

小型二輪車用空冷エンジンの電子制御燃料噴射の制御システム

Control Device of Electronically Controlled Fuel Injection System of Air-cooled Engine for Small Motorcycle

玉 木 健 二*
Kenji TAMAKI

國 府 志 朗*
Shiro KOKUBU

赤 松 俊 二*
Shunji AKAMATSU

要 旨

ABSTRACT

従来の電子制御燃料噴射システムではバッテリー充電量が低いときは、キックスタータの作動で発電された電力がバッテリーを含むほかの電気負荷に流れて電圧降下を起こし制御システムが動作しないことがある。これを解決するために、リレー回路を用いて制御システム以外の電気負荷を切り離し、キック作動で発生するすべての電力を効率よく利用できる電源制御システムを ECU に組み込んだ。これによりバッテリーが完全放電でもキックスタータでエンジンの始動が可能になった。また空冷エンジンにおいてもエンジンオイル温度感知の最適設定により燃料噴射量、点火時期の補正精度が向上した制御システムを実現した。

In general, when an on board battery is low power, the electric power generated from an alternator by a kick-starter operation is consumed by all electrical loads including the battery. This causes a voltage drop. To eliminate the power shortage, an installed relay circuit opens all electric loads other than the fuel injection system. This allows the fuel injection system to use all electric power generated by the kick-starter. An electric power control system was incorporated into the ECU. The control system was realized that permits starting of an engine by using the kick-starter even when the battery is completely discharged. Also, by suitable sensing of engine oil temperature, the control system permits an efficient compensation of fuel injection quantity and ignition timing even in an air-cooled engine.

1. まえがき

近年、地球環境問題から世界各国で小型二輪車のエミッション規制が年々厳しくなっている。ヨーロッパでは、現在 Euro-2 規制が発効しており、2006 年にはさらに厳しい Euro-3 規制が予定されている。小型二輪車の主な市場であるアジアにおいても、中国では 2004 年に Euro-2 相当の規制の導入が予定され、さらに 2006 年に Euro-3 相当の規

制の導入が検討されている。タイにおいても、2004 年からさらに厳しい 5 次規制が予定されている。主要地域の二輪車エミッション規制値を Table 1 に示す。小型二輪車においても大型二輪車と同様のエミッション規制対応が求められるようになってきている。エミッションの低減手法として大型二輪車では、燃料噴射システムに O₂ センサを用いたフィードバック制御と触媒を組合せたシステムが広く用いられている。一方、小型二輪車ではキャブレタにエアインダ

Table 1 Motorcycle emission control in various countries

Country	Regulations	Period	Exhaust Emission (g/km)		
			CO	THC	NOx
Europe	Euro-2	2003 —	5.5	1.2	0.30
	Euro-3	2006 —	2.0	0.8	0.15
China	Current	— 2004	13.0	3.0	0.30
	Future	2004 —	5.5	1.2	0.30
Thailand	4th level	— 2003	4.5	3.0	
	5th level	2004 —	3.5	2.0	
Japan	Current	— 2006	13.0	2.0	0.30
	Future	2007 —	2.0	0.5	0.15

125cm³ - class motorcycles

クションおよび、触媒を組合せたシステムが主に用いられてきた。今後のさらに厳しいエミッション規制に小型二輪車を適応させるためには、空燃比をさらに高い精度で制御することができるシステムが必要であり、それには燃料噴射システムが現時点で最適である⁽¹⁾。そこで、排気量125cm³クラスの4ストローク単気筒の自然空冷エンジンを搭載した小型二輪車に電子制御燃料噴射システムを適用するための研究をおこなった。

本稿では、空冷エンジンを搭載した小型二輪車のキックスタータによる始動制御と、空燃比制御に適用した手法及びその成果について述べる。

2. 供試エンジンの概要

供試エンジンとして東南アジア地域で小型二輪車に数多く搭載されている125cm³クラスの4ストローク自然空冷単気筒エンジンを使用した。その主要諸元をTable 2、供試エンジンを搭載する小型二輪車の外観をFig. 1に示す。

3. 小型二輪車に燃料噴射システムを適用するための課題

二輪車に燃料噴射システムを用いることは四輪車のコンポーネントを大型二輪車に流用することから始まった⁽²⁾。

Table 2 Major specifications of test engine

Item	Specifications
Engine type	Air cooled 4-stroke single-cylinder
Bore × Stroke	52.4 × 57.9 mm
Displacement	124.8 cm ³
Compression ratio	9.3
Valve train	SOHC 2 valves
Valve diameter	IN 24, EX 21 mm
Clutch type	Automatic centrifugal
Transmission	4-speed constant mesh
Max. output	6.75kW/7 500 r/min.
Max. torque	9.74Nm/5 500 r/min.



