

4 ストロークエンジントライアル車 “RTL250F” 用 電装システムの開発

Development of Electric System for Four-stroke Engine Trials Motorcycle “RTL250F”

柿 沼 弘 之*

Hiroyuki KAKINUMA

小 林 冬 樹*

Fuyuki KOBAYASHI

要 旨

4 ストロークエンジンを搭載したトライアル競技専用二輪市販車RTL250Fでは、軽量化のためにエンジン始動方式にキック始動可能なバッテリーレスシステムを採用した。燃料噴射制御システムの中心となる ECU には小型モータサイクル用に開発されたスロットルボデー一体型を流用した。燃料噴射制御システムを起動するための電力はキックスタータ操作時に発生する AC ジェネレータの起電力を用いている。トライアル二輪車に要求されるドライバビリティや微妙なスロットル操作と急激なスロットル操作の使い勝手を考慮した新たな制御システムを採用した。この制御システムは運転状態に応じた燃料噴射量と噴射タイミングを決定するために1回の燃焼行程に対して2回演算し燃料の吹き終わり位置を調整するロジックを有している。以上により、トライアル競技専用車としてのドライバビリティ向上を達成している。さらにユーザが ECU 内のデータを自由にセッティングできる機能を備えている。

ABSTRACT

In order to reduce vehicle mass, a kick-start system without battery was selected for a trials competition motorcycle with four-stroke engine. The integrated throttle body developed for small motorcycles contains the ECU (Engine Control Unit), which is the main component of the fuel injection system. The power used to start the fuel injection control system is generated by the AC generator when the kick-starter is operated. A new control system was adopted for trials motorcycle, taking into consideration drivability requirements for slight and rapid throttle operation. This control system performs calculations twice for each combustion stroke and has a logic to control the fuel injection quantity and timing. Therefore, the above control system adds many enhancements to the drivability of trials motorcycle. Furthermore, users can set data inside the ECU as required.

1. まえがき

近年、地球環境問題への関心が高まるにつれ二輪車のエミッション規制が年々厳しくなっている。市販車両では低エミッション化に有利となるよう、エンジン形式は2ストロークから4ストロークへ、燃料供給形式はキャブレタから電子制御燃料噴射制御システムへと推移している。レースの世界でもエミッションに対する規制が厳しく、各カテゴリにおいてレギュレーションにより2ストロークエンジンは禁止される傾向がある。世界トライアル選手権では2006年よりFIMレギュレーション変更にて2ストロークエンジンは全廃となる予定であった(レギュレーション改定により2ストロークエンジンは2008年まで容認)。

*二輪開発センター

RTL250F 及び RTL250F-W はこのレギュレーション変更在先駆けて2005年モデルより4ストロークエンジンを搭載した。また2ストロークエンジン同等のドライバビリティを実現するために電子制御燃料噴射システム(PGM-FIシステム)⁽¹⁾を採用した。本稿では、バッテリーレスシステムで機能する燃料噴射システムの制御について述べる。

2. 機種概要

2.1. RTL250F 概要

RTL250F⁽²⁾の外観を Fig. 1 に示す。RTL250F では2ストロークRTL250Rと同じ戦闘力を確保するため各部の軽量化、低重心化、マスの集中を図った。



Fig. 1 External view of RTL250F

エンジンは市販モトクロッサ CRF250R をベースとして各部の変更をおこない、低重心、コンパクト化を実現した。最大出力は CRF250R の 31 kW に対し 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、低回転パーシャ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。

PGM-FI システムではスロットルレスポンス向上のために、インジェクタをシリンダヘッドに直接装着し (Fig. 2)、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. 3)。スロットルボデーは小型モータサイクル用 ECU 一体型をベースに、アイドル回転数をユーザが調整可能なエアースクリュータイプに変更した。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とにより、スムーズなキック始動性を実現できた。

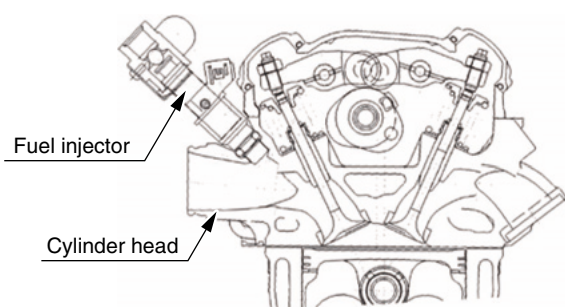


Fig. 2 Fuel injector directly installed in cylinder head

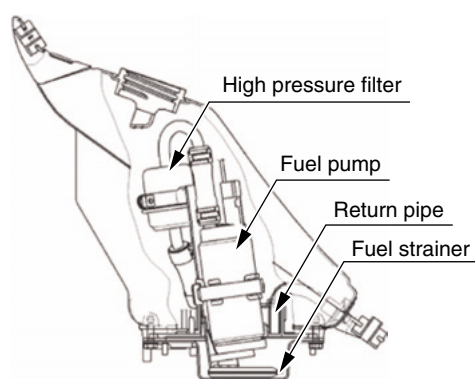


Fig. 3 Fuel tank assembly

RTL250F では国内向けモデルが競技専用であるのに対し、欧州向けモデルでは公道走行が可能である。欧州向けモデルは EU エミッション規制 Euro-2 適合車両であるが、4 ストロークエンジンと PGM-FI システムの採用により規制をクリアしている。

