

# 二輪車用エアバッグのための 2 センサ衝突判定手法の開発

Development of Two-sensor Crash Detection Method for Motorcycle Airbag System

小 林 祐 樹\*  
Yuki KOBAYASHI

眞 壁 巧\*  
Takumi MAKABE

## 要 旨

二輪車用エアバッグシステムにおいて、従来システムより少ない2個の加速度センサで衝突判定をおこなう手法を開発した。従来システムでは4個の加速度センサが配置され、複数の出力信号を用いてセーフィング判定をおこなっている。開発した手法ではセンサ出力波形の特徴に着目することによりセーフィング判定を成立させ、2個のセンサのみでシステムを構成した。これにより加速度センサ配置に必要なスペースを縮小させ、配置自由度を向上することができた。

## ABSTRACT

An airbag system for a motorcycle was developed by establishing a crash detection method using two accelerometers, which reduced the number of sensors compared to the previous system. In the previous system, the Safing Judgment method was employed based on signals from four accelerometers. In the newly developed system, the judgment method was established with only two sensors by utilizing the difference in characteristics of the waveforms of sensor outputs. Installation freedom for the sensors was enhanced due to the space for installation gained by the removal of two sensors.

## 1. はじめに

二輪車用エアバッグの研究は1970年代に始められた。エアバッグ展開のトリガとなる衝突検出手法は、エアバッグそのものと同様に重要な技術要素である。従来研究においては、前面衝突時に最初に衝撃が加わる前輪系に着目した衝突判定手法が提案されている<sup>(1)-(3)</sup>。Kuroeらは、左右のフロントフォークに加速度センサを設置したシステムを提案し、大型スクータタイプ二輪車と大型ツーリングモデル二輪車での研究をおこなっている<sup>(4),(5)</sup>。このシステムでは、衝突時の転舵挙動により発生する加速度影響を除去するために左右のセンサ出力を平均化して衝突判定に用いている。この手法を基に、Hondaでは左右それぞれのフロントフォークに2個ずつ、合計4個設置した加速度センサの信号による衝突判定手法を開発した<sup>(6)</sup>。このシステムは2006年に発売したHonda Gold Wingに採用され、世界初のエアバッグシステムとしてリリースされた。Fig. 1にGold Wingに適用されたエアバッグシステムの構成を示す。

このシステムでは、衝突時の転舵挙動の影響低減やフェールセーフのため、4個の加速度センサを利用してい

るが、フロントフォーク上で加速度センサが設置できるスペースは、二輪車の構造に依存するため、このシステムが適用できるモデルは限られる。多くの場合、サスペンション形式(倒立、トレーリングリンク等)、サスペンション長、搭載部品(ブレーキキャリパ等)などにより十分なスペースが確保できない。本研究は、この制約を緩和することを目

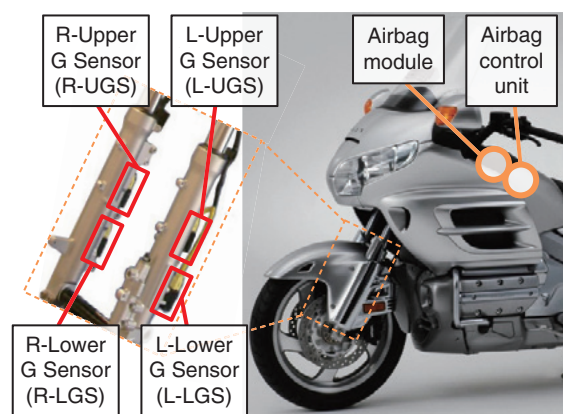


Fig. 1 Configuration of first airbag system for Gold Wing

\*二輪 R&D センター

的とし、左右フロントフォークにそれぞれ1個ずつ、合計2個配置した加速度センサの信号のみによって衝突判定をおこなう手法を確立した。

## 2. 従来の衝突判定システム

Table 1 に、Fig. 1 に示す二輪車の主要諸元を示す。本章ではこの二輪車で取得したデータを使用する。

### 2.1. 衝突判定手法

Fig. 2 に従来のシステムにおける衝突判定手法のブロック図を示す。

R-LGS(Right-Lower G Sensor)、L-LGS(Left-Lower G Sensor)とR-UGS(Right-Upper G Sensor)、L-UGS(Left-Upper G Sensor)の4個の加速度センサにより衝突判定をおこなう。メイン判定(Main Judgment)は、エアバッグを展開させるかどうかを判別する処理である。セーフティング判定(Safing Judgment)は、メイン判定に使用される加速度センサの故障等によりエアバッグが誤作動することを防ぐためのフェールセーフ処理である。

