

オブザーバを用いた気筒別空燃比 フィードバック制御

Individual Cylinder Air-Fuel Ratio Feedback Control Using an Observer

長谷川 祐 介*	赤 崎 修 介*	小 森 谷 勲*
Yusuke Hasegawa	Shusuke Akazaki	Isao Komoriya
牧 秀 隆*	西 村 要 一**	廣 田 俊 明**
Hidetaka Maki	Yoichi Nishimura	Toshiaki Hirota

要 旨

従来、内燃エンジンの燃料噴射制御においてはエンジンの個体差や経年変化を吸収するため、空気過剰率(λ)をO₂センサないしリニア λ センサを用いて検知し、空燃比のフィードバック制御を行っている。しかしこの時各気筒の空燃比は必ずしも一様とはなっておらず、この気筒毎の空燃比の差を改善することにより燃費やエミッションのさらなる改善が見込まれる。

本研究ではエキゾーストマニホールド集合部における空燃比の挙動をモデル化し、現代制御の一手法であるオブザーバを適用することにより一本のリニア λ センサによって気筒毎の空燃比の推定を行ない、気筒別空燃比フィードバック制御を実現、各気筒の燃料噴射量を個別に制御することにより気筒間の空燃比のズレを補正し、空燃比の制御性を飛躍的に向上させた。

ABSTRACT

Feedback systems utilizing oxygen sensors or linear λ sensors are useful for correcting air-fuel ratios of engines with slight deviations created during production as well as engines subjected to various ageing conditions. Unfortunately, these sensors alone are incapable of correcting air-fuel ratio variations among cylinders of an engine due to their single location at the exhaust manifold confluence point, thus, presenting a problem to further reduce emission levels.

An exhaust manifold dynamic model was constructed incorporating an observer algorithm. The observer predicted, identified, and corrected the air-fuel ratio of each cylinder. A linear λ sensor controls the fuel injection for each cylinder. This control system obtained superior air-fuel ratio controllability which resulted in reduced tailpipe emission levels.

1. まえがき

今日、地球環境問題がクローズアップされるのに伴い、米国カリフォルニア州におけるLEV法案の採択等自動車の燃費・エミッションに対する要求は一層厳しさを増してきている。それら環境問題へ対応するため各自動車メーカーにおいてエンジンの熱効率の改善、触媒の改良、燃料噴射制御の研究等が盛んに行なわれている。中でも燃料噴射制御の研究は、近年のマイクロプロセッサの能力向上に伴いめざましい進歩を遂げてきている。

従来の多気筒内燃エンジンにおいては、吸入空気量に基づいてテーブルlookupアップなどによって基本燃料噴

射量を算出、空気過剰率(λ)をO₂センサもしくはリニア λ センサを用いて検知し、空燃比のフィードバック制御によってエンジンの個体差や経年変化の補正を行なっている。しかし計測しているのは各気筒の排気が混合した空燃比であって各シリンダを個別に補正しているわけではないため、気筒間の吸入空気量の差やインジェクタの噴射燃料量の差による気筒間の空燃比のズレは必ずしも補正しきれていない。従ってこの微妙な空燃比のズレを補正することにより、燃費やエミッションをさらに改善することができると考えられる。

* 和光研究所

** 栃木研究所

2. アプローチ

気筒毎の空燃比を最適化する手法として、本研究では気筒別空燃比フィードバック制御を検討した。ただし気筒毎にリニアλセンサを設けるのでは多大なコストアップとなるため、従来のハードウェアを変更することなく集合部の一本のリニアλセンサにより各気筒の空燃比を推定する手法を考案し、推定値を用いた気筒別空燃比フィードバック制御を検討した。推定手法としては現代制御の一手法であるオブザーバを用い、エキゾーストマニホールド集合部における排気の混合挙動に着目し、その挙動を表す数学モデルに基づく各気筒空燃比の推定手法を検討した。また制御に用いる空燃比の計測の精度向上を図るため、リニアλセンサの応答遅れを考慮してリアルタイムに真の空燃比を推定する手法を考案した。

実際の制御系の設計は次のような流れに沿って行なった。まず対象となる制御システムのモデル化を行ないシステムの特徴を把握、次に作成したモデルがシステムの本来的特性を表しているか検証し、それと同時にモデル内の実際の係数を求めるパラメータ同定を行なった。最後に現代制御の一手法であるオブザーバの本システムへの適用を検討し、ゲインの決定などの制御パラメータの設定を行なった。システムの全体構成を Fig. 1 に示す。

