

正面衝突時の車両相互の特性が乗員傷害に 及ぼす影響に関する研究

米澤 英樹^{*} 水野 幸治^{**} 柳澤 治茂^{***} 民田 博子^{*} 山口 知宏^{***}

Effects of mutual vehicle characteristics on passenger injury during front-end impact

by

Hideki Yonezawa^{*} Koji Mizuno^{**} Harushige Yanagisawa^{***} Hiroko Minda^{*} Tomohiro Yamaguchi^{***}

Abstract

In terms of vehicle front impact safety, the full-lap front impact was introduced into 1994 safety regulations. Moreover about offset front impact, in 2000 (JNCAP), vehicle assessment testing was conducted, and regulatory aspects were also examined. Passenger protection regarding such collisions has reached a fixed level for several years. In terms of standards, however, these tests were aimed at simulatory self-protection for the same vehicles in the same collisions. Now, there is now a need to consider passenger safety (compatibility) in collisions of vehicles of different sizes.

To assure compatibility, the passenger compartment must be preserved during impact as energy is absorbed by the front end of the vehicles while maintaining an adequate structural interaction between vehicles. Adequate structural interaction is a prerequisite condition for keeping the passenger compartment intact and absorbing energy by the front end of the vehicle while preventing override.

The IHRA (International Harmonized Research Activities) compatibility-working group (WG) has adopted five candidate tests for evaluating compatibility performance, i.e., full lap, PDB, ODB, overload, and MDB tests, to allow evaluation of compatibility performance through a combination of multiple tests. The full lap and PDB (progressive deformable barrier) tests are offered for the evaluation of structural interaction.

In the present study, the full lap, PDB, ODB, overload, and MDB tests were conducted according to IHRA testing procedures, and the methods for evaluating each test were investigated and the vehicle-vehicle impacts were compared.

原稿受付：平成15年3月3日

*自動車安全研究領域 **名古屋大学大学院工学研究科 ***交通システム研究領域

1. はじめに

自動車の前面衝突安全では、フルラップ前突が1994年に保安基準に取り入れられ、さらにオフセット前突についても2000年に自動車アセスメント(JNCAP)で試験がおこなわれ、さらに法制化も検討されている。これらの施策によって前突時の乗員保護では、ここ数年で一定レベルの水準まで達している。ただし、これらは同一車同士の衝突を模擬したセルフプロテクションを目的とした試験であり、今後、次世代の衝突安全として、異なるサイズの車の衝突による乗員保護(コンパティビリティ)を考えていく必要がある。

コンパティビリティを確保するためには、衝突時に車相互の良好な構造インタラクション(相互作用)を保ちつつ、車体前部でエネルギーを吸収し、客室を保持しなければならない。良好な構造インタラクションは、オーバーライドを防止するとともに、車体前部でのエネルギー吸収と客室保持をおこなうための前提条件となるものである。国際研究調和活動IHRA(International Harmonized Research Activities)のコンパティビリティWG⁽¹⁾では、コンパティビリティ性能評価のために候補試験が取りあげられている(Fig.1参照)。ここでは複数の試験を組み合わせることによって、コンパティビリティ性能を評価する。構造インタラクションを評価するための試験としては、フルラップ試験⁽²⁾とPDB(Progressive Deformable Barrier)試験⁽³⁾があげられている。

本報告では、IHRAの試験法として挙げられているフルラップ試験とPDB試験、ODB試験、オーバーロード試験、MDB試験を実施し、それぞれの試験の評価法を検討するとともに車対車衝突との比較をおこなった。

2. 車対車衝突試験

2.1. 試験方法

日本では軽乗用車が乗用車全体の20%を占めていること、サイズの点から車対車衝突時に傷害リスクが高くなる傾向があるため、軽乗用車の安全はコンパティビリティで最も重要な項目のひとつである。そこで、軽乗用車と普通乗用車を用いた衝突試験をおこなった。

客室強度は生存空間確保のために、車対車衝突で最も重要な因子とされている。そこで、JNCAPの試験結果を参考にして、客室強度の比較的低い車と高い車として軽乗用車Aと軽乗用車Bを試験車と

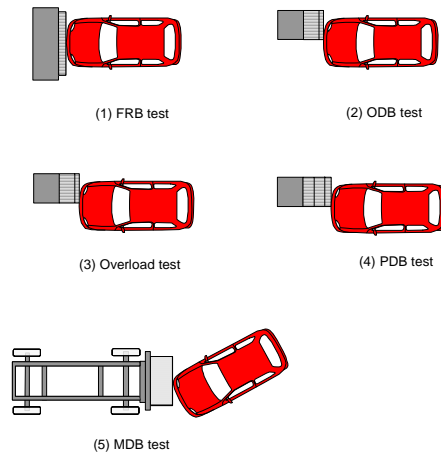


Fig.1. Test procedures for evaluating compatibility

して選択した。Table 1 にテストマトリックスを示す。

これらの軽乗用車に対して、それぞれ普通乗用車Cとの衝突試験をおこなった。衝突速度は56 km/h 両車走行、オーバーラップ率は軽乗用車側が50%である。両車のフロントサイドメンバーの位置関係をFig.2に示す。軽乗用車Aでは上下・左右方向ともにフロントサイドメンバー前端が接触する。軽乗用車Bではフロントサイドメンバー前端部の左右方向は一部オーバーラップするが、上下方向は一致しない。

Table 1. Test matrix of car to car test

Test	Car model	Curb mass (kg)	Test mass (kg)	Velocity (km/h)	Overlap ratio	Dummy
Test 1	Minicar A	822	907	56.2	50%	driver's sheet
	Car C	1553	1638	56.2		driver's sheet
Test 2	Minicar B	845	929	55.9	50%	driver's sheet
	Car C	1510	1595	55.9		driver's sheet

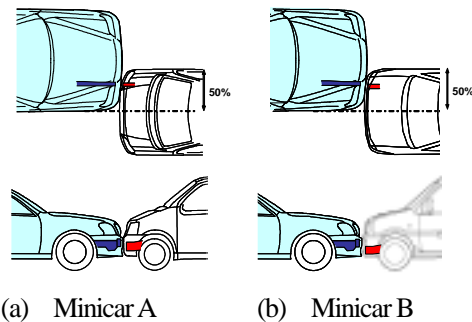


Fig.2. Interaction of front side members

車体の変形を Fig.3 , Fig.4に示す . 普通乗用車に比較して , 軽乗用車の変形が大きくなっており , 客室にまで変形が及んでいることがわかる . 車底部からの変形を Fig.5に示す .

