

小型二輪車用統合型 フューエルインジェクションシステムの開発

Development of Integrated Fuel Injection System for Small Sized Motorcycles

赤松 俊二*

Shunji AKAMATSU

林 徹*

Akira HAYASHI

上田 稔*

Minoru UEDA

大内 勝博*

Katsuhiko OUCHI

要 旨

ABSTRACT

近年、地球環境問題への関心が高まるにつれ、小型二輪車の排出ガス、燃費に対する要求がますます強まる中、空燃比を高精度に制御することで、エミッションの低減、燃費向上に効果的な電子制御式燃料噴射システムが登場してきている。今回、小型二輪車の電子制御式燃料噴射システム用部品として、さまざまなエンジン排気量や搭載形態に適合する燃料インジェクタ、燃料ポンプ及び ECU (Electrical Control Unit) の小型高効率化技術を確認した。燃料インジェクタは、燃料噴射のシミュレーションによる噴射形態の最適化と磁気回路の最適化を図った。これにより搭載性に優れ、排気量 50 cm³ から 900 cm³ まで対応を可能とした。燃料ポンプは、モータの効率追求とポンプロータ形状の最適化により、消費電流は 25% の低減が図られた。ECU は、回路統合カスタム IC を開発ときょう体の標準化をおこない小型軽量化と低コストを達成した。

Demands for reducing exhaust emission and enhancing fuel economy have been increasing in accordance with growing concerns regarding global environmental issues. An electronically controlled fuel injection system which precisely controls the air-fuel ratio has been adopted to effectively meet the demands. Technologies for miniaturizing and achieving a high-efficiency system have been established for fuel injectors, the fuel pump and ECU (Electrical Control Unit). For the fuel injector, a spray form and magnetic circuit was optimized through computer simulation. As the result, a fuel injector with good installation ability for engine displacements ranging from 50 cm³ to 900 cm³ was realized. For the fuel pump, the maximized motor efficiency along with an optimized pump rotor shape reduced current consumption by 25%. For the ECU, the development of a circuit-integrated custom IC and the standardization of a housing achieved a compact, light, inexpensive design.

1. はじめに

二輪車の燃費向上、排出ガスエミッション低減の要求は ASEAN 地域においても先進国に追従する形で規制が実施されつつある。世界の二輪車の大半は ASEAN 地域で生活の足として使用されており地球規模的に見ても環境問題への寄与率が高いことは言うまでもない。生活の足として認知されている二輪車の持つ性能、機能を損ねることなく環境対応をおこなう上で、電子制御式燃料噴射(以下、FI という)は非常に有効な手段である。Honda においては、小型二輪車の FI 化⁽¹⁾は 2003 年パンテオン(イタリア向け)から採用を初め、Wave125i(タイ向け)、Dio Z4(日本向け)⁽²⁾と採

用してきた。中でも、ASEAN 地域で多用されている小排気量車に FI の適用を拡大していくためには、このシステムの小形化、高効率、低消費電力、低コスト化が不可欠であった。今回、小型二輪車の FI 化の更なる拡大のために小型軽量化と低コスト化をおこなったその技術手段を紹介する。

2. FI 化の課題と達成手法

2.1. FI 化の課題

2003 年 7 月にタイにて発売した空冷エンジンを搭載した 2003 年 Wave125i の FI システムを Fig. 1 に示す。その FI システムには ECU とスロットルボデーの機能集約化等

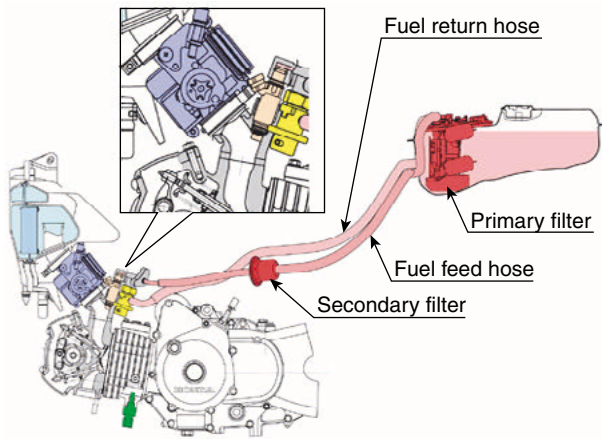


Fig. 1 Fuel supply system of 2003 Wave125i

の新技术を採用してきたが、四輪車用技術をベースにしたもので小型二輪車用に最適化されたものではなくレイアウト、コスト上で満足できるものではなかった。

2.2. 達成手法

今回の開発は下記の4項目に絞って小型軽量化と低コスト化をおこなった。

- (1) 超小型燃料インジェクタ^{(3), (4)}
- (2) 高効率燃料ポンプと2次フィルタを廃止した燃料ポンプモジュール⁽⁵⁾
- (3) 小型統合 ECU(Electrical Control Unit)⁽⁶⁾
- (4) 細径樹脂管を用いた高圧燃料配管

