

## 予測運転評価指標を用いた加減速操作の運転支援システム

日大生産工(院) ○中野 堯 日大生産工 丸茂 喜高  
日本工業大学 鈴木 宏典

### 1. まえがき

近年、自動車の燃費や安全に関する情報をドライバーへ呈示する運転支援システムの検討が進んでいる。ドライバーへ燃費などを呈示することで、ドライバーの自発的なエコドライブを促すことが報告されている<sup>1)2)</sup>。また、先行車との追突リスク情報を呈示することで、安全運転への行動変容に貢献することが報告されている<sup>3)4)</sup>。これら、燃費や安全性をさらに向上させるためには、先行車より前方を走行する先々行車などの情報から、早めの加減速など予測した運転の支援を行うことが重要であると考えられる<sup>5)</sup>。そこで筆者らは、先行車と自車だけでなく先々行車も含めた3台の相対関係を考慮した予測運転評価指標を定義し、ドライバーへリアルタイムに呈示する支援システムを提案した<sup>6)</sup>。その結果、先々行車との速度差や自車の加減速度が抑制され、先行車との衝突リスクの変動を低く保ち、安定した追従走行が実現されることを、ドライビングシミュレータ（以下、DSとする）を用いた実験により確認した。

従来の運転支援システムでは、自車を基準として、前方を走行する2車両の相対的な情報を直接取得し、自車内の車載表示器へ呈示することを想定していた<sup>6)</sup>。しかし、ドライバーが表示器を注視し続けていると、意図せぬ先行車の急制動に対して、ドライバーの反応が遅れ、先行車への追突など思わぬ事故の要因になりかねない。また、PRE3を算出するには、先行車のみでなく先々行車に対する相対的な情報も必要となる。最近、先々行車との相対関係を直接計測する技術<sup>7)</sup>も開発されているが、自車を基準とすることで特殊な計測技術により状態量を取得する必要があるため、従来の手法では、安全性や特殊性に課題があるといえる。

これらの課題は、先行車を基準とすることで課題が解決できる可能性がある。具体的には、先行車後部への情報呈示により、先行車から注意が逸れることがなくなり安全性が向上する。さらに、先行車の前後2車両間の状態量を先行車のみによる計測を想定することで、特殊な計測技術が不要となる。この手法により、計測方法に対する特殊性が改善することは明らかであるが、安全性について改善されるかは明らかでない<sup>8)</sup>。

そこで本研究では、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性についてDS実験により検討し、さらに、自車内の車載表示器による呈示を想定したもの<sup>6)</sup>と先行車後部への呈示を想定したもの

で、支援システムの呈示手法による影響について、DSを用いた比較実験により検討する。

### 2. 予測運転評価指標

図1に3台の車両の関係を示す。番号*i*を先頭から1, 2, 3と振り、*i*番目車両の速度を*v<sub>i</sub>*、*i*番目車両の全長を*l<sub>i</sub>*とする。また、*d<sub>mn</sub>*を*m*日目車両と*n*日目車両間の車間距離とする。これらの添字の数字は車両番号を表している。

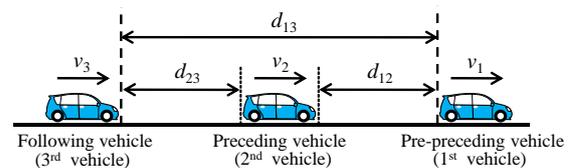


Fig. 1 Three-car following situation

図1のような追従状態において、先々行車（1番目車両）の挙動から予測した運転を評価する予測運転評価指標PRE3を式(1)に示す。

$$\text{PRE3} = \frac{a}{\text{THW}_{23}} + \frac{2b}{\text{TTC}_{13}} = \left( \frac{av_3}{d_{23}} \right) + \left[ \frac{2b(v_3 - v_1)}{d_{13}} \right] \quad (1)$$

ここでPRE3は、先々行車との相対速度を小さくするため衝突余裕時間TTC (Time To Collision) を先々行車に対して適用している。また、衝突に対する安全を確保するため先行車との車間時間THW (Time HeadWay) も使用している。ここで、式中の係数はそれぞれ*a*=1, *b*=5であり<sup>9)</sup>、TTCの項の係数を2倍にするのは先々行車との車間距離を使用するためである。