軽乗用車 A は普通乗用車 C との構造インタラクションが良好であり , 互いにフロントサイドメンバーが変形している . 軽乗用車 B はフロントサイドメンバーが上下方向では普通乗用車 C のサイドメンバー前端部にもぐりこみ , また横方向では一部しか接触していない . その結果 , 軽乗用車 B のロアフレームは JNCAP のような固定バリアに対するものと異なり , 十分に変形していない . 軽乗用車 A と軽乗用車 B はともにタイヤがバンパービームに衝突しており , 軽乗用車にとって , 普通乗用車のバンパービームが構造インタラクションに非常に重要であること , ならびに軽乗用車側ではタイヤからサイドシルの荷重パスが重要であることがわかる . 軽乗用車 A の前部は上方向に変位しているが , これは衝突後半のピッチングによるものと考えられる . これらは JNCAP での変形とは異なっている .

車体変形量を Fig.6に示す . 軽乗用車 B と普通乗用車 C の衝突では , 軽乗用車 B がややアンダーライドしたため , フェンダー前端の変形量が大きくなっている . その結果 , A ピラーの変形量が比較的大きいが , 客室侵入量は全体的に軽乗用車 A より小さい . 軽乗用車の車対車衝突 , JNCAP による運転席乗員の傷害値を Fig.7に示す . ODB 64km/h(JNCAP)では , 軽乗用車 B の大腿骨荷重や Tibia index が高く , 軽乗用車 A よりむしろ軽乗用車 B の方が傷害リスクが高い . しかし , 普通乗用車 C との衝突では , 客室侵入量が大きいいため , 軽乗用車 A の傷害値が大きくなっている . このように軽乗用車 B のように客室強度の高い車のほうが , 普通乗用車の衝突時には傷害値が低くなる傾向がある . また , サイズが同じ軽乗用車同士であっても JNCAP の結果をそのまま , JNCAP よりも衝撃量の大きい普通乗用車の衝突での傷害リスクに当てはめることができないことがわかる . 軽乗用車 A は構造インタラクションは良好であったが , 客室強度は不足していた . 一方 , 軽乗用車 B はこの逆となっていた . インタラクションが良好であり , かつ , 客室強度が高いと加速度のコントロール , 客室侵入量の低減が可能となり , 理論上コンパティビリティ性能に優れたものとなる . 特にサイズの小さい軽乗用車では加加速度 , 客室侵入の影響が大きいいため , これらのコンパティビリティ項目が重要である .



(a) Minicar A



(b) Car C

Fig.3. Minicar A vs. Car C



(a) Minicar B



(b) Car C

Fig.4. Minicar B vs. Car C



(a) Minicar A vs. Car C



(b) Minicar B vs. Car C

Fig.5. Bottom view of structural interaction

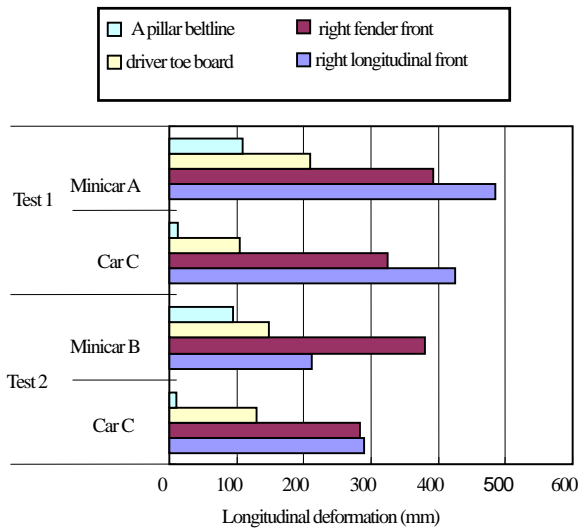


Fig.6. Vehicle deformation

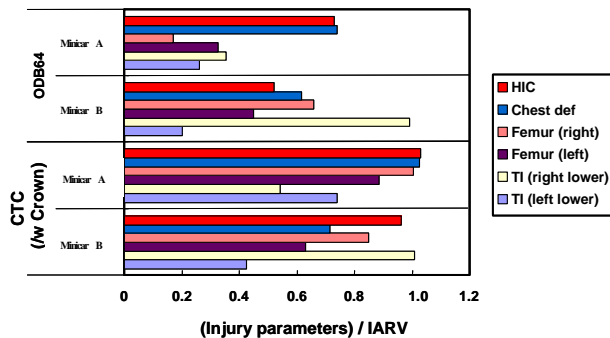


Fig.7. Injury parameters (or values) of driver dummy

3. フルラップ試験

3.1. 試験方法

フルラップ試験では衝突荷重分布を多分割ロードセルで測定することによって、剛性のホモジエネイティ(均一性)を評価する。このホモジエネイティが高いほど構造インタラクションが優れていると考えられる。バリア荷重分布に対してオーバーライドを評価する指標として力の平均高さ AHOF (Average Height of Force)が、ホモジエネイティの評価指標として変動係数 COV (Coefficient of Variance: 標準偏差/平均値)が提案されている。

本研究では、リジッドバリアへのフルラップ試験を行い、荷重分布を測定した。構造インタラクションは特に攻撃性が大きくなる傾向が強い大型車で重要な性能である。そこで、試験車として4ドアセダンの普通乗用車C(2001年モデル)を選択した。普通乗用車C(空車質量1545kg,試験質量1630kg)の運転席にダミー(Hybrid III AM50)を搭載した。衝突速度は自動車アセスメントと同様の55 km/hである。多分割ロードセルバリアの概観を Fig.8 に示す。ロードセルのサイズは125 mm × 125 mm であり、それぞれにベニア板が取り付けられている。ロードセルバリアの下端高さは地上高125 mm である。

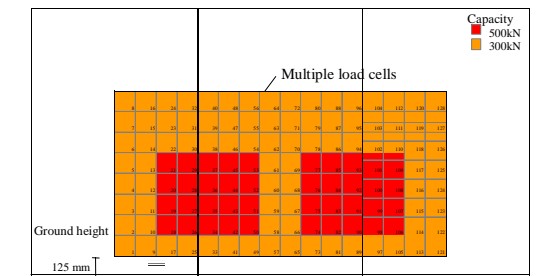


Fig. 8. High resolution load cells

3.2. 試験車の構造

Fig.9 に普通乗用車Cの前部構造を示す。この車では左右の直線状のフロントサイドメンバーとそれらを横方向につなぐバンパービーム、セクション化されたショットガン(エプロンアッパーメンバー)が重要な構造部材となっている。このバンパービームは車対車衝突時に局所的な荷重を防止し、構造インタラクション確保のため重要である⁽⁴⁾。ラジエーターサポートはついているが、ロアフレームはなく、フロントサイドメンバーの下には有効なロードパスは見られない。



Fig.9. Front structure of Car C

3.3. 荷重分布の評価方法

荷重分布の評価として現在考えられているのは、荷重の平均高さ AHOF と変動係数 COV(Coefficient of Variance)である⁽²⁾。荷重の高さ中心 COF(Center of Force)は、バリアの荷重 $F_i(t)$ とバリアロードセルの地上高 H_i をもとに次式で求められる。

$$COF = \frac{\sum H_i F_i(t)}{\sum F_i(t)} \quad (1)$$

(i : 多分割バリアの番号, $i=1, \dots, N$)

