

## エンジン制御用高機能マイクロコンピュータ High Performance Microcomputer for Engine Control

河村 敬 秀<sup>(1)</sup> 見 米 絃 一<sup>(2)</sup> 西 山 周 二<sup>(3)</sup>  
Takahide Kawamura Koichi Mikome Syuji Nishiyama

高 橋 稔<sup>(4)</sup> 橋 川 健 三<sup>(5)</sup>  
Minoru Takahashi Kenzo Hashikawa

### 要 旨

最近、マイコンを用いた車載用電子制御機器の伸びは目覚ましいものがある。そのなかでも電子燃料噴射制御（EFI）を中心機能とするエンジン総合制御システム（TCCS）は、排出ガス低減、運転性能、燃費率の向上に優れており装着台数が急増している。それを可能としたのは、(1)マイコン化により制御の質と量が飛躍的に向上したこと、(2)半導体技術の進歩によりマイコンそのものの性能、品質が向上し、他方コストが低下したことである。車に対する機能、性能の要求が高まるにつれ、TCCS機能もさらに高度化する必要があり、その中枢部品であるマイコンの開発は技術の流れを読み取りながら先行的に推進する必要がある。

本稿では、トヨタ自動車㈱、富士通㈱と富士通テン㈱が共同して開発した8ビットワンチップマイコンについて、その開発のねらいとその成果について報告する。

本マイコンは1985年のクレスタ（1G-Gエンジン）用TCCSコンピュータより採用を始めている。

Recently, electronic car control systems by microcomputer have developed remarkably. Especially, the engine control system (TCCS), provided with Electronic Fuel Injection (EFI) control as major function, contributes so greatly to the reduction of exhaust pollution and improvement of driving performance and fuel consumption, that the number of cars with this system is sharply increasing.

The system has been successfully accomplished due to (1) the rapid improvement of quality and capability of control by microcomputerization, and (2) the improvement of microcomputers in quality and performance, and their lower cost owing to improved semiconductor technology. Increasing demands of higher performance for cars, it is necessary to develop the TCCS performance. Therefore, it is also necessary to be familiar with the technological evolution, and to take the lead in developing more advanced microcomputers, the major components of the TCCS.

This paper reports on the purpose and the results of an 8-bit single chip microcomputer which has been successfully developed by Toyota Motor Corporation, and Fujitsu Limited, and Fujitsu Ten Limited.

This microcomputer has been used as the TCCS computer for the 1985 CRESTA (1G-G engine).

(1) トヨタ自動車株式会社

(2) 富士通株式会社

(3)~(5) モートロニクス技術部

## 1. はじめに

富士通テンでは昭和58年からトヨタ自動車向けにエンジン総合制御システム（TCCS）用電子制御機器（ECU）の生産を開始した。それに先立ち、エンジン制御のための必要十分機能を持ったベースマイコンとして8ビット、4KバイトROM内蔵のN-MOSワンチップマイコンを開発し、機能、性能、品質、コストの点で、充分満足できるものであることを実証してきた。

ところが自動車を取りまく社会環境の変化とか、商品性追求（排出ガス低減、運転性能、燃費率の向上）の結果、様々なバリエーションを持つシステムが開発、検討され、多様化するサブシステムの追加検討が行われ、また他システムとの一体化構想などが浮上してきた。そのためシステム規模が膨れあがり、それだけ制御中枢であるマイコンの役割を増大する必要が生じた。

このような状況下では、前記マイコンだけでは能力不足となることが明確となり、高機能化、高性能化、大容量化の必要性が高まり、今回トヨタ自動車、富士通および富士通テンの3社で共同開発した。

以下に本マイコンの開発のねらいとその成果について述べる。

## 2. 開発のねらい

開発にあたって、次の2点に重点を置いた。

- 1) 商品性；開発後数年間は性能的に優位に立てること。そのためには最新の半導体技術を用いる。
- 2) 柔軟性と；現在および将来にわたる各種エンジン制御を想定し、また、駆動制御などにも使える車載用としての汎用性を有すること。

そこでマイコンの仕様を決定するに際し、(1)メモリー容量、機能については、表-1のシステムを想定した検討、(2)命令体系については、既に量産中のエンジン制御プログラムをモデルとして、①使用命令頻度の分析と、②命令のマクロ化によるプログラム効率増と実行時間の短縮の検討など車載制御用の専用設計を充分織り込むことを配慮した。その結果開発するマイコンの主な仕様は次のようになった。

