

ロールオーバーセンサ付き サイドカーテンエアバッグの開発

Development of Side Curtain Airbags with Rollover Sensor

竹村 直敏*

Naotoshi TAKEMURA

桃原 茂郎*

Shigeo TOBARU

高 畠 理*

Osamu TAKAHATA

江口 能正*

Yoshimasa EGUCHI

要 旨

近年、米国では横転事故による死者が増加している。特に、SUV では死亡事故の6割が横転に関連している。横転による死者の62%が車外放出しており、死亡の主要因となっている。横転時の乗員の安全性を高めるサイドカーテンエアバッグシステムを開発した。このシステムは、ロールオーバーセンサによって、車両が横転に至る可能性を検知するとサイドカーテンエアバッグを展開させ、側面の窓の大部分を覆うことにより、車外放出による傷害可能性を低減させる。

ABSTRACT

Fatalities in rollover accidents have recently been increasing in the US. In particular, 60% of fatalities in SUVs are related to rollover accidents. In addition, 62% of occupants who die in rollover accidents involving all passenger vehicles are either partially or completely ejected from the vehicle. To help address this issue, a side curtain airbag system has been developed that enhances occupant safety in rollover accidents. When a rollover sensor detects the possibility of the vehicle rolling, the side curtain airbags are deployed, covering the greater part of the side windows and thus reducing the possibility of occupant ejection.

1. はじめに

1.1. 横転事故

米国では横転事故による死者が増加している。2001年の横転事故による死者はスポーツユーティリティビークル(SUV)やピックアップトラック(Pickup Truck)やバン(Van)などライトトラックビークル(LTV)と普通乗用車(Passenger Car)を合わせた乗用車全体(Passenger Vehicle)で10626人であり、2001年に比べて4.9%増加している。特にSUVの横転事故が9.8%増加している(Fig. 1)。

傷害事故の中での横転事故の割合はPassenger CarとVanではそれぞれ5%, Pickup TruckやSUVで10%, 13%程度であるが、死亡事故に対する横転事故割合はPassenger Carで24%, Vanが33%, Pickup Truckが46%, SUVでは61%になる(Fig. 2)⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

死亡の主な原因が乗員の車外放出である。ベルト着用が車外放出を防ぐ最も有効な手段であるが、米国運輸省道路交通安全局(NHTSA)は1988年から先進ガラス(Advanced Glazing)と呼ばれる複層ガラス等を用いた側面の窓ガラスの改良による車外放出低減の研究をおこ

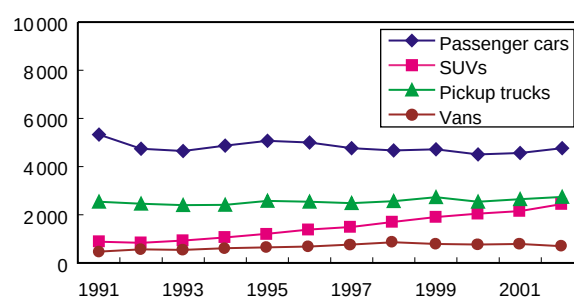


Fig. 1 Occupant fatalities in rollover accidents by year and type of vehicle

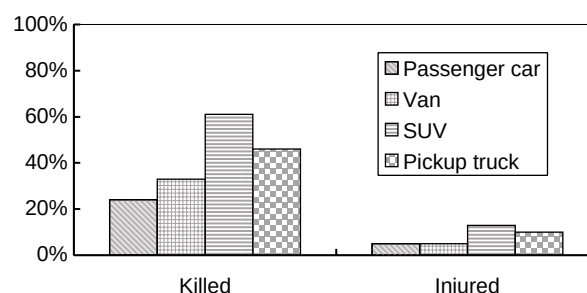


Fig. 2 Percentage of fatalities and injuries in rollover accidents by type of vehicle

* 栃木研究所

Table 1 Seat belt use and vehicle ejection in rollover fatalities

	Not ejected	Totally ejected	Partially ejected	Total
Belt used	14 272	771	1 382	16 425
Belt not used	22 089	49 017	9 328	80 434
Total	36 361	49 788	10 710	96 859

