

衝突軽減ブレーキの評価に関する研究 Study on Evaluation of Collision Mitigation Brake System

澤田東一 (芝浦工業大学) 廣瀬敏也 (交通安全環境研究所)
春日伸予 (芝浦工業大学) 銭谷真拓 (芝浦工業大学大学院)
Toichi Sawada, Nobuyo Kasuga, Masahiro Zeniya (Shibaura Institute of Technology)

本研究は衝突軽減ブレーキシステムの作動範囲の拡大を検討し、システムの評価を行うことを目的とした。その結果、以下のことが明らかになった。運転者が必要と判断する制動と同等の自動制動を行うシステムは、依存性が高くなる。普通車において、TTCが1.4s、減速度 5.0m/s^2 で自動制動する衝突軽減ブレーキシステムは車速によらず依存する可能性は低い、高速域では安全性が低くなる。

Key words: Human Interface, Automobile, Brake System, Collision Mitigation, Driving Simulator

1. はじめに

ASVの一環として前方障害物への衝突事故に対し、警報と自動制動によって衝突時の衝撃を軽減する衝突軽減ブレーキシステムが開発されている。しかし、現行のシステムでは衝突軽減の効果が十分とは言えず、特に走行速度が高速になるほどその効果は低い。また、システムの作動タイミングはほとんどの場合制動回避が不可能なタイミングであり、人の通常の運転動作と比較して制動開始が遅すぎる。そこで、その遅い部分をシステムの作動タイミングを早めることによって補い、衝突軽減の効果を高めることが求められている。しかし、システムによっては衝突の危険性が低くなることで、運転者がシステムに依存し、運転への従事度合いが低下することや、運転者が判断した回避動作とシステムの動作が重複し、運転者がシステムの動作に対して不信や不快を感じる事が考えられる。このようなことはあってはならない。

本研究は、運転者の制動動作を解析することで、衝突軽減ブレーキシステムの作動範囲の拡大を検討し、システムの評価を行うことを目的とした。

2. 衝突軽減ブレーキシステム

2-1 現行の作動範囲

走行速度が 15km/h 以上で、法定速度以下で作動する。前方障害物とのTTCが 0.6s 以下となる場合に自動制動を行うが、その 0.8s 前(TTC= 1.4s)に警報を行い、運転者に回避動作を促す。自動制動における作動減速度は普通車が 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減速度によるものであれば、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が、システムの作動減速度以下であれば、システムの自動制動が優先される。システムのセンシング能力にもよるが、基本的に前方障害物の運動は変化しないものとする。

2-2 拡大範囲の検討

本研究では2-1の作動範囲を基本としてシステムの作動範囲を拡大することで、衝突軽減の効果を高める方法について検討する。図1に検討する拡大したシステムの作動条件を

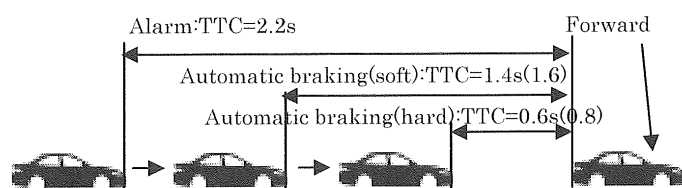


Fig. 1 衝突軽減ブレーキシステムの作動拡大

示す。自動制動の開始が現行のシステムと比較してTTCで 0.8s 早くなるが、現行のシステムと比較して作動が早い場合、現行の基準で作動減速度を定めた場合、運転者がシステムに依存する可能性がある。そのため、自動制動を減速度の大きさの違う弱自動制動(TTCが 0.6s 以上、 1.4s 以下)と強自動制動(TTCが 0.6s 以下)の2段階にして、システムの制動能力を調整することで運転者が依存しにくく、衝突軽減効果の高いシステムの構築を目指す。なお、本研究で構築したシステムは、警報は音により提示する。

3. 実験装置および方法

実験は主にドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いて行った。DS全体を傾けることで、運転者が感じる前後加速度および横加速度を模擬している。

普通車の場合タイヤと路面の間の摩擦係数は 0.8 で計算している。ABSや減速度の発生には時間が必要なため、停止までの減速度を平均すると 7.0m/s^2 程度で頭打ちとなる。また、大型車の場合、タイヤと路面間の摩擦係数は 0.45 で計算しており、減速度は 4.0m/s^2 程度で頭打ちとなる。