- 1) C-MOS プロセスの採用
- 2) 8KバイトのROM容量
- 3) 入出力タイマの増加

## 3. マイコンの特徴

今回開発したマイコン MB89003 は高速リアル

表-1 各システム必要機能と開発マイコン仕様

| 機 能<br>システム                |        | メモリー容量 (バイト) |     | タイマ入力 | タイマ出力 | 通常 I/O |     |
|----------------------------|--------|--------------|-----|-------|-------|--------|-----|
|                            |        | ROM          | RAM |       |       | 入 力    | 出 力 |
| 基<br>本<br>シ<br>ス<br>テ<br>ム | TCCS-A | 4 K          | 170 | 2     | 2     | 13     | 17  |
|                            | TCCS-B | 6 K          | 230 | 3     | 4     | 11     | 14  |
| 付加システム-C                   |        | 1 K          | 20  | 1     | 0     | 2      | 2   |
| 付加システム-D                   |        | 1 K          | 13  | 1     | 0     | 12     | 5   |
| 付加システム-E                   |        | 2 K          | 20  | 1     | 1     | 7      | 5   |
| その他のシステム-F                 |        | 6 K          | 256 | 4     | 0     | 9      | 12  |
| 開発するマイコンの仕様                |        | 8 K          | 256 | 4     | 4     | 16     |     |

タイム処理用として設計した8ビットのC-MOSワンチップタイプで、8ビット/16ビットデータの演算処理を行うCPU機能の他に8KバイトROM、256バイトRAM、19ビットタイマを中心とするタイマ系、およびデータ入出力ポート（8ビット×2）を備えている。

開発したマイコンのブロック図を図-1に、チップ写真を図-2に、量産中のマイコンとの機能比較表を表-2に示す。

主な特徴は、次の8点である。

- 1) 少ない消費電流と暗電流
- 2) 広い動作範囲（温度、電圧）
- 3) 大きなメモリ容量
- 4) 高い制御精度
- 5) プログラム効率の良い命令体系
- 6) 拡張性

7) 速い処理速度

8) 高い品質

以下に、マイコンの機能とそのねらいについて、図-3に示すTCCS用ECU（以下ECUと略す）を例に説明する。

### 3.1 プロセス

本マイコンの設計のねらいの1つは車載用を配慮し、動作温度範囲、動作電圧範囲を拡大することである。従来のN-MOSマイコンの動作範囲は図-4に示す通りで、一般民生機器用よりその範囲は拡大しているが、さらに高温側拡大と低電圧側拡大が望まれる。

範囲拡大を阻害する要因は2つあり、その1つはマイコン自体の電力消費による自己発熱である。通常N-MOSマイコンの場合、0.6W程度の電力消費によりチップ温度は20～40℃上昇する。

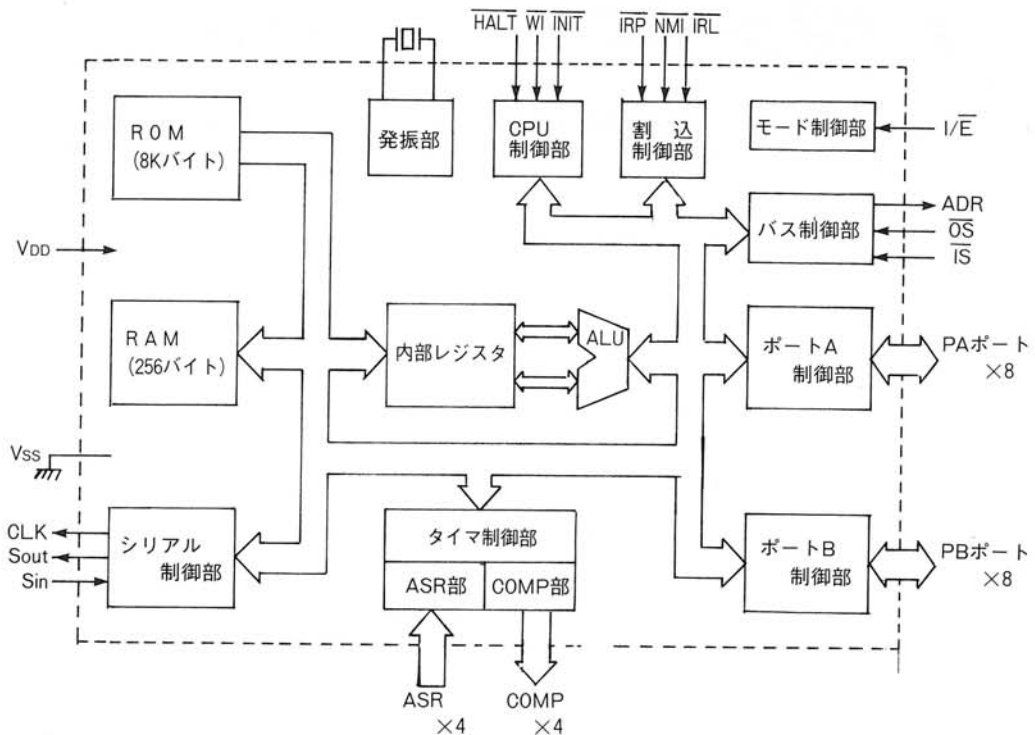


図-1 マイコンのブロック図

Fig. 1 Microcomputer block diagram.

