

論文・解説

28

乗員体格検知システム評価シミュレーション技術の開発 Development of Simulation Technology for Occupant Classification Sensor

伊与田 輝*¹ 石川 敏 弘*² 世 戸 孝 幸*³

Teru Iyota

Toshihiro Ishikawa

Takayuki Seto

高 橋 恭 宣*⁴

Kiyonobu Takahashi

要 約

近年、各国の安全法規制の強化やエアバッグ、ABSに代表される衝突安全技術、予防安全技術の拡充により自動車の安全性能は向上し、自動車事故による乗員の死傷者数は減少してきている。そして、更なる安全性能の向上のためエアバッグ展開時に乗員がエアバッグにより被害を受ける展開傷害が着目されている。米国においてはエアバッグ展開による受傷危険性の低減を狙いとして乗員衝突保護に関する法規FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) No.208が改訂され、特に先進的エアバッグ技術を含めた方法により、小柄な女性や幼児がエアバッグ展開に起因する重傷を負う危険性を低減することが求められている⁽¹⁾。

これに伴いマツダでは、エアバッグが乗員に危害を加えると考えられる状況をセンサを用いて自動検出し、エアバッグ展開の自動制御を行うシステムを開発したが、センサ開発においては様々な姿勢や走行条件での評価が必要となっている。本報告では、センサ開発において短期間で効率的な開発、検証を行うことが可能なシミュレーション技術について述べる。

Summary

In recent years, the safety performance of the vehicle has been improved, and the fatalities of occupants due to traffic accidents are on the decrease because of established stringent safety regulations in each country and enhanced passive safety technologies and active safety technologies, as represented by airbag and Anti-lock Braking System. In addition, attention has been focused on occupant injury caused by airbag deployment for higher safety performance. In U.S., FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) No.208, which is specified about occupant protection, has been revised toward the reduction in the risk of the occupant injury caused by the airbag deployment. Especially, it is required that small women or young children who could get seriously injured by the airbag deployment should be protected from the risk by taking proper measures including the advanced airbag technology.

Therefore, Mazda has developed the system which enables a sensor to detect the presence of possible occupant's injury risk due to airbag deployment and to automatically suppress the airbag deployment. Development of the sensor, however, requires evaluations in various sitting positions and driving conditions. This report describes one of simulation technologies that enables efficient development and verification of the sensor in a short time.

*1, 2 技術研究所
Technical Research Center

*3, 4 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

1. はじめに

近年、各国の安全法規制の強化やエアバッグ、ABSに代表される衝突安全技術、予防安全技術の拡充により自動車の安全性能は向上し、自動車事故による乗員の死傷者数は減少してきている。そして、更なる安全性の向上のためエアバッグ展開時に乗員がエアバッグにより被害を受ける展開傷害が着目されている。

米国においてはエアバッグ展開による受傷危険性の低減を狙いとして衝突時の乗員保護に関する法規FMVSS No.208が改訂され、特に先進的エアバッグ技術を含めた方法により、幼児や小柄な女性がエアバッグ展開に起因する重傷を負う危険性を低減することが求められている⁽¹⁾。その法規の中で、助手席においてはTable 1に示すように幼児を代表する12ヶ月、3歳児、6歳児および小柄な女性である5%タイル女性のダミーモデルを使用したテストにおいて、エアバッグの自動的な作動停止あるいはローリスク展開を選択することが求められている。マツダでは6歳児ダミーモデル相当より小さな子供が、それらを保護するために用いられるチャイルドシートも含めて助手席に着座している場合はエアバッグを自動的に作動停止させることを選択した。

これに対応するため、幼児と小柄な女性以上とを検知分類できる乗員体格検知システムを新たに開発し車両に組み込んだ。しかし、この乗員体格検知システムの開発においては前述の法規で定められた評価に加え、実際の市場での安全性を広く考慮した各種評価が必要となり開発工数が増大する。そのため、開発の効率化が必要となってきた。

本報告では、乗員検知システム開発における各種評価をシミュレーションに置き換えることにより開発効率化を図る技術について述べる。

2. 開発のねらい

2.1 乗員体格検知システムと開発上の問題点

マツダの開発した乗員体格検知システムはシートフレームの構造体に歪ゲージを組み込んでいる。歪ゲージはFig.1に示すように助手席シートフレーム構造体の前後左右の計4ヶ所に配置しており、各点に作用する荷重を歪ゲージに生じる歪量より算出している。そして、算出された荷重を基に乗員の体格を幼児あるいは小柄な女性以上かを検知分類し、エアバッグの展開又は自動停止を決定している。

