

4 ストロークモトクロッサ CRF450R の紹介

Introduction of CRF450R Equipped with 4-Stroke Engine

星 紀 夫*
Norio HOSHI
野 村 明 史*
Akifumi NOMURA

志 村 康 雄*
Yasuo SHIMURA
後 郷 和 彦*
Kazuhiko GOGO

大 熊 孝 則*
Takanori OKUMA

要 旨

ABSTRACT

Honda 初の 4 ストロークモトクロッサ CRF450R は、「クラスを越えて一番速く、楽しく走れる」をコンセプトとして開発された。4 ストロークエンジンを用いたリニアなトルク特性と扱いやすいトラクション特性、および 2 ストロークモトクロッサと同等なパワー／ウエイトレシオを目指した。エンジンはリニアなトルク特性と高出力実現のため、超ショートスカート軽量ピストン、SOHC 4バルブの動弁系（UNICAM システム）、チタン吸気バルブ、クランク室とトランスミッション室の分離給油潤滑システムなどを採用した。29.5kg のエンジン単体質量と 41kW の最大出力を達成した。また、新開発のオートデコンプシステムを適用し、キック始動性を向上させた。車体と足回りは、新形態のアルミニウムフレーム、チタンエキゾーストパイプを採用するなど各部品の軽量化を行い車両質量 102kg を達成した。

The first 4-stroke engine motocrosser CRF450R in Honda was developed focussing the fastest motocrosser all over the motocross races and to enable the riding without stress according to rider's intention. Targets in the development were decided to get a linear characteristic in torque and traction characteristic controlled easily by adopting 4-stroke engine, and to achieve the equivalent power-weight ratio to the 2-stroke engine motocrosser of the same race class. Lightweight piston with extremely short skirt, a valve train of SOHC 4-valve engine (UNICAM system), titanium inlet valves, separated lubrication system for both the crankcase and the transmission were adopted in the engine as means to get a linear characteristic in torque and a high power. As a result, 29.5kg of engine mass and 41kW of maximum power were achieved. Engine startability by using the kick-starter was also improved by adopting newly developed auto-decompression system. 102 kg of total vehicle mass was realized by lightening each part of the frame by using such as a new shaped aluminum frame and a titanium exhaust pipe.

1. はじめに

モトクロスレース用競技車両は、現在、2 ストロークモトクロッサが主流となっているが、昨今の環境への強い関心を反映して、よりクリーンなモトクロッサの登場が求められてきた。Honda では、こうした要請を踏まえ、4 ストロークエンジンを搭載した新型モトクロッサを開発した。

2. 開発コンセプト

ジャンプセクションやタイトなコーナが連続するモトクロスでは、コンパクトな車体と軽さが最も重視され

る。エンジン出力がいかに優れていても大柄で重いモトクロッサでは走りにくい。また、滑りやすいオフロード路面を走行するので、最大出力も必要であるがリニアなトルク特性と扱いやすいトラクション特性も重要である。これらを満足するために、2 ストロークモトクロッサと同等の車体サイズ、パワー／ウエイトレシオ、および 4 ストロークエンジンによるモトクロッサとして扱いやすい出力特性を目指した。

さらに、「Honda 初の 4 ストロークモトクロッサ CRF450R」として開発コンセプトを次のようにした。

- ・クラスを越えて一番速いモトクロッサ
- ・扱いやすく、楽しく爽快に走れる

*朝霞研究所

3. 機種概要と目標

CRF450R の外観を Fig. 1 に、主要諸元を Table 1 に示す。車体サイズは、2ストロークモトクロス CR250R と同等に設定した。車重と最大出力は、各排気量クラスのパワー／ウェイトレシオの位置付けと、各クラス混合のレース成績、ラップタイムの比較により検討した。車両質量は 102kg、最大出力は 41kW を目標とするとともにリニアなトルク特性を目指した。Fig. 2 にパワー／ウェイトレシオの関係を示す。また、クランクシャフト 2 回転に 1 回の少ない着火チャンスと圧縮比の高い 4 ストロークエンジンでは



Fig. 1 External view of CRF450R

Table 1 Major specifications

Items		Specifications
Overall length	(mm)	2 187
Overall width	(mm)	825
Overall height	(mm)	1 254
Wheelbase	(mm)	1 488
Seat height	(mm)	945
Ground clearance	(mm)	331
Vehicle dry mass	(kg)	102
Engine type		Liquid cooled 4-stroke OHC single cylinder
Engine displacement		449
Bore x Stroke		96 x 62.1
Compression ratio		11.5 : 1
Valve train		SOHC 4valve
Max.power		41/9 000
Max.torque		49.8/7 000
Carburetor type		FCR40
Fuel capacity		7.4
Clutch type		Wet multi-plate type
Transmission		5 speed constant mesh
Caster angle		27° 50'
Trail length		114
Tire size	Front	80/100-21 51M
	Rear	110/90-19 62M
Brake system	Front	Single 240mm disc with twin-piston caliper
	Rear	Single 240mm disc
Suspension	Front	Telescopic
	Rear	Pro-link
Frame type		Aluminum twin-tube

キックスタータによる始動性の改善が必要であった。モトクロスレースでは、ブレーキのかけ過ぎや転倒によるストールのときに素早い再始動が求められる。幅広いライダー層が楽しむことを考慮して、2ストロークエンジン並みのキック始動性を目標とした。

4. エンジン

エンジンサイズは CR250R の基本骨格に搭載できる幅・長さ・高さを設定した。質量は、完成車質量の目標からエンジン・車体・足回り・電装と、それぞれの目標を振り分け、エンジン質量は 29.5kg を目標とした。エンジン全体の透視図を Fig. 3 に示す。

