

### 3. 衝突回避・被害軽減ブレーキシステムの性能評価と効果推定に関する検討

自動車安全研究領域

※田中 信壽 安藤 憲一

#### 1. はじめに

近年、交通事故死者数全体に占める歩行中の死者数の割合は、自動車乗車中のそれを抜き最も大きな割合を占めるに至っており、車両の安全技術による歩行者保護の拡充はさらなる死亡事故削減を目指す上で重要な課題となっている。そこで、この課題を解決する技術の一つとして注目されているのが、歩行者事故の防止や事故発生時の被害軽減が期待される衝突回避・被害軽減ブレーキシステム（以下、Collision Avoidance and Mitigation System (CAMS)と称す。）である。本研究では、このCAMSの性能定義のあり方と効果評価手法を、実際にCAMSが搭載された車両を用いた実験により検討した。本報告では、本実験によって明らかとなったCAMSの特性を示すとともに、この特性の実態を反映させた新たな性能定義と効果評価手法について提案する。

#### 2. 実験概要

本研究で行った実験の概要を図1に示す。本実験では、CAMSが搭載された実験車両を等速度で歩行者ダミーに接近させ、CAMSの作動状況を検証した。実験車両にはGPS速度計と加速度計を搭載し、これによって車両の速度、減速度を計測した。実験車両と歩行者ダミーとの衝突判定は、歩行者ダミーの設置位置を車両の先端が通過したかどうかで判断した。

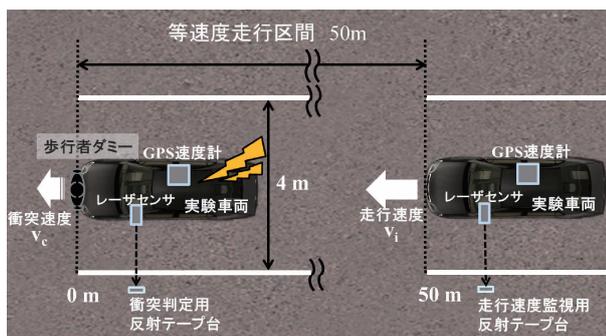


図1 実験の概要



図2 歩行者ダミーの設置状態

また、衝突速度は、この通過時の車両の速度とした。実験車両を運転するドライバーは、等速度を維持するためのアクセル操作と直進走行を維持するためのハンドル操作を行うが、ブレーキ操作は一切行わない。また、等速度走行区間は、歩行者ダミーから50[m]の区間とした。使用したコースの道路幅は、4.0[m]である。車両の設定速度は、5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80[km/h]とした。

図2に示すように、歩行者ダミーは、FRP製の支柱で支えられた横棒（FRP製）から吊り下げられた状態で設置した。歩行者ダミーの身長は170[cm]とした。歩行者ダミーは、タイツの中にポリウレタン製のスポンジやポリエチレン製のパイプを詰めることによって人型（脚、胴、腕から手の指まで作られている）を形成した。そして、この人型の上にポリエステル製のジャケットを着せ、特殊樹脂製のサイズ25[cm]のシューズを履かせた。

実験車両は、障害物を検知するセンサシステムの異なるCAMSが搭載された2車種（車両A：カメラを使用するシステム、車両B：カメラ、レーダ及びレーザを使用する複合システム）を用意した。

### 3. 結果

#### 3. 1. 車両速度と衝突回避能力の関係

図3に、実験車両の衝突回避能力を示す結果として実験車両の速度に対する衝突の有無を示す。実験は昼間、乾燥路面で行い、歩行者ダミーには、黒い服を着せ、車両の中央位置に横向きに設置した。

図中(a)が車両A、(b)が車両Bの結果である。このように車両A,B共に、車両速度が同一の場合でも衝突が発生したり、回避したりする場合が確認された。また、車両AとBを比較した場合、車両Aでは約15[km/h]~約35[km/h]でこのような衝突回避能力の不安定な状態が確認されたのに対し、車両Bでは約30[km/h]~約40[km/h]でこのような状態が確認された。即ち、車両Bは、車両Aよりも低速域(約30[km/h]以下)で安定的に衝突を回避可能であり、衝突回避の不安定さが現れる速度域も狭く、衝突が回避できた限界車両速度も高いと言える。

