

論文・解説

29

## 歩行者頭部保護性能の市場事故時傷害低減効果の研究

A Study on Effect of Pedestrian Head Protection  
Performances on Pedestrian Injuries河川 健二\*<sup>1</sup> 石橋 篤\*<sup>2</sup> 尾川 茂\*<sup>3</sup>  
Kenji Kawaguchi Atsushi Ishibashi Shigeru Ogawa

## 要約

歩行者事故時の傷害低減のために、ボンネット等に衝突した時により大きなエネルギー吸収ができる車体構造を、自動車メーカ各社は開発、商品化してきている。衝撃エネルギーを吸収して傷害を低減するためのこの安全性能は、日本ではJNCAP (Japan New Car Assessment Program) にて、その他各国NCAP (New Car Assessment Program) にて評価されている。本稿では、その歩行者頭部保護性能が歩行者事故時の傷害発生率低減に貢献していることを、日本市場事故全体を見たマクロ的な視点で定量的に分析し明らかにした。また、マツダの事故分析手法、活用方法についても紹介する。

## Summary

Body structures that could absorb more impact energy from a pedestrian have been developed to mitigate the degree of injuries in the real-world pedestrian accidents. The energy absorption capability is evaluated by various NCAP systems around the world, such as JNCAP in Japan. In this paper, it was statistically clarified by statistical accident data analyses that a better pedestrian head protection performance could contribute to reducing the rate of pedestrian injuries, fatal injuries in particular. In addition, the techniques Mazda has utilized to analyze accident data and make effective use of analyzed results were outlined.

## 1. はじめに

近年、日本における交通事故死者は低下傾向にあり、平成24年には4,411名となっている。しかし、その中の歩行者比率は2002年の28.8%から、2012年には37.0%へと増加し、その絶対数は1,634人である<sup>(1)</sup>。米国では2010年の交通事故死者32,885人のうち、歩行者比率は13%だが、絶対数では4,280人である<sup>(2)</sup>。中国では2011年の交通事故死者62,387人のうち、16%の9,891人が歩行者となっている<sup>(3)</sup>。

これらの歩行者の事故を低減するためには、人、環境、クルマの継続的改善が必要である。人の面からは、歩行者の反射材利用促進、運転者の脇見防止啓発など、環境面からは、道路照明の設置、歩車分離信号の設置など、さまざまな歩行者事故削減の施策が実施されつつある。クルマとしても、前方視界の改善、夜間に遠くの歩行者まで見えるようにライティングの改善などに取り組んでいる。

そのようなさまざまな努力により、歩行者事故は減少してきているが、それでもなお、歩行者事故は多く発生している。そのため、万一歩行者事故が発生し、歩行者の身体が車体に衝突しても、できるだけ、その衝撃エネルギーを吸収し、傷害を低減するようなクルマの開発も行ってきた。その開発を行うに当たり、各国の歩行者事故の特徴について国際比較の研究<sup>(4)(5)</sup>を行うとともに、歩行者保護性能の効果を検証する研究も試みられている<sup>(6)(7)(8)</sup>。ここでは、日本の市場事故分析を行い、歩行者頭部保護性能が、市場の歩行者事故時の傷害低減に効果を発揮していることを明らかにしたので報告する。また、事故分析手法、活用方法についても合わせて論じる。

## 2. 歩行者頭部保護性能

自動車事故対策機構 (NASVA) において、自動車アセスメント (JNCAP)、すなわち、新型車の安全性能評価が実施されており、その評価項目の一つとして

\*1 衝突性能開発部

Crash Safety Development Dept.

\*3 国立高等専門学校機構 呉工業高等専門学校  
Kure National College of Technology

\*2 (株) マツダ E&amp;T

Mazda Engineering &amp; Technology Co.,LTD.

