

パワーとコントロール性を兼ね備えた新型フラッグシップ「Ninja ZX-14R」

Ninja ZX-14R – A New Flagship that Delivers both Power and Controllability



大島 健① Takeru Ohshima
有馬 久豊② Hisatoyo Arima
西口 宣志③ Nobuyuki Nishiguchi

「全てはパフォーマンスNo.1のために」をキーワードに、「至上最高のフラッグシップ」を目指して開発した「Ninja ZX-14R」(欧州仕様：ZZR1400)。圧倒的なパワーによる強烈な加速と、300km/hでも安定した走行が可能なモンスターマシンでありながら、日常走行でも驚くほど軽快な操縦性を誇る。本稿では、この「Ninja ZX-14R」の開発について紹介する。

The Ninja ZX-14R (ZZR1400 in Europe) was developed with the goal of creating Kawasaki's ultimate flagship model. Its engineers gave their all to take motorcycle performance to a whole new level. This monster of a machine delivers stunning acceleration with its overwhelming power while ensuring a stable ride even at 300km/h – it is also surprisingly easy to handle even in everyday riding situations. This paper gives a behind-the-scenes look at how the ZX-14R was developed.

まえがき

1990年発表の「ZZR1100」(北米仕様：ZX-11)から歴代フラッグシップを経て、2006年に発表した「ZZR1400」(北米仕様：ZX-14)は、その独創的なフレーム構造によるコンパクトなライディングポジションと、軽快なハンドリング、振動の少ないスムーズなエンジンにより、市場では高い評価を得た。しかし、常用回転域でのスロットルレスポンスの弱さなどから、完全に競合車を凌駕するまでには至らなかった。そのため、さらにパフォーマンスを向上させた「至上最高のフラッグシップ」をテーマに、「Ninja ZX-14R」(欧州仕様：ZZR1400)を開発した。



図1 イメージスケッチ
Fig.1 Conceptual sketch

1 コンセプトと特徴

(1) コンセプト

先代モデルの市場評価をZX-14Rの開発に活かすため、先代モデルのオーナーの意見を調査・分析し、設計方針を以下のように定めた。

- ・パフォーマンスNo.1を目指す。
- ・好評であった「独創的な外観デザイン」を進化させる(図1)。
- ・先代モデルの長所を伸ばし、弱点を徹底的に強化する。
- ・高級感や質感にこだわり、フラッグシップにふさわしい存在感を追求する。

さらに、オーナーの生の声として多く聞かれた「大きくて立派なバイク」という言葉も、重要なキーワードとした。

(2) 特徴

迫力あるスタイリングに卓越した性能を秘めたモンスターマシン。にもかかわらず、いざ跨ってみればコンパクトな乗車姿勢で、スポーツ走行やロングツーリングだけでなく、普段の足としても十分に使える扱いやすさ(図2)。この多様性が、ZX-14Rの本当の魅力である。

(i) 圧倒的なパワーを誇る新型エンジン(図3)

トルクを全域で底上げしたエンジンは、世界中のさまざまな仕様でいずれも余裕の200馬力を誇る。量産車そのままゼロヨン(0~400mの加速)：9.77秒を記録するモンスターマシンである。



