

大型二輪車用エアバッグの基礎研究

Exploratory Study of an Airbag System for Large Touring Motorcycle

飯 島 聡*

Satoshi IJIMA

山 本 武 典*

Takenori YAMAMOTO

細 野 総一郎*

Soichiro HOSONO

大 田 淳 朗*

Atsuo OTA

要 旨

ホンダの二輪車用エアバッグのねらいは、二輪車の前面衝突時に、二輪車乗員の飛び出しエネルギーをエアバッグで吸収し、乗員が相手車両等との打撃によって被る負傷を低減させることにある。本研究はその可能性の把握に向けた基礎的な位置付けであり、ISO13232(研究用二輪車衝突試験手法)に準拠して実車衝突試験およびコンピュータシミュレーションにより評価を行った。

エアバッグシステムはインフレーター、エアバッグ、加速度センサ、ECU等から構成され、このシステムを搭載する試験二輪車にはGL1500を用いた。

評価の結果、エアバッグシステムは、乗員保護装置として有効な手段のひとつであることがわかった。エアバッグのベネフィットに対するリスクの比率は四輪車と比較して大きく、9形態の実車衝突試験では25%、200形態のコンピュータシミュレーションでは16%であり、リスクを低減するために更なる研究の必要性があることが判明した。

ABSTRACT

Honda considers that a positive aspect of airbags for motorcycles would be to reduce rider ejection speeds through airbag installation and to minimize injury of riders caused by hitting other vehicles in traffic accidents. This study covers the exploratory stage for airbag research, and the airbag system was evaluated by full scale impact tests and computer simulation according to ISO13232.

The airbag system is made up of a inflator, an airbag, acceleration sensors and ECU, and was installed on a GL1500 motorcycle as test.

The evaluation results indicated the prototype airbag had both some potential benefits and adverse effects in certain impact tests. The risks when measured against the benefits of prototype airbag were larger than for cars. Full scale impact tests of 9 collision configurations and computer simulation of 200 collision configurations indicated 25 % and 16 % of risk, respectively. Further research is necessary to reduce the risks.

1. まえがき

ホンダは、1960年代から二輪車の衝突試験を実施し¹⁾、近年は、前面衝突時の乗員保護装置のひとつとしてのエアバッグの可能性研究を実施している。初期に行った基礎的な研究において、小型・軽量の二輪車では、エアバッグの搭載が困難で効果を得ることも難しいことが判明している。そのため、本研究では大型二輪車GL1500をエアバッグ評価の対象車両とした。GL1500用に設計されたエアバッグシステムは、静的展開テスト、スレッドテスト及び実車衝突テストに供され、エアバッグやインフレータの細部仕様が決められた。またセンサシステムは、各種路面における走行テストと数形態の衝突テストの結果を踏まえて仕様が決められた。

また、エアバッグシステムを搭載した試作車を用いて、ISO13232²⁾に規定された評価法に準じた実車衝突テスト及びコンピュータシミュレーションを行った。

本稿では、試作エアバッグシステムの概要とこれらの初期的な評価結果を紹介する。

2. 二輪車用エアバッグのコンセプト

Fig.1に日本の二輪車死亡事故データ³⁾の概要を示す。二輪車乗員の死亡事故における典型的な衝突形態は前面衝突であり、乗員は二輪車から飛び出して相手車や路面に打撃することにより、上半身に致命傷を負っていることが多い。このことから、エアバッグのコンセプトは、「車体に装備するエアバッグによって二輪車からの乗員の飛び出しエネルギーを吸収し低減する」とこととした。

このエアバッグの具体化においては、次のことを考慮した。

*朝霞研究所

- (1) ボンネットタイプ四輪車との前面衝突でも効果を発揮するように、展開時のエアバッグを相手車による支えなしに二輪車の車体のみで支持させる。
- (2) 衝突時の二輪車や乗員の挙動変化による効果低減を最小限に抑える。
- (3) 高速衝突時でも、エアバッグなしの二輪車に対して乗員の重大負傷の危険性が高くないようにする。

