

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

No.180

February 2019

Kawasaki

1クラス上を目指して
“A Class Apart”

Kawasaki

A close-up, low-angle shot of a motorcycle's fuel tank. The tank is a dark, metallic color with a glossy finish. The word "Kawasaki" is embossed in a bold, sans-serif font on the upper part of the tank. The lighting is dramatic, coming from the side, creating strong highlights and deep shadows that emphasize the tank's curved shape and the texture of the embossed lettering. The background is dark and out of focus, showing some mechanical parts of the motorcycle.

■ 巻頭インタビュー	モーターサイクル&エンジン事業の近況と今後の展開	1
■ 総括説明	モーターサイクル&エンジン事業における製品開発および技術展開	2

技術解説

■ 圧倒的な加速力を実現した「Ninja H2シリーズ」の開発	Development of Ninja H2 Series for Excellent Acceleration Performance	6
■ モーターサイクル用過給エンジンの開発	Development of Supercharged Motorcycle Engines	12
■ 最新型レトロスポーツモデル「Z900RS」の開発	Development of the Latest Retro Sport Model, Z900RS	16
■ レース最強モトクロスサー「KX450」の開発	Development of the Most Powerful Racing Motocrosser, KX450	20
■ オフロード多目的四輪車「MULE PROシリーズ」の開発	Development of Multipurpose Off-road Vehicles MULE PRO Series	24
■ 圧倒的な軽量車体の実現	Achievement of an Extremely Lightweight Frame	28
■ スーパースポーツモデル「ZX-10R」の車両制御技術の開発	Development of Vehicle Control Technologies for Super Sport Model ZX-10R	32
■ グローバルサプライチェーン改革の取り組み	Efforts toward Global Supply Chain Innovation	36

新製品紹介

■ 高出力の乗用芝刈機用エンジン「FX850V-EFI」	High-output Riding Mower Engine, FX850V-EFI	40
■ 唯一無二の操縦性を持つスタンドアップタイプ「JET SKI SX-R」	A Stand up Type with Unique Maneuverability: JET SKI SX-R	42

特許紹介

■ 過給機のインペラ	ーコンパクトかつ高効率な過給機で、高出力エンジンを実現ー	44
■ PERSONAL WATERCRAFT	ージェットスキーの滑走時の抵抗をスタビライザで軽減ー	44

【モーターサイクル&エンジンカンパニー プレジデントに聞く】

モーターサイクル&エンジン 事業の近況と今後の展開

モーターサイクル&エンジンカンパニーの事業環境や経営状況はいかがでしょう？

当カンパニーは、モーターサイクル・四輪車・パーソナルウォータークラフト（PWC）・汎用エンジン分野で事業を展開しています。

モーターサイクルについては、リーマンショック以降は市場が縮小していましたが、近年はヨーロッパや日本では緩やかながらも回復しており、タイやインドネシアも底打ちの兆しが見え、フィリピンでは好調を維持しているなど堅調に推移していると言えるでしょう。2017年に「Z900RS」や「Ninja H2 SX」などの新機種を相次いで発表して国内外から注目が高まっていますので、さらなる販売増につなげていきたいと思えます。

四輪車については、北米Side×Side市場がこの10年で2倍以上に拡大しており、今後も安定的に推移していくと見えています。また汎用エンジンについては、北米住宅市場の成長に伴って芝刈機関連市場が非常に堅調に推移しています。これらは、今後の収益源の中心となることを期待しています。

一方で、昨今、モーターサイクルメーカーでは業界再編の機運が高まっています。特に、インドや中国メーカーの勃興が激しく、開発力を持たないメーカーは淘汰・吸収される流れになっています。また、モーターサイクル・四輪車・PWC・汎用エンジンといった製品は、排出ガス規制の強化のみならず電動化・自動運転・運転アシストなどの技術の進歩により、100年に一度と言われるほどのパラダイムの変革期を迎えています。このため、従来以上に研究・開発が重要になってきていると考えています。

これからの経営戦略を教えてください

第一に、中計2016で策定したデマンドチェーン改革・製品競争力向上改革・サプライチェーン改革の3つの改革に引き続き取り組んでいきます。デマンドチェーン改革は、「A Class Apart」がキーワードで、他社と一線を画したブランドを確立していきます。製品競争力向上改革は、「Fun to Ride」・「Ease of Riding」をキーワードに、他社に先駆けて製品を開発できる体制を構築していきます。サプライチェーン改革は、サプライチェーン全般の効率的な事業運



太田 和男 取締役常務執行役員

モーターサイクル&エンジンカンパニー プレジデント

営を行うことで、資本効率を向上させていきます。

モーターサイクルに関しては、現在インド市場に注目しています。インドは、経済成長に伴ってモーターサイクル市場も大きく伸長すると見ており、2017年7月に新工場を設立し、さらには部品の現地調達化や現地R&D拠点の設立など、引き続き積極的な展開を行っているところです。

米国における四輪車は、モデルラインナップの拡充やアクセサリーの強化を引き続き行っていきます。また、汎用エンジンは、米国の現地R&D拠点との連携をより強化し、さらなるシェアアップを図っていきます。

ブランドについてお聞かせください

当カンパニーは川崎重工の中で唯一BtoC製品を取り扱っており、すなわち川崎重工のブランドの牽引役を担っていると自負しています。このこともあり、当カンパニーではブランド価値の向上に特に力を入れています。ブランドイメージが良くなれば、お客様に「この金額を出してもカワサキが欲しい」と思って頂くことができます。「Ninja」や「Z」といった商品のブランドも活用して、価格競争から抜け出すことを目指していきます。

最後に

モーターサイクル&エンジンカンパニーは、モーターサイクル・四輪車・PWCなどのパワースポーツ市場および汎用エンジン市場における高付加価値の領域をメインフィールドとして成長し続けるメーカーであることをビジョンとしています。市場は激変の時代を迎えていきますが、これからもカワサキらしい革新的な製品を世に送り出し、他社とは一線を画す存在でありたいと思えます。

モーターサイクル&エンジン事業における 製品開発および技術展開

吉武 秀人

理事 モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部長



まえがき

モーターサイクルや四輪車（Side×Sideなどのオフロード仕様のもの）、PWC（パーソナルウォータークラフト）を主力商品とする事業において、他社との競合製品を開発する中、当社は「A Class Apart」をスローガンとして、他社と一線を画したブランド価値の創造により、価格競争にとらわれない需要の確立を目指している。

また、環境規制要求の高まりによる低炭素社会の実現など、百年に一度と言われる移送機器の大変革期である昨今、従来の技術に加えて電動化・通信・先進アシストなど新たなテクノロジーを盛り込んだ技術開発にも取り組んでいる。