図2 さまざまな場面での走行イメージ
Fig. 2 Various riding situations

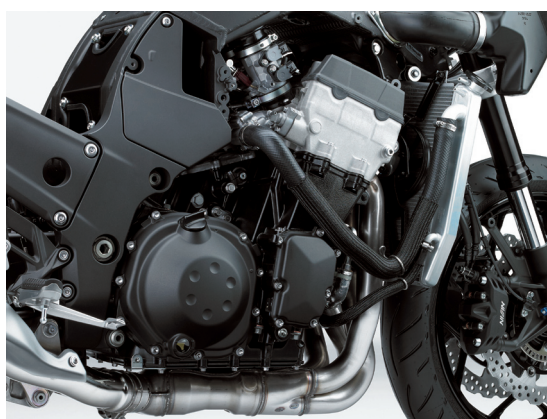


図3 200馬力新開発1,441cm³エンジン
Fig. 3 Newly developed 1,441cm³ engine with 200 PS

(ii) 運動性能に優れた独創的デザインの車体

フレーム剛性を見直しやホイールの軽量化により、「スーパースポーツモデルと見紛うほどの軽快さ」と例えられた先代モデルを越える軽快なハンドリングを実現した。また、象徴とも言える4眼ヘッドライトを継承し、シャープエッジを配したカウリングは、外観上の迫力と存在感を増しただけでなく、風防性能や排熱性も向上させた。ボリュームアップしたリア周りの迫力はフラッグシップにふさわしい貫録を誇る。

(iii) コントロール性を向上させる先進制御

公道走行に最適化したトラクションコントロール「KTRC」(Kawasaki TRaction Control)を装備し、怒涛の大出力を使ったスポーツ走行から、一面砂利だらけの未舗装路までライダーのスロットル操作をアシスト。エンジン出力モード切替と併用すれば、強大なエンジンパワーを臆することなく使い切る走行を楽しめる。

2 エンジン関連技術

先代モデルの弱点であった「低速のトルク」を補強し、強みであった「中高域の加速」をさらに強化するため、排

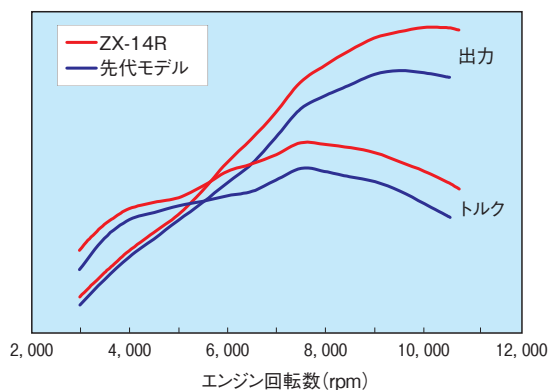


図4 エンジン性能
Fig. 4 Engine performance

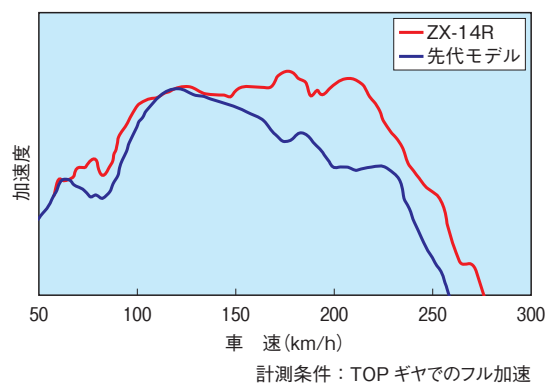


図5 加速性能
Fig. 5 Acceleration performance

気量を1,441cm³に拡大した。しかし、エンジン本体が大きくなると、車体ホイールベースも拡大し、車体運動性能が悪化する。そこで、クランクシャフトとトランスミッションの軸間距離が拡大しない範囲でピストンストロークを可能な限り大きくした。これにより、車体前後方向のエンジンサイズを変えずに、出力とトルクが大幅に向上し、開発目標とした「圧倒的なエンジンパフォーマンス」を達成できた(図4, 図5)。このために行った主な変更・改良について紹介する。

