

高精度ABSリアルタイムシミュレータ

ABS Real Time Simulator

網江	岳朋	Taketomo Amie
神山	尚也	Naoya Kamiyama
橋本	欣和	Yoshikazu Hashimoto
渡辺	秀夫	Hideo Watanabe



要 旨

自動車の走行性能、快適性が向上し、近年は安全性への関心が高まってきている。こうした背景から、ABS、トラクションコントロール、エアバックなどの安全技術が急速な拡がりを見せている。この中で、ABSも標準装着される車種が増え、かつ各種の走行状態での性能がより高い次元で求められてきているため、評価にかかる工数が増加している。

この評価の効率化の手段としてシミュレーションがあるが、近年のABSに求められる各種走行状態を評価するためには、多様な走行条件で車両の2次元運動のシミュレーションが必要である。

本稿では、高速なプロセッサを複数個用いて2次元のシミュレーションを可能とし、且つ、多様な車両への適応性があり、使い易いユーザインターフェイスを備えたABSリアルタイムシミュレータを開発したので紹介する。

Abstract

With current great improvements in the running performance and comfortability of the automobiles, people's eye has now shifted its focus onto the safety of the cars. This on-going trend has led to the development of the technology in the safety devices such as ABS, traction controls and air bags. Prior to marketing of the ABS systems, evaluations of their performance and safety (elaborate and enormous-time-consuming) are implemented.

As a method of the evaluations, "simulators" are used. The simulators must be capable of simulating versatile environment conditions for testing of new-coming ABS system in order to comply with the highest criteria required of the ABS units.

In this thesis, we introduce our new-developed "ABS REAL TIME SIMULATOR". The virtue of our new simulator is that it can simulate any virtual-car-environment desired by evaluation engineer(user) and its easy-to-use features. This amazing all-round simulator has come into existence with the adoption of high speed processors which enables ABS simulations with the highest accuracy.

1. はじめに

ABS (Antilock Brake System) は、急制動時に、車輪がロックし、車両の安定性や操舵性が失われないように、ブレーキ圧を調整する装置である。ABSの主要部品は、図-1に示すように、ECU (Electric Control Unit)、ABSアクチュエータ、スピードセンサである。ECUは、スピードセンサの信号から各車輪の状態を検出し、ABSアクチュエータのソレノイドを駆動し、各車輪に印可するブレーキ圧が適正值となるように制御する。

ABSの性能評価は実車を用いて、乾燥アスファルト、湿潤アスファルト、圧雪路、氷結路、砂利路など、実際に存在する様々な路面で、直進制動、旋回制動、レーンチェンジなど様々な運転方法で行う。路面状態は一様ではないので、何度もくり返し試験を行う必要があるため、多大な工数を要する。

ここで紹介するシミュレータは、実際のECUと接続し実時間で車両の運動を計算し、実車のABS制動試験を模擬するものである。従来のシミュレータでは、前記のような多様な条件下でABSの性能を評価できなかった。しかし、近年のマイクロプロセッサ技術の向上で上記の条件での演算を実時間で処理することが可能になった。以下に、ABSリアルタイムシミュレータの概要について述べる。

