事故データとシミュレーションによる自動車衝突時の コンパティビリティの解析*

水 野 幸 治^{*1}, Janusz KAJZER^{*2}

The Compatibility Analysis of Automobile Collisions Using Accident Data and Simulation

Koji MIZUNO and Janusz KAJZER

The compatibility problem for car-to-car frontal collision is discussed using traffic accident data and simulations of multibody dynamics. The accident analysis shows that the car with masses of 1 150 kg is the most compatible in the current car population. The sports utility vehicle and mini car are found to be the most incompatible car types with high and low aggressivity, respectively. Using multibody dynamic program, the safety of the driver of mini car in crashes into a rigid wall and into a large car was analyzed to accomplish compatibility. The optimum restraint system in conjunction with high stiffness of mini car can be effective to accomplish the safety of this type of car in crashes into a rigid wall as well as a large car.

Key Words: Automobile, Safety Engineering, Biomechanics, Dynamics of Machinery, Crash, Injury, Accident Analysis, Multibody Dynamics, Compatibility

1. 緒 言

車対車衝突では、それぞれの車が固定壁衝突基準を満たしていても、車両質量等の差により、一方の車の乗員が高い傷害危険度となることがある⁽¹⁾。これに対して衝突した二台の車の乗員安全を共に確保することはコンパティビリティ(両立性)と呼ばれ、自動車の衝突安全における重要な課題の一つとなっている。実際の衝突事故例は、他の車とのコンパティビリティの低い車があることを示している。このとき自車が相手車の乗員に対して持つ危険度を加害性(aggressivity)と言う。

コンパティビリティは米国運輸省が主催する ESV (Experimental Safety Vehicle)国際会議において 1970 年代に最初に論じられ、現在もまだ研究段階にある。コンパティビリティは ESV 国際調和研究項目の一つとなっており、米国、欧州において、この項目に関する研究プログラムが開始されている⁽²⁾。しかし、国内ではここ 20 年にわたり、コンパティビリティに関する研究は余り行われていないようである。車のサイズ、車群分布、交通環境等は国により異なるため、車両サイズの影響が大きいコンパティビリティも各国で状況が異なり、それぞれの国でこ

の問題を検討する必要がある。本研究では、まず、国内におけるコンパティビリティの現状を明らかにするため、車対車前面衝突事故を分析し、車両質量、車のクラス別にコンパティビリティを検討した。

これまでコンパティビリティは実験^{(3)~(5)}、バネ-質点モデル^{(5)~(7)}、有限要素法⁽⁸⁾⁽⁹⁾を用いたシミュレーションにより検討され、小型車の車両加速度及び車体変形量の低減について解析されている。コンパティビリティの解析には乗員の傷害危険度による検討が不可欠であるが、これらの解析では車両を中心として検討されており、乗員の傷害値を詳細に検討した例は見あたらないようである。そこで、本研究では乗員ダミーのデータベースが用意されているマルチボディ解析プログラム MADYMO を用い、乗員を含めた自動車の衝突モデルを作成し、傷害値により乗員の傷害危険度を評価した。

コンパティビリティを成立させるためには、質量、サイズが小さい軽乗用車の乗員安全の向上が不可欠である。本研究では軽乗用車について、自動車の保安基準で定められている固定壁衝突、及びコンパティビリティで最も重要である普通乗用車とのオフセット前面衝突シミュレーションを行った。軽乗用車の車体剛性、乗員拘束装置が乗員の傷害値に及ぼす影響を求め、軽乗用車のコンパティビリティ成立の可能性について検討した。

* 原稿受付 1998 年 3 月 17 日。

^{*1} 正員, 名古屋大学工学研究科(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)。

^{*2} 名古屋大学工学研究科。

E-mail: mizuno@tsnri.go.jp

2. 事故データによるコンパティビリティの分析

2.1 方法 本研究では(財)交通事故総合分析センターの交通事故統合データベースより車対車前面衝突事故(1992~1995年)を抽出し、分析を行った。単純化のため乗員については運転席乗員のみを対象とした。