(1) エンジン本体

(i) 圧縮比, 吸排気ポート

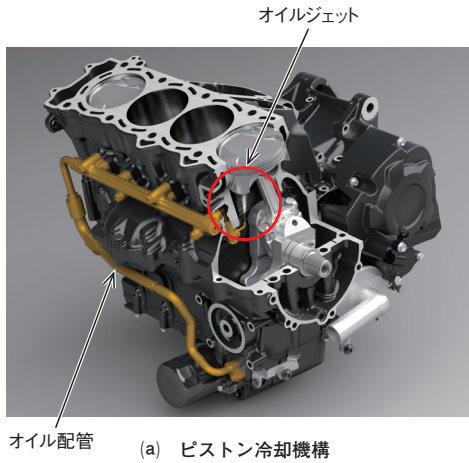
シリンダヘッドとピストンにより形成される燃焼室形状を変更することにより圧縮比を12.0から12.3とし、燃焼効率を向上させた。さらに、シリンダヘッドの吸気ポート内面の磨き仕上げの追加、排気ポートの拡大、吸排気バルブのリフトアップにより吸入空気量を増大させた。

(ii) 動弁系

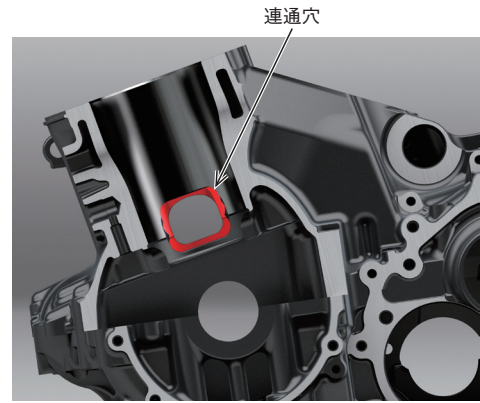
吸排気バルブのリフトアップに伴い、バルブスプリングにかかる応力が増大する。そこで、スプリングの耐久性を確保するため、応力解析でスプリング諸元を最適化した。

(iii) ピストン冷却機構

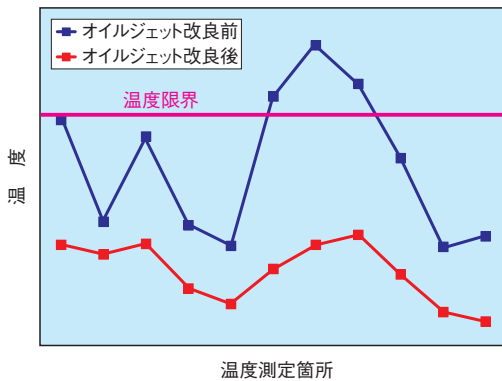
エンジン出力が向上すると発熱量も増えるため、ピスト



オイル配管 (a) ピストン冷却機構

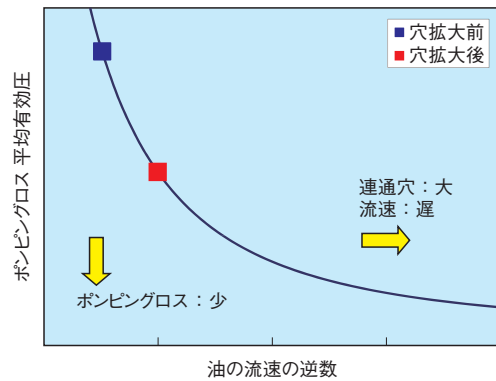


(a) シリンダ下部の連通穴



(b) オイルジェットによるピストン各部の温度

図6 オイルジェットによるピストンの冷却
Fig. 6 Oil-jet piston cooling system



(b) 連通穴による油の流速とポンピングロスの関係

図7 ポンピングロスの低減
Fig. 7 Minimizing pumping loss

ン温度が上昇して強度が低下する。そこで、温度上昇を抑えるために、ピストン裏側にオイルを直接噴射するオイルジェット(図6(a))を設けた。このオイルジェットにより、ピストンが上下運動しても、ピストン裏の適切な部分に常にオイルを噴射できる。

また、エンジン各部の油圧・油量が適切になるよう、オイル配管の径やオイルジェットのノズル径を油圧解析で最適化した。

この結果、ZX-14Rは先代モデルに比べてエンジン発熱量が増加したにもかかわらず、ピストン温度を数十度も低下させ、耐久性を確保するための温度限界を満たした(図6(b))。さらに、応力解析でも耐久性を確認している。

