

UDC : 681. 532. 58 : 681. 527. 7 : 629. 113

ABS コントロールユニット

ABS Control Unit

松 下 晃 久⁽¹⁾ 近 藤 孝 一⁽²⁾
Teruhisa Matsushita Kouichi Kondo

安 田 武 史⁽³⁾ 渡 辺 秀 夫⁽⁴⁾
Takeshi Yasuda Hideo Watanabe

要 旨

近年、交通事故を減らす取り組みは数々行われているにもかかわらず自動車の普及による交通量の増加、高齢者および若年層のドライバーの増加などにより死傷者の数は一向に減少していない。その結果自動車の安全性はますます社会的にその重要性が問われるようになってきている。また一般ユーザの安全に対する認識も徐々に高まりつつあり、エアバッグ、アンチロックブレーキシステム（ABS）等の安全装置の装着率も増えてきている。

そのような状況の中で当社は今回、トヨタ自動車㈱およびアイシン精機㈱と共同で小型乗用車用、4輪ABS/ECU（ECU：エレクトロニック コントロール ユニット）を開発した。本稿ではABSの基本原理、効果を紹介をしながら今回開発したABS/ECUのハードウェア構成、およびソフトウェア評価装置についてその概略を述べる。

Despite various measures taken in recent years to reduce traffic accident, there has been no decline in the number of injuries and deaths occurring on the road given the increase in traffic volume, attributable to the widespread use of automobiles, and because of the rise in the numbers of aged and younger drivers. As a result, automotive safety is a growing social concern. Drivers, generally, have also become more and more aware of the importance of safety, and more and more motor vehicles are being equipped with safety devices such as air bags and antilock brake systems (ABS).

Given this changing outlook, we have developed, jointly with TOYOTA MOTOR CORPORATION and AISIN SEIKI CO., LTD., the ABS/ECU (antilock brake system control unit) tailored for four wheel drive-compact car. This paper describes the fundamental design principles and performance of ABS, and outlines the hardware structure and software evaluation equipment of ABS/ECU.

(1) トヨタ自動車㈱、(2) アイシン精機㈱、(3)、(4) モートロニクス本部システム開発部

1. はじめに

アンチロックブレーキシステム（以下ABS）は世界で初めてベンツに搭載されて以来、最近の安全に対するニーズに呼応して年々その装着率が増加してきている。当初は比較的上級クラスの車種に限って設定されていたが最近では大衆車にも普及してきており今後もさらに装着率の増加が予想されている。そのような状況の中で今回、トヨタ自動車㈱、アイシン精機㈱および富士通テン㈱の3社共同で小型乗用車用4輪ABS/ECUを開発した。

本稿ではまず最初にABSの基本原理とその効果について概略を説明し、続いて、ハードウェア構成の概要、および開発にあたって部品点数の削減、低価格、高信頼性をねらって新規に開発した専用ICの概要を述べる。そして最後にソフトウェアの開発効率向上のために活用を図ったABSシミュレータおよび任意波形発生器について述べる。

2. ABSの原理と効果

2.1 ABSの基本原理

ABSの基本原理は図-1に示すスリップ率と制動力および横抗力（コーナリングフォース）の関係を示したグラフで説明できる。

$$\text{スリップ率} = \frac{\text{車体速度} - \text{車輪速度}}{\text{車体速度}} \times 100 (\%)$$

実線の曲線はスリップ率と制動力の関係を示したグラフで制動力の代わりに μ （タイヤと路面間の摩擦係数）を用いて μ -Sカーブとして広く一般に知られている。このグラフからスリップ率が10～20%（車体速度の10～20%分車輪がスリップしている状態）の時に制動力が最大値をとることが判る。したがってその時に最も制動距離を短く

する事ができる。またブレーキを踏む力が過大で車輪がロック（スリップ率100%）してしまうと制動力が小さくなり制動距離が長くなってしまうことを示している。

一方、破線の曲線はスリップ率と横抗力の関係を示したグラフでありこの横抗力は前輪であれば操舵する力、後輪であれば車両を安定に保つ力となる。この力はスリップ率が小さくなる程大きくなり反対にスリップ率が100%になるとゼロになる。車輪がロックすると操舵が効かず、わずかな外乱で車両がスピンしてしまうなど安定性が悪くなるのはこのためである。

2.2 ABSの効果

ABS制御の効果を図-1で説明する。ドライバーがブレーキを踏むとスリップ率が少しずつ増加しそれに伴って制動力も増加する。一方、横抗力はスリップ率の増加に従って減少する。さらに必要以上のブレーキを踏みスリップ率が増加すると制動力はピークを越え車輪は急速にロックに向かう。

