

ISSN 0387-7906

川崎重工技報

モーターサイクル&エンジン特集号



TECHNICAL REVIEW



Fun to Ride を 世界の人々へ



Kawasaki

【巻頭インタビュー】 カワサキブランドを世界の人々へ 1
 モーターサイクル&エンジン事業の近況と今後の展開 2
 顧客知見に基づく機種開発 4

特集記事

技術解説

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」 8
 Ninja ZX-14R - A New Flagship that Delivers both Power and Controllability

クラスを超越する世界戦略車「Ninja 250/300」 14
 Ninja 250/300 - A Strategic Global Model beyond Its Class

エキサイティングキャラクターを追求したスーパーネイキッド「Z1000」 18
 Z1000 - The Supernaked that Delivers the Ultimate Excitement

水上のスポーツ ジェットスキー®「ULTRA 300 シリーズ」 22
 A Supersport of Watercraft Jet Ski® ULTRA 300 Series

圧倒的パフォーマンスのモトクロス車「KX250F」 26
 Overwhelming Performance Motocrosser KX250F

開発のフロントローディングを実現する高度シミュレーション技術 30
 Advanced Simulation Technology that Enables Front-loading of Development

スケッチ段階での空力・冷却性能・快適性の作り込み 34
 Engineering Riding Comfort and Aerodynamic and Cooling Performance in the Sketching Stage

ライダーの感性に響く“Fun to Ride”要素の創出 38
 Developing “Fun to Ride” Factors that Attract Motorcycle Riders on an Emotional Level

力強いパワーフィールと環境性能の両立 42
 Balancing Outstanding Power Feel with Low Environmental Load

グローバル生産を加速させる“ものづくり力”の高度化 46
 Accelerating Global Production through Upgraded Manufacturing Capabilities

風洞試験設備による空力とデザインの最適化 50
 Optimizing Aerodynamic Design through Testing with a Wind Tunnel Facility

新製品紹介

ファミリーユース サイドバイサイド・ビークル「Teryx4」 52
 Side × Side Vehicle Teryx4 for Family Use

低振動を低コストで実現した4ストローク横軸汎用エンジン FJ シリーズ 54
 4-Stroke Horizontal FJ Series Engine Delivers Lower Vibration at Lower Cost

特許・実用新案紹介

乗り物 56
 -機能とデザイン性を兼ね備えたウインドスクリーン-

鞍乗型車両の排気装置 56
 -厳しい騒音規制をクリアしつつ、マフラのデザイン性と操縦安定性を向上-

【巻頭インタビュー】
－高田副社長に聞く－

カワサキブランドを 世界の人々へ



代表取締役副社長 高田 廣

◆ 川崎重工グループにおけるモーターサイクル&エンジン事業とは？

企業を主なお客様としたビジネスを展開している当社グループとしては珍しく、一般のお客様に商品をお届けする事業です。お客様と製品を通じて直に結ばれる二輪車・四輪車・ジェットスキー[®]事業と、OEM企業に製品を納入する汎用エンジン事業に大きく分けられますが、いずれもカワサキというブランドを前面に打ち出した商品です。

◆ カワサキブランドについて、お聞かせください。

モーターサイクル事業では、カワサキブランドは広く世界に知られていますので、「川崎重工＝モーターサイクルメーカー」と思っている方も多くいらっしゃると思います。

営業担当の副社長として、このモーターサイクルにおける強いブランドを活かして、当社グループ全体のブランド力向上につなげたいと考えています。そのためには、まずカワサキのモーターサイクルが、そのブランドにふさわしい製品でなくてはなりません。モーターサイクル&エンジンカンパニーのプレジデント在任中は、「商品がど真ん中」という掛け声で開発者を牽引してきましたが、副社長に立場が変わった今も、その考えに変わりはありません。強い商品を開発することでこそ強いブランドが生まれるのです。この強いブランドがお客様を惹きつけ、カワサキ製品を所有することに喜びや誇りを感じていただけることにつながっていきますから、ブランドを非価格競争力として、今後も強化していかなくてはいけないと考えています。

◆ 「カワサキラしさ」という言葉を聞くのですが？

モーターサイクル事業においては、「Fun to Ride / Ease of Riding / Environment / Loyalty」をキーワードに、走る悦び・操る楽しさを提供し五感に訴えかけ、どこまでも一緒に走りたいたいと思っただけの「強いモデル」こそが「カワサキラしい」モデルであると考え、開発に全力を傾けています。また、汎用エンジンについては、お客様の仕事に使っていただく道具ですから、「プロユースにかなう高付加価値エンジン」をキーワードとして開発を進めています。

このように「カワサキラしさ」を追求することで、当社グループミッション「世界の人々の豊かな生活と地球環境の未来に貢献するグローバルカワサキ」に寄与できると考えています。

◆ カワサキブランドといえば、「Ninja 250/300」が好評ですね。

「Ninja 250/300」は先進国ではエントリーモデル、新興国ではプレミアムモデルとして人気を集めています。これに兄弟車の「Z250」を加えたシリーズトータルで、当社モーターサイクル事業の歴史の中で最大の年間10万台を超える生産となる見通しです。これらの新機種には、大先輩の「Z1/Z2」や「Ninja 900R」の流れをくんだ、歴史に残る名車の一つとなってカワサキブランドを牽引して欲しいと願っています。

◆ 今後の当社グループのブランド戦略は？

世界市場でのブランド力のさらなる向上を目指します。当社グループは、国内では知名度があるかもしれませんが、新興国を含めた世界的な視点では、ブランド力はまだまだ弱いと感じています。幸い、モーターサイクルは多くの国々で親しまれていますので、当社グループを知っていただく接点としてモーターサイクル事業は大きな役割を担っています。

ブランド力をサポートする要素には品質、性能、デザインなどがありますが、さらに近年、重要視されているのが環境性能です。モーターサイクル分野でも、環境性能を重視するお客様が増えていますので、省燃費や環境規制対応のための研究開発にも積極的に取り組んでいます。

当社グループには、高度な環境技術を持つたくさんの製品があります。地球環境の未来に貢献するブランドとして、世界中のお客様にカワサキを知っていただきたいと思っ

モーターサイクル&エンジン 事業の近況と今後の展開

まえがき

当社モーターサイクル&エンジン事業は、半世紀にわたり日本で開発・生産した製品を主に先進国市場へ輸出販売することを主たるビジネスとしてきたが、リーマンショック以降の金融・景気環境と共にその構造も変わりつつある。販売活動のみならず、マーケットに合致した製品開発、QDC (Quality, Delivery, Cost) バランスの取れたサプライチェーンなど、より市場変化に即したビジネスが重要になっており、事業の近況と今後のあるべき展開について述べる。

1 事業の近況

(1) 二輪車（モーターサイクル）事業

(i) 先進国市場

当社では、米国・カナダ・欧州・豪州・日本の市場を先進国市場と呼んでいる。2007年サブプライム問題以降、金融不安とその実体経済への影響により、各市場の需要は大きく落ち込んだ。さらに円高が追い打ちをかけ、欧米メーカー比でのコスト競争力が低下し、収益性の高いビジネスが困難となった。

しかし各国の積極的な金融緩和や景気刺激策により、2013年から変化が見え始めている。欧州市場はいまだ低迷が継続しているが、米国市場は底打ちし微増傾向、日本市場は景気回復基調と共に改善しつつあり、量的には若干の明るさを感じ始めている。一方、雇用悪化や資産圧縮を強いられた顧客の嗜好は低価格製品に向かいやすく、それまでの先進国カテゴリーとは異なる傾向を見せている。

その中で当社は、ニューモデルを継続して投入し、販売ネットワークを維持することで、高いシェアを確保してきた。また、タイの研究開発部門も含めた開発の効率化とタイ工場（KMT*社）への生産移管により、バリューモデルの低コストでの調達・生産を実現し、コスト競争力を向上させたことで販売に大きく貢献した。

* KMT : Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd.

(ii) 新興国市場

ASEAN・中国・インド・中南米などの新興国市場は、現在は世界における二輪車需要の大部分を占めている。当社は競合他社と異なり、モペッド・スクーターという低価格・大量販売製品でなく、『ハイパフォーマンスなプレミ



モーターサイクル&エンジンカンパニー プレジデント
常務執行役員 紀山 滋彦

アム・モーターサイクルのカワサキ』として認知されており、Ninjaシリーズを中心としたスポーツカテゴリーで販売を拡大している。先進国市場の需要が低迷する中、新興国市場は経済発展に伴い堅調に推移してきたが、資金の先進国への逆流現象や信用不安などにより、最近是一部市場では伸張が鈍化しつつある。その中においても当社プレミアム製品の需要は依然底堅く、販売は増加している。

(2) 四輪車事業

主要市場の米国では、ATV (All Terrain Vehicle) と呼ばれる鞍乗り型四輪バギーから、SxS (Side by Side) と呼ばれる2名または4名の座席を備えたユーティリティーおよびスポーツカテゴリーへ主流が移行している。近年は特にその流れが顕著になり、競合他社の積極的な市場投入が継続している。当社も成長著しいSxS分野に意欲的に新モデルを投入し、市場での認知度の向上と収益の拡大に取り組んでいる。

(3) PWC (Personal WaterCraft) 事業

PWC事業では、米国が主要市場であるため、米国工場（KMM*社）は日本で開発したジェットスキー®の生産に特化している。市場は1,500cm³クラスの大型モデルが主流となっており、当社も製品の改良を重ねながら、製品競争力の維持に努めている。

* KMM : Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A.

(4) 汎用エンジン事業

汎用エンジン事業では、芝刈機や農業トラクターなどのプロ用の作業機に搭載されるエンジンが主要製品となっている。二輪車と異なり、一般の顧客が当社製汎用エンジンを直接目にするのは少ないかもしれないが、信頼性の高いエンジンを適正な価格で提供している。



図1 Ninja 1000



図2 Z1000

2 当面の事業運営方針

先進国事業の採算性向上や、新興国レジャー用モーターサイクル市場の需要取り込み・事業基盤の強化などに取り組んでいる。販売面ではNinja 250シリーズが大変好調で、『機会損失なきグローバル生産』の一策として日本へ生産を逆移管した。現状の収益源は新興国頼りであるが、今後は先進国・新興国のバランスの取れたビジネスを構築していく。

汎用エンジン事業は、米国工場と中国工場（CK&K*社）での海外生産が主体となり、この3年間で事業構造が大きく変わった。生産体制はマザーファクトリーである日本の明石工場と共に変化するが、QDCのバランスを取りながら運営していく。

グローバル生産に合わせて、明石工場の再配置や設備見直しを進めており、次世代が安心して働ける工場にしたいと考えている。

* CK&K : Changzhou Kawasaki and Kwang Yang Engine Co., Ltd.

3 2014年ニューモデル

昨年夏以降に発表した2014年モデルが、非常に好評である。Ninja 250は2014年モデルとしてマイナーチェンジで改良を織り込んだもので、2013年は不十分であった生産能力も改善し機会損失なき販売を可能としている。また、Ninja ZX-14R, Ninja 1000 (図1), Z1000 (図2) は機能を向上させた上で、「顧客の声」を製品に反映し、より魅力的な製品に仕上げることができたと考えている。四輪ではSxSのTeryx4, ジェットスキー®ではULTRA 310シリーズ (図3) を市場に投入した。



図3 ジェットスキー® ULTRA 310シリーズ

4 今後の事業展開の方向性

まず、『ブランド力のさらなる向上』を目指す。当社はリーマンショック後も低迷する先進国市場に競合力のある新モデルを積極的に継続投入し、さらにマーケティング手法（レース活動や店舗デザインの刷新など）も組み合わせ、ブランド力の向上に取り組んできた。この取り組みが新興国におけるブランドイメージアップに貢献し、販売増をもたらしていると言っても過言ではない。今後も、高度なもののづくりを原点とした「強いモデル」の市場投入によるブランド力向上に継続して取り組む。

さらに『環境対応』にも重点的に取り組んでいく。騒音・排ガス規制は年々厳しくなり、省燃費や環境性能を重視する顧客も増え、電動化も方向性の一つと考えている。今後のバッテリーなどの性能向上や制御技術の高度化に伴い市場拡大が見込まれ、研究開発を鋭意継続していく。

5 グローバル化について

日本国内で製造したものを世界へ輸出するだけで利益を出せる時代は終わった。超円高環境では「グローバル化＝海外調達」という捉え方もあったが、現在は『最適地調達、最適地生産がグローバル化のあるべき姿』だと考えている。為替リスクを最小化し、リードタイムを短縮するには「地産地消」が原則であるが、近隣生産国を巻き込んだ「サプライチェーンの大部屋化」により、設備投資抑制やコスト低減などのネットワーク効果を高めていく。世界で調達・製造・販売する時代において、複雑な方程式を日々解き、QDCのバランスが取れた全体最適を追求する必要がある。

あ と が き

モーターサイクル&エンジンカンパニーは、特にこの5年間は金融や景気の影響により苦しい経営を余儀なくされた。それはものづくりに携わる多くの日本の輸出企業も同様で、苦く貴重な経験である。我々はその間に、利益率向上と費用の圧縮に加え、ブランド力向上に取り組んできた結果、収益性を向上させたが、今後もさらに追求していく。

当カンパニーを信じて支えてくれたステークホルダーの皆様へ感謝するとともに、トップクラスのメーカーとしてカワサキブランドを世界のお客様に届けられる強い企業でありたいと考えている。

顧客知見に基づく機種開発

モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部長 山田 浩平



まえがき

当社モーターサイクル&エンジンカンパニーでは収益力改善を目的に、V.o.C. (Voice of the Customers) をキーワードとした『顧客密着型機種開発』を海外の研究開発部門を含めて推進中である。本稿ではその概要について紹介する。

1 市場の成熟化と顧客知見を踏まえた商品開発

まずはじめに「成熟した市場」について定義しておく。未成熟の市場では、顧客は商品知識も購買経験も限られており、企業が“New & Improved”と銘打って新商品を発売すれば、顧客は古い商品から新しい商品に買い替える。一方で成熟した市場では、顧客は商品に対する知識を蓄え、購買経験を積み、ブランドを意識するようになり、その結果として顧客個人々々が購入したい商品は自分が一番よく知っている状態になる。この状態を成熟した市場と呼ぶ。

新興国、先進国を問わず、市場は必ず未成熟から成熟化の方向に動く。顧客自身が購入したい商品をよく知っているという成熟した市場では、顧客が欲しくない商品は安くても購入されない。成熟した市場に商品を投入する場合には、企業が多額の試験研究費を費やして“New & Improved”だと信じて市場に投入しても、顧客の好みに合致しない限り計画通りの利益を確保することは難しい。

従って、商品開発の始点は顧客に関する深い知識、すなわち顧客知見ということになり、その顧客知見に基づいて策定される顧客戦略が収益性の高い新機種を開発する上で欠かせない。そのため、技術研究と同時に『顧客研究』が必要である。

(1) 顧客知見 (Customer Insight)

顧客知見とは顧客研究の積み重ねによってのみ得られる顧客に関する深い知識である。商品力・コスト・開発日程・品質における競争力の差はその企業が持つ顧客知見の質と量の差であり、顧客知見の差がそのまま企業競争力の差と言っても過言ではない。

顧客知見は容易に模倣されることがないことから、顧客知見の蓄積は持続的競争優位性の源・基盤と言える。売れる商品を考え出す力とは言い換えると顧客に選ばれる商品を考え出す力であり、顧客知見抜きには語れない。売れる商品の開発に必要なイノベーション・インスピレーションは、図1のような顧客との交流の過程で初めて得られる。

(2) 顧客戦略 (Customer Strategy)

成熟化するスピードは市場によりさまざまだが、企業は市場が成熟化した時の備えをしておく必要がある。「成熟化した市場とは顧客が購入したい商品は顧客自身が一番知っている市場、企業のお仕着せ商品には反応しない市場」と定義したが、この場合、顧客が100人いればそれぞれの好みは異なってくる。そこで当カンパニー商品企画部門では顧客を分類（セグメンテーション）し、最優先する顧客グループ（ターゲットセグメント）、当社が抱えるビジネス課題を解決してくれる顧客グループを明確にする作業を行っている。

この商品はどの顧客グループが購入するのか、その顧客グループが購入すると企業にとって何が良いかを考える必要がある。例えば安定した収益を狙うのであれば、景気に左右されにくい経済安定性の高い顧客グループのブランドロイヤルティ*を高めることが重要である。従って、開発する商品はそのセグメントが強く反応するものでなければならない。このようにビジネス課題に従って顧客を変える一連の考え方を顧客戦略 (Customer Strategy) と呼ぶ。

* ブランドロイヤルティ：競合企業の代替製品があるにもかかわらず、顧客が特定ブランドの製品を繰り返し購入すること。および、そのブランドに対する愛着心のこと。

(3) セグメンテーションスタディとターゲティング

当社が最も重視する顧客（ターゲット顧客）を明確にするためのツールがセグメンテーションである。セグメンテーションを正しく行えば、ターゲットセグメントは自動的に明らかになる。得られたセグメントに対して、セグメントごとに違ったブランド、派生機種・仕様、アクセサリを開発し提供するが、このセグメンテーションの巧拙がその後の商品開発の巧拙、商品収益の高低となる。



図1 顧客嗜好調査

(4) 戦略ドキュメントとしての開発計画書

商品開発に携わるスタッフの人数は多く、全員の方向性を合わせるためにはドキュメントが必要となる。開発計画書には各種リサーチにより得た顧客知見を満載させ、開発担当者全員で共有・徹底する。

この戦略ドキュメントである開発計画書は、戦略自体の競争優位性は無論のこと、分かりやすさ＝戦略の遂行しやすさ＝結果の出しやすさを念頭に置き作成している。

(5) V.o.C. (Voice of the Customers) 活動

V.o.C.活動を一言で言うと顧客に商品開発に参画してもらい、顧客からフィードバックとひらめきを得る活動である。この活動は前機種を販売開始した時点から始める。この時点で開発上貴重なフィードバックを顧客から得ることができ、開発途中における方針変更や手戻りを防ぐことができる。V.o.C.をベースとした『顧客密着型機種開発』は販売後を大切に開発と言える。

また、V.o.C.活動に期待される効果として、顧客の意見に触発された開発担当者がインスピレーションを活発化し、競争力豊かなアイデアを出すことが挙げられる。大幅なコストダウンに関するアイデアもこの時点で出される場合が多い。しかしながら顧客は開発のプロではなく、新機種（その時点では存在せず顧客自身がイメージを持たないもの）に対する具体的な提案は望めないため、アイデアの大部分は開発担当者自らが考え出すことになる。

2 商品開発における重要な要素

開発部門に課せられた使命は日程・コスト・商品力の確保である。これら3つの要素は企業における商品開発力の優劣を示すインジケータでもある。これら3要素ともすべて、顧客知見と密接に関係している。

(1) 日 程

開発機種のキックオフミーティング開催日から量産開始日までを開発期間と定義している。新機種の量産開始日は事業計画の前提条件であり、遅延させることは、損益を狂わせる大きな要因となる。また開発期間の延長は試験研究費増大を招く。当然のことながら、遅らせた日程は二度と取り返すことができないため、3要素のうち日程順守を最も重視している。開発日程を守るため、さらには短縮していくために、開発の無駄をなくす必要がある。その手法として開発のフロントローディングがあるがこれについては後述する。

(2) コ ス ト

コストを下げる力が企業の価値であることを理解して、徹底したコストマネジメントを行う。開発機種ごとにコスト担当者を置き、設計変更のたびにその設計変更によってどれだけコストが変動したかを「見える化」しながら開

発を進める。

新機種は従来機種よりも限界利益率が高いことが開発の前提となるが、顧客が購入の際に重要視する項目について無造作なコストダウンを行い、商品競争力の低い機種を開発しては販売台数低下を招くため、開発する意味がない。そこで顧客知見を生かし、顧客が重視しない部分を熟知し、その部分を開発の初期段階で徹底的にコストダウンする手法を取っている。

(3) 商品力と商品性

商品の持つ力を表す言葉として、商品力と商品性の二つを使い分けて議論している。

(i) 商品力

商品力の定義は、「顧客が購入する前に理解する商品属性が他社より優れており、その商品属性により顧客を獲得する力」としている。商品発売後長期にわたり販売台数を維持しようとする場合、顧客からのフィードバックを早期に得て、競合他社より商品力の優位性を確保・増強する必要がある。

商品力があるかないかは顧客が決める事項であり、企業が決めることではない。従って、競合他社に勝る商品力を新機種に持たせるためには、顧客が使っている言葉、表現方法を開発部門も積極的に使い、顧客と「カルチャ」を共有し、その醸成された「カルチャ」の中でさまざまな開発判断を重ねることが大切である。

(ii) 商品性

商品性の定義は、「顧客が商品を購入した後に理解する商品属性が他社より優れており、その商品属性により顧客に満足していただき、再び当社商品を選んでもらう力」として商品力と区別している。顧客のブランドロイヤルティを高め、競合他社からの新機種発売や値引きなどのさまざまな「攻勢」に対して当社ブランドの「防衛力」を上げ、同一顧客に再び当社商品を選んでもらい、安定した収益を得るためには、商品性を向上させる必要がある。

(iii) 強い商品とは

強い商品の定義は、「顧客を引き付けてやまない商品かつ、当社の収益に大きく貢献する商品」としている。従って顧客満足度と限界利益で表現する場合、顧客満足度と限界利益が高い商品が最も強い商品となる。

地域別・商品別・ブランド別に顧客満足度と限界利益の関係の毎年の推移を見ることにより、重点分野を明確にすることができる。

3 競争力のある商品の開発手法

日程・コスト・商品力を満足させ、競争力のある商品を開発するためのマネジメント要素について紹介する。

(1) 開発プロセス

(i) フロントローディング

主に開発日程を守るために行うフロントローディングであるが、特にキックオフからデザインフリーズ（デザイン確定）までをフロントローディングステージと呼ぶ。このフロントローディングステージでは日程を守ることはもとより、プロセスを重点的に改善し、『試作車の完成度を高める』ことが重要である。商品力・コストは、ほぼこの段階で決まる場合が多いため、現在はフロントローディングステージの中でも早期の段階であるイメージスケッチの段階で関連部署との議論、気付きの促進、ネガ出し、アイデア出しを充実させるよう努めている。このスケッチ確認を、気付きを早めるしくみとして機能させるためには、前機種の開発期間中に時間不足などで採用を見送ったアイデアを「冷凍保存」しておき、スケッチ確認の時点で「解凍」して議論することが有効である。

(ii) 開発のクローズドループ化

フロントローディングの効果を上げるためには、前機種の顧客からのフィードバックが欠かせない。顧客からフィードバックを得ることなく次々と新たな機種開発にとりかかり、同じ失敗を繰り返すのではなく、開発担当者が顧客から直接フィードバックを得て、フロントローディングステージにて次々と商品力・商品性を強化する。この開発のクローズドループ化は、新機種開発で知識の限界を補うのに重要な直観力を養うためにも大切である。

フィードバックを得る仕組みとして、顧客に対して商品力・商品性に関するアンケート調査などを行い、商品の販売後を大切にしよう心掛けている。

(iii) 規制対策・対応

さらには、本稿では詳細を割愛するが、各国市場における規制対策・対応も研究開発の一部として認識している。販売地域における規制動向について情報を収集するのみならず、規制化に向けた動きに対して積極的に当社の意見を発言するように努めている。商品開発は規制と顧客という共に複雑に変化する要因を、常にコストを意識しつつ進めるプロセスである。

(2) 開発組織（ストラクチャ）

(i) 組織の分化

現在、当社が開発する商品は多岐にわたっており、それぞれの商品が異なった種類の顧客と競合他社を有している。商品力を確保しつつ開発日程・目標コストを守るためには、それぞれの商品について合理性のある迅速な判断を下す力が必要不可欠である。そのため、商品の開発目的やターゲット顧客が大きく異なる場合は、開発チームごとに異なった開発価値が必要になる。当社ではあくまでもV.o.C.をベースとしながらも、組織の分化を行った。

① Profit-driven Team

Profit-driven Teamは収益を最優先するチームであり、「コストを下げる力は企業の持つ大きな価値」、「コストマネジメントはノウハウの塊、競争力の源」という認識で開発を進める。主に新興国向け機種の開発を担当する。

② Tech-driven Team

商品の中には、V.o.C.活動のみでは商品力を高めることが困難な分野がある。他社に比べて優位性のある技術を駆使した商品分野であり、過去に当社はこの分野で特に際立っていた。

この分野の担当者は、商品に技術的な「突然変異」を与え、10年先行した設計スペックを世の中に出し、熱心なカワサキファンに長期間にわたり感動を与える必要がある。マザーファクトリーである明石工場では開発・生産できない、テクニカルバリアとなり得る技術・商品はこのチームで開発し、主に先進国で発売される。

(ii) 各組織の価値ベクトル

(Performance MeasureとKey Driver)

分化した各組織内で開発に携わる担当者たちが、同一の価値ベクトルを共有することにより、矛盾した開発判断に起因した日程遅延、評価基準の極端な厳格化によるコストアップを防ぐことができる。この価値ベクトルはPerformance MeasureとKey Driverとしてそれぞれのチームに開発機種を担当させるに当たり、あらかじめ明確に定めている。

① Performance Measure

機種開発における成功の定義、達成が期待される複数の数値目標の中で最優先させる項目である。この数値は成功の度合いを表し、前機種との比較や到達目標との比較に使用する。

② Key Driver

機種開発における複数の必須要件（日程・コスト・商品力・各国規制・試験研究費など）の中で、機種開発を成功に導く推進力、開発チームが大切にしている価値観ベクトルである。

ちなみに、Profit-driven TeamのPerformance MeasureとKey Driverは共に限界利益率、Tech-driven TeamのPerformance MeasureとKey Driverはそれぞれ設計スペックとテクニカルイノベーションである。

各開発チームが、独自に対抗する競合他社に対し、競争優位性を確保していくためには、各開発チームに異なる専門性が必要となる。従って同じ課題に直面しても、対策内容は各開発チームにより異なるが、それは組織分化が正常に機能している証と認識している。



図2 ユーゼージスタディによる顧客の使用方法的調査

(3) 開発ツール

(i) リサーチツール

開発プロセスと開発組織のほかに、日程・コスト・商品力の目標を達成するために、どのような開発ツールを担当者に与えることができるかが競争優位性確保の観点から重要であり、管理者の課題である。ツールには知識・見識・解析ソフト・管理手法・外部専門機関とのネットワーキングなどがあるが、それらのツールそのものに競争優位性が問われる。

コンシューマプロダクト（一般消費者に提供する製品）で特に嗜好性の高い商品を開発する場合、顧客研究が欠かせないことはすでに述べたが、顧客研究のためのツールで現在採用しているものをいくつか紹介する。

① ペーパーレスマーケティングリサーチ

開発担当者が直接顧客に質問し、確認し、発見し、アクションする。他人が書いたレポートを基に不確実なアクションを取ることはしない。

② ユーゼージスタディ（図2）

現場＝顧客にしか答えがないという認識から、フロントローディングステージで顧客が実際に商品を使う場面に開発担当者が出向き調査を行う。この調査は後の開発過程で日程・コスト・商品力を大きく左右することになる。顧客により使用方法は異なるため、ユーゼージスタディは開発計画書に記載されたターゲット顧客を対象に実施する。

(ii) リサーチ結果の「見える化」

日程・コスト・商品力が守られたクオリティの高い商品開発を行うために、リサーチで得た事実を開発関係者で正確に共有しながら開発を進める必要がある。そのためにリサーチで測定した結果を必ず数値化している（図3）。

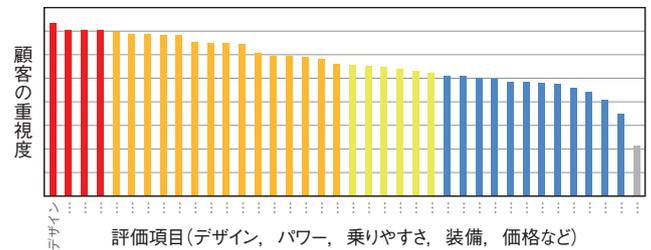


図3 リサーチ結果の「見える化」の例

商品力を改善した後、どんな要素が効果的であったのか、ゴールと現在位置（開発数値目標と現在の完成度）、顧客満足度など地域別・機種別に商品の強さを測定し、どこに費用をかければ商品力・商品性を上げられるかが一目で分かるように「見える化」している。紙面の都合で詳細は割愛するが、現在は以下の事柄を数値化し、競合他社や前機種との比較、現在位置、活動の優先順位、活動の成果とスピードを測定している。

- 顧客満足度（地域別・機種別）
- 顧客の不満箇所とその序列
- 顧客の重視属性とその序列
（顧客とこだわりを共有する）
- その重視属性に対する顧客の満足度

あとがき

当社は商品を発売した後のV.o.C活動を通じて「この機種を開発してくれてありがとう」という世界中の顧客の生の声から元気を頂き、さらなる顧客満足を提供するために、今後も新たな機種開発に挑戦していく。