(iv) ポンピングロスの低減

ピストンが上下運動することにより、ピストン下部の圧力が変動しポンピングロス(吸排気損失)が発生する。シリンダ下部の連通穴(図7(a))で圧力を逃がすことができるが、穴を拡大するほどポンピングロスを抑制できる反面、シリンダの耐久性は低下する。そこで、連通穴の大きさ・油の流速とポンピングロス平均有効圧の関係を解析で求めた(図7(b))。さらに、連通穴周りの応力解析で、応力の上昇が少なく、かつポンピングロスを抑制できる連通穴形状とした。これにより、先代モデルに比べてポンピングロスを低減できた。

(v) 油圧チェーンテンションナ

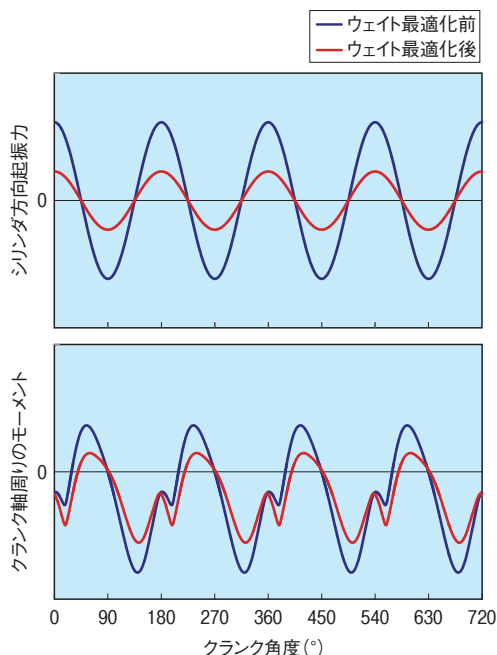
吸排気バルブをリフトアップすると、カムチェーンの振幅(バタツキ)が大きくなり、カムチェーンにかかる荷重も増え、かみ合い音も大きくなる。ZX-14Rでは、油圧チェーンテンションナの方式を変更し、テンションナのリーク隙間やリリーフバルブ開弁圧を最適化した。その結果、カムチェーンにかかる荷重、およびカムチェーンの振幅を抑制できた。また、軸方向隙間(プランジャのバックラッシュ)を調整することで、カムチェーンの振幅が小さくなり、特にエンジン始動時の騒音を大幅に低減できた。

(vi) バランサウエイトの最適化

4気筒エンジンでは、ピストンの上下運動、クランクシャフトの回転運動により発生するエンジン回転数の1次の起振力、モーメントは打ち消される。一方、ピストンの上下運動、燃焼圧により発生するエンジン回転数の2次の起振力、モーメントは残る。先代モデルでは、これらを抑制するため2軸2次バランサ(図8(a))を採用したが、ZX-14Rでピストンストロークを変更したため、振動特性も必然的に変わる。そこで、これらの起振力、モーメントが最小となるよう、バランサウエイトを解析で最適化した(図8(b))。これにより、排気量を大きくしたにもかかわらず振動を抑制し、先代モデルで好評だった低振動を維持することができた。



(a) 2軸2次バランサ



(b) バランサウェイト最適化の効果

図8 2軸2次バランサによる振動抑制
Fig.8 Vibration damping through dual-shaft secondary balancers

(2) 吸気系

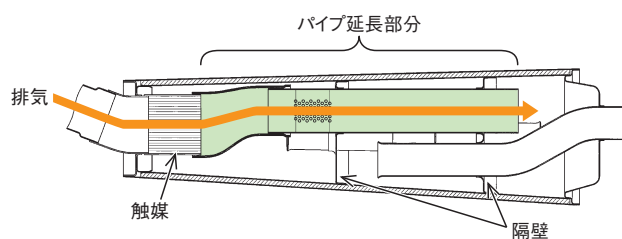
エンジン吸気通路の抵抗を可能な限り小さくするため、エアクリーナエレメントの保持構造を見直した。吸気通路面積を拡大し、部品点数を削減すると同時に、構造部材としても機能させたことで、フレーム剛性の向上にも寄与している。また、フィルタの設置方法の改良により、有効ろ過面積を拡大させ、エレメントの通気抵抗を60%低減した。

