

特集：CX-9

13

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの開発 Development of Rollover Protection Curtain Airbag

平田基晴*¹ 榊田昌史*² 能田裕行*³ 戸川草代子*⁴
Motoharu Hirata Masafumi Sakakida Hiroyuki Nouda Soyoko Togawa
徳永利道*⁵ 川村尚輝*⁶ 渡辺 努*⁷ 佐伯秀治*⁸
Toshimichi Tokunaga Hisaaki Kawamura Tsutomu Watanabe Hideharu Saiki

要 約

北米において、比較的重心が高いピックアップトラックやSUV等のロールオーバー死亡事故の比率の高さが注目されている⁽¹⁾。CX-9には、ロールオーバー事故における車両の安全性を高めるための技術として、事故そのものを予防する車両姿勢制御であるDynamic Stability Control (DSC) やRoll Stability Control (RSC)、ロールオーバー事故の際に乗員への傷害を軽減するロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの技術が折り込まれている。

ここでは、ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグと、ロールオーバー検知の技術開発について報告する。

Summary

In North America, Light Truck Vehicles like Pick-Ups or SUVs, which have relatively higher center of gravity, are paid attention for their fatal Rollover accidents⁽¹⁾. CX-9 has safety technologies for Rollover accidents. One is the vehicle stability control to reduce Rollover accidents, which are Dynamic Stability Control (DSC) and Roll Stability Control (RSC). Another is the Rollover Protection Curtain Airbag, to reduce injury risks in Rollover accidents.

We report here development of Rollover Protection Curtain Airbag and Rollover Sensing Technology.

1. はじめに

米国市場においては、その道路事情から日本と比べて、比較的重心の高いSUV等のロールオーバー（横転）事故が顕著であり、死亡・重傷に至る重大事故となる率も高い。CX-9ではロールオーバーの発生をできる限り抑制するための車両姿勢制御（DSC、RSC）に加えて、万一ロールオーバー事故が発生した際もできるだけ乗員の傷害を軽減するためのロールオーバープロテクションカーテンエアバッグを装備した。以下、ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグ技術の開発について紹介する。

2. ロールオーバー事故の実態

2.1 ロールオーバー死亡事故の発生率

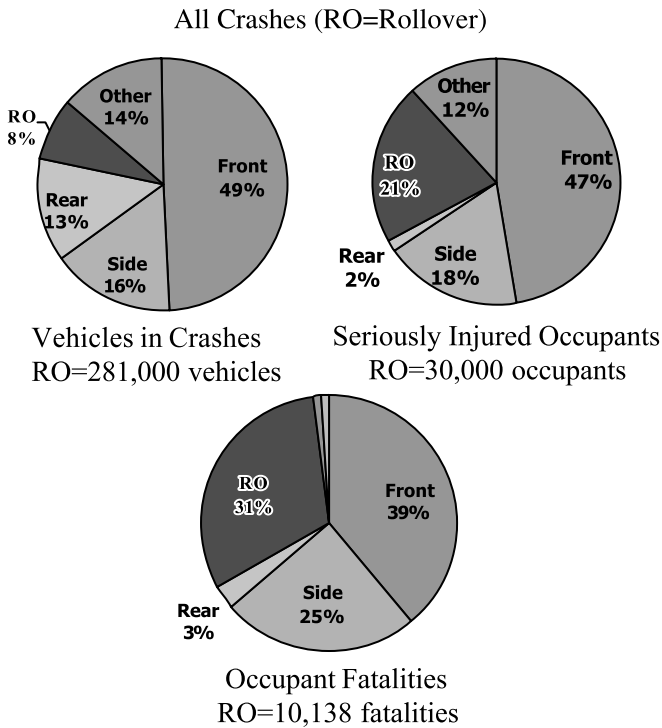
Fig.1に米国の自動車（乗用車、バン、SUV、ピクア

ップトラック）乗車中の死亡事故において各事故形態の発生・重傷者数・死者数の割合を示す⁽¹⁾。ロールオーバー事故は発生割合からいうと前面衝突、側面衝突、後面衝突に次いで4番目であるが、死者数で見ると前面衝突に次いで多く、側面衝突による死者よりも多い。