Source: FARS 1991-2001

なってきた。しかし、設計上の制約等から 2002年に法規化を断念し、先進ガラスやサイドカーテンエアバッグなどによる総合的な車外放出緩和性能の評価方法の研究開発に取り組んでいる⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。

1.2. 横転による車外放出

横転事故で死亡した乗員の62%が、体の全部または一部が車外に放出されている。ベルト非着用死者のうち73%の乗員が車外放出している。また、横転事故での死者のうち83%がベルト非着用である。ベルト着用死者の中で車外放出は13%を占める(Table 1)。

横転時の車外放出した乗員の経路は、シートベルト着用者の大部分が側面の窓ガラスであり、ベルト非着用乗員の半数以上も側面の窓ガラスからである(Fig. 3)。

横転事故での簡易傷害尺度(Abbreviate Injury Scale; AIS)分類による傷害確率は車内に留まった場合、無傷・軽傷が71%を占め、重傷以上が13%であるのに対し、車外放出し

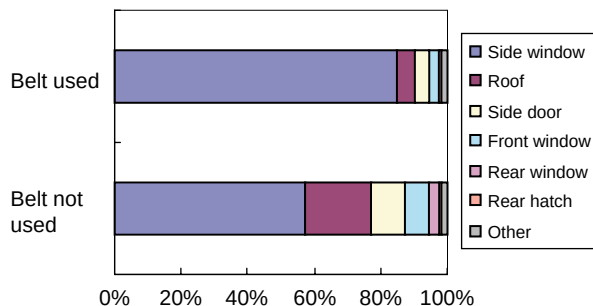
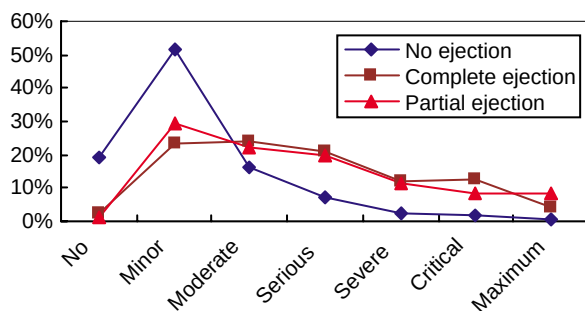
Fig. 3 Ejection path of occupant
Source: NASS CDS 1993-2001

Fig. 4 Likelihood of injury in rollover by AIS Source: NASS/CDS 1988-2001

た場合は完全放出と部分放出とも同様の傷害確率分布を示し、無傷・軽傷は約30%になり、重傷以上が約50%を占める。(Fig. 4)。

2. サイドカーテンエアバッグシステム

2.1. サイドカーテンエアバッグ

従来のサイドカーテンエアバッグシステムは側面衝突センサが車両側面への衝撃を検知すると、ルーフサイドに収納されたサイドカーテンエアバッグが Fig. 5 に示すように側面の窓を覆うように展開し、外部衝突物やピラーから頭部を保護する。この側突乗員保護機能に加え、車両横転時にもサイドカーテンエアバッグを展開させ、シートベルトの補助拘束装置として乗員が側面の窓から車外放出する可能性を低減し、乗員が車室内に留まれる可能性を高めるシステムを開発した。

2.2. ロールオーバセンサ

車両の横転を検知し、サイドカーテンエアバッグを展開するためのロールオーバセンサを開発した。ロールオーバセンサは正面衝突センサや側面衝突センサと同様に、エアバッグコントロールシステムの中のサブシステムとして構成されている(Fig. 6)。