#### 3. 2. 車両速度と衝突被害軽減能力の関係

図4に実験車両が歩行者ダミーと衝突した際の実験車両の速度に対する衝突速度を示す。

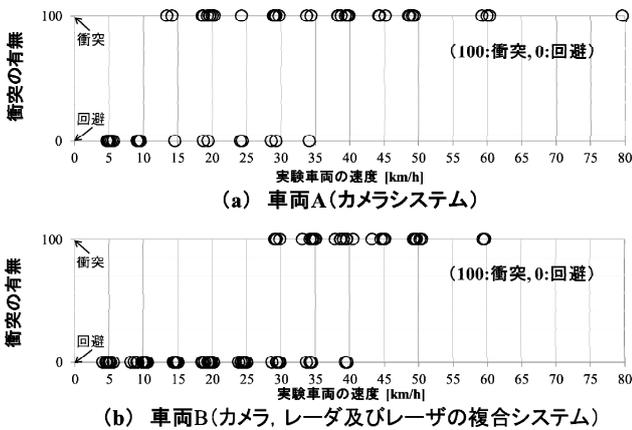


図3 車両速度に対する衝突の有無

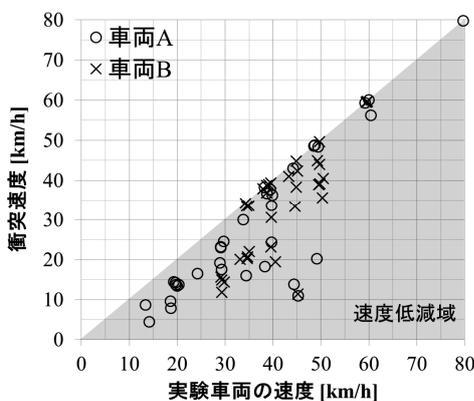


図4 車両速度に対する衝突速度

本図では、衝突は発生したものの CAMS の作動によって減速された場合、図中の灰色部分にプロットされることになる。車両速度が高くなるにつれて減速効果が低くなることが確認されたが、車両速度が45[km/h]付近でも車両A,B共に7割程度速度を低減できる可能性があることが確認された。

### 4. 考察

#### 4. 1 衝突回避能力の性能定義

図3に示すとおり、CAMSが搭載された車両の衝突回避能力は、不確実性を伴った確率的事象として現れることが確認された。そこで、この実験結果(図3)をもとに、各車両の車両速度に対する衝突確率をロジスティック回帰分析によって推定した。この車両速度 $x$ を説明変数とする衝突確率 $p(x)$ は、以下のよう示される。

$$p_{\theta}(c = 1 | x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x)}$$

ここで、 $c$ は結果を表し、衝突=1,回避=0の2値をとる。 $\theta = (\beta_0, \beta_1)$ はモデルのパラメータであり、実験結果より推定される。衝突確率は $p(x)$ 、その排反事象である $1-p(x)$ がCAMSの衝突回避確率と考えることができる。図5に車両A及びBの車両速度に対する衝突確率の推定結果を示す。これより、車両Bの衝突確率は、車両Aと比較して低速域(約30[km/h]以下)で低い状態が維持され、その後、より急峻に増加する傾向が確認された。また、車両A及びB共に45[km/h]付近で衝突確率が100%に近づく傾向が推定され、これ以上の速度域では両車両共にほぼ衝突は回避できなくなると考えられる。

