

小型モータサイクル用吸気管内圧力センサレス 燃料噴射システムの開発

Development of Intake Air Pressure Sensor-less Fuel Injection System for Small Motorcycles

宇津木 克 洋*

Katsuhiko UTSUGI

坂 口 和 彦*

Kazuhiko SAKAGUCHI

高 野 祐 紀*

Yuki TAKANO

大 西 謙 太*

Kenta ONISHI

要 旨

低コスト化を目的に、吸気管内圧力センサを廃止した小型モータサイクル用電子制御式燃料噴射システムを開発した。燃料噴射システムにおいて、吸気管内圧力センサは、スロットル低開度領域の吸入空気量の計量、大気圧の計測、エンジンの行程判別機能という三つの機能を担っている。本開発では、その機能を O_2 フィードバック制御を応用した新しい学習制御システムと、クランクシャフトの回転変動検知によるエンジンの行程判別制御で代替した。この新しい学習制御システムでは、エンジンの個体差や大気圧などの環境条件を包括した環境補正係数 Kbu を定義し、燃料噴射量の補正機能に用いることで、吸気管内圧力センサの機能に頼ること無く適正な燃料噴射量の制御を可能とした。さらに、始動直後の冷機時や過渡運転時に O_2 フィードバック制御がおこなわれない場合でも、ECU に記憶させた Kbu を用いることで適正な空燃比補正を可能にした。エンジンの行程判別機能は、従来のエンジンの行程間での吸気管内圧力差の計測から、エンジンの行程間でのクランクシャフトの回転変動検知による方法に変更することで、従来と同等の行程判別を可能とした。本技術により排出ガス性能および燃費性能を維持したまま、吸気管内圧力センサの廃止によるシステムの簡素化を実現した。

ABSTRACT

An electronically controlled fuel injection system for small motorcycles was developed without an intake air pressure sensor to reduce costs. In a fuel injection system, the intake air pressure sensor performs the three functions of measuring the amount of intake air in minute throttle-opening range, measuring the atmospheric pressure, and distinguishing the engine stroke. This study replaced these functions with a new learning control system that applies O_2 feedback control, and engine-stroke distinction control based on detection of crankshaft rotation speed fluctuation. This new learning control system defines the operational condition compensation coefficient Kbu , which covers operational conditions such as atmospheric pressure and conditional variations among completed engines, and uses this coefficient in the fuel injection quantity correction function. This enabled proper fuel injection quantity control without depending on intake air pressure sensor functions. In addition, storing Kbu in an Engine Control Unit (ECU) enabled proper air fuel ratio correction even when O_2 feedback control is inactive, such as when the engine is cold immediately after starting or during transient operation. The engine-stroke distinction function enabled stroke distinction equal to that of the conventional system by changing the method from measurement of the difference in intake air pressure between engine strokes to detection of crankshaft rotation speed fluctuation between engine strokes. This technology realized a simplified system that maintains the same performance for exhaust emissions and fuel economy without an intake air pressure sensor.

1. まえがき

近年、世界的な環境問題への関心が高まる中で排出ガスの低減要求が強まってきている。二輪車においても例外は無く、その有効な施策として燃料供給システムはキャブレタから電子制御式燃料噴射システムへの移行が進んでい

る。電子制御式燃料噴射システムは、キャブレタと比較して、吸入空気温度や大気圧の変化に対して空燃比を精度良く制御できるシステムである。その反面、このような制御をおこなうためには、多数のセンサ類(吸入空気量、吸入空気温度、大気圧、カム位相、クランク位相、排出ガス残留酸素濃度等を計測するもの)の装備が必要となるため、キャ

*二輪 R&D センター

ブレタと比べ複雑で高価なシステムになってしまうという課題がある。特に小型モータサイクルには、四輪車や大型モータサイクルと比較して、より簡素で廉価なシステムが強く求められている。これまで、二次空気導入システムの廃止⁽¹⁾、スロットルボデーへの各センサ類の集約⁽²⁾、O₂センサの小型化やヒータレス化⁽³⁾、インジェクタの小型化⁽⁴⁾、燃料ポンプの小型化⁽⁵⁾などのコスト低減を目的とする開発がおこなわれてきた。しかしながら、センサ機能の統合などによるシステムの簡素化という観点での開発は少ない。

本開発では、システムを簡素化することを目的とし、センサ類の機能統合をおこなった。吸気管内圧力センサの役割を O₂ フィードバック制御を用いた新しい学習制御システムと、クランクシャフト回転変動検知による行程判別制御で代替した。これにより、排出ガス性能・燃費性能を維持しながらも吸気管内圧力センサの廃止を可能とした。

2. 供試車両と電子制御式燃料噴射システム概要

Fig. 1 と Table 1 に供試車両 WAVE110 の外観図と主要諸元を示す。WAVE110 は、タイ 6 次排出ガス規制 (EURO-3 相当) に適合した空冷 4 ストローク単気筒 110 cm³ エンジン搭載の小型モータサイクルである。

Fig. 2 は、スロットルボデーの外観図である。今回廃止した吸気管内圧力センサは、スロットルボデーに一体化されたセンサユニット内に装備されている。

Fig. 3 に供試車両の電子制御式燃料噴射システム構成を示す。

WAVE110 に搭載された電子制御式燃料噴射システムは、始動エアデバイスが無く、O₂ フィードバック制御をアイドル領域まで拡大したシステムと三元触媒を採用して、タイ 6 次排出ガス規制 (EURO-3 相当) に適合している。



Fig. 1 Test motorcycle

Table 1 Engine specifications of test motorcycle

Item		Specifications
Engine type		4-stroke single-cylinder
Cooling system		Air-cooled
Bore × Stroke (mm)		50.0 × 55.6
Engine displacement (cm ³)		109.1
Compression ratio		9.0
Valve train		SOHC
Valve diameter (mm)	Inlet	φ25.5 × 1
	Exhaust	φ21.0 × 1
Maximum Horsepower (kW/r/min)		6.18/7500
Maximum torque (Nm/r/min)		8.15/5500