3. 主要諸元及び概要

今回開発した、2005 年 Wave125i の主要諸元を従来モデルと比較し Table 1 に示す。Fig. 2 に燃料供給系、Fig. 3

に外観写真を示す。FI制御ダイアグラムについては、Fig. 4 に示す。燃料供給系については燃料インジェクタの配置の見直し及び燃料供給圧力の変更により燃料のペーパーロック対策をおこないリターンレスとした。

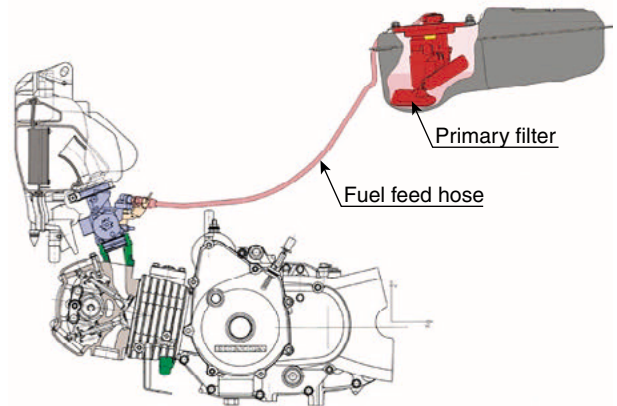


Fig. 2 Fuel supply system of 2005 Wave125i



Fig. 3 2005 Wave125i

Table 1 Major specifications

		2003 Wave125i	2005 Wave125i
Engine	Engine type	Air-cooled 4-stroke SOHC	Air-cooled 4-stroke SOHC
	Bore x Stroke mm	52.4 x 57.8	52.4 x 57.8
	Displacement cm ³	124.9	124.9
	Compression ratio	9.3	9.3
	Throttle body	Keihin GQ20	Keihin GQ22
	Max. output kW/ r/min	6.75 / 7500	6.75 / 7500
	Max. torque Nm/ r/min	9.74 / 5500	9.74 / 5500
Fuel system	Fuel supply system	In-tank return	In-tank return-less
	Fuel pump	Keihin	Keihin (Carbon comitator)
	Fuel pressure kPa	250	294
	Fuel feed hose	FKM (φ6)	Resin (φ2.5)
	Injector	Denso C-3	Keihin type 7
Electric	ECU (Electrical Control Unit)	Keihin (Integrated to throttle body)	Keihin
	Throttle position sensor	Alps	Alps
	Manifold pressure sensor	Fuji	Fuji
	Air Temperature sensor	Shibaura	Shibaura
	Engine temperature sensor	Denso	Matsushita
	Ignition coil	MP06	MP33

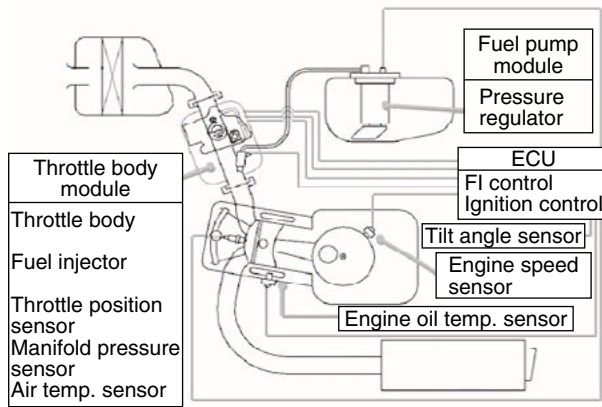


Fig. 4 Schematic of fuel injection system

4. 主要技術

4.1. 超小型燃料インジェクタ

小型二輪車の FI 化を進める上で、既存の四輪車用燃料インジェクタでは大きいので、エンジンへの取付け時の自由度が少ない。そのため、エンジン性能を引き出すことが困難であった。今回新たに小型二輪車用としてエンジン取付け性を重視して小型燃料インジェクタを開発した^{(3), (4)}。従来の燃料インジェクタとのサイズ比較をFig. 5、性能諸元をTable 2 に示す。