車対車衝突時のインコンパティビリティ(非両立性)は二台の車の間の車両質量、車体剛性、車体形状の差から生ずる⁽¹⁰⁾。本研究では事故データの項目に含まれている車両質量と車両クラスから、乗用車のコンパティビリティを検討した。車両クラスは軽乗用車、セダン A(排気量 1.5l 未満)、セダン B(排気量 1.5l 以上 2l 未満)、セダン C(排気量 2l 以上)、ワゴン、スポーツ&スペシャリティ、1BOX、SUV(Sports Utility Vehicle)に分けた⁽¹¹⁾。クラス別の検討により、コンパティビリティに対する車両質量、車体剛性、車体形状の結合した影響を求めることができる。

コンパティビリティの最終的な目標は、それぞれの車の乗員の死亡率を同等のレベルにしつつ、衝突あたりの死者数を最小化することにある。そこで本研究では、自車及び相手車の運転席乗員の死亡率を比較しつつ、事故あたりの二台の車による運転席乗員の死者数の和を検討することによって、コンパティビリティを評価した。

2.2 車両質量と乗員傷害の関係 車対車前面衝突時には、衝突した車 1, 2 の質量 m_1 , m_2 が乗員の傷害危険度に大きな影響を及ぼす。この車対車前面衝突時における乗員傷害率と車両質量の関係を、衝撃時の客室の速度差であるデルタ V に基づき表す。デルタ V は衝撃時に乗員が受ける速度差に相当するため、乗員の傷害危険度と強い関係がある。そこで乗員傷害率を $R(\%)$ とし、デルタ V (Δv) により次式で近似する⁽¹²⁾。

$$R = |\Delta v / \alpha|^k \quad (1)$$

ここで α , k は、 R を近似するための係数である。

車対車前面衝突では、衝突力が互いの重心を通る一次元の衝突として近似できる場合が多い。この時、衝突時の反発係数を 0 とすると、 Δv_1 は運動量保存則より車 1, 2 の相対衝突速度 v_c を用いて次式で表される。

$$\Delta v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_c \quad (2)$$

式(1), (2)より、車 1 の乗員傷害率 R_1 は次のようになる。

$$R_1 = \left| \frac{m_2}{m_1 + m_2} \frac{v_c}{\alpha} \right|^k = a \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^k \quad (3)$$

ただし、 $a = |v_c / \alpha|^k$ 。

車 1 の運転席乗員の死亡・重傷率について、 R_1 と質量比 $m_2/(m_1+m_2)$ の関係を図 1 に示す。両者の関係は直線で表され、この直線の傾き及び切片により k , a を求めることができる。運転席乗員の傷害程度、シートベルト着用・

Fig. 1 Average mass ratio and probability of injury to driver in car 1 (Belted driver).

Table 1 Parameters k and a .

Injury severity	Seat belt	k	a
Fatal and serious	Belted	2.64	13.9
	Unbelted	2.49	33.4
Fatal, serious and minor	Belted	1.08	107.8
	Unbelted	0.955	123.5

Fig. 2 Car mass and the driver fatality rate in subject and other cars in car-to-car frontal collisions.

非着用別に k , a を求め、結果を表 1 に示す。Evans は米国の事故データを用い、傷害率比 ($R_1/R_2 = (m_2/m_1)^k$) から k の値を求め、死亡については $k=4.57$ 、重傷については $k=2.62$ (全ての車対車衝突、シートベルト着用) と報告している⁽¹³⁾。表 1 における死亡・重傷率では、死亡者と比較して重傷者の数が高い割合をしめている(死亡者数 950 人、重傷者数 11634 人)。したがって、Evans の求めた重傷における $k=2.62$ は、本方法により求めた表 1 の死亡・重傷率(シートベルト着用)における $k=2.64$ とほぼ一致していると考えられる。ここで、 k , a は現在の衝突事故において求めた係数であり、エアバッグ等の拘束装置、安全な軽量車の開発等により、変わる可能性がある。

