ISSN 2186-5647

2-35

先々行車を考慮した予測運転支援システムの呈示手法による影響

日大生産工(院)　○山﨑 光貴　　日大生産工　丸茂 喜高
日本工業大・工　　鈴木 宏典

1 緒言

近年，先行車との衝突リスクや燃費など，ドライバへ情報呈示することによる運転支援システムの開発・実用化が進んでいる．今後，安全性や燃費をさらに向上させるためには，先行車だけでなく先々行車など，より前方の情報から予測した運転支援を行うことが重要であると考えられる．そこで中野らは先々行車，先行車と自車の3台についての相対関係を考慮した予測運転評価指標（PRE3: PREdiction by PRE-PREceding vehicle）を提案し，先行車後部に情報を呈示することで，有効性の検証を行った[1]．その結果，衝突リスクの変動が小さい追従走行が可能となることや，先々行車に対する無駄な加減速操作が抑制され，燃費が向上することを，ドライビングシミュレータ（以下，DSとする）実験で確認した．

この呈示手法では，先行車の後部へ情報を呈示（以下，後部呈示とする）し，必要となる操作量そのものを呈示しないため，必要な加減速操作の認識が難しく，システムを利用する上で習熟を必要としていた．また，先行車の挙動が変化すると，支援システムの視認性も変化することが考えられる．それらの問題を解決するために支援の情報を路面へ仮想的に呈示（以下，路面呈示とする）する方法を提案した[2]．この呈示手法は，位置や速度など空間上の情報を用いることで，ドライバに要求される操作量を直感的に伝えることが可能となり，その有効性が確認された．しかし，実際に操作量の認識が容易になるのか否かは確認されていない．そこで本研究では，路面呈示が加減速操作に及ぼす影響を後部呈示と比較を行い確認することとする．

2 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番目の速度をv_iとする．

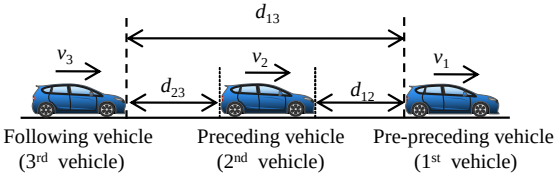


Fig. 1 Three-car driving situation

また，車間距離はd_{mn}とし，添字の数字は車両番号を表す．図1のような追従状況において，自車におけるPRE3を式(1)に示す．

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

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，衝突に対するリスクを抑制するため，先行車との車間時間 THW（Time Head Way）も使用している．式中の係数はそれぞれ a=1, b=5 であり [3]，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．この評価指標は，先々行車との速度差が無い定常状態でも自車の速度に応じて値が変動する．そこで，速度に応じた目標値を PRE3*とし，PRE3 と PRE3*との差として，ΔPRE3 をドライバへ呈示することとする．PRE3*は先々行車との速度差がない定常的な速度部分においては，式(1)の第一項目である THW の逆数にのみ依存し，THW は速度に応じて変化する指標であることから，先行車に対する THW の逆数を使用し，式(2)で表わされる．

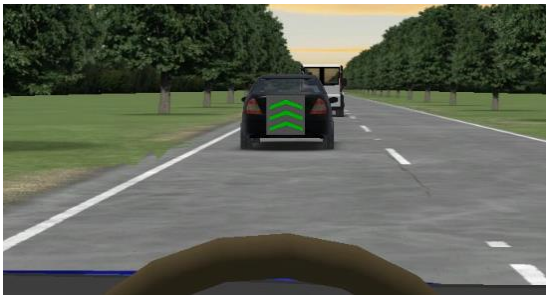
$$\mathrm{PRE3}^*=\frac{a}{\mathrm{THW}_{23}{}^*}=\frac{av_3}{d_0+\mathrm{THW}^*\cdot v_3} \quad (2)$$

Effects of Indicating Method for Driver Assistance System to Predict Longitudinal Considering Pre-preceding Vehicle