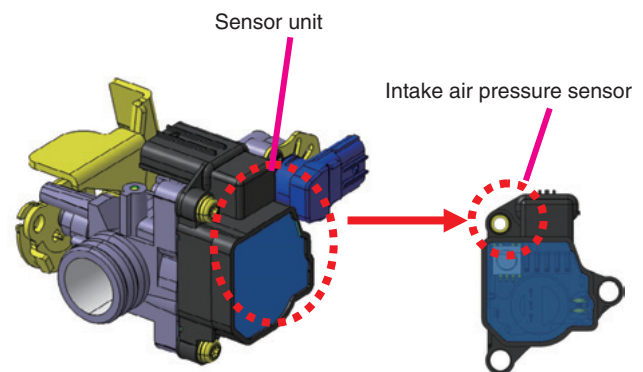


Fig. 2 External view of throttle body

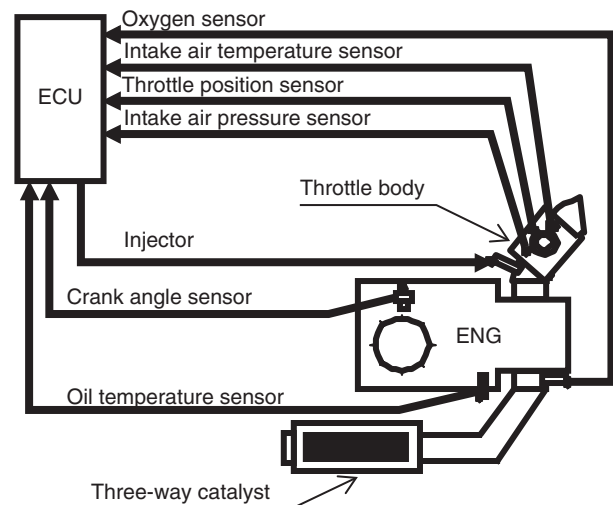


Fig. 3 Basic diagram of current FI system

3. 簡素化の検討

システムを簡素化するために、現行の電子制御式燃料噴射システムにおいて使用されているセンサの廃止を検討した。

電子制御式燃料噴射システムでは、直接計量または、間接計量した吸入空気量に応じて基本燃料噴射量が決定される。供試車両の場合、エアフローセンサによる吸入空気量の直接計量はおこなっておらず、スロットル低開度領域で

は、吸気管内圧力とエンジン回転速度で吸入空気量を間接計量するスピードデンシティ方式を、また、スロットル高開度領域では、スロットル開度とエンジン回転速度から吸入空気量を間接計量するスロットルスピード方式を採用している⁽⁶⁾。さらに吸入空気温度や大気圧の変化、エンジンの暖機状態などに対応した補正制御をおこなうために、多数のセンサ類を装備している。吸入空気温度センサ・O₂センサ・エンジン油温センサ・クランクアングルセンサの計測対象はそれぞれ吸入空気温度、排出ガス残留酸素濃度、エンジン油温、クランクシャフト回転数であり、それぞれの計測対象が異なっているため、他のセンサで置き換えるのは困難であると考えた。一方、スロットル開度センサと吸気管内圧力センサは、計測対象は異なるが、吸入空気量の間接計量という同じ役割を持っているので、一方のセンサを廃止し、その機能の一部を他方のセンサで代替することによるシステム簡素化の実現性を検討することにした。

4. 廃止センサの決定

スロットル開度センサと吸気管内圧力センサ、それぞれの役割に着目し、廃止可否の検討をおこなった。

スロットル開度センサの主な役割は、

- (1) スロットルスピード方式によるスロットル高開度領域の吸入空気量の計量
- (2) スロットルの開度判断 (全閉や全開など運転状態の検出)
- (3) 加速判断 (加速時の燃料増量補正と点火時期の進角補正)
- (4) 点火時期の決定

である。

スロットル開度センサ廃止時の課題を検討すると、

- ・ 精度は落ちるものの現行のシステムでも吸気管内圧力センサにて、スロットル高開度領域の吸入空気量の計量は可能である。
- ・ スロットル開度判断は、アイドリングや全開走行などの運転状態を判断するために使用しているので、代替するには、スロットルスイッチの追加が必要であり、システムを簡素化することはできない。
- ・ 加速判断と点火時期の決定に関しては、優れた加速応答性が要求される二輪車の特徴を考慮すると、スロットル開度センサが、運転状態を最も適切に感知できるセンサである。ゆえに、その役割を代替する手法の構築は困難である。

との結果となり、スロットル開度センサの廃止は断念した。

一方、吸気管内圧力センサの主な役割は

- (1) スピードデンシティ方式によるスロットル低開度領域の吸入空気量の計量
- (2) 吸気管内圧力による大気圧の推定

(3) エンジンの行程判別

である。

同様に吸気管内圧力センサ廃止時の課題を検討すると、

- ・ 精度は落ちるものの現行のシステムでもスロットル開度センサにて、スロットル低開度領域の吸入空気量の計量は可能である。
- ・ 大気圧の推定は、大気圧変化に対する燃料噴射量補正のためにおこなっているが、その補正は他の燃料噴射量補正で代替が可能である。
- ・ エンジンの行程判別に関しては、各行程で変動するクランクシャフトの角速度を検出することにより、代替が可能である。

との結果となり、吸気管内圧力センサを廃止したシステムの構築は可能であると考えた。

5. 吸入空気量特性と吸気管内圧力センサ廃止時の課題

吸気管内圧力センサを廃止するためには、前述した吸気管内圧力センサの三つの役割を代替する必要がある。代替するための課題を抽出するために、まずはスロットル開度と吸入空気量の関係に着目し、検討を始めた。

Fig. 4に、スロットル開度に対する吸入空気量と吸気管内圧力の特性の代表例を示す。スロットル低開度領域 (スロットル開度 7.5 deg 以下) では、吸入空気量の変化率は小さいのに対し、吸気管内圧力の変化率は大きい。一方、スロットル高開度領域 (スロットル開度 7.5 deg 以上) では、吸入空気量の変化率は大きいのに対し、吸気管内圧力の変化率は小さい。これは、スロットル低開度領域では、スピードデンシティ方式の方が吸入空気量の計量精度が高く、スロットル高開度領域ではスロットルスピード方式の方が吸入空気量の計量精度が高いということを意味する。一般的に二輪車ではスピードデンシティ方式とスロットルスピード方式を併用し、この特性に合った設定をおこなっ

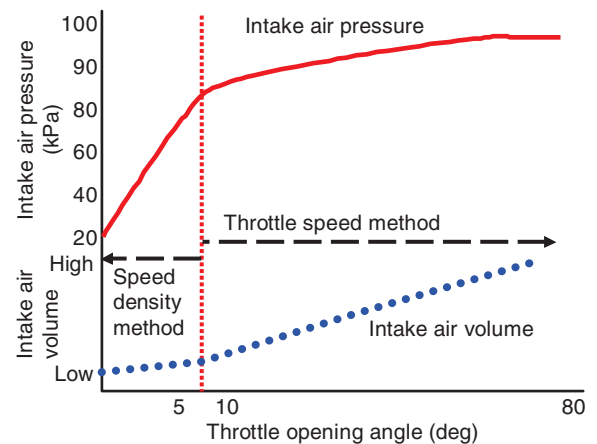


Fig. 4 Characteristics of intake air pressure and amount of intake air in relation to throttle opening angle

ている。よって吸気管内圧力センサを廃止する場合、スロットル低開度領域の吸入空気量の計量精度を維持することが一つ目の課題となる。

次に、アイドリング回転数調整に関連した課題について述べる。

Fig. 5 にバイパス通路を備えたスロットルボデー構造を示す。ベースモデルのスロットルボデーは、アイドリング時のエンジン回転数を調整するために、その通過空気量を手動で調整できるバイパス通路を備えている。エンジンの吸入空気量はスロットルバルブが配置されるメイン通路とバイパス通路の二系統で分担される形となる。

