

# 模型による自動二輪車衝突時の 乗員下半身部拘束条件が乗員傷害値に及ぼす影響

指導 榎 徹雄 教授  
堀 英男 講師  
0781122 星野 翔

## A Study on the Influence of Rider's Injury Level under the Lower Body Constraint Conditions at the Motorcycle Collision using Scale Models

by  
Sho HOSHINO

### ABSTRACT

The injured persons due to the traffic accident are 944,071 people in 2008, death tolls are 5,155 people, and there is decreasing trend in recent years. However, 765,510 traffic accidents occur a year. The pertinent organizations are asked for the further improvement in the traffic safety measures. Currently, at the component rate of situation in a fatal accident, one per five persons passes away in the motorcycle collision. For this reason, it is thought that provision of a motorcycle collision is required. Motorcycle has various body shapes. The rider's behavior and injury level at the motorcycle collision is influenced motorcycle body shape, such as existence of a side cowl and sheet shape.

Our goal is to clarify influence of behavior and injury level by the constraint condition on rider's lower body at the side collision of the motorcycle with airbag. As a result, rider's 'behavior control' depends on motorcycle body shape. Rider's injury was changed depending on behavior control by constraining rider's lower body. And new occupant crash protection was proposed in consideration of the figure out injury mechanism.

**Key Words :** Frontal Collision, Motorcycle, Airbag, Behavior Control ,Scale Model

### 1. 緒言

近年、交通安全対策や自動車の安全装置等の研究が進み、自動車の安全性が高められてきている。平成 20 年の自動車事故において、事故件数は 76 万 5,510 件、負傷者数は 94 万 4,071 人、死者数は 5,155 人といずれも減少している。しかしながら、未だ交通事故の発生件数は 70 万件、負傷者数は 90 万人を超えるなど、依然として交通事故の現状は厳しいものがある。また、政府は今後 10 年間を目途に、更に交通事故死者数を、半減させる方針を示している。この様に、自動車の安全対策の更なる向上が関係機関に求められてきている。

その中で本研究では自動二輪車(以下二輪車)事故に着目した。平成 20 年中の交通事故の詳細な統計は未だ発表されていないため、平成 19 年の詳細な統計を参考にすると、二輪車乗車中の死亡者数は 559 人で、前年度より 5.9%の減少とほぼ横ばいとなっている。また、二輪車の致死率は自動車の約 2 倍高くなっており、さらに、死亡重傷率を比較すると二輪車は自動車の約 4 倍高くなっている。これらの事から二輪車での事故は自動車での

事故よりも重傷や死亡に繋がりやすく危険であり、交通事故での死者数を減少するためには、二輪車事故は重要な案件であると推察される。二輪車事故の交通事故形態では、前面衝突の割合が 68%と最も高く、さらに、死亡事故における傷害部位では、頭部損傷の割合が 49%と大きな割合を占めている。以上のことから、二輪車事故の死傷者を軽減させるためには、前面衝突時の頭部への対策が重要であり、頭部を保護するヘルメットやエアバッグなどの乗員保護装置の開発が重要となっている。

一方、二輪車には様々なタイプの車体形状が存在する。近年需要が多くなっているビッグスクータタイプの二輪車は、シートの前方に足を揃えて置けるスペースが設けられているが、大半の二輪車がシート前方に膝で挟む燃料タンクがあり、二輪車の前面衝突時に股間部と燃料タンクが容易に接触する構造となっている。また、エアバッグ搭載の二輪車の構造の特徴としては、車体前部を覆うカウルが乗員の膝の近傍に配置されており、二輪車の前面衝突時に膝とサイドカウルが容易に接触する構造となっている。それに対し、ネイキッドタイプなど大

半の二輪車がサイドカウルのない構造である。このように二輪車では衝突時に乗員接触条件が異なり、車体形状の違いが二輪車衝突時における乗員挙動や乗員傷害に影響すると考えられる。同様な二輪構造の自転車乗員の正面衝突の研究で、膝と自動車との接触が乗員の挙動に大きな影響を与えることも報告されている<sup>(1)</sup>。また乗員接触条件を考慮した場合、二輪車は燃料タンクの配置により大きく分けて2つのタイプに分類でき、このタイプ別に乗員挙動メカニズムを明確化することが、二輪車全般の乗員の安全保護装置の提案に繋がると考えられる。

