４ストロークエンジン市販ロードレーサ NSF250R の開発

Development of NSF250R Commercial Road Racer with 4-stroke Engine

小野里　富　夫*　　倉　吉　良　之*
Tomio ONOSATO　　Yoshiyuki KURAYOSHI

要　旨

2012 年より二輪世界選手権レースに４ストローク 250 cm^3 エンジンを使用した Moto3 が設定されることに伴い，新開発４ストローク単気筒 249 cm^3 エンジンを搭載した NSF250R を開発した．エンジンは，充填効率向上のために前方吸気ー後方排気とし，マス集中のためにシリンダを後方に 15° 傾斜させたレイアウトを特徴とする．軽量薄型ピストンおよびナットレスコンロッドなどの採用による軽量化，オフセットシリンダおよびスカベンジポンプ付密閉式クランクケースなどの採用によるフリクション低減，ミッドシップマフラの採用によるマス集中化などにより，ロードレースの登竜門である Moto3 カテゴリ用の市販レーシングマシンにふさわしい動力性能と運動性能を実現した．

ABSTRACT

A Moto3 category that uses 4-stroke 250 cm^3 engines has been established for Grand Prix motorcycle racing from 2012. Due to this new category, Honda has developed the NSF250R, which is equipped with a newly developed 4-stroke single-cylinder 249 cm^3 engine. The new engine features an intake-from-front, exhaust-to-rear layout to increase charging efficiency, and a 15° rearward tilted cylinder to concentrate mass. A thinner lightweight piston and nut-less connecting rod are used to reduce weight, an offset cylinder and a closed crankcase with scavenging pump are used to reduce friction, and a midship muffler is used to concentrate mass. These and other measures realize engine performance and maneuverability suitable for a commercial racing machine in the Moto3 category, which is the gateway to road racing.

1．はじめに

Honda は，1976 年の MT125R から 2009 年モデルをもって生産を終了した RS125R まで，ロードレース入門用の２ストローク 125 cm^3 レーシングマシンを生産･販売し，国内外の二輪モータスポーツの裾野を広げるとともに，多くのレーシングライダを育んできた．

一方，一般市販車の環境対応のニーズがグローバルレベルで高まる中，二輪のレーシングマシンも４ストローク化がおこなわれ，2002 年には二輪世界選手権の最高峰 GP500（２ストローク 500 cm^3）から MotoGP（現在４ストローク 1000 cm^3）へ，2010 年からは GP250（２ストローク 250 cm^3）から Moto2（４ストローク 600 cm^3）へと変化してきた．そして，2012 年から GP125（２ストローク 125 cm^3）にかわり４ストローク 250 cm^3 エンジンを使用した Moto3 カテゴリが新設された．これに伴い，エントリーライダが参戦するためのマシンとして新たに NSF250R を開発した．RS125R が培ってきた二輪モータスポーツの底辺拡大という目的を継承し，RS125R のユーザが違和感なくライディングでき，エントリークラスから最高峰クラスまでのステップアップの実現に必要なライディングの基本を学ぶことが可能な，高性能で軽量コンパクトなレーシングマシンをめざした．

2．開発目標

現在，世界中でおこなわれている２ストロークの GP125 クラスはロードレースの登竜門であり，若手からベテランまで，また，ローカルレースから世界選手権までロードレースを幅広く支えている．この GP125 クラスのマシンの特徴は，若手エントリーライダにもマシンコントロールが無理なくできる車格にある．それに加え，エンジンおよび車体のレスポンス性とダイレクト感を備えていることと，さらにマシン性能を最大限に発揮させるために幅広いセッティング機能を有していることである．これらの要素を受け継ぐことを基本コンセプトとし，レーシングマシンとして高い運動性能と４ストロークエンジンの扱いやすさを具現化すること，すなわち「軽量･コンパクト･高出力･高効率」を NSF250R の開発目標とした．

＊二輪 R&D センター

https://doi.org/10.69239/hondatechnicalreview.2012_24_2_5

Table 1　Major specifications

Model name		NSF250R
Dimensions (L x W x H) (m)		1.809 x 0.560 x 1.037
Wheelbase (m)		1.219
Ground clearance (m)		0.107
Seat height (m)		0.729
Caster angle (deg)		22° 36’
Curb mass (kg)		84
Tire size	Front	90/580R17
	Rear	120/600R17
Brake type	Front	Hydraulic disk ϕ296
	Rear	Hydraulic disk ϕ186
Suspension type	Front	Inverted telescopic
	Rear	Pro-link suspension system
Frame type		Aluminum twin tube

3．機種概要

Fig. 1 に NSF250R の外観を示す．また，Table 1 に基本仕様を示す．レーシングマシンとして速さの追求を図るため，「軽量･コンパクト･高出力･高効率」をめざした結果，専用設計のエンジンと，RS125R 同等のコンパクトな車体の選択が必要と判断した．