ABSはこの様な状況に陥らない様にスリップ率を監視しスリップ率が10～20%付近を越え車輪のロック傾向を検出するとアクチュエータを作動させてホイールシリンダーの油圧を下げる。その結果、車輪速度が回復しスリップ率も減少する。その後再び徐々に油圧を上げて制動力が最大になるスリップ率へコントロールする。以上の動作を車両が停止するまで繰り返すことにより、横抗力を失わずに高い制動力を発揮する。言い換えると制動時の操舵性、安定性を損わずにかつ短い距離で止まることができる。

3. ECU構成

3.1 ブロック構成、機能概要説明

ECUのブロック構成およびECU外観を図-2、図-3に示す。またそれぞれの機能の概要を以下に示す。

1) 車輪速センサ処理回路

各車輪に取り付けられたロータの回転により発生するセンサ信号を波形整形し、またセンサの断線を検出する回路。

2) スイッチ入力回路

ストップランプスイッチやパーキングブレーキスイッチ等のON/OFF信号をマイコンへ伝達するためにレベル変換する回路。

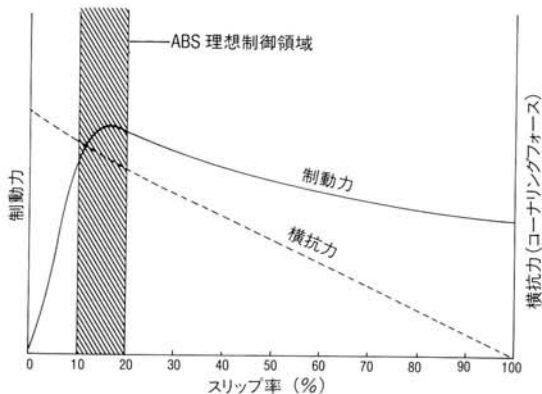


図-1 制動力、横抗力とスリップ率の関係

Fig. 1 Braking force, cornering force - slip rate curve

3) 電源回路

各回路へ電源を供給し、またマイコンの起動および停止信号を発生する。

4) CPU監視回路

マイコンの動作状況（異常動作）および出力系の作動状況を監視し、異常を検出すると出力系を禁止する回路。

5) 車輪速出力回路（4ch）

トラクションコントロールECUへ各輪の車輪速信号を伝達する回路。

6) リレー駆動回路

ポンプモータ駆動用リレーおよび液圧制御ソレノイド用リレーに駆動電圧を供給する回路。

7) ソレノイド駆動/モニタ回路

液圧制御ソレノイドへの駆動電圧供給とその駆動時の作動状態をレベル変換しマイコンに伝達する回路

8) インジケータ駆動回路

ECUの正常/異常及び故障部位をABSインジケータランプの消灯/点灯または点滅でドライバーに知らせるための駆動回路。

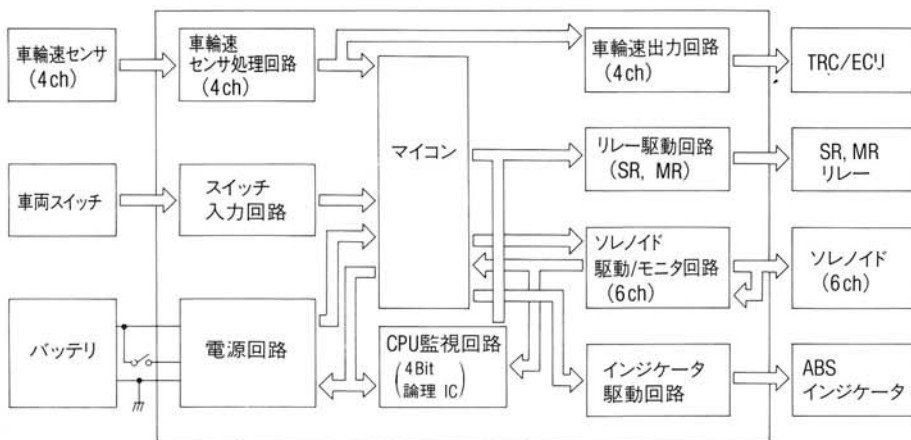


図-2 ECU ブロック図

Fig. 2 Block diagram of ABS

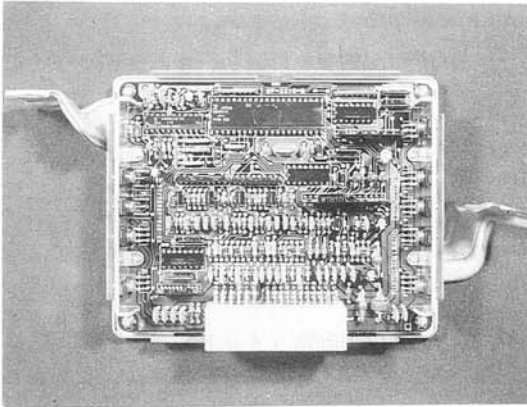


図-3 ECU
Fig. 3 ECU

3.2 車輪速センサ波形処理回路

3.2.1 処理回路機能と構成

車輪速センサ波形処理回路は大きく分けて2つの機能を持っている。その1つは波形整形である。車輪に取り付けられたロータの回転によって発生する正弦波を方形波に波形整形する。もう1つは車輪速センサの断線検出である。ECUからセンサまでのハーネス、コンタクトおよびコイル等の断線を検出する。マイコンの入力ポートの使用効率を上げるために波形整形した方形波信号とセンサ断線検出信号のマイコンへの伝達は1ラインを共有して時分割処理している。