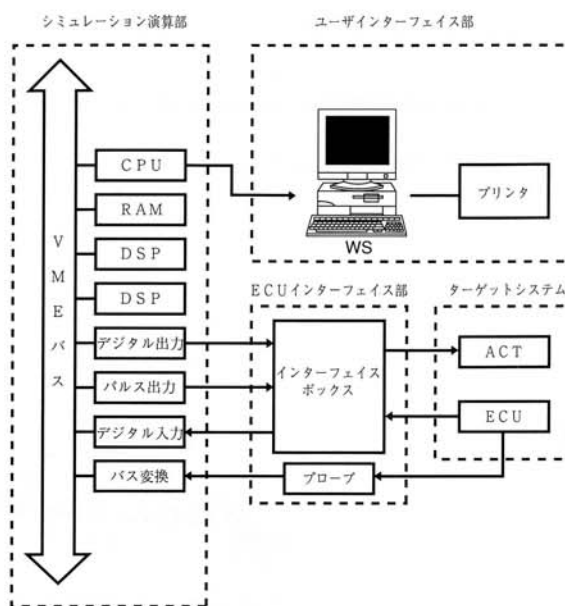


図-2 ハードウェア構成
Fig.2 Block diagram of hardware

2. システム

2. 1. ハードウェア

ハードウェアは図-2に示すように、ユーザインターフェイス部、シミュレーション演算部、ECUインターフェ

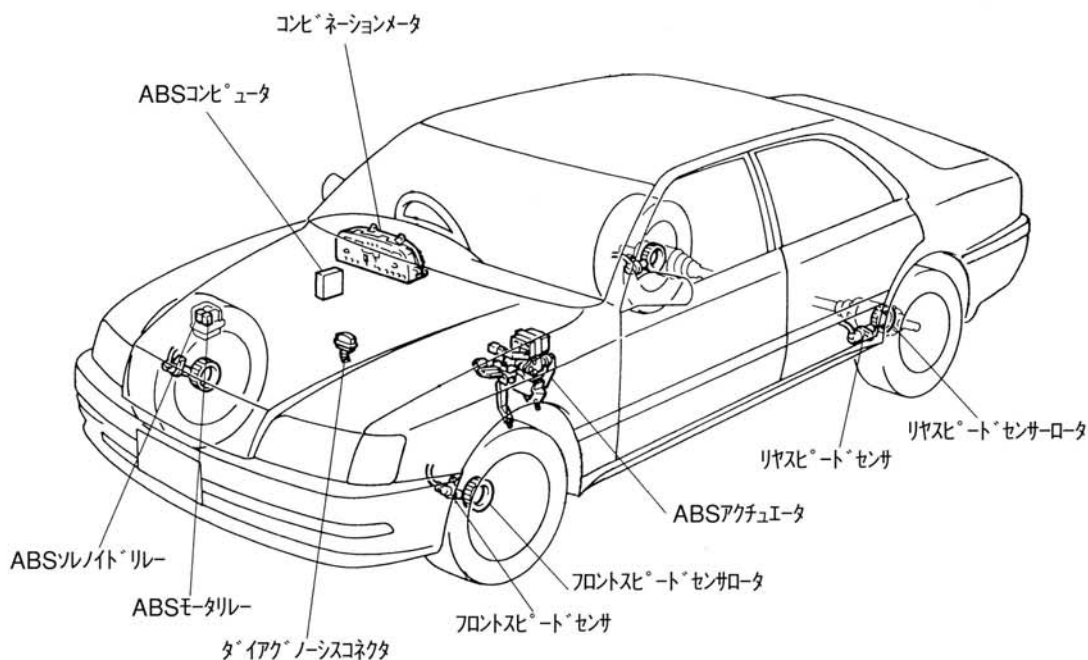


図-1 ABSの構成
Fig.1 ABS configuration

イス部の3つで構成する。

ユーザインターフェイス部は、各種条件設定、実行結果表示などを行う部分である。大量のデータを高速に処理し、かつ、グラフィカルに描画する必要性からワークステーションを用いた。

シミュレーション演算部は、次章にて詳述するが、ユーザインターフェイス部で設定した条件でシミュレーションモデルの演算をリアルタイムで実行し、結果を格納する部分である。システムの拡張性と信頼性から、VMEバス規格のボードで構成した。ユーザインターフェイス部とシミュレーション演算部はLANで接続しデータ通信を行う。

ECUインターフェイス部は、ターゲットとなるシステム（ECU、アクチュエータ）と、シミュレーション演算部の入出力ボードとの間で信号レベル変換を行うインターフェイスボックスと、ECUのRAM値を読み出すプローブから成り、ターゲットシステム別のハードウェアである。

2. 2. ソフトウェア

図-3に示すように、ワークステーションにはモデル管理、シミュレーション条件管理、シミュレーション実行、結果表示の各ソフトウェア、VMEシステム上に、演算実行、データサンプリングのソフトウェアを実装している。今回開発したユーザインターフェイスおよびシミュレーションモデルについて4章、5章にて詳述する。

3. シミュレーション演算部

3. 1. モデルの演算

VMEシステムにはCPUボード（モトローラ製16bitマイコンMC68040、1個）1枚とDSPボード（日立造

船製 32bitDSP TMS320C40、2個）2枚を実装している。ワークステーションで設定したシミュレーション条件は、CPUボードを介してDSPボードへ送られ、これらの情報を元に4個のDSPが並列にシミュレーションモデルの演算を行う。

ターゲットシステムとの入出力は、高速のI/Oが必要なものはDSPが直接入/出力し、低速で良いものはCPUがI/Oを担当している。CPUと4個のDSPは共通のRAM領域を持ち、これを用いて変数、情報の交換をしている。また、CPUはシミュレーション中の変数をワークステーションに送ることが出来るので、任意の変数のリアルタイムモニタが可能である。

3. 2. 入出力

今回のABSのシミュレーションモデルではデジタル入出力とパルス出力を使っている。デジタル入出力は、市販のボードを用いECUの入力信号であるブレーキ信号を出力し、出力信号であるソレノイド駆動信号を入力している。

パルス出力は、車輪速センサの信号を矩形波でECUに与えるものである。従来、図-4（a）のようにパルス出力はD/A変換でいったんアナログ電圧に変換した後、V/F変換で、パルスに変換していた。しかし、この方法では、電圧がドリフトした場合、正確な車輪速パルス周波数を出力しなくなる。このため、図-4（b）のようにデジタル値をそのまま周波数に変換するボードを開発した。

ECUのRAM値を計測するためのバス変換ボードは、ECUのCPU毎に交換するプローブと連動して動作するもので、これらは自社のECUに合わせ開発したものである。

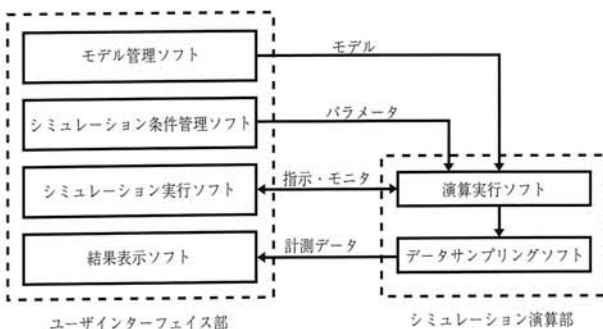


図-3 ソフトウェア構成
Fig.3 Block diagram of software

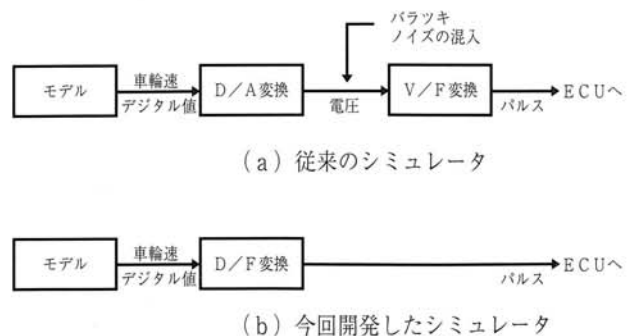


図-4 パルス出力方法
Fig.4 Block diagram of pulse output

4 ユーザインターフェイス部

4. 1. シミュレーション条件

シミュレーション条件のGUIに関して以下の2点を考慮している。

- ①多様な車両に対応できるようにするため、車両諸元（パラメータ）と車両モデルをユーザが自由に設定できるようにする。
- ②多様なシミュレーション条件を容易に作り出すために、パラメータを機能毎の集まりとしてパック化（以下パラメータパックと称する）する。