そしてそれらを具現化するために，前方吸気－後方排気，一体クランクシャフト，スカベンジングポンプ付密閉クランク室を装備した DOHC 単気筒エンジンを新開発した．また，完成車はミッドシップマフラ，エアボックス内スロットルボデー等の採用によって，マスの集中を図った．

Fig. 1　NSF250R external view

4．パワーユニット（エンジン）

4.1. エンジン主要諸元概要と開発目標

NSF250R のエンジン外観を Fig. 2 に，RS125R との主要諸元の比較を Table 2 に示す．完成車の開発目標が，軽量でコンパクトな RS125R の高い運動性能と 4 ストロークエンジンの扱いやすさを具現化することであるため，エンジンの開発目標を以下のように設定した．

（1）吸排気系を含めたエンジンの徹底的なマスの集中化を図り，排気量が倍となる 4 ストロークエンジンを搭載しながらも，完成車としてほぼ同等の前面投影面積とする．

（2）最高出力については，RS125R に対してパワーウエイトレシオを同等に設定し，最高出力を 34 kW 以上とする．

（3）バッテリレス電子制御式燃料噴射システム（以下 PGM-FI システム）の採用によりドライバビリティの向上を図り，サーキット走行タイム，加速性能，最高速での優位性を確保する．

（4）軽量化および簡素化の観点から，スタータモータおよびキック等の始動デバイスを用いずに，押し掛け始動を可能とするためにカム式オートデコンプレッションシステムを採用し，2 ストローク RS125R 同等の押し掛け始動性を確保する．

（5）耐久性については，レース専用エンジンとして高い戦闘力を維持することを目的に各部品を有限保証としているが，全部品 2000 km 以上の耐久性確保を必須とし，主要部品の定期メンテナンスの実施により 4000 km を保証する．

4.2. 基本レイアウト

エンジンは，同じ競技専用車両である市販モトクロッ

Fig. 2　Engine external view

Table 2 Comparison of engine major specifications

	NSF250R	RS125R
Engine type	Liquid cooled 4-stroke DOHC 4-valve single cylinder	Liquid cooled 2-stroke single cylinder
Displacement (cm^3)	249.4	124.8
Bore x stroke (mm)	78 x 52.2	54 x 54.5
Compression ratio	12.3	7.98
Maximum power (kW/rpm)	35.5 / 13000	32.6 / 12250
Maximum torque (Nm/rpm)	28.0 / 11000	25.9 / 11500
Fuel supply system	Battery-less PGM-FI, GQD1A φ50	Carburetor, PJ38
Starting type / starting assist system	Push start / auto-decompression system	Push start / none
Ignition system	Full-transistor	Digital C.D.I.

サ CRF250R をベースとし，ロードレーサとしての資質と将来のポテンシャルアップに対する優位性を確保するため，動弁系廻りやクランクケースなどの大幅な変更を始めとする全部品の見直しを実施し，ロードレース専用設計とした．

エンジンレイアウトの概要を Fig. 3 に示す．エンジンレイアウトの基本は，開発コンセプトである「軽量･コンパクト･高出力･高効率」の実現に向け，まず，充填効率向上のために前方吸気ー後方排気レイアウトを選択し，ラム圧加給システムを標準装備とした．かつ，前方吸気のためのスペース確保およびマスの集中化をねらい，比較的浅いウォータジャケット高を有するシリンダを後方に 15 度傾斜させた．

また，高回転域を多用する小排気量ロードレーサとしての動弁系には DOHC 方式を採用し，Honda の量産車としては初めて吸排気両バルブにチタン材を適用した．

軸配置においては，バランサ軸をクランクシャフト上方に配置することで，エンジンの前後方向長さを縮小すると共にマスの集中化を図った．

さらに，左側カバーと左右クランクケースの下部で構成される空間をケース内オイルタンクとするセミドライサンプ方式を採用し，かつ，密閉構造のクランク室にスカンベンジングポンプを設け，ポンピングロスを低減させることにより低フリクション化を図った．

4.3. 出力特性

RS125R（2 ストローク）と NSF250R（4 ストローク）の出力特性比較を Fig. 4 に示す．フラットなトルク特性による 4 ストロークならではの扱いやすい出力特性を求め，ポート形状，バルブタイミング，吸排気系の最適化，および摩擦損失低減を図り，目標最高出力との両立を達成した．最高出力にて約 9%，最大トルクで約 8% の性能向上を実現した．

