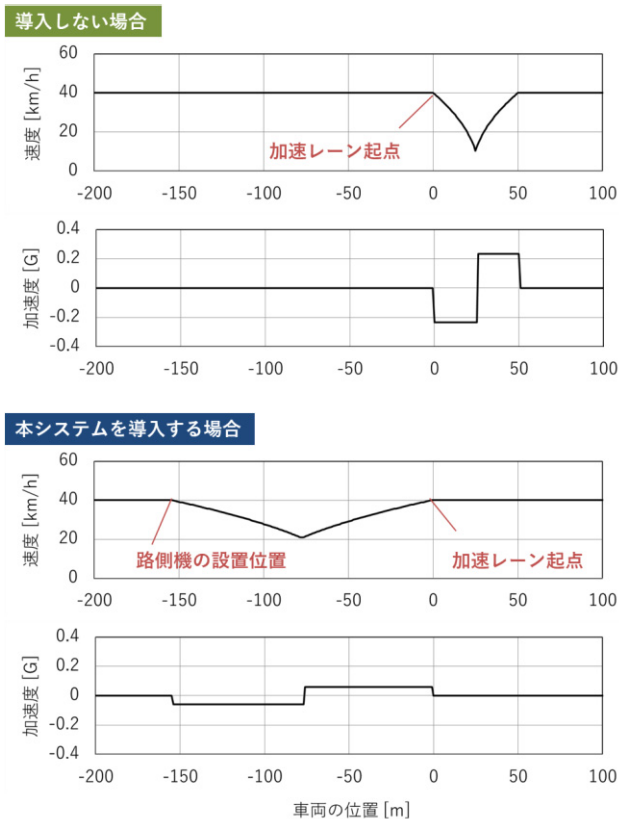

図 9 速度と加速度の一例

Fig. 9 A result example of speed and acceleration.

路の路側機および車両検出装置の設置位置を**表 3** に示す値に選定する．

4.6 合流車両の速度と加速度の変化

以降では，シミュレーションによる評価結果を示す．まず，都市高速道路において，走行開始時の本線速度を 40 km/h および合流速度を 40 km/h とした場合の合流車両の速度と加速度の変化の一例を**図 9** に示す．シミュレーションでは本線車両および合流車両を連続的に発生させるが，図 9 は発生させた車両の中から特定の合流車両に注目したものである．

本システムを導入しない場合では，加速レーン起点に到達するまでは本線車両の情報が得られないため，加速レーン起点到達後に速度調整を開始する．加速レーン起点到達時に本線車両が存在しなければ，そのままの速度で合流で

© 2021 Information Processing Society of Japan

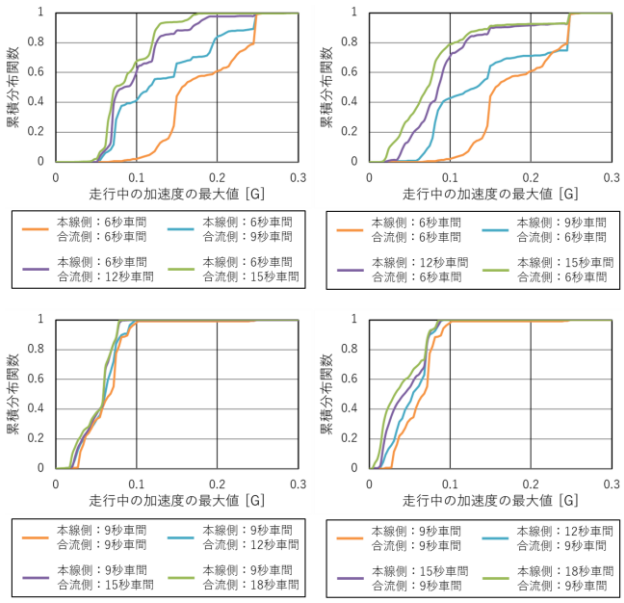

図 10 車両発生間隔の影響：都市高速道路（本線 40 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 10 Effect of vehicle generation interval: Expressway in the city (Main lane 40 km/h, Merging lane 40 km/h).

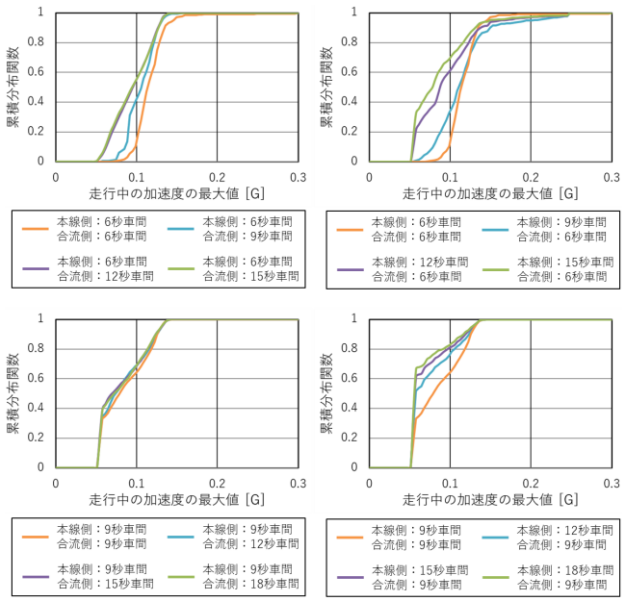

図 11 車両発生間隔の影響：都市高速道路（本線 60 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 11 Effect of vehicle generation interval: Expressway in the city (Main lane 60 km/h, Merging lane 40 km/h).