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

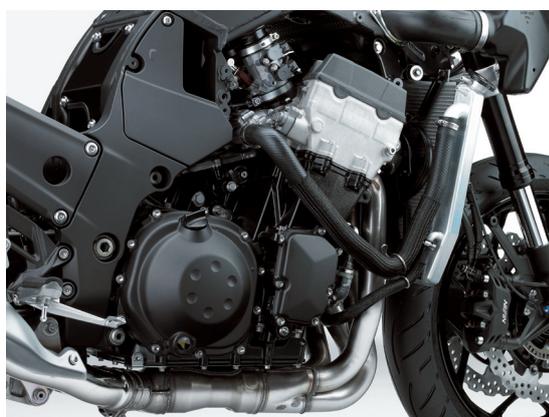


図3 200馬力新開発1,441cm³エンジン
Fig. 3 Newly developed 1,441cm³ engine with 200 PS

(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

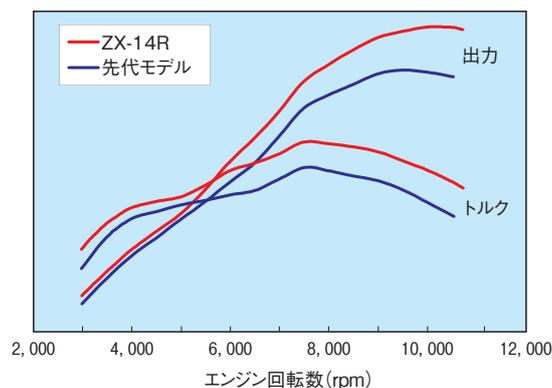


図4 エンジン性能
Fig. 4 Engine performance

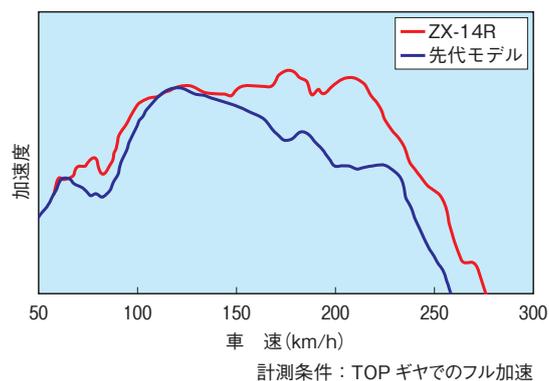


図5 加速性能
Fig. 5 Acceleration performance

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

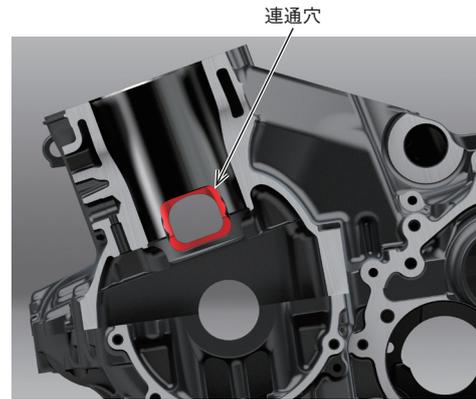
吸排気バルブのリフトアップに伴い、バルブスプリングにかかる応力が増大する。そこで、スプリングの耐久性を確保するため、応力解析でスプリング諸元を最適化した。

(iii) ピストン冷却機構

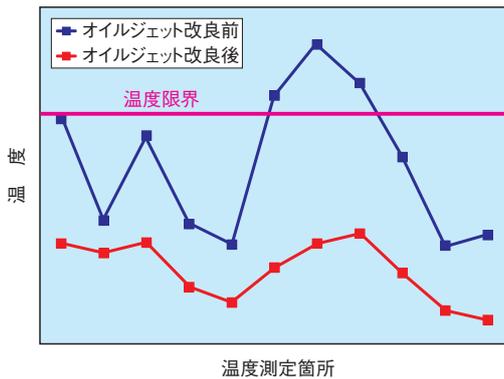
エンジン出力が向上すると発熱量も増えるため、ピスト



オイル配管 (a) ピストン冷却機構

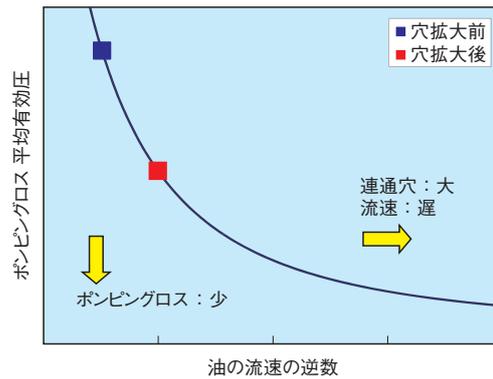


(a) シリンダ下部の連通穴



(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

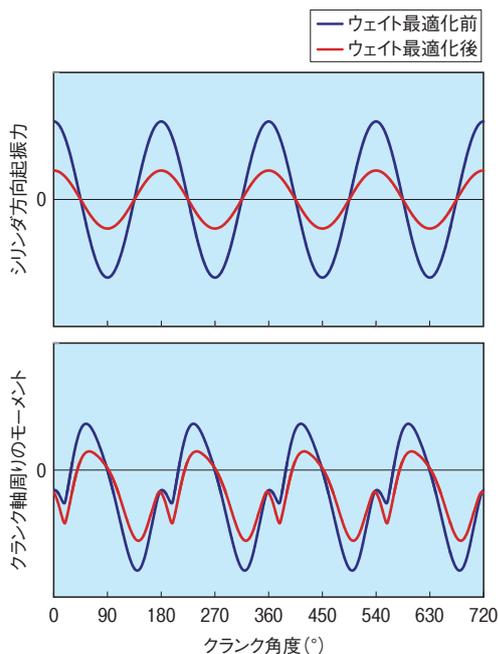
吸排気バルブをリフトアップすると、カムチェーンの振幅(バタツキ)が大きくなり、カムチェーンにかかる荷重も増え、かみ合い音も大きくなる。ZX-14Rでは、油圧チェーンテンションナの方式を変更し、テンションナのリーク隙間やリリーフバルブ開弁圧を最適化した。その結果、カムチェーンにかかる荷重、およびカムチェーンの振幅を抑制できた。また、軸方向隙間(プランジヤのバックラッシュ)を調整することで、カムチェーンの振幅が小さくなり、特にエンジン始動時の騒音を大幅に低減できた。

(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

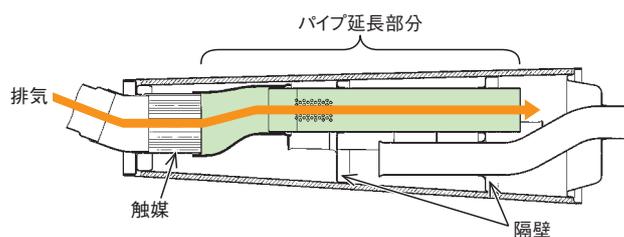
エンジン吸気通路の抵抗を可能な限り小さくするため、エアクリーナエレメントの保持構造を見直した。吸気通路面積を拡大し、部品点数を削減すると同時に、構造部材としても機能させたことで、フレーム剛性の向上にも寄与している。また、フィルタの設置方法の改良により、有効ろ過面積を拡大させ、エレメントの通気抵抗を60%低減した。

(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）。

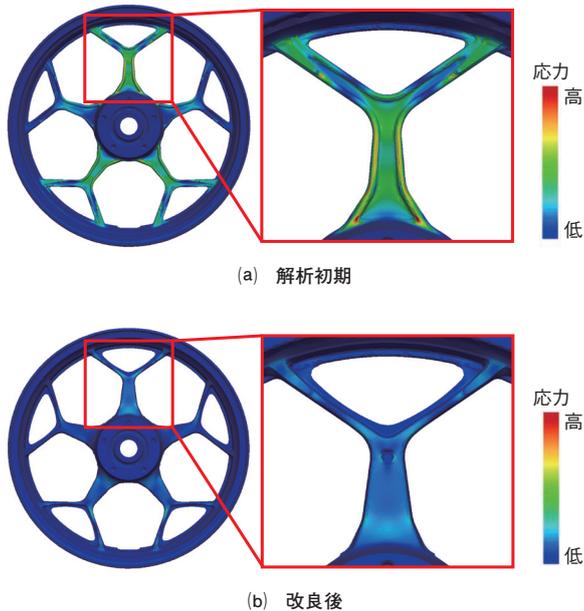


図11 ホイール強度解析
Fig.11 Wheel strength analysis

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）。

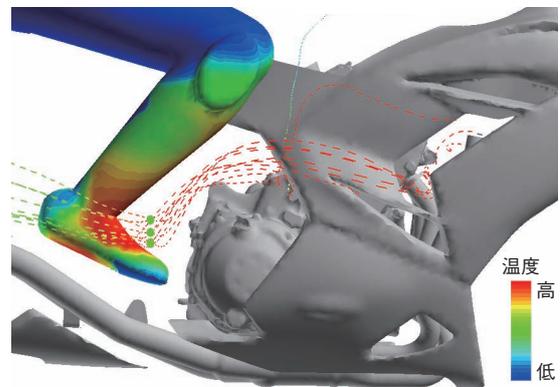


図13 エンジン排熱流の解析
Fig.13 Analysis of engine waste heat flow



図12 風洞試験状況
Fig.12 Wind tunnel test

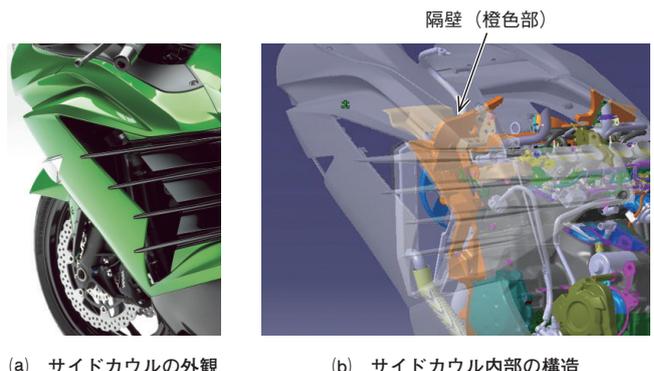


図14 サイドカウルと内部の隔壁構造
Fig.14 Side cowl and internal bulkhead structure

(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

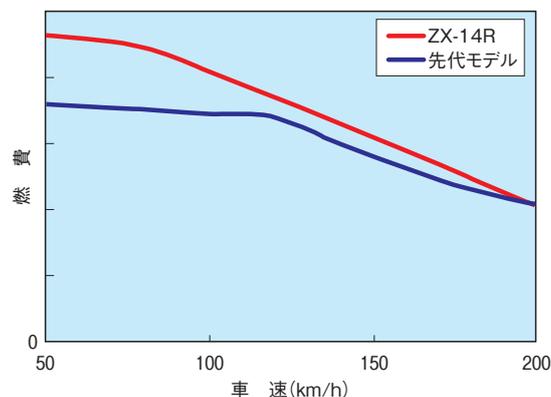


図15 定地走行燃費

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

クラスを超越する世界戦略車「Ninja 250/300」

Ninja 250/300 – A Strategic Global Model beyond Its Class



田中 邦博^① Kunihiro Tanaka

エンジン排気量250cm³クラスのモーターサイクルは、先進国のエントリーモデルとしてだけでなく、新興国の上級モデルとしても人気が高まっている。2008年モデルとして、このクラスに導入した初代「Ninja 250R」は全世界で好調な販売を記録した。本稿では、その2代目モデルとして開発した「Ninja 250/300」の特徴とその高い商品力を支えるエンジンや車体に関する技術を紹介する。

Motorcycles with an engine displacement of 250 cm³ represent a class that is increasingly popular as entry models in developed nations, and as high-end models in emerging countries. The first Ninja 250R model went on to achieve an outstanding sales record around the world after being introduced in this class in 2008. This paper will examine the distinct characteristics of the second generation model Ninja 250/300, and the engine and chassis technologies that underpin its exceptional product appeal.

まえがき

2008年モデルから販売している初代「Ninja 250R」(図1)は、米国や日本をはじめとする先進国のエントリーモデルとしてだけでなく、インドネシア、ブラジルなどの新興国でも上級モデルという位置づけで順調に販売台数を伸ばし、当社の世界戦略車としての地位を確立した。その後継モデルである「Ninja 250/300」を、先代モデルのヒットに甘んじることなく進化させ、他社の追随を許さないクラスを超越するモデルとして開発した。



図1 先代モデル「Ninja 250R」

Fig.1 First generation model Ninja 250R

1 商品コンセプトと設計方針

(1) 商品コンセプト

先代モデルは「スーパースポーツイメージの外観」と「運転しやすさ」という商品コンセプトで成功を収めた。本モデル開発では、改めてNinjaファミリーの末弟として、Ninjaブランドに求められる商品力・商品性の達成を目指し、「Ninjaエントリー」という商品コンセプトを掲げた。

(2) 設計方針

(i) エンジン

各導入国のニーズに合わせて排気量249cm³と296cm³の2種類を開発した。249cm³のエンジンを搭載した「Ninja 250」は先代モデルから吸排気系を改良し、それぞれの導入国の要望に合わせたエンジン性能の向上を図った。また、296cm³モデル「Ninja 300」の具体的な数値目標は、先代モデルと比較して、

- ① 最高速度を10km/h向上させる。
 - ② 0~400mの加速タイムを0.7秒縮める。
 - ③ 一段上のギヤでも同等以上の駆動力を確保する。
- などとした。

(ii) 車体

ターゲットカスタマーが重視した快適性や上質感をさらに向上させるため、振動低減、サスペンションの吸収性向上、ライダーが感じるラジエーターからの熱風の低減を実現し、デジタルスピードメーターを採用することとした。また、当社でクラス初のABS搭載車を設定した。

(iii) デザイン

Ninjaのデザインフィロソフィーにのっとったスタイリングとし、Ninjaシリーズの上級モデルと同じファミリーであることを明確化した。

表1 主要諸元
Table 1 Main Specifications

		Ninja 250	Ninja 300
エンジン	排気量 (cm ³)	249	296
	ボア×ストローク (mm)	62.0×41.2	62.0×49.0
	最高出力 (kW/rpm)	23.0/11,000	29.0/11,000
	最高トルク (N·m/rpm)	21.0/8,500	27.0/10,000
	圧縮比	11.3	10.6
車	全長×全幅×全高 (mm)	2,020×715×1,110	2,015×715×1,110
	ホイールベース (mm)	1,410	1,405
体	フレーム形式	ダイヤモンド	
	シート高 (mm)	785	
	整備質量 (kg)	172	
	フロントタイヤ	110/70-17M/C 54S	
	リアタイヤ	140/70-17M/C 66S	

(3) 主要諸元

「Ninja 250」, 「Ninja 300」の主要諸元を表1に示す。

2 エンジン関連技術

(1) アシスト&スリッパークラッチ (図2)

— 「Ninja 300」に装備—

クラッチはエンジンからトランスミッションへの動力をつないだり、切ったりする装置であり、摩擦材をスプリングで押さえつけることで、動力を伝達する。



図2 アシスト&スリッパークラッチ
Fig. 2 Assist & Slipper Clutch

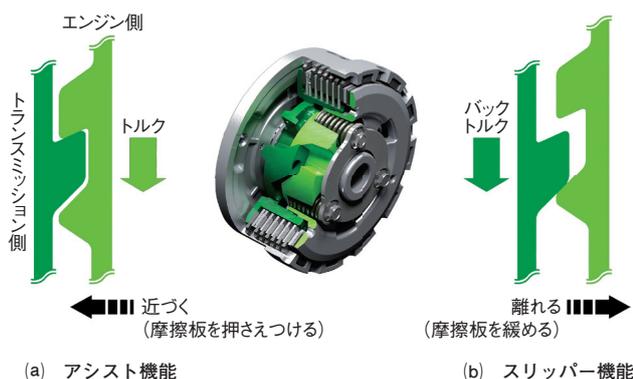


図3 アシスト&スリッパークラッチのカム機構
Fig. 3 Cam mechanism of the Assist & Slipper Clutch

排気量増加により伝達する動力が増えるが、それに対応してスプリング荷重を増加させると、クラッチレバー荷重が大きくなり、ライダーのクラッチ操作に大きな負担をかけてしまう。それを回避するためクラッチレバー握力のアシスト機能を備えたエフ・シー・シー製クラッチを採用した。

クラッチスプリング荷重が小さいと、過大な動力が伝わった際に摩擦材が滑り始めてしまうため、カム機構を設けた。滑ろうとして相対位置がずれ始めた途端にお互いの部品が近づく方向へ動き、スプリングで押し付けるのと同じ作用が働くことによって、滑りを抑制することができる(図3(a))。これにより排気量を20%向上させた上に、クラッチレバー荷重を25%低減できた。

また、このカム機構は、ブレーキング時に大きなバックトルクがかかった際、スプリング荷重を弱める方向に稼動するスリッパ機能も同時に備えている(図3(b))。これにより、クラッチが滑るので、減速時のリアタイヤのホッピング(上下に跳ねること)を抑え、ブレーキング時の車体安定性を確保することができる。

(2) ヒートマネジメント

世界戦略車として、東南アジアで要求の高い「熱風に対する快適性」を確保する必要があり、ラジエータの熱風を

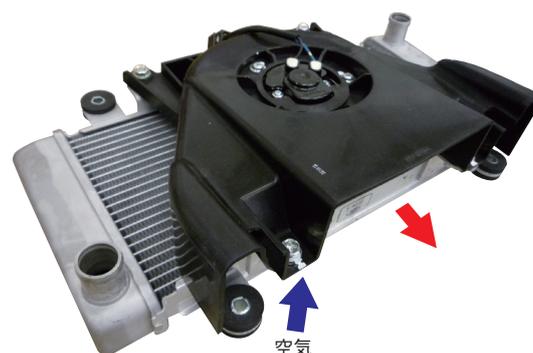
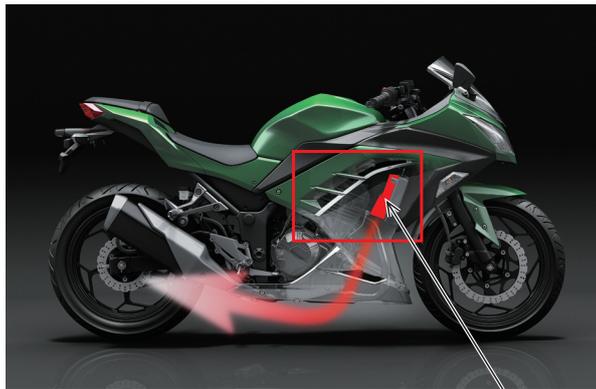


図4 ラジエータファンカバー
Fig. 4 Radiator fan cover

ほとんど感じないレベルまで低減することを目標とした。特にアイドリング時のラジエータファンからの熱風をライダーに当てないための工夫として、図4に示すようなラジエータファンカバーを開発した。

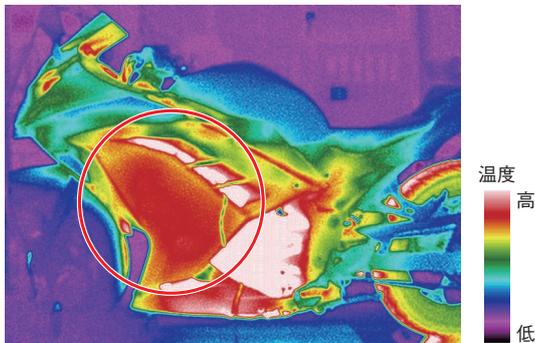
このカバーにより、図5のように熱風をライダーに当てることなく排出することができる。ファンカバーの未装着時と装着時の温度分布を図6に示す。カウル表面温度が低くなっており、カウル内に熱が溜まらずに放出されていることが分かる。

なお、本カバーはエンジン上部に配置された電装部品の温度低減対策としても有効であった。

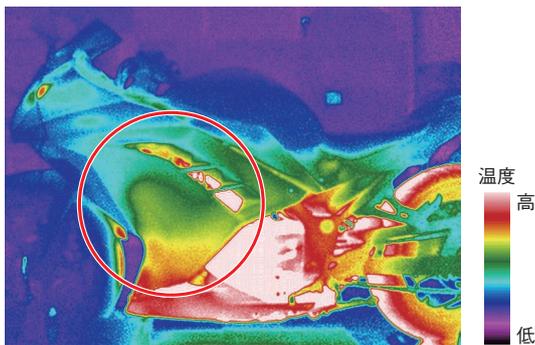


ラジエータファンカバー

図5 ラジエータファンカバー装着時の熱風の流れ
Fig.5 Flow of hot air with radiator fan cover attached



(a) 未装着時



(b) 装着時

図6 ラジエータファンカバー装着による温度分布変化
Fig.6 Effect of the radiator fan cover on temperature distribution

(3) 異形断面ショートマフラ

騒音規制に適合するため、通常は排気量アップに合わせてマフラ容積を増やす必要があるが、よりスポーティなデザインにするには、マフラを極力小さく見せる必要がある。そこで、先代モデルではマフラ内部に配置していた触媒を上流のジョイントパイプ内に集約することでマフラの有効容量を増やし、同等の体積を維持した。さらに、断面を丸形状から異形六角形に変更し(図7)、断面積を増やした分、全長を短くした。

また、3室ある膨張室の容積比をCFD解析により最適化したことで、エンジン性能を維持したまま騒音値を下げる事ができた(図8)。

3 車体関連技術

上質な乗車フィーリングを実現させるために、エンジン振動の低減に取り組んだ。

エンジンをフレームにマウントする3箇所(前上, 後上, 後下)のうち、前上のマウントをリジッドからラバー化した。変更前後の構成を図9に示す。



図7 異形断面ショートマフラ
Fig.7 Short muffler with complex cross-section

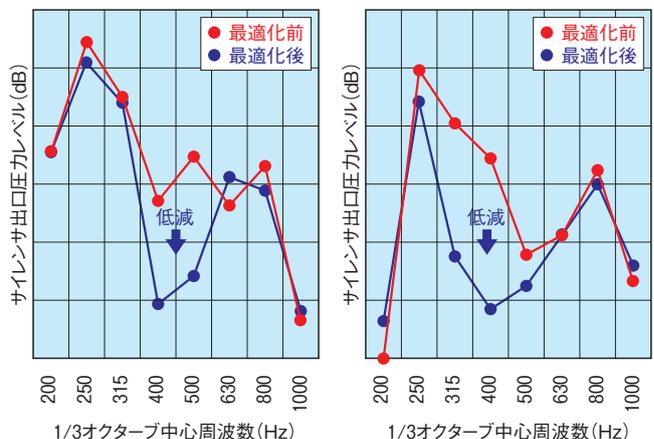


図8 CFD解析による消音効果
Fig.8 CFD analysis of noise reduction effect

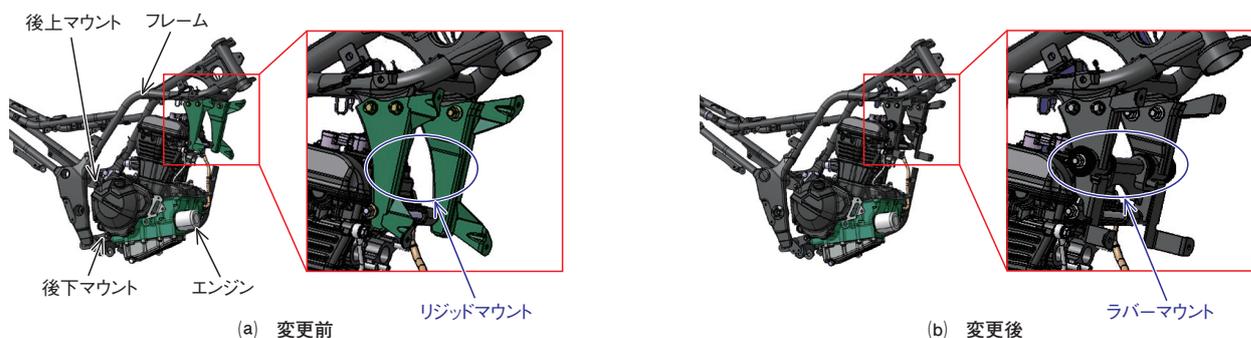


図9 エンジンマウントのラバー化
Fig.9 Rubber engine mounts

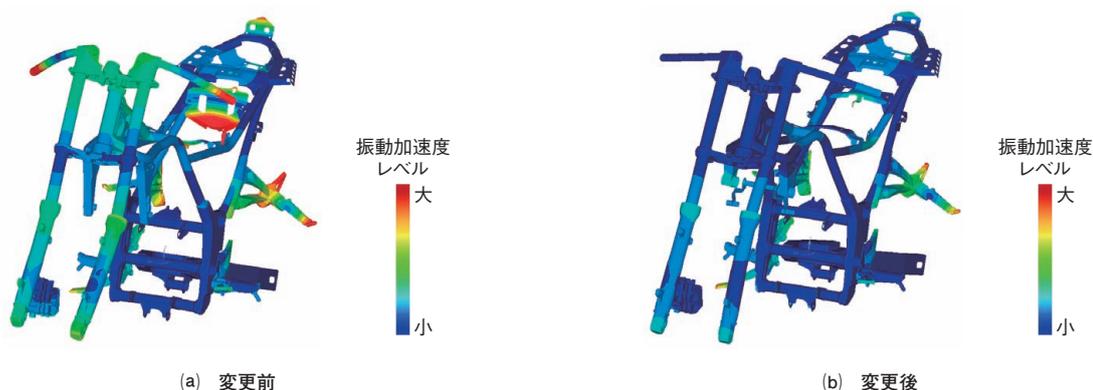


図10 振動解析結果
Fig.10 Results of vibration analysis

振動低減効果を振動解析により事前検証した結果、図10 (a)で発生していた振動の大きい赤の部分が(b)ではなくなることを確認できた。さらに、試験車両で振動を測定した結果、ラバー化することで、エンジン回転数全域にわたって十分な振動低減効果を得ることができた(図11)。

また、本変更に伴い、エンジンがフレームの剛性を補助できなくなったため、フレーム単独での剛性と強度も向上させた。

あとがき

インドネシアでは発売当初から数か月の納車待ちが続き、1年半を経てようやく供給が追い付いてきた。また日本国内でも販売店からの注文が3日で年間生産計画台数に達するなど、「Ninja 250/300」は各国で大きな人気を博している。この状況に甘んじず、この車両の顧客にNinjaが最高のブランドとして認められ、ファンになっていただけるよう、今後もこのモデルの商品力、商品性の向上を絶えず間なく図っていきたい。

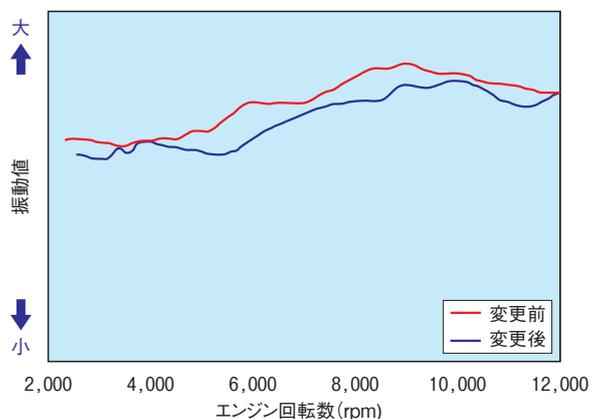


図11 エンジンマウントのラバー化による振動低減効果
Fig.11 Vibration reduction effects of rubber engine mounts



田中 邦博

エキサイティングキャラクターを追求した スーパーネイキッド「Z1000」

Z1000 – The Supernaked that Delivers the Ultimate Excitement



宇積 陽一① Yoichi Utsumi
百崎 信② Makoto Momosaki
原口 貴行③ Takayuki Haraguchi
門 伸一郎④ Shinichiro Kado

スーパーネイキッド「Z1000」はカワサキブランドの大きな柱である「Z」の最上位機種である。デザインコンセプトである「凄み」を実現するスタイリングのための技術や、エキサイティングライディングキャラクターを具現化した軽快で安心感のあるハンドリングや、迫力ある加速感を演出するための技術について述べる。

The Z-Series is one of the most popular brands of Kawasaki motorcycles, and the Supernaked Z1000 sits at the pinnacle of Z machines. This paper will discuss various technologies incorporated into Z1000, from technologies that realize its aggressive styling concept, to those that enable the nimble and sure handling as well as the powerful acceleration feel adding to the exciting riding character of this model.

