

6. 大型車の衝突被害軽減ブレーキに係る国際基準への提案について

自動車安全研究領域 ※廣瀬 敏也 波多野 忠 児島 亨 谷口 哲夫

1. はじめに

交通事故時の衝突速度は、その僅かな違いにより被害の大きさが異なる。交通事故への究極の対策は、車両を衝突させないことであり、この方向を目指して研究・開発が行われており、低速度域の限定された条件でこのような機能を持った車両も発表されている。交通事故対策の一つは、車両を衝突させないことと述べたが、その技術の一手手前として冒頭でも述べたように衝突速度を低くすることで、ドライバに与える被害を軽減する技術がある。これが本稿にて取り上げている衝突被害軽減ブレーキシステムである。

日本では、自動車の周囲環境の検知技術や車両の制御技術の進歩に伴い、自動車が積極的に事故防止に努める予防安全装置の研究開発が行われてきた。このプロジェクトは、先進安全自動車（Advanced Safety Vehicle：ASV）と呼ばれ、これまでに追従走行時の運転者の負担を軽減する車間維持支援システム（Adaptive Cruise Control）、車線の中央を走行するようにハンドル操作を支援するレーンキープアシストシステム（Lane Keep Assist System）、夜間走行の際に赤外線センサーにより前方情報を検知して警報するナイトビジョンシステム（Night Vision System）などのシステムを作り上げてきた。現在、ASVプロジェクトでは、さらに将来の協調支援システムについて検討を進めており、自動車と自動車がお互いの位置情報などを通信し、日本で最も死亡事故が多いとされている見通しの悪い交差点での出会い頭事故の対策まで行うことが可能とされている。衝突被害軽減ブレーキシステムもまたASVプロジェクトの中で開発されてきた技術であり、それは前方車両などの衝突対象となる物体をセンサーにより検

知し、衝突の危険があることを運転者に警報し、それでも運転者が衝突回避行動を取らなかった場合に自動的にブレーキ装置を作動させて、衝突までに車両の速度を低下させるシステムである。

この衝突被害軽減ブレーキは、まずトラックやトレーラといった大型車への基準化が国際的に進められている。大型車を対象としているのは、大型車はその大きさ故、一度事故につながると被害が大きくなり、効果が大きいことによる。

当所では、日本の衝突被害軽減ブレーキの基準策定において、その性能を評価するための実験的検証を行い、試験方法の規定に資するデータを得る研究を行った。また、同じく当所の自動車基準認証国際調和技術支援室において、国際基準調和活動を支援する活動を行っており、衝突被害軽減ブレーキについても同様の活動を行っている。

本稿は、大型車の被害軽減ブレーキについて、国際調和基準の動向を踏まえた上で、日本の交通事故実態における被害軽減効果に触れ、当所で検討を行った性能評価法について述べる。

2. 衝突被害軽減ブレーキの国際調和基準

前述したように現在、様々な予防安全装置の研究開発が行われ、一部の装置は、基準によりその性能を保障し、自動車への装着の義務付けを検討しているものがある。現在、国際基準の動向を見てみると、欧州経済委員会が定めているECE基準、米国が定めているFMVSS、その2つを統一して世界統一基準としたGTR（Global Technical Regulation）がある。日本は、ECE基準を批准することになっており、これまでECE基準が段階的に導入されている。例えば、乗用車の制動装置、乗用車用タイヤ、四輪車灯火器取り付け、側面衝突乗員保護などがある。ま

た、世界統一の技術基準（GTR）の策定も進められており、ESC（車両の横滑り防止装置）はすでに制定されている。また、米国が先行する形で基準化が行われたTPMS（タイヤ空気圧検知システム）は、欧州でも検討が進んでおり、ECE基準の中に入れられることとなっている。今後の予防安全装置の基準化については、ECE基準では衝突被害軽減ブレーキ・車線逸脱警報システムを取り上げることになっており、これらの検討が進んでいる。図1は、欧州における各種予防安全装置の効果を推定したものであり、衝突被害軽減ブレーキシステム（欧州では、Advanced Emergency Brake Systems : AEBSの中に含まれている）、車線逸脱警報システム（Lane Departure Warning Systems : LDWS）が交通事故の死亡者および負傷者の減少に大きく寄与する結果となっている。このような結果にもとづき欧州では、衝突被害軽減ブレーキ・車線逸脱警報システムを2013年から大型車に義務付けることを検討しており、ECE基準の中で基準策定の作業を行うこととなり、その活動が開始されている。