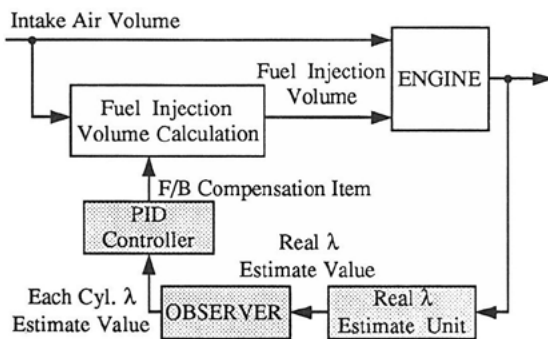


Fig. 1 Overall Configuration

3. モデル化

本研究ではエキゾーストマニホールド集合部における各気筒の排気の混合挙動に着目し、その混合挙動より逆に各気筒の空燃比を推定する手法を検討、また空燃比の計測に用いるリニアλセンサの応答特性を把握しその補償について考えるものとした。そこで各気筒の排気の混合挙動及びリニアλセンサの応答特性についてそれぞれ

モデル化を試みた。

制御対象となるシステムのモデル化において重要なことは、システムの特徴を表現するモデルをできるだけ簡単なモデルとして、かつその制御目的に対し満足するモデルを作成することである。より簡素化することによりシステムの特徴を把握すると同時に、効率的なオンボードのエンジン制御が実現可能となる。

3.1. エキゾーストマニホールドモデル

エキゾーストマニホールド集合部における排気の混合挙動について考察する。排気の流れは排気ボリューム、排圧、温度、排気脈動等の影響が複雑に絡んで決定され、またエキゾーストマニホールド集合部におけるその混合ガスの空燃比も同様に様々な要素によって決定されるものと思われる。しかし本研究では制御系の設計に用いるという観点から、非常に単純な数学モデルに置き換えることを試みた。

各気筒の排気は Fig. 2 に示すように、その燃焼の順序に従って次々にエキゾーストマニホールド集合部へ流入し、他気筒の排気と混合した後下流へ排出されていく。この時、エキゾーストマニホールド集合部に滞留している特定気筒の排気ボリュームは、Fig. 3 に示すよう

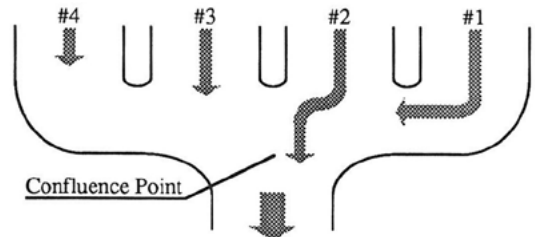


Fig. 2 Exhaust Manifold

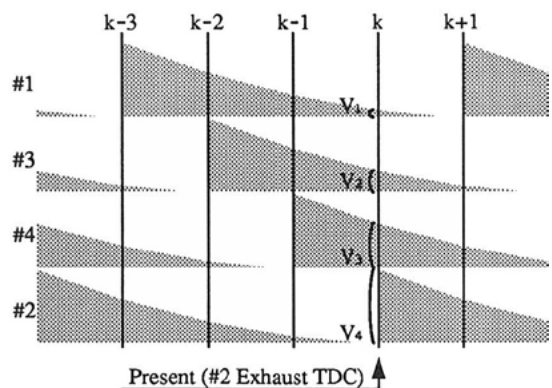


Fig. 3 Changes in Exhaust Gas Volume

に時間と共に単調に減少していくものと考えられる。ここで時刻 k は TDC を示す。

ある時刻におけるエキゾーストマニホールド集合部の混合ガスの空燃比は、滞留する各気筒のその時の排気ボリュームと各気筒の空燃比によって決定されるものと考えられる。これにより例えば #2 気筒排気行程直後のエキゾーストマニホールド集合部の混合ガスの空燃比、すなわち集合部空燃比は次のような数式で記述される。

$$CP\ 1/\lambda = \frac{V_1 \cdot \#1Cyl.1/\lambda + V_2 \cdot \#3Cyl.1/\lambda + V_3 \cdot \#4Cyl.1/\lambda + V_4 \cdot \#2Cyl.1/\lambda}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} \quad \dots\dots (1)$$