まえがき

従来からあるネイキッドは「ZEPHYR」に代表されるように、古典的なスタイルを良しとするジャンルであった。そこへ「Z1000」を2003年に発売して、その先鋭的なデザインと極めて俊敏な走行性能で新たにスーパーネイキッドというジャンルを確立した。その後、他社から同様のコンセプトの車両が発売されたが、このジャンルの先駆者としての地位とアドバンテージを先代モデルから引き継ぎ、2014年モデル「Z1000」を開発した。



図1 フロントのスタイリング
Fig. 1 Front styling

1 コンセプト

2014年モデル「Z1000」がスーパーネイキッドとして求められることをさまざまな角度から調査し、次の要素を重点的に強化することとした。

- ① スタイリング／デザイン
- ② エキサイティングライディングキャラクター

ここで、「エキサイティングライディングキャラクター」とは、パワーフィーリングやハンドリング、そして加速音など、ライディング中にライダーが感じる要素を総括したものである。

2 スタイリング／デザイン —凄みの追求—

デザインコンセプトを「凄み」として、「猛獣が獲物を狙って、身を低く力を溜めている」イメージのスタイリン

グとした(図1)。このイメージの実現にあたり、特にヘッドランプを薄く・小さくする必要があるため、それに適したLEDヘッドランプをスタンレー電気株と共同開発した。

ヘッドランプの小型化にあたって、以下の課題に取り組んだ。

- (i) ヘッドランプの小型化と放熱性能の両立

ヘッドランプに使用する高輝度LEDは、発光方向とは反対側に発熱を伴い、LED性能を維持するには放熱器を装備する必要がある。四輪車では放熱器をハウジングの中に収める内蔵タイプが主流だが、それではヘッドランプ全体が大きくなってしまうため、放熱器の一部を背面に露出

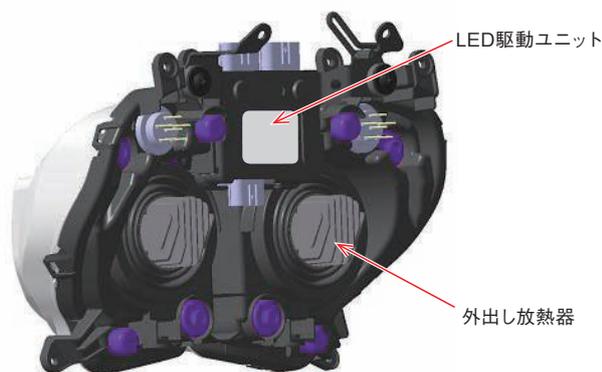
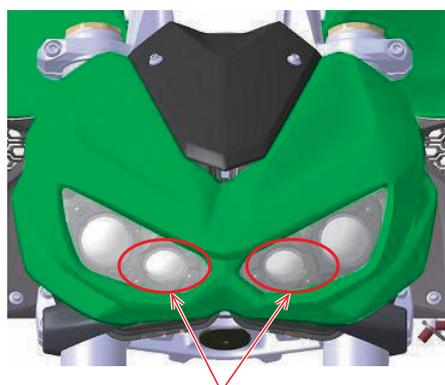


図2 ヘッドランプの構造 (背面)
Fig.2 Headlamp structure (rear side)



(a) 従来モデル (b) 2014年モデル

図4 スタイリングの比較 (正面)
Fig.4 Styling comparison (front)



楕円形インナーレンズ
図3 楕円形インナーレンズ
Fig.3 Inner oval lenses



図5 スタイリングの比較 (側面)
Fig.5 Styling comparison (side)

し、小型化と放熱性能を両立させた。

また、LEDを一定の明るさで点灯させる定電流の駆動ユニットを、ヘッドランプ背面の隙間に設置する構造とし、小型化した。これにより、ヘッドランプと駆動ユニット距離も近くなり、ハーネスを短く簡素化できた。

ヘッドランプの構造を図2に示す。

(ii) ヘッドランプの小型化と照射範囲の両立

LED素子からの光を集光して路面に照射するには反射板もしくはインナーレンズが必要となる。本機種では小型化を優先するためインナーレンズを採用した。さらに、正面から見たレンズ開口部を狭くするため、ロービーム側のインナーレンズを楕円形とした(図3)。これにより、対向車を幻惑させないように上下方向へは照射範囲を狭めつつ、左右方向へ光の照射範囲を広げることができた。

その他にもケーブルルーティングや光軸調整機構に改良を施し、従来モデルに比べて大幅に小型化し、デザインコンセプトの「凄み」を表現した(図4, 図5)。

また、操縦性に大きく影響するヘッドランプを小型化し、ステアリング軸に近づけたことで、ステアリング軸周りのモーメントが減少し、ハンドリング向上にも寄与した。

3 エキサイティングライディングキャラクター —ライディングインパクトの追求—

ライディング中に感じるインパクトは、エンジン出力やスロットルレスポンスの向上でも強くなるが、ライディングポジションやハンドリング、さらにはライディング中のさまざまな音からもライダーは加速感を感じる。

(1) 軽快で安心感のあるハンドリング

(i) アグレッシブなライディングポジション

ライディングポジションはモーターサイクルの性格を大きく左右する重要な要素である。エキサイティングライディングキャラクターを向上させるために、ハンドルポジションを従来モデルよりさらに前傾姿勢にした。これにより、前輪の操作が容易になり、操縦性向上にもつながった。

(ii) 軽量化

バネ下重量として最も影響の大きいホイールを、解析などで従来と同等の強度を確保しながら、前後合わせて従来モデルの12kgから1.5kg軽量化した。これにより、ジャイロ効果が減少し、車体の向きの変えやすさが向上した。

(iii) ステアリングのフリクションロス低減

従来は図6(a)のようにステアリング軸のダストシールが

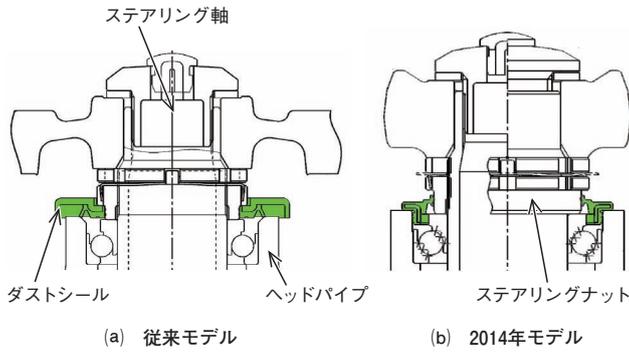


図6 ステアリングのダストシール形状
Fig. 6 Configuration of steering dust seals

ヘッドパイプ上面を摺動していた。これを、図6(b)のようにステアリングナット側面を摺動するようにダストシール形状を変更したことで、摺動半径が小さくなり、回転抵抗が低減した。この違いは、特に低速走行時のハンドリングを大幅に改善した。

(iv) サスペンションセッティングの最適化

従来モデルは、優れたバランスに定評があったため、2014年モデルは、乗車状態では従来モデルとほぼ同じ姿勢となるように調整した。しかし、空車状態ではサスペンションの設定高さを下げ、ショックアブソーバーのバネ、減衰力を大幅に強化（伸び側の減衰力は従来モデルに比べて約2倍に増加）させた。これにより、加減速時の前後方向の姿勢変化が小さくなり、欧州の荒れたワインディング路面でも収束が早く、軽快でありながら、安心感のあるハンドリングを実現した。

(v) SFF-BP (Separate Function Fork-Big Piston) の採用による応答性向上

従来モデルでフロントフォークに採用していたカートリッジ式ダンパーは、図7(a)のように加速工程で減衰力が遅れて立ち上がり、減速工程でも収束が遅れる。しかし、2014年モデルで採用した(株)ショーワ製SFF-BPは減衰力の発生遅れが小さく、図7(b)のように、加速工程でスムーズに立ち上がり、減速工程も同じ軌跡で速やかに収束する。

また、従来は左右2本共にバネとダンパーを装備していたが、ダンパーを片側のみとして、約300gの軽量化を実現した。

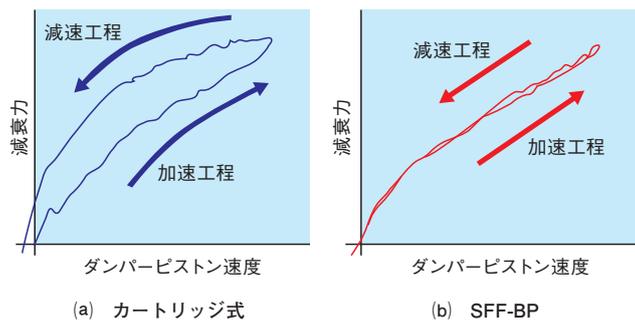


図7 フロントフォーク応答性比較
Fig. 7 Comparison of responsiveness of the front fork

(2) 迫力ある加速感を演出する吸気音

加速音のうち、ライダーの耳元で聞こえる吸気音に着目し、エンジン特性と吸気音特性を相関付けることにより、加速感の向上を試みた。

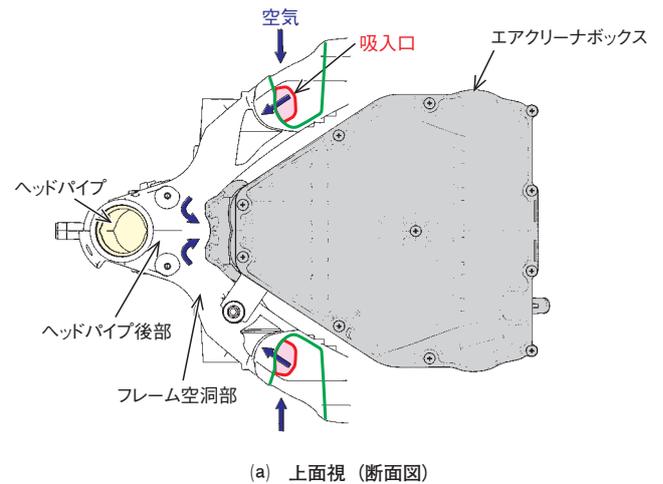
吸入空気の流れを図8に示す。空気はフレームの吸入口から取り入れられ、フレーム内の空洞部を經由してヘッドパイプ後部からエアクリーナボックスへと導かれる。さらに、エアフィルタエレメントで吸入空気中の異物などをろ過し、エンジンに空気が供給される。

(i) 音圧分布

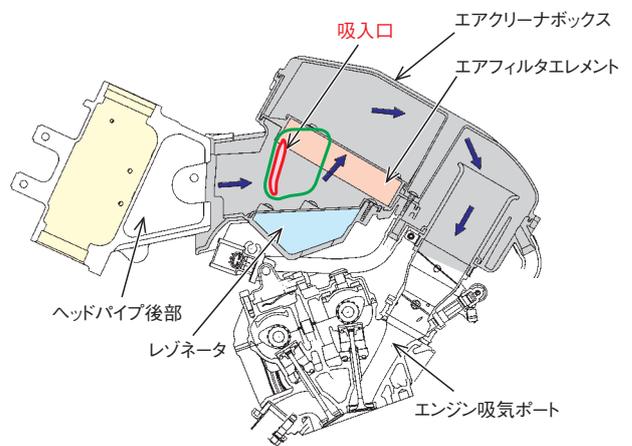
空気が吸気経路を通過する際に発する吸気音をより詳細に把握するために、フレームとエアクリーナボックスの音圧分布を解析した。その結果、フレーム空洞部とエアクリーナボックス前後方向の二種類の共鳴を確認した(図9)。

(ii) 吸気音の強調

エアクリーナボックスの前後共鳴を利用しつつ、外部へ放射することによって、ライダーの耳元へ届く吸気音を強調する構造とした。



(a) 上面視 (断面図)



(b) 側面視 (断面図)

図8 エアクリーナボックスの構造と吸入空気の流れ
Fig. 8 Air cleaner box structure and intake air channel

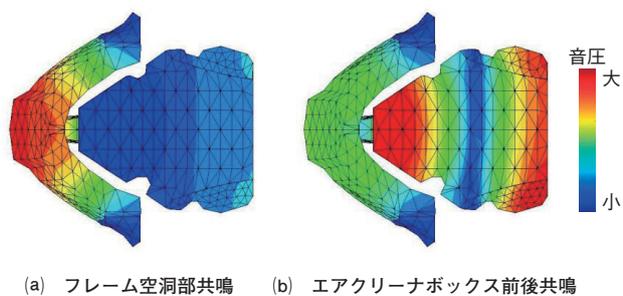


図9 音圧分布の解析結果
Fig.9 Analysis results of sound pressure distribution

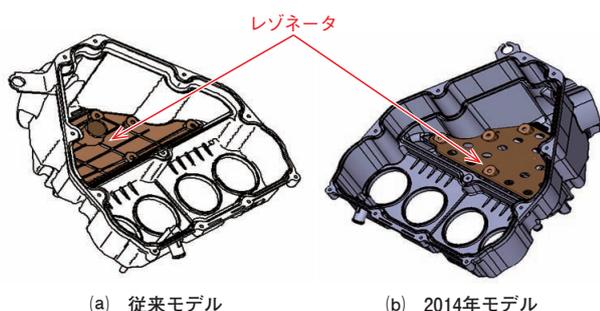


図10 レゾネータの構造変更
Fig.10 Changes in the resonator structure

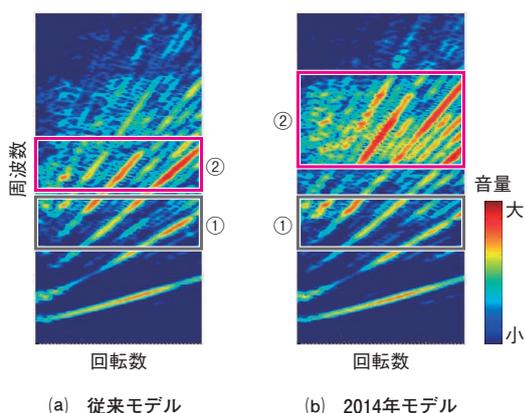


図11 耳元音の計測結果 (3rdギヤでの加速時)
Fig.11 Measurement of sound experienced by the rider (during acceleration in 3rd gear)

エアクリボックス内部にあるレゾネータは、吸気経路の途中に設けた閉空間の空気を吸気音と共鳴させ、吸気音のノイズを減衰させるものである。2014年モデルではこの構造を図10のように1本のパイプ形状から多孔形状に変更し、特定周波数のノイズを低減させた。さらに、エアクリボックスの内部構造を改良し、吸気音をより高周波に変移させた上で、吸気音の放射を促進させた。

(iii) ライダー耳元音の計測結果

構造変更による音響効果を明らかにするために、試験車両でライダー耳元音を計測した。周波数分析結果を図11に示す。

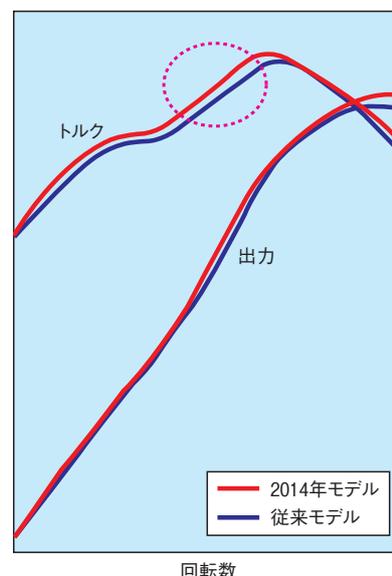


図12 吸気音による加速感向上のイメージ
Fig.12 Enhanced acceleration feel through intake howl

計測結果と音響解析から、従来モデルの灰色枠部分①はフレームの空洞部の共鳴であり、ピンク色枠部分②はエアクリボックス内の前後方向の共鳴を反映していると考えられる。2014年モデルでは、エアクリボックス内の前後方向の共鳴(ピンク色枠部分②)が高周波側に変移した。また、回転数の上昇と共に、赤い部分が増え、耳元音が大きくなっていることが確認できる。

その結果、回転数の上昇と共にトルクが上昇する部分(図12)で、耳元音(吸気音)が大きくなり、トルク上昇と吸気音が同調したため、実際にライダーが感じる加速感を向上させることができた。

あとがき

「Z1000」はカワサキZブランドの最上位機種であり、本稿ではデザインコンセプトやエキサイティングライディングキャラクターを実現させるための技術について紹介した。

また、同時開発した「Ninja 1000」はKTRC (Kawasaki TRaction Control) やイタリアGIVI社と共同開発したパンニアケースを採用し、機能面で大きく進化した。今後もこの二つのブランドをさらに発展させ、顧客の期待に応える製品を開発し続けたい。



水上のスーパースポーツ ジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」

A Supersport of Watercraft Jet Ski® ULTRA 300 Series



加藤 広徳① Hironori Kato
 新城外志夫② Toshio Araki
 渡部 悟③ Satoru Watabe

パーソナルウォータークラフトにユーザーが求めていることは、「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」である。この要求に応えるため、当社は高効率な過給機を採用した高出力エンジンを搭載するジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」を開発した。さらに2014年モデルとして、改良を加えた「ULTRA 310シリーズ」を開発した。本稿では、水上のスーパースポーツとして開発したジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」の高出力エンジンおよび船体の構造と特徴などを紹介する。

What riders seek in a personal watercraft are powerful acceleration, greater maximum speed and excellent maneuverability on rough water. To meet these demands, Kawasaki developed the Jet Ski® ULTRA 300 Series powered by a high-output engine featuring an ultra-efficient supercharger. Kawasaki then added further improvements in the ULTRA 310 Series, developed as the 2014 model.

This paper discusses the structures and distinct features of the high-powered engine and hull of the Jet Ski® ULTRA 300 Series – a supersport of watercraft.

まえがき

近年、ジェットスキー®（図1）をはじめとしたパーソナルウォータークラフトの市場は、図2のように高価格帯モデル（高出力・高機能）と低価格帯モデル（比較的低下出力・ベーシック機能のみ）という二極化の様相を呈している。このうち低価格帯モデルはリゾートなどのレンタル向けが主であり、一般ユーザーの注目は高出力・高機能に特化した高価格帯モデルに集まっている。

ユーザーがこうしたモデルに求めている「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」とい

った要求に応えるため、最近のパーソナルウォータークラフトには過給エンジンが搭載されている。当社も、2007年から過給エンジン搭載のジェットスキー®「ULTRA 250X」を販売している。

しかし、近年ではエンジンの高出力化が急激に進んでおり、ユーザーの要求に応えるために、さらに高出力なエンジンの開発が必要になった。このような状況の中、当社は、高効率の過給機を搭載することにより、エンジンとハル（船体）のサイズを大きくすることなく、高出力化したジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」を開発した。



図1 ジェットスキー® ULTRA 300X
 Fig. 1 Jet Ski® ULTRA 300X

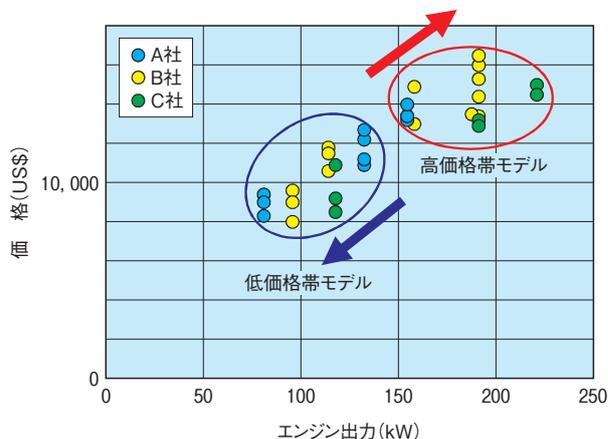


図2 エンジン出力と価格の分布
 Fig. 2 Engine output and price distribution

1 高出力エンジンの開発 —高過給圧の追求—

(1) 過給機の選定

「ULTRA 250X」のエンジンの過給圧比は1.8であり、これは遠心式やルーツ式のスーパーチャージャーまたはターボチャージャーを搭載した自動車なども含めた従来の過給エンジンと同じであった。

まず、過給圧比2.2以上を目標として、最適な過給機を選定した。圧倒的な加速を得るためには、効率良くジェットポンプを回転させる大きなエンジントルクが低回転域から必要となる。そのため、低回転域から十分な流量を吐出できる過給機が必要であり、今回はルーツ式スーパーチャージャーを採用した。

ルーツ式は他の過給方式と異なり、極低速から最高速域までの全回転域で一定の高過給圧を発生することができ、フラットで太いトルクカーブが実現できる。しかし、通常のルーツ式スーパーチャージャーでは過給圧比1.8が構造上限界であった。そこで、米国イトン社が新開発したTVS(Twin Vortices Series)スーパーチャージャー(図3)を採用した。このTVSは過給圧比2.4という高過給が実現できる最新式のものであるが、本来は自動車用に開発されており、マリン製品への搭載は初めてであったため、さまざまな改良を行った。

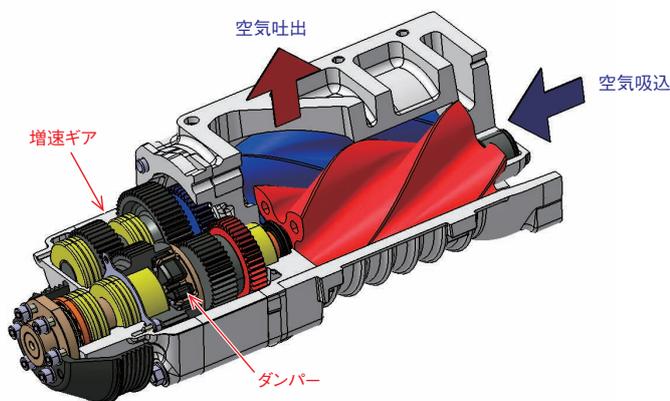


図3 TVSスーパーチャージャーの内部構造
Fig.3 Internal structure of the TVS supercharger

(2) TVS過給機のマリン製品への適用

パーソナルウォータークラフトは、波間をジャンプしながら走行する。ジャンプしている間はジェットポンプに水が供給されないため負荷が抜け、エンジンは定格回転数を超えた過回転領域で使用される(図4A)。これは自動車でもジャンプを繰り返しているようなもので、この過回転領域ではエンジン回転数のごく短時間の間に上昇下降を繰り返す。また、着水した際には、ポンプに水が入ることで負荷が急にかかり、エンジン回転数が急激に低下し(図4B)、エンジン本体への負荷が非常に大きくなる。過給機もエンジンとリンクして内部のローターを回転させているため、同様に大きな負荷がかかる。その負荷を軽減するため、過給機の駆動について種々の検討を加えた。

まず、図5に示すようにベルト駆動を採用した。オートベルトテンショナーによって適正なベルト荷重を維持しつつ、過回転時はベルトがスリップして負荷を逃がすようにセッティングしている。しかし、これだけでは着水した際の大きな負荷を吸収することができないため、さらに図3に示すようにTVS内部に特殊なダンパーを備えた。この2つの機構により、TVS本体に伝わる負荷を図6のように低減させ、パーソナルウォータークラフトへの搭載が可能となった。

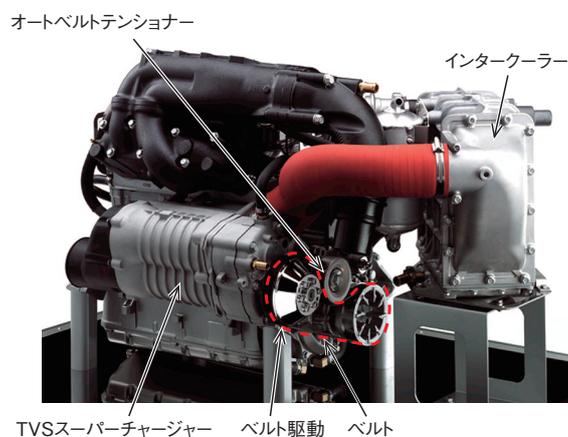


図5 エンジンレイアウト
Fig.5 Engine layout

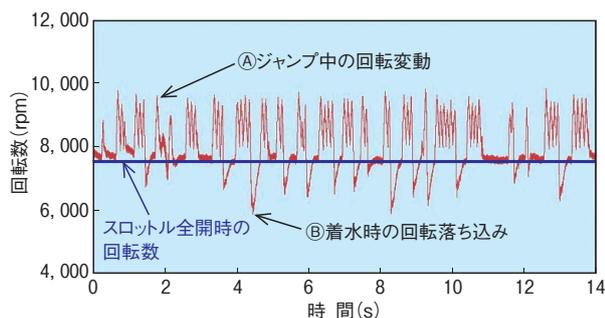


図4 エンジン回転数の変動データ
Fig.4 Engine speed variation data

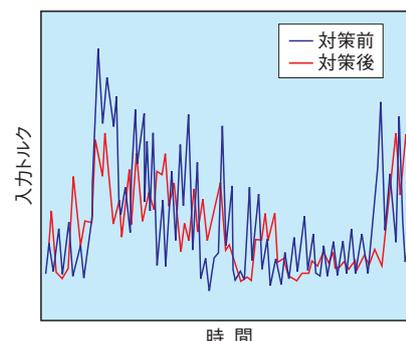


図6 スーパーチャージャーへの入力トルク
Fig.6 Torque input to the supercharger

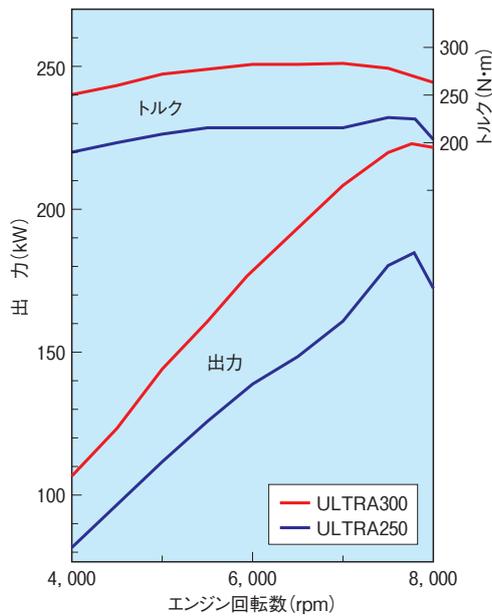


図7 エンジン出力特性
Fig. 7 Engine output properties



図8 ハル形状
Fig. 8 Hull form

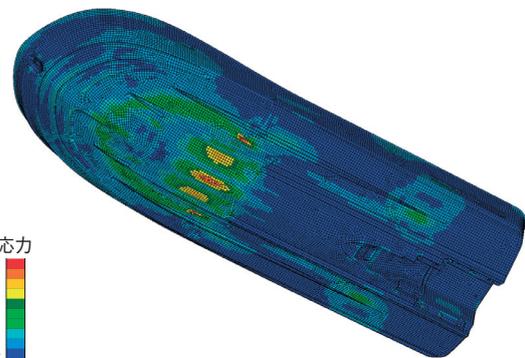
(3) 過給の効率化

効率よく過給して高出力を得るため、以下の改良を加えた。まず、過給した吸入空気を冷やして充填効率を上げるため、大型水冷インタークーラーを搭載した。周囲の潤沢な水を利用して、過給行程で上昇した吸入空気の温度を大幅に低減させた。さらに十分に冷却した吸入空気がエンジンの熱で少しでも温められるのを防ぐため、樹脂製インタークマニフォルドを過給エンジンで初めて採用した。こうして高過給した吸入空気を効率よく燃焼させるため、燃焼や出力の解析を基に実際の燃焼状態を確認しながら、最適なバルブタイミング・燃料噴射量・点火時期を選定した。

これらによって、排気量1.5Lのエンジンでありながら、過給圧比2.2、最高出力221kWというパーソナルウォータークラフトとして業界最高出力を達成した。エンジン出力特性を図7に示す。この新エンジンは、高出力だけでなく、排出ガスを大幅に低減することにも成功し、米国EPA (Environmental Protection Agency) ならびに、世界で最も厳しいCARB (California Air Resources Board) やEUの規制値をクリアした環境に優しいエンジンに仕上がっている。



(a) 従来構造



(b) 新構造

図9 ハルの応力解析結果
Fig. 9 Stress analysis results of the hull

2 高出力エンジンを生かす船体 —加速の追求—

パーソナルウォータークラフトは波のない平水面だけではなく、波のあるラフウォーターも走行する。また、パーソナルウォータークラフトに限らず、いろいろな乗り物において、「速い」という言葉は、「最高速」だけではなく、「加速」を意味することも多い。そこで「ULTRA 300シリーズ」では、「あらゆる水面」での「高い加速性能」を開発の目標とした。

(1) ハル（船底）形状

ハル形状はデッドライズ（船底勾配）22.5°のディープV型ワープ船型とした（図8）。これにより波間での波切り性を向上させるとともに、ウエーブショックを緩和し、ラフウォーターでの走行安定性を向上させた。

通常、波切り性の向上・ウエーブショックの緩和のためにハルのV形状を尖らすと船体の抵抗が増えて、最高速や加速性能が低下するが、高出力エンジンにより補えるため、ラフウォーターの走行安定性を重視し、本形状を採用した。

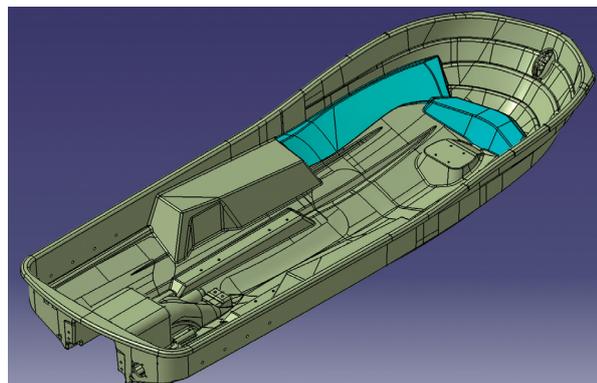


図10 軽量化したハルの新構造
Fig.10 Structure of the new lightweight hull

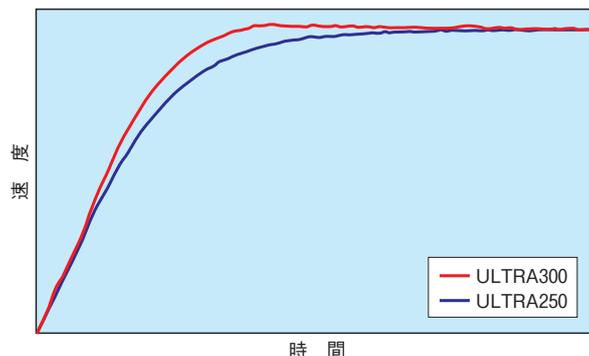
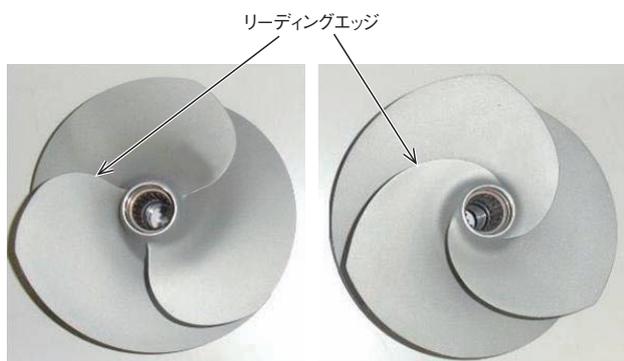


図12 発進加速性能
Fig.12 Starting acceleration performance



(a) 従来形状 (b) 新形状

図11 インペラ形状
Fig.11 Shape of the impeller



図13 ジェットスキー® ULTRA 310LX
Fig.13 Jet Ski® ULTRA 310LX

(2) ハルの軽量化

艇の質量は、加速性能やラフウォーターでの走行安定性に大きく影響する。そこで、特に質量の大きい部分であるハルを軽量化した。

走行中の船底に発生する応力を解析した結果を図9に、解析結果を基に板厚と補強構造を変更したハルの新構造を図10に示す。従来構造で発生応力の高い部位(図9の赤色部分)に補強(図10の水色部分)を追加し全体の肉厚を減らすことで、高剛性を実現し、かつ従来モデルである「ULTRA 250X」よりハル単体で約17kgを軽量化して85kgとなった。

3 高出力エンジンを生かすジェットポンプ

エンジンの出力向上に合わせてジェットポンプも新設計し、従来モデルよりも大型の内径160mmとした。また、従来のリーディングエッジ側の翼形状を大幅に変更し、翼面積が約13%増加したインペラを採用することで、キャビテーション*を発生することなく、高出力エンジンのトルクを効率よく推進力に変えている。インペラの従来形状および新形状を図11に、発進加速性能の比較を図12に示す。

* 液体の流れの中で圧力差により短時間に泡が発生する現象

あとがき

ユーザーがパーソナルウォータークラフトに求めている「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」をコンセプトに、当社は、「ULTRA 300シリーズ」を開発した。この「ULTRA 300シリーズ」は、高過給・高出力エンジンとそれを活かす船体とともに高機能な装備を有し、「ジャパンインターナショナルボートショー2013」でもユーザーの関心を独占した。さらに2014年度モデルとして、改良を加えた「ULTRA 310シリーズ」を開発した(図13)。また、排出ガスの大幅低減を達成し、米国や欧州の規制をクリアするとともに、燃費においても大幅に向上させた。このように環境にも大きく配慮することによって、社会のパーソナルウォータークラフトに対するイメージを変え、世界市場の再活性化に大きく貢献していきたい。



加藤 広徳



新城外志夫



渡部 悟

圧倒的パフォーマンスのモトクロスカー「KX250F」

Overwhelming Performance Motocrosser KX250F



高須 朗① Akira Takasu
 松下 充② Mitsuru Matsushita
 濱田 信大③ Shindai Hamada
 野呂 雅和④ Masakazu Noro

モトクロスカー「KX250F」は、モトクロスレースにおいて、スタートダッシュを有利にするローンチコントロールモードをはじめ、高速/低速回転域で適切な燃料供給を可能にするデュアルインジェクションシステムなど、数々のファクトリーマシン直系の技術を採用している。本稿では、「KX250F」の特徴とそれを支える技術の概要について述べる。

The Kawasaki motocrosser KX250F comes loaded with numerous technologies directly derived from factory machines, including the Launch Control Mode, which gives riders an advantage in getting a good start in motocross races, and the Dual Injection System, which optimizes fuel delivery at both high and low torque ranges. This paper presents an overview of the features of the KX250F and the technologies supporting them.