Fig.2は車両の種類別に米国での各事故形態の死者数の割合を示したものである⁽¹⁾。乗用車（Cars）では前面衝突に次いで側面衝突による死者数が多いが、SUV、ピックアップトラック、VANなど比較的重心が高くロールオーバー事故の頻度が高い車両ではロールオーバー事故による死者数が最も多い。このことからCX-9のようなSUVでは北米市場においてロールオーバー事故への対応が衝突事故死者低減において重要といえる。

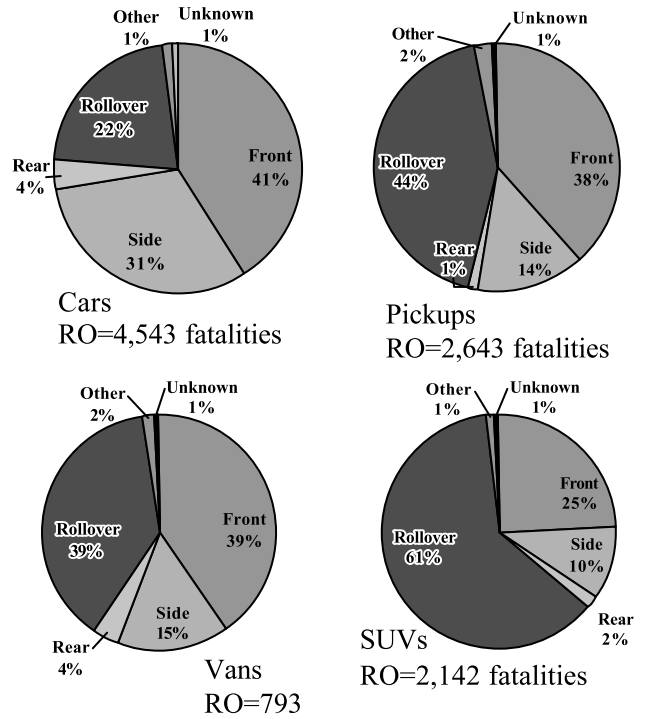
*1, 2 装備開発部
Interior & Exterior Components Development Dept.
*5, 6 車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.

*3, 4, 7, 8 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.



Source: 1997-2001 NASS-CDS, 2001 FARS

Fig.1 Occurrence, Injured and Fatality Rates by Accident Types⁽¹⁾



Source: FARS 2001

Fig.2 Rollover Occupant Fatalities by Vehicle Type⁽¹⁾

2.2 ロールオーバー事故の類別

Fig.3は米国市場におけるロールオーバー事故の例である (NASS-CDSから2000年のある事故例を模式化)。道路左側へのはみ出しを過度に修正したため横滑り状態となり、歩道の縁石に左側車輪が引っかかりロールオーバーした。一般的にロールオーバー事故の現象は複雑であり数多くのパターンがあるが、この例のように車が横滑り状態となり突起物に引っかかりたり路面の摩擦力が急に増大することによりロールオーバー(トリップオーバー)する事例が多い。Fig.4はロールオーバー事故の種別を分類整理し、頻度割合を示したものである(文献⁽²⁾⁽³⁾のデータをもとに作成)。これによるとトリップオーバーの事例が半数以上を占めていることがわかる。ロールオーバーセンシング方式の設計や性能評価の際にはこれらの発生状況を考慮する必要がある。

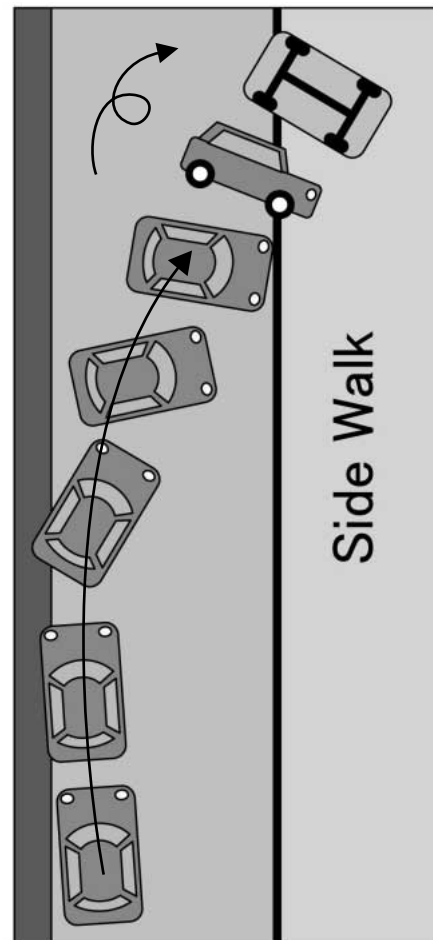


Fig.3 An Example of Rollover Accident (Sketched from NASS-CDS, 2000)