### 2.2. 左右平均化プロセス

従来手法では、左右平均化プロセスにより、衝突初期に発生する転舵挙動が衝突判定におよぼす影響を低減している。転舵挙動の影響低減の例として、ISO13232<sup>(7)</sup>に基づいた二つの衝突条件においてフロントフォークで計測される加速度波形を Fig. 3(a), (b) に示す。この2条件では相手車の速度のみが異なり、(a) は静止している相手車への衝突、(b) は走行している相手車への衝突である。それ以外の条件(二輪車の衝突速度、衝突位置、衝突角度等)は同じである。

Fig. 3(a) の静止している相手車への衝突条件では R-LGS の加速度波形が L-LGS と同等であるのに対し、Fig. 3(b) の走行する相手車への衝突条件では L-LGS の加

Table 1 Specifications of test motorcycle

|                     |                    |       |
|---------------------|--------------------|-------|
| Length              | (mm)               | 2,630 |
| Width               | (mm)               | 945   |
| Height              | (mm)               | 1,525 |
| Wheelbase           | (mm)               | 1,690 |
| Curb mass           | (kg)               | 425   |
| Engine displacement | (cm <sup>3</sup> ) | 1,832 |

速度が R-LGS よりも小さいことが分かる。これは、二輪車に対し横方向に走行する相手車の動きにより、前輪系が右に転舵させられることによるものである。しかしながら、R-LGS と L-LGS の加速度の平均値は双方の衝突条件においてほぼ同じ波形を示している。このように、平均化プロセスによって転舵挙動の影響を低減できる。

### 2.3. セーフティング判定

R-LGS と L-LGS の平均値に基づくメイン判定は、故障等により R-LGS、L-LGS のいずれかが高い加速度を出力すると、誤って衝突と判定をおこなう可能性がある。セーフティング判定は通常走行時のエアバッグ誤作動を防止する目的で設けられている。従来のエアバッグシステムでは左右フロントフォークにメイン判定用とは別にもう1組の加速度センサ(R-UGS、L-UGS)を設置し、その平均値を用いてセーフティング判定をおこなっている。衝突判定はメイン判定結果とセーフティング判定結果の論理積により得られるため、加速度センサ1個の故障等によりいずれかの判定