2.2. RTL250F-W 概要

RTL250F をベースとし、世界トライアル選手権での優勝を目標に、RTL250F-W を開発した。エンジン、車体の基本設計は RTL250F 同等ながら、各部材料置換による軽量化、エンジン仕様変更による低速トルクアップ及び滑りやすい路面でのグリップ性能向上をはかっている。ECU はスロットルボデー一体型であることは RTL250F と同じだが、4 ストロークロードレーサ RC211V 用 ECU をベースとしたデータロガー内蔵式を採用した。内蔵データロガーによりエンジンの運転状態をデータで見ることができるようになり、ECU を短時間でセッティングできるようになった。RTL250F-W は 2005 年世界トライアル選手権 (World Championship of Trial) で高い戦闘力を発揮し、2 位と 3 位の成績を収めた。

3. バッテリーレスシステム

RTL250F の電装システムは AC ジェネレータ、パルスジェネレータ、レギュレート・レクチファイア、コンデンサ、燃料ポンプ、ファンモータ、ファンモータ用リレー、バンクアングルセンサ、水温センサ、イグニッションコイル、インジェクタ、ECU、エンジンストップスイッチで構成されている。ECU 内部には吸入負圧 (PB) センサ、吸入空気温度 (Ta) センサ、スロットルポジションセンサ (TPS) を備えている。さらに欧州向けモデルでは公道走行用の保安部品としてヘッドライト、テール・ストップライト、ウィンカライト、スピードメータ、ホーン、灯火器操作スイッチを備えている。回路図を Fig. 4 に示す。

通常、燃料噴射制御システムを備えたエンジンではバッテリーの電力により ECU、燃料ポンプ、インジェクタ、イグニッションコイルを動作することにより始動をおこなう。しかしバッテリーレスシステムの場合キックスタータによるエンジン回転により AC ジェネレータで発電した電力でこれらを動作させなければならない。RTL250F では AC ジェネレータはトライアル車に要求される大きな慣性モーメントを確保する目的で排気量 250 cm³ の二輪車としては大型の φ147 サイズを採用しており、低回転から十分な電力を得られるよう 3 相式とし、回転数 1000 r/min にて 7.5 A の出力電流を発生する (Fig. 5)。AC ジェネレータで発生した電力を 3 相全波整流式レギュレート・レクチファイアにより、直流 14.4 V に整流・調圧し、コンデンサにより平滑した後、各電気負荷へ電力を供給している。レギュレート・レクチファイアとコンデンサは電力損失軽減を目的として AC ジェネレータに近

いクランクケース上部のステーに配置されている。このステーにはファンモータ用リレー、バンクアングルセンサも配置され、マスの集中に役立っている (Fig. 6)。

またバッテリーレスシステムでキック始動可能とするため、キック始動時には ECU、燃料ポンプ、インジェクタ、イグニッションコイルのみに電力を供給し、ファンモータや欧州向けモデルの保安部品の電気負荷には電力を供給しないよう ECU により制御している (Fig. 7)。エンジン始動後アイドル回転数にて一定時間経過するとファンモータや保安

部品などの電気負荷にも電力を供給する (Fig. 8)。

このように低回転で大きな出力を発生する AC ジェネレータの採用と ECU による電気負荷制御及びデコンプレッサの採用によって Fig. 9 に示すようにクランク 3 回転でエンジン始動が可能となった。