ここで

V : 排気集合部における特定気筒排気ガス体積

CP : 集合部

$Cyl.$: 気筒

λ : 空気過剰率

(1) 式はひとつ行程が進むとそれぞれ気筒がひとつ入れ代わることになるので、次のように排出気筒の $1/\lambda$ の荷重平均の式に変形することができる。

$$CP1/\lambda(k) = C_1 \cdot Cyl.1/\lambda(k-3) + C_2 \cdot Cyl.1/\lambda(k-2) + C_3 \cdot Cyl.1/\lambda(k-1) + C_4 \cdot Cyl.1/\lambda(k) \quad \dots\dots (2)$$

ここで

$$C_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} \quad C_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

$$C_3 = \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} \quad C_4 = \frac{V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

また $Cyl.1/\lambda(k)$ というのは時刻 k に排気行程上死点となる気筒の $1/\lambda$ のことである。(2) 式をブロック線図で記述すると Fig. 4 に示すようになり、この集合部空燃比の挙動を表わすモデルをエキゾーストマニホールドモデルと呼ぶことにする。

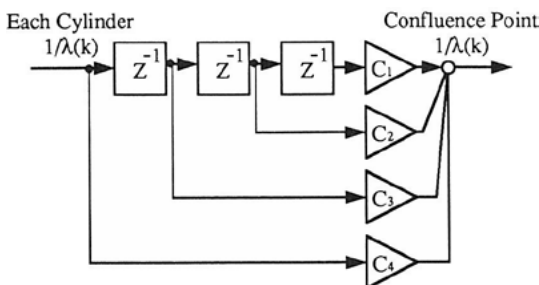


Fig. 4 Exhaust Manifold Model

3.2. リニア λ センサモデル

リニア λ センサの応答挙動を簡単な数学モデルとするため、センサのステップ応答波形よりその応答モデルをたてるものとした。

リニア λ センサの応答特性は Fig. 5 のような波形であり、ほぼ一次遅れで近似できるものと思われる。よって次のような式で記述できる。

$$\frac{d}{dt} \lambda \text{ sensor output}(t) = -a \cdot \lambda \text{ sensor output}(t) + a \cdot \text{input } \lambda(t) \quad \dots\dots (3)$$

これをブロック線図で記述すると Fig. 6 のようになる。

さらに、デジタル演算を可能にするため (3) 式をサンプルタイム ΔT で離散化する。

$$\lambda \text{ sensor output}(k+1) = \alpha \cdot \lambda \text{ sensor output}(k) + (1-\alpha) \cdot \text{input } \lambda(k) \quad \dots\dots (4)$$

$$\alpha = 1 - a \cdot \Delta T + \frac{a^2 \cdot \Delta T^2}{2!} - \frac{a^3 \cdot \Delta T^3}{3!} + \frac{a^4 \cdot \Delta T^4}{4!} \quad \dots\dots (5)$$

これにより λ センサの応答特性を数式化することができた。次にセンサ出力を用いて真の入力空燃比を求める手法について検討する。左辺が入力空燃比となるよう (4) 式を次のように変形する。

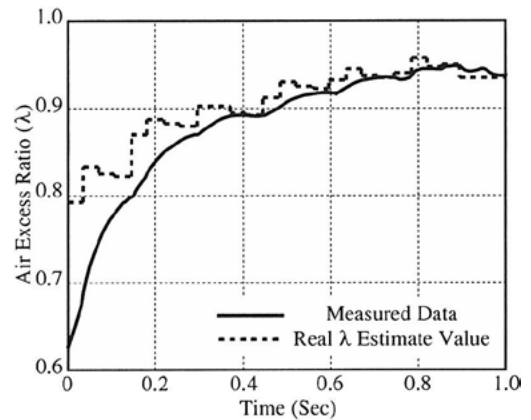


Fig. 5 Linear λ Sensor Response Characteristics

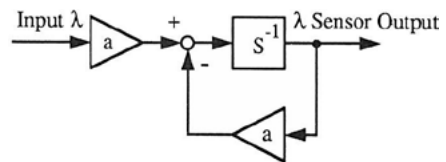


Fig. 6 Linear λ Sensor Model

$$\text{input } \lambda(k-1) = \frac{\lambda \text{ sensor output}(k) - \alpha \cdot \lambda \text{ sensor output}(k-1)}{1 - \alpha} \quad \cdots \cdots (6)$$