本シミュレータでは、これらを実現するため図-5のような構成としている。

シミュレート条件を「車両データ」「ドライバーデータ」「路面データ」に大別しそれぞれに必要とするパラメータパックを設定する。パラメータパックは、例えば「車両データ」の場合であれば、「車体系パック」「ホイール系パック」「サスペンション系パック」等のように複数のパラメータパックを組み合わせることで1つの「車両データ」を構成する。また、作成した「車両データ」には“カラーラ”、“ハイラックス”等の名称を付け、車種別に登録し、

データベース化することができる。さらに、“ハイラックス”として構成した車両データに、任意のパラメータパックを実際の部品のように、追加したり、交換したり容易に行うことができる。このことは、モデルに機能が追加されても、GUI側で柔軟に対応できることを意味する。

GUIで設定した諸元、シミュレーション条件は全て、VME側の共通のRAM領域(4000ch、4バイト/ch)に転送され、シミュレーション演算部がそれぞれのパラメータ値を参照する。転送されたデータの共通RAM領域内のデータ所在(ch・・・と略称)を明確化するために、パラメータパックには、それがどこのchに存在するかを示す「先頭ch」の情報をもち、パラメータ内の各諸元には、「先頭ch」から何番目に存在するかを示す「オフセットch」の情報を持つようにしている。

これにより、ユーザ側は共通RAM領域のchを意識することなく、パラメータの選択、設定を行うだけで、シミュレーション条件を容易に設定していくことができる。また、この管理方法により、モデルが変更された場合においても、既存のデータを修正することなくそのまま利用することが可能となった。

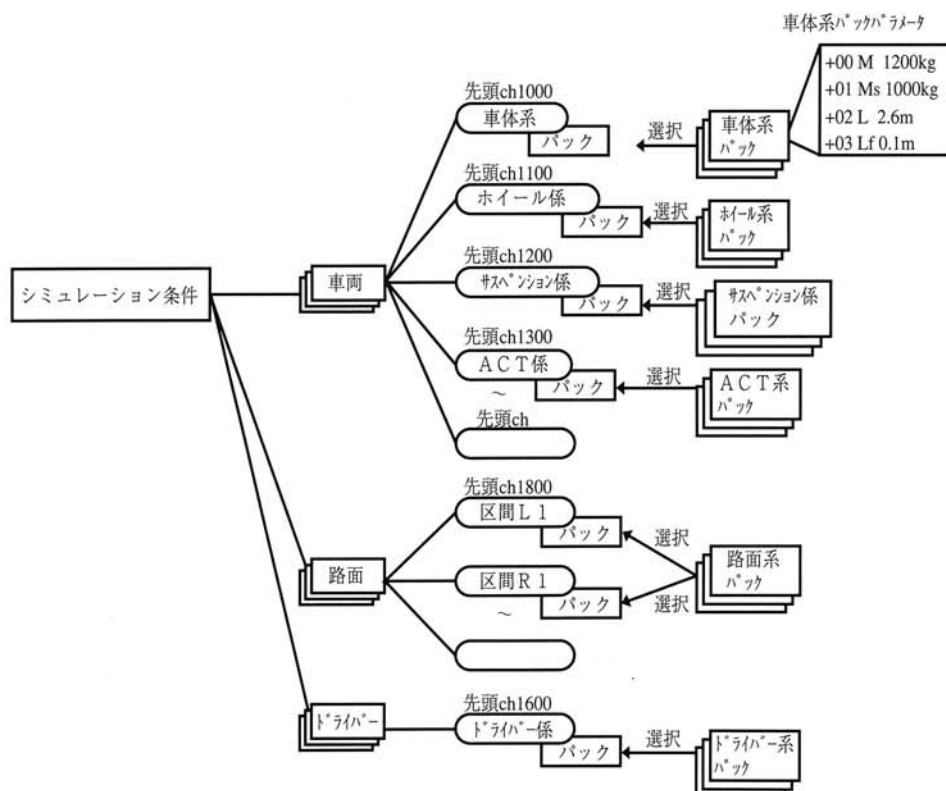


図-5 シミュレーション条件
Fig.5 Condition of simulation

4. 2. 計測結果解析

本シミュレータ装置のデータ解析は、4種類のデータ表示機能を持ち、シミュレーション結果の解析、評価を視覚的に行えるようにしている。

(1) スケール表示：

モデル内部演算値、ECU演算値の計測データを同時に、最大20ラベル、30秒間の時系列データとして表示する。表示データは任意の区間で自由に拡大表示ができ、マウス操作で指示時刻の計測値を読み取り、あるいは2つの指定時刻間の計測値の差を数値データとして表示することができる。(図-6)

(2) XY表示：

時系列では、解析困難な2データの特性(例えば、速度-加速度、 μ -s特性)等をX軸、Y軸で表示し、そのグラフからシミュレーション結果の評価、解析を行うことができる。(図-7)

(3) 車両軌跡+車両アニメーション

シミュレーション計測データを車両表示に置き換え、設定した条件下で、車両がどのような挙動をしたかを視覚的に表示する。また、実時間上で車両挙動のアニメーション表示を行い、車両の制動タイミング、ヨー発生状況等を把握し、実車試験にできるだけ近い評価ができるようにしている。(図-8)