2003 年度から歩行者頭部保護性能試験<sup>9)</sup>が導入されている。2011 年度からは歩行者脚部保護性能試験も開始されているが、評価された車種が少なく十分な事故分析ができないので、ここでは頭部保護性能の分析に焦点を絞った。

歩行者頭部保護性能試験は、自動車が時速 44km/h で歩行者に当たって、歩行者頭部がボンネット、カウルグリル、A ピラー、フロントウインドウなどに衝突することを想定している。大人および子供の頭部を模擬したインパクトを該当車体部位に時速 35km/h の速度で発射し、その頭部インパクトが受ける衝撃の測定結果から頭部傷害値を評価するものである。頭部に重大な傷害を受ける確率 (AIS\*が 4 以上) が約 50% (HIC\*\*1436) の得点 1.67 を基礎点とし、その確率が約 10% (HIC876) の得点 3.33 以上満点 4 点までをレベル 5 として、その間を 4 等分した 5 段階で評価されている<sup>9)</sup>。今回の分析では、この得点を性能値として用いた。

歩行者頭部保護性能の JNCAP スコアのトレンドを Fig. 1 に示す。横軸はテスト実施年度である。全体的に、スコアが上昇していることがわかる。

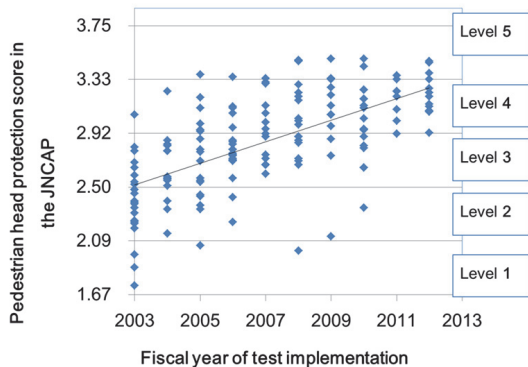


Fig. 1 Trend of Pedestrian Head Protection Score in the JNCAP

### 3. 歩行者事故データ

#### 3.1 事故データ

##### (1) 日本

日本においては、警察に届けられた人身事故全ての情報が各都道府県の道府県警、警視庁から警察庁に集められる。その後、交通事故総合分析センター (ITARDA: Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis) で、国土交通省管轄の車両型式等の車両情報と付き合わせてデータベース化される。日本のマクロ事故データは、人身事故が全て網羅されていること、車両型式とのリンクが取れていること、分析可能な項目数が多いことなどのアドバンテージがあり、統計的に分析できるマクロ事故データとしては世

界トップレベルの充実度といえる。これまでもさまざまな視点でのマクロ事故分析を行ってきた<sup>(11)(12)(13)</sup>。本稿では、このデータを用いて分析を行った。

日本のマイクロデータとしては ITARDA がつくば市周辺で調査した事故データがあるがサンプリングされたもので、1 件ごとの事故の詳細を分析できるが、今回のような統計的な分析にはデータ数が不十分である。

##### (2) 海外

米国の NASS-CDS, ドイツの GIDAS, 中国の CIDAS などいくつかの国に存在、データ収集、分析が行われている。ただ、人身事故全数でなく、サンプリングされた一部の事故を詳細に調査したマイクロ事故データとなっている<sup>(14)</sup>。もちろん、これらの事故データを基に事故の要因、傷害の状況、対策案の検討が行われているが、今回のような統計的分析はあまり活発に行われていない。

#### 3.2 歩行者事故概観

事故は、さまざまな角度から分析可能であるが、ここでは、まず、自動車側の運転行動類型である直進、右折、左折という視点と歩行者の傷害程度である死亡、重傷、軽傷という視点での分析をした。対象は、2012 年の普通乗用車、軽乗用車と歩行者の事故である。

傷害程度別件数で見ると直進、右折、左折のいずれも、軽傷の事故が最大、行動類型で見ると直進時が最大であるが、右折時も多く多くの事故が発生していることがわかる (Fig. 2)。右折している時間よりも直進中の時間の方がはるかに長いことをイメージすると、右折は歩行者事故のリスクが高いシーンであると推測される。右折時歩行者事故については A ピラー周りの視界の影響もあることがわかってきている<sup>(15)</sup>。

