

追加型自動加速制御の提案と渋滞解消への適用・評価

畔柳英健^{†1} 井手口哲夫^{†1} 奥田隆史^{†1} 田学軍^{†1}

自動車のインテリジェント化やその他様々な情報技術によって、交通社会は発展を遂げてきた。しかし、依然として事故や渋滞などの問題は顕在しており、人々の生活や経済に影響を与えている。ETCの実現により、高速道路上で発生する渋滞の原因として最も多かった料金所での渋滞はほぼ解消されたが、次いで発生回数が多かった上り坂およびサグ部での渋滞を始めとするその他の渋滞は解消されていない。サグ部での渋滞はドライバーが勾配影響を認知できないことが原因である。筆者等はそれに対し、ドライバーの加速制御にシステムによる加速制御を自動で追加する追加型自動加速制御による渋滞回避システムを提案する。本論文ではこの渋滞回避システムの実用性をシミュレーション実験により評価し、その有効性を示す。

Evaluation of Application to Elimination of Traffic Congestion of the Proposed Additional Automatic Acceleration Control

EIKEN KUROYANAGI^{†1} TETSUO IDEGUCHI^{†1} TAKASHI OKUDA^{†1}
XUEJUN TIAN^{†1}

Traffic society has been improved by technology of Intelligent Transport Systems and information technology. However, there are still some problems of accidents and traffic congestion remained, which influence on our daily life and economy. Though traffic congestion in toll gate, the most causes of traffic congestion on motorways, have been resolved, one other sort of congestion at the head of raise and sag part became to be the problem that needs to be solved. Traffic congestion on sag part is caused from that drivers cannot recognize grade change. To avoid this problem, we propose Traffic Congestion Avoidance System by Additional Automatic Acceleration Control that add automatically systematic acceleration control to drown out grade influence. This paper evaluates practicality of Traffic Congestion Avoidance System by simulation and show the efficiency of our proposal.

1. 序論

今日の自動車社会では、莫大な時間損失や経済損失などの問題を抱えている交通渋滞の緩和が重要な課題となっている。高速道路では、ETCの普及により料金所での渋滞は解消されたが、その他の渋滞は解消されておらず、日々多くの渋滞が発生している。その中でも、サグ部（下り坂から上り坂に変化する凹部のこと[1]）および上り坂での渋滞が最も多く発生しており、高速道路で発生する自然渋滞の6割以上を占めている。

ここでは無意識のうちに速度低下する車があり、後続の車との車間距離が縮まり、次々に後続の車がブレーキを踏むことにより渋滞が発生する。サグ部での渋滞原因はドライバーが勾配の変化に気づかないことにあるため、自動追従走行を行うアダプティブ・クルーズ・コントロール[2]（以降、ACC）の普及やドライバーに速度低下の注意を促す標識や自発光式ペースメーカー[3]の設置などの対策が進められている。

しかし、ACCは加速制御がすべて自動で行われるため、例外的な状況に対し人間のように柔軟な対応ができない。また、使用中のドライバーの覚醒度の低下が指摘されており[4]、実際に使用中の居眠り運転による死亡事故も発生し

ている[5]。標識や自発光式ペースメーカーはドライバーに勾配の認知を促すが、それでも認知できないドライバーは存在する。また、認知したドライバーも適切な加速制御は自身で行う必要があり、それぞれの加速制御の精度のバラつきにより、渋滞のきっかけは発生すると考えられる。

そこで本論文では、ドライバーの加速制御に、システムによる加速制御を自動で追加する追加型自動加速制御を提案する。これは、速度制御をシステムが完全に制御するのではなく、ドライバーの加速制御に対してシステムが必要な加速度（ドライバーの制御による加速度に対して小さな加速度）を追加するといった加速制御方式である。追加型自動加速制御では加速制御の主導権はドライバーにあるため、例外的な状況にも対応することが可能である。また、この追加型自動加速制御をサグ部および上り坂での渋滞の回避を目的とした渋滞回避システムとして適用する。提案するシステムでは、ドライバーの加速制御に追加する形で、勾配から受ける加速度を打ち消すように加速度を自動制御することによって、サグ部での渋滞回避を実現する。本論文では提案する渋滞回避システムならびに追加型自動加速制御の実用性を、シミュレーション実験を行うことにより評価し、その有効性を示す。