助手席乗員体格の検知において、幼児についてはそれらを保護するために用いられるチャイルドシートの重量も考慮しなければならない。しかし、それらの重量はすべてシート上面に加わるため、4ヶ所に設置した歪ゲージで計測した荷重の総和で一義的に決定できる。一方、小柄な女性又はそれ以上の体格の乗員がシートに着座した場合は乗員足部と車両床面が接触する。そのため体重は A) シートに加わる荷重、B) 足部から床面に加わる荷重に分離される (Fig.2)。しかし、計測される荷重はA)のみであり、またこのA)、B)の比率は乗員の着座姿勢や坂道、旋回およびブレーキなどの走行状況、更には車種によっても変化する。従って、B)の荷重が大きくなるような状況においては小柄な女性又はそれ以上の体格での荷重計測値は、それらよりも体重の小さな幼児の値と接近することになる。

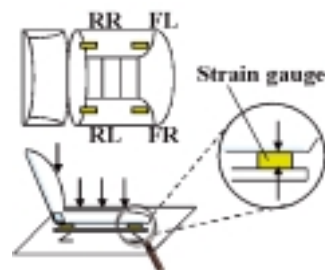


Fig.1 Layout of Strain Gauge

Table 1 Issues Related to Minimizing the Risk of Injuries and Deaths Caused by Air Bags

Dummy	Option1	Option2	Option3
12-month-old CRABI child	Automatic suppression	—	Low risk deployment
3-year-old child	↑	Dynamic automatic suppression*	↑
6-year-old child	↑	↑	↑
5th percentile adult female	—	↑	↑

* Dynamic automatic suppression system that suppresses the air bag when an occupant is out of position

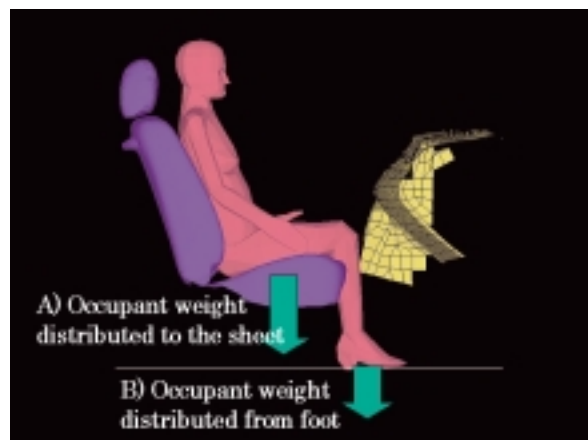


Fig.2 Distribution of Occupant Weight

よってこのような状況においても正確に幼児と小柄な女性以上とを検知分類できる乗員検知ロジックを開発するため、各種姿勢および走行条件での評価が開発車種ごとに必要となり開発工数の増大につながっている。

また、その開発および検証には米道路交通安全局指定の新ダミーの使用が前提となるが、同ダミーの構造上の都合から、実際の乗員がとる着座姿勢を全て再現させることができない。代わりに人間が実際に着座する評価も考えられるが、当局指定の新ダミー相当の体格を有しなければならないなどの問題がある。これらの問題の解決策として各種条件での評価がシミュレーションで実施可能な技術を開発することで開発の効率化を試みる。

2.2 シミュレーションモデル開発

シミュレーションモデルの開発にあたり、乗員および車両モデルには以下の要件が必要となる。

- ・指定ダミーの各部形状、重量が定義されている。
- ・人間での評価を想定し、任意の体格が定義できる。
- ・乗員がとり得る任意の着座姿勢を再現できる。
- ・シート高など車種間の違いが定義できる。
- ・車両の走行条件が定義できる。

上記要件を満足するものとしてマツダにおいて衝突解析分野で実績のあるシミュレーションプログラムのMADYMOを選択した⁽²⁾。MADYMOでは上記指定ダミーの各部形状、重量が詳細に定義されており、かつスケールリング手法を用いて任意の体格を有するダミーモデルの定義も可能である。

車両および乗員モデルは以下のように定義した。

(1) 車両モデル

フロア、インストルメントパネル、ドアトリム等のキャビン内部情報やシート高、シート角度などのシート情報をシミュレーションパラメータとして定義した。

実際のシートと同位置に荷重の測定点を定義してシート上の荷重をシミュレートした。

(2) 乗員モデル

米国成人女性5%タイルHybrid IIIダミーモデルおよび被

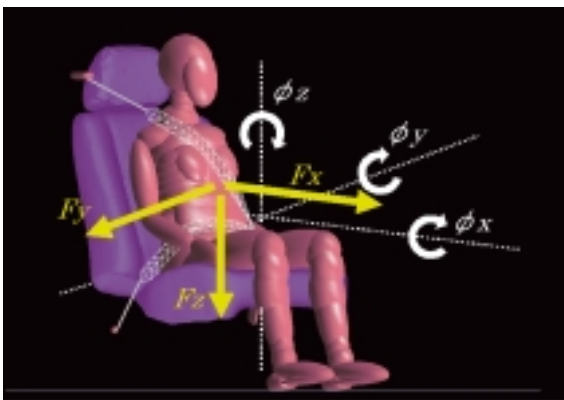


Fig.3 Description of Simulation

験者と同等の体格にスケールリングされたダミーモデルをベースとし、目標とする着座姿勢を作成し、車両のシート上へ着座させた。なお、関節など各可動部の剛性は着座姿勢等により計算の安定化のため随時変更している。

