

コンパティビリティの試験法に関する研究

自動車安全部 山口 知宏 民田 博子 米澤 英樹
元自動車技術評価部 水野 幸治
元成蹊大学 竹尾 久幸

1. はじめに

車対車衝突時には衝突した2台の車の乗員安全を考える必要がある(コンパティビリティ)。これまで、各国の事故データによる解析から、自車保護性能の低い車や相手車に対する加害性が高い車のようにコンパティビリティが低い車があることが示されている。米国、オーストラリアでは SUV の加害性が問題となっており、欧州では小型車のセルフプロテクションが問題となっている。日本においても様々なサイズの車が混在し、コンパティビリティは重要な問題として考えられる。そこで、日本におけるコンパティビリティ問題の現状を把握するとともに、これらのコンパティビリティ性能を衝突試験によって評価し、改善していく必要がある。

現在、乗用車のコンパティビリティを評価・改善するための試験法が、国際研究調和プロジェクト(International Harmonized Research Activities, IHRA)コンパティビリティ WG, EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee)WG15 で議論されている。本報告はこれまでに日本が実施し、IHRA コンパティビリティ WG に報告してきた中で、事故分析、衝突試験結果についてまとめたものである。

2. 方法

2.1. 事故分析

日本におけるコンパティビリティ問題に取り組むため、第一優先としてターゲットとする車両及びその数を明らかにする必要がある。そこで、全国データ(1995年)を用い、正面衝突が全体の事故に占める割合を求め、さらに、その中で最も高い割合を占める車種を特定した。

また、乗用車をカテゴリー別に分け、自車と相手車別に死亡重傷者の比とその数を調べた。この分析によって、日本におけるコンパティビリティで重要

となる乗用車の車種が明確になる。

2.2. 衝突試験

本研究では、サイズの異なる軽乗用車対大型乗用車、小型乗用車対大型乗用車のオフセット前突試験を行った。また、コンパティビリティを評価する試験として、MDB 試験、オーバーロード試験を行った。表1にテストマトリックスを示す。

表1 テストマトリックス

Test	Car model	Velocity (km/h)	Weight (kg)	Overlap ratio
Car-to-Ca	Car A (small car)	55.9	1180	50%
	Car C (large car)	55.9	1159	
Car-to-Ca	Car B (minicar)	55.9	929	50%
	Car C (large car)	55.9	1595	
MDB test	Car B	0	1263	40%
	MDB (FMVSS 214)	111.6	1367	
MDB test	Car B	0	1258	40%
	MDB (FMVSS 214)	112.4	1369	
MDB test	Car B	0	1260	40%
	MDB (FMVSS 214)	112.3	1368	
Overload	Car A (small car)	80.0	1095	40%
Overload	Car B (minicar)	80.0	845	40%

2.2.1. 車対車衝突試験 車対車衝突時の現状と問題点を把握するため、小型乗用車(A車)と大型乗用車(C車)、軽乗用車(B車)と大型乗用車(C車)のオフセット前突試験を行った。オーバーラップ率は50%、衝突速度は56 km/hによる両車走行とした。この条件はほぼ NCAP 試験に相当するものである。それぞれの車の変形量、加速度、ダミー傷害値を比較した。これらの結果をコンパティビリティ試験として提案されているオーバーロード試験、MDB 試

験の結果と比較し、試験の有効性や問題点について検討した。

2.2.2. オーバーロード試験 客室保持は衝突時において生存空間を確保し、拘束装置が有効に働くために重要であり、セルフプロテクションの基本となるものである。車対車衝突時に客室を保持するためには、相手車の前部の最終強度(F_{end})よりも客室強度(F_{max})を高い値とする必要がある。

