

4 ストロークエンジントライアル車“ RTL250F ”の紹介

Presentation of “RTL250F” Four-stroke Engine Trials Motorcycle

滝 川 俊 直*

Toshinao TAKIGAWA

柿 沼 弘 之*

Hiroyuki KAKINUMA

石 川 英 一*

Eiichi ISHIKAWA

小 林 冬 樹*

Fuyuki KOBAYASHI

要 旨

RTL250F は排気量 249 cm³ の軽量コンパクトな水冷 4 ストロークエンジンを搭載している。オフロード車として世界初のバッテリーレス電子燃料噴射システム(以下、バッテリーレス PGM-FI システムという)を採用し、2 ストロークエンジンを搭載した RTL250R と同等以上の競技性能を得ることができた。また、エンジン始動方式にキックスタータを採用した。バッテリーレス PGM-FI システムは、小型モータサイクル用に開発された廉価な ECU (Engine Control Unit) 統合型スロットルボデーを流用し、トライアル車に特有のドライバビリティや、使い勝手を考慮した制御システムを追加採用した。これにより、トライアル世界選手権(World Championship Trial)に通用するコストパフォーマンスに優れた 4 ストロークエンジン市販トライアル車が実現できた。

ABSTRACT

The RTL250F has a compact and lightweight 249 cm³, water-cooled, 4-stroke engine. As the world's first off-road motorcycle with a batteryless electronically controlled fuel injection system (hereinafter referred to as batteryless PGM-FI system), the RTL250F has obtained the same or better racing performance than the RTL250R with a 2-stroke engine. Furthermore, the RTL250F motorcycle employs a kick-starter for engine ignition. The batteryless PGM-FI system utilizes a lower cost ECU (Engine Control Unit) integrated throttle body developed for small motorcycles. A control system was developed to obtain the drivability and usability required by a trials motorcycle. As a result, a commercially available trials motorcycle with a 4-stroke engine has been realized. This trials motorcycle has shown competitive performance for the World Championship Trials.

1. はじめに

現在、トライアル競技では、Honda を含めて全てのメーカーが 2 ストロークエンジンを採用している。低回転からのスロットルレスポンスが優れ、軽量コンパクトなことが主な理由である。しかし、FIM (Federation Internationale de Motorcyclisme : 国際モーターサイクリズム連盟) レギュレーションの変更により 2006 年から全ての参加車両の 4 ストローク化が決定した。Honda はこれに先駆け、優れたコンペティション能力と環境性を高次元で融合させた 4 ストロークエンジンを開発した。そのエンジンを搭載したトライアル車“ RTL250F ”を 2005 年 1 月から市販した。

*朝霞研究所

2. 開発コンセプト

トライアル車に要求される性能は、(1) 軽量、低重心のスリムな車体、(2) 低速トルクがあり、高回転までまわり、高い瞬発力が発揮できるエンジン、(3) スロットル急開時にリニアに反応するスロットルレスポンスが挙げられる。エンジンの 4 ストローク化にともない環境適合性にも優れた高い戦闘力を有するトライアルマシンの開発コンセプトとして、下記 4 項目を重点開発目標として設定した。

- (1) 2 ストロークエンジンを搭載した RTL250R と同等以上の操縦安定性、動力性能を有すること。
- (2) 4 ストロークエンジンの小型・軽量化

- (3) 現行2ストロークエンジンモデルから乗り換えたときに、違和感を感じないエンジン特性
 (4) 環境適合性と優れたドライバビリティの確保

3. 機種概要

RTL250Fの外観をFig. 1に、現行2ストロークRTL250Rとの主要諸元比較をTable 1に示す。2ストロークRTL250Rと同じ戦闘力を確保するには、完成車質量を同じ72 kg(乾燥質量)とする必要があった。RTL250Fは4ストローク化によるエンジン質量増を車体で補うことができた。主な軽量化は、メインフレーム、前後ホイール、ブレーキなどである(Fig. 2)。また、低重心化、マスの集中化のために電装部品をエンジン背後に集約した。