本研究では、前後で隣り合う2車両の間の状態（車間距離*d<sub>mn</sub>*、相対速度Δ*v<sub>mn</sub>*）については、先行車の前・後部に設置されたミリ波レーダなどの車間距離計やカメラ映像からの画像処理などにより取得することを想定している。式(1)における先々行車や自車に関する物理量（速度*v<sub>1</sub>*、*v<sub>3</sub>*および、車間距離*d<sub>13</sub>*）について、先行車のみで得られた物理量から算出することで、先行車のみでPRE3を算出することが可能となる<sup>8)</sup>。

また、従来の呈示においては、PRE3の目標値（中立値）として、先々行車との速度差がない場合にTHWが2秒となるように0.5を固定した値に設定し、実際の値と目標値との差をドライバーへ呈示していた<sup>6)</sup>。しかし、

Assistance System to Predict Longitudinal Driving Behavior  
Using Predicted Driving Evaluation Index  
Takashi NAKANO, Yoshitaka MARUMO and Hironori SUZUKI

固定された目標値の場合、先々行車および自車停止時 ( $v_1=v_3=0$ ) では、式(1)よりPRE3の値は0となる。そのため、停止状態を維持しているにも関わらず、固定された目標値との差が生じ、ドライバへ加速操作を促す呈示となってしまふ。そこで本研究では、速度に応じたPRE3の目標値PRE3\*と実際のPRE3との差として、 $\Delta$ PRE3をドライバへ呈示することとした。この場合、差が負の値になると加速、正の値になると減速を促し、差が0であれば操作を要求せず、停止時に加速操作を促す問題が解決される。

先行車後部へ呈示する評価指標は、要求される操作量に応じて、矢の色や向き、速さを動的に変化させることとする。図2に先行車後部への呈示による $\Delta$ PRE3の呈示イメージを示す。矢の色は緑と赤、灰の3色とした。緑色で上向き矢の移動が速くなるほど加速が必要であること、赤色で下向き矢の移動が速くなるほど減速が必要であることを表している。また、適正域(目標域)においては、矢の動きは停止し、呈示する背景と同系色の灰色とすることで、操作が適切であることを表している。

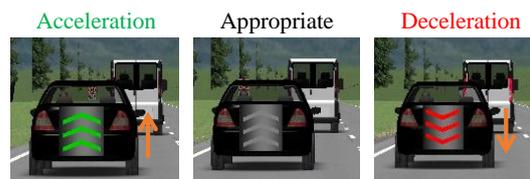


Fig. 2 Image of  $\Delta$ PRE3 indicator (indication at rear end of preceding vehicle)

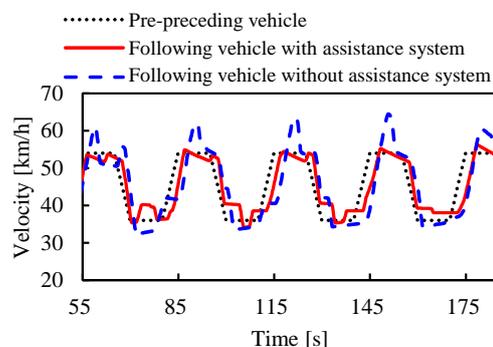


Fig. 3 Velocity of following vehicle (1st trial by Participant A)

### 3. 先行車後部への呈示による予測運転支援システム

#### 3.1 実験方法

先行車後部への情報呈示を行う「支援あり」と、呈示を行わない「支援なし」の2条件で先々行車・先行車の追従走行実験を行い、支援システムの有効性について、定置型のDSを用いた実験により検討する。実験は、自車の前方に先行車・先々行車の2車両が走行している条件で行い、支援あり・支援なしの順に交互に、それぞれ2走行ずつ計4走行を行った。ここで、先々行車は10m/sから15m/sの加減速を加減速度 $1\text{m/s}^2$ で繰り返した走行を行い、先行車も先々行車を追従走行する走行パターンを行うものとした。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有している、実験前に練習を十分行うことで、DSの運転に習熟した20代の男性2名(実験参加者A・B)であり、事前に文書によるインフォームドコンセントを得た。

#### 3.2 実験結果

図3に結果の一例として、評価区間における実験参加者Aの第1走行の速度の推移を示す。同図より支援ありの場合(実線)の方が支援なしの場合(破線)と比較して、先々行車の速度変化(点線)に応じた走行が行えており、先々行車との速度差が抑制されていることがわかる。