衝突軽減ブレーキシステムの評価と作動範囲の検討を行うため、以下の実験を行った。なお、本研究における前方障害物は、停止状態の普通車両とした。

(1) 実車による減速度の主観的評価(実験1)

普段使用する範囲の減速度や減速度に対する感覚を実車実験による主観的評価によって計測した。

(2) 衝突軽減ブレーキシステムの作動タイミングにおける緊急制動回避動作の計測(実験2)

直線路を走行中に、突如現れる前方障害物に対する制動動作を計測した。前方障害物が現れる距離は、衝突軽減ブレーキシステムが警報を行うTTCに相当する距離とした。

(3) 脇見中に作動する衝突軽減ブレーキシステムの評価(実験3)

DS上で直線路を走行中、指示音に従って脇見を行い、脇見中に作動する衝突軽減ブレーキシステムについて評価を行った。脇見はセンターコンソールに設置した7inchモニターに表示される文字を見ることとした。

4. 実験結果

図2は減速度の大きさによる感覚に対する、実車を用いた主観的評価の結果である。これより、被験者は減速度 5.0m/s^2 での制動動作は強く、不快で普段使用しない範囲の減速度であると感じる事が明らかとなった。

図3に衝突軽減ブレーキシステムの警報タイミングに対する主観的評価の結果を示す。普段の制動タイミングと比較した場合、衝突軽減ブレーキシステムの作動はすべて「遅い(評点3)」以上の評価であり、走行速度によらず最も多い

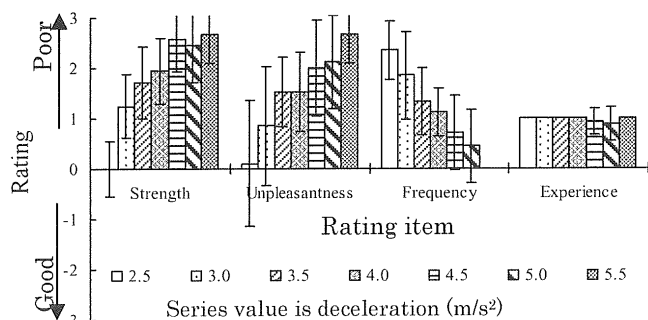


Fig.2 実車による減速度の主観的評価

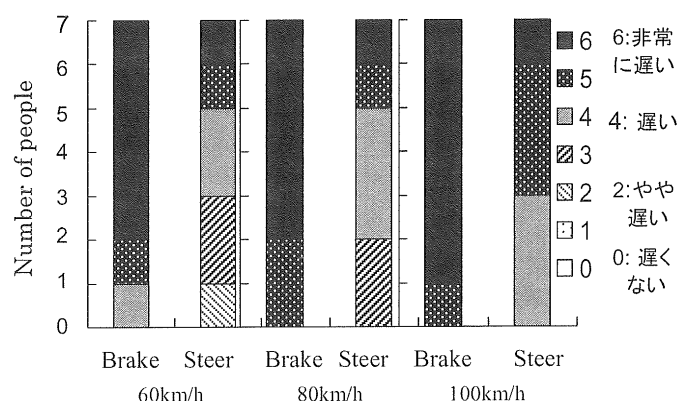


Fig.3 通常動作と比較した警報タイミングの遅さの主観的評価

評価は「非常に遅い(評点6)」であることを示す。また、走行速度が上がるほど評点が高くより遅いと評価する傾向を示す。このことは、システムの作動タイミングに対する評価が速度に影響されていることを示すものと考えられる。

図4に80km/hでの衝突割合と、衝突速度低減率を示す。被験者間のばらつきが大きく、衝突割合は17～100%、衝突速度低減率は80～90%が多くみられる。ここには提示していないが100km/hでは全被験者が100%衝突し、速度低減率は40～60%であった。被験者の制動はシステムの作動減速度が7.0m/s²であっても、ほとんどの場合システムよりも速度低減率が高くなることがわかった。

以上の結果より、走行速度が高いほど衝突軽減ブレーキシステムによる衝突速度軽減効果が低いため、システムへ依存する可能性が低いことが明らかとなった。走行速度が高い場合、システムの作動タイミングをもう少し早くしても依存する可能性は低いと考えられる。そこで、新たな作動条件として平均減速度5.0m/s²で制動した際の衝突速度が15km/hとなるタイミングを定め、この衝突軽減ブレーキシステムについて評価を行った。以下に、提案するシステムにおいて自動制動が作動する条件の式を示す。

$$TTC \leq \frac{(V_t^2 - V^2)}{2a_s V} \dots 1$$

V : 走行速度(m/s)
 V_t : 衝突速度(m/s)
 a_s : システムの作動減速度(m/s²)

