

自動車エンジン・パワートレイン制御ソフトウェア

徳田 博厚 (日立製作所)

自動車エンジン・パワートレインを制御する制御ソフトウェアの構造及びソフト
開発ツールを紹介する。

Software for automotive engine power tra
in control

HIROATSU Tokuda (Hitachi Ltd.)

Introduction of the software constructi
on for the Automotive engine-power contr
ol

1. まえがき

10数年前までは、気化器やディストリビュータのような機械式機器が車に用いられていたが、昭和53年の排ガス規制をさかいにエンジン制御にマイクロコンピュータが用いられるようになってから、省エネルギー、動力性能からの相反する要求を両立できる制御定数の設定の自由度が高いマイクロコンピュータ制御方式がエンジン制御の主流を形成するようになった。又、マイクロコンピュータは変速機制御、サスペンション制御、ブレーキ制御にも用いられ性能向上に広範に利用されている。ここ10年間の半導体技術の目覚ましい進展によりマイコンの機能は、質・量ともに充実し、昨今の高級車には4ビット～16ビットマイコンが30個から40個も装備されるようになった。

現在の自動車は、環境面から排気ガス浄化対策、地球温暖化からの省燃費に加えて、乗り心地に対する要求が強まっており、エンジンから動力伝達系までの広範囲にわたる制御システムの構築が望まれている。

以下、ハード、ソフト構成を簡単に述べ、エンジン制御に用いられている制御ソフトを中心に説明する。

2. エンジン制御システムの概要

図1にエンジン制御システムを示す。

エンジン制御は、法規制と顧客のニーズに応じて制御機能を増やしてきた。(図2) 機能の増加は、主にエンジンの高出力化対応とよりきめ細かな制御要求に応じたものである。

