

論文・解説

37

リアルワールドでの安全性向上に向けた取り組み Our Activities for the Real-World Safety Enhancement

神本 一朗*¹ 河口 健二*² 吉村 美枝*³
Ichiro Kamimoto Kenji Kawaguchi Mie Yoshimura

宮島 陽一*⁴ 柴原 多衛*⁵ 成川 岳宏*⁶
Yoichi Miyajima Taiji Shibahara Takahiro Narikawa

要約

日本政府の目標「2030年世界一安全で円滑な道路交通社会」を達成するため、政府、県警など地方自治体、各自動車メーカーなどはさまざまな努力をしている。本稿では、交通事故時の傷害低減のマツダの取り組みについて、リアルワールドでの事故の統計分析から、マイクロ事故データを用いての個別の事故の再現と対策検討までの一連のプロセスを解説する。また、具体例として、前面衝突時の後席高齢者乗員の傷害を取り上げ、車両挙動と乗員挙動の事故再現や、傷害に影響する要因を分析、傷害低減のための知見を得ることができた。

Summary

In order to achieve the Japanese government's target, "The safest and smoothest road traffic society in the world by 2030", various efforts have been made by the local and central governments, automotive manufacturers and others. This paper introduces Mazda's efforts including a comprehensive accident research covering from statistical analyses to in-depth study such as accident reconstructions and countermeasure considerations. In the study, rear-seating elderly occupants' injury cases at frontal collisions were focused on, and the reproduction of vehicle and human behaviors at the accidents and the analyses of the factors affecting injuries are explained. The findings of this study provide us the hints leading to the injury/fatality reduction from the perspective of a human body.

1. はじめに

日本では、法規制の強化や独立行政法人自動車事故対策機構 (NASVA) による衝突安全性能の評価 (New Car Assessment Program, NCAP) をはじめ、さまざまな研究により、より安全な自動車開発が促進されてきている。このような活動の効果もあり、交通事故による死者は2000年をピークに下がり続けており、政府は戦略市場創造プランの中で、2030年に世界一安全で円滑な道路交通社会を実現すべく施策を検討している。このような状況の中、マツダも自動車メーカーとして、お客様の事故や傷害を低減できる商品を開発してきている。

SKYACTIV 技術を織り込んだCX-5とアテンザは、日本の新型車の安全性能評価JNCAPでファイブスター賞を受賞するなど、各国アセスメントで高い安全性能を持つことが実証されている。NCAPは代表的な事故形態での評価で、その傷害低減効果は上がっているが、一方で、リアル

ワールドでのさまざまな事故形態の対応も必要で、マツダでは、NCAPモード以外の死亡重傷者等を低減することにも取り組んできている。このためには、事故実態の分析、事故件数の低減技術、事故時の乗員や歩行者の傷害低減技術などが必要である。本稿では、これまでの市場事故分析による成果と現在の傷害低減技術に関する取り組みを紹介する。

2. これまでのリアルワールド分析とその成果

2.1 マツダ車関与事故の分析

本稿で示す日本における交通事故の統計分析は、(公財)交通事故総合分析センター (ITARDA) の集計結果に基づいて行っている。2013年の事故データを用いて、マツダ車が関与した死亡重傷事故の死亡重傷当事者の状態別内訳を示したものがFig. 1で、マツダ車乗員が22%、歩行者が21%、相手四輪が18%、自転車が17%、原動機付き自転車11%、自動二輪11%となっている。

*1~6 衝突性能開発部
Crash Safety Development Div.