Fig. 1 Overview of small motorcycle with test engine mounted

小型二輪車にそのシステムを導入するためにはコストの大幅な低減が課題であった。近年、ECUをスロットルボデーに取り付けたモジュール化技術を用いることで低コスト化した燃料噴射システムがヨーロッパ向けスクータに採用された⁽³⁾。しかし、空冷エンジンを搭載した小型二輪車にこの技術を採用するためには、次に述べる大きな二つの課題がある。

(1) セルスタータとキックスタータの併用使用対応

通常、セルスタータのみを装備した二輪車の場合、バッテリーが完全放電状態のとき、セルモータが回らないだけでなく燃料噴射システムの燃料ポンプも作動しないため、燃料供給ができず始動できない。しかし、キックスタータを装備したキャブレタシステムの場合、バッテリーが完全放電状態のときでも、キックスタータの作動で燃料供給は自動的におこなわれ、ACGにて発生する電力で点火システムが起動するので始動可能である。したがって、小型二輪車の場合、キャブレタシステムから燃料噴射システムに変更した場合でも、バッテリーが上がった状態でキックスタータで始動可能なシステムにする必要がある。

(2) システム制御に必要なエンジン油温の測定場所選定

燃料噴射を採用している二輪車の多くは水冷エンジンを搭載しており、燃料噴射の制御は冷却水温度を基におこなっている。自然空冷エンジンの場合、エンジン冷却後の空気温度は不安定であり測定することが難しいので、エンジンオイルの温度を測定することとした。しかし、潤滑を目的とするエンジンオイルはトランスミッションを含むエンジン全体を循環し、場所により温度が異なる。燃料噴射制御に適した温度測定場所を選定する必要がある。

4. 空冷エンジン用燃料噴射システムの概要

4.1. 燃料噴射量制御

採用した燃料噴射量コントロールシステムの構成図をFig. 2に示す。今回採用したモジュールは、吸入空気量を制御するスロットルボデーと、エンジンの運転状態を制御するECUを一体化している。このモジュールは、従来のキャブレタと同等のサイズになっている。Fig. 3にその外観と構成を示す。このモジュールにはスロットル開度、吸入負圧、吸入空気温度のセンサを内蔵し、外部からの入力としてオイル温度センサを装備している。エンジンオイル温度センサはシリンダのオイル戻り通路に設けた。ECUは燃料噴射量、噴射タイミング、点火時期の制御をおこなう。燃料供給は、燃料タンク内に省電力型燃料ポンプを設置し、インジェクタに燃料を圧送することでおこなう。燃料供給圧力は、250kPaに設定した。燃料供給システムの配置をFig. 4に示す。