日本では、2003年に衝突被害軽減ブレーキの技術指針をすでに制定しており、技術基準の検討も開始

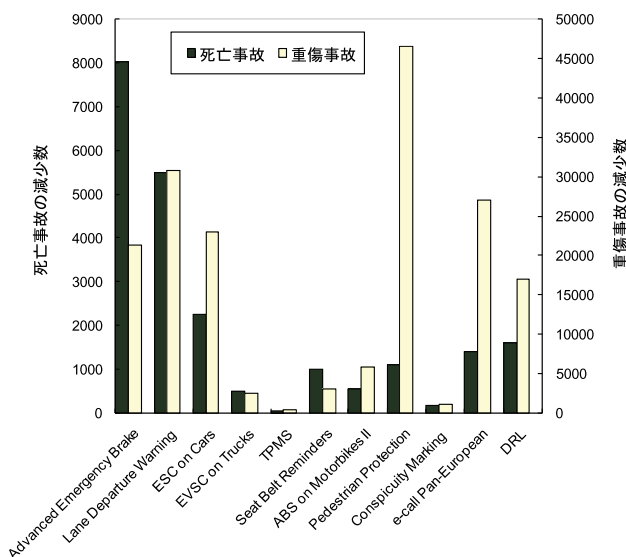


図1 欧州における予防安全装置の効果を推定(1)

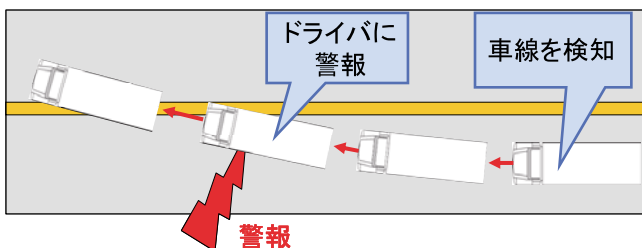


図2 車線逸脱警報システム(LDWS)

していた。そこで、日本は市場での経験も多く、法制化の活動も先行していたことからECE基準の中で積極的に貢献している。

3. 日本における交通事故実態

図3は、大型車における交通事故の状況を事故形態の違いによりまとめたものである。これより、日本における大型車の事故形態は、後方からの追突事故の割合が大きく全体の事故の55%の割合を占めている。

図4は、高速道路および一般道における追突事故の死亡事故割合を大型車および乗用車ごとに示したものである。これより、高速道路および一般道において、大型車の死亡事故割合は大きく、高速道路では一般道に比べて5倍ほど死亡事故が多くなっていることがわかる。

図5は、大型車の追突事故における前方車両の状態（停止および移動）を高速道路および一般道において示したものである。なお、データは死亡事故、重傷事故、軽傷事故ごとに示している。これより、高速道路では、移動している前方車両へ衝突する割合が高くなっているが、一般道では、停止している