最大出力の発生回転数は、後輪のトラクション特性と、瞬時の加速性を重視して低く抑えた 9 000r/min とし、目標出力 41kW を実現できるボア×ストローク 96mm × 62.1mm、排気量 449cm³ を設定した。エンジン性能曲線を Fig. 4 に示す。

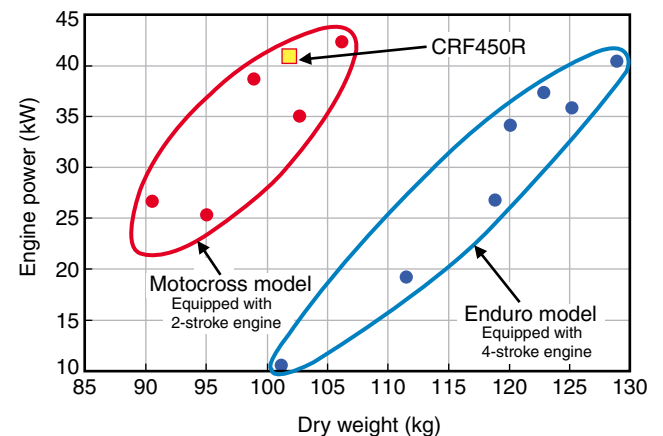


Fig. 2 Comparison of power-weight ratio between motocross models and enduro models

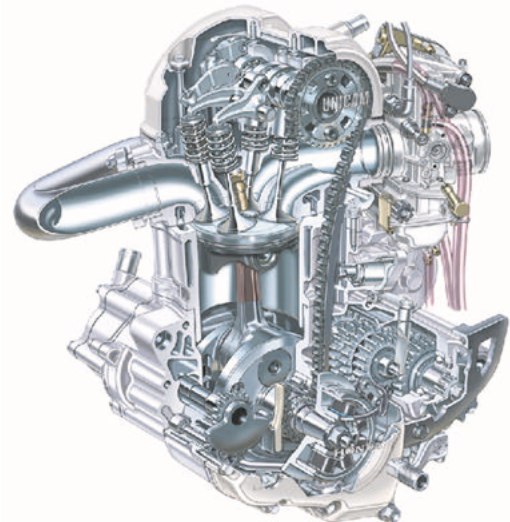


Fig. 3 Cutaway drawing of CRF450R engine

また、Fig. 5 にエンジンの大きさを従来の4ストローク同等排気量である XR400R と比較して示す。エンジン質量は XR400R に対し 23%の軽量化を達成しており、CRF450R は XR400R に対し最大出力で 53%、最大トルクで 31%向上している。

4ストロークエンジンのリニアなトルク特性を損なうことなく高出力・高回転化するために、バルブタイミングと吸排気系の最適化、フリクション低減等を施した。リニアなトルク特性の目安としてパーシャル域を含めたトルク等高線に着目し、等高線の各間隔が均一になる特性を実現したことで、より扱いやすいトルク特性が得られた。Fig. 6に2ストロークの CR250R と比較したトルク等高線を示す。