本研究では、衝突確率が50%を越える車両速度(以下、「50%衝突確率車両速度」と称す)をCAMSの性能を評価する一つの指標として定義することとした。

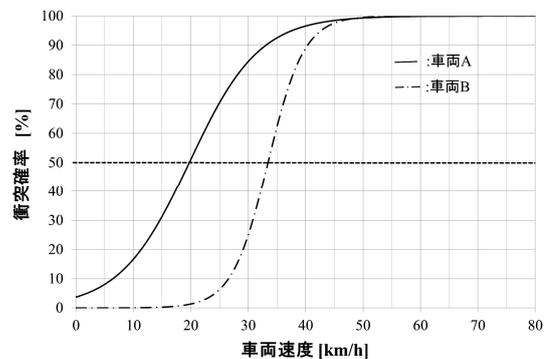


図5 車両速度に対する衝突確率

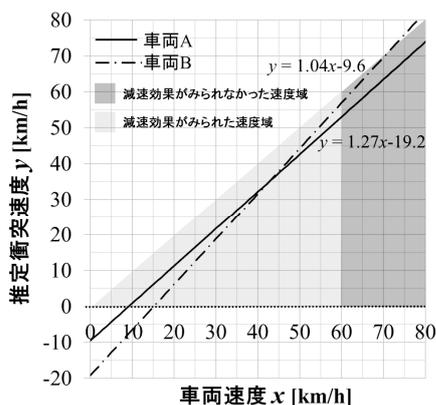


図6 車両速度に対する推定衝突速度

即ち、50%衝突確率車両速度を越える車両速度では衝突を回避することが困難になると考えられる。実験車両の50%衝突確率車両速度は、車両Aでは19.8[km/h]、車両Bでは33.5[km/h]であった。これにより、車両Bは、車両Aと比較して、高い速度域まで衝突を回避できる可能性が高いと判断される。

#### 4. 2. 衝突被害軽減能力の性能定義

図4に示すように、CAMSは衝突が発生した場合でも、車両を減速させることによって衝突速度の低減を図り、衝突被害を軽減させることができる可能性が確認された。そこで、この実験結果(図4)をもとに、回帰分析(一次)を用い車両速度に対する衝突速度を推定した。図6に車両A及びBの車両速度に対する衝突速度の推定結果を示す。

実際、CAMSによる減速が難しい高い速度域(約60[km/h]以上)における車両速度と衝突速度の関係は、図中においてほぼ $y = x$ の直線上に現れるが、CAMSによる減速が期待できる速度域では、この回帰直線にその減速傾向が現れると考えられる。特に、推定衝突速度が0となる車両速度(以下、「回避限界速度」と称す)は、CAMSによる速度低減量が大きいほど高くなる傾向が現れる。そこで、本研究では、この回避限界速度を、衝突被害軽減能力を評価する一つの指標として定義することとした。実験車両の回避限界速度は、車両Aでは9.2[km/h]、車両Bでは15.1[km/h]であった。これにより、車両Bは、車両Aと比較して、CAMSによる減速が期待できる速度域では減速効果が高いと考えられる。

#### 4. 3. 効果評価

本研究では、CAMSの衝突回避能力の性能定義を行う上で、衝突確率を実験データに基づいてロジスティック回帰分析によって推定した。

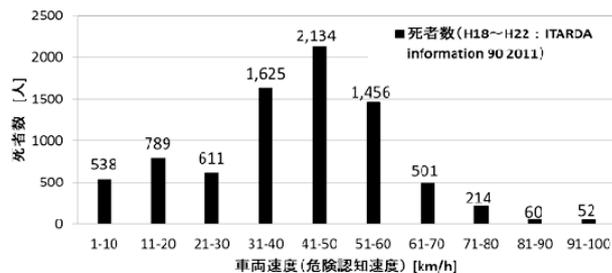


図7 車両速度別の歩行中の死者数

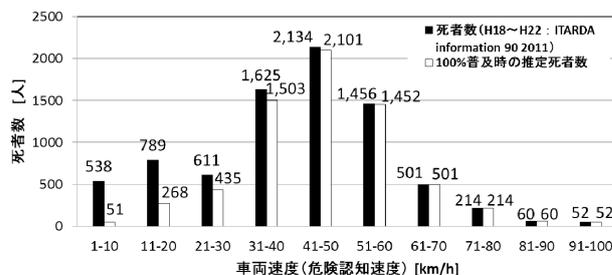


図8 車両Aの効果評価

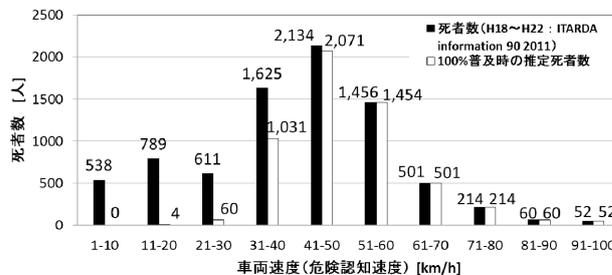


図9 車両Bの効果評価

一方、このような性能を有したCAMSが普及した場合どの程度の事故を減らすことができるかを明らかにすることがCAMSの効果評価となる。(財)交通事故総合分析センターでは、H18~H22の5年間の第一当事者が四輪車の事故における死者数(第一当事者の死者を含む)で状態が歩行中の死者数を車両速度(危険認知速度)別にまとめている(図7)②。そこで、車両速度毎に得られる衝突確率をこのデータに乗じることによってCAMSが100%普及した場合の死者数を効果評価として推定することとした。図8及び9に、それぞれ車両AとBの効果評価(100%普及時に推定される死者数)の結果を示す。