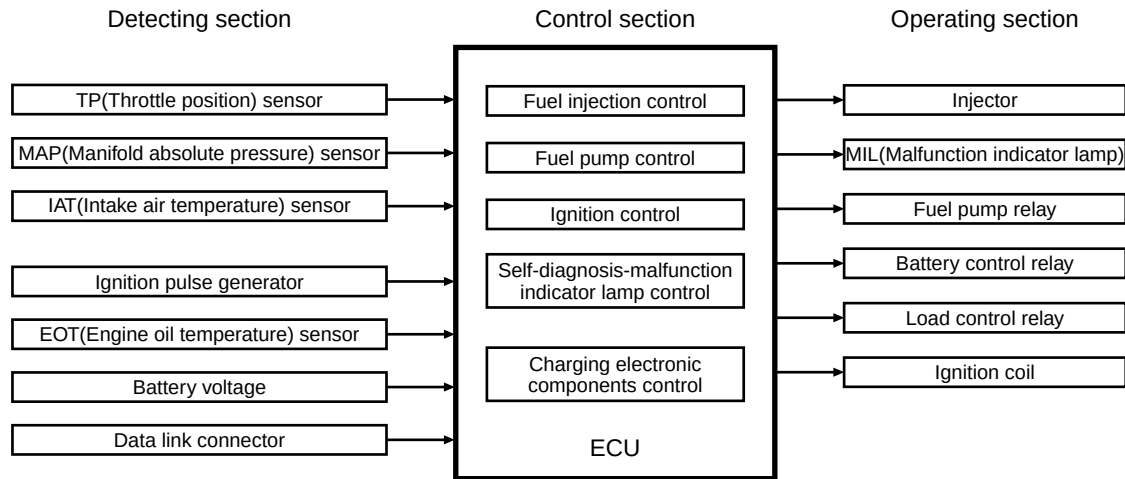


Fig. 2 Configuration diagram of fuel injection volume control system

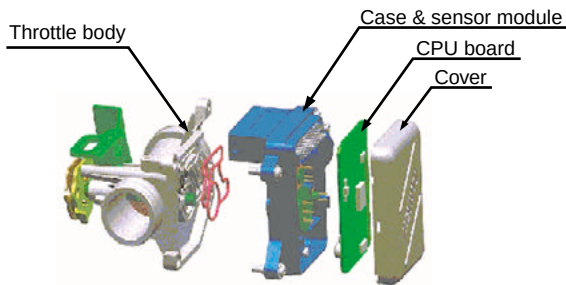


Fig. 3 Overview of module and components

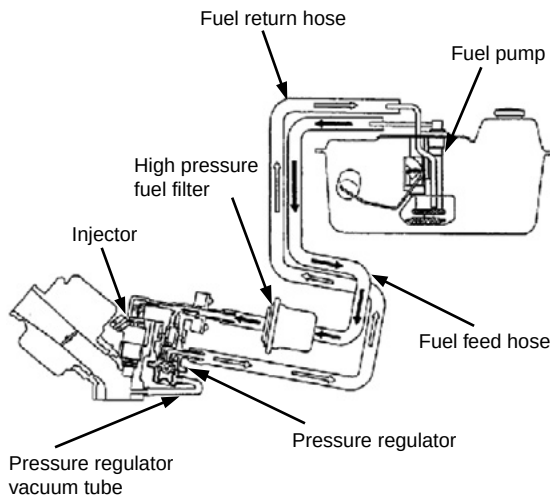


Fig. 4 Layout of fuel supply system

4.2. 電源供給回路

電源供給用に燃料噴射システムの電気負荷に最適な出力増加を施した交流発電機(以下、ACG という)を搭載した。電源供給回路には、Fig. 5に示すようにレギュレータ内部にACG 出力を蓄えられるコンデンサを追加した。ECU で制御されるリレー(バッテリーコントロールリレー・ロードコントロールリレー)はバッテリーと電気負荷をACG から切り離す役割を果たす。

5. 燃料噴射システム

5.1. キック始動時の電源制御

通常、燃料噴射システムを用いたエンジンの始動には、バッテリーに蓄えられた電力によってECU、燃料ポンプ、インジェクタを駆動して燃料を供給するとともに、イグニッションコイルに通電して点火をおこなう。バッテリーが放電状態、又は寿命により電力を供給できなくなり燃料噴射システムを起動させることができない場合にエンジンを始動させるためには、キックスタータによりACG で発電された電力をECU、燃料ポンプ、インジェクタ、イグニッションコイルに供給する必要がある。しかし、Fig. 6に示すように、従来の回路ではキック始動時に発電された電力がバッテリーの充電に使用されたり、他の電気負荷に使用されるため、電圧が低下しECU を起動することができない。

したがって、本システムではイグニッションSW をONにしたときバッテリー電圧でECU が起動したときは、起動したECU でバッテリーの電圧を検出し、バッテリー電圧が6-9V の場合に、ECU は起動できるが燃料供給と点火性能を満足できないと判断しバッテリー及び燃料噴射システム以外の電気負荷をFig. 7に示すようにACG からリレーによって切り離すこととした。そのときのフローチャートをFig. 8に示す。

また、ACG の発電電力によってECU が起動したときはバッテリー電圧が6V 以下と判断できるため、前述と同じくリレーによってバッテリー及び電気負荷を切り離すこととした。また燃料噴射システム起動中にイグニッションコイルやインジェクタに一時的に多くの電流が流れると一時的にACG 出力電圧が低下しECU が起動を停止してしまうため、レギュレータに内蔵したコンデンサに蓄えた電力によって電圧低下を防止する。以上のような電源制御システムとすることで、Fig. 9に示すように、バッテリーが機能しないときでもキャブレタ装着エンジンと変わらないキックスタータ