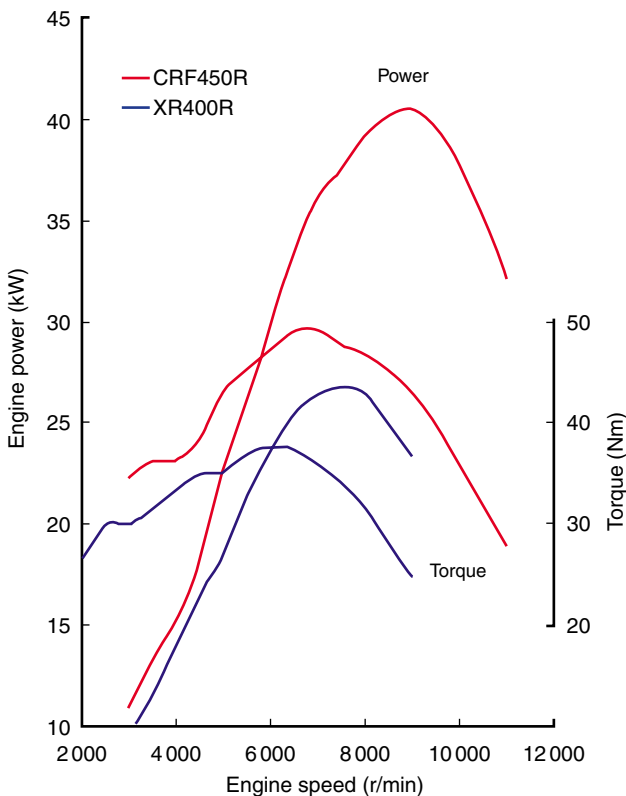


Fig. 4 Engine performance curve

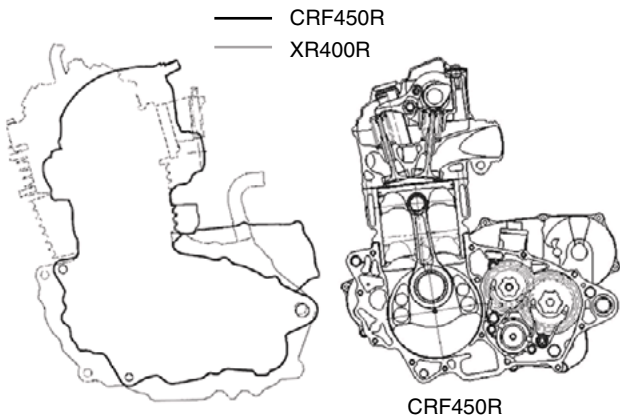


Fig. 5 Comparison of engine size

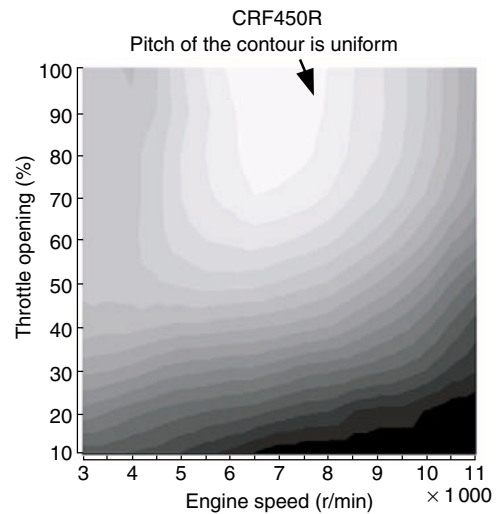
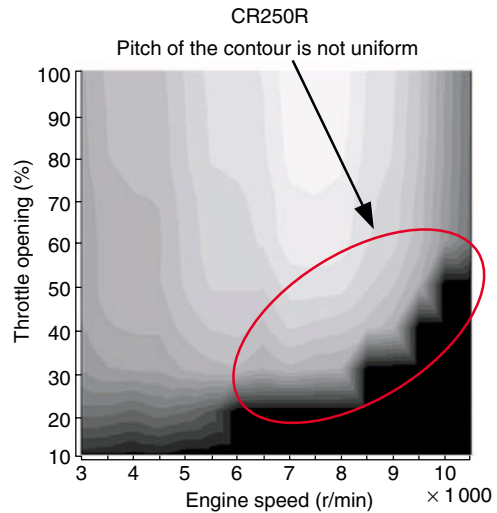


Fig. 6 Torque contour

4.1. 動弁系

Fig. 7 に動弁系全体を示す。従来の単気筒エンジンよりも高回転にするため動弁系のDOHC化が手段のひとつに挙げられるが、DOHCはカムシャフトが吸気、排気系の個々に必要になり、軽量化の面からは不向きである。CRF450Rでは高回転に不利なバルブ径が大きい吸気側にチタンバルブを採用し、かつ、直押しにすることで挙動の安定化を図った。排気側はロッカアーム方式のSOHC構造を採用した。カムホルダはバルブリフタホール、ロッカアームシャフト支持部をダイキャストで一体形成した。これをUNICAM(ユニット式カム)システムと呼称する。また、Fig. 8に示すカムシャフトは従来のFCからSCM浸炭焼入れにすることで疲労強度を高めながら限界まで薄肉化した。動弁系全体の質量はDOHC方式に比べ376gの軽量化を達成した。

また、ロッカアームをY字型構造のローラ式とし、Y字の間にプラグホールを設けることで点火プラグがセンタ配置になり火炎伝播速度が向上した。この動弁系のバルブ挟み角はDOHCレイアウトより狭角な21.5°を可能とした。これにより燃焼室がコンパクトになり、高圧縮比、高出力化に寄与した。

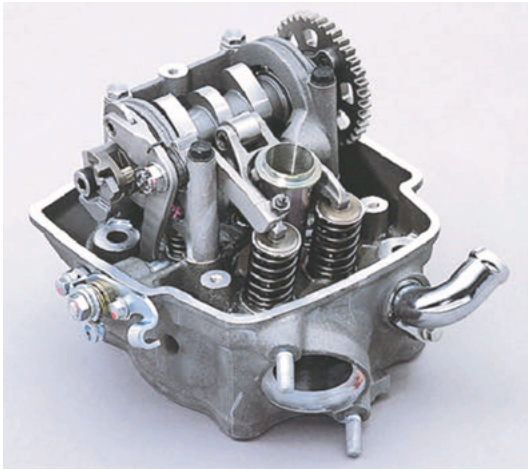


Fig. 7 UNICAM system



Fig. 8 External view of camshaft

4.2. 2系統潤滑システム

Fig. 9 に示すように XR650R で採用した密封式クランクケース⁽¹⁾の発展型として、バランスをクランク室の外に配置しクランク室内圧変動を大きくしてオイル排出性能を高めた。クランクシャフト両端にオイルシールを持つ密封構造を活かし、クランクシャフトとピストン側、トランスミッションとクラッチ側の潤滑方法を2系統に分けた。クランクシャフト、ピストン、動弁系については、従来のエンジンと同様にトロコイドポンプによる圧送方式を採用した。Fig. 10 にオイルポンプの構造を示す。トランスミッションとクラッチ側については2ストロークエンジンと同様なオイルバス方式を採用した。また、コンパクトなクランクケースにもかかわらず、左側クランクケースと左側カバーで構成される空間をケース内オイルタンクとし、モトクロスレースでの激しい車体姿勢の変化にも追従する安定した潤滑を確保した。また、クランクケースの合わせ面にハウジングを形成してオイルポンプボデーとすることで従来構造のものに対し 147g の軽量化ができた。

4.3. 超ショートスカート軽量鍛造ピストン

エンジンのコンパクト化のために往復運動部の質量軽減

が必要である。Fig. 11 に示すスリッパ形状の超ショートスカートピストンは、ボア 96mm に対して高さ 36mm として従来設計のピストンに対し 108g も軽い 267g を達成した。Fig. 12 に従来機種のピストンボアとピストン質量の関係を示す。ピストンプロフィールの最適化と潤滑の適正化、スカート側圧の低減、コネクティングロッド小端部とピストンピンボスとのクリアランスの適正化により、このショートスカート形状が可能となった。