Fig. 1 External view of RTL250F

Fig. 3 に示すように、バッテリーレス PGM-FI システムはスロットルレスポンス向上のために、フューエルインジェクタをシリンダヘッドに直接装着し、トライアル走行の激しい車体挙動でも安定して燃料を供給するために燃料ポンプを燃料タンク内に配置した(Fig. 4)。スロットルボデーは小型モータサイクル用ECU一体型スロットルボデーをベースに、アイドル回転数をユーザが調整可能なエアスクリュタイプに変更した(Fig. 5)。また、軽量化のためにバッテリーレスを採用し、キック始動時は燃料ポンプ、ECUのみに電源を供給するシステムとした。さらに、デコンプカムを採用し、キックレシオを見直した。これにより、スムーズなキック始動性を実現できた。

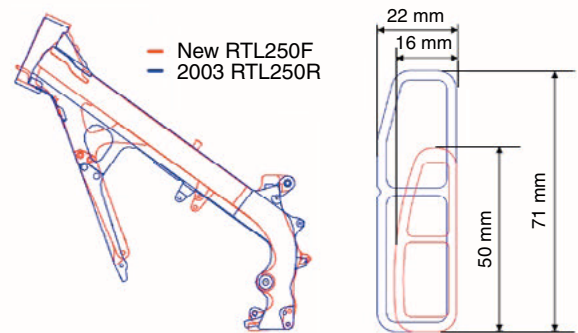


Fig. 2 Comparison of frame body

Table 1 Major specifications of RTL250R and RTL250F

RTL250R		
Items		Specifications
Overall length	(mm)	2 020
Overall width	(mm)	830
Overall height	(mm)	1 130
Wheelbase	(mm)	1 330
Ground clearance	(mm)	340
Seat height	(mm)	650
Caster angle	(deg)	23° 20'
Trail length	(mm)	65
Vehicle dry mass	(kg)	72
Engine type		Liquid cooled 2-stroke single cylinder
Valve train		Crank case reed valve
Engine displacement	(cm³)	249
Bore × Stroke	(mm)	72.2 × 61
Max. power	(kW/r/min)	12.9/5 000
Max. torque	(Nm/r/min)	26.5/4 000
Fuel supply system		Delorto PHBL26BS
Ignition system		Digital CDI
Transmission		5 speed constant mesh
Clutch type		Wet multi-plate type (hydraulic)
Fuel capacity	(Liter)	2
Frame type		Aluminum twin-tube
Brake system	Front	Single 180 mm disc with twin-piston caliper
	Rear	Single 100 mm disc
Tire size	Front	2.75 × 21
	Rear	4.00 × 18
Suspension	Front	Telescopic
	Rear	Pro-link

RTL250F		
Items		Specifications
Overall length	(mm)	2 010
Overall width	(mm)	830
Overall height	(mm)	1 130
Wheelbase	(mm)	1 320
Ground clearance	(mm)	335
Seat height	(mm)	650
Caster angle	(deg)	23°
Trail length	(mm)	63
Vehicle dry mass	(kg)	72
Engine type		Liquid cooled 4-stroke OHC single cylinder
Valve train		SOHC 4 valves
Engine displacement	(cm³)	249.1
Bore × Stroke	(mm)	76.5 × 54.2
Max. power	(kW/r/min)	14/7 000
Max. torque	(Nm/r/min)	21.8/5 500
Fuel supply system		PGM-FI
Ignition system		Full transistor
Transmission		5 speed constant mesh
Clutch type		Wet multi-plate type (hydraulic)
Fuel capacity	(Liter)	1.9
Frame type		Aluminum twin-tube
Brake system	Front	Single 180 mm disc with twin-piston caliper
	Rear	Single 100 mm disc
Tire size	Front	2.75 × 21
	Rear	4.00 × 18
Suspension	Front	Telescopic
	Rear	Pro-link