また、BtoBとなる汎用エンジンでは、北米の芝刈機コマース市場向けにおいて50%以上のシェアを確保しており、長年にわたり信頼性の高いブランドイメージを構築して独自のポジションを獲得している。

1 カワサキブランド

モーターサイクル&エンジンカンパニーは2010年より感性工学を活用して、モーターサイクルのブランドイメージについて研究を積み重ねてきた。その結果、顧客がブランドを認識するための心理尺度が「信頼感」・「躍動感」・「高級感」であることが明確になった。それら三つの心理尺度から描かれるブランドの印象マップにおける各ブランドの心理的な位置関係を把握した上で、カワサキは「ワンクラス上」を目指した取り組みを目標とすることとした。そこで生まれたブランドスローガンが「A Class Apart」であり、ブランド価値創造への指針となっている。

2 価格競争にとらわれない商品

モーターサイクルのカテゴリーはレースモデルに近いスーパースポーツタイプ・ストリートモデルの中でもカジュアルな雰囲気のネイキッドタイプ・長距離を楽しむツーリングタイプや野山を走るオフロードタイプなど多様であるが、顧客が求めるタイプは時々刻々と変化する。近年は顧

客の高年齢化に伴い、より快適なツーリング仕様やクラシックなスタイルが嗜好される傾向にある。それを踏まえ打ち出した機種が「Z900RS」(図1) / 「Z900RS Cafe」であり、一目でカワサキブランドを想起できる商品として、また時代に即した商品として人気を博している。また、ツーリングを上質かつ快適に楽しめる商品として「Ninja H2 SX」を発売しており、高額でありながらも多くの顧客に好評を得ている。

また、四輪車では「MULE」というブランドラインナップがあり、米国における作業・現場の巡視・トレールライディング・キャンピングと非常に幅広い用途で利用されている。特に、3人乗りと6人乗りを用途に応じて使い分けられる独自のトランス機構を装備するとともに車両の巡航速度を伸ばした「MULE PRO」は、継続して高い評価を受けている。(図2)

3 エンジン技術

当社はモーターサイクル専用の過給エンジンを開発して、その継続的な性能向上に取り組んでいる。「Ninja H2 SX」(図3)では高出力および秀でた加速とともに燃費性能を追求して、走行性能向上と環境性能向上の両立を実現した。それ以外にも、トラクションコントロールを装備す



図1 「Z900RS」



図2 「MULE PRO」



図4 「Ninja 400」



図3 「Ninja H2 SX」

ることで、宿泊を伴うような長距離ツーリングでの積載状況や二人乗り、また多様な路面に対しても、より高い信頼性を獲得している。

4 車体技術

「Ninja 250」／「Ninja 400」(図4)では、軽快な走行性能とともに大幅な軽量化を達成することで、より多くの顧客が「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を安心・安全に楽しむことを実現した。モーターサイクルに初めて乗車される方や女性にも好評を得ており、新しい顧客層の開拓に結びついている。

5 付加価値を支える各種解析

最新の解析技術を導入してより精度の高い開発を行うことは、信頼感を高める取り組みの一つである。解析の対象には構造・強度・熱・流体・振動・音響・材料などがあり、おのおのがエンジンや車体を設計する際に大きな影響を持

つ。たとえば、五感を介して価値が生み出されるモーターサイクルにとって、サウンドの要因は重要である。魅力が感じられるサウンドは商品の付加価値向上に貢献しており、吸気サウンドのつくりこみを行ってきたが、近年は排気サウンドまで対象を広げている(図5)。

6 外観設計

外観設計を支える技術には、三次元設計・コンピュータグラフィックス・バーチャルリアリティ・表面処理などがある。また、近年、外観表面処理の技術は著しい進化を遂げており、金属感が表せる銀鏡塗装や自己修復機能を備えた塗料の活用が可能となっている。その結果、上質感の長期保持が可能となり、所有感向上の効果が得られるようになってきた。これらをモーターサイクルの量産化に適用するための開発を行い、「Ninja H2」などにおいて採用している(図6)。



図5 「Z900RS Cafe」

† 過給モデルの特長である高出力や強烈的な加速力を発揮しつつ、同等出力を有する自社製品を超える燃費性能を達成。

†† ベースモデルに対し20%以上の大幅な軽量化により、燃費の向上・パワーウエイトレシオ低減・排ガスレベル大幅低減を達成。



図6 銀鏡塗装



図8 スーパーバイク世界選手権

7 ブランド認知拡大への取組み

(1) 販売店における展開

日本市場において「カワサキのブランドショップ」の開発と全国展開を進めている。これは、「ワンクラス上のおもてなし」と「五感で楽しむ空間」を提供することで、価格競争にとらわれないブランド価値の創造を推進するものである。約10年前から導入してきた感性工学を用いることで、五感を通したブランドイメージの統合や上質感の客観分析を基にした店舗空間の設計と、独自のおもてなしの演出ができるようになった。同時に商品需要の機会創出にもつながっている(図7)。

(2) レースの展開

主にワールドスーパーバイク(図8)、北米のモトクロス、欧州のモトクロスへの参戦を継続している。特に、ワール

ドスーパーバイクにおいてはカワサキ史上初めて4連覇を達成した。この成功は持続的な努力の積み上げにより生まれた技術の結晶であり、チームとしてのみ成せる業である。

また、アジアロードレース選手権(図9)への参戦は、戦績向上を目指すだけでなく、アジア各国の現地メカニックやライダーの技術力向上のための重要な人材育成の場となっている。さらにスーパースポーツ世界選手権に新たに新設された300cm³クラスでは初のチャンピオンに女性の選手が輝き、男性顧客が多いモーターサイクルの世界でひとときわ輝く存在になった(図10)。選手としても、また顧客としても女性は今後の鍵と感じている。

8 汎用エンジンについて

汎用エンジンは北米方面を主軸に事業を展開している。一般家庭用の需要は伸び悩んでいるが、これは主たる顧客層が高齢化して顧客自らが芝を刈るという作業を避ける傾



図7 Kawasaki Plaza



図9 アジアロードレース選手権



図10 スーパースポーツ世界選手権 300



図11 「Kawasaki FJ180V」

向が強くなったためである。一方、個人で芝を刈ることが少なくなった分は業者が仕事を行うことになり、それがコマース市場（業務用市場）を押し上げている。当社はこのコマース市場において、信頼性の高い製品を継続して開発することで、高いシェアを獲得している。

近年では電子制御燃料噴射装置を搭載した製品を提供して、市場から高い評価を得ている（図11）。今後もコマース市場は伸びることが想定されており、競争は激化すると思われるが、市場により最適な製品を他社に先駆けて打ち出せるように開発体制を強化していく。