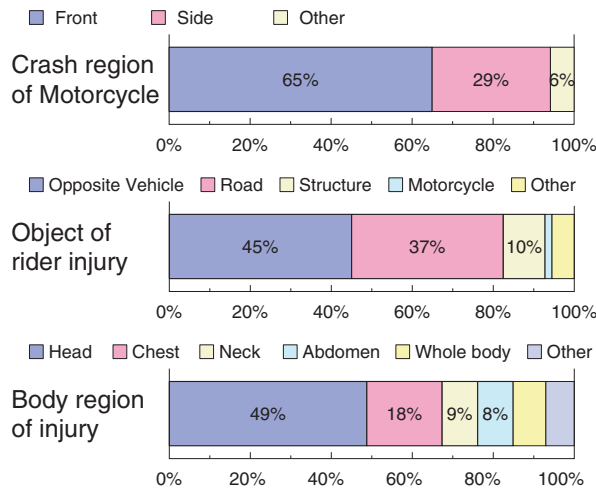


Fig.1 Fatalities of motorcycle accidents in Japan

3. エアバッグシステム搭載のテスト車両の概要

Fig.2にエアバッグを搭載したテスト車両GL1500の外観を、Table 1にその主要諸元を示す。

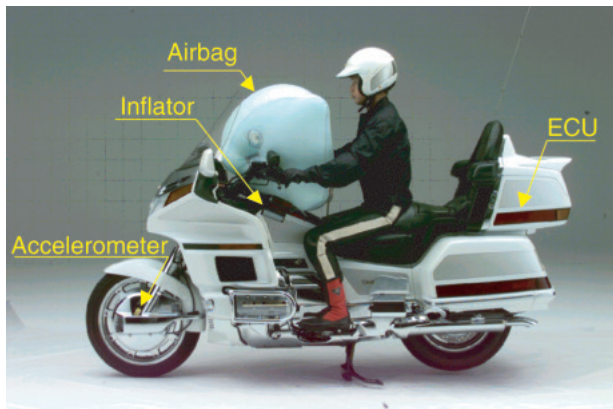


Fig.2 GL1500 with prototype airbag system

Table 1 Specifications of test motorcycles

Model	Honda GL1500 Interstate
Engine displacement (cm ³)	1,520
Curb weight (kg)	376
Overall length (mm)	2,615
Overall width (mm)	955
Overall height (mm)	1,495
Wheel base (mm)	1,690

このテスト車両は車両質量が376kgと重く低重心、燃料タンクが車体内蔵方式、大型フェアリングが装備され、かつ直立乗車姿勢が確保できるなどの特徴を有し、エアバッグの装着及びその効果確保に有利である。

4. エアバッグシステムの概要

4. 1. エアバッグ

Fig.3にエアバッグ展開時の外観を、Table 2にエアバッグの仕様を示す。エアバッグの特徴と取り付け方法は、次に示すとおりである。

- (1) ベントホールが無かったり小さいと、後方跳ね返りや大きな上方運動などの好ましくない乗員挙動を発生させる。大き過ぎると、乗員が飛び出し易く、エアバッグは効果を発揮できない。このため、直径50mmのベントホールを2つ設定した。
- (2) エアバッグ後面をV形状とし、乗員の多少の左右オフセット乗車や車体の挙動変化に対しても、エアバッグの効果を安定させた。
- (3) 衝突時のエアバッグには、乗員の衝突によりせん断的、前倒的な大きな荷重が作用する。この荷重に対抗するために、エアバッグとシート下フレームをベルトで連結した。



Fig.3 Shape of prototype airbag

Table 2 Specifications of prototype airbag

Volume (liter)	120
Height × width × length (mm)	630 × 500 × 615
Vent holes (mm)	Ø50 × 2 holes
Tethers:	
- Connecting rear and bottom sides	3
- Connecting right and left sides	1
Bag mounting point	1) module box 2) motorcycle frame beneath the seat, via 2 connecting belts

4. 2. モジュールアセンブリ

4. 2. 1. インフレーター

Fig.4にインフレータの外観を、Fig.5にエアバッグ静的展開テストの結果を示す。Fig.5の縦軸は、エアバッグを側面から見たときの面積比で展開率を示している。インフレーターが発生するガス圧が300kPaの仕様では十分に展開せず、350kPaの仕様では展開が完了するまでに時間がかかり過ぎた。450kPaの仕様では40msecでエアバッグの展開が完了し、この結果からインフレーターが発生するガス圧は450kPaが適切と判断した。



