

電子式燃料噴射制御コンピュータ

Electronic Control Unit (ECU) for Electronic Fuel Injection

河合 満雄⁽¹⁾ 西山 周二⁽²⁾ 高橋 稔⁽³⁾
Mitsuo Kawai Syuji Nishiyama Minoru Takahashi

要 旨

最近のマイコン技術は、排出ガス浄化、ドライバビリティ、燃費などの向上を目的としたEFIシステムに安定性と学習機能を付加するとともに、種々のEFIシステム構成を可能としているが、この中で、圧力を検出して燃料噴射量を調整する方式(EFI-D)に対して、最適なマイコンおよび周辺ICを開発することにより、コストパフォーマンスの高いEFI制御ECUを実現した。

本稿では、開発した8ビット、1チップマイコンを用い、燃料噴射制御、点火時期制御、アイドル回転数制御およびダイアグノシス機能を備えた制御コンピュータ(ECU)と、その信頼性評価に当たっての、エンジンおよび車両を用いた入出力の自動計測と分析、モードシミュレーションによる総合的な品質評価の概要を紹介する。

本装置はトヨタ自動車㈱と富士通テン㈱が共同開発し、1983年からクラウン(1G-EUエンジン)に装着されている。

Electronic Fuel Injection (EFI) system provides better fuel consumption, better drivability and cleaner emission. The recent microprocessor technology enables EFI system to be added stability and adaptive control as well as system variations. Developing an optimum microprocessor and peripheral ICs enables an ECU for EFI-D system, which controls the injected fuel volume by detecting intake manifold pressure, of high cost-performance.

This paper introduces the ECU with fuel injection control, spark timing control, idle control and diagnosis functions, using developed 8-bit, one-chip microprocessor, the automated input/output measurement for its reliability evaluation, and the total quality evaluation using a mode simulation technique.

This system co-developed by TOYOTA MOTOR CORPORATION and FUJITSU TEN LIMITED has been installed on CROWN since 1983.

(1) トヨタ自動車株式会社

(2), (3) 富士通テン㈱モータロニクス技術部

1. はじめに

電子式燃料噴射 (E F I) システムは公害、ドライバビリティ、高出力、燃費、信頼性、安定性などに対するユーザニーズを満たし、万一の場合にも安全性と最低限度の走行機能を持つものでなければならない。また、最近では E F I システムも一般的となり、低価格化もユーザニーズの重要な1つである。このような背景のもとに、圧力により燃料噴射量を調整する方式 (E F I-D) の制御コンピュータ (E C U) を、低価格化を目的として、8ビット、1チップマイコンで開発することを設計基本方針とし下記項目に重点を置いた。

- 1) 低価格化: マイコンも含め最適な I C、ハイブリッド I C (H I C) を開発し、片面基板に実装する。
- 2) 8ビット: 精度を向上させ処理速度を確保する。
- 3) 1チップ: 高性能、安全性のため繰返し改良される制御ロジックに対し、限られた範囲内で制御精度と信頼性を与え、かつ無駄を排除する。

そのため、E F I システム全体を把握、理解しながら最適なマイコン仕様を決定し開発した。また、評価システムも先行開発し、システム確立の過程において、E C U 単体の機能評価はむろんのこと、実際のエンジンおよび車両を使用した評価を並行して行った。

以下に E F I-D システムの概要と上記項目への具体的な対応を述べる。

2. E F I-D システムの概要

エンジンへの燃料供給方式は

- 1) キャブレタ方式
- 2) インジェクション方式

があり、一般的にインジェクション方式の方が応答性、精度および補正の多様性面で優れている。

インジェクション方式には

- 1) 直接空気量を計測する方式
- 2) 間接的に空気量を計測する方式

があり、性能面では基本的に差はない。しかし、E F I-D などの間接的に空気量を計測する方式では、空気量への換算時に、吸気効率などの種々のパラメータが介在し、それだけ E C U に高機能が要求されることになる。

2. 1 システム構成

図-1に制御システムを示す。パキュームセンサとディストリビュータのクランク角位置信号を主要入力とし、燃料供給と点火時期をノンリニアに最適制御し、スロットルバルブのバイパス空気量の制御 (I S C) によりメンテナンスフリーを図っている。吸気系の圧力損失が小さく高出力を特徴としている。