また車輪速センサ処理回路を専用IC化して実装面積の低減、低価格を図っている。

3.2.2 波形整形機能

図-4は波形整形部の入力感度特性を示す。入力感度特性はセンサの最低出力電圧と車両ノイズの最大値から決定される。ABS制御する全車輪速度の周波数範囲でセンサの最低出力電圧を確実に波形整形でき、車両ノイズを誤整形しないように周波数特性を考慮している。

図-5は波形整形部の回路図である。この回路の周波数特性は $r_1 \sim r_4$ 、 $c_1 \sim c_3$ で決定される。また

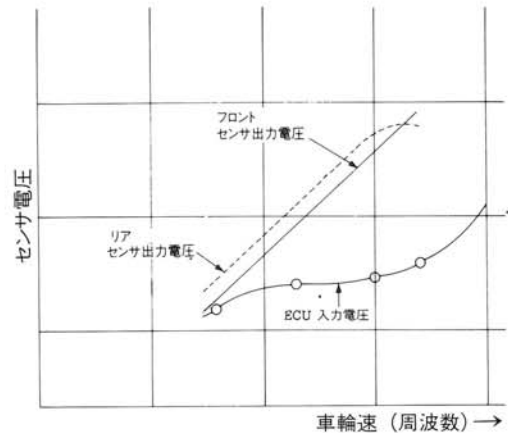


図-4 ECU入力感度特性

Fig. 4 Frequency characteristics of ECU sensitivity

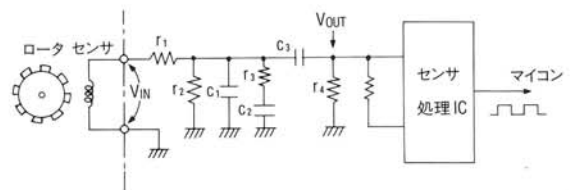


図-5 センサ電圧の波形整形部回路図

Fig. 5 Wave shaping circuit of sensor signal

その減衰率は下記の式で与えられる。

$$\text{減衰率 } x = \frac{ABCD}{ABC + r_1(AB + AC + BC)}$$

$$A: r_1 \text{ と } c_1 \text{ の並列インピーダンス} = \frac{r_1}{j\omega C_1 + 1}$$

$$B: r_2 \text{ と } c_2 \text{ の直列インピーダンス} = \frac{j\omega C_2 + 1}{j\omega C_2}$$

$$C: r_3 \text{ と } c_3 \text{ の直列インピーダンス} = \frac{j\omega C_3 + 1}{j\omega C_3}$$

$$D: r_4 \text{ と } c_3 \text{ の分割比} = \frac{j\omega C_3}{j\omega C_3 - 1}$$

図-4に示す入力感度特性は下記の式で与えられる。

$$V_{IN} = \frac{V_{OUT}}{x}$$

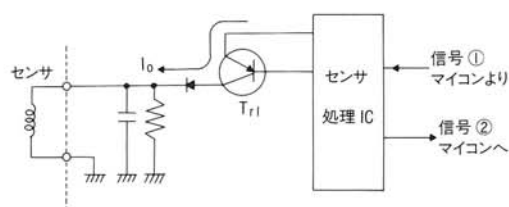


図-6 センサ断線部の等価回路

Fig. 6 Equivalent circuit of detection block for sensor's disconnection

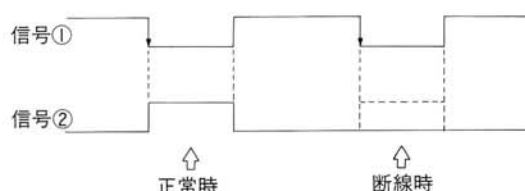


図-7 断線監視時の信号論理

Fig. 7 Logic of sensor signal for monitoring disconnection

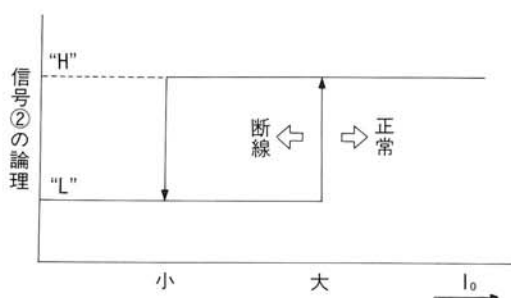


図-8 断線検出特性

Fig. 8 Detection characteristics of disconnection

3. 2. 3 断線検出機能

図-6 はセンサ断線検出部の等価回路を示す。マイコンからの信号により $Tr1$ が駆動され電流 I_0 が流れ、 I_0 の大小により断線検出を行う。コネクタ等の接点抵抗の増大、ハーネスの断線、センサ内部コイルの断線等が発生すると断線監視時に I_0 が小となりセンサの断線を検知できる。