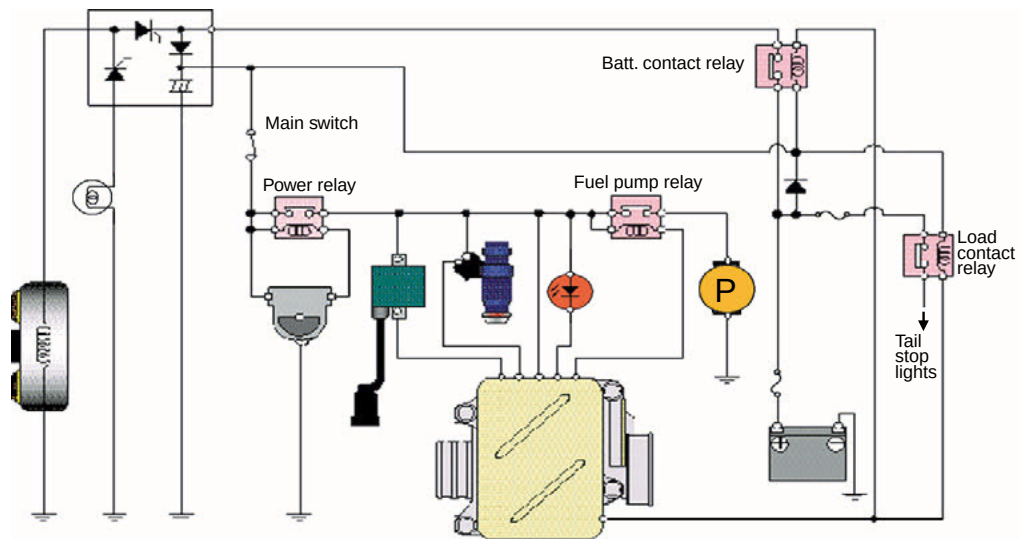


Fig. 5 Power source circuit at normal operation with full charged battery

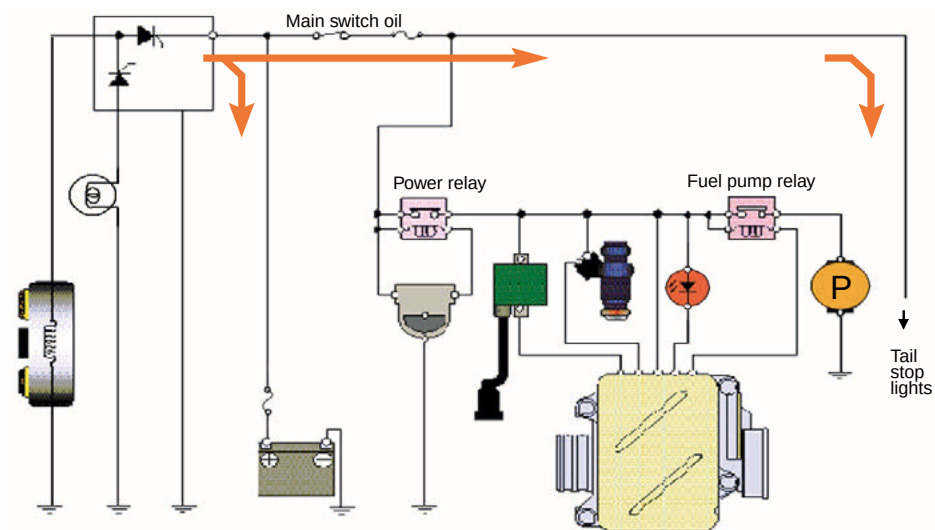


Fig. 6 Usual circuit

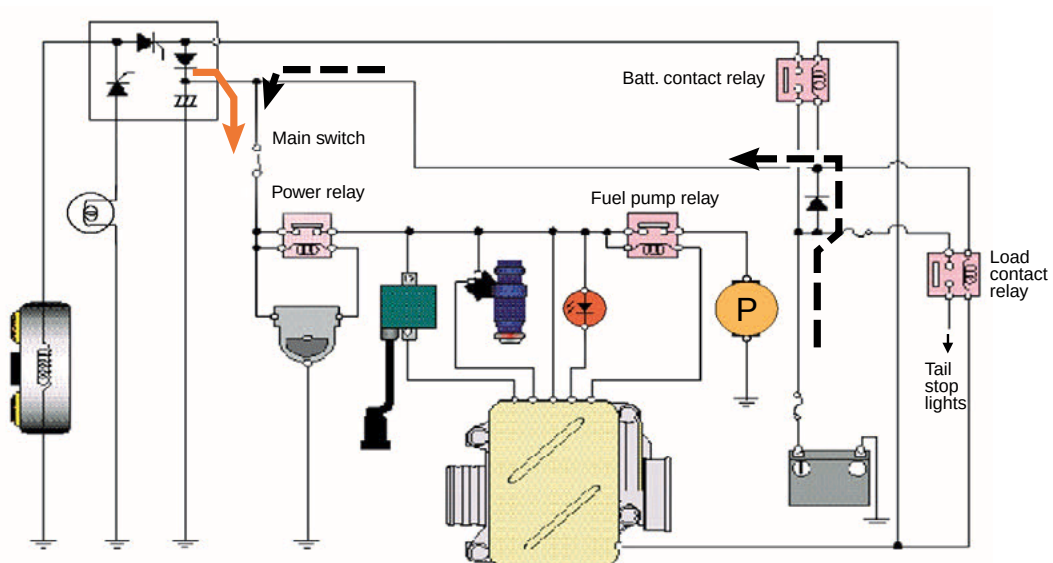


Fig. 7 Cut off of electrical load at kick starting under battery down

による始動性を確保することができた。なお、エンジン始動後及びバッテリーが正常状態のときにはリレーを接続し、バッテリー及び電気負荷に ACG の発電電力が供給されるように制御している。

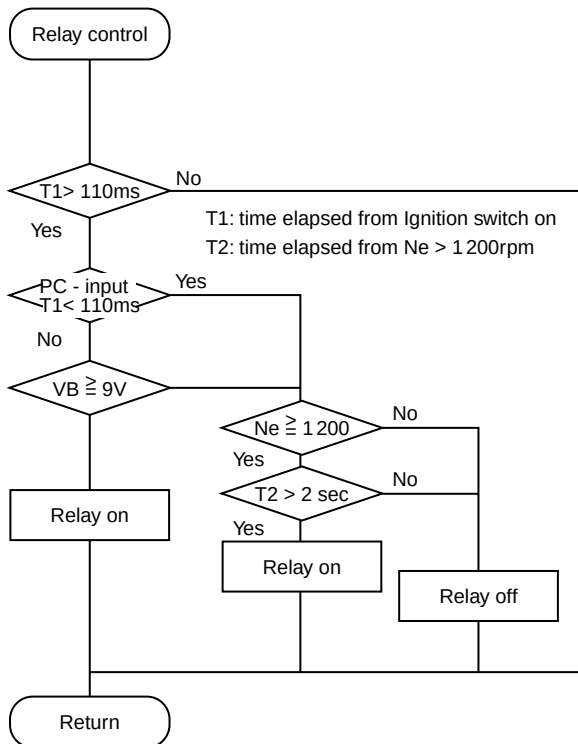


Fig. 8 Flow chart

5.2. 油温制御

ECUが空燃比と点火時期を適切に制御するためにはエンジンの暖機状態を把握できるセンサ出力が必要である。水冷エンジンの場合、ウォータージャケットを流れる冷却水の温度が制御に用いられる。