2. 2 制御機能

1) 燃料噴射制御

インテークマニホールド内の圧力とエンジン回転数とから基本噴射パルス幅を計算し、O₂ センサ信号のフィードバックなどにより補正を加え、一定の燃料圧力に保たれたインジェクタの噴射時間を制御して、燃料カットも含め、全ての運転状態で最適な空気燃料比に調整する。

2) 点火時期制御

インテークマニホールド内の圧力とエンジン回転数とから基本点火時期を計算し、エンジン冷却水温度などの補正を加え、イグナイタを通电、遮断制御して、エンジン発生トルク、燃焼状態を最適に調整する。

3) アイドル回転数制御

エアコンなどの信号とエンジン回転数とから、バイパスバルブ (I S C V) を制御して、エンジンに吸入される空気量を調整し、最適な回転数を

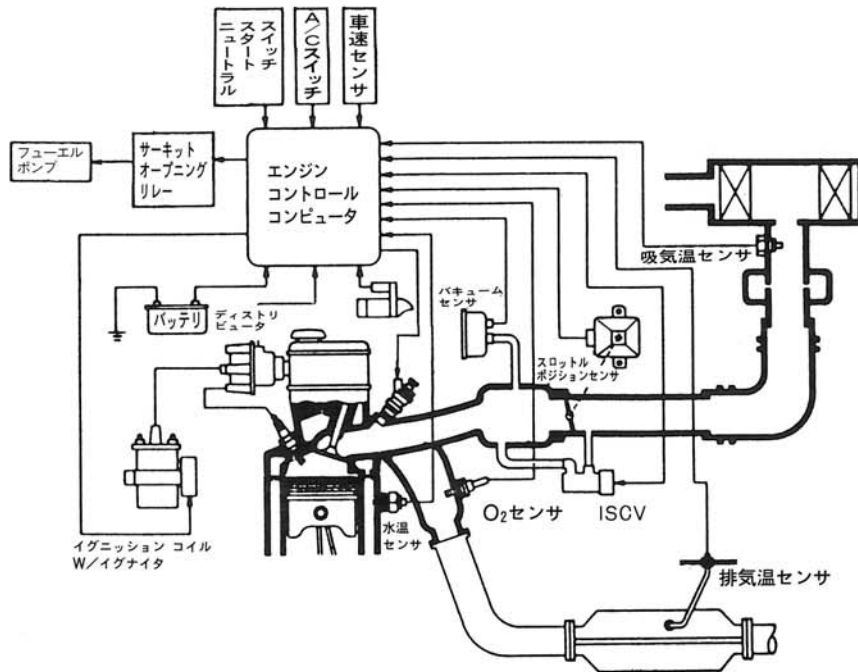


図-1 制御システム

Fig. 1 EFI-D control system.

安定に保つ。

3. マイコンの開発

従来のエンジンに流入する空気流量を直接計測し、これに基づいて燃料噴射量を調整制御する方式では、空気—燃料比を精密に適合させるために、12ビット（約4000）以上の空気流量の分解能が必要とされ、基本マイコンもこれに基づいて設計されていた。ところが、インテークマニホールド圧力（P）から空気流量（Q）を計測し燃料噴射量を調整する方式では、エンジン回転数をNとすると基本的には $Q = K \times P \times N$ であり、Nが600～6000 rpm範囲とすると、PはQに対して600/6000（=1/10）のダイナミックレンジであり、Pの分解能は12ビット/10=9ビットでよい。ここでいうPの分解能とは、エンジン回転に同期して燃料噴射を行う方式では、1回転毎の噴射量の分解能をいう。9ビット精度なら、差分方式などを用

いれば8ビットマイコンで十分対応可能である。また、PのAD変換を電圧/パルス幅変換方式で行えば、1μSクロックで512μSのパルス幅が最大となり、EFI制御における空気流量のサンプリングサイクル5～10msにも十分対応できる。AD変換用にパラレルバスを必要としないこと、基本8ビットシステムから、4KBのROMを内蔵する8ビット、1チップマイコンをEFI-D方式の最適コンピュータと判断して開発した。