COF は CFC 60Hz のフィルター処理をおこなっている。AHOF は COF をバリア荷重で重み付けをして平均を取ったもので、次式で求められる。

$$AHOF = \frac{\int F(t) COF(t) dt}{\int F(t) dt} \quad (2)$$

変動係数 COV はバリア荷重の標準偏差を荷重の平均値で除したもので、次式で計算される。

$$COV(t) = \frac{STD(t)}{\sum F_i(t) / N} \quad (3)$$

COV は荷重の分散値に基づくため、バリアと車が接触している領域のみで計算する必要がある。そのため、TRL では 5 kN 以上のロードセルについてのみ計算することを提案しており⁽²⁾、本研究でもこの計算手法に従った。COV についても CFC 60Hz のフィルター処理をおこなっている。

3.4. 試験結果

車体変形を Fig.10 に示す。車体前部はリジッドバリアに衝突することによって、完全にフラットに変形した。



Fig.10. Car deformation in full rigid barrier test

多分割ロードセルによって計測した荷重分布を時間別に Fig.11 に示す。最初の 5 ms でバンパービームが見え、その後、フロントサイドメンバーによる荷重の集中が見られる。25 ms からショットガンによる荷重が発生している。30 ms からエンジン、35 ms からはタイヤによってバリアの荷重が発生する。このようにフルラップ試験では、フロントサイドメンバーなど車の前後方向の部材に変形による荷重分布は明確に現れるが、クロスメンバーのような横方向の部材は限定された時間にしか現れないことがわかる。また前後方向の部材の荷重は部材ごとに独立して現われ、それらの部材の間、例えばショットガンとフロントサイドメンバーの間には荷重が発生せず、オーバーライドを防ぐために重要なこれらの部材の間の結合強度は評価できない。フロントサイドメンバーの下に位置するラジエーターサポートは荷重分布でほとんど現れていない。

Fig.12 に荷重分布の地上高の評価として式(1)、(2)から計算した COF と AHOF を示す。衝突から 30 ms までは接触部位がバンパーから上の部分まで広がっていくため、COF は増加する。その後、エンジンの接触により COF は減少傾向となる。AHOF はバリ

ア荷重が最も高い値となる時刻40 ms 付近のCOFの影響が大きく、464 mm となった。Fig.13 に式(3)を用いて計算したCOVの時間歴を示す。COVは荷重5 kN以上のロードセルでのみ計算したため、衝突初期と後期ではCOVは求めている。COVはフロントサイドメンバーのみが接触する25 msまでは高い値となっているが、エンジンの接触とともに荷重面積が大きく、荷重分布が一様となるためにCOVが減少し、35 msから70 msまではほぼ一定値となる。

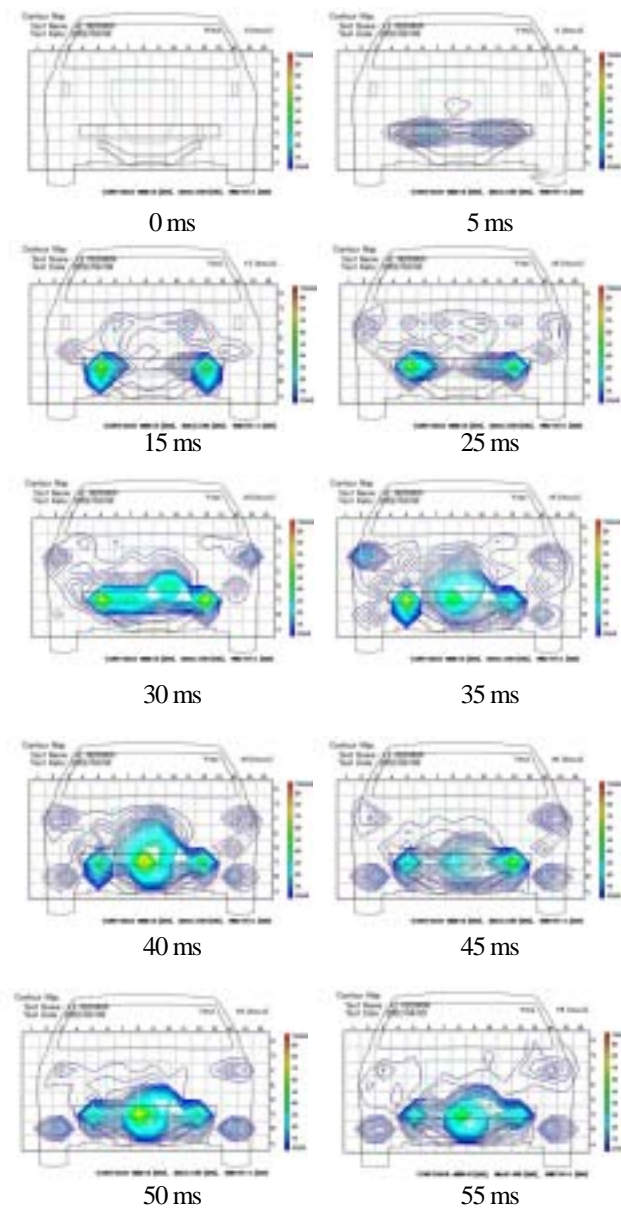


Fig.11. Footprint in full rigid barrier test (55 km/h).

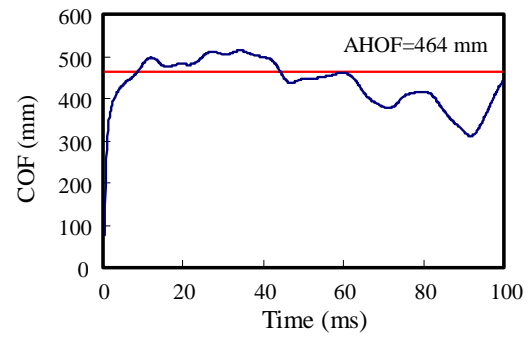


Fig.12. COF and AHOF in full rigid barrier test.

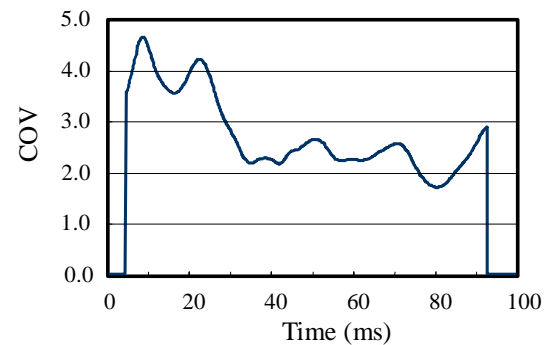


Fig.13. COV in full rigid barrier test.