日本の平均的な小型車、及びコンパティビリティで重要である軽乗用車を用いてそれぞれオーバーロード試験を実施した。客室を完全に潰すため、衝突速度は 80 km/h とし、ECE R94 で規定されているバリアにオーバーラップ率 40% で衝突させた。客室強度を求める上で 客室強度の測定方法が問題となる。これらを明らかにするため 時間別に各部の加速度、バリア荷重値、車の変形を検討した。 F_{max} と F_{end} の関係を見るため、オーバーロード試験におけるバリア荷重(F_{max})を 64 km/h ODB 試験(F_{end})の結果と比較した。

2.2.3. MDB 試験 MDB 試験は、重量の影響も考慮したコンパティビリティを評価するための一つの方法である。日本の事故実態に基づき、コリア、オーバーラップ率 40%にて衝突試験を行った。56 km/h による両車走行の車対車衝突を再現するため、MDB は停止している小型車 (A 車) に 112 km/h で衝突させた バリアの影響を調べるため ECE R94, FMVSS 214 バリアフェイスを用い、さらに、MDB の底付きとオーバーライドを防ぐため厚さ 700 mm の 2 段階バリアフェイスを地上高 180 mm にセットして MDB 実験を行った。これらを車対車衝突試験の結果と比較し、MDB 試験が車対車衝突時の加速度、変形量を再現する可能性について検討した。

3. 結果

3.1. 事故分析

1995 年の全国データをもとに事故実態を分析した。車対車衝突時に死亡重傷を受けた運転者数を事故形態別に図 1 に示す。13,157 人の死亡重傷者のうち 正面衝突が最も多く 4,372 人(33%)となっている。この正面衝突時における死亡重傷運転者数を車種別分類すると、乗用車同士が最も多く、680 人である。乗用車、軽乗用車の衝突は 390 件となっており、両者を合わせると 1,075 人(44%)となっている。したがって、事故分析結果から、日本の車対車衝突事故に

おける死亡重傷者のマジョリティは、正面衝突、乗用車であることがわかる。

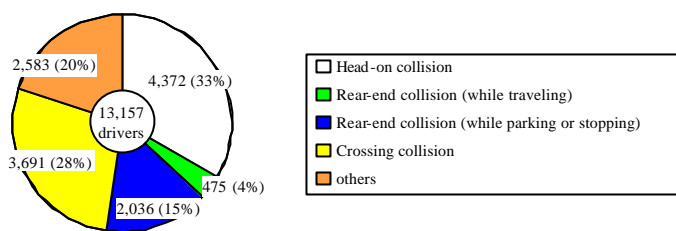


図 1 車対車衝突時の事故形態別死亡重症運転者数(1995)

全国データ(1993-1996)を用いて、乗用車をクラス別に分け、自車と相手車別に死亡重傷者の比とその数を調べた(表 2)。軽乗用車の死亡重傷率が高く、件数も多い。一方、SUV の加害性は高いが事故件数は少ない。したがって日本の事故では軽乗用車のセルフプロテクションが重要な課題の一つとなっている。

表 2 車対車前面衝突時の運転席乗員の死亡重傷者の比 (1993-1996)。() 内は死亡重傷者の数

Cars in collision	All drivers	Belted drivers
Minicar vs. Sedan 	5.3:1.0 (553:104)	5.4:1.0 (328:61)
Sedan vs. Sedan 	1.0:1.0 (1938:1938)	1.0:1.0 (1084:1084)
Mini van vs. Sedan 	0.62:1.0 (117:189)	0.77:1.0 (73:95)
SUV vs. Sedan 	0.25:1.0 (35:142)	0.25:1.0 (20:81)

3.2. 衝突試験

3.2.1. 車対車衝突試験 小型乗用車 (A 車) 対大型乗用車 (C 車)、軽乗用車 (B 車) 対大型乗用車 (C 車) をそれぞれオーバーラップ 50%、衝突速度 56 km/h で実施した。