4. ECU開発のサポートツール

燃料噴射、点火時期、アイドル回転数制御を総合的に制御するECUには、数多くの情報がダイナミックに入力される。これらの入力は、相関を保ちながら変化するもの、あるいは全く独立に、偶発的に変化するものなどが入り混じっている。そのため、机上実験でのマニュアル入力設定による評価だけでは充分でなく、設計ミスを見逃す恐

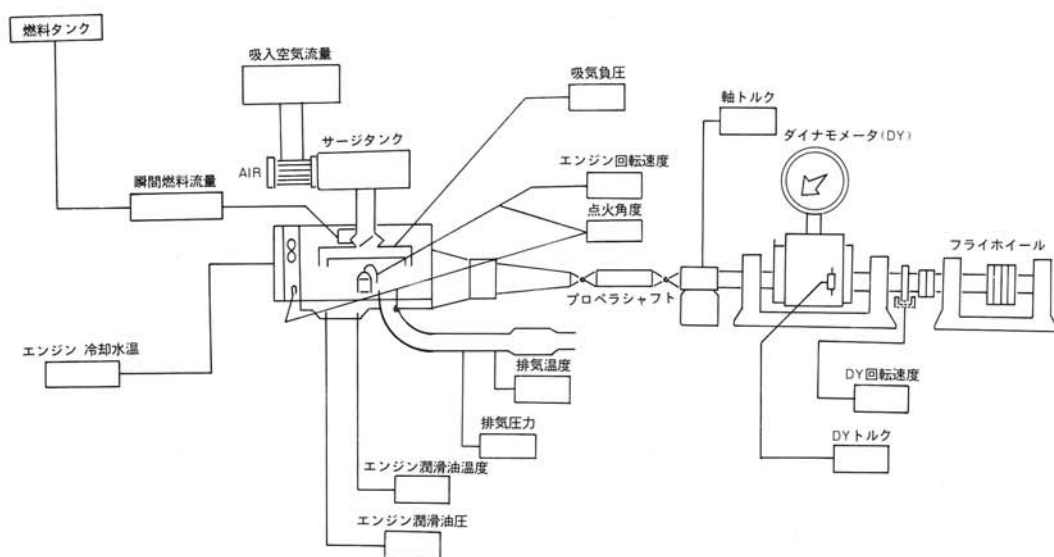


図-2 エンジンダイナモ上での試験

Fig. 2 Test on engine dynamometer.

れがある。このため、ECU単体での論理チェックだけでなく、エンジンおよび車両を用いたダイナミックな入出力の把握と評価を行った。

4. 1 エンジンダイナモ

図-2にプロペラシャフトに直接負荷を加えたエンジンダイナモ上での試験状態を示す。エンジン



図-3 シャーシダイナモ上での試験

Fig. 3 Test on chassis dynamometer.