図-9 にセンサ処理 IC のブロック図を示す。ブロック①は波形整形部で微小信号を精度よく波

形整形するために低オフセット電圧、低入力バイアス電流 (30 nA 以下) とした。回路は、入力保護用の入力クランプ回路、バイアス電圧決定回路、バイアス電圧を中心にしてスレッシュホールド電圧を有する (図-10) コンパレータ回路、定電流回路の4つで構成している。

ブロック②は断線検出部で、センサへの電流供給用トランジスタ: $Tr1$ の駆動及びマイコンへの信号伝達を波形整形から断線検出に切替える断線検出起動回路、センサへの流出電流を基準値と比較するコンパレータ回路、定電流回路の3つで構成している。断線検出電流は外付け抵抗により調整可能とした。

図-11 にセンサ処理 IC の外観を示す。パッケージはZIPタイプでピン数は17pinである。

3. 3 CPU監視回路と論理 IC

今回 CPU の動作の監視回路には当社で自動車用として設計した富士通製の4ビットプログラマブル論理 IC を採用した。この論理 IC (以下 CPU モニタと呼ぶ) は外乱等による異常動作を防止するために2バイト命令の削減、リセット命令の採用などを実施している。CPU モニタの主な機能は次の4項目である。

- 1) CPU の異常の監視
- 2) リレー出力系の監視
- 3) 自己ポート機能の監視
- 4) システムの許可、禁止の実施

実際のプログラミングでは以下の2点に重点を置いた。

第一は異常動作に関する論理 IC のアーキテクチャ上の対策に加え、プログラミングで以下の対策を実施したことである。

- 1) 2 バイト命令を極力使用しない。やむを得ず使用する必要がある場合はアセンブル後の

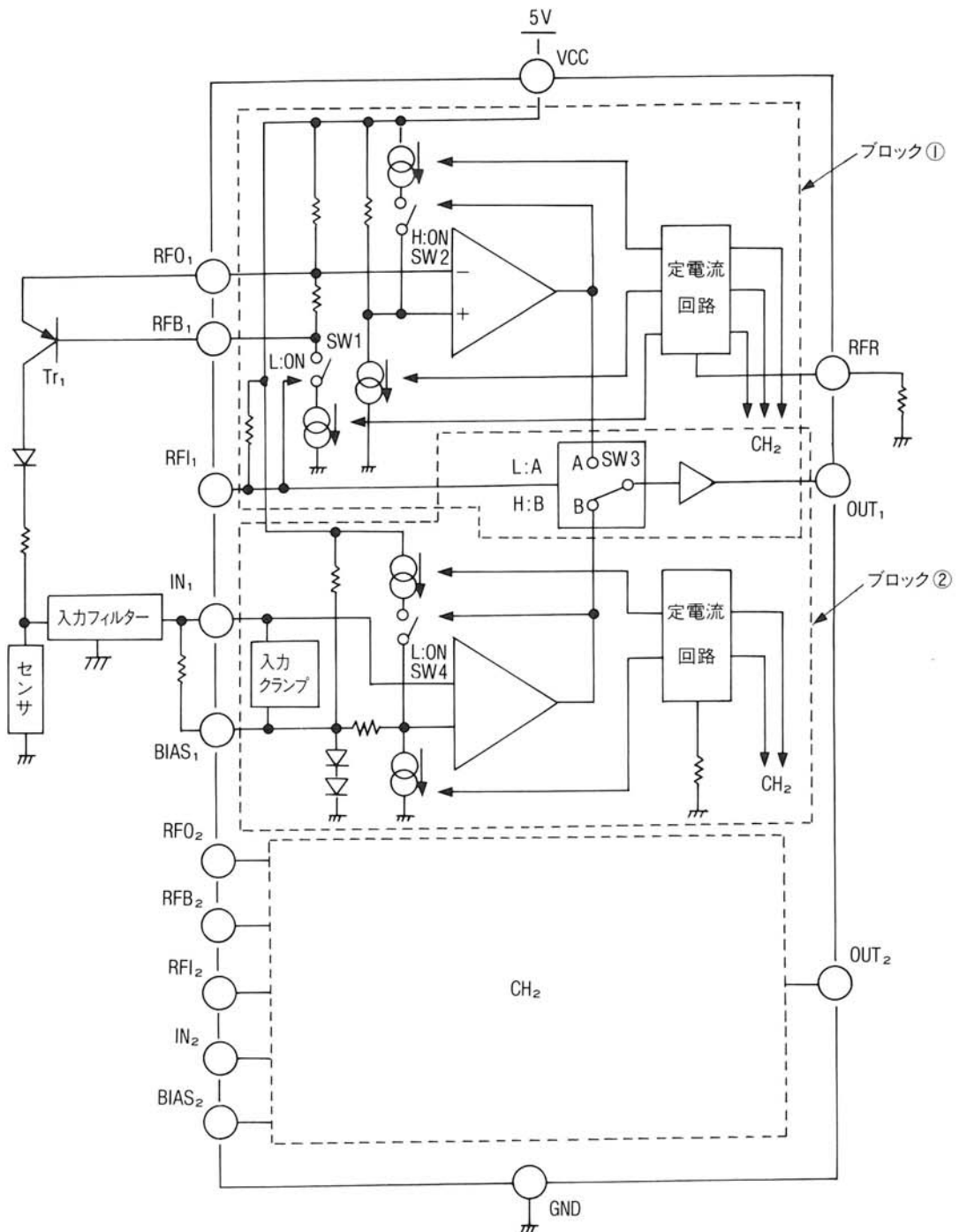


図-9 センサ処理ICブロック図

Fig. 9 Block diagram of sensor IC

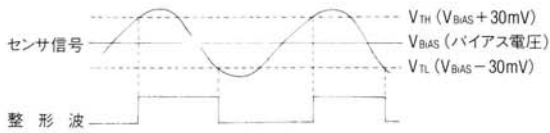