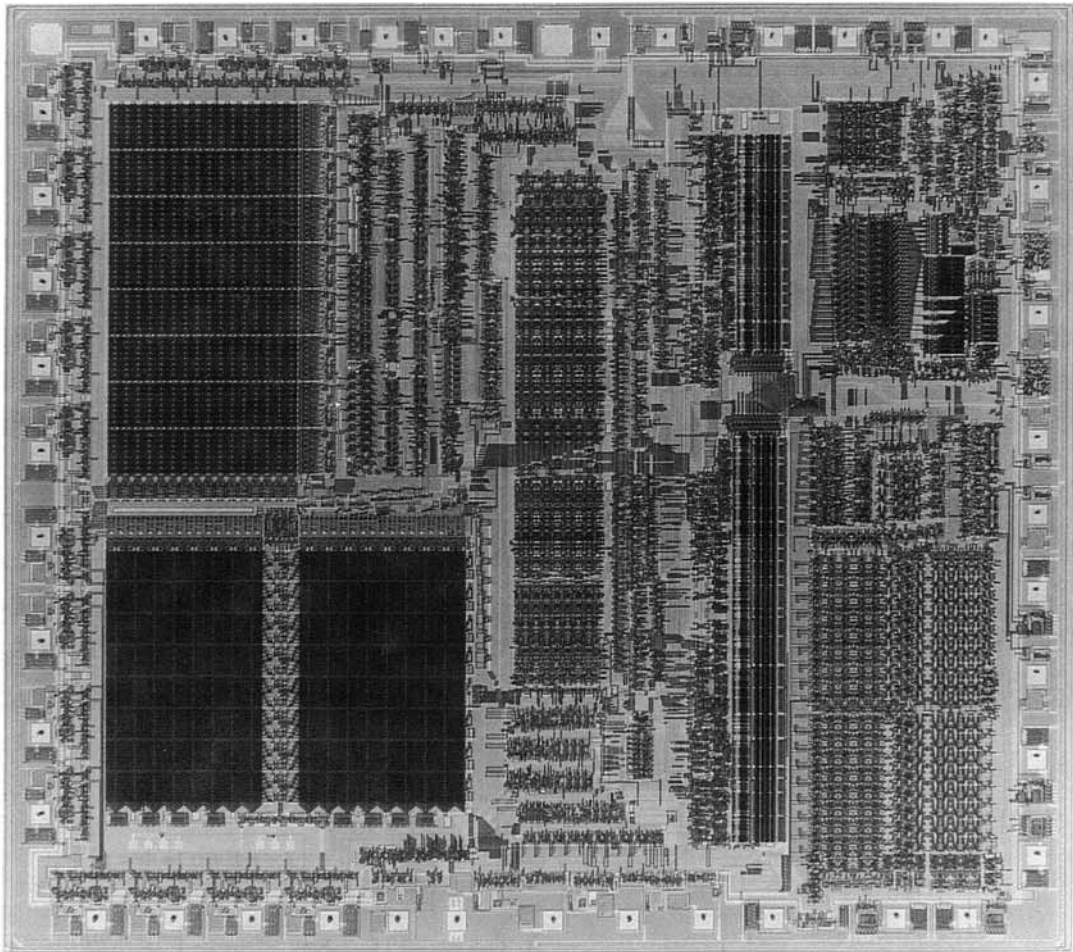


図-2 マイコンのチップ写真

Fig. 2 Microcomputer chip layout.

他の1つは、マイコン回路の構成要素であるゲートのしきい値電圧範囲で、N-MOSの場合1V強の電圧値であるが、論理“0”側の電圧に対し、マージンが少ない。この2つの要因を解消するために、本マイコンでは、C-MOSプロセスを採用した。その結果、動作範囲を図-4のように拡大できた。

また、C-MOSプロセス採用によって、暗電流低減というもう1つのメリットが得られる。TCCS用などの車載コンピュータはイグニッションキーオフ時にも制御値を記憶保持するためスタン

バイRAMを有している。そのため絶えず数mAの暗電流が流れているが、車の中には他にも暗電流消費のECUが装着されており、今後、その数が増え続けると総暗電流値が無視できなくなる。

### 3.2 メモリ容量

従来TCCSは、主として燃料噴射、点火時期、およびアイドル回転数の制御をおこなっており大半のシステムでは今までのマイコンのメモリ容量で十分であった。ところがエンジンの高出力化、低燃費を目的としたたノック制御やトランスミッション制御(ECT)などとの複合化を実現する