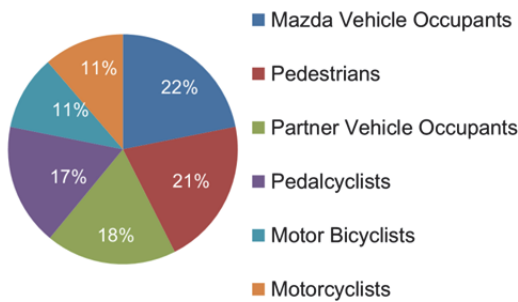


Fig. 1 Configuration Rate of Type of Fatally and Seriously Injured Participants in Accidents Involved with Mazda Passenger Car (2013)

Fig. 2はマツダ車乗員の死亡重傷事故における衝突部位の比率を示している。前、右前、左前の前方三つを合算すると64%を占め、死亡重傷事故の衝突部位の中で最も多くなっていることが分かる。

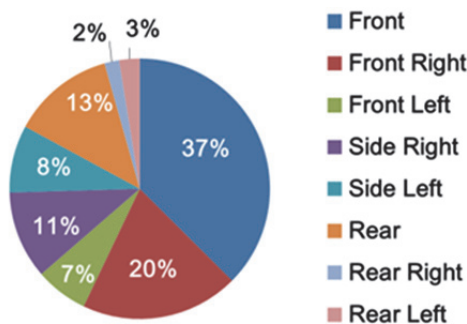


Fig. 2 Configuration Rate of Crash Area of Mazda Vehicle with Fatally and Seriously Injured Occupants of Mazda Passenger Car (2013)

2.2 これまでの事故分析の成果

前節のような状況を踏まえ、マツダは自車乗員、歩行者、相手側乗員の傷害低減に取り組んできた。

例えば、前面衝突事故の脚部傷害について、フットレストやトーボードの衝突時の後退量と大腿骨荷重などの影響を定量的に明らかにしてきた⁽¹⁾。この知見は、CATARC (China Automotive Technology & Research Center) でのCNCAPの基準策定に参考とされている。また、歩行者事故での死亡重傷者低減のためには、JNCAPで評価する歩行者頭部保護性能の向上が効果的であることを定量的に明らかにし⁽²⁾、引き続き事故時の傷害低減に向け歩行者保護性能改善に取り組んでいる。更に、保有台数1万台当たりの歩行者死傷者数には、フロントウインドウ越しに見渡せる幅広さの指標である「見開き角」の影響があることも明らかにした⁽³⁾。見開き角の拡大は既に商品に織り込まれ、歩行者事故低減を図ってきている。

3. 傷害低減プロセス

3.1 事故分析

リアルワールドでの安全性向上には、衝突被害軽減ブレーキやAT誤発進抑制機構等のActive Safety中心の事故発生率低減、エアバッグやシートベルト等のPassive Safety中心の事故時傷害低減、事故発生時の傷害予測や緊急通報等事故後の対応の三つの領域がある。本稿では事故時の傷害低減に焦点を当て、そのプロセスをFig. 3に示す。

まず、市場事故の統計データや技術文献により、追突や正面衝突等の事故類型や衝突部位などの視点から、市場全体の事故の状況を見える化して対応の優先順位をつける。

次に、その優先度の高い領域において、死傷事故件数の大小に影響を及ぼす因子を統計的分析により明らかにする。

そして、個々の事故の詳細調査されたマイクロ事故データに基づいてのマイクロ事故分析を行う。具体的には、事故現場周辺に残ったブレーキ痕や車両変形状態をはじめ事故調査情報を手掛かりに、衝突の速度や角度を含む事故前後の一連の車両挙動を分析する。この車両挙動を基に、事故車両に残ったインパネやシートベルトについての傷や変形などの痕跡から、実際に発生した傷害、乗員の挙動、乗員に加わった衝撃などの傷害メカニズムを推定する。