図-10 波形整形論理

Fig.10 Signal logic of wave shaping

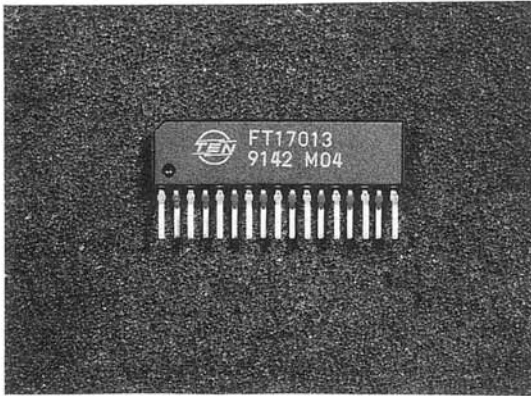


図-11 センサ処理ICの外観

Fig.11 Sensor IC.

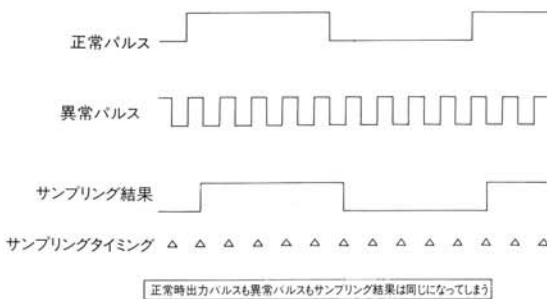


図-12 パルスサンプリングとサンプリング結果
Fig.12 Pulse sampling and sampling result

オペランドの値を確認し、1 バイト命令と誤認されると問題ある場合は対策を実施した。

2) 割り込み機能、サブルーチンの使用は全面的に禁止した。

3) 内部タイマの使用を禁止し、プログラмс

トップの実行時間で全ての時間管理を行った。

4) 使用しないROM領域にはすべてRESET命令を入れ、プログラムカウンタ等の異常で未使用領域にアクセスされても直ちに復帰できる様にした。

第二はCPUの異常動作監視の感度を高めたことである。CPUの異常動作の監視はCPUが出力する一定周期のパルスの周期を計測することで行っている。CPUが異常動作するとパルス周期が変化するのでパルス周期を測定し、異常の場合はシステムを禁止する。CPUモニタのサンプリング周期がCPUの出力パルスの周期に対して十分に短い場合は正しく標本化できる。ところが、CPUが異常動作した時に出すパルスは不定であるためにサンプリング周期と同等以下の周期のパルスが出力される事も考えられる。図-12の様にCPUの出力するパルスとサンプリング周期が同程度の場合うなり現象が発生して異常なパルスを出力しているにもかかわらず正常であると誤判定してしまう可能性がある。そこで2つの周期の異なるサンプリングを組み合わせ、それぞれのうなり現象の発生する領域が重ならない様にサンプリング周期を設定する事で上述の問題を解決した。その結果、より広い範囲でCPUの異常を確実に検出することができるようになった。