図5のType Cはこの式の定数を $V_t=4.16$ 、 $a_s=5.0$ としたものである。

提案する作動条件のシステムとこれまでのシステムの比較評価を行うため、Type A～Cの3つのシステムについて実験を行った。Type AはTTCが1.4sとなった時に自動制動が作動するシステムであり、拡大検討してきたものである。Type Bは前方障害物衝突軽減装置の技術指針に記載されている通常制動回避下限で自動制動が作動するシステムである。実験は走行速度を40、60、100km/hとし、減速度は一律5.0m/s²で行った。作動するシステムを自動制動の作動が早

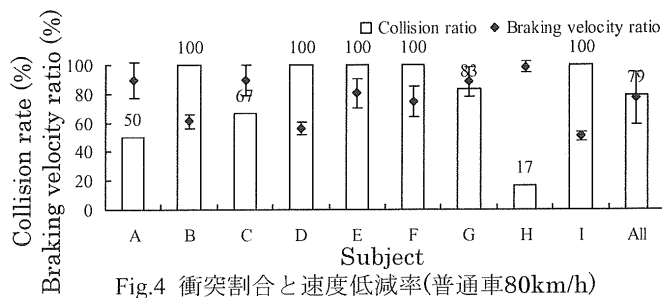


Fig.4 衝突割合と速度低減率(普通車80km/h)

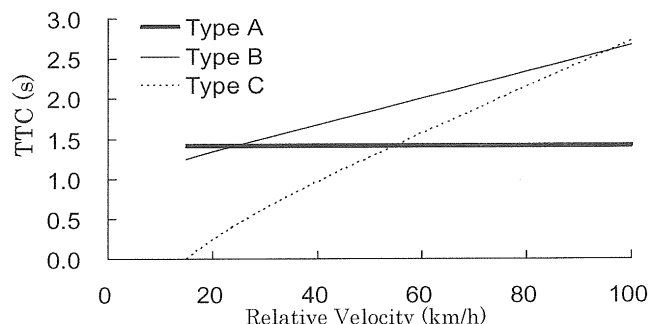


Fig.5 各システムの自動制動が作動するTTC

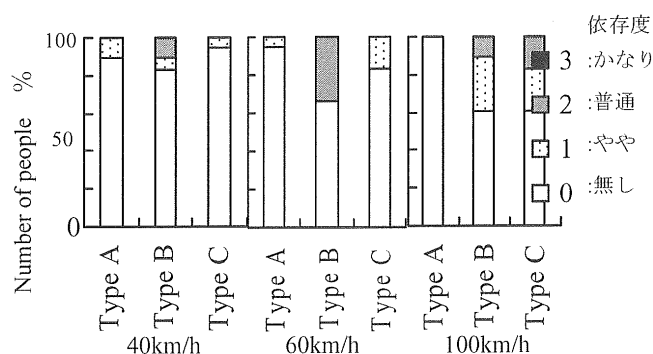


Fig.6 システムへ依存する主観的評価

い順に並べると、図5より40km/hではType B, Type A, Type C, 60km/hではType B, Type C, Type A, 100km/hではType C, Type B, Type Aであることが分かる。Type BはType Aと比較して相対速度の全域で自動制動の作動が早い。Type CはType Aと比較して低速域では作動が遅く、高速域では作動が早くなるため、衝突軽減効果が高いと考えられる。

図6にシステムへの依存性を示す。Type Aは走行速度40km/h以上であれば、依存性は低いことが明らかとなった。Type Bは制動動作に依存はみられなかったが、主観的には他と比較して依存性が高いことが明らかとなった。特に走行速度が60km/hではその傾向が顕著であり、走行速度が速いほど依存性が高い。提案するType Cは走行速度60km/h以下では依存性が低い、100km/hではやや依存性が高いことが明らかとなった。

5. おわりに

被験者の制動動作には速度が高くなるに従い減速度が大きくなる傾向がみられる。よって、減速度を一定ではなく速度によって変化させることで、人間の制動動作の感覚に合い、違和感がなく依存しにくいシステムになるものと考えられる。今後これについてさらに実験を行う予定である。実験解析にご協力いただいた元本学院生川上貴文氏に感謝いたします。

参考文献

- (1) 鈴木桂輔, 佐藤健治, 前方障害物衝突防止支援システムの制御方法に関する一考察, 自動車技術, Vol.57, No.12, 2003. 他