Fig. 6 にスロットル開度に対する吸入空気量の分担の特

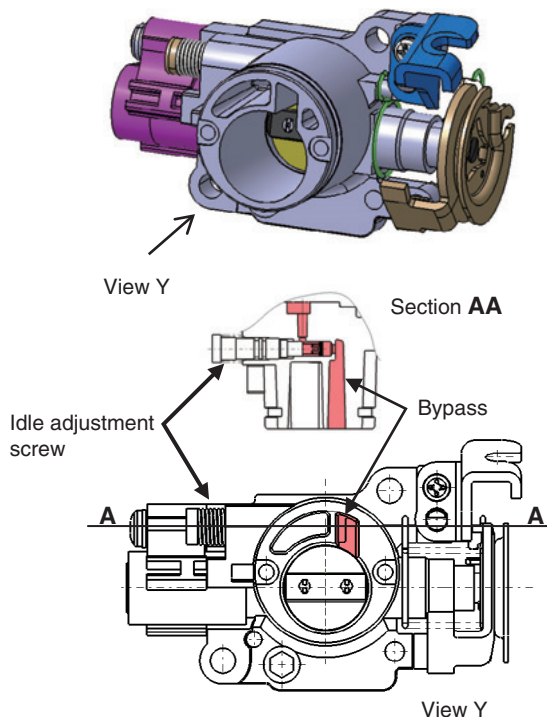


Fig. 5 Throttle body and bypass structure

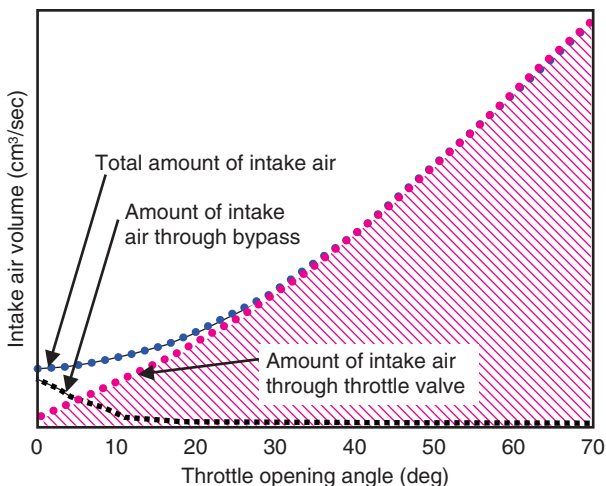


Fig. 6 Amount of intake air in relation to throttle opening angle

性の一例を示す。スロットル開度 0 deg においては、バイパス通路からの吸入空気量が大半を占め、スロットル開度が増すにつれてその分担割合が次第に減少する。スピードデンシティ方式では、バイパス通路の調整による吸入空気量の変化は吸気管内圧力変化として計測できるので、吸入空気量の計量精度を維持できる。一方、スロットルスピード方式では、吸入空気量の変化はスロットル開度変化として現れないため、計量精度を維持することは不可能である。よって、アイドリング回転数調整による吸入空気量の変化をどのように計量するかが二つ目の課題となる。

次に、吸気管内圧力センサの二つ目の機能である大気圧変化に対する補正機能について説明する。走行する場所の標高や天候条件による大気圧の変化に伴い吸入空気密度が変化する。この場合、適正な空燃比に制御するために、吸入空気密度変化に対応した燃料噴射量補正をおこなう必要がある。現行の電子制御式燃料噴射システムでは、吸気管内圧力から大気圧を推定し、補正をおこなうのが主流となっている。吸気管内圧力センサを廃止する場合、大気圧変化に対する燃料噴射量補正精度をどのように維持するかが三つ目の課題となる。

最後に、吸気管内圧力センサの三つ目の機能であるエンジンの行程判別機能について説明する。4 ストローク単気筒エンジンにおいては、適切なタイミングで燃料を噴射するために、エンジン始動後速やかに行程判別をおこなっている。現行システムのエンジンの行程判別は、吸気管内圧力センサの信号を用いておこなっており、このセンサを廃止する場合、行程判別機能をどのように維持するかが四つ目の課題となる。

以上より、吸気管内圧力センサの三つの機能を代替するためには、以下の四つの課題の対応が必要となる。

- ・ スロットル低開度領域の吸入空気量計量精度の維持
- ・ アイドリング回転数調整時の吸入空気量計量精度の維持
- ・ 大気圧変化に対する燃料噴射量補正精度の維持
- ・ エンジンの行程判別機能の維持

これらは、

- (1) 吸入空気量計量精度／燃料噴射量補正精度の維持
- (2) エンジンの行程判別機能の維持

の二つの項目に大別できる。この二つの項目に対応するための代替手法の構築をおこなった。

6. 吸入空気量計量精度／燃料噴射量補正精度維持のための代替手法

まず、一つ目の項目である吸入空気量計量精度／燃料噴射量補正精度維持のための代替手法について説明する。

6.1. O₂ フィードバック制御による対応

代替手法を構築する上で着目したのは、電子制御式燃料

噴射システムにおいて、三元触媒の浄化性能を高める手法として採用されている O_2 フィードバック制御である。 O_2 フィードバック制御とは、排出ガス中の酸素濃度を検知して理論空燃比よりリッチであるかリーンであるかを判断し、 O_2 フィードバック係数 (以後 K_{O_2} と呼ぶ) によって常にそれを打ち消す方向に燃料噴射量を微調整し続けて、理論空燃比近傍に収束させる制御である。Fig. 7 に O_2 フィードバック制御の動作例を示す。この制御を使用すれば、スロットル低開度領域の吸入空気量の変化、アイドリング回転数調整による吸入空気量の変化、大気圧変化による空気密度の変化が起こっても、その変化に見合った燃料噴射量を K_{O_2} により補正して供給することができる。つまり、 O_2 フィードバック制御により吸入空気量計量精度/燃料噴射量補正精度を維持することは基本的に可能である。

6.2. O_2 フィードバック制御非実施時の対応

6.2.1. O_2 フィードバック制御非実施時の課題

O_2 フィードバックを実施することで、吸入空気量計量精度/燃料噴射量補正精度を維持することが可能であるが、 O_2 フィードバック制御は、あらゆる運転状況下で実施できる制御では無い。

O_2 フィードバック制御を実施できない状況とは、

- ・ O_2 センサの温度が低い時
- ・ エンジンが暖機中のとき
- ・ 燃料カット中のとき
- ・ 急加速時
- ・ 再始動直後のとき

であり、実際の運転状況を考慮すると O_2 フィードバック制御を実施できない状況は、かなりの頻度で存在している。

O_2 フィードバック制御が実施できない状況下では、エンジンの状態変化、アイドル回転数の調整、大気圧の変化による吸入空気量変化に合わせた燃料噴射量の補正ができ

なくなる。このことから、 O_2 フィードバック制御非実施時の対応が必要となる。

6.2.2. O_2 フィードバック非実施時の課題への対応手法

この対応として、以下に定義した環境補正係数 (以後、 K_{bu} と呼ぶ) を用いた学習制御を構築した。

この学習制御の基本的な考え方は、実大気状態での O_2 フィードバック制御中、理論空燃比で安定した際の K_{O_2} の一定時間内の平均値を K_{O_2ave} 、標準大気状態において理論空燃比になる K_{O_2} の値を基準値 K_{O_2std} と定義し、この K_{O_2ave} と K_{O_2std} との比率を K_{bu} として算出する。 K_{bu} が安定していれば、ECU のメモリに学習値として記憶 (以後、学習と呼ぶ) させて基本燃料噴射量に反映させる手法である。この学習制御により、 O_2 フィードバック制御ができない環境下でも、学習された K_{bu} によってエンジンの要求に合った補正をおこない、常に適切な燃料噴射量の供給が可能となる。