2.3 車両質量のコンパティビリティ 車 1, 2 の運転席乗員の傷害率の和をとると、これは衝突事故あたりの運転席乗員の傷害者数に対応する。式(3)より、

$$R_1 + R_2 = \frac{m_1^k + m_2^k}{(m_1 + m_2)^k} a \quad (4)$$

となる。 $m_1 = m_2$ のとき、 $R_1 + R_2$ は最小値 $2^{1-k} a$ ($k > 1$) をとり、車 1, 2 の質量差が小さいほど事故あたりの傷害者数が少ない。一方、車両質量差が小さいほど衝突時の二台の車の乗員傷害率の差も小さくなる。したがって、車両質量が等しい車同士のコンパティビリティが最も高い。

車対車前面衝突における自車及び相手車運転席乗員の死亡率と自車の車両質量の関係を図 2 に示す。自車質量が増加すると自車運転席乗員の死亡率は減少し、反対に相手車運転席乗員の死亡率は増加する。自車と相手車運転席乗員の死亡率の和は事故あたりの運転席乗員の死者数に相当する。質量 1150 kg の車は、自車及び相手車の死亡率がほぼ等しく、また、事故あたりの死者数も少ないため、現在の車群ではコンパティビリティが最も高いといえることができる。この質量は、ほぼ乗用車の平均質量 1131 kg (1994 年)⁽¹⁵⁾と一致する。すなわち、平均質量に近い車ほど、自車との質量差が小さい車と衝突する確率が高く、二台の車の運転席乗員の死亡率の差も小さくなり、かつ、事故あたりの死者数も少なくなる。

自車質量が $750 \text{ kg} < m < 1350 \text{ kg}$ の範囲にあるときには、事故あたりの運転席乗員の死者数は少ない。しかし、自車質量が 750 kg 以下、または 1350 kg 以上では、事故あたりの運転席乗員死者数は増加する。したがって、現在の車両質量分布において、死者数全体を減少させ、コンパティビリティを向上させるためには、質量 750 kg 以下の車では自車乗員の死亡率を減少させ、1350 kg 以上の車では相手車乗員の死亡率を減少させる必要がある。

2.4 車のクラスによるコンパティビリティの分析

コンパティビリティの低い車のクラスを明らかにするため、衝突時の加害性について検討した。本研究では、車のクラス別の加害性を求めるため、次の三つの方法を用いた。

1. (相手車の運転席乗員死者数) / (自車の運転席乗員死者数)
2. 相手車の運転席乗員死亡率
3. 自車登録台数あたりの相手車の運転席乗員死者数

方法 1, 3 は Hollowell によって提案されたものである⁽⁶⁾。車対車前面衝突時において、自車の衝突速度が高い時には、自車乗員の死亡率と同様に相手車乗員の死亡率も高くなる。方法 1 では相手車の運転席乗員死者数を自車の運転席乗員死者数で割っているため、衝突速度の影響が小さく、車自体の加害性が明らかになる。一方、方法 2

Fig. 3 Car aggressivity calculated by method 1.

Fig. 4 Car aggressivity calculated by method 2.

Fig. 5 Car aggressivity calculated by method 3.

Fig. 6 Car compatibility.