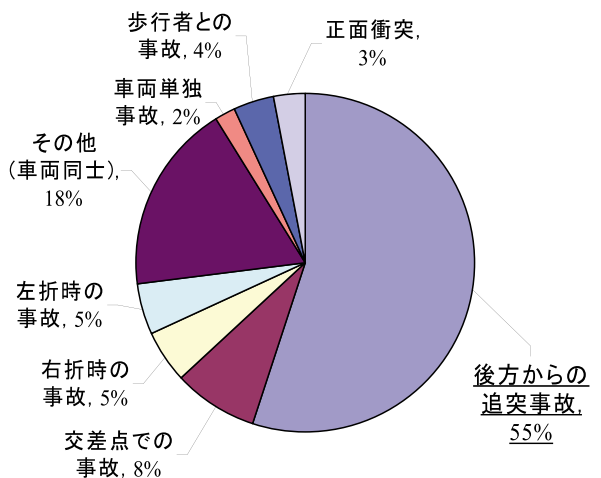


図3 大型車における交通事故形態

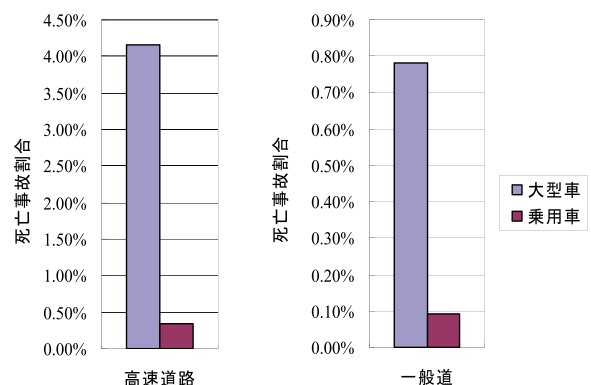


図4 追突事故の死亡事故割合

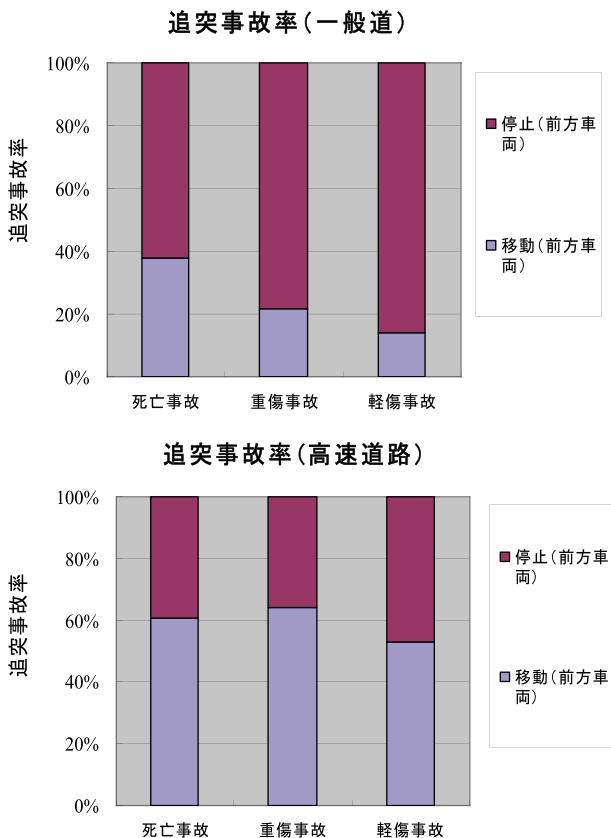


図5 前方車両の状態(停止および移動)

前方車両に衝突する割合が高くなっている。また、すべての事故を通してみると、前方車両の状態（停止および移動）に係らず衝突事故が発生していることがわかる。

これらの事故データより、日本では大型車の後方からの追突事故の割合が多く、高速道路では一般道に比べて5倍ほど死亡事故が多くなっている。衝突までに車両の速度を減少させる衝突被害軽減ブレーキは、日本において有効な交通事故対策になるものと考えられる。また、交通事故実態から考えると衝突被害軽減ブレーキは、前方車両が停止または移動状態にあることを検知し、警報および自動制動を作動させなければならない。

4. 被害軽減効果

衝突被害軽減ブレーキによる衝突速度の低減の効果を推定するために各追突事故における死亡事故の割合を得る。図6は、大型車における2001年～2003年までの死亡事故の割合を衝突速度ごとに示している。なお、図中のプロットは死亡事故の割合を示し、曲線はプロットの近似曲線である。これより、大型車の追突事故の場合では、図4と同様に高速道

路などの高い速度域における死亡事故の割合が多くなっている。また、近似曲線でみると衝突被害軽減ブレーキにより衝突速度が80km/hから70km/hに減少すると、死亡率が半分になっていることがみられる。この結果をもとに衝突被害軽減ブレーキによる衝突速度の低減の効果をそれぞれの衝突速度域ごとに計算を行ったものを図7に示す。なお、図7(a)は衝突被害軽減ブレーキにより衝突速度が10km/h減少した場合であり、図7(b)は衝突速度が20km/h減少した