(上)式を用いて推定した入力空燃比は Fig. 7 に示すような波形となった。

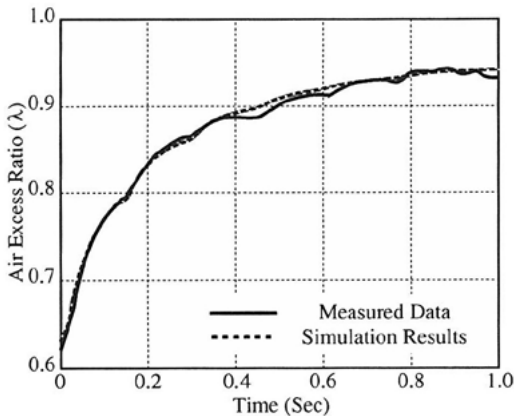


Fig. 7 Real λ Estimation Results

4. システム同定

次にエキゾーストマニホールドモデルが実際の集合部空燃比の挙動を表わしているか検証するとともに、モデルにて用いる係数 C を実際のエンジンテストによって求める。

特定気筒の空燃比を故意にリーンまたはリッチにオフセットし、定常運転条件にてエキゾーストマニホールド集合部および各排気ポートの空燃比をリニア λ センサにて計測する。各気筒空燃比を入力とし、エキゾーストマニホールドモデルに適当な係数 C を代入して集合部空燃比のシミュレーション演算を行ない、結果が実測集合部

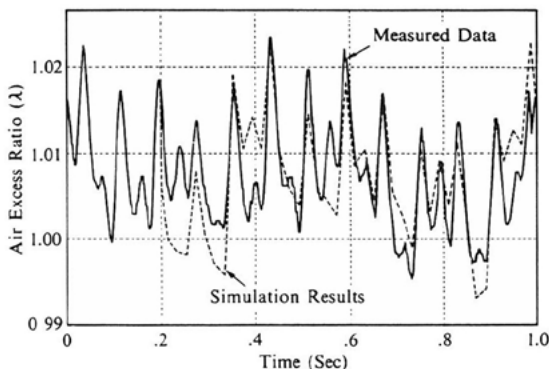


Fig. 8 λ Estimation Results at Confluence Point

空燃比と一致するよう係数 C を同定した。この時入力として用いる各気筒空燃比は計測値そのものではなく、各気筒空燃比計測値に対して前述のリニア λ センサ応答遅れ補償を行なった真の各気筒空燃比の推定値である。

Fig. 8 に示すように、演算結果が実測値とほぼ一致するように係数 C を与えることができ、これにより前記エキゾーストマニホールドモデルは集合部空燃比の挙動を表わすモデルとして、十分妥当であることが確認された。

決定した係数を次に示す。

$$C_1 = 0.05 \quad C_2 = 0.15 \quad C_3 = 0.30 \quad C_4 = 0.50$$

係数 $C_1 \sim C_4$ は、それぞれエキゾーストマニホールド集合部内の時間と共に変化する特定気筒の排気ボリュームの割合を表わしているので、本研究にて使用したエンジンにおいては排気ボリュームは予想どおり単調減少していることが確認された。

5. オブザーバの適用

次に各気筒空燃比推定手法について考察する。現代制御理論の一手法であるオブザーバを前記エキゾーストマニホールドモデルへ適用することにより、実測集合部空燃比より各気筒空燃比が推定できるものと考えた。

まずオブザーバ理論について説明する。一般に現代制御の問題では次のような状態方程式の形で表わされる制御対象を取り扱う。 $U(k)$ は入力、 $Y(k)$ は出力、 $X(k)$ は内部状態変数、 A 、 B 、 C はそれぞれ係数である。

$$X(k+1) = A \cdot X(k) + B \cdot U(k) \quad \cdots \cdots (7)$$

$$Y(k) = C \cdot X(k) \quad \cdots \cdots (8)$$

上のような状態方程式に対しオブザーバとは入力 $U(k)$ 及び出力 $Y(k)$ が既知である時、この入出力より内部状態変数 $X(k)$ を推定する手法のことである。