(4) データ解析

計測全データについて以下の統計処理を自動で行う。

- ・指定ラベルデータの度数分布をヒストグラムで表示する。
- ・指定ラベルデータ、指定区間の最大値、最小値を検索

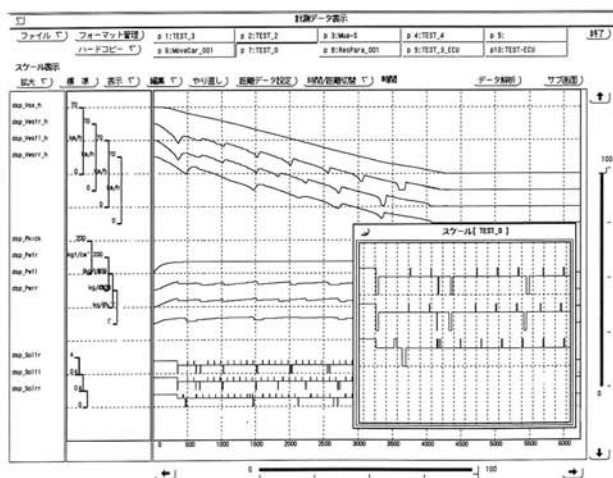


図-6 計測結果表示

Fig.6 Simulated result (Drawing scale)

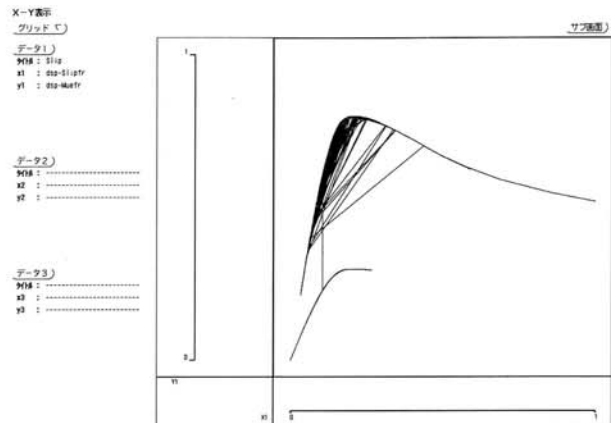


図-7 計測結果表示 (XY表示)

Fig.7 Simulated result (Drawing X-Y)

し、その時の時刻、数値を表示する。

- ・指定ラベルデータ、指定区間の平均値を算出し、その数値を表示する。
- ・ABS制動時のロック比を算出し、その数値を表示する。
- ・ABS制動時指定区間の μ 利用率を算出し、その数値を表示する。

上記(1),(2),(3)の3つの表示機能は、表示フォーマットとして登録しデータベース化することができるので、そのフォーマットを呼び出すだけで、直ちに計測結果の表示解析が行える。また、同一計測データを違う見方で同時に表示し比較することができる(サブ画面表示機能)。さらに、一度計測したデータは、ファイルとして保存し、前回データとの比較ができるようにしている。

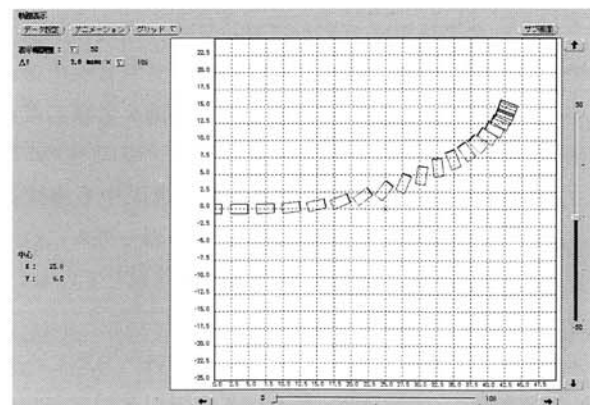
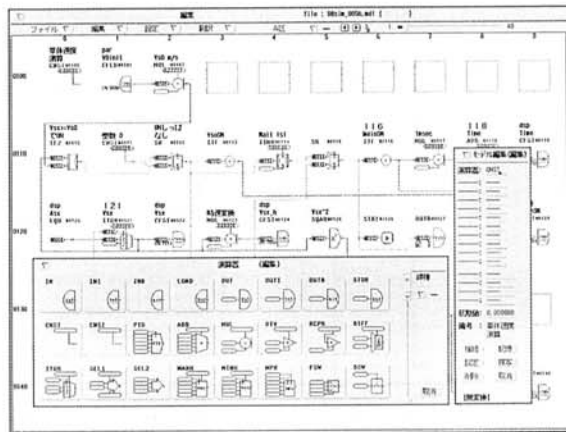


図-8 計測結果表示

Fig.8 Simulated result (Drawing locus of car)



(ブロック線図形式で演算モデル構築)

図-9 DSP演算器
Fig.9 DSP function

5. シミュレーションモデル

5. 1. ブロック線図

DSPボードに実装するシミュレーションモデルは、ユーザインターフェイスが提供するDSP演算器(図-9)によって作成する。DSP演算器は四則演算、微積分器、三角関数、論理演算、ファンクションスイッチ等約100種類有り、それらを演算器表示エリアに配置し、信号線で結線することでブロック線図形式でモデルを構築していく。

演算器表示エリアは4枚のDSPボードに対応してA、B、C、Dの4つの区に分れ、1区当たり2000個の演算器が配置できる。なお、ブロック線図作成ツールは日立造船(株)製HISIMをベースとしている。

5. 2. 車両モデル (モデルで使用している記号は文末の記号一覧参照)

多様なシミュレーション条件を実現するにはそれらに対応したシミュレーションモデルが必要になってくる。本シミュレータでは車両モデルに関しては、車両の平面上での運動が扱えるようバネ上のローリング、ピッチングやバウンスの運動や加減速を伴う運動を考慮した6自由度モデルを採用している。以下に示す車両モデル演算式は車両のバネ上重心を原点とする車両中心座標系(x-y-z-0)に基づき記述している。また路面モデルについては路面固定座標系(X-Y-Z-0)に基づき作成している。