4. ODB試験

4.1. 試験方法

オフセット(ODB, Offset Deformable Barrier)前突は、欧州の法規となっているもので、片側のフレームから荷重が加わったときの客室の剛性とそれによる下肢の傷害を主として評価するものである。IHRAではコンパティビリティ要件として、剛性のミスマッチによって相手車の客室を潰さないように、ODB試験における荷重変形特性を用いて車間の剛性を合わせることが提案されている。衝突速度はEuroNCAPやJNCAPと同じ64 km/hである。評価指標として例えばバリア最大荷重が考えられている。バリア最大荷重に上限を設けることによって相手車への攻撃性を制限する。また、バリア最大荷重への下限は、車体前部変形による減速度が低い状態で、高い客室強度のために減速度が急激に上がらないようにするため、車両減速度をコントロールしようとするものである。

4.2. JNCAPによる検討

JNCAPではODB 64 km/hによる試験をおこなっており、乗員傷害値のほかにはバリア荷重が測定されている。Fig.14にロードセルの配置を示す。ここでは、このバリア荷重をもとにコンパティビリティの

点から検討をおこなった。

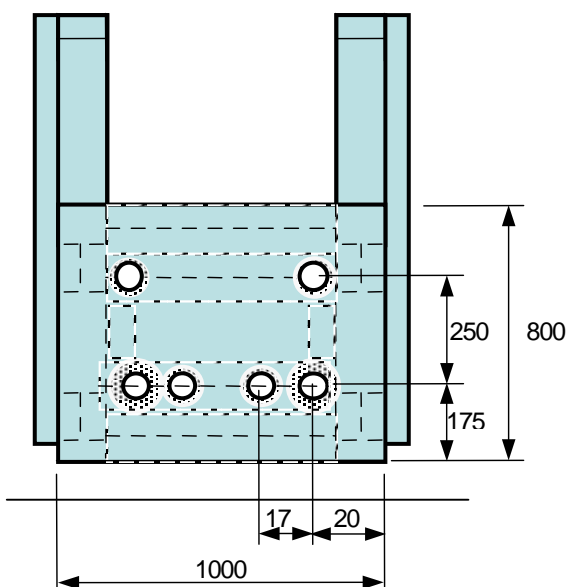


Fig.14. Load cell in JNCAP ODB test

4.3. 最大バリア荷重

車対車前突時に衝突力は、衝突面を通して伝達される。オフセット前突試験ではこの衝突力はバリアに取り付けたロードセルの荷重(バリア荷重)とみなすことができ、バリア荷重は相手車へのアグレッシビティの指標の候補の一つと考えられる。JNCAPによる最大バリア荷重と車両質量の関係を図.15に示す。両者には比例関係があることがわかる。これらの関係から相手車へのアグレッシビティを制限するために、バリア最大荷重を例えば400 kN以下に抑えることなどが考えられる。図.15より最大バリア荷重が約160 kNの乗用車がある。この車の相手車への攻撃性は低いと考えられる。しかし、この車の客室は崩壊しており、反力が十分発生せずバリア荷重が低くなったものと考えられる。したがって、まず、自車のセルフプロテクションを確保するのが第一であり、そのうち、アグレッシビティを下げる検討をする必要があると考えられる。図.15にはEuroNCAPの結果も同時に表示している。EuroNCAPではバリア最大荷重がJNCAPよりも高い傾向がある。これはEuroNCAPではオフセット前突のみをおこなっていること、JNCAPではこれに加えてフルラップ前突もおこなっているため、車体の前部剛性が制限されているためであると推定される。荷重分布についてもバリア荷重とハニカムの変形から検討をおこなった。

た。JNCAPでは6分割荷重計が用いられているため、ここではバリア荷重を上下に分けたときの計測値を検討した。図.16にクラス別に平均をとったバリア荷重時間履歴を示す。軽乗用車クラスと乗用車Aクラスでは下部に比べて上部の荷重値が小さいことがわかる。これはアッパーロードパスによる反力が小さいことによると考えられる。乗用車Aクラスに属する試験質量も類似した小型乗用車Dと小型乗用車Eについて、バリア荷重時刻歴およびハニカムの変形を図.17に示す。小型乗用車D、Eの最大荷重値は共にほぼ250 kNである。しかし、小型乗用車Dでは上下の荷重がバランスしており、ハニカムも一様に変形している。小型乗用車Eでは上部ロードセルの荷重値が小さく、

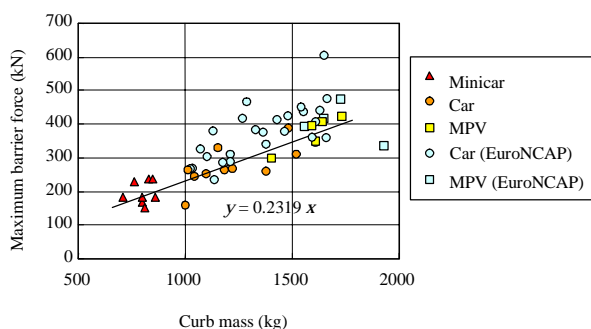


Fig.15. Maximum barrier force and vehicle curb mass in ODB test at 64km/h

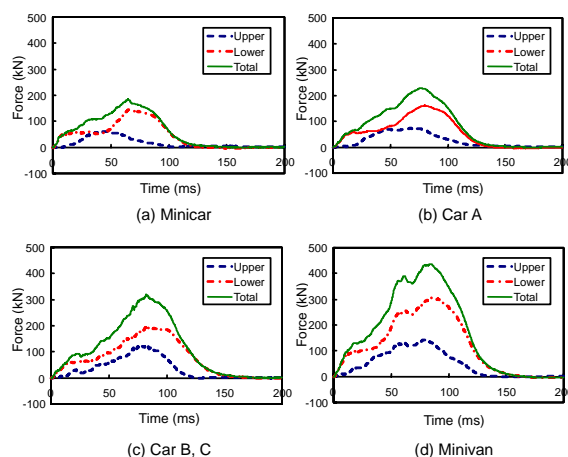


Fig.16. Average barrier force-time histories in offset frontal impact tests by car class.

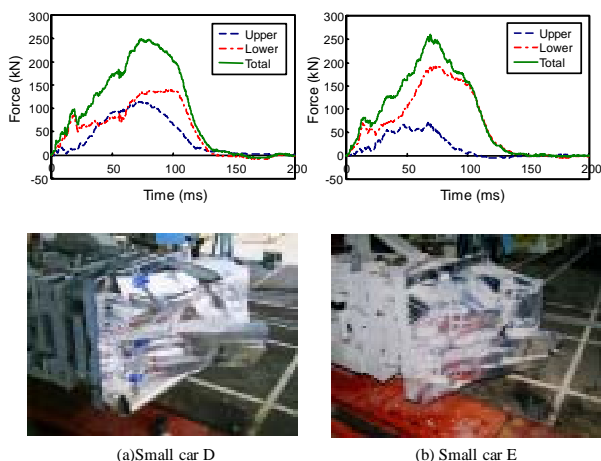


Fig.17. Barrier force-time histories and barrier deformation of small car D and E in offset frontal impact tests (JNCAP).