小型乗用車対大型乗用車

フロントサイドメンバーは互いのバンパービームに衝突しており、アンダーライドも発生せず、インターアクションは良好であった(図 2)。A 車の客室変形は大きい、C 車の客室はほとんど変形していない。車体変形量を図 3 に示す。A 車のステアリング移動量は 100 mm を超え、トーボード侵入量は 200 mm を超えている。運転席乗員の傷害値を図 4 に示す。A 車の客室変形に伴い、変形に関連した傷害値が大きくなっており、A 車の Tibia Index が基準値 (1.3) を超えている。



(a) Car A



(b) Car C

図2 車体変形（小型乗用車対大型乗用車）

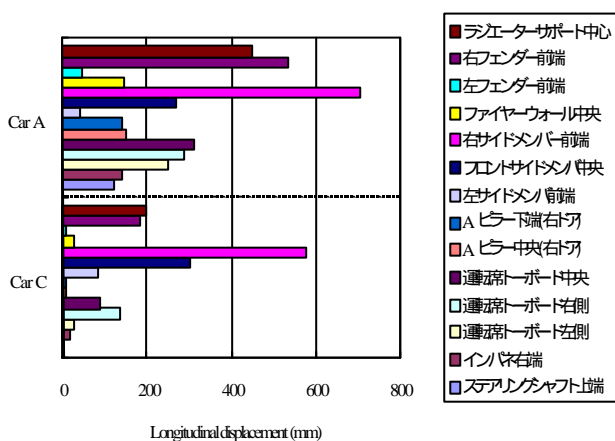


図3 A車およびC車の衝突後車体変形量

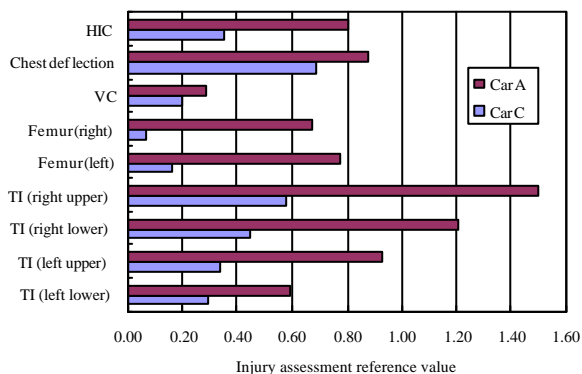


図4 運転席乗員の傷害値

軽乗用車対大型乗用車

車体変形を図5に示す．軽乗用車が大型乗用車にアンダーライドしている．B車とC車では，互いのフ

ロントサイドメンバーが，フロントサイドメンバーとタイヤの間に衝突し，フロントサイドメンバーが十分に变形していない．ただし，B車のタイヤがC車のバンパービームに衝突しており，C車のフロントサイドメンバーのフォークエフェクトは軽減されている．車体変形量を図6に示す，全体的な変形量はA車対B車の衝突によるものよりも小さい．C車ではフロントサイドメンバーのミスマッチにより，タイヤハウスが局所的に变形し，トールボード(右側)の変形量が大きくなっている．

運転席乗員の傷害値を図7に示す．B車の加速度，客室侵入量が大きかったため，B車乗員の傷害値は高くなっており，Tibia Index が基準値を越えた．一方，大型車では傷害値は低いですがトールボードの变形により Tibia Index が基準値を超えた．