まえがき

モトクロスは、最大の市場である米国においてはメジャーモータースポーツの一つである。スタジアムで行われるモトクロスレースの最高峰、AMAスーパークロス選手権(図1)は、一戦で50,000人以上を集客する大きなイベントとなっている。当社製品のモトクロスカー「KX450F」は、メインクラスである450cm³クラスにおいて、3年連続でタイトルを獲得し、カワサキブランドのイメージアップに貢献している。

一方、250cm³クラスにおいて活躍している「KX250F」も、2003年の発売以来、世界各地のレースで好成績を残している(表1)。また、モトクロス専門誌のシュートアウトと

呼ばれる他車との比較評価でも、この数年間は常に上位にランクされており、戦闘力の高さに定評がある。

1 開発コンセプト

本製品は市販レースマシンであることから、開発コンセプトを「改造を加えることなく、そのままの状態でもレースに勝てるマシン」とした。そのために必要な性能として、「パワーだけでなく、扱いやすさも重視したエンジン特性」、「意のままに操れる車体特性」の2点を追求した。

この開発コンセプトに沿ったマシン開発を継続してきた結果、近年では市場から、「最もRace Readyなマシン」といった狙い通りの評価を受けるに至っている。

2 エンジン技術

レースで勝てるエンジンを目指し、次の2点をエンジンの開発方針とした。

- ① ホールショット*獲得
- ② 最速ラップタイム**獲得

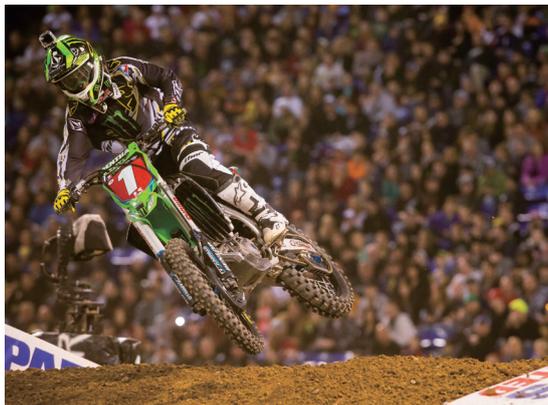


図1 AMAスーパークロス選手権(スタジアムレース)
 Fig.1 American Motorcyclist Association Supercross (stadium race)

表1 「KX250F」のタイトル獲得回数(2003~2012年)
 Table 1 Number of titles won by KX250F (2003-2012)

	タイトル獲得回数	10年間の全タイトル数
AMAスーパークロス	11	20*
AMAモトクロス	7	10
全日本選手権	6	10

*西地区・東地区の2タイトル/年



図2 スタートの瞬間
Fig.2 Moment of start

これらの方針に基づき「KX250F」のエンジンは以下の機能を備えている。

- * ホールショット：スタート直後のコーナーに先頭で進入すること
- ** ラップタイム：コースを1周するのにかかるタイム

(1) ローンチコントロールモード

—ホールショット獲得—

モトクロスレースではスタートダッシュ（図2）が重要なポイントであり、ほんのわずかな差で、ホールショットを得られるかどうかが決まる。スタートの急発進は滑りやすいため、ホールショットを得るには、スロットルとクラッチの繊細なコントロールが要求される。

この高度なテクニックが要求されるスタートをエンジン制御によって補助するのが、ローンチコントロールモードである。この制御モードは、AMAスーパークロス選手権／モトクロス選手権に参戦するカワサキのワークスマシンから、量産モトクロス「KX450F/KX250F」にフィードバックした、エンジン特性をスタート専用に取り替えるシステムである¹⁾。

ハンドルに設けたボタンを押すだけで、エンジンの制御マップがローンチコントロールモードに切り替わり、スタートに適した点火時期になる。これによりスタート時の急激なトルク変動を抑え、ホイールスピンが減少し、スリップ率が下がり、車速の上昇が速くなる（図3）。ローンチコントロールモードはスタート直後のみ作動し、走行中のある条件に入ると解除され、標準のエンジン制御マップへ戻る。

このシステムをコースコンディションにより使い分けることで、ホールショット獲得に大変有効な装備となる。

(2) デュアルインジェクションシステム

—最速ラップタイム獲得—

(i) システム構成

「KX250F」は、量産モトクロスとして、世界で初めてデュアルインジェクションシステムを採用した。デュアルインジェクションシステムは、図4に示すように、バ

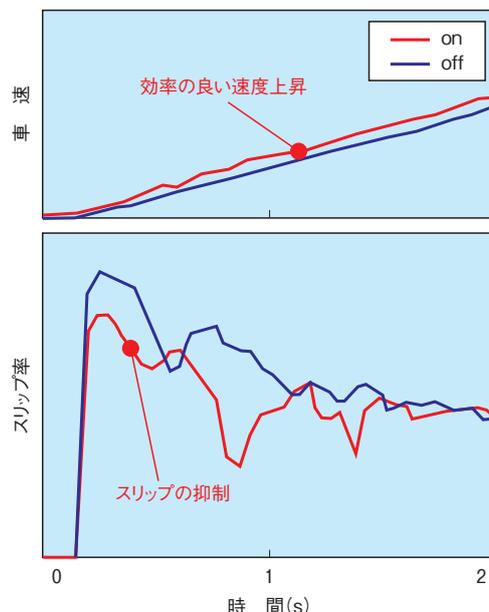


図3 ローンチコントロールモード
Fig.3 Launch Control Mode operation

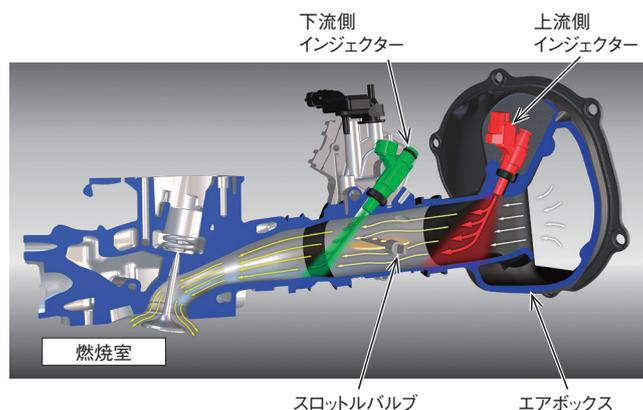


図4 デュアルインジェクションシステム
Fig.4 Dual Injection System

タフライ式のスロットルバルブを挟んで、燃焼室側に1個、エアボックス側にもう1個のインジェクターを設置する。この2個のインジェクターを使い分けることで、低速回転域での俊敏なレスポンスと、高速回転域でのピークパワーを高いレベルで両立することができる。

急加速が必要なスタートダッシュや、正確で細かいエンジン回転コントロールが必要なコーナリングで使われる低速回転域では、下流側インジェクターが主に働く。インジェクターの位置が燃焼室に近く、噴射された燃料がすぐに燃焼室に供給されるため、鋭いレスポンスが得られる。

一方、パワーが重要な高速回転域では、上流側インジェクターが主に働く。このインジェクターの位置は燃焼室から離れているので、噴射された燃料が燃焼室に入るまでの時間を長くとることができる。そのため、燃料と空気の混合（燃料の気化）が促進されて冷却効果を生むことにより、燃焼室への混合気の充填効率が高まり、高出力が得られる（図5）。

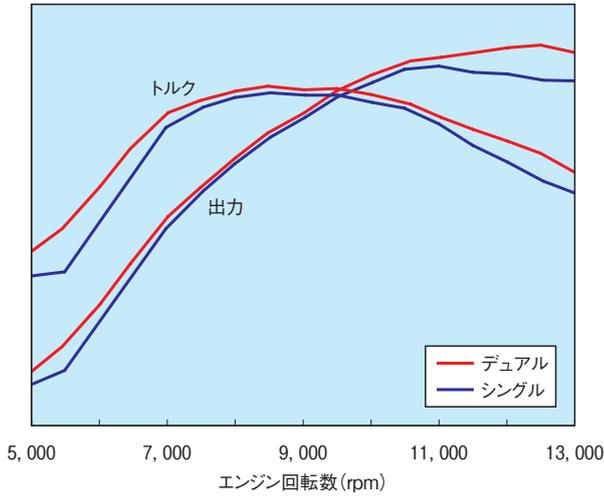


図5 デュアルインジェクションシステムによる性能の向上
Fig. 5 Performance enhancement with the Dual Injection System

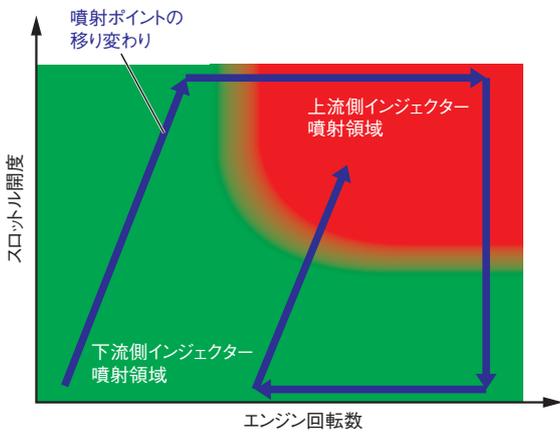
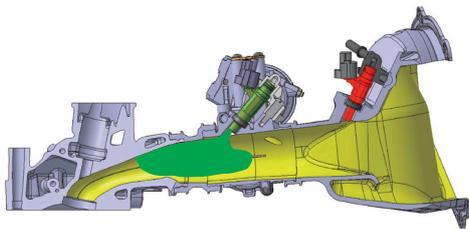
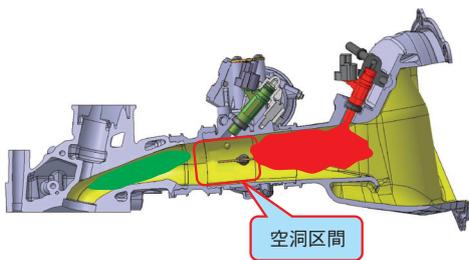


図6 燃料噴射マップ
Fig. 6 Map of fuel injection



(a) 下流側のみの場合



(b) 下流側から上流側に切り替えた直後

図7 インジェクター噴射図
Fig. 7 Injector spray diagram

(ii) レイトリミット制御

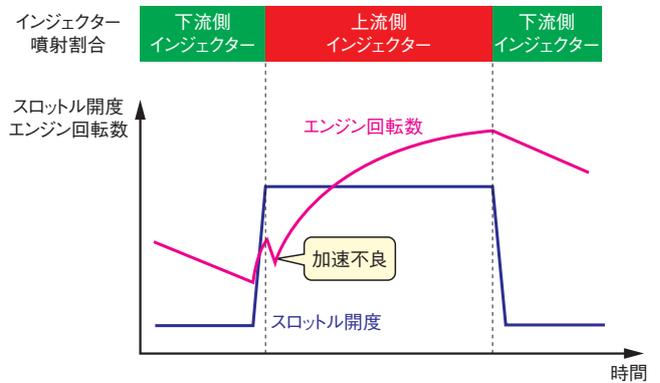
モトクロスカーは、エンジン回転数やスロットル開度の変化が非常に激しい。そのため、噴射ポイントは燃料噴射マップ(図6)で示す下流側・上流側インジェクター噴射領域を頻繁に行き来する。

下流側から上流側へのインジェクター噴射の切り替わり時の様子を図7に示す。下流側から上流側へのインジェクター噴射の切り替わり時は、混合気空洞区間ができて、燃料の応答が遅れ、図8(a)に示すように加速不良を引き起こす。

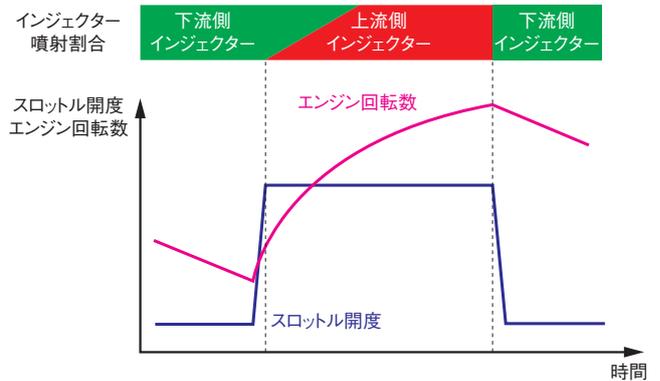
この問題を解消するためレイトリミット制御を適用した。燃料噴射マップ上において、下流側インジェクター噴射領域から上流側インジェクター噴射領域への切り替えを瞬間的には行わず、噴射割合を連続的に変化させながら切り替えることで、燃料応答遅れをなくすることができる。

一方、エンジン回転数を下げる際には、レイトリミット制御を常に効かせると、スロットルバルブ上流側に燃料が留まってしまうという問題が生じる。そのため、この場合は上流側インジェクターから下流側インジェクターへ噴射が即座に切り替わるようにした(図8(b))。

このレイトリミット制御により、デュアルインジェクターはシングルインジェクターに対して戦闘力が大きく向上したシステムとして確立され、最速ラップタイム獲得に寄与している。



(a) レイトリミット制御なし



(b) レイトリミット制御あり

図8 レイトリミット制御の有無による回転数の変化
Fig. 8 Effect of rate limit control on engine speed

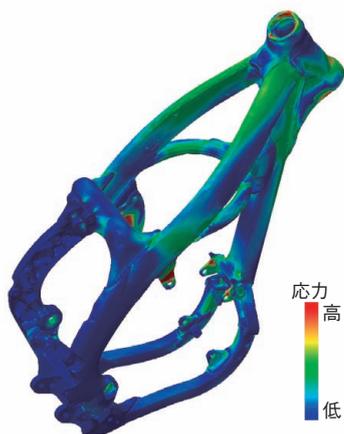


図9 メインフレーム応力解析例
Fig.9 Example of main-frame stress analysis

3 車体技術

意のままに操れる車体を目指し、次の2点を車体の開発方針とした。

- ① ラフロード(凹凸のある路面)での直進安定性の確保
- ② 軽快感と安定感を備えたコーナリング特性の実現

(1) メインフレーム 一直進安定性

ラフロードで安心して加速するには、車体剛性は高ければいいというものではない。剛性が高すぎると路面の凹凸を吸収できず、車体挙動が不安定になってしまうからである。ある程度は車体自身がしなっていて衝撃を吸収することが必要で、剛性バランスが極めて重要となる。そこで、強度と剛性について解析を実施し、メインフレームの構成部材を、鍛造品/押出品/鋳造品で適切に組み合わせることで、バランスの取れた剛性に設定した(図9)。これによりラフロードの高速走行時でも、高い直進安定性を確保できた。

(2) セパレートファンクションフロントフォーク

(SFF: Separate Function front Fork)

—コーナリング特性—

従来のフロントフォークは、左右両脚がそれぞれ車体保持(反力)機能と減衰機能を持ち合わせていた。(株)ショーワと共同開発したSFFでは、図10に示すように、左側のL脚は分離加圧式ダンパーによる減衰機能、右側のR脚はスプリングによる反力機能と機能を分割した。

その結果、部品点数の削減による軽量化と、スプリング一本分の摺動フリクションの低減を実現した。これにより、軽量で吸収力を高めたフロントフォークを実現できた。また、従来はプリロード(スプリングの初期荷重設定)を変更するには、フロントフォークの分解が必要だったが、R脚にプリロードアジャスタを装備したことで、実車状態での調整が可能になり、セッティング自由度を高めた。

SFFは、反力脚であるR脚の内部部品(ジョイントロッド

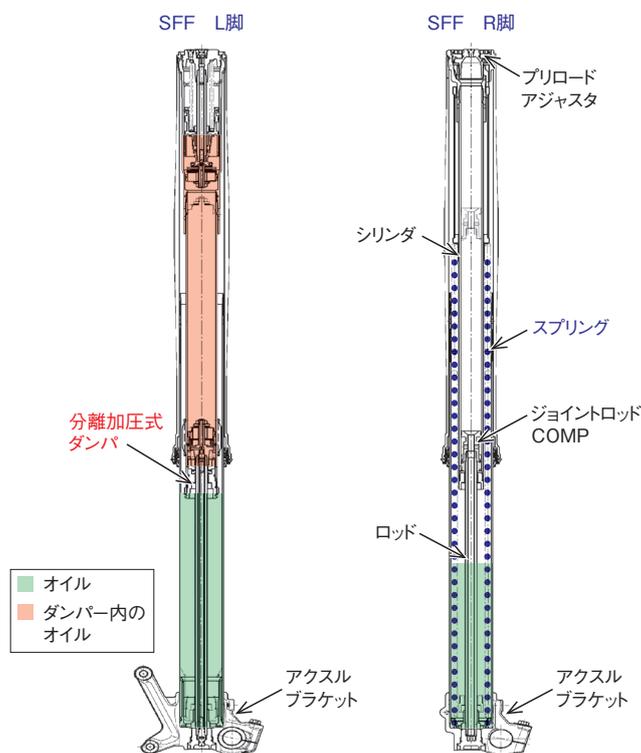


図10 SFF構造図(2014年モデル)
Fig.10 Structural diagram of SFF (2014 model)

COMP:ロッドとシリンダの接続部品)を倒立配置とし、ストローク依存性を持つ外筒減衰力を高めた。減衰脚であるL脚においても、ダンパーサイズを外径30mmに拡大し、衝撃の吸収力と減衰による制御感の向上を両立させた。また、インナーチューブ径を外径48mmに拡大、アクスルブラケット部での剛性調整などにより、フロントフォーク全体での剛性を最適化することで、軽快感と安定感を両立したコーナリング特性を実現している。

あとがき

これまで数多くの技術を開発し、「KX250F」に適用してきた。その結果が現在の「KX250F」の地位を築き上げているということを再認識し、今後も積極的に新しい技術開発に挑戦し、戦闘力のさらなる向上を図っていく所存である。

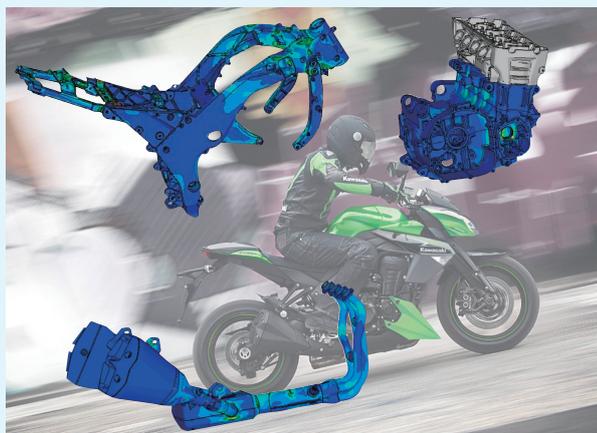
参考文献

- 1) 特許 第4472835号, “エンジンの点火時期制御装置”



高須 朗 松下 充 濱田 信大 野呂 雅和

開発のフロントローディングを実現する高度シミュレーション技術 Advanced Simulation Technology that Enables Front-loading of Development



川崎 卓巳① Takumi Kawasaki
西尾 研二② Kenji Nishio
道上 雅史③ Masashi Michiue
井原 栄治④ Eiji Ihara
山崎 明行⑤ Akiyuki Yamasaki

魅力的なモーターサイクルを効率良く開発するためには、設計自由度が高い開発プロセスの上流段階で、品質と性能の徹底的な作り込みが非常に重要である。そこで、このような「開発のフロントローディング」を可能とする高度な数値シミュレーション技術と実証技術の開発に取り組んでいる。

本稿では、特に耐久性の検討として、仮想耐久シミュレーション、車体軽量化、耐久試験用ロードシミュレータを取り上げ、その適用事例について述べる。

In order to develop attractive motorcycles with greater efficiency, it is extremely important to achieve high quality and performance upstream in the development process when there is greater freedom for design study. To enable such front-loading of the development process, Kawasaki has been developing advanced numerical simulation technology and validation technology.

This paper will focus on aspects that concern durability, and examine how such technologies are actually applied in virtual simulation, body weight reduction and road simulator testing.

まえがき

魅力的なモーターサイクルを開発するには、品質を確保しつつ、高い性能と商品性を達成することが重要である。これを効率的に進めるためには、図1に示すように、設計自由度が高い開発プロセス上流で品質・性能の作り込みを行い、後半の開発では、試作車を用いることでしかできないフィーリングなどの作り込みに注力できるようにする。このような「開発のフロントローディング」により、期間短縮と低コスト化を目指す。

開発プロセス上流の実車がない状態で図2に示すさまざまな検討をより正確に評価するためには、これまで以上に高精度な数値シミュレーション技術および評価技術が必要である。また、それらの技術の構築には、現象を理論的に解明するための高度な実験・計測技術も必要である。

本稿では、特に耐久性の検討事例として、モーターサイクルの重要部品であるエンジンのクランクケース、マフラー、フレーム、および耐久試験用ロードシミュレータについて述べる。

1 仮想耐久シミュレーション

(1) エンジン (クランクケース)

高回転・高出力化と軽量化の両立は、モーターサイクルのエンジンにとって特に重要である。これらの両立を達成するためには、設計の初期段階でエンジンの耐久性を精度高く評価する必要がある。当社では、高精度な仮想耐久シ

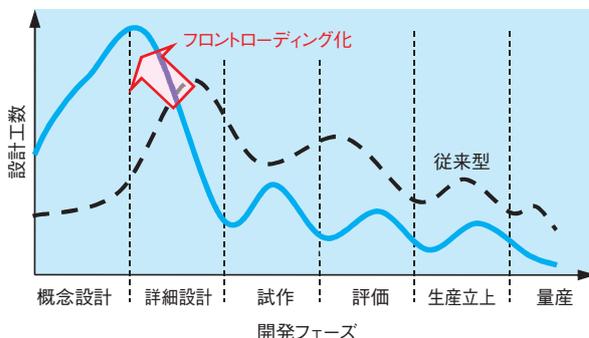


図1 開発のフロントローディングによる設計工数削減
Fig. 1 Front-loading of development for design workload reduction

ミュレーション技術を開発している¹⁾。

エンジンの実稼動状態では、ピストン・クランク機構が往復・回転運動しており、クランクケースにエンジン燃焼により発生する力や慣性力が繰り返し作用する。これらの力の大きさと方向は時間とともに変化するため、クランクケースは時々刻々変化する複雑な応力状態となる。

このようなことからクランクケースの数値シミュレーションは、動解析が望ましい。しかし、計算負荷や結果容量が大きいいため、設計効率の観点から、動解析の適用は現実的でない。そこで、図3に示すモデルを用いた機構解析結果から、エンジンにとって強度的に厳しい複数の荷重条件を選定し、その結果から耐久性の評価を行うこととした。

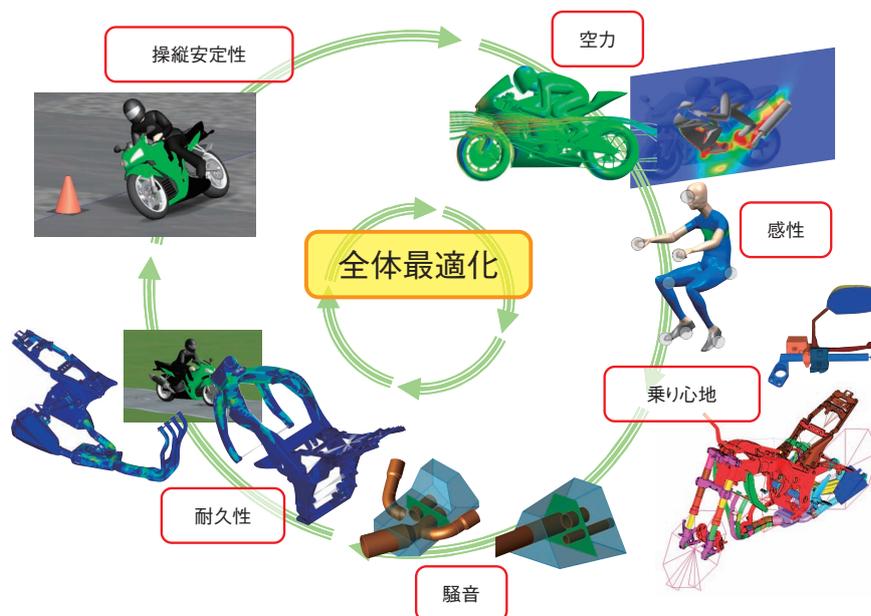


図2 相互連携による全体最適化
Fig. 2 Total optimization through mutual cooperation

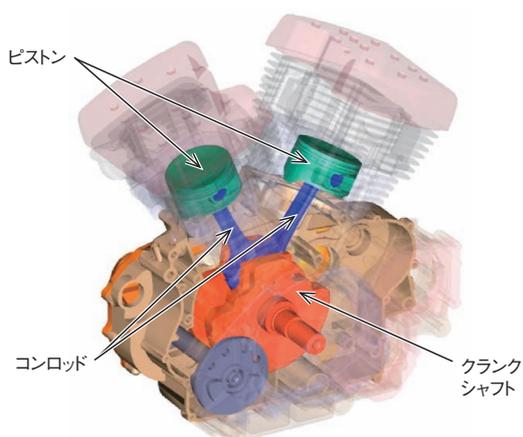


図3 エンジンの機構解析モデル
Fig. 3 Dynamic simulation model for engine

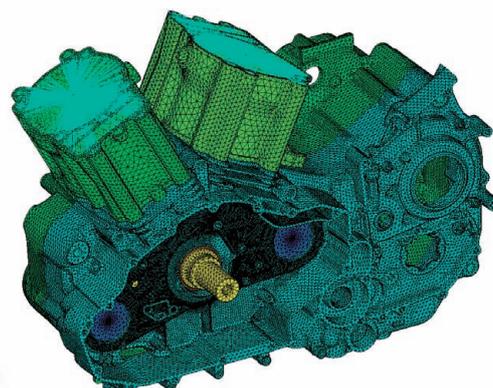


図4 エンジンの静解析モデル
Fig. 4 Static analysis model for engine

これらの荷重条件を図4に示すモデルに与え、得られた個々の解析結果から疲労損傷度を求めた（耐久性評価）、評価結果例を図5に示す。

この技術を用いることで仮想的にエンジン耐久試験を行うことが可能となり、作り込みに向けた多くの設計検討が可能となった。

(2) マフラ

マフラの耐久性を精度良く予測するためには、加振源となるエンジン振動の精度良い推定、評価対象であるマフラの適切なモデル化（振動特性）、溶接部の適切な耐久性評価法が必要である。

- ① エンジン振動は機構解析を用いて算出する。モーターサイクルにおけるエンジン振動は広い帯域にわたるので、周波数領域で評価を行う。

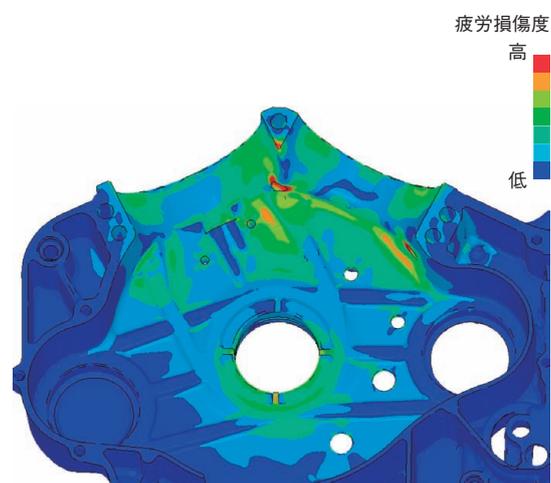


図5 右クランクケース内側の疲労損傷度分布
Fig. 5 Distribution of fatigue damage inside the right crankcase

- ② マフラの振動特性の推定に関しては、エンジンとの接続部のガスケットやフレームへの取り付け部のゴムブッシュを含めた図6に示すような振動解析モデルを用いることで解析精度を高めている。また図7に示すマフラ振動試験で振動解析の精度を検証している。
- ③ 溶接部の耐久性評価では、溶接の継手形式に依存しない統一した評価が行えるホットスポット応力による評価方法を適用している。ホットスポット応力は、溶接ビードによる局所的な応力集中を含まず、構造的な

応力集中によるものとして定義される。この方法は、船舶や鉄道車両で用いられるような厚板部材を主な適用対象として開発されたものであるが、マフラのような薄板部材に対しても適用できる手法を開発した。なお、エンジンから伝わる熱の影響も考慮している。