4. PGM-FI システム

PGM-FI システムでは ECU に入力されたクランクアン

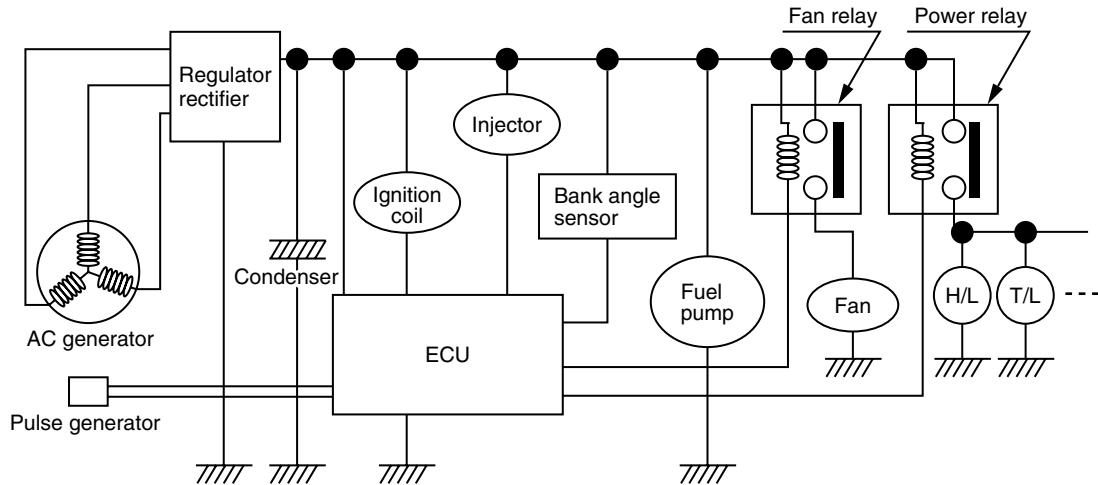


Fig. 4 Circuit of electric system

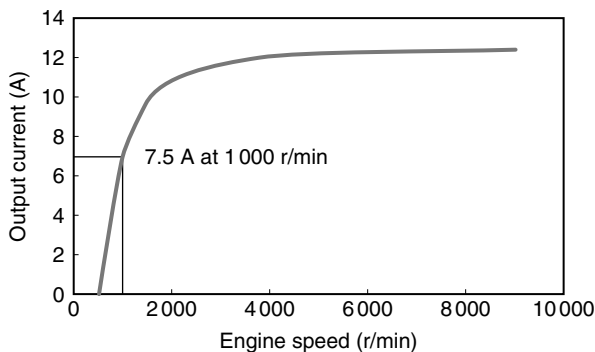


Fig. 5 AC generator characteristics

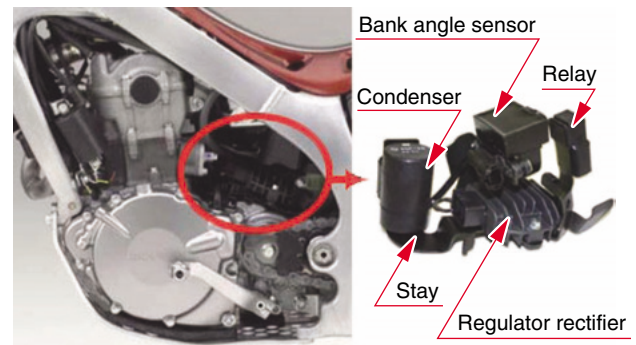


Fig. 6 External view of electrical equipments

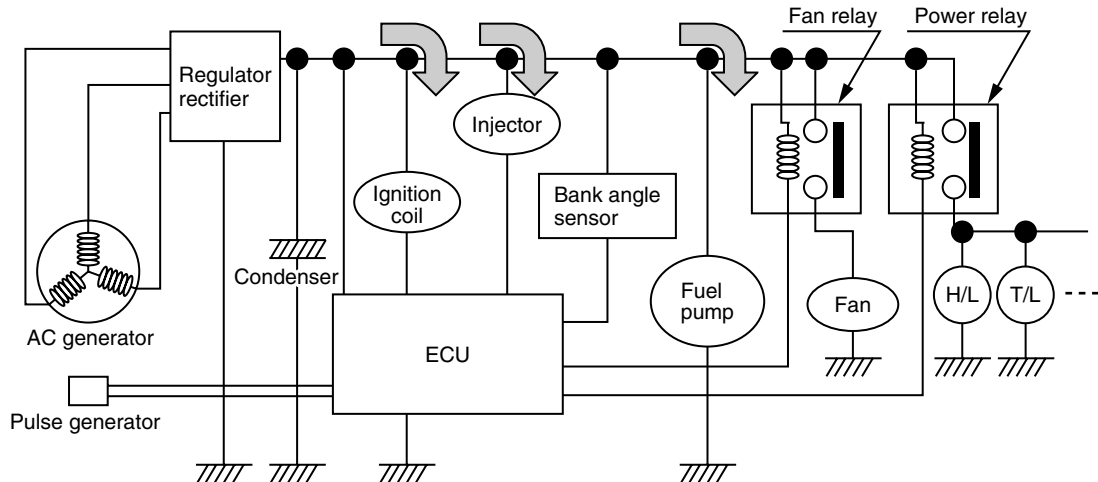


Fig. 7 Electric current mode at kick starting

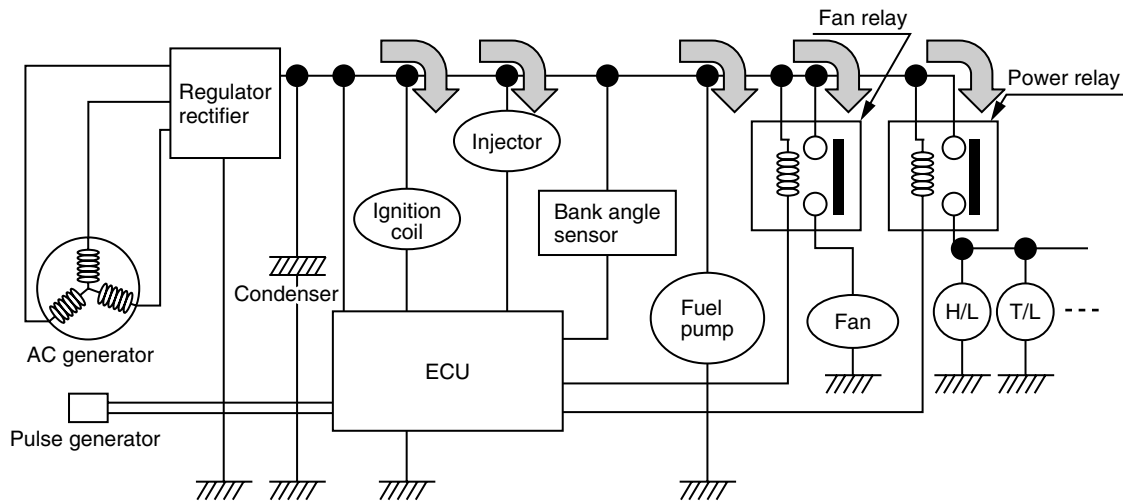


Fig. 8 Electric current mode after engine started

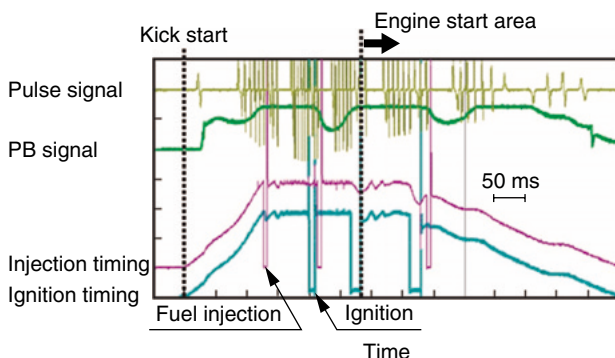


Fig. 9 Measurement data of engine startability at kick start

グル、クランクアングルから計算されたエンジン回転数、スロットル開度、吸入管負圧、吸入空気温度、冷却水温度の情報をもとに最適な燃料噴射量、燃料噴射タイミング、点火時期を決定しインジェクタとイグニッションコイルを動作する。燃料噴射を制御することによりキャブレタに比べ、あらゆる条件で空燃比を理想的に制御することが可能である。RTL250Fではキャブレタ仕様でのテストも実施したが、トライアル走行の激しい車体挙動変化で空燃比の変化が著しく、低回転時のスロットル急開をしたときのエンスト、下り坂でのブレーキエンストなどが発生した。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システムの採用と燃料ポンプの配置を工夫することで、これらの事象は解消された。