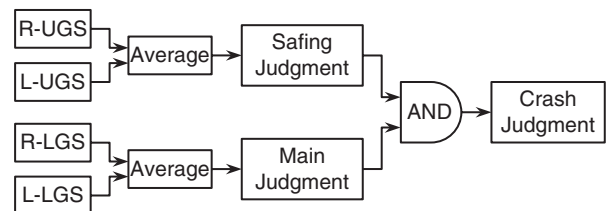


Fig. 2 Block diagram of previous crash detection method

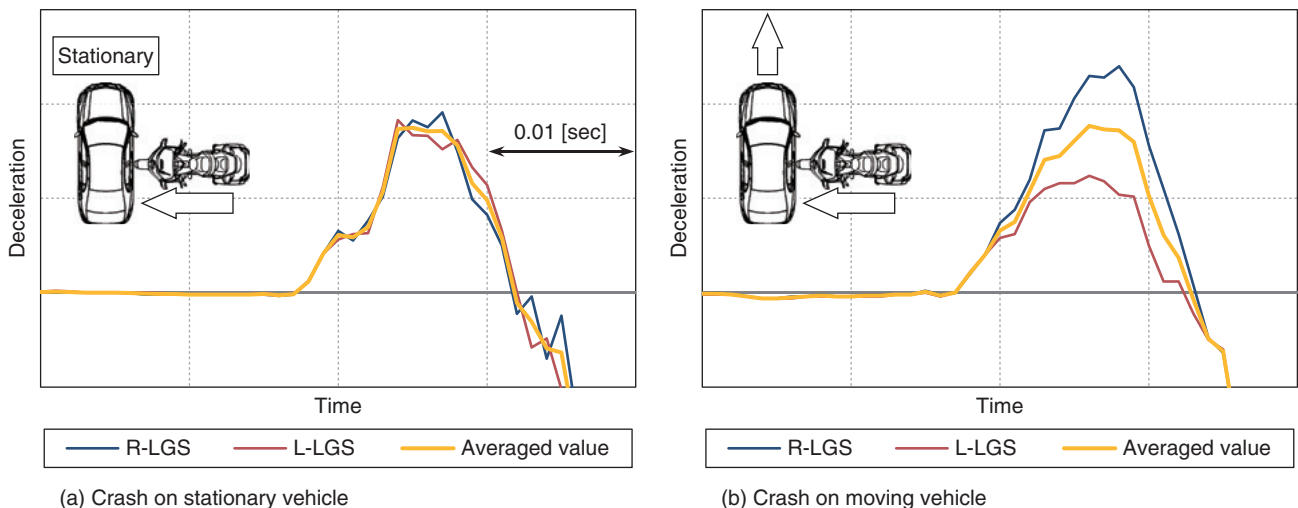


Fig. 3 Comparison of LGS deceleration

処理が誤って衝突と判定しても、他方の判定処理によりエアバッグインフレーターへの誤った作動信号を防止できる。以上に述べてきたセーフイング判定の要求機能をまとめると以下の2点となる。

#### (1) フェールセーフ機能

通常走行においてメイン判定結果が誤ってONとなった場合には、エアバッグが誤作動に至らないようにOFFであること

#### (2) 正常展開阻害の防止

エアバッグが展開すべき状況においてはONとなり、メイン判定結果によるエアバッグ展開を阻害しないこと

これらの要求機能を満たすためには、セーフイング判定に通常走行と衝突を判別する能力が求められる。

### 3. センサ衝突判定システム

本章でも前章と同じ二輪車で計測したデータを使用する。

#### 3.1. 衝突判定手法

2 センサ衝突判定手法のブロック図を Fig. 4 に示す。従来の衝突判定手法に対し UGS を 2 個廃止した。衝突判定は、R-LGS と L-LGS の出力の平均値で計算されるメイン判定結果と、それぞれのセンサの出力で計算されるセーフイング判定結果との論理積により得られる。この場合、例えば R-LGS に出力異常が発生すると、メイン判定結果と R-LGS の出力に基づいて計算される一方のセーフイング判定結果は ON となる可能性がある。しかしながら、L-LGS の出力で計算されるもう一方のセーフイング判定結果が OFF であるため誤作動が回避できる。

2 センサ衝突判定手法のメイン判定処理には構成、手法ともに従来の手法と同様の手法が採られている。したがって、衝突判定性能は従来手法と同等である。しかしながら、セーフイング判定処理に用いる信号には平均化処理がおこなわれず R-LGS と L-LGS の個別の信号を用いておこなわれるため、前述の転舵挙動の影響が避けられない。この課題を解決するために、新たな衝突判定手法を開発する必要があった。

#### 3.2. 左右個別検出加速度でのセーフイング判定

2 センサ衝突判定手法におけるセーフイング判定の要

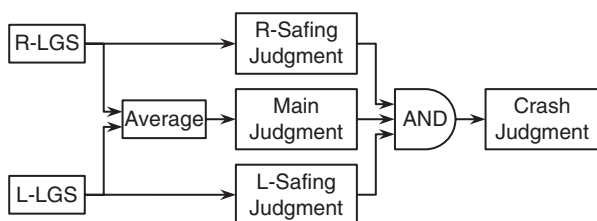


Fig. 4 Block diagram of two-sensor crash detection method

求機能は従来手法と同じ基準で設定されている。したがって、通常走行と転舵挙動の影響を受ける衝突の判別が求められる。通常走行には悪路走行が含まれる。悪路走行時の検出波形を Fig. 5 に示す。この悪路には、アスファルト路面上の陥没部分（ポットホール）があり、加速度ピーク ( $G_0$ ) はこのポットホールを通過した際に検出されている。

これに対し、転舵挙動を伴う衝突の例として、左に転舵した状態で停止中の二輪車に相手車が衝突する場合を考える。このときの検出波形を Fig. 6 に示す。なお、Fig. 5 と Fig. 6 の縦軸スケールは同一である。

この波形では、R-LGS と L-LGS で計測された加速度には差異が生じる。衝突により二輪車の前輪系がさらに左に転舵され、L-LGS の検出加速度ピークは R-LGS の検出加速度ピーク ( $G_1$ ) の約 2.2 倍となる。 $G_1$  は Fig. 5 に示す加速度ピーク ( $G_0$ ) と同等レベルである。したがって加速度波形のピーク比較のみでの判別は困難であることがわかる。