図4に、加速度のRMS値を示す。同図には、実験参加者2名が各2走行した計4走行の評価区間における平均値が示されている。この図より支援ありの方が加速度のRMS値が抑制されていることがわかる。支援システムにより、予測した加減速操作での運転が行え、速度差がなくなったことで、無駄な加減速を抑えることができた。その結果、支援なしと比べ、緩やかな加減速で追従走行が可能になったと考えられる。

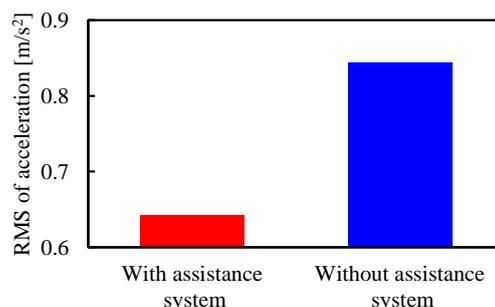


Fig. 4 RMS of acceleration (four trials)

次に、追従時の衝突リスクに対する支援システムの有効性について検討する。はじめに、先行車に対する衝突リスクの変動について検討する。評価区間における実験参加者2名計4走行のRP (Risk Perception) <sup>9)</sup>の平均は支援の有無によらず $0.45\text{s}^{-1}$ 程度であった。これは先行車との速度差を0とするとTHWが約2秒程度になるような安全な追従状況である。そこで、1回の走行における標準偏差に着目する。図5に、RPの標準偏差を示す。同図には、実験参加者2名計4走行の評価区間における平均値が示されている。この図より、支援がある場合の標準偏差が小さい。すなわち、支援システムにより、衝突リスクの変動が抑制することがわかる。

さらに、先行車に対する衝突余裕時間の最小値に着目し、先行車に対する衝突リスクについて検討する。図6に、衝突余裕時間の最小値を示す。同図には、実験参加者2名が計4走行した評価区間における平均値が示されている。この図より、支援がある場合の衝突余裕時間の最小値が大きくなっていることがわかる。

以上より、支援システムによって、先行車との衝突リスクが低減し、リスク自体の変動も抑制されることで、より安全な追従走行が可能となることがわかった。

#### 4. 支援システムの呈示手法による影響

##### 4.1 実験方法

先行車の急制動が発生する場合の支援システムの呈示手法による影響を調べる。先行車後部への情報呈示を想定した支援システム（以下、先行車呈示とする）と、自車内の車載表示器への情報呈示を想定した、従来の支援システム<sup>6)</sup>（以下、自車呈示とする）の2条件で先々行車・先行車の追従走行実験を行う。ここで、実験に用いる先行車呈示は、3章で使用したもの（図2）と同様である。図7に実験に使用する自車呈示の呈示イメージを示す。これは、DSの画面右下に呈示されるもの<sup>9)</sup>で、必要となるアクセルやブレーキの操作量に応じて、上下に伸縮するバーの長さ（大きさ）が変化する表示形態である。要求される操作量に応じて、バーの色や伸縮する方向を動的に変化させる。バーの色は緑と赤、灰の3色とした。緑色で下向きに伸びるほど加速が必要であること、赤色で上向きに伸びるほど減速が必要であることを表している。また、適正域（目標域）においては、上下どちらかに伸縮するが、バーの色を呈示する背景と同系色の灰色とすることで、操作が適切であることを表している。

実験には、3章と同様の定置型のDSを用いた。実験は、自車の前方に先行車・先々行車の2車両が走行している条件で行い、10m/sから15m/sの加減速を加減速度 $1\text{m/s}^2$ で繰り返した走行中、実験参加者が予期できないタイミングで、先行車のみが急制動（ $6\text{m/s}^2$ ）による停止を行う。この条件で、先行車呈示・自車呈示の順に交互に、それぞれ2走行ずつ計4走行を行った。また、実験参加者は3章の実験と同様の2名である。