4. ソフトウェア評価装置

今回開発したABS/ECUのソフトウェアを評価するためにABSシミュレータと任意波形発生器を用いた。以下にその概略を述べる。

4.1 ABSシミュレータ

本シミュレータは大型コンピュータを用いたものとは異なり、複数個のマイクロプロセッサを並列動作させたマルチプロセッサシステムで構成し

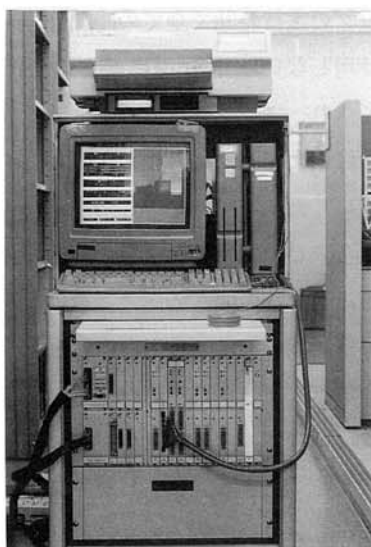


図-13 シミュレータの外観

Fig.13 Simulator

実際に車載使用するECUやアクチュエータを接続してリアルタイムでの動作を可能としたものである。外観を図-13に示す。

4.1.1 ハードウェア構成

本装置は大きく分けて図-14の様にパソコン部、シミュレータ本体部、インターフェイス部の3つから構成される。それぞれの部分について概要を述べる。

1) パソコン部

パソコン、CRT、キーボード、マウス、

プリンタから構成される。オペレータはCRTを見ながらマウス、キーボードを使って対話的に各種実験条件を設定し、シミュレーション結果のグラフ表示を行う。その一例を図-15に示す。実験条件、結果はプリンタにも出力できる。

2) シミュレータ本体部

16ビットマイクロプロセッサ搭載のCPUボード4枚とメモリボード、アナログ入力ボード、アナログ出力ボード、パルス出力ボードから構成され、全てのボードはVMEバスに接続されている。シミュレータ本体部とパソコンとはバスで結合され、メモリボードを介してデータの送受信を行う。

