

8. 自動ブレーキの性能及び事故低減効果の評価手法

自動車安全研究領域

※田中 信壽 安藤 憲一

1. はじめに

現在、自動運転車両は、世界中で盛んに研究開発されている。もちろん自動運転車両といっても自動車であることには変わりはないので“走る”“曲がる”“止まる”といった機能を有していなければならない。この“止まる”機能として用いられるのが“自動ブレーキ”である。自動ブレーキは“止まる”ための機能であるという面では従来のブレーキ装置となんら変わりはない。ただし、大きく異なるのは、周囲の状況を認知し、その状況に応じた制動力を判断してブレーキ装置を操作するといった機能を有していなければならないという点である。即ち、自動ブレーキには、ドライバがブレーキを操作するために行う認知・判断・操作をドライバと同等若しくはそれ以上に安全に行うことを可能とするシステムが求められる。

2. 自動ブレーキの特徴

自動ブレーキには、ドライバが行うブレーキ操作を模擬する機能が求められることから、まず重要となる装置がドライバの“目”に相当するセンサである。現在、自動ブレーキで採用されているセンサは、主としてカメラ（単眼及び複眼）、ミリ波レーダ及び赤外線レーザーレーダなどであり、いずれのセンサも対象物への測距機能を有しているが、それぞれのセンサの特徴に応じてメリットデメリットが存在している。

カメラの最も大きなメリットは、対象物体が何であるか特定できる点である。対象物が車両であるのか歩行者であるのか又はガードレールであるのか判別できれば、より状況に合わせた制動を行うことができる。また、最近では、導入コストが下がっている点もメリットと言える。デメリットとしては、人の目と同様に逆光、対向車のライトや雨天による視界不良といった状況では機能が低下する点が挙げられる。

ミリ波レーダの最大の特徴は、100[m]以上先の対象物までセンシングが可能な点である。即ち、制動距離に比して遠方までセンシングが可能であるということ

は、自車の速度が高い領域でも自動ブレーキを実現できるという可能性を生むため、このメリットは非常に大きい。また、昼夜天候の影響など視界の状況に左右され難い特徴もメリットと言える。デメリットとしては、対象物がなんであるかを判定しにくい点とシステムが比較的高価である点が挙げられる。

一方、赤外線レーザーレーダのメリットは、安価な装置で測距機能を実現できる点にある。デメリットとしては、センシングが可能な距離が比較的短い点で、これによって自動ブレーキは低速域のみでの作動に限られてしまう点が挙げられる。

3. 自動ブレーキの現状

現在、これらセンサを有する自動ブレーキは、機能を限定する形で既に市場に投入され始めている。そのシステムの代表例が AEB (Autonomous Emergency Braking system) である。この AEB は、衝突の危険性があり、ドライバでは対処が困難であるような状況のみに限って作動する自動ブレーキである。表 1 に既に、市場に投入されている AEB の例を示す。本表に示すように AEB は、既にほとんどの自動車メーカーによって市場投入がなされており、自動車において不可欠な装備となりつつある。

AEB に関する法規制は、大型車のカテゴリで進められており、EU では既に 2013 年 11 月から新型の大型商用車に対して装着が義務付けられている。また、2015 年 11 月からは継続生産車に対しても装着が義務付けられる。一方、日本では、新型の大型トラック及びバスに対して 2014 年 11 月から装着が義務付けられ、継続生産車に対しても 2017 年 9 月から順次装着が義務付けられる。

その一方で、普通乗用車のカテゴリでは法規制の動きはないが、自動車アセスメントによって標準化が図られようとしている。欧州における自動車アセスメントである Euro-NCAP では、2014 年より、低速域 (20km/h 以下) での作動を対象とした AEB City

表 1 AEB の市場概況

メーカー	AEB の呼称	センサタイプ	特徴の一例*
スバル	EyeSight ver.3	ステレオカメラ	前方車両との速度差が約 50km/h（歩行者の場合は約 35km/h）以下なら衝突回避又は被害軽減
	トマールレーダー	レーザーレーダー	約 4km/h～約 30km/h で衝突回避（相対速度 20km/h 以下で可能）又は被害軽減
トヨタ	衝突回避支援型プリクラッシュセーフティシステム	ミリ波レーダー・ステレオカメラフュージョン方式	相対速度 40km/h まで衝突回避又は被害軽減
	プリクラッシュセーフティシステム	ミリ波レーダー	先行車 20km/h、自車 50km/h の場合、最大 30km/h 程度減速し、衝突回避又は被害軽減
マツダ	SCBS	レーザーレーダー	約 4～30km/h で衝突回避又は被害軽減
	SBS	ミリ波レーダー	約 15km/h 以上で走行中に衝突回避又は被害軽減
ホンダ	CMBS	ミリ波レーダー	約 5km/h 以上（相対速度 5km/h 以上）で衝突回避又は被害軽減
	シティブレーキアクティブシステム	レーザーレーダー	約 5km/h～約 30km/h で衝突回避又は被害軽減
日産	エマージェンシーブレーキ	カメラ	約 10～80km/h で衝突回避又は被害軽減
三菱	e-Assist	ミリ波レーダー	先行車との相対速度 30km/h 以下で、衝突を回避
スズキ	レーダーブレーキサポート	レーザーレーダー	約 5km/h～約 30km/h で衝突回避（15km/h 以下で可能）又は被害軽減
ダイハツ	スマートアシスト	レーザーレーダー	約 4km/h～約 30km/h で衝突回避（相対速度 20km/h 以下で可能）又は被害軽減

