

自動車の制動を対象とした高度運転支援システム

Advanced Driving Support Systems for Braking of Vehicle

廣瀬 敏也^{*)}

Toshiya Hirose

本論文は、ブレーキシステムを対象とした運転支援システムと運転者の運転特性について述べる。次に運転支援システムの一つであるブレーキアシストシステムの作動閾値と効果に関して、実車両を用いた実験的検討について述べる。

This paper shows the relationship between the driving support systems and the driving characteristics of driver for the braking systems. In the case of Brake Assist Systems (BAS), this paper investigated the relationship between the activation thresholds and effects of BAS.

1. はじめに

運転支援システムは、交通事故の低減や運転負担の軽減などを目的に様々なシステムが開発され、商品化されている。その中でも安全への寄与が大きいブレーキシステムは、例えば前方車両との車間距離を一定に保つように車両の加減速を支援するアダプティブクルーズコントロール、運転者のブレーキ力の不足を補うブレーキアシストシステム、衝突する直前に制動を行ない衝突速度の低減を図る被害軽減ブレーキ、4輪独立にブレーキを制御し、車両の安定化を図るスタビリティコントロールなどがある。これらのシステムは、すでに商品化されており、実交通環境の場において効果を得ているものと考えられ、スタビリティコントロールは世界統一基準(GTR:Global Technical Regulation)の策定が行なわれている。これらのシステムの構築にあたり、統一的に考えられる困難な点は、運転者の操作との干渉であり、運転特性の異なる運転者をほぼ網羅して考えなければならないことである。例えば被害軽減ブレーキは、制動のタイミングを運転者の操作と干渉しない領域のガイドラインを設けてシステム構築を行なっている。また、これらのシステムは、作動することで効果を得ることができるが、例えばブレーキアシストシステムのように運転者の操作がトリガーとなり、作動するシステムは

作動・非作動が運転者の操作に依存する。このように運転支援システムは、運転者の運転特性とどのように合致させるかが、今後のシステム構築の鍵となり、それが次世代の高度運転支援システムのキーイシュー(Key issue)である。

2. 運転支援システムと運転特性

(1) ブレーキアシストシステム

運転者は、緊急時に十分な踏力でブレーキを踏み込むことのできない場合があり、緊急時にブレーキ性能を発揮できないことが指摘されている¹⁾。これらのドライバを支援するため、急ブレーキ時に車両側が自動的にブレーキ力を増加させる倍力装置(ブレーキアシストシステム、以下BAS)が開発され、1997年から市販車へ装着されはじめている。BASは運転者のブレーキ操作から制動の意志を推定し、緊急ブレーキと判断した場合にブレーキ力を増加させる装置である。運転者のブレーキ操作から制動意志を推定する方法には、ブレーキの踏み込み速度(踏み込み速度検知型BAS)を検知して推定する方法とブレーキ踏力(踏力検知型BAS)を検知して推定する方法があり、両方の手法を組み合わせたものもある。図1にそれぞれのシステムの作動原理を示す。