#### 3.3. 検出加速度の周波数特性

Fig. 5 に示した悪路走行波形のうち、ピーク値近傍の波形を Fig. 7 に示す。悪路走行時の検出波形は減衰振動を示すことがわかる。

計測した波形のスペクトログラムを Fig. 8(a), (b) に示す。縦軸は周波数、横軸は計測時間を示し、スペクトル密

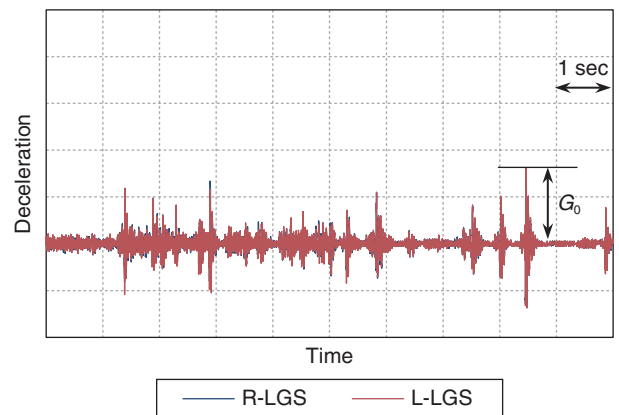


Fig. 5 Deceleration time history in rough road running

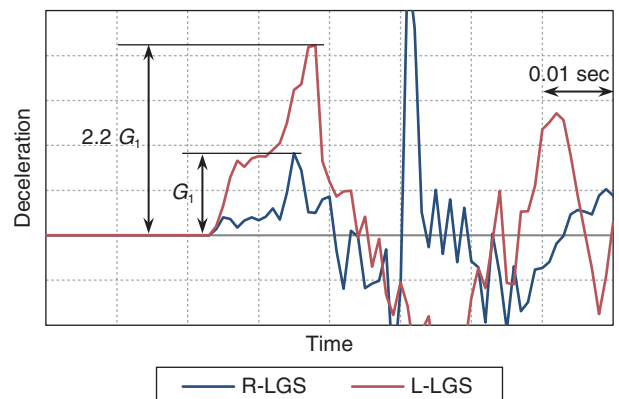


Fig. 6 Deceleration time history in steered collision

度を色で表す。

悪路走行では、前輪系が路面の凹凸に応じたランダムな加振入力を受けるが、スペクトログラムは約 0.02 kHz の一定の低周波領域に高いスペクトル密度を示している。この周波数は前輪系の前後方向の固有振動周波数とほぼ合致する。加速度センサの感度指向性の設定方向がフロントフォークのストローク方向と直交しているため、路面凹凸を吸収するフロントフォークストロークに起因する加速度はほとんど検出されない。一方で、片持ち梁構造の前輪系は、路面凹凸によりストローク方向と直交する前後方向に加振される。この悪路走行時の振動周期は路面凹凸に依らず前輪系特性により決定される。同様の周波数分析を、転舵挙動を伴う衝突時の計測波形についてもおこなった。Fig. 9(a), (b) に示す。

転舵挙動を伴う衝突時のフロントフォークは弾性域を超えて変形するため、検出波形はその固有振動によらない。その結果、スペクトル密度の高い領域は 1.0 kHz 以下に広く分散している。

#### 3.4. 変位加速度線図特性

3.3. 節に述べた検出波形解析から得られた特徴を用いた衝突判別手法の構築を試みた。そのため、近似波形を用いて論理的な検討をおこなった。セーフィング判定結果は、悪路走行中、常に OFF でなければならないことから、Fig. 7 の減衰振動全体を近似対象にする必要がある。一方で衝突時には初期に発生する加速度のみで ON 判定をおこなうため、この初期の波形のみを近似することとした。