そこで、本研究では二輪車を、上記に示した燃料タンクの配置の異なる2つのタイプに分類した。一般的な分類では、ツーリングタイプ、ネイキッドタイプ、スポーツタイプ、クルーザータイプに対して、もう一方はビッグスクータータイプである。本研究では、二輪車が乗用車側面に衝突した際の乗員下半身部の拘束状態が頭部傷害値に与える影響を明確化し、二輪車乗員の死者数低減に寄与することを目的としている。このため、乗員衝突挙動に影響がある以下の二点の乗員下半身部の拘束条件下で、頭部傷害値に及ぼす影響に着目した。

- ① 膝部拘束による下半身部の拘束
- ② シート形状による下半身部の拘束

なお、傷害値に関しては頭部傷害値の公表されたデータがなく、定量的な考察はできないため定性的な傾向を把握した。

## 2. 模型実験

模型実験は実際のもの(以下原型)と模型において起こる両者の物理的または力学的現象が、共通の方程式を満足するように模型の諸量に対する縮尺を適宜選定し、模型で起こった現象から原型の起こるべき現象を推論しようとするものである。本研究で用いる模型は、原型を支配する物理量に関して相似則が成り立っている必要がある。そこで、原型の衝突現象において大きな影響を及ぼしている物理量に着目して模型化を行った。まず模型実験を可能にするために、原型と模型の現象時間と平均密度は等しいと仮定した。

また模型縮尺比を、実験設備の都合により1/7と定め、相似則より現象に大きな影響を与えると考えられる各物理量の縮尺を求めた。例を挙げると次のようになる。

- ・速度比: 1/7
- ・加速度比: 1/7
- ・質量比: 1/7<sup>3</sup>
- ・慣性モーメント比: 1/7<sup>5</sup>

## 3. 模型製作

### 3.1 ダミー模型

本研究で参考とするダミー(図1)は二輪車衝突用ダミーMATD(Motorcyclist Anthropometric Test Device)<sup>(2)</sup>であるが、このダミーは前面衝突用ダミーHybrid IIIの頸部・腰部・手部を改良したものである。そのため各部の質量、寸法、重心位置、重心位置まわりの慣性モーメン

トについては、Hybrid IIIの特性を持たせ、頸部・腰部・手部についてはMATDのものを参考とした<sup>(2)</sup>。また頭部に関してはヘルメットと一体として模型化し、衝突特性については頭部インパクトにヘルメットを装着した状態の衝突特性を参考にした。

ダミー模型は、頭部、頸部、胸部、腕部、腰椎、腰部、脚部より構成し、衝突時の挙動に影響すると思われる頸部<sup>(2)</sup>及び腰部関節部トルク、頭部及び胸部などの特性を原型と同等になるように原型試験を簡略化し模型試験を行った。特性試験結果より、頭部特性は目標値に概ね一致し、腰椎および頸部のトルク特性は規定値内に収まっていることから、妥当であると判断した(図2)。

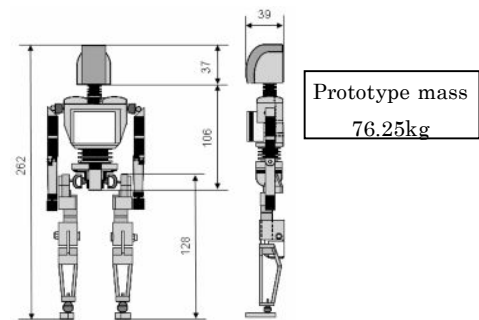
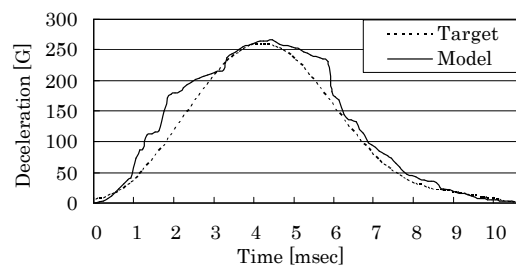
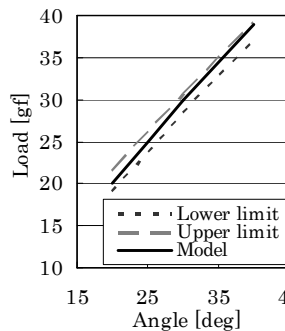


