

# 車両同士の側面衝突時の乗員保護に関する研究

細川 成之      米澤 英樹      谷口 哲夫

## A Study on Occupant Protection in Car-to-Car Side Impacts

by

Naruyuki HOSOKAWA , Hideki YONEZAWA , Tetsuo TANIGUCHI

### Abstract

Although harmonization of test procedures for full-scale side impacts has been discussed, different test procedures are still being used in the U.S., Europe, and Japan. These procedures differ in impact conditions, evaluation criteria and among other aspects.

However, as the global harmonization of vehicle safety regulations has progressed in recent years, harmonization activities relating to the side-impact test procedure have also become more active.

For example, under the IHRA Side Impact Working Group, experts from various countries have discussed the development of an internationally-harmonized side-impact test procedure that matches the latest conditions of side-collision accidents and actual status of the vehicle market.

With regard to dummies used for side impacts, a worldwide-harmonized side-impact dummy (World-SID) is being developed by a Task Group established under ISO/TC22/SC12/WG5.

In addition, problems of the current EuroSID-1 dummy have been corrected. Through development and evaluation, this modified dummy, called ES-2, is now ready to be used in regulations.

For discussions on the uniform side-impact test procedure, it is necessary for countries, including Japan, to fully understand the realities of side-collision accidents and reflect them in the procedure.

To contribute to the IHRA SIWG activities, this study analyzed the situation of accidents in Japan, summarized the frontal dimensions and stiffness of typical vehicles on the market, and verified the results through vehicle testing under actual accident conditions. Based on the results, base data were collected for items to be included in the up-coming uniform side-impact test procedure when the latest accident analysis is concerned.

---

原稿受付：平成 17 年 7 月 29 日

\* 自動車安全研究領域

## 1. はじめに

実車を用いた側面衝突試験法はこれまで様々な方面から基準調和が呼びかけられながら、結果的には米国と欧州、日本とで衝突条件、評価基準等が異なる試験法<sup>(1)(2)</sup>が採用されている。しかし、近年の自動車安全基準の国際整合についての機運の高まりとともに、改めて側面衝突試験法の国際調和に対する活動が活発化し、例えば各国エキスパートが参加する IHRA (International Harmonization Research Activities) 側面衝突ワーキンググループ(SIWG)では、各国の最新の側面衝突事故実態、および車両市場実態に即した衝突条件を取り入れた国際統一側面衝突試験法について、短期、中期の両面から論議が進められてきた<sup>(3)(4)</sup>。また、側面衝突用ダミーについては、ISO/TC22/SC12/WG5 の下に設けられたタスクグループが国際統一側面衝突用ダミー (World-SID) の開発を進めてきた<sup>(5)</sup>。さらに、現在の EuroSID-1 ダミーの不具合点を改善した、ES-2 の開発・評価が進められ、法規に用いる段階に至っている<sup>(4)</sup>。

統一化された側面衝突試験法を検討する上では、日本を初め各国での側面衝突事故実態を把握し、これを側面衝突試験法に反映させる必要がある。本研究では、IHRA SIWG に貢献することを目的に、国内の事故実態を分析し、市場を代表する車両の前部寸法、剛性を整理し、かつ事故実態を考慮した実車実験（着座位置、体格等）での確認を行った。これらの結果をもとに、最新の事故分析を踏まえ近い将来の側面衝突試験法において重要と考えられる項目についての基礎的データを収集した。

本報告は、IHRA SIWG に日本から報告した研究成果をまとめたものである。

## 2. 側面衝突事故の分析

国内の側面衝突事故の分析を 1997 年の警察庁交通事故統計を用いて行った。交通事故統計は 1 名以上の負傷者を伴う交通事故をすべて収集しており、1997 年に発生した交通事故は 780,399 件、負傷者は 958,925 人、死亡者 9,640 人であった。交通事故統計では、乗員の傷害は死亡(事故後 24 時間以内の死亡者)、重傷(事故後 30 日以上の治療を要する)、軽傷(事故後 30 日未満の治療を要する)、無傷の 4 種類に分類され、無傷については運転者のみが集計されている。また、後席乗員の着座位置(左、右、中央)は記録されていない。この交通事故統計から車対車の側面衝突事故を抽出した。衝突位置を検討するため、前席乗員の左右の着座位置が明らかにされているデ