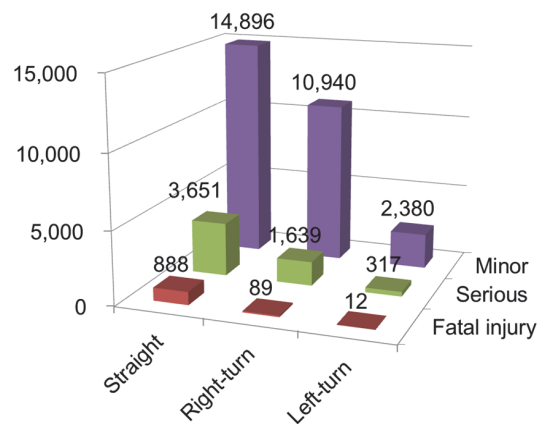


Fig. 2 Pedestrian Accident for Vehicle Maneuver and Degree of Injury

傷害程度別に直進、右折、左折の比率を見たグラフ

\* AIS: Abbreviated Injury Scale, 簡易傷害スケール<sup>(10)</sup>

\*\* HIC: Head Injury Criteria, 頭部傷害基準

が Fig. 3 であり、直進は、死亡事故の約 90%、重傷事故の約 65%となっている。右折は、重傷事故の 30%程度を占めている。

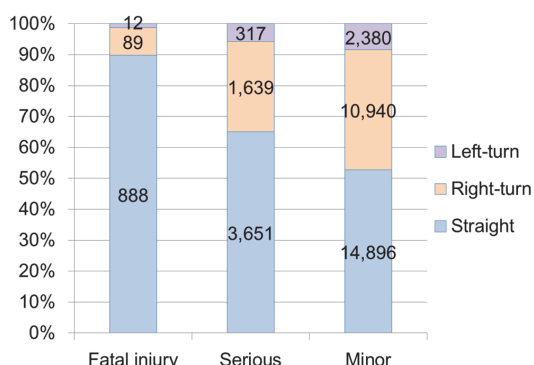


Fig. 3 Rates of Vehicle Maneuver for Each Degree of Injury of Pedestrian Accidents

#### 4. 事故分析

##### 4.1 保有台数と分析対象車種選定

歩行者事故を概観したので、次に歩行者頭部保護性能と事故時傷害の関係をみるために、車種ごとの事故データを分析する。単年でみると事故データ数が少なくなり、有意な分析が難しいので、2008 から 2011 年までの 4 年間の事故データを対象とした。

次に、事故傷害頻度の大小を指標化するために、分子は対象の歩行者事故死亡重傷者または死者数、分母には、その車種の 4 年間の延べ保有台数をとった。保有台数は、発売開始から 2011 年までの月別販売台数に減少率を加味して求めたものである。車の減少率は、Fig. 4 に示したカーブを用いている。これは、主要車種の実績を基にマツダで作成したもので、前半は 2 次曲線、後半はワイブル分布のハイブリッド曲線としている。

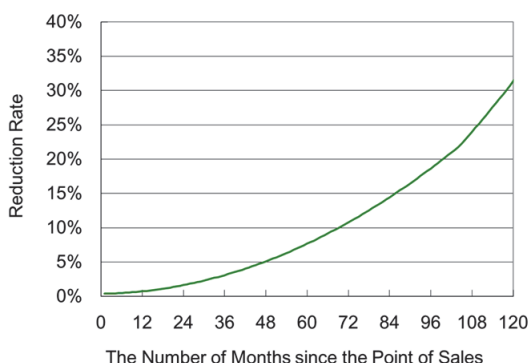


Fig. 4 Reduction Rate of Vehicle

また、販売された年の保有台数に対しては、販売月が 1 月と早い場合と、12 月と遅い場合はその販売台数の保有台数に対する寄与が異なるので、例えば、1 月については係数として 11.5/12 を、12 月に対しては 0.5/12 となる月別係数をかけて、保有台数を計算している。