燃料インジェクタとしての基本性能を維持したままで小型化を図るために、磁気回路や燃料流量のシミュレーション結果をベースに以下のように構造を抜本的に見直した。

(1) 可動弁ストッパ構造のシンプル化

(2) 磁気回路構成の最適化

(3) 燃料流路の圧力損失低減

4.1.1. 可動弁ストッパ構造のシンプル化

従来、可動弁ストッパ構造としては、Fig. 6(a) のように可

動弁と固定鉄心とのエアギャップを非磁性のC型別体ワッシャによって構成するタイプと、(b)可動弁に硬質クロム皮膜を施してエアギャップを構成するタイプが一般的であった。

しかし、C型別体ワッシャタイプは構成部品が多く、一方、可動弁に硬質クロム皮膜を構成するタイプは表面処理等による工程の増加で、いずれもコスト増となっていた。

そこで可動弁ストッパ構造として次のような新たな構造を採用した (c)。

まず、可動弁と固定鉄心とのエアギャップを構成し、かつ可動弁のストロークストッパとなる非磁性体のストッパリングを可動弁に圧入する。

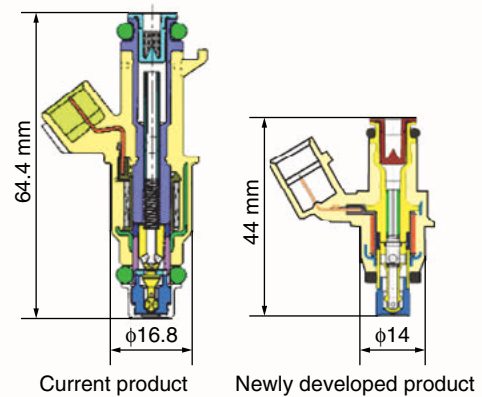


Fig. 5 Comparison of injector size

Table 2 Specifications of injector

	2003 Model	2005 Model
Number of nozzle	4	4
Dynamic flow rate (2 msec)	1.73 mm ³ /st	2.12 mm ³ /st
Static flow rate	90 cm ³ /min	78.8 cm ³ /min
Spray form	1 Jet 12 deg	1 Jet 15 deg
S. M. D	120 μm	72 μm

