

# ⑩ 交通事故発生シミュレーションプログラムのための 車両モデルについて

自動車安全研究領域 ※高木 俊介 廣瀬 敏也 森田 和元 松島 和男

## 1. はじめに

本稿は、交通事故発生シミュレーションプログラムを作成するために必要な車両のモデルについて記述する。プログラムでは、仮想の交通流上を車両がドライバの運転操作量をもとにして時々刻々と位置を変化させる。この車両モデルは、必要な予防安全支援システムを評価できるように車両の特性を設定することが可能なものとして、今回はブレーキアシスト (BA) の評価が可能なモデルを構築する。

## 2. 計算アルゴリズム

### 2. 1 車両モデル概要

車両モデルは、交差点に仮想のラインを引き、直進・右折・左折を行うことが可能なものとする。したがって、ライン上を走行するために車両モデルは、前後方向に自由度をもち、BA の効果評価を行うために前輪・後輪の回転を考慮した 3 自由度の等価二輪車モデルとした。ただし、ピッチ角は、考慮しないが荷重移動による制動力の変化を考慮するものとした。

最初に制動時のタイヤと車両の運動方程式を記述する。その後計算方法の概要について説明する。

### 2. 2 制動時のタイヤの運動方程式

タイヤの運動方程式は、タイヤと地面が接地していることにより、摩擦力が生じるものとし、式(1)に示した(Fig.1 参照)。なお、Fig.1 は、タイヤの制動方向の力および回転方向に生じるトルクを正とし、図中には制動時の力、トルクを示している。タイヤの回転を止める制動トルク  $T_{brake}$  は、ブレーキ踏力が発生することにより、マスターシリンダ圧、ホイールシリンダ圧が上昇することにより生じる。Table 1 に本稿で使用する記号を示す。

式(1)を用いることで制動トルク  $T_{brake}$ 、路面からの摩擦力  $F$  によって生じる摩擦トルク  $F \cdot r$ 、車輪の慣性トルク  $I\ddot{\theta}$  の関係から車輪回転角速度  $\dot{\theta}$  を求め、タイヤ回転半径を乗じることにより路面との接地面における車輪回転速度を求める。また、式(2)を使用することによりスリップ率<sup>(1)</sup>を求めるものとした。

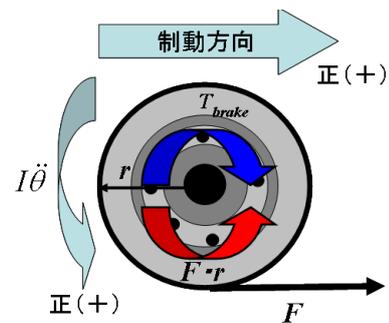


Fig.1 制動時におけるタイヤ部に生じる力とタイヤの回転軸周りのトルクの関係

$$I\ddot{\theta} = F \cdot r - T_{brake} \dots (1)$$

$$S = \frac{V_{vehicle} - V_{wheel}}{V_{vehicle}} \dots (2)$$

### 2. 3 制動時の車両の運動方程式

Fig.2 は、車両に作用する力を示す。タイヤの前輪・後輪の各車輪には、垂直荷重と制動力が働くものとした。車両の垂直荷重が前輪および後輪の合計と等しく (式(3)参照)、またスリップ率に対応する摩擦係数を求めることにより、Fig. 2 の車両の重心周りに関する運動方程式 (式(4)参照) を解き、前輪・後輪の各車輪の制動力を求める。車両の減速度は、式(5)を使用することにより、式(6)として求

