

エンジン制御に関する研究

The Research of the Engine Control

○山本明秀*,大久保重範**,及川一美†,高橋達也‡

Akihide Yamamoto*,Shigenori Okubo**,Kazumi Oikawa†,Tatuya Takahasi‡

*山形大学工学部

*Faculty of Engineering, Yamagata University

キーワード： エンジン(engine),空燃比(air-fuel ratio),制御(control),モデル(model)

連絡先： 〒992-8510 山形県米沢市城南四丁目三番地十六号山形大学 工学部 機械システム工学科 大久保研究室
山本明秀, Tel: (0238)26-3245, Fax: (0238)26-3245, E-mail: bm98030@dipfr.dip.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

自動車エンジン制御における主要なファクターは、排気、燃費、運転性であり、これらが満足されるような制御が採用されている。特に、近年の大気汚染対策による排気ガス規制の強化に対応するため排気ガスの浄化を目的とした制御精度の向上が重要となっている。本研究では自動車用エンジンの空燃比制御を目的とする。今回は制御対象の構成、制御対象であるエンジンのモデル化および空燃比制御の問題点について述べる。

2. 空燃比制御

空燃比制御は、排ガス、燃費、運転性能に密接に関係するものであり、最も重要な制御項目として考えられる。Fig.1に、空燃比制御系の構成を示す。アクセルが踏み込まれるとスロットルが開き、気筒に流入する空気量が増加する。制御装置はこの過程で、エンジンに吸入される空気量を検出し、これに基づいて適切な燃料噴射量を決定し、気筒内の空気と燃料

の質量比(空燃比)を制御する。なお、燃料噴射量の決

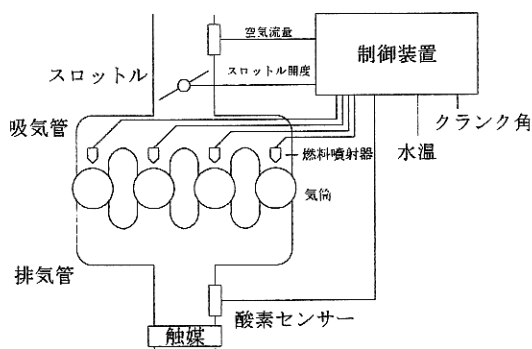


Fig.1 空燃比制御系の構成

定に、空気量のほか、スロットル開度、水温、回転数を検出するためのクランク角信号、排気ガス中の残存酸素の有無を検出する酸素出力センサー出力などが用いられる。現行のシステムでは、排気ガス(HC,CO,NO_x)浄化のために三元触媒が利用されている。この触媒が、最も効率よく働くのが理論空燃比(14.7)であり、この近傍への精密制御が排気ガス浄化という観点から重要となる。通常の運転モードでは、空燃比の目標値は、この理論空燃比に設定される。前途の酸素センサーは、残存酸素の有無によ

り、理論空燃比より大きい小さいかを検出するもので、その信号はフィードバック制御に利用される。一方、動力性能をアップするため目標空燃比を若干濃い目(理論空燃比より小さい値)に設定したり、燃費効率を向上させるため目標空燃比を薄め(理論空燃比より大きい値)に設定することもできる。

3. 制御対象の特徴

燃料制御を常に精度良く行うためにはいくつかの解決しなければならない問題点がある。

- 1) 燃料を噴射してもそれが全て気筒内に入るわけではない。
- 2) 排出された排気ガスが排気管に取り付けてあるセンサに到達するまでむだ時間が存在する。
- 3) 燃料噴射制御が10[ms]とかなり短い周期で実行される。

上記の問題点を解決しつつ、エンジンの燃焼機関をモデル化し、制御設計を行う必要がある。以下、エンジン系の有する主要な特性について説明する。Fig.1に空燃比制御系の構成を示したが、本システムは、各気筒ごとに噴射器を取り付けるマルチポイントインジェクションシステムでの燃料供給と三元触媒を用いた排気ガス浄化システムを想定している。