次のような漸化式を考える。

$$\Phi(k+1) = (A - KC) \cdot \Phi(k) + K \cdot Y(k) + B \cdot U(k) \quad \cdots \cdots (9)$$

(9) 式の $\Phi(k)$ と制御対象 $X(k)$ の挙動を比較するため、次のような誤差関数について考える。

$$e(k+1) = \Phi(k+1) - X(k+1) \quad \cdots \cdots (10)$$

(10) 式の誤差関数の挙動は (7) 式と (9) 式より次のように計算される。

$$\begin{aligned} e(k+1) &= (A - KC) \cdot \Phi(k) + K \cdot Y(k) + B \cdot U(k) - A \cdot X(k) - B \cdot U(k) \\ &= (A - KC) \cdot \Phi(k) + KC \cdot X(k) - A \cdot X(k) \\ &= (A - KC) \cdot \Phi(k) - X(k) \\ &= (A - KC) \cdot e(k) \end{aligned} \quad \cdots \cdots (11)$$

よって、 $A-KC$ が安定行列にできればどのような初期推定誤差 $e(0)$ に対しても、 $k \rightarrow \infty$ で $e(k) \rightarrow 0$ 、すなわち $F(k) \rightarrow X(k)$ となり、 $F(k)$ は $X(k)$ の推定値となる。これにより (9) 式は制御対象の観測器となっていることがわかる。

この時 $A-KC$ が安定となるゲイン行列 K は次の式で与えられる。

$$K = PC^T R^{-1} \quad \dots\dots (12)$$

ただし P は、次のリカッティ方程式を満たす正定の唯一解である。

$$PA^T + AP - PC^T R^{-1} CP + Q = 0 \quad \dots\dots (13)$$

この時 R 、 Q は設計仕様として与える重み行列であり、観測器の収束スピード、外乱に対する安定性を決定する要素となる。一般に R に対する Q の値が大きいくほど観測器の収束スピードは速くなるが、ノイズ等の外乱に対する安定性は低下する。

次に本研究で用いるエキゾーストマニホールドモデルに対するオブザーバの適用を検討する。まず $Cyl.1/\lambda(k)$ を状態変数とする漸化式を考える。

$$\begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \\ Cyl.1/\lambda(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-3) \\ Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k+1) \quad \dots\dots (14)$$

ここで未来値である $Cyl.1/\lambda(k+1)$ を入力として与えることはできないので、同一気筒の1サイクル前の空燃比はほとんど変わらないものと見なし次のように式を変形した。

$$\begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \\ Cyl.1/\lambda(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-3) \\ Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \end{bmatrix} \quad \dots\dots (15)$$

次に出力方程式について考える。(2) 式のエキゾーストマニホールドモデルは行列式の形で記述すると次のようになる。

Confluence point $1/\lambda(k)$

$$= \begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-3) \\ Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \end{bmatrix} \quad \dots\dots (16)$$

これよりエキゾーストマニホールドモデルは次に示すように $Cyl.1/\lambda(k-3) \sim Cyl.1/\lambda(k)$ を状態変数 $X(k)$ 、集合部 $1/\lambda(k)$ を出力 $Y(k)$ とする入力の無い状態方程式と見なすことができる。

$$X(k+1) = A \cdot X(k) \quad \dots\dots (17)$$

$$Y(k) = C \cdot X(k) \quad \dots\dots (18)$$

ここで

$$X(k) = \begin{bmatrix} Cyl.1/\lambda(k-3) \\ Cyl.1/\lambda(k-2) \\ Cyl.1/\lambda(k-1) \\ Cyl.1/\lambda(k) \end{bmatrix} \quad Y(k) = \text{Confluence point } 1/\lambda(k)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C = [0.05 \ 0.15 \ 0.30 \ 0.50]$$

従ってエキゾーストマニホールドモデルは通常の現代制御の問題に帰着し、前述のオブザーバの適用が可能となる。ここでは入力 $U(k)$ が存在しないため、出力 $Y(k)$ すなわち集合部 $1/\lambda(k)$ より状態変数 $X(k)$ すなわち $Cyl.1/\lambda(k)$ を推定するオブザーバの問題となる。