4.4. オートデコンプレッションシステム

従来の4ストロークエンジンの懸案であったキック踏力の重さと着火チャンス不足解消のため、独特のピン回転式オートデコンプレッション(以下、デコンプという)方式を採用した。Fig. 13 にシステムの構造図を、Fig. 14 にデコ

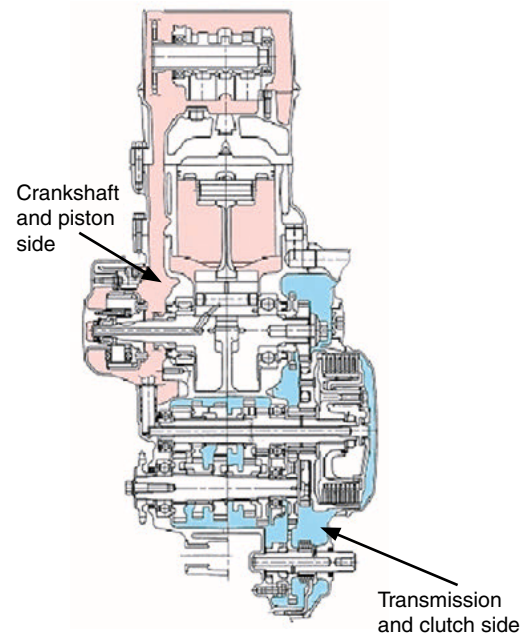


Fig. 9 Structure of dual system lubrication

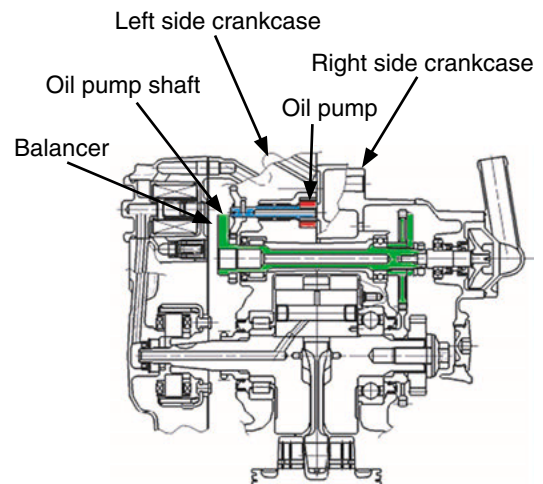


Fig. 10 Structure of built-in oil pump

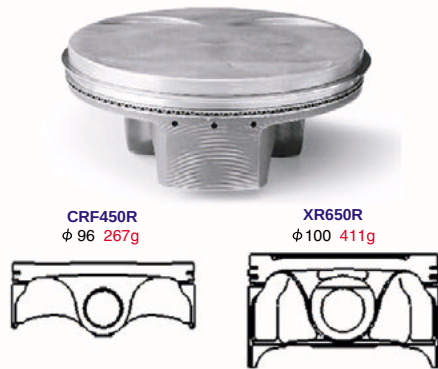


Fig. 11 Short skirt piston

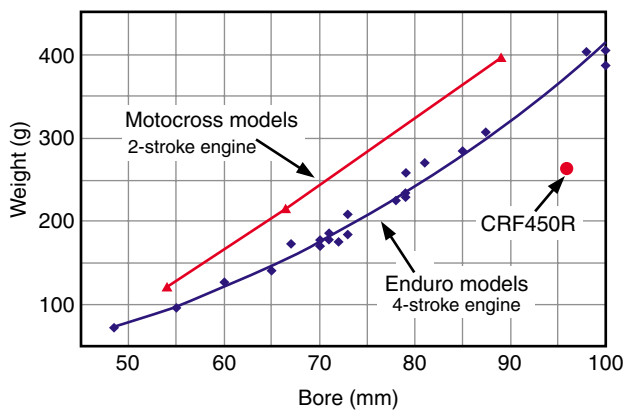


Fig. 12 Relation between piston bore and weight

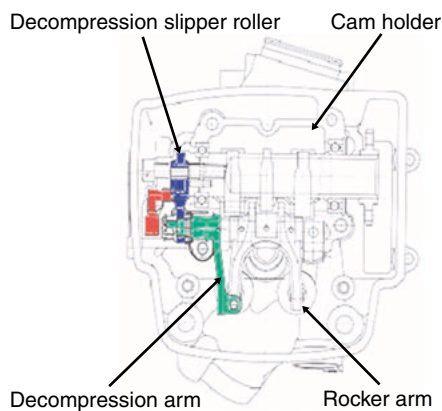


Fig. 13 Structure of automatic decompression system

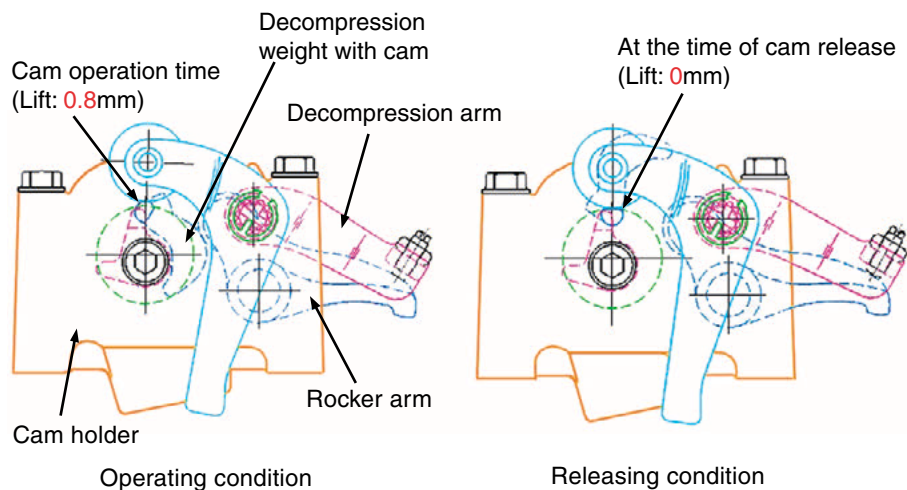


Fig. 15 Operation of automatic decompression system

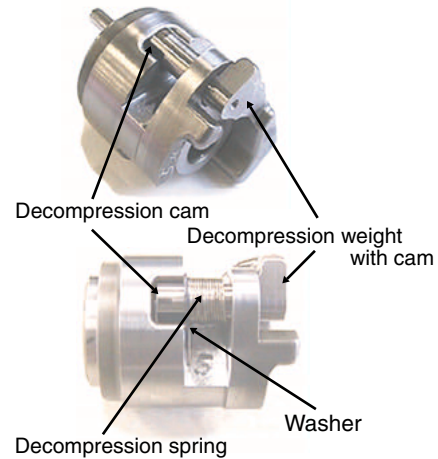


Fig. 14 Decompression cam

ンプカムを示す。このシステムにより冷機時の始動と暖機時の再始動を2ストローク並みに向上させた。