による加害性は、相手車運転席乗員の死亡率を用いているため、自車の衝突速度の影響が含まれる。方法1, 2では事故にあった車を母集団としているため、加害性に事故率の影響は含まれない。方法3では、事故率、走行距離、衝突速度等の車の使用法まで含んだ加害性が求められる。

方法1, 2, 3により求めた加害性を図3, 図4, 図5にそれぞれ示す。図3より車自体の加害性は車のクラス別に次の順となっている

軽乗用車 < セダン A < セダン B < ワゴン
< スポーツ&スペシャリティ < セダン C < 1BOX < SUV

方法1では加害性の値が1より大きいと、相手車の死者数が自車の死者数よりも大きくなるため、その車は加害性があると言える。したがって、図3より SUV, 1BOX, セダン C, スポーツ&スペシャリティは他の車に対して加害性がある。図3, 図4より、方法1に比べ、方法2による加害性では、スポーツ&スペシャリティの加害性の値が高くなっている。これは、スポーツ&スペシャリティの高い衝突速度が影響したものと考えられる。方法3ではスポーツ&スペシャリティの加害性が、方法1, 2による加害性に比較して、特に高くなっている。これはスポーツ&スペシャリティの高い事故率、高い衝突速度によると考えられる。すなわち、スポーツ&スペシャリティは、車自体の加害性は図3に示すように余り高くはないが、運転席乗員による人的要因により加害性が高くなるクラスであると言える。

2.5 クラス別のコンパティビリティ 事故あたりの自車及び相手車運転席乗員死者数を図6に示す。SUVと1BOXでは自車及び相手車の運転席乗員数の和が大きく、また、自車の死者数に比べ、相手車の死者数が大きい。したがって、SUVと1BOXはコンパティビリティが低いクラスである。反対に、軽乗用車は事故あたりの自車の死者数がクラス中、最も大きく、また、自車乗員の死者数と相手車乗員の死者数が大きく異なる。したがって、車対車衝突では、軽乗用車もコンパティビリティが低いクラスであると言える。一方、ワゴンとセダン B は自車と相手車の死者数がほぼ等しく、自車と相手車の死者数の和も小さいため、コンパティビリティが高い。

現在、コンパティビリティの低い SUV, 1BOX の台数割合は増加し、コンパティビリティの高いセダン B の台数割合は減少傾向にある⁽¹⁴⁾。このことから異なるクラス間のコンパティビリティを考慮した設計が、現在、重要になっていることがわかる。

3. 衝突シミュレーション

3.1 衝突モデル 事故分析結果より、軽乗用車の乗員安全の確保がコンパティビリティ成立のために重要であることがわかる。本研究ではマルチボディ解析プログラム MADYMO を用い、軽乗用車(700 kg)について固定壁及び普通乗用車(1400 kg, セダン C)との前面衝突シミュレーションを行い、軽乗用車のコンパティビリティについて検討した。

保安基準では軽乗用車の固定壁衝突試験(衝突速度は40 km/h)が定められており、乗員ダミーの傷害値が基準値以下となるように要求されている。本研究では、他の乗用車の基準と同様に、軽乗用車の固定壁に対する衝突速度を50 km/hとした。軽対普通乗用車の前面衝突では、最も発生頻度の高いオフセット衝突とし、軽乗用車のオーバーラップ率を50%(普通乗用車は40%)、それぞれの車の衝突速度を50 km/hとした。図7, 図8に衝突モデルを示す。

Fig. 7 Simulation model of a mini car in a frontal crash into a rigid wall.

Fig. 8 Simulation model for a frontal collision between a mini car and a large car with a 50% overlap.

Fig. 9 Relationship between the firewall intrusion and longitudinal displacement of the steering column.

車体の前部は楕円体でモデル化した。車体変形特性は直線近似し、軽乗用車の車体剛性 k が乗員傷害値に及ぼす影響を固定壁衝突、車対車前面衝突についてそれぞれ検討した。普通乗用車の車体剛性は、車両質量(1400 kg)から求めた平均的な値である 872 kN/m ($k=78m^{1/3}$)⁽¹⁶⁾とした。