歩行者頭部保護性能の JNCAP スコアを持ち、かつ、4 年間の延べ保有台数が 30 万台以上の車種に絞ると 29 車種が選定された。保有台数の最小値は 334,000 台、最大値 2,318,000 台、平均 1 車種当たり、962,000 台である。

##### 4.2 事故時傷害指標

事故時傷害発生頻度を表す指標として、いくつか候補にあがる。衝突安全性能を評価する際には、死亡重傷率 = (死亡 + 重傷) / (死亡 + 重傷 + 軽傷) や致死率 = 死亡 / (死亡 + 重傷 + 軽傷) を用いている例が多い。マツダにおいては、4.1 で説明した保有台数 1 万台当たりかつ 1 年当たり何人が死亡、重傷、死傷事故に遭っているかという指標を主に用いている。例えば、4 年間の延べ保有台数が 100 万台の車種で、死亡重傷者が 150 人であると、150/100 万 × 1 万 = 1.5 となる。

これらの指標について、まず、「死亡重傷率」と「保有台数 1 万台当たりの死亡重傷者数」について比較評価する。行動類型は、直進、右折、左折を合算している。

Fig. 5 は歩行者頭部保護性能スコア (PHPS) と「死亡重傷率」、Fig. 6 は「保有台数 1 万台当たりの死亡重傷者数」である。この二つのグラフを比較してみると、「死亡重傷率」で見ると「保有台数 1 万台当たりの死亡重傷者数」で見た方が JNCAP スコアとの相関関係が現れてくることがわかる。

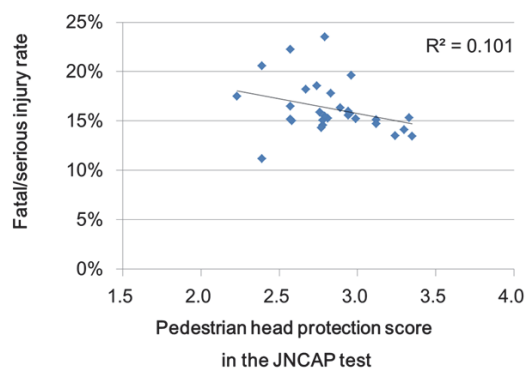


Fig. 5 Relationship between PHPS and Fatal/Serious Injury Rate for Pedestrian Accidents

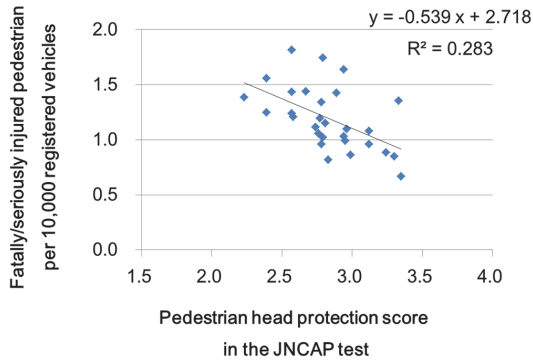


Fig. 6 Relationship between PHPS and the Number of Fatally/Seriously Injured Pedestrians per 10,000 Registered Vehicles

グラフ中の  $R^2$  値は相関係数  $R$  を二乗した決定係数である。 $R^2$  が 0.283 の場合、相関係数  $R$  は 0.53 である。普通、相関係数が 0.2 以下の場合にはほとんど相関がないといわれる。また、これらの判定は標本数によっても異なるため、今回の標本数  $n=29$  の場合の相関係数の  $t$  検定を行うと、95%の確率で相関が有意となるのは、相関係数が 0.36、決定係数が 0.13 以上であり、Fig. 6 で示した相関は有意であることがわかる。ただ、決定係数等の数値のみでなく、グラフ内にデータがどのように分布しているかのイメージをとらえることも重要である。決定係数が約 0.28 ということから、歩行者の死亡事故に対して歩行者頭部保護性能が約 28%の影響を与えていると推測できる。1 件ごとの事故は、速度も、車体の衝突部位も、歩行者の年齢、性別、身長なども、千差万別であるにもかかわらず、それらの変動要因を全て含んだ分析で、「保有台数 1 万台当たりの死亡重傷者数」の指標を用いて総合的に見ると歩行者保護性能の影響を確認できたということである。