これらの方法を用いた耐久性評価技術を実機マフラに適用した結果（溶接部の疲労損傷度）を図8に示す。

このように、実際の耐久試験を仮想的に実施することが可能となり、効率的な設計検討ができるようになった。

2 車体軽量化

フレームでは、適切な剛性と強度を保持しつつ軽量化が要求される。そこで、フレームの剛性・強度の要件を満足させ、効率的な形状および部材配置を検討するための最適化技術を開発した。

フレームの最適化解析モデルを図9に示す。メインフレームの部材を配置できる範囲を設計空間とし、エンジンやリアフレーム、スイングアームなどについてもモデル化している。最適化解析から得られた形状と、その後のフレーム最適化プロセスを図10に示す。最適化解析から得られた

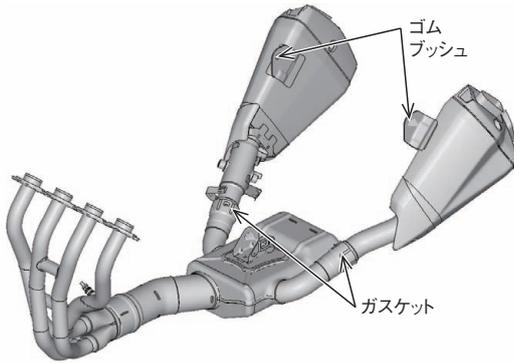


図6 マフラの振動解析モデル
Fig.6 Vibration analysis model for exhaust system



図7 マフラ振動試験
Fig.7 Vibration test for exhaust system

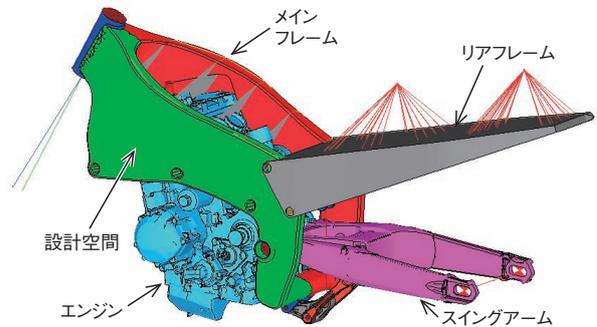


図9 フレームの最適化解析モデル
Fig.9 Optimization analysis model for frame

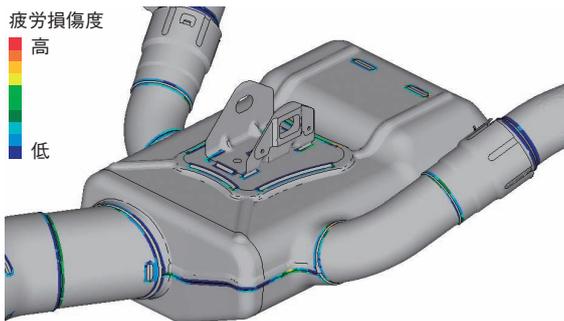


図8 マフラ溶接部の疲労損傷度分布
Fig.8 Distribution of fatigue damage in exhaust system welds

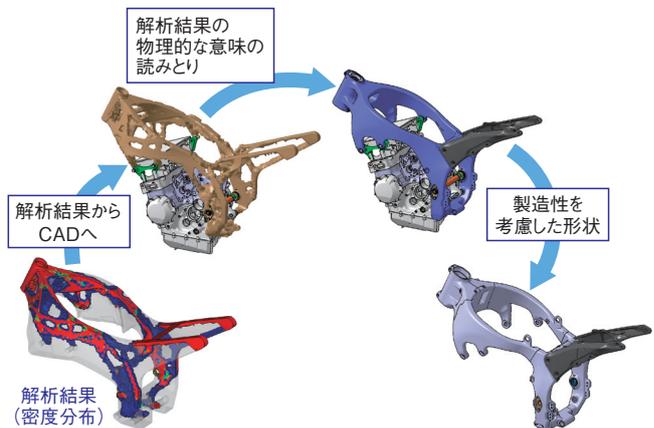


図10 フレーム最適化のプロセス
Fig.10 Frame optimization process

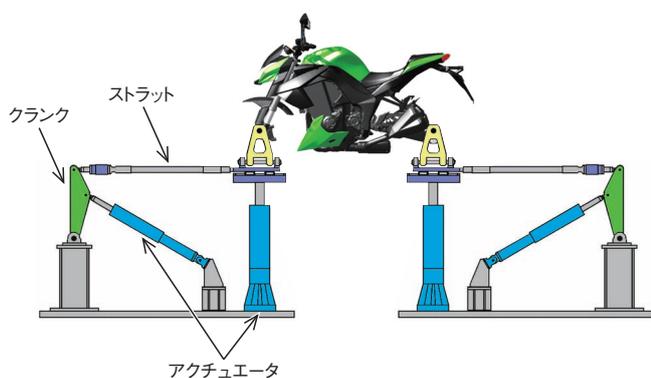


図11 ロードシミュレータの装置構成
Fig.11 Equipment composition of road simulator



図12 ロードシミュレータによる耐久試験
Fig.12 Durability test using road simulator

形状を参考にフレームのリブ配置などを決定する。これにより、フレームに求められる剛性・強度と軽量化を満足した効率的な設計が可能になる。

3 耐久試験用ロードシミュレータの開発

仮想耐久シミュレーションの活用により、数値シミュレーション技術が主流になりつつあるが、試作車を用いた実使用条件下での実証試験は必要不可欠である。

そこで、製品が目標とする耐久性が満足できていることを合理的かつ効率的に実証するために、実際の耐久試験用のコースの走行状態（車体負荷）を再現できる台上加振システム（ロードシミュレータ）の活用を進めている。

モーターサイクルの各開発工程において、試作車での耐久実証試験を実施しているが、試験期間が長いばかりでなく、天候に左右されたり、昼夜連続試験が困難であったり、ライダーに対する負荷も高い。さらに開発の最終工程であるため、そこで不具合が生じると目標開発期間を守ることが難しくなる。

このため、実走行耐久試験を補完する、より簡便で期間の短い試験手法を確立し、耐久実証の効率化を図ることが不可欠である。そこで、実走行耐久試験の条件を精度よく再現できる台上試験手法として、図11、図12に示すモーターサイクル用ロードシミュレータを開発した。

ロードシミュレータでは、複数本のアクチュエータをコントロールして、実際の耐久試験のコースを走った時に受ける車体のダメージを忠実に再現することができる。

あとがき

モーターサイクルにおける開発のフロントローディング技術とその適用例として耐久性評価に関する事例を紹介した。

今後もフロントローディング技術の高精度化に取り組み、開発の効率化に貢献するとともに、商品価値の作り込みに向けた技術開発にも取り組んでいく。

参考文献

- 1) K. Nishio, T. Kawasaki, F. Inamura, G. Matsubara, D. Kano, A. Yamasaki: "Prediction of Fatigue Failure in Multiaxial Stress States for Motorcycle Engines", Small Engine Technology Conference, SAE, 2010-32-0031 (2010)



川崎 卓巳



西尾 研二



道上 雅史



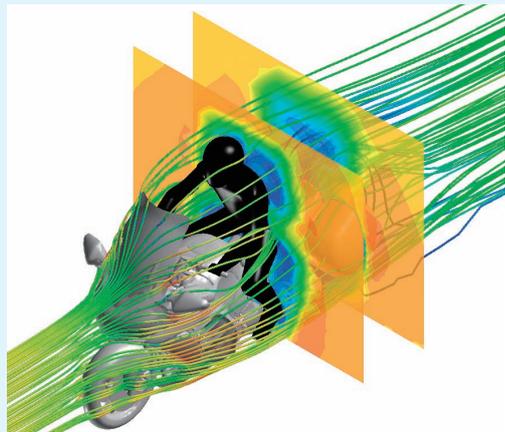
井原 栄治



山崎 明行

スケッチ段階での空力・冷却性能・快適性の作り込み

Engineering Riding Comfort and Aerodynamic and Cooling Performance in the Sketching Stage



坂川 佳司① Keiji Sakagawa
 井原 栄治② Eiji Ihara
 宇積 陽一③ Yoichi Utsumi
 原口 貴行④ Takayuki Haraguchi
 森川 学⑤ Manabu Morikawa
 堀之内裕規⑥ Yuuki Horinouchi

モーターサイクルの開発においては、性能だけでなくデザインも重要な要素となる。そのため、スケッチ段階でデザインと性能のバランスを最適化させる技術が不可欠である。本稿では、スケッチ段階での車体開発評価手法として、空力・冷却性能・快適性向上への取り組み事例を紹介する。

In the development of a motorcycle, design is as important an element as performance. Therefore, a technology for achieving the optimal balance between design and performance during the sketching stage is vital. This paper will examine development evaluation methods for the chassis during the sketching stage aimed at improving aerodynamic and cooling performance as well as riding comfort.

まえがき

モーターサイクルの車体開発において、商品性の向上のため、走行性能や乗り心地などの性能向上に加えてデザインも開発の重要な要素となる。開発の最上流工程において多数のスケッチが描かれ、その中から商品コンセプトを実現するデザインが決定される。また、加速性能向上や燃費改善には特に高速域での空力抵抗（CD値）低減が必要である¹⁾が、空力抵抗は車体を覆うカウリングの意匠形状によるところが大きい。

長距離走行に利用されるツアラータイプの製品では、風防性の向上、夏場の体感温度低減による快適性向上が、走りの楽しさに寄与する。ライダーの風当たりである風防性の向上ではウインドシールドの形状、感性的な評価となる体感温度低減ではサイド部の形状がそれぞれ重要となる。また、エンジン性能向上の観点から、いかにうまくエンジンを冷やすか、すなわち放熱器であるラジエータに効率的に風を導く必要がある。このためには、エンジンを覆うカウリングの形状の適正化が必要となる。このようにモーターサイクルでは、車体形状が、空力・風防・体感温度・エンジン冷却といった機能面と密接に関係している。

一方、形状のデザインは開発の最上流工程であるスケッチおよび、スケッチを反映したクレイモデル（クレイモック）段階で決定され、その後の変更はデザインと機能の要請から極めて小規模なものに限られる。そのため、空力・冷却といった性能面の開発もスケッチ段階でシミュレーションにより多くの仕様に対する検討を実施し、あらかじめデザインへ反映し最適化しておく必要がある（図1）。

本稿では、モーターサイクル車体開発におけるスケッチ

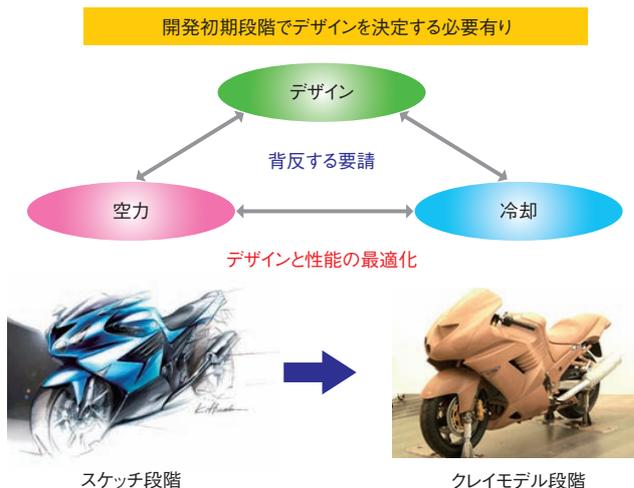


図1 スケッチ段階での最適バランス
 Fig. 1 Optimal balance in the sketching stage

段階での空力、冷却性能向上、快適性向上への取り組み事例と、効率化、迅速化した解析の活用について紹介する。

1 ツアラーモデルの開発への適用

ツアラーモデル「1400GTR」では、長距離のツーリングに対応すべく風防性や、夏場の体感温度低減による快適性などの性能を向上させることで走りの楽しさを高めている。また、1,400cm³という自動車並みの排気量のエンジンを幅の狭いエンジンルームに配置するため、エンジンをいかに効率よく冷やすかも課題となっている。風防性、熱的な快適性、エンジン冷却性は、カウリングのような意匠面

34 ① 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
 ②⑤ モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部 技術管理部
 ③ モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部 第二設計部

の形状決定と密接に関係するため、開発の最上流工程であるスケッチ、クレイモック段階で全車の数値流体力学(CFD)解析および風洞試験を活用している。

特に、風洞試験は空力性能を向上しながらデザインとの最適化を実施する重要なステージとなるので、デザイン性、空力性能の向上のため、世界でも例の少ない二輪車専用の実車風洞設備を2009年に設置した²⁾。

検討した「1400GTR」の2008年モデルと2010年モデルを図2に示す。印象としてはカウルサイドの形状が変更され、より機能的なデザインとなっている。

(1) エンジン冷却性の向上

開発においては、まずモーターサイクルとしての性能向上に大きく寄与するエンジン冷却性を高めることを目標に取り組んだ。エンジン冷却のためには、効率的にラジエーターに風を導く必要がある。一見、ラジエーターの前側を広げる方法が良いと考えがちであるが、ラジエーターの通過風量を増やすためには、空気の入力であるフロント周りよりも、出口側のスペースを確保することが重要となる。この出口側のスペースは、サイドカウルの形状と密接に関係する。スケッチ段階でデザインを成立させ、かつ冷却性能を向上できる形状の検討のため、エンジンルーム内の全ての



図2 1400GTRのデザイン変更
Fig. 2 Design change of 1400GTR

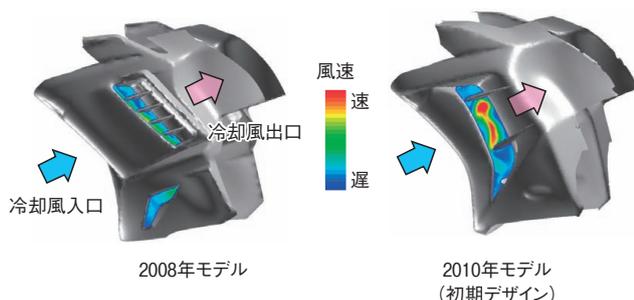


図3 スケッチ段階でのエンジン冷却予測
Fig. 3 Engine cooling prediction during the sketching stage

パーツを含む車体をモデル化した全車CFD解析により冷却性能を予測した。

従来は、デザイン段階のものをまず試作し、実験によって冷却性能を確認するという手法をとっていたが、「1400GTR」の開発では、スケッチ形状を3次元CADで起こした設計モデルから解析した。

開発初期段階に実施したアイドリング時のサイドカウルからの冷却風の流れを図3に示す。2008年モデルでは風速が遅い青い領域が目立つが、2010年モデルでは風速の速い赤い領域が大きくなり、ラジエーターを通過した冷却風を効率的に排出できていることが分かる。2010年モデルの初期デザイン(図3)と量産になったもの(図2)と比べるとリップの本数は2本から4本に増えているが、サイドカウル形状は初期デザインと同じであり、開発の最上流工程でデザインと冷却性能を両立させたカウル形状を実現することができた。

(2) ライダー脚部の温度低減

前項(1)の取り組みにより、エンジン冷却性能向上の目途を得たが、熱の流れが良くなった反面、サイドカウルからの熱風温度が高くなりライダーの脚部に当たる可能性があることが新たな課題となった。そのため、全車CFD解析から脚部の温度低減の検討を実施した。ライダーへの熱風の流れとライダー温度の解析結果を図4に示す。2008年モデルでは熱風が比較的脚部に当たりやすい傾向があったが、カウル形状の工夫で熱風を外側へ飛ばすことでライダー脚部の温度を低減することができた。

(3) ライダーへの圧力の低減

風防性を良くするためにはウインドシールドの工夫が必要となるが、ウインドシールドを大きくすることなく、かつ風防性に優れたデザインが求められる。ヘルメット部の流線の比較を図5(b)に示す。2010年モデルはヘルメットに沿って流線がスムーズに流れて、2008年モデルの圧力の高い領域が低減されている。肩部についても圧力が低くなりライダーの快適性が向上していることが分かる(図5(c))。

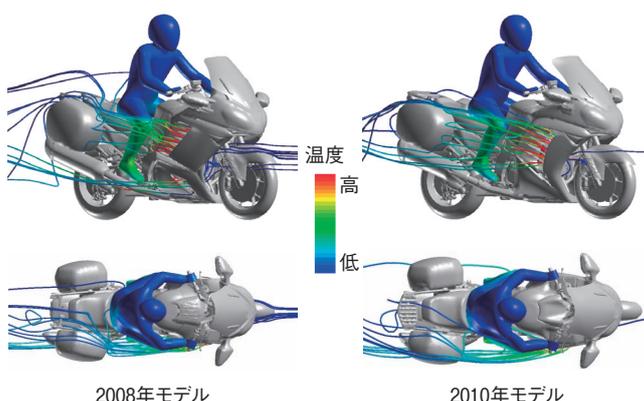


図4 ライダーの熱的快適性評価
Fig. 4 Evaluation of the rider's thermal comfort

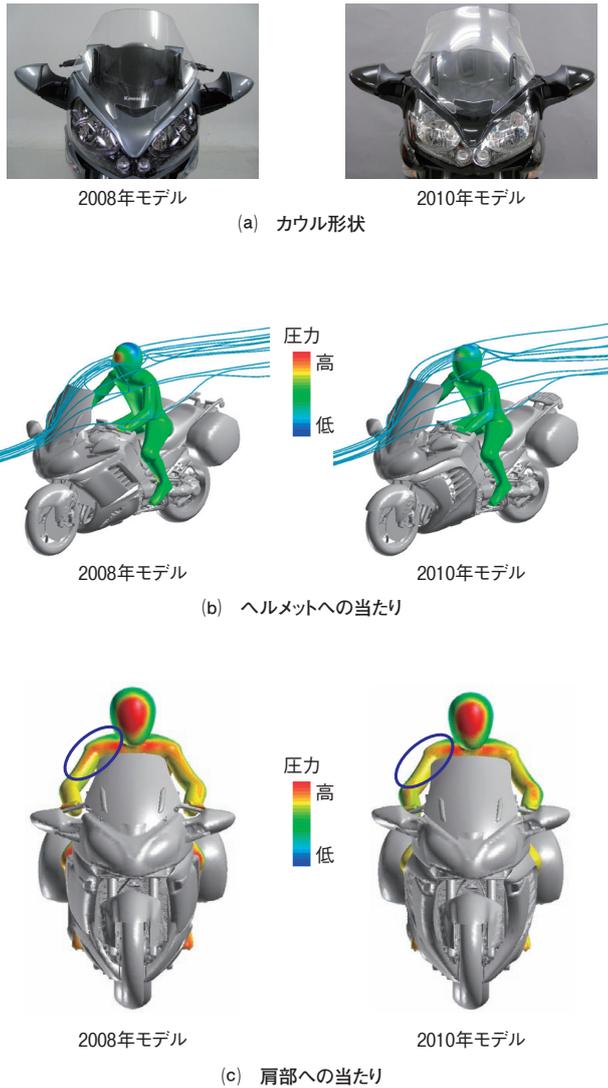


図5 1400GTR風防性評価
Fig. 5 Wind protection evaluation of 1400GTR

2 風洞での空力, 冷却予測手法の高度化

全車CFD解析を実施するにあたり風洞設備にて検証データを取得し, 解析モデルの高度化も実施している. 風洞設備での煙試験と全車CFD解析の流線図の比較を図6に示す. 対象は600cm³のスポーツ「ZX-6R」の2005年および2009年モデルである. 2005年モデルはカウルの上部が比較的大きくグリップ部で風を飛ばす思想である. 2009年モデルは比較的小さいコンパクトなデザインとなっている. 風洞試験ではくし形ノズルからの複数の煙で流れを可視化したところ, グリップ部の風の飛ばし方に両者で違いがあり, CFD解析でも同様に再現できていることが分かる.

エンジン冷却性能評価については, クレイモデル (模型) では直接水温計測はできないが, デザインとの最適化を考慮すると, 風洞試験時に予測, 検証できることが望ましい. そのため, 水温に影響を与えるラジエータの通過風量を, 小型風速計を多点で設置することにより, 天秤による空力六分力と同時に計測し, 空力との最適化ができる技術を開発している.

3 熱風評価予測手法の高度化

夏場の体感温度低減のため, 試作段階でエンジンを実際に回すことができるシャーシ試験にて実走を模擬したライダーの温度計測を実施している. しかし, 熱風は見えないため経路を予測することが難しいので, 試験によるトライ&エラーでの開発になりがちである. 熱風対策には, 全車CFD解析で熱的な快適性を上流工程で評価する必要があり, 風の流れだけでなく温度分布までを精度良く予測することが重要となる. シャーシ試験ではライダー全身の温度を計測するため, 表面を輻射率が1になるように黒色塗装した熱風評価用人形を製作し, 熱電対およびサーモグラフィーにより温度を計測した (図7(a)). サーモグラフィー

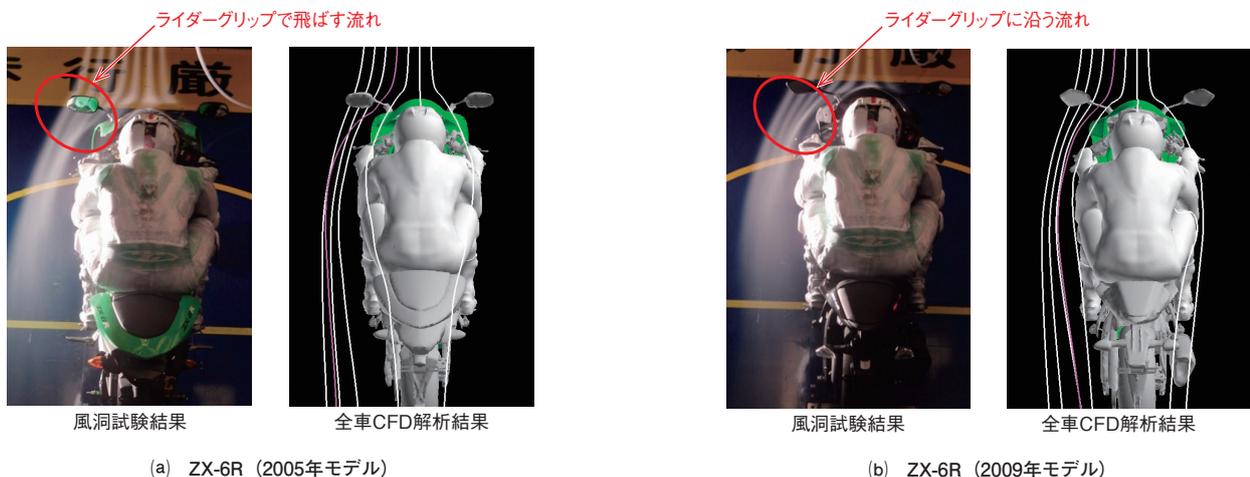


図6 風洞設備での空力検証
Fig. 6 Aerodynamic test in a wind tunnel facility

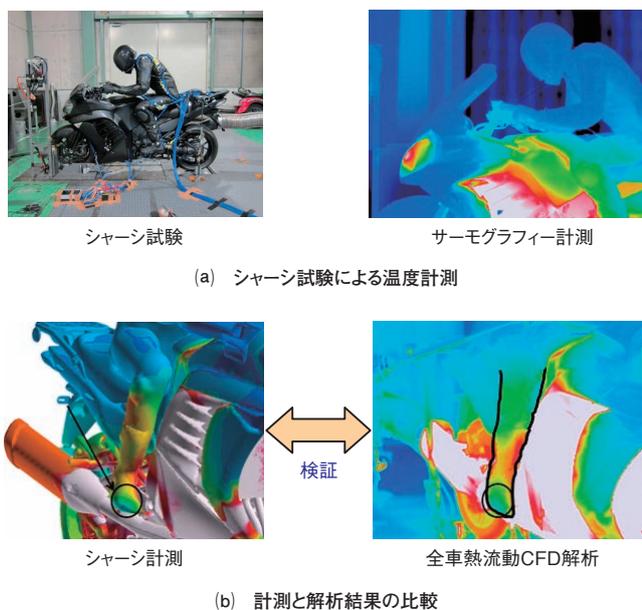


図7 熱風検証と解析モデルの高度化
Fig. 7 Hot air test and advanced analysis model

によるライダー脚部のシャーン試験での計測と解析結果の比較を図7(b)に示す。脚部の温度分布が再現できている。本解析では、対流による熱伝達だけでなく、排気管などの高温部からの輻射の影響もモデル化することにより、温度に関して比較的精度良く予測できるようになった。

4 スケッチ段階での全車CFD解析の自動化

以上で述べたように、全車CFD解析技術の高度化により、実車設計プロセスにおける空力、冷却・熱風の事前予測が可能となったが、より効率的な設計のために、スケッチ段階での全車CFD解析の自動化を進めている(図8)。自動化にあたっては、オリジナルの3次元モデルに手を加えることなく、CFD解析用のデータに利用できるようにすることがポイントとなる。オリジナルの3次元モデルには、CFD解析には不必要な、各パーツの隙間や重なり、さらに、パーツ内構造などの情報が含まれており、CFD解析のための格子データ作成の障害となる。従来、これらの修正作業を手作業で行っていたが、ラッピング技術などを駆使することで、修正作業を無くし、格子生成を自動化できるようになった。この全車CFD解析の自動化技術により、CFD解析用モデルの生成から解析を大幅に効率化し、短時間で多くのケースを比較検討することで、スケッチ段階で、デザインと、空力・冷却性能の最適化を図ることができるようになった。

あとがき

スケッチ段階で、デザインと空力、冷却性能のバランスを最適化させる技術を開発した。本技術をスケッチ段階で

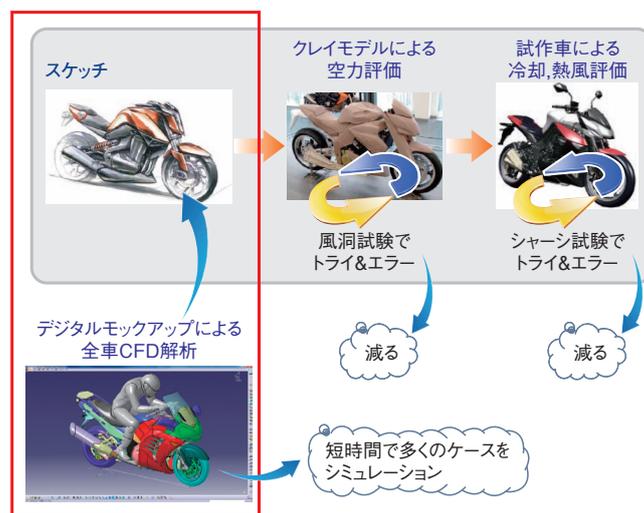


図8 スケッチ段階での全車CFD解析の適用
Fig. 8 Application of total-vehicle CFD analysis in the sketching stage

設計に適用するため、検証による高度化およびシステム化を実施した。モーターサイクルではエンジン冷却のような性能面に加え、快適性も商品性向上のため、今後もさらに重要になっていく。本技術を今後、より多くの新機種開発に適用し、デザインと商品性の高い次元でのバランスがとれた開発を進めるとともに、本技術の一層の高度化を図っていく所存である。

参考文献

- 1) K. Sakagawa, H. Yoshitake, E. Ihara : "Computational Fluid Dynamics for Design of Motorcycles (Numerical Analysis of Coolant Flow and Aerodynamics)", SAE, 2005-32-0033 (2005)
- 2) 山本, 帆刈, 坂川, 白銀 : "風洞試験設備による空力とデザインの最適化", 川崎重工技報, No.174, pp.50-51 (2014)



坂川 佳司



井原 栄治



宇積 陽一



原口 貴行



森川 学



堀之内裕規

ライダーの感性に響く“Fun to Ride”要素の創出

Developing “Fun to Ride” Factors that Attract Motorcycle Riders on an Emotional Level



兼田 哲男①	Tetsuo Kaneda
松原 賢太②	Kenta Matsubara
増田 貴行③	Takayuki Masuda
中村 典生④	Noritaka Nakamura
川崎 卓巳⑤	Takumi Kawasaki
市川 和宏⑥*	Kazuhiro Ichikawa
中村 泰士⑦	Yasushi Nakamura
石井 宏志⑧*	Hiroshi Ishii
小切間仁人⑨	Masato Kogirima

ライダーの感性に響く“Fun to Ride”要素を高めるためには、エンジン性能とともに、車体性能の向上が重要である。特に、「エンジンサウンドの演出」「乗り心地の演出」「操縦安定性の向上」は、モーターサイクルの商品価値を決定づける“Fun to Ride”要素であり、先進国モデルのブランド力向上には必須である。本稿では、これらの“Fun to Ride”要素の創出技術の事例について述べる。

The chassis as well as engine performance needs to be improved in order to enhance “Fun to Ride” factors that appeal to the rider. In particular, a pleasing engine sound, excellent riding comfort and greater handling stability are “Fun to Ride” factors that determine the value of a motorcycle as a product. As such, they are essential in maximizing the brand appeal of a model targeting customers in advanced countries. In this paper, we report the technologies involved in creating these “Fun to Ride” factors.