9 将来技術について

川崎重工業として「低炭素社会の実現」・「循環型社会の実現」・「自然共生社会の実現」をかかげており、当カンパニーではさらなる低燃費化・軽量化・騒音低減・化学物質低減を実現するべく技術開発に取り組んでいる。

また、電動化・先進アシスト・通信技術などに関しては、

市場での競争ばかりでなく、自社独自のノウハウとして研究を行う分野と、同業種や異業種の枠を超えて協力できる分野とを明確化し、常に最先端の技術研究が行える体制としている。

あとがき

モーターサイクルや四輪車という商品はグローバルな広がりを持ち、移動手段としての実用的な存在でありながら、趣味性の高い存在として価値が認められている。今後も変化を続ける世界の中で、「カワ、サキへ。」として、他社に先立ち安心・安全かつ新しく豊かなライフスタイルを社会へ向けて提案できるような魅力的な商品の開発に取り組み、「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を提供していく。

汎用エンジンについては、高い信頼性に加えて、より利便性が高く他に変え難い製品となるように、顧客の声を反映して熟成を重ねていく。

圧倒的な加速力を実現した「Ninja H2シリーズ」の開発

Development of Ninja H2 Series for Excellent Acceleration Performance



市 聡 顕① Satoaki Ichi
 石 井 宏 志② Hiroshi Ishii
 中 村 悠 志③ Yushi Nakamura
 森 川 学④ Manabu Morikawa
 穂 積 昭 充⑤ Akimitsu Hozumi
 藤 田 博⑥ Hiroshi Fujita
 松 本 武 志⑦ Takeshi Matsumoto
 岡 本 康 秀⑧ Yasuhide Okamoto
 高 橋 裕 樹⑨ Yuki Takahashi

モーターサイクルに対する顧客の多様な要望に応じて圧倒的な加速力を実現するため、2015年に過給エンジンを搭載した「Ninja H2R」および「Ninja H2」を開発した。さらに、2018年に日常の利便性を向上させた「Ninja H2 SX」を開発した。本開発においては、川崎重工グループの過給機・空力・燃焼・ロボット技術などを集結するとともに、クラフトマンシップに基づく新技術の開発を行った。

To achieve the excellent acceleration performance in response to various requests for motorcycles from customers, we developed the Ninja H2R and Ninja H2 in 2015, which are equipped with a supercharged engine. Moreover, we developed the Ninja H2 SX in 2018, which has improved the everyday convenience of motorcycles. To develop these models, we combined Kawasaki Heavy Industries Group's supercharger with aerodynamic, combustion, robot and other technologies, while developing new technologies based on craftsmanship.

まえがき

大型モーターサイクルのライダーの中には非日常を体験することで、より豊かな生活を実現したいという要望がある。また、高性能であるだけでなく、個性的で操縦している感じがあり、またワクワクするようなモーターサイクルが求められている。

1 背景

顧客の多様な要望¹⁾に応じて日常では体感できない圧倒的な加速力を実現するため、過給エンジン²⁾を搭載した「Ninja H2」シリーズを開発することとした。開発にあたっては、当社が保有する「過給機技術」・「安定性を実現する空力技術」・「異常燃焼を抑制する燃焼技術」などを適用するとともに、「クラフトマンシップに基づく新生産技術を開発」することで、独自性・革新性を追及してテクノロジーの頂点を極めたモーターサイクルを目指した。

2 製品コンセプト

究極のパフォーマンスを追及した「Ninja H2R」を最初に開発して、続いて公道走行装備を充実した「Ninja H2」

や「Ninja H2 SX」を提供することとした。

(1) 「Ninja H2R」(代表図)

経験豊かなライダーのための究極のモーターサイクル

- ・エンジン排気量：998cm³
- ・エンジン出力：228kW {310PS}
- ・走行安定性：300km/h以上の速度域でも安定
- ・デザイン：機能美を追及した造形
- ・外観仕上げ：所有感を感じる丁寧な仕上げ
- ・走行環境：クローズドコース
- ・乗車定員：1名

(2) 「Ninja H2」(図1)

「Ninja H2R」の設計思想はそのままに、公道走行装備(ヘッドライト・バックミラー・シグナルランプなどと騒音・排出ガス規制適合)を追加

- ・エンジン出力：147kW {200PS} (2015年モデル)
- ：170kW {231PS} (2019年モデル)

(3) 「Ninja H2 SX」／「Ninja H2 SX SE」(図2)

「Ninja H2」に対して、さらに公道走行装備を充実

- ・乗車定員：2名

関連動画



図1 「Ninja H2」
Fig.1 Ninja H2

関連動画



図2 「Ninja H2 SX SE」
Fig.2 Ninja H2 SX SE

- ・積載性 : パニアケース搭載可能
- ・燃費性能: 「Ninja H2」に対して25%向上
- ・乗車姿勢: 前傾を緩和

3 開発方針

「Ninja H2シリーズ」の製品コンセプトであるエンジン出力や走行安定性を実現するため、過給機・過給エンジンやトレリスフレーム（高張力鋼管をトラス上に配置したフレーム構造）および空力デバイスなどの部品を新規開発することとした。また、全車CFD解析やクラフトマンシップに基づくものづくりを行うことで、求められる製品を提供できるようにすることとした。

既存のモーターサイクル開発には無い技術要素が必要であったため、開発初期より当社の技術シナジーを活用して、他カンパニーや本社技術開発本部の技術を取り入れて開発

を行った。代表的なものに、「過給機・過給エンジンの開発」や「高速走行時の安定性を向上する空力デバイスの開発」さらに「美しい外観を実現するロボット溶接」などがある。

4 技術紹介

(1) 新規開発技術

(i) 過給機・過給エンジン

モーターサイクルは、エンジンの使用回転数域が1,200～14,000min⁻¹と非常に広く、さらに比出力（出力/質量）が非常に大きいことから、俊敏な加減速とそれに伴うエンジン回転数の急激な変化が大きな特徴である。また、ライダーの要求に対して過不足なく瞬時に応答することが求められる。この要求を満足するため、モーターサイクル専用の遠心式過給機を設計開発した。

さらに、エンジンと過給機を同時に開発することで、高度なマッチングによって高効率化した。これにより、高出力にもかかわらず図3に示すようにインタークーラーを不要とし、軽量でコンパクトなモーターサイクルを実現した。

(ii) トレリスフレーム

エンジンが高出力であっても、車両として高い安定性が確保できていなければライダーが安心して乗車することはできない。安定性確保のために「Ninja H2シリーズ」では、図4に示すような高張力鋼管をトラス状に配置したフレーム構造（トレリスフレーム）を採用した。