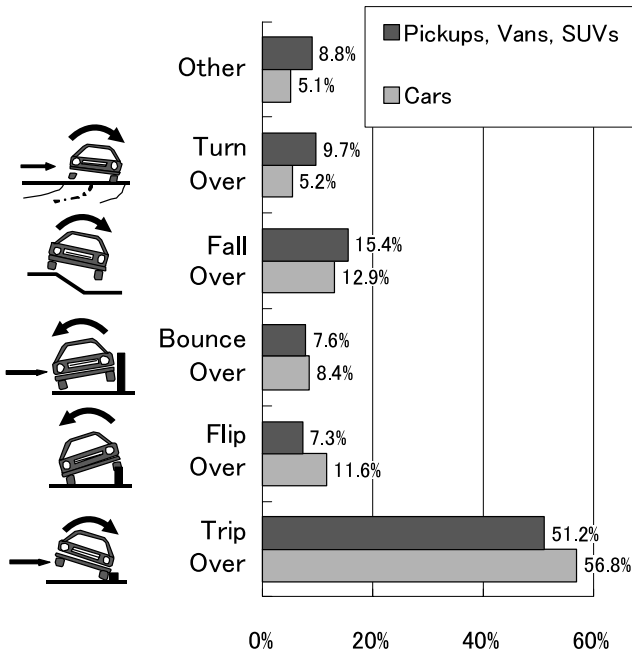
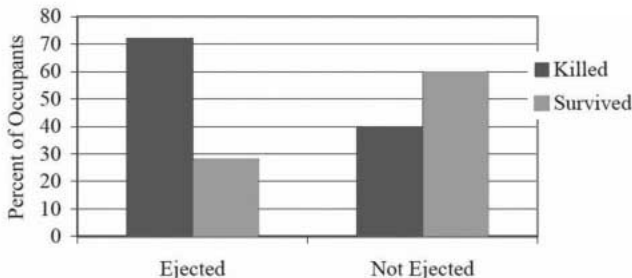


Fig.4 Occurrence Rates by Rollover Types^{(2), (3)}

2.3 ロールオーバー事故の乗員傷害発生要因

Fig.5からわかるようにロールオーバー事故においては乗員が車外に出てしまうと（Ejection = 車外放出），死亡にいたる確率が非常に高くなる⁽⁴⁾。車外放出防止にもっとも有効であるのがシートベルトであるが，シートベルトをしていても頭部などの体の一部分が車外にはみ出し路面や車外物と衝突することで重大な傷害が発生する場合がある。したがって，ロールオーバー時にカーテンエアバッグを展開させ，車両のサイドウィンドウ部分からの頭部などの車外へのはみ出しを防止し，かつ車外物と乗員の衝突を軽減することにより，傷害軽減の効果が期待できる。



Source: NCSA, NHISA, FARS 2000

Fig.5 Occupant Survival and Complete Ejection in Fatal Rollovers⁽⁴⁾

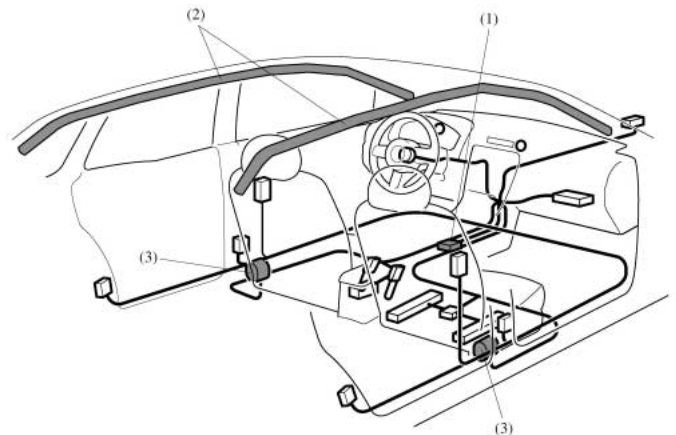
2.4 ロールオーバー事故の現象

ロールオーバー事故現象の特徴は，正面衝突や側面衝突事故などに比べて現象の時間が長いということである。衝突現象の時間は，前面衝突事故や側面衝突事故では十分の一秒のレベルであるが，ロールオーバー事故は車が傾き始めてから転覆するまでに秒単位の時間がかかる。そのため，ロールオーバーを考慮した場合，カーテンエアバッグの圧力保持時間は，側突だけを想定したものに比べて長くとる必要がある。

3. ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグ

3.1 概要・システム構成

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグシステムは，車両のロールを検知するロールレートセンサと上下方向および横方向の加速度を検知する加速度センサを装備したエアバッグコントロールユニット，エアバッグコントロールユニットからの信号を受けて作動するカーテンエアバッグモジュール，フロントシートベルトプリテンショナー等で構成される（Fig.6）。



- (1) Airbag Control Unit
- (2) Curtain Airbag Module
- (3) Front Seat Belt Pretensioner

Fig.6 System Components

エアバッグコントロールユニットにはロールオーバーを検知する性能が要求され，カーテンエアバッグモジュールには数秒レベルの長い持続時間と，乗員頭部の車外へのはみ出しを防止するための横方向の保持力が必要となる。以下ではロールオーバー対応のため特別に配慮した部品について説明する。

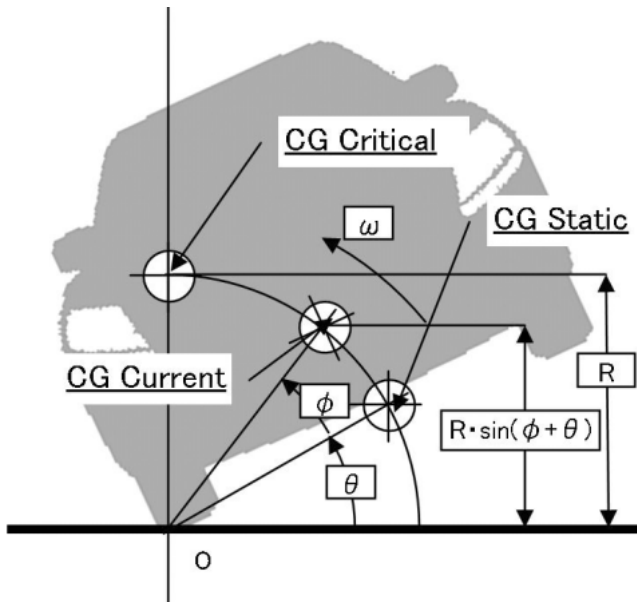
3.2 エアバッグコントロールユニット

従来のエアバッグコントロールユニットに，ロールレート（車両の前後方向軸回りの回転角速度）センサやロール

オーバー判別のためのソフトウェアを組み込んだ。

(1) ロールオーバー判定方式

ロールオーバー現象は、車両を剛体振り子とみなした単純な力学モデルとして表すことができる (Fig.7)。



- O : 回転中心 (内側タイヤの接地点)
Rotation Center (Inside wheel contact point)
- CG_Static : 通常時の重心位置
Center of Gravity (CG) at normal condition
- CG_Current : 現在時刻の重心位置
CG at current position
- CG_Critical : 臨界重心位置
CG at critical position
- ω : ロール角速度 Vehicle Roll Rate
- ϕ : ロール角 Vehicle Roll Angle
- θ : 通常時の重心位置の角度 Angle of Static CG
- R : 臨界重心位置の高さ = 回転半径
Height of Critical CG = Radius of rotation

Fig.7 Rollover Dynamics Model

このモデルによって、車両の前後方向軸周りの現在の回転運動エネルギーと重力による位置エネルギーの和が、臨界重心に達したときの位置エネルギーを超えたときに将来ロールオーバーに至ると判定できる。

$$E_{rot}(\omega) + E_{pot}(\phi) = MgR$$

$E_{rot}(\omega)$: 回転エネルギー

$E_{pot}(\phi)$: 位置エネルギー

g : 重力加速度

M : 車両質量

MgR : 横転限界での位置エネルギー

この式に、

$$E_{rot}(\omega) = (1/2) * I * \omega^2,$$

$$E_{pot}(\phi) = \sin(\phi + \theta) * MgR$$

I : O回りの慣性モーメント

を代入すれば、以下の式が得られる。

$$(1/2) * I * \omega^2 - \{1 - \sin(\phi + \theta)\} * MgR = 0$$

...式(1)