まえがき

当社は、“Fun to Ride”を最大限にライダーに提供する魅力的なモーターサイクルの開発を目標としている。この“Fun to Ride”を創出する要素の例として、次に示す「エンジンサウンドの演出」、「乗り心地の演出」、「操縦安定性の向上」がある。

- ① 「エンジンサウンドの演出」：エンジンサウンドを演出するための印象の科学的評価とコントロール技術
- ② 「乗り心地の演出」：「乗り心地」を大きく左右するエンジンからの振動を抑制かつ演出するための全車振動解析技術
- ③ 「操縦安定性の向上」：ライダーの操縦感を効率よく作り込むための走行中の車体変形計測技術と機能的デザイン創出技術。

1 エンジンサウンドの演出

当社は、各国の騒音規制を遵守しつつも、魅力あるサウンドを演出する技術を開発している。スポーツタイプでは迫力あるサウンドが加速感を創出し、アメリカンタイプでは心地よいサウンドと振動が相まった鼓動感が魅力となる(図1)。このようなライダーの感性に訴えかけるサウンドを演出するため、顧客心理を客観的に捉える感性評価技術と、そこから得られた目標にサウンドをコントロールする技術を開発してきた。これらの技術は、「Z1000」¹⁾の開発にも適用されており、吸気音による優れた加速感が演出されている。

(1) 感性評価技術

商品性を向上させるためには、顧客の心理を解釈して設計へ反映する必要があるが、ヒトの感性という単純には数値化できない事象を扱うため、難しい課題であった。そこで、感性に訴えるものの印象を科学的に捉えるSD法(semantic differential method)をベースにして、モーターサイクルのサウンド評価手法を開発した²⁾。

図2は、スポーツタイプのモデル6機種(A~F)を対象に、エンジンサウンドの印象を評価した例である。聴取印象は2次元平面に位置づけられ、目に見える形で取り扱うことが可能となっている。また、ライダー経験の有無によって印象に差があるなど、ヒトによる受け取り方の違いも明らかになっている。これらの印象と音響特性との関係



(a) スポーツタイプ



(b) アメリカンタイプ

図1 モーターサイクルのカテゴリ
Fig. 1 Category of motorcycles

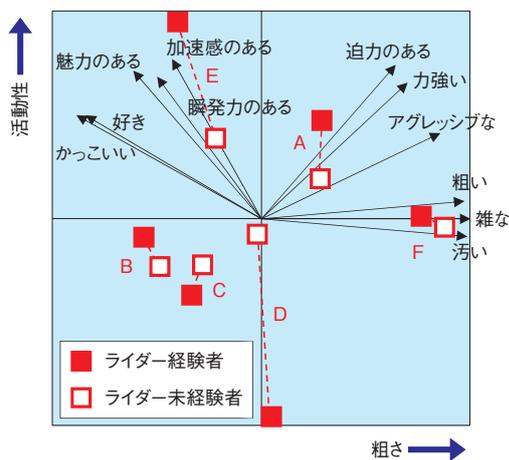


図2 モデル6機種 (A~F) のエンジンサウンドの聴取印象
Fig.2 Impression of engine sounds of six different models (A-F)

を把握することで、新機種開発時に目指すべきサウンドの方向性を見極めている。

(2) サウンドコントロール技術³⁾

目標とするサウンドを創出するため、開発初期段階から吸排気系の音響解析や、既存モデルによる要素試験を活用している。エアクリーナボックスにおける共鳴の利用や、排気マフラーの消音特性の調整などの検討を行い、目標とする音響特性に近づけるための方策を抽出する。さらに、非定常1次元数値流体力学 (CFD) 解析によりエンジン内の圧力脈動を予測し、吸排気音と出力性能の両立を図っている。排気圧力脈動の解析例を図3に示す。

このようなプロセスを経て試作モデルを構築するものの、最終的には、ヒトの耳による作り込みが必要となる。このようにして、磨き上げられたサウンドを顧客に楽しんでいただくため、開発担当者の手による絶妙なチューニングを施している。

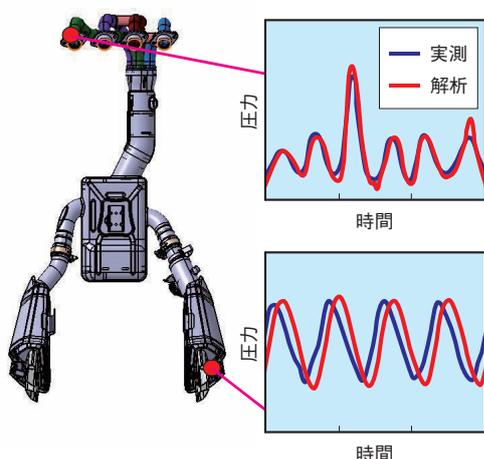


図3 排気圧力脈動の解析
Fig.3 Calculated pressure pulsation in exhaust system

2 乗り心地の演出

(1) モーターサイクルにおける車体振動

振動はモーターサイクルの乗り心地を左右する重要な要素であり、単純に振動を抑制すればよいとは限らない。時には積極的に振動を演出することが、乗り心地を向上させるために必要となる。

例えば、全身を使い車体や路面の状況を感じてスポーティーな走りを楽しむスポーツタイプでは、車体振動が大きいとライダーは不快に感じる。このような機種については振動を抑える必要がある。一方、アメリカンタイプでは、エンジンの鼓動やマシンの力強さを体感できる独特な振動が好まれており、この振動が走りの楽しさを演出している。

以上のようにモーターサイクルにおける振動は、乗り心地の観点から、製品カテゴリーごとに抑えるべき振動と望まれる振動を区別する必要がある。

(2) 乗り心地向上技術⁴⁾

当社のモーターサイクルは、その開発の初期段階から、車体振動を予測する全車振動解析システムを導入している。この解析システムでは、車体全体を有限要素法 (FEM) でモデル化し、エンジンから発生する起振力を考慮し、車体各部での振動値を評価する。

スポーツタイプへの適用例を図4に示す。このカテゴリーでは、不快な振動の抑制が望まれるため、メインフレームやリアフレーム構造の設計変更を行うことで、検討部位の振動を低減し、乗り心地を向上させている。

アメリカンタイプに対しても同様の解析を実施している。このカテゴリーでは、積極的な振動の演出が必要となるので、スポーツタイプとは異なり、適切な振動値が得られるように、車体各部の構造を検討している。

これらの技術は、スポーツタイプの「Ninja 250/300」⁵⁾の開発にも適用されており、振動低減による乗り心地の向上に寄与している。

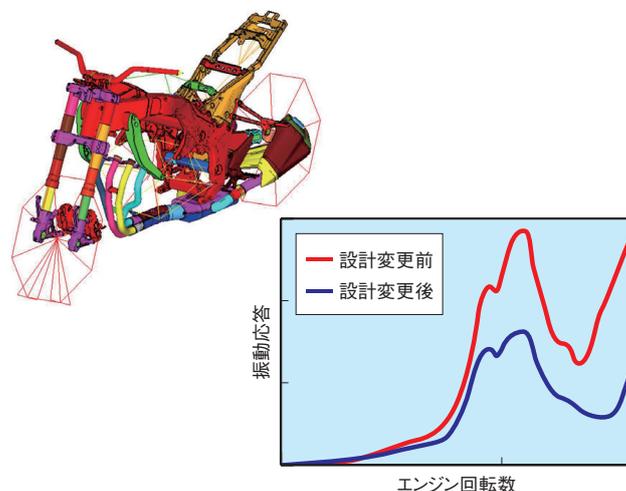


図4 全車振動解析システムの適用例 (スポーツタイプ)
Fig.4 Example of application of the whole-body motorcycle vibration analysis system (sport type)

3 操縦安定性の向上

(1) 走行中の車体変形計測技術⁶⁾

ライダーの操縦感を作り込むためには、開発のベースとなる走行試験において、ライダーの操縦感と関連が強い車体挙動を定量的に把握することが重要である。車体挙動とは、ライダー操作に対する車体の応答や、走行の状態をライダーに伝える振動や加速度である。この車体挙動には、時々刻々変化する車体の弾性変形が大きな影響を及ぼしている。変形を計測する場合、比較的大型な計測装置を用いて2点間の相対変位を直接計測する手法がある。しかし、モーターサイクルの場合、車体重量が軽いため計測器重量の影響が相対的に大きく、運動性能が変化してしまう問題がある。そこで、当社では直接変位を測るのではなく、数値シミュレーションと実走行計測を適切に組み合わせるこ

とで、時々刻々変化する車体変形を最小限のセンサーで計測する技術を開発した。

開発したシステムフローを図5に、概要を図6にそれぞれ示す。走行中の時々刻々変化する車体変形は、車体に作用する支配的な個々の荷重に対応した個々の変形（基本変形モード）の重ね合わせにより表現できると考えた。はじめに、①詳細な数値シミュレーションにより車体の基本変形モードごとの変形量と、それに対応したひずみを求める。次に、②実走行中にひずみを計測し、基本変形モードのひずみと比較することで各モードの変形と寄与率を重ね合わせることによって、③走行中の任意の時刻における車体変形を求めるシステムである。

図7に示すように、車体に変形が生じる支配的な荷重は、タイヤ（サスペンション）から入力される荷重と、エンジンの駆動力をタイヤに伝えるチェーン張力である。

走行中の車体変形を精度よく求めるためには、走行中の基本変形モードの寄与率*（以下、モード寄与率）を実測データから求める必要がある。そこで、走行中に精度よく、かつ省スペースで計測可能なひずみからモード寄与率を求めた。計測する位置が車体変形計測システムの精度に大きな影響を及ぼすため、適切なひずみ計測位置を次の観点で選定した。

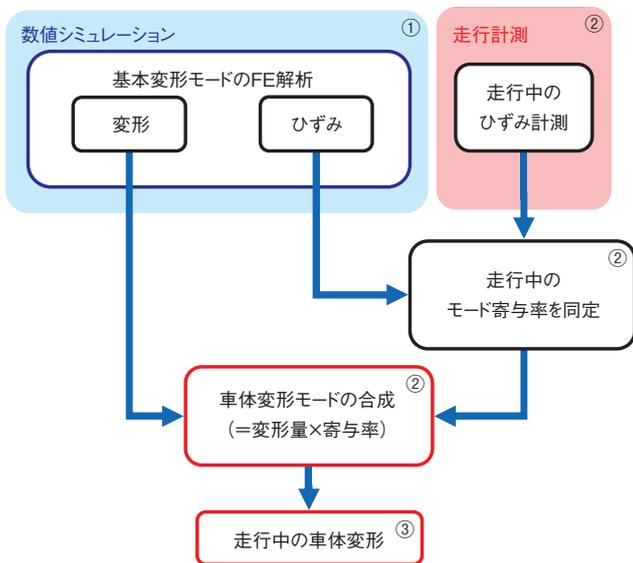


図5 走行中の車体変形計測システムフロー
Fig.5 System flow for measuring dynamic deformation of motorcycle bodies

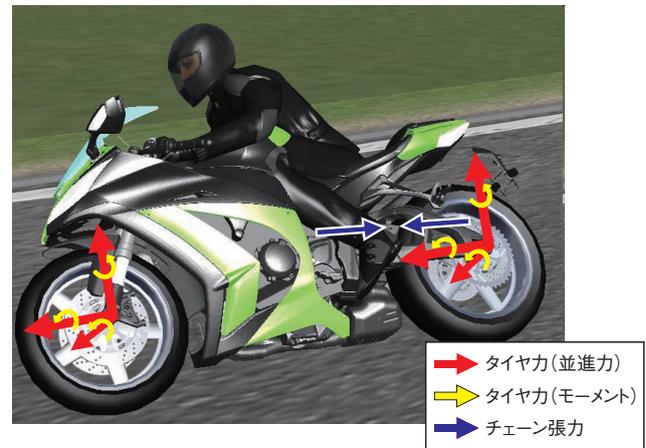


図7 モーターサイクルに作用する荷重
Fig.7 Load acting on a motorcycle

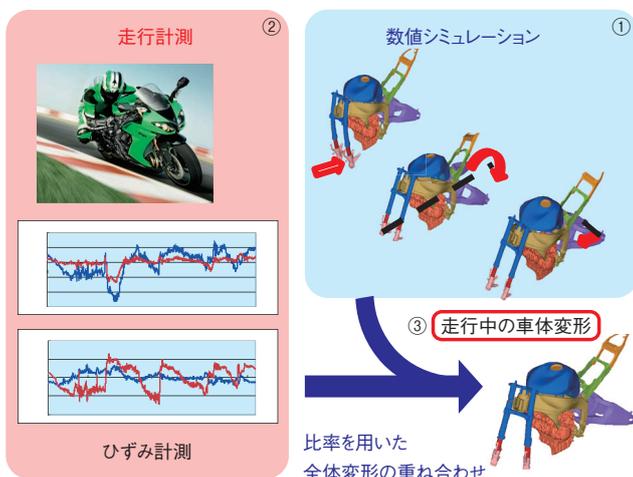


図6 走行中の車体変形計測技術の概要
Fig.6 Outline for measuring dynamic deformation of motorcycle bodies

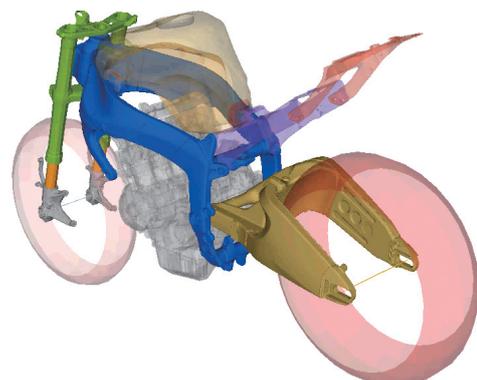


図8 走行中の車体変形
Fig.8 Dynamic deformation of a motorcycle body

- 個々の荷重に対してのみひずみが発生する位置
- 走行中、温度の影響を受けない位置
- 応力勾配がなだらかな位置

走行中の車体変形を求めた結果を図8に示す。このように実走行計測データをもとに走行中の車体変形を可視化し、定量的に評価することが可能となった。

* モード寄与率：基本変形の大きさの割合を表す比率を示す。

(2) 機能的デザイン創出技術

モーターサイクルの部品設計は、重量、剛性、強度、振動、デザイン性などさまざまな評価項目を検討する必要がある。従来は、過去の経験をもとに実機を用いた繰り返し試験による作り込みを行ってきた。しかし、近年は基本構想段階でより良い工学的デザインを得るための解析技術が望まれている。

そこで、モーターサイクルのホイールを例に、剛性、強度、振動などの性能を満足させた上で最軽量となる形状を求める構造最適化解析技術を開発した。その概要を図9に示す。

部材配置が可能な設計空間を設定した後、要求される剛性、強度、振動などの性能値を指定することで、最も軽量となる部材配置が得られる。得られた構造最適化解析の結果を基にデザイナーが図面化することで、工学的に洗練された機能的デザイン（機能に裏打ちされたデザイン）を手戻りなく得ることが可能となった。

本技術を用いて製作したホイールは、走行試験によるライダー評価も高く、ホイールに要求する性能を定量的に把握できるようになり、ライダーの“Fun to Ride”の実現に大きく貢献できた。

あとがき

モーターサイクルの開発における“Fun to Ride”を創出する主要要素として、「エンジンサウンドの演出」、「乗り心地の演出」、「操縦安定性の向上」に対する取り組みを紹介した。今後も引き続きこれらの技術をさらに高度化し、より商品価値の高いモーターサイクルの開発を進めていく。

参考文献

- 1) 宇積, 百崎, 原口, 門: “エキサイティングキャラクターを追求したスーパーネイキッド「Z1000」”, 川崎重工技報, No.174, pp.18-21 (2014)
- 2) K. Matsubara, Y. Sakabe, M. Aoki, H. Yano, M. Tanaka, M. Yamada: “The Impression of Engine Sounds of Sports-Type Motorcycles”, The 10th Western Pacific Acoustics Conference (2009)
- 3) K. Matsubara, N. Nakamura, Y. Katsukawa, K. Furuhashi: “Development of Intake Sound Control

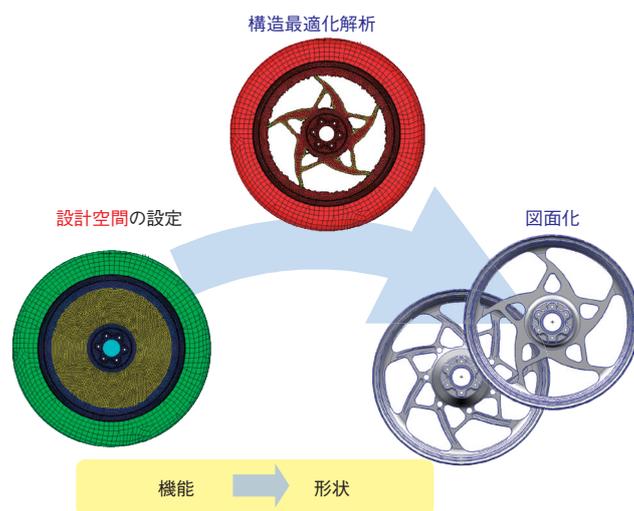


図9 機能的デザイン創出技術の概要
Fig.9 Overview of technology for creating functional design

Technique for Sports-Type Motorcycles”, 19th Small Engine Technology Conference (2013)

- 4) 坂川, 増田: “二輪車の乗り心地向上（振動及び熱的快適性）”, 自動車技術会関西支部ニュース, No.38, pp.4-5 (2011)
- 5) 田中: “クラスを超越する世界戦略車「Ninja 250/300」”, 川崎重工技報, No.174, pp.14-17 (2014)
- 6) Y. Nakamura, K. Ichikawa, T. Kawasaki, Y. Okade, H. Ishii, A. Yamazaki: “Development of Technology for Measuring Dynamic Deformation of Motorcycle Bodies”, 19th Small Engine Technology Conference (2013)



兼田 哲男



松原 賢太



増田 貴行



中村 典生



川崎 卓巳



市川 和宏



中村 泰士



石井 宏志



小切間仁人

力強いパワーフィールと環境性能の両立

Balancing Outstanding Power Feel with Low Environmental Load



田村 潤司① Junji Tamura
 鈴木 弘三② Kozo Suzuki
 谷山 嘉康③ Yoshiyasu Taniyama
 齋藤 将仁④ Masahito Saitou
 中尾 祥典⑤ Yoshinori Nakao
 清瀧 元⑥ Gen Kiyotaki
 中山 耕輔⑦ Kosuke Nakayama
 安部 崇嗣⑧ Takashi Abe
 柳瀬 大祐⑨ Daisuke Yanase

カワサキのブランドイメージである力強いパワーフィールを損なうことなく、燃費向上および排出ガス中の有害物質低減を実現するための、エンジンの燃焼改善技術、燃料噴射の制御技術および触媒技術について紹介する。

This paper discusses technologies for improving fuel efficiency and reducing harmful substances contained in exhaust gas without taking away from the outstanding power feel that is the hallmark of a Kawasaki motorcycle. This is achieved through technologies that improve engine combustion and control fuel injection volume as well as catalyst technologies.

まえがき

モーターサイクルは趣味性の強い乗り物であるため、走る喜びや操る楽しさは商品性を左右する重要な要素である。一方、環境負荷低減に対する社会的要請は、排出ガス規制をはじめとして、年々厳しさを増している。さらに、世界的な社会問題となっている地球温暖化を抑制する観点から、燃費の向上も求められている。

このような背景から、当社のモーターサイクルの特徴である力強いパワーフィール（出力性能）を損なうことなく、燃費向上および排出ガス中の有害物質低減を実現する技術開発に取り組んでいる。

本稿では、これらを実現するための基本となる、シリンダ内の燃焼改善技術に加え、年々厳しくなる排出ガス規制をクリアするための、燃料噴射の制御技術および触媒技術について紹介する。

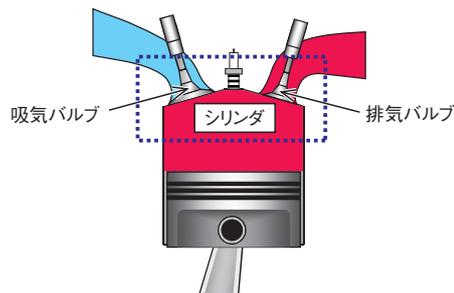
1 燃費向上とパワーフィールの両立に向けた取り組み

燃費を向上させるためには、モーターサイクルの運転時間内の大部分を占める、常用運転領域における対策が効果的である。

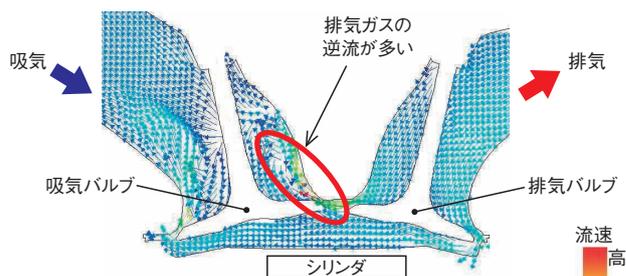
常用運転領域におけるエンジンの燃焼改善に取り組むとともに、力強いパワーフィールを実現するため、吸入空気量の増量を図っている。さらに、点火時期の最適化、機械損失の低減に取り組んでいる。

(1) 燃焼改善

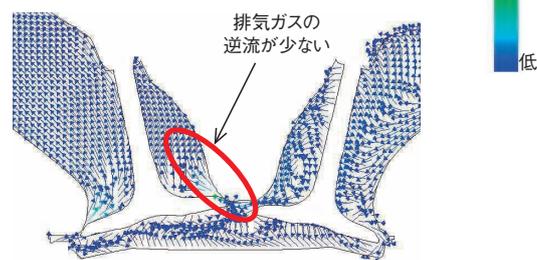
常用運転領域の燃費向上には、シリンダ内に残留する排気ガスを低減させ、燃焼を安定化させることが重要である。



(a) 評価部位



(b) バルブオーバーラップ期間を長く設定した場合



(c) バルブオーバーラップ期間を短く設定した場合

図1 流速分布の解析例
 Fig.1 Predicted flow fields

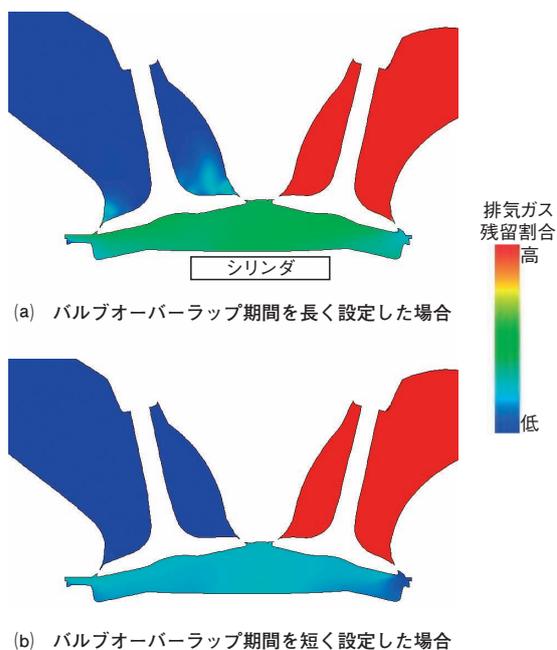


図2 排気ガス残留割合分布の解析例
Fig. 2 Predicted residual ratio of exhaust gas

このためには、排気ガス残留割合へ影響を及ぼす重要な因子の一つである、バルブオーバーラップ期間（吸気バルブと排気バルブが同時に開いている期間）を、機種コンセプトに応じて最適化する必要がある。

バルブオーバーラップ期間を長く設定した場合と短く設定した場合それぞれについてのシリンダ内の流速と排気ガス残留割合の解析例を図1および図2に示す。

常用運転領域では、スロットルバルブの開度が比較的小さい領域のため吸気ポート内の圧力がより負圧になっている。この負圧によって、バルブオーバーラップ期間に排気ガスがシリンダ内および吸気ポートへ逆流する。図1から分かるように、バルブオーバーラップ期間を短く設定した方が、排気ガスの逆流が抑制されるため、シリンダ内の排気ガス残留割合を低減させ、新気の割合を増加させることができる（図2）。

(2) 吸入空気量の増量

低速域からの力強いパワーフィールを実現するためには、シリンダ内への吸入空気量の増量が求められる。そのため、

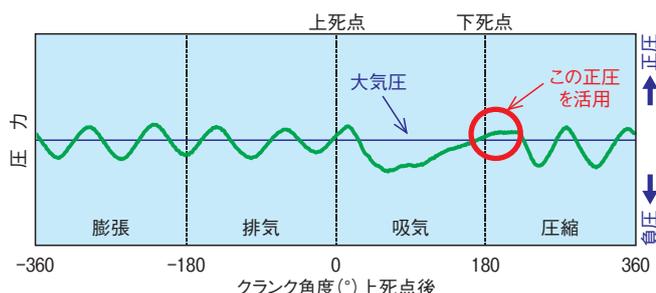


図3 吸気ポートの圧力脈動
Fig. 3 Intake pressure pulsation of intake port

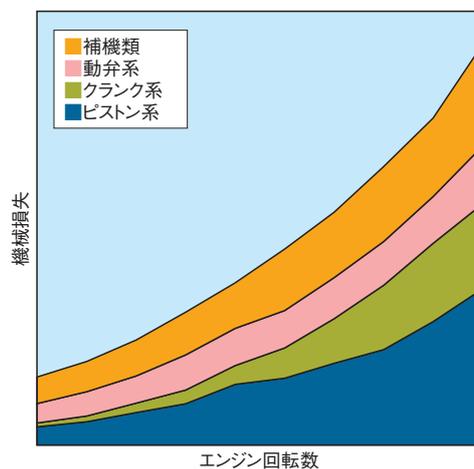


図4 エンジンの各部品の機械損失
Fig. 4 Friction loss of each engine part

吸入空気量へ影響を及ぼす重要な要因の一つである、吸気バルブを閉じるタイミングの最適化を図っている。

吸気の動的効果により発生する、吸気ポートの圧力脈動を図3に示す。吸気バルブの閉じるタイミングを最適化することで、下死点後の吸気圧力が正圧になっている区間を有効活用し、吸入空気量を増量させている。

(3) 点火時期の最適化

出力および燃料消費量が最良となる点火時期（MBT：Minimum advance for the Best Torque）が存在するが、エンジンの負荷が高い運転条件においては、ノッキングの発生を抑制する必要性から点火時期をMBTまで近づけられない場合がある。そこで、ノッキングが発生する点火時期（ノッキング限界）を把握し、エンジンの水温・油温が高いなどの悪条件下においてもノッキングが回避できるよう、ノッキング限界に対して余裕を持たせた点火時期に設定している。

(4) 機械損失の低減

燃費の向上および高出力化を達成するには、エンジンの機械損失を低減させることも有効な手段である。

エンジンを構成する各部位の機械損失の内訳を定量的に把握することにより（図4）、エンジン回転数に対応して機械損失を低減させる部品の優先順位を定めることができ、開発のスピードアップを図っている。

2 排出ガス中の有害物質低減に向けた取り組み

近年、地球環境問題への関心が強まる中で、モーターサイクルの排出ガス中の有害物質低減への要求がますます高まっており、世界各国で新しい排出ガス規制が導入されている。例えば、大型モーターサイクルの主な市場である欧州においては、2016年からEUROIV排出ガス規制、さらに、2020年からEUROV排出ガス規制の開始が予定されている。

これらの新しい規制では、新品時において規制値を満たすだけでなく、既定の距離を走行した後も排出ガス中の有害物質の量が規制値を下回ることを求められている。

(1) 燃料噴射量制御による浄化性能の維持

CO, HC, NO_xの3つの有害物質を酸化/還元反応によって浄化する三元触媒を排気系に適用している。さらに、これら3物質を同時に効率良く浄化するため、O₂フィードバック制御を採用している。O₂フィードバック制御は、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの信号を基に、ECU (Electronic Control Unit) が燃料噴射量を調整し、燃料に対する空気の比率 (空燃比) を理論混合比* (約14.5) に制御する電子制御システムである。空燃比に対する触媒浄化率の性能を図5に示す。

しかし、O₂フィードバック制御では、走行距離の増加に伴い、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの劣化により、理論混合比付近での運転が困難になり排出ガス中の有害物質増加を招くことがある (図6(a))。

これに対し、触媒で浄化した後の排出ガスの状況を把握可能な触媒の下流側に取り付けたO₂センサの信号を基に、触媒の上流側に取り付けたO₂センサの劣化を補正する。こ

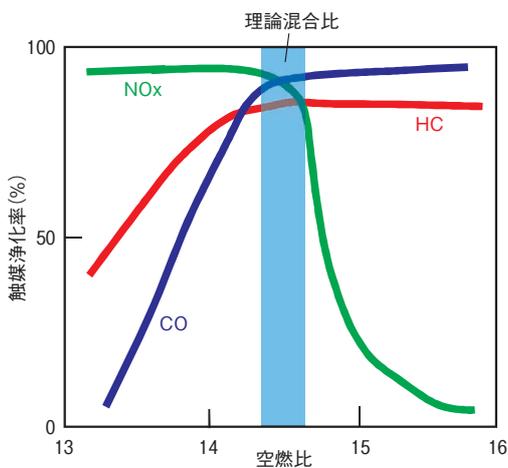


図5 触媒浄化性能
Fig. 5 Conversion of catalyst

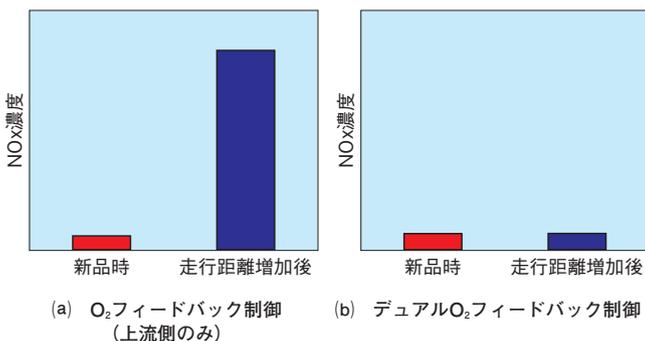


図6 排出ガス中のNO_x濃度
Fig. 6 NO_x concentration in emission gas



図7 デュアルO₂フィードバックシステム
Fig. 7 Dual-O₂ feedback system

れにより、走行距離増加後においても理論混合比での運転を可能にするデュアルO₂フィードバック制御を開発した (図7)。本制御により、走行距離増加後における排出ガス中の有害物質増加の抑制が可能となった (図6(b))。

* 理論混合比: 空気と燃料が過不足なく反応する時の空燃比

(2) 触媒浄化性能の寿命予測

排出ガス規制に対する技術開発として、エンジン制御により触媒処理前で有害物質を低減させるだけでなく、触媒自身の浄化性能向上も必要不可欠であり、触媒の浄化性能は走行距離に伴って低下するため、長い走行距離に耐え得る耐久性の高い触媒開発も望まれている (図8)。