ハニカム下部は底付きしているが，上部はまだ変形せずに残っている．したがって，小型乗用車Dの方が全体として剛性の上下の均一性が高いと考えられ，異なる車間の衝突時のアンダーライドに対しても上部で反力が働くため，抵抗が大きいと思われる．さらに詳細に構造インタラクションを評価していくためには，どのような評価基準，しきい値が適しているか，今後，検討が必要である．

5. PDB試験

5.1. 試験方法

PDB バリアによる試験は，1999 年ルノーにより IHRA, ISO に提案されたものである．バリアの変形量の計測から剛性分布 AHOF が求められる また，PDB バリアの全体の変形量によって試験車の剛性レベルが評価される．

普通乗用車 C (空車質量 1547kg, 試験車質量 1632kg) の運転席にダミー (Hybrid III AM50) を搭載した．衝突速度は 60 km/h, オーバーラップ量は 750 mm である．PDB ハニカムは 2 層からなり，小型車の剛性を模擬している．2 層目は一体型でプログレッシブの構造を持っている．試験では PDB ハニカムの変形を ODB 64 km/h と比較するとともに，フルラップ試験と同様に多分割ロードセルバリアを PDB バリア (Fig.18 参照) の後面に取付け，車体からバリアに加わる荷重を計測した．

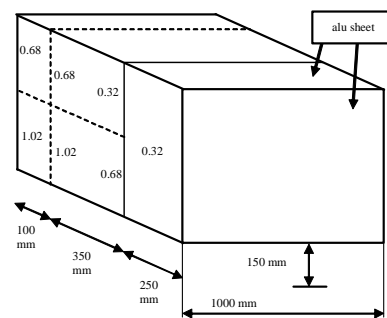


Fig.18. PDB barrier

5.2. 試験結果

PDB 試験後の車体およびハニカムの変形を Fig.19 に示す．車体には前後方向の変形が発生しており，フロントサイドメンバーとその上下の部材の結合強度がこれによって筋起されると考えられる．フロントサイドメンバーの変形モード，ショットガンの座屈位置もフルラップ衝突とは異なることがわかる．PDB ハニカムは全体的には一様に変形しており，ハニカムには底付きも発生していない．ハニカムにはバンパービームによる変形が残っており，バンパービームの部材の有効性がハニカムの変形からも確認することができる．

荷重分布を時間別に Fig.20 に示す．図よりエンジンの接触による荷重の集中は見られるが PDB ハニカムの厚さによりロードセル荷重は分散され，車体の構造部材の影響を特定することは難しくなっている．ハニカムの剛性によって車体の接触部よりも外側にも荷重が発生しており，ハニカムの背後のロードセルによって，荷重分布を評価することは難しいと考えられる．PDB 試験における荷重の平均高さ (COF) と変動係数 (COV) をフルラップ試験と比較した．PDB 試験とフルラップ試験における COF の時間履歴を Fig.21 に示す．衝突後 10~40 ms までは PDB とフルラップ試験でほぼ COF は同じである．

その後、フルラップ試験では PDB 試験よりも COF が低い値となっている。この要因として、エンジンの接触によって発生した荷重が低い位置にあるため、COF が下がったためと考えられる。COV の時間歴を Fig.22 に示す。PDB 試験でも衝突初期は COV が高いが、車体の全域が接触すると COV は下がり、車体の反発によりバリアへの接触面積が小さくなり、COV は増加する。フルラップに比較して、PDB では COV の値が約半分になっており、PDB ハニカムによりロードセル荷重が分散され、COV が低い値となったと考えられる。すなわち、COV の値はハニカムに強く依存することがわかる。

PDB ハニカムによる AHOF, COV, 剛性分布は PDB ハニカムの变形からも評価できる。Fig.23 は PDB ハニカムの变形コンターであり、この变形に基づき、車の構造インタラクション、攻撃性が評価される。今後、これらのハニカムの变形の解析を進めていく予定である。



Fig.19. Car and barrier deformation in a PDB test.

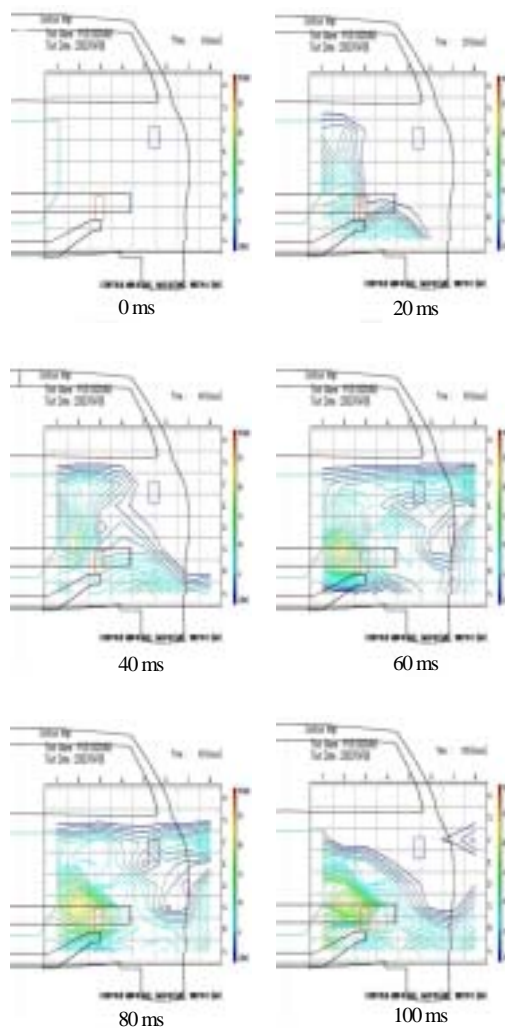


Fig.20. Footprint in PDB test.

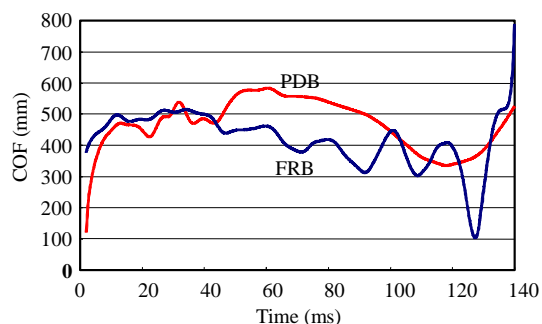


Fig.21. Center of force determined from PDB and full rigid barrier test.

