

②④ 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS を用いたブレーキアシストシステムの効果に関する検討

自動車安全研究領域 ※田中 信壽 森田 和元 安本 まこと
交通システム研究領域 青木 義郎
廣瀬 敏也（現 国土交通省）

1. はじめに

近年、交通事故による死亡者数は、衝突安全システムの普及や法規の厳罰化等の効果によって減少傾向にある。しかし、その減少率は鈍化しつつあり2010年には今なお年間4,863名という多くの尊い人命が交通事故によって失われている。このような現状を打破すべく、近年、事故を未然に防ぐことを目的とする予防安全支援システムの開発及び普及促進が官民あげて進められている。この予防安全支援システムの開発において不可欠なプロセスが、定量的な効果評価である。これを実現する一つの方法としては、実際にシステムを市場に投入し、システム作動時のデータを比較検証するといった方法が考えられる。しかし、事故を未然に防いだ状況における作動データは、交通事故データと異なり記録が残りにくく、収集も非常に困難である。すなわち、事故を未然に防ぐ効果の評価の難しさが予防安全支援システムの効果評価を困難にする一つの大きな要因となっている。そこで、近年、予防安全支援システムの効果評価をコンピュータシミュレーションによって行う方法が提案されている[1][2]。

現在、我々が開発している予防安全支援システム効果評価シミュレータASSESSもこの取り組みの一環といえる。ASSESSは、コンピュータ内に仮想の交通環境を再現し、この環境内を自律走行する車両に対する予防安全支援システムの搭載率を変化させ、これによって生じる事故件数やニアミスの発生台数の変化からその効果評価を行うシミュレータである[3]。本報告では、ASSESSの概要及び妥当性の検証結果を示した後、評価対象とする予防安全支援システムとして選定したBrake Assist System (BAS)の効果評価について述べる。

2. ASSESS の概要

ASSESS は、環境モデル、ドライバモデル、車両モデルとこれらを管理するプログラムで構成され

ており、この構成によって仮想空間内を自律走行する車両（エージェント）が出現するマルチエージェントシステムを実現している。

まず ASSESS の開発では、事前に交通事故データの分析を行い、その結果、優先して対策を講じるべき事故形態が出会い頭事故であること、そして、この出会い頭事故が発生しやすい環境が、見通しが悪く、優先道路と非優先道路が交差する信号なし交差点であることといった結論を得ている。そこで、ASSESS では、これら出会い頭事故が発生しやすい環境の条件を満たす実在の交差点（以下、対象交差点と称す）を選定し、この対象交差点を再現した環境で効果評価を行うこととした。

環境モデルは、この対象交差点の交通環境の再現（図1）、エージェントの発生スケジュールの生成、各エージェントの特性割り当て等を担当している。よって、各エージェントは、環境モデルが再現した交通環境内に、環境モデルが出力する発生スケジュールに従って出現し、環境モデルが割り振った特性に従って自律走行を開始する。

ドライバモデルは、ドライバの運転行動を模擬することを担当し、視認した情報に基づいて運転行動を決定し、運転操作量を車両モデルに出力する。

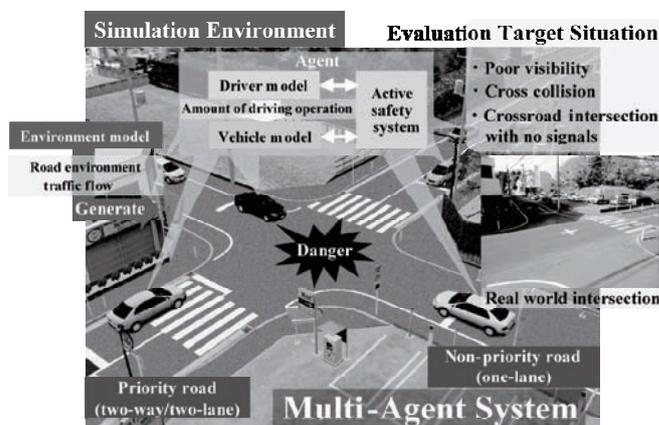


Fig.1 Design concept of ASSESS

車両モデルは、ドライバモデルから出力された運転操作量をもとに時々刻々変化するエージェントの位置座標を算出する。車両モデルは、前後方向移動、前輪回転、後輪回転の3つの自由度をもつ等価2輪車モデルで構成されている。制動時には、車両モデルは、ドライバモデルから受けたブレーキペダル踏力値をもとに自分の位置座標を算出する。