ただし、触媒開発を行う際に、実際に車両を数万km走行させて耐久性を評価すると、非常に長い開発期間が必要となる。そのため、数万km走行後の排出ガス量を短期間で予測する性能評価技術が、触媒開発において重要となる。

触媒の浄化性能の低下原因は、反応活性成分である貴金属の粒子同士が熱と空燃比の影響により凝集し、反応に関



図8 モーターサイクル用浄化触媒 (ハニカム形状)
Fig. 8 Three-way catalyst for motorcycle (Honeycomb form)

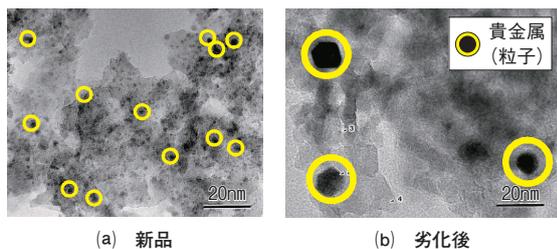


図9 触媒中貴金属の透過型電子顕微鏡観察像（新品と劣化後）
 Fig.9 TEM images of precious metals in catalyst (Fresh and after degradation)
 *TEM : Transmission electron microscopy

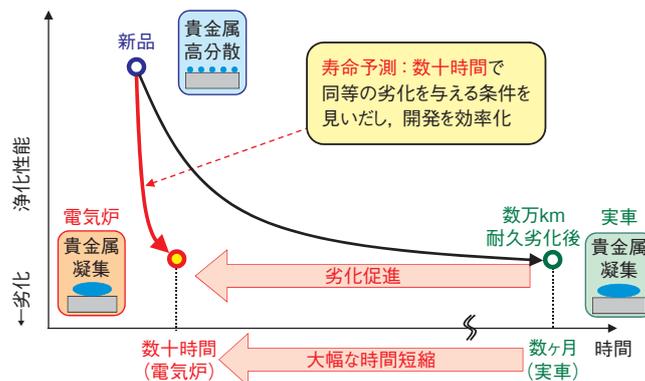


図10 触媒浄化性能の寿命予測方法イメージ
 Fig.10 The images of catalyst life predicting method

与できる活性表面積が減るためと考えられる（図9）。この推察に基づき、触媒の浄化性能の低下要因である温度と空燃比変動を適切にコントロールすれば、走行距離に伴い低下する浄化性能を、短時間で予測することが可能になる。

そこで、まず規制値クリアが可能となった車両について、触媒使用条件（温度と空燃比）の詳細な把握を行った。次に、そのデータを基に、ガス雰囲気調整が可能な電気炉を用い、実際の車両での走行中よりも高い温度を、模擬的に触媒に与えて性能低下を促進させた。その結果、数万km走行後の浄化性能を数十時間で再現できることを確認し、評価技術確立した（図10）。本技術を用いることで、適切な触媒候補の絞り込みが短時間で行えるようになり、排出ガス規制を満足する車両開発を、短期間で達成することが可能になった。

さらに、触媒本体の耐久性向上のための研究も行っている。触媒の内部構造をナノレベルから原子レベルで追跡することができる大型放射光実験施設 SPring-8 において、主に白金やパラジウムなど貴金属が凝集する現象の解明を進めている。

触媒の能力を向上させることは、環境負荷への寄与だけでなく、排気抵抗となる触媒の搭載量を少なくできることから、エンジンの出力低下の抑制にもつながる。

あ と が き

カワサキのブランドイメージである力強いパワーフィールを損なうことなく、環境負荷低減という社会的要請に応えられるモーターサイクルを具現化するための技術について紹介した。今後も、環境性能の向上を図り社会的使命を果たすとともに、生活の豊かさを広げ、夢を与えるモーターサイクルを顧客に提供していく所存である。

参 考 文 献

- 1) T. Abe, S. Kuratani, Y. Mori and D. Yanase: "Application of Air Fuel Ratio Control to a Motorcycle with Dual Oxygen Sensor", Proc. of Small Engine Technology Conference. SETC, 2011-32-0629, SAE (2011)
- 2) 清瀧ほか: "白金及びパラジウム担持各種酸化物排ガス浄化触媒の劣化機構に関する検討", 第105回触媒討論会 2 P78 (2010)
- 3) 清瀧: "貴金属担持各種酸化物排ガス浄化触媒の劣化機構に関する検討", 第8回SPring-8産業利用報告会(サンビーム成果報告会) (2011)



田村 潤司



鈴木 弘三



谷山 嘉康



齋藤 将仁



中尾 祥典



清瀧 元



中山 耕輔



安部 崇嗣



柳瀬 大祐

グローバル生産を加速させる“ものづくり力”の高度化

Accelerating Global Production through Upgraded Manufacturing Capabilities



田畑 穰① Yutaka Tabata
 山本 伸彦② Nobuhiko Yamamoto
 松本 武志③ Takeshi Matsumoto
 安達裕一朗④ Yuuichirou Adachi
 大岸 秀之⑤ Hideyuki Ogishi
 石原 一宏⑥ Kazuhiro Ishihara
 河原 秀夫⑦ Hideo Kawahara
 青木 篤人⑧ Atsuhito Aoki

当社は、新興国市場において生産から販売に至るグローバル展開を積極的に進めるとともに、国内工場を生産拠点として、ものづくり力の高度化を図っている。

本稿では、エンジンの高出力化や軽量化に寄与するとともに生産能力向上を実現したシリンダの開発、高品質化を目指した溶接加工や仕上げ工程をロボットにより自動化した事例を紹介する。

Kawasaki is taking active steps in emerging markets to implement a global strategy that covers from production to sales, while seeking to upgrade its manufacturing capabilities by handling production back home in Japan.

This paper discusses the development of a cylinder that contributed to the production of a lighter engine with higher output while improving production capacity. It also introduces readers to cases in which robots were employed to automate welding and finishing processes in order to achieve superior quality.

まえがき

新興国では、その目覚ましい経済発展に伴いモーターサイクルの需要が年々高まっている。これに応じて、既存の二輪車メーカーによる高品質な製品と、インドや中国の新興メーカーによる低価格な製品が市場に供給されている。さらに近年では、年々品質を向上させている新興メーカーに対し、既存メーカーも競争力を高める努力を続けている。

このような状況の中、当社も先進国モデルと同等の高い品質とコスト競争力をもった製品を新興国に提供するために、さまざまな取り組みを行っている。

1 世界戦略車向け

アルミダイカスト製スリーブレスシリンダ

(1) 開発の背景と狙い

当社では、より高性能なモデルを市場ニーズに合わせてタイムリーに供給するため、商品開発力と生産技術力を結集し、先進国と新興国の両市場に適合することを目指した世界戦略車の新型モデル「Ninja 300」の開発を進めてきた。

「Ninja 300」は、前モデル「Ninja 250R」よりもエンジン出力が高いため、エンジン内部の温度が上昇し、ピストンの往復運動を保持する筒状のシリンダが高温となるので、冷却水通路への放熱効率を高くする必要がある(図1)。

前モデル「Ninja 250R」のシリンダは、アルミ合金製本体に铸铁製スリーブを組み込んでピストンとの摺動性を保持する構造であったが、「Ninja 300」に対しても铸铁製スリーブをそのまま採用した場合、铸铁製スリーブの低い熱伝導率に起因する温度上昇によりオーバーヒートやノッキングなどが生じやすくなる。また、铸铁の比重はアルミ合金の約3倍もあるため、重量増の要因にもなる。

これらの課題に対処するため、「Ninja 300」のシリンダでは、製作方法を重力铸造製からダイカスト製に変更し生産性を向上させるとともに、铸铁製スリーブの代わりに、アルミ合金製本体に薄めつき皮膜を付けることで、優れた摺動特性と高い放熱性、および軽量化を実現した(図2)。

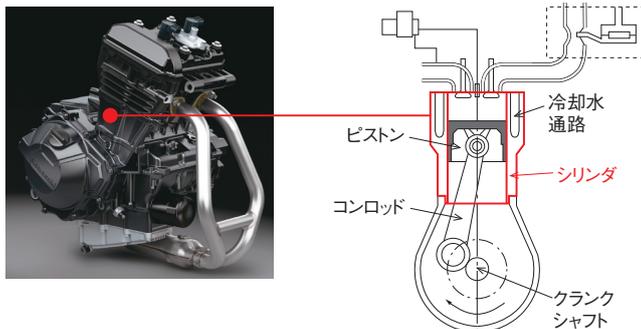


図1 エンジンを構成するシリンダ
 Fig. 1 Cylinder constituting an engine

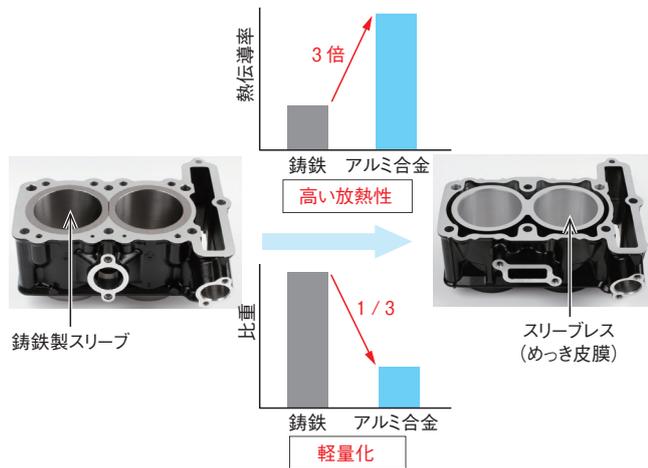


図2 スリーブレスによる効果
Fig. 2 Advantages of sleeveless cylinders

(2) 生産技術の開発

(i) アルミダイカスト化

新興国における需要増に生産能力を適合させるため、アルミシリンダの製造方式を、従来の重力鋳造法よりも生産速度が5倍のダイカスト法への転換を図った。ダイカスト法では金型を用いて高速充填するため、高い精度と生産性を両立できる。しかし、高速充填によるガスの巻き込み現象や凝固速度の不均一性などが鋳造欠陥の発生を誘発するので、高機能が求められるシリンダへの適用は容易でない(表1)。そのため、鋳造シミュレーションを利用して、鋳造方案や金型内部冷却構造などの製造方法を最適化することにより課題を解決し、高い品質を獲得した(図3)。

(ii) 複合めっきによるスリーブレス化

従来の鋳鉄製スリーブの代わりに、アルミシリンダへの複合めっきを採用した。これは、SiC(炭化ケイ素)粒子

表1 重力鋳造法に対するダイカスト法のメリットと課題¹⁾
Table 1 Advantages and challenges of the die-casting method for gravity casting¹⁾

メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・サイクルタイムが短いため、生産速度が速い ・寸法精度が高く、表面粗さが小さい ・薄肉成形が可能
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ・高速充填のため、シリンダ内面に巻き込みガスによる欠陥が生じやすい ・強度が必要になる厚肉部やボルト座面に引け巣が生じやすい ・高速充填のため金型が損耗しやすい

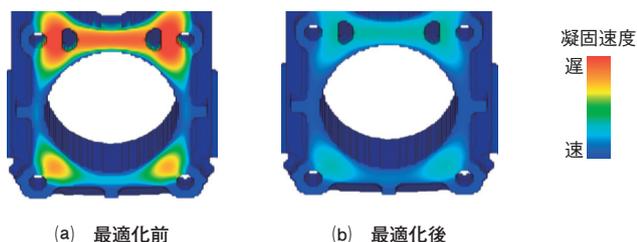


図3 鋳造シミュレーションによる凝固速度の均一化の例
Fig. 3 Equalization of the solidification speed by the casting simulation

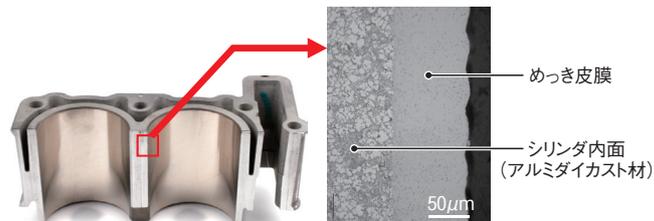


図4 複合めっき処理したシリンダ断面
Fig. 4 Cross-section of a composite plated cylinder

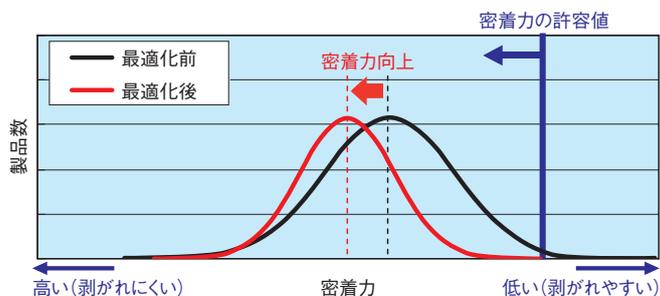


図5 めっき皮膜密着力の分布
Fig. 5 Distribution of adhesive strength of plating film

を分散させためっき皮膜を形成する(図4)もので、この薄い皮膜が摺動性能を引き出すとともに、高い放熱性も付与することができる。この複合めっき法について、当社では高出力エンジンに対しての10年以上の技術の蓄積がある。しかし、今回採用したアルミ合金はシリコン含有量が多いため、めっき皮膜との冶金的な結合力が低い。そのため、めっきの前処理でアルミ合金の表面粗化を促進させて結合サイトを増やすことや、めっき後に行う加熱処理の最適化により、十分な相互拡散層を形成させて²⁾、密着力の向上を図った(図5)。

(3) 新型モデルへの適用

スリーブレス新型シリンダにより、高性能化、軽量化、高生産性を達成し、前モデル「Ninja 250R」より出力の高い「Ninja 300」に求められる機能、品質を達成することができた(図6)。同時に、新型モデル「Ninja 250」と「Z250」にも採用し、新興国の需要増に対する生産能力増強にも大きく貢献している。今後、さらに他モデルへ横展開していく方針である。



図6 スリーブレスシリンダを搭載した「Ninja 300」
Fig. 6 Ninja 300 featuring sleeveless cylinders

2 アルミフレームの溶接、仕上げ工程の自動化

(1) 開発の意義

グローバル生産における自動化は、省人化によるコスト削減だけでなく、国内製作品と同等レベルの品質を確保するための手段としての意義がある。

以下に、モーターサイクルのアルミフレームを対象とした溶接自動化技術、仕上げ自動化技術を紹介する。

(2) アルミフレーム溶接の自動化

アルミフレームの溶接は、溶接部の強度、寸法精度だけでなく、溶接部の意匠性まで多岐にわたり、非常に高い品質が求められる。

従来、個々の溶接作業者の高い技能によって品質を確保していた。しかし、この10年間、脱技能化を合言葉に、各種自動化技術の開発や、自動溶接しやすいフレーム構造への変更などを進め、現在のモデルでは溶接自動化率90%以上を達成しているものもある(図7)。

(i) サーボトーチ

サーボトーチは、溶接トーチに内蔵したサーボモータにより、座屈しやすいアルミ溶接ワイヤを精緻に送給制御することができる。サーボトーチの導入により送給系のトラブルを減少させるだけでなく、溶融形態が異なる板金部品と鋳物部品との溶接など異なる材種同士でも安定した溶接品質を得ることが可能になった。

(ii) ポジショナ協調溶接

溶接品質を安定化させるためには、下向き溶接姿勢が必須である。そこで、溶接トーチとワークポジショナが協調して動く協調溶接技術を導入した。これにより、ボックス構造の角部を通り連続溶接する場合などでも、溶接部が常に下向き姿勢となり、溶接品質を安定化させることができた。

(iii) オフライン教示

溶接ロボットの教示作業面においては、当社製オフライ

ン教示ソフト「KCONG」を使用し、教示時間の短縮、脱技能化を実現した。オフライン教示データを実機へ展開する場合の課題として、実機の個体差に起因するオフライン教示と実機とのずれの問題がある。これに対し、ロボットに絶対位置精度補正を行い、ずれを最小化している。

(iv) TIG-MIG溶接

TIG-MIG溶接法は、MIG溶接開始部の溶込み不足対策処理を自動化したものである。

フレーム溶接では、筒状のフレーム部材の周囲を表裏半周ずつに分けて一周を溶接施工する。これをMIG溶接*で行う場合、アルミニウムの高い熱伝導特性のため、溶接開始時の溶接入熱が分散し、溶接開始部の溶込みが浅くなりやすい。この現象は、特に溶接開始部同士を重ね合わせる部分において表れ、こうした部分で要求される溶込みを得ることは不可能である。このため、重ね部は作業者がTIG溶接**で、つなぎ溶接を行っていた。

そこで、溶接開始部分をTIG溶接で予熱してからMIG溶接を開始するTIG-MIG溶接法を開発した。

ロボットセルは、TIG予熱用ロボットとMIG本溶接用ロボットの2台およびワークポジショナで構成している(図8)。TIG予熱ロボットで予熱を行い、直後に近くに待機しているMIG本溶接ロボットが溶接を開始する。本溶接では溶接の最適姿勢になるようにフレームをポジショニングしてロボットと協調溶接を行っている。

これにより、MIG溶接開始部のつなぎ部分においても、自動化が達成された。また、要求される溶込み品質が安定して得られ、応力集中を低減させることもできた。さらに、意匠性においても良好な溶接ビード外観が得られた(図9)。

* MIG溶接 (Metal Inert Gas Welding) :

溶極式の不活性ガスアーク溶接。母材を溶融させつつ、電極となる溶接ワイヤも溶融して溶接ビードを形成する。能率が高い。

** TIG溶接 (Tungsten Inert Gas Welding) :

非溶極式の不活性ガスアーク溶接。電極が溶融しないので溶接ビードを形成せずに母材への入熱制御が可能。

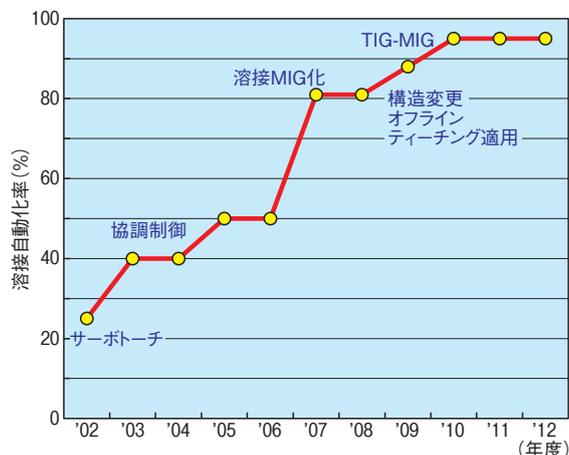


図7 溶接自動化率の変遷
Fig.7 Transition in rate of welding automation

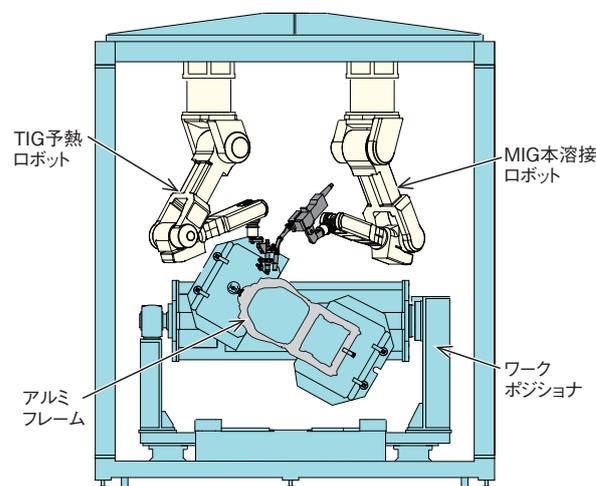


図8 TIG-MIG溶接ロボットセル
Fig.8 TIG-MIG welding robot cell

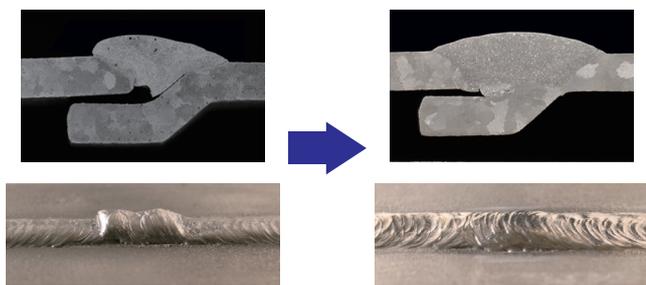


図9 TIG-MIG溶接による溶込み品質向上と余盛高さ抑制
Fig.9 Improving penetration quality and controlling reinforcement height by TIG-MIG welding

(3) アルミフレーム仕上げの自動化

溶接部のビード止端に生じやすい割れや融合不良などの溶接欠陥を目視検査するために、アルミフレームの溶接部に残ったスマット（黒いスス）は、工程内で除去する必要がある。

従来は、溶接ラインの最後に配置された熟練溶接工が実施していたが、歯ブラシ型のブラシを用いたスマット除去と溶接品質確認の作業が大きな負担となっていた。さらに、仕上げ作業中に発生する粉塵による作業環境の悪化に加えて、ブラシ仕上げの他、空圧による振動ツールなどを用いた工程は、まさに3K作業であった。

このブラシ仕上げ作業も含めた仕上げ工程のロボット化を実現することで、溶接ライン最終工程の作業者の負荷を低減するとともに、溶接ライン全体の粉塵量の低減による環境改善にも成功した。

アルミフレーム用のブラシ仕上げ用ロボットシステム（図10）はアーク溶接用ロボットに機能を追加することで実現しており、アーム先端に空圧駆動のブラシを装着し、理想的なビード周辺仕上げ（図11）により、ビード外観も向上させている。ブラシとワークの理想的な接触力は、エアモータの質量に比較して相当に小さい力となるため、ロボットの動作や姿勢の影響を受けにくい懸架機構を開発した。さらに、ブラシは処理時間とともに消耗し線材が短くなるため、ロボットの教示軌跡を修正する必要がある。本システムでは懸架機構による安定した接触力の確保に加えて、ワークとブラシ間に微弱な電流を与え通電状況を検出することで、ブラシとワークの接触状況を把握し、ロボットアームの軌跡をリアルタイム補正している。

当社では、今回紹介したワイヤブラシによる仕上げ用ロボットシステムのほか、無塗装で出荷されるアルミフレーム車の仕上げに加えて、外観デザインとしてのヘアラインを付与するロボットシステムなどを開発し、生産ラインに投入している。

外観デザインや品質確認のための仕上げ処理は、作業者の技能レベルによる作業品質のバラツキが発生しやすい。これらの作業の自動化を実現し、作業品質を安定させることで、グローバル生産や生産数量の激変に対応可能な生産ラインを実現している。

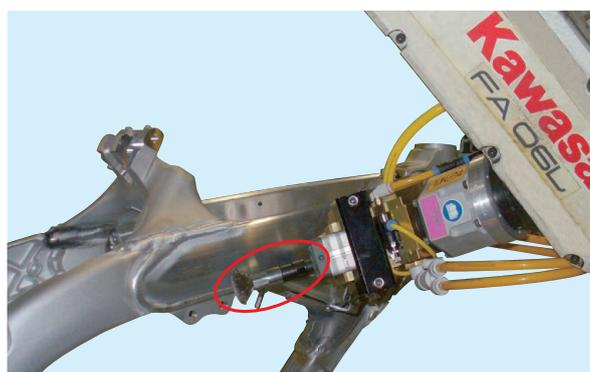


図10 ブラシ仕上げ用ロボットシステム
Fig.10 Robotic system for brush finishing

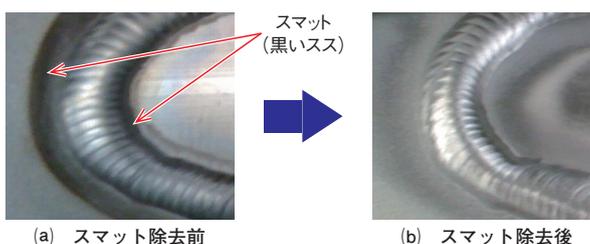


図11 ロボットによるビード周辺仕上げ状況
Fig.11 Weld bead finishing by robot

あとがき

本稿では、新興国においても比較的容易に適用できる生産・製造技術にノウハウをつぎ込んだ手法について紹介したが、日本国内の製造現場においては、海外生産拠点と比較して、より高度な生産技術を要する工程が多数ある。

多品種変量生産の動きを受け、よりよい品質、タイムリーな生産、最大限のコスト削減を達成しつつ、安全・快適な生産職場作りや環境への配慮など、生産・製造技術向上への多面的なアプローチを一層進めていく。

参考文献

- 1) 菅原, 上原: “ダイカスト技術入門-第2版-”, 日刊工業新聞社, pp.7-14 (1997)
- 2) 森河, 中出, 横井: “めっき皮膜の密着性とその改善法”, 表面技術, Vol.58, pp.267-274 (2007)



風洞試験設備による空力とデザインの最適化

Optimizing Aerodynamic Design through Testing with a Wind Tunnel Facility



山本 義信^① Yoshinobu Yamamoto
 帆刈 幸誠^② Kousei Hokari
 坂川 佳司^③ Keiji Sakagawa
 白銀 英之^④ Hideyuki Shirogane

モーターサイクルでは開発初期段階での空力性能とデザインの作り込みが重要であり、風洞は欠くことのできない設備である。風洞試験により、モーターサイクルの空力性能を計測することで、空力とデザインの最適化を図っている。

本稿では、2009年に設置した風洞試験設備の概要を紹介する。

A critical aspect of designing a motorcycle is to create a design that optimizes aerodynamic performance during the initial stages of development. For this purpose, a wind tunnel is an indispensable facility. Through tests conducted with a wind tunnel, engineers search for a design that optimizes the aerodynamic performance of a motorcycle.

This paper provides an overview of Kawasaki's wind tunnel testing facility that was established in 2009.