5. 2. 1 シャシ系モデル

シャシ系モデルでは各輪に働く3軸方向の力 F_{xi} 、 F_{yi} 、 F_{zi} [N] から、バネ上重心における車両の3軸方向の速度 V_x 、 V_y 、 V_z [m/s] やロール、ピッチ、ヨー角速度 p 、 q 、 r [rad/s] 等を(1)~(6)式により求めている。(図-10)

$$M\dot{V}_x = \sum_{i=1}^4 F_{xi} + r \cdot V_y \quad (1)$$

$$M\dot{V}_y = \sum_{i=1}^4 F_{yi} - r \cdot V_x \quad (2)$$

$$M\dot{V}_z = M \cdot G - \sum_{i=1}^4 F_{zi} \quad (3)$$

$$I_x \dot{p} - I_{xz} \dot{r} - m_s (v_y + r \cdot v_x) h_s \\ = (F_{y1} + F_{y2}) l_f + (F_{y3} + F_{y4}) l_r + (F_{z1} - F_{z2}) \cdot \frac{b_f}{2} + (F_{z3} - F_{z4}) \cdot \frac{b_r}{2} \quad (4)$$

$$I_y \dot{q} + m_s (\dot{v}_x - v_y \cdot r) h_s \\ = -(F_{z1} + F_{z2}) l_f + (F_{y3} + F_{y4}) l_r - \sum_{i=1}^4 F_{xi} (h_{cg} - h_s) \quad (5)$$

$$I_z \dot{r} = (F_{y1} + F_{y2}) l_f - (F_{y3} + F_{y4}) l_r + (F_{z2} - F_{z1}) \cdot \frac{b_f}{2} + (F_{z4} - F_{z3}) \cdot \frac{b_r}{2} \quad (6)$$

ここで求まる車両重心におけるx,y方向速度 V_x 、 V_y 、ヨー角 φ [rad] より路面固定座標系に変換し車両重心位置(X, Y)を(7)式により求めている。

$$X = \int (V_{xx} \cos \varphi - V_{yy} \sin \varphi) dt \quad (7)$$

$$Y = \int (V_{xx} \sin \varphi + V_{yy} \cos \varphi) dt$$

また各車輪座標(X_{ti} , Y_{ti})も幾何学的に(8)式により求めている。

$$\begin{pmatrix} X_{t1} \\ X_{t2} \\ X_{t3} \\ X_{t4} \end{pmatrix} = X \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \cos \varphi \begin{pmatrix} l_f \\ l_f \\ -l_r \\ -l_r \end{pmatrix} + \sin \varphi \begin{pmatrix} b_f/2 \\ -b_f/2 \\ b_r/2 \\ -b_r/2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} Y_{t1} \\ Y_{t2} \\ Y_{t3} \\ Y_{t4} \end{pmatrix} = Y \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \sin \varphi \begin{pmatrix} l_f \\ l_f \\ -l_r \\ -l_r \end{pmatrix} + \cos \varphi \begin{pmatrix} -b_f/2 \\ +b_f/2 \\ -b_r/2 \\ +b_r/2 \end{pmatrix}$$

路面パターンにより変わっていく路面パットの判定や車両軌跡の描画は各車輪座標(X_{ti} , Y_{ti})により行っている。

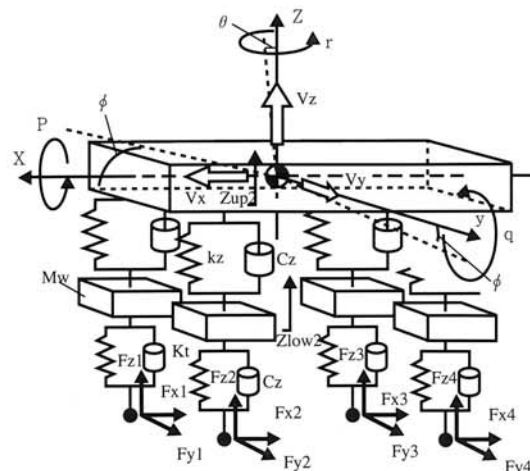


図-10 車両モデル
Fig.10 Vehicle model

5. 2. 2 車輪速度

ABS/ECUの出力であるソレノイド駆動信号は油圧系モデルを通してブレーキトルク T_{bi} [N/m] に変換する。車輪速度 V_{wi} [m/s] は転がり抵抗、エンジントルク等を見無視し、ブレーキトルク T_{bi} と路面抗力 F_{ti} から(9)・(10)式により求める。

$$\dot{V}_{wi} = \frac{(F_{ti} \cdot r_w - T_{bi}) \cdot r_w}{I_w} \quad (9)$$

$$V_{wi} = \int a_{wi} dt \quad (10)$$

この車輪速度 V_{wi} に車輪の前後方向の運動（サスペンション振動）を考慮したものをパルス出力ボードよりパルス信号に変換しABS/ECUに出力している。（図-11）