高い安定性を確保するために、通常は車両骨格の固有値を上げる手法を採用しており、「ZX-10Rシリーズ」では比重の小さいアルミ材料を使うとともに、骨格を中空鋳物形状として、軽量で非常に高い剛性を確保している。特徴として、高速度域での安定性を確保できる一方で、路面のギャップや急な路面変化などで車両に外乱が入った場合には車両に高い周波数の挙動が発生する場合がある。レース向けの車両の場合は軽量化を優先しているが、一般ライダーにとってはこの挙動が安心感の低下につながることにな



関連動画



図3 「Ninja H2シリーズ」用過給エンジン
Fig.3 Supercharged engine for Ninja H2 series

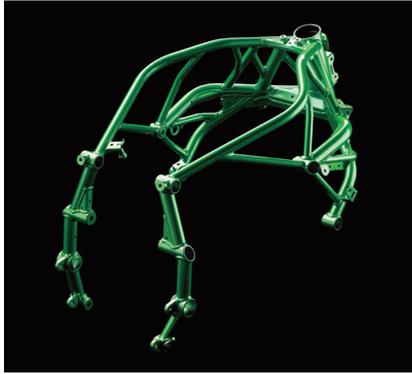


図4 トレリスフレーム
Fig. 4 Trellis frame

る。このため、「Ninja H2シリーズ」では、アルミに比べて比重の大きい高張力鋼の管を採用するとともに高い材料強度を利用して限界まで薄肉化することで、剛性を大幅に下げて固有値を下げ、「外乱をしなやかにいなす」という思想でメインフレームを開発した。

また、「Ninja H2シリーズ」では、図5に示すようにエンジンクランクケース後方にボルト固定のスイングアーム支持部品を設置している。これにより駆動系の反力を効率良く受け止めることができ、メインフレームの軽量化が可能となった。また、スイングアームピボット近傍の剛性を適正值に設定することが可能となり、「外乱をしなやかにいなす」という特性の実現に大きな役割を果たしている。

(iii) 空力デバイス

「Ninja H2R」では300km/hを超える超高速領域においても安定した走行を実現する必要がある。一般的に、モーターサイクルには高速で走行するほど揚力が発生して前輪と地面との接地感が低下する傾向がある。これを低減して高い安定性を実現するため、翼を用いて下向きの力（ダウンフォース）を発生させる空力デバイスを採用した。

航空機に用いられている図6に示すようなドッグツースやストレークなどは、空気抵抗の増加を抑えつつダウンフォースを発生させるという要求に応える空力デバイスである。図7に示すように、車体の側面にはスロテッド・フラ



図5 「Ninja H2R」の骨格
Fig. 5 Frame for Ninja H2R



図6 航空機に用いられる空力デバイス
Fig. 6 Aerodynamic devices used for aircraft

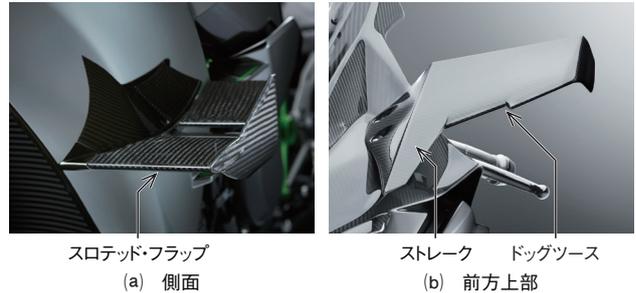


図7 「Ninja H2R」の空力デバイス形状
Fig. 7 Aerodynamic device shape of Ninja H2R

ップを、前方上部には「Ninja H2R」のカウル形状を考慮して設計したストレークとドッグツースを適用した翼を設置した。設計にあたっては、航空宇宙システムカンパニーが開発した遺伝的多目的アルゴリズムによる自動最適化技術を用いて、ダウンフォースが大きくなるように最適化を図った。

(2) 全車CFD解析

「Ninja H2シリーズ」の開発では、エンジン冷却・走行抵抗低減・揚力抑制・ライダーの快適性確保などの目的で、全車CFD解析を多用した。この解析は、エンジンおよび車体の全部品とライダーを含めて、走行状態での空気および熱の流れを計算機上でシミュレーションするものである。

これまでは実際に試作品を製作してから測定を行っていたが、この解析を導入することでスケッチから3Dモデルを製作して確認することができるようになり、アイデアの段階で仕様選定を行うことが可能となった。

(i) エンジン冷却性能の検討

エンジンの冷却性能を確保するための重要な要素としてラジエータ通過風量があり、その増減にはカウルの形状が大きく影響する。そこで、図8に示すような全車CFD解析によりカウルの形状検討を行うことで、従来機種と同等のラジエータサイズのまま必要な冷却性能を確保することができた。

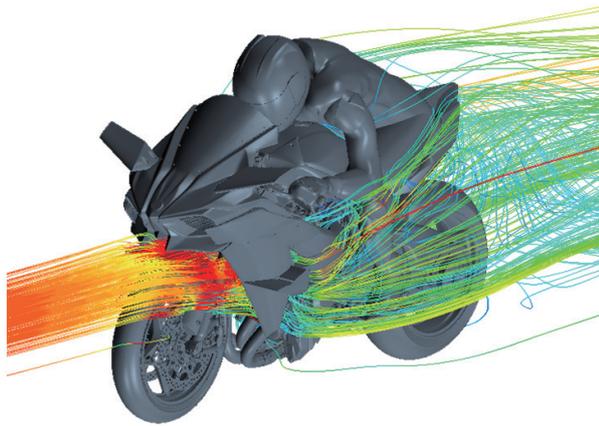


図8 エンジン冷却検討時の解析結果
Fig. 8 Analysis results of engine cooling study

(ii) 空力デバイスの検討

空力デバイスの効果を最大限に発揮するためには、流速の速い位置に搭載することが効果的であり、全車CFD解析を利用して最も効果的な位置を選定した。また、空力デバイスの形状検討にも全車CFD解析を利用して大幅な揚力低減に成功した。さらに図7(b)に示したストレークについても、放出される強力な渦がライダーに当たると乗り心地が悪化するため、図9に示すようにライダーに渦が当たらないように設計した。

(3) クラフトマンシップに基づくものづくり

「Ninja H2シリーズ」では、走行中はもちろんのこと、存在するだけで「ワクワク感」を感じることができるよう、機能美を追求したデザインとクラフトマンシップに基づく丁寧な仕上げによるものづくりを行っている。