^{†1} 愛知県立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology
Aichi Prefectural University

2. 追加型自動加速制御による渋滞回避システムの提案

近年普及している運転支援システムとして、先に述べた ACC の他に、プリクラッシュセーフティシステムがある[6]。このシステムは、レーダーにより前方車両や前方障害物との距離、相対速度を検知し、衝突の危険があると判断した場合に警報、急ブレーキを行うシステムである。システム起動から解除までの間全ての加速制御を自動で行う ACC に対し、このシステムはドライバーあるいは ACC による加速制御に対し、優先度の高い割り込み処理として急ブレーキを行う。

本論文で提案する追加型自動加速制御は ACC やプリクラッシュセーフティシステムのように全ての加速制御を自動で行ったり、ドライバーの制御に割り込んだりするような、システム側に制御の主導権があるものではない。ドライバーによる加速制御に比べて大きさの小さい加速度を自動で追加する制御であるため、ドライバーがアクセルを踏んでいないのに車が大きく加速したり、アクセルを踏んでいるのに減速あるいはブレーキが掛かったりすることはない。

2.1 追加型自動加速制御方式

本論文で提案する追加型自動加速制御方式は、ドライバーの加速制御に追加する形で自動加速制御を行い、車両の加速度を決定する。ドライバーの加速制御により決定される加速度と追加型自動加速制御により決定される加速度をそれぞれ a_d 、 a_s とすると、車両の加速度 a_c は以下の単純な式で表される。

$$a_c = a_d + a_s$$

基本的に $|a_s|$ は $|a_d|$ と比べ十分小さい値とし、 a_c や a_d 、車両速度やその他の環境に応じて、設定された最小値から最大値の間で変動する。

車両の目標速度を設定した場合、ドライバーの加速制御だけでは、常に目標速度を維持するのは難しい。僅かに目標速度を上回ったり下回ったりするので逐一微調整が必要であり、この微調整を怠ると気付いた時には目標速度から大きく外れてしまう。しかし、追加型自動加速制御を行う場合、目標速度を上回っているときは a_s の値を負に、下回っているときは a_s の値を正にすることでドライバーの代わりに微調整を行い、 a_d が目標速度を維持するための値から大きく外れない限りは、ドライバー自身が微調整を行うことなく目標速度を維持することができる。

2.2 渋滞回避システム

本論文で対象とする渋滞回避システムは高速道路におけるサグ部であり、前節で説明した追加型自動加速制御方式を、勾配影響を受ける場合に着目して適用する。追加型自動加速制御で勾配影響を打ち消す（または緩和する）ことで、勾配影響に対するドライバーの認知に関わらず渋滞発

生の原因となる速度低下を防ぎ、結果的に渋滞の発生を回避することを目的とする。

本論文の前提条件として、車両は地図データとして勾配の位置、勾配影響の大きさのデータを保持しているものとし、GPS[7]により現在の車両の位置情報も取得できるものとする。これらの情報から、車両が勾配影響を受けており、かつドライバーがアクセルを踏んでいる（減速を意図していない）間、 a_s を、勾配影響を打ち消す（または緩和する）正の値とする。

なお、前節では追加型自動加速制御による車両速度の微調整の例を挙げたが、本論文では渋滞回避システムの有効性を示すために、追加型自動加速制御は勾配影響を受ける間、勾配影響に対してのみ適用する。

3. 評価方式

3.1 システムモデル

片側 2 車線で車線変更が発生する直線高速道路（対向車線は考慮しないものとする）において、ある区間をサグ部とし、その区間を走行する車両は勾配に応じた勾配影響（負の加速度）を受ける。その区間中において追加する自動制御として、表 3.1 に示すように次の 3 種類のケースを考える。