Fig. 15に作動状態を示す。始動時にはピンに形成されたデコンプカムがデコンプスリッパローラを介して排気側ロッカアームを押すことにより、シリンダ内の圧力を下げてキック踏力を軽減する。始動後は、遠心力によりピンと一体のデコンプウエイトが回転し、デコンプカムが解除される。着火チャンスについてはデコンプカムの作動範囲、リフト量を適正にすることでデコンプ無しに比べ大幅に向上している。Fig. 16にデコンプ有無によるクランクアングルごとのキック踏力とクランク回転力の関係を示す。

4.5. クランクシャフト及びコネクティングロッド

クランクシャフトは従来の S48C 高周波焼入れから、SCM420H 浸炭焼入れに変更することで同等の疲労強度を保ちながら軽量化を図った。また、コネクティングロッドは疲労強度要求が異なる大端部と小端部の熱処理深さを変えることで疲労強度と軽量化のバランスを図り、クランクシャフト単品質量は、従来のクランクシャフトに対し 262g の軽量化を達成した。クランクシャフト全体図を Fig. 17 に示す。

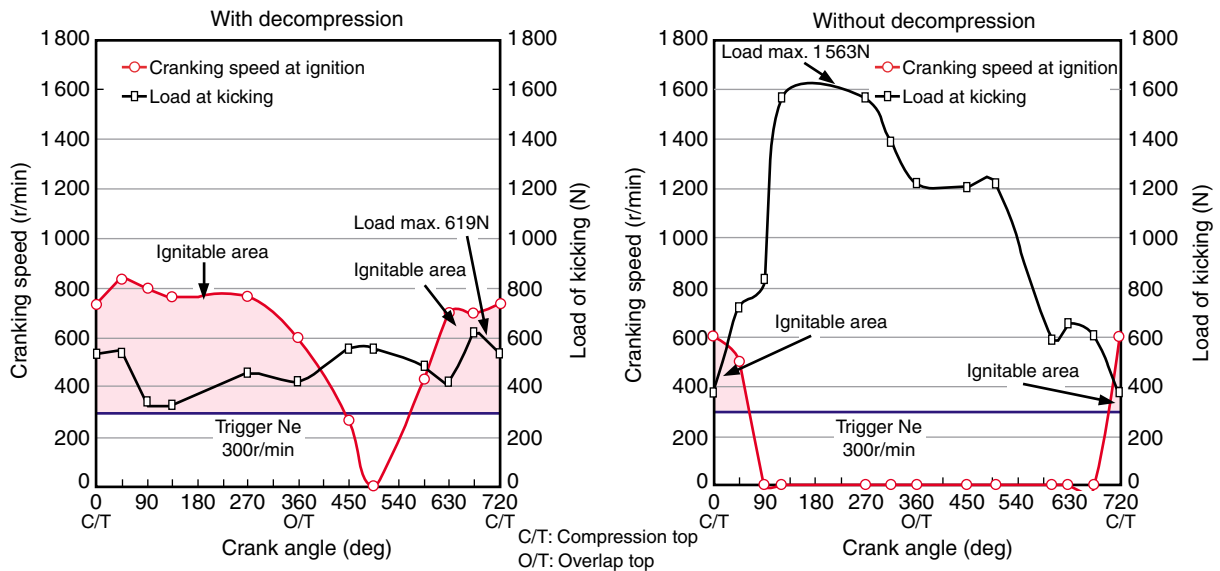


Fig. 16 Comparison of ignitable area, with or without decompression system



Fig. 17 External view of crankshaft



Fig. 18 FCR carburetor

4.6. フラット型スライドバルブキャブレタ

ケーヒン製 FCR キャブレタのフラット型スライドバルブは、両側に4個のローラを備えることで、シャープなレスポンスと軽くスムーズなスロットル操作を可能とした。また、別経路の新気導入通路を持つことで熱間始動時や転倒後始動時の A/F を適正化し始動性を向上させている。キャブレタ外観を Fig. 18 に、新気導入通路形状を Fig. 19 に示す。