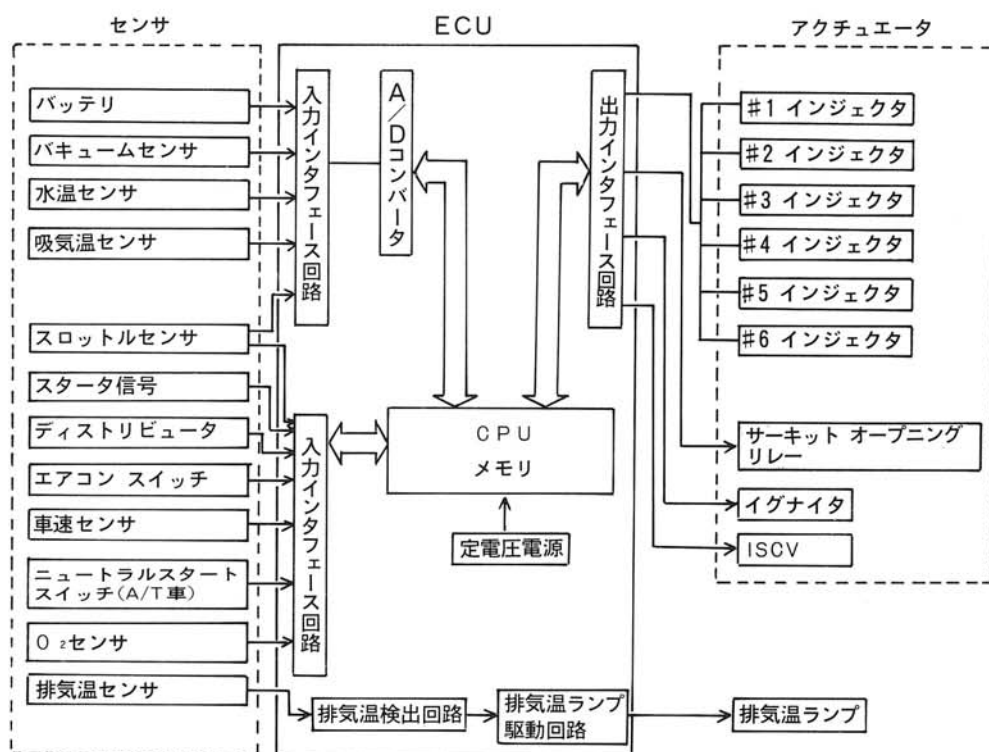


図-4 EFI ブロックダイアグラム

Fig. 4 EFI block diagram.

アッシーのみの状態のため周囲が開放されており、図のように種々の計測器を取付けて、制御精度の把握を中心に機能試験を行った。

4.2 シャーシダイナモ

図-3に路面をシミュレートしたドラムに走行負荷を加えるシャーシダイナモ上での試験状態を示す。車両実装状態でのアクセサリノイズ、電圧変動などに対する安定性、ラジオなど他部品への影響など総合的な機能試験を行った。

5. ECU構成と機能概要

5.1 ECU構成

図-4のEFI用ブロックダイアグラムに示すような多数の入出力（センサ、アクチュエータ）に精度、応答性および信頼性を維持させながら下記項目に特徴を持たせた。

1) 片面基板

従来、EFI制御ECUでは必要な入出力数に対し、所要の性能と信頼性をうため、数百点の部品構成を必要とし、両面基板の採用が当然であったが、EFIシステムの把握により、適切なタイミングでIC、HICを開発し、使用部品点数の削減と片面基板化を実現し、コストダウンを図った。

2) HIC

エンジン制御関係の共通機能を回路ブロック単位にモジュール化し、他機種への汎用性と、モジュール単体での機能チェックが容易にできるようにした。

5.2 機能概要

図-5にECUの外観を、また、表-1に機能概要を示す。

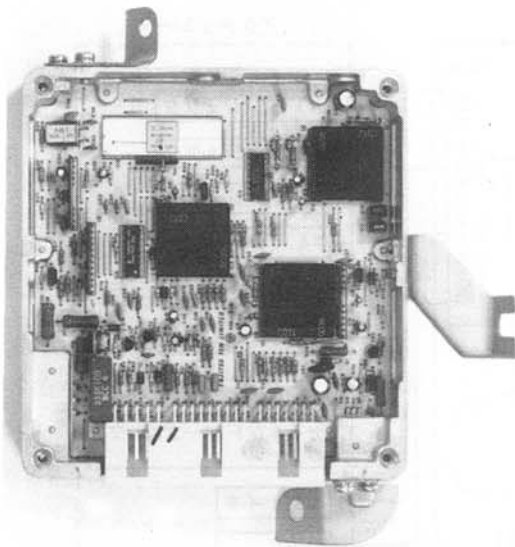


図-5 ECUの外観
Fig. 5 ECU.

6. 設計概要

6.1 精度と応答性

E F I — D 制御方式で最も特徴的かつ重要な入力要素は、インテークマニホールド内の圧力である。実際には、インテークマニホールドとスロットルの間に設けられたサージタンク内の圧力を、

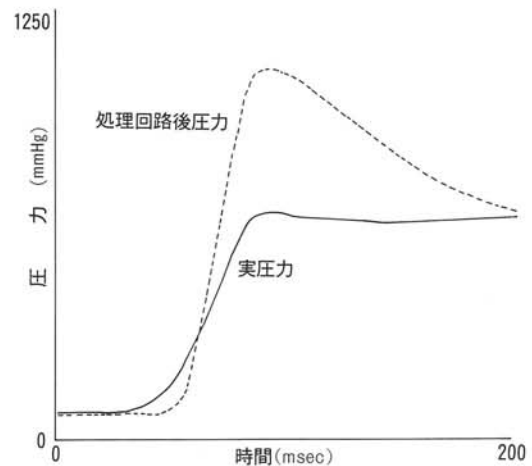


図-6 圧力処理特性 (その1)

Fig. 6 Characteristics of pressure (No. 1).