同様に、直進時死亡事故について Fig. 7 は「致死率」、Fig. 8 は「保有台数 1 万台当たりの死者数」を縦軸に採っている。ここでも、Fig. 7 の「致死率」では見られない JNCAP 歩行者頭部保護性能スコアとの関係が、Fig. 8 の「保有台数 1 万台当たりの死者数」では、有意に現れてきている。

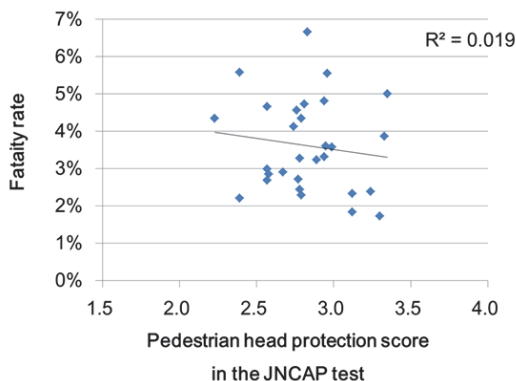


Fig. 7 Relationship between PHPS and Fatality Rate (Going-Straight)

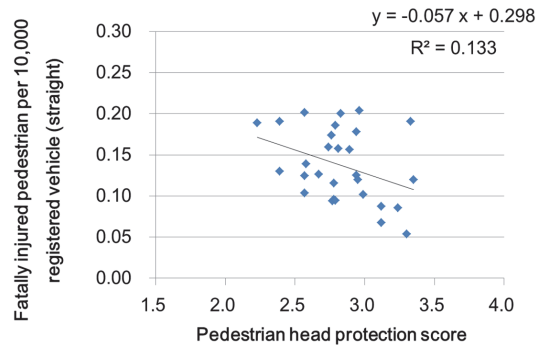


Fig. 8 Relationship between PHPS and the Number of Fatally Injured Pedestrians per 10,000 Registered Vehicles (Going-Straight)

事故時傷害発生頻度を表す指標として何を採用するかは、それほど議論されることはないが、上記に示したように、事故分析から知見を得られるかどうかに関わる重要な経験的ノウハウである。保有台数 1 万台当たりの指標を用いた研究論文には文献<sup>(11)(12)(13)</sup>がある。

ところで、車種によって、走行頻度が異なるという議論もあり、この暴露率を加味するために、事故責任の少ない側である第 2 当事者としての被追突事故数を暴露率として分母にとることもある。しかし、マツダにおけるこれまでの事故分析では、ブレーキランプの仕様によって追突されにくさが異なることや、車両重量によって追突事故時の傷害発生頻度が異なるという知見も得られており、この第 2 当事者としての被追突事故数は暴露率とはなりにくいと考えている。

ある車種の事故あるいは傷害の絶対数が多いか少ないかは、まず保有台数に依存することは間違いなく、マツダではこの保有台数 1 万台当たりを基本的な指標としている。走行頻度、運転者年齢、その他条件で絞り込むことは、次のステップであり、その分析により、よりはっきりした関係が得られる可能性があると考えている。

### 4.3 事故条件の絞り込み

上記の「死亡」「直進」の事故条件に加え、傷害を発生させた加害部位を絞り込んでいく。

歩行者事故における加害部位は、マクロ事故データでは、「車外部位 (タイヤ)」、「車外部位 (その他)」、「路面」、「その他」の 4 種類に分類されている。タイヤ以外の車外部位、つまり全車体についてより詳細な分類項目があると更なる詳細分析が可能となるので改善を期待したい。Fig. 9 は、行動類型別に加害部位の分布を見たものである。直進では、加害部位の約 75%が車体で、歩行者頭部保護性能を評価している領域が多いと推定される。右折、左折時の死亡は絶対数が少ないが、タイヤや路面が加害部位となって



