

# 新型荷重センサの衝突実験への適用

## Application of New Load Sensor to Crash Test

伊東 紀明\*1

Noriaki Ito

尾川 茂\*4

Shigeru Ogawa

徳山 辰弥\*2

Tatsuya Tokuyama

藤本 由紀夫\*5

Yukio Fujimoto

友重 丈二\*3

Jouji Tomoshige

### 要約

自動車の衝突性能開発を取り巻く環境は、年々厳しくなっている。我々はより高い安全性能を持った車をお客様に提供するために、CAEを活用して車両の各部分の目標特性を設定し、実際の実験でロードパスや特性の検証を行っている。本研究では、側面衝突試験時の荷重を計測できる圧電フィルムを応用した軽量なセンサを開発し、ロードパスや目標特性の検証、荷重分布による現象解析が可能となった。

### Summary

The environment surrounding the crash safety development for automobiles is becoming tougher year after year. To provide higher safety performance for customers, Mazda sets target properties through CAE analyses for each part of a vehicle and verifies the properties through on-vehicle tests. In this study, Mazda developed a lightweight sensor by applying a piezoelectric film capable of measuring a load of collision during side impact testing and verification of target characteristics, load path, phenomenon due to the load distribution analysis has enabled.

## 1. はじめに

我々は、より高い安全性能を持った車をお客様に提供するために、CAEを活用した精度の高い車両各部位の目標特性を設定し、衝突試験で特性の検証を行っている。しかしながら、側面衝突試験においては、荷重センサの質量が重いため、可動バリアの質量要件を満足した状態で特性の検証を行うことができなかった。

本研究では、軽量なシート型変動荷重センサを開発し、側面衝突試験時の荷重を計測することで、ロードパスや目標特性の検証、荷重分布による現象解析が可能となったので報告する。

## 2. 側面衝突試験における荷重計測の課題

側面衝突の性能開発においては、可動バリアに取り付けられたアルミハニカムバリアから、車体の各部が受ける荷重のロードパスや目標特性の検証が重要である。このためには、Fig. 1 に示す側面衝突試験のテス

ト方法において、可動バリアに取り付けられたアルミハニカムバリアが受ける荷重を計測することが必要である。可動バリアは法規により質量や重心位置、慣性モーメントなどが規定されている。しかし、既製品のロードセルではその自重の影響で可動バリアの質量や重心位置が変わってしまい法規通りの試験を行うことができない。そこで本研究では側面衝突試験に、シート型変動荷重センサの適用を検討した。

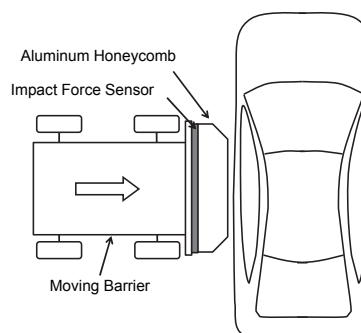


Fig. 1 Side Impact Test Method

\*1~3 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

\*5 広島大学工学研究院 機械システム・応用力学部門  
Hiroshima University.

\*4 国立高等専門学校機構 呉工業高等専門学校  
Kure National College of Technology

### 3. シート型変動荷重センサ

#### 3.1 荷重検出原理

シート型変動荷重センサの検出原理を Fig. 2 に示す<sup>(1)</sup>。荷重が入力されることにより両面に電極をつけた圧電フィルムの両面に張り付けられたゴムが、圧縮力により水平方向へ伸び、圧電フィルムの電極に電荷が発生する。