以下に K_{bu} の算出式を示す。

$$K_{bu} = K_{O_2ave} / K_{O_2std} \quad (1)$$

K_{bu} : 環境補正係数

K_{O_2} : O_2 フィードバック補正係数 (O_2 フィードバック制御非実施時は $K_{O_2} = 1.0$ となる)

K_{O_2ave} : 実大気状態での O_2 フィードバック補正係数 K_{O_2} の平均値

K_{O_2std} : 標準大気圧状態で理論空燃比になる O_2 フィードバック補正係数

この算出式で求めた K_{bu} を燃料噴射量算出式に反映する。以下に燃料噴射量算出式の概要を示す。

$$T_{out} = Map_{th} \times K_{bu} \times K_{to} \times K_{O_2} \quad (2)$$

T_{out} : 燃料噴射量

Map_{th} : スロットルスピード方式の基本燃料噴射量

K_{to} : 油温補正係数

O_2 フィードバック制御実施中は、吸入空気量変化に対し、 K_{O_2} にて理論空燃比への合わせ込みをおこなう。このときに算出された K_{O_2ave} が K_{O_2std} に対して一定以上の偏差を生じた時は、 K_{bu} を更新する。この動作により、 K_{O_2} は 1.0 近傍に保持される。

O_2 フィードバック制御が非実施になった時は、 $K_{O_2} = 1.0$ に固定となるが、先の動作で更新された K_{bu} が O_2 フィードバック制御実施中と同等の燃料噴射量の供給を可能としている。

ここで実機によるテストにて、急加速時の空燃比変化を K_{bu} の算出前後で比較する (Fig. 8)。算出前は (左図)、 O_2 フィードバック制御非実施時に $K_{O_2} = 1.0$ となると、補正が効かなくなり、空燃比はねらいの値に対して差異が大きくなっていることがわかる。算出後は (右図)、 O_2 フィード

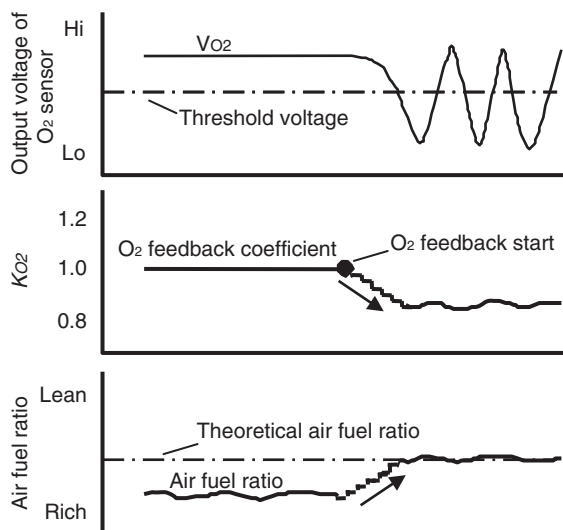


Fig. 7 O_2 feedback control operation

バック制御が非実施時に $K_{O_2} = 1.0$ となっても、算出した K_{bu} と K_{to} にてエンジンの状態変化、吸入空気量の変化、大気圧の変化に対応した補正をおこなっているため、ねらいの空燃比に対して差異が小さいことがわかる。

Fig. 9 に今回考案したシステムにおける冷間始動時から K_{bu} を算出し記憶するまでの過程と次回運転時の O_2 フィードバック制御開始までの過程を (1) から (7) のポイントで示す。

- (1) 運転開始時は冷機状態なので、一般的にアイドリング回転数を安定させるため、始動補正として燃料噴射量を増量させている。 $K_{bu}(0)$ は初期値で、標高、気象などの環境条件が初期値の設定条件と異なる場合、始動補正終了後にねらいの空燃比とならない可能性がある。
- (2) 燃料噴射量の増量が終わり、 O_2 フィードバック制御が開始される。即座に空燃比を理論空燃比に補正し、同時に K_{O_2} の平均値より $K_{bu}(n)$ を算出する。 $K_{bu}(0)$

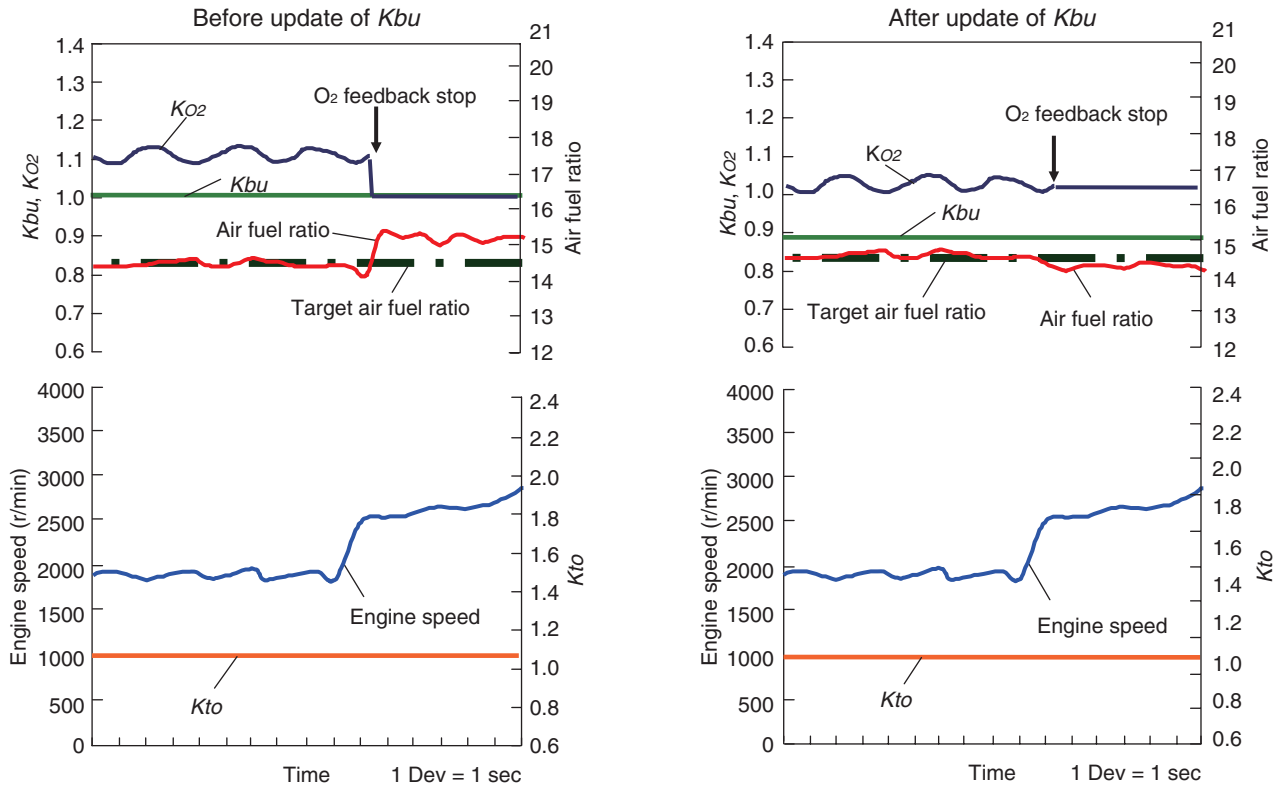


Fig. 8 Air-Fuel ratio correction during steep acceleration before and after K_{bu} is calculated