Koki YAMAZAKI, Yoshitaka MARUMO and Hironori SUZUKI

ここで，式中の係数は式(1)と同様にa=1であり，停止時の車間距離を確保するために，安全車間距離をd_0=5mとし，目標車間時間THW*=1.5sとしている．式(1)，(2)より，ΔPRE3は式(3)で表わされる．

$$\Delta \mathrm{PRE3} = \mathrm{PRE3} - \mathrm{PRE3}^* \tag{3}$$



(a)　Rear-end of preceding vehicle

(b)　Road ahead virtually

Fig. 2 Indication image of evaluation index

図2(a)に後部呈示のイメージを示す．必要な加減速操作量に応じて，矢の色や向き，速さを動的に変化させている．加速要求時には矢が緑色で上向きに流れ，矢の流れる速さが速いほどより強い加速操作を促している．減速要求時には矢が赤色で下向きに流れ，矢の流れる速さが速いほどより強い減速操作を促している．操作量が適切な場合は，矢が灰色で上向き，下向きどちらにも向くようになっており，矢の動きを停止させることによって現在の操作量が適切であることを示す．

図2(b)に路面呈示のイメージを示す．路面呈示でも必要な加減速操作量に応じて，矢の色や向き，速さを動的に変化させている．加速要求時には矢が緑色で進行方向に向き，自車よりも速い速度で流れることによって，加速を促す．減速要求時にはが赤色で後退方向に向くようになっており，自車よりも遅い速度で流れることによって，減速を促す．操作量が適切な場合は，矢が灰色で進行方向，後退方向どちらにも向くようになっており，自車と同じような速度で流れることによって現在の操作量が適切であることを示す．

後部呈示では，矢の流れる速さを ΔPRE3 の値に応じて，段階的に変化させている．それでは，矢の流れる速さと要求されている操作量の対応がわかりにくいものとなって，ドライバは操作量の認識が困難になってしまう．一方，路面呈示では操作量の認識を容易にするため，ΔPRE3 の値を速度の次元に変換して，矢の流れる速さを空間的に意味のあるものとした．その速さを Δv とし，式(4)で表わされる．

$$\Delta v = \Delta \mathrm{PRE3} \times l = \Delta \mathrm{PRE3} \times \frac{cd_{13}}{2b} \tag{4}$$

ここで，ΔPRE3 を速度の次元に変換させるため，先行車と自車が目標車間時間で走行している状況を考える．その場合，式(2)より PRE3 の THW の項と PRE3*が打ち消され，PRE3 の TTC の項のみが残る．残った項に $d_{13}/2b$ 相当の係数 l を掛けることによって，TTC の項は自車と先々行車との速度差(v_3–v_1)のみとなり，ΔPRE3 を先々行車と自車の速度差相当の Δv として速度の次元に変換することができる．また，式(4)の ΔPRE3 に掛け合わせる l 中の係数は式(1)と同様に b=5 であり，先々行車との車間距離を予備実験で求めた結果約 60m となったので cd_{13}=60m とした．

３ DS実験

３．１実験条件

実験は「路面呈示」と「後部呈示」の 2 条件で，自車の前方に先々行車・先行車の 2 車両が走行する状況において，呈示手法による運転行動の変化を DS 実験により検証する．図 3 に本実験で用いた定置型の DS を示す．