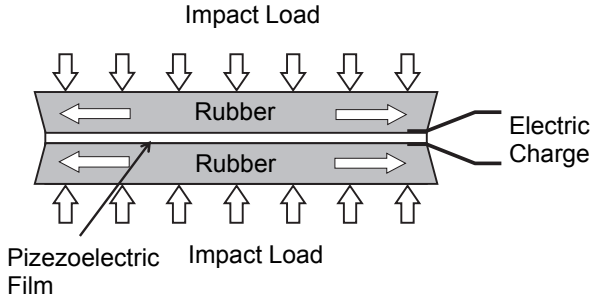


Fig. 2 Load Measurement Principle of Detection

#### 3.2 荷重検出回路と周波数特性

圧電フィルムの出力信号を計測するために、Fig. 3 に示す回路で計測を行った。圧電フィルムは電流源  $I$  と静電容量  $C_1$  で表すことができる。またセンサ出力が荷重と比例するようにするために静電容量  $C_2$  を並列接続した回路を通して入力インピーダンス  $R_0$  の記録器に接続している。回路の出力応答と位相遅れ  $\phi$  を式(1)、(2)に示す。式中の  $k$  は比例定数、 $W$  は荷重、 $\omega$  は角周波数である。本研究では、回路の静電容量  $C_2 = 4.4\mu\text{F}$ 、計測器の入力インピーダンス  $R_0 = 100\text{k}\Omega$  となっており、この回路における出力特性と位相遅れを Fig. 4 に示す。周波数が 10Hz 以上では出力が安定し、位相遅れもなく、10Hz 以上の現象を計測する衝突試験で適用可能であると考えられる。

$$|V_{out}| / kW = \frac{\omega R_0}{\sqrt{1 + \{\omega R_0 (C_1 + C_2)\}^2}} \quad (1)$$

$$\phi = \tan^{-1} \{1 / \omega R_0 (C_1 + C_2)\} \quad (2)$$

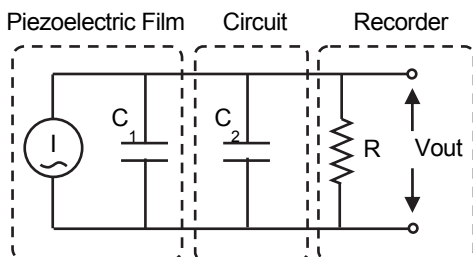


Fig. 3 Electric Circuit

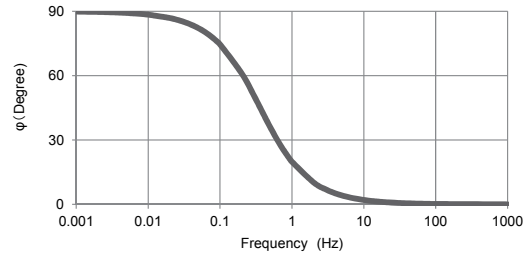
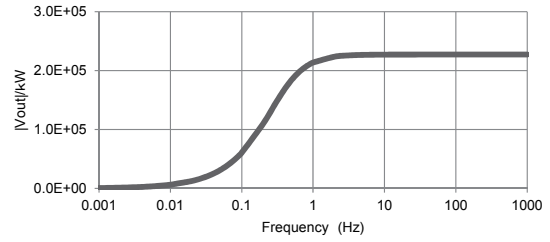


Fig. 4 Frequency Response of Electric Circuit

#### 3.3 センサの仕様

開発したセンサを Fig. 5 に示す。側面衝突試験時のハニカムバリアが車体から受ける荷重計測に適用できるように、圧電フィルムをシリコンゴムとパンチングメタルで挟み、更に衝撃荷重に耐えられるようにジュラルミンで表面を被覆した。許容荷重は 50kN、質量は 500g と軽量である。

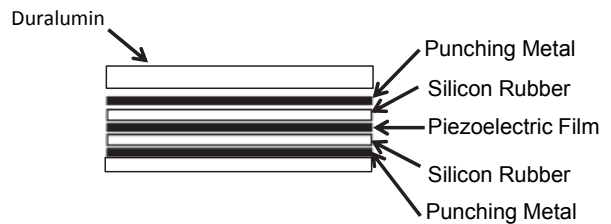
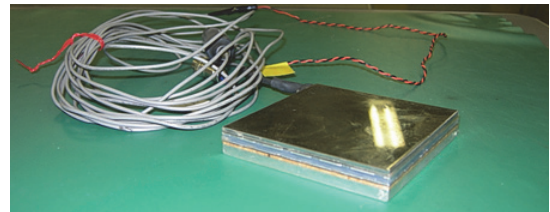