3.1 燃料系、空気系の特性

吸気管内の燃料や空気の流れの特性は、空燃比制御の設計に不可欠である。特に、燃料の流れは複雑で、そのモデリングは困難とされてきた。噴射から気筒流入までの燃料の流れをとらえる代表的なモデルとして、次の数学モデルがあり、これを利用す

ることとする。

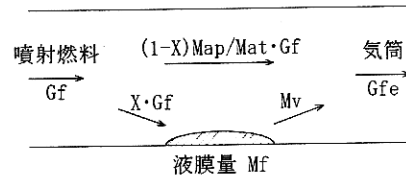


Fig.2 吸気管内の燃料の流れ

このモデルは、燃料の複雑な挙動を、Fig.2に示す簡素な流れとしてとらえたものである。

また、制御系の入力信号である気筒流入空気量、吸気管内圧は、Fig.1に示す一般の制御系構成では検出されない。空気量を検出しているが、これはスロットル上流の空気量であり、過渡状態では、気筒流入空気量に一致しない。これらの信号は、空気系モデルにより推定される。

スロットルに流れる流入空気量は、断熱変化を仮定して次式のように表せる。

$$M_{at} = \frac{C_d A P_b (2k)}{R(k-1)\sqrt{T_a}} \left[\left(\frac{P}{P_b} \right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_b} \right)^{k+1/k} \right]^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 M_{at} :スロットルにおける単位時間あたりの流入空気質量[kg/s]、 C_d :スロットルの流出量係数、 P :吸気管内圧力[Pa]、 P_b :大気圧、 k :比熱比、 R :気体定数、 T_a :吸気温度[K]、 A :スロットル部の流量断面積[m²]

流量断面積 A はスロットル角 θ_{th} [deg]を用いて次式で表す。

$$A = a + b(1 - \cos \theta_{th}) \quad (2)$$

スロットル角は θ_{th} は、ドライバから与えられるものであるため、燃料供給系としては外部変動要因となる。一方、吸気管内圧力 P は次式で求められる。

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{(N/60)D \eta_{vol}}{2V} P + \frac{RT_m}{V} M_{at} \quad (3)$$

ここに、 D :エンジン排気量[m³]、 V :吸気管内容積[m³]、 T_m :吸気管内気体温度[K]、 η_{vol} :容積効率

ここで、(4)式とする。

$$\eta_{vol} = E \frac{k-1}{k} + \frac{r - (P_b/P)}{k(r-1)} \quad (4)$$

r :圧縮比, E :定数

また,燃焼室に入る単位時間あたりの空気質量は次式にて表せる.

$$M_{ap} = \frac{(N/60)D\eta_{vol}P}{2RT_m} \quad (5)$$

燃料系動特性に関しては,噴射した燃料が一部吸気管に付着すると同時に,付着した燃料が蒸発するというモデルがある.

$$\frac{dM_f}{dt} = -\frac{1}{\tau}M_f + XG_f \quad (6)$$

ここに, M_f :付着(液膜)燃料量[kg], G_f :噴射量[kg/s], X :壁面付着率, τ :蒸発時定数[s]

$$\frac{dM_v}{dt} = -\frac{M_{ap}}{M_{ass}}M_v + \frac{1}{\tau}M_f \quad (7)$$

ここで, M_v :燃料蒸気量[kg]

$$M_{ass} = PV/RT_m \quad (8)$$

であり,吸気管内の気体質量を表す.

燃焼室に吸入される燃料量 G_{fe} は,燃料蒸気分と直達燃料量により次のように表される.

$$G_{fe} = \frac{M_{ap}}{M_{ass}}M_v + (1-X)\frac{M_{ap}}{M_{at}}G_f \quad (9)$$

ところで,付着率はスロットル角の関数として次のように表される.

$$X = 0.3 + \frac{0.7}{90}\theta_{th} \quad (10)$$

θ_{th} :スロットル角[deg]

一方,蒸発時定数は,水温の関数として次のように表すことにする.

$$\tau = \frac{60}{(9/5)T_c - 38} \quad (11)$$

τ :蒸発時定数[s]

ここに, T_c :水温[°C]ただし, $T_c < 22^\circ\text{C}$ のとき $\tau = 60\text{s}$ とする.