きるが，図 9 に示す例のように，本線車両がたまたま存在した場合には，横並びしたままでは合流できないため，一度速度を落としてから，再度，速度を上げて本線車両の速度に合わせる必要がある．このとき合流車両は大きな加速度が生じてしまう．

一方，本システムを導入する場合では，路側機設置位置から速度を調整することで，加速レーン起点到達時において横並びが回避されるため，そのまま合流することができる．路側機設置位置から加速レーン起点までは速度調整により加減速が生じるが，十分に長い距離の中で速度調整がされるため，導入しない場合に比べて加速度が低くなる．

4.7 車両発生間隔の評価

次に，車両発生間隔の影響を確認する．以降の評価では 4.4 節に示した車両挙動安定性の評価方法に従い，走行中の加速度の最大値について累積分布関数を確認する．累積分布関数はシミュレーションで走行させた 1,000 台の合流車両の加速度を利用した．

図 10 は都市高速道路（本線 40 km/h，合流 40 km/h）において，車両発生間隔を変化させて，走行中の加速度の最大値について累積分布関数を示したものである．本線側の車両発生間隔を 6 秒車間に固定して合流線側の車両発生間隔を 6，9，12，15 秒車間に変化させた場合（図 10 左上）と，合流線側の車両発生間隔を 6 秒車間に固定して本線側の車両発生間隔を同様に変化させた場合（図 10 右上）について評価した．本線側および合流線側のいずれも車両発生間隔が緩和されることは，大局的に，走行中の加速度の最大値は低くなる傾向となることが確認できる．車両発生間隔が緩和される場合，車両密度が低下するため，合流できる候補位置が増える．合流できる候補位置が増えることで探索できる走行パターンが増えるため，より低い加速度で合流できる可能性が高まる．すなわち，累積分布関数が全体として加速度の低い方向に移動する．

同様に，本線側あるいは合流線側の車両発生間隔を 9 秒車間に固定した場合の評価結果（図 10 左下，図 10 右下）も傾向は変わらないことが確認できる．さらに，**図 11** に示すように都市高速道路（本線 60 km/h，合流 40 km/h）の場合も傾向は変わらないことが確認できる．

以上より，本線側と合流線側の車両発生間隔を変化させて評価したところ，両線の車両発生間隔が同じ場合が最も厳しい条件になることが確認できるため，以降では，車両のトラフィック量の影響を確認する目的として車両発生間隔を変化させながら評価するものの，便宜上，本線側と合流線側の車両発生間隔は統一した条件で評価を進める．

4.8 都市高速道路の結果

車両発生間隔は本線側と合流線側で統一し，6 秒車間，9 秒車間，12 秒車間および 15 秒車間について評価した．**図 12** に示すように，本システムを導入する場合では，いずれの車両発生間隔においても，累積分布関数が加速度の低い方に移動することが確認できる．この条件では，車両発生間隔が 6 秒車間の場合を除けば，すべての車両において設計の目標とした最大加速度の 0.15 G 以下を満足することができる．また，車両発生間隔が 6 秒車間の場合も改善が確認できる．

シミュレーションでは便宜上，0.15 G を大幅に上回る加

© 2021 Information Processing Society of Japan

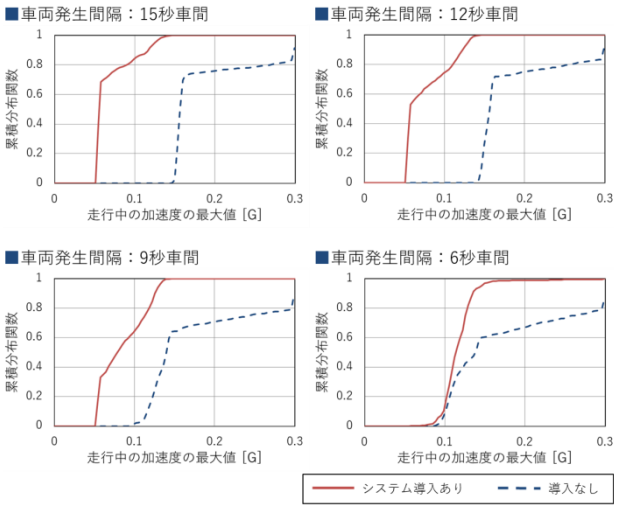

図 12 都市高速道路（本線 60 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 12 Expressway in the city (Main lane 60 km/h, Merging lane 40 km/h).