(12) (13) 式よりオブザーバゲイン行列 K を求める。ここで重み行列は R は固定値、 Q はオブザーバの収束性能により決定するものとし、 R 及び Q を次のように設定する。

$$R = 1 \quad Q = \begin{bmatrix} q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q \end{bmatrix}$$

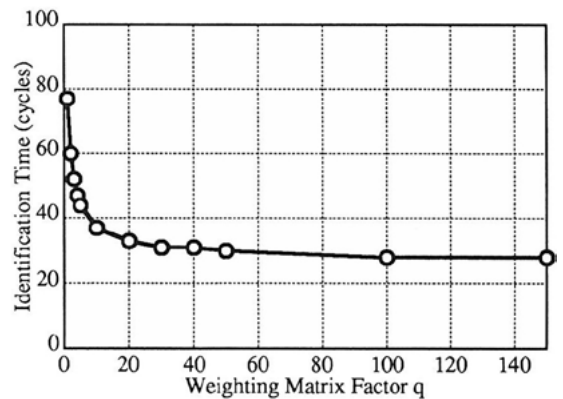


Fig. 9 Observer Convergence

R及びQを(12)(13)式に代入し各々ゲイン行列を求め、シミュレーションにてオブザーバの収束性能を確認した。Fig. 9に示すようにqの値を大きくしていくと収束時間は短縮されるものの、あるレベルを越えるとほとんど変わらなくなることが確認された。本研究では推定値を用いたリアルタイムのフィードバックを行なうため、収束時間がほぼサチレートしている次の値にQを決定した。また、この時オブザーバゲイン行列は次の値となる。

$$Q = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} 0.0436 \\ 0.2822 \\ 1.8283 \\ -0.2822 \end{bmatrix}$$

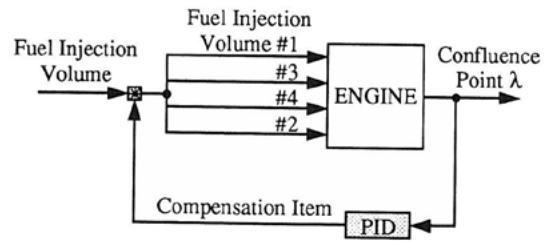
よって、オブザーバは次のように構成される。

$$\begin{aligned} \Phi(K+1) &= (A - KC) \cdot \Phi(k) + K \cdot Y(k) \\ &= \begin{bmatrix} -0.0022 & 0.9935 & -0.0131 & -0.0218 \\ -0.0141 & -0.0423 & 0.9153 & -0.1411 \\ -0.0914 & -0.2742 & -0.5485 & 0.0858 \\ 1.0141 & 0.0423 & 0.0847 & 0.1411 \end{bmatrix} \Phi(k) \\ &\quad + \begin{bmatrix} 0.0436 \\ 0.2822 \\ 1.8283 \\ -0.2822 \end{bmatrix} Y(k) \quad \dots\dots (19) \end{aligned}$$

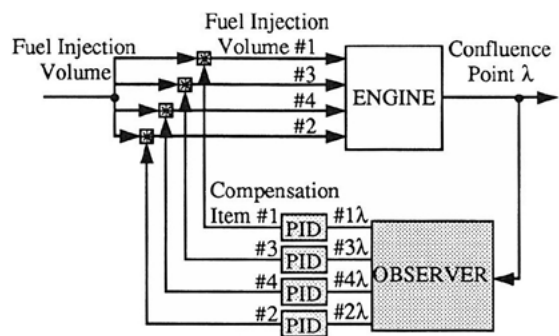
これに実際の変数を当てはめると(20)式のような集合部空燃比を入力とする漸化式の形の各気筒空燃比推定器となる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \text{Cyl.1}/\lambda(k-2) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k-1) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k+1) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0.0022 & 0.9935 & -0.0131 & -0.0218 \\ -0.0141 & -0.0423 & 0.9153 & -0.1411 \\ -0.0914 & -0.2742 & -0.5485 & 0.0858 \\ 1.0141 & 0.0423 & 0.0847 & 0.1411 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Cyl.1}/\lambda(k-3) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k-2) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k-1) \\ \text{Cyl.1}/\lambda(k) \end{bmatrix} \\ &\quad + \begin{bmatrix} 0.0436 \\ 0.2822 \\ 1.8283 \\ -0.2822 \end{bmatrix} \text{CPI}/\lambda(k) \quad \dots\dots (20) \end{aligned}$$