(3) 排気系 (マフラー)

市場調査で本モデルのユーザー層は「大きくて立派なバイク」を重要なステータスとしていることが分かっていたため、図9(a)のように「存在感のあるリア形状デザイン」の演出の一環として大容量マフラーを採用した。これにより、マフラー内部のパイプ延長(図9(b))などの自由度が確保でき、出力向上と騒音規制対応を両立した。他にも、エキゾーストパイプ集合部の形状変更、仕切りの追加などにより、中低速トルクを向上させた。



(a) リア形状デザイン



(b) マフラーの内部構造

図9 大容量マフラー
Fig.9 Large-capacity muffler

3 車体関連技術

(1) フレーム剛性の向上

フレームの基本構成は先代モデルを継承しながら、エンジンパワーの増大に対応し、さらにスポーツ性の高い軽快なハンドリングを確保する必要があった。そこで、メインフレームの縦曲げ剛性とねじれ剛性を高めるために、構成部品の多くを変更した。アルミニウムモノコックフレームの変更部を図10に示す。

- ① ヘッドパイプ底面の板厚を変更し、さらにエアクリーナの取付構造変更に合わせて内部形状を見直し、剛性を確保した。



図10 アルミニウムモノコックフレームの変更部
Fig.10 Modified components of the aluminum monocoque frame

- ② バッテリーボックス部の後部開口部の蓋を樹脂製カバーからアルミ製補強プレートに変更し、クロスメンバーとして機能させた。
- ③ スウィングアームブラケットの高真空ダイキャスト部品を内製化することにより、コストダウンを計りつつ形状を見直し、車体剛性を適正化した。

(2) ホイール軽量化

加減速時の慣性重量・ジャイロ効果の低減につながるホイールの軽量化は、車体の運動性能向上に大きく寄与する。また、バネ下重量が軽減されるため、サスペンション性能の向上にもつながり、車両設計上の重要要素である。

ホイールを軽量化するため、開発初期のスタイリングデザインと並行して強度解析を行った。必要な剛性を保ちつつ、応力集中のない形状となるようにデザインに修正を加え、修正後のデザイン形状で再解析するという手法を繰り返した（図11）。

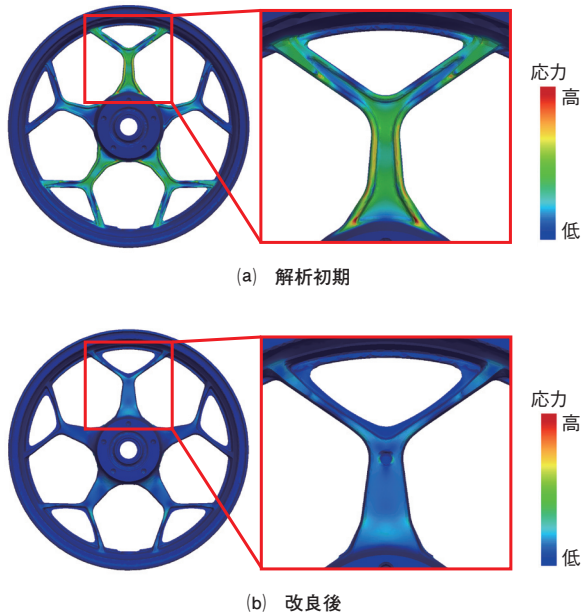


図11 ホイール強度解析
Fig.11 Wheel strength analysis

返した（図11）。強度と軽量化を限界まで追求した結果、先代モデルと同等の強度を確保した上で、前輪は360g、後輪は1,030gの軽量化を達成した。

(3) エアロダイナミクスとデザインの両立

ZX-14Rは、300km/hの走行を余裕でこなすポテンシャルを持つ。また、歴代モデルは空力特性と共に風防性能も称賛されてきた。高い空力・風防性能とフラッグシップにふさわしい迫力あるデザインを両立させるため、スタイリングデザインの早い段階から、風洞試験を実施した（図12）。