トライアル競技ではエンジン低回転時のスロットル急開時のレスポンスが特に重要視される。単位時間あたりのスロットル開度(ΔTH)をトライアル競技時のデータと4ストロークロードレーサ RC211Vのサーキット走行1ラップのデータを比較すると、トライアル競技では低回転時のスロットル急開を多用していることがわかる(Fig. 10)。このためRTL250Fでは燃料噴射の演算をクランク回転角720度ごとに2回とすることにより低回転時のスロットル急開時のレスポンスを向上させた。

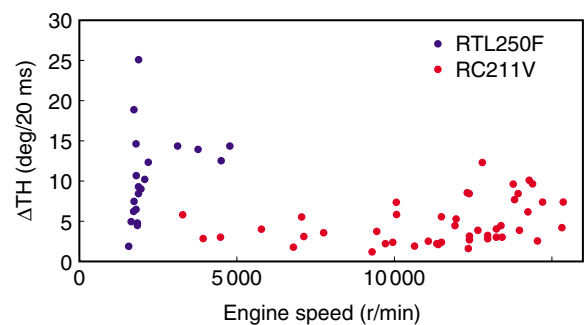


Fig. 10 Comparison data of throttle opening speed

従来の燃料噴射制御では、吸気、圧縮、燃焼、排気のクランク回転角度720度の1行程に対して最適な燃焼状態となるタイミングで1回演算(Calibration)をおこない、演算直後に燃料噴射をおこなっていた。この方式では各回転数、各スロットル開度での演算タイミングと燃料噴射量を設定することにより定常運転時の空燃比を最適に制御することが可能である。しかし過渡運転時、特に1行程の時間が長い低回転では、演算終了後にスロットル操作をしても燃料噴射量には反映されず、スロットル急開時にはレスポンス不良を、スロットル急閉時にはプラグのくすぶりを招いていた。Fig. 11に従来の演算方式でのスロットル急開時のタイミングチャートを、Fig. 12にスロットル急閉時のタイミングチャートを示す。新しい制御では、燃料噴射量の演算を1行程の中で2回に増やした。圧縮行程における1回目の演算終了後に吸気行程で燃料噴射が終了するようなタイミングで燃料噴射を開始する。さらに、燃料噴射中に吸気行程で2回目の演算をおこなうことにより燃料噴射量を補正する方式を考案した(以下、2CAL噴き終わり制御という)。この方式により定常運転時の空燃比だけでなく、低回転でのスロットル急開時やスロットル急閉時に対しても燃料噴射量と燃料噴射タイミングを最適に調整することができた。Fig. 13に2CAL噴き終わり制御でのスロットル急開時のタイミングチャートを、Fig. 14にスロットル急閉時のタイミングチャートを示す。