(a) Car B



(b) Car C

図5 車体変形（軽乗用車対大型乗用車）

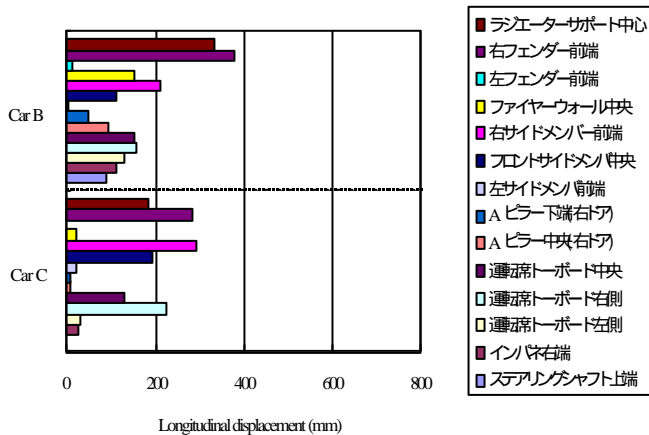


図6 B車およびC車の衝突後車体変形量

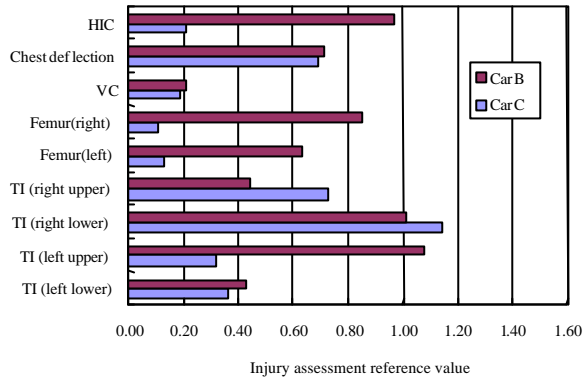


図7 運転席乗員の傷害値

3.2.2. オーバーロード試験 小型車(A車)および軽乗用車(B車)を用いてオーバーロード試験を実施した。A車, B車もサイドシルが中央部から曲がり, インstrument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。

図8にバリアロードセルおよび変形の小さい助手席側Bピラー加速度から求めた荷重時間線図を示す。加速度から荷重を求めるときには, 車両質量に前後方向加速度を乗じた。図8よりバリア荷重は時間66msで最大となり, Bピラーによる荷重は74msで最大となっている。それぞれの時間における車体変形を見ると, 66ms以降から, Instrumentパネルの客室侵入が始まる。74ms以降はサイドシルが座屈し, 助手席側Bピラー加速度により求めた荷重は下がっていく。

B車の荷重時間線図を図9に示す。バリア荷重は時間50msで最大, Bピラーによる荷重は約68msで最大となっている。A車と同様にバリア荷重が最大となる時間ではInstrumentパネルの客室侵入が始まり助手席側Bピラーによる荷重が最大となる時間からサイドシル中央部より曲げ変形が始まる。

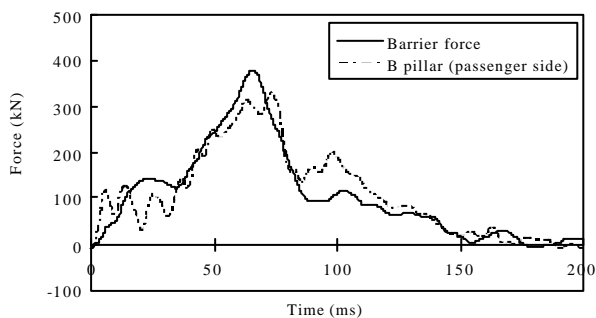


図8 荷重時間線図(A車)

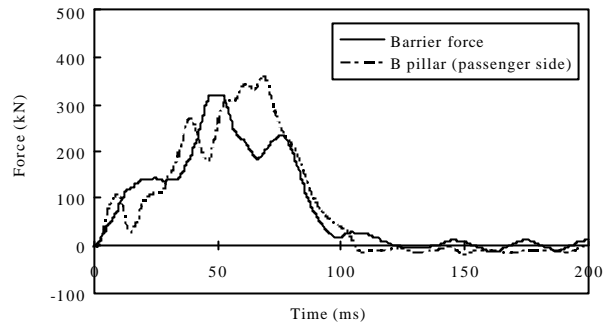


図9 荷重時間線図(B車)

客室強度は荷重の測定位置, 方法により評価値が異なる。表3にバリアロードセル, 助手席Bピラー加速度から求めた客室強度の特徴, 及びこれらにより求めたA車, B車の客室強度値を示す。車対車衝突時に衝突力は衝突面を通じて伝わる。したがって, 客室強度はオーバーロード試験のバリア荷重を評価することによって, 車対車衝突に適用することができる。バリア荷重が最大値を取る時間において, Instrumentパネルの客室侵入が始まるため, 乗員の傷害リスクという点からもこれを客室強度として考えることができる。