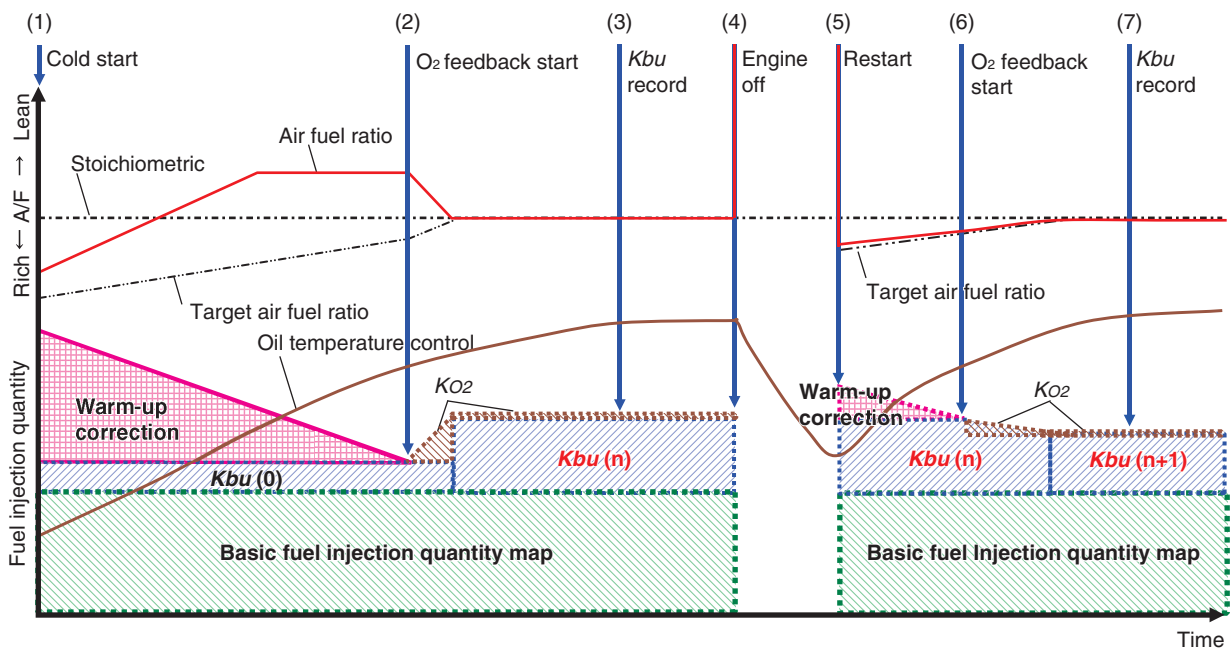


Fig. 9 Process to calculate and store K_{bu} and perform fuel injection control after cold start of engine

が $Kbu(n)$ に更新される。

- (3) この $Kbu(n)$ を不揮発性メモリに学習値として記憶させる。
- (4) エンジンを停止させても、 $Kbu(n)$ を不揮発性メモリに記憶させているので $Kbu(n)$ は維持される。
- (5) 次回運転開始時に $Kbu(n)$ を不揮発性メモリから読み出し、 O_2 フィードバック制御を開始するまでの間、環境補正係数 $Kbu(n)$ として使用する。(2)、(3)において $Kbu(n)$ を更新しているので O_2 フィードバック制御をおこなわない状態でもねらいの空燃比に近い値で制御できる。
- (6) O_2 フィードバック制御が開始されて Ko_2 に差があると $Kbu(n+1)$ を新たに算出する。
- (7) $Kbu(n)$ と $Kbu(n+1)$ の値に差があると、 $Kbu(n+1)$ として不揮発性メモリに学習値として記憶する。

6.3. Kbu による補正効果の検証結果

Fig. 10 に、実機のアイドリング運転状態で空燃比がリッチにずれている状態からの Kbu による燃料噴射量補正の効果検証結果を示す。

- ・ 左図は、 Kbu は未学習状態で、実空燃比は目標空燃比 (理論空燃比) からずれている状態を示している。
- ・ 中央図は、 Kbu は学習状態で、目標空燃比 (理論空燃比) に近づいている状態を示している。
- ・ 右図は、 O_2 フィードバック制御が開始されると、理論空燃比に収束する状態を示している。

Fig. 11 にアイドリング状態で、1 気圧から 0.65 気圧まで気圧を徐々に下げていった時の Kbu の値と空燃比の変化を示す。大気圧の変化が起こるとともに Ko_2 と Ko_2std に偏差が発生し、 Kbu が更新される。この動作を繰り返すことで大気圧の変化に Kbu が追従し、高地の運転時でも適切な

空燃比に制御できることがわかる。

以上の結果から、吸気管内圧力センサを廃止した時の吸入空気量を計量する機能の維持が可能となった。

6.4. Kbu による補正精度の向上

この Kbu による学習制御システムは、 O_2 フィードバック制御を応用し、さまざまな運転環境や運転条件に対応できる有効な制御システムであるが、前述したバイパス通路の特性に対しては考慮する点があった。