(4) エンジン熱害対策

大排気量エンジンのため、走行中・停止中に関わらず、エンジンから排出される熱によるライダーへの弊害（熱害）対策が重要となる。そのため、モックアップ制作前からエンジン排熱の影響を解析で確認した（図13）。

さらに、モックアップ形状の決定後は、試験車両でエンジン排熱の流れを徹底して追究した。走行中・停止中など数々の条件で、エンジン排熱がライダーの体に触れて不快感を与えないように、サイドカウル側面の開口部形状やカウル内部の隔壁を改良し、快適性を向上させた（図14）。

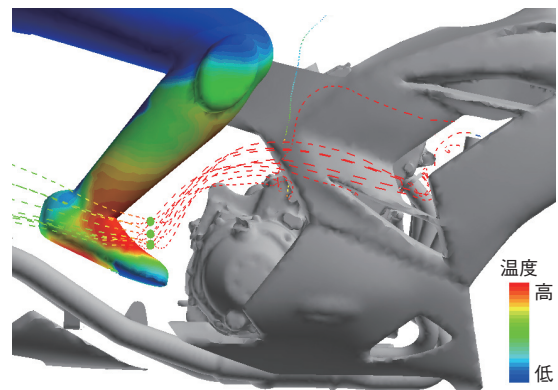


図13 エンジン排熱流の解析
Fig.13 Analysis of engine waste heat flow

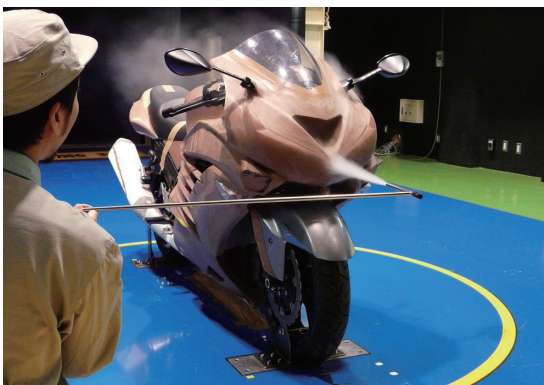
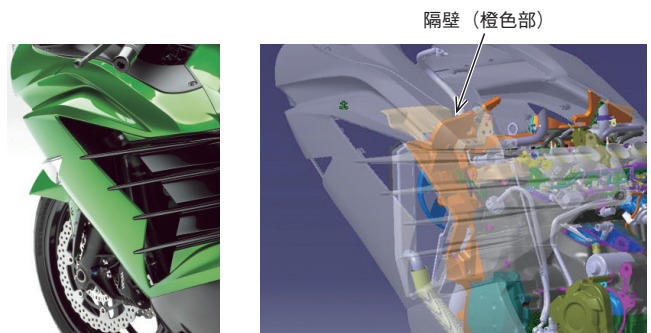


図12 風洞試験状況
Fig.12 Wind tunnel test



(a) サイドカウルの外観 (b) サイドカウル内部の構造

図14 サイドカウルと内部の隔壁構造
Fig.14 Side cowl and internal bulkhead structure

(5) マルチファンクション・スイッチ

昨今のモーターサイクルでは、各種電子制御フィーチャーの採用が進んでいる。このような動向から、機能ごとに多数のスイッチを搭載せず、機能選択と設定調整を一体化した多機能スイッチを開発し、ハンドルから手を離すことなく複数の機能操作を可能とした。また、本スイッチに、瞬間／平均燃費、推定残航続距離などのメーター表示切替機能も共有させることにより、利便性も向上させている。