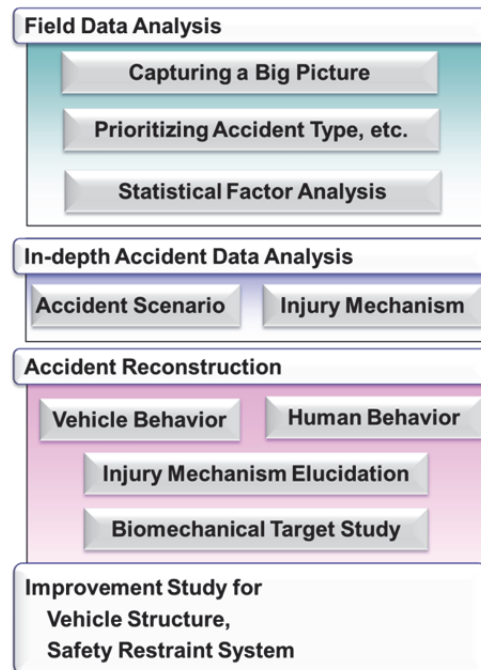


Fig. 3 Injury Reduction Process

3.2 事故再現

傷害低減策の検討のためには、前述の詳細なマイクロ事故分析を実施し、実際に発生した事故をできるだけ忠実にコンピュータ上に再現し、事故や傷害のメカニズムを把握することが不可欠であり、そのための主な技術は以下の二つがある。

(1) 車両挙動シミュレーション技術
 事故発生時の周辺環境情報、衝突速度、衝突部位、車両諸元などの情報を基に、DSD社開発の交通事故シミュレーションソフトPC-Crash (ver.9.0) を活用して車両挙動を再現し、これで得られた車両の加速度や角速度データを

(2) の人体シミュレーションに適用する。

(2) 人体シミュレーション技術
 車両挙動シミュレーション技術で再現した車両挙動データを用いて、人体の挙動や傷害の発生メカニズム検討のためにTASS社製のMADYMOヒューマンモデル (以下ヒューマンモデル) を用いた。これは、挙動に関わる人体の構造を離散化したマスと非線型の力学的特性を持つバネの集合としてFig. 4のようにモデル化されている。また、このモデルはPMHS (Post Mortem Human Surrogate, 人の供試体) テストやボランティアテストによって高い人体再現性が確認されている^{(4),(5)}。

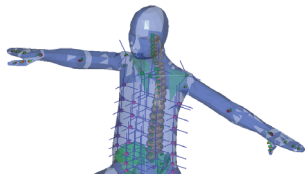
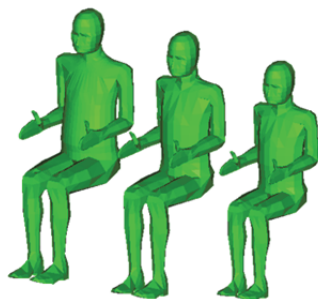


Fig. 4 Human Structure Modeled by Lumped-masses and Springs with Non-linear Stiffnesses

個別の事故再現では、性別や体格をはじめ、事故時の乗員の条件をできるだけ忠実に再現することが重要である。本検討ではマイクロ事故データから得られる乗員の性別、身長、体重を入力条件として、ここから計算される人体各部のサイズと力学的特性をモデルに反映させるスケーリングの手法を用いる^{(6),(7),(8)}。そのスケーリングの事例をFig. 5に示す。



175cm 76kg 168cm 65kg 149cm 50kg

Fig. 5 Standard-Sized Model(Left) and Scaled Models (Center,Right)

(3) 傷害発生メカニズム解明

(2) 項のシミュレーションから得られる人体の挙動、人体各部の荷重、モーメント、変位等の結果から、傷害発生メカニズムが把握できれば、衝突速度、シートベルトや

エアバッグの特性を変化させることにより、傷害変化のパラメータスタディと対策検討が可能となる。

今後は、人体そのものを忠実に再現した有限要素モデルを用い、人体の骨格や内臓等の加速度や荷重、傷害を研究する活動を行うとともに、実際の傷害状況についても、事故調査データにとどまらず、救急病院や大学等とも連携して、人体挙動と人体の受傷メカニズムとの関係解明に取り組んでいく。