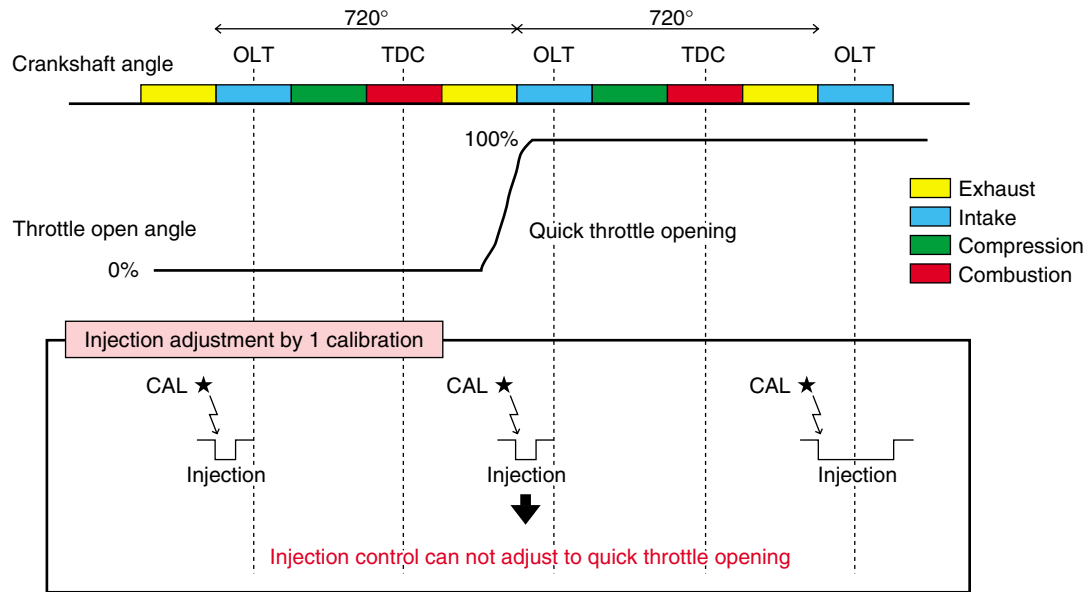


Fig. 11 Injection timing chart by 1 calibration when throttle opened

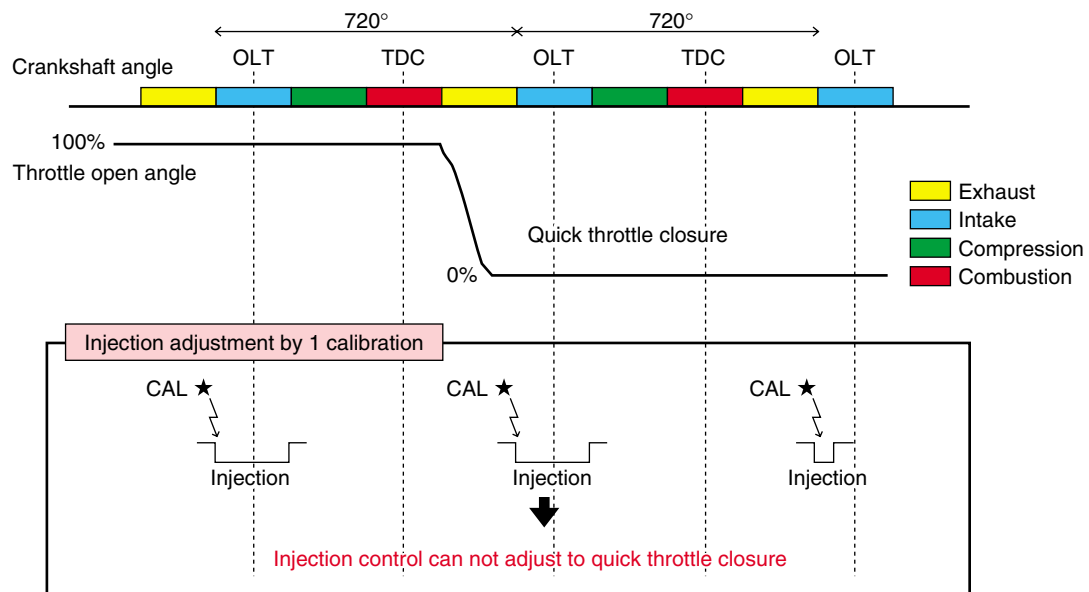


Fig. 12 Injection timing chart by 1 calibration when throttle close

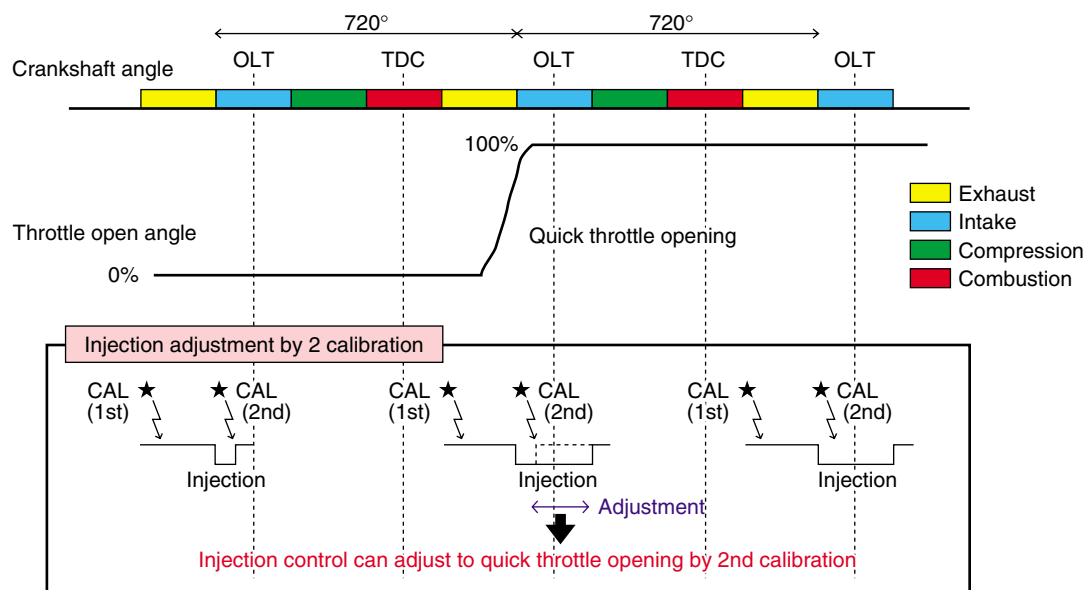


Fig. 13 Injection timing chart by 2 calibrations when throttle opened

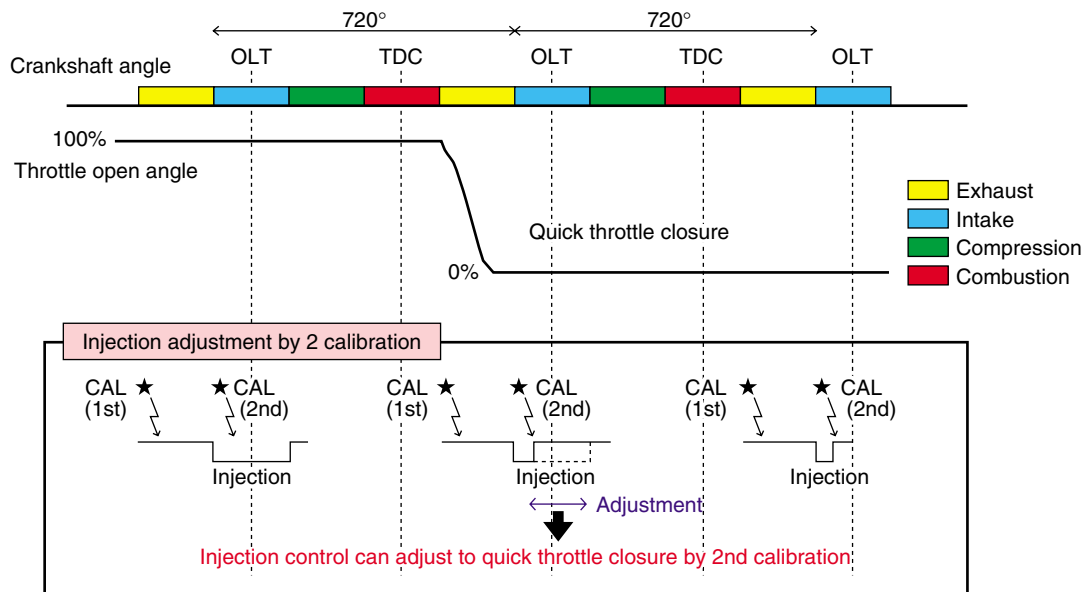


Fig. 14 Injection timing chart by 2 calibrations when throttle closed

2ストロークエンジンではスロットルの開け始めから燃焼指圧が大きく立ち上がるため、4ストロークエンジンよりスロットルレスポンスが良いのが一般的である。RTL250Fでは2ストロークエンジンからスムーズな乗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ストロークエンジン並みにすることに主眼を置いたが、2CAL噴き終わり制御の採用により2ストロークエンジンと同様の燃焼指圧の立ち上がりが得られた。