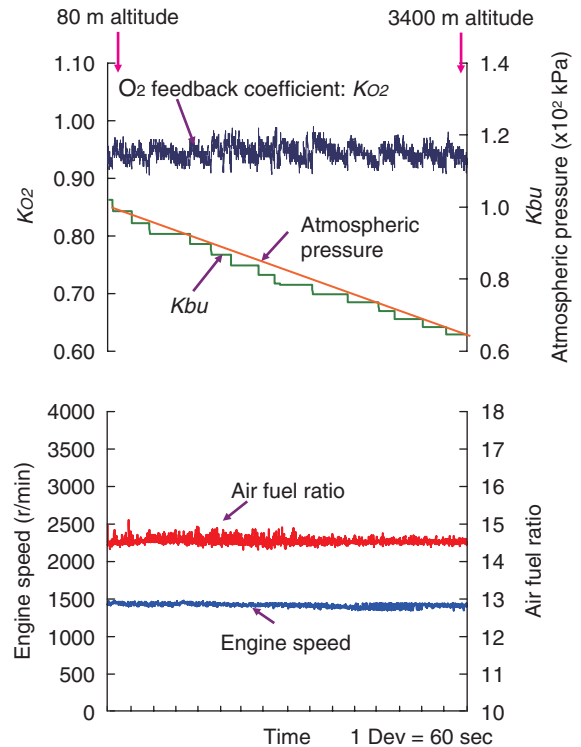


Fig. 11 Corrective effect by Kbu in response to changes in atmospheric pressure

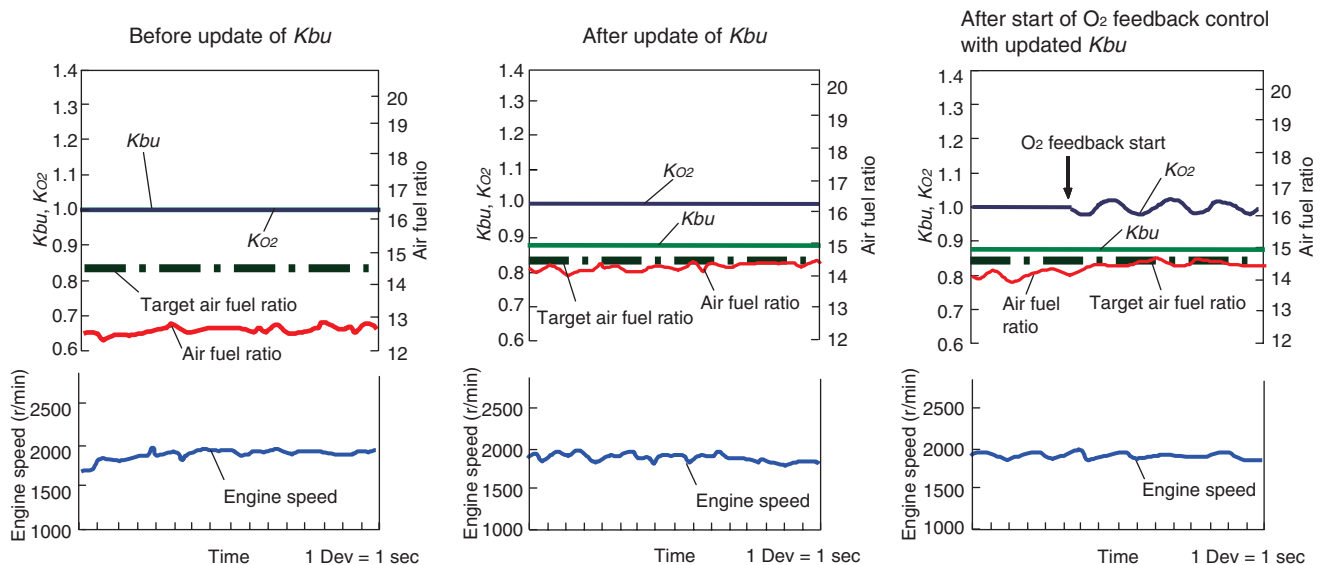


Fig. 10 Process to calculate and store Kbu and perform fuel injection control after cold start of engine

Fig. 12 に、アイドル吸入空気量をバイパス通路にて 20% 低減させた時のスロットル開度ごとの吸入空気量変化率を示す。基準となる 0% のラインは、アイドル吸入空気量の調整前を表わす。アイドル吸入空気量を 20% 低減させた場合、全体に対する吸入空気量の変化率は、スロットル低開度領域になるほど大きい。Fig. 13 は、そのときのスロットル開度に対する K_{bu} の値の変化を示す。基準となる 1.0 のラインは、アイドル吸入空気量調整前の K_{bu} を表わす。 K_{bu} はその定義より吸入空気量変化率を代表することから、吸入空気量変化と同特性を示し、スロットル低開度領域ほど変化は大きい。これは、スロットル低開度領域の走行時には、一つの K_{bu} の値では精度よく補正できないことを意味する。このことから、 K_{bu} による補正精度を向上させるために、 K_{bu} の算出領域をスロットル開度方向にいくつかに区分する対応をおこなった。

K_{bu} 算出領域の区分を細かくすれば、同区分内の K_{bu} の変化が少ないため、理論空燃比と実空燃比の偏差を最小限に抑えられる。しかし、 K_{bu} 算出領域の区分を細かく設定すると、スロットル開度が変化する過渡運転状態では、スロットルの開閉スピードが速くなるほど、一つの K_{bu} 算出

領域内に測定点が留まっている時間が短くなる。この時間が K_{bu} の算出に要する時間より短いと、算出が完了する前に別の K_{bu} 算出領域に移動することになり、 K_{bu} の算出機会を逸する。その結果、 K_{bu} による空燃比補正精度が下がる。このことから、 K_{bu} を算出する上で、空燃比の補正精度と K_{bu} の算出機会を考慮した領域区分の設定が必要になる。 K_{bu} の算出領域の区分に対する考え方を Fig. 14 を用いて説明する。

- ・アイドルリング領域は、エンジンの個体差や空気量調整等の影響を最も受ける領域のため、幅の狭い設定とした。(スロットル開度 0 deg-Border1)
- ・スロットル低開度領域では、Fig. 13 に示すようにスロットル微小開度変化に対して、要求される K_{bu} の値が大きく変化する。この領域で区分設定を広くすると、 K_{bu} の算出機会は増すが、一つの領域における上下限での K_{bu} 偏差が大きくなる。このため、一つの領域内での空燃比の差が大きくなりドライバビリティが低下する。逆に領域を狭くすると一つの領域内でのドライバビリティへの影響は少なくなるが、 K_{bu} の算出機会が減るため、空燃比補正精度は低下する。

これらの事象を考慮して、 K_{bu} の算出機会とドライバビリティのバランスを検討した結果、それぞれの領域の上下限での K_{bu} の偏差を 10% 以下にすることで両立が可能であることが実車テストにて確認された。この結果から、三つの K_{bu} 算出領域を設定した。(Border1 - 4)

- ・スロットル中開度以上の領域では、エンジンの個体差やアイドルリング時の空気量調整等の影響を受けにくいので、補正精度を考慮しても一つの領域区分で充分であった。(Border4 - スロットル全開)

以上の検討、確認結果より、Fig. 14 に示す五つの領域区分とした。

Fig. 15 に O_2 フィードバック制御非実施の状態における K_{bu} 算出区分が一つの場合と五つに分けた場合の空燃比補正結果を示す。破線は K_{bu} の算出区分を一つでおこなった

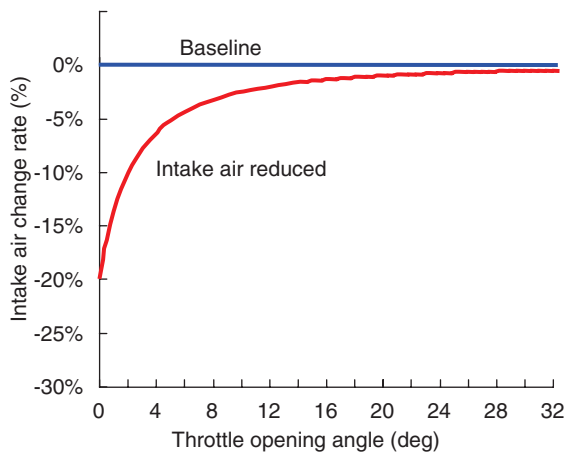


Fig. 12 Change rate of air intake when amount of intake air is reduced by 20% by bypass