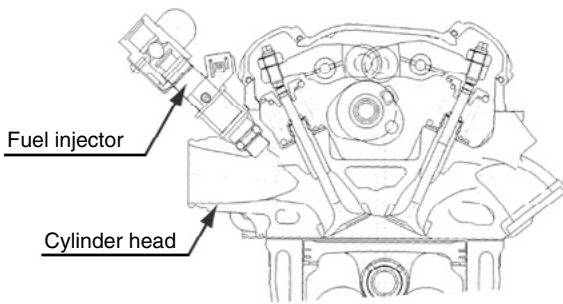


Fig. 3 Layout of fuel injector

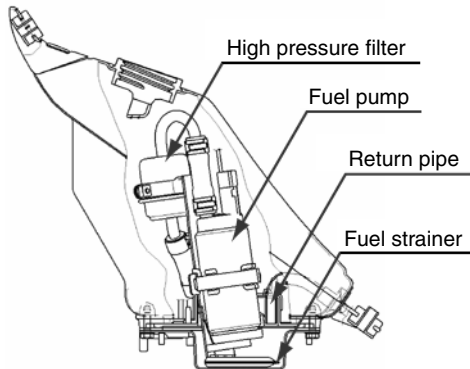


Fig. 4 Fuel tank assembly

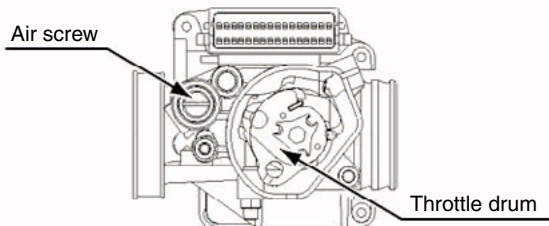
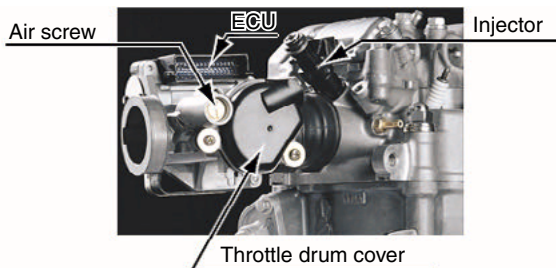


Fig. 5 Throttle body assembly

4. エンジン

エンジンは市販モトクロッサ CRF250R をレイアウトベースとして、低重心、コンパクト化などトライアルの要求性能を満足するために、クランクケースをはじめ大幅な変更をおこなった。エンジン全体の比較図を Fig. 6 に示す。

RTL250R(2ストローク)とRTL250F(4ストローク)の出力特性を Fig. 7 に示す。最大出力は14 kW に抑え、フラットなトルク特性にするとともに、低速域のトルク向上を優先した。また、低回転パージアル域の出力向上を図ったこと

により、スロットル全開域のトルクが2ストロークに対し劣るにもかかわらず、同等以上のトルク感を達成している。

4.1. 燃料供給系

燃料供給にキャブレタを使用した場合、スロットル急開時のレスポンスを良くするため、エアクリーナの吸気ダクト面積を絞る必要があるが、高回転域の出力を低下させる要因となる。今回、バッテリーレス PGM-FI を採用することで吸入ダクトの面積を絞ることなく、スロットルレスポンスと高回転出力の両立を可能とした。

4.2. 排気系

従来の4ストロークトライアル車に採用されていた三室構造のサイレンサをストレートタイプサイレンサとした。これにより、サイレンサ内部の排気反射波が減少し、全域にわたってフラットな出力特性を得ることができた。また、サイレンサの材質をアルミニウムにして軽量化を図った。