Fig. 5 Impact Force Sensor

### 4. 荷重センサの特性検証

#### 4.1 単体テストによる特性検証

本荷重センサの単体特性を Fig. 6 に示す方法で検証した。このテストでは検証用のロードセルの上に荷重センサを重ねて置き、衝突テストで用いるハニカムバリアを介しインパクトを垂直落下させて荷重の計測を実施した。Fig. 7 に示すように、荷重センサはロードセルと同等に荷重が計測可能であることが確認できた。

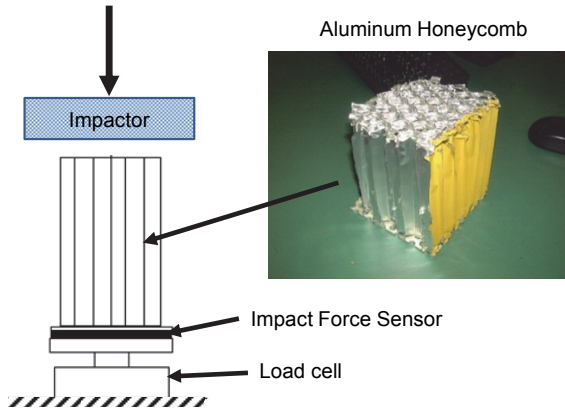


Fig. 6 Characteristic Test Method

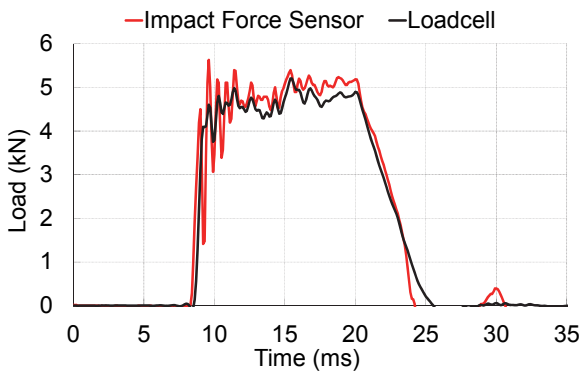


Fig. 7 Characteristic Test Results

4.2 ユニットテストによる特性検証

更に実車での衝突試験により近い状態で評価を行うために、Fig. 8 に示すような 8 個のセンサとロードセルを配置したアルミハニカムに、時速 4km/h で質量 1000kg の台車を衝突させるユニットテストを実施した。Fig. 9 にセンサの配置を示す。Fig. 10 に示すように、各センサの出力は各々のロードセルで計測した荷重とよく一致しており、8 つのセンサの合計荷重では、ロードセルの全合計に対して 6% 程度の誤差で計測が可能であることが分かった。