*当研究所にて各社公開情報をもとに整理。上表内の記載条件でも作動しない場合があると表記されているものもある。

System と高速度域（50～80km/h 以上）での作動を対象とした AEB Inter-Urban System の評価を開始しており、2016 年からは歩行者への衝突回避・被害軽減を対象とした AEB Pedestrian System の評価も開始する予定である。一方、日本の自動車アセスメントである J-NCAP でもほぼ同様のスケジュールで評価を行うことが計画されている。

4. AEB の効果評価

現在、我々は、歩行者事故の低減を目指し AEB Pedestrian System に対する効果評価手法の開発を進めている。上記の自動車アセスメントに代表される評価は、あくまで AEB が衝突を回避することが可能な条件、即ち、性能を評価するものである。しかし、AEB の評価として最終的に求められるのは、そのような性能を有する AEB がどの程度事故を削減できるのかといった事故削減効果である。そこで、我々は、まず、AEB の性能を的確に評価することが出来る手法を開発し、次いで、その性能評価によって得られた結果から AEB の事故削減効果を導出する手法を開発することを目指している。

本研究では、以下の 3 つの課題について、研究を進めている。

【1】AEB の性能評価手法の開発

【2】AEB の試験装置の開発

【3】AEB の効果評価手法の開発

課題【1】の AEB の性能評価手法の開発では、AEB の性能評価を行う上で適切な条件を明らかにするために、歩行者事故の事故状況に関する分析を行った。図 1～3 は、それぞれ、昼夜別、事故状況別そして危険認知速度別の歩行者の死傷者数（2010 年～2012 年）を示したものである。これらの分析結果より、性能評価では以下のような条件を想定した試験環境で実施することが重要であるという結論を得た。

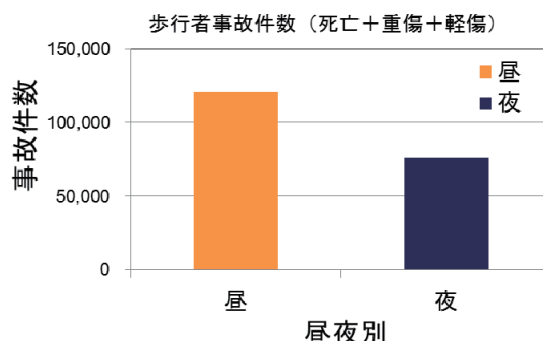


図 1 昼夜別歩行者死傷者数

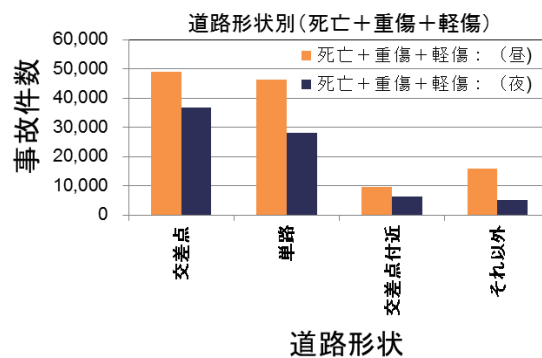


図 2 道路形状別歩行者死傷者数

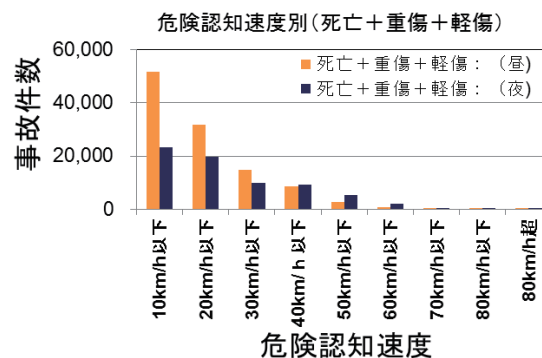


図 3 危険認知速度別歩行者死傷者数



図4 歩行者ダミーの設置状態

- ・昼間を想定する。
- ・交差点における歩行者の横断行動若しくは単路における歩行者の横断行動を想定する。
- ・車両速度が40km/h以下の場合を中心に行う。