4. 前面衝突時の乗員傷害要因分析

3.2で述べたプロセスに従って、前面衝突時の後席乗員の分析に取り組んだ。

4.1 座席別・年齢層別事故分析

自転車乗員の死亡重傷者数を衝突部位別に分析すると、前面衝突が大きな比率を持つことは2章で示したとおりである。ここでは更に座席別と年齢層別に分析する。

男女別、65歳以上の高齢者、65歳未満の非高齢者の死亡重傷率を比較したグラフがFig. 6で、死亡重傷率は式(1)で計算される。

$$\text{死亡重傷率 (\%)} = \text{死亡重傷者数} / \text{死傷者数} \times 100 \quad (1)$$

男女とも、高齢者の死亡重傷率が非高齢者と比較してかなり高くなっていることが分かる。座席間の比較では、助手席の死亡重傷率が高めとなっている。

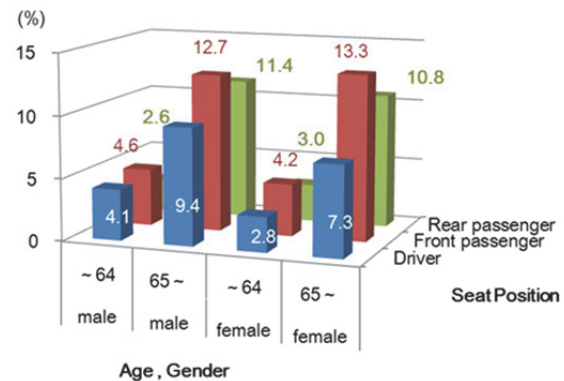


Fig. 6 Fatal and Serious Injury Rate by Age, Gender and Seat Position

また、男性、女性、座席ごとに、非高齢者を基準として、高齢者の死亡重傷率を示したグラフがFig. 7である。後席の高齢者の死亡重傷率が非高齢者に対して男性で4.4倍、女性で3.6倍となっており、悪化率が運転席や助手席に対して大きい。

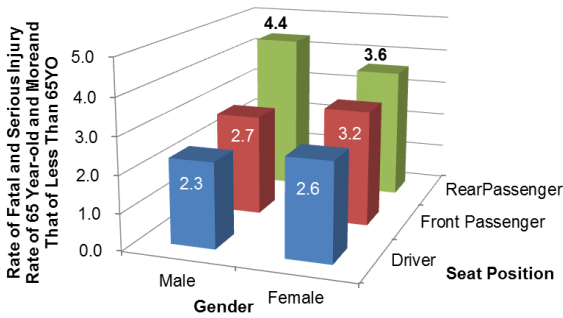


Fig. 7 Rate of Fatal and Serious Injury Rate of 65 Year-old and More and That of Less Than 65YO

年齢層別の後席乗員の死亡重傷率をFig. 8に示す。高齢になるに従って死亡重傷率が増加していることが分かる。

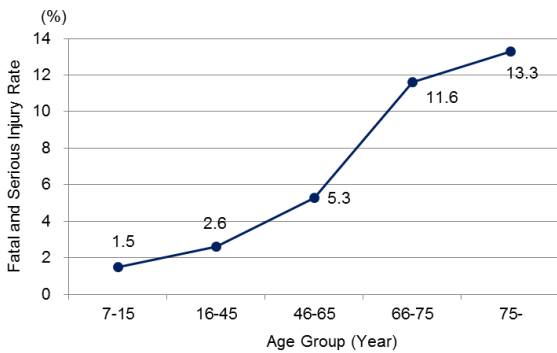


Fig. 8 Fatal and Serious Injury Rate by Age Group in Rear Passenger

損傷主部位別の後席乗員死亡重傷数をFig. 9に示す。高齢者の胸部の傷害者数が著しく多いことが分かる。

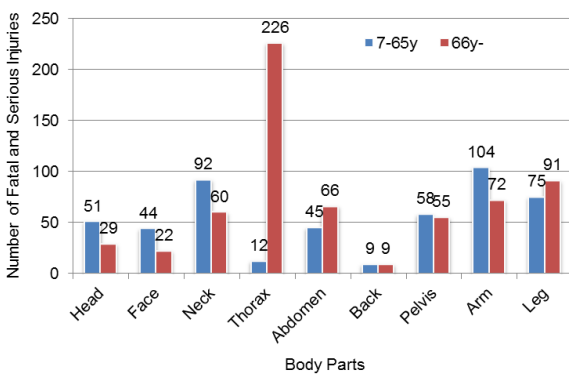


Fig. 9 Number of Fatal and Serious Injuries by the Body Parts Mainly Injured in Rear Passenger