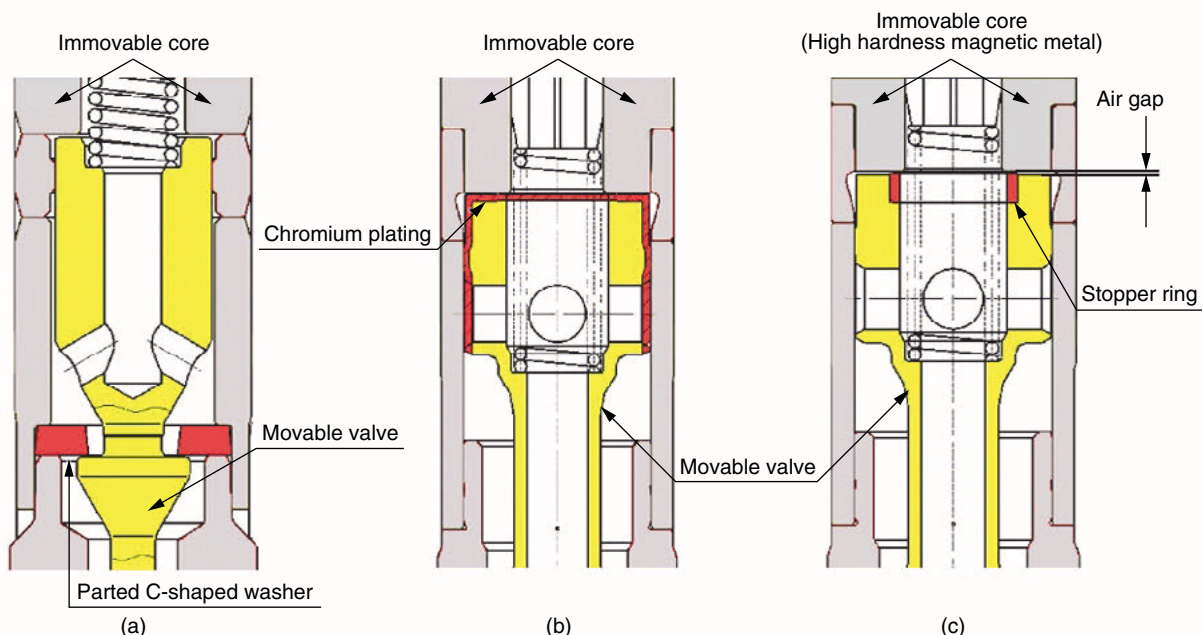


Fig. 6 Simplification of plunger stopper system

次にこのストッパリングに当接する固定鉄心には叩かれ摩耗を低減するため、ストッパリングの表面硬度以上に硬い新磁性材料を採用した。

これによって従来にない安価で簡素な構造を実現した。

耐久性においても、従来のC型ワッシャタイプに比べて向上させることができた。

4.1.2. 磁気回路構成の最適化

磁気回路に関しては CAE 解析を活用して小型最適設計をおこなった。

コイルのインダクタンス削減、余剰ソレノイド吸引力の削減、可動弁の最適位置設定、コイルボビン全長抑制等をバランスさせて性能を低下させることなく小型化を達成した。

例えば、CAE解析から固定鉄心側の外径と可動鉄心側の外径差が大き過ぎて、Fig. 7に示したように漏れ磁束が増加し効率が低下することが判明したため、外径差を縮小して効率を向上させた。

4.1.3. 燃料流路の圧力損失低減

小型化を図りながら小排気量から大排気量までの燃料流量を確保できるように燃料通路構成も大幅に見直した。具体的には通路抵抗の少ないセンタ燃料通路を採用し、各部の断面積は最大流量時のシート部開口面積の3倍以上持た

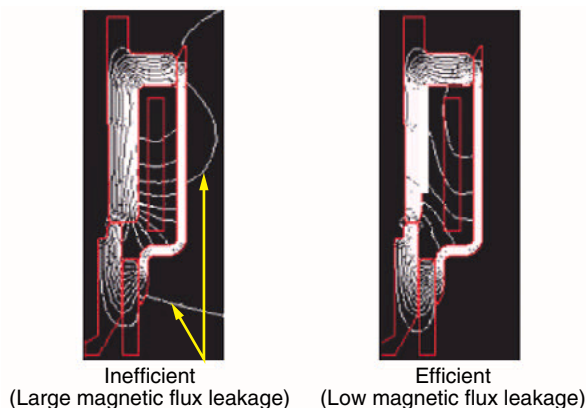


Fig. 7 Optimization of magnetic circuit

せた。これによって、Fig. 8 に示すように従来の燃料インジェクタに比べ大幅に圧力損失を低減することができた。

4.2. 燃料ポンプモジュール

燃費向上やコスト低減のニーズが高い ASEAN 地域向けの二輪車においては、更なる消費電流の低減が求められている。そこで、消費電流 1A 以下を目標に新たなコスト低減した燃料ポンプモジュールの開発をおこなった⁽⁵⁾。

燃料ポンプモジュールは、小型二輪車に要求される低流量域に焦点を当て、以下の4つの観点で開発した。

- (1) ロータ羽根角度の最適化
- (2) ポンプ流路幅の最適化
- (3) ポンプモータの最適化
- (4) 2次フィルタ廃止

従来のポンプとの大きさや特性の比較について、Fig. 9及び Table 3 に示す。

新型燃料ポンプ(c)は、(b)とほぼ同一の大きさでありながら、大幅な性能の向上が図られている。こうして小型二輪車で要求流量を満足しながら目標とした消費電流を 1A 以下に低減することができた。