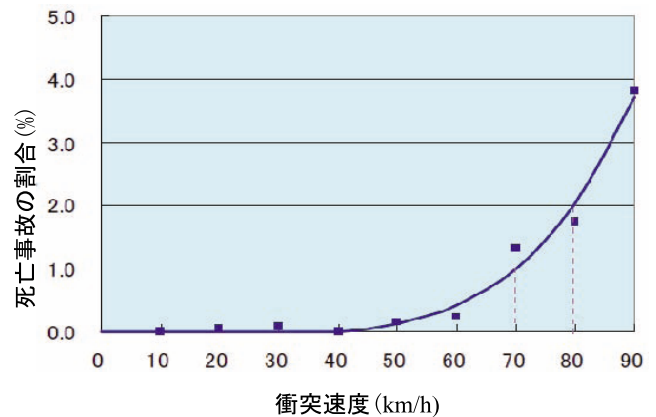
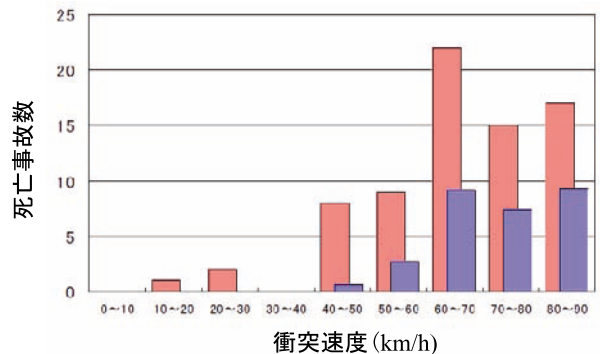
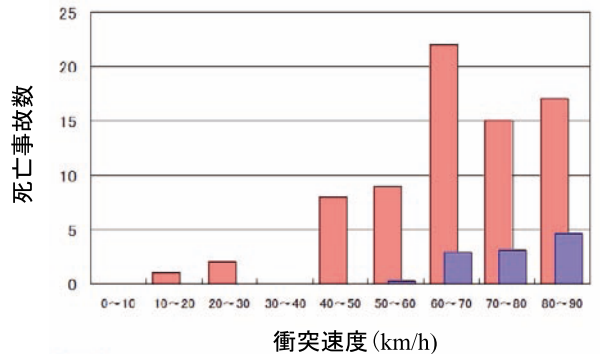


図6 衝突速度と死亡事故の割合



■ 死亡事故数
■ AEBSを利用した場合の死亡事故予測数

(a) 衝突速度が10km/h減少した場合



■ 死亡事故数
■ AEBSを利用した場合の死亡事故予測数

(b) 衝突速度が20km/h減少した場合

図7 衝突速度域と死亡事故の割合

場合である。図7(a)より、衝突速度が10km/h減少した場合の死亡事故数は、全体の死亡事故に対して61%減少している。また、図7(b)より、衝突速度が20km/h減少した場合は、全体の死亡事故に対して86%減少している。

5. 衝突被害軽減ブレーキシステムの性能要件

5.1 システム概要

図8に衝突被害軽減ブレーキのシステム概要を示す。ミリ波レーダーにより前方車両を検知し、距離と相対速度を演算する。距離と相対速度から算出した衝突予測時間（TTC: Time To Collision）をもとに、衝突の可能性があると装置が判断した場合には、音と表示または装置が発生する弱い制動力によって警報を行い、運転者にブレーキ操作を促す。衝突が避けられないと判断した場合には、より強い制動力を発生させ、衝突時の速度を低減させる。

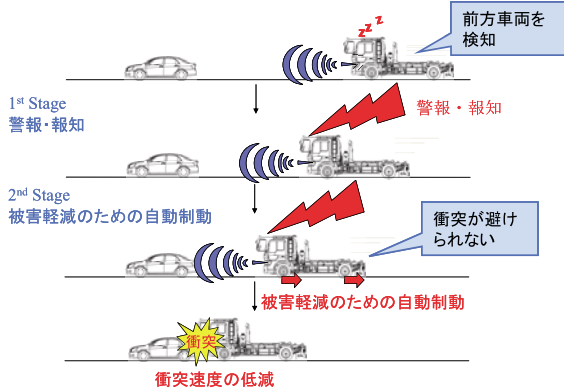


図8 衝突被害軽減ブレーキのシステム概要

5.2 作動タイミング

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、衝突回避を行う下限を衝突可能性判断ラインとしている。衝突可能性判断ラインは、運転者の通常の運転時に自動制動が開始しないように設けた作動タイミングの上限値（TTC1.6秒）である。図9は自動制動の作動タイミングの概念図である。なお、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、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/s²以上、2.45m/s²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