(i) 過給機の加工

過給機は開発のみならず加工・組立・検査までを一貫して明石工場で行うことによって、高い圧縮性能と圧縮効率

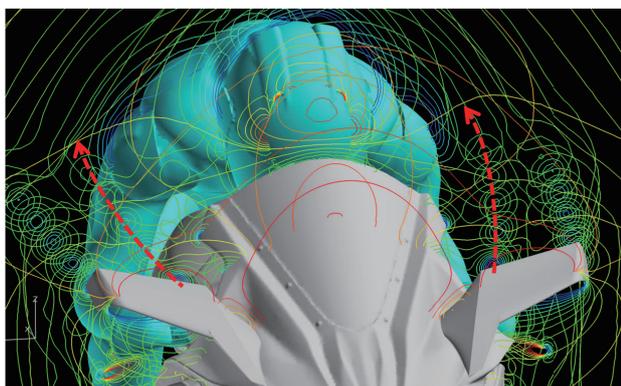


図9 全車CFD解析による渦流れの可視化
Fig. 9 Visualization of vortex flow using total-vehicle CFD analysis

を実現している。

特に図10に示すインペラの機械加工においては、翼の厚さが約1mmと超薄肉であるとともに、曲面がらせん状に連続的に変化する複雑な形状で構成されているため、切削工具の寿命と面性状の両面に悪影響を及ぼすびり振動が発生しやすい。面性状は、数10 μ mの誤差であってもライダーが走行中にその差を感じ取ることができるほど、過給機の性能に対する影響が大きい。そこで、さまざまな形状の切削工具でテストを行うとともに、走行性能と相関の高い検査を行うことで、安定した性能を実現している。

(ii) 過給機の組立

インペラは120,000 min^{-1} 以上の超高速で回転するため、振動による破損や騒音の発生を防ぐため、高度なバランス調整が必要である。専用に製作した動釣合試験機と作業者の熟練技との融合により、mg単位でバランス調整している。

また、過給機の性能はインペラとハウジングの隙間により左右されるため、 μ m単位で部品形状を計測して、インペラの翼先とハウジング内壁の隙間を管理している。

完成した過給機は、専用の性能確認機を用いて性能が確保されていることを全数について確認している。

(iii) フレーム溶接

クラフトマンシップの代表例として、「仕上げの美しさにこだわったフレーム溶接」がある。従来のフレーム溶接では必要な接合強度を達成することに主眼が置かれてきたが、「Ninja H2シリーズ」では溶接強度はもちろんのこと「美しい溶接ビード」にこだわった。評価のポイントは、「ビードの表面・幅が一定であること」・「スパッタなどの付着が無いこと」・「始末端が外観から見えないこと」の3点である。

「Ninja H2」のフレームは、細径のパイプ材が複雑に組み合わさって構成されていることに加えて、完成車状態でフレームが外観から良く見える。そこで、MAG溶接を行う際には、溶接電流やシールドガスなどを供給する溶接トーチのコントロールが重要となる。

まず、ビード表面に凹凸が無く滑らかな表面に仕上がるようにするため、基礎試験によって溶接機・溶接条件・溶



図10 過給機のインペラ
Fig.10 Supercharger impellers

関連動画



接ワイヤー・シールドガスを選定した。つぎに溶接開始時の溶接ワイヤーの供給や溶接電流の細かな制御により、発生するスパッタを抑制した。さらにトーチの運び方を工夫することによって、図11に示すように外観から見えない位置で溶接始末端部同士を重ね合わせた。

このような匠技の溶接を安定して実現するため、当社製ロボットおよびワークポジションで構成される図12に示す「多軸協調制御溶接ロボットセル」を開発して、常に最適姿勢になるようにワークとトーチを位置制御している。

(iv) 車体組立

究極のパフォーマンスと機能美を最優先としたモーターサイクルの量産を可能にするため、組立やすさや他機種との共通化などの生産性優先により制約されないよう新たな専用組立ラインを構築し、熟練作業員（クラフトマン）の手で組立を行っている。

本組立ラインでは、他の組立ラインで採用している連続搬送のコンベア方式とは異なり、図13に示すような昇降機能を有した自走台車を作業員が作業を終えるたびに次の作業場所まで移動させていく半自動方式を初採用した。これにより、車両が停止した状態で部品を組み立てることができ、



図13 自走台車
Fig.13 Self-propelled carrier

き、作業姿勢を一定とすることで安定した組立品質を実現している。

一方、他の組立ラインに比べて作業員一人当たりの作業量が多いため、作業員が標準作業を着実に実施できるように、アドレック社のシステムを利用した「作業支援システム」を初導入している。これは、作業員の目の前に設置されたモニターに作業の進捗に合わせて作業内容や使用する工具などの情報を文書や写真などを用いて表示することで、標準作業を確実に実施できるよう支援するものである。また、締付トルクや重要部品の取付けについての作業履歴の情報を記録することができ、販売された後もその情報を確認できるトレーサビリティ機能を有している。このシステムは、航空宇宙システムカンパニーにおける「Trent1000エンジン」の組立を参考にして、モーターサイクル用にアレンジして構築した。

さらに照明にもこだわって太陽光下と同等の見え方となるように調整するとともに、熟練の検査員が目を光らせてキズなどの不具合を流出させないようにしている。

(v) 銀鏡塗装

量産としては業界初の「銀鏡塗装」を採用した。これは銀鏡反応を用いて本物の銀膜を形成することで、従来の金属調塗装とは異なり、“真”の金属感を表現することができるものである。これまでは「銀膜に塗料を密着させることが困難」や「銀膜の影響により太陽光で塗膜が劣化しやすい」などの問題から外装部品の塗装には使用されていなかったが、これらの問題を解決して銀鏡塗装の量産化を実現した。また、銀膜を薄くすることで図14に示すようにアンダーコートの色を透過させ、独特の色味と陰影感による“高級感のある次世代意匠塗装”を表現した。