3. ASSESS の交通流に関する妥当性の検証

ASSESS の開発では、交通流を創り出すことができるようになった段階で実交通流に対する妥当性の検証を行った。この妥当性の検証は、対象交差点に非優先道路から進入する車両が交差点を通過するのに要する時間（以下、交差点通過時間と称す）を実交通流データと比較することで行った。エージェントの交差点の通過時間が実車両のそれと同等となるためには、交差点内の挙動が実車両と同等であることが求められる。特に非優先道路から交差点に進入するエージェントは、優先道路の横断、優先道路への左折合流、右折合流といった複雑な自律走行を実車両と同等に行わなければならない。

本検証では、交差点通過時間の定義を車両の中心点が交差点の手前にある停止線を越えた時点から、交差点を通過したのち対向車線に現れる停止線を自身が走行する車線へ延長したラインを通過するまでにかかる時間とした。また、比較対象とした実交通流の交差点通過時間は、対象交差点で9時間行った定点観測で得られた計測データを用いることとした。なお、対象交差点は、南北に延びる優先道路と東西に延びる非優先道路が交差して形成されている。よって、非優先道路から進入するエージェントは、交差点へ東側から進入するものと西側から進入するものの2パターン存在する。

図2及び3に、実交通流で計測された交差点通過時間の平均及び標準偏差と ASSESS による交通流が要した交差点通過時間の平均及び標準偏差を状況（直進、右折、左折）別に示す。図2は、東側から、図3は西側から進入するエージェントについての結果である。これらの結果を用い、挙動（直進、右折、左折）別に実車両とエージェントとの交差点通過時間の同等性について有意差を検証した。その結果、いずれの進入経路及び状況においても有意差が無いことが確認された（Welch の t 検定、危険率 5%）。また、既に先行研究によって、交差点の進入時の車頭間隔と速度分布の同等性も確認されていることから[4]、本検証結果と合わせて交差点進

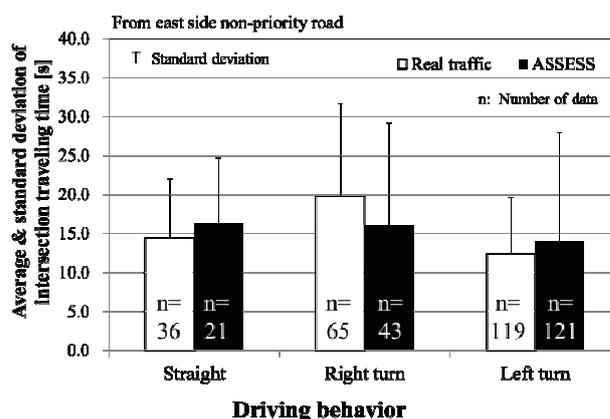


Fig.2 Average & standard deviation of intersection travel time from east side non priority road

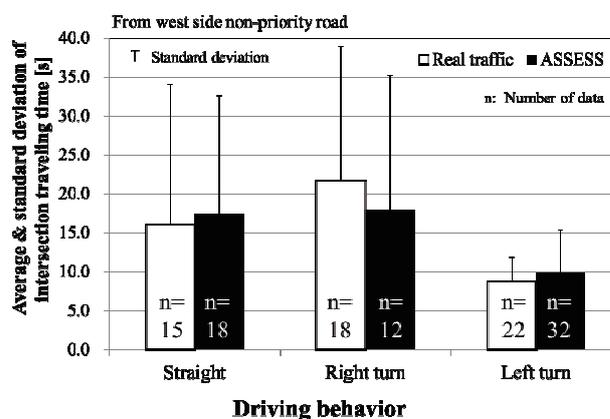


Fig.3 Average & standard deviation of intersection travel time from west side non priority road