まえがき

モーターサイクル（二輪車）の開発において、風洞試験は新車開発での空力性能とデザインの作り込み（最適化）において重要なステージである。そのため当社ではデザイン性、空力性能のさらなる向上のため、2009年に二輪車専用の実車風洞試験設備を設置した。

1 風洞試験設備

(1) 風洞本体

風洞設備の諸元を表1に、全体概要を図1に示す。本設備は当社で設計、製作した。全体寸法が長さ68m、幅29m、高さ10mの回流型でありセミオープン型の測定部を有する。

- ① 気流性能に大きく影響する吹き出しノズル前後の縮流比は1:7として気流の一様性を確保している。
- ② 吹き出し部寸法は標準で幅3m×高さ2.5mであり、最大風速180km/hを発生し、吹き出し部にさらにノズルを取り付けることで最大風速205km/hまで対応可能である。
- ③ 測定部には境界層吸い込み装置および、六分力天秤を備えターンテーブル上で、1,160~1,960mmの間で二輪車のホイールベース長を調整した計測ができる。
- ④ 8mの測定部長さを有していて、レース車両の追い抜き時空力特性で重要となる前後に2台並んだスリップストリームの計測にも対応している。
- ⑤ 四輪車ではMULE（多用途四輪車）タイプの車両で耐風性能を評価するためターンテーブル上で180km/h

の風を当てることが可能である。

- ⑥ トラバース装置は耐風速108km/hで熱線風速計、ピトー管などによる3次元計測にも対応している。また煙発生器を取り付けることで、任意の位置からの煙放出による可視化ができる。

表1 風洞諸元

Table 1 Specifications of the wind tunnel

形式	回流式セミオープン
最大風速 (km/h)	180 (~205)
全体寸法 (m) 長さ×幅×高さ	68×29×10
測定部長さ (m)	8
吹き出し部寸法 (m) 幅×高さ	3×2.5
縮流比	7
送風機	直径：4.5m、電動機：500kW
主要設備	六分力天秤、境界層吸い込み装置、トラバース装置

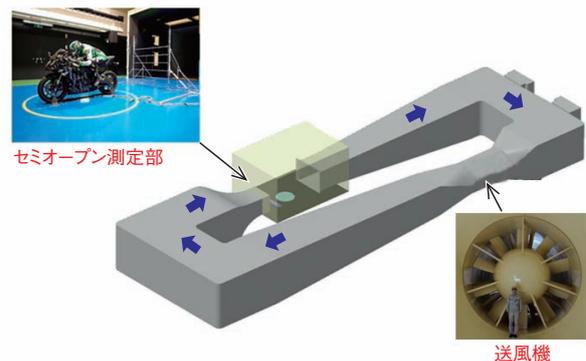


図1 風洞概要

Fig. 1 Overview of the wind tunnel

表2 気流性能
Table 2 Airflow performance

項目	性能
風速分布	±0.67%以内：吹き出し口
乱れ強さ	0.25%以下：吹き出し口
境界層厚さ	31.3mm：ターンテーブル中央

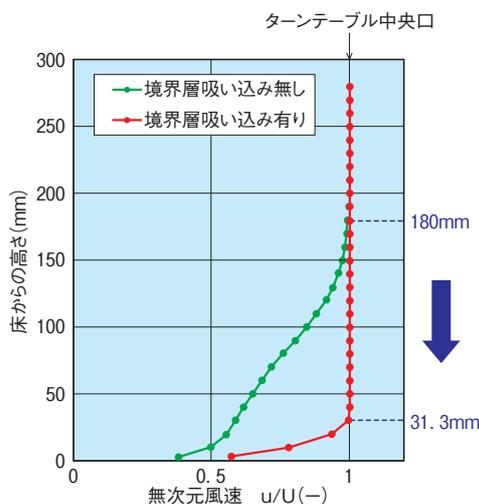


図2 境界層吸い込み装置の有無による境界層特性
Fig. 2 Effect of boundary layer absorber on boundary layer properties

(2) 風洞性能

本設備の気流性能を表2に示す。吹き出し口の風速分布の変動は±0.67%以内、乱れ強さも0.25%以下であり、十分な精度を確保している。また、境界層特性を図2に示す。二輪車の実走を模擬するには、地面近傍の流れを主流に近い状態にする必要がある。境界層吸い込み装置により、ターンテーブル中央部で180mmあった境界層を30mm近傍まで薄くすることができ、境界層吸い込み装置が有効であることが分かる。

2 風洞計測

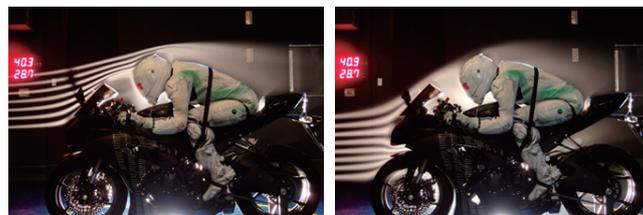
(1) 二輪車での計測法と風洞用ダミーライダーの開発

自動車と異なり二輪車では、ライダーに直接風が当たるのでライダー自身が空力のパーツであり空力特性に極めて大きな影響を与える。そのため、二輪車の風洞試験では実際のライダーが乗車し、180km/hの風速で計測を実施している。

一方、トラバース装置を使った風速、圧力分布計測では長時間の計測となり、ライダーが一定の姿勢を取り続けることは困難である。また、レーザー計測では乗車したままの計測は安全上不可能である。そのため、風洞用のダミーライダーを開発し、実際のライダーでは難しい計測に対応している(図3)。

(2) 可視化計測

楕円ノズルによる複数の煙で、二輪車周りの流れを可視化している。トラバース装置により水平、垂直に取り付け



(a) ヘルメットへの流れ (b) ラジエータへの流れ

図3 楕円ノズルによる可視化計測(ダミーライダーにて計測)
Fig. 3 Visualization measurement using comb-shaped nozzles (measurement taken with a dummy rider)

た楕円ノズルから任意の位置で煙放出できる。ヘルメットへの当たりとフロント部のラジエータへの流れを可視化した計測結果を図3に示す。

(3) 風速、圧力計測

風速については、ピトー管および小型の熱式風速計による計測が可能である。熱式風速計は、プローブ部がマッチ棒大と小さく、多点での計測にも対応している。本プローブをラジエータに多点で取り付けることで、空力六分力の計測と同時にラジエータ通過風速を計測し、風洞での空力とエンジン冷却の最適化に対応することができる。

圧力計測では、電子スキャナー式の多点圧力計を有し、車体、ライダーおよび車体周りの空間の詳細計測も可能となっている。

3 汎用風洞としての活用

本設備は二輪車の計測を主目的として製作されたが、セミオープン型であり、トラバース装置に多点圧力計、風速計を取り付けた詳細計測ができるなど、汎用的な風洞設備としての使用が可能である。これまで、船舶の空力特性試験で成果を出すなど空力問題に対し当社全体で有効活用する体制を取っている。

あとがき

モーターサイクルの開発では、商品性の向上のために、風防性にみられるようなライダーの快適性なども一層求められるようになってくる。本風洞試験設備を活用することで、新たな価値を付加した商品を世に送り出していきたい。



山本 義信 帆刈 幸誠 坂川 佳司 白銀 英之

ファミリーユース サイドバイサイド・ビークル「Teryx 4」

Side×Side Vehicle Teryx 4 for Family Use



北米オフロード車市場において、拡大を続けるサイドバイサイド・ビークルカテゴリーに、家族で楽しめる（ファミリーユース）をキーワードとして、信頼性・快適性・安定性を高めた4人乗りレクリエーションUV（Utility Vehicle）「Teryx 4」をリリースした。

まえがき

レジャーや農作業に使用されるオフロード車は、近年、北米市場において、鞍乗型車両のATV（All Terrain Vehicle）に代わり、サイドバイサイド・ビークル（運転者と同乗者が横に並んで乗車できる車両）カテゴリーの市場拡大が続いている。当社はユーティリティ指向ユーザーをターゲットとした商品「MULE」（多用途四輪車）を1987年に発売し、排気量・シートアレンジなどのバリエーションを展開している。また、レクリエーション指向ユーザーをターゲットとした商品「Teryx」*を2008年から販売しており、今回ファミリーユースに主眼をおき、信頼性・快適性・安定性をさらに高めた4人乗りUV（Utility Vehicle）「Teryx 4」をリリースした。

* Teryx：T-REX（ティラノサウルスのパワフルなイメージ）と Terra（地球）を組み合わせた造語



図1 トレールエリアでの走行イメージ
Fig. 1 Riding image in a trail-area

1 商品コンセプト

北米には、レクリエーション走行やハンティングなどのレジャーを楽しむトレールエリア（図1）が点在する。そこに向けて、ファミリーユースを商品コンセプトとして、“Fun to Ride（繰る楽しさ）”，“Ease of Riding（乗りやすさ）”を体感できる4人乗りUVを開発した。

2 商品力／商品性アピール

(1) 主要諸元

「Teryx 4」の主要諸元を表1に示す。

(2) エンジン、駆動系

エンジンの外観を図2に示す。力強い加速を体感できるトルクフルなエンジンと当社四輪車両初となる遠心クラッチ*および無段変速トランスミッション（CVT：Continuously Variable Transmission）の組み合わせにより、全車速域

表1 主要諸元

Table 1 Main specifications of Teryx 4

エンジン形式	4 st, V型2気筒, SOHC, 水冷
排気量 (cm ³)	783
ボア×ストローク (mm)	85×69
最大出力 (kW/rpm)	43/6,750
最大トルク (N・m/rpm)	64/5,500
全長×全幅×全高 (mm)	3,171×1,564×1,964
動力駆動方式	シャフト, 電動セレクトابل4×4
トランスミッション	CVTオートマチック HIGH, LOW, REV
ホイールベース (mm)	2,177
最低地上高 (mm)	281
カーゴベッド積載量 (kg)	113
最小回転半径 (m)	5.1
乾燥質量 (kg)	687



図2 エンジン外観
Fig.2 Engine exterior

でスムーズな駆動による快適な操縦性を実現させた。特にトレールエリアの岩場などでその特性が遺憾なく発揮される。また、路面コンディションに応じたエンジンブレーキにより、アップダウンを繰り返すラフロードでの走行安定性や下り坂での安心感を得ることができる。

さらに、遠心クラッチの装備によりCVTベルトにかかる負荷が軽減し、ベルトメンテナンス頻度が大幅に低減したことで、信頼性を高めている。

*遠心クラッチ：エンジンの回転数により、クラッチシューを動作させ、受け側のハウジングと接触させることで動力の伝達／遮断を行うもの。

(3) 車 体

トレールエリアでの操縦性を高めるための小回り性能・障外物の乗り越え性能を、ショートホイールベース・最低地上高の確保など、フレーム構造のコンパクト化で向上した。一方、キャビン内の居住空間は大人4人乗車でも余裕のある設計とし、十分な快適性を有している。構造には、ダブルXフレーム（図3）を採用し、FEM解析により剛性最適化・軽量化したことで、運動性能・走行安定性をさらに高めている。

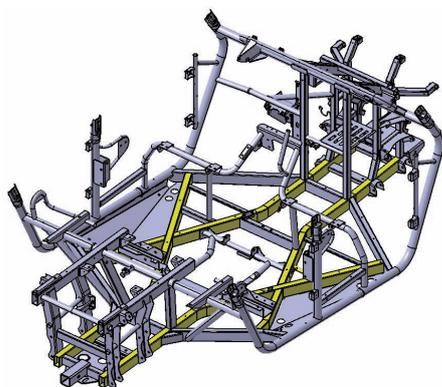


図3 ダブルXフレーム（黄色部）
Fig.3 Double X frame (Yellow colored parts)



図4 FOX社サスペンション
Fig.4 FOX suspensions



図5 2人乗りモデル Teryx
Fig.5 Two-seater Teryx model

また、衝撃吸収性能を向上させるため、オフロード業界でトップクラスの技術を誇るFOX社のサスペンションを採用した（図4）。さらに、ラジアルタイヤと形状・厚みを改良したバケットシートとの組み合わせで、走行時のソフトで快適な乗り心地を実現させた。

3 バリエーション展開

エンジン・駆動系およびフレーム構造が共通で、2人乗りモデルの新型「Teryx」も同時リリースした（図5）。

あ と が き

北米サイドバイサイド市場で、多様化するユーザーの要求を的確にとらえ、それに応えつつ当社製品の優位性である信頼性・快適性・安定性を前面に押し出した魅力的なモデルを今後も開発していく。

〔文責 モーターサイクル&エンジンカンパニー
技術本部 第五設計部 川勝 仁志〕

〔問い合わせ先〕

モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部 第五設計部

Tel. (078) 921-1372, Fax. (078) 923-1440

低振動を低コストで実現した4ストローク横軸汎用エンジン FJシリーズ

4-Stroke Horizontal FJ Series Engine Delivers Lower Vibration at Lower Cost



4ストローク横軸汎用エンジン「FJシリーズ」を、OEM各社に各種機械の動力源として20年以上愛用されてきた「FEシリーズ」の後継として、新たに開発し、市場投入した。

FJシリーズは、競合他社との技術的優位性である業界一の低振動性能を維持しながら、試作段階からほぼ全部品を中国調達で開発を進めることにより、低コストを実現した。

まえがき

4ストローク横軸汎用エンジンFJシリーズを、OEM各社の各種作業機械に搭載されるプロユースが主体の商業市場（農業用機器、運搬車などの作業機器、芝関連機器など）、および一般ユーザーが主体のレジデンシャル市場（発電機、動力噴霧器など）に向けて新たに開発した。

従来の「FEシリーズ」は、業界一の低振動性能が特長で、OEM各社やユーザーより、“カワサキ＝低振動エンジン”との評価を得て、20年以上愛用されてきた。

今回のFJシリーズの開発目標は、FEシリーズの低振動性能を構造変更により低コストで維持し、競合他社と十分戦える価格競争力を備えることで、4ストローク横軸汎用エンジンのシェア拡大を図ることである。

低振動性能と低コストの相反する目標を実現するために、新たな生産拠点CK&K社*を中国に設立し、試作段階からほぼ全部品を中国調達で進めた。

* CK&K社：

Changzhou Kawasaki & Kwang Yang Engine Co., Ltd.
 (常州川崎光陽発動機有限公司)
 →KYMCO社 (光陽工業股份有限公司)と当社が50：50で出資設立した汎用エンジン製造会社。

1 主要諸元

横軸汎用エンジンFJシリーズ (FJ130/180/220D) 全体の開発方針として、ボアアップおよびボアダウンの手法(加工治具に影響するストロークを変更せず、ピストンボア径の変更のみで排気量を変更する設計手法)により、シリーズ全体の共通部品化を念頭に置いて、開発設計のスピードアップと工数低減を図った。FJシリーズの主要諸元を表1に示す。

この中でも基本機種FJ180Dは、約65万台の生産実績を誇る当社の芝刈り機用縦軸エンジンの基本スペックを継

表1 主要諸元
Table 1 Main specifications

項目 \ 機種	FJ130D	FJ180D	FJ220D
エンジン形式	空冷横軸型, 4ストロークOHV, 単気筒		
排気量 (cm ³)	133	179	220
ボア×ストローク (mm)	56×54	65×54	72×54
最大出力 (kW/rpm)	2.8/3, 600	4.1/3, 600	4.8/3, 600
最大トルク (N・m/rpm)	7.9/2, 800	11/3, 200	13.7/3, 200
外形寸法 (mm) 長さ×幅×高さ	302×360×353	304×365×370	304×365×370
乾燥質量 (kg)	16.5	18.6	19.0

承しながら、ピストン、吸排気バルブなどの基本部品を共通化することでコスト低減を図った。また、2軸回転バルンサやVバルブ方式球状燃焼室を新規採用した横軸出力エンジンとし、業界一の低振動性能を獲得するとともに、厳しい排気ガス規制にも適応させている。

2 特徴

(1) 低振動性能（2軸回転バルンサの採用）

FJ180/220では2軸回転バルンサの採用により、ピストン上下運動から生じる振動を相殺し、体感する振動を大幅に低減させた。2軸回転バルンサの概念図を図1に、振動レベルの比較を図2に示す。

このように、従来のFEシリーズと比べて、遜色のない振動レベルを実現し、業界一の低振動性能を確保することで、“カワサキ＝低振動エンジン”の評価を維持できる製品とした。

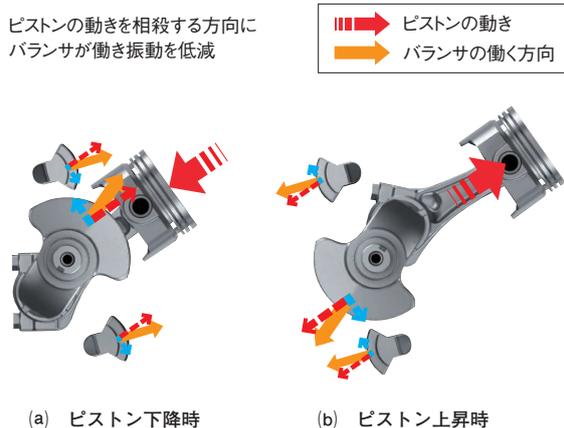


図1 2軸回転バランス概念図
Fig.1 Conceptual diagram of 2-axis balancer

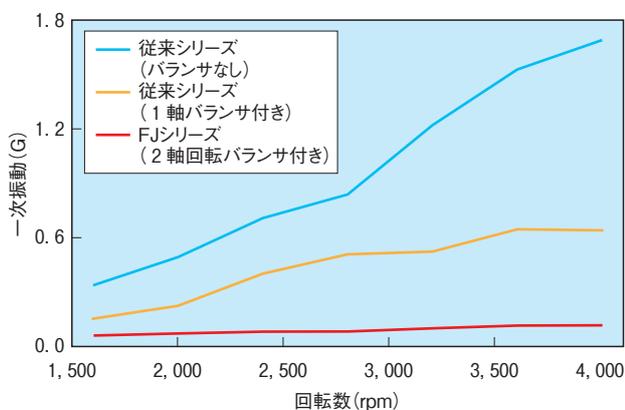


図2 振動レベル比較
Fig.2 Comparison of vibration levels

(2) 競合可能な価格帯の実現

以下の設計手法・考え方を導入することにより、価格競争力を向上させた。

- ① 中国国内の調達および製造に適した設計手法、中国ベンダーの製造方法に見合う設計方法など、ベンダーと協力し、低コスト設計を進めた。
- ② シリーズ間での部品共通化により、部品コストを低減した。
- ③ 試作段階から、量産工程による部品手配を推進し、量産時の問題点の早期洗い出しや、隠れた問題点の把握を進めた。

(3) 顧客ニーズに配慮した製品設計

(i) 軽快な始動性

オートデコンプ機構（エンジン始動時に排気バルブを開くことにより、ピストン上昇に伴う圧縮圧力を逃がし、始



図3 カワサキVバルブ
Fig.3 Kawasaki V-valve



図4 球状燃焼室
Fig.4 Spherical combustion chamber

動力を軽減する機構）の精度向上と、各軸受にフリクション低減のためのボールベアリングを配することで、トップクラスの軽快な始動性を実現した。

(ii) 低騒音

マフラの改良により炸裂音を低減し、力強いが不快な聴感のない音色とした。

(iii) 高性能、高出力

吸排気弁をV字に配置（カワサキVバルブ）（図3）、中央にスパークプラグを配した球状燃焼室（図4）とし、ハイリフト大径カムにより、従来機種より一段上の高出力、高トルクを実現した。

(iv) 高耐久性、高信頼性

鉄製ギヤや鍛造クランクシャフト、鋳鉄シリンダライナおよびボールベアリングの使用により、優れた耐久性を確保した。

(v) 外観

搭載性に優れたコンパクトな外形寸法、操作性、メンテナンス性の良いシャープな先進的外観デザインとした。

あとがき

CK&K社は、FJシリーズの他に、2ストロークエンジンTJ&TKシリーズの組み立てを行っており、2010～2012年度までの間で、合わせて累計約32万台の生産実績を持つに至った。品質面維持については、日本国内のマザー工場の全面的な支援を受けながら、当社初の汎用エンジン中国生産工場として、現在も進化を続けている。

FJシリーズの完成で、業界一の低振動という高性能と中国調達による価格競争力により、OEM各社において当社の4ストローク横軸汎用エンジンを採用していただけると確信している。

〔文責 モーターサイクル&エンジンカンパニー 汎用エンジン総括部 開発部 竹本 和彦〕

〔問い合わせ先〕

モーターサイクル&エンジンカンパニー 汎用エンジン総括部 開発部

Tel. (078) 921-1371, Fax. (078) 921-5125

特許 第4877982号

発明の名称：乗り物

発明者：恵上 浩一，吉武 秀人

—機能とデザイン性を兼ね備えたウインドスクリーン—

長距離ツーリングに使用されるモーターサイクルには、走行時の風圧を低減し、ライダーの疲労を軽減するため、ウインドスクリーンが設置されている。ライダーはウインドスクリーン越しに前方を見るため、視界が歪まないようウインドスクリーンを平滑かつ薄くしたい。一方、高速走行中は強い走行風がウインドスクリーンに当たり、風圧によって中心付近は大きな力を受ける。それにより、固定部に力がかかるとともに、中心線上にはウインドスクリーンを折り曲げようとする力が働く。

図1に示すように、本発明のウインドスクリーンは、風防板と固定片で構成されており、左端部から右端部まで延びる境界部を境に、第一領域（上）、第二領域（下）に分かれている。第一領域は視界要求を満足させるため適度な板厚とし、視界に影響しない第二領域は第一領域よりも板厚を厚くしている。領域により厚さの異なる風防板を使用することで、ライダーの視点の周辺である第一領域において歪みのない視界を確保するとともに、ウインドスクリーンの固定部にかかる力と中心線上に働く折り曲げ力に対して強度を確保することができる。

このウインドスクリーンは、1400GTRの2008年と2009年モデルに採用され、カワサキのモーターサイクルを代表する顔の一つになった。

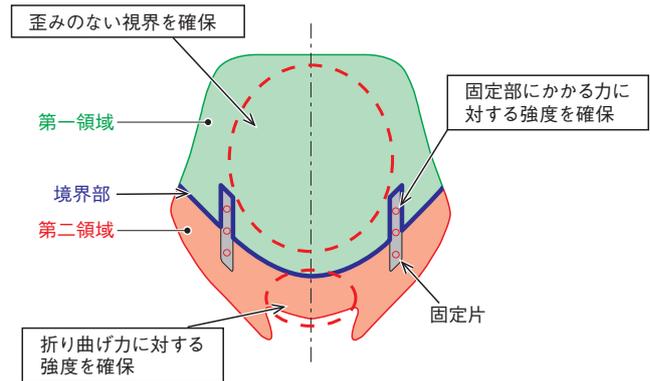


図1 ウインドスクリーン

特許 第5187956号

発明の名称：鞍乗型車両の排気装置

発明者：英 浩太郎，北川 和三，神澤 龍彦，若原 一剛，
内野 善仁，金澤 智裕，大野 雅史，城崎 孝浩

—厳しい騒音規制をクリアしつつ、マフラのデザイン性と操縦安定性を向上—

日本では、世界一厳しい騒音規制がモーターサイクルに求められている。従来は、マフラにより排気騒音を消音していたが、それだけでは、騒音規制値をクリアすることが難しくなってきた。カワサキのモーターサイクルを代表するモデルの一つであるZX-6RおよびZX-10Rは、限られたスペースを有効利用し、排気騒音を消音する本発明により、騒音規制値をクリアした。

図1に示す通り本発明の排気装置では、エンジンと後輪の間

の比較的広い空間があるマフラの上流側の排気通路に消音チャンバを設けている。消音チャンバには、複数の貫通孔が形成された消音パイプが貫通しており（図2）、排気ガスの一部が貫通孔を通して消音チャンバ内に抜けることによるレゾネータ（共鳴器）効果で、排気騒音が消音される。さらにマフラでも排気騒音が消音されるため、マフラの形状を大きくすることなく十分な消音効果を得ることができる。

本技術を採用することによりマフラを小型化して、デザインの自由度を向上させることができた。さらに、車体中央下部に排気システムを集めることで車両を低重心化し、操縦安定性が向上できた。このように本発明により騒音規制値をクリアしただけでなく、カワサキのモーターサイクルに大きな付加価値をもたらした。



図1 本技術を搭載したモーターサイクル（ZX-10R）および消音チャンバ

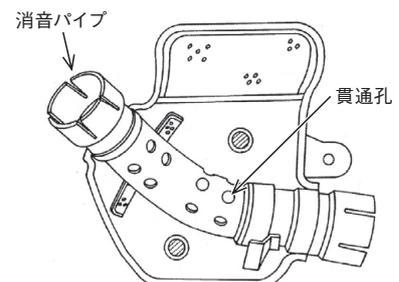


図2 消音チャンバの詳細図

事業セグメント別主要製品／生産拠点

事業セグメント	主 要 製 品	主要生産拠点
船 舶 海 洋	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG運搬船, LPG運搬船, 油槽船, ばら積み船, コンテナ船, 自動車運搬船, 超高速船, 艦艇, 官公庁船, 海洋構造物 	神戸工場 坂出工場 Estaleiro Enseada do Paraguacu S.A. (ブラジル) 南通中遠川崎船舶工程有限公司 (中国) 大連中遠川崎船舶工程有限公司 (中国)
車 両	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道車両, 新交通システム, モノレール, プラットホームドア ・ニッケル水素電池「ギガセル®」 	兵庫工場 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. (米国) Kawasaki Rail Car, Inc. (米国)
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・ロータリー除雪車, デュアル・モード・ビークル (DMV) ・軌道モーターカー, 重量物運搬車 	(株)日本除雪機製作所・本社工場 (株)日本除雪機製作所・曙工場
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (固定翼機/ヘリコプター), 飛翔体, 電子機器, 宇宙関連機器, シミュレータ 	岐阜工場 名古屋第一工場 名古屋第二工場
航 空 宇 宙	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機 (部分品等), ロケット部分品, 宇宙機器, 標的システム ・航空機整備・改造 	日本飛行機(株)・航空宇宙機器事業部 日本飛行機(株)・航空機器整備事業部
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機用・船用ガスタービンエンジンおよび周辺機器 ・ガスタービン発電設備, コージェネレーションシステム, 他 	明石工場 西神工場
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・陸・船用蒸気タービン, ディーゼル機関, ガスエンジン, 大型減速装置 ・船用推進装置 (サイドスラスト, 旋回式スラストなど) ・各種空力機械 (天然ガス圧送設備, 送風機など) 	神戸工場 播磨工場 武漢川崎船用機械有限公司 (中国)
ガスタービン・機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・空調機器, 汎用ボイラ 	川重冷熱工業(株)・滋賀工場 同方川崎節能設備有限公司 (中国)
プ ラ ン ト ・ 環 境	<ul style="list-style-type: none"> ・各種産業用プラント (セメント, 化学, 搬送プラント) ・排煙脱硫装置 ・各種陸船用ボイラ (事業用発電ボイラ, 産業用ボイラなど) ・ごみ処理設備 ・各種低温貯蔵設備 (LNGタンク) ・シールド掘進機, トンネル掘削機 	播磨工場 上海中遠川崎重工鋼結構有限公司 (中国) 安徽海螺川崎裝備製造有限公司 (中国) 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司 (中国)
プ ラ ン ト ・ 環 境	<ul style="list-style-type: none"> ・破碎機, リサイクル用機器, 他 	(株)アーステクニカ・八千代事業所
モ ー タ ー サ イ ク ル & エ ン ジ ン	<ul style="list-style-type: none"> ・二輪車, ATV (四輪バギー車), 多用途四輪車, パーソナルウォータークラフト「ジェットスキー®」 ・汎用ガソリンエンジン 	明石工場 加古川工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. (米国) Kawasaki Motores do Brasil Ltda. (ブラジル) India Kawasaki Motors Pvt. Ltd. (インド) KHITKAN Co., Ltd. (タイ) Kawasaki Motors Enterprise (Thailand) Co., Ltd. (タイ) P.T. Kawasaki Motor Indonesia (インドネシア) Kawasaki Motors (Phils.) Corporation (フィリピン) 常州川崎光陽發動機有限公司 (中国)
精 密 機 械	<ul style="list-style-type: none"> ・建設機械用油圧機器, 産業機械用油圧機器・装置 ・船用舵取機, 船用各種甲板機械 ・産業用ロボット 	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery(U.K.)Ltd. (英国) Wipro Kawasaki Precision Machinery Private Limited (インド) 川崎精密機械 (蘇州) 有限公司 (中国) 川崎春暉精密機械 (浙江) 有限公司 (中国) Flutek, Ltd. (韓国)
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> ・各種土木建設機械 (ホイールローダ/除雪ドーザ/ロードホウルダンプ/コンクリート舗装機械など) 	(株)KCM本社工場 KCMA Corporation (米国)

川崎重工技報 第174号

2014年1月1日

編集・発行 兵庫県明石市川崎町1番1号
川崎重工業株式会社 技術開発本部

発行責任者 技術開発本部長 牧村 実

発行人 技術開発本部 技術企画推進センター長
原田 英一

印刷 大阪府大阪市北区天満三丁目4番12号
株式会社 正巧堂

禁無断転載

事業所・生産拠点・研究開発拠点

東京本社 (〒105-8315)	東京都港区海岸1丁目14番5号	☎(03)3435-2111 Fax. (03)3436-3037
神戸本社 (〒650-8680)	兵庫県神戸市中央区東川崎町1丁目1番3号 (神戸クリスタルタワー)	☎(078)371-9530 Fax. (078)371-9568
技術開発本部 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号 (明石工場内)	☎(078)921-1611 Fax. (078)921-1867
北海道支社 (〒060-0005)	北海道札幌市中央区北5条西2丁目5番地 (JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)	☎(011)281-3500 Fax. (011)281-3507
東北支社 (〒980-0021)	宮城県仙台市青葉区中央1丁目6番35号 (東京建物仙台ビル16階)	☎(022)261-3611 Fax. (022)265-2736
中部支社 (〒450-6041)	愛知県名古屋市中村区名駅1丁目1番4号 (JRセントラルタワーズ)	☎(052)388-2211 Fax. (052)388-2210
関西支社 (〒530-0004)	大阪府大阪市北区堂島浜2丁目1番29号 (古河大阪ビル)	☎(06)6344-1271 Fax. (06)6348-8289
中国支社 (〒730-0013)	広島県広島市中区八丁堀3番33号 (広島ビジネスタワービル12階)	☎(082)222-3668 Fax. (082)222-2229
九州支社 (〒812-0011)	福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目4番1号 (博多駅前第一生命ビル)	☎(092)432-9550 Fax. (092)432-9566
沖縄支社 (〒900-0015)	沖縄県那覇市久茂地3丁目21番1号 (國場ビル11階)	☎(098)867-0252 Fax. (098)864-2606
岐阜工場 (〒504-8710)	岐阜県各務原市川崎町1番地	☎(058)382-5712 Fax. (058)382-2981
名古屋第一工場 (〒498-0066)	愛知県弥富市楠3丁目11番地	☎(0567)68-5117 Fax. (0567)68-5090
名古屋第二工場 (〒490-1445)	愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4	☎(0567)55-0800 Fax. (0567)55-0803
神戸工場 (〒650-8670)	兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号	☎(078)682-5001 Fax. (078)682-5503
兵庫工場 (〒652-0884)	兵庫県神戸市兵庫区和田山通2丁目1番18号	☎(078)682-3111 Fax. (078)671-5784
西神工場 (〒651-2271)	兵庫県神戸市西区高塚台2丁目8番1号	☎(078)992-1911 Fax. (078)992-1910
西神戸工場 (〒651-2239)	兵庫県神戸市西区榎谷町松本234番地	☎(078)991-1133 Fax. (078)991-3186
明石工場 (〒673-8666)	兵庫県明石市川崎町1番1号	☎(078)921-1301 Fax. (078)924-8654
加古川工場 (〒675-0112)	兵庫県加古川市平岡町山之上向原170番地	☎(079)427-0292 Fax. (079)427-0556
播磨工場 (〒675-0180)	兵庫県加古郡播磨町新島8番地	☎(079)435-2131 Fax. (079)435-2132
坂出工場 (〒762-8507)	香川県坂出市川崎町1番地	☎(0877)46-1111 Fax. (0877)46-7006

海外事務所

北京事務所	中華人民共和国 北京市建国門外大街1号 国贸写字楼1座2602室	☎ 86-10-6505-1350 Fax. 86-10-6505-1351
台北事務所	台湾 台北市仁愛路二段99号 福記大樓15樓	☎ 886-2-2322-1752 Fax. 886-2-2322-5009
デリー事務所	5th Floor, Meridien Commercial Tower, 8 Windsor Place, Janpath, New Delhi 100 001, India	☎ 91-11-4358-3531 Fax. 91-11-4358-3532
モスクワ事務所	Office 1206 (12th floor), Entrance 3, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610, Moscow, Russian Federation	☎ 7-495-258-2115 Fax. 7-495-258-2116

現地法人事務所

Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc.	29 Wells Avenue, Building #4, Yonkers, NY 10701, U.S.A.	☎ 1-914-377-4190 Fax. 1-914-377-4191
Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc. Houston Branch	333 Clay Street, Suite 4310, Houston, TX 77002-4109, U.S.A.	☎ 1-713-654-8981 Fax. 1-713-654-8187
Kawasaki do Brasil Indústria e Comércio Ltda.	Avenida Paulista, 542-6 Andar, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil	☎ 55-11-3289-2388 Fax. 55-11-3289-2788
Kawasaki Heavy Industries (U.K.) Ltd.	4th Floor, 3 St. Helen's Place, London EC3A 6AB, U.K.	☎ 44-20-7588-5222 Fax. 44-20-7588-5333
川崎重工管理(上海)有限公司	中華人民共和国 上海市黄浦区南京西路288号 創興金融中心10樓	☎ 86-21-3366-3100 Fax. 86-21-3366-3108
Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.	6 Battery Road, #23-01, Singapore 049909	☎ 65-6225-5133 Fax. 65-6224-9029
Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE	Dubai Airport Free Zone, Bldg. 6W, Block-A, Office No. 709, P.O. Box54878, Dubai, U.A.E.	☎ 971-4-214-6730 Fax. 971-4-214-6729