半導体式圧力センサで検出している。サージタンク内の圧力はシリンダの工程サイクルで変動しており、この変動を吸収し、かつ応答性を損なわない処理方式を開発した。

図-6、図-7に、エンジンの使用回転域すべてにわたりリップル吸収および応答性のよい処理回路の特性を示す。

検出した圧力により基本噴射量を計算する方式において、8ビットマイコンで9ビット以上の精

表-1 ECU機能概要

機 能	概 要
燃料噴射制御	インテークマニホールド圧力、エンジン回転数などから噴射時間を計算し、6気筒それぞれのインジェクタを、360°クランク角毎に同時に1μSの分解能でマイコン内部のコンペアレジスタ機能により制御する。
点火時期制御	インテークマニホールド圧力、エンジン回転数などから点火制御するクランク位置を計算し、エンジン回転数と30°毎の基準クランク位置信号からイグナイタを、120°クランク角毎に1μSの分解能でマイコン内部のコンペアレジスタ機能により制御する。
アイドル回転数制御	エアコンなどの状態により最適目標回転数を設定し、エンジン回転数およびバイパスバルブの電流をフィードバックして、アイドル時のエンジン回転数が目標回転数になるようにバイパスバルブをデューティ制御する。なお、バイパスバルブのヒステリシスを低減するため、デューティパルスに変調を与えている。
ダイアグノシス	入出力の異常状態を常にチェックし、異常時には、ECUとして可能な最適の処置を行っている。また、ドライバおよびディーラに対してダイアグノシス情報を提供している。

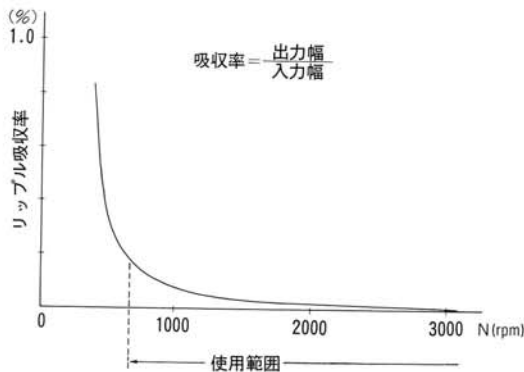


図-7 圧力処理特性 (その2)
Fig. 7 Characteristic of pressure (No. 2).

度を与えたが、EFI制御ECUとして要求される計算機能は、精度と同時に処理速度が大きなウェイトをしめ、単に精度だけを追求することは無意味である。更に、1チップに限定されたROMとRAMの許容範囲内で総合的に高機能を確保しなければならない。従って、EFI-Dシステムを把握するに従い、また、システムの改良を重ねるに従い、精度、処理速度などを総合的に評価しバランスさせていった。

6.2 学習機能と安定性

燃料噴射制御、アイドル回転数制御においてエンジン間バラツキ、経年変化に対して学習機能を持たせた。学習機能とは、フィードバック系において、補正量の値により基本量を修正記憶することで、これにより、クリーンな排出ガスと安定性を常に維持させている。

安定性に関しては、外乱による万一のマイコンRAM値変化に対する処置、ノイズに対する最適のフィルタ（ダイナミックフィルタ、共通フィルタ、高周波フィルタ）を、ソフトウェア面からもバックアップし、ECUとしての信頼性向上を図った。