表-2 マイコンの機能表

| 項 目         | 開発したマイコン (MB89003)                                           | 量産中のマイコン                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| プ ロ セ ス     | C-MOS                                                        | N-MOS                                                     |
| R O M 容 量   | 8 Kバイト                                                       | 4Kバイト                                                     |
| R A M 容 量   | 256バイト                                                       | 192バイト                                                    |
| I/O ポ ー ト   | 16本                                                          | 24本                                                       |
| タ イ マ       | 入力タイマ; 4CH<br>出力タイマ; 4CH                                     | 入力タイマ; 2CH<br>出力タイマ; 2CH                                  |
| 入 力 ラ ッ チ   | 4CH                                                          | なし                                                        |
| 命 令 サ イ ク ル | 0.5 $\mu$ sec (さらにパイプライン制御による <sup>*1</sup><br>速度向上)         | 1 $\mu$ sec                                               |
| 命 令 数       | 255<br>量産中のマイコン+除算+ビット操作命令                                   | 255                                                       |
| シ リ ア ル     | 31 kHz~1 MHzの同期転送<br>300 Hz~62.5 kHzの非同期転送                   | データ形式; バイフェイズとNRZ<br>244 Hz~62.5 kHzの転送 (内部クロック)          |
| 割 込 み       | 内部; 13 (タイマ系、シリアル系、ソフト)<br>外部; 3 (NMI、IRP、IRL) <sup>*2</sup> | 内部; 5 (タイマ系、シリアル系、ソフト)<br>外部; 2 (NMI、IRL)                 |
| 内 部 レジスタ    | アキュムレータ 2個 (A、B)<br>インデックスレジスタ 2個 (X、Y)<br>スタックポインタ 1個 (SP)  | アキュムレータ 2個 (A、B)<br>インデックスレジスタ 2個 (X)<br>スタックポインタ 1個 (SP) |
| 動 作 電 圧 範 囲 | 25~105°C 4.5~5.5V<br>-40~ 25°C 4.0~5.5V                      | -40~90°C 4.5~5.5V                                         |
| 消 費 電 流     | TYP. 20mA                                                    | TYP. 120mA                                                |
| スタンバイ電流     | TYP. 10 $\mu$ A                                              | TYP. 6mA                                                  |
| フ ィ ル タ 機 能 | あり                                                           | なし                                                        |
| スタンバイ機能     | あり                                                           | あり                                                        |

\*1 パイプライン制御; 命令の取り込みと処理を並行して行う制御で高速動作が可能となる。

\*2 I R P ; エッジ入力割り込み I R L ; レベル入力割り込み

ためにメモリ容量の増加を要し、8 KバイトのROMを内蔵した。

### 3.3 タイマ系

タイマ系はECUの主要入出力を精度良く処理するブロックであり、本マイコンの最大の特長である。19ビットのフリーランカウンタと16ビットの入力用オートセーブレジスタと出力用コンペアレジスタから構成されている。そのブロック図を図-5に示す。

フリーランカウンタは0.5 $\mu$ secのクロックを19ビット長で連続的にカウントし、タイマ系全体の

基本時間となる。

#### 1) 入力タイマ (オートセーブレジスタ)

ECUの入力信号には、エンジン回転信号や車速信号のように繰返し周期を計測処理しなければならないものがある。とくにエンジン回転信号はエンジン回転30°毎の信号で5000 rpm以上では1 msec以下のパルス周期を計測しなければならない。