オフセット衝突時の車体の変形は直接、衝突物と接触した直接破損及び直接破損によって引き起こされる間接破損に分けられる。この間接破損により、車体剛性は衝突の接触幅あたり 30%増加すると報告されている⁽¹⁷⁾。そこで、オフセット衝突時の車体剛性 k_{offset} をフルラップ衝突時の車体剛性 k により次式で表した。

$$k_{offset} = 1.3k \times (\text{オーバーラップ率}) \quad (5)$$

本モデルでは式(5)に基づきオフセット衝突時の車体変形特性をもとめた。

Matsumoto ら⁽¹⁸⁾によると衝突時におけるファイアウォール(エンジン隔壁)の変位 $x_{firewall}$ と車体変形量 x の間の関係は次式で近似できる。

$$x_{firewall} = 0.75(x - x_0) \quad (6)$$

ここで x_0 は、車体変形にともないエンジンがファイアウ

オールに接触したときの車体変形量であり、軽乗用車、普通乗用車についてそれぞれ、0.175 m、0.350 mとした。実験結果⁽¹⁹⁾に基づきステアリングコラムの前後方向移動量($x_{steering}$)と $x_{firewall}$ を求めると次の関係がある(図9)。

$$x_{steering} = 0.772(x_{firewall} - 0.0566). \quad (7)$$

本モデルではファイアウォール、ステアリングコラムの移動を並進ジョイントで表し、それぞれの移動量を式(6)、(7)より求めた。ファイアウォールの車室侵入を表すため、モデルではトーボードが回転し、垂直になった後、運転席乗員方向に移動するものとした。

乗員はMADYMOデータベースのダミー(HYBRID III)を用い、運転席乗員を対象として解析した。軽乗用車、普通乗用車の運転席乗員に対する基本的な拘束装置としては、現在、多くの車で装備されているエアバッグ(35I)とシートベルトとした。乗員の傷害危険度の評価として、頭部傷害基準値 HIC (Head Injury Criteria)、胸部加速度(持続時間 3 ms における最大加速度)、胸部たわみ、大腿骨荷重、脛骨遠位部軸荷重、脛骨遠位部モーメントを用いた。ここで、頭部傷害基準値 HIC は次式により計算される⁽²⁰⁾。

Fig. 10 Relationship between the stiffness of the mini car (k), car acceleration, deformation and firewall intrusion in a crash into a rigid wall (50 km/h).

Fig. 11 Behavior of the driver in a mini car in a crash into a rigid wall (50 km/h, 70 ms).

Fig. 12 Driver injury risks in a crash into a rigid wall with stiffness of the mini car (50 km/h).

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_0^T a(t) dt \right]^{2.5} \right\}_{\max} \quad (8)$$

ここで $a(t)$: 頭部重心における 3 軸合成加速度 (g で表す),
 t_1 : 衝撃時の任意の時間, t_2 : t_1 に対し HIC が最大となる
 時間, $t_2 - t_1 \leq 36$ ms. HIC 値 1000 は生命に危険のある脳損
 傷発生率 15% に相当している⁽²¹⁾.

3.2 固定壁衝突 軽乗用車が固定壁に衝突した時の
 乗員傷害値について、軽乗用車の車体剛性 k により検討し
 た。軽乗用車の車体剛性が高くなると、加速度による乗
 員の傷害危険度は高くなるが、車室侵入による傷害危険
 度は低くなる (図 10)。

車体剛性 k が 500 kN/m と 1000 kN/m の場合の乗員挙動
 を図 11 に示す。 k が 500 kN/m の場合には車室侵入量が大き
 い。一方、 k が 1000 kN/m の場合には加速度により乗員
 の上体の回転量が大きくなっている。

車体剛性と乗員傷害値の関係を図 12 に示す。車体剛性
 k が最も低い場合 (500 kN/m), HIC は 706, 胸部加速度 (3 ms)
 は 55.9 g, 胸部たわみは 0.042 m となり、傷害基準値以下

