

安永 稔之 平野 啓典 矢野 真介 都丸 雄吾 佐川 勇輝 渡邊 隆志 藤原 英樹



YZF-R1



YZF-R1M

Abstract

It was 1998 when the first YZF-R1 was released. Powered by a high-output engine housed in a compact frame, it was developed based on the concept of being “the fastest on secondary roads.” 17 years on, the 2015 YZF-R1 has been completely refreshed. This eighth-generation model will take on the circuits – it will become a “vehicle to dominate the competition.”

1 はじめに

コンパクトな車両にハイパワーエンジンを搭載し「セカンダリーロード最速」をコンセプトとした初代 YZF-R1 が誕生したのは 1998 年である。あれから 17 年、3 度目のフルモデルチェンジを受けた 2015 年型 YZF-R1（以下、本モデル）は、主戦場をサーキットとし「競争で勝つための車」として完全に刷新された。

2 開発のねらい

最高出力クラス No.1、クラス最軽量ボディを根幹とし、ハードブレーキングを伴うコーナの進入で、ライバルよりも前に出られる特性とハンドリングの自由度を持ち合わせ、コーナの脱出においてライバルよりも早いタイミングでスロットルを開けることのできる車両を目指した。

基本的な作り込みは従来どおりヤマハテストコースで実施したが、パフォーマンスの成熟度確認はスポーツランド SUGO を主としたサーキットで実施した。

3 開発の取り組み

3-1. デザイン

本モデルは、新たに設定されたヤマハデザインフィロソフィ「Art & Alive」のもと、次世代 R シリーズを牽引するデザインを目指した。デザインコンセプトを、「The Speed Racer」とし、スピードを形で表現することを徹底的に追及した。その中で重要視した点は①コーナリングで速そうに見える。②一目で Wow! と言われる新規性。③顔とテールでヤマハの独自性を表現する。の 3 点である。

デザイン開発工程の中では、デザインディレクタとデザイナーとの事前議論をはじめ、いくつものアイデア展開を行い、世界中の関係者との議論に加え、新たな試みとして CG やムービーを使った定性・定量的な調査手法によるデザイン検証の実施等、今までの取り組みとは違う手法を多く取り入れ、ヤマハが伝えたいメッセージを最も表現したデザインを作り上げた。

モノづくり工程においては、3D イメージモデルを製作することにより、デザインで達成すべき目標をより明確にプロジェクトメンバーと共有した結果、イメージモデルと見た目の印象がほぼ同等の量産車両を作り上げることができた。

また、デザインと性能を両立させるために早期から設計・

実験等の開発部門と密に連携をとった。その結果、側面投影面積最小シルエット(ミニマムカウル・コンパクトシェイプ)や空気に優れたレイヤ構造サイドパネル、YZR-M1を想起させるフェイス周り(ヒデアンアイヘッドライトやエアインテーク)、コーナリング出口で支えが効き、トラクションを得やすい幅の広いシート等マシンの性能を向上させる技術や今までに無いデザインを具現化することができた。

次にカラーリングであるが、ヤマハレーシングイメージを象徴するブルー仕様においては、レーシングブルーとシルバーとのコンビネーションを採用し新世代感を打ち出した。ハイテク感を表現するブラック仕様では新表現として、赤のアルマイトディスクインナーやリムグラフィック等を採用した。また、ヤマハらしいインパクトを狙ったレッド/ホワイト仕様も用意した。

さらにYZF-R1M(以下、M仕様)では日本から発信する技術の象徴として、カーボン素地を大胆に見せる手法やアルミ素地を活かした仕上げのタンクおよびスイングアームに加え、新色の金属調シルバーを採用するなど従来のプロダクションには無い技術にチャレンジした。

なお、今回のプロジェクトをきっかけにRシリーズ総てのロゴを刷新した。

3-2. エンジン

サーキットでの“競争で勝つ”ため、現行モデルに対して大幅な出力向上と軽量化を狙ったクロスプレーン型クランクシャフト搭載水冷4ストローク直列4気筒エンジン(CP4)を新作した(図1)。モトGPを主とするレーシングマシンのノウハウを取り入れ、先行開発による最新技術を取り込んだ。