悪路走行中の検出波形は減衰振動を示すことから式 (1) で近似した。

$$m\ddot{x} = -kx - c\dot{x} \quad (1)$$

ここで、

$m$  : Mass

$k$  : Spring constant

$c$  : Damping coefficient

とした。

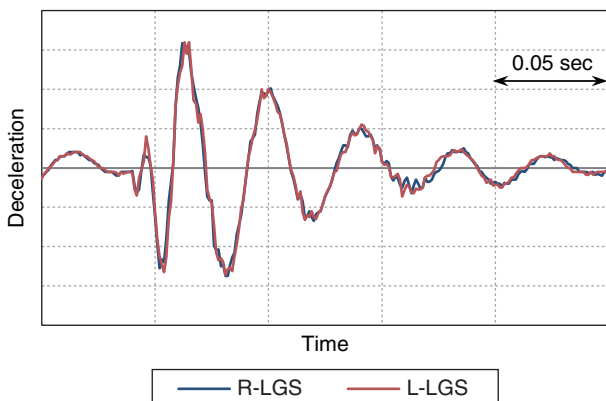
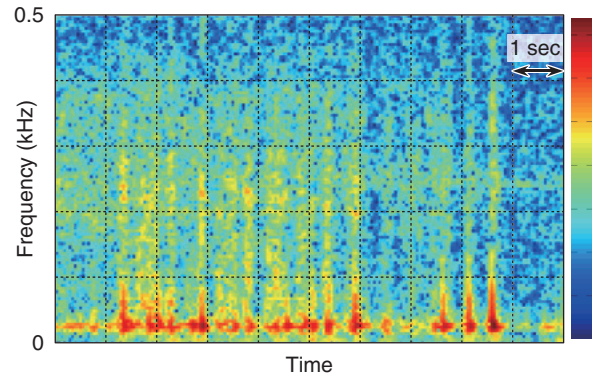
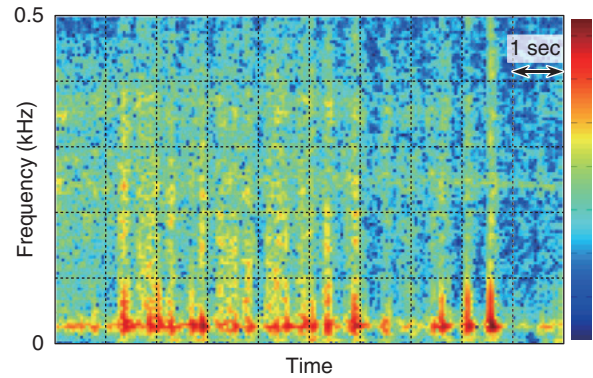


Fig. 7 Oscillation waveform of front suspensions

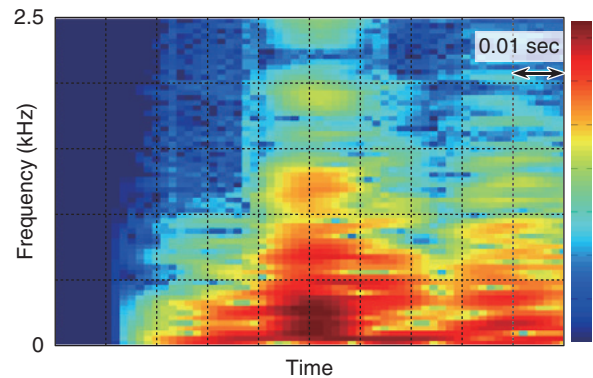


(a) R-LGS

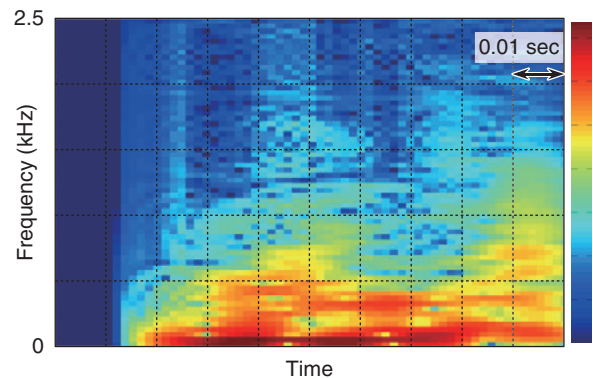


(b) L-LGS

Fig. 8 Spectrogram of waveform of deceleration measured during rough road running



(a) R-LGS



(b) L-LGS

Fig. 9 Spectrogram of waveform of deceleration measured in steered collision

初期位置  $x(0)$  を 0, 初速  $\dot{x}(0)$  を  $v_0$  とすると, 実数解は,

$$x(t) = \frac{v_0}{\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0} e^{-\zeta\omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0 t) \quad (2)$$

$$\dot{x}(t) = \frac{v_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_0 t} \cos(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0 t + \phi) \quad (3)$$

$$\ddot{x}(t) = -\frac{v_0\omega_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_0 t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0 t + 2\phi) \quad (4)$$

ここで,

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)$$

である.

実走行試験計測結果から各パラメータを決定し Fig. 10 に示す近似波形を得た. 減衰係数  $\zeta$  は 0.08 であった.  $\zeta \ll 1$  から  $\phi \approx 0$  とすると式 (2) と式 (4) より式 (5) が得られる.

$$\ddot{x}(t) \approx -\omega_0^2 x(t) \quad (5)$$

すなわち, 加速度は変位に対しほぼ逆位相の振動となる.