(vi) ハイリーデュラブルペイント

銀鏡塗装の美しさを永く保ち顧客に満足して頂くため、傷がついても復元する「自己復元性」に着目して、塗料メーカーと共同で塗料開発を行った。ハイリーデュラブルペ



(a) 従来溶接 (b) 求められる溶接

図11 溶接ビード外観
Fig.11 Appearance of weld beads

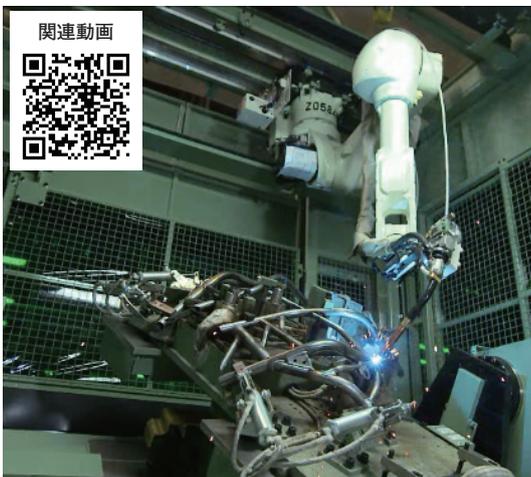


図12 多軸協調制御溶接ロボットセル
Fig.12 Multi-axis coordinated-control welding robot cell

関連動画



図14 銀鏡塗装
Fig.14 Silver mirror Paint

整することでカワサキオリジナルの自己復元塗料が完成した。さらに、図16に示すように実車の燃料タンクをワイヤーブラシで強くこすりつけてテストを実施することでその効果も確認した。このハイリーデュラブルペイントを採用することで、銀鏡塗装の美しさをより永く保つことが可能となった。

あとがき

「Ninja H2シリーズ」では、過給技術をはじめとする当社が保有する技術のシナジーを活用することで、テクノロジーの頂点を極めたモーターサイクルを実現することができた。二輪車雑誌記者ライダーの試乗会では、「信じられないほど強い加速感があり、しかも乗りやすい」と高い評価を得た。

関連動画

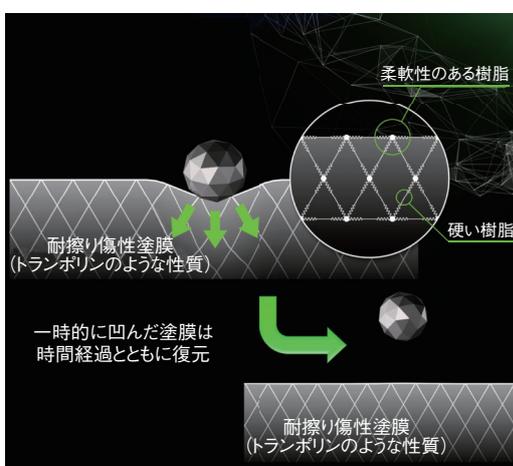


図15 復元メカニズム
Fig.15 Recovery mechanism

「Ninja H2 SX」では、さらに燃費性能と日常の使いやすさを向上し、ライダーの幅広い用途での利便性を向上させた。

今後も「Fun to Ride」・「Ease of Riding」・「環境」をキーワードに世界のライダーに豊かな生活と夢を提供するモーターサイクルを開発していく。

参考文献

- 1) 山田：“顧客知見に基づく機種開発”，川崎重工技報，No.174，pp.4-7（2014）
- 2) 市，渡部，齋藤：“大型二輪車用過給エンジンの開発”，自動車技術シンポジウムNo.15-14，pp.26-32（2015）



図16 実車テスト結果
Fig.16 Vehicle test results

イントは、図15に示すように塗膜の弾性復元力により傷が修復されるという塗料である。傷が修復されることを顧客が実感できる自己復元性の“速さ”をポイントにして開発した。復元性の速い塗膜は、当初はカワサキの品質規格をクリアすることができなかったが、配合をバランス良く調



市 聡 顕



石 井 宏 志



中 村 悠 志



森 川 学



穂 積 昭 充



藤 田 博



松 本 武 志



岡 本 康 秀



高 橋 裕 樹

モーターサイクル用過給エンジンの開発

Development of Supercharged Motorcycle Engines



渡部 寛之^① Hiroyuki Watanabe
 市 聡 顕^② Satoaki Ichi
 成岡 翔平^③ Shohei Naruoka
 齋藤 将仁^④ Masahito Saito

顧客の多様な要望に応える新しいパワーユニットとして、当社が独自に保有する圧縮機の技術を用いてモーターサイクル用過給エンジンを開発した。過給機本体を自社で開発して製造することで、過給機の高効率化と車両特性への最適化を追求し、1,000cm³サイズのエンジンで圧倒的な加速感を実現する「パワー型過給エンジン」とパワーと燃費のバランスを従来にない高次元に押し上げる「バランス型過給エンジン」とを開発した。

We developed supercharged motorcycle engines as power units that meet various customer demands by utilizing our own compressor technology. By developing and fabricating supercharged engines ourselves, we pursued high-level supercharger efficiency and optimal vehicle characteristics, successfully developing a "power-type" supercharged engine, which achieves the ultimate feeling of acceleration with a size of 1,000 cm³, and a "balanced-type" supercharged engine, which achieves a better-than-ever balance between power and fuel economy.

まえがき

モーターサイクルライダーの多様な要望^①の中には、非日常を体験することで、より豊かな生活を実現したいというものがある。

1 背景

日常では体感できない感動的な加速感は「Fun to Ride」の要素であり、モーターサイクルのエンジンに対して常に求められ続けてきた。一方で、近年急速に高まりつつある環境性能への要求を満たすことは相反する要素であり、これらを同時に達成する革新的な技術が求められている。当社が独自に保有する圧縮機の開発技術^②をモーターサイクル用エンジンの過給機に適用することで、テクノロジーの頂点を目指した。

2 開発方針

(1) モーターサイクル用過給エンジンに求められる特性

本エンジンには、以下のような特性が求められた。

- ・ツキ感：スロットル操作した瞬間（0.1秒以内）に、素早く追従した過不足ない応答が得られる感覚
- ・スロットル操作に応じたりニアでクイックなレスポンス：スロットル操作と応答が常時対応している感覚

- ・加速フィーリング：加速の過程で、意図通りの加速が体感できる感覚

(2) 過給機の選定

乗用車の過給機にはターボチャージャーが多く用いられているが、原理上ターボラグをゼロにすることは困難であり前述したモーターサイクルに求められる特性を得ることは難しい。また電動過給^③という技術もあるが、大型のバッテリーが必要となり、モーターサイクルにコンパクトに搭載することが困難である。そこで、エンジン回転にリニアに追従できる機械駆動式のスーパーチャージャーを選択することとした。

スーパーチャージャーの方式としては、乗用車では低回転で大きな圧力比を得ることができる容積式が一般的である。しかし、モーターサイクルに搭載するには装置の容積や質量が大きいという問題がある。そこで、小型かつ軽量で高回転時の流量が大きく、また回転部の慣性質量が小さいことから回転数変化にすばやく追従できる、クランク軸で駆動する図1に示すような遠心式過給機を選択した。

適用する車両の用途に合わせて、最適な過給機特性をつくりこめるように、自社にて過給機を開発して製造（加工・組立・調整・性能測定）することとした。また、開発においては、当社のカスタマー部門とのシナジーを活用した。