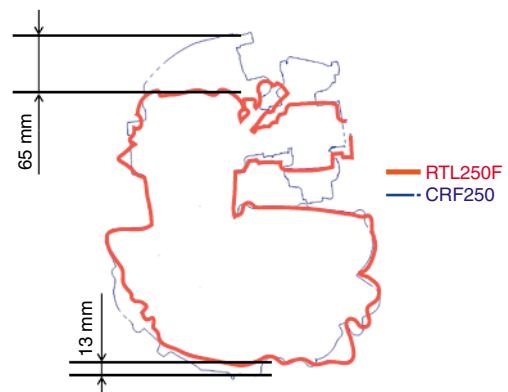


Fig. 6 Comparison of engine size

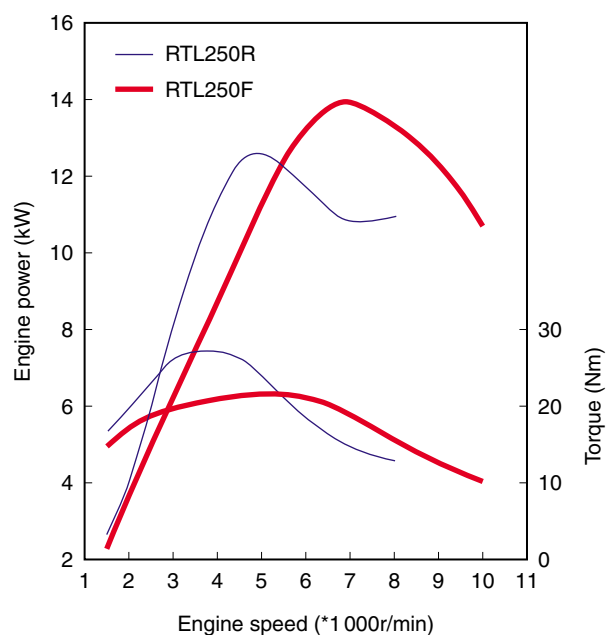


Fig. 7 Engine performance curve

4.3. フライホイール

フライホイールについては、慣性マスを利用した走行(無負荷スロットル全開にて回転数を保持した後、急激なクラッチ接続によりマシン静止状態から急加速をおこなう走行方法)及び、対エンスト性の向上、低速域のトルク感向上を図るために、大径フライホイールを採用した(Fig. 8)。

4.4. クラッチ

指一本で操作可能なレバー荷重や、ライダーの操作に対してリニアに反応し、かつ、高回転でのハーフクラッチに対しても安定した接続性能を維持するために、クラッチ径は140 mmの大容量、油圧リリース式、右側直押し式を採用した。また、スレーブピストンをクラッチカバー内蔵タイプとして、コンパクトにした(Fig. 9)。

4.5. 潤滑システム

エンジン潤滑については CRF250R の密閉式クランクケースの改良型として主にオイル吸入口まわりの変更をおこなった(Fig. 10)。ACジェネレータ室をオイルタンクとして利用するのは共通であるが、RTL250F は大径フライホイールのオイル連れまわりを利用し、セパレータやリブの追加、給油口の変更にて運転中にストレーナ付近にオイルを集中させる構造とした。その結果、オイル量を830 cm³か



Fig. 8 AC generator flywheel

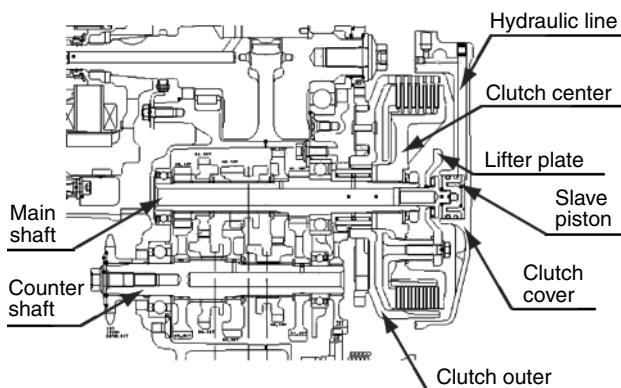


Fig. 9 Clutch system

ら 600 cm³ に減少することができ、最低地上高を 13 mm 高くすることができた。オイル量減少にともない、オイル消費の低減を目的にピストンリングを二本から三本リングに変更をしている。また、三本リング化は低速域のトルク感向上にも寄与している。

トランスミッション潤滑については、オイル回収リブ形状を変更、及びカバー形状を変更することで、クラッチアウトによるオイル回収能力を向上させた。これにより、トランスミッションの耐焼き付き性を確保したまま、トランスミッションオイル量を 770 cm³(CRF250R 2004 年モデル)から 570 cm³ に減少させることができた(Fig. 11)。

4.6. クランクシャフト三点支持構造

三点支持クランクシャフトはニードルローラベアリングをクランクシャフト左端に設けることで振れまわり抑制効果で振動低減を図り、耐久性を向上させた(Fig. 12)。

4.7. 動弁系

エンジン全高を抑えるために、CRF250Rのユニカム方式(一本のカムシャフトで吸気バルブをバルブリフタで、排気バルブをロッカアームで駆動する方式)から吸排気バルブともにロッカアーム駆動の SOHC 方式に変更した(Fig. 13)。これによりシリンダヘッド高で65 mmの低減が可能となった。また、カムシャフト位置を大きくオフセットすることで、スパークプラグの傾きを 28° に抑え、中央配置を可能とした(Fig. 14)。