そのほかにバキュームセンサや水温センサなどのアナログ入力がある。とくにバキュームセンサからの信号は、燃料噴射制御の基本である空気量

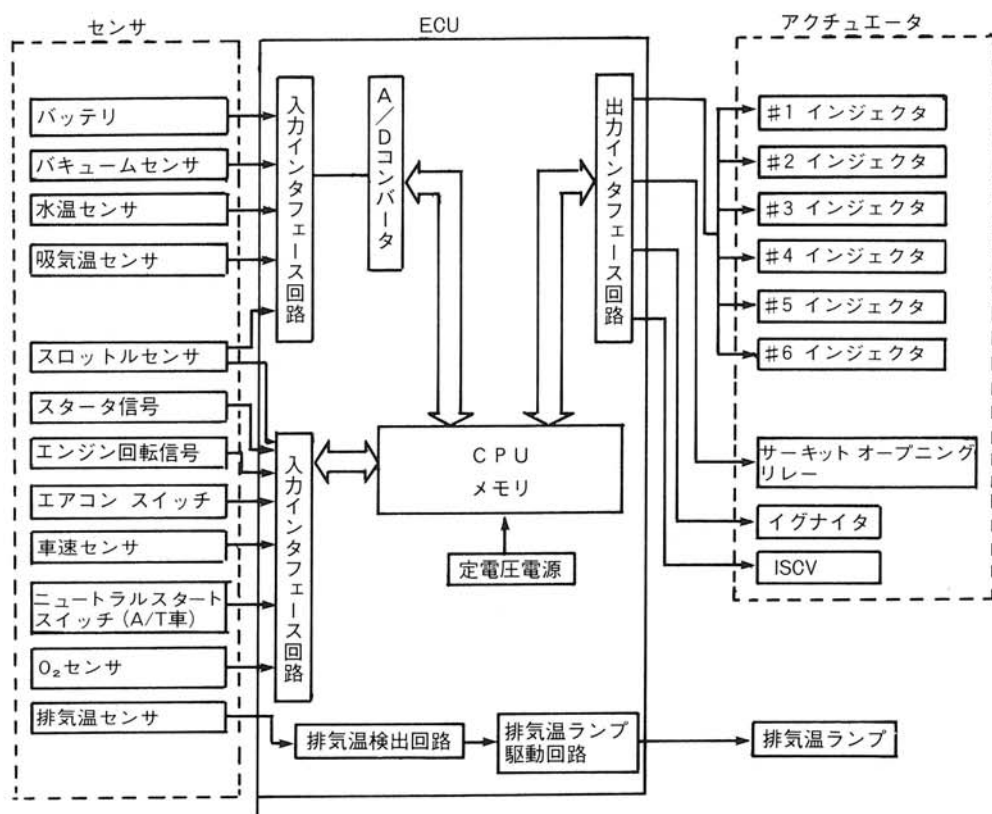


図-3 TCCS ECU ブロック図

Fig. 3 TCCS ECU block diagram.

算出の重要な信号である。ECUではシングルスロープ積分型A/Dコンバータにより図-6に示すアナログ入力電圧に比例したパルス幅に変換した

後、マイコンに入力している。ADの変換分解能は10ビット以上必要で、パルスカウントクロックを $1\mu\text{sec}$ に設定した際の最大変換幅は1msecとな

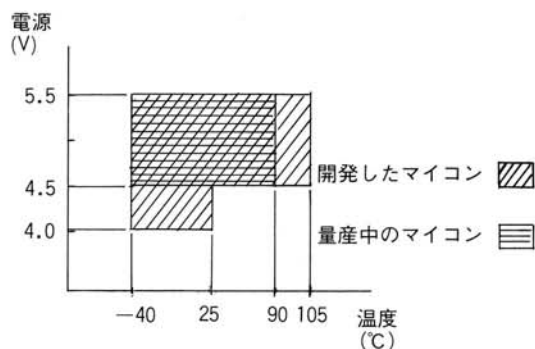


図-4 マイコンの動作範囲

Fig. 4 Operating range of microcomputer.

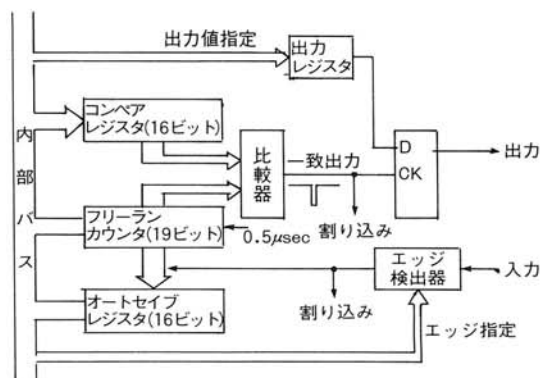


図-5 タイマ系ブロック図

Fig. 5 Block diagram of timer section.

る。

以上のようにエンジン回転信号、AD変換信号は共に1msec程度の短い信号であるが、TCCSの制御精度、性能を左右する重要な信号であるので高い精度で、かつ速い処理が必要である。

パルス幅や周期計測用のオートセイブレジスタは、入力の変化が生ずるとフリーランカウンタの値が自動的に書き込まれ、ソフト処理によりパルス幅や周期を算出するものである。その例を図-7に示す。

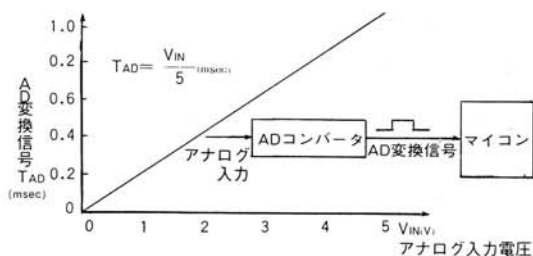


図-6 AD変換信号

Fig. 6 AD conversion signal.