ータのみを抽出した。抽出結果は 63,658 件であった。これらの側面衝突事故における関係車両、および相手対象物の種類を Fig.1 に示す。

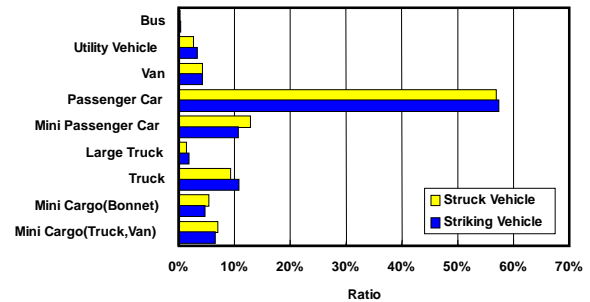


Fig.1 Types of vehicles in vehicle-to-vehicle side impact accidents (N=63,658)

車対車側面衝突における関係車両の種類は乗用車が最も多く、半数以上を占める。これらの結果を踏まえ、分析を乗用車同士の側面衝突についてのみ行い、着座位置による傷害、衝突速度、被・加害部位、性別等について分析した。

側面衝突における衝突側、反衝突側乗員の受傷者数を Fig.2 に示す。傷害程度が大きくなるに伴い、衝突側乗員の比率、および、ベルト非着用者の比率が高くなる傾向にある。衝突側乗員と反衝突側乗員の比率は、重傷以上で 62% : 38% となっている。したがって、これらの反衝突側乗員の傷害の評価についても考慮していく必要があることが判る。

衝突側乗員の傷害程度別に累積速度分布を調べた結果を Fig.3 に示す。速度は警察庁統計における「危険認知速度」を用いた。側面衝突車の速度は乗員の傷害程度による差が小さいが、衝突車の速度は側面衝突車乗員の傷害程度が厳しくなるに伴い、高速度域に分布する傾向を示している。側面衝突車乗員の重傷以上の 50 パーセントाइルに相当する速度は、側面衝突車 25 km/h、衝突車 45 km/h となり、両車の速度比は約 1 : 2 である。

重傷以上の乗員の受傷部位について Fig.4 に、加害部位について Fig.5 に示す。受傷部位は衝突側乗員の場合と反衝突側乗員に関係無く傾向は類似している。受傷部位では頭部、頸部、胸部等が多い傾向を示している。また、ベルト着用、非着用による受傷部位の傾向は頭部、頸部などの部位に差異が見られる。加害部位は衝突側乗員でドア、窓が非常に高い比率を示す結果となっている。また、ベルト非着用乗員の場合は、それ以外にステアリング、ウィンドシールド、インストルメントパネル等の前方部位に

も分散する傾向が見られる。反衝突側乗員では、ステアリング、ウィンドシールド等の客室内前方構造物の比率が、衝突側乗員の場合より高くなっている。受傷者の性別について1996年から1998年の3年間の警察庁統計における乗用車同士の側面衝突について分析しその結果を Fig.6 に示す。重傷以上について見ると衝突側、反衝突側とも男女の比率はほぼ同程度であるが、わずかながら男性の受傷者が多い。

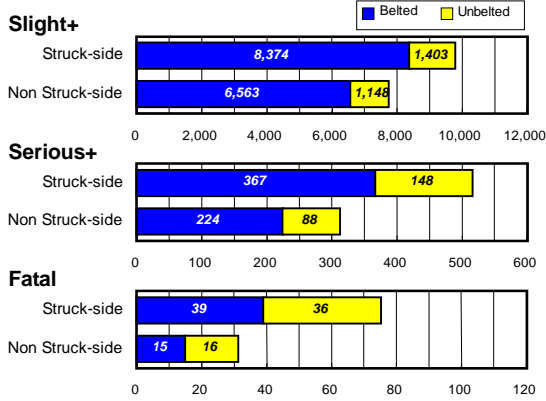


Fig.2 Number of injuries to struck- and non-struck-side occupants in car-to-car side impact accidents

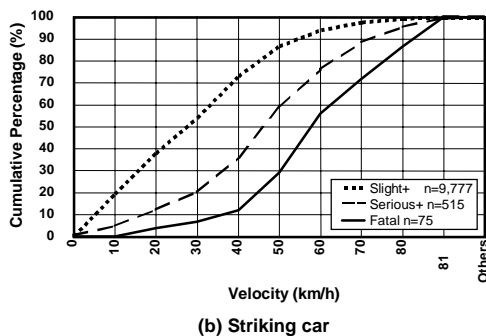
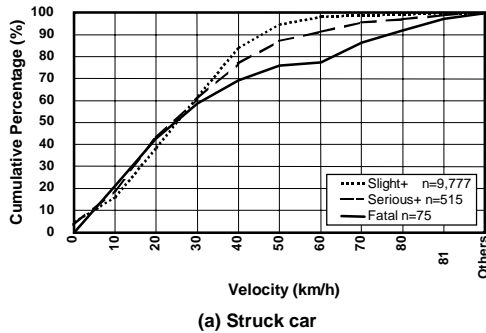