入前・進入後の全体として、ASSESS が創り出す交通流の妥当性の一端が確認できたと考える。

4. BAS のアルゴリズム

BAS とは、ドライバが危険を回避するために緊急にブレーキを踏む状態（以下、緊急ブレーキと称す）をブレーキ操作量から検知し、緊急ブレーキが踏まれていると判断した場合に制動力を急速に増加させるシステムである。ASSESS では、この機能をブレーキペダル踏力からブレーキトルクを算出する車両モデルのプロセスで実現した。また、今回、評価対象とした BAS は、踏み込み速度検知型 BAS である。このタイプの BAS は、ドライバのブレーキペダルの踏み込み速度が仕様として定義された閾値を越えた時にドライバが緊急ブレーキを踏んだと判断する BAS であり、既に多くの車両に搭載されている。なお、ASSESS において、ブレーキペダル踏力はドライバモデルによって制動の対象とする車両の視野角、自車速度、相対速度及び相対距離に基づいて時々刻々算出される。そこ

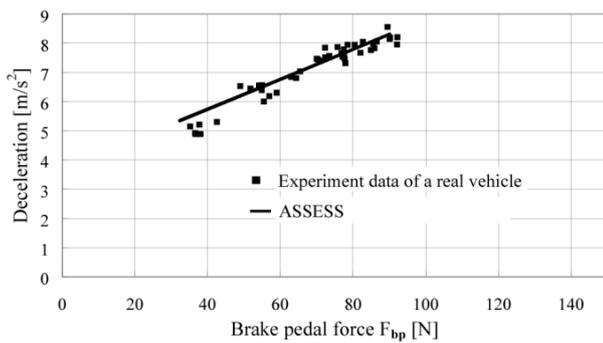


Fig.4 Deceleration of an actual vehicle and simulation results of BAS activation

で、車両モデルでは、このドライバモデルが算出するブレーキペダル踏力値を監視し、ブレーキペダル踏力値の時間変化量（踏み込み速度）が $30[\text{N}]/0.05[\text{s}]$ 以上となった場合に BAS を作動させることとした。車両モデルは、入力されたブレーキペダル踏力 F_{bp} を事前に実験データをもとに作り出した $T_{brake}-F_{bp}$ 特性関数（線形関数）に代入しブレーキトルク T_{brake} を得る。そこで、BAS 作動時の制動力を算出するために、車両モデルにおいて、通常の $T_{brake}-F_{bp}$ 特性関数の他に、この特性関数に一定値を加算するもう一つの $T_{brake}-F_{bp}$ 特性関数を準備し、BAS 作動時にはこの新たに用意した $T_{brake}-F_{bp}$ 特性関数を用いて制動トルクを算出することとした。この加算した一定値が、BAS 作動時に発揮される倍力分に相当する。

なお、図 4 に、実車両が BAS を作動させた場合に示す減速度（黒点）と車両モデルが BAS の作動を模擬した場合に示す減速度（黒線）を比較した結果を示す。その結果、車両モデルによる減速度の推定誤差は平均 2.5[%]であった。

5. BAS の効果評価

5. 1. 対象交差点の通常状況下における評価

今回の BAS の効果評価では、ドライバモデルにブレーキペダル踏力特性の異なる 3 つのタイプ（優良ドライバ型、踏力制限型、踏力過多型）を設けることで操作エラーを模擬する機能を実現した。「優良ドライバ型」のドライバモデルは、操作エラーを発生しないモデルで、混入率（当該の型が組み込まれたドライバモデルが全体に占める割合）を 80[%]とした。「踏力制限型」のドライバモデルは、ブレーキペダル踏力の最大値を優良ドライバ型ドライバモデルの最大ブレーキペダル踏力値の 44[%]に制限したモデルで、混入率を 10[%]とした。このモデルは、緊急時に強くブレー