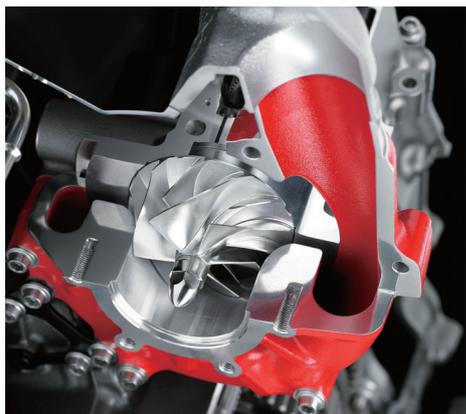


図1 遠心式過給機（「Ninja H2」用）
Fig.1 Centrifugal supercharger (for Ninja H2)

(3) 2つの過給エンジン

過給エンジンという独自技術を、顧客の多様な嗜好に対応させるため、エンジンのバリエーション展開を開発当初より計画した。

具体的には、パワー型過給エンジンと、最大出力と燃費性能をバランスさせたバランス型過給エンジンを順次開発することとした。

前者については、動力性能を重視したクロードコース仕様では最大出力228kW（310PS）、各国規制に対応した公道仕様では最大出力147kW（200PS）を発揮するパワー型過給エンジンを搭載した「Ninja H2R」／「Ninja H2」（2015年モデル）を開発した。後者については、最大出力と燃費性能とのバランスをとり、最大出力147kW（200PS）を確保しながら、WMTC（The World-Wide Motorcycle Test Cycle）モード燃費にて「Ninja H2」比25%向上を達成するバランス型過給エンジンを搭載した「Ninja H2 SX」（2018年モデル）を開発した。

3 パワー型過給エンジンの開発

過給エンジン第1弾となったパワー型過給エンジンの開発において、モーターサイクルに過給機を搭載するためには、吸気温度の抑制・コンテインメント性能の確保・過給機駆動方式の確立が課題となった。

(1) 吸気温度の抑制

一般的に過給エンジンでは、インタークーラーを用い吸気温度を低減して、充填効率の向上とノッキングの抑制を図ることで高効率・高出力を得る手法が採用される。しかし、モーターサイクルにおいては搭載スペースと質量の制約からインタークーラーの採用が難しいため、過給機の圧縮効率に着目した。圧縮効率とは取り出し可能な仕事量に対して実際に取り出した仕事量の比であり、その仕事量の差は熱として吸気温度の上昇につながる。つまり、過給

機の圧縮効率を高めることができれば、吸気温度の上昇を抑制して、インタークーラー無しでもノッキングを回避することが可能となる。この目標を達成するために過給機に求められる特性は以下の3点である。

- ・過給機の圧縮効率が高い
- ・高効率領域が広い回転数にわたり存在する
- ・実使用領域と過給機の高効率領域が一致している

上記を達成するため、数値流体解析CFDを活用して過給機のインペラ形状およびハウジング形状を決定した。インペラについては、翼まわりの流れが剥離して失速しないように形状を最適化したが、モーターサイクルの幅広い回転領域に対応して、低・中・高回転のそれぞれの流速において損失が少なくなるように形状を決定した。

一般的な遠心式過給機と当社過給機の圧縮効率を示すコンプレッサーマップを図2に示す。横軸は過給機から出力される質量流量を、縦軸は圧力比を示している。同図中の右下から左上方向に太線で図示したラインは、インペラの等回転数での特性を示す。同一線上の右側に位置する大流量時の圧力比に対して、左側に位置する低流量時では圧力比が上昇することを示す。左下の太線はインペラの低回転時を示し、右上の太線は高回転時の特性を示す。

細線で示すラインは圧縮効率の等高線であり、中心ほど圧縮効率が高い。同図(a)の一般的な遠心式過給機では、高効率領域はコンプレッサーマップ上の部分的な領域に限られる。これに比べて同図(b)の当社過給機では、高効率領域が広く尾根状につながっていると同時に、最高効率が高い。これはインペラの回転数によらず常に高効率領域が存在することを示しており、過給機に求められる特性を実現していることがわかる。

(2) コンテインメント性能の確保

過給機とライダーの乗車位置は非常に近いため、万一インペラが破損した場合においても、コンプレッサハウジングの内部に破片を閉じ込めるコンテインメント性能が必要である。強度が確保されていることのみならず軽量である

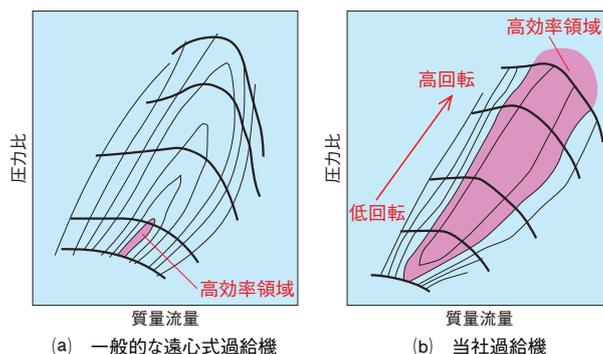


図2 コンプレッサーマップ
Fig.2 Compressor map

ことが重要であるため、図3に示すような衝突解析を用いて開発を行った。

この解析はジェットエンジンのファンケース設計に用いる技術の横展開であり、飛散させたインペラの挙動およびその衝突により生じるハウジングの損傷状況を高精度にシミュレーションすることが可能である。この衝突解析を駆使して、軽量かつコンテインド性を有する独自のハウジング形状を開発するとともに、実物を用いたコンテインドメント・リグ試験を実施して性能の検証を行った。

(3) 過給機駆動方式の確立

過給機の駆動部を図4示す。クランクシャフトの6番ウェブに配置されたギヤにより、バランス/スタータモータとも接続する中間軸を介して、チェーン駆動によりエンジン背面の過給機と同軸のシャフトが駆動される。このシャフトと過給機との間の増速に遊星歯車を用いることで容積を抑えている。遊星歯車部で8倍に増速し、総増速比は9.18倍であり、クランク回転数が $14,000\text{min}^{-1}$ のときにインペラ回転数は約 $130,000\text{min}^{-1}$ となる。また、過給機駆動部の潤滑油を専用ではなくエンジン本体と共通とすることで、部