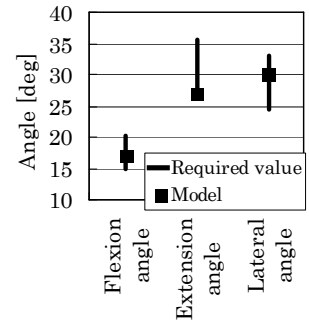
図1 ダミー模型



(a) Head



(b) Lumbar spine



(c) Neck

図2 ダミー模型特性試験結果

### 3.2 車体模型

本研究で使用する二輪車は、シート前端部に燃料タンクが設置されているツーリングタイプ(Touring Motorcycle Type)国産二輪車(1500cc)(以下TM)<sup>(3)</sup>と、シート前部に燃料タンクが設置されていないビッグスクータータイプ(Big Scooter Type)(400cc)(以下BS)<sup>(4)</sup>を基にした。

この原型を参考に、衝突現象に影響を及ぼす質量、全長、全幅、全高、ホイールベース、重心位置まわりの慣性モーメント等を算出し、各二輪車模型を製作した。また、数多くの実験を行うために衝突時に変形しない本体部分と、実際の衝突時の車体潰れ特性(車体特性)<sup>(3)(4)</sup>と相似的に同等な特性をもつ緩衝材部分に分けることとした(図3)。ただしBS車体模型は、詳細な車体減速度が報告されていないため、TM車体形状を変化させ、ビッグスクータ形状に対応させた。

また、乗員挙動、頭部傷害値に大きく影響があると考えられるエアバッグを、原型の特性と同等となるように製作した。最大内圧約20kPa(ゲージ圧)から乗員がエアバッグから受ける最大荷重を算出し、インパクト試験により発生する最大減速度を110(G)とした。

#### 4. 模型の妥当性確認実験

車体模型に原型と同等の車体特性を持たせるため、確認実験を行った。製作した模型(車体模型、ダミー模型)が原型実験と同様な現象が得られるかを確認するため、原型衝突実験データを基に模型衝突実験を行い、原型のデータ<sup>(3)(4)(5)</sup>と比較する。なお、TMおよびBSに対してそれぞれ以下3種類とし、衝突速度は50km/hとした。

##### 4.1 バリア衝突確認実験

バリア衝突確認実験は、模型が原型と同様の二輪車バリア衝突特性を示しているかを確認するために行った(図4)。それぞれの車体に対し、車体の重心位置に加速度ピックアップを取り付け、原型実験の結果<sup>(3)</sup>と比較を行い、以下の検定条件を設けた。

- ・ 波形の概形が一致する
- ・ 最大加速度Gとその発生時期が一致する
- ・ 現象時間が一致する

本研究では、車体緩衝材を車体エンジン部に設け、衝突時に、フロントフォークが上部を中心に回転し、車体緩衝材に衝突することで特性を再現した。実験結果より車体波形の概形、最大加速度とその発生時期、現象時間が概ね一致し、妥当であると判断した(図5a),(図6a)。

##### 4.2 被衝突車衝突確認実験

バリア衝突確認実験で決定した緩衝材を搭載したそれぞれの二輪車を使用し、被衝突車側面へ衝突させ、被衝突車側面の特性を決定した。実験条件と検定条件はバリア衝突確認実験と同様である。実験結果より車体波形の概形、最大加速度とその発生時期、現象時間が概ね一致し、妥当であると判断した<sup>(5)</sup>(図5b),(図6b)。