助手席Bピラー加速度は, サイドシル座屈の直前にピークを持ち, この時間以降はこの部位を通じて荷重は十分に伝達されない。したがって, Bピラー加速度により求めた客室強度は, これらの部位の車体強度を表すと考えられる。

表3 オーバーロード試験の測定項目と測定値

Measurement locations	Features	Compartment strength (kN)	
		Car A	Car B
バリア荷重	<ul style="list-style-type: none"> 衝突面の力の評価 Instrumentパネルが侵入するときに最大 エンジン慣性力の影響が大きい可能性がある 	381	321
Bピラー加速度	<ul style="list-style-type: none"> サイドシル等, フレームの崩壊時の力を評価 計算に使用する質量の影響が大きい 加速度波形の影響がある 	331	360

A車とB車の荷重変位特性を衝突速度別に図10, 11に示す。図より荷重変位特性は速度によらず同様

の曲線となっており、80 km/h における変形モードはそれより低速度のものとは一致していると考えられる。A 車についてはオーバーロード試験と ODB(64 km/h)における最大荷重は330 kN でほぼ一致している。一方、B 車では ODB(64 km/h)では最大荷重は約329 kN であったが、オーバーロード試験ではこれよりも高い約360 kN となっている。したがって、B 車では64 km/h では客室の最大強度に到達しなかったが、オーバーロード試験により客室強度を求めることが可能となったと考えられる。

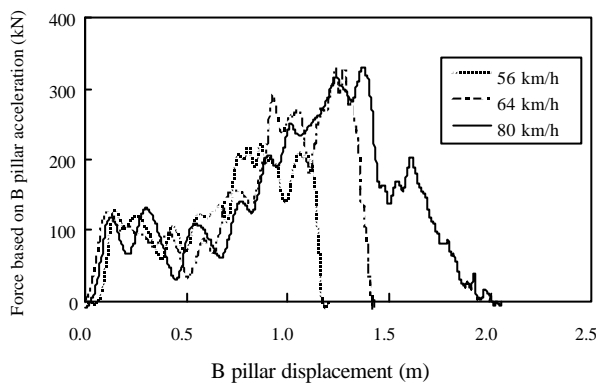


図10 A車の荷重変形量特性

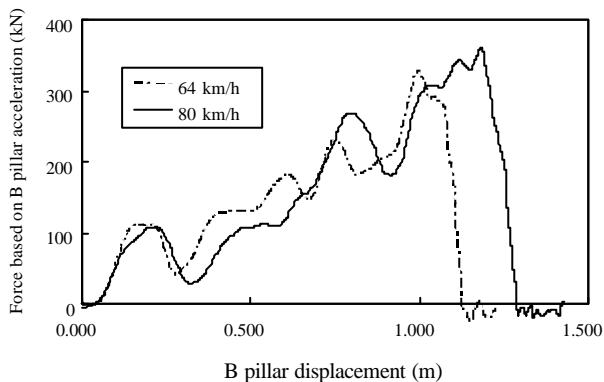


図11 B車の荷重変形量特性

オーバーロード試験と ODB (64 km/h)の最大バリア荷重値を比較し、図12に示す。ODB試験では車両質量によりバリア最大荷重値が増加する。これらをA車とB車のオーバーロード試験の最大荷重値と比較すると、A車では1620 kg、B車では、1920 kgの車の ODB試験(64 km/h)の最大荷重値に相当する。

したがって、これらの車の変形量が64 km/hの ODB試験の変形量に達するまでは、A車、B車の客室は崩壊しないと推定できる。また、図よりC車との衝突ではA車、B車の客室は崩壊しないと考えられるが、実際の車対車衝突実験でも客室は保持されている。