オートセイブレジスタとして分解能  $1\mu\text{sec}$  と分

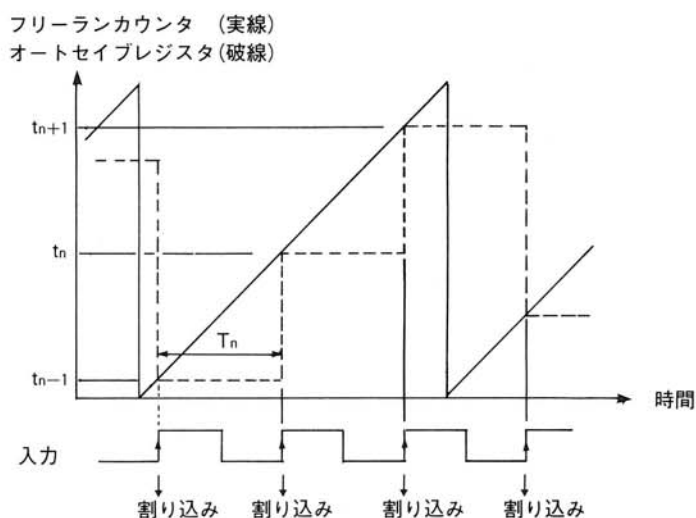


図-7 オートセイブレジスタ動作図

Fig. 7 Operating diagram of auto save register.



解能  $4\mu\text{sec}$  を 2 チャンネルずつ備えており、入力により最適な方を選択できる。例えばエンジン回転信号、AD 変換信号の処理には、 $1\mu\text{sec}$  分解能のチャンネルを用い、車速信号 (120km/h 時 12msec のパルス周期) の処理には、 $4\mu\text{sec}$  分解能のチャンネルを用いる。

なお入力変化のエッジ方向はソフトで指定できる。

## 2) 出力タイマ (コンペアレジスタ)

ECU からの主な出力信号は、燃料噴射制御およびイグニタ点火制御用であり、図-8 のようなパルス幅出力を行う。これらの精度はエンジン性能に直結しており 1% 以下の精度が求められる。

パルス幅出力用のコンペアレジスタは、そのレジスタ値とフリーランカウンタが  $4\mu\text{sec}$  毎に比較されており、比較値の一致が生ずると、前もって指定しておいた論理値が自動的に出力される。このため分解能  $4\mu\text{sec}$  でのパルス幅出力が可能となる。その例を図-9 に示す。このレジスタを 4 チャンネル内蔵している。

## 3. 4 入出力ポート数 (I/O ポート数)

システムにより必要な I/O 数はさまざまであり、最大 30 以上にもなる。これをマイコンに含め

るとパッケージの大型化を招き、システムによっては効率的でなくなる。そこで I/O 数は必要最低限の 16 個とし、それ以上はパラレル、シリアル変換により拡張することとした。

## 3. 5 ノイズ対策

車にはリレー、ソレノイド、ホーン、ワイパー、イグニタなど各種誘導負荷があり数 100~数 KV のノイズがあふれている。ECU ではそれらのノイズがマイコンに加わらないようにフィルタ回路を設けているが、さらに安全性を高めるために、マイコン内部に数  $\mu\text{sec}$  の入力フィルタを設け、短いパルス入力は受付ないようにしている。

対象は前述のオートセイブレジスタ入力、マイコン制御信号 (HALT、WI)、割込み信号 (IRP、NMI)、およびラッチ入力 (PA7 ~ PA4) などの重要端子や、ノイズの影響を受けやすいエッジ検出端子である。

## 3. 6 入力ラッチ機能

TCCS の入力には、信号の変化があったことが判かれば良いという程度のものがある。例えば図-8 にあるエンジン回転位置を判別するためのエンジン基準信号などは、エンジン回転信号 ( $30^\circ$ ) の処理ルーチン毎に立上がり変化があったかどうか

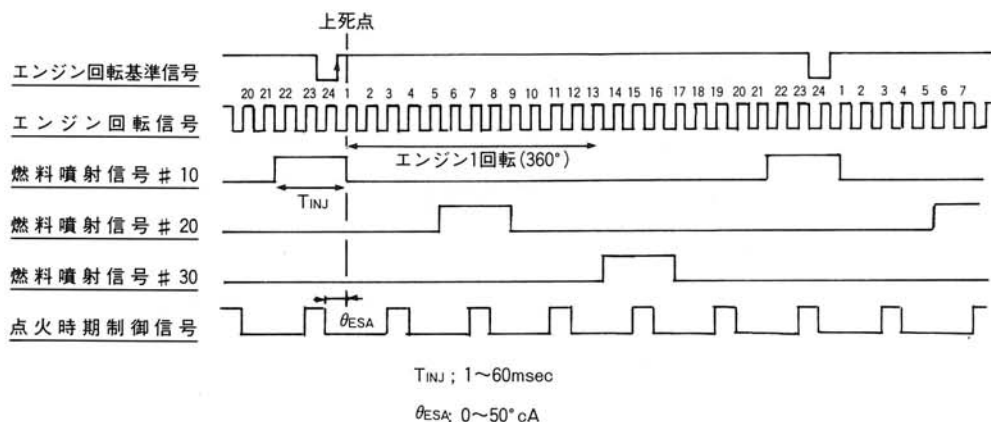


図-8 TCCS ECU 出力タイミング図

Fig. 8 Output timing of TCCS ECU.