*) 独立行政法人 交通安全環境研究所・自動車安全研究領域・研究員

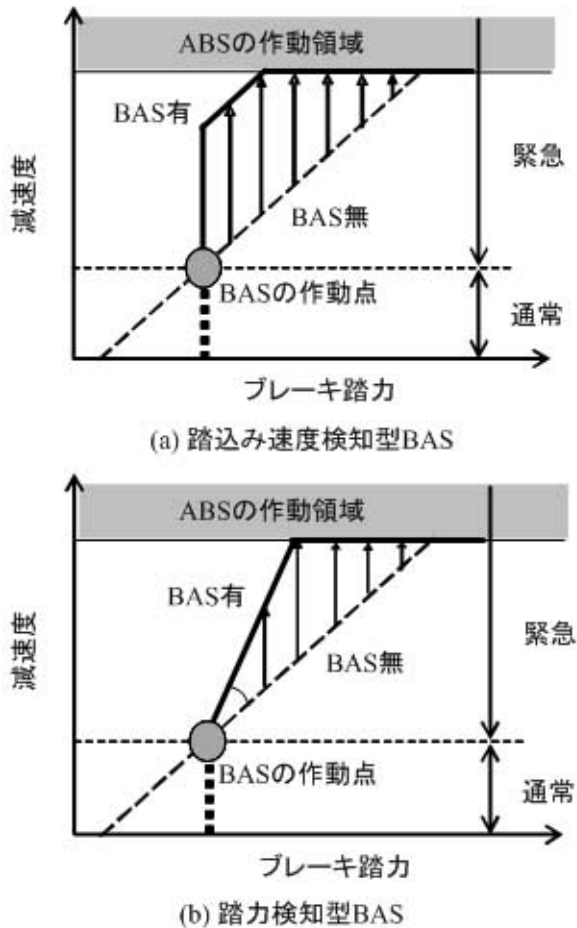


図1 ブレーキアシストの種類
Fig-1 Kinds of Brake Assist Systemus

踏み込み速度検知型BAS(図1(a))は、踏み込み速度が一定の値(閾値)以上になると、運転者が緊急ブレーキを踏んでいると判断し、BASを作動させて制動力を増加させる。踏み込み速度検知型BAS(図1(b))は、踏み込み速度が一定の値(閾値)以上になると、運転者が緊急ブレーキを踏んでいると判断し、BASを作動させて制動力を増加させる。

踏み込み速度検知型BAS、踏み込み速度検知型BASは、効果を有するためには作動閾値の設定が重要となる。すなわちBASの作動閾値は、緊急時には有効に作動しつつも通常時には作動しないような値に設定しなければならない。このような観点からBASの作動閾値は、以下の性能要件を満足するように設定される必要がある。

- (1) 緊急時に正しく作動し、所定の効果を発揮すること
- (2) 通常時に作動しないこと
- (3) 運転者の制動動作のみから緊急ブレーキの判別が可能であること

(2) 被害軽減ブレーキ

前方障害物への衝突事故に対して警報と自動制動によって衝突時の衝突速度を低減し、衝突による被害を軽減する衝突軽減ブレーキシステムの研究開発が行なわれている。このシステムは、国土交通省より技術指針が定められており、運転者のシステムへの過信を配慮した上での警報および自動制動の作動タイミング、減速度の大きさなどが規定されている。自動制動の作動タイミングは、前方車両との衝突を制動および操舵により回避できる限界の衝突時間(以下、TTC)と通常の運転において回避操作を開始するTTCにより規定されている。被害軽減ブレーキは、運転者の操作に干渉することを避け、運転者が操作しても衝突を回避できない操作タイミングを予め求めて、それを自動制動の作動タイミングのガイドラインとしている。

衝突軽減ブレーキシステムは、走行速度が15km/h以上で法定速度以下で作動する。自動制動における作動減速度は、乗用車が 5.0m/s^2 以上、大型車が 3.3m/s^2 以上とされている。運転者が制動により回避を行ない、それが衝突軽減ブレーキシステムの作動減速度を上回るものであれば、運転者の制動を優先しシステムをオーバーライドできる仕組みである。

自動制動の作動タイミングは、前方車両との衝突を制動および操舵により回避できる限界のTTCを制動回避限界、操舵回避限界とし、双方の小さい方を結んだラインを衝突判断ラインとしている。また、通常の運転において制動および操舵により回避操作を開始するTTCを通常制動回避下限、通常操舵回避下限とし、衝突回避を行なう下限を衝突可能性判断ラインとしている。図2は乗用車を対象にその概念図を示す。なお、

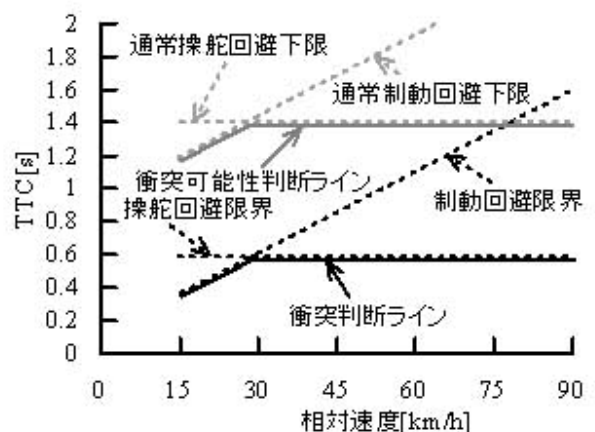


図2 被害軽減ブレーキの作動タイミング
Fig-2 Activation timing of Collision Mitigation Brake System

衝突可能性判断ラインは、通常操舵回避下限をもとに作成したものである。よって自動制動は、乗用車の場合はTTCが1.4秒、大型自動車の場合はTTCが1.6秒から開始が可能である。また、この他にも減速度が 0.98m/s^2 以上、 2.45m/s^2 以下であり、かつ、その持続時間が0.8秒未満である制動は警報として使用してもよいことになっている。また、音および表示による警報および報知のタイミングを規定している。警報は運転者に危険事象を知らせるものであり、報知は運転者にシステムの作動を知らせるものである。警報の作動タイミングは、衝突可能性判断ラインから衝突判断ラインに至る間の制動制御の開始に0.8秒を加えた時点より前に音および表示を提示するものであり、報知は衝突判断ラインに0.8秒を加えた時点より前に提示するものである。