4.7. ホットスタートレバー

熱間始動性や転倒後再始動を容易にするためにホットスタートレバーを採用した。これは 4.6. 項で説明した熱間および転倒後再始動時の A/F を適正化するために、キャブレタへの新気導入通路を開くものである。従来は、このレバーがキャブレタと一体で形成されていた。CRF450Rでは、ケーブルを介してクラッチレバーと同軸に取り付け、ホットスタートレバーをハンドルから手を離すことなく操作できる位置に設置した。これにより、誤操作を回避できるばかりでなく、転倒後再始動時にクラッチレバーと同時に操作することができるため、どのギヤに入っても素早く再始動することを可能にした。Fig. 20にホットスタートレバーの取り付け状態を示す。

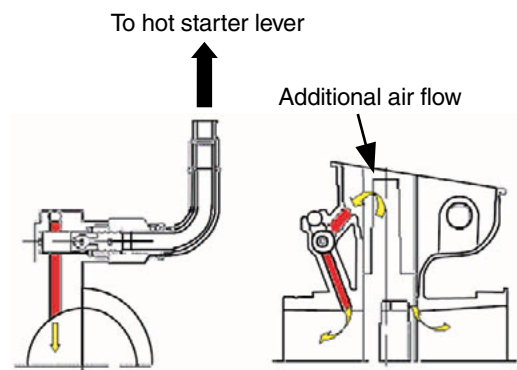


Fig. 19 Fresh air induction path

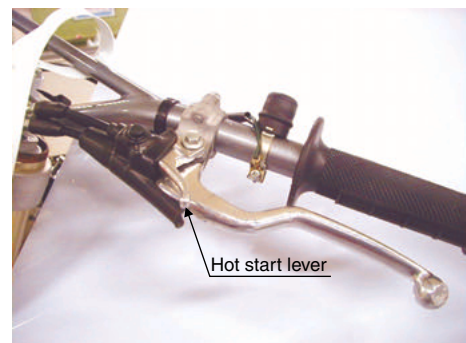


Fig. 20 Hot start lever

4.8. 点火システム

点火システムには、CDI を組み込んだ高精度 8 ビット ECUを採用した。これによりスロットル開度やエンジン回転数に応じた最適な点火時期が提供される。Fig. 21 に点火時期マップを示す。

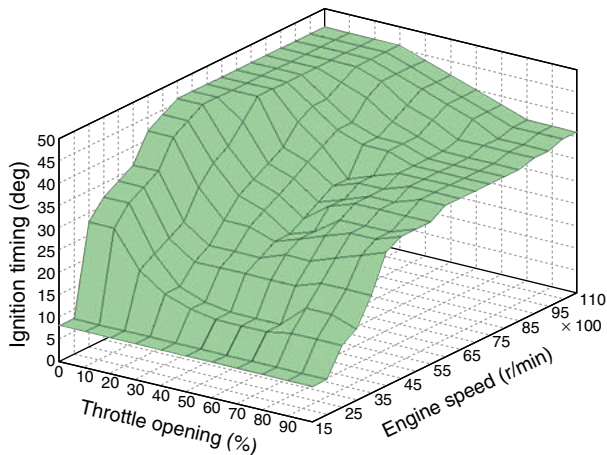


Fig. 21 3-D map of ignition timing

5. 車体

開発コンセプトである「扱いやすく楽しく爽快に走れるモトクロッサ」を実現するために、長年、熟成を重ねてきた高い戦闘力をもつ2ストロークモトクロッサ CR250R と同等の車体サイズと完成車質量の実現を目標とした。また、コントロールしやすい旋回性能とバンプインパクトの軽減を目指した。

5.1. 車両諸元

自由自在な運動性能を確保するために、2ストロークモトクロッサの諸元をベースに最適エンジン重心位置、走破性を阻害しない最低地上高、1レースを十分に走りきる燃料タンク容量などの条件を加味してエンジン搭載位置を決定した。これにより車両諸元はほぼ CR250R 同等となり、4ストロークエンジンのトラクション特性を活かした直進安定性、2ストロークモトクロッサと同等の旋回性能、コンパクトな車体による良好な取りまわし性能を実現した。Fig. 22 に車両諸元を示す。

5.2. フレームボデー

CRF450R のフレームボデーは CR250R で採用しているアルミニウム製セミダブルクレードルツインチューブフレームをベースに改良した。Fig. 23 にフレームの外観を示す。ダウンチューブには、最適な剛性と強度バランスを得るためにスイングアームに採用されているスウェーピング加工によるテーパチューブを採用した。フレームセンタ部にクロスメンバを設け、クロスメンバとリヤクッションブラケットを一体化した。これにより、フレーム幅、大きさを変えることなく4ストロークエンジンを搭載するために必要

なスペースを形成できた。この構造はスペースレイアウトの確保だけでなく、フレームの適度なたわみにも貢献しており、前述のダウンチューブと共に、縦剛性、横剛性、ねじり剛性を最適化し、高い安定性とコントロールしやすい旋回性能を実現した。

新設計のコンパクトな鍛造アルミ製ステアリングヘッドパイプは、2001年モデルのCR250Rに対し、継ぎ手構造の見直しを行なうとともに、軽量化と走行中のバンプインパクトの軽減策として Fig. 24 のように内側の壁を大きく開口し、適切な剛性バランスとした。これらにより、軽快な操縦性と安定性を高次元でバランスさせることができた。フレームボデー質量は 200g の軽量化を達成した。