いる比率が高いことがわかる。

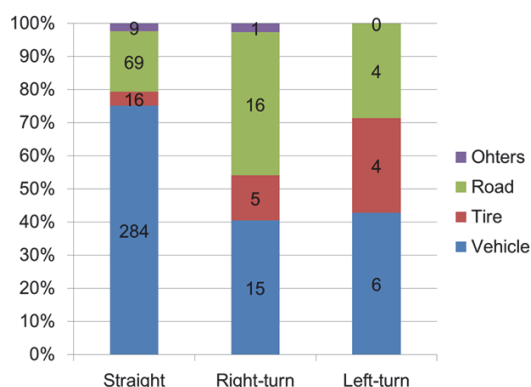


Fig. 9 The Number of Fatally Injured Pedestrian for each of Vehicle Maneuvers and Injuring Object

そこで次に、直進において、加害部位を JNCAP で評価対象である車体に絞った歩行者頭部保護性能と保有台数 1 万台当たりの死亡の関係性を見たグラフが Fig. 10 である。決定係数が Fig. 8 の 0.133 から 0.193 と上昇している。この決定係数の差は統計的に有意であるとまではいえないが、相関加害部位を車体に絞ることにより、歩行者頭部保護性能の影響がより強まった可能性はあると考えられる。

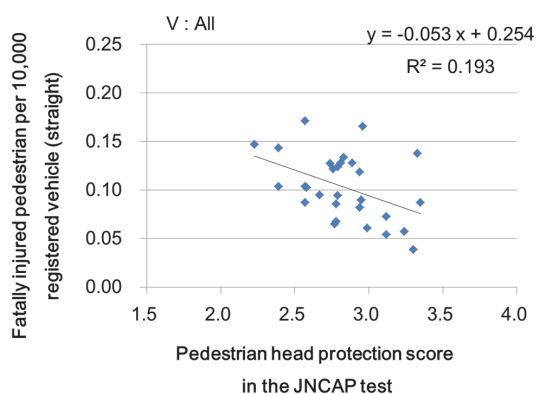


Fig. 10 Relationship between PHPS and the Number of Fatally Injured Pedestrian per 10,000 Registered Vehicles (Going-Straight, in Case Where Human Body Collided with Vehicle Body)

次に速度についての検討を行う。Fig. 11 は危険認知速度と行動類型で分類した死者数を表している。直進が非常に多く、かつ、速度が高くなるほど死者数が多くなっていることがわかる。ここで、危険認知速度とは、運転者が衝突相手を認め、危険を認知した時点の速度である。

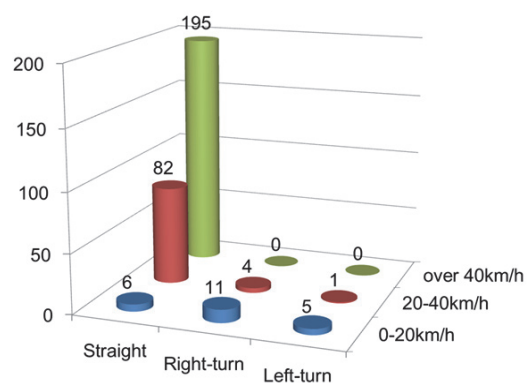


Fig. 11 The Number of Fatally Injured Pedestrian for Each of Vehicle Maneuvers and Danger-Cognitive Velocity

危険認知速度を 40km/h 以下と 40km/h 超に分けて「歩行者頭部保護性能スコア」と「保有台数 1 万台当たりの死者数」の関係を見たグラフが Fig. 12 と Fig. 13 である。