3. BASの作動閾値と効果

ここでは、緊急時の運転者のブレーキ操作特性に関する実験を行ない、ブレーキアシストの作動閾値と効果について検討する。実験は、運転者の緊急回避制動時におけるブレーキペダルの踏み込み速度とブレーキ踏力を計測し、その特性分布を求める。

これにより、踏み込み速度検知型BAS及び踏力検知型BASが緊急時に有効に作動するために必要な作動閾値について検討を行なった。

3.1 実験装置

図3に本研究で用いた実験車両及び計測装置を示す。本実験は、テストコース(全長約3km、直線部往路復路各約1km)の周回路の直線部に一カ所見通しの悪い交差点を想定した試験ポイントを作り、その



図3 実験車両および計測装置
Fig-3 Test vehicle and measurement tools

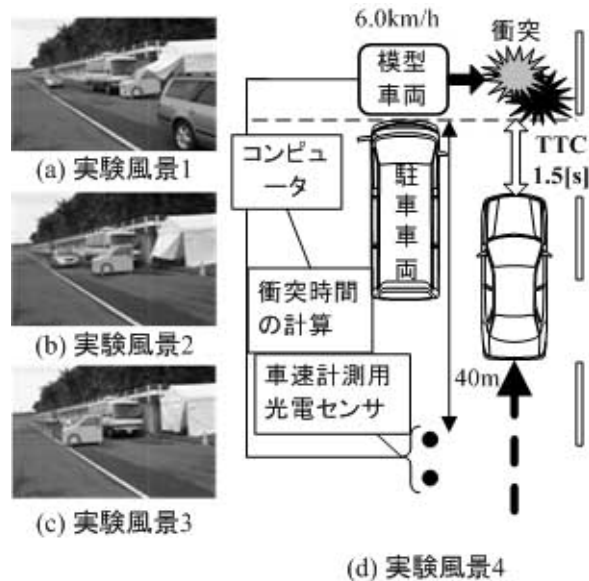


図4 実験風景
Fig-4 Experimental condition

ポイントで模型車両を飛び出させ被験者に緊急操作を行わせるものである。図4に実験風景および模型車両の外観を示す。模型車両は、発泡スチロールを加工して作成しており、車両に見立てるために表面に車両の外観を描画している。本実験は、緊急場面を想定していることから被験者には、あらかじめ追従走行の実験を実施する旨を伝え、模型車両の飛び出しがあることは伝えずに実施する。

まず被験者は、慣熟走行を行なうために $1 \sim 3\text{m/s}^2$ の制動を繰り返す先行車両の後方を任意の車間距離にて1周追従走行を行なう。その後、模型車両を所定の箇所から先行車両と後続車両の間に飛び出させて被験者に緊急場面を体験させる。

模型車両を飛び出させる場面では、試験車両の車両速度が 40km/h となるように先行車両が誘導する。模型車両が飛び出すタイミングは、模型車両の飛び出し速度(約 6.0km/h)と試験車両の速度から算出した衝突時間が1.5秒となるように設定する。なお、試験車両の速度は、衝突地点から後方40mの地点でオプティカルセンサーによって計測する。模型車両は、傾斜させた台の上にフックにて固定し、このフックを上下させることでロックが解除し、試験車両の前方に飛び出す。このフックはコントロールユニットで制御され、自動的に上下する構造となっている。コントロールユニットは、「事前計測した模型車両の飛び出し速度」、「実験毎にオプティカルセンサーにより計測される試験車両の速度」を入力し、設定したTTCにて衝突が実現されるように