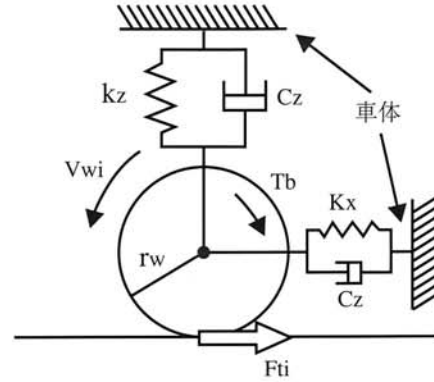


図-11 ホイールモデル

Fig.11 Wheel model

5. 2. 3 各輪に働く水平方向の力

車両が平面上を運動中、タイヤが路面より受ける水平方向の力として路面抗力 F_{ti} [N] と横力（サイドフォース） F_{sfi} [N] がある。路面抗力はタイヤの回転方向に働く力で、車体速度と車輪速度 V_{wi} [m/s] の差（スリップ率 S_i ）によって発生する摩擦力で（11），（13）式によって求める。本モデルでは車体速度として各車輪位置と路面の相対速度 V_{si} [m/s] によりスリップ率を演算している。（図-12）

$$\left. \begin{aligned} v_{s1} &= \left(v_x + \frac{b_{fr}}{2} \right) \cos \delta + (v_y + l_{fr}) \sin \delta \\ v_{s2} &= \left(v_x - \frac{b_{fr}}{2} \right) \cos \delta + (v_y + l_{fr}) \sin \delta \\ v_{s3} &= v_x + \frac{b_{fr}}{2} \\ v_{s4} &= v_x - \frac{b_{fr}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

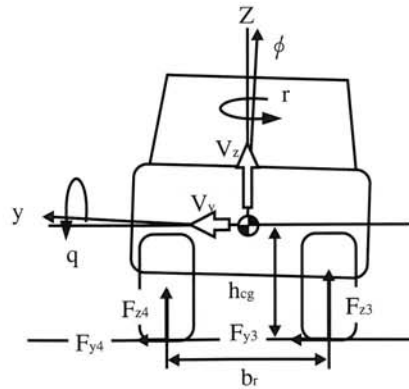
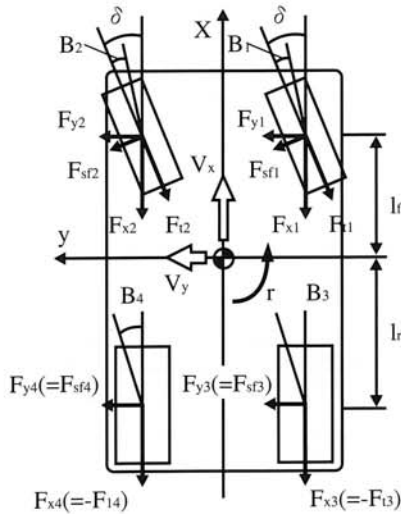


図-12 車体と車輪の関係

Fig.12 Relation of flame and wheels

$$S_i = 1 - \frac{V_{wi}}{V_{si}} \quad (12)$$

$$F_{ti} = \mu_s(S_i) \cdot F_{zi} \quad (13)$$

摩擦係数 (S_{ij}) はタイヤ-路面間の非線形特性でモデル内でマップで与えている。

一方サイドフォースはタイヤの軸方向に働く力で、車輪の回転方向と車両の進行方向のなす角（スリップ角）とスリップ率 S_i に依存する車両のコーナリング特性を表す力である。

式より求めるスリップ率 S_i と（14），（15）式により求めている。

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \beta_2 = \delta - \tan^{-1} \frac{v_y + l_{fr} \cdot r}{v_x} \\ \beta_3 &= \beta_4 = -\tan^{-1} \frac{v_y - l_{fr} \cdot r}{v_x} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$F_{sfi} = \mu_y(S_i, \beta_i) \cdot F_{zi} \quad (15)$$

摩擦係数 $\mu_y(S_i, \beta_i)$ もまたタイヤ路面間の非線形特性で、モデル内で3次元マップで与えている。

各輪に働くx,y軸方向の力は路面抗力 F_{ti} とサイドフォースの F_{sfi} の合力として(16)、(17)式により求めている。

$$\left. \begin{aligned} F_{x1} &= F_{x2} = -F_{ti} \cdot \cos \delta - F_{sfi} \cdot \sin \delta \\ F_{x3} &= F_{x4} = -F_{ti} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{y1} &= F_{y2} = -F_{ti} \cdot \sin \delta + F_{sfi} \cdot \cos \delta \\ F_{y3} &= F_{y4} = F_{sfi} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

5. 2. 4 各輪に働く垂直方向の力(輪荷重)

各輪に働く垂直方向の力(輪荷重)は車両の加減速や旋回に伴うバネ上の運動(ロール、ピッチング運動)や路面変位によって変動する。

各輪のバネ上の変位量 Z_{upi} は、ばね上重心変位 Z [m]とロール、ピッチ角 [rad] より(18)式で求められる。(図-10)

$$\begin{pmatrix} Z_{up1} \\ Z_{up2} \\ Z_{up3} \\ Z_{up4} \end{pmatrix} = Z \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \theta \begin{pmatrix} -l_f \\ -l_f \\ l_r \\ l_r \end{pmatrix} + \phi \begin{pmatrix} -b_f/2 \\ b_f/2 \\ -b_r/2 \\ b_r/2 \end{pmatrix} \quad (18)$$

一方、バネ上-バネ下間の相対変位を、タイヤたわみを $\delta_s (=Z_{up} - Z_{low})$ 、タイヤたわみを $\delta_s (Z_{low} - Z_{road})$ とすると、バネ下質量の運動はサスペンション系の運動方程式(19)

$$M_w \ddot{Z}_{lowi} = k_s \delta_{si} + c_s \dot{\delta}_{si} - (k_n \delta_{ni} + c_n \dot{\delta}_{ni}) \quad (19)$$

で表され、輪荷重 F_{zi} は各輪の静的荷重 F_{z0i} [N]として(18)、(19)式より

$$F_{zi} = F_{z0i} - (k_s \delta_{si} + c_s \dot{\delta}_{si}) \quad (20)$$

で求められる。

5. 3 路面モデル

5. 3. 1 路面パックとテストコース

タイヤ路面間の非線形特性については、パラメータ設定の簡略化のため、数値モデルではなくマップを与えている。マップはユーザインターフェイスが提供するマップ作成ツールにより2次元、3次元のマップを作成することができる。