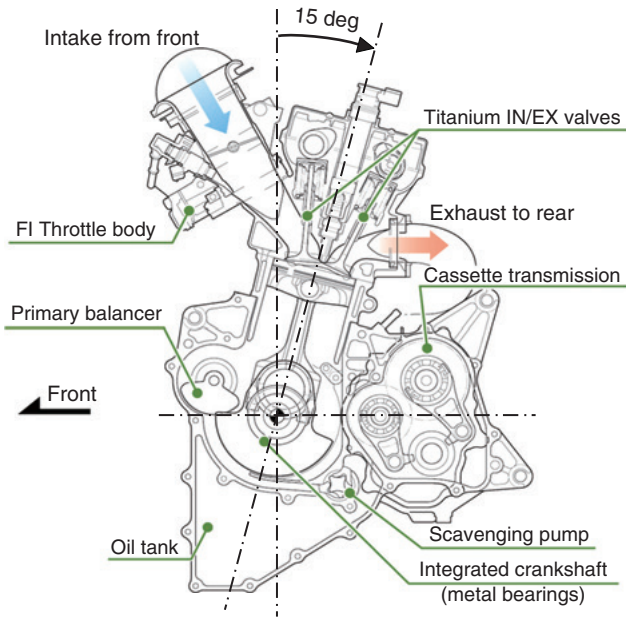


Fig. 3 Engine layout

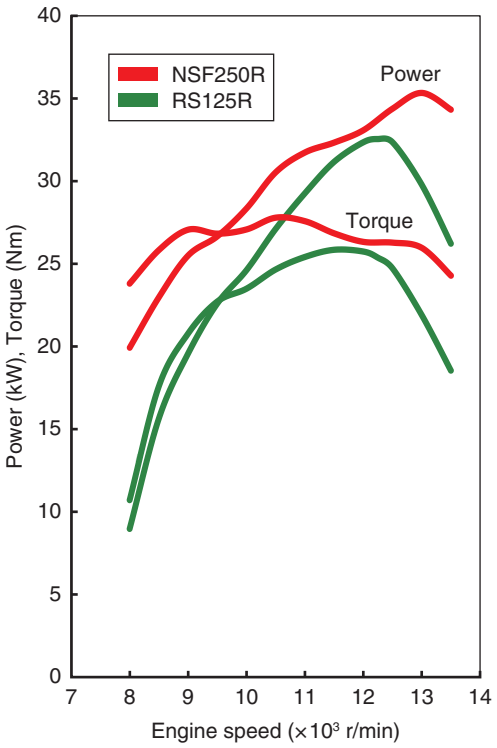


Fig. 4 Comparison of output characteristics

摩擦損失に関しては，同一ボア×ストロークのCRF250R（2009 年モデル）に対し，最高出力回転数 13000 r/min にて約 21% の低減を実現した．Fig. 5 にモータリング法にて計測された同一油温条件下での摩擦損失比較を示す．

以下，これらを具現化したエンジンの主要投入技術について紹介する．

4.4. 軽量薄型鍛造ピストン

ピストン廻りの構造図を Fig. 6 に示す．ピストンは，ボア径 78 mm に対して全高 31.5 mm と軽量薄型を採用した．高温強度に優れた A2618 材を用い熱間鍛造にて成形し，燃焼室を形成するピストンヘッド部は総削り加工にて仕上げている．また，ピストンの熱処理に関しては T6 処理を施し，レース用としての高強度化を図った．

形状検討においては，CAE 解析による検証結果を基に，ピストンの背面にはピンボス間をつなぐ２本の横リブを設け，この横リブがピストンの周壁側に向かって低くなるよう形成させることにより高剛性化と軽量化の両立を実現させた．

トップリング溝とピストンピンクリップ溝にはニッケル - リン（Ni-P）めっきを施し，耐摩耗性の向上により高性能を維持させると共に，耐久性の向上を図っている．

ピストンピンは外径 ϕ16 mm に対して全長 35 mm と短く，ピンボス面との受け幅においては片側 7.2 mm と狭いことから耐面圧上不利となる．そのため，表面処理に DLC（Diamond - Like Carbon）コーティングを施すことで，耐摩耗性の向上と低フリクション化に対応した．また，ピストンピン材にはモリブデン配合率を高めた耐熱肌焼鋼を使用している．

ピストンリングは，トップリングとオイルリングのみの２本仕様とし，トップリングの表面処理には窒化を下地に外周摺動面にイオンプレーティングを施すことで，耐摩耗性の向上と低フリクション化を図った．