(HIC<1000, 胸部加速度<60 g, 胸部たわみ<0.075 m) で
 ある。車体剛性が増加すると HIC, 胸部加速度は増加する。
 胸部たわみ, 大腿骨荷重, 脛骨遠位部軸荷重, 脛骨遠位
 部モーメントは車体剛性に対してほぼ一定である。したが
 って、固定壁衝突時では車体剛性が低い方が乗員の傷
 害危険度は下がることがわかる。

下肢の重傷率はファイアウォールの車室侵入量 0.25 m
 を閾値として増加すると報告されている⁽²²⁾。図 10 に示す
 ように 50 km/h での固定壁衝突におけるファイアウォール
 の車室侵入量は 0.27 m 以下である。したがって、固定
 壁衝突では乗員傷害に及ぼす車室侵入量の影響は小さく、
 加速度の影響が大きいと考えられる。

3.3 車対車オフセット前面衝突 軽対普通乗用車の
 オフセット前面衝突シミュレーションを行い、乗員の傷
 害危険度を検討した。車体前面全体が接触し車体が一様
 に変形するフルラップ衝突に対して、オフセット衝突で
 は車体前面の一部が接触するため、車両加速度は低いが、
 車体変形量と車室侵入量が大きくなる。図 13 に車両加速
 度、車体変形量、車室侵入量と軽乗用車の車体剛性 k の関
 係を示す。軽乗用車の車体剛性の値が大きくなると軽乗

Fig. 13 Relationship between the stiffness of the mini car (k), car acceleration, deformation and firewall intrusion in a car-to-car frontal collision.

Fig. 14 Behavior of the driver of a mini car in a collision with a large car (70 ms).

Fig. 15 Driver injury risks in mini and large cars in a car-to-car frontal collision.

Fig. 16 Effect of the restraint system on the injury risks to the driver of the mini car in a crash into a rigid wall ($k=1000$ kN/m).

用車の車体変形量、車室侵入量が小さくなり、車室侵入による軽乗用車乗員の傷害危険度が低くなる。

軽乗用車の車体剛性が 500 kN/m と 1000 kN/m の場合における軽乗用車の乗員挙動を図 14 に示す。車室侵入により足関節が大きな背屈を受けている。また、乗員胸部との接触により、ステアリングホイールが変形している。この傾向は、車体剛性が低い場合(500 kN/m)において特に顕著である。

軽対普通乗用車のオフセット前面衝突時における軽乗用車乗員の傷害値を図 15 に示す。軽乗用車の車体剛性が増加すると、軽乗用車の乗員については車室侵入と強い関係のある胸部たわみ、大腿骨荷重、脛骨遠位部軸荷重、脛骨遠位部モーメントは減少する。また、車両加速度と強い関係のある HIC、胸部加速度は増加する。このように車対車オフセット前面衝突では、車両加速度に加えて車室侵入量が乗員傷害値に大きな影響を及ぼす。一方、固定壁衝突では乗員傷害値に対して車両加速度の影響が大きい。したがって、車対車前面衝突における乗員の傷害危険度は、固定壁衝突試験によって評価することはできないことがわかる。

図 15 より検討したほとんどの乗員傷害値について、普通乗用車に比較して、軽乗用車の乗員傷害値が大きい。これは事故分析における軽乗用車乗員の高い死亡率と普通乗用車の高い加害性に対応している。軽乗用車の車体剛性が高くなると普通乗用車の加速度、車室侵入量が増加するため、普通乗用車の乗員傷害値も高くなる。しかし、これらの値は傷害基準値以下である。

Fig. 17 Effect of the restraint system on the injury risks to the driver of the mini car in a collision with a large car ($k=1000$ kN/m).