##### 4.3 挙動確認実験

これまで製作した模型を使用し、乗員の挙動を原型実験画像<sup>(4)(5)</sup>と比較し挙動の確認を行った。ただし、本研究では二輪車の乗用車側面衝突後からエアバッグによる乗員の衝突エネルギー吸収完了までを検定時間とした。実験結果より、乗員挙動が概ね一致し、製作した模型は妥当であると判断した(図7),(図8)。

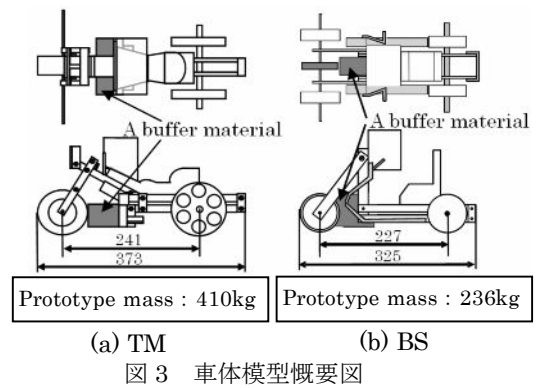


図3 車体模型概要図

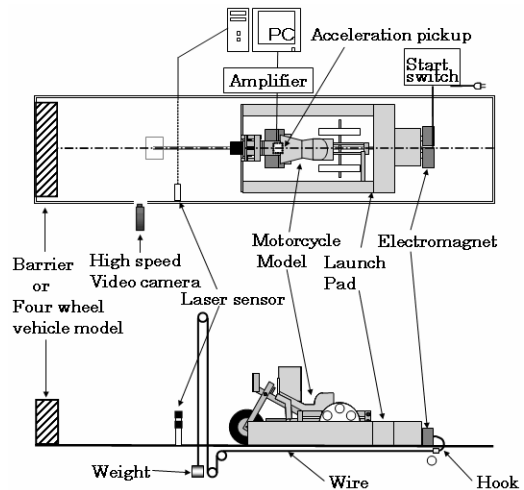


図4 実験装置

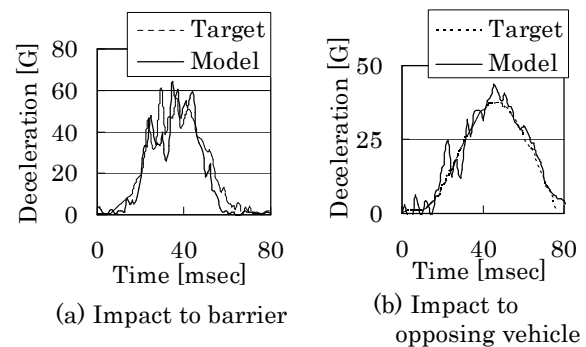


図5 確認実験結果 車体G-T特性(TM)

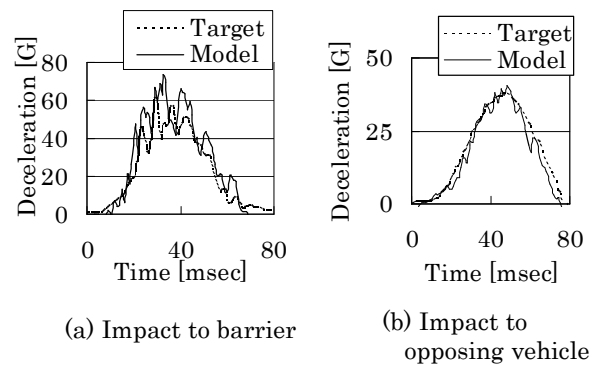


図6 確認実験結果 車体G-T特性(BS)

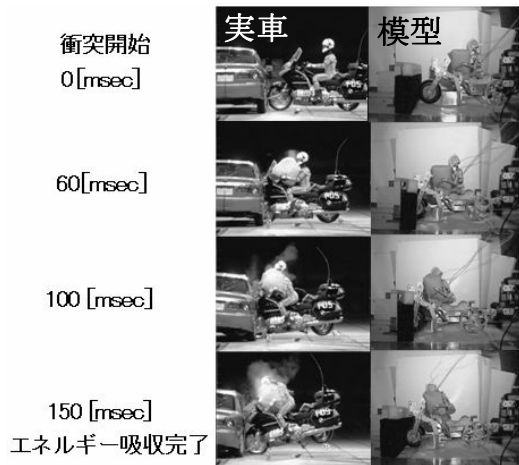


図7 挙動確認実験結果(TM)