一方で, 転舵挙動を伴う衝突の検出波形は式 (6) のハーフサイン波で近似した.

$$\ddot{x}(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ a_0 \sin \omega t & (0 \leq t \leq \pi/\omega) \end{cases} \quad (6)$$

変位は式 (7) で表される.

$$x(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ a_0 (\omega t - \sin \omega t) / \omega^2 & (0 \leq t \leq \pi/\omega) \end{cases} \quad (7)$$

定数  $a_0$ ,  $\omega$  を式 (4) の減衰振動と同等としたときの Fig. 6 の R-LGS に対する近似波形を Fig. 11 に示す. これらの近似波形についての変位加速度線図を Fig. 12 に示す. 横軸が変位, 縦軸が加速度を表している. 変位と加速度が逆位相となる減衰振動は第 2, 第 4 象限に分布する. 一方

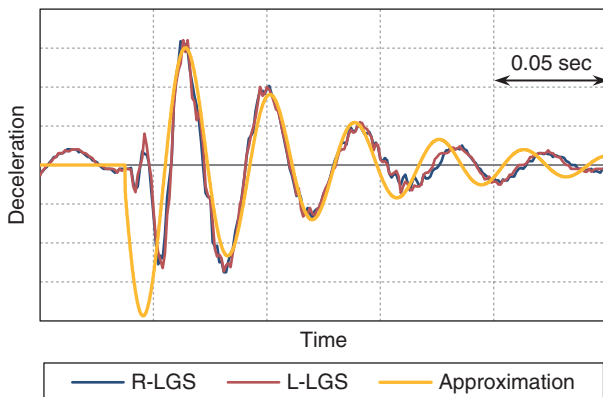


Fig. 10 Approximation of oscillation of front suspensions

でハーフサイン波は変位が単調増加となるため第 1 象限に分布する.

この特性を利用し, 変位加速度平面の第 1 象限内に適切な閾値ラインを設定することで悪路走行と転舵挙動を伴う衝突の判別が可能となる.

### 3.5. 衝突判定への適用

2 センサ衝突判定に適用したセーフニング判定のブロック図を Fig. 13 に示す. 変位 ( $\Delta S$ ) は短時間積分により計算

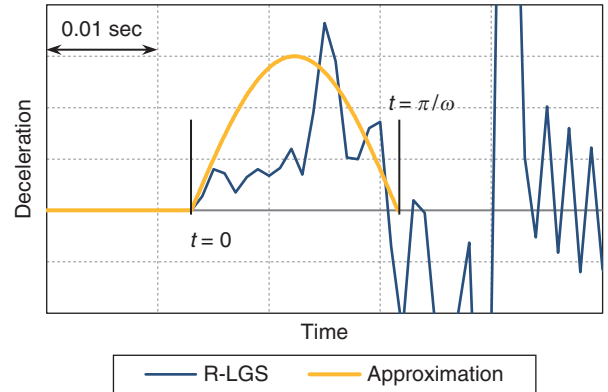


Fig. 11 Approximation of deceleration of steered collision

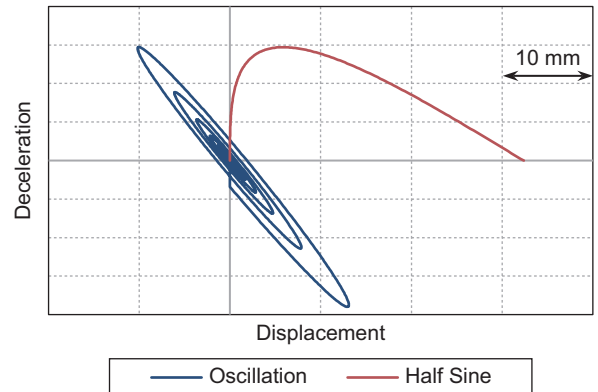


Fig. 12 Displacement-Deceleration curves of approximations

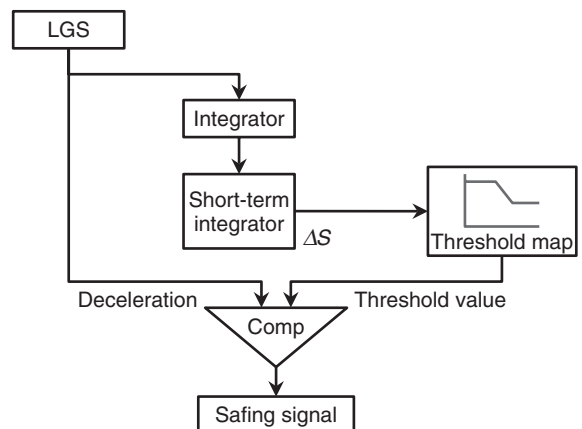


Fig. 13 Block diagram of Safing Judgment for two-sensor crash detection system

することとした。式(4)の減衰振動の変位( $\Delta S$ )は、 $\zeta \ll 1$ より $\phi \approx 0$ とすると、積分区間( $T_0$ )を用いて以下のように表される。