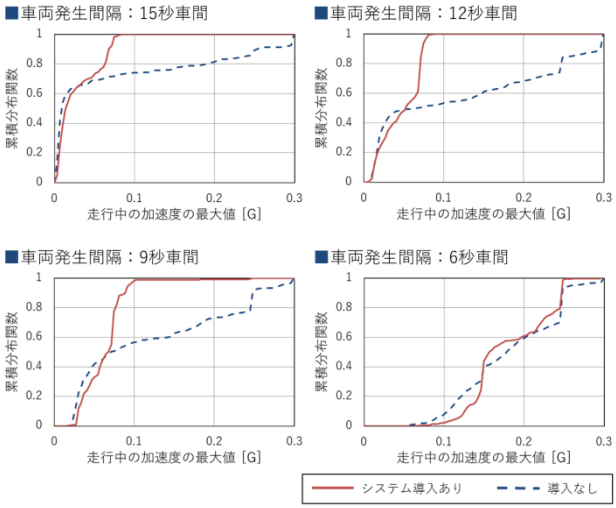

図 13 都市高速道路（本線 40 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 13 Expressway in the city (Main lane 40 km/h, Merging lane 40 km/h).

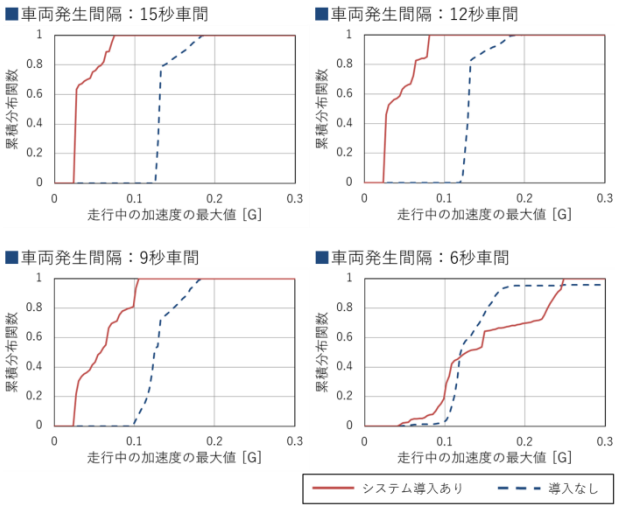

図 14 都市間高速道路（本線 80 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 14 Expressway between cities (Main lane 80 km/h, Merging lane 40 km/h).

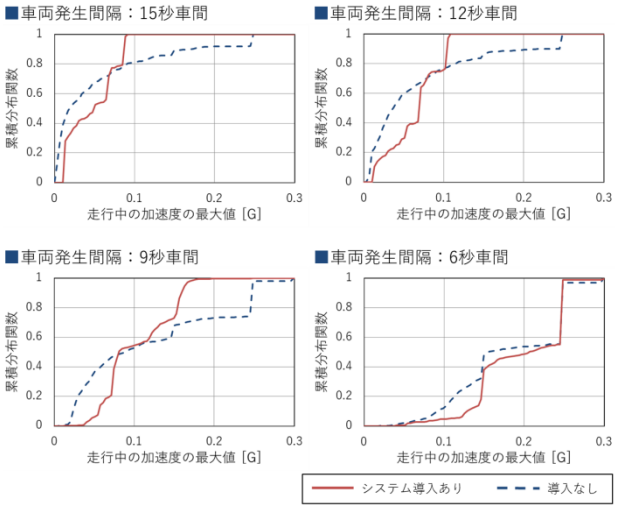

図 15 都市間高速道路（本線 40 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 15 Expressway between cities (Main lane 40 km/h, Merging lane 40 km/h).

速度が生じてもそのまま走行を継続させている．しかし，実際の車両ではこのように大きな加速度をともなって継続的に走行することはなく，大きな加速度に至る前に危険回避のために合流を諦めると考えられる．これにより，後続する車両の挙動にも影響し，渋滞の発生につながる．本システムを導入することで車両全体の最大加速度が 0.15 G を下回り，急停止や急加速が発生していないことが確認できるため，円滑な交通流が実現できるといえる．すなわち，交通渋滞の緩和が期待できる．

同様に，本線速度が 40 km/h および合流速度が 40 km/h の場合についても，本システムを導入する場合の方が，累積分布関数が加速度の低い方に移動することが確認できる（**図 13**）．ただし，車両発生間隔が 6 秒車間の場合では，本システムを導入する場合としない場合で累積分布関数が近づき，明確な車両挙動安定性の差が確認できなくなる．この理由については 4.9 節で示す．

4.9 都市間高速道路の結果

都市間高速道路についても同様に確認した（**図 14** および**図 15**）．本システムを導入する場合の方が，累積分布関数が加速度の低い方に移動する傾向は変わらない．ただし，車両発生間隔が 6 秒車間の場合では，図 13 と同様に，明確な差が確認できない．