められる。車両の位置は、車両の減速度を積分することにより得るものとした。

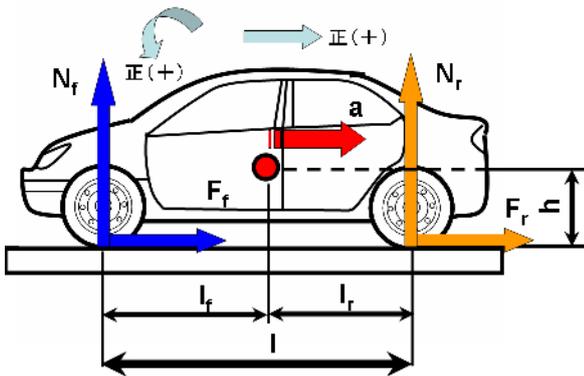


Fig.2 車両に作用する力

$$N_f + N_r = M \cdot g \quad \dots (3)$$

$$N_f l_f - F_f h - N_r l_r - F_r h = 0 \quad \dots (4)$$

$$M \cdot a = F = F_f + F_r \quad \dots (5)$$

ただし、 $a$ は減速度を正 (+) とする

$$a = g \cdot \left( \frac{\mu_f \cdot l_r + \mu_r \cdot l_f}{l - h \cdot (\mu_f - \mu_r)} \right) \quad \dots (6)$$

Table 1 車両モデルに使用する記号

記号	記号の説明
$I$	車輪の慣性モーメント ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
$\theta$	車輪回転角 ( $\text{rad/s}$ )
$F \cdot r$	摩擦トルク ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )
$T_{\text{brake}}$	制動トルク ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )
$F$	制動力 (N)
$S$	スリップ率
$V_{\text{vehicle}}$	車両速度 (m/s)
$V_{\text{wheel}}$	車輪回転速度 (m/s)
$r$	車輪回転半径 (m/s)
$a$	車両減速度 ( $\text{m/s}^2$ )
$h$	車両重心高 (m)
$l$	ホイールベース長さ (m)
$l_f$	重心から前輪までの長さ (m)
$l_r$	重心から後輪までの長さ (m)
$N_f$	前輪垂直荷重 (N)
$N_r$	後輪垂直荷重 (N)
$F_f$	前輪制動力 (N)
$F_r$	後輪制動力 (N)

## 2. 4 計算方法の概要

Fig.3 は、車両モデルの情報線図を示す。車両モデルは、ドライバからのブレーキ踏力、ブレーキ踏み速度を入力して制動トルクを発生させる。ここで、ブレーキ踏力と制動トルクとの関係は、実験結果より算出する。つぎに式(1)より車輪の慣性トルク  $I\ddot{\theta}$  を計算し、車輪の回転速度を得る。さらにスリップ率、タイヤと路面との摩擦係数を計算して車両の制動力  $F$  および減速度  $a$  を求め、車体の位置座標を得る計算を繰り返す。なお、この制動力  $F$  は、式(1)の計算で使用する。

ここでブレーキ踏力、ブレーキ踏み速度は、ドライバモデルからの入力として毎時刻与えられる。本車両モデルの BA は、ブレーキ踏み速度により、BA を搭載した車両が BA の作動および非作動の判定を行う。

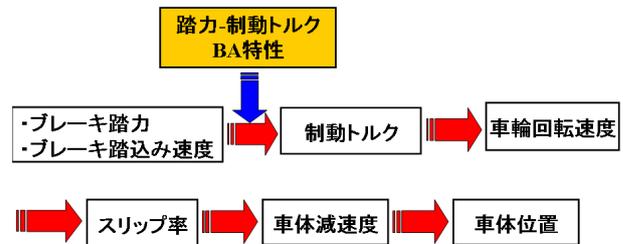


Fig.3 車両モデルの情報線図

つぎに、タイヤが路面から受ける制動力は、垂直荷重に摩擦係数をかけた値となるが、この摩擦係数は、スリップ率によって変動する。ここで、スリップ率は、車輪回転速度と車体速度との関係で求められる (式(2))。実際の計算にあたっては、一時刻前の車輪回転速度と車体速度からスリップ率を求め、このスリップ率から摩擦係数を算出する。スリップ率と摩擦係数との関係は後述する。摩擦係数から制動力を求めることが可能となるため、この値と制動トルクとの値を用いて、式(1)より車輪回転角速度を求めることが可能となる。この値にタイヤ回転半径を乗じることにより、現時刻での車輪回転速度が求められる。

また、摩擦係数が求められたならば、式(6)により車両の減速度を求めることができ、最終的に車両の位置情報が得られる。以下、毎時刻ごとにこの計算を繰り返す。

## 2. 5 ブレーキアシスト<sup>(2)</sup>

本車両モデルは、踏み込み速度検知型の BA を採用し、踏み込み速度が作動閾値を超えると BA が作動するものとした。BA は、制動トルク  $T_{brake}$  が増加し、ABS が早く作動するようにドライバを支援するシステムである(Fig.4 にその一例を示す)。Fig.4 の実験結果や今回行った実験結果を利用し、BA を使用した際の制動トルクの特性を事前に決定しておく必要がある。