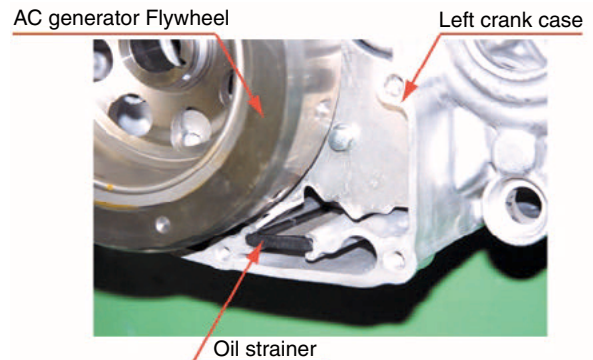


Fig. 10 Engine oil lubrication system

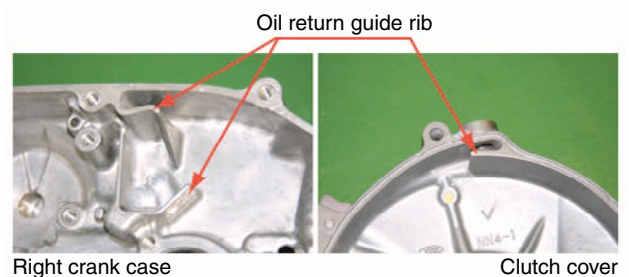


Fig. 11 Transmission oil return system

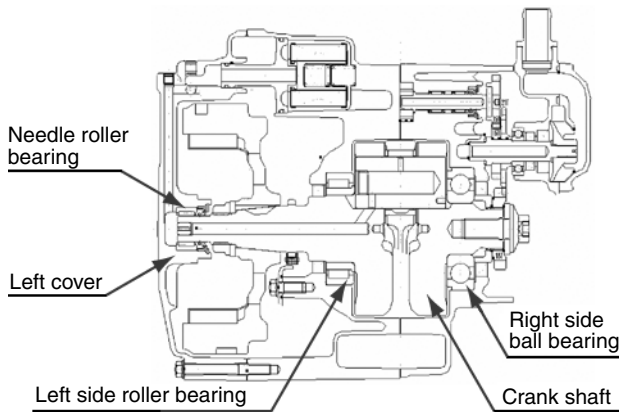


Fig. 12 Crankshaft



Fig. 13 Cylinder head with valve system

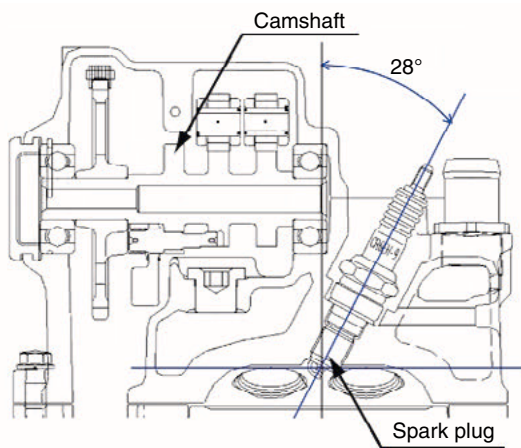


Fig. 14 Arrangement of camshaft and spark plug

低速トルク重視のエンジンは本来2バルブ方式でも十分であるが、高回転までスムーズにエンジンをまわす必要から4バルブ方式を採用した。カムシャフトはSCM 浸炭焼入れを施し、疲労強度を損なうことなく軽量化を図った。

5. バッテリーレス PGM-FI システム

バッテリーレス PGM-FI システム概要図を Fig. 15 に示す。燃料ポンプから圧送されたガソリンはタンク内の高圧フィ

ルタを通り、高圧燃料パイプを経てインジェクタに送られる。高圧ガソリンはプレッシャレギュレータにて294 kPaに調圧され、燃料リターンパイプによりタンク内に戻される。

バッテリーレス PGM-FI は、エンジン回転数、スロットル開度、吸入管負圧、吸入空気温度、吸入管負圧から算出される大気圧、水温及びクランクアングルの情報をもとに噴射量、噴射タイミングを ECU が演算し、負荷に応じた目標空燃比を決定する。