キを踏むことができないドライバ、すなわち、追突を起ししやすいドライバを模擬したモデルである。一方、「踏力過多型」のドライバモデルは、常に優良ドライバ型ドライバモデルの 195[%]を出力するモデルで、混入率を残りの 10[%]とした。このモデルは、ブレーキペダル踏力の調整が困難でブレーキを強く踏みがちなドライバ、すなわち、追突を起されやすいドライバを模擬したモデルである。なお、今回の BAS の効果評価では、BAS の搭載率を 0[%]から 100[%]まで 20[%]刻みに変化させ、各搭載率の事故件数とニアミスの発生台数を求め比較した。ニアミスの定義は、 $4.0[\text{m/s}^2]$ 以上の減速度が発生し、かつ、他車との重心間距離が $6.0[\text{m}]$ 以内の状態が $0.2[\text{s}]$ 以上継続する状態とした。シミュレーションの期間は、720 時間相当（昼間のみ）とし、この期間内に出現した車両は 516,968 台であった。シミュレーションの結果、いずれの搭載率においても事故は発生しなかった。一方、ニアミスは発生したが搭載率によらずほぼ一定（搭載率 6 条件（0,20,40,60,80,100[%]）の平均：139.5 件及び標準偏差：4.84）であった。これより、対象交差点の交通状況下ではニアミスの低減に BAS の普及が寄与しない可能性が示唆された。ただし、これは、BAS の搭載の有無に関わらずニアミスの発生率（ニアミス発生台数／出現台数）が平均 0.027[%]と低いことから、対象交差点の交通状況では BAS が作動する状況が起こりにくいことが一因であると考えられる。

5. 2. 対象交差点の緊急状況下における評価

次に、5.1 節の通常状況下のシミュレーション環境において優先道路を走行する車両の交通流を用いて、急制動が要求されるような緊急状況下における BAS の効果評価を行った。本評価で用いた緊急状況は、まず、優先道路の一方から進入する車両を前方車と後方車の 2 台 1 ペアとして捉え、このペア単位で交差点内に進入させる。そして、前方車が交差点手前の停止線を越えた時点で非優先道路から車両を飛び出させ、その際、前方車は発揮できる最大の減速度で急制動をかけるといった緊急状況を後方車に対して創り出した（図 5）。BAS の効果評価は、この後方車の BAS の搭載率を変化させ、後方車の事故件数、ニアミスの発生台数を算出した。シミュレーション期間内に出現する前方車と後方車のペア数は 7000 ペアとした。なお、後方車には踏力制限型のドライバモデルを組み込むこととした。