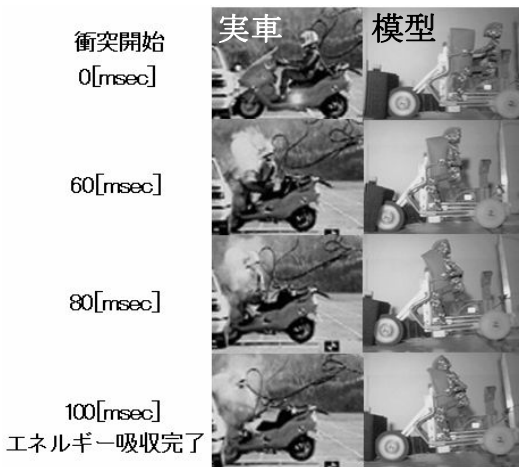


図8 挙動確認実験結果(BS)

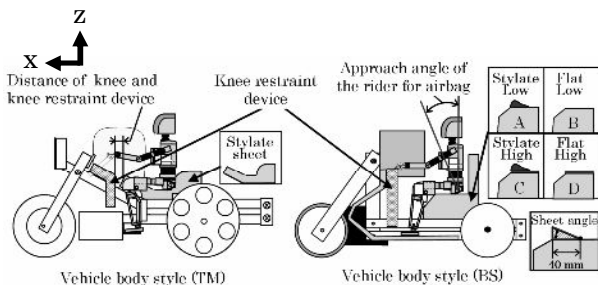


図9 乗員拘束条件

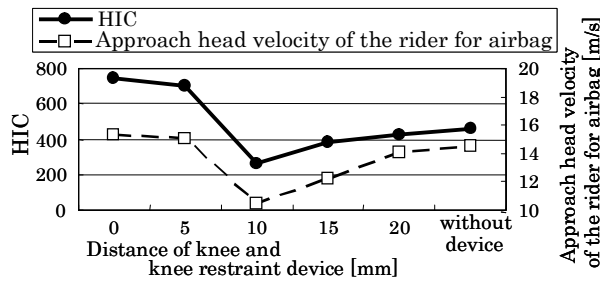


図10 膝部拘束距離の影響(TM)

表1 膝部拘束なしに対するHICの割合(TM)

Experimental Pattern	Distance of knee and knee restraint device [mm]					without device
	0	5	10	15	20	
HIC ratio for without device [%]	161	152	57	82	91	100

表2 乗員拘束条件(BS)

		Seat shape	
		Projection	Flat
Seat height	Low	A	B
	High	C	D

## 5. 本実験

### 5.1 TM についての実験

乗員下半身部の拘束条件として、サイドカウルを模擬した膝部拘束具と膝部との距離(以下膝拘束距離)を変化させた6通りの衝突実験を行った。なお、TMのシート形状は、シート前端部から燃料タンクにかけて盛り上がった状態である(図9)。

- 膝拘束距離-0, 5, 10, 15, 20 [mm], 膝部拘束なし

実験方法は、挙動確認実験と同様の方法(図4)で行い、頭部の傷害指標であるHIC(Head Injury Criterion)を用いた。

### 5.2 BS についての実験

実験条件は5.1節TMについての実験をBSに対応させて行ったが、さらにシート形状変化とシート高さ変化の実験を行った。なお、車体の違いによる下半身部の拘束条件の変更点を下記に示す(表2),(図9)。

- 膝拘束距離-0, 5, 10, 15, 20, 25, 40 [mm], 膝部拘束なし
- シート形状-シート前端部を10°盛り上げた状態, 平らな状態
- シート高さ-高い, 低い