点火時期制御はスロットル開度とエンジン回転数により決定される3次元マップにより、最適な点火時期に制御される。

トライアルに要求されるドライバビリティは、低回転域からのスロットル急開時のレスポンスと、低速域のトルク感があげられる。上級ライダーは、Fig. 16に示すような大きな岩場(ロックセクション)を走行するとき、スロットルのオンオフと、微妙なクラッチ操作でマシンをコントロールする。このとき、ライダーの意志どおりに反応するスロットルレスポンスが大変重要である。Fig. 17にトライアル競技時の単位時間あたりのスロットルスピード($\Delta\theta$ th: delta throttle)データと、参考に2004年Moto GP 日本GP(茂木)におけるスタートから1ラップの $\Delta\theta$ thデータを示す。トライアルは低回転領域からの早いスロットルスピードを多用し、ロードレースと大きく異なるのがわかる。RTL250Fはこの要求を満たすため、5000 r/min以下の回転数領域に量産車としては初となる二回演算噴き終わり制御を採用した。以下にこの制御の概要を述べる。

ドライバビリティに対する要求の中で、最も大きな課題となったのがアイドル近辺の極低回転域からのスロットル急開操作に対する追従性であることは前に述べた。従来は、吸気、圧縮、膨張、排気のクランク回転角720°の行程に対して噴射量の演算を一回おこなっていた。しかし、これでは噴射量演算の間隔が長くトライアルのような急激なスロットル操作に対しては演算の遅れによるレスポンス不足が問題となった。そこで、噴射量の演算を二回に増やし、吸気タイミングの手前で再演算(二回目)をおこない、その演算結果をもとに噴き終わりタイミングの修正をおこなう方式を考案した。これにより、急激なスロットル操作に対しても噴射量を最適に調整することができ、目標空燃比を供給することが可能となった。また、低速回転時(5000 r/min)のみ二回演算をおこない、演算間隔の短くなる高回転域では噴射量演算を一回に切り替えることで廉価で処理速度の低いECUでも制御可能なシステムとした(Fig. 18)。

Fig. 19 にスロットル急開時の筒内圧力を示す。2ストローク(RTL250R)はスロットルの開け始めから指圧が大きく立ち上がり、良好なスロットルレスポンスが体感される。RTL250Fは開発コンセプトに記したように、2ストロークエンジン車からスムーズな乗り換えができるように、スロットル急開時のレスポンスを2ストローク並みにするこ

とに主眼を置いた。その結果、前述の新しい制御方式の採用により、2ストロークと同じ指圧の立ち上がりが見られ、良好なスロットルレスポンスを実現できた。

バッテリーレス PGM-FI 化の大きな理由の一つに空燃比の安定化が上げられる。先行テストはキャブレタ仕様にてテストを実施したが、トライアル走行に特有の大きな車体挙動変化で空燃比の変化が著しく、アイドル時のスロットル急開によるエンジンストール、ブレーキ時のエンジン

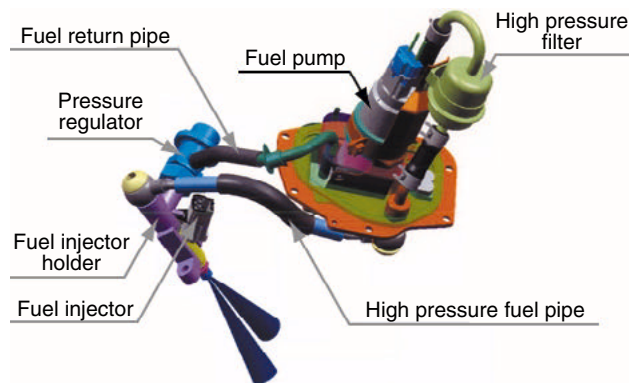


Fig. 15 Fuel line system



Fig. 16 Rock section

ストール(下り坂など)などが発生した。また、スロットル急開時は吸入管内負圧の追従遅れによる息つきが発生した。PGM-FI化と燃料ポンプの配置を工夫することで、上記事象は完全に解消された。