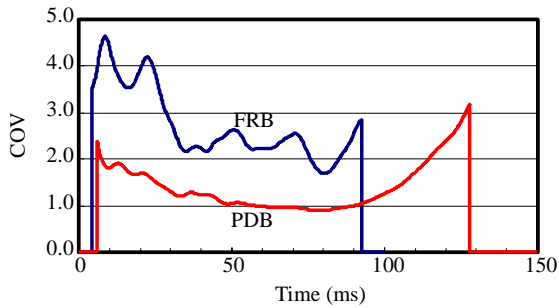


Fig.22. COV-time history in full rigid barrier test and PDB barrier

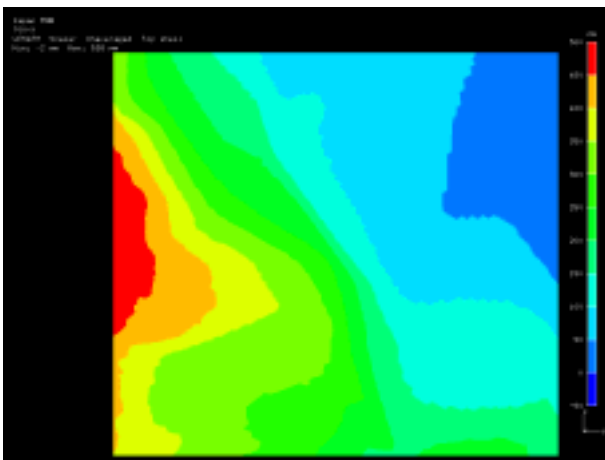


Fig.23. Deformation contour of PDB

5.3. PDB 試験と ODB 試験の比較

現在 JNCAP では ECE R94 ハニカムに対するオフセット試験がおこなわれている。この ODB(Offset Deformable Barrier)試験と PDB 試験で車体とハニカムの変形の比較をおこなった。ODB 試験のオーバーラップ率 40%であるが、これは普通乗用車 C では PDB 試験のオーバーラップ量 750 mm にほぼ等しい。

Fig.24 に ODB 試験における車体とハニカムの変形を示す。ODB 試験ではハニカムの底付きによって、車体前部の変形がより平坦になっている。PDB 試験(Fig.19 参照)ではフェンダー先端の後退量がバンパーに対して大きく、車体前部の前後方向のせん断変形が発生している。PDB 試験ではハニカムが底付きしていないが、ODB 試験ではハニカムが底付きしている。ODB では ECE R94 ハニカムのバンパー部分が分離するとともにハニカムの低い剛性からハニカムの倒れが発生し、変形が複雑になっている。これに対して PDB ではハニカムの変形が比較的連続

的であり、ハニカム変形の計測が容易になっている。

PDB, ODB, フルラップ試験における加速度時間履歴を Fig.25, 車体変形量を Fig.26 に示す。PDB と ODB 試験の加速度波形は類似している。フルラップ試験ではオフセット試験に比較して加速度が高く、乗員に加わる負荷が大きいことがわかる。しかし、PDB 60 km/h の試験では ODB 64 km/h に比較して、速度が低いことおよびハニカムが底付きしなかったため、変形量が小さく、特にトーボードの侵入量が小さかった。



Fig.24. Car and barrier deformation in a 64 km/h ODB test.

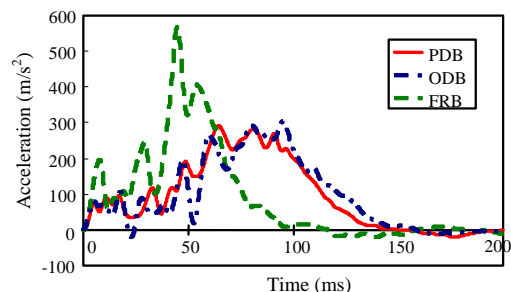


Fig.25. Acceleration-time history in PDB test (60 km/h), ODB test (64 km/h) and full rigid barrier test (55 km/h)

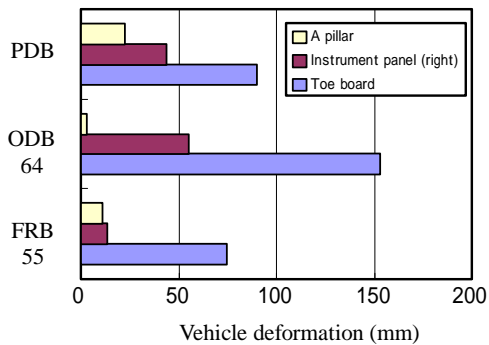


Fig.26. Intrusion into the passenger compartment in PDB test (60 km/h), ODB test (64 km/h) and full rigid barrier test (55 km/h)

6. オーバーロード試験

6.1. 試験方法

軽乗用車 A, 軽乗用車 B, 小型乗用車 F を用いてオーバーロード試験を実施した。Table 2 にテストマトリックスを示す。ECE R94 ハニカムに対して衝突速度は 80 km/h で衝突させた。この試験は IHRA でもコンパティビリティ試験法のひとつとして提案されている。

サイドシルが中央部から曲がり、インストルメントパネルの侵入量が大きく、ステアリングは後方及び上方向に大きく移動した。生存空間の点から客室は崩壊したと判断された。

Table 2. Test matrix of overload test

Car model	Car year	Curb mass (kg)	Test mass (kg)	Velocity (km/h)	Overlap ratio	Remarks
Minicar A	2002	822	822	80.3	40%	Without dummies
Minicar B	2000	845	845	80.0	40%	Without dummies
Smallcar F	1998	1094	1095	80.0	40%	Without dummies

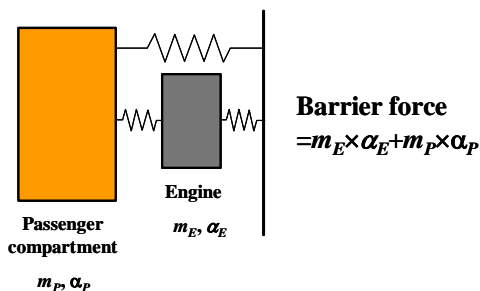


Fig.27. Overload test model

客室強度を評価する時には、荷重の測定位置が問題となる。この候補としては、バリア、客室の中で B ピラー(付け根), またはリアクロスメンバー等が考えられる。ここでは、測定値が安定したバリア荷重と B ピラーの加速度をもとに客室強度を検討した。衝突時のエンジン部と客室の挙動は異なるため、荷重評価に用いる質量は、エンジン部の質量と客室質量に分けて考え、それぞれ別に荷重を評価する必要がある。そこで、Fig.27 に示すモデルで考えるとバリア荷重はエンジン荷重($m_E \alpha_E$)と客室荷重($m_P \alpha_P$)の和で表される。そこで軽乗用車 A, 軽乗用車 B, 小型乗用車 F について構造荷重とエンジン荷重を求め、それらの和とバリア荷重との比較を行った。

6.2. 客室荷重の評価

Fig.28 にバリアロードセル荷重, 両側 B ピラー加速度の平均値から求めた客室荷重時間線図を示す。また、それぞれの車のオーバーロード試験における車体の変形を Fig.29, Fig.30, Fig.31 に示す。車体の変形は次の(1)から(5)の過程をたどる。

- (1) 前部が変形,
- (2) エンジンがバリアに底付き
- (3) エンジンがファイアウォールに接触
- (4) トーボード, インストルメントパネルの侵入
- (5) サイドシル・フロア座屈
- (6) エンジン停止
- (7) フロアの変形の進展