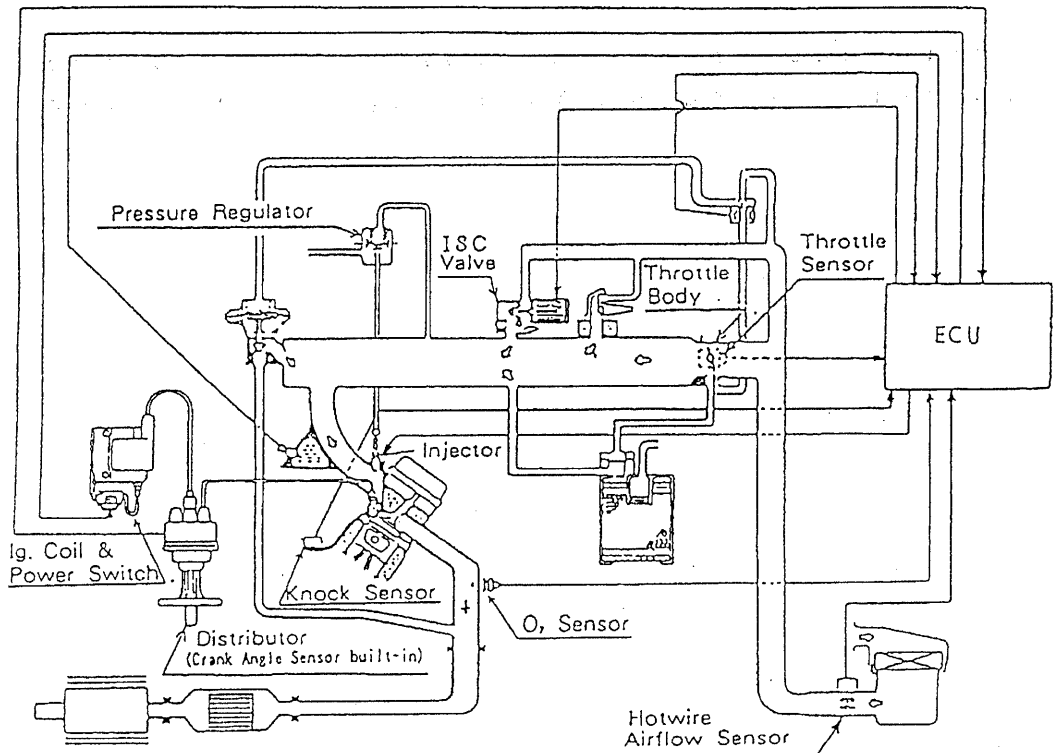


図1 エンジン制御システム

3. ハードウェア構成

マイクロコンピュータは8ビット
又は16ビットのものが使用される。

ROM	16～32kバイト、
RAM	1kバイト程度
周辺機能	パルス計測 パルス出力 ON-OFF入出力 A/D変換器 タイマ

周辺機能は、CPUが内蔵するもので不足の場合は、汎用周辺ICか専用のGate-Arrayを用意する。

A/D変換器の分解能は、エンジン制御の基本となるエアフローセンサ出力信号で決まり、通常10ビットの分解能をもつ変換器を使用される。

3. ソフトウェア構成

エンジン制御のソフトウェアの構成を図3に示す。ソフト構成は、割り込み要求を判断してタスクの実行タイミングと順序を管理するスケジューラ、エンジン回転に同期した割り込み信号（6気筒エンジンの場合は120回転角度毎、4気筒エンジンの場合は180回転角度毎に信号を発生）で起動されるタスク、時間同期で起動されるタスク及びバックブランドタスクより構成している。

時間同期で起動されるタスクは、更にいくつかのタスク（4ms、10msなど）に分割している。実行優先度はエンジン回転同期、時間同期、バックブランドタスクの順に割り付けられている。

スケジューラはタスクの実行タイミングと順序管理を受け持つものである非常にコンパクトなものになっている。

エンジン回転同期タスクは、各気筒毎に燃料噴射量、点火時期の制御量を出力する処理を実行する。時間同期タスクは起動周期によっていくつかのタスクに分かれているが、短い周期のものはエンジン制御の基本となるエンジンの吸入空気量の

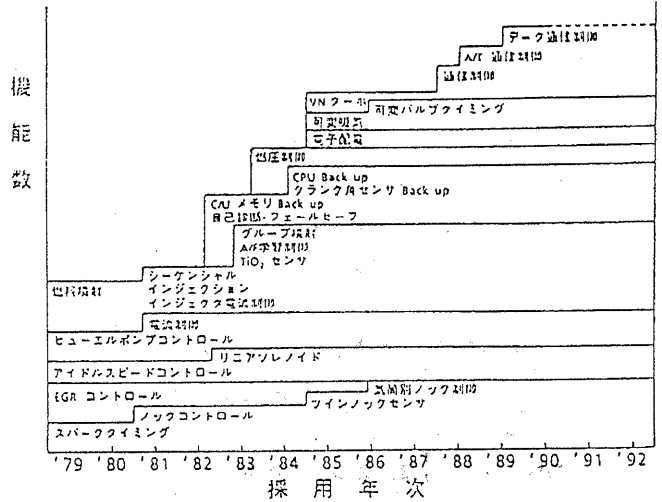


図2 制御機能の推移

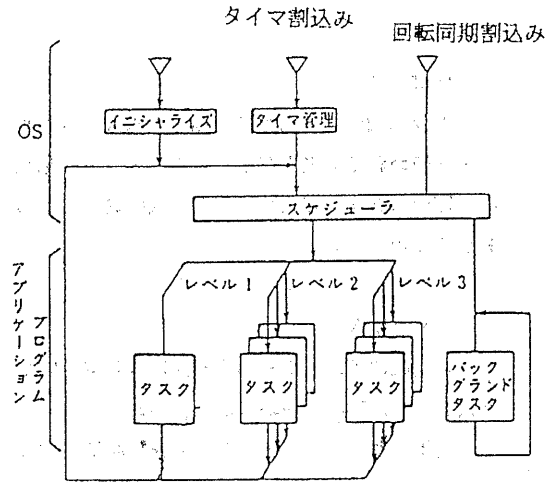


図3 ソフトウェアの構成

A/D変換値のサンプリングとフィルタリング処理を実行している。他の時間同期タスクは、各々担当の制御量の計算処理を行っている。バックブランドタスクは、ゆるやかな変化をするエンジン冷却水温度の取り込みやそれに基づく補正演算などを行っている。

プログラム言語としては、処理速度と限られたメモリ容量の制約からアセンブル言語を用いている。

このソフト構成で制御している項目のうち主なもののみの簡単にまとめを次に示す。

制御項目	制御の概要
燃料噴射制御	燃料噴射量の制御
点火時期制御	点火時期及び点火エネルギーの制御
アイドル回転数制御	アイドリング時のエンジン回転数を設定値に制御
排気ガス還流制御	排気ガス還流率を設定値の制御
燃料ポンプ	燃料ポンプの制御
自己診断	入出力信号を診断して表示
その他	エアコンのカット等