Fig. 5 Deployed front airbags, side airbag and side curtain airbag

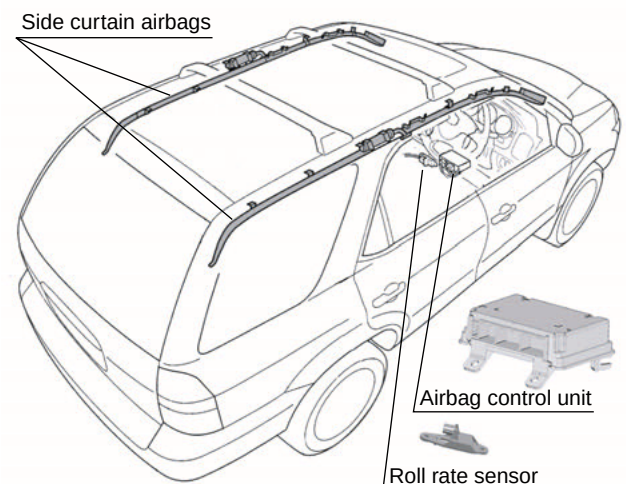


Fig. 6 Layout of side curtain airbags and rollover sensor system

2.2.1. センサシステム構成

ロールオーバーセンサシステムは、エアバッグコントロールユニットとロールレートセンサから構成される。

エアバッグコントロールユニットは横方向と垂直方向の二つの加速度計(G_y, G_z センサ)とマイクロプロセッサ、点火制御回路、ロールレートセンサとの通信回路及び電源回路を内蔵している。

ロールレートセンサ(Roll Rate Sensor)は、ジャイロセンサからのアナログ電圧出力を A/D 変換器(Analog to Digital Converter)によってデジタル化し、エアバッグコントロールユニットへシリアル通信する。

(1) 加速度計

加速度の計測には、耐衝撃性、信頼性、小型化に優れるシリコン微細加工による Micro electro-mechanical System(MEMS)加速度センサを採用した。これは半導体製造技術の応用により、検出子がばねで支持された微細構造をエッチング処理によってシリコン表面に生成し、加速度による検出子の変位を静電容量の変化として検出する。同一チップ上に組み込まれた半導体アナログ信号処理回路によって、加速度に比例して電圧出力される。

(2) ロール角速度計

ロール角速度の計測にも加速度計と同様に耐衝撃性、

信頼性、小型化に優れる MEMS 振動ジャイロセンサを採用した。これは MEMS 加速度計の検出原理を応用し、コリオリ力による振動子(レゾネータ)の変位を検出する(Fig. 8)。一対の振動子を互いに逆位相で駆動し、その差分出力をとることによって同位相である加速度成分を排除し、衝突時などの大きな衝撃が発生する場合にも正確な角速度を測定する。レゾネータ駆動回路や信号処理回路も同一チップに組み込まれており、ジャイロセンサの小型化を実現している(Fig. 9)⁽⁷⁾。

(3) マイクロプロセッサ

ロールレートセンサの信号から車両のロール角速度とロール角度を計算する。加速度計からのアナログ電圧出力は、内蔵されたA/D変換器によりデジタル信号化される。

あらかじめプログラムされた横転判定アルゴリズムによってこれらの信号を処理し横転判定をおこなう。

ロールレートセンサの故障に対するシステム信頼性を高めるため、ロールレートセンサからの出力を主に用いる主判定部と加速度センサからの出力を用いるセーフティング判定部という独立した二つの横転判定部を設け、それぞれが点火制御回路に横転判定信号を送信する。

(4) 点火制御回路

マイクロプロセッサ内の主判定部とセーフティング判定部のそれぞれから同時に横転判定信号が点火制御回路に送られると、サイドカーテンエアバッグのインフレーター(ガス発生器)のスクイブ(点火回路)に電流が流され、エアバッグが展開する。