3.4 拘束装置の効果 軽乗用車の車室侵入を低減するため、車体剛性 k を現在の軽乗用車よりも高い値である 1000 kN/m とし、固定壁衝突及び普通乗用車とのオフセット前面衝突時における軽乗用車のコンパティビリティ成立の可能性について検討した。

車体剛性が高くなると、軽乗用車には高い加速度が生じ、乗員傷害危険度の低減のためには、適切な拘束装置が必要となる。そこで、拘束装置としてエアバッグ、シートベルトに加えて、シートベルトプリテンショナー、シートベルトフォースリミッタ (4 kN $\times$ 0.15 m : 4 kN の力が加わったとき、この一定力で 0.15 m だけシートベルトがシートベルト巻き取り装置から引き出される)、エネルギー吸収 (EA) ステアリングシステム (4 kN $\times$ 0.15 m : 4 kN の力が加わったとき、この一定力で 0.15 m ステアリングコラムが圧縮する)、ニーボルスターを取り付けたとき、及びそれら全ての拘束装置を取り付けたときの軽乗用車運転席乗員の傷害値を求め、結果を基本的な拘束装置 (エアバッグとシートベルト) を取り付けた場合と比較した。

固定壁衝突及び軽対普通乗用車オフセット衝突時における拘束装置と軽乗用車の乗員傷害値の関係を図 16、図 17 に示す (点線は傷害基準値)。拘束装置のうち特にエネルギー吸収ステアリングシステムは固定壁衝突と普通乗用車とのオフセット衝突の両者について HIC、胸部加速度に対する効果が大きい。これはステアリングコラムの軸方向の変形により運転席乗員の頭部、胸部を減速させるためである。また、拘束装置は最大脛骨軸方向荷重に対しては、ほとんど効果がない。したがって、下肢傷害危険度を低減

するためには拘束装置ではなく、車室侵入量の低減が重要となる。また、図 16、図 17 より、検討した全ての拘束装置を取り付けることにより、固定壁衝突及び普通乗用車とのオフセット衝突の両方において、軽乗用車の乗員傷害値を傷害基準値以下とすることが可能である。

高剛性の軽自動車は十分な拘束装置を取り付けることにより、自車乗員の傷害危険度を低下させることができる。しかし、このような剛性の高い車を導入するにあたっては、車対車前面衝突、側面衝突、追突時の相手車に対する加害性、エアバッグを展開させない低速度での自車乗員の傷害危険度の増大、歩行者に対する加害性等、検討すべき課題が数多く残されている。

4. 結 言

事故データを用いて、車対車前面衝突におけるコンパティビリティについて検討した。その結果、次の知見が得られた。

1. 車 1, 2 の質量を m_1, m_2 とすると、車 1 の乗員傷害率は $a\{m_2/(m_1+m_2)\}^k$ により表される。シートベルト着用、非着用、傷害程度別に k, a の値を求めた。
2. 車両質量が約 1150 kg である車のコンパティビリティが最も高い。これは現在の乗用車の質量の平均値にほぼ一致する。
3. 車両クラスでは、セダン B とワゴンは事故あたりの死者数が小さく、また、自車と相手車の死者数がほぼ等しく、コンパティビリティが高いクラスである。一方、軽乗用車は自車乗員の死亡率が高く、SUV は加害性が高く、共にコンパティビリティが低い。

マルチボディ解析プログラム MADYMO を用いて、コンパティビリティの低い軽乗用車について衝突シミュレーションを行った。その結果、以下のことがわかった。

4. 固定壁衝突では乗員傷害値に対して車両加速度の影響が大きい。一方、車対車オフセット前面衝突時は、車両加速度と共に車室侵入量の影響が大きい。したがって、特にサイズが小さく、車室侵入量が多い軽乗用車については、車対車オフセット前面衝突時の乗員の傷害危険度を固定壁衝突試験によって評価することはできない。
5. 軽乗用車は車体剛性を高くし、十分な拘束装置の取り付けを行うことにより、固定壁衝突及び普通乗用車とのオフセット前面衝突において、乗員の傷害値を傷害基準値以下とし、軽乗用車のコンパティビリティを向上させることができる。