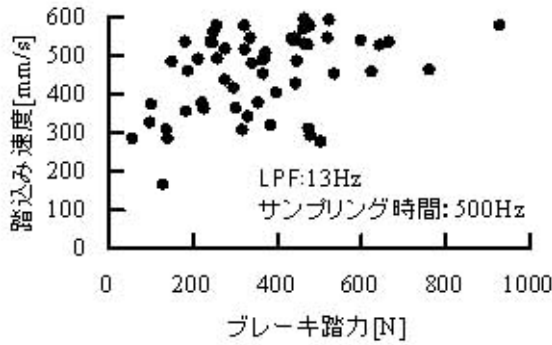
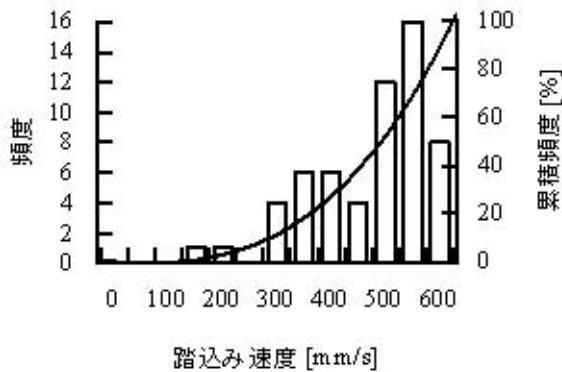
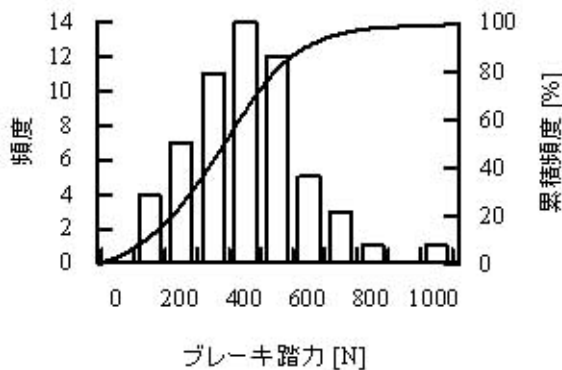


図5 ブレーキ踏力と踏込み速度の関係
Fig-5 Relationship between pedal force and stroke speed



(a) ブレーキペダルの踏込み速度の分布



(b) ブレーキ踏力の分布

図6 踏込み速度,踏力の分布
Fig-6 Distribution of stroke speed and pedal force

フックを自動的に制御する。

実験の被験者は、一般ドライバー57名(20歳代~80歳代までの男性38名,女性19名)である。

3.2 実験結果

図5は、模型車両の飛び出しにより緊急ブレーキ操作を行った際のブレーキ踏力とブレーキペダル踏込み速度の関係を示す。これよりドライバーのブレーキ踏力は、56Nから927.4Nまで分布しており、踏込み速度は167.6mm/sから595.0mm/sまで分布している。本試験より、ドライバーの緊急時のブレーキ特性は、多岐にわたり緊急時であっても踏力および踏込み速度の大きい

ブレーキ操作ができない運転者がいることがわかる。これは、ブレーキアシストが搭載されている車両であっても作動閾値の設定によっては、作動しない可能性があることを意味している。

図6は、ブレーキペダル踏込み速度とブレーキ踏力におけるヒストグラムと累積頻度の関係を示す。図6より、ブレーキアシストの作動閾値と緊急時における作動割合を検討することができる。つまり、踏込み速度検知型BASは、50%の運転者に作動させるためには450~500mm/sに設定し、80%に作動させるためには300~350mm/sに設定する必要がある。踏力検知型BASは、50%の運転者に作動させるためには350~400Nに設定し、80%に作動させるためには200~250Nに設定する必要がある。なお、踏込み速度は踏込み変位のデータをローパスフィルタのカットオフ周波数13Hzで整形したものを数値微分したものを使用した。

4. おわりに

本論文は、ブレーキシステムを対象とした運転支援システムと運転者の運転特性について述べ、運転支援システムの一つであるブレーキアシストシステムの作動閾値と効果に関して、実車両を用いた実験的検討について述べた。運転支援システムは、運転者の運転特性とどのように合致させるかがシステム構築の鍵となり、運転者のブレーキペダル操作が作動閾値となっているBASはその傾向を強く示している。

すでに医療の分野では、ゲノム研究の進展にともない遺伝情報をもとにした個人に合った予防・治療を可能にする医療、すなわちテーラーメイド医療を目指すプロジェクト研究が進められている。このテーラーメイドの考え方は、これからの運転支援システムや自動運転の基本概念として大切なものと考えられる。自動車の分野も同様に、個々の運転者の特性を反映したテーラーメイド運転支援システム²⁾が次世代の高度運転支援システムには必要になってくるものと考えられる。

参考文献

- 1) T. Hirose, T. Taniguchi, T. Hatano, K. Takahashi, N. Tanaka, A study on the effect of Brake Assist Systems (BAS), SAE World Congress & Exhibition, Brake Technology, SP-2188, 81-87, 2008.
- 2) T. Hirose, Y. Oguchi, T. Sawada, Framework of Tailormade driving support systems and neural network driver model, IATSS RESEARCH, Vol.28, No.1, 108-114, 2004.