Fig. 3　Overview of fixed-base driving simulator

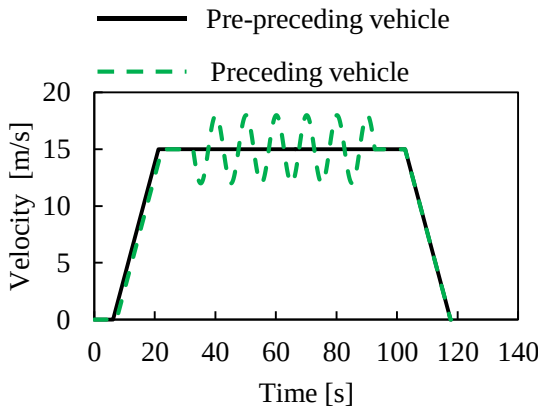


Fig. 4　Velocity of pre-preceding vehicle and preceding vehicle

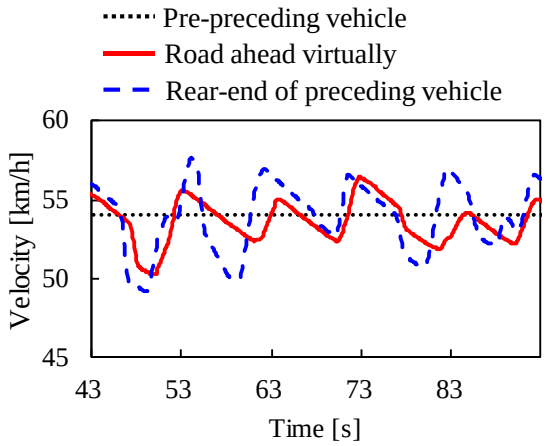


Fig. 5 Velocity of following vehicle (1st trial by Participant A)

図 4 に先々行車及び先行車の走行パターンを示す．先々行車は，発進後 15m/s まで 1m/s^2 で加速を行い，その後は一定速で走行する．先行車は発進後 15m/s まで 1m/s^2 で加速を行い，その後，視認性が悪くなる場合を想定し，13m/s～18m/s の加減速を周期 10s で繰り返す正弦波となるような走行パターンとした．この時の最大の加減速度は約 1.9m/s^2 である．走行は路面呈示・後部呈示の順で交互に，それぞれ 2 走行ずつ計 4 走行を行った．実験参加者は DS の運転に習熟した（実験前に十分練習）普通自動車運転免許を保有する 20 代男性 2 名で，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

結果の一例として，評価区間における実験参加者A第1走行の速度の時系列を図5に示す．同図より，後部呈示（破線）では振動的な走行になっているのに対して，路面呈示（実線）では振動が抑えられた走行となっていることがわかる．

図6に実験参加者2名4走行分の評価区間における先々行車との速度差RMS値の平均を示す．この図より，路面呈示の方が先々行車との速度差を抑制することができることがわかる．

図7に実験参加者A第1走行の加速度の時系列を示す．同図から，後部呈示に比べて，路面呈示の方が小さな加速度で走行できていることがわかる．

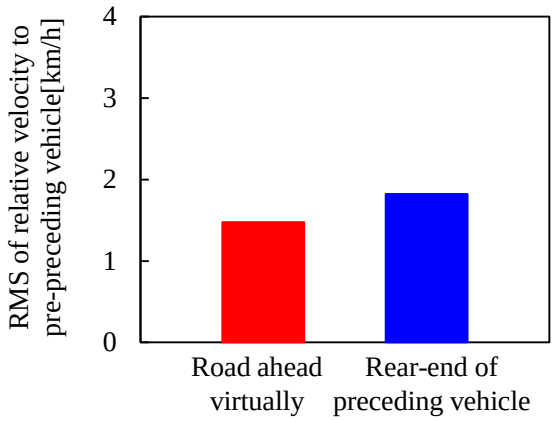


Fig. 6 RMS of relative velocity to pre-preceding vehicle (four trials)

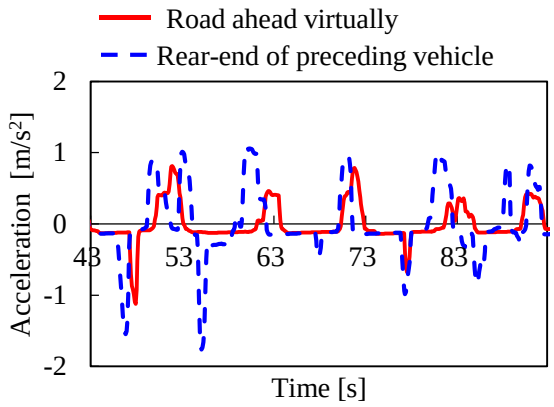


Fig. 7 Velocity of following vehicle (1st trial by Participant A)

図8に実験参加者2名4走行分の評価区間における加速度のRMS値を示す．同図より，路面呈示の方が後部呈示に比べ，加速度のRMSが抑制されていることがわかる．これは，路面呈示では操作量の認識が容易になったため，適切な操作をすることが可能となり，加速度のRMS値が抑制されたと考えられる．