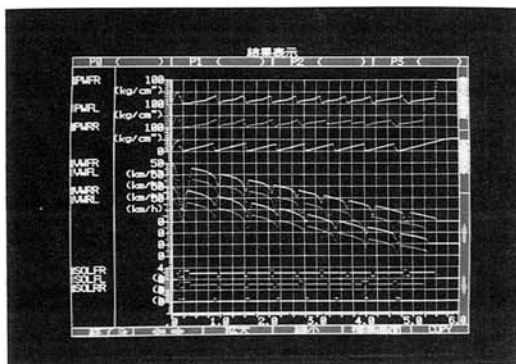


図-15 シミュレーション出力波形

Fig.15 Simulation output chart

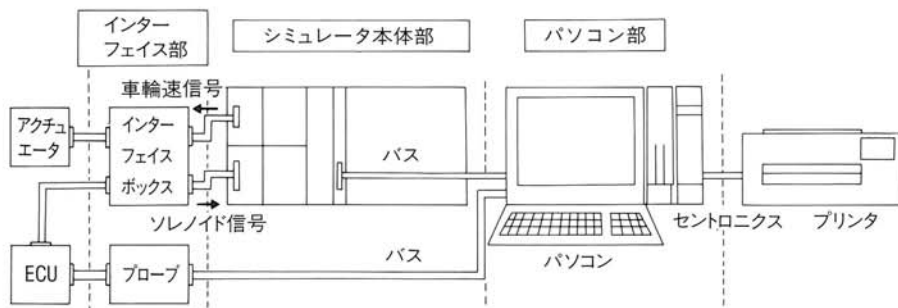


図-14 ABSシミュレータの構成

Fig.14 Configuration of ABS simulator

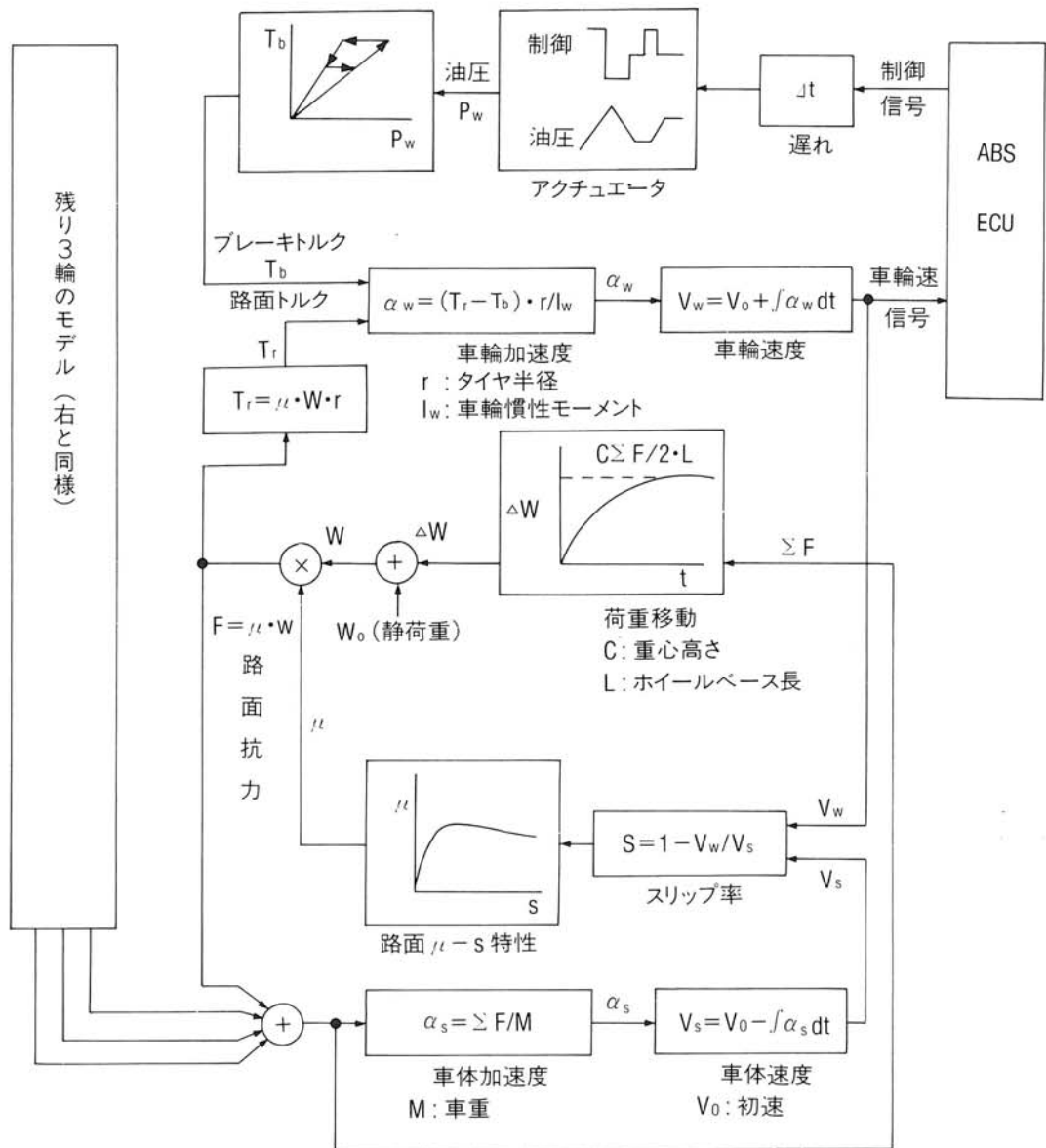


図-16 ABSシミュレーションモデル
Fig.16 Simulation model of ABS

3) インターフェイス部

シミュレータ本体部とECU、アクチュエータを接続するためのレベル変換回路とABS周辺回路を内蔵したインターフェイスボックスと、ECUの内部RAMをパソコンから読み取るためのパネルプロープから構成される。

4. 1. 2 ソフトウェア構成

ABS制動現象のシミュレーションモデルを図-16に示す。このモデルの膨大な演算をリアルタイム(1ms単位)で行うために機能別にブレーキ系、車輪運動系、車体運動・路面特性系の3つに分け、それぞれ1つのCPUが演算を担当し並列