これらピストン廻りの小型軽量化により，同一ボア×ストロークの CRF250R（2009 年モデル）に対し，往復運動重量部比較で約 4% の低減を達成した．

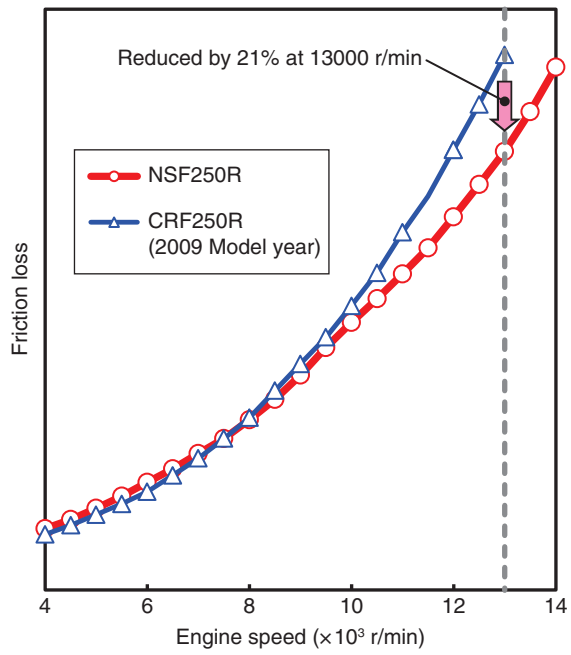


Fig. 5　Comparison of friction loss

4.5. 鍛造一体型クランクシャフトとナットレスコンロッド

クランクシャフト廻りの断面図を Fig. 7 に示す．鍛造一体構造のクランクシャフトには独自開発の高強度鋼[1]に LCN（Low Temperature Carbonitriding）処理を施し，さらにタイミングスプロケットおよびオイルポンプドライブスプロケット部には高周波焼入れの組合せを採用した．これらにより，高回転，高出力のレーシングエンジンに要求される高剛性，高精度に加え，スプロケット部の高強度化を両立させることができた．

コンロッドは軽量なナットレス式を採用した（Fig. 6）．

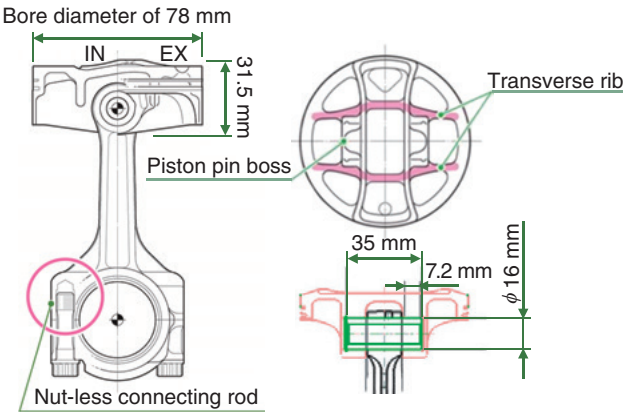


Fig. 6　Structure of piston and connecting rod

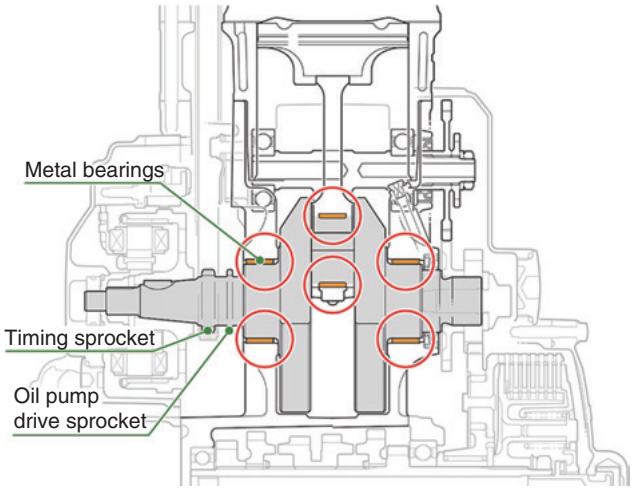


Fig. 7　Sectional view of crankshaft unit

棹側に直接切られたねじ穴をボルトで締め付けるシンプルな構造とし，従来型に比べて質量の軽減を図った．

コンロッド大端ベアリングおよびクランクシャフトジャーナルベアリングには，メタルベアリングを採用し，高出力，低フリクション化への対応と共に，エンジンのコンパクト化，軽量化を実現している．

4.6. シリンダヘッド，シリンダおよび動弁系システム

吸排気ポート形状断面図とオフセットシリンダ概要および動弁系廻りの概要を Fig. 8 に示す．

前方吸気－後方排気のレイアウトにより，ポートのストレート化が容易となる．中でもインレットポートに関しては，エアクリーナボックス内に内蔵されたスロットルボデーに装着されるインジェクタの位置を前方（進行方向側）に配置することで，ポートをより上方に立ち上げることを可能とし，高効率なダウンドラフト型のストレートポートを実現した．

シリンダには，軽量なアルミニウム合金製をベースに，ボア面にはニッケルシリコンカーバイト（Ni-SiC）の表面処理を施し，かつ，シリンダ軸を吸気側に 2 mm オフセットさせることでピストンとシリンダ間にかかるスラスト荷重を軽減し，摩擦損失の低減を図った．

動弁系については，ピストンボア径 78 mm に対して，IN バルブ径 32.5 mm × 2，EX バルブ径 26 mm × 2 の 4 バルブを設定し，両バルブ共に軽量なチタン製バルブを採用した．IN バルブには Ti-6Al-4V をベースに，鉄成分の多いオフグレードスポンジチタンを使用したチタン合金[(2)]を採用した．今回初めて量産化を実現した EX バルブには，Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo 材を改良した耐熱チタン合金を採用している．