図9にペダルポジションの速度の時系列を示す．ペダルポジションとはドライバが行ったペダル操作の踏量を表しており，正の値であると加速操作を行っており，負の値であると減速操作を行っている．値が0であれば加減速操作を行っていないことを示す．この図より，路面呈示により，踏み込み量の少ないペダル操作が可能となる事がわかる．また，後部呈示に比べて路面呈示ではペダルの操作の回数が少ない走行が可能となる事もわかる．

図10にTTCの最小値を示す．路面呈示の方が後部呈示に比べ，TTCの最小値が大きく，安全な追従走行が出来ていることがわかる．

5 結論

本研究では，路面呈示が加減速操作に及ぼす影響を後部呈示と比較を行い確認することとした．結論として，後部呈示より，路面呈示の方が振動の少ない安定した追従をすることが可能となった．また，路面呈示の方が操作量の認識が容易になったため，緩やかな加減速操作を行うことやペダルの踏み込み量の少ない走行が可能となった．緩やかな加減速を行うことで，安全な追従走行が可能となった．

「参考文献」

1) 中野尭，丸茂喜高，鈴木宏典，先行車後部への情報呈示による加減速操作の予測運転支援システム，日本機械学会論文集，Vol.81，No.832，(2015) p.15-00196

2) 山﨑光貴，丸茂喜高，鈴木宏典，予測運転評価指標の路面呈示による運転支援システム，自動車技術会関東支部2016年度学術研究講演会講演プログラム・前刷集，CD-ROM，(2017)，

3) 伊藤誠，丸茂喜高，平岡敏洋，和田隆広，安倍原也，北島創，交通事故低減のための自動車の追突防止支援技術，コロナ社，(2015)

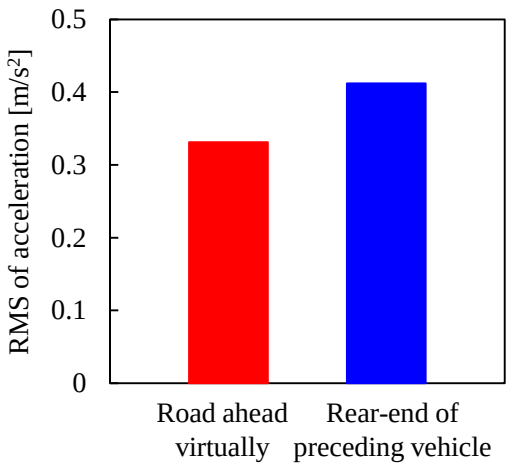


Fig. 8 RMS of acceleration (four trials)

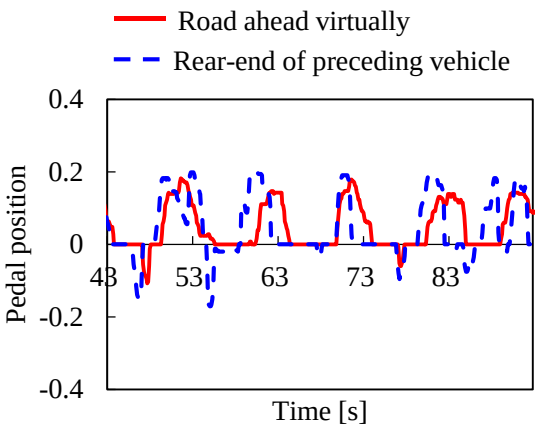


Fig. 9 Pedal position of following vehicle (1st trial by Participant A)

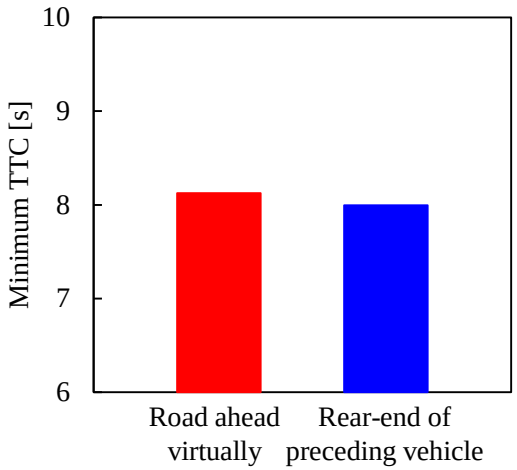


Fig. 10 Minimum TTC (four trials)