Fig.28 よりエンジンがバリアに底付きしたときに、バリア荷重が最大となる。このとき、エンジン荷重と構造荷重の和はバリア荷重に一致する。その前後では、構造荷重が高い領域が続き、インストルメントパネルの侵入、その後のサイドシルの座屈が見られる。エンジン加速度が 0 となった後、構造荷重の低い領域が続く。このときのバリア荷重と構造荷重はほぼ一致する。

軽乗用車 A では 48 ms でバリア荷重最大, 50 ms でインストルメントパネル侵入, 軽乗用車 B ではバリア荷重が時間 50 ms で最大, 55 ms でインストルメントパネルが侵入, 68 ms でサイドシルの座屈が発生した。小型乗用車 F では客室の変形が大きかったために、客室の加速度に大きな振動が発生し、計測位置によって、加速度にばらつきが見られた。そのため、構造荷重にもおおきな振動が見られる。バリア荷重は時間 66 ms で最大となり, 68 ms でイン

ストルメントパネルが侵入，74 ms でサイドシルが座屈し，構造荷重が低いレベルで変形が続いた．

Fig.28 より，軽乗用車 A，軽乗用車 B，小型乗用車 F では客室加速度から求めた最大構造荷重レベルは 299, 313, 295 kN であり，ロードセルから求めた最終荷重レベル（ロードセルの計測値の方が加速度計よりも信頼性が高い）は 152, 234, 115 kN であった．

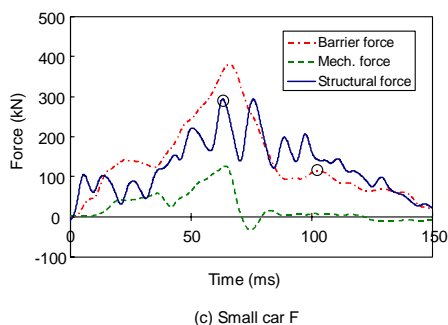
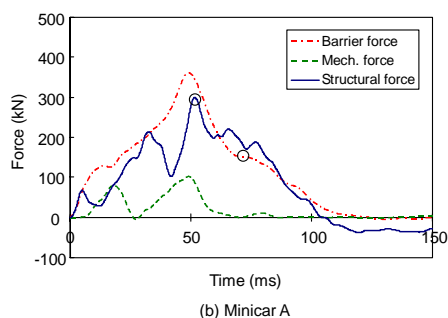
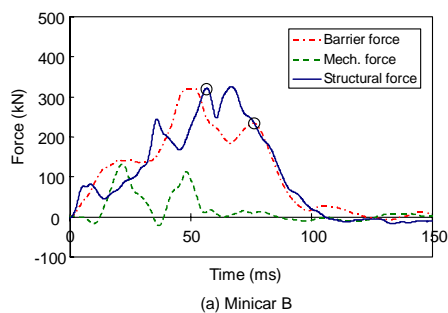


Fig.28. Force-time histories in overload test

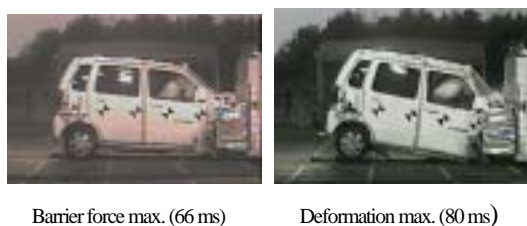


Fig.29. Photos of overload test (Minicar A)



Fig.30. Photos of overload test (Minicar B)



Fig.31. Photos of overload test (Small car F)

オーバーロード試験と車対車衝突試験における最大構造荷重と最終構造荷重を Fig.32 に示す．車対車衝突試験ではロードセルにおける荷重は求められないため，車両の加速度から最終荷重を求めた．両者には相関関係があることがわかる．すなわち，オーバーロード試験により求められた荷重値により，車対車衝突時の客室崩壊の荷重を予測できる可能性がある．オーバーロード試験における軽乗用車 B の現状を見ると，最大構造荷重値は 300 kN，最終構造荷重値として 250 kN が閾値の候補として考えられる．評価基準とその要件を検討するためには，オーバーロード試験に関して，さらなる研究が必要である．

オーバーロード試験と車対車衝突試験では，荷重経路や変形モードが異なり，客室への負荷が異なるなどの問題はあるが，オーバーロード試験と車対車衝突時の荷重値には相関があり，オーバーロード試験の有効性は確認された．

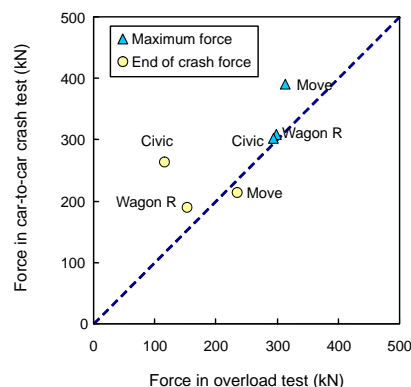


Fig.32. Maximum force level and end of crash force in overload tests and in car to car test

7. MDB試験

小型車乗用車Dを用いてMDB試験をおこなった結果を示す。MDB試験では用いたバリアフェイスによって車体の変形が大きな影響を受ける。そこで、ここではECE R94 FMVSS 214 2段階バリア(2-stage barrier)の3種類のバリアフェイス (Fig.33 参照)を用いてMDB実験をおこない、結果を車対車衝突試験と比較した。停止車両に対して、試験車を衝突速度112 km/hで衝突させた。

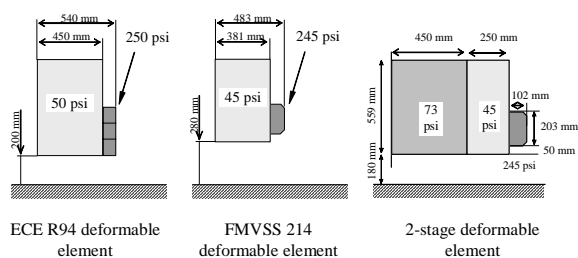


Fig.33. Comparison of MDB face

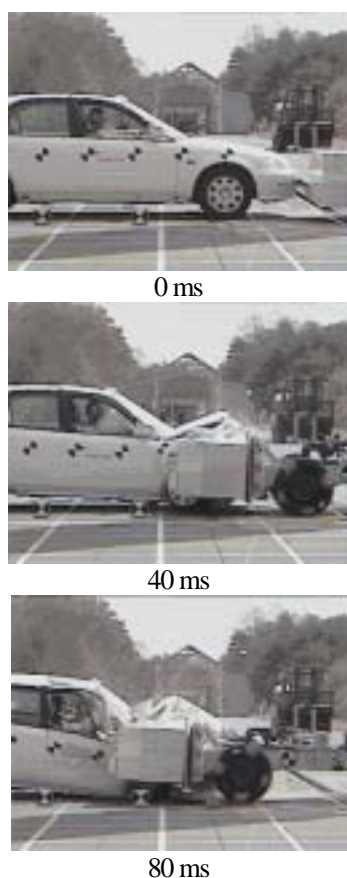


Fig.34. Vehicle deformation change in MDB test (2-stage barrier)