また，バルブの挟み角は 21.5° と狭角に設定し，かつ，両バルブの燃焼室面をフラット形状とすることで，コンパクトで理想的な燃焼室形状を実現した．

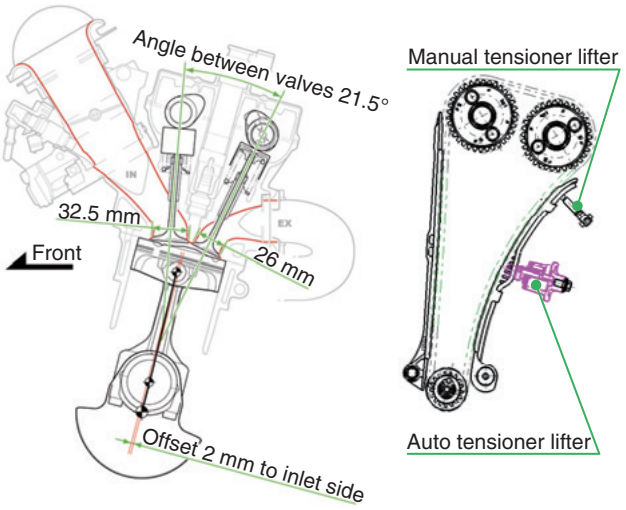


Fig. 8　Engine sectional view and valve train system

カムチェーンは，高強度と低フリクション化の両立と，クランクタイミングスプロケットの必要強度を十分に確保することを目的に，ボルグワーナー社製の 96 タイプチェーンを採用し，さらなる高回転化や性能向上など将来のポテンシャルアップに対応可能な仕様としている．

カムチェーンテンショナには，シリンダ部にオートテンショナリフタを設置し，ヘッド部にマニュアルテンショナを併設するダブルテンショナ方式を採用している．高回転を多用するロードレーサの使用条件に対して安定したカムチェーン駆動を実現すると共に，実走行でのギヤシフト時などに発生する急激なクランク回転変動に伴うカムチェーン挙動の暴れ対応にも有効な手段として用いている．

4.7. 二系統分離型潤滑システムおよびスカベンジングポンプ付密閉式クランク室

二系統分離型潤滑システムの概要図を Fig. 9 に示す．クランクシャフトおよびバランサシャフトの右側にオイルシールを配し，クランクシャフトとピストン側（内燃機関側），トランスミッションとクラッチ側（駆動系側）のそれぞれの潤滑方法を二系統に分けた分離型潤滑システムを採用した．内燃機関側についてはトロコイド式フィードポンプによる圧送方式を，駆動系側については 2 ストロークエンジンと同様のオイルバス方式を給油システムとして採用している．

分離型潤滑システムのメリットは，駆動系側のオイルが内燃機関の燃焼熱を直接受熱しないことによりオイル温度の上昇が抑えられ，クラッチの小容量化による小型化が可能となることである．これによりクラッチ容量やトランスミッションなどは RS125R と同一の仕様とすることができた．

また，その他のメリットとして，内燃機関側のオイルは，トランスミッションギヤなどの摺動によって発生する摩耗

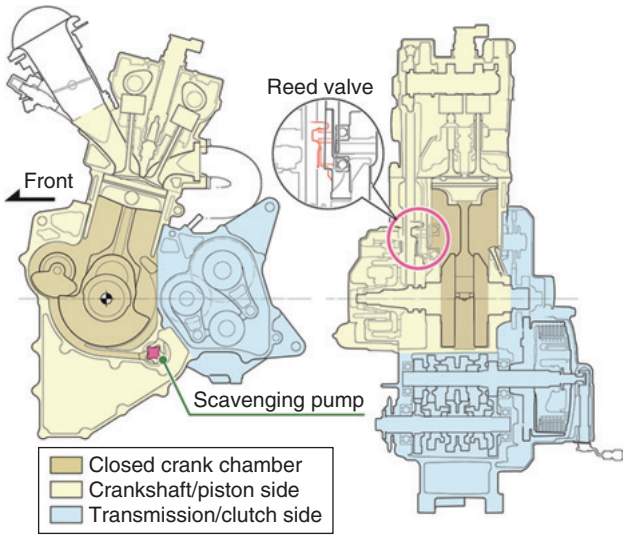


Fig. 9　Dual-channel lubrication system

粉等の混入が抑えられ，オイルフィルタを小型化できる．さらに，内燃機関側のみにモリブデン添加剤等を使用することができ，クラッチ性能を低下させることなく摩擦損失低減を図れる．

クランクケースについては，クランクシャフトとバランサシャフトおよびコンロッドとピストン廻りが格納されるエリアを密閉構造とした．オイルフィードポンプと同軸上に設けたスカベンジングポンプによって密閉クランク室内のオイルを強制排出させるとともに負圧化させることでポンピングロスを低減し，低フリクション化を図っている．