$$\begin{aligned}\Delta S(t) &= \int_{t-T_0}^t \dot{x}(t) dt \\ &= \frac{v_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_0 t} \sin\{\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0 t - \alpha(T_0)\} \quad (8)\end{aligned}$$

ここで、

$\Delta S$  : Displacement

$T_0$  : Interval of short-term integration

$$\sin\{\alpha(T_0)\} = -\left|\cos\left(\frac{\omega}{2}T_0\right)\right|$$

$$\cos\{\alpha(T_0)\} = \left|\sin\left(\frac{\omega}{2}T_0\right)\right|$$

とした。短時間積分(Short-term integrator)に用いる積分区間( $T_0$ )は、変位( $\Delta S$ )が式(4)で表される加速度波形の逆位相になるように、前輪系の固有振動数から決定する。

$$T_0 = \frac{\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}\omega_0} \quad (9)$$

悪路走行と転舵挙動を伴う衝突の計測データの変位加速度線図および判定閾値ラインを Fig. 14 に示す。変位加速度平面において、第1象限(変位、加速度が共に正)上のプロットは前輪系が中立位置よりも後退領域にあり、かつ減速する状態にあることを表している。この領域では前輪系の変形が塑性域に達するような衝撃が印加されていると判断できるため、ON 判定領域と設定し、Fig. 14 に示す閾値ラインを設定した。悪路走行時と転舵挙動を伴う衝突時ではピーク加速度が同等レベルに達するが、変位加速度平面上ではこの二つの事象が判別できる。

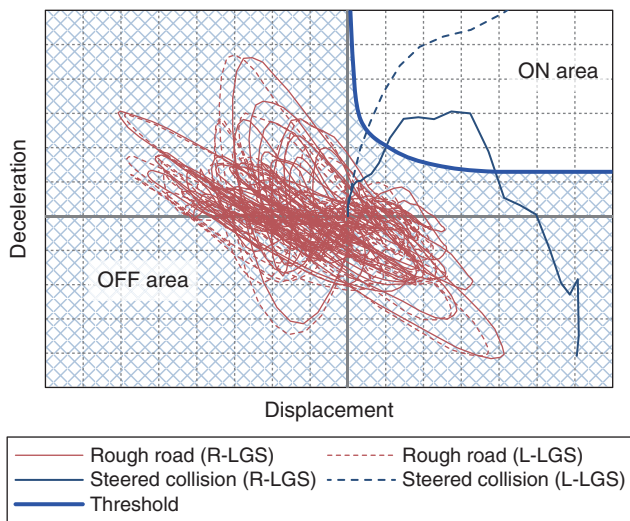


Fig. 14 Displacement-Deceleration curves and threshold of two-sensor Safing Judgment

Table 2 Evaluation result of two-sensor Safing Judgment

| Configurations    | Result          |            |                 |            |     |
|-------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----|
|                   | Main Judgment   |            | Safing Judgment |            |     |
|                   | Previous method | Two-sensor | Previous method | Two-sensor |     |
|                   |                 |            |                 | R          | L   |
| Rough road        | OFF             | OFF        | OFF             | OFF        | OFF |
| 413-0.0/13.9*     | ON              | ON         | ON              | ON         | ON  |
| 413-6.9/13.9*     | ON              | ON         | ON              | ON         | ON  |
| Steered collision | ON              | ON         | ON              | ON         | ON  |

\*Impact configuration codes defined in ISO 13232

Table 3 Specifications of large scooter

|                     |                    |       |
|---------------------|--------------------|-------|
| Length              | (mm)               | 2,185 |
| Width               | (mm)               | 750   |
| Height              | (mm)               | 1,180 |
| Wheelbase           | (mm)               | 1,545 |
| Curb mass           | (kg)               | 204   |
| Engine displacement | (cm <sup>3</sup> ) | 248   |