Fig.34 に2段階バリアによるMDB試験時の車両挙動を示す。このバリアでは60 ms以降にMDBのオーバーライドが発生しているが、この時間では既に加速度は下がっており、衝突現象には大きな影響を及ぼしていないと考えられる。ECE R94とFMVSS 214バリアでは底付きとオーバーライドが40 msより起きており、加速度と変形に大きな影響を及ぼしている。車両加速度をFig.35に示す。車対車衝突はオーバーラップ率50%であり、MDB試験は40%であるため、MDB試験の加速度は車対車衝突よりも低くなっている。いずれのバリアでもMDBのオーバーライドが発生した。ECEバリアでは底付きのために加速度が高い。FMVSSバリアはMDBが試験車に完全にオーバーライドしたため、50 msよりも加速度が下がっている。2段階バリアは加速度レベルが車対車衝突よりも低い、波形は車対車衝突に最も近い。

車体の変形をFig.36に示す。参考として小型乗用車F同士の前面衝突(オーバーラップ率50%)を示した。MDB試験ではMDBのオーバーライドによって、車体前部が上方に持ち上がっていることがわかる。車体変形量の比較をFig.37に示す。Aピラー変形量、ステアリング突出量、トールボード変形量では2段階ハニカムが最も車対車衝突に近い。また、ECE、FMVSSハニカムではMDBのオーバーライドにより、フェンダーの変形量の方がサイドメンバーの変形量よりも大きい。

加速度、変形量を考慮すると今回実施したハニカムと地上高さの組み合わせでは、2段階ハニカム(地上高180 mm)が最も車対車衝突に近いと考えられる。ただし、オーバーライドがいずれの場合も発生しており、MDB試験には再現性の点から多くの課題が残っている。

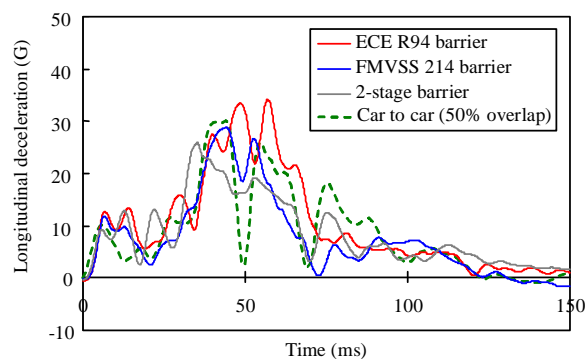


Fig.35. Acceleration-time history in MDB test

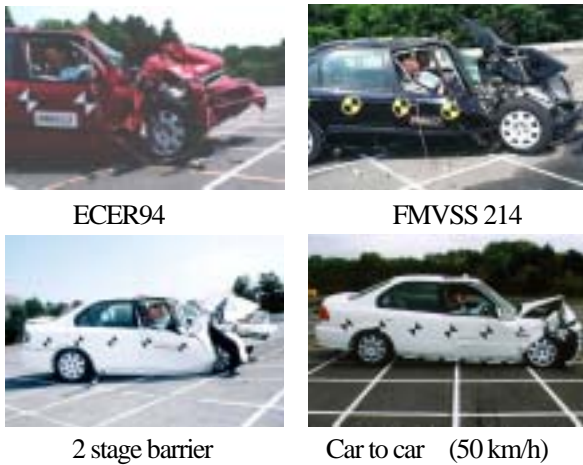


Fig.36. Deformation of vehicle

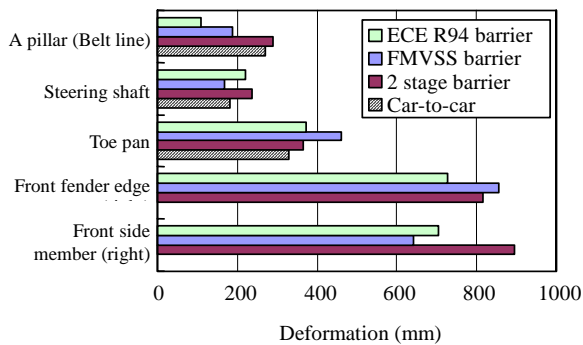


Fig.37. Comparison of vehicle deformation in MDB test

8. おわりに

事故分析，衝突実験に基づき，コンパティビリティを評価するための試験法について検討した．コンパティビリティを改善するためには，相互作用を確保した上で，車体のエネルギー吸収をコントロールし，客室を保持する必要がある．これらを考慮した上で試験法を選択する必要がある．また，コンパティビリティ試験法ではセルフプロテクションのレベルを下げることなく，コンパティビリティを改善することが必要となる．この観点から以下の三つの試験法の組み合わせが重要であると考えられる．

- (1) 荷重分布を計測するフルラップ衝突
- (2) ODB 衝突
- (3) オーバーロード試験

各試験の評価基準(criteria)としては以下のものが考えられる．

(1) 荷重分布では，構造のインタラクションを評価する必要がある．このためにバリアロードセルの荷重分布により荷重の高さ，均一性が重要なパラメータとなる．

(2) ODB 試験により，車の前部のエネルギー吸収，減速波形，最大荷重，乗員の傷害の危険性を評価する．

(3) この試験では客室強度が重要な評価基準となる．客室強度値を正しく評価するためには，衝突速度，客室強度の測定方法，しきい値，車対車衝突時との変形モードの違い等，さらに研究が必要である．

これらの3つの試験により，車の構造のインタラクション，前部変形量，車室内変形をコントロールすることが可能となり，コンパティビリティが大きく改善されると考えられる．しかし，各試験における衝突条件，評価基準についてはさらに詳細な検討が必要である．

MDB 試験は車対車衝突時の加速度と車体変形を再現することができる可能性がある．しかし，本研究で実施した3つの試験ではMDBのオーバーライドとバリアの底付きが発生しており，試験車の挙動や変形モードに大きな影響を及ぼした．これらの問題を解決するためには，さらに詳細な研究が必要であり，現時点ではFDB(Fixed deformable barrier)による試験の方が，車両のコンパティビリティを確実に評価できる方法であると考えられる．

9. 参考文献

- (1) O'Reilly, P., "International Harmonized Research Activity (IHRA) – Vehicle Compatibility, IMechE, Conference Transactions, Vehicle Safety 2002.
- (2) Edwards, J., Happian-Smith, J., Byard, N., Davies, C., Hobbs, A., "Compatibility—the Essential Requirements for Cars in Frontal Impact", IMechE, Conference Transactions, Vehicle Safety 2000, pp.3-17, 2000.
- (3) Diaboine, A., Delannoy, P., "Improvements in Car to Car Compatibility: Physics, Design Constraints and Assessment Test Methodology Criteria, IMechE, Conference Transactions, Vehicle Safety 2002.
- (4) Mizuno, K., Tateishi, K., Ezaka, .Y., "Test Procedures to Evaluate Vehicle Compatibility", Paper No. 127 ESV 2001,