Fig.3. Velocity distribution in car-to-car side impact accidents classified by struck-side occupant injury severity

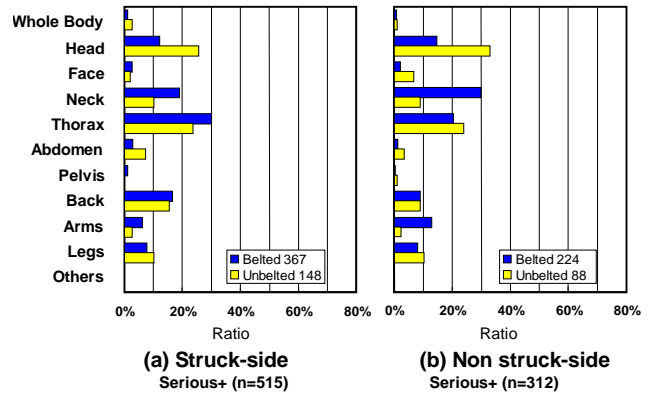


Fig. 4 Injured body regions for "Serious +" injuries in car-to-car side impact accidents

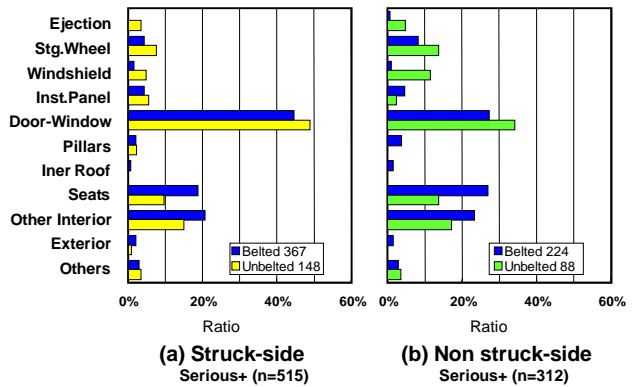


Fig. 5 Causes of injuries for "Serious +" injuries in car-to-car side impact accidents

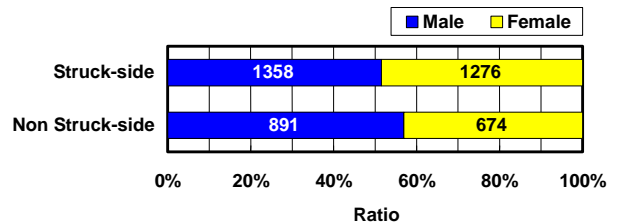


Fig. 6 Ratio of serious injuries by gender in side impact accidents (1996-1998)

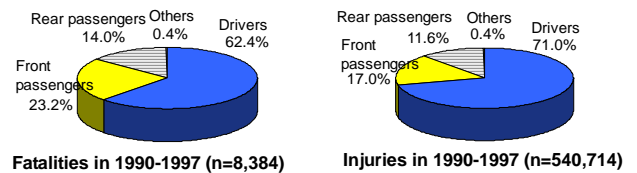


Fig. 7 Injuries by seating locations in side impact accidents

受傷者の着座位置について1990年から1997年の8年間の警察庁統計を用いて分析し、その結果を Fig.7 に示す。死亡者の85%、負傷者の88%が前席着座乗員で、後席乗員の占める割合は10~15%程度である。

### 3. 車両特性の分析

側面衝突試験において衝突車として用いる MDB (Moving Deformable Barrier) とそのバリアフェイスは乗用車の特性を考慮して決める必要がある。そこで、1998 年に日本国内で新車登録された車両の 1) 車両質量、2) 前部主要部材の形状、3) 前面剛性について調査を行った。調査対象車種としては、現在の日本国内の保有台数状況、および前述の側面衝突事故分析の結果等を考慮し、側面衝突事故時の衝突車を代表すると考えられるボンネット車、ミニバン、SUV (Sport Utility Vehicle) とした。有効調査台数は、車両質量、前面部の寸法については 4,026,470 台、前面剛性については 3,057,349 台である。この台数は、1998 年の四輪自動車の年間総販売台数 5,879,425 台に対して、それぞれ 68.5%、52.0% に相当している。