Fig.4 Inflator unit

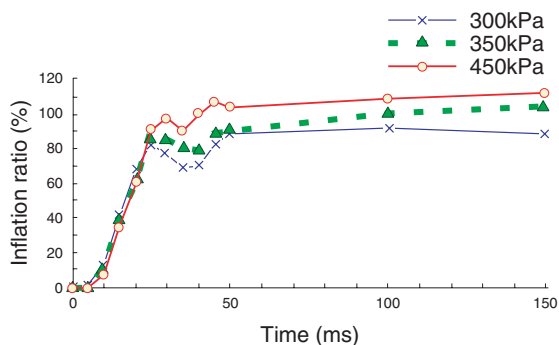


Fig.5 Inflation ratio by static inflating test (side view)

4. 2. 2. モジュールボックス

モジュールボックスは、効率的な展開を考慮してたたまれたエアバッグの収納用として、Fig.6に示すように二輪車のハンドルバーと乗員の間に取り付けた。またモジュールボックスのカバーには、エアバッグを展開し易くするために、Fig.7に示すようなアルミニウム製プレートのヒンジを設け、カバーを完全に開放できるようにした。



Fig.6 Airbag mounting

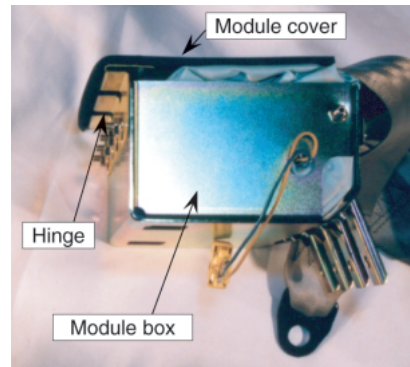


Fig.7 Airbag module assembly

4. 3. 衝突センサシステム

衝突センサシステムには、衝突時と通常走行時の識別が即時に判断できることが求められる。衝突センシング手法には、衝撃加速度、フロントフォークの曲がり、フェアリング等の前部部材の変形などが考えられる。これらの中から、幅広い衝突形態に対応し高い信頼性が期待できるフロントアクスル部の衝撃加速度によるセンシング手法を採用した。衝突センサシステムは、加速度センサとECUから構成される。

Fig.8に示すように加速度センサをフロントフォークの車軸近傍の左右に取り付け、センシング方向は、通常走行時に発生する加速度の影響を少なくするため、フロントフォーク軸に直角方向とした。

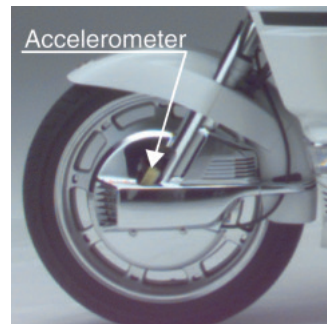


Fig.8 Accelerometer location

ECUは左右2ヶ所の衝撃加速度を並列に演算し、早い方の判断で点火信号を出す仕様とした。またテスト結果の解析のために、加速度の値、信号発生時間等をメモリに記憶する機能を付加した。

二輪車は、通常走行の中でラフロード走行、段差乗り越えなどの状況のもとで、フロントフォークに大きな衝撃加速度を発生させることがある。このようなときにエアバッグが誤って展開することのない制御手法の構築が必要である。そのため、各種路面における走行テストからフロントフォークに発生する衝撃加速度を計測した。またエアバッグの展開が必要な条件を明確にするために、いくつかの衝突テストを実施して衝撃加速度を計測した。

今回採用した制御手法では加速度センサが検知した加速度の大きさと積分による速度変化量の双方によって、

ECUがエアバッグの展開要否を判断する。Fig.9及びFig.10に衝突時と一般走行時の加速度と速度変化量の例を示す。センシング加速度が9G(G:重力加速度)を超えたら、ECUは積分を開始して速度変化量を計算し、その値が2.4m/sを超えるとインフレーター点火信号を出す。上記速度変化量を超えずに、9Gより低下したら積分計算を停止し、それまでの値をリセットする。