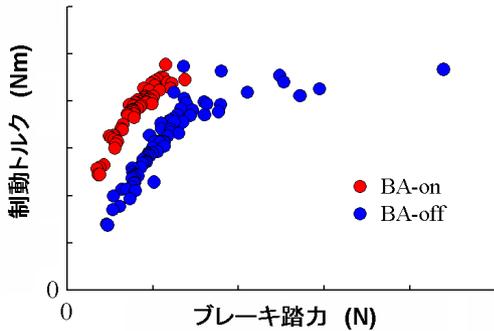


Fig.4 BA の作動および非作動における制動トルクの差異

## 3. 車両モデルに関する実験

### 3. 1 実験概要

本実験は、前述した車両モデルに必要なデータを取得するため、ブレーキ踏力、車体速度、車体減速度、シリンダ圧、前輪・後輪のタイヤに加わる 6 分力（並進力 3 方向・トルク 3 軸）のデータを取得した。本実験は、アスファルト乾燥路面にて実験を行い、車両は国産乗用車（車両重量 1900kg、排気量 2.5 l）を使用した。Table 2 は、各々の実験条件を示す。6 分力計はキスラー社製 KISTLER P625 を使用した(Fig.5 参照)。

実験方法は、プロドライバが実験車両を運転し、目標の速度に達したときに、目視用の加速度計を使用し、目標の減速度を出すように指示した。

Table 2 実験条件

		目標速度 (km/h)		
		20	40	60
目標減速度 (m/s <sup>2</sup> )	1	●	-	-
	2	●	●	●
	3	●	-	-
	5	-	●	●
	7	-	●	●
	F*	-	●	●

\*F: Full brake



Fig.5 実験装置 (6 分力計)

## 3. 2. 実験結果

Fig.6 は、実験結果の一例（速度 60 km/h、減速度 7 m/s<sup>2</sup>）を示す。それぞれ

- (a) 時間-車体速度, 車体減速度
- (b) ブレーキ踏力-車体減速度
- (c) 時間-前輪垂直荷重  
-後輪垂直荷重
- (d) 時間-ブレーキ踏力  
-マスターシリンダ圧  
-ホイールシリンダ圧
- (e) ブレーキ踏力-摩擦トルク  
-マスターシリンダ圧  
-ホイールシリンダ圧
- (f) 時間-摩擦トルク  
-車輪回転速度
- (g) スリップ率-摩擦係数

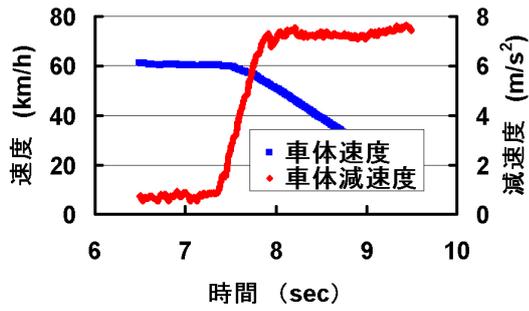
を示す。このうち、(g) スリップ率-摩擦係数の関係を車両モデルのシミュレーションで使用する。

## 4. これからの課題

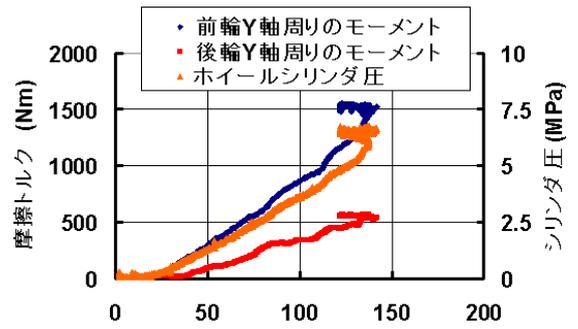
3 自由度の車両モデルの計算方法と必要なパラメータについて述べた。なお、制動時以外の加速時、アクセルペダルオフによるエンジブレーキ時については、より単純なモデルで構成することを考えている。今後は全体のシミュレーションプログラムの中で、本車両モデルが車両運動を再現できることを確認する予定である。