この条件式によって、 $\omega - \phi$ 平面はロールオーバーする領域とロールオーバーしない領域とに分けられ、グラフ上にロールオーバー判定条件 (Threshold) が設定できる (Fig.8)。

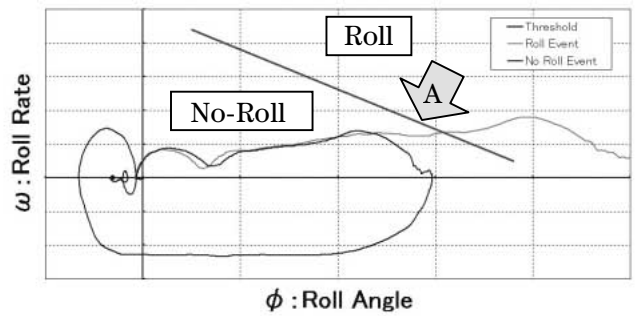


Fig.8 Threshold

(2) ロールレイトセンサ

上記条件式(1)で分かるように、回転運動エネルギーはロール角速度、車両の位置エネルギーはロール角から求められるが、ロール角はロール角速度を時間積分して求めることができる。つまりロールレイトセンサにより車両のロール角速度を計測することによって、ロールオーバーするかどうかを判別できる。ロール角は車両全体の回転運動として捉える必要があることから、車両重心付近に設置したエアバッグコントロールユニット内にロールレイトセンサを設置した。

ロールレイトセンサは、Micro Electro Mechanical System (MEMS) 技術を使用した数ミクロンのシリコン微細加工により製造されたセンサであり、中心の1点で支えられた平面方向に連続的に回転振動する振動子を持つ。この振動子が車両の回転に伴って発生するコリオリ力によって変位する際の静電容量の変化を捉えることで角速度を検出する (Fig.9, 10)。

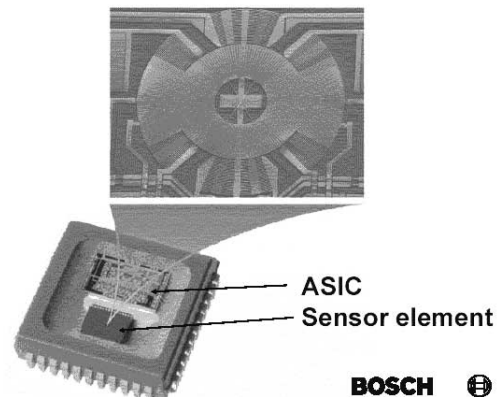


Fig.9 Roll Rate Sensor

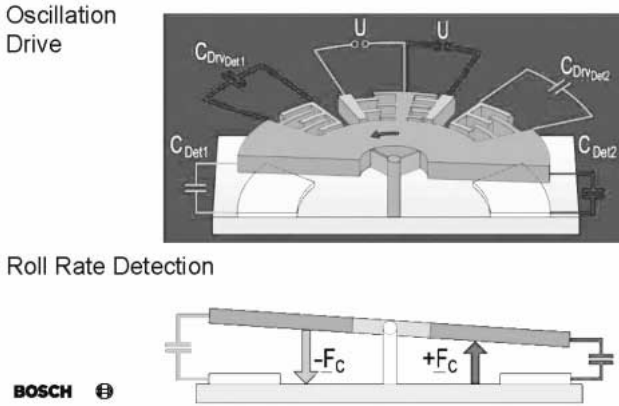


Fig.10 Roll Rate Detection



Fig.11 Tension Line

(3) 加速度センサ(上下方向, 横方向)

乗員の頭部がサイドウィンドウに接触する以前にカーテンエアバッグを展開させる必要があるため、車両のロール角度が小さい初期段階で作動判断を行う必要がある。そのためエアバックコントロールユニットにはロールレートセンサに加えて、車両の上下方向や横方向の加速度を検知する加速度センサを追加し、それらの値によってロールオーバー判定条件(Threshold)を変更している(Fig.8の矢印A)。