サーモスタットが循環流量を調整し温度を一定条件に安定させる役割を担う。水冷エンジンのセンサ配置の例を Fig. 10 に示す。自然空冷エンジンの場合、冷却媒体は空気であり、エンジン冷却後の空気温度を測定することは難しい。そこで、エンジンオイルの温度を使用することとした。供試エンジンのオイル経路を Fig. 11 に示す。オイルポンプによって送り出されたオイルは、クランクとシリンダヘッドの2方向へ分かれる。シリンダヘッドに向かうオイルは、シリンダを経てカムシャフトとバルブを潤滑したのちヘッドに接触し、シリンダに設けられた通路に集められオイルパンに到達する。シリンダと燃焼室近傍の熱を吸収しながら循環するという観点で空冷エンジンのオイルは水冷エンジンの冷却水と同様の経路を持っている。したがって、オイルパンへの戻り通路のオイル温度は、水冷エンジンの冷却水と同様にエンジン暖機状態を代表すると考えた。実測によって、オイル温度がエンジンの暖機状態と相関しているかを確認した。タイの排気エミッション測定モード走行におけるオイル温度の上昇特性を Fig. 12 に示す。

室温25℃からの冷機始動では、エンジンの暖機には、約200秒かかる。オイルパンのオイル温度の上昇開始は遅く、エンジン始動直後は変化しない。また、200秒後で約10℃