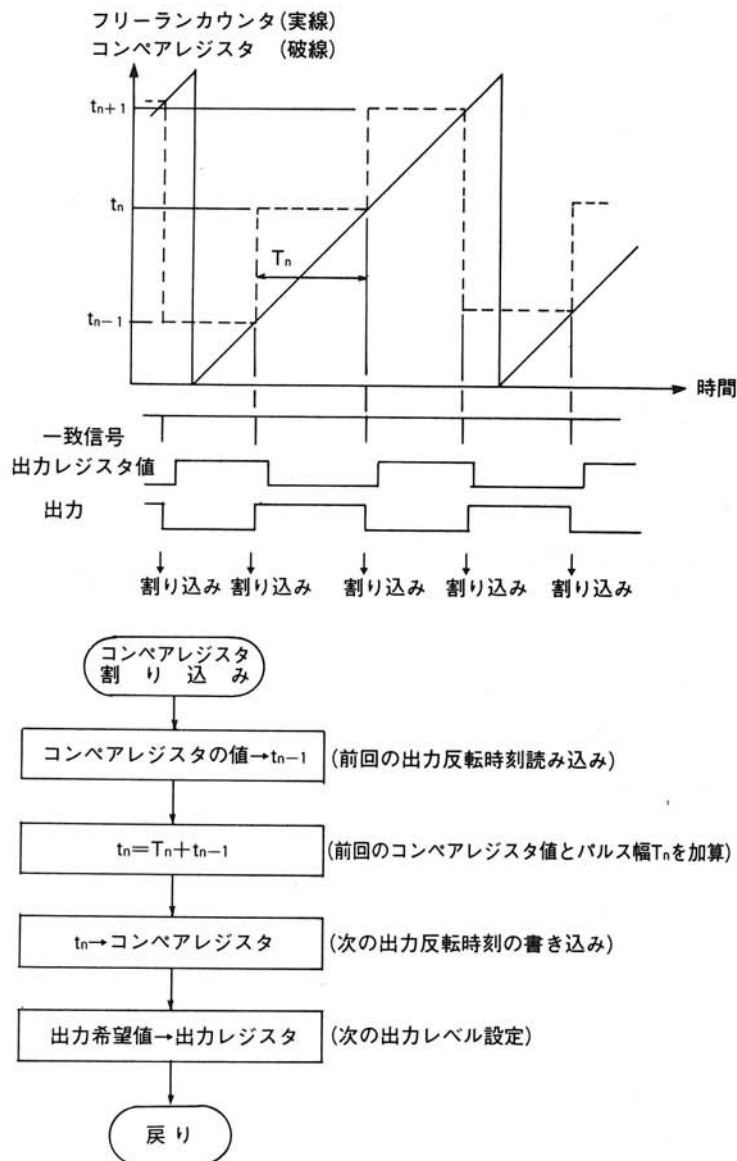


図-9 コンペアレジスタ動作図

Fig. 9 Operating diagram of compare register.

かのチェックがなされ、あった時にこの  $30^\circ$  位置がエンジンの上死点(ピストンが最上位に来る点)であるとの判断に使われる。

そこで入力変化をとらえるラッチ機能をマイコン内部に設ける事により、図-10のように回路の削除、出力ポートの節約が可能となる。

### 3.7 命令体系

乗除算命令をはじめとしてレジスタ間転送命令、メモリ直接操作命令、ビット操作命令など255の命令がある。

特にビット操作命令は、特定のレジスタ、RAMの任意のビットをセットあるいはクリア、さらにビットの値によりプログラムのジャンプなどがで

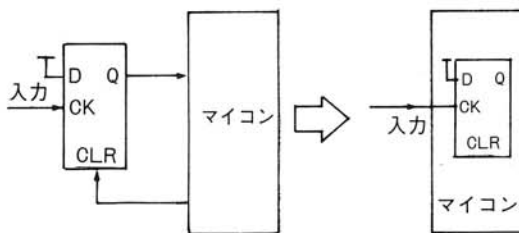


図-10 入力ラッチポート

Fig. 10 Input latch port.

きる。その例を図-11に示す。TCCSでは入力の状態によりプログラムの流れを変えることが多いので、プログラムの効率化が図れる。

### 3. 8 スタンバイ機能

スタンバイ機能とは、CPU動作を停止して内部スタンバイRAMの保持だけを行うモードで、下記のマイコン端子の制御によって移行する。

- 1)  $\overline{WI}$  ; 電源電圧が低くマイコン動作が不確定な時、本端子の制御により内部RAMの書き込みを禁止する。
- 2)  $\overline{HALT}$  ; マイコンの動作停止信号。

イグニッションキーオフ時に、前記の $\overline{WI}$ と $\overline{HALT}$ をローレベルにすることによって、水晶発振およびCPU動作を停止してスタンバイモードとなり、消費電流を抑える。