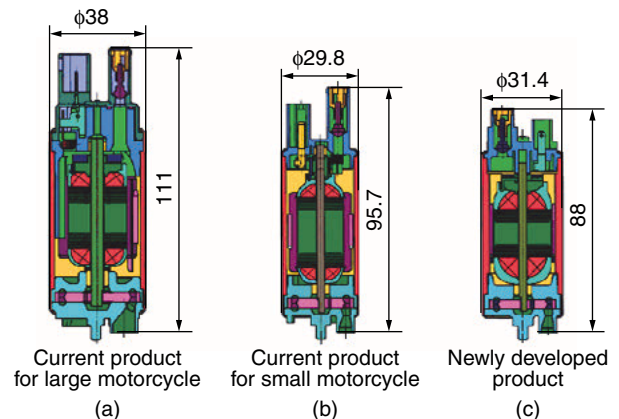


Fig. 9 Comparison of fuel feed pump size

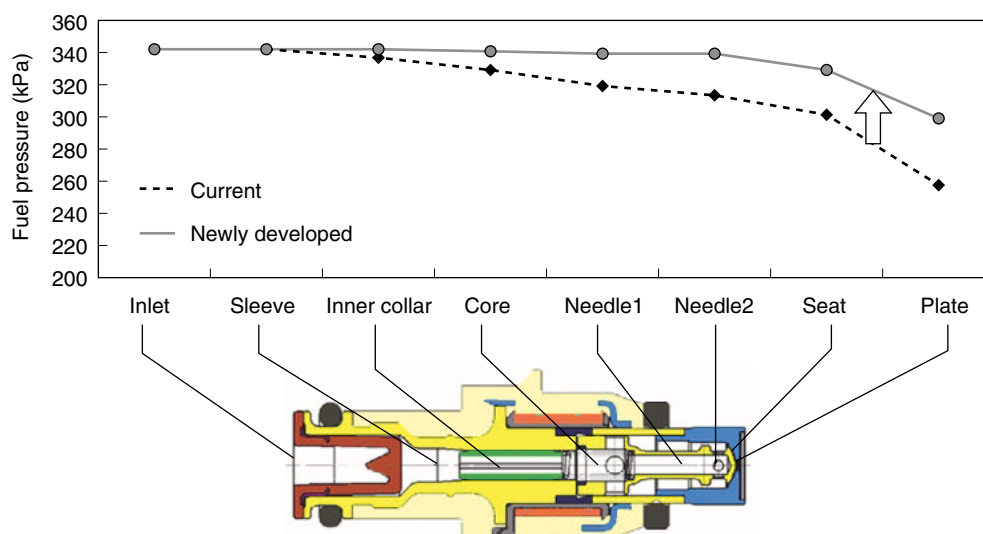


Fig. 8 Pressure loss at various locations

Table 3 Specifications of fuel pump

	2003 Model	2005 Model
Fuel pressure	250 kPa	294 kPa
Flow rate	17.7 L/h	16.5 L/h
Current	1.0 A	0.95 A
Pump type	Turbine	Turbine
Motor type	DC motor	DC motor
Magnet type	Ferrite	Neodymium

4.2.1. ロータ羽根角度の最適化

ポンプ効率向上のためには、流体の旋回流の流速を高めることが必要である。

そのためにはロータの羽根角度の設定が重要である。

さまざまな羽角度を作成しポンプ効率を測定したものを Fig. 10 に示す。

その結果、ロータの羽根角を、従来タイプの 60° から 45° へと傾斜角を小さくすることでポンプ効率を従来品に比べて 3% 向上させることができた。

4.2.2. ポンプ流路幅の最適化

設定流量に合わせて流路面積を最適化した。今回の小排量領域においては、Fig. 11 に示すように流路断面積を縮小することにより、隔壁抵抗が下がるためポンプ効率は向上するが、縮小しすぎると吐出流量自体が低下し、逆にポンプ効率は低下する。

新型ポンプでは従来の燃料ポンプに対し、ポンプの流路断面積を 14.0 mm² から 11.1 mm² にすることにより、低流量域のポンプ効率を従来に比べ 3.5% 向上させることができた。

4.2.3. ポンプモータの効率向上

モータ自体の効率向上のため、マグネット材料を従来のフェライトに対し Nd-Fe-B ボンド磁石を採用した。残留磁束密度は 78% 向上し、その結果、モータ効率を Fig. 12 に示したように従来品に対し 7.6% 改善することができた。