また，密閉クランク室の左上部（バランサベアリングハウジング部）にはリードバルブを設置した．エンジンの押し掛け始動時，回転数が低いためにスカベンジングポンプが有効に作用しきれず，密閉クランク室内が正圧化される．その際，リードバルブが開弁し，ポンピング圧の上昇を防ぐことで，始動に必要なクランク回転数を安定して確保できる構造とした．

4.8. オートデコンプレッションシステム

押し掛けによるエンジン始動の容易化を目的に，オートデコンプレッションシステム（自動減圧機構）を搭載した．Fig. 10 に示すように，軽量でシンプルな遠心ウェイト付カム式デコンプレッションシステムを採用した．エンジン始動時のシリンダ内の圧縮圧力を低減し，押し掛け時においても十分なクランク回転数を確保することで，ACG からの必要十分な発電量を得ることができる．これにより，バッテリレスのシステムであっても ECU の起動が可能となる．

デコンプレッションシステムの設定に関しては，開弁タイミングとリフト量の最適化および遠心ウェイトとセットスプリングとの組合せ設定によるデコンプレッション解除回転数の適正化の二点が重要なポイントである．加えて，FI セッティングの最適化を図ることで，2ストローク RS125R 同等の押し掛け始動性を確保した．

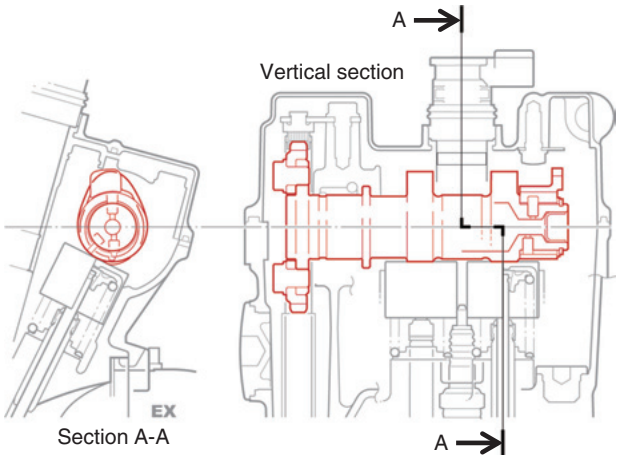


Fig. 10　Auto decompression system

4.9. カセット式トランスミッション

トランスミッションは各サーキットの特性にあわせて，最適なギヤ選択をおこなうため，交換の容易なカセット式トランスミッションを採用している（Fig. 11）．

このカセット式トランスミッションは，エンジンの脱着やクランクケースを分解することなく，短時間でメンテナンスおよびギヤ比変更を可能とし，さらに，RS125R のトランスミッションを使用可能とすることで RS125R ユーザの利便性に配慮した．

4.10. 燃料供給システムと吸気系

Fig. 12 にスロットルボデー概要を，Fig. 13 に吸気系概要を示す．スロットルボデーには IACV（Intake Air Control Valve）を採用し，PGM-FI システムによる開度制御によってスロットル全閉時の吸入空気量をコントロールすることで，4ストローク単気筒エンジンにおける強いエンジンブレーキの緩和や，ライダの好みに合った減速フィーリングの設定を可能とした．