現在、本研究におけるAEBの性能評価では、図4に示すように走行車線上に歩行者ダミーを設置し、AEB搭載の試験車両をこの歩行者ダミーに対して等速度で接近させ、衝突回避の可否、衝突が発生した場合はその衝突速度を計測する試験方法を検討している。本試験で重要となってくるのが、歩行者ダミーの実際の歩行者に対する同等性である。つまり、歩行者ダミーは、AEBの各種センサの検出量に対して歩行者と同等の特性を有していなければならない。

そこで、課題【2】のAEBの試験装置の開発では、歩行者ダミーのミリ波レーダに対する反射特性の設計を試みている。この歩行者ダミーの設計では、実際に人体のミリ波レーダに対する反射特性を計測し、このデータと整合がとれるような歩行者ダミーの開発を目指している（図5）。

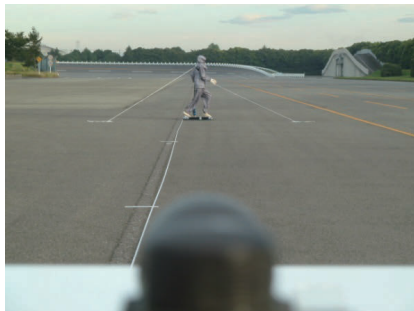


図5 歩行者ダミーのミリ波レーダ反射特性の計測



図6 歩行者ダミーの道路横断模擬装置

さらに本試験装置の開発では、歩行者ダミーを走行車線上に静止させるだけでなく、図6に示すように道路横断を模擬させる装置の開発も進めている。

課題【3】のAEBの効果評価手法の開発では、性能評価によって得られる試験車両の衝突回避の可否と衝突した場合の衝突速度から効果評価を実現する手法の開発を進めている。

図7に、図4の試験装置を使用し、上述の試験方法（試験車両速度：5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80[km/h]）にて実施した性能評価の結果を示す。試験車両として、センサの異なるAEBを搭載した2車種（車両A：カメラ、ミリ波レーダ及び赤外線レーダの複合システム、車両B：カメラ）を用意した。

図7において衝突速度0[km/h]は、衝突を回避したことを示している。また、本研究では、歩行者事故において衝突速度（10[km/h]毎）と傷害の程度との関係を分析し、その結果、頭部と胸部においてAIS(Abbreviated Injury Scale)≥4という重篤な傷害が発生する確率は、衝突速度が30[km/h]と40[km/h]の間で大きく減少することが明らかとなった²⁾。そこで、40[km/h]未満で衝突した場合を低リスク衝突（“Minor collision”）、40[km/h]以上で衝突した場合を高リスク衝突（“Severe collision”）と定義し、衝突回避（“Avoidance”）とともに3つに場合分けを行い、多項ロジスティック回帰分析を用いてAEBの性能を評価する手法を開発した。図8(a)及び(b)に、それぞれ多項ロジスティック回帰分析によって得られた試験車両A及びBの衝突回避確率、低リスク衝突発生確率及び高リスク衝突発生確率を示す。

次いで、本研究では、これらAEBの性能が反映された確率曲線を歩行者事故の死者数に乗じることで、AEBが導入された際に衝突事象（死亡事象）が回避

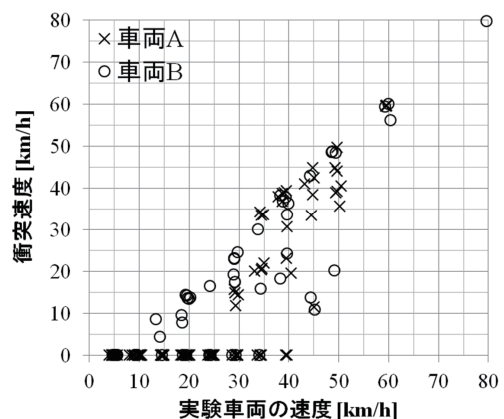
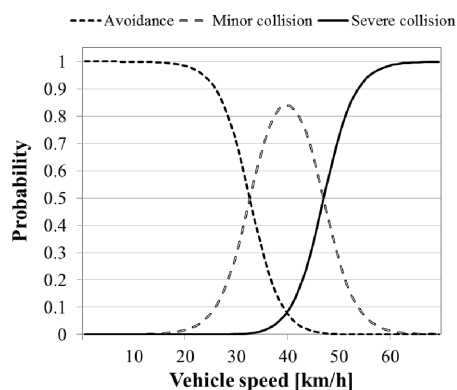
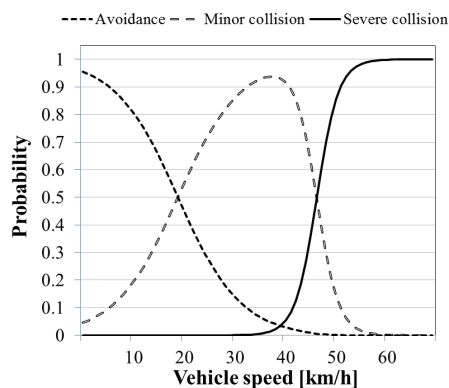