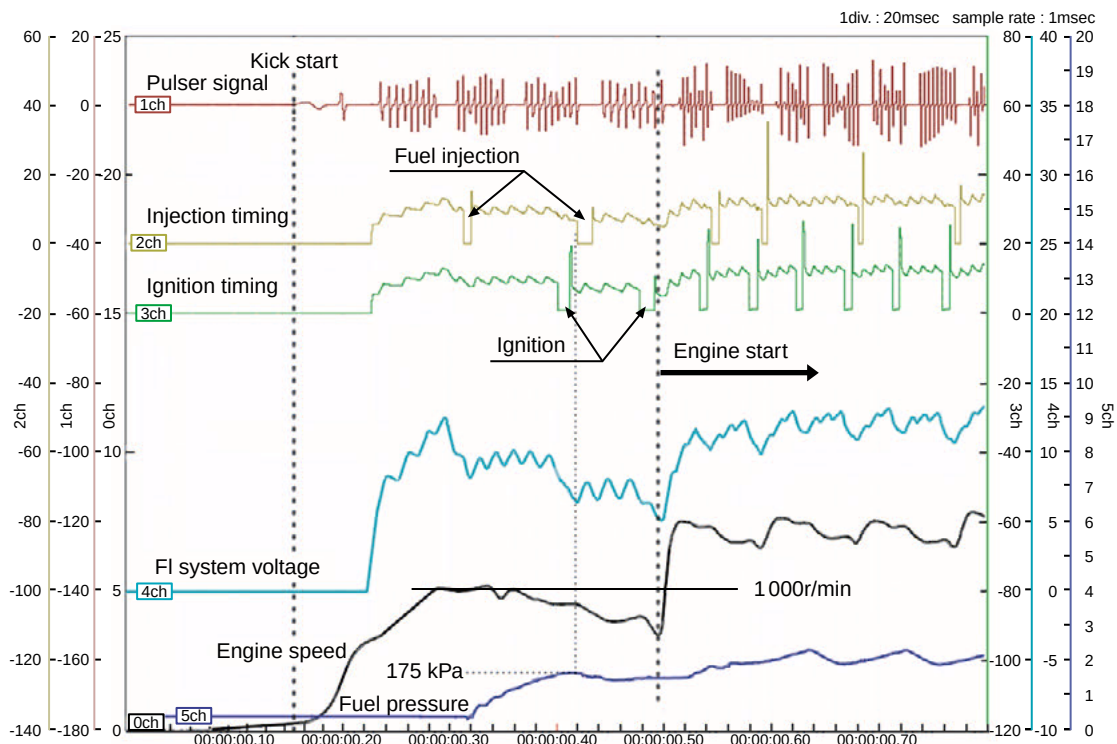


Fig. 9 Measurement data at engine start

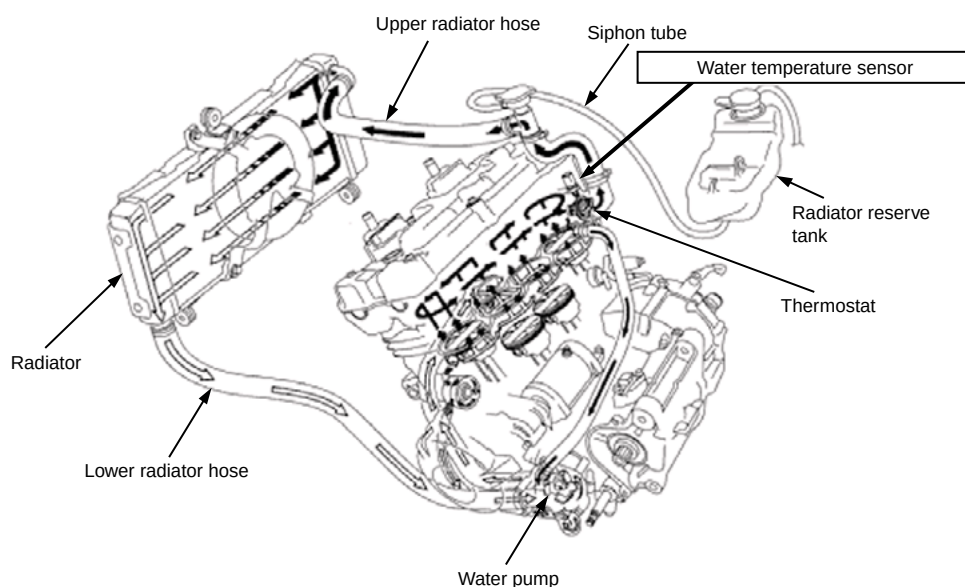


Fig. 10 Water temperature sensor of water cooled engine

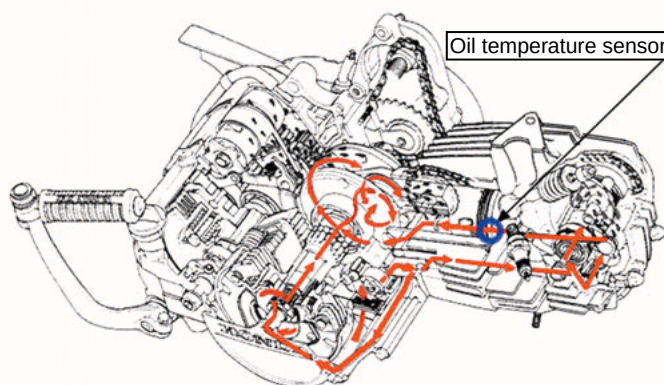


Fig. 11 Layout of oil supply system

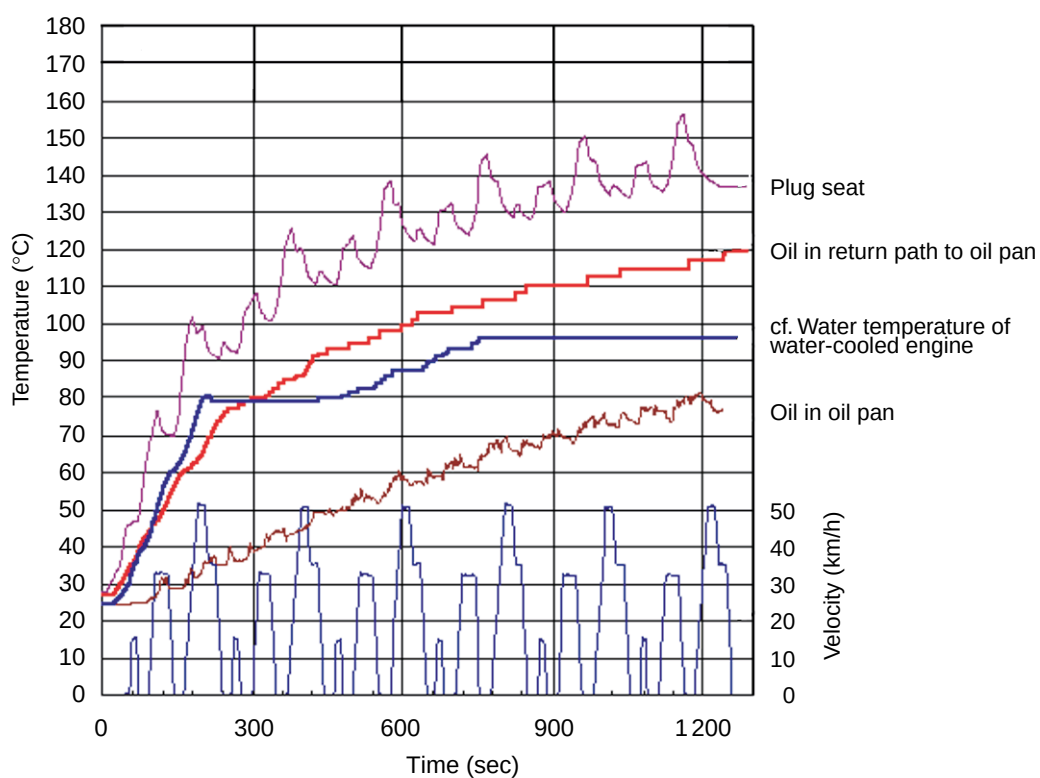


Fig. 12 Rise of temperature in exhaust emission measurement mode of Thailand

の上昇しかない。したがって、ほとんど変化しない温度で暖機状態を判定することは難しい。200秒後には暖機完了状態にあるため燃焼室近傍の温度と相関性が低い。それに対して、オイルパンへの戻り通路のオイル温度は上昇開始が速く、その上昇幅も大きい。200秒後で約35℃上昇する。シリンダとシリンダヘッドを通過する間に、熱を直接受けて温度が上昇するからである。したがって、燃焼室近傍の温度と相関性が高いといえる。そこで、シリンダのオイルの戻り通路にオイル温度センサを設置し、エンジンオイル温度のセンサ出力を制御に用いることとした。このエンジンオイル温度のセンサ出力により暖機状態に適応した燃料噴射の制御が可能となった。