損傷主部位別の後席乗員死亡重傷率をFig. 10に示す。これは、前出の式(1)で示した死亡重傷率を損傷主部位ごとに示したもので、高齢者は全般に高くなっているが、特に腹部の死亡重傷率が高い。

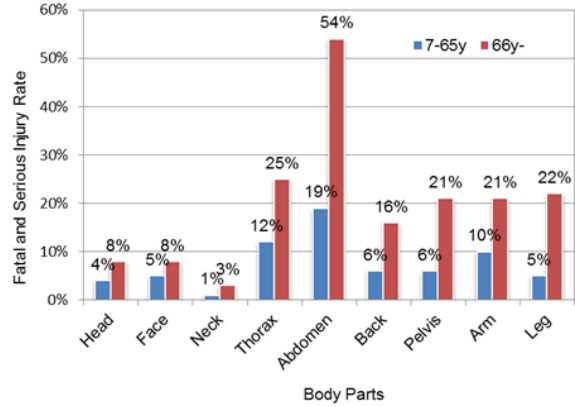


Fig. 10 Fatal and Serious Injury Rate by the Body Parts Mainly Injured in Rear Passenger

以上の結果から、前面衝突事故時に胸部や腹部に傷害を受けた後席高齢乗員の事故事例を取り上げて、事故再現及び要因分析を行った。

4.2 事故再現

(1) 事故概要

Fig. 11は、左前方から来た推定衝突速度30km/hの車両が出会い頭で交差車両の側面に衝突し、後席男性高齢者に胸部血管損傷（大動脈起始部破裂）、臍臓損傷が発生、死亡した事例である⁽⁹⁾。

(2) 車両挙動再現

3.2節(1)項で説明したPC-Crashを用いて、衝突現象を再現させた。Fig. 11に示すように、衝突前から衝突後にわたって、2台の車の衝突現象が、現場見取り図の点線のとおり、精度よく再現されていることが分かる。

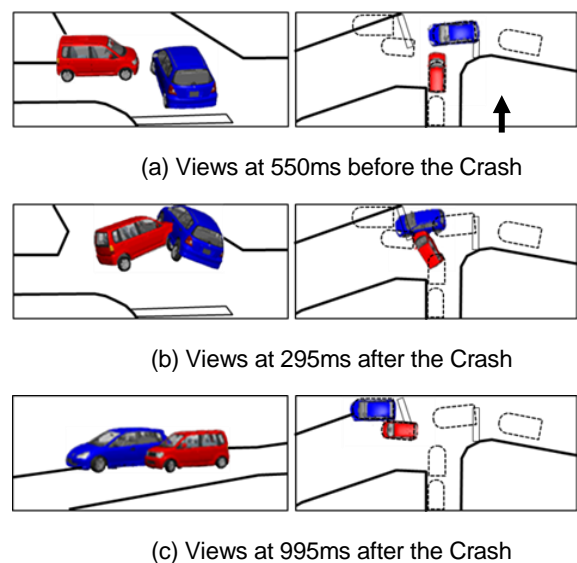


Fig. 11 Reconstruction Summary of the Cars Behavior

(3) 人体挙動再現ケース

対象乗員は83歳男性、身長149cm、体重50kgであり、通常の着座であると考えられる。実際の傷害はFig. 12に示すように、AIS (Abbreviated Injury Scale) 5の胸部血管損傷とAIS2の腹部臓器損傷である。(2) 項で述べた車体挙動のデータと3.2節で示したヒューマンモデルを用いて、乗員をスケーリングした上で挙動を再現した結果をTable 1に示す。