表 3.1 勾配影響下での 3 通りの追加型自動加速制御

| | |
|-------|--------------------------|
| CASE1 | 自動制御を行わない場合（従来の走行環境） |
| CASE2 | 勾配影響と同じ大きさの加速度を追加する場合 |
| CASE3 | 勾配影響の大きさの一定割合の加速度を追加する場合 |

本論文では、提案するシステムを用いない CASE1 と、CASE2、CASE3 とを比較評価する。

CASE2 では勾配影響として受ける負の加速度と同じ大きさの正の加速度を、ドライバーの加速制御に追加する形で自動制御を行う。例えば勾配影響下で -10 の加速度がかかる場合、10 の自動加速制御を追加する。この場合、ドライバーの勾配影響の認知に関わらず、勾配影響を自動加速制御で打ち消すことができる。

CASE3 では CASE2 と同様に自動加速制御を行うが、追加する加速度の大きさを、勾配影響として受ける負の加速度の大きさの一定割合とする。例えば勾配影響下で -10 の加速度を受ける場合、この制御の割合を 0.6 とするならば、6 の加速度を追加する自動加速制御を行う。この場合、車両が受ける勾配影響を緩和することになる。

3.2 ドライバモデル

このようなシステムをシミュレーションする際に、車両の追従走行をどのように実装するかという問題がある。そこで役に立つのがドライバモデルである。本論文では、自然渋滞に分類される上り坂およびサグ部における渋滞の再現のため、交通流の自然渋滞形成を再現するモデルとして

知られている最適速度モデル[8]をシミュレーション内に実装する。

3.2.1 最適速度モデル

最適速度モデル(Optimal Velocity Model)は、交通流の自然渋滞形成を再現するモデルとして知られており、車間距離を参照して1台1台の車両の加速度が決められる運動方程式で記述されるモデルである。最適速度モデルは、車両の次のような性質をモデル化したものである。

- 前方に車両が存在しなければ、自分の走りたい最高速度まで加速する。
- 前方に車両がいたら、車間距離によって決まる最適速度に近づくよう加速制御を行う。

最適速度モデルは車両*i*について次式で表される。

$$\frac{d^2x_i}{dt^2} = a \left\{ V(\Delta x_i) - \frac{dx_i}{dt} \right\}$$

ここで、 x_i は車両*i*の変位、 Δx_i は車両*i*の前方との車間距離、 a は感度パラメータである。加速度は a に比例し、 a が大きいほど速く最適速度に到達する。また、最適速度モデルには最適速度関数 $V(\Delta x_i)$ という概念がある。以下に最適速度関数 $V(\Delta x_i)$ を示す。

$$V(\Delta x_i) = V_{max} \left\{ \frac{\tanh\left(\frac{\Delta x_i - c}{b}\right) + \tanh(c)}{1 + \tanh(c)} \right\}$$

b, c はそれぞれ、車間距離に応じた最適速度の変化量、車間距離に関するパラメータである。 V_{max} は最高速度を示す。

4. シミュレーション方法

このシミュレーションのためにマルチエージェントシミュレータを用い、3.1節で述べたCASE1と、CASE2およびCASE3(においては0から1の間のいくつかの割合)について、システム導入車両の普及率を変動させ、比較評価を行う。マルチエージェントシミュレータには、Artisoc2.6[9]を用いる。

4.1 Artisocにおける空間

Artisocにおける空間定義はX軸:500とする。現実空間をX軸:5kmとするため、Artisoc上の空間における1間隔は10mとなる。Artisocのシミュレーション刻みは0.1sとする。

4.2 シミュレーション条件

道路は5kmの片側2車線の直線高速道路(車線変更あり)とし、勾配影響を受ける区間は3kp~4kpの1km、それ以外は勾配のない平坦な道としている。また、0kp~1kpを車両生起から交通流安定までの車線変更禁止区間とする。車両サイズは一般的な車両サイズである5mとし、制御係数(CASE3における制御の割合) α とシステム実装車普及率はシミュレーション時に決定する。最高速度と車両生起間隔は車両ごとに表4.1にある範囲内でランダムに決定する。反応時間は車線変更と加速制御において、ドライバーの認