## 5. 参考文献

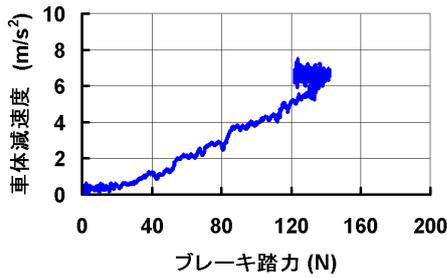
- (1)自動車技術ハンドブック 第1分冊基礎・理論編, 152-153, 2004.
- (2) 成波, 谷口哲夫, 波多野忠, 廣瀬敏也, 緊急時のブレーキアシスト装置の効果評価について, 自動車技術会秋季大会, 15-20, 2006.



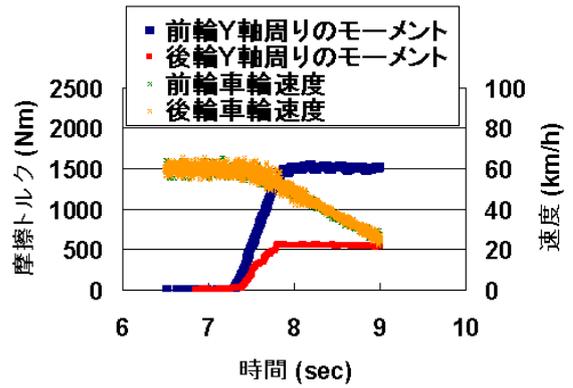
(a) 時間—車体速度  
時間—車体減速度



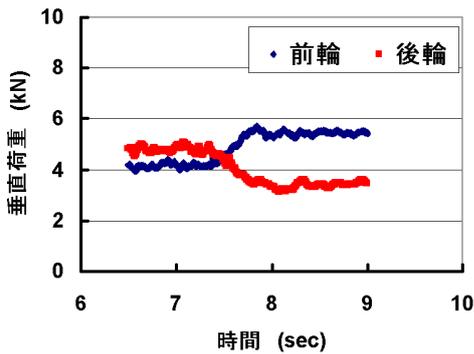
(e) ブレーキ踏力—摩擦トルク  
ブレーキ踏力—ホイールシリンダ圧



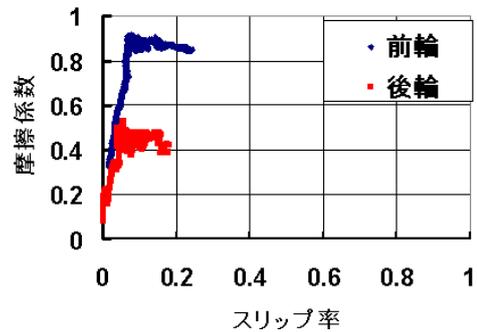
(b) ブレーキ踏力—車体減速度



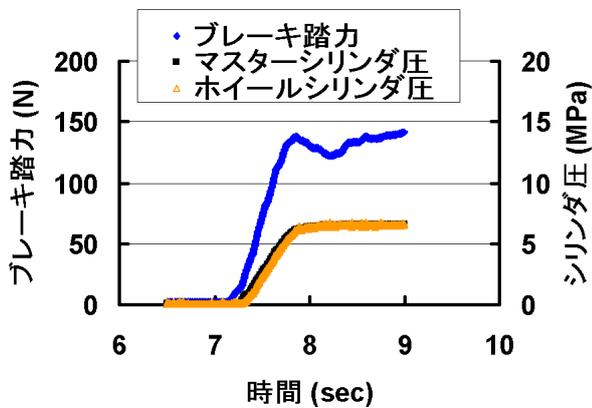
(f) 時間—摩擦トルク  
時間—車輪回転速度



(c) 時間—前輪垂直荷重  
時間—後輪垂直荷重



(g) スリップ率—摩擦係数



(d) 時間—ブレーキ踏力  
時間—マスターシリンダ圧  
時間—ホイールシリンダ圧

Fig.6 実験結果例