##### 4.2 実験結果

図8に、結果の一例として実験参加者Aの第2走行の速度の推移を示す。この図は、先行車の急制動開始5秒前からの15秒間における速度の推移である。同図より、先行車（一点鎖線）の急制動開始後、先行車呈示（実線）の方が自車呈示（破線）と比較して、先行車の急制動に対して早く減速操作を開始していることがわかる。また、図9に、先行車急減速開始後のブレーキ操作までの反応時間を示す。同図には、実験参加者2名が各2走行した計4走行における平均値が示されている。この図より、速度の推移でみられたように、先行車後部へ情報呈示を行うことで、先行車の急制動に対して早く反応して減速操作を行っていることがわかる。

次に、急制動に対する安全性について検討する。はじめに、減速時の減速度に着目する。図10に、平均減速度（距離平均）を示す。同図には、実験参加者2名が走行した計4走行における平均値が示されている。この図より先行車呈示の方が、小さい減速度で減速していることがわかる。これは、先行車呈示の方が、いち早く減速操作を開始することで、小さい減速度でも先行車へ衝突することのない減速を行えるためであると考えられる。

さらに、衝突余裕時間の最小値に着目する。図11に、

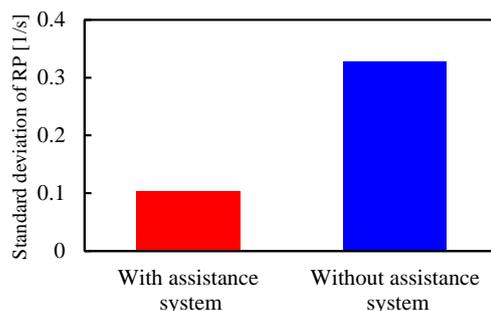


Fig. 5 Standard deviation of RP (four trials)

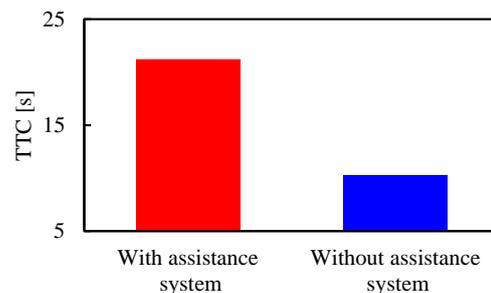


Fig. 6 Time to collision (four trials)

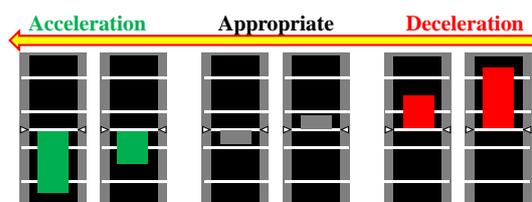


Fig. 7 Image of ΔPRE3 indicator (indication at onboard monitor in following vehicle)

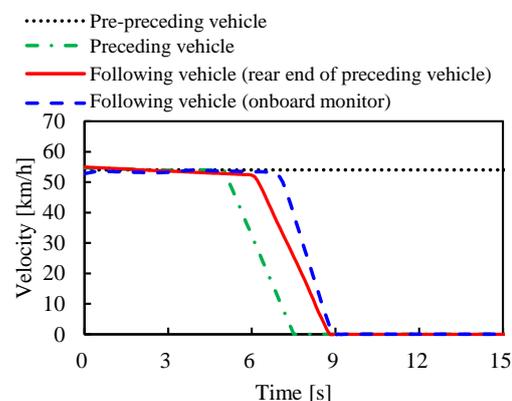


Fig. 8 Velocity of following vehicle (2nd trial by Participant A)

衝突余裕時間の最小値を示す。同図には、実験参加者2名の計4走行における平均値が示されている。この図より、先行車呈示の方が自車呈示と比べ、衝突余裕時間の最小値が大きく、先行車との衝突リスクが低減されていることがわかる。したがって、先行車後部への情報呈示を行うことで、先行車の急制動に対して、いち早く反応して減速操作をすることが可能となるため、自車呈示と比べ小さな減速度で減速操作を行うことが可能となることがわかった。

## 5. まとめ

本研究では、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性についてDS実験により検討し、さらに、支援システムの呈示手法による影響について、DSを用いた比較実験により検討した。

その結果、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性については、自車内の車載表示器による支援と同様に、先々行車を予測した追従走行が可能となり、無駄な加減速および加減速度が抑制された。また、追従時の衝突リスクにおいても、先行車との衝突リスクが低減し、リスク自体の変動も抑制されることで、より安全な追従走行が可能となることがわかった。以上より、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性が確認された。