## 6. 実験結果・考察

### 6.1 本実験 TM

各実験でのHICの結果を示す(表1),(図10)。膝部拘束なしのHICに比べ、膝拘束距離が近いほど最大で61%高くなり、遠くなるにつれ最大で43%減少するが、膝拘束距離10mmから再度増加傾向を示していた。これは膝部拘束具とシート形状の位置関係が影響していると推察できる。そこで、挙動より膝拘束距離を3パターンに分け考察を行う(図11)。

#### (1) 膝拘束距離 0, 5mm

膝拘束距離が近いので、衝突後初期に脚部が拘束される。このため、シート形状による乗員z軸方向(図9)の強制的な移動は無く、乗員の上方向への挙動が抑えられ、腰部中心で上半身が回転し上半身からエアバッグに当たる挙動となった。また、回転運動することによりエアバッグに頭部が当たる際の瞬間速度が高くなる。よって、エアバッグからの反力が大きくなり、HICが他の形態と比べて最大となったと考えられる(図10)。

#### (2) 膝拘束距離 10, 15, 20mm

衝突後、乗員が姿勢を変えずに前方へ移動し、40msecまでにシート形状により、乗員が上方向へ持ち上がる。

次に、膝部が拘束され、膝部を中心に上半身が回転運動を始める。この挙動により、(1)と比べ上半身の回転半径が長くなり、エアバッグに当たる際の衝突瞬間速度を遅くした(図 10)。よって、(1)に比べ HIC が低くなったと考えられる。

### (3) 膝部拘束なし

乗員はシート形状の影響で上方へ持ち上がるが、膝部拘束具がないため、膝部の衝突はない。そして乗員は燃料タンクに乗り上げて上方へ持ち上がるが、乗員が少量しか持ち上がらず、膝部拘束具による乗員挙動コントロールの作用が少ないため、(2)より HIC が高くなったと考えられる。

以上のことから、ツーリングタイプ等のシート前端部に燃料タンクを備える構造の二輪車においては、膝部拘束具を用いて乗員挙動コントロールすることにより、乗員傷害値低減を行うことができると確認できた。

## 6.2 本実験 BS

各実験での HIC、腰部 z 軸移動量、エアバッグに対する乗員の進入角の結果を示す(図 12)、表 3)。

膝部拘束による影響は、BS と TM では車体の形状が異なるため、HIC が最小となる膝拘束距離などは異なっていたが、BS においても TM と同様の傾向を示した(図 12)。そのため、BS の実験に関して、シート形状、シート高さに着目し考察を行った。そして、比較を行う際に BS のカウルが配置されている膝部拘束 40mm について考察を行った。

形態 A の HIC を基準として、形態 B、C、D の HIC を比較したところ、形態 B では 14%増加、形態 C では 64%減少、形態 D では 8%減少した(表 3)。

乗員のエアバッグに対する進入角(図 9)に着目すると、シート形状の違いにより、形態 A、B で 8°、形態 C、D で 10°の差が生じた。また、シート高さの違いにより、形態 A、C で 3°、形態 B、D で 1°の差が生じた(表 3)。そして、エアバッグに対する進入角が大きく、エアバッグに対する乗員の相対位置が高い場合、乗員の z 軸方向の分力が増加し、乗員の z 軸方向への動きが大きくなった(表 3)。その結果、エアバッグに対して頭部減速度の z 軸成分ベクトルが増加することで、エアバッグからの反力が減少し、HIC が減少したものと考えられる。

また、エアバッグに乗員が接触した時刻から、頭部が最大移動する時刻までの衝突時間に着目すると、形態 A、C では 74msec、82msec、形態 B、D では 42msec、48msec となった。これは上記の挙動により衝突時間が長くなり、乗員がエアバッグにソフトランディングすることによって、HIC が減少したものと考えられる。