図7に示すように、(財)交通事故総合分析センターのデータによると5年間の死者数は、車両速度が0~100[km/h]では7,980名であった。これに対し、図8に示すように、車両Aが100%普及した場合には死者数は、1,343名減の6,637名にまで低減することができると思定された。一方、車両Bが100%普及した場合には死者数は2,533名減の5,447名にまで低減す

ることができる」と推定された。また、車両 B の特徴としては、低速域（約 30[km/h]以下）で大きく死者数を低減する効果が期待され、車両 A と比較して 690 名もの死者数を低減することができる」と推定された。

## 5. まとめ

本研究では、まず CAMS の衝突回避能力及び被害軽減能力の実態を把握するために、CAMS が搭載された実際の車両を用いて確認実験を行った。その結果、CAMS の衝突回避能力は不確実性を伴う確率的な事象として現れ、衝突回避能力の再現性を前提とした評価が困難であることが確認された。また、CAMS は、低速域（約 30[km/h]以下）では、車両速度を大きく低減できる可能性があることが確認された。

次いで、実験で得られた衝突回避能力及び被害軽減能力の実態調査の結果を踏まえ、衝突回避能力と被害軽減能力を評価するために新たな指標の定義を試みた。衝突回避能力は、不確実性を伴う確率的な事象として現れるため、車両速度に対する CAMS の衝突確率をロジスティック回帰分析によって推定し、衝突確率が 50%を超える車両速度である 50%衝突確率車両速度を衝突回避能力の指標として定義した。これによって、CAMS によっても衝突を避けられない確率が回避できる確率よりも高くなる車両速度を定量的に定義することを可能にした。また、衝突被害軽減能力は、車両速度に対する衝突速度を回帰分析によって推定し、推定衝突速度が 0 となる車両の走行速度（回避限界速度）をその指標として定義した。これによって、衝突を回避できることが推定される限界の車両速度、即ち、CAMS の減速効果が反映される指標を定量的に定義することを可能にした。その一方で、今回は一次の回帰直線によって回避限界速度を求めたが、今後は回帰分析の結果を検証し、より推定精度を高めるために高次の回帰曲線から回避限界速度を求める方法も検討が必要となる可能性がある。

さらに、本研究では、CAMS の衝突回避能力の指標定義を踏まえ、確率的な観点から効果評価手法の考案を試みた。本研究で提案した効果評価手法は、衝突回避能力の指標定義を行う際に算出したシステムの衝突確率を求め、これに車両の速度別

に分類された事故死者数データを乗ずることによって、CAMS が 100%普及した場合に推定される死者数を推定するというものである。これによって、CAMS の普及効果を死者の削減数という直接的に効果が反映された数値で表すことを可能にした。また、本手法で用いる死者数データは、効果評価を行う時々の事故データを用いることが可能であり、これによって、本手法は、随時、事故実態が反映される形で効果評価を行うことが可能であるというメリットを有している。

ただし、その一方で、CAMS の性能を確率で定義し、これをもとに効果評価を行う場合、注意すべき問題点がある。即ち、本手法は、CAMS によって衝突回避が成功するか否かをその結果だけを用いて確率的な事象として捉えるため、衝突の原因がシステムの機能不全や性能限界に因るものなのか、システムの欠陥に因るものなのか判断が困難となる。従って、欠陥調査のプロセスと組み合わせる必要がある。

今後の課題としては、効果評価の精度を上げるために、CAMS が使用するセンサの特性を考慮し、歩行者ダミーの人に対する同等性を高めていく必要があると考えている。また、この一環として、歩行者の行動との同等性を高めるために、歩行者の飛び出しを模擬できるような環境にて実験を行う必要があると考えている。

## 参考文献

- (1) 交通事故例調査・分析報告書（平成 23 年度 報告書）財団法人交通事故総合分析センター
- (2) ITARDA information 90, 財団法人交通事故総合分析センター(2011)
- (3) 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）：自動車技術会春季学術講演会, 学術講演会前刷集, No.3-12, pp19-22 (2012)
- (4) 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 2 報）：自動車技術会秋季学術講演会, 学術講演会前刷集, No.125-12, pp1-4 (2012)