さらに、支援システムの呈示手法による影響については、先行車の急制動が発生した場合においても、先行車後部への情報呈示による運転支援システムの方が、先行車の急制動に対して、いち早く反応して減速操作を行うことが可能となり、その結果、小さな減速度で停止をすることが可能となることがわかった。また、自車の先行車への衝突リスクも低減することがわかった。以上より、先行車の急制動が発生した場合における支援システムの呈示手法による影響が確認された。

## 謝 辞

本研究の一部は、平成26年度日本大学生産工学部若手研究者支援研究費の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

### 「参考文献」

- 1) 田ノ上明宏, 伊藤誠, 稲垣俊之, “燃費情報の視覚呈示が自動車運転に及ぼす影響について”, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 6 (2010), pp. 1421-1426.
- 2) 野崎敬太, 平岡敏洋, 高田翔太, 塩瀬隆之, 川上浩司, “エコドライブ支援システムにおける能動的工夫の余地が運転者の動機づけに与える影響”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 2 (2013), pp. 111-119.
- 3) 北島創, 鷹取収, 榎田修一, 片山硬, “ドライバの自発的な安全運転を促すための運転支援方法の検討”, 自動車技術会2011秋季学術講演会, No. 138-11 (2011), pp. 15-18.
- 4) 高田翔太, 平岡敏洋, 野崎敬太, 川上浩司, “自発的な行動変容を促す安全運転評価システム(第2報)”, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 2 (2013), pp. 673-678.
- 5) 鈴木宏典, 片山硬, “ショックウェーブの伝播抑制が車群の安全へ与える影響”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会論文集, (2012), CD-ROM.
- 6) 田中健太, 丸茂喜高, 鈴木宏典, “先々行車の挙動を考慮した評価指標の呈示が運転行動に及ぼす影響”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 2 (2013), pp. 131-139.

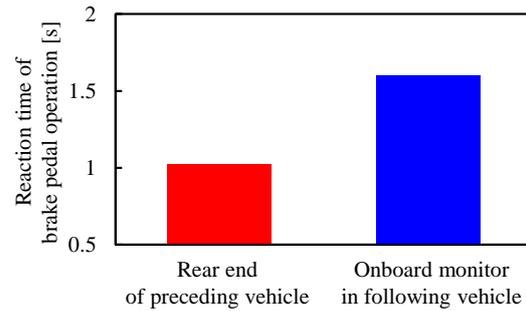


Fig. 9 Reaction time of brake pedal operation (four trials)

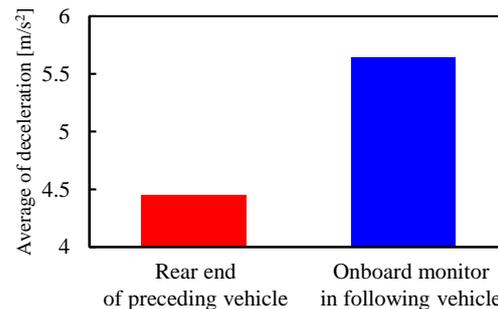


Fig. 10 Average of deceleration (four trials)

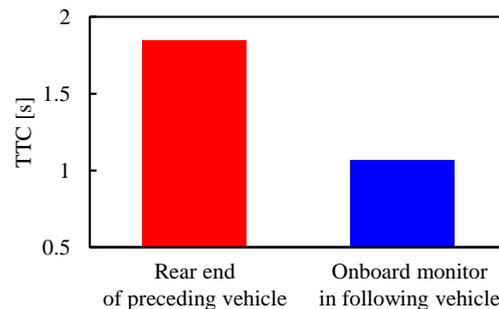


Fig. 11 Time to collision (four trials)

- 7) 日産自動車, “プレディクティブフォワードコリジョンワーニング”, <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/predictive.html> (参照日2014年10月26日)。
- 8) 中野亮, 丸茂喜高, 鈴木宏典, “先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムに関する研究”, 日本機械学会2014年度年次大会講演論文集, (2014), CD-ROM.
- 9) Takayuki KONDOH, Tomohiro YAMAMURA, Satoshi KITAZAKI, Nobuyuki KUGE, and Erwin Roeland BOER, “Identification of Visual Cues and Quantification of Drivers' Perception of Proximity Risk to the Lead Vehicle in Car-Following Situations”, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 2 (2008), pp. 170-180.