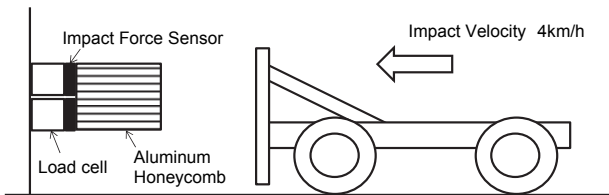


Fig. 8 Unit Test Method

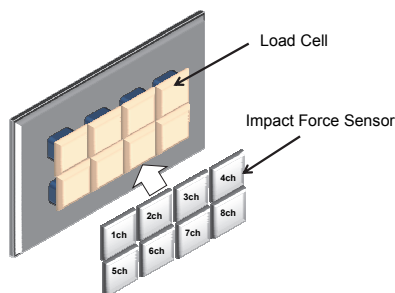
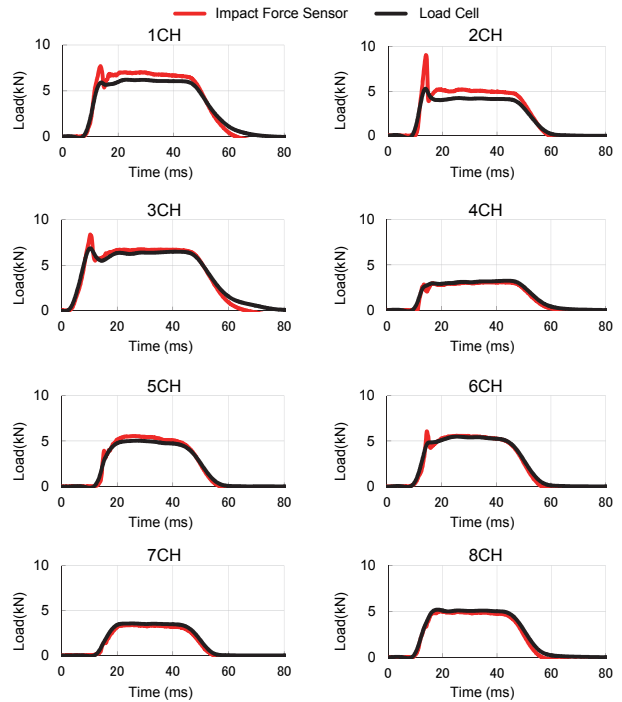
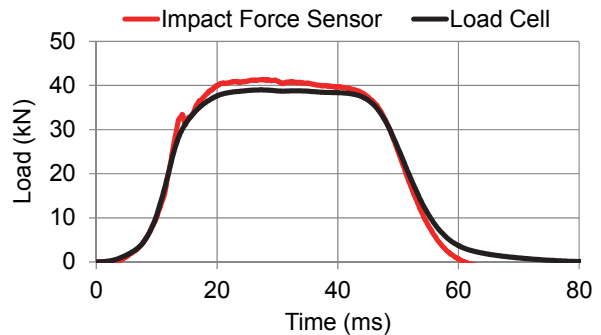


Fig. 9 Layout of Impact Load Sensors



(a) Measurement Load of Each Sensor



(b) All Measurement Load

Fig. 10 Measurement Load of Unit Test

4.3 側面衝突試験への適用と考察

(1) 側面衝突試験用センサの配置

ハニカムバリアと台車の間に荷重センサを挟み込み、側面衝突試験を実施した。今回使用したハニカムバリアは欧州側面衝突で使用される AE-MDB バリアで、Fig. 11(a)に示すように内部で A から F の 6 ブロックに分割されており、Fig. 11(b)のように各ブロックに 6 または 8 個の荷重センサを配置した。また、本ハニカムバリアの荷重特性として Fig. 11(c)にブロック E の荷重-変位の特性線図を示す。各ブロックの荷重と変位の圧縮特性データから最大荷重は A=C=19kN, B=16kN, D=F=72kN, E=53kN で下部と両端が高い荷重特性を有する。なお、衝突試験の条件は、衝突速度 50km/h, 台車質量 1500kg である。