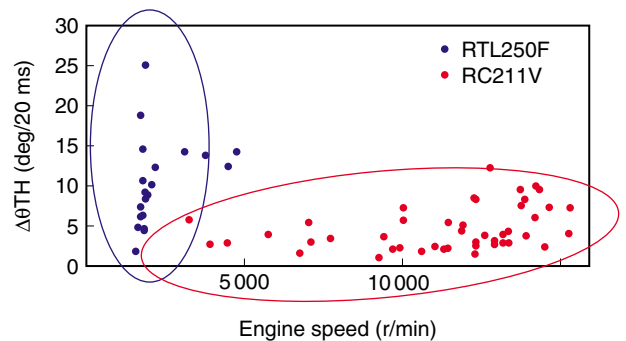


Fig. 17 Comparison data of throttle speed

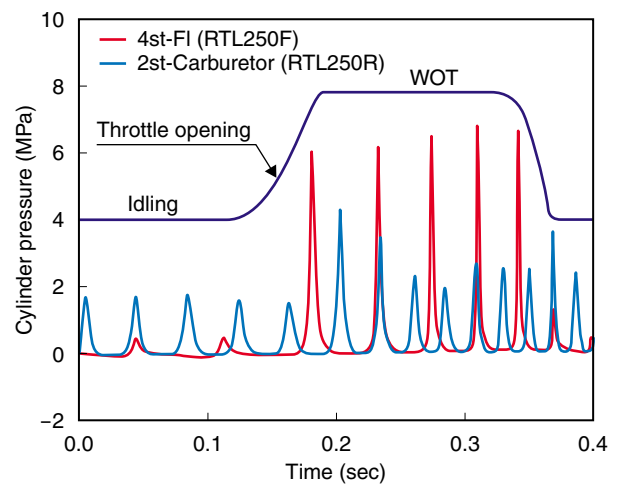


Fig. 19 Comparison of cylinder pressure at rapid throttle opening

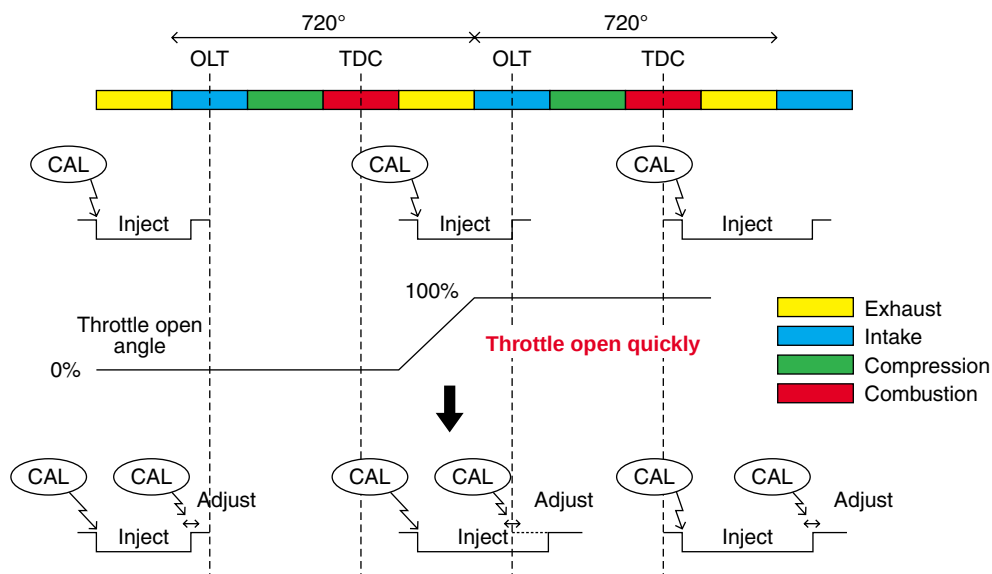


Fig. 18 Injection timing chart

6. 電装系

電装系は軽量化の目的でバッテリーレス方式を採用している。バッテリーレスでキック始動を可能とするため、ACジェネレータは三相スター結線式とし、回転数 1000 r/min にて出力電流 7.5 A を発生しキック始動時の低回転で必要十分な電力を得られる特性となっている。Fig. 20 に AC ジェネレータの出力特性を示す。ACジェネレータで発生した電力を三相全波整流式レギュレート・レクチファイヤにより、直流 14.4 V に整流・電圧調整し、10 000 μ F のコンデンサにより平滑し、各電気負荷へ電力を供給している。レギュレータとコンデンサは電圧降下低減と配線簡略化のためバンクアングルセンサ、ファンモータ駆動リレーとともに電装品ステー上に配置され、クランクケース上に固定されておりマスの集中化にも貢献している。Fig. 21 に電装品ステーおよび電装品ステー上の電装品の外観を示す。キック