3.2 行程による遅れ

エンジンは,吸気から排気までの行程を有しているが,これは,制御系の特性としてはむだ時間としてとらえることができる.

空燃比制御を考えた場合,制御量である空燃比は,排気管に設置した空燃比センサー,あるいは酸素センサーにより検出可能である.操作量である燃料噴射量から空燃比までの伝達特性に含まれむだ時間 T_d [s]は,少なく見積っても吸気から排気までの時間となり,次のように定式化される.

$$L = \frac{60 \times 2}{N} \quad (12)$$

N :エンジン回転数[rpm]

(4サイクルの場合)

式から,むだ時間はエンジン回転数に依存して大きく変化することがわかる.特に,低回転でその値は大きくなり,1000[rpm]では,120[ms]の遅れとなる.噴射の演算周期が10[ms]程度であることを考慮すると,上記のむだ時間は,空燃比制御においてはかなり大きな値ととらえることができる.従って燃焼状態の検知遅れを考慮した制御系が不可欠であることがわかる.

3.3 制御構造

現行のエンジン制御システムでは,燃料噴射器への噴射指令から噴射燃料が気筒に流入するまでの遅れから,燃料噴射は,吸気行程以前に(排気行程内)に実行されることが多い.このため,燃料噴射時に最新の空気量検出値に基づいて燃料噴射量を決定した場合,噴射燃料が気筒に流入する時点の空気量(実際に気筒に流入する空気量)は,燃料噴射量決定に用いた空気量より大きくなり,空気量誤差に相当する燃料が不足する.このため空燃比は,目標値より大きくなる.加速や加速のスピードが速くなるほど,空気量誤差は大きく,空燃比のずれも大きくな

る。空燃比を精度よく目標値に合わせこむためには、燃料噴射時に約一行程先の空気量を予測し、燃料噴射することが必要になる。

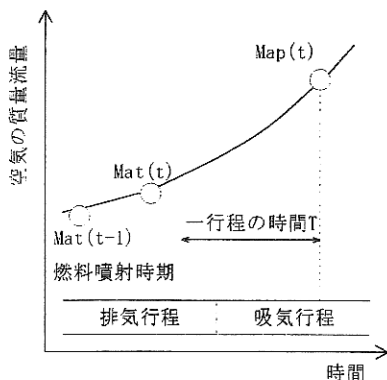


Fig.3 燃料噴射タイミング

3.4 ハードウェアの制約

エレクトロニクス技術の進歩によりマイコン性能は大幅に向上してきた。これに伴い比較的複雑な演算アルゴリズムも搭載可能となりつつある。しかしながら、メインの燃料噴射が10[ms]とかなり短い周期のタスクで実行されていることや、点火制御などそのほかの種々のタスクが同時に実行されていることを考えると複雑なアルゴリズムの搭載は困難であると考えられる。

また、トータルコスト抑制の観点から設置できるセンサーの数も最小限に抑えなければならない。各気筒のばらつきを補正するためには、気筒ごとに空燃比センサーを設置することが望ましいがこれも困難である。センサー構成は最小限とし、必要な情報はほかのセンサー情報から推定するなどしてえなければならない。

4. おわりに

制御対象の構成、制御対象であるエンジンのモデル化および空燃比制御の問題点について述べた。今後は、課題を解決しつつ制御設計を進めていきたい。

参考文献

- 1) 高橋信補, 瀬古沢照治, 渡辺徹: エンジン制御の現状と将来動向, 計測と制御, 36-2, 122/128(1997)
- 2) 大嶋明: 自動車制御とモデル, 計測と制御, 37-4, 268/271(1998)
- 3) 瀬古沢照治, 塩谷真, 船橋誠壽, 大成幹彦: 自動車エンジンの空燃比制御方式の提案, 電気学会論文誌, C-107-4, 389/396(1987)
- 4) 藤沢英也, 小林久徳, 小川王幸, 棚橋敏雄: 新電子制御ガソリン噴射, 山海堂(1993)