図1 エンジン外観

3-2-1. 出力向上

最高出力回転数アップと図示平均有効圧力(IMEP)の増加、および後述するロス馬力低減により出力向上を図った。最高出力回転数は現行モデルに対し $1,000\text{min}^{-1}$ 引き上げた。IMEP増加の具体的施策として、圧縮比を現行の12.7から13.0とし、吸気バルブ径を $\phi 31$ から $\phi 33$ とした。さらに吸気ポートのバルブシート内側に斜め加工を施し、吸入空気量の確保と筒内流動の強化を両立した。また、筒内流動の強化に加え燃焼室形状の見直しにより燃焼を改善した。バルブレイアウトおよび平均ピストンスピードを考慮し、ボア $\phi 79$ 、ストローク50.9mmとした。バルブタイミングおよび吸気の等価管長の最適化による慣性過給の活用、排気圧力の低減等の施策を織り込み、最高出力はクラスNo.1の147.1kWを達成した。

3-2-2. ロス馬力低減

クランクシャフトのジャーナル軸受けからのオイルリーク量を減らし攪拌ロスを低減するため、大端給油方式にセンター給油方式を採用した。また、オイルパンを深底化し油面を下げることによって、ピストン往復運動によるポンピングロスと回転物接触による攪拌ロスを同時に低減した。ピストンリング張力低減等のメカニカルロス低減策と併せ、現行モデル比でロス馬力を16%低減した(図2)。

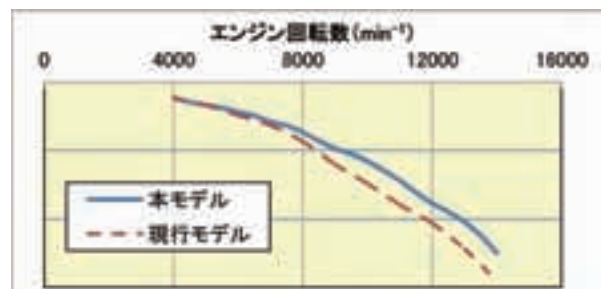


図2 ロス馬力比較

3-2-3. FSチタンコンロッド

軽量化と高回転化に対応するため、FS(Fracture Splitting)チタンコンロッドを採用した(図3)。強度と生産性を両立するため、 $\alpha - \beta$ チタン合金を採用し世界初となるFS化を実現した。小端内径はCrN処理を施すことで、ブッシュレスとしている。チタン化により現行モデルの鋼製に対し4本で270gの軽量化を実現した。コンロッドの軽量化によりクランクシャフトの軽量化も可能となる。慣性モーメントの変更を含め、現行モデルに対しクランクシャフト単体で1,006gの軽量化を実現した。



図3 FSチタンコンロッド

3-2-4. 動弁系

必要なバルブリフトを確保した上で高回転化するためには動弁系の等価質量低減が不可欠である。フィンガーロッカー式構造を採用することで従来のリフター式構造に対して等価質量を約20%低減した。高回転における信頼性確保のため、ロッカーアームには優れた耐摩耗性を持つDLCコーティングを施した。

3-2-5. 軽量&コンパクト

軽量かつコンパクトなエンジンとするため、バルンサーシャフトやカムチェーン、補器類等、全体レイアウトを見直した。現行モデルに対してボアを1mm拡大したが、エンジン全幅は34mm短縮した。

前述のクランクシャフトのような鉄部品の軽量化はエンジン全体の軽量化の常套手段である。トランスミッションは総てのギヤにショットピーニング処理を施すことで強度を確保しつつ、歯幅を減少させた。また凹ドックを有するギヤは従来の袋型ドックから貫通ドックとすることで軽量化した。カムシャフトは内外径を見直し薄肉化することで、必要な剛性を確保しつつ軽量化を実現した。