4 制御関連技術

(1) トラクションコントロール (KTRC)

トラクションコントロールは、前後車輪速度やスロットル開度などの各種情報から、走行状況に応じた最適なタイヤスリップ量となるように点火や空気量を制御するシステムである。

当社は、2010年発表の「1400GTR」(北米仕様: Concorse14)で、滑りやすい路面での空転を抑制するトラクションコントロール「KTRC」を発表し、続く2011年に「Ninja ZX-10R」にてサーキットでのスポーツ走行に最適化した「S-KTRC」(Sport-KTRC)を発表している。

公道走行を前提とするZX-14Rでは、この異なるコンセプトの2つのトラクションコントロールを統合して搭載した。乾いた路面で最大のスポーツ性能を引き出すモード、雨天などの舗装路面での走行に適したモード、公道で時折遭遇する滑りやすい未舗装路を前提としたモードを装備し、簡単な切替操作で多様な状況に対応できるシステムとした。

(2) ブレーキシステム (ABS : Anti-lock Brake System)

先代モデルでは、より滑りやすい路面での安定性を重視した設定としていた。その後、ユーザーの実際の利用状況の把握が進み、凹凸を含む路面での制動性能向上へのニーズが高いことが判明した。これに対して、先代モデルの滑りやすい路面でのABS性能は維持しつつ、凹凸路面での性能を向上させた。凹凸路面での減速率は、従来比でフロントブレーキ操作のみで12%、フロント・リアの両方のブレーキ操作で16%向上している。

(3) 環境性能

(i) 排ガス性能

アイドル回転数を一定に保ち、外気温や標高による調整を不要とするために、アイドルスピードコントロールバルブ (ISCV) を新規に採用した。この機構を利用して、スロットル全開での減速中に燃焼室へ酸素を供給し、未燃ガスの燃焼を促進させた。これにより、エンジン出力低下の

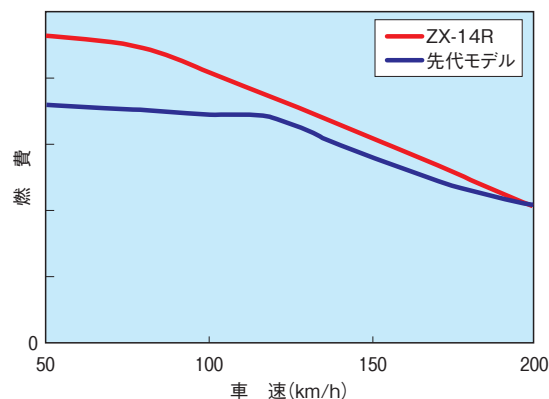


図15 定地走行燃費

Fig.15 Fuel consumption at cruising speed

要因となる触媒の容量増加を最小限に抑制しつつ、排ガス規制に適合させることができた。

(ii) 燃費

点火時期を従来よりもMBT (Minimum advance for Best Torque) 側に進角 (点火時期を早める) させ、燃料噴射量を最適化した結果、減速比を加速側にシフトさせたにもかかわらず、定地走行燃費を120km/h以下で大幅に改善することができた (図15)。

あとがき

本稿では、「Ninja ZX-14R」の開発概要について述べた。上記以外にもフラッグシップにふさわしい外観とするため、細部の質感や高級感の演出にもこだわり、世界中のカワサキファンの期待に応えられるモーターサイクルに仕上げた。性能スペック、実際の操縦性、外観の貫禄、存在感、いずれをとっても、「至上最高のフラッグシップ」と言えるマシンである。

参考文献

- 1) H. Arisawa, M. Nishimura, H. Watanabe, A. Ueshima, K. Arima, A. Yamasaki : "Study on Similarity of Pumping Flow in Engine Crankcase," SAE, No. 2009-32-0051 (2009)



大島 健



有馬 久豊



西口 宣志