路面特性を表すマップとしては5.2.3節でも述べたようにスリップ率 S_i と摩擦係数の関係を示す μ -Sマップと、コーナリング特性を示すサイドフォースマップの2種類があり、それぞれ最大で値1を返す形状マップで表している。モデル内ではこれらに最大摩擦係数、をパラメータ

値としてかけ合わせ、摩擦係数を得ている。

このような μ -Sマップやサイドフォースマップ、最大摩擦係数、など路面特性を表すパラメータを4.1節で述べたパラメータパック(路面パック)として表すことで1つの路面をモデル化している。こうして幾つかの路面パックを路面固定座標系の任意の位置に配置することで、均一路面はもちろん、またぎ路、突っ込み、カーブまたぎ等、様々なテストコースを設定することができる。(図-13)

5. 3. 2 悪路/段差モデル

上記の路面パックが路面の基本特性であるのに対し、悪路/段差などを表すパラメータもまた別のパラメータパック(悪路パック)としてテストコースに配置することが出来る。段差については段差位置、段差高さ等のパラメータで路面形状を表している。この路面形状を路面変位として車両モデル内で、輪荷重 F_{zi} や車輪前後方向変位(サスペンション振動)の演算を行っている。

5. 4 ドライバモデル

ドライバには、車両の挙動にかかわらず与えた条件で操舵するモデルと、車両の挙動に応じて操舵するモデルの2つを用意した。与えるパラメータは制動初速度、初期加速度、踏力マップと前記モデルごとの操舵パラメータをドライバーパックとしてまとめている。前者モデルでは、操舵の様子を時系列のマップとして与え、後者のモデルでは、車両重心に働くヨーモーメント r [rad/s] から、ある反応遅れを持たせた修正舵の演算を行っている。

6. 評価

6. 1 またぎ路

またぎ路(左側摩擦係数0.8、右側0.3)制動初速度50km/h、修正舵なしでのシミュレーション結果を図-14(a)、(b)に示す。ABS制御なしの場合4輪がロックし、車両重

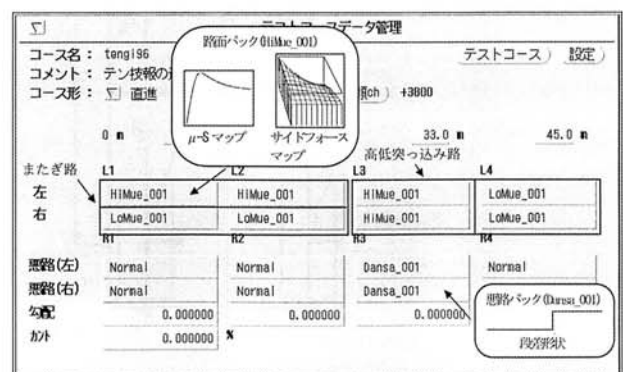
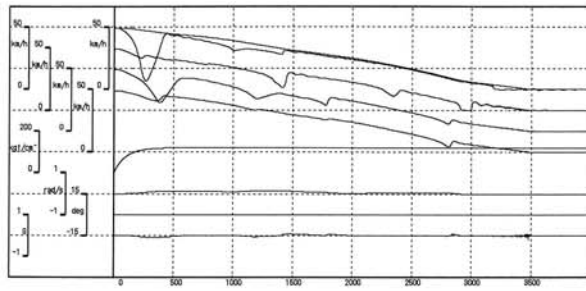
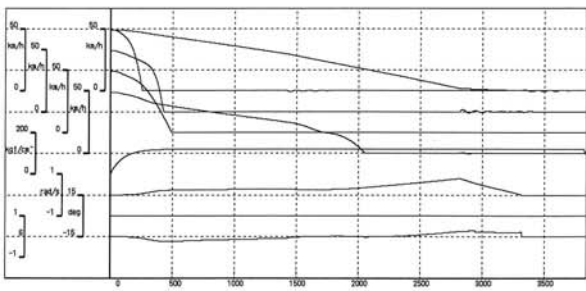


図-13 路面モデル
Fig.13 Road model

(ABS制御あり)

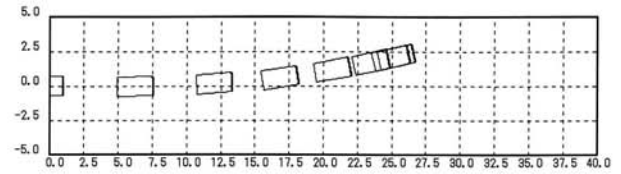


(ABS制御なし)

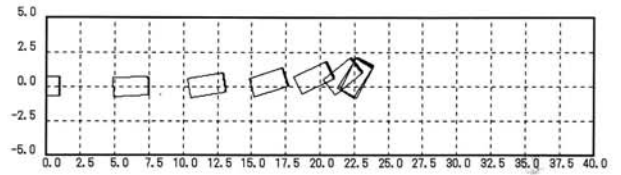


(a)またぎ路でのスケール表示

(ABS制御あり)



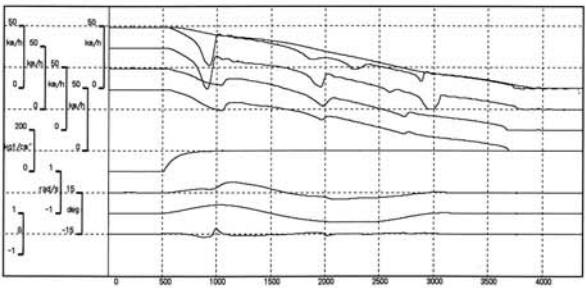
(ABS制御なし)