知・判断から実行までの時間遅れである(参考文献[10]参考)。勾配影響は、サグ部を原因とした渋滞が多く発生している東名大和下り区間[11]にもある約2%の勾配から受ける影響相当の値とする。勾配影響係数については後の4.2.2項で説明する。認知確率はドライバーが勾配影響区間に入ってから1ステップ(0.1s)毎の勾配を認知する確率である。本論文ではこれを10%としたので、ドライバーは勾配影響区間に入ってから1秒後、2秒後、3秒後までに、それぞれ約65%、約88%、約96%の確率で勾配を認知できる。

以上を含め本シミュレーションモデルにおけるパラメータを表4.1に示す。

表 4.1 シミュレーションパラメータ

| | |
|------------|-------------------------|
| 道路長 | 5[km] (片側2車線,) |
| 勾配影響区間 | 3[kp]~4[kp] |
| 走行モデル | 最適速度モデル |
| 車両サイズ | 5[m] |
| 最高速度 | 80~100[km/h] |
| 最高加速度 | 3.0[m/s ²] |
| 最低加速度 | -8.0[m/s ²] |
| 車両生起間隔 | 3.5~4.5[s] |
| 反応時間 | 0.6[s] |
| 勾配影響 | -0.2[m/s ²] |
| 勾配影響係数 | β |
| 認知確率 | 10[%/0.1s] |
| 制御係数 | α |
| システム実装車普及率 | 0~100[%] |

4.2.1 本シミュレーションで使用する最適速度モデル

3.2.1項で紹介した最適速度モデルでは、車間距離0で最適速度が有限になってしまうという問題点が存在する。そこで、本論文では、本論文で使用する最適速度 $V'(\Delta x_i)$ を $V(\Delta x_i)$ を用いて以下の式で算出する。

$$V'(\Delta x_i) = \{V(\Delta x_i) - V(5[m])\} \times \frac{V_{max}}{V_{max} - V(5[m])}$$

この式では、 $V(\Delta x_i)$ から車間距離5m時の最適速度 $V(5[m])$ を引くことで、車間距離5mで最適速度0km/hを達成する。しかし、その分車間距離無限長時の最高速度も $V(5[m])$ だけ低くなってしまふので、 $\frac{V_{max}}{V_{max} - V(5[m])}$ を掛けるこ

とで、車間距離無限長時の最高速度が V_{max} を達成するよう、関数全体を等倍している。実際に、パラメータ b, c をそれぞれ15, 50とした、本論文で使用する最適速度関数(最高速度が100km/hの場合)のグラフを図4-1に示す。

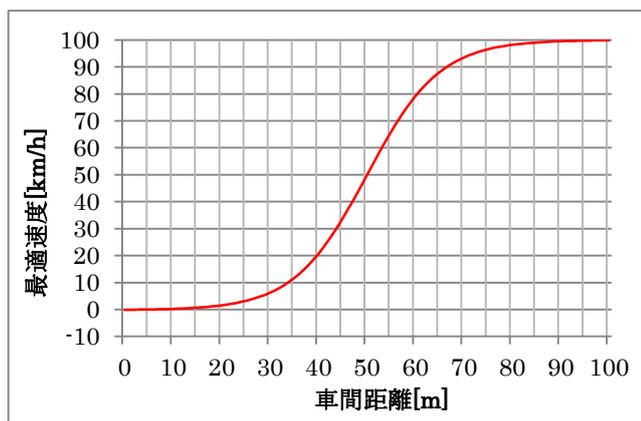


図 4-1 最高速度 100km/h の場合の最適速度関数

本論文では車両の最高速度を 80km/h から 100km/h までランダムで決定しているが、どの場合でも車間距離約 40m で最高速度の 4 分の 1、約 50m で半分、約 60m で 4 分の 3 を最適速度とする。感度パラメータ α は加速時には $\frac{3.0}{V_{max}}$ 、減