6.3 フェールセーフ

マイコンの状態を外部から常にモニタし、万一異常と判断すれば外部回路に切り換えて、車両走行に必要な最低限の燃料噴射、点火時期、アイドル回転数制御を行うと同時に、ドライバに情報を提供する。また、マイコンの異常が一時的であり正常に復帰したと判断すれば、通常の制御にもどす機能を付加した。このモニタ回路の設計に当り、マイコンの全入出力および主要機能のそれぞれが異常となれば、EFIシステムにどのような影響を及ぼすかを分析し、走行不能となる全異常が検出できる判断条件を設定した。このモニタ回路と外部回路による退避走行機能のほかに、エンジンを完全に停止させる機能や、入力異常時の置換機能を持たせ、異常発生時にはECUとして適宜最適機能を選択させた。

7. 信頼性評価

7.1 LAシステム

ECU開発に先行して、図-8に示す自動計測分析システム(LA)を開発した。アナログ24点、

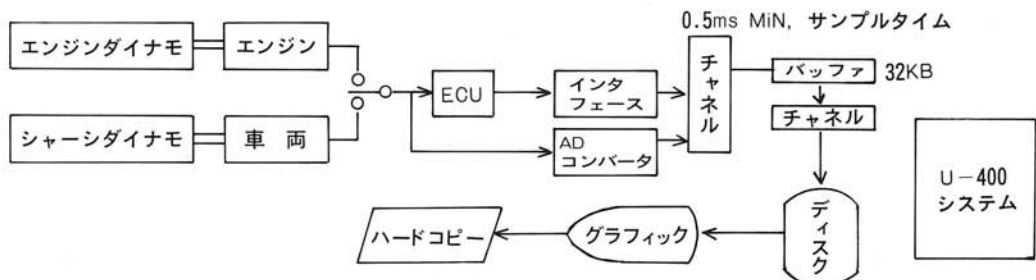


図-8 LA ブロックダイアグラム

Fig. 8 LA block diagram.

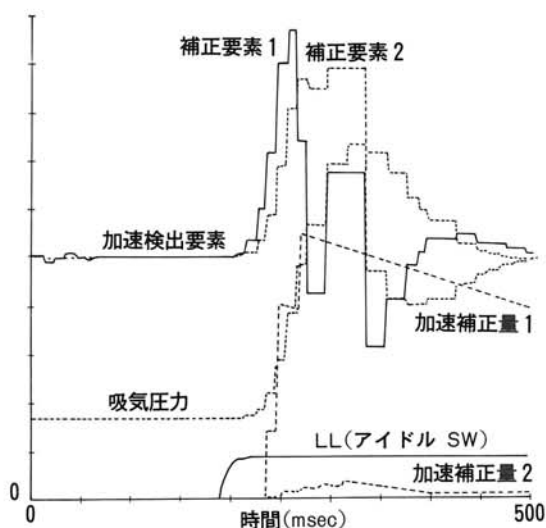


図-9 LA サンプルデータ

Fig. 9. LA sample data.

ディジタル26点を同時に最小サンプル時間 0.5mSで、40点×19,200のデータ量が計測できる。エンジンダイナモ、シャーシダイナモ上でのECUの入出力、ECU内の補正要素および状態要素を同時計測し、ECUの動作、安定性を評価した。

図-9のLAサンプルデータは、エンジンの急加速時におけるECU内部の補正要素を記録したものである。これら多数のデータの分析により要求機能の確認および応答性の改善を図った。

7.2 シミュレーション システム

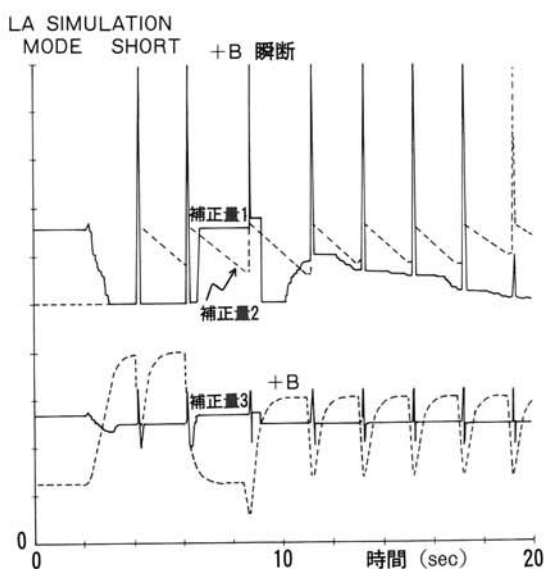


図-11 シミュレーション サンプルデータ

Fig. 11 Simulation sample data.