アルミ大物部品であるクランクケースは、過去の実績を踏襲した各部の肉厚設定を止め、基本肉厚で設計・解析し、強度が不足している部分の肉厚を増すという手法を実践することで軽量化を実現した。

さらに材料置換では、例えばオイルパンをアルミニウムからマグネシウムに、カバーの締付けボルトを鉄からアルミニウムに、冷却水配管を樹脂およびアルミニウムにした。

これらの施策を織り込むことで、現行モデルに対しエンジン本体で9%の軽量化を実現した(表1)。

表1 主な軽量化アイテムと一台あたりの質量

(g)			
部品	現行モデル	本モデル	質量差
コンロッド	1352	1082	-270
クランクシャフト	8943	7937	-1006
バルンサーシャフト	1570	1368	-202
ヘッドシリンダ	7894	7272	-622
カムシャフト	2167	1827	-340
ピストン	742	708	-34
クラッチ	4884	4203	-681
トランスミッション	6178	5724	-454
クランクケース	12530	11545	-985
オイルパン	846	488	-358
カバー締付ボルト	293	113	-180
冷却水配管	1219	657	-562

3-3. シャシ

ターゲットシーンの軸足をサーキットへシフトし、“競争で勝つ”ため、以下のコンセプトを掲げた。

「車両との格闘を減らし、その分コーナやライバルに集中できる環境を創出する。」

このコンセプトを達成するため、車体は以下の思想で設計した。

- コンパクトな車両としての運動性能向上
- 高速ブレーキ安定性とハンドリング軽快性の両立を達成できる剛性バランスの取れた基本骨格の実現
- 大幅な軽量化によるワンランク上の操縦応答性の実現とライン自由度の確保・サーキット走行を想定した空力特性の向上
- 絶対効力よりもコントロール性を重視したブレーキシステムの採用

3-3-1. 諸元

コンパクトな車体の実現のために不可欠なホイールベースは、様々な部品レイアウトの工夫により従来比-10mmとなる1,405mmとした。部品の機能統合等による部品削減や1点1点の部品仕様精査により完成車装備質量は199kgと、ABSを新規採用しながら従来モデルに対し車両トータルとして7kgの軽量化を達成した。

3-3-2. 骨格

レース車の剛性値をベンチマークに、しかし、ただ悪戯に剛性値をあげるのではなく本車両の諸元に合わせて剛性のバランス取りを行った(図4)。机上の数値(デジタル)とライダーの感性(アナログ)の高精度なレベル合わせにより、目指す操安性を具現化した。



図4 フレーム

3-3-3. マグネシウムホイール

「バネ下の軽量化」は運動性能向上の基本となるが、本モデルではブレーキディスク大型化による質量増への解決策という観点を含め、マグネシウムホイール(図5)を採用した。それにより、従来モデルに対しフロント単品で530gの軽量化と4%の慣性モーメントを低減し、運動性能向上に寄与している。また、リア単品では340gの軽量化と、11%の慣性モーメント低減を実現した。



図5 マグネシウムホイール

3-3-4. アルミニウム燃料タンク

車体軽量化部品の要としてアルミニウム燃料タンク(図6)を採用することで、スチール比(現行モデル比)で1.6kgの軽量化を実現した。本タンクは、高精度にプレス成型されたアル

ミ板をCMT(Cold Metal Transfer)溶接法により接合している。M仕様については、このアルミの素材感を最大限引き出すため、ひとつずつバフ職人による手仕上げを行った後、クリヤ塗装を施している。



図6 アルミニウム燃料タンク

3-3-5. サスペンション

開発の初期段階からサプライヤーであるKYB社にチームの一員として加わっていただき、質量を含めた高い目標に取り組んでいただいた。

フロントフォークは、嵌合方式の変更等による軽量化およびピストン大径化等による性能向上を行った。剛性バランスや大径フロントアクスルとの相乗効果で、良好な減衰感とフロント接地感を実現した。

リアサスペンションは、ボトムリンク式サスペンションを採用した。mm単位で選定したピボット位置やリンクレバー比とのバランスで、良好なリア接地感確保と駆動力伝達に貢献する設計とした。