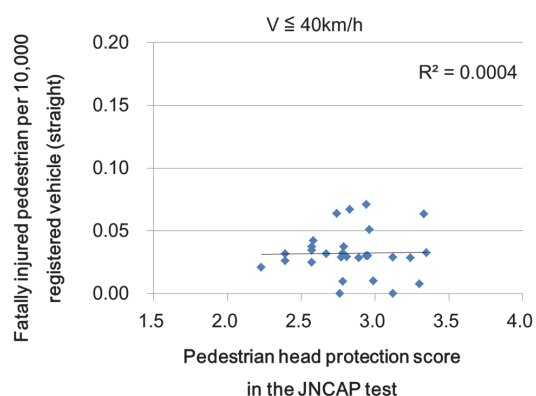


Fig. 12 Relationship between PHPS and the Number of Fatally Injured Pedestrian per 10,000 Registered Vehicles (Going-Straight, in Case Where Human Body Collided with Vehicle Body, under the Condition of Danger-Cognitive Velocity that is 40km/h or Less)

Fig. 13 の決定係数は 0.269 となり、Fig. 10 の 0.193 から相関が上昇している可能性がある。Fig. 10 と比較し、40km/h 以下の Fig. 12 では相関が見られないが、この理由としては、低速は衝撃エネルギーが小さく、性能の差が表れない領域となっていることが考えられる。

JNCAP の性能は、衝突速度が 0 から 44km/h までをカバーしており、それ以上の速度領域はカバーできていないと考えることがある。しかし、今回のように、危険認知速度 40km/h 以上の速度の事故を全て加味しても、その性能が良い方が歩行者の傷害が低いことが示され、現在評価されている歩行者頭部保護性能は、

高速域を含んで有用であることも確認できた。

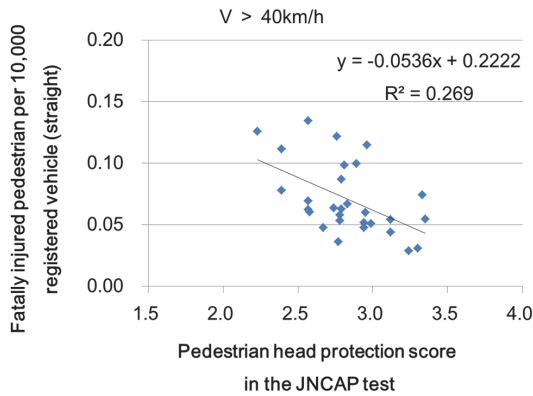


Fig. 13 Relationship between PHPS and the Number of Fatally Injured Pedestrian per 10,000 Registered Vehicles (Going-Straight, in Case Where Human Body Collided with Vehicle Body, under the Condition of Danger-Cognitive Velocity that is over 40km/h)

### 5. 歩行者頭部保護性能の市場価値

歩行者頭部保護性能は、頭部を模擬したヘッドフォームを用い、衝突エネルギーの吸収の良否をみるものであるが、今回の分析では傷害部位を特に頭部に限定していない。それでも上記のような関係が見られたということは、実際の市場事故時には、衝突エネルギーの吸収良否は頭部に対してのみでなく、人体のその他の部位に対しても効果を発揮し傷害を発生しにくくしていると推定される。

実際の商品開発の際には、重量やコストの制約条件等難しい課題も解決させ、かつ、デザインとの両立も図り、高い安全性能を目指している。CX-5 (Fig. 14) の JNCAP 歩行者頭部保護性能は 3.46 点と高得点を達成しており、万一の事故時に歩行者への加害性が低く抑えられていると推定できる。今後、市場での検証を行っていききたい。



Fig. 14 CX-5

### 6. 事故分析の活用方法

実際の市場では、衝突速度、衝突相手、乗員、歩行者の性別、年齢、体格のような条件は非常に広い幅を持つ。そのような幅広い条件を全て加味しても、事故や傷害を低減できる提案をすることが事故分析業務の目的の一つとなる。事故分析を含む安全開発プロセスは次のようになる。