図-10にシミュレーション ブロックダイアグラムを示す。計測入力系は上記LAシステムと同じである。出力データは電算機でモードパターンから作成し、MTに記憶させ、試験時にディスクにローディングする。アナログ8点、ディジタル16点を2mS毎同時に、24点×211,200のデータ量をシミュレータに出力する。シミュレータでは、エンジンの出力形態に変換してECUに出力する。

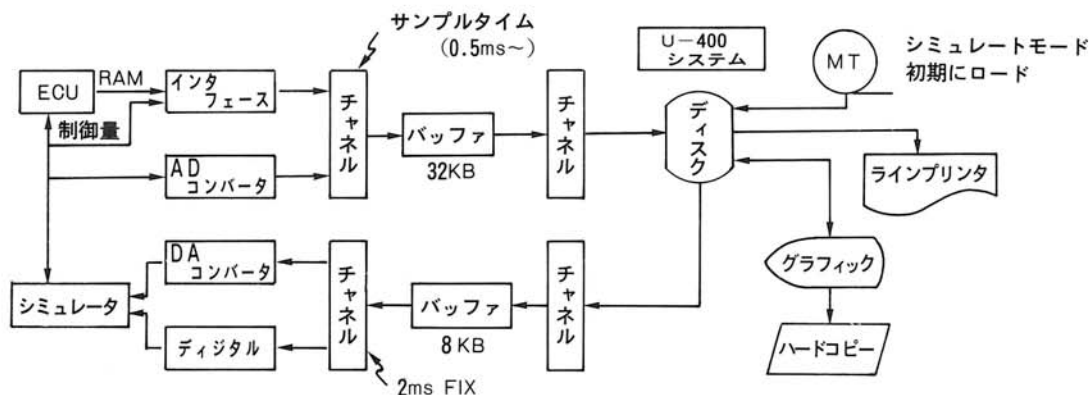


図-10 シミュレーション ブロックダイアグラム

Fig. 10 Simulation block diagram.

このシステムにより、通常モードにおける出力値の理論値との比較による一般機能チェック、低高温状態想定による限界環境機能チェック、および実際には起こりえない状態での機能チェック（ソフトウェアの限界試験的な内容）を行った。

図-11のシミュレーション サンプルデータは、電源系の変動時におけるECU内部の補正要素を記録したものである。このような入力異常時における機能確認の他に、通常のエンジン状態では確認できない経年的なバラツキの最大値についてもシミュレーションで機能確認を行った。

8. 今後の方向

8.1 高密度実装

半導体技術の進歩とともにECUの機能は増大し、かつ、小型、高信頼性、低価格化の道をたどってきた。この方向は今後とも変わりなく、現在、弁当箱大のECU寸法が数年後には掌大になろうとしている。これらを実現するための技術背景としては

- 1) 高密度実装技術
 - 2) 低電力型半導体技術
- の進歩があげられる。

高密度実装技術の1つは、セラミック多層基板に関するもので、厚膜材料面でのペーストの選択（タングステン/銅）、抵抗体焼成技術および異形

部品のチップ化など解決すべき問題が多い。一方半導体部品については、C-MOS化による低消費電力化は比較的容易であるが、電力型部品の放熱に対する取扱いが技術上の焦点となっている。この解決方法の1つとして、パワーMOS・FET技術による電力素子の採用が有望であり、今後の開発が期待される。

8.2 EFI-D制御方式の改良

EFI-D制御方式の特徴は、吸入空気量検出のための圧力損失（エンジントルク低下）が小さく、安定性が高く、かつ、制御のダイナミックレンジが広いことである。しかし、今後、更に、圧力検出の応答性、吸入空気量と検出圧力の相関などを改善し、方式としての利点を伸長することが必要である。

9. むすび

LA システム、シミュレーション システムなどにより、EFI システム全体から常にECUを把握することで、信頼性およびコストパフォーマンスの高いECUが開発できた。

今後は更に、実装技術および評価システムの改良を図り、顧客のニーズにマッチするEFI システムに、適宜対応できるECUを開発して行きたい。