4.2.4. 2 次フィルタ廃止

従来、燃料ポンプモジュールには、燃料ポンプの吸入側に 1 次フィルタ高圧側に 2 次フィルタが設置されているの

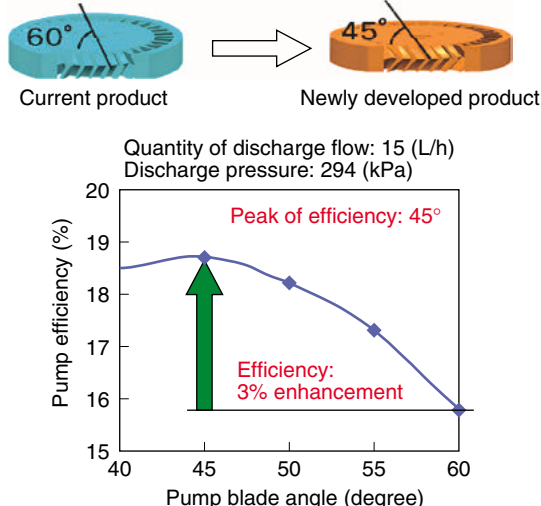


Fig. 10 Optimization of rotor blade angle

が一般的である。新型ポンプモジュールでは、1 次フィルタに高密度の不織布フィルタの採用とポンプモータにカーボンコンミテータの採用により高圧側の 2 次フィルタの廃止が可能となった。1 次フィルタの諸元を Table 4 に示す。

4.3. 小型統合 ECU

小型二輪車の中でも、車種、仕向け他により要求されるデバイスが異なる。その主な組み合わせを Table 5 に示す。EMS (Engine Management System) デバイス (補記類) の組み合わせが車種ごとに異なるため ECU のセンサ、スイッチ入力回路、デバイス駆動回路には機能汎用性、拡張性が求められる。これら小型軽量化と低コスト化を高機能、汎用性という相反するニーズに対応させて、ECU を開発した⁽⁶⁾。

4.3.1. 回路統合カスタム IC の開発

Fig. 13 に ECU の回路構成を示す。FI システムにおい

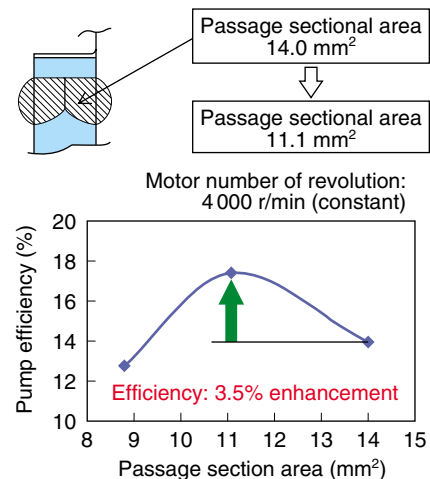


Fig. 11 Optimization of fuel passage design

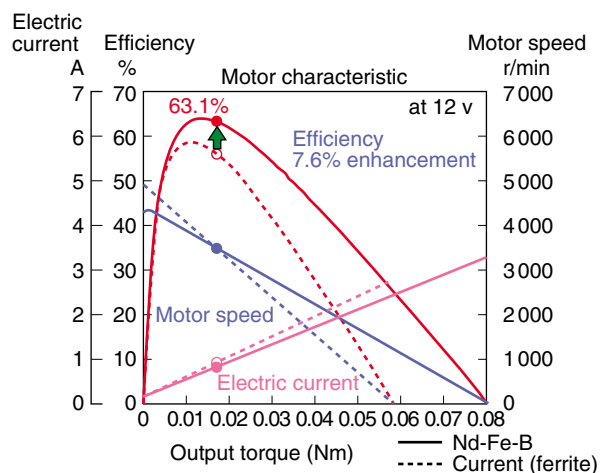


Fig. 12 Developed motor characteristic

Table 4 Specifications of fuel filter

	2003 Model	2005 Model
Filtration area	25 cm ²	65 cm ²
Filtration density	30 μm 90% min	10 μm 95% min
Max. diameter of pass	35 μm	10 μm
Life performance (Pressure loss by 3 grams in dust)	1.2 kPa	0.6 kPa

Table 5 Demands and applications for small motorcycles' ECU

Sensor/Device	Wave 125i (Thailand)	Scooter (Europe)
Throttle position sensor	Yes	Yes
Manifold pressure sensor	Yes	Yes
Air temperature sensor	Yes	Yes
Engine temperature sensor	Yes	Yes
Oxygen sensor	—	Yes
Crank pulse sensor	Yes	Yes
Speed sensor	—	Yes
Side-stand switch	—	Yes
Neutral switch	Yes	Yes
Injector	Yes	Yes
Ignition coil	Yes	Yes
Fuel pump relay	Yes	Yes
Power relay control	—	Yes
Oxygen sensor heater	—	Yes
Exhaust air induction	—	Yes
Positive crankcase ventilation	—	Yes
Fan control	—	Yes
Idle air control valve	—	Yes