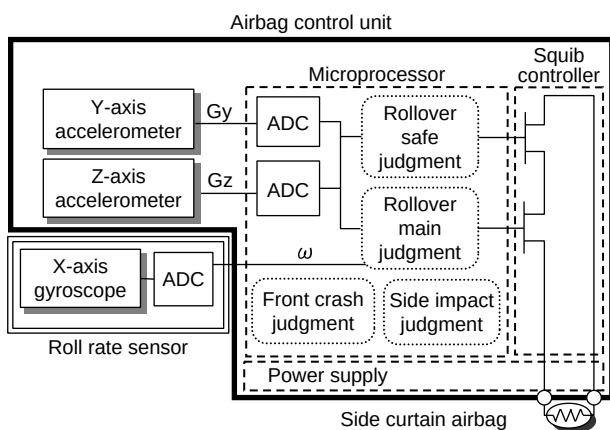


Fig. 7 System diagram of rollover sensor

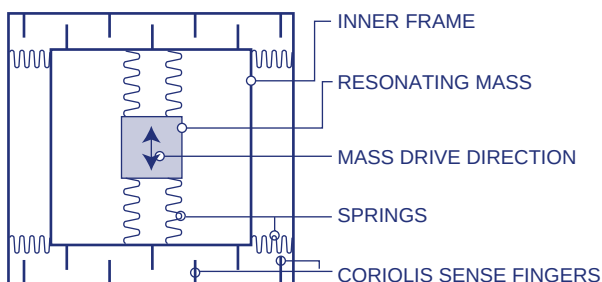


Fig. 8 Schematic of mechanical structure of gyro

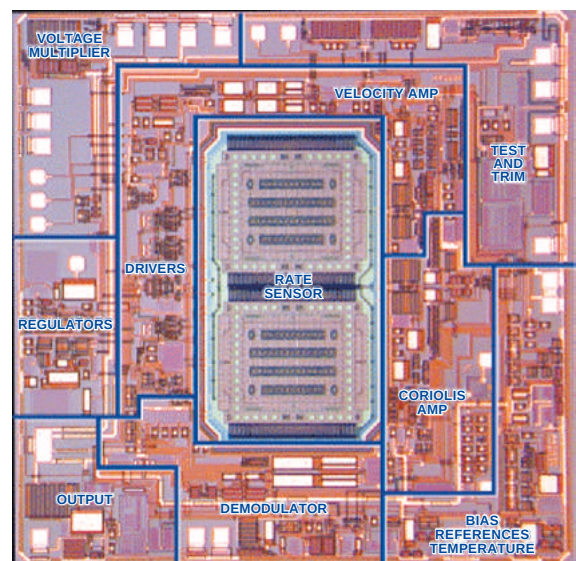


Fig. 9 Photograph of gyro die, highlighting integration of mechanical rate sensor and signal conditioning electronics

2.2.2. 横転判定アルゴリズム

(1) 主判定部アルゴリズム 横転とは車両が 90 度以上傾いた場合と第一義に定義されるが、車両の重心が回転中心の鉛直線上、すなわち最大安定角度に達すると、重力の作用により自ら横転する。

また、車両が最大安定角度まで達するのに十分な角速度を持っていると外力がなくとも自ら横転する。この動的な横転限界を車両横転判定の基本とする。

車両を Fig. 10 のように剛体振り子と見なした場合の動的横転判定式は式(1)のようになる。これは位置エネルギー $E(\theta)$ と回転運動エネルギー $E(\omega)$ の和からなる全回転エネルギーが最大安定角度まで達するのに最低必要なエネルギー (MgR) を超えているかどうかで横転判定をおこなう。

$$E(\theta) + E(\omega) \geq MgR \quad (1)$$

$$E(\theta) = MgR \sin(\theta + \theta_0)$$

$$E(\omega) = 1/2 \cdot I \omega^2$$

θ_0 : Initial inclination of C.G.

θ : Roll angle of vehicle

g : Gravity acceleration

R : Rotational radius

I : Inertia moment of O-axis

式(1)を $\omega - \theta$ グラフで表現すると Fig. 11(a) のようになる。グラフ上で閾値を超えると横転に至る可能性が高いと判定する。通常、車両が横転するのは外力が継続して発生し回転エネルギーが増加していく場合である。そのため、将来