3.3 カーテンエアバッグモジュール

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの基本構造は従来のカーテンエアバッグと同様に、エアバックコントロールユニットからの電気信号を受けてバッグを展開するガスを供給するインフレーター、乗員の車外へのはみ出し、放出を防ぎ、車外の路面その他への乗員の衝突を軽減するバッグ、それらを保持し車体へ取り付けのリテーナやブラケット類などから構成される。以下にロールオーバー対応で特に配慮した項目に絞って説明する。

(1) インフレーター(ガス発生装置)

長い内圧保持時間が必要なため、インフレーターはガス温度が低くガス量を多く供給することができるストアードガス(コールドガス)タイプインフレーターを使用している。ガスが室温に近い場合、冷えて圧力が低下することがなく、長時間の圧力保持が可能である。

(2) バッグ

長時間圧力を保持するために、気密性が高いバッグを使用している。また、バック前端および後端を各ピラーの下部に固定することで展開時に車両前後方向の張力を発生させ、バッグの前後端の固定点を結んだライン(テンションライン)を乗員の頭部重心よりも低い位置に設定することによって、乗員頭部が車外へはみ出すことを防止する効果を高めている(Fig.11)。

4. ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの性能・効果

4.1 車外放出防止性能

カーテンエアバッグ展開時のエネルギー吸収特性を評価するインパクト試験(Fig.12)に加えて、乗員の体の一部が車外放出することを抑制する性能を評価した。

車両形状を模擬した治具に、一定時間経過後の保持圧力に設定したカーテンエアバッグを固定し、乗員頭部を模擬した剛体球を落下させる落球試験を行い、乗員の頭部が車外放出される可能性を低減する効果があることも確認した(Fig.13)。



Fig.12 Impactor Test

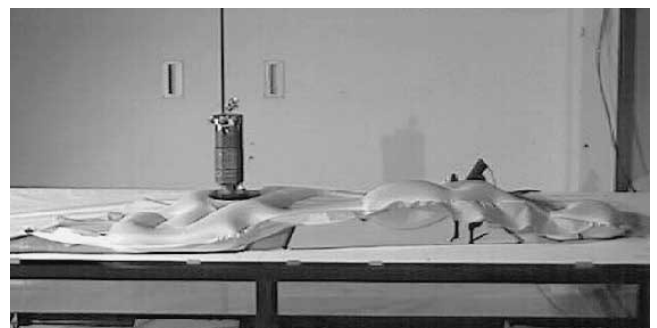


Fig.13 Drop Test

4.2 ロールオーバーセンシング性能/総合性能

市場で起こり得る事故形態すべてを評価することは困難であるため、2.2項で説明した事故分類にしたがって、ADAMSなどのCAEモデルを活用しながら車両挙動の評価を実施した。その上で最も発生頻度の高い事故形態である“トリップオーバー”を主とした評価 (Fig.14) を行い、ロールオーバー事故の際に適切なタイミングでカーテンエアバッグを展開させることができることを確認した。



Fig.14 Trip Over Test

5. まとめ

ロールオーバー事故に対して効果のあるカーテンエアバッグシステムを開発しCX-9に装備することができた。このデバイスはCX-9の衝突安全性能に大きく貢献するものとする。今後も市場事故実態の把握に努め、更なる安全性の向上に努めていきたい。

本開発に当たり御協力を頂きました関係者の方々に対し、誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) NHTSA : Initiatives to Address the Mitigation of Vehicle Rollover (2003) <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/vrtc/ca/capubs/IPTRolloverMitigationReport/>
- (2) Parenteau C S, et. al : Field Relevance of a Suite of Rollover Tests to Real-World Crashes and Injuries, Accident Analysis and Prevention, Vol.35, p.103-110 (2003)
- (3) Viano, D, et al. : Roll Crash Sensing and Safety Overview, SAE Paper, 2004-01-0342 (2004)
- (4) NHTSA : Characteristics of Fatal Rollover Cases, DOT HS 809 438 (2002) <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-30/NCSA/Rpts/2002/809-438.pdf>

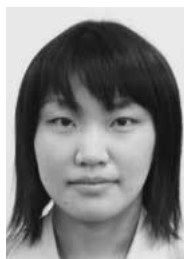
著者



平田基晴



榊田昌史



戸川草代子



徳永利道



川村尚輝



渡辺 努



佐伯秀治