て、排出ガス規制強化により必要となるセンサデバイス、付加機能の組み合わせを考慮してカスタム IC への機能取り込みを図った。カスタム IC へ集約した機能は、FI システムに必要な基本入出力と、ステッピングモータ駆動回路、ECU 内部 5V 電源、マイコン監視/リセット回路とした。

4.3.2. きょう体の標準化と実装設計

二輪車では、車体の構造上 ECU の搭載スペースが限られてしまう。また、電子部品ということから、搭載場所の環境条件も考慮する必要がある。

その条件に対応するため、まずはレイアウト性で有利になるよう、コネクタを始めとして小型部品を採用した。さらにコネクタは防水仕様とし、基板は樹脂で充てんした。樹脂充てんは ECU の耐振性の確保にも繋がった。

(1) 電子部品

電子部品は全て高速自動実装が可能な表面実装部品とすることで手作業をなくし、工程タクトを短縮した。また、部品接続には鉛フリーハンダ材を使用するため、これに対応した電極表面処理、耐熱性を持つ部品を採用した(Fig. 14)。

(2) コネクタ

従来の端子サイズ 040 から 025 にサイズダウンし、許容電流を確保した上で、コネクタの小型化を図った。また、ハウジングの基板固定方法を従来のネジ止め方式からネジ不要のスナップフィットに変更しネジ締め工程を排除した。

(3) 基板

基板はソレノイド、モータ等の負荷駆動電流が 1A 以上かかる電子部品の放熱性を確保する面積が必要なため、一般的な FR-4 グレードの貫通ピヤ 4 層積層板とした。

4.4. 細径樹脂燃料ホース

高圧燃料ホースについては、コスト低減のためにゴム性のホースを樹脂性のホースに置き換えた。

しかし、従来の樹脂ホースは剛性が高く自由に曲げることができないため、あらかじめ形状に合わせて成型曲げ加工をする必要があり二輪車のフレームの複雑な形状に合わせることは困難であった。また、既存のホースは、四輪車用のもので大流量に対応し小型二輪車の小流量に適したものではなかった。

そこで、小型二輪車の複雑な形状に成型曲げ加工なしで配管することが可能で、小流量に適した細径の樹脂ホースを開発した。詳細仕様を Fig. 15 に示す。

4.4.1. 構造

細径樹脂ホースは従来の樹脂ホースと同様に多層構造とし、内側から ETFE, PA12, EPDM の 3 層とした。その構造を Fig. 16 に示す。最内層の ETFE 材は、劣化ガソリンに対応し、最外層の EPDM は耐候性に対応する保護材である。

4.4.2. 耐キンク(kink)性

細径樹脂ホースの柔軟性について、CAE を用いた解析をおこなった。Fig. 17 に示すように従来の樹脂ホースは曲げ R25 でキンクが発生するのにに対し、今回の細径ホースは R8 でもキンクの発生はなく、従来のゴムホースと同等のホースの柔軟性が確認できた。