本論文で適用した IDM は，合流後の前方車両との車間が十分に空いている場合には，さらに車間を空ける動作をしない．たとえば，車両発生間隔が 9 秒車間，12 秒車間および 15 秒車間の場合では，車両密度が低く，合流後も十分に車間が空いている可能性が高いため，さらに車間を空

© 2021 Information Processing Society of Japan

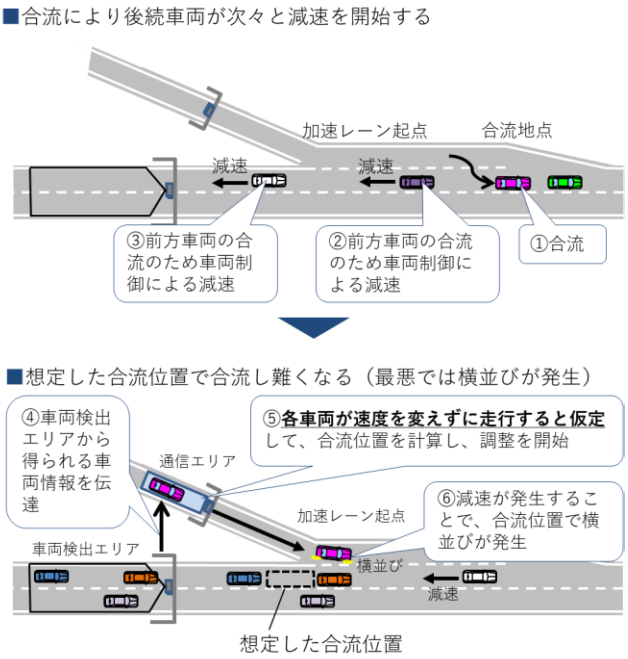

図 16 車両発生間隔が狭い場合に車両挙動安定性に差が得られない要因

Fig. 16 Factors that do not make a difference in stability of vehicle behavior in the case vehicle generation intervals are short.

けようとしない．しかし，車両発生間隔が 6 秒車間の場合では，**図 16** に示すように，車両密度が高くなり，合流後の車間が十分ではない場合に前方車両との車間を空け始める．このとき，後続する本線車両もその影響を受け，車間を空け始める．

本システムにおいて，本線車両が車間を空け始めることは，合流時刻に加速レーン起点に本線車両が存在してしまう確率が上がることを意味する．合流車両は車両検出装置から得られる本線車両の位置と速度情報をもとに，各本線車両が速度を変えずに等速で走行することを仮定し，合流位置を計算する．しかし，本線車両が車間を空け始めることで減速が生じると，等速を仮定して計算した合流位置との誤差が生じるため，横並びが発生する確率が上がる．このとき，導入しない場合と同じように，大きな加速度をともなった速度調整が必要となる．車両発生間隔が 6 秒車間の場合では横並びの影響が顕著に現れる．

4.10 搭載率の評価

本評価では，合流車両の搭載率を 0%から 100%の間で 20%刻みに変更してシミュレーションを実行する．通信機を搭載する車両は，設定した搭載率になるように確率的に決める．なお，搭載率の評価は通信成功確率の評価と同様に扱うことができる．たとえば，搭載率 60%（および通信成功確率 100%）の条件で評価した結果は，通信成功確率 60%（および搭載率 100%）の条件で評価した結果と同じになる．

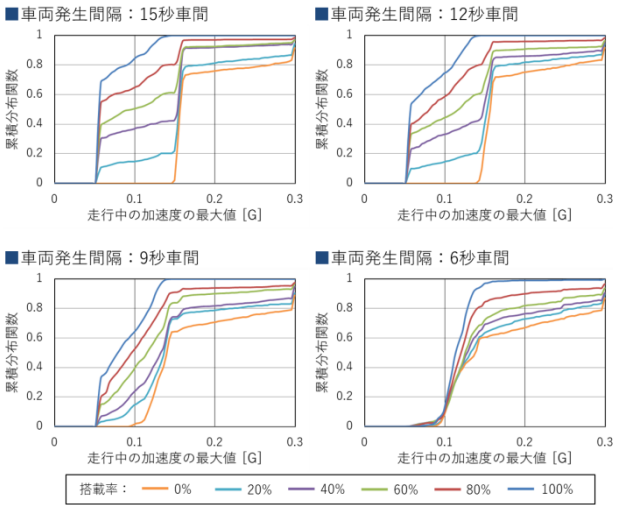

図 17 搭載率の影響：都市高速道路（本線 60 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 17 Effect of penetration rate: Expressway in the city (Main lane 60 km/h, Merging lane 40 km/h).