速時には $\frac{30.0}{V_{max}}$ とし、加速はゆるやかに、減速は迅速に行うように与える。なお、算出される加速度の下限は、一般者の最低加速度[12]に従い、 -8.0m/s^2 とする。

4.2.2 制御係数 α と勾配影響係数 β

勾配影響下において、走行車両はドライバーの認知状態と勾配の大きさ、提案システムの制御係数から $-0.2(1-\alpha)\beta[\text{m/s}^2]$ の加速度を受ける。

α は、勾配影響の大きさに対し、提案システムにより追加される加速度の割合である。ここで、 α は $0 \leq \alpha \leq 1$ の範囲で値をとり、3.1 節の CASE1 では $\alpha = 0$ 、CASE2 では $\alpha = 1$ 、CASE3 では $0 < \alpha < 1$ となる。本論文では、この α を 0 から 1 まで変動させ、シミュレーションを行う。なお、CASE2、CASE3 においてもドライバーが減速を行っている間は $\alpha = 0$ とする。

β は、ドライバーが勾配影響を全く認知できずに一切補償的行動をしない場合は 1 となり、勾配影響を認知し、その勾配影響に応じた適切な制御を行っている場合は 0 となる。一般に勾配区間におけるドライバーの認知状態は、 β が $0 \leq \beta \leq 1$ の範囲にあるものと考えられる。また、ドライバーが勾配影響を徐々に認知して適応していくのならば、 β は 1 から 0 へと変化するものと考えられる[13]。

そこで、ドライバーが勾配影響を認知してから適応するまで、 β を次の線形関数で表されるものとする。

$$\beta(t) = \begin{cases} 1 & (t < T') \\ 2 - \frac{t}{T'} & (T' \leq t < 2T') \\ 0 & (2T' \leq t) \end{cases}$$

ここで、 t は車両が勾配にさしかかってからの経過時間、 T' は車両が勾配にさしかかってからドライバーが勾配影響を認知するまでの時間とする。勾配を早く認知できるドラ

イバーほど認知してからの加速制御も迅速に行えると考え、今回は勾配影響を認知するまでの時間と勾配影響を認知してから完全に適応するまでの時間は同じとした。

4.2.3 車両の生起とシステム実装車普及率

車両は 0kp において、走行車線、追い越し車線それぞれで 3.5s~4.5s のランダムな間隔で生成し、最高速度もこの時に 80km/h~100km/h の間でランダムに決定する。生成時の車両の速度は最適速度、加速度は 0 m/s^2 とする。この条件下でシミュレーションを実行すると、渋滞が 0kp まで波及した際、0kp 付近で衝突事故が発生する。そのため、前方との車間距離が一定以上確保できていない場合はキューとして車両を保持し、どちらかの車線で一定以上の車間距離が確保でき次第車両を生起するようにした。いくつかの予備実験の結果から、この一定の車間距離を 50m とした。

システム実装車普及率とは提案システムを実装している車両の普及率のことであり、車両生起時に、シミュレーション開始時に設定した普及率に従いシステム実装車あるいは非実装車を決定する。

4.2.4 車線変更モデル

本論文での車線変更は、以下の条件がすべて揃った時に行われる。

- 自車速度が 40km/h 未満 (高速道路の渋滞の定義より)
- 車線変更後の前方車両との車間距離が、現在の前方車両との車間距離より大きい
- 車線変更後の後続車両との車間距離が 50m より大きい

以上の条件下では、車線変更は事故や渋滞の原因にならない範囲内で渋滞発生を回避するように行われる。なお、車線変更後の後続車両との車間距離 50m という値は、予備実験の結果から、車線変更時に衝突事故が発生しない値として与えた。