車両モデルに乗員モデルを搭載した後、停車および走行状態に応じて乗員の3軸方向に加減速度を定義している (Fig.3)。例えば、停車時は重力加速度 9.8m/s^2 をZ軸方向のみに定義し、ブレーキ時はそれに応じた減速度をX軸方向に加えて定義する。また必要に応じて車両モデルにロール角、ピッチ角を発生させることも可能である。これにより停車および走行状態に応じた車両挙動と乗員挙動を再現し、荷重測定点に生じる荷重変化をシミュレートしている。

3. 検証結果

前記に従い開発したシミュレーションモデルと実車を使用した停車状態での姿勢テストおよび走行テストの結果とを比較した結果を次に示す。

3.1 姿勢テスト

姿勢テストとそのシミュレーション結果の一例を示す。なおこの時の姿勢をFig.4に示す。乗員は米国成人女性5%タイル相当の体格を有する被験者であり、車両はミニバンタイプを使用している。姿勢Aは一般的な着座姿勢、姿勢Bはシート上で膝をかかえた姿勢である。これら姿勢について、シートに加わる荷重を実験値とシミュレーション値で比較した結果をFig.5に示す。

図より姿勢A、姿勢Bともに実験値とシミュレーション値が一致していることが分かる。すなわち、乗員足部が車

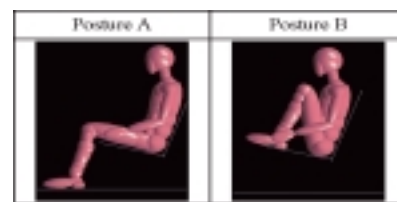


Fig.4 Example of Posture Simulations

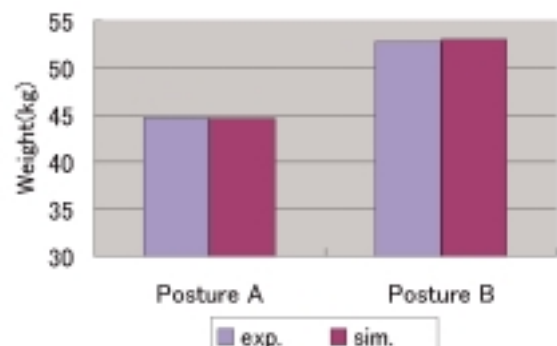


Fig.5 Comparison of Load (static test)

両床面と接触している姿勢Aにおいては、足部から床面に加わる荷重がシミュレーションモデルで精度良く再現されている。

また、これ以外に臀部位置を前後方向に移動した姿勢や、上体の角度を変化した姿勢などについても、シミュレーションモデルで精度良く実験値を再現していることを確認した。

3.2 走行テスト

走行テストをシミュレートした結果を示す。まずその一例として左旋回時に4点の各荷重検出点に生じた荷重の結果を示す。なお、車両にはミニバンタイプを使用している。旋回挙動の再現は実走行車両の横加速度および前後加速度の時間履歴を計測し、シミュレーションではそれらの加速度を乗員に発生させることで再現している。入力した横加速度および前後加速度の時間履歴をFig.6に示す。直進状態から横加速度約 6m/s^2 の左旋回に移行し、その後直進状態に戻っている。この走行時の各荷重検出点に生じている荷重の実験値とシミュレーション値をFig.7に示す。図より左旋回のため、乗員右方向に生じる遠心力の影響により、シート右側の荷重が増加し、シート左側の荷重が減少する荷重変化が実験とシミュレーションでよく合っていることが分かる。

次に平坦路、下り坂および急ブレーキ時のシミュレーション結果と実験結果を比較した図をFig.8に示す。なお縦軸にはそれぞれの走行状況において各荷重検出点の荷重の総和が安定した時刻帯における荷重の平均値を使用した。

図より平坦路、下り坂、急ブレーキと減速度が大きくなるに従い足部から床面に加わる荷重が大きくなるため、シートに加わる荷重が小さくなる現象がシミュレーションにおいても再現できていることが分かる。