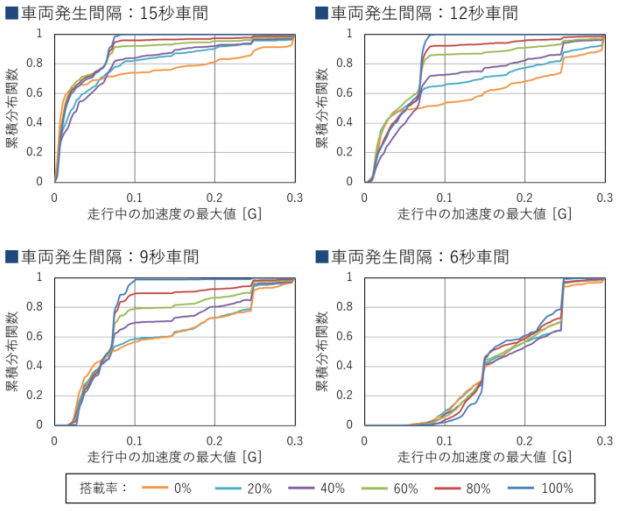

図 18 搭載率の影響：都市高速道路（本線 40 km/h，合流 40 km/h）

Fig. 18 Effect of penetration rate: Expressway in the city (Main lane 40 km/h, Merging lane 40 km/h).

都市高速道路におけるシミュレーション結果を**図 17** および**図 18** に示す．いずれの車両発生間隔の場合においても搭載率が上がることで，累積分布関数が徐々に加速度が低い方向に移動することが確認できる．この結果から本システムは通信機が普及する途中の段階においても，搭載率に応じて有効性が期待できるものと考えられる．

4.11 高度な車両検出機器の必要性の評価

本線車両の位置と速度を正確に取得するためには高度な車両検出機器が必要となる．正確な情報が取得できないまでも，平均的な速度の値のみを取得し，この情報を合流車両に伝えるだけで車両挙動の安定化が期待できるのであれば，システムの敷設規模が小さくなるという点で実用化にとって有利である．そこで，平均速度の情報のみを提供す

© 2021 Information Processing Society of Japan

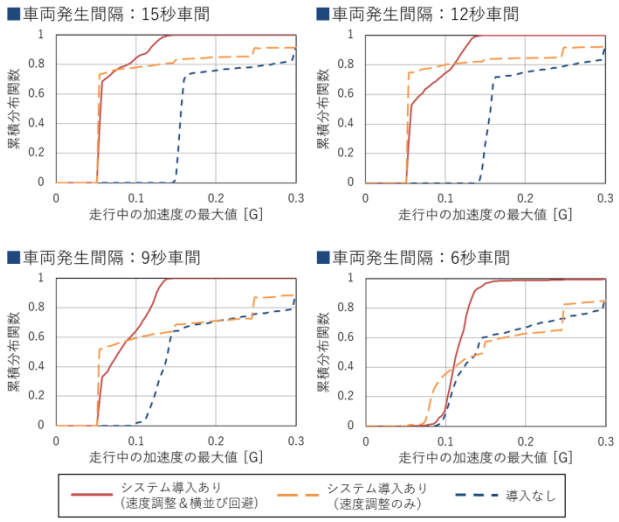

図 19　速度調整のみの効果
Fig. 19　Effect of speed adjustment only.

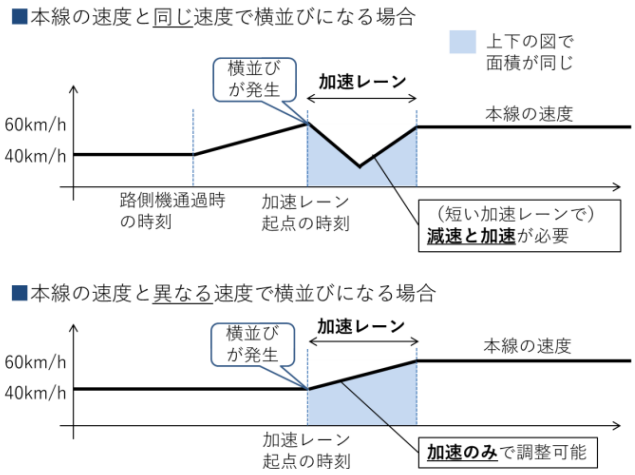

図 20　加速度が大きくなってしまう要因
Fig. 20　Factors that increase acceleration.

る場合の車両挙動安定性について評価する．ここで，本線側の平均速度の情報のみを提供する場合，所定の計算により一定の加速度を加えることで，加速レーン起点までに本線速度に合わせることはできるが，各本線車両の位置と正確な速度が把握できないため，加速レーン起点到達時に横並びになることが発生する．すなわち，本評価は，横並びが発生することによる有効性への影響を確認することと同じである．

速度調整のみを行った場合の結果について**図 19** に示す．車両発生間隔が 9 秒車間，12 秒車間および 15 秒車間の場合では，横並びを回避した場合に比べれば劣化こそするが，累積分布関数が加速度の低い方向に移動することから，効果は期待できると考えてよい．ただし，車両発生間隔が 6 秒車間の場合においては，本システムを導入した方がむしろ悪くなる場合がある．