以上のメカニズム分析結果より、エアバッグ衝突時における乗員の進入角、腰部 z 軸方向の移動量が、乗員傷害値に影響を与えると推察される。

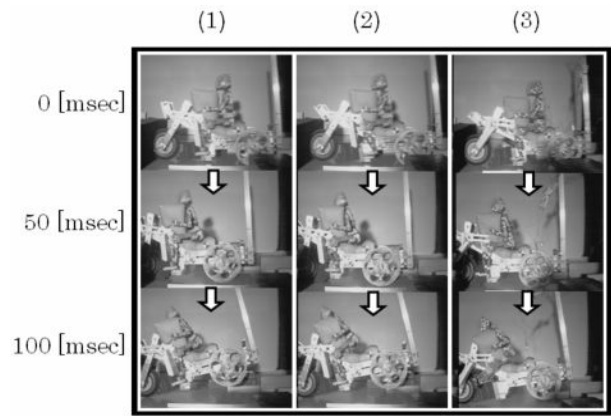


図 11 衝突挙動結果(TM)

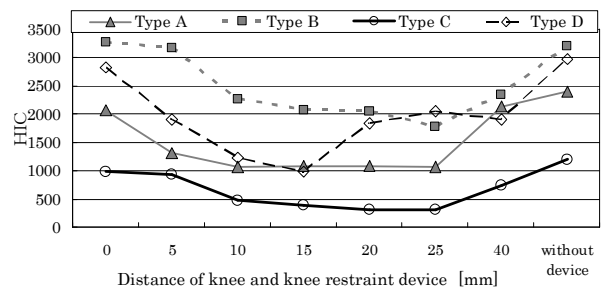


図 12 下半身部拘束条件の影響 (BS)

表 3 膝拘束距離 40mm における実験結果

Experimental pattern	A	B	C	D
HIC ratio for A [%]	100	114	36	92
Lumbar maximum displacement of z axis [mm]	20	3	24	5
Approach angle of the rider for air bag [°]	24	16	27	17

### 品質工学的手法を用いた考察

今回行った全実験に対して、挙動による考察を行った結果、HIC を低減させるには乗員を上方に持ち上げる挙動が良いと推察した。そのため乗員 z 軸移動量に着目し、HIC との関係について品質工学的手法を用いて考察した。

品質工学とは、直交表を用いることにより効率的に複数の因子の分析が可能な実験計画法に、ばらつきの概念を加え、さらに応用させた開発技法である。品質工学を用いることにより、ばらつきを減少し、開発費用・開発期間の削減を図ることができるだけでなく、どの因子の、どの水準が、どの程度機能に影響を与えているのかを把握することができる。そして効果を把握した水準を調整することで品質の向上が可能となる。

本研究では、品質工学の中で、機能の大きさを表す感度と、各因子の感度への影響を表す要因効果図を用いた。また、因子に膝拘束距離・シート形状・シート高さ、機能に HIC を割当てたものと、そして因子に画像解析により求めた腰部 z 方向移動量、機能に HIC を割当てたものを比較し考察に使用した。なお、L9 直交表に基づき、因

子を a, b, c, 水準を 1, 2, 3 と割当てた(表 4).

まず実験結果の信頼性・再現性を確認するため, 要因効果図より計算から推定できる結果と実験から得られる結果の比較を行う. 得られた感度の要因効果図より, 初期条件と最適条件を下記のように選定した. 初期条件においては, 一般的 BS において考えられる条件を選定し, 最適条件においては傷害値が一番低くなる条件になるように各因子の感度が一番低い水準を選定した.

・初期条件 : a3, b1, c1 ・最適条件 : a2, b1, c1

結果, 推定値に対して実験値がほぼ等しく, 実験結果に信頼性・再現性があると判断できた(表 5).

得られた感度の要因効果図の結果(図 13)より, 腰部移動量と HIC は相反する傾向を示しており, 腰部移動量が増加すると HIC が減少する結果となった. したがって, HIC に影響を及ぼす要因として, 腰部 z 軸移動量が存在することが確認できた.