5.2.1. 油温制御の実態

供試車両はフロントタイヤの後方にシリンダヘッドが水平状態で搭載されている。したがって、雨天や水溜りなどを走行する場合、前輪の巻上げた水がエンジンに直接かかり、エンジンを冷却する。水の温度は外気温度に近く、その温度はエンジンにとって低温であり、水の熱伝導性は空気に比べ大きいので、エンジン全体の温度は大幅に低下する。水冷エンジンのサーモスタットのような温度調整機能を持たない自然空冷エンジンでは、一度暖機が完了してもウェットコンディションで再び暖機前の状態に戻ってしまうことがある。その結果、燃焼室まわりの温度も低下し、燃料噴射量の補正が必要となる。開発した制御システムはこのように効果を発揮する燃料噴射補正機能を有する。

6. 燃料噴射システムの効果

燃料噴射システムを搭載した供試車両は、空燃比制御の精度向上により、排ガスエミッションをタイの4次規制の40%レベルまで低減した。Fig. 13に排ガスエミッションの結果を示す。エアインダクションのみを用いた結果であり、O₂フィードバック制御と触媒は使用していない。バッテリーが完全放電状態でも、キックスタータによりエンジン始動が可能である。Fig. 14に始動性のテスト結果を示す。

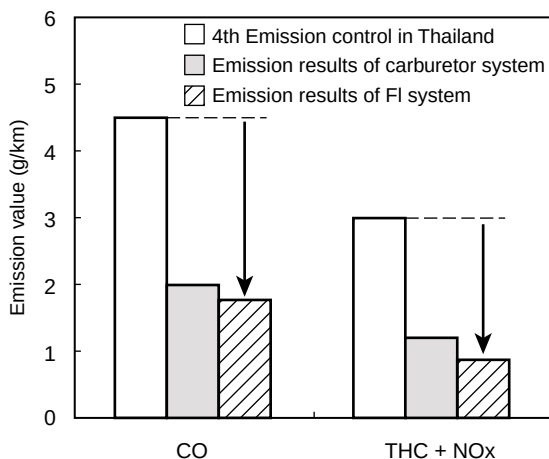


Fig. 13 Results of exhaust gas emission

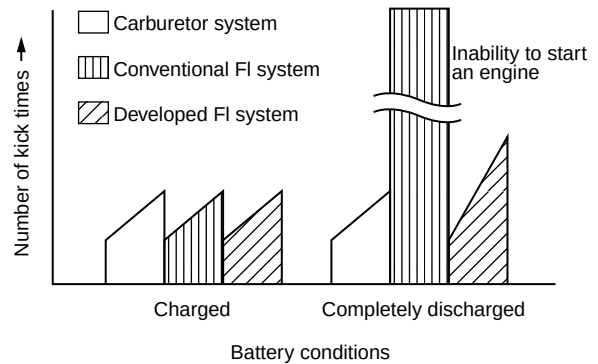


Fig. 14 Startability

7. まとめ

- (1) バッテリーが完全放電でもキックスタータでエンジンを始動できる電子式燃料噴射制御システムを実現した。
- (2) エンジンオイル温度感知により空冷エンジンにおいても燃料噴射量、点火時期補正が可能な制御システムを実現した。
- (3) 本電子制御システムを採用することで、従来の小型空冷エンジンの構成をほとんど変更することなく燃料噴射システムを適用することを可能とした。

本技術を採用することにより、アジア市場で多数を占める小型二輪車の排ガスエミッションの更なる低減への寄与が期待される。

参考文献

- (1) Akamatsu S., et al.: Research for Reducing Exhaust Emission of 4-Stroke Engines for Small Motorcycles, Safety Environment Future - International Motorcycle Conference (Organized by Institute for Motorcycle Safety), Munich, Germany(2000)
- (2) Abe M., et al.: Exhaust Emission Reduction for the VFR800FI, Safety Environment Future - International Motorcycle Conference (Organized by Institute for Motorcycle Safety), Munich, Germany(1997)
- (3) Shimada N., et al.: Development of an ECU Integrated Throttle Body System Module for Compact Fuel Injection System Used in Small Motorcycles and Scooters, the 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Bangkok, Thailand(2003)

■著 者■



玉木 健二



國府 志朗



赤松 俊二