### 3. 9 割り込み機能

高速入出力処理のために、強力な多重割り込み機能（最大16要因、8レベル）を備えている。

各割り込み毎に個別マスク、優先度の指定ができる。

### 3. 10 システム拡張性

システムの拡張性を持たせるためにモード設定端子のレベルにより量産時には内蔵マスクROM使用のワンチップモード、またプログラム開発時や8Kバイトを越える大規模システム時には外部ROM使用の外部バスモードを選択できる。

### 3. 11 シリアル機能

各種ボーレートの非同期転送および最大1MHz同期転送が可能で、図-12のような入力ポートの拡張や、図-13のようなワンチップモードでのマイコン内部の制御値（RAM）の確認に使用できる。

## 4. 信頼性評価

TCCS ECUは自動車における重要部品の1つであり、高い信頼性が求められる。ECUの品質をあげるためには、そこに使用する個々の部品品質を高めることが重要であり、とくに本マイコンのように集積度の高い部品の品質がECU品質を左右するといっても過言ではない。

本マイコンの開発に際し、これまでに経験した種々の品質改善活動の成果を織り込み、設計品質の向上に重点をおいた。

また表-3のような信頼性試験と、限界評価の試験を実施し品質上問題のないことを確認した。

〔例〕ポートAの4bit目が\*1\*であるときCNTへ分岐する場合

| 従来マイコン ; 6バイト命令  | 今回マイコン ; 3バイト命令              |
|------------------|------------------------------|
| LDA, A, PORTA    | TBBS, PORTA, B'0001000', CNT |
| BITA, B'0001000' | ...                          |
| BNEQ, CNT        | CNT                          |
| ...              | ...                          |
| CNT              | ...                          |

図-11 命令体系

Fig. 11 Instruction set.

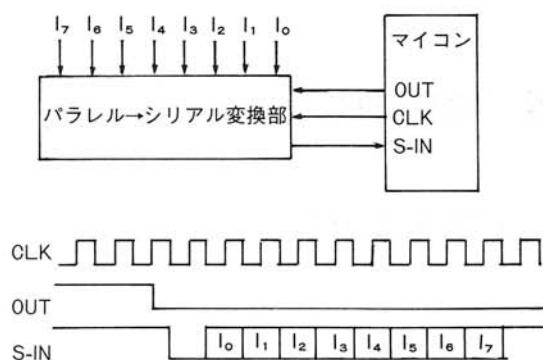
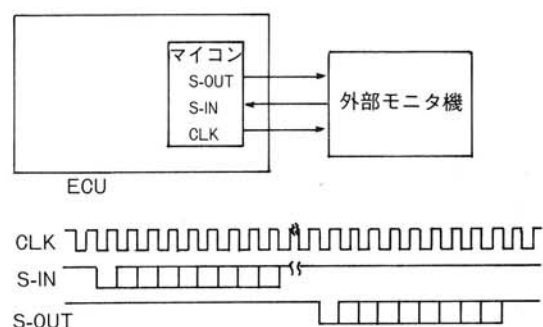


図-12 入力ポートの拡張

Fig. 12 Expansion of input port.



S-IN で確認する制御値(RAM)のアドレス指定  
S-OUTで指定されたアドレスの制御値(RAM)を出力

図-13 RAMのチェック

Fig. 13 RAM check.

## 5. 今後の方向

TCCSのなお一層の高機能化、高性能化への要求は、今後さらに高まることが予想される。

これにこたえるためにはマイコン自体の改良も必要となり、つぎのような内容を含めた検討が考えられる。

### 1) ADコンバータの内蔵

表-3 主な信頼性試験項目

| 試験名            | 試験内容                   |
|----------------|------------------------|
| 温度サイクル         | 150°C ↔ -65°C<br>各0.5H |
| 熱衝撃            | 0°C ↔ 100°C<br>各5MIN   |
| 高温高湿通電         | 85°C、85% RH通電          |
| 高温高湿放置         | 85°C、85% RH            |
| プレッシャー<br>クッカー | 121°C、100% RH 2気圧      |
| 高温放置           | 125°C、                 |
| 高温連続動作         | 125°C、                 |

- 2) メモリ容量の増加
- 3) 入出力タイマの増加
- 4) 16ビット、32ビットの採用
- 5) 動作速度の改良

## 6. む す び

本マイコンを用いた3グループ燃料噴射TCCS用ECUをクレスト(1G-Gエンジン)で量産開始している。

今回3社の共同によりTCCS用ECUのみだけでなく他の車載制御用機器にとっても利用価値の高いマイコンの開発ができた。

今後もさらに使い易くかつ多機能、高性能の追求によって商品性のあるマイコンを開発して行きたい。

## 参考文献

- 1) 河村他: TOYOTA'S NEW SINGLE-CHIP MICROCOMPUTER BASED ENGINE AND TRANSMISSION CONTROL SYSTEM., SAE 850289 (1985)