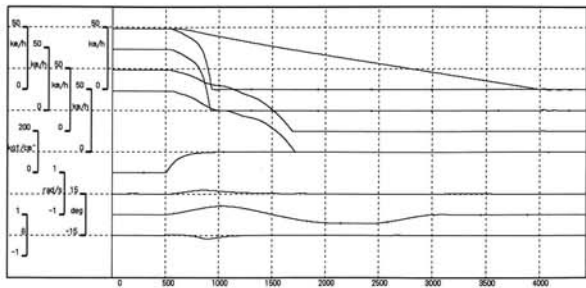
(b)またぎ路での車両軌跡

図-14 またぎ路でのシミュレーション結果
Fig.14 Sprit μ scale mode and Flame drawing mode

(ABS制御あり)

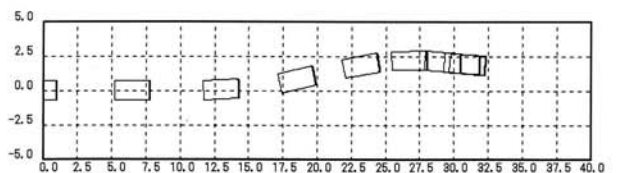


(ABS制御なし)

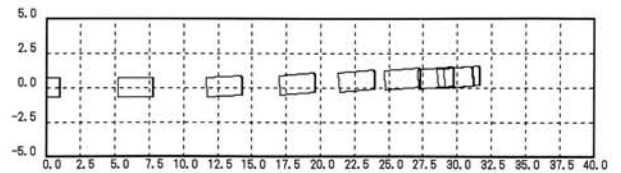


(a)障害物回避でのスケール表示

(ABS制御あり)



(ABS制御なし)



(b)障害物回避での車両軌跡

図-15 障害物回避でのシミュレーション結果
Fig.15 Simulation of danger avoidance(frame drawing mode)

心に大きな左回りのヨーモーメントが発生している。一方ABS制御有りでは高 μ 側と低 μ 側で制動力の差が急激に発生することを抑えることができるため、ヨーモーメントの発生が少なくなっている。

6. 2 障害物回避

前方障害物に対し、ハンドル操作と制動操作によって衝突回避する場合についてのシミュレーション結果を図-15(a)、(b)に示す。シミュレーション条件は舵角入力としてsin波を与え、制動初速度50km/hで行った。ABS制御なしの場合4輪ロックにより、ハンドル操作に応じた横力が得られず障害物を回避できずに直進するのに対し、ABS制御有りではスリップ率をコントロールし横力が得られるため、ハンドル操作に応じた障害物回避運動が行える。

7 終わりに

以上述べたように、DSPを用いたマルチプロセッサシステムで、リアルタイムでの2次元のABSシミュレーションが行えるようになったため、直進のみならず旋回、レーンチェンジなど種々の評価が実験室で可能となった。また、現在のモデルでも全演算能力の30%であり、さらに高度なシミュレーションや、他のシステムとの複合評価が可能である。

今後はより扱いやすいシステム環境を目指すとともに、シミュレーションモデルについても実車データとの相関を取りながらモデルの完成度を上げ、将来的には様々な車両に対応したシミュレータを開発して行きたい。

参考文献

- 1) クラウンハードトップ新型車解説書 ('95年8月)
- 2) 自動車技術ハンドブック 基礎・理論編 自動車技術会 ('90年12月)
- 3) 相馬仁, 平松金雄: 「操舵と制御による障害物回避のシミュレーション」自動車研究第12巻 第3号 ('90年3月)
- 4) 酒井秀男: 「タイヤと自動車のコーナリング特性(1)」自動車研究第10巻 第5号 ('88年5月)

モデル演算式中使用した主な記号を以下に示す。

記号一覧

M	: 車両質量
M_w	: バネ下質量
F_{z0i}	: 各輪静的荷重
l	: ホイールベース
l_f, l_r	: 前軸、後軸と重心間距離
b_f, b_r	: 前輪、後輪トレッド
h_f, h_r	: 前軸、後軸のロールセンタ高さ
h_{cg}	: ばね上重心高
h_s	: ばね上重心からロール軸に降ろした垂線の長さ (ロールアーム)
I_x, I_y	: ばね上質量の x 軸、y 軸まわりの慣性モーメント
I_z	: 車両の z 軸まわりの慣性モーメント
r_w	: 車輪有効半径
I_w	: 車輪慣性モーメント
k_s, c_t	: タイヤばね定数、減衰係数
k_z, c_z	: サス上下方向ばね定数、減衰係数
変数一覧	
V_x, V_y, V_z	: ばね上の前後、左右、上下方向の速度成分
a_x, a_y, a_z	: ばね上の前後、左右、上下方向の加速度成分
ϕ, θ, φ	: ばね上のロール、ピッチ、ヨー角
p, q, r	: ばね上のロール、ピッチ、ヨー角速度
δ	: 前輪実舵角
β_f, β_r	: 前後スリップ角
V_{wi}	: 各輪車輪速度
a_{wi}	: 各輪車輪加速度
F_{xi}, F_{yi}, F_{zi}	: 各輪に作用する前後、左右、上下力
F_{ti}	: 各輪に作用する路面抗力
F_{sfi}	: 各輪に作用する横力
S_i	: 各輪スリップ率
T_{bi}	: 各輪ブレーキトルク
Z_{upi}	: 各輪バネ上変位
Z_{lowi}	: 各輪バネ下変位
Z_{roadi}	: 各輪路面変位

筆者紹介

網江 岳朋（アミ タト）



1994年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第14技術課在籍。

神山 尚也（かやマ ナヤ）



1992年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第14技術課在籍。

橋本 欣和（ハシモト ヨシカズ）



1985年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第14技術課在籍。

渡辺 秀夫（ワタナベ ヒデオ）



1979年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在モータロニクス本部第一技術部第14技術課長。