エアファンネルは出力特性とレスポンスを最大限に引き出す全長 26 mm のショートタイプとし，アルミニウム製の削り加工を採用することで精度向上を図っている．

これらのスロットルボデー廻りは，MotoGP マシンと同様に，エアクリーナボックス内に収め，エアクリーナボッ

Fig. 11　Cassette type transmission

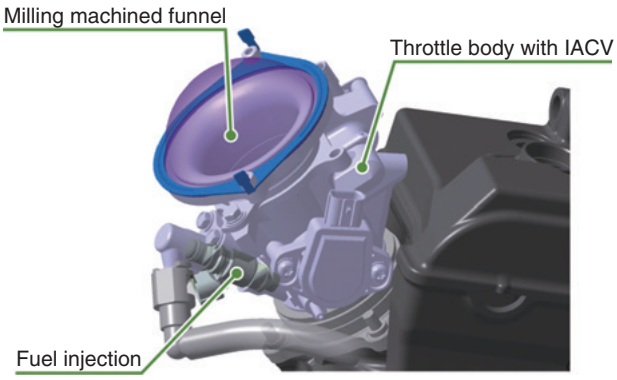


Fig. 12　Throttle body external view

クスをシリンダとラジエータとの間にレイアウトすることでマスの集中化を図りながら，限られた車体スペースを最大限に使い，大容量５Ｌのエアボックスを実現した．

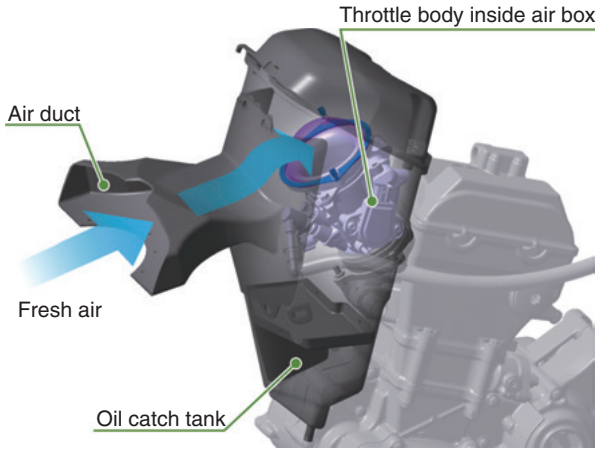
吸気に関しては，RS125R には搭載されていないラム圧加給システムを標準装備とし，ボトムブリッジ下を通過した空気が，大開口部をもつエアダクトを通って，ストレートにエアボックスに導かれ，ラム圧加給を積極的に活用することで出力向上を図っている．

4.11. 排気系

エキゾーストパイプは耐熱性に優れたステンレス製を採用した．４ストロークならではのフラットなトルク特性と目標最高出力（34 kW 以上）との両立をねらい，マフラに近づくにつれパイプ径が徐変拡大していく排気効率に優れたディフューザ形状とし，出力特性の最適化を図った．

また，排気系のレイアウトについては，後傾シリンダの後方から大きく逆Ｓ字を描くエキゾーストパイプがエンジン下部に配置したマフラへとつながる“ミッドシップマフラレイアウト”を採用した．重量物であるマフラを車体重心近傍に配置することでマスの集中化を図り，４ストローク化に伴う質量増の影響を感じさせないハンドリングを実現させた．また，容量の大きなマフラをカウル内に配置することで，空気抵抗の低減にも貢献している．

Fig. 14 に排気系レイアウト概要を示す．



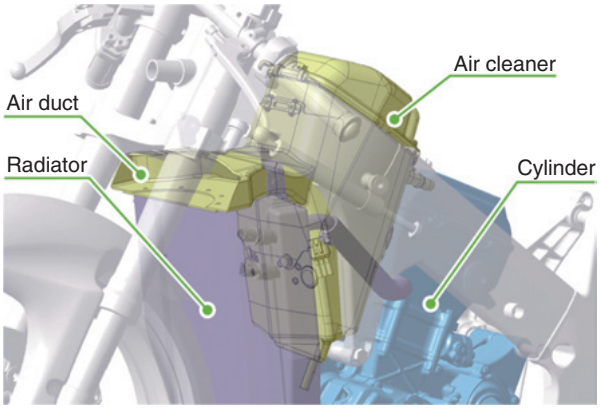


Fig. 13　Induction system

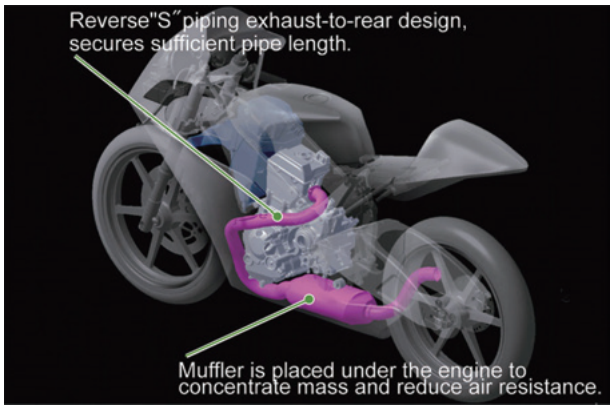


Fig. 14　Exhaust system layout

5．車体レイアウト

RS125R のコンパクトな車体を継承し，４ストローク 250 cm^3 のエンジンを搭載するパッケージングを成立させる技術手段として

（1）前方吸気，後方排気の後傾シリンダエンジン
（2）エアボックス内スロットルボデー
（3）逆Ｓ字配管のエキゾーストパイプ
（4）ミッドシップマフラ

を採用した．この完成車パッケージングにより軽量，コンパクト化が図れた．Fig. 15 に主要ディメンションとライディングポジションを示す．ディメンションについては RS125R に対しホイールベースは同等としながらも，エンジン搭載時のクランク軸中心を前方 27.4 mm，下方 51.5 mm の位置に設定した．これにより，重心高は RS125R と同等で，前輪分担荷重比を 0.7 ポイント増加させることが可能となった．さらに，完成車質量が約 9.2 kg 増加しながらもマスの集中度を高めることにより，RS125R と同等レベルのヨー慣性モーメントを達成した．このように，質量配分と重心高さの最適化を図ることで操縦性と安定性を高次元で両立させることにより軽量クラス