表 4 実験条件と水準

Control factors	Level		
	1	2	3
a Distance of knee and knee restraint device [mm]	10	15	20
b Sheet height	High	Low	—
c Sheet shape	Projection	Flat	—

表 5 信頼性・再現性確認実験結果

	HIC		Lumbar maximum displacement of z axis	
	Estimated value [db]	Experiment value [db]	Estimated value [db]	Experiment value [db]
Optimum condition	51.5	53.6	31.4	35.6
Initial condition	57.1	59.3	25.1	25.1
Gain	5.6	5.7	-6.3	-10.5

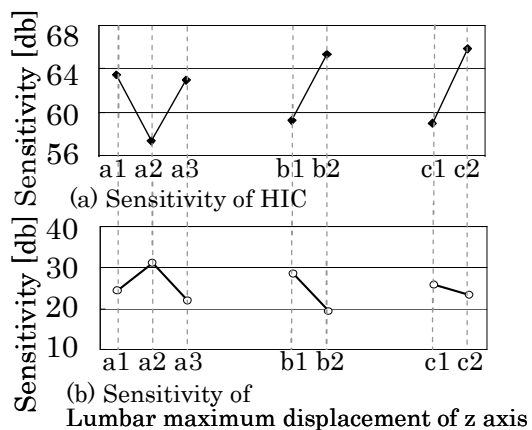


図 13 感度の要因効果図

## 7. 新たな乗員保護装置の提案

これまで確認された挙動メカニズムと HIC の関係より, 新たな乗員保護装置の提案を行った. 実験条件として, シート前端部角度を 0~40°変化させ実験を行った. なお, シート角 0°, シート角 10°に関しては前項での実

験結果を利用した. また, シート角は先端から 40mm を中心として計測した(図 9).

その結果, シート先端部角度を上げると HIC が減少した(図 14). また, HIC に対しての腰部移動量に着目すると, HIC とは逆の傾向を示しており, HIC に影響を及ぼす要因として腰部 z 軸移動量が存在することが再度確認できた(図 14). したがって, BS 形状においてエアバッグを配置させた場合, シートの角度を上げることが乗員傷害値を低減させる事に有効であるといえる.

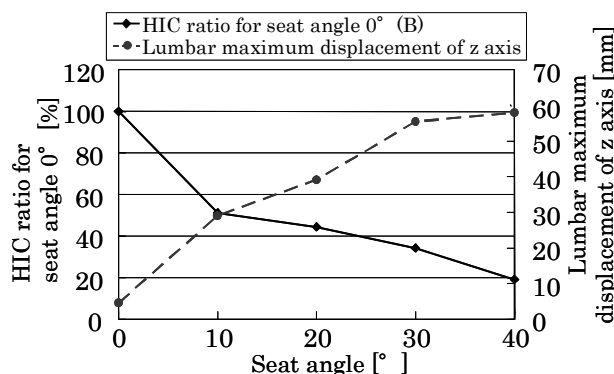


図 14 シート前端部角度の影響

## 8. 結言

ツーリングタイプなどのシート前方に燃料タンクを備える二輪車において, 膝部拘束具を用いて乗員挙動をコントロールすることにより, 乗員頭部傷害値を大幅に低減できる可能性を明確にした.

また, ビッグスクータタイプのシート前方に燃料タンクがない車体形状に対しても, シートを高くする, シート前端部角度を大きくすることによって乗員挙動がコントロールされ, 乗員頭部傷害値を大幅に低減できる可能性を明確にした.

さらに, 画像解析と品質工学を用いて評価した結果, エアバッグ衝突時の乗員のエアバッグへの進入角および, 腰部上下方向の移動量が乗員頭部傷害値の増減に極めて大きな影響を与えており, それらをコントロールすることにより乗員頭部傷害値を低減できることを把握した.

## 参考文献

- (1) Tetsuo Maki, Janusz Kajer, The behavior of bicyclists in accidents with cars, JSAE Review 22 P357-363, 2001
- (2) 中谷有, 二輪車衝突用ダミー (MATD dummy) の紹介, JARI Research Journal Vol.27 No.11, 2005
- (3) 並木秀夫, 中村豊一, 飯島聡, 二輪車衝突時の乗員挙動シミュレーション Honda R&D Technical Review, Vol.15 No.1, 2003
- (4) 出口基明, 神戸庄二, 二輪車の衝突解析, YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, 2002
- (5) 黒江毅, 並木秀夫, 飯島聡, 大型二輪車用エアバッグの基礎研究: 実現可能性の検証, Honda R&D Technical Review, Vol.17 No.2, 2005