発生する外力による回転エネルギーの増加分を角速度変化 ($\Delta \omega$) や減速度などから予測することにより、より早期に横転判定をおこなうことができる。これを式で表すと式(2)のようになり、模式的に 3 次元空間で表現したのが Fig. 11(b) である。実際の車両には剛体振り子とは異なりサスペンション機構があるので、それらを考慮して閾値を決定した。

$$E(\omega) + E(\theta) \geq \text{Threshold} - E(\Delta \omega, G_y, G_z) \quad (2)$$

(2) セーフイング判定部アルゴリズム セーフイング判定は G_y と G_z の値を用いる。

横転現象が生じる際には、回転運動以外にも横方向や垂直方向に急激な運動を生じ、通常走行時と比較して大きな加速度が検出されることを利用する。

3. まとめ

シートベルトの補助拘束装置として、横転時の乗員の安全性を高めるロールオーバーセンサ付きサイドカーテンエアバッグシステムを開発した。

ロールオーバーセンサが車両横転に至る可能性を検知するとサイドカーテンエアバッグが展開し、側面の窓の大部分を覆うことにより、側面の窓からの車外放出の可能性を低減し、乗員の車室内保持性能を向上させる。

本システムは、2004 年モデル Acura MDX に搭載され、順次適用の予定である。

謝 辞

本開発にあたり御協力を頂きました Autoliv Inc. 及び TRW Automotive LLC 関係者の方々、またジャイロセンサの写真・イラストをご提供頂いた Analog Devices, Inc. に紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) National Center for Statistics and Analysis Traffic Safety Facts 2002 : A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and General Estimates System DOT HS 809 620, p.80-81
- (2) National Center for Statistics and Analysis: Motor Vehicle Traffic Crash Fatality and Injury Estimates for 2002 2002 Annual Assessment
- (3) Deutermann, W.: Characteristics of Fatal Rollover Crashes, Technical Report DOT HS 809 438
- (4) Summers, S., Harper C.: Ejection Mitigation Using Advanced Glazing, A Status Report, November 1995 Old Docket Number 95-41-GR

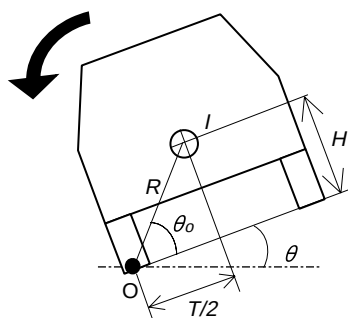


Fig. 10 Vehicle rigid model

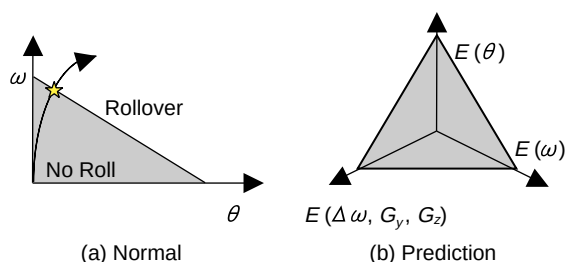
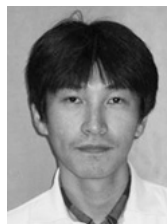


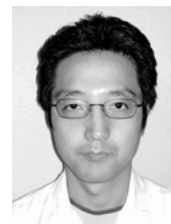
Fig. 11 Rollover main judgement threshold

- (5) Willke,D., Summers, S., Wang,J.,Lee,J.,Partyka,S.,
Duffy,S.: Ejection Mitigation Using Advanced Glazing
Status Report II, Docket Number NHTSA-1996-1782-21
- (6) Willke,D.,Summers,S.,Wang,J.,Lee,J.,Harper,C.,
Partyka,S.,Duffy,S.: Ejection Mitigation Using
Advanced Glazing Final Report, Docket Number
NHTSA-1996-1782-22
- (7) Analog Devices,Inc.: [http://www.analog.com/library/
analogDialogue/archives/37-03/gyro.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/37-03/gyro.html)

■ 著 者 ■



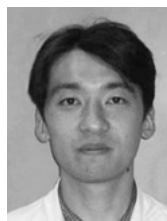
竹村直敏



高 畠 理



桃原茂郎



江口能正