#### 3.1. 車両質量

空車質量の累積構成率を Fig.8 に示す。累積構成率 50 パーセントに相当する空車質量は 1,150 kg である。この値は、1993 年車の同手法での調査結果の 1,080 kg に対して 70 kg の質量増加であった。この要因としては、車両の大型化、安全対策による質量増、また、比較的質量の高いミニバン、SUV の販売台数の増加等が考えられる。試験法作成時の MDB の質量は、本調査結果のほかに市場における乗員の着座実態を考慮した乗員分の質量を加味して検討する必要がある。

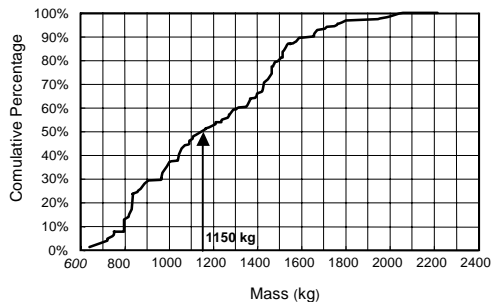


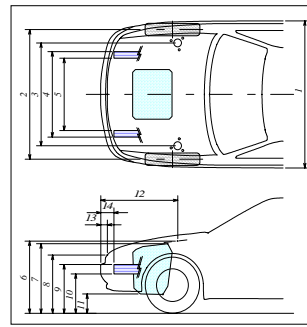
Fig. 8 Cumulative distribution of vehicle mass

#### 3.2. 前面形状

前面部の寸法として、車体前面部の主要強度部材を中心に各部の地上高、左右の幅、前端からの長さ等を調査した。調査した各主要部位の寸法値は、それぞれの車両の販売台数による重み付けを施し、加重平均値として求めた。調査結果を Fig.9 に示す。

フロントショックアブソーバー部高さの加重平均値 (6) は現在の日本、欧州の側面衝突試験法のバリアフェイス上端高さである 800mm よりわずかに低く、フロントサイドメンバ下端高さ (10) の加

重平均値はバリアフェイス下端高さの 300mm よりもやや高い値であった。



Measurement Point	(mm)
1 Overall Width	1652
2 Tread	1428
3 Front Shock Absorber Fixing Width	1007
4 Longitudinal Member Width (Inner Surface)	982
5 Longitudinal Member Width (Outer Surface)	853
6 Front Shock Absorber Fixing Height	788
7 Engine Top Height	735
8 Bonnet Front-end Height	736
9 Longitudinal Member Top Height	504
10 Longitudinal Member Bottom Height	376
11 Engine Bottom Height	267
12 Front Shock Absorber Fixing from Vehicle Front-end	804
13 Bonnet Front-end from Vehicle Front-end	99
14 Longitudinal Member Front-end from Vehicle Front-end	138

Fig. 9 Measuring points and weighted average for each dimension

#### 3.3. 前面剛性

前面剛性として、固定壁への前突試験においてバリア荷重が計測されている 86 車種を対象とし、その荷重変形特性から変形量 50 mm ごとに荷重値を求めた。荷重値は現在の日本、欧州の側面衝突試験法に採用されているバリアフェイスを考慮した 6 分割相当になるように面積比により補正した。荷重は販売台数による重み付けをして加重平均値を求めた。

荷重変形特性を現在のバリアフェイスに規定されている荷重変形コリドー (ECE/R95) と合わせて Fig.10 に示す。車両上部の剛性はコリドーにほぼ一致しているが、車両下部はコリドーと異なり左右部の剛性が非常に高く、中央部の剛性が低い特性を示している。また、車両全体としてはコリドー上限よりも高い剛性を示す結果となった。この傾向はミニバン、SUV 等の販売台数の増加とともに、オフセット前面衝突対策の結果、前面剛性が強化されたことが反映されているものと思われ、欧州車、米国車でもほぼ同様の傾向になると予想される。