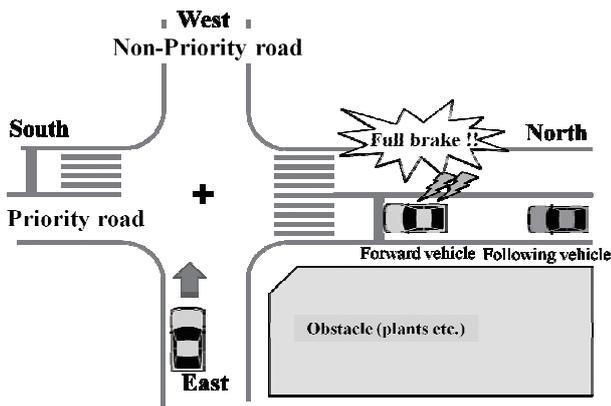


Fig.5 Emergency situation at the target intersection

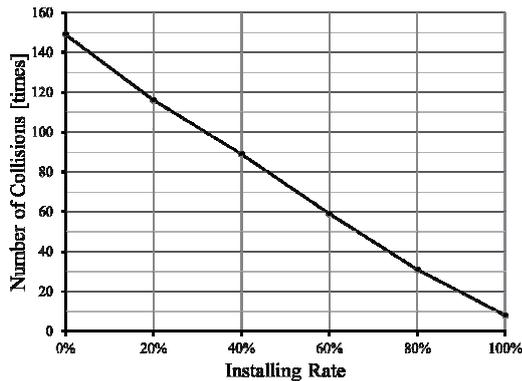


Fig.6 Number of collisions in emergency situation

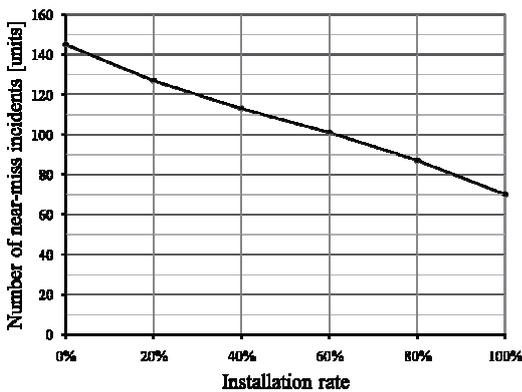


Fig.7 Number of near-miss incidents in emergency situation

図6に搭載率の変化に対する衝突件数の変化を示す。衝突件数は、搭載率0[%]では147件発生したが、搭載率が高くなるにつれて減少し、搭載率100[%]では11件まで減少することが確認された。また、図7に搭載率の変化に対するニアミス発生台数の変化を示す。ニアミスの発生台数は、搭載率0[%]では145台であったが、BASの搭載率が高くなるにつれて事故件数同様に減少し、搭載率100[%]では69台まで減少した。

6. まとめ

ASSESSによって創り出された交通流は、交差点進

入時の速度分布、車頭間隔において実交通流と同等であることが既に確認できていることに加え、交差点の通過時間においても実交通流と有意差がないことが確認された。本研究では、このように一定の妥当性の確認がとれたASSESSを用いて踏み込み速度検知型BASの効果評価を行った。本評価では、まず、対象交差点として選定した実交差点の交通流を同等に再現する状況下で評価を行った。その結果、衝突は発生せず、ニアミス発生台数はBASの搭載率によらずほぼ一定であり、対象交差点で発生している交通状況を再現した今回の環境ではBASの普及による効果は確認できなかった。しかしながら、BASが作動することを想定しているような前方車が突然急制動をかけるという緊急状況下における後方車のBASの効果評価を行った結果、後方車を一定以上の力でブレーキペダルを踏むことができないドライバーが運転していた場合、BASは、衝突、ニアミスともに大きく減少させる効果（衝突：搭載率100[%]で92%減、ニアミス：搭載率100[%]で36%減）が認められた。

今後は、さらに各エージェントの挙動を実車両の挙動に近づけるとともに、他の先進的な予防安全支援システムの効果評価にも取り組む予定である。

参考文献

- [1] Kitaoka, H., Kurahashi, T., Mori, H., Machida, T., Iwase, T.: STREET: Simulator for safety evaluation -Reproduction of traffic accidents and evaluation of safety systems-, 15th ITS world congress, CD-ROM, pp.1-12 (2008)
- [2] Furukawa, Y., Seki, K., Fujikawa, T.: Development of universal driver model for predictive evaluation of drive assist systems, 15th ITS world congress, CD-ROM, pp.1-9 (2008)
- [3] 田中信壽・森田和元・青木義郎・安本まこと・廣瀬敏也：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)を用いたブレーキアシストシステムの効果評価に関する検討，自動車技術会春季学術講，演会前刷集，No.39-11，pp.7-12 (2011)
- [4] 青木義郎，関根道昭，田中信壽，森田和元，高木俊介：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)のための交通流発生手法，自動車技術会論文集，Vol.41，No.2 pp259-264 (2010).