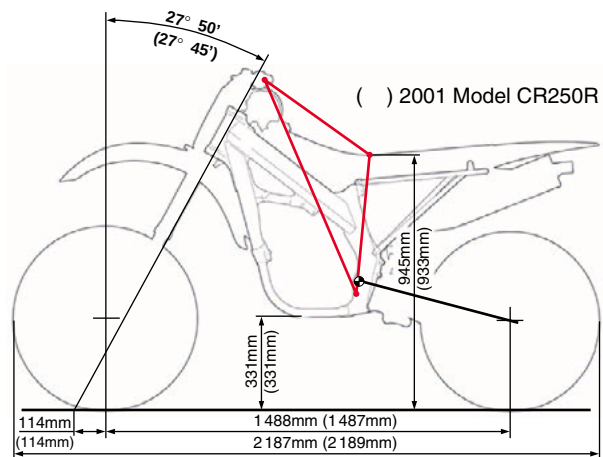


Fig. 22 Geometric dimension of CRF450R



Fig. 23 External view of frame



Fig. 24 Forging aluminum steering head pipe

6. 足回り

モトクロスは不整地を走ったり、ジャンプしたりすることからサスペンション性能及びその強度耐久性が非常に重要である。常に性能面で足回りに求められることは操縦性、安定性、および走破性の向上であり、達成手段の一つとして、軽量化と高剛性化が継続的に実施されている。

一般的に、4ストロークエンジンを搭載した場合、高いトラクション特性と大きいエンジン質量によりサスペンションのばね定数が高くなり足回り質量は増加する。しかし、CRF450Rの足回りは剛性と強度の最適化でCR250Rに対して1260gの軽量化が実現でき、45.8kgという2ストロークワークスモトクロス並の質量が達成できた。

6.1. リヤサスペンション

リヤサスペンションはスイングアーム式で315mmのアクスルストロークを持っている。ショックアブソーバは50mmのピストン径を持つ分離加圧式で車体のほぼ中央に1本配置されている。圧縮側の低速と高速減衰力を個々に調整できるアジャスタ、および伸び側の減衰力を調整できるアジャスタを装備している。そのショックアブソーバはリンク機構を介してスイングアームに取り付けられている。このリンク機構はプロリンク(PRO-LINK)と呼ばれ、アクスルの変化量に対しプログレッシブにショックアブソーバのストローク量を変化させる。このプロリンクは各軸部の低荷重設計とリンクレシオの最適化が図られており、優れた乗り心地と走破性が得られている。グランドクリアランス確保、及びリヤキャリアの低位置配置と軽量化を達成するため、スイングアームの形状は上下方向に非対称なテーパ形状としている。Fig. 25にリヤサスペンションのレイアウトを示す。

6.1.1. スイングアーム

スイングアームは、ねじり剛性、横剛性の向上と軽量化を目標とした。その構造には、前部分に設計自由度が高く耐久性があるアルミニウム鋳造材AC4CH-T6を用い、後部分に引張り強度380MPa級の角スウェージ製法で加工されたテーパチューブを使用した。目標の剛性を最小の質量で達成するように、CAEによる剛性と質量計算を繰り返し行った。これにより、スイングアーム各部の肉厚の最適化とリブの適正配置によりCR250Rに対して、ねじり剛性を15%、

横剛性を4%向上させ200gの軽量化を実現した。その結果、設計効率を示す値である質量-剛性比で18%の向上を達成した。スイングアームの外観をFig. 26に示す。

6.2. フロントサスペンション

フロントサスペンションは305mmのアクスルストロークのテレスコピック式で、フロントフォークは47mmのインナチューブ径の倒立式である。そのフロントフォークに内蔵された低フリクション分離加圧式ショックアブソーバには圧縮側、伸び側ともに減衰力が調整できるアジャスタを装備している。フロントフォークは、ボルト、ナット、ダンパロッド、スプリングの材料、およびねじのかかり代などを見直した。その結果、ばね定数が高くなったにもかかわらずCR250Rに対して300gの軽量化を達成した。Fig. 27にフロントフォークの構造を示す。



Fig. 25 Structure of rear suspension



Fig. 26 External view of swing arm

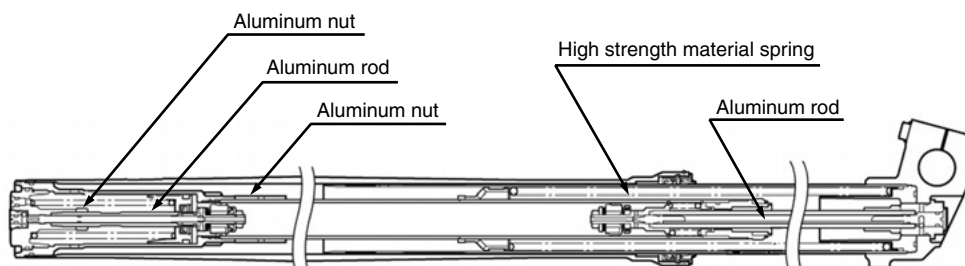


Fig. 27 Structure of front fork

6.3. ブレーキ

前後独立したブレーキには、ともにディスクの直径が240mmの油圧式ディスクブレーキを採用している。それらのキャリパボデーとキャリパブラケットは、ばね下部品なのでアルミニウム鋳造製の軽量なものを採用している。フロントブレーキにはアルミニウムのピストンを用いた2ポットキャリパを、リアブレーキには新設計の1ポットキャリパを採用している。