Fig. 15に2ストロークエンジンであるRTL250RとRTL250Fのスロットル急開時の燃焼指圧データ比較を示す。2ストロークエンジンに劣らないスロットルレスポンスを実現できた。Fig. 16にRTL250R(2ストローク)とRTL250F(4ストローク)の出力特性比較を示す。

さらに、2CAL噴き終わり制御を低回転時のみおこない、演算間隔の短くなる高回転域では従来どおり1回の演算に切り替えることで、処理速度の低いECUでも制御可能なシステムとした。

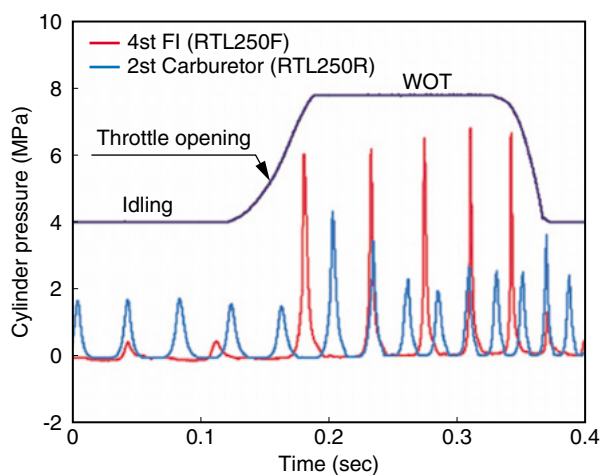


Fig. 15 Comparison data of cylinder pressure

5. ECUセッティングツール

トライアル競技ではグリップの良いアスファルトからグリップの悪い川の中までさまざまな路面状況でのレースや、標高1000mを超えるような高地でのレースが存在する。またユーザは初心者から世界選手権クラスまでおりスキルの幅が広い。RTL250FではユーザがECUのセッティングを変更することができるECUセッティングツールを開発した。ユーザはパーソナルコンピュータ上のツールにより、燃料噴射量及び点火時期をある一定範囲内で変更することができる。ユーザがECUセッティングツールで作成したセッティングデータはシリアル通信によりECU内のEEPROMに保存される。ECUはフラッシュメモリ内の燃料噴射量、