この時ここで入力として使用する集合部空燃比は実測値そのものではなく、集合部空燃比計測値に対して前述のリニアλセンサ応答遅れ補償を行なった真の集合部空燃比の推定値である。



λ Feedback System for Confluence Point



λ Feedback System for Each Cylinder

Fig. 10 Control System

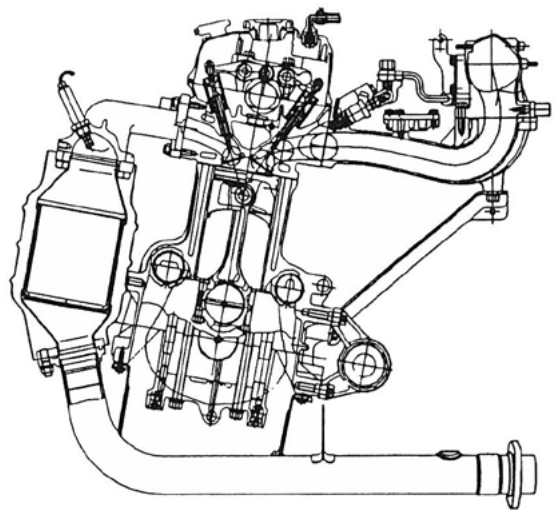


Fig. 11 Test Engine

6. テストおよび結果

次に Fig. 10 に示すように、集合部空燃比フィードバック制御システムおよび設計した推定器を用いた気筒別空燃比フィードバック制御システムを構成、実機エンジンに適用し制御性能の比較を行なう。本研究では Fig. 11 に示すような L-4、2.2 リットルの試作エンジンを用い、走行抵抗シミュレーションの可能なベンチにてテストを行なった。テストモードは LA-4 モードおよび定常運転モードとした。

6.1. 定常運転テスト

エンジン回転数 1000rpm、インテークマニホールド圧力 58kPa の定常運転条件にて各制御ロジックによる空燃比の挙動を比較する。従来手法である集合部空燃比フィードバックから新手法の気筒別空燃比フィードバックへの途中切り換えを行なった。テスト結果を Fig. 12 に示す。

集合部空燃比フィードバックでは各気筒の空燃比にバラツキが生じているのに対し、オブザーバを用いた気筒別空燃比フィードバックでは集合部空燃比のみの情報によって気筒間の空燃比のズレを解消しており制御性は飛躍的に向上していることがわかる。

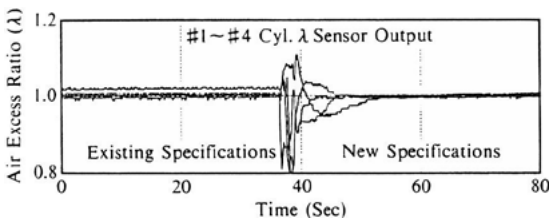


Fig. 12 Steady Operation Test

6.2. モード運転テスト

FTP75 の LA-4 モードにおけるオブザーバの効果を確認するため、各制御ロジックによるモードにおける各気筒空燃比の挙動および出現時間頻度を比較する。Fig. 13 は LA-4 HT (Hot Transient) 1 山目における各気筒の空燃比挙動、Fig. 14 は気筒毎の空燃比の 0.1 秒毎の出現時間頻度である。

グラフからわかるように気筒別空燃比フィードバックによって気筒間の空燃比のズレは解消されている。特に

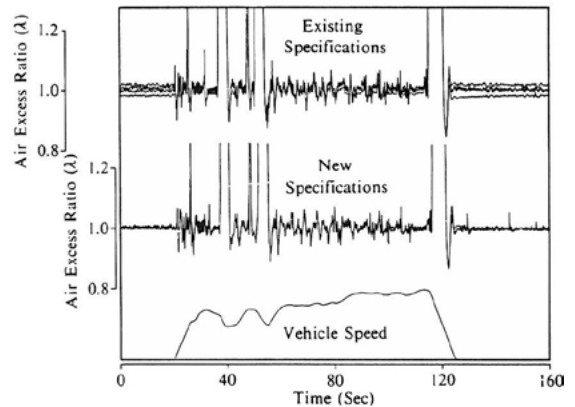


Fig. 13 Mode Operation Test (HT First Peak)