### 4. 実車側面衝突試験

#### 4.1. 実験項目

事故データによる分析から、側面衝突車の速度が 50 パーセントで 20~30km/h であること、反衝

突側の乗員の傷害者数が多いこと、後席乗員の比率が15%存在していること、女性乗員の比率は男性乗員と近いことがわかった。これらの乗員の傷害リスクを検討するため、小型乗用車2車種を用いた11ケースの側面衝突試験を実施した。主たる検討項目は、(1)衝突側・反衝突側、(2)前席・後席、(3)クラブ角の有無 (Fig.11 参照)、(4)EUROSID-1・ES-2、(5)女性型・男性型、それぞれにおけるダミーの応答の比較である。試験は、現在の日本、欧州で採用されている側面衝突試験法 ECE R95 の試験条件をベースにした条件、および米国の側面衝突試験法 FMVSS214 をベースにした条件で実施した。試験条件を Table1 に示す。

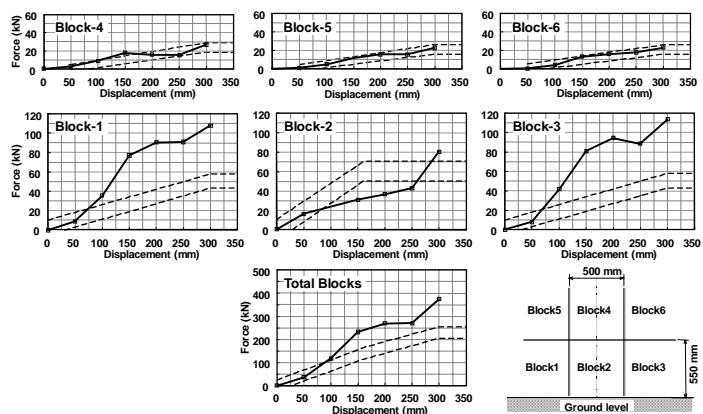


Fig. 10 Vehicle front-end stiffness (weighted average based on the 1998 car models)

ミーが必要となる。

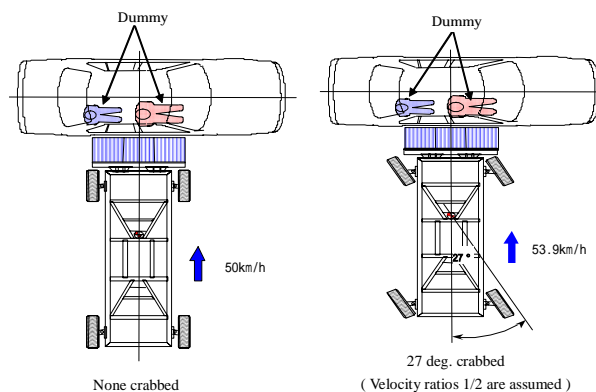


Fig. 11 Comparison of a collision configuration (Impact angle)

#### 4.2. 実験結果

##### 4.2.1 衝突側と反衝突側のダミー応答の比較

ECE R95 をベースとしたクラブ角の有無における衝突側、反衝突側ダミーの応答 (Test No.1,3) を比較し、Fig.12 に示す。HPC を除いて反衝突側ダミーの応答は衝突側ダミーよりも低い応答を示している。特にリブ変位、および V\*C については、反衝突側ダミーは非常に低い値となっており、胸部への入力がほとんどないことを示している。これらの傾向は 27 度クラブ角ありの試験でもほぼ同様であり、このことから、現在の試験法の条件においては反衝突側にダミーを搭載しての傷害値計測はほとんど意味がないものと判断される。この理由は、現在のダミーは衝突側の評価をする構造となっているため、ダミー同士の干渉に関して正確に計測できない事も 1 つの原因となっており、左右からの衝撃を計測できるダ

##### 4.2.2 前席と後席ダミー応答の比較

現在の試験条件下での後席ダミー応答評価の可能性について検討するため ECE R95 をベースにして、

Table 1 Full-scale test matrix

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Impact Configuration									
Impact Velocity	50 km/h		53.9 km/h	50 km/h	53.9 km/h	50 km/h	53.9 km/h	50 km/h	53.9 km/h
MDB Mass	950 kg							1368 kg	
Barrier Face Height	300 mm							279 mm	
MDB Impact Point	ECE/R95							FMVSS214	
Barrier Face Type	ECE/R95							FMVSS214	
Struck Vehicle	4drSD-A								
Struck Vehicle Mass	1285 kg	1282 kg	1283 kg	1210 kg	1211kg	1433 kg	1430 kg	1432 kg	1431kg
Front Struck-side Dummy	EUROSID-1	SID- s	EUROSID-1	ES-2		ES-2			
Seat Position	Mid	Front Most	Mid	Mid		Mid			
Rear Struck-side Dummy	SID- s	EUROSID-1	SID- s	SID- s		SID- s			
Front Non Struck-side Dummy	EUROSID-1			No Dummy		No Dummy			
Seat Position	Mid			-		-			