この演算法及び設定値を用いた各種走行テストと衝突の予備テストでは、走行状態と衝突時とが明確に識別できたが、センサシステムの仕様決定には、さらにさまざまな走行及び衝突条件下での検討が必要である。

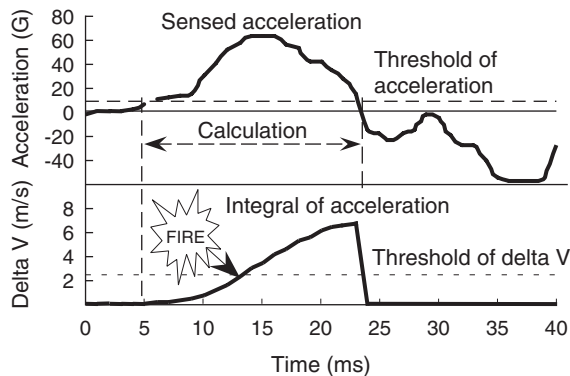


Fig.9 Time history of acceleration and velocity in full scale test (example)

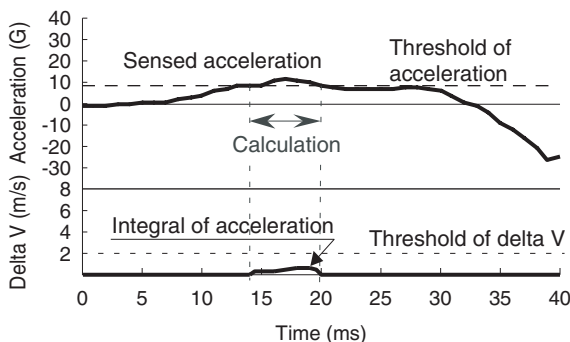


Fig.10 Time history of acceleration and velocity during running (example)

5. 実車衝突テスト

5. 1. テスト方法

実車衝突テストの主なねらいは、さまざまな衝突形態の下でエアバッグが正しく展開するのか、エアバッグが乗員の負傷低減に効果があるのかについて見極めることにある。実車衝突テストはISO13232に準じて実施した。ISOに規定されている実車衝突テストから、本エアバッグに関係のない1形態を除いた6形態12ケースと、45mph衝突、二人乗車時の衝突、前傾乗車姿勢時の衝突などの追加5形態、8ケースで実施した。それぞれのテストは、エアバッグなしのテスト車(以下ベース車)とエアバッグ付きのテスト車(以下エアバッグ車)の双方で実施したが、二人乗車時と前傾乗車姿勢時の追加2形態では、エアバッグ車のみとした。Fig.11は、テストを実施した11の衝突形態を示す。

また、ダミーはISO13232-MATD (Motorcyclist Anthropometric Test Device)を使用し、頭部、頸部、胸部、腹部、脚部の負傷評価に関する計測等を行った。衝突相手車は、ISO13232に基づきトヨタカローラを使用した。

5. 2. エアバッグシステムの作動結果

実車衝突テストにおけるエアバッグシステムの作動時間をFig.12に示す。センサ作動時間は衝突開始からECUが点火信号を出すまでの時間、展開時間は点火信号が出てからエアバッグが展開完了するまでの時間で、乗員接触時間はエアバッグが展開完了してから乗員がエアバッグに到達するまでの時間である。ただし225-0/30のケースは、エアバッグシステムに電磁波ノイズ遮断対策を適用していなかったために誤作動で展開したものである。

225-0/30と前傾乗車姿勢時(115-0/30)のケースを除いて、乗員接触時間は2~46msecでエアバッグの展開完了後に乗員が到達しており、今回の衝突テストの条件内でエアバッグシステムの作動は、時間的に成立している。