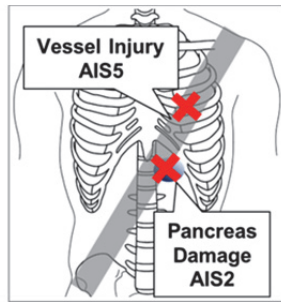


Fig. 12 Injuries of the Elderly Rear Seat Occupant in the Case

Table 1 Summary and Passenger Simulation Condition

Accident mode		Car to car Accident (Crossing-Paths)		
Accident / model		Accident data	MADYMO Model	
Rear seat Occupant		83 years old/Male	Adult male human body model	
Result	Injury	Max Injury: AIS5 The chest blood vessel damage Injury source: Seat belt Other Injury: AIS2 The abdominal pancreatic damage Injury source: Seat belt	Chest def. 34 mm Abdomen def. 23 mm	
	Injury Source	Rear door & B-pillar Trim	No Paratripsis mark	No contact
Seat belt	Fr. Seat	Intact	Intact	
	Retractor Pay-out	60-70 mm	65 mm	
	Webbing slip at Buckle	20-30 mm	20 mm	

傷害確率との関係を示したリスクカーブを用いて確認した結果、ヒューマンモデルで再現した胸部変位量 34mm は、80歳で重体相当のリスクであり、今回の事故の結果をほぼ再現している。また、車両側の状況として、Table 1に示すように、シートベルトのショルダ側の伸び出し量とシートベルト擦過痕が一致しており、事故を再現できたと判断した。

4.3 乗員傷害に影響を及ぼす要因の分析

ここでは前出の事故再現乗員挙動モデルを用いたケーススタディとして、リアルワールドで発生しうる着座姿勢とシートベルトの誤使用について評価した結果を紹介する。

(1) 腰を前に出して着座しているケース

特異な腰の着座姿勢として、腰を前に出した姿勢(当評価では 150mm 腰を前出し)を評価したところ、シートベルトが腸骨から外れ、サブマリン現象が発生した。その結果、Fig.13 に示すように、胸部変位量は減少するものの、Fig. 14 に示すように、腹部変位量が 23 mm から 57mm へ増加している。

(2) シートベルトを脇の下に通しているケース

特異なシートベルトの使用状態で、ショルダベルトを脇の下に通している場合、ショルダベルトが腹部に食い込み、Fig. 14に示すように、腹部の変位量が23mmから42mmへ増加している。