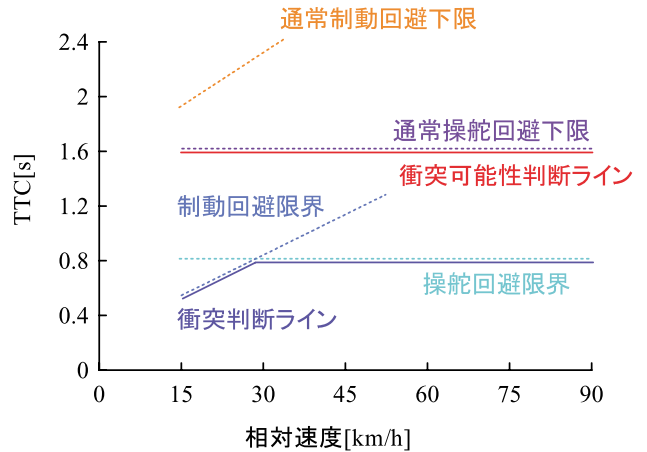
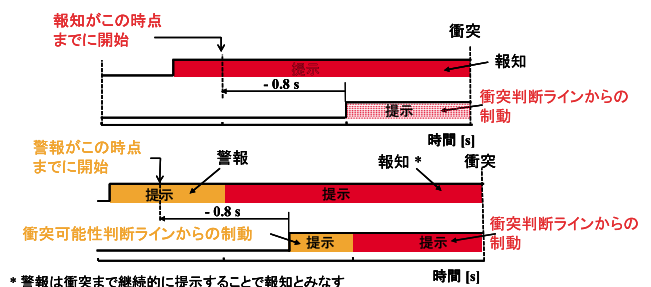


図9 自動制動の作動タイミング

して使用してもよいことになっている。図10は、音および表示による警報および報知のタイミングの規定を示している。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。

5.3 自動制動の減速度と速度低減効果

衝突被害軽減ブレーキは、走行速度が15km/h以上、諸元表記載の最高速度以下で作動する。自動制動における作動減速度は、日本の技術指針では衝突判断ラインから大型車が3.3m/s²以上となっており、減速度の最大値または平均値は規定していない。更なる被害軽減効果を求めるために国際調和基準では、日本は衝突判断ラインにおいて、操舵回避限界をもとに自動制動を行う場合は、平均減速度3.3m/s²以上となることを義務付ける提案を行っている。そこで、図11に大型車の操舵回避限界のTTCである0.8秒から平均減速度3.3m/s²以上で制動を行った場合の速度低減量を示す。これより、相対速度が高い領域では、概ね10km/hの速度低減量があり、図7(a)で示した死亡事故の減少率でみると61%の減少が見込ま



* 警報は衝突まで継続的に提示することで報知とみなす

図10 警報・報知の作動タイミング

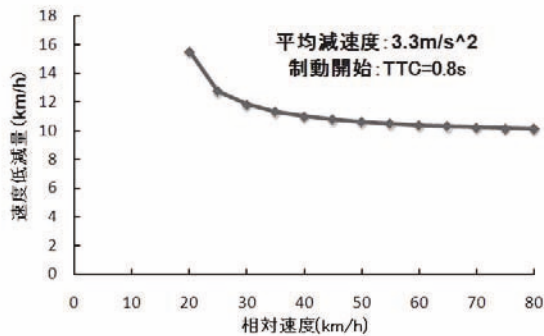


図11 相対速度と速度低減量

れる。なお、自動制動は、衝突可能性判断ライン (TTC1.6秒) から開始することも可能であり、衝突判断ラインにおいて制動回避限界をもとに制動を行う場合も考慮すると速度低減量は低速時は5km/h、高速時は25km/hとなる。衝突可能性判断ラインから自動制動を開始した場合は、速度低減量の効果は大きく、図7(b)で示した衝突速度が20km/h減少時における死亡事故の減少率で86%の減少が見込まれる。