クラブ角なしの条件下において前席・後席のダミー応答を比較した。これをサイズの異なるダミーである EUROSID-1, SID-IIs の場合について Fig.13 に示す。EUROSID-1, SID-IIs の場合とも胸部, 腹部については前席の方が高い値を示しているものの, 頭部, 腰部についてはダミーのサイズにより傾向が異なっている。このことから搭載するダミーのサイズによってはクラブ角なしの場合でも後席の方が傷害値が高い場合があることがわかった。

#### 4.2.3 ダミーサイズの差異比較

現在の試験条件下でのダミーサイズの差による応答評価の可能性について検討するため, ECE R95 をベースにして, クラブ角なしの条件下において

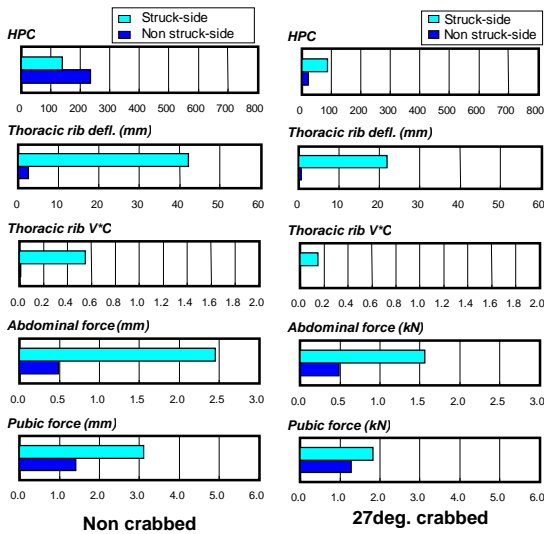


Fig. 12 Dummy responses of struck- and non struck-side dummy (ECE R95 base, EUROSID-1)

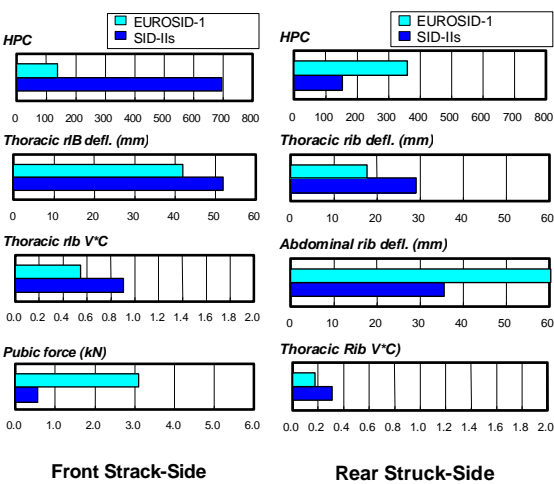


Fig. 14 EUROSID-1 and SID-IIs dummy responses (ECE R95 base, non-crabbed)

EUROSID-1 と SID-IIs ダミー応答を比較した Fig.14 より, 小型ダミーである SID-IIs は, 前席では頭部, 胸部で EUROSID-1 に比べて大きな値を示しているが, 腰部については EUROSID-1 より小さな値であった。後席に SID-IIs を搭載した場合には, 胸部で EUROSID-1 に比べて大きな値を示し, 頭部, 腹部については比較的小さな値であった。このことから, 小型ダミーサイズでは, 前席・後席ともに傷害値が高くなる場合があることが判った。

#### 4.2.4 クラブ角の影響

ここでは MDB のクラブ角の有無が前席, 後席のダミーの応答にどのような影響を与えるかを検討した。比較結果の一例として, ECE R95 をベースとし

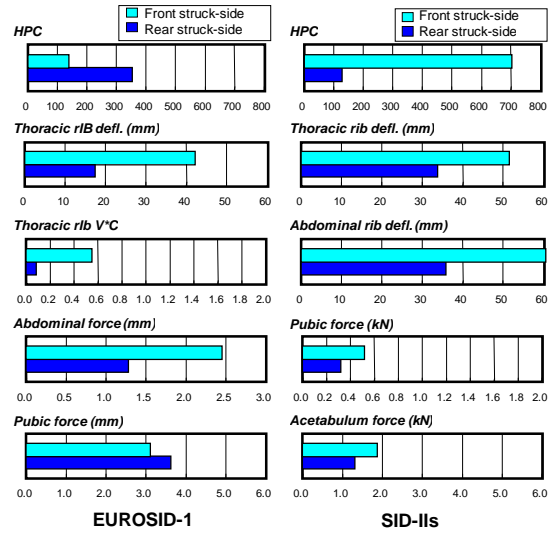


Fig. 13 Front and rear struck-side dummy responses (ECE R95 base, non-crabbed)