4.3 評価方法

以上のシミュレーション条件より、本論文では、シミュレーション内時間 1 時間以内における 5kp での交通量から提案システムの有効性を評価する。提案システムを用いない制御係数 $\alpha = 0$ の場合と、制御係数 α を 0.1 から 1.0 まで 0.1 刻みで設定したものに対し、普及率をそれぞれ 10% から 100% まで 10% 刻みで変動させた場合の計 101 種のシミュレーションをそれぞれ 10 回ずつ実行し、その 10 回における交通量の平均を評価指標とする。なお、10 回のうちで衝突事故が発生した場合、そのシミュレーションを終了し、衝突事故が発生しなかったシミュレーションでの平均をとる。

5. シミュレーション結果

5.1 交通量平均

各制御係数、普及率におけるシミュレーション 10 回のうち、事故が発生しなかった場合の交通量平均を図 5-1、

図 5-2 に示す。図 5-1 は制御なしの場合と制御係数 α が 0.1 から 0.5 の場合、図 5-2 は制御なしの場合と制御係数 α が 0.6 から 1.0 の場合のグラフである。

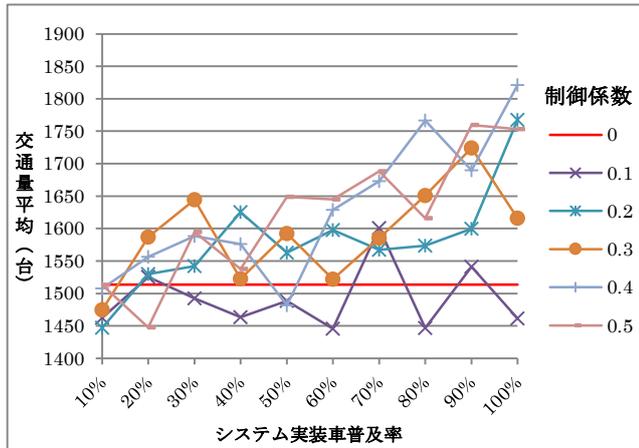


図 5-1 交通量平均 ($\alpha = 0.1 \sim 0.5$)

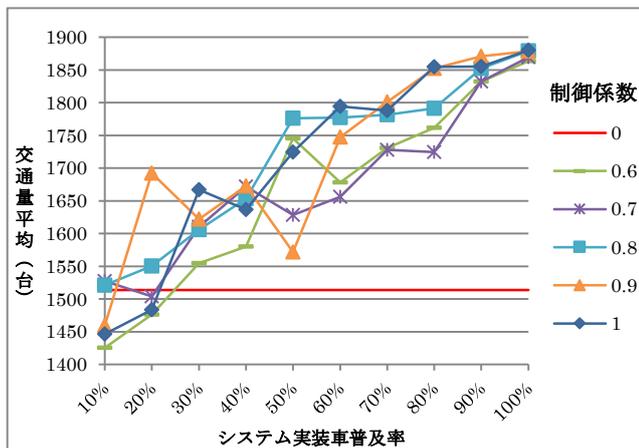


図 5-2 交通量平均 ($\alpha = 0.6 \sim 1.0$)

制御係数を大きくするほど、普及率を高くするほど交通量が増加することが確認できる。しかし、制御係数 0.5 以下のとき、制御係数や普及率による交通流のバラつきは大きく、各制御係数、普及率間での有意差はほとんど確認できなかった。また、制御係数 0.6 以上でも、普及率が 50% 以下の場合、同様にバラつきが大きくなった。しかし、制御係数 0.6 以上、普及率 60% 以上においては交通量のバラつきも小さくなり、普及率 100% ではどの制御係数でも交通量が約 1870 台に収束することが確認できた。

5.2 事故発生数

各シミュレーション 10 回中に発生した事故発生数を表 5.2 に示す。

表 5.1 事故発生数

| 事故発生数 (回) | 普及率 | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
| 0.0 | 2 | | | | | | | | | |
| 0.1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 0.2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0.3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0.4 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0.6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| 0.7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

シミュレーション回数が 10 回と少ないため、事故発生数においては各制御係数、普及率による有意差が見られにくい、こちらも前節同様、制御係数と普及率の値を大きくするほど、事故発生数が減少することが確認できる。