6.3.1. リヤブレーキシステム

ブレーキシステムには、整備性の向上と軽量化を目標にするとともに、4ストロークエンジン特有の二つの設計上の課題があった。

- ・ 2ストロークエンジンに比べリヤキャリパ上方に配置されたサイレンサに大きな容量が必要であるため、サイレンサの断面をより大きくする必要があった。しかし、リヤサスペンションの全ストローク時にサイレンサとキャリパとのクリアランスが確保できず断面をより大きくすることが困難であった。
- ・ 4ストロークエンジンのエキゾーストパイプの温度は2ストロークエンジンに比べて高いので、マスタシリンダに付属するブレーキ液サブタンクの配置及びマスタシリンダとサブタンクをつなぐ配管が非常に困難であった。

これを解決するため、コンパクトなピストン径22.65mmのキャリパと、シリンダ径 9.52mm で超小型リザーバタンク一体のマスタシリンダを開発した。キャリパのピストン径を22.65mmとすることでキャリパの小型化が可能となったばかりでなく、パッド磨耗時のブレーキ液補填量を少なくできるのでリザーバタンク容量を減らすことが可能となり、リザーバタンクのレイアウト自由度が大幅に向上した。その結果、キャリパの小型化、低位置化が可能となり、サイレンサ径を XR400R に対して 25mm 大きくすることができた。さらに、ディスクカバーやキャリパガードなどのプロテクトパーツも、よりコンパクトなものにしたことでリヤブレーキシステム全体で 300g の軽量化を達成した。キャリパとマスタシリンダの従来品(CR250R 用)と開発品の外観比較を Fig. 28 に示す。

6.4. ホイール

オフロード車は一般的に剛性、強度、質量面からスポーク構造のホイールを採用している。

ホイールのスポークニップルには、前後ともに超ジュラルミンニップルを採用した。従来のSWCH材に対し前後ホイール合わせて 180g の軽量化を図った。

リムには軽量、円環強度、フランジ開き強度、スポーク穴強度、応力腐食割れタフネスが求められる。特に走行中、リムが石などに激しくあたった場合などにリムが開き方向

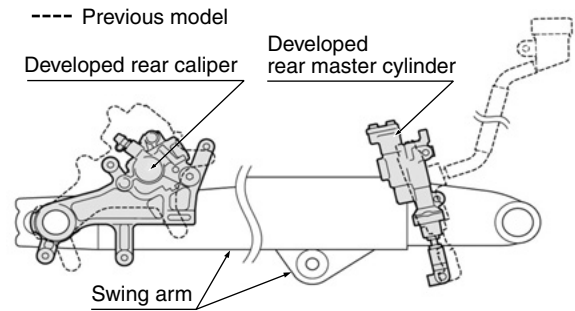


Fig. 28 Developed rear caliper and master cylinder

に永久変形するフランジ開き強度を向上することが軽量化のポイントであった。リムの材料には、従来から 520MPa 級の Al-Zn-Mg-Cu 系の高強度材料が使われていたため、材料による改良はこれ以上望めなかった。そこで、ワークスモトクロッサ用に研究していた JIS に規定されていないリム断面をリヤホイールリムに適用した。その断面はリムのフランジ部角度を立てることでフランジに荷重が発生した際のモーメントを低く抑え、変形しにくくする形状になっている。このリムは、従来と同等の強度を有し 150g の軽量化を実現した。従来品と開発品のホイール断面の比較を Fig. 29 に示す。

リヤホイールハブはブレーキディスクの取り付けボルトサイズ、スポークの取り付け方法などを見直すことで 50g の軽量化を実現した。

7. その他の軽量化技術

7.1. チタンエキゾーストパイプ

エキゾーストパイプにはチタン材を採用することで従来材に対し約 400g の軽量化を達成した。Fig. 30 にエンジンに付設したエキゾーストパイプを示す。

7.2. エンジンカバー類

シリンダヘッドカバーとクラッチメンテナンスカバーにマグネシウム合金を採用した。

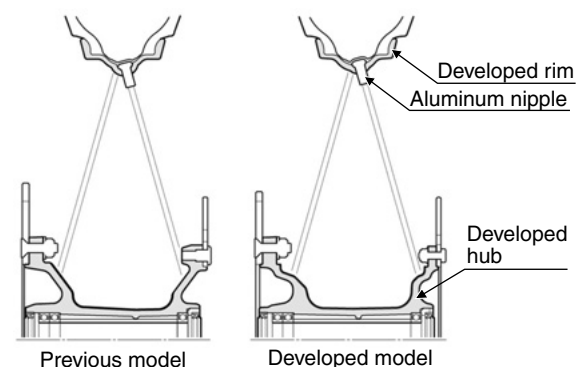


Fig. 29 Comparison of wheel structure



Fig. 30 External view of engine with titanium exhaust pipe

8. まとめ

CRF450R は4ストロークエンジンの扱いやすいトラクション特性を活かして、コンパクトで軽いエンジン、始動性の向上なども含め、車両質量102kg、最大出力41kW/9 000 r/min、最大トルク 49.8Nm/7 000r/min の性能を達成した。さらに環境を考慮したハイパフォーマンスのフラッグシップモトクロッサとして、オフロード車全体のイメージアップにつながる事が期待される。

参考文献

- (1) 工藤 修, 志村 康雄, 寺田 幸司, 犬丸 信明: 二輪車用密封式クランクケースシステムの開発, HONDA R&D Technical Review Vol.12, No.1, p.27-32 (2000)

■ 著 者 ■



星 紀夫



志村 康雄



大熊 孝則



野村 明史



後郷 和彦