M仕様にはサーキットにおいてさらなる戦闘力を与えるべく、OHLINS社製電子制御サスペンションを前後に採用した。

3-3-6. ブレーキシステム

本モデルではサーキットでの使用という観点で、単に絶対的な制動力を追い求めるのではなく、「コントロール性」に着目した。ハードブレーキングを繰り返すような熱付加の高い状態においても安定したコントロール性を確保するため、従来モデルに対しフロントブレーキはφ320ヘディスクを大型化し、ホースのステンメッシュ化、マスターシリンダ部のレバー比変更に加え、適切な摩擦材のパッド選定を行った。

3-3-7. カーボン外装

M仕様における軽量化と外観商品性向上を目的とし、一部の外装部品にカーボンを採用した。軽量化の効果は約300gである。仕上げをクリア塗装としカーボン目を見せることで、リアルカーボンならではの凄みと高級感を表現した。

3-3-8. 空力性能向上

側面におけるカウル面積を従来モデルに対し小型化しながら、現行比で8%の空気抵抗低減を実現した。

スクリーンは、CFD解析および実モデルを用いた風洞での作り込みにより、サーキットでの超高速域においてライダーが受ける走行風の影響を、最小限に抑える形状とした。

3-4. 電装全般

軽量化(=低電力)、第一印象(=光のデザイン)、自然体(=デジタルによるアナログ表現)をキーワードとし、主要コンポーネント部品を新規設計した。システム全体の消費電力は従来比で約20%低減した。

3-4-1. 灯火器

ヘッドライトに世界初のアウターレンズ無しモノフォーカス式LEDヘッドライトを採用した。消灯時はヘッドライトの存在を感じさせず、点灯時にはレンズ全体が面発光する。消費電力は従来比で約25%まで低減した。

ポジションライトは内部に2本の導光体を採用することで、どの角度から見ても力強い均一な発光を可能にするとともに、一目で本モデルと判る、独創的な顔周りを実現した(図7)。



図7 灯火器

3-4-2. メータ

当社二輪車初のフルカラーTFT液晶(4.2inch)メータ(図8)を採用した。トップレンズと液晶面の間に透明樹脂を挿入するオプティカルボンディング技術を用いることによってレンズの反射光を従来比で約30%まで低減し、太陽光下でも優れた視認性を確保した。

デジタル表示は、最小単位のドット分解能で動作させることで、タコメータや加速度・ブレーキ圧表示において自然な動きを実現した。これによりライダーが車両状況を連続した動きとして認識することを可能とした。

画面背景は「ホワイト」または「ブラック」が選択可能であり、メータに内蔵された照度センサにより自動での切替が可能である。また輝度に関しても照度センサによる自動調光機能を有する。表示モードは、公道走行を主眼とした「Street」画面と、レースやサーキット走行を主眼とした「Track」画面を持ち、ユーザは走行状況に合わせた表示を選ぶことができる。