6. 停止障害物による性能評価

衝突被害軽減ブレーキの性能評価は、機能・性能、不要作動防止および失陥検知機能について行う。ここでは、装置の根幹となる機能・性能の評価法について記述する。

機能・性能評価は、衝突被害軽減ブレーキを備えた大型車が乗用車に見立てた模擬障害物に衝突した際の性能を確認する。模擬障害物を使用することは、ドライバの安全の確保、繰り返し試験を行うための試験自動車の損傷の軽減するためである。衝突被害軽減ブレーキは、前方車両の検知に遠方まで検知可能なミリ波レーダーが搭載されることが多く、模擬障害物はミリ波レーダーから検知した場合に前方車両として乗用車相当のレーダー反射強度を有する必要がある。図12に2個のコーナーリフレクタを使用した場合の模擬障害物を示す。1個のコーナーリフレクタを用いた場合は、路面によるマルチパスの影響を受けてリフレクタから反射したミリ波の受信電力の局所的な低下がみられたために複数のリ



図12 模擬障害物と試験風景



図13 レーダー反射強度の計測風景

フレクタを用いるものとした。模擬障害物は、停止物と移動物が考えられるが、前述したように日本の衝突被害軽減ブレーキは、事故データから停止物まで作動する必要があることから性能評価試験は試験が簡便な停止障害物を用いて行うものとしている。まず、模擬障害物の妥当性を検証するために模擬障害物および乗用車のレーダー反射強度の計測実験を行った。図13はレーダー反射強度の計測風景である。実験は、乗用車3台と模擬障害物をそれぞれ計測し、乗用車相当のレーダー反射強度を有するコーナーリフレクタについて検討した。図14は、乗用車3種類とコーナーリフレクタ (15dBsm×2個) を用いた場合のレーダー反射強度の計測結果である。これより、コーナーリフレクタのレーダー反射強度は、ほぼ3種類の乗用車を模擬していることがわかる。そこで、性能評価試験は、15dBsmのコーナーリフレクタ2個相当のレーダー反射強度を有する模擬障害物を用いて実施することとした。

性能評価試験の評価項目は、自動制動および警報・報知のタイミング、自動制動による減速度などである。図15は衝突被害軽減ブレーキの減速度に関する性能確認試験の評価項目を示し、図16は報知に関する評価項目を示している。図15より、主な自動制動による減速度の確認項目は、(1) 衝突回避限界 (TTC0.8s) から平均減速度 3.3m/s^2 を越えなければならないこと、(2) 衝突可能性判断ライン