この原因についての概要を**図 20** に示す．横軸は時刻，縦軸は速度を示す．ハッチ部分は合流にともなう走行距離を意味し，上下の図中で同じ面積となる．本評価条件において，速度調整のみを行った場合，40 km/h から 60 km/h に加速して加速レーン起点に到達する．ここで，横並びが発生した場合，本線の速度と同じ 60 km/h のまま走行を続けても合流できないため，1 度，減速し，横並びの状態を避けたうえで，加速し合流しなければならない．

一方，導入しない場合では，本線の情報が取得できないため，40 km/h のまま加速レーン起点に到達する．ここで，横並びが発生した場合，40 km/h から加速のみを利用して合流することになる．つまり，同じ速度で横並びになってしまう方が，短い加速レーンの中で加速と減速の両方を行わなければならない分，合流時の加速度が高くならざるをえなくなってしまう．

以上より，速度情報のみの場合では車両挙動安定性が低下するため，横並び回避機能まで実装する方が望ましいと考えられる．つまり，本線車両の位置と速度を正確に検出できる機器を備えるシステム構成が望ましいと考えられる．

4.12　路側機および車両検出エリアの設置位置

表 3 に示すように，都市間高速道路では，路側機や車両検出装置は加速レーン起点から大きく離れた位置に敷設する必要がある．これは，都市間高速道路の場合，本線車両および合流車両のとりうる走行速度の幅（最大値と最小値の差）が大きく，様々な走行速度に対応して設計する必要があることに起因する．

しかし，これほど離れた場所に路側機や車両検出装置を設置するのは，設置場所が限定されるという点で実用化に課題がある．また，現実の走行では等速を仮定できないため，離れた場所での車両情報を取得しても，加速レーン起点に到達したときには大きな誤差が生じ，車両情報が役に立たないことも考えられる．

ここで，路側機や車両検出装置を遠方に設置しなければならないのは，様々な走行速度に対応させるためであるので，通信エリアに進入する速度を限定し，走行速度の幅を小さくできれば，これらを遠方に設置しなくてもよくなる．たとえば，合流車両が通信エリアに進入する時点で，つねに本線速度の ±20 km/h 程度の範囲に収まる走行速度となるように制御できれば，走行速度の幅が小さくなるため，路側機や車両検出装置を近傍に設置できるようになる．

このとき，本線を流れる車両群の平均走行速度を算出しておき，これを合流車両が通信エリアに到達する前に提供しておけば，合流車両は速度調整の処理を進めておくことができる．たとえば，**図 21** に示すように，新たに通信エリア B（従来の通信エリアを通信エリア A とする）を設ける方法を考える．通信エリア B 内を走行中の合流車両は本線の平均走行速度を得ることができるため，通信エリア A に進入するまでに本線速度の ±20 km/h 程度になるように速度調整を行うことができる．さらに，通信エリア A に進

© 2021 Information Processing Society of Japan

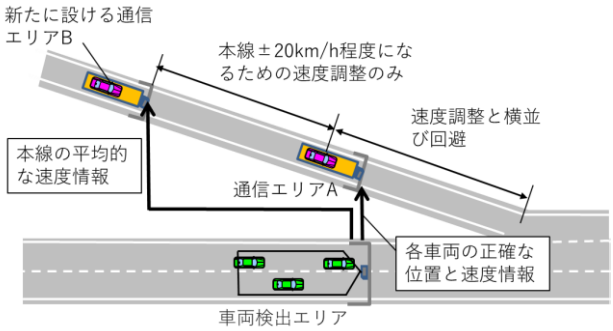

図 21 新たに通信エリアを設ける方法

Fig. 21 The merging support system with the new communication area.

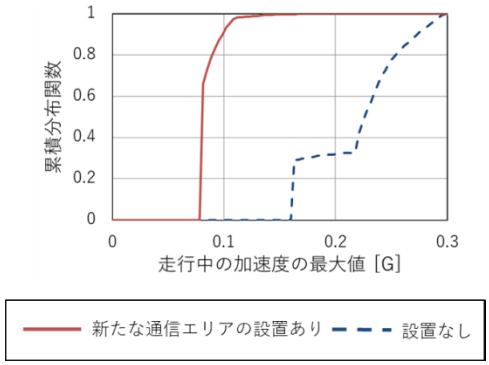

図 22 新たに通信エリアを設けた場合の車両挙動安定性の効果

Fig. 22 Effect for stability of vehicle behavior in the case the new communication area is provided.