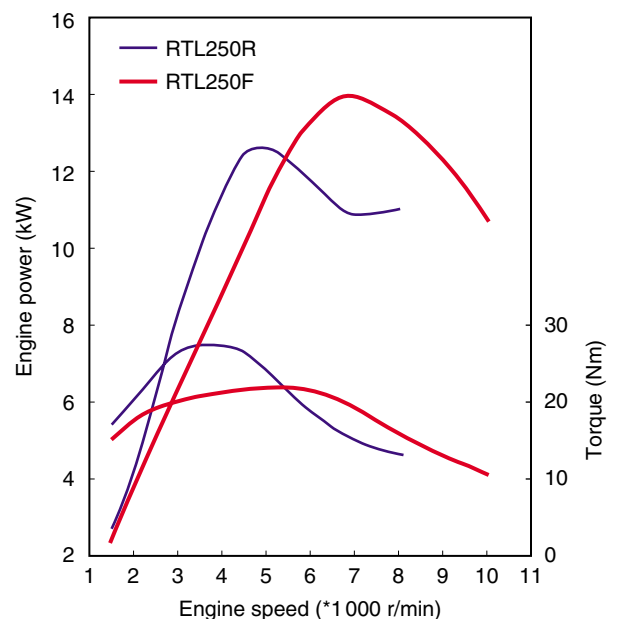


Fig. 16 Engine performance curve

点火時期のデータにこのセッティングデータを加減算し、最終的な燃料噴射量、点火時期を決定する。これによりユーザはさまざまな路面状況や標高、またユーザのスキルにあったセッティングを見つけることができる。Fig. 17 にセッティングツールの概要を示す。

6. ファクトリーレーサ用 ECU

ファクトリーレーサに要求される正確かつ迅速な ECU セッティングをおこなうため、4 ストロークロードレーサ RC211V 用 ECU をベースにデータロガー内蔵 ECU を開発した。RTL250F 用 ECU と比較すると、フラッシュメモリにデータを収集するデータロガー機能、各種計測やメー

タ駆動のための CAN 通信機能、ECU との通信のための Bluetooth 通信機能、ファンモータ駆動回路、燃料ポンプ駆動回路、多チャンネル A/D 入力回路、パルス入力回路、汎用モータ駆動回路、ソレノイド駆動回路が追加になっている。CPU は 32 bit を採用し、データロガー機能追加による CPU 処理増加に対応している。メモリはフラッシュメモリと EEPROM を備えており、フラッシュメモリにはデータロガー機能により収集されたデータ(ロギングデータ)を、EEPROM には複数のセッティングデータを記憶することができる。Fig. 18 に ECU ブロック図を、Fig. 19 に RTL250F 用 ECU との比較図を示す。デバイスボデー、吸入負圧(PB)センサ、スロットルポジションセンサ(TPS)は RTL250F 用 ECU から流用し、アイドルエアコントロールデバイスは小型モータサイクル用 ECU から流用した。高機能化に伴