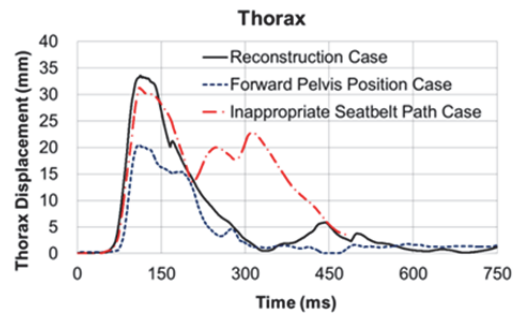


Fig. 13 Thorax Displacement

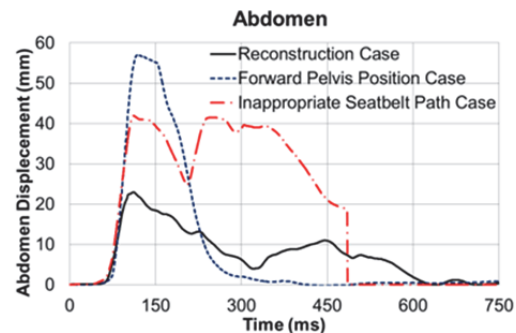


Fig. 14 Abdominal Displacement

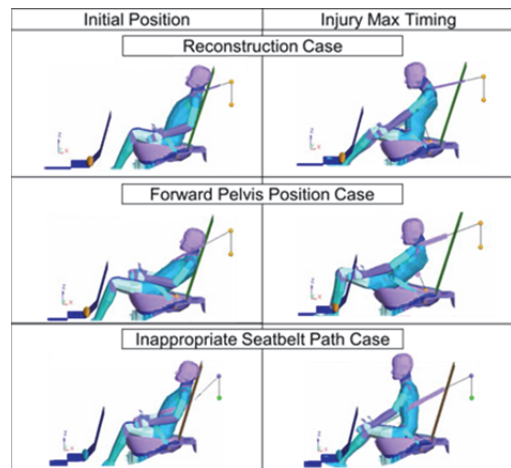


Fig. 15 Comparison of the Rear Passenger Behaviors

Fig.15には、以上3つのケースの初期位置と最大傷害時の挙動の違いを示している。

(3) ケーススタディによる乗員傷害低減検討のまとめ

(1) (2) 項の結果から、前突時の後席乗員の腹部保護のためには、サブマリン現象を発生させないことであり、正しい着座姿勢と適正なシートベルトの使用が重要であることが分かった。お客様への啓発活動を通じて、これらを訴求していきたい。

また、リアルワールドでの死亡重傷者低減を目指して、腹部傷害に関する更なる研究が必要であり、医学関連のエキスパートとの協議と検討も進める。

今後、今回のような研究を推進して、増加する高齢者をはじめとする市場事故全体を考慮した上での効果的な拘束装置の開発を継続していく。

5. おわりに

本稿では、交通事故での死傷者を低減していくために、日本における交通事故の分析と得られた知見を安全な商品造りに結びつけていくプロセスを紹介した。

(1) 自転車乗員で死亡重傷となったケースの64%は前面衝突である。特に、後席の高齢者のリスクの増加は前席より多いことから、本稿では、前面衝突時の後席高齢者乗員を研究対象に選定した。

(2) 個別の事故の詳細を記述したマイクロ事故データの分析で、事故と傷害発生シナリオを把握し、コンピュータ上で事故を再現し、それを基に、要因を分析し、対策を検討し、その傷害低減検討プロセスを確立した。今後、このプロセスを用い、日本のITARDAマイクロ事故データや中国のCIDAS (China In-depth Accident Study) データ⁽¹⁰⁾等を活用して、さまざまな傷害低減のための知見を拡大していく予定である。また、更なる詳細な傷害発生の研究を行うための医学的知見を取り入れた研究を検討していく。

(3) 今回事例の前面衝突、後席乗員、高齢者のケースの検討結果から、後席乗員の正しい乗車姿勢と正しい拘束装置使用の重要性が明らかになった。

(4) リアルワールドの正確で詳細な事故分析に基づいて、事故や傷害を低減する技術開発を継続し、更なる安全性向上を目指した商品を具現化し続けることで、お客様の安全と安心の向上に貢献していきたい。

参考文献

- (1) Kawaguchi, K., et al. : Frontal Crash Data Analysis in Japan for the Real-world Safety Enhancement, FISITA F2006M136 (2006)
- (2) 河口ほか：歩行者頭部保護性能の市場事故時傷害低減効果の研究, マツダ技報, No.31, pp.161-167 (2013)
- (3) Ogawa, S., et al. : Effect of Visibility and Pedestrian Protection Performance on Pedestrian Accidents, ESV13-0365 (2013)
- (4) Happee, R., et al. : A Mathematical Human Body Model for Frontal and Rearward Seated Automotive Impact Loading, SAE983150 (1998)
- (5) Happee, R., et al. : athematical Human Body Modeling for Impact Loading, SAE1999-01-1909 (1999)
- (6) Mertz H.J., et al. : Size Weight and Biomechanical Impact Response Requirements for Adult Size Small Female and Large Male Dummies, SAE 890756 (1989)
- (7) Happee, R., et al. : Optimization of Vehicle Passive Safety for Occupants with varying Anthropometry, ESV98-S9-O-03 (1998)
- (8) Rodarius, C., et al. : Scalability of Human Models, ESV 07-0314 (2007)
- (9) 田仲：後席同乗中の高齢死者の傷害状況の分析, ITARDA 第16回研究発表会テーマ論文 (2013)
- (10) Chen, Q., et al. : A Comparison Study of Car-to-Pedestrian and Car-to-E-Bike Accidents: Data Source: The China In-Depth Accident Study (CIDAS), SAE No. 2014-01-0519 (2014)

■ 著 者 ■



神本 一朗



河口 健二



吉村 美枝



宮島 陽一



柴原 多衛



成川 岳宏