入すると，車両検出装置から得られる本線車両の正確な位置と速度情報が取得できるため，これまでと同様に，加減速モデルを利用して横並び回避と本線との最終的な速度調整を行うことができる．なお，本線の平均走行速度の情報は概算でよいことから，従来の車両検出エリアで取得できる本線車両の速度情報を用いて計算できるため，通信エリア B に対応して，新たに車両検出エリアを敷設する必要はない．

以下では，効果を確認するために典型的な例について評価する．通信エリア B は路側機から 300 m 離れた場所に設定する．本線速度を 100 km/h とし，合流車両は平均走行速度の情報を受け，速度を 40 km/h から 80 km/h まで上げて通信エリア A まで走行する．通信エリア A に進入すると，車両検出エリアから得られた本線車両の正確な位置と速度情報を基に合流位置を計算し，80 km/h から本線速度である 100 km/h に速度を上げながら加速レーン起点まで走行する．

累積分布関数の結果を図 **22** に示す．平均走行速度の情報を事前に提供することで，累積分布関数が加速度の低い方向に移動することを確認した．これにより，路側機や車両検出装置を加速レーン起点から大きく離れた位置に敷設しなくても，車両挙動の安定化が期待できる可能性を示した．

5. むすび

本論文では，路車間通信を用いた合流支援システムを導入することで，導入しない場合に比べて，車両が安定して走行できるようになるかをシミュレーションにより確認した．都市高速道路および都市間高速道路の道路ケースで検証したところ，車両発生間隔が 9 秒車間，12 秒車間および 15 秒車間の場合では，本システムを導入することで合流にともなう加速度がドライバにとって不快に感じない 0.15 G 以下となる傾向となり，本システムが車両挙動の安定化につながることを確認した．これにより，交通流が円滑になるため，高速道路の合流シーンにおける渋滞の改善策の 1 つとして，本システムを適用できる可能性を示した．また，同結果より合流地点に到達してから近隣の車両情報を得る状況では，合流までの加速度を理想的に制御できたとしても，大きな加速度をともなわざるをえない場合が発生することを定量的に示し，「まえがき」で述べたように，合流における交通渋滞の課題に対して自動運転による改善効果は限定的となる可能性があることを示した．今後の展望として，さらに現実に近い交通流シミュレータを構築し，渋滞回避効果について定量的な評価を進めていく．

一方で，車両発生間隔が 6 秒車間のように車両密度が高い場合には，近傍の車両が減速を始めることから，本線車両位置の推定に誤差が生じ，横並びが発生するため，本システムだけでは交通流の円滑化に対して十分な改善が見込めないことを確認した．当該課題は合流地点近傍で車両間の速度情報を交換することで対処できると考えられ，たとえば，情報交換の手段として車車間通信 [28], [29] を利用すれば改善できる可能性がある．複数台の合流車両のうち，前方の合流車両が最適な行動をとれる状況であったとしても，後方車両の挙動を把握することで，あえて自らが多少の犠牲を払い，交通流全体として円滑となる行動をとるシステムも将来的に考えられるが，このような全体最適化を実現するためには車両間での情報交換が必要であると考えられ，システムの高度化においても車車間通信は期待される．

また，新たに路側機を追加し，2 段階で速度を調整する方法を提案し，路側機設置の位置が限定されてしまうという課題について解決できる可能性を示した．

なお，本論文のシミュレーション評価では一般的に利用されている IDM を実装したが，車両間隔が短い場合の挙動については実際との乖離が大きくなることが報告されており [17]，より現実的な挙動に近づけるためには，IDM を別の車両制御モデルに変更する，あるいは IDM を改良する必要がある．また，3.3 節で述べたように，車両の加速度が理想的に制御できる前提でシミュレーション評価を進めたが，今後は加速度の制御に関連する外乱の影響を含めた評価を実施していく必要がある．

© 2021 Information Processing Society of Japan

謝辞 本研究は，2018 年度に SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「実環境を想定した自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討」によって実施された．