図7 性能評価結果

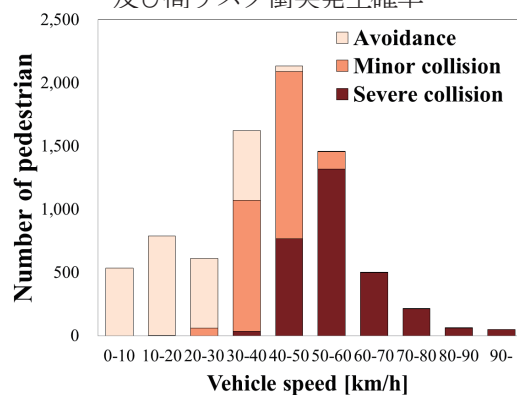


(a) 試験車両 A

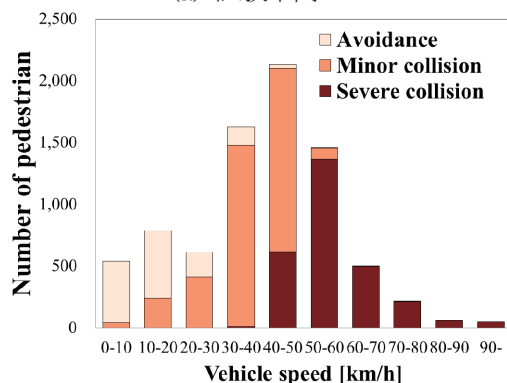


(b) 試験車両 B

図 8 衝突回避確率、低リスク衝突発生確率
及び高リスク衝突発生確率



(a) 試験車両 A



(b) 試験車両 B

図 9 AEB による死者数の削減効果

される人数（“Avoidance”）、死亡事象から低リスク衝突事象となる人数（“Minor collision”）及び死亡事象から高リスク衝突事象となる人数（“Severe collision”）をそれぞれ推定する手法を AEB の効果評価手法として開発した。図 9(a)及び(b)に、それぞれ試験車両 A 及び B の性能を有する車両が 100%普及した場合に本手法で推定される上記それぞれの推定人数を示す。これらより AEB が普及することによって、低速度域では衝突が回避されるケースが増え死者数を純減させることができる可能性や高速度域で衝突が発生し死亡事故となったケースでも低リスク衝突事象となることで死亡事故にまで至らない可能性があることが確認された。

5. まとめ

AEB は既に普及期を迎えており、今後、搭載車両は増加してることが予想される。ただし、図 9 の(a)と(b)に示すように特性設計を含む AEB の性能は異なっているのが現状である。これは、AEB の性能と事故削減効果の関連性が不明確であることが原因の一つであると考えられる。そこで、本研究ではこの点を明らかにすることを旨とし、AEB の性能（図 8）から死者数の削減数（図 9）や被害が軽減される可能性がある人数（図 9）を推定するような手法を開発した。これによって、車両 A の AEB は車両 B の AEB と比較して死者数を削減でき、被害が軽減できる可能性が高いという結論を得ることが可能となった。

ただし、これはあくまで今回の試験方法に基づく評価であり、この試験方法がどの程度事故実態を反映したのになっているかが重要となる。そこで、本研究では、今後、さらに試験条件の吟味を行うとともに、それを実現する試験装置の開発にも注力していきたいと考えている。また、効果評価の推定手法に関しても事故の発生状況と衝突回避・被害軽減性能との関連性を精査し、より精度の高い推定手法の開発に注力していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 安藤憲一、田中信壽：衝突回避・被害軽減ブレーキの性能評価と効果推定に関する検討（第 1 報）～（第 4 報），自動車技術会学術講演会，学術講演会前刷集
- 2) 松井 靖浩、及川 昌子、安藤 憲一、土井 努：交通事故からみた車両衝突速度と歩行者被害の関係，自動車技術会春季学術講演会，学術講演会前刷集，No.72-14, pp19-22 (2014)