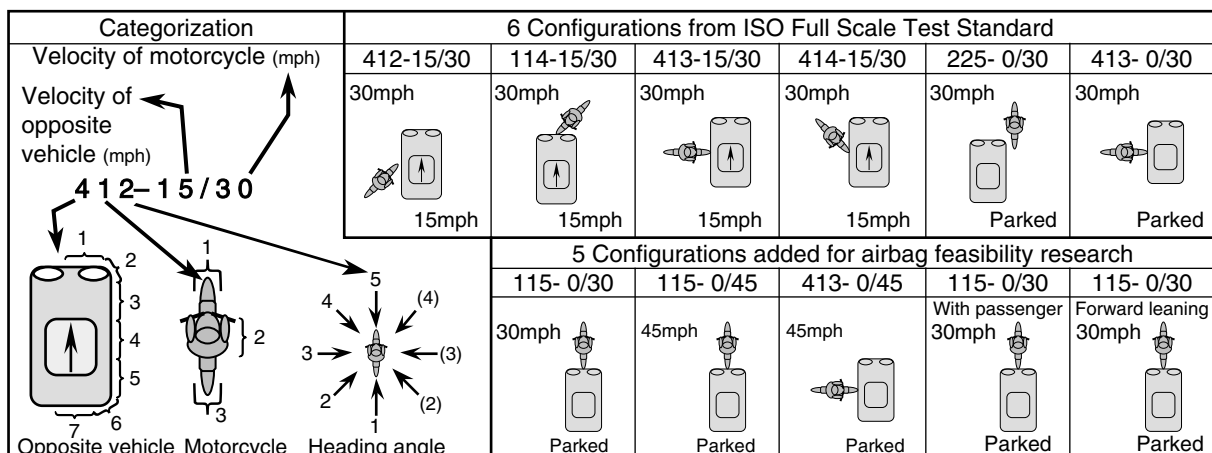


Fig.11 Configurations of full scale impact tests

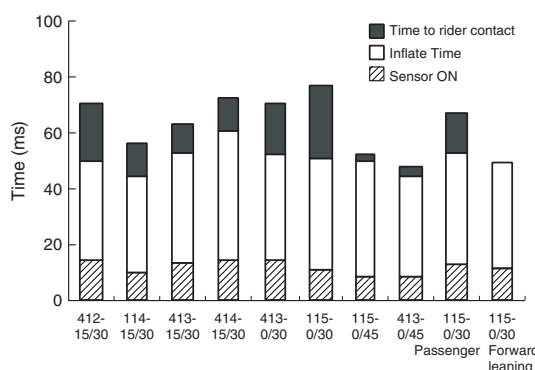


Fig.12 Airbag timing data from full scale tests

しかし、さらに衝突速度の低い領域、軽量・低剛性の衝突相手車との衝突テスト等が必要である。また、乗員がエアバッグ位置に到達した後にエアバッグが展開する事象の有無、そのような事象が発生した場合の加害性有無の明確化、さらには加害性除去の研究なども必要である。

5.3. 負傷低減に関する評価

5.3.1. 各衝突形態の評価

ISO13232の負傷評価手法に基づき、実車衝突テストにおけるダミーの計測結果から、エアバッグによる負傷増減への影響を確認した。

各部位別の負傷評価値は、AIS(Abbreviated Injury Scale)で示す。AIS=1が軽傷、AIS=6が死亡である。ただし、首については、ISO13232にAISの規定がないため、頸椎損壊と解釈できる首の負傷評価指標であるNII(Neck injury index)が1以上をAIS=6とし、NIIが1以下の場合AISの想定ができずAIS=0とした。また腹部については、ベース車、エアバッグ車ともに負傷なしの計測結果であった。なお、これら各部位を総合した全身の負傷評価値はNIC(Normalized Injury Cost)で示す。NIC=0の場合が負傷なし、NIC=1の場合が死亡に相当する。

Fig.13は、225-0/30を除く比較テスト8形態についてベース車とエアバッグ車による負傷評価値の差を各部位と全身について示している。ベース車に対してエアバッグ車の負傷評価値が小さい場合をベネフィットとし「正」で示し、逆をリスクとし「負」で示す。二輪車と四輪車の衝突では、二輪車の乗員が四輪車に衝突したときの一次衝撃は500msec以内に完了し、乗員が路面に落下したときなどの二次衝撃は500msec以降に発生する。網掛けのグラフは、主に乗員が相手車から打撃を受ける500msecまでの間に最大負傷値に差が発生した場合で、白抜きのグラフは500msec以降も含む範囲で最大負傷値に差が生じた場合である。エアバッグ装着の影響が現れたのは、30mph衝突における二次衝突時の頭部と頸部、及び45mph衝突における一次衝突時の頸部であった。また、全身の負傷評価値NICでは、エアバッグによるベネフィットが4ケース、リスクが2ケース、差異なしが2ケースであった。