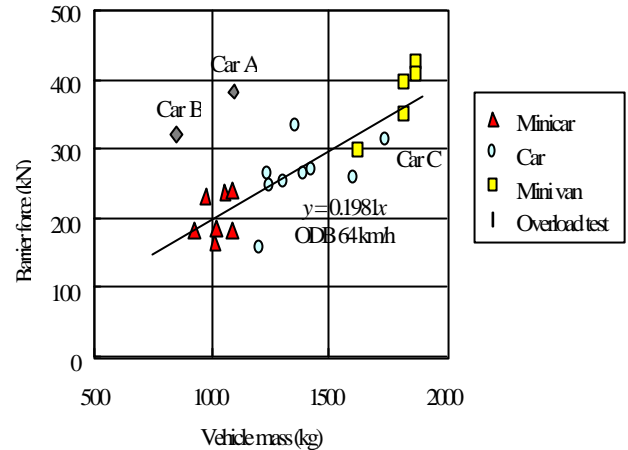


図12 オーバーロード試験と ODB (64 km/h, JNCAP)のバリア最大荷重値の比較

オーバーロード試験と比較して、車対車衝突では変形が一樣ではない。B車対C車の衝突では、フロントサイドメンバーのミスマッチのため、B車のサイドシルの変形量が大きかった。これらの車対車衝突時の多様な変形に対応するため、オーバーロード試験においてもインストルメントパネルの侵入やサイドシル等の強度など多様な項目から、客室強度を評価する必要がある。また、今後、オーバーロード試験と車対車衝突試験における車体変形の差を検討する必要がある。

3.2.3. MDB試験 MDB試験は、理論上、車対車衝突時の再現が可能な一つの試験方法である。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を用いて MDB 実験を行い、結果を車対車衝突試験と比較した。

車両加速度を比較すると、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。

また、変形量の比較では、Aピラー変形量、ステ

アリング突出量，トーボード変形量では2段階ハニカムが最も車対車衝突に近かった．

加速度，変形量，及び MDB の乗り上げ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．

4．考察

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剛体壁に対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 相互作用(interaction)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均一性を評価する必要がある．この試験は本研究では実施していないが，オーバーライド，サイドメンバーの横方向ミスマッチの発生を低減するためにもこの試験は重要である．
- (2) ODB 試験により，車の前部のエネルギー吸収，減速波形，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，車の相互作用，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可能性が高い．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．

5．結論

本研究では日本が IHRA コンパティビリティ WG に報告してきた中で，事故分析，衝突試験の結果についてまとめた．結論は次のとおりである．

1. 日本の車同士の正面衝突事故においては，乗用車同士の事故の死亡重傷者数が多い．したがって，日本におけるコンパティビリティでは乗用車がターゲットとなる．そのうち，軽乗用車の死亡重傷率が高く，コンパティビリティにおいて重要な問題の一つである．
2. コンパティビリティでは客室強度を評価する必要がある．軽乗用車と小型車についてそれぞれオーバーロード試験を実施し，このような高速度の試験が，客室強度を評価するための試験となる可能性があることを確認した．
3. MDB 試験を3種類のハニカムを用いて行った．試験の結果，MDB のオーバーライドと底付きの問題が発生し，試験車の挙動や変形に大きな影響を及ぼすことがわかった．MDB 試験法は，試験条件を含め，さらに詳細に検討する課題が多い．
4. 衝突時のコンパティビリティのためには，車同士のインターアクションを確保した上で，車体のエネルギー吸収を行い，最終的に客室変形を抑止することが必要である．この観点から，荷重分布を計測するフルラップ剛体壁衝突，ODB 衝突，オーバーロード試験の3つの組み合わせからコンパティビリティを評価することが適していると考えられる．ただし，これらの試験の条件，評価基準に関しては，今後，さらに検討が必要である．

参考文献

- 1) Mizuno, K., Tateishi, K., Ezaka, Y., The Test Procedures to Evaluate Vehicle Compatibility, ESV.