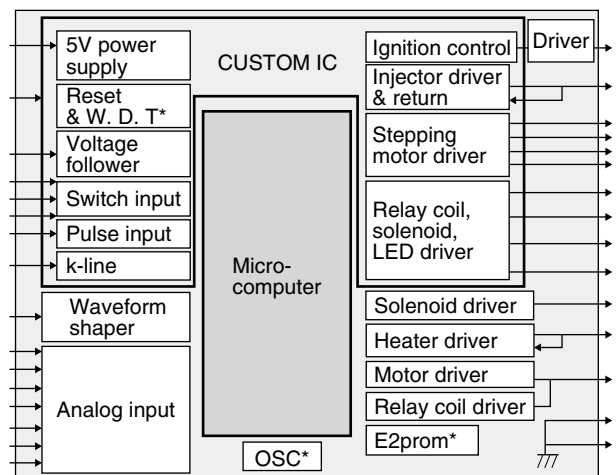


Fig. 13 ECU circuit

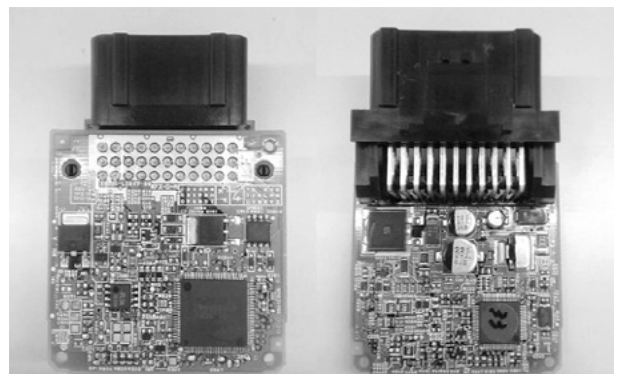


Fig. 14 ECU board for small motorcycle

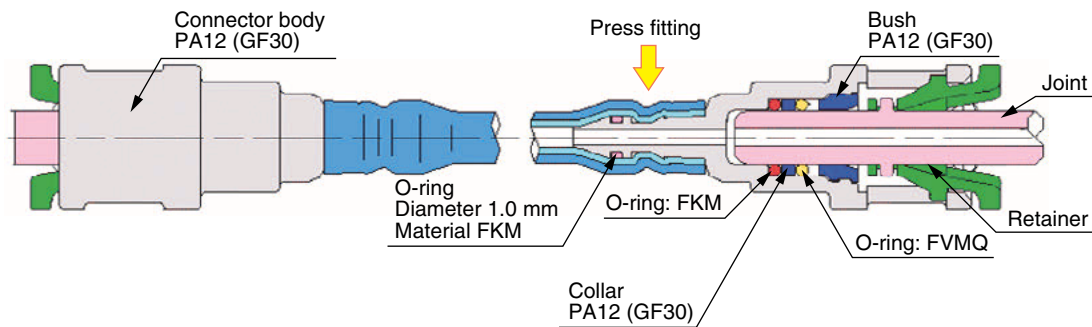


Fig. 15 Thin resin tube

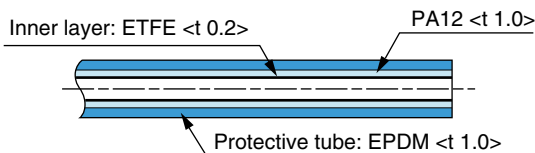


Fig. 16 Thin resin tube

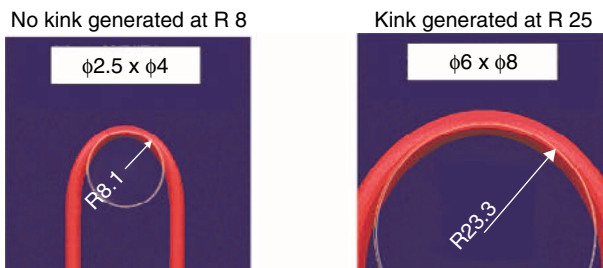


Fig. 17 Comparison of anti-kink

5. まとめ

小型二輪車用 FI システムの機能部品として小型、高効率な燃料インジェクタと燃料ポンプ、ECU 及び高圧燃料ホースを開発した。これらの部品によりシンプルで廉価な FI システムを構築し 2005 年 Wave125i に採用した。

- (1) 燃料インジェクタは従来の一般的な四輪車用燃料インジェクタに対し性能を維持しながら世界最高レベルの小型化を達成した。
- (2) 燃料ポンプは従来の弊社小型二輪車用ポンプに対し総効率を 25%向上させることで、消費電流 1A 以下を達成した。
- (3) ECU に、カスタム IC を採用しきょう体を標準化することにより、小型二輪車すべてに適用できる ECU とした。
- (4) 柔軟性に富む細径樹脂ホースを新規に開発したことで小型二輪車の車体に成形なして配管を可能とした。

参考文献

- (1) 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, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, 20005545, No.103-00 p.13-16(2000)

- (2) 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 50 cm³ 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, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, 20045019, No.9-04, p.1-4(2004)
- (3) 加藤幸範, 小柳和明, 菊田光, 大久保友弘: 超小型インジェクタ, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, 20035138, No.49-03, p.9-12(2003)
- (4) Ujii, T., Saito, H., Ueda, M., Akamatsu, S., Hayashi, A., Nakano, Y.: Development of Fuel Injector and Fuel Pump for a Fuel Injection System to Use in Small Motorcycles, SAE Paper 2005-01-0047(2005)
- (5) 久保博雅, 山田博: エンジン要素技術講座 II ガソリン空燃比制御部品: (1) 燃料系, ENGINE TECHNOLOGY, Vol. 4, No.3, p.104-109(2002)
- (6) 荒木和己, 秋山裕茂, 大内勝博, 赤松俊二, 仲野是克: 小型二輪車用電子制御燃料噴射ユニットの開発, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, 20055179, No.3-05, p.1-4(2005)

■著者■



赤松 俊二



上田 稔



林 徹



大内 勝博