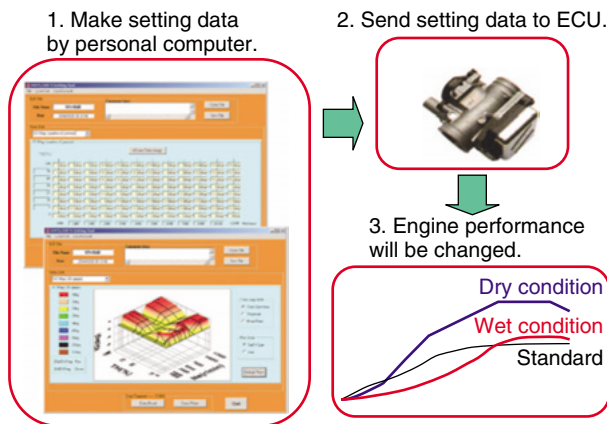


Fig. 17 ECU setting tool

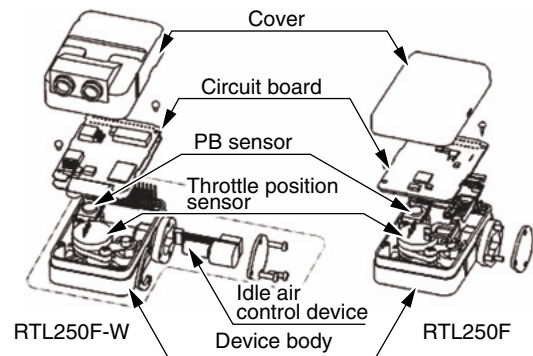


Fig. 19 ECU for factory racer

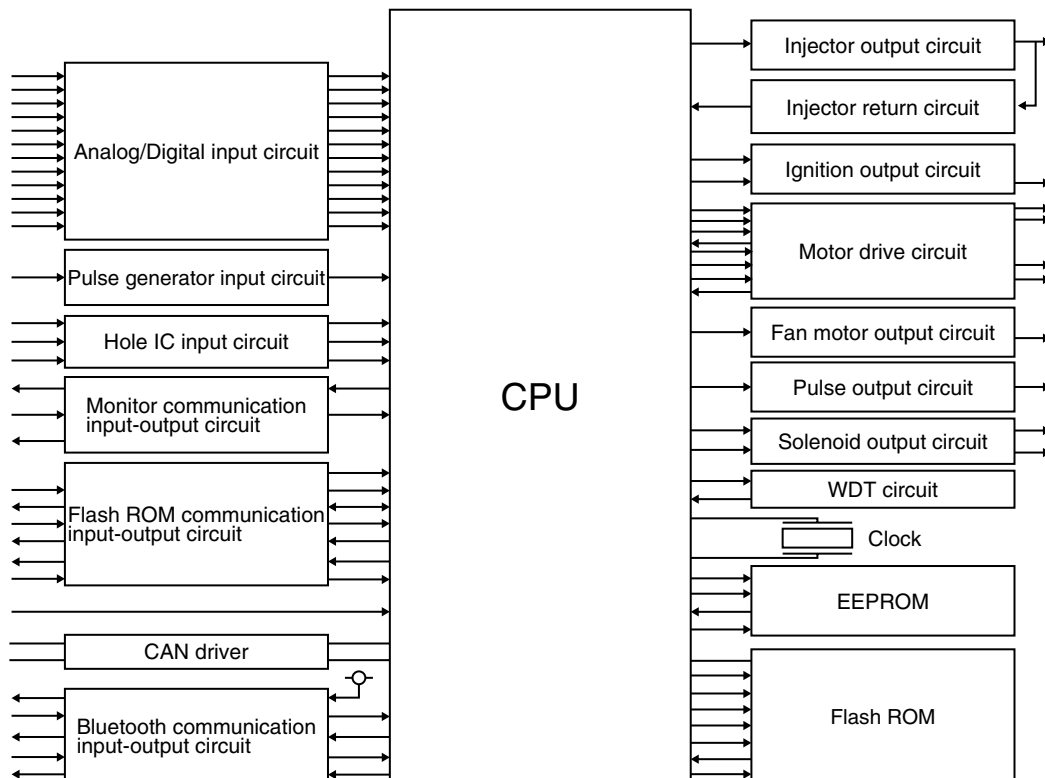


Fig. 18 ECU input-output block diagram for factory racer

い回路数が増加したが、回路基盤を4層 1.6 mm 厚のガラスエポキシ基盤から6層 0.8 mm 厚のフレックスリジッド基盤2段構造とし、入出力回路には小型モータサイクル用 ECU から流用したカスタム IC を使用することにより体積比20%増、質量比30%増に抑えている。カバーはプレス成型タイプからアルミ削り出しとし、フラッシュメモリ通信用コネクタと Bluetooth 通信用コネクタを備えた複雑な形状ながらも質量増を抑えている。また最適な吸入空気温度を得るために吸入空気温度(T_a)センサは ECU 内からエアボックス内に移設している。

データロガー機能ではクランクアングル、エンジン回転数、スロットル開度、各部温度、燃料噴射量、点火時期、カウンタ軸回転数等のさまざまなデータを収集することができる。収集されたロギングデータは Bluetooth 通信機能により無線通信にてパーソナルコンピュータへ送られ、データ解析に使用される。解析されたデータをもとに最適な燃料噴射量、点火時期等を決定し、メカニックがセッティングデータを作成し、Bluetooth通信機能によりECUへセッティングデータを送る。これにより燃料噴射制御システムを短時間でセッティングできるようになった。Fig. 20にロギングデータのサンプルを示す。

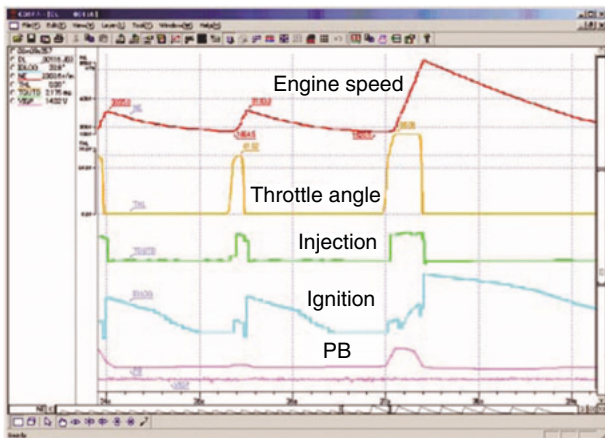


Fig. 20 Logging data sample

7. まとめ

4ストロークエンジントライアル二輪車用として以下の特徴を持つ電装システムを開発した。

- (1)キック始動が可能なバッテリーレスシステムを実現した。
- (2)2CAL噴き終わり制御により、急激なスロットル操作に対して噴射量を最適に調整することができた。
- (3)市販RTL250Fでは、燃料噴射制御システムをパーソナルコンピュータによりユーザが自由にセッティングできる機能を実現した。ファクトリーレーサRTL250F-Wでは ECU に内蔵されたデータロガー機能により、燃料噴射制御システムを短時間でセッティングできるようにした。

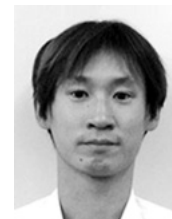
参考文献

- (1) 玉木健二，國府志朗，赤松俊二：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，Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.145-152
- (2) 滝川俊直，石川英一，柿沼弘之，小林冬樹：4ストロークエンジントライアル車“RTL250F”の紹介，Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.1, p.1-7

■ 著 者 ■



柿沼弘之



小林冬樹