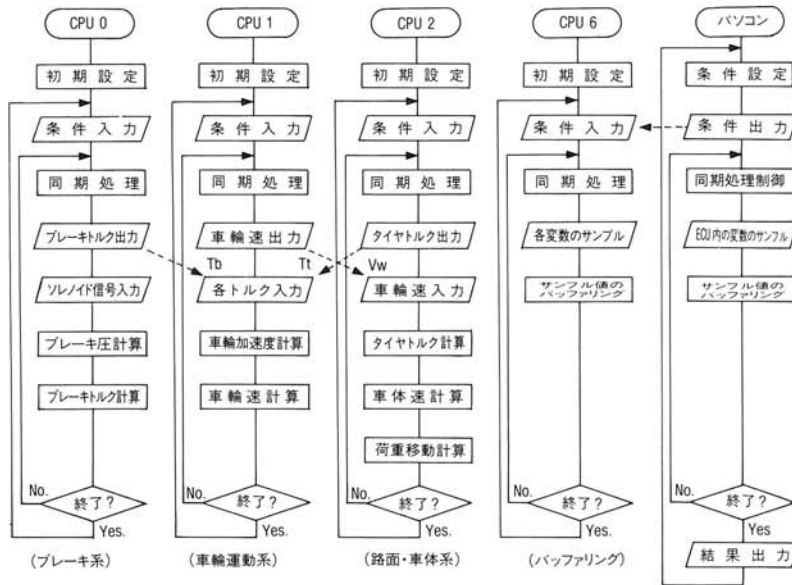


図-17 ABSシミュレータフローチャート

Fig.17 Flowchart of ABS simulator

処理を行っている。この他に4番目のCPUにはシミュレーション終了後にCRTまたはプリンタに結果の出力を行うために3つのCPUの演算結果を時系列に記憶する機能を持たせている。全体のフローチャートを図-17に示す。

4.1.3 用途と効果

ABSシミュレータは主に下記の用途で使した。

- 1) 実車試験を行う前の動作確認
- 2) 偶発的に発生する不具合の再現試験
- 3) 他車ABS/ECUとの同次元での性能比較
- 4) ECU故障時の動作モードの解析
- 5) ECU出荷時の動作確認

上記のように実車での危険な確認や実車よりもはるかに効率的に行える項目にシミュレータを有効活用し、開発効率を大幅に上げることができた。

4.2 任意波形発生器

ABSシミュレータのハードウェアをそのまま使用し、パソコン部とシミュレータ本体部のソフトウェアを一部変更したものでABS/ECUに任意に変化する車輪速信号を出力し、ECUの応答結果を詳細に解析するものである。

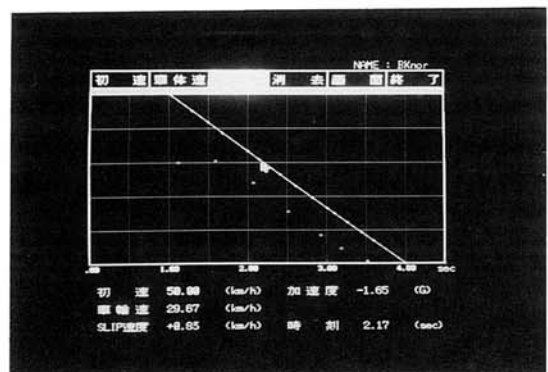


図-18 任意波形作成画面

Fig.18 Display for generating optional waves

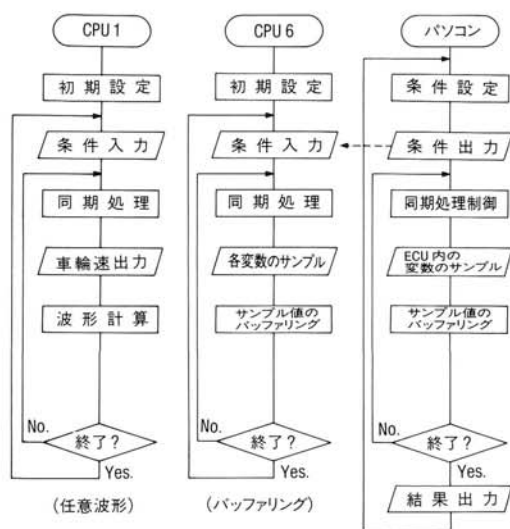


図-19 任意波形発生器フローチャート

Fig.19 Flowchart of optional wave generator

4.2.1 ソフトウェア構成

パソコンにより図-18に示す画面で任意波形を作成し各輪に波形を割り当てシミュレータ本体部にデータを送信する。シミュレータ本体部では図-19に示すフローチャートに従ってCPU 1がパソコンで作成したデータを基に、1ms毎にデータを出し、CPU 6がシミュレータと同様にデータロギング処理を行う。実験結果の出力はシミュレータと同様である。

4.2.2 用途と効果

任意波形発生器は主に下記の用途で使用了。

- 1) ABS開発段階で新たに設計した制御ロジックの動作確認
- 2) 実車試験で発生した不具合の再現、解析
- 3) 最終的な全機能のデバッグ（仕様に忠実に設計されている事の確認）

実車試験では各種パラメータのバラツキ、変化をすべて実現するには多くの工数が必要であるのに対し、任意波形発生器を用いると自在に波形を作成してそれに対するECUの動作を確認できるのでソフトウェアの開発に大変有効であった。

5. お わ り に

以上のように3社共同で小型乗用車用の4輪用のABS/ECUの開発ができた。今後はさらに実装技術、評価技術等の向上を計り顧客の要求にマッチしたECUを適宜開発できるようにしていきたい。最後に開発に当たった的確なご指導を頂いた関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- ・松田俊郎：ABSの最新実用知識、自動車工学、（1990. 11）
- ・両角岳彦：スリップコントロール、モーターファン、（1990. 5）