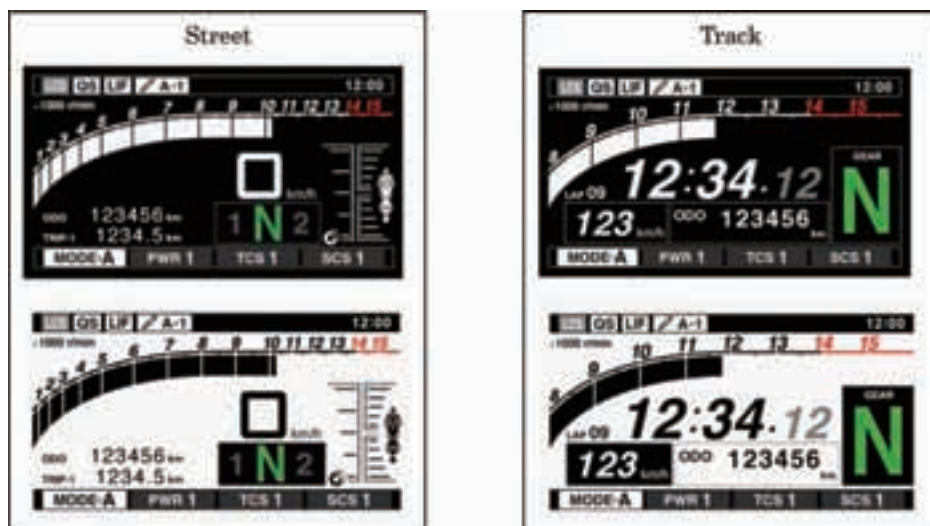


図8 メータ表示

3-4-3. ハンドルスイッチ

右ハンドルスイッチにホイール式スイッチを新規採用した。操作方法はマウスと同様、回転による「選択」とプッシュによる「決定」である。多機能を有する本モデルの設定を従来のようなプッシュ式スイッチで操作する場合、ライダーがスイッチを押す回数が増加し、セッティングに時間を要する。回転操作による「選択」の方式を採用することで、ライダーの操作負荷を飛躍的に軽減した。なお、スイッチボックスに収められたホイール式スイッチは当社二輪初採用である。



図9 IMU

3-4-4. CCU

車両走行データを記録する機能を持つCCU (Communication Control Unit)を当社として初めて採用した。CCUは、エンジン回転速度やスロットル開度、バンク角およびGPS情報等のデータを記録することが可能であり、そのデータは無線通信でタブレット端末へ転送することができる。記録したデータは専用のアプリケーションで解析することで、ライダーが自身のライディングを確認できるばかりではなく、ラップごとの比較や他のライダーのデータとの比較も可能である。

3-5. 車両制御

「High tech armed Pure sport」をコンセプトとする本モデルはそのコンセプトどおり、147.1kWという高出力を意のままにコントロールするための装備が必須であった。新規開発の6軸姿勢センサ (IMU) を搭載し、車両姿勢に相応する制御を行うことで、ライダーがマシンコントロールに必要とする労力を低減し、車両性能を容易に引き出しつつ「ライバルとの競争」に集中できるようにした。

3-5-1. IMU

市販二輪車では世界初となる6軸の「IMU」(Inertial Measurement Unit) (図9)を搭載した。IMUは、走行中の車両の「ピッチ」「ロール」「ヨー」各方向の動きを検出するジャイロセンサ (角速度センサ)、「前後」「上下」「左右」の各方向の加速度を検出するG センサ (加速度センサ)から構成される。各センサ信号および、車速センサ信号をもとに、32bit 浮動小数点演算機能搭載のCPUにより8ms (1秒間に125回)の高速演算を行う。また当社独自の二輪車運動モデルに基づいたセンサハイブリッド推定技術により、高精度なバンク角検出に加え、市販二輪車では初である後輪の横滑りの検出を可能とした。

3-5-2. ABS / UBS

運動性能の高いスーパースポーツに対応したABS (Antilock Brake System)を搭載した。従来の車輪速度情報だけでなく、ブレーキ圧力センサの情報を用いることでABS作動時の車両姿勢を安定させ、後輪の浮きを緩和させる。

また、通常ブレーキ時に、前後輪のブレーキ力配分を調整するUBS (Unified Brake System)を搭載した。ブレーキレバーを操作すると、前輪に加えて後輪にも自動的に制動力を発生させ、ブレーキ時の車両姿勢を安定させる。コーナリングの際には、IMUから得られる車両姿勢情報からバンク角を推定し、前後の制動力配分を適切に調整することで、車両のコントロール性を確保する。

3-5-3. TCS

加速時に後輪タイヤの駆動力を効率よく引き出すTCS (Traction Control System)を搭載した。従来モデルと同様の前後輪の車速差の検出に加えて、IMUで推定したバンク角の情報から、走行状況に応じてTCS介入度を最適に補正する制御を追加した。バンク角が深くなるのに伴いTCS介入度が増える。TCSはOFFを含め10モードを持つ。