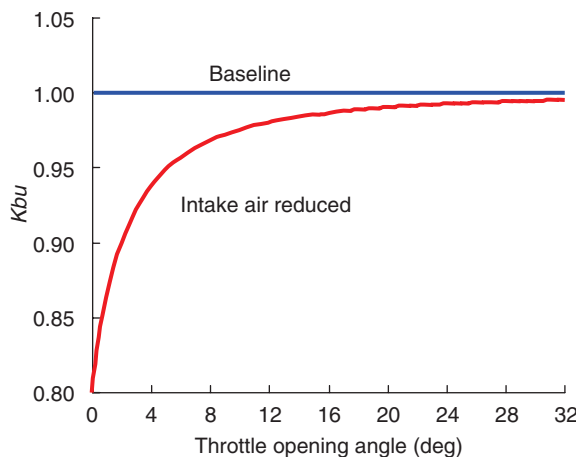


Fig. 13 Change in K_{bu} when amount of intake air is reduced by 20% by bypass

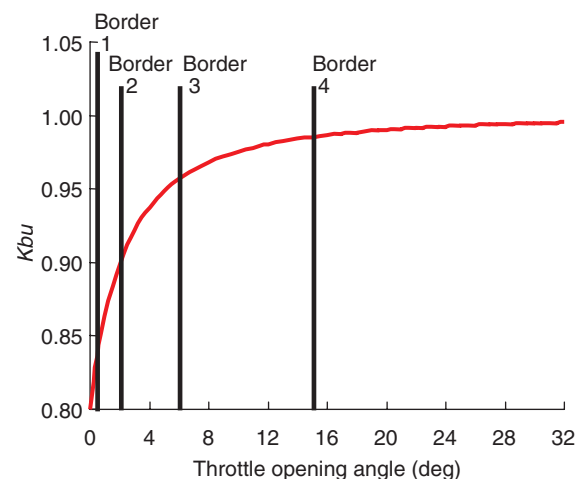


Fig. 14 K_{bu} calculation area divisions

場合、実線はスロットル開度ごとに五つに区分した場合の空燃比補正の結果である。O₂ フィードバック制御は非実施であるので、 K_{bu} は本テスト以前にある条件下で算出された値となっている。前者の場合、区分を一つしか持たないため、一つの K_{bu} しか存在せず、スロットル開度の変化に対して要求される K_{bu} との偏差が大きい状態が続いている。そのため、ねらいの空燃比に補正できない。一方、後者の場合、O₂ フィードバック制御が非実施でも本テスト以前に区分別に算出された五つの K_{bu} が適用されるため、スロットル開度が変化してもねらいの空燃比に近い値に補正されている。これにより、アイドリング回転数調整時の吸入空気量の変化を考慮して、 K_{bu} の算出領域区分数を必要最小限に設定することで、ねらいの空燃比と実空燃比の偏差を最小化できることが確認された。

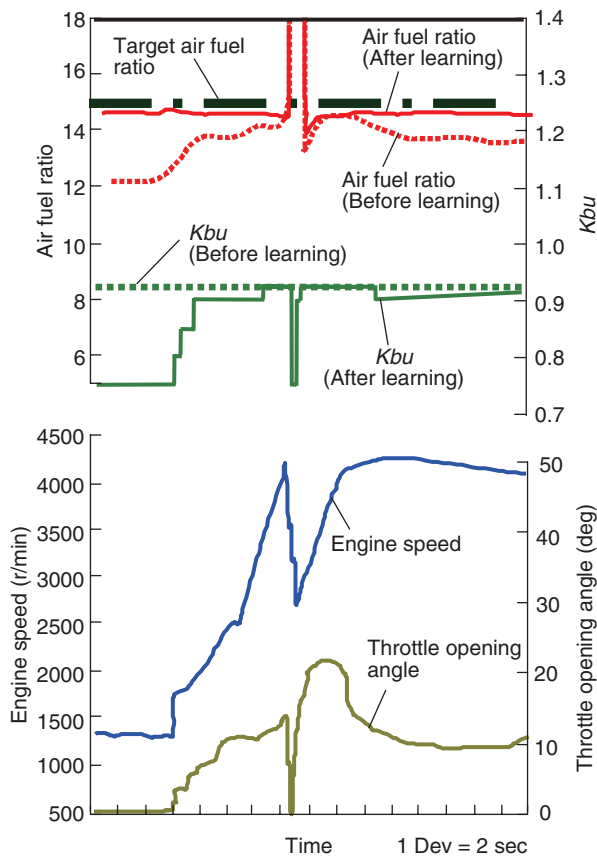


Fig. 15 Effect of K_{bu} calculation division setting on air fuel ratio correction

7. エンジンの行程判別機能の維持

次に、吸気管内圧力センサを廃止する場合の、もう一つの課題項目である、エンジンの行程判別機能の代替手法について説明する。

7.1. 従来のエンジン行程判別手法

従来のシステムでは、カムシャフトポジションセンサを

備えておらず、吸気管内圧力センサ信号を用いてエンジンの行程を判別している。Fig. 16 に4ストローク単気筒エンジンのアイドリング回転状態の吸気管内圧力波形を示す。

吸入行程中に吸気管内圧力は低下し、圧縮・膨張・排気の行程で吸気管内圧力は徐々に大気圧に近づいていく。この特徴を利用して、吸入行程と膨張行程の吸気管内圧力を同一位相で計測し、圧力が小さい方を吸入行程と判別している⁽⁷⁾。