参考文献

- (1) Evans, L., *Traffic Safety and the Driver*, (1991), 64, Van Nostrand Reinhold.
- (2) International Harmonized Research Agenda Report, 15th Enhanced Safety Vehicle Conference, (1996), NHTSA.
- (3) Ventre, P., Homogeneous Safety Amid Heterogeneous Car Population, 3rd Experimental Safety Vehicle Conference, (1972), NHTSA.
- (4) 丸茂・綾・高橋・納所, 大型車・小型車間の衝突安全性(コンパティビリティ), 日産技報, **10**, (1975), 83
- (5) Tarrière, C., Accident Research and Experimental Data Useful for an Understanding of the Influence of Car Structural Incompatibility on the Risk of Accident Data, 14th Experimental Safety Vehicle Conference, (1994), NHTSA.
- (6) Hollowell, W. T., Gabler, H. C., NHTSA's Vehicle Aggressivity and Compatibility Program, 15th Enhanced Safety Vehicle, (1996).
- (7) Appel, H., Ni, J., Deter, T., Grenzen der Passive Sicherheit von leichten Fahrzeugen, *VID Berichte*, **1134**, (1994), 235
- (8) Maurer, D., Thompson, M. G., Muller, R., Graffe, M., Weyersberg, A., Safety Concepts for Very Small Vehicles, Example: Opel MAXX, 15th Enhanced Safety Vehicle Conference, (1996), NHTSA.
- (9) Tarrière, C., Compatibility Issues and Vulnerable Uses, *Crashworthiness of Transportation Systems: Structural Impact and Occupant Protection*, (1997), 139, Kluwer Academic Publishers.
- (10) Buzeman, G. D., *Car-to-Car and Single Car Crash Compatibility: Individual Effects of Mass, Structure, Stiffness and Geometry*, Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Chalmers University of Technology, ISBN91-7197-536-5, (1997).
- (11) (財)交通事故総合分析センター, 研究報告書: 交通事故と運転者と車両の相関についての分析結果, (1996), 161.
- (12) Joksh, H. C., Velocity Change and Fatality Risk in a Crash - A Rule of Thumb, *Accident Analysis & Prevention* **25**-1, (1993), 103.
- (13) Evans, L., Driver Injury and Fatality Risk in Two-Car Crashes Versus Mass Ratio Inferred Using Newtonian Mechanics, *Accident Analysis & Prevention*, **26**-5, (1994), 609.
- (14) (財)交通事故総合分析センター, 交通事故例調査・分析報告書(平成 8 年度報告書), (1997).
- (15) Mizuno, K., Umeda, T., Yonezawa, H., The Relationship Between Car Size and Occupant Injury in Traffic Accidents in Japan, SAE Paper 970123, (1997), Society of Automotive Engineers.
- (16) 石川, 衝突時の車両運動に関する研究 - 一次元衝突の解析式, 自動車研究, **12**-10, (1990), 25.
- (17) 石川, オフセット前突時の反発係数とデルタ V, 自動車技術会学術講演前刷集 956, (1995).
- (18) Matsumoto, H., Sakaida, M., Kurimoto, K., A Parametric Evaluation of Vehicle Crash Performance, SAE Paper 900465, (1990), Society of Automotive Engineers.
- (19) 日本自動車研究所, 運輸省委託事業 乗用車の衝突安全性に関わる審査方法検討調査報告書, (1991, 1992).
- (20) Versace, J., "A Review of the Severity Index", SAE Paper 710881 (1971), 15th Stapp Car Crash Conference, Society of Automotive Engineers.
- (21) Mertz, H. J., Injury Assessment Values Used to Evaluate Hybrid III Response Measurements, (1984), NHTSA Docket 74-14, Notice 32.
- (22) Morris, A., Thomas, P., Taylor, M. A., Wallace, A. W., Mechanisms of Fractures in Ankle and Hind-Foot Injuries to Front Seat Car Occupants, SAE Paper 973328, (1997), Society of Automotive Engineers.