(1) さまざまな視点で市場事故全体をマクロ的に分析し、注力すべき事故領域や事故シーンを絞り込んで特定する。

(2) その事故や傷害へ影響がある性能、指標を統計的に明らかにする。データマイニングの一種ともいえる。

(3) 事故や傷害発生のメカニズムをマイクロ事故データや実験、CAE などを用いて解明し、対策を検討する。

(4) 再びマクロの視点から、その対策が市場全体に対してどのような効果をもたらすかを推定する。

(5) 技術開発、商品開発を行い、対策を商品に織り込む。

(6) 対策の効果を市場の事故データを分析して検証する。

このような地道な研究開発を行いながら、究極的に目指す姿は交通事故がゼロである。もちろん、そういった状況に近づけば、交通事故を統計的に分析することはできないが、我々の使命は事故分析をすることではなく、事故や事故時傷害を限りなくゼロに近づけることである。

### 7. まとめ

今回の事故分析では、直進時の死亡事故に着目し、歩行者頭部保護性能が歩行者事故時に傷害低減効果を発揮していることを統計的に明らかにすることができた。

また、マツダがこれまで培ってきた事故分析技術、その活用方法についてまとめた。

もちろん、最初に述べたように、歩行者事故低減のためには人、環境、クルマ等その他のさまざまな取り組みも必要である。マツダとしても自らクルマを改善し続けるとともに、警察や国土交通省、日本自動車工業会、あるいは世界中のさまざまな機関、自動車・部品メーカーなどと協力しながら、世界の道路交通安全の向上に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- (1) 警察庁交通局：平成 24 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について、p.9 (2013)

- (2) NHTSA U.S. Department of Transportation: TRAFFIC SAFETY FACTS 2010, DOT HS 811659, (2013)
- (3) The Ministry of Public Security of the People' Republic of China: Annual Statistical Report of Road Traffic Accidents in the P.R. of China
- (4) Kawabe, Y., et al: Different Factors Influencing Post-crash Pedestrian Kinematics, SAE 2012-01-0271, (2012)
- (5) Chen, H., et al: A comparative Study between China and IHRA for the Vehicle-Pedestrian Impact, SAE 2009-01-1205, (2009)
- (6) Takeuchi, K., et al: Correlation between JNCAP Pedestrian Head Protection Performance Tests and Real-world Accidents, ESV 07-0203, (2007)
- (7) Strandroth, J., et al: The Correlation between Pedestrian Injury Severity in Real-life Crashes and Euro NCAP Pedestrian Test Results, ESV 11-0188, (2011)
- (8) Pastor, C.: Correlation between Pedestrian Injury Severity in Real-life Crashes and Euro NCAP Pedestrian Test results, ESV 13-0308, (2013)
- (9) 自動車事故対策機構 NASVA : 自動車アセスメント歩行者頭部保護性能試験の概要,
- (10) [http://www.nasva.go.jp/mamoru/assessment\\_car/head\\_protection\\_test.html](http://www.nasva.go.jp/mamoru/assessment_car/head_protection_test.html)
- (11) 水野幸治 : 自動車の衝突安全, 名古屋大学出版会, p.5 (2012)
- (12) Kawaguchi, K., et al: Accident Data Analysis for the Real-world Safety Enhancement, SAE 2003-01-0504, (2003)
- (13) Kawaguchi, K., et al: Field Data Analysis in Japan for the Real-world Safety Enhancement, FISITA F2004V270, (2004)
- (14) Kawaguchi, K., et al: Frontal Crash Data Analysis in Japan for the Real World Safety Enhancement, FISITA F2006M136, (2006)
- (15) Kuehn, M., et al: Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-life Accidents, ESV 09-0317, (2009)
- (16) Ogawa, S., et al: Effect of Visibility and Pedestrian Protection Performance on Pedestrian Accidents, ESV13-0365, (2013)

## ■ 著 者 ■



河口 健二



石橋 篤



尾川 茂