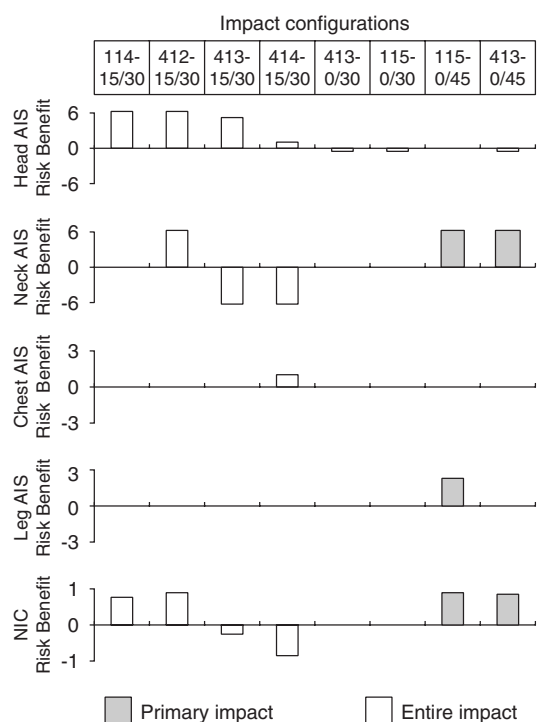


Fig.13 Airbag injury risks and benefits by impact configuration and body region

Fig.14にエアバッグの効果が確認された413-0/45形態の例を示す。ベース車では、ヘルメットが相手車のルーフエッジに打撃し、死亡レベルの頸部負傷と計測された。エアバッグ車では、乗員のエネルギーがエアバッグにより吸収され、相手車ルーフへの打撃は発生せず、路面に落下したときに頭部に軽傷相当のAIS=1が計測されただけであった。



a) Baseline motorcycle



b) Airbag motorcycle

Fig.14 Airbag beneficial case (413-0/45)

Fig.15は、エアバッグが逆効果であった414-15/30形態の例である。ベース車では乗員が二輪車から飛び出したために一次衝撃は小さく、前方へ一回転し下肢部より路面へ落下した。そして頭部および胸部に軽傷相当のAIS=1が計測された。エアバッグ車では、乗員のエネルギーがエアバッグにより吸収されたが、路面に頭部より落下し、頸部に死亡相当のAIS=6が計測された。



a) Baseline motorcycle



b) Airbag motorcycle

Fig.15 Airbag risk case (414-15/30)

Fig. 16は、高速衝突である115-0/45形態のエアバッグ車の例である。二輪車はピッチオーバーし、乗員はエアバッグ上部をスライドして二輪車から飛び出した。乗員のエアバッグとの打撃による負傷は計測されなかった。

Fig.17は、二人乗車における115-0/30形態のエアバッグ車の例である。前部乗員(運転者)がエアバッグと後部乗員の間に挟まれる状況を呈した。しかし、胸部を含む各部位ともにAISで表される負傷計測値の発生はなかった。

Fig.18は、背骨の角度で45度の前傾乗車姿勢と直立乗車姿勢における115-0/30形態のエアバッグ車の比較テスト例である。前傾乗車姿勢では、乗員の首が後方に曲げられた状況を呈したが計測されたNII値は、0.66で死亡相当の負傷計測値には至らなかった。その他の部位には、AISで表される負傷計測値の発生はなかった。



Fig.16 45mph impact test to stationary car (115-0/45)

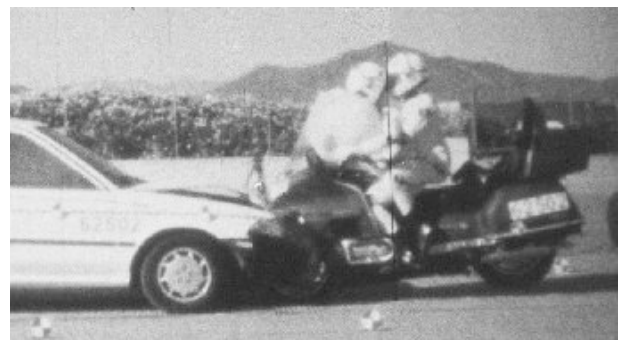


Fig.17 Impact test with rider and passenger (115-0/30)



a) Forward leaning dummy



b) Normal position dummy

Fig.18 Impact test forward leaning dummy (115-0/30)