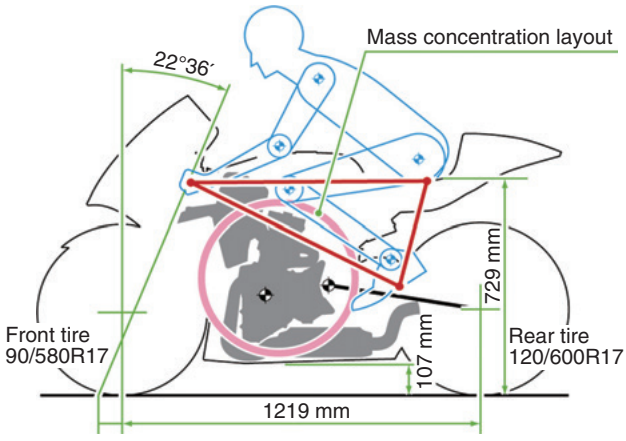


Fig. 15　Major dimensions and riding position

に求められる旋回性能を実現させた.

Fig. 16 に RS125R と NSF250R の同一ライダで同一サーキットを走行した時のコーナリング時に発生するヨーレイトの比較を示す. 旋回時, 高速域では同等であるが, 低速域では約 5% の向上を実現している.

フレームボデーは, RS125R をベースとし, フロントエンジンハンガの形状およびメインパイプの断面形状の変更により, RS125R に対し, 横剛性を維持しつつ捩れ剛性を上げるなど, NSF250R に求められる最適な剛性バランスとした (Fig. 17).

新規設計のスイングアームは, フレームとの一体感と安定性を高めることをねらいとし, フレームボデーと同様な剛性バランス手法で最適化を図り, また, スイングアーム単体としても, 重心位置を前方に移動させ, マスの集中をねらった. さらに, スイングアームとフレームボデーが, ともにしなやかに捩れるような骨格形状とした.

これらによりブレーキング時の安定性が向上し, また RS125R と同等以上のコーナリング自由度および軽快性を確保した. コーナーアプローチ時にも, 4ストローク化に伴う重量アップ分を体感させないハンドリングを実現した.

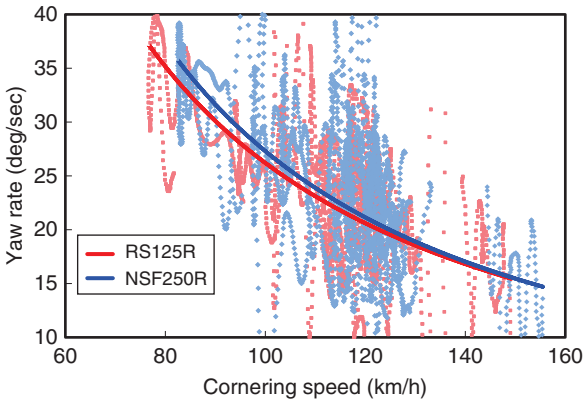


Fig. 16　Comparison of yaw rate at cornering

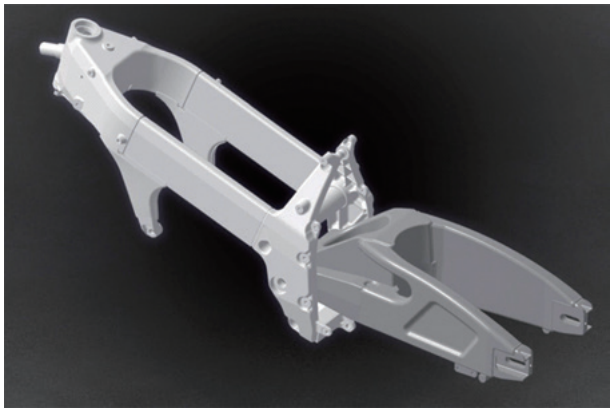


Fig. 17　Frame body and swing arm

6. まとめ

ここに紹介した技術の結集によって構成された NSF250R はトップエンドにふさわしい高性能を安定して発揮することと, だれもがその性能を手にすることが可能となり, すべてのライダの要求に必ずこたえられるものと確信している.

RS125R 同様この NSF250R が Moto3 クラスを活性化させることで, 二輪モータスポーツの底辺を拡大し, お客様と夢と感動を共有しながら, ライダには将来の MotoGP チャンピオンを創出するきっかけとなるマシンとなることを期待する.

参考文献

(1) Suwa, S., Kawaguchi, D., Murakami, A., Kimura, K., Tada, M.: Development of Nitrocarburized High Strength Crankshaft Through Controlling Vanadium Carbonitride Precipitation by Normalizing, SAE Paper, 2009-32-0076/SETC2009, 20097076(2009)

(2) Marui, Y., Kinoshita, T., Takahashi, K.: Development of a Titanium Material by Utilizing Off-Grade Titanium Sponge, SAE Paper, 2002-32-1816/SETC2002, 20024309(2002)

■著　者■

小野里富夫

倉 吉 良 之