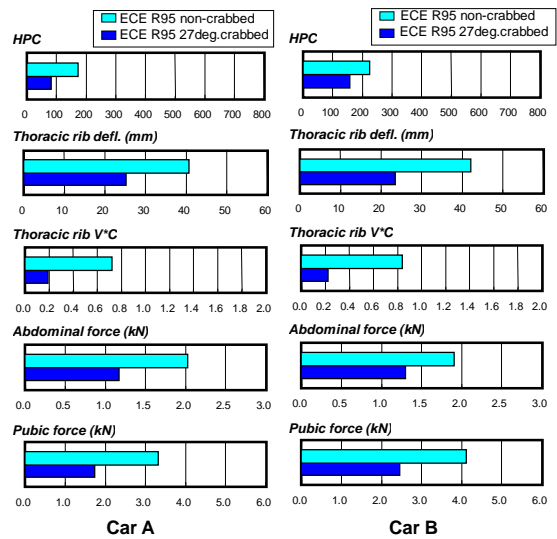


Fig. 15 Front dummy responses in non-crabbed and 27degree crabbed test (ECE R95 base, ES-2)

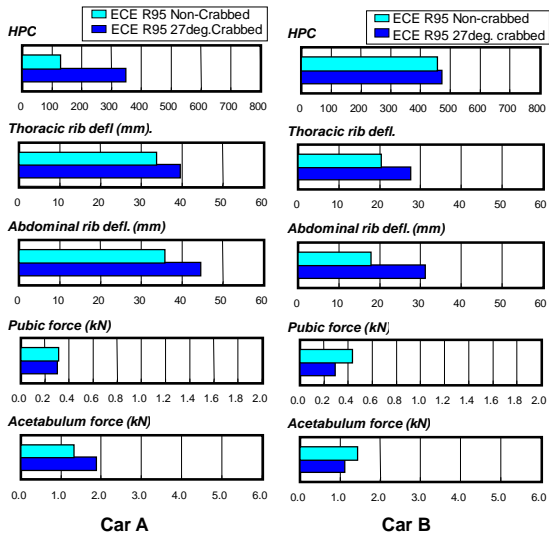


Fig. 16 Rear dummy responses in non-crabbed and 27degree crabbed test (ECE R95 base, SID IIs)

た A 車 (Test No.4,5) , B 車 (Test No.8,9) の試験における前席, 後席ダミー各部の応答をそれぞれ Fig.15, 16 に示す. 前席ダミーについては A 車, B 車ともクラブ角ありの方がなしよりも低い応答を示している. これらの傾向は FMVSS214 をベースとした試験 (A 車: Test No.6,7, B 車: Test No.10,11) の場合でもおおむね同様の傾向を示している. 一方, 後席ダミーについては前席の場合と異なり, 胸, 腹のリブ変位に関しては, A 車, B 車ともクラブ角ありの方が高い応答を示している. また, FMVSS214 をベースとした試験では, 胸, 腹のリブ変位だけでなく恥骨荷重に関しても, クラブ角ありの方が高い値を示している.

#### 4. 2. 5 EUROSID-1 と ES-2 の比較

ES-2 (プロトタイプ) は, 現在の ECE R95 の試験に使用される EUROSID-1 における様々な問題点を改善したダミーと言われている. ここでは, 同一条件下での EUROSID-1 と ES-2 の応答を比較し, その改善効果の評価と両者の特性の差異について検討した.

EUROSID-1 と ES-2 の各部の応答を ECE R95 をベースとしたクラブ角なし (Test No.1,4) , クラブ角あり (Test No.3,5) で比較し, Fig.16 に示す. クラブ角なしでは, リブ変位は両者の最大値はほぼ同様ながら, ES-2 では変位が生じた後に振動現象が生じている. 恥骨荷重については ES-2 において EUROSID-1 で見られた 2nd ピークが軽減されている. クラブ角ありの試験では, リブ変位に関して EUROSID-1 で生じているフラットトップ現象が ES-2 においては軽

減されている.