5.3.2. 総合評価

Fig.19は、ISO13232に示されている各衝突形態別の事故発生数を考慮して、全形態の負傷評価値NICの平均を求めた結果で、次式により算出した。なお、ここでは二人乗車と前傾乗車姿勢の衝突2形態は含んでいない。

$$NIC_{AVE} = \{\Sigma (NIC_i \times Ni)\} / N$$

NIC_{AVE} : NICの平均

NIC_i : 各形態のNIC

Ni : 各衝突形態ごとの事故件数

N : 全事故件数

本テスト結果から得られた NIC_{AVE} では、ベネフィットが0.53、リスクが0.13で、エアバッグシステムには効果が認められた。しかし、ベネフィットに対するリスクの比率(以下R/B値)は25%であり、Table 3に示す四輪車用エアバッグのパセンジャのR/B値12%と比べると大きくなっている⁴⁾。この面からも、本二輪車用エアバッグに対するリスクの低減が不可欠である。

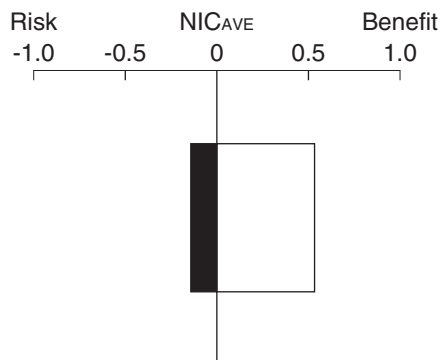


Fig.19 Total average benefits and risks for all tests

Table 3 Benefits and risks by USA car's airbag

Occupant Category	Lives		R/B (%)
	Saved (Benefit)	Lost (Risk)	
All	2,920	94	3
Drivers	2,536	36	1
Adult passengers	384	4	1
Passengers	384	45	12

6. コンピュータシミュレーション

実車衝突テストの結果をもとに、ISO13232に基づきコンピュータシミュレーションを実施した。

6.1. コンピュータシミュレーション手法

コンピュータシミュレーションでは、LS-DYNA3D有限要素シミュレーションと、Articulated Total Body multi body simulationを連結したソフトウェアを使用した。各モデルの作成と較正は、ISO13232に基づいた。各部の要素数をTable 4に記す。

Table 4 Number of segments

	Number	Calculation model
GL1500	7	Solid model
Airbag	614	Finite element model
Dummy	30	Solid model
US Corolla	7	Solid model

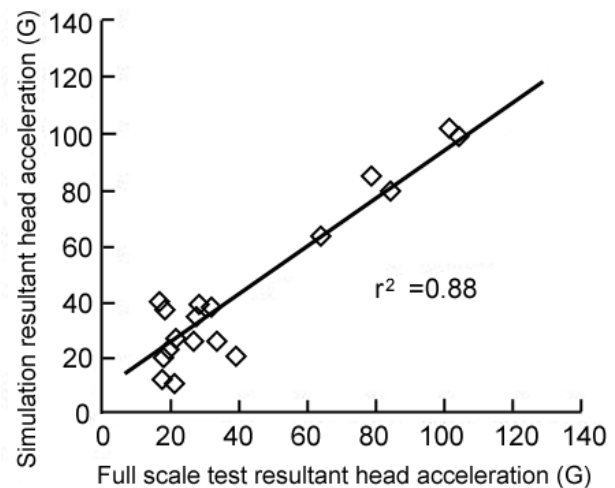


Fig.20 Correlation of head maximum resultant linear acceleration

Fig.20は、ISO13232に基づく9形態18ケースの実車衝突テストとシミュレーション結果の頭部最大加速度の相関を示す。実車衝突テストとシミュレーション結果の相関係数は0.88と高い。なお、シミュレーションは500msecまでの一次衝撃を対象としており乗員の路面への落下までは含んでいない。