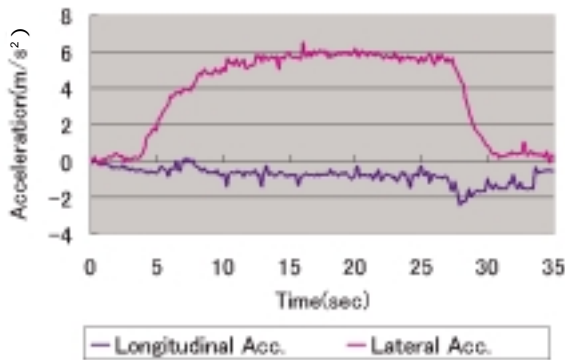


Fig.6 Acceleration which Used in Simulation

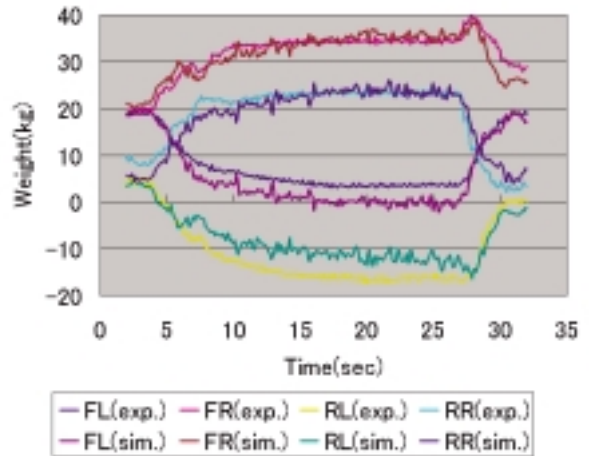


Fig.7 Sensor Value of Left Turn Situation

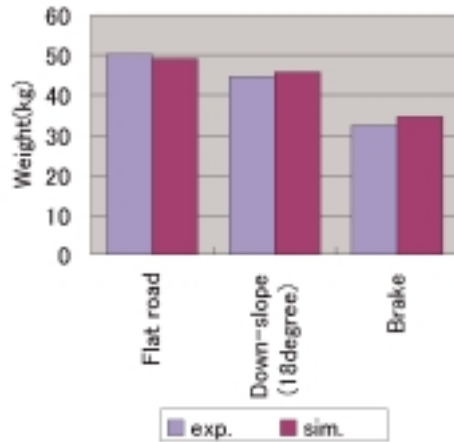


Fig.8 Comparison of Load (dynamic test)

3.3 車種比較テスト

ここではミニバンタイプ、セダンタイプの2車種においてテスト結果とシミュレーション結果を評価した結果を示す (Fig.9)。なお着座姿勢は前述の姿勢Aの場合で、図はテストおよびシミュレーションにおいて、シートに加わる荷重が乗員の総荷重に占める割合を示している。これらのシート高は約40mmの違いがあり、この影響によるシートに生じる荷重変化がシミュレーションにおいても再現できている。

以上より、今回開発したシミュレーションモデルは様々な実験状況での荷重変化を精度良く再現できることが分かった。

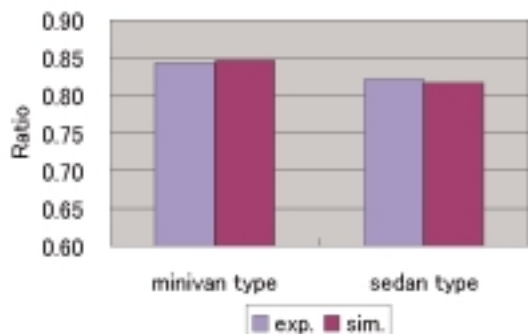


Fig.9 Comparison of Load (various vehicle type)

4. まとめ

本シミュレーション技術を適用することで様々な車種、走行条件において様々な姿勢で着座している乗員における乗員体格検知システムの出力を精度よく評価できることが分かった。これにより今までの実験による評価に比べて開発工数を大幅に低減できる。

また、各プログラム開発の初期段階に本シミュレーションで乗員体格検知システムの検知/分類に使用する荷重の推定を行うことで、試作を行うことなく、乗員体格検知システムの開発が行える目処が分かった。

現在、大人の乗員を対象にして、その体格に応じてエアバッグをきめ細かく制御することによってさらに安全性を向上させる技術が研究されており、このための大人の体格識別へ本技術を展開できるよう育成して行きたい。

参考文献

- (1) Rules and Regulations, Vol.65, No.93, Federal Register (2000)
- (2) 伊東 他：衝突性能開発におけるバーチャルテストの技術開発，マツダ技報，No.20，p.139-145 (2002)

著 者



伊与田輝



石川敏弘



世戸孝幸



高橋恭宣