これらの結果から ES-2 は EUROSID-1 において構造上の問題とされていたフラットトップ現象, および恥骨荷重の 2nd ピーク発生に関して, 改善の兆候が見られることがわかった. しかし, リブ変位に関して, 最大変位後に振動現象が生じる事もあり, さらなる調査研究が必要であると思われる.

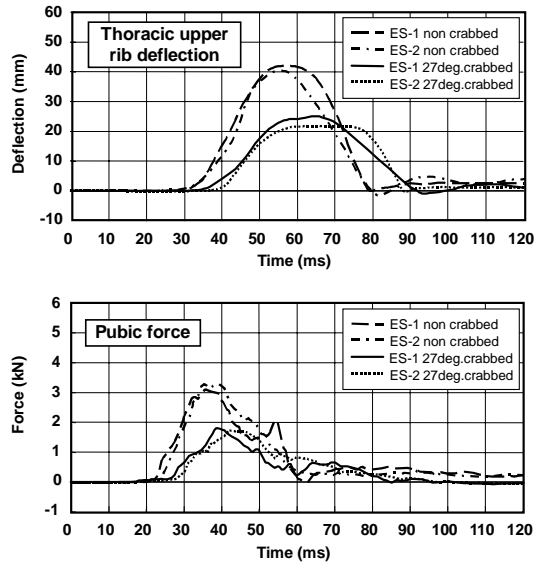


Fig. 16. EUROSID-1 and ES-2 responses in ECE R95 based tests.

## 5. まとめ

以上の結果に基づいて, 国際調和の観点から将来の実車側面衝突試験法の条件について以下のように考察を行った.

- (1) 事故実態から, 衝突車, 側面衝突車ともに速度を持っているため, クラブ角付きテスト法も検討の対象となり得る. クラブ角無しの方が前席ダミーの傷害が高く, 前席ダミー評価には適した方法である. しかし, 後席ダミーの評価を考える場合は, デフォーマルバリアの寸法及び衝突位置も含め, クラブ角についてもさらに検討が必要である.
- (2) MDB の仕様について 剛性は最近の販売されている車両の状況及び衝突安全対策上, 現在の剛性とは大きな差異があり, 最低地上高, 寸法も含め, 再検討するべきである. また, 質量についても, 現在の条件よりも大幅に重くなっているため, 日欧米の結果も踏まえ, 検討する必要がある. 現時点では, デフォーマルバリアの質量は 1250kg 以上, 幅 1600 ~ 1800mm, 有効高さ 500 ~ 600mm, 地上高 300 ~

350mm が適当であると考えられる。

- (3) 反衝突側乗員の保護性能に関しては、現状のダミーを用いた試験方法では評価が困難である。左右対称に評価できるダミーの開発（例えば現在開発中の WorldSID は計測可能）を待つと共に、市場事故での反衝突側乗員の傷害発生メカニズムについてさらに分析する必要がある。
- (4) 小型ダミーでは、前席・後席ともに部位は異なる者の傷害値が高くなる場合があることがあることが判った。
- (5) 後席乗員に関しては、事故分析の結果からは、受傷者数は前席に比べ 10～15% と少ない、しかし、ダミーサイズによっては傷害の大きさも異なることや、前席とは傷害の発生状況が異なる可能性もあるため、後席乗員評価をさらに検討するべきであると考えられる。
- (6) ダミーサイズにより、傷害の発生パターンが異なる。今まで AM50 により評価が実施されてきたが、路上事故データからも明確な様に、女性乗員も考慮した試験法を検討する必要がある。AF05 の方が傷害値が高い場合もあり、AM50 ダミーのみで異なるサイズの乗員の傷害リスクを評価する事は難しい事が分かった。
- (7) EuroSID-1 を改善した ES-2 に関しては、主要部位の改善は終了しており、今後の検討が必要であるが、暫定統一ダミーとしての可能性を有している。

## 6. 参考文献

- (1) 49 CFR Part 571, “FMVSS214; Side Impact Protection” (1990)
- (2) ECE Regulation No. 95 (1995)
- (3) EEVC WG12, “Status of Side Impact Dummy Development in Europe” (2000)
- (4) Seyer, K., “International Harmonised Research Activities Side Impact Working Group”, Paper No.151, ESV 2001
- (5) ISO/TC22/SC12/WG5-N597, “ISO World-SID Task Group Status Report to ISO/TC22/SC12/WG5”, April 2000