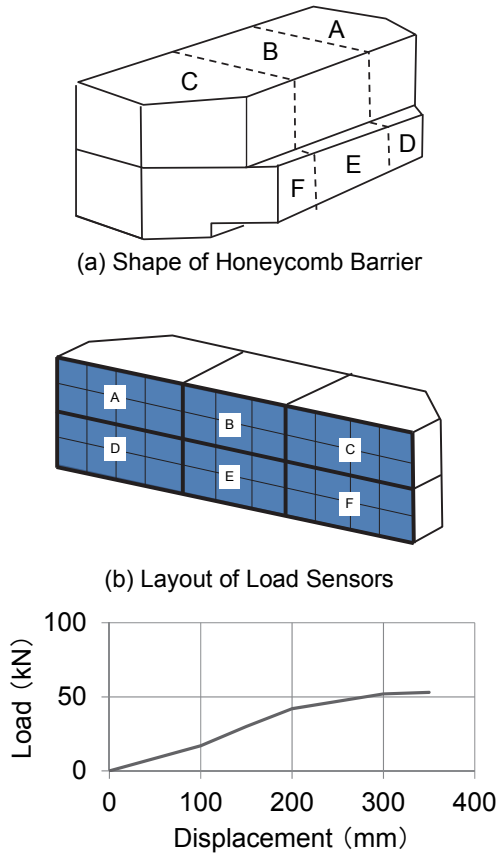


Fig. 11 Shape and Characteristic of AE-MDB Honeycomb Barrier<sup>(2)</sup>

(2) ロードパスと目標荷重

本衝突試験での衝突時の運動エネルギーを台車質量と速度から算出すると 145kJ となる。このエネルギーは車体とハニカムバリアの潰れによって吸収されるため、台車に取り付けた荷重センサでは、車体とハニカムバリアの潰れ荷重を計測することとなる。この試験で使用した車体では、この潰れ荷重の目標を 200kN とし、Fig. 12 にロードパスの荷重目標を示す。車体を受ける荷重をフロントドアとリアドアに均等に分散させるロードパスコンセプトで開発し、この目標荷重を共に 100kN としている。

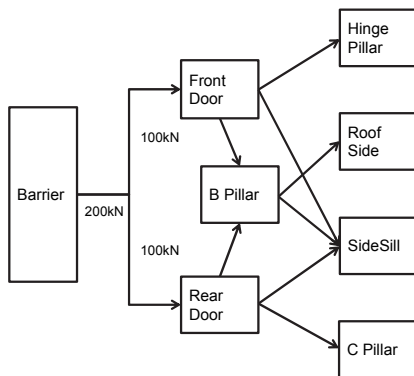


Fig. 12 Load Path Target

(3) テスト結果と考察

① 全計測荷重の考察

Fig. 13 に荷重の計測結果を示す。荷重センサの総合計と台車につけられた加速度計と質量の積で表される荷重を比較した結果、2 つはよく一致しており、荷重センサの値が正しいものと判断できる。

このテスト結果から荷重の目標である 200kN に対して計測された最大荷重は 40ms 近傍で 177kN となっており、ほぼ狙い通りの荷重が発生していると考えられる。

衝突時の運動エネルギーは、車体とハニカムバリアで吸収されるエネルギーと、衝突後の車両の反発で消散される運動エネルギーの和となる。グラフの面積は車体とハニカムバリアで吸収されたエネルギーに等しく 123kJ である。また、衝突後の反発で 1590kg の車体が速度 5.7m/s で移動するため、反発による運動エネルギーを算出すると 25kJ となる。この総和は 148kJ であり、初期に持っていた運動エネルギーの 145kJ とほぼ一致している。

このことから計測結果が妥当であると考えられる。

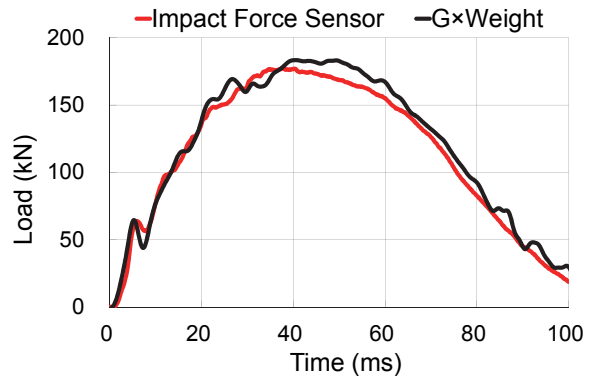


Fig. 13 Overall Load

② 各ブロックの計測荷重の考察

Fig. 14 に各ブロックの計測荷重を示す。また Fig. 15 にハニカムバリア中央断面のテスト前後の変形状況を示す。同図上部はブロック B、下部はブロック E を示している。2つの図より、ブロック E の最大荷重は 48kN であり、変形量は約 200 mm であることが分かる。この荷重と変形量の関係は前述した Fig. 11(c) に示される圧縮特性と良く一致しており、荷重センサの計測値が潰れ特性を計測できていることが分かる。