3-5-4. SCS

IMUで推定されるリヤタイヤの横滑り情報をエンジン出力に反映するSCS (Slide Control System)を搭載した。SCSは、駆動力を最適に補正することで車両の挙動を安定させ、ライディングへの集中を支援する。また、TCSの機能をサポートし、より滑らかな走行性に貢献する。SCSはOFFを含め4モードを持つ。

3-5-5. LIF

発進および加速時の穏やかな車体挙動をもたらすLIF (Lift Control System)を搭載した。IMUの車両姿勢情報等から加速時の前輪リフト傾向を推定し、最適なエンジン出力に補正することで、ライダーの運転操作を支援する。LIFはOFFを含め4モードを持つ。

3-5-6. LCS

レース時のグリッドスタートにおける俊敏なスタートダッシュを支援するLCS(Launch Control System)を搭載した。LCSをONに設定すれば、アクセル全開でもエンジン回転出力は1万回転程度以下に抑えられ、TCS、LIFとの連動効果によりエンジン出力を最適にする。ライダーはアクセルを全開のままスタートできるため、クラッチミート操作と車体コントロールに集中することができ、スタート時の操作負荷軽減に貢献する。LCSはOFFを含め3モードを持つ。

3-5-7. QSS

シフトアップ時、クラッチ操作やアクセルを戻すことなくペダル操作のみで素早い変速を可能とするQSS(Quick Shift System)を搭載した。加速時のシフトアップ操作におけるライダーの操作負荷を軽減する。走行中の車両状態(エンジン回転数、スロットル開度、ギヤポジション)に応じエンジン出力をコントロールすることで、サーキットから一般路までの幅広い走行条件下において迅速かつスムーズな変速を実現した。QSSはOFFを含め3モードを持つ。

3-5-8. ERS

走行中の様々なシーンにおいて、自動でそれぞれ最適なサスペンションセッティングに制御するERS(Electronic Racing Suspension)をM仕様に搭載した。ERSは様々なセンサ情報(車速、ブレーキ液圧、バンク角、加速度)から走行シーン(ブレーキング、旋回、加速、高速走行)を判定する。前後サスペンションの圧側、伸側の減衰力を制御し、様々なシーンに適した特性(ノーズダイブ抑制、コーナへの進入し易さ、グリップ感や安定性向上等)に変化させる。モードはサーキット走行用に2つ、公道走行用に1つの計3モードがあり、サーキット走行用の2モードには微調整機能を備える。さらにそれぞれのモードで任意のサスペンションセッティングに固定して走行できるマニュアルモードを持つ。

3-5-9. YRC

前述した各種制御レベルを記憶するYRC(YAMAHA Ride Control)を採用した。MODE-A~Dの4モードを持ち、各制御のレベルを走行シチュエーションやライダー好みにより任意に変更して保存することが可能である(図10)。また、YRCモードを変えることで、全車両制御モードのレベルを瞬時に変更することが可能である。



図10 モードセレクト画面

4 おわりに

YZF-R1はヤマハ発動機に脈々と受け継がれる「チャレンジ精神」を体現するモデルであり、その時代における最新技術の集合体である。最新技術を量産車として昇華させるという高さすら想像できないハードルに、果敢にも挑戦した社内外のチャレンジャーたちによってYZF-R1は創り出される。そのポテンシャルはお客様の期待を超え、最高の瞬間を提供できるものと確信している。

“Revs your Heart”



■執筆者 (写真最前列)

安永 稔之 (右から2番目)

Toshiyuki Yasunaga

デザイン本部

製品デザイン部

平野 啓典 (右端)

Akinori Hirano

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

矢野 真介 (左から2番目)

Shinsuke Yano

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部

都丸 雄吾 (右から3番目)

Yuugo Tomaru

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第2エンジン開発部

佐川 勇輝

Yuuki Sagawa

エンジンユニット

エンジン開発統括部

第2エンジン開発部

渡邊 隆志 (左から3番目)

Takashi Watanabe

PF車両ユニット

コンポーネント統括部

電子システム開発部

藤原 英樹 (左端)

Hideki Fujiwara

PF車両ユニット

PF車両開発統括部

SP開発部