4. 制御方式

エンジン制御システムでは、種々の制御ソフトウェアが使われて効果をだしている。エンジン制御の初期のものから実祭の応用例を基に最近のものも含めて紹介する。

(1) PI制御

古典制御理論に属するPI制御は自動車の制御方式として、初期の頃から広く使われている。PI制御の例として、アイドル回転数制御 (ISC: Idle Speed Control) を説明する。図4にISCのブロック図を示す。ISCはアイドル運転時のエンジン回転数をエンジンの暖機状態、エアコン、パワーステなどの負荷状態に対応した最適な目標回転数に合わせる働きをする。そのためISCアクチュエータ (バルブ) を動してエンジンの吸入空気量を変え、エンジン回転数を制御する。フィードバックした実エンジン回転数と目標回転数との偏差に比例操作 $K \cdot e(t)$ と積分操作 $K_i \int e$ を行い、これらの和によりISCバルブを動かしている。

このほかに、PI制御を用いているものとしては、排気ガス中の残存酸素を検出する O_2 センサ

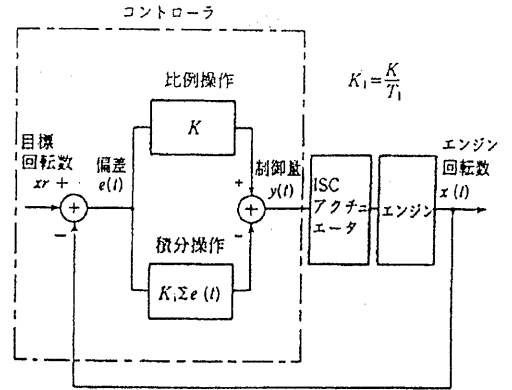


図4 ISCブロック図

信号をフィードバックして燃料噴射量を操作する空燃比制御、ノックセンサ信号をフィードバックして点火時期を操作するノック制御などがある。

(2) テーブル制御

エンジン制御では、制御量をあらかじめ設定した2次元又は3次元データテーブルからエンジンの動作状態にあわせて制御量を引き出してくるテーブル制御方式が数多く用いられている。

エンジンの動作点は、エンジン回転数とエンジン負荷 (1回転のエンジン吸入空気量) で一義的に決まるのでテーブルルックアップ用のパラメータとしてよく使われる。動作点がテーブルの格子点上にない場合は、動作点の周囲の4格子点の値を線形補間して制御量を算出している。

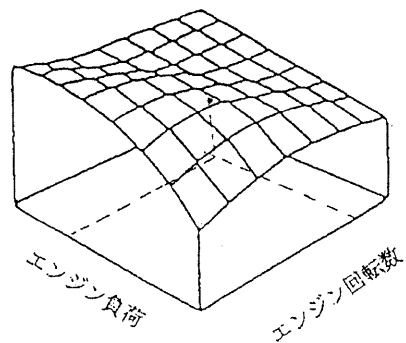


図5 3次元データテーブル

このテーブル制御方式は設定の自由度が極めて高いので、制約条件のある場合でも使え応用範囲が広い。

例として、点火時期制御はテーブル制御方式を用いている。点火時期の設定値は基本的にはMBT (Minimum advance for Best Torque)であるが、ノッキングが発生する領域ではノッキングを回避できるよう選角する。又、排気温度が高い領域では排気温度が排気系部品の耐熱温度以下におさえられるよう進角する。

(3) 学習制御

自動車のキーオフ時もバッテリーバックアップされて記憶保持できるCMOSメモリが使われるようになりエンジン制御に学習制御が採用された。テーブル制御方式は、あらかじめ制御量を設定するので部品のバラツキ、経時変化などで精度が十分ではない。学習制御の考え方は、あらかじめおおよそのデータテーブルを用意しておき、エンジンの運転状態を検出しているセンサの信号からエンジン状態の適否を判断し、必要ならばテーブルを書き変える、すなわち自動的な学習調整を続け、部品等のバラツキ、経時変化があっても常に最適な制御ができ必要な性能を維持しようとするものである。