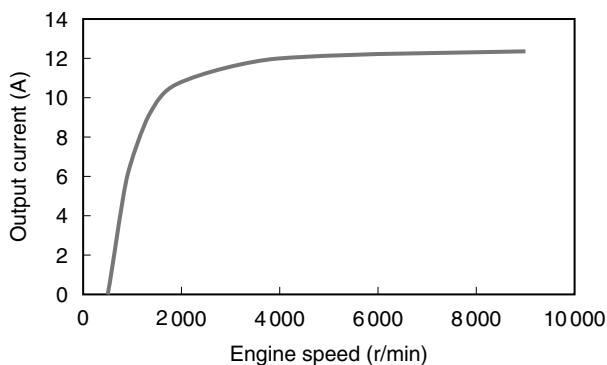


Fig. 20 Output characteristic of AC generator

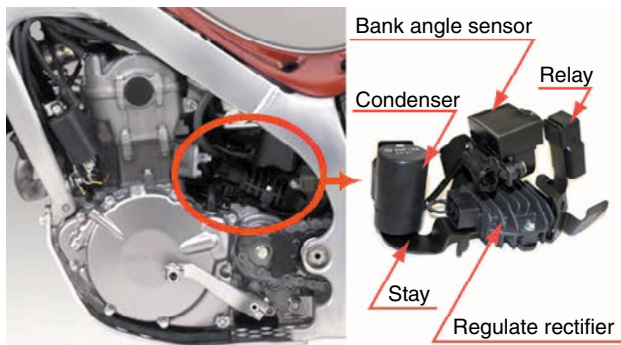


Fig. 21 External view of electrical equipments

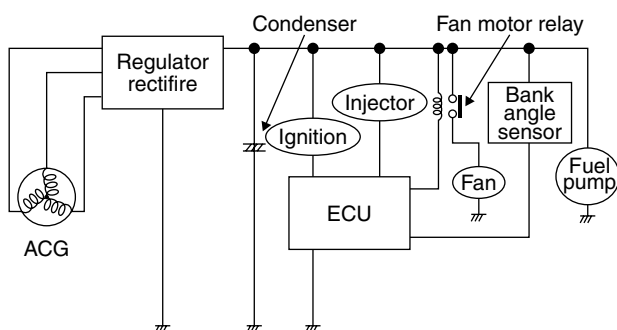


Fig. 22 Electrical system

始動時には燃料供給用フューエルポンプとインジェクタ、点火用イグニッションコイル、制御用 ECU にのみに電力を供給し、冷却用ファンモータには電力を供給しないよう ECU にて制御をしている。これによりクランクシャフト一回転目から十分な燃料供給が可能となっている。フューエルポンプは駆動リレーを廃止して電源に直結することにより電圧降下の低減と軽量化を図っている。

車両転倒時にはバンクアングルセンサからの転倒信号が ECU に入力されてから約 7 秒後にイグニッションコイルとインジェクタを停止することによりエンジンが停止する。バッテリーレスのためエンジンが停止すると AC ジェネレータの発電がなくなりフューエルポンプは自動的に停止する。電装系のシステム図を Fig. 22 に示す。

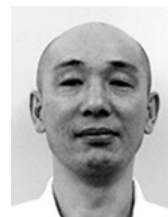
7. まとめ

RTL250F は初心者からトライアル世界選手権(World Championship Trial : WCT)ユーザまでの幅広いユーザをターゲットとして開発された。2004 年に日本で開催された WCT 茂木ラウンドに市販プロト車を実戦参加させ、二日間とも 9 位に入る好成績を残すことができた。上位には各メーカ 2 ストロークワークス車が入賞するなかで 250 cm³ 4 ストローク市販プロト車としては十分な成績を収めることができ、高いポテンシャルを持つことが証明された。

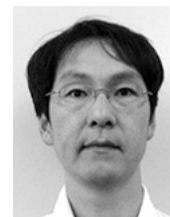
参考文献

- (1) 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

■著 者■



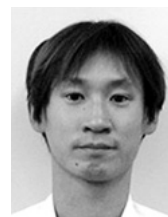
滝川 俊直



石川 英一



柿沼 弘之



小林 冬樹