参考文献

[1] 国土交通省：高速道路の交通状況ランキング（平成 27 年 年末年始），入手先 ⟨http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/pdf/ranking_5.pdf⟩．
[2] 内閣官房 IT 総合戦略室：ITS・自動運転を巡る最近の動向 (2017)．
[3] 津川定之：自動運転技術の発展，国際交通安全学会誌，Vol.40, No.2 (2015)．
[4] 名倉健一，渡辺昌志，末廣 雄，小崎成治，細井響子：自動走行を高度化するインフラ技術，三菱電機技報，Vol.93, No.5, pp.16–19 (2019)．
[5] Ding, J., Li, L., Peng, H. and Zhang, Y.: A Rule-Based Cooperative Merging Strategy for Connected and Automated Vehicles, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol.21, No.8, pp.1–11 (2020)．
[6] 菊池典恭，矢野貴大，中林昭一，金子 富，浜口雅春：路車間通信を用いた合流支援システムによる車両挙動安定性の評価，第 18 回情報科学技術フォーラム（FIT2019）(2019)．
[7] Zhang, T., Zou, Y., Zhang, X., Guo, N. and Wang, W.: A Cruise Control Method for Connected Vehicle Systems Considering Side Vehicles Merging Behavior, *IEEE Access*, Vol.7, pp.6922–6936 (2019)．
[8] SIP2（戦略的イノベーション創造プログラム第 2 期），羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路におけるインフラ整備，事前検証及び維持・管理，入手先 ⟨https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/103as.pdf⟩．
[9] SAE J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, available from ⟨https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/⟩．
[10] Michaels, R.M. and Fazio, J.: Driver behavior model of merging, *Transportation Research Board 1213*, pp.4–10 (1989)．
[11] Sarvi, M., Kuwahara, M. and Ceder, A.: Observing Freeway Ramp Merging Phenomena in Congested Traffic, *Journal of Advanced Transportation*, Vol.41, No.2, pp.145–170 (2007)．
[12] Wang, J., Liu, R. and Montgomery, F.: A Simulation Model for Motorway Merging Behaviour, Transportation and Traffic Theory, Flow, *16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp.281–301 (2005)．
[13] Chandler, R.E., Herman, R. and Montroll, E.W.: Traffic dynamics studies in car following, *Oper. Res.*, Vol.6, No.2, pp.36–43 (1958)．
[14] Gipps, P.G.: A behavioural car following model for computer simulation, *Transportation Research Board*, Vol.15, No.2, pp.105–111 (1981)．
[15] Krauss, S.: Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics, Ph.D. Thesis, University of Cologne (1997)．
[16] Treiber, M., Hennecke, A. and Helbing, D.: Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations, *Physical Review E*, Vol.62, No.2, pp.1805–1824 (2000)．
[17] Kesting, A., Treiber, M. and Helbing, D.: Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol.368, No.1928, pp.4585–4605 (2010)．
[18] Kanagaraj, V., Asaithambi, G., Kumar, C.H.N., Srinivasan, K.K. and Sivanandan, R.: Evaluation of Different Vehicle Following Models under Mixed Traffic Conditions, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol.104, No.2, pp.390–401 (2013)．
[19] Panwai, S. and Dia, H.: Comparative Evaluation of Microscopic Car-Following Behavior, *2005 IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol.6, No.3, pp314–325 (2005)．
[20] Kondyli, A. and Elefteriadou, L.: Modeling Driver Behavior at Freeway–Ramp Merges, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2249, pp.29-37 (2011)．
[21] ITS 情報通信システム推進会議：5.8 GHz 帯を用いた車車間通信システムの実験用ガイドライン（ITS FORUM RC - 005 第 3.0 版），入手先 ⟨https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/P32_3.html⟩．
[22] 3GPP, TS 36.101. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (2019)．
[23] 電波産業会：ARIB STD-T109 v1.3，入手先 ⟨https://www.arib.or.jp/kikaku/kikaku_tushin/std-t109.html⟩．
[24] 電波産業会：ARIB STD-T75 v1.5，入手先 ⟨https://www.arib.or.jp/kikaku/kikaku_tushin/std-t75.html⟩．
[25] 自動走行支援通信のメッセージセット及びプロトコルに関する調査検討，入手先 ⟨www.sip-adus.go.jp/file/503_s.pdf⟩．
[26] 田中裕章，竹森大祐，宮地智弘，入部百合絵，小栗宏次：自動車の制動時の安心感に関する研究，*DENSO TECHNICAL REVIEW*, Vol.21 (2016)．
[27] 橋本 博，川越麻生，岡山 巧：大型トラックの制御時減速度調査，*JARI Research Journal*, Vol.30, No.11 (2008)．
[28] 小川伯文：SIP 自動走行システムにおけるコネクテッド・ビークルへの取り組み，国際交通安全学会誌，Vol.43, No.3 (2019)．
[29] 吉川 潤，湯 素華，小花貞夫：狭域交通情報共有のための車車間通信における車両位置情報に基づく効率的な中継転送方式の提案，情報処理学会論文誌，Vol.57, No.1, pp.43–53 (2016)．

推薦文

本論文は，一般道路から高速道路への合流部において，円滑な合流を実現する実用的な方法を提案し，網羅的な評価から提案手法の有用性を示しており，論文の完成度が高い．自動運転の直面する問題にアプローチしている論文でもあり，その意義も評価できる．

（FIT2019 第 18 回情報科学技術フォーラムプログラム委員長 柏野 邦夫）

© 2021 Information Processing Society of Japan

菊池 典恭 （正会員）

2000 年横浜国立大学工学部卒業．2002 年東京工業大学大学院修士課程修了．2004 年沖電気工業株式会社入社．現在，自動運転に関わる通信技術の研究に従事．博士（工学）．

矢野 貴大

2011 年埼玉大学工学部電気電子システム工学科卒業．2013 年同大学大学院修士課程修了．同年沖電気工業株式会社入社．現在，通信分野の研究に従事．

中林 昭一

1996 年早稲田大学理工学部物理及応用物理学科卒業．1998 年同大学大学院修士課程修了．同年沖電気工業株式会社入社．無線通信，ITS の研究開発に従事．

金子 富

1996 年中央大学理工学部電気電子工学科卒業．同年沖電気工業株式会社入社．ITS 無線通信システムの研究開発に従事．

浜口 雅春

1987 年宇都宮大学工学部電子工学科卒業．同年沖電気工業株式会社入社．PHS，VICS，ETC 等の無線通信システムの研究開発業務に従事．

© 2021 Information Processing Society of Japan