学習制御が可能のための条件は、エンジンの状態がセンサなどのなんらかの方法でモニタできる

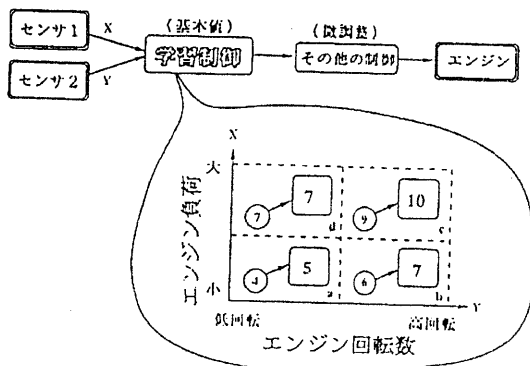


図6 学習制御の概念

こと、そのモニタ値が理想的な状態にたいして評価できること、あるいは評価関数が与えられていることである。

学習制御を用いている例として空燃比制御がある。空燃比は燃料噴射弁、エアフローメータ等の性能バラツキ、燃料性状、大気圧・気温等の様々な要因で変化する。これらの要因による空燃比のずれをO₂センサを用いたフィードバックにより調整しながら基本空燃比のずれ分をメモリ上に学習していき、全運転領域でフラットな特性にすることによって、過渡応答性の改善やオープン時の制御性を高めている。

学習制御はフィードバック系を形成しているロック制御、アイドル回転数制御にも用いられている。

(4) モデル規範型制御

差分方程式を用いて制御対象のモデルをマイクロコンピュータのなかに組込み、ダイナミクスを計算して、過渡時の制御性の向上を図るのがモデル規範型制御の特徴である。マイコンの演算速度のスピードアップでより精密なモデルが構築できるようになった。

モデル規範型制御の例として、過渡時のエンジン吸入空気量を算出しているモデルを示す。定常時には、エアフローメータおよびスロットル弁を通過する空気量と気筒に流入する空気量は等しくなるが、スロットル弁が急に開く過渡時にはスロットル弁を通過する空気は、まず吸気管容量を満たすのに使われ、気筒流入空気量はエアフローメータ、スロットル弁を通過する空気量にたいして遅れる。この空気量差が過渡時の空燃比を変動させ排気ガスを悪化させる。

モデル規範型制御では、過渡時にスロットル弁を通過する空気は吸気管容量を満たし、吸気管圧力を上昇させること、気筒流入空気量は吸気管圧力に比例するという物理現象に即したモデルを構築し、吸気管圧力と気筒流入空気量を推定してい

る。ここで、推定した気筒流入空気量を燃料制御に用いることで、過渡時の空燃比の変動を小さくおさえることができる。

モデル規範型制御は、エンジンの過渡時に生ずる燃料の壁面付着などに用いられる。

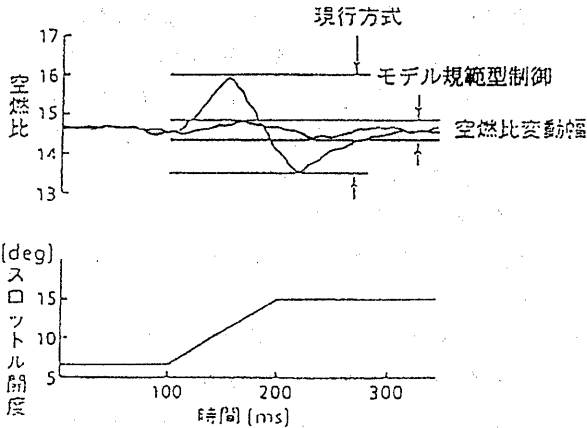
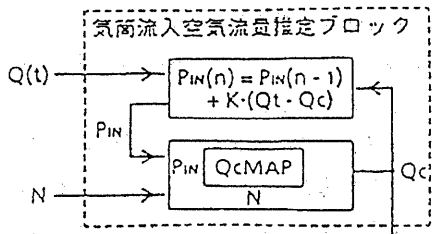
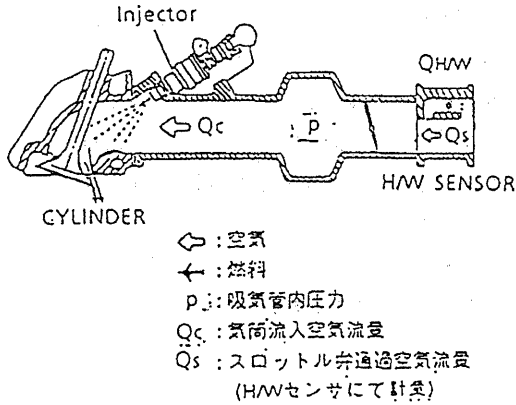


図7 モデル規範制御の説明

以上、代表的な制御方式を実際の応用例をもちいて紹介したが、この他にファジィ制御も変速機制御等に用いられている。

5. あとがき

自動車のエンジン制御について紹介してきたが、これらは主に8ビットのマイクロコンピュータで開発されてきた方法であり、達成できる範囲も限られている。

今後、法規制がますます厳しくなるのでエンジン制御も更なる改良が必要である。