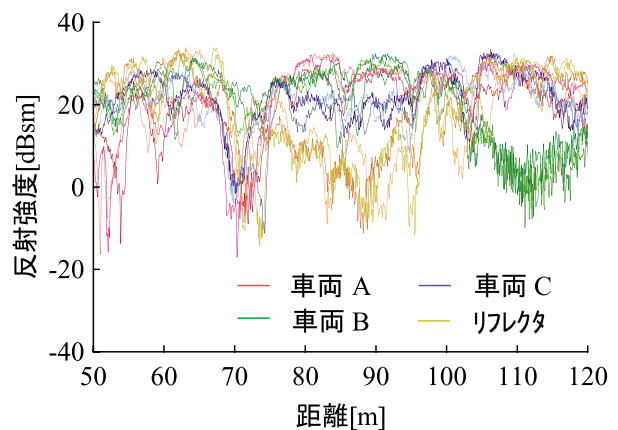


図14 レーダー反射強度の計測結果

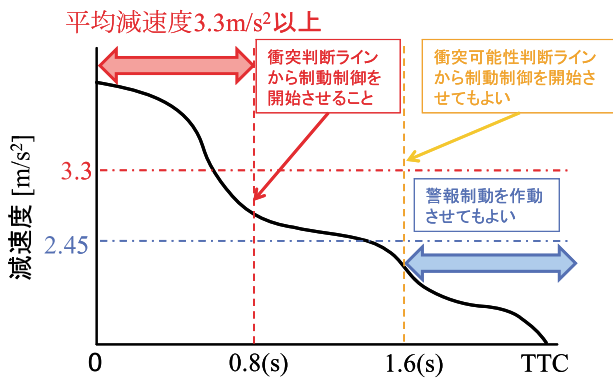
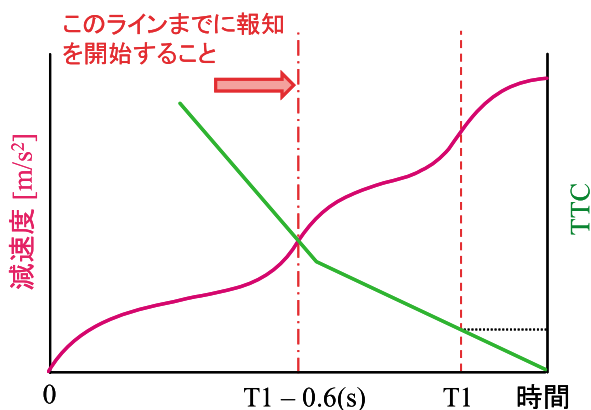


図15 減速度の性能評価



Step 1 TTC0.8秒のときに時間T1を得る
 Step 2 (T1 - 0.6(s))の時間を得る
 Step 3 (T1 - 0.6(s))までに報知が開始していることを確認する。

図16 報知の性能評価

(TTC1.6s) 以前は、警報制動にて許容されている以上の減速度が発生していないことである。図16より、警報・報知のタイミングの確認項目は、衝突回避限界 (TTC0.8s) の時間T1より0.6s前に報知を行うことを確認する。0.6sは、ドライバの反応時間0.8sからミリ波レーダの遅れ時間0.2sを引いた値を用いている。警報は、衝突可能性判断ラインを越えてから制動制御を開始している場合は、その0.8s前から警報することになっている。

7. 衝突被害軽減ブレーキの国際基準調和活動

衝突被害軽減ブレーキの国際基準調和活動は、まだ緒に付いたところであるが、欧州各国と日本における違いも明らかになりつつある。例えば、交通実態、運転者特性、ドライバのオーバーライド、システムに対する過信などがあり、表1に示すように作動対象とする前方車両を日本では交通事故実態も踏まえて、停止状態の前方車両まで対象としているが、欧州では移動状態の前方車両のみが対象となっている。また、衝突被害軽減ブレーキの作動タイミ

表1 国際基準調和における作動対象とする前方車両

	車両停止状態	車両移動状態
日本	← 義務付け →	
欧州		← 義務付け →

ングや減速度の要求値も日本と欧州で異なることもあり、今後も国際調和基準の策定に向けた議論を継続していく必要がある。参考文献(2)~(10)に示したURLは、これまでに日本が国際会議にて提案してきた資料である。

8. まとめ

本稿では、大型車の被害軽減ブレーキについて、国際調和基準の動向を紹介し、日本における交通事故実態を踏まえた被害軽減効果、機能・性能要件とその評価方法について述べた。

冒頭でも述べたが、当所は自動車基準認証国際調和と技術支援室において、国際基準調和活動を支援する活動を行っている。日本は世界に先駆けて衝突被害軽減ブレーキの基準策定を検討していた経緯があり、ECE基準の中でも貢献を期待されている。本研究においても衝突被害軽減ブレーキの性能を評価するための実験的検証を行い、試験方法の規定に資するデータを得る研究を行った実績もある。それらの知見を生かしつつ、日本の自動車交通の安全性向上に資する国際調和基準となるように今後も貢献していきたいと考えている。

参考文献

- (1) <http://www.unece.org/trans/doc/2008/wp29/WP29-145-08e.pdf>
- (2) <http://www.unece.org/trans/doc/2008/wp29grff/ECE-TRANS-WP29-GRRF-S08-inf12e.pdf>
- (3) <http://www.unece.org/trans/doc/2008/wp29grff/ECE-TRANS-WP29-GRRF-S08-inf13e.pdf>
- (4) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-01-05e.pdf>
- (5) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-01-06e.pdf>
- (6) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-02-07e.pdf>
- (7) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-02-08e.pdf>
- (8) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-02-09e.pdf>
- (9) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-02-10e.pdf>
- (10) <http://www.unece.org/trans/doc/2009/wp29grff/AEBS-LDW-02-11e.pdf>