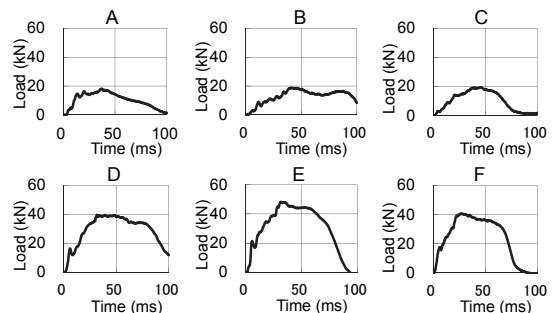


Fig. 14 Load of Each Block

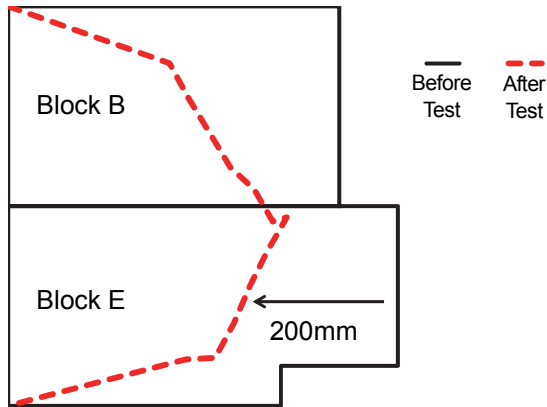


Fig. 15 Deformation at Center of Honeycomb Barrier

Fig. 16 にフロントドアとリアドア部分の入力荷重が最大となる 40ms 近傍での各荷重センサの合計値を示す。この値から狙い通り前後に均等に荷重が入力されていることが分かる。その時の荷重分布を等高線で示したのが Fig. 17 である。図よりハニカムバリアの下側のブロック D, E, F に集中的に荷重が入っていることが分かる。これはドア内部のインパクトバーが機能していることを示している。

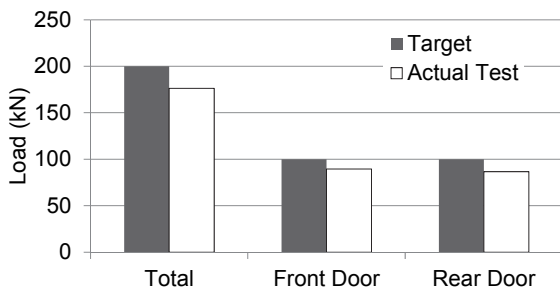


Fig. 16 Load Path

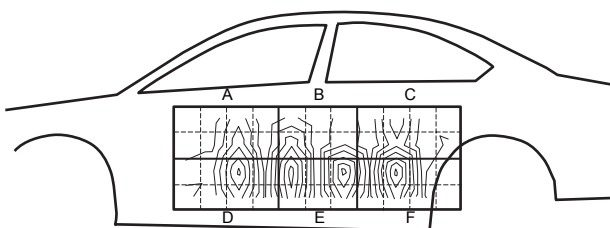


Fig. 17 Load Path

### 5. 結論

本研究で開発したシート型変動荷重センサを用いることで、側面衝突試験時の荷重計測を行うことができ、ロードパスや荷重の目標特性の検証、荷重分布による現象解析が可能となった。

### 6. おわりに

これらの開発したセンサを用いることで、より高い安全性能を持った車両開発に貢献するための現象解明や CAE 技術の精度向上に活用していきたい。

### 参考文献

- (1) 藤本ほか：圧電フィルムを用いたシート型衝撃力測定センサ, 日本機械学会論文集 C 編 73 巻, 725 号 184-191 (2007)
- (2) M. Roussarie ほか：Enhancement of side impact protection using an improved test procedure, No. 07-0245, ESV20

### ■ 著 者 ■



伊東 紀明



徳山 辰弥



友重 丈二



尾川 茂



藤本 由紀夫