## 4. 検証

3章で述べた大型ツーリングモデル二輪車での加速度計測結果を用い、従来手法と2センサ衝突判定手法それぞれの判定結果を比較した(Table 2)。いずれの条件でも従来手法同等の結果が得られた。さらに、大型スクータに対してもこの手法の検証を実施した。この供試車両の主要緒元を Table 3 に示す。

大型ツーリングモデルとは異なり、大型スクータではトップブリッジが無く、小径のホイールを採用している。しかしながら悪路走行テストで得られる波形は同様の減衰振動を示している(Fig. 15)。

前輪系構成の差異から減衰振動のパラメータは異なるものの、大型ツーリングモデル同様の変位加速度線図が大型スクータについても得られた(Fig. 16)。

これらの結果により、本手法は大型スクータタイプ二輪車にも適用可能であることが示された。

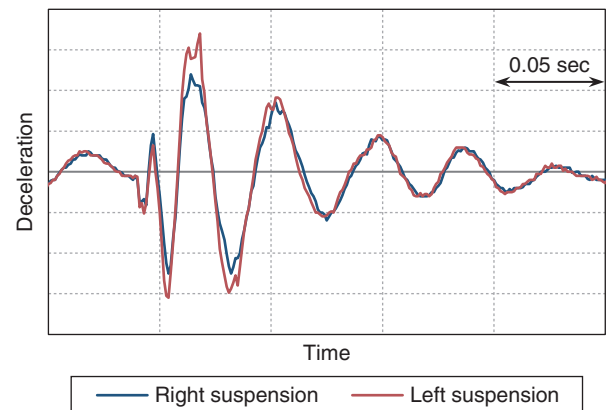


Fig. 15 Oscillation waveform of front suspension of large scooter during rough road running

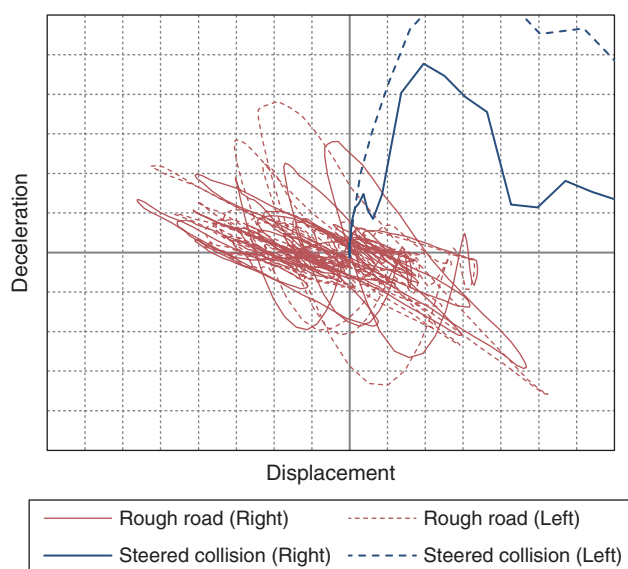


Fig. 16 Displacement-Deceleration curves measured in large scooter

## 5. まとめ

振動挙動解析により、悪路走行時および衝突時の二輪車前輪系運動の特徴分析をおこない、悪路走行時には減衰振動波形が検出されることを利用した2センサ衝突判定手法を開発した。大型ツーリングモデルで計測したデータを用いて、従来の衝突判定手法との比較をおこない、同等の判別性能が得られることを確認した。大型スクーターで計測したデータに基づいて、この衝突判定手法が異なる前輪系構成を持つ二輪車にも適用可能であることを示した。

## 参考文献

- (1) Spornier, A., Langwieder, K., Polauke, J.: Development of a Safety Concept for Motorcycles - Results From Accident Analysis and Crash Tests, 11th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, p.835-842(1987)
- (2) Chinn, B. P., Okello, J. A., McDonough, P. J., Grose, G.: Development and Testing of a Purpose Built Motorcycle Airbag Restraint System, 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, p.1167-1188(1996)
- (3) Iijima, S., Hosono, S., Ota, A., Yamamoto, T.: Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle, 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, p.2260-2278(1998)
- (4) Kuroe, T., Iijima, S., Namiki, H.: Exploratory Study of an Airbag for a Large Scooter-Type Motorcycle,

5th International Motorcycle Conference 2004(2004)

- (5) Kuroe, T., Namiki, H., Iijima, S.: Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle: Further Research Second Report, 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper Number 05-0316(2005)
- (6) 飯島聡:二輪車用エアバッグシステムの開発, Motor Ring, Vol. 25(2007)
- (7) ISO13232 2005(E): Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles -

## ■ 著 者 ■



小林祐樹



眞壁 巧