6.2. コンピュータシミュレーション結果

Fig.21に200形態のシミュレーションによる負傷評価結果を示す。AIS値は実車衝突テストの場合と同様に、各形態ごとのベース車とエアバッグ車によるAIS値の差を、事故発生頻度を考慮して各部位別に平均した値である。エアバッグの効果は頸部に大きく出ており、頭部、脚部にも有効で

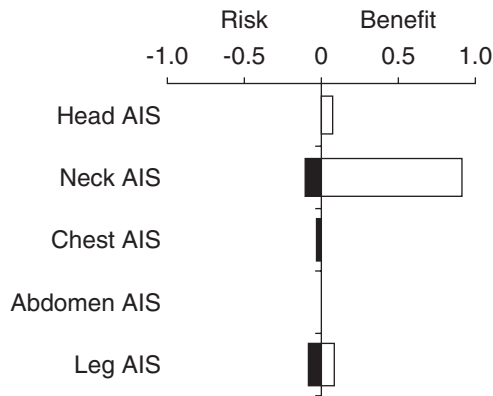


Fig.21 Average benefits and risks changes in AIS due to airbags by body region

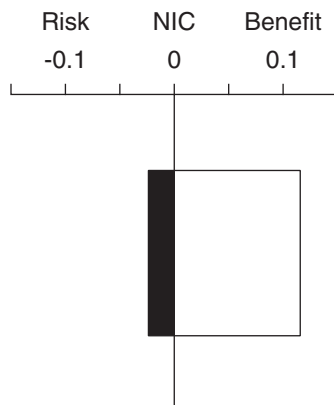


Fig.22 Average benefits and risks changes in NIC due to airbags by 200 impacts

ある傾向が見られた。しかし、頸部、脚部にはエアバッグによる負傷増加の場合もあった。

Fig.22は、Fig.21の全身各部位別の評価値を総合し、実車衝突テスト同様にNICの平均を求めた結果である。R/B値は16%で、実車衝突テスト結果における25%と差異があった。この差異は、シミュレーションの評価形態数が多いことに加え、シミュレーションではエアバッグの影響が大きい地面落下時の評価を含んでいないことによると考えられる。今後、地面落下まで評価できるコンピュータシミュレーション技術の開発が必要である。

7. まとめ

- (1) エアバッグシステムは、225-0/30を除く10ケースの実車衝突テストにおいて良好なタイミングで作動展開した。
- (2) ベース車とエアバッグ車の比較で実施された9形態の衝突テストにおいて、4形態では負傷計測値の低減があり、2形態では増加、2形態ではほとんど変化がなかった。
- (3) エアバッグによる負傷計測値の変化は、主に乗員の路面落下時に発生した。

- (4) 前傾乗車姿勢によるテスト結果も含め、エアバッグによる首負傷の可能性が計測されているが、現在の負傷評価法では判断できない。
- (5) 2形態の45 mph衝突及び二人乗り時において、AISでカウントされる負傷計測値の増加はなかった。
- (6) エアバッグのベネフィットに対するリスクの比率は四輪車と比較し大きく、9形態の実車衝突テストでは25%、200形態のコンピュータシミュレーションでは16%であった。
- (7) 首負傷の評価の明確化、乗員の路面落下までを含むコンピュータシミュレーション技術の開発、エアバッグ車のR/B値の低減に向けたさらなる研究、異なったサイズや形態の二輪車に対するエアバッグの可能性の研究など、将来に対する課題が多々存在する。

参考文献

- 1) T.Inoue, K, Miura et al: Honda R&D Co., Ltd.Experimental Collision Test on Motorcycles with Passenger Cars, JSAE, October 1969
- 2) International Standard ISO 13232:1996(E), Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles, Parts 1 to 8, International Standards Organization, Geneva, December 1996
- 3) 1996年交通事故データ, 財団法人交通事故総合分析センター, 1998
- 4) Special Crash Investigation Report on Airbags, National Center for Statistics and Analysis, National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, Washington, DC, March 1998

■ 著 者 ■



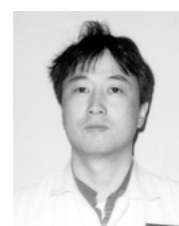
飯島 聡



細谷 総一郎



山本 武典



大田 淳朗