6. まとめと考察

本論文ではシミュレーション時間の都合上、事故も発生するような過密で危険な環境を設定してシミュレーションを行った。そのため、渋滞だけでなく事故も発生し、シミュレーション回数も少なかったことから結果のバラつきも見られた。しかし、その中でも制御係数と普及率の増大に従い、安定した交通量を実現できることが確認できた。また、わずかではあるが、同時に事故発生数が減少することも確認できた。特に普及率 100% において、制御係数が 0.6 から 0.9 の間の勾配影響を緩和する場合でも、制御係数が 1.0 の勾配影響を打ち消す場合とほとんど変わらない交通量が確認できた。

序論でも述べたが、本論文で対象としたサグ部および上り坂での渋滞を解消するだけなら ACC の使用や提案システムの制御係数を 1.0 に設定するだけで良い。しかしながら、例外的状況への対応やドライバーの覚醒度低下の問題が発生する。それに対し、本論文で提案する提案システムにおける制御係数 0.6 以上 0.9 以下の場合では、渋滞の解消を実現でき、かつ加速制御の主導権を常にドライバーに置くことで、例外的状況への対応やドライバーの覚醒度低下防止が可能になると考える。

6.1 今後の予定

本論文で使用した最適速度モデルは、前方車両との相対速度を考慮していない他、シミュレーション条件などもシミュレーション時間などの都合から意図的に渋滞が発生しやすい環境を構築し、シミュレーションを行った。今後はドライバモデルを中心に、各道路での実測データなどと照らし合わせたより現実に近い環境でのシミュレーションを行う。

本論文では ACC と別のシステムとしての提案を行ったが、ACC のレーダーを搭載している車両に実装するレーダーも利用した、ACC より自動制御のレベルが低いシステムとしての提案を検討する。

追加型自動加速制御をサグ部および上り坂での渋滞以外で、ひいては一般道においての渋滞にも適用できるように、その対象範囲を拡大する。

謝辞

本研究の一部は、平成 26 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(24500087, 24500088)の支援を受けて行った。

参考文献

- 1) NEXCO 東日本, 『事業案内』, <http://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/mechanism.html>.
- 2) Honda, 『ACC (アダプティブ・クルーズ・コントロール)』, <http://www.honda.co.jp/safety/technology/active/acc/>.
- 3) NEXCO 東日本, 『自発光式ベースメーカーの施行設置・検証』, http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/tohoku/h24/0806/pdfs/01.pdf.
- 4) 公益財団法人 高速道路調査会, 『クルーズコントロールシステムや速度抑制装置がドライバーの覚醒度に影響を与えることが判明』, <http://www.express-highway.or.jp/jigyoinfo/watch/2013/10/w20131007.pdf>.
- 5) 国土交通省, 『自動車運送事業に係る交通事故要因分析報告書(平成 21 年度)』, <http://www.mlit.go.jp/common/000118343.pdf>.
- 6) トヨタ, 『プリクラッシュセーフティ』, http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/pre_crash/.
- 7) P. Misra and P. Enge, "Global positioning system: signals, measurements, and performance," 2nd ed. Ganga-Jamuna, 2006.
- 8) Bando, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Shibata, A. and Sugiyama, Y.: Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation, Phys. Rev., E, Vol.51, No.2 pp.1035-1042(1995).
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(2000).
- 9) Artisoc2.6 Mas コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=8>.
- 10) 警察庁交通局, 『わかる身につく交通教本』, 財団法人全日本交通安全協会, 2012.
- 11) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度道路交通システム研究室, 『サグ部における渋滞対策の検討 (H17~20 年度)』, http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/1top/topics/2009_12_sag/sag_taisaku.pdf.
- 12) Honda, 『フォーミュラ 1 [B・A・R Honda 007] カタログ』, <http://www.honda.co.jp/F1/spcontents2005/f1catalogue/04/>
- 13) 大口敬, 小沼良一, 『勾配影響を考慮した追従挙動モデルの比較分析』, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.34, pp.171(2006-12).