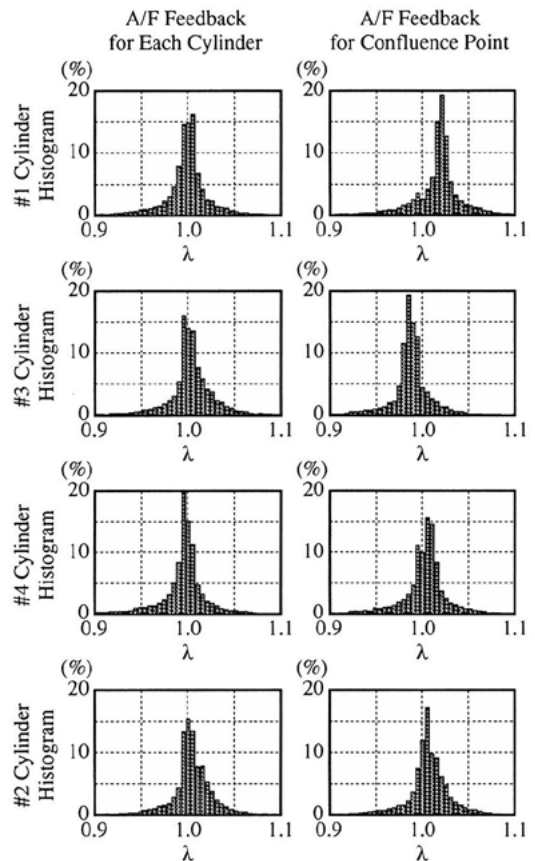


Fig. 14 λ Histograms at Mode Operation Test

アイドル領域においては各気筒の空燃比がそれぞれ目標値近傍へよく収束しており、気筒別空燃比フィードバックによる改善効果が顕著に現われている。また出現時間頻度を見ても、集合部空燃比フィードバック仕様では各気筒の中心空燃比がばらついているのに対し、気筒別空燃比フィードバック仕様では、各気筒とも中心空燃比が目標値近傍へ収束していることが確認でき、モードにおいても定常運転同様オブザーバによって空燃比の制御性が向上していることがわかる。

7. まとめ

今回検討したエキゾーストマニホールドモデルは排気の挙動を非常に単純化しているものの、エキゾーストマニホールド集合部の空燃比の挙動を表わすモデルとして十分妥当性のあるものであると考える。またこれを単純な数学モデルとして置き換えられたことで、現代制御の一手法であるオブザーバを適用し実機エンジンにてテストすることが可能となった。このことから現代制御のような制御手法を適用するうえでは制御対象のモデル化が非常に大きな要素であり、制御対象の特徴をいかに把握しに単純化するかが制御系の設計のポイントとなることが新ためて認識された。オブザーバの適用により従来のハードウェアを全く変更することなく集合部のリニアセンサのみの情報で気筒別空燃比フィードバック制御を実現することができ、気筒間の吸入空気量の違いやインジェクタの個体差による噴射燃料量の違いを補正し気筒間の空燃比のズレを解消し各気筒の空燃比をそれ

ぞれ目標値へ収束させることが可能となった。これにより各気筒への最適な混合気の供給が可能となり、燃費やエミッションの向上が期待できると考える。

今回リニアセンサ計測値よりセンサの応答特性を用いて真の空燃比を推定する手法について検討したが、本手法は制御手法としてだけでなくエンジン挙動解析の一手法としても十分有用であると考ええる。

8. 参考文献

- 1) 小郷寛、美多勉:「システム制御理論入門」実教出版 1979
- 2) 市川邦彦:「最新自動制御講義」学献鳴 1983
- 3) M. J. Anderson, "A Feedback A/F Control System for Low Emission Vehicles", SAE Paper 930388
- 4) C. Chang, et al., "Engine Air-Fuel Ratio Control Using an Event-Based Observer", SAE Paper 930766
- 5) R. C. Turin, and H. P. Geering, "On-Line Identification of Air-Fuel Ratio Dynamics in a Sequentially Injected SI Engine", SAE Paper 930857
- 6) P. Kaidantzis, et al., "Robust, Self-Calibrating Lambda Feedback for SI Engines", SAE Paper 930860

■著 者■



長谷川 祐介



赤 崎 修 介



小 森 谷 勲



牧 秀 隆



西 村 要 一



廣 田 俊 明