7.2. クランクシャフト回転変動を利用した行程判別手法

吸気管内圧力センサを用いずに行程判別をおこなうために着目したのは、4ストローク単気筒エンジンのクランクシャフト回転速度が圧縮行程で遅くなる特徴を持つことである。

Fig. 17 にアイドリング運転状態のクランクシャフト

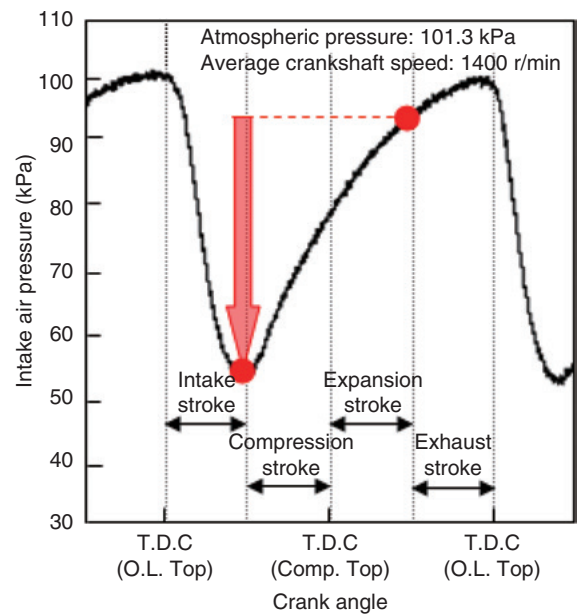


Fig. 16 Variation of intake air pressure at idling speed

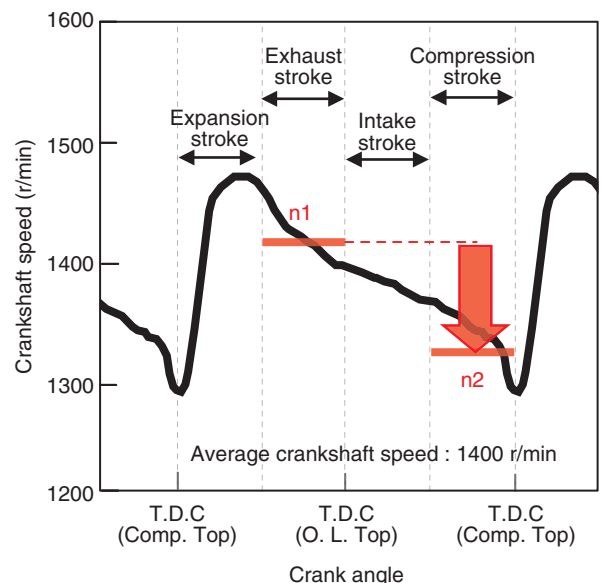


Fig. 17 Variation of crankshaft speed at idling speed

の回転速度変動を示す。クランクシャフト回転速度は排気・吸入・圧縮の行程では低下し、膨張行程で上昇する。このため、圧縮行程のクランクシャフト回転速度は最小となる。このことから、クランクアングルセンサの信号をもとに排気行程の区間平均回転速度 $n1$ と圧縮行程の区間平均回転速度 $n2$ を計測し、区間平均回転速度が低い方を圧縮行程と判別する制御とした。なお、クランクシャフト回転速度の比較において、膨張行程を含まない比較とすることで、失火等の燃焼状態の影響を受けにくい。

Fig. 18 はアイドリング運転状態の平均エンジン回転速度に対する排気行程と圧縮行程の区間平均回転速度を示したものである。アイドリング回転速度が変化しても排気行程の区間平均回転速度 $n1$ に対して圧縮行程の区間平均回転速度 $n2$ は常に低いため、行程を判別できる。これにより、吸気管内圧力センサを廃止してもエンジンの行程判別機能を維持することができた。

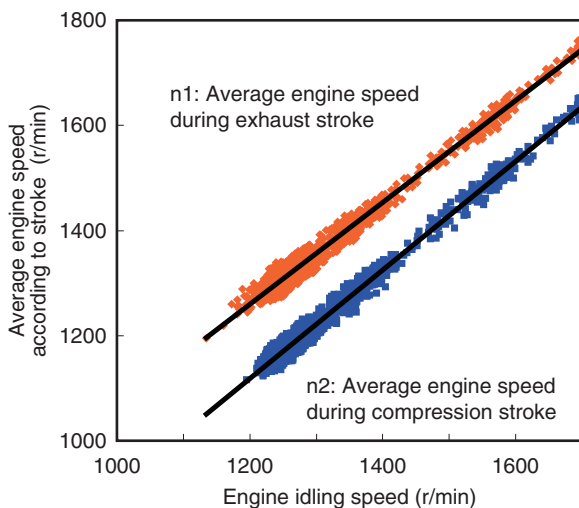


Fig. 18 Comparison of average engine speed between exhaust stroke and compression stroke

8. 効果の確認結果

8.1. 排出ガス・燃費性能計測結果

Table 2 に、排出ガス測定結果を、Table 3 に、モード燃費と定地燃費の測定結果を示す。排出ガスとモード燃費の測定は、ECE R40 モード同等の走行パターンであるタイ6次規制モードにておこなった。今回開発したシステムを搭載した車両の排出ガス、モード燃費、定地燃費性能は、ともに現行の電子制御式燃料噴射システムを搭載した車両と同等の性能を示している。吸気管内圧力センサを廃止した簡素なシステムでありながら、現行のシステムと同等の性能を維持できることが確認された。

Table 2 Comparison of exhaust emissions

	CO (g/km)	THC (g/km)	NOx (g/km)
Current system	0.525	0.217	0.039
Developed system	0.529	0.214	0.038
Regulation values *	2.0	0.8	0.15

* Thailand's sixth exhaust emission standard

Table 3 Comparison of fuel economy performance

	Mode (ECE R40)	Constant speed (50 km/h)
Current system	55.6 km/l	79.6 km/l
Developed system	56.7 km/l	80.0 km/l

9. まとめ

O₂ フィードバック制御を応用した新しい学習制御とクランクシャフト回転速度変動の検知によるエンジンの行程判別機能により、吸気管内圧力センサを廃止した簡素な燃料噴射システムを構築し、以下の結果を得た。

- (1) O₂ フィードバック制御により、吸気管内圧力センサ廃止時の課題であった吸入空気量計量精度を維持できた。
- (2) O₂ フィードバック制御非実施時は、O₂ フィードバック制御実施時にあらかじめ算出した環境補正係数 K_{bu} による補正により、吸入空気量計量精度を維持できた。また、 K_{bu} の算出を五つの領域に分けておこなうことで、アイドリング回転数調整後の空燃費補正精度を維持できた。
- (3) 圧縮行程の区間平均回転速度と排気行程の区間平均回転速度を比較することで、エンジンの行程判別機能を維持できた。
- (4) 従来システムと同等の排出ガス性能および燃費性能を維持できた。

参考文献

- (1) 宇津木克洋, 赤松俊二: 50cm³ 二輪車の国内二次エミッション規制対応技術, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.29-07, p.1-4(2007)
- (2) 島田信弘, 赤松俊二, 上田稔, 林徹, 平方良明: 小型二輪車電子制御燃料噴射システム用 ECU 統合型スロットルボデーシステムモジュールの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.83-88
- (3) 浦木護, 林達生, 牧野圭祐, 奥村達也: 小型二輪車用ヒータレス O₂ センサの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.92-06, p.21-24(2006)
- (4) 池田健一郎, 赤松俊二, 田中弘志, 村上泰男, 大城健

史, 黒坂斉: 二輪車用 50cm³ 4 ストローク 4 バルブ電子制御燃料噴射エンジンの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.9-04, p.15-18(2004)

- (5) 上野正樹, 上田稔, 鶴殿隆史, 赤松俊二, 鳥飼峰生, 福田充: 二輪車用小型燃料ポンプモジュールの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.20, No.1, p.82-86
- (6) 堀池達, 山田肇, 大山隆, 狩野宏司, 阿部正彦, 岩田康雄: 「VFR800FI」の排気エミッション低減技術の紹介, Honda R&D Technical Review, Vol.10, p.42-48
- (7) 赤松俊二, 石田周一, 浜渦朗: 低エミッション小型二輪車用フューエルインジェクションの研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.103-00, p.17-20(2000)

■ 著 者 ■



宇津木克洋



高野祐紀



坂口和彦



大西謙太