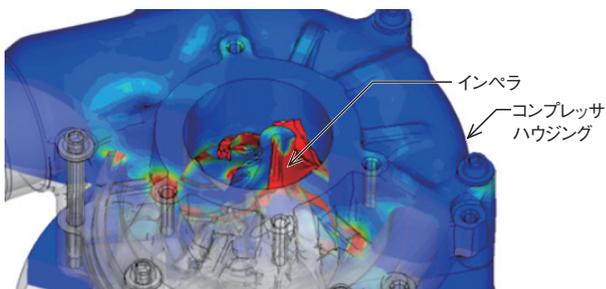


図3 衝突解析
Fig. 3 Crash analysis

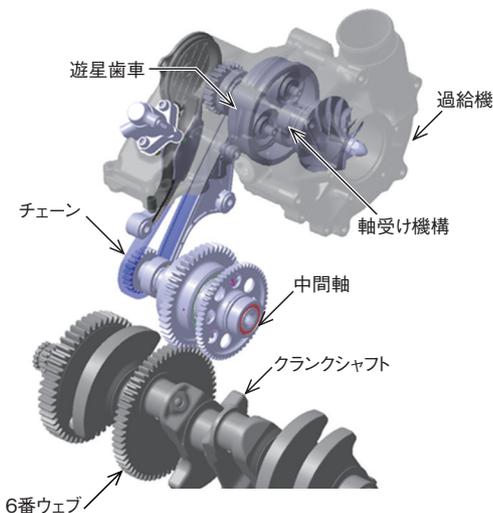


図4 過給機の駆動機構
Fig. 4 Supercharger drive mechanism

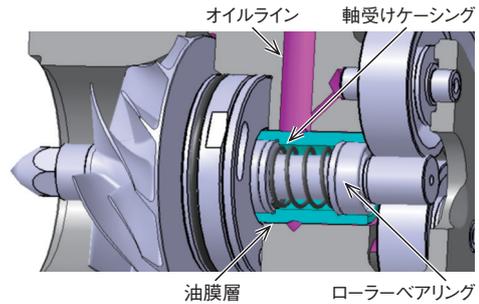


図5 軸受け構造
Fig. 5 Bearing structure

品点数の削減と省スペース化および軽量化を実現した。

$130,000\text{min}^{-1}$ に達する過給機の回転軸に共振が発生した場合にはインペラの破損につながる可能性があるため、オイルフィルムダンパ機構を用いて制振している。図5の軸受け構造で示すように、軸受けケーシングの外側に油膜層を設けてダンピング効果を得ている。この効果は油膜厚さによって変化することから、膜厚選定を行い最適な膜厚に設定した。

4 バランス型過給エンジンの開発

バランス型過給エンジンは、最初に開発したパワー型過給エンジンをベースとして開発を行った。最大出力が発生する高回転域を重視するパワー型と異なり、バランス型過給エンジンでは日常用途の使い勝手を向上させるため燃費や低中回転域のトルクの向上が求められた。そこで、高圧縮比化・過給機特性の最適化・吸気構造の最適化を課題として開発を進めた。

(1) 高圧縮比化

圧縮比とは、ピストンの上下動により燃焼室の容積が最小のときと最大のときの比率を表す値である。圧縮比を高めることで燃費やトルクが向上する。一方で、圧縮比を高めすぎるとノッキングの問題が発生する。

バランス型過給エンジンでは、圧縮比をパワー型の8.5から11.2へと大幅に高めながら、次に述べる過給機の最適化や吸気構造の変更により、ノッキングを回避することができた。

(2) 過給機特性の最適化

過給エンジンにおいてノッキングを回避するためには、過給機から供給される吸気温度を低減する必要がある。そのため、バランス型過給エンジンとして重要となる低中回転域での過給機の特性を最適化した。具体的には、低流量時の流れがスムーズになるよう、図6に示すようにインペラ翼の迎え角を変更した。

パワー型用過給機とバランス型用過給機のコンプレッサ

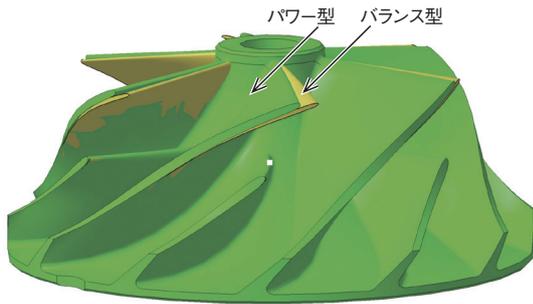


図6 インペラ翼形状
Fig.6 Impeller blade shape

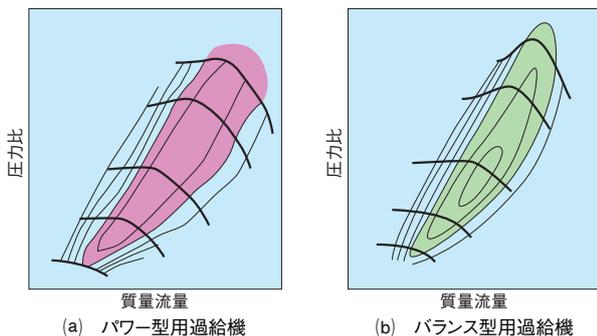


図7 コンプレッサマップ
Fig.7 Compressor map

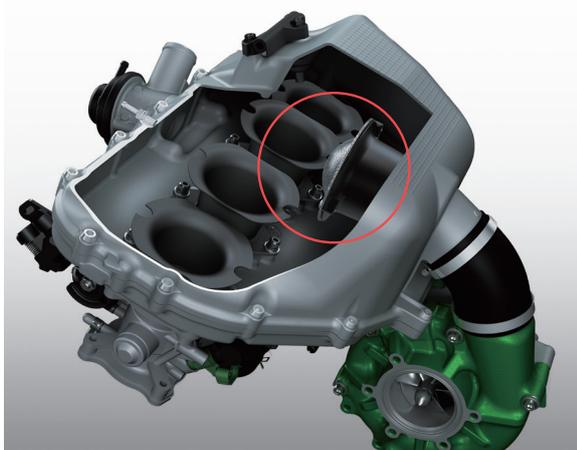


図8 吸気チャンバー内のディフューザー構造
Fig.8 Diffuser structure inside intake chamber

ーマップを図7に示す。同図(a)に示すパワー型用過給機に対して、同図(b)に示すバランス型用過給機は、高効率点が低回転かつ低流量側に存在しているとともに最高圧縮効率

が高く、狙い通りの特性を示している。

(3) 吸気構造の最適化

図8に示すように吸気チャンバー内にディフューザーを追加して、過給された吸入空気をスムーズにチャンバー内に流入させることで、吸気システムトータルでの圧縮効率を高めてノッキングの問題を回避した。

この構造はパワー型過給エンジンの後継モデルにも展開し、シリーズ全体のパフォーマンス向上に寄与している。

あとがき

当社が保有する圧縮機の開発技術をモーターサイクルの過給機に適用することで、日常では体感することのできない感動的な加速感を顧客に提供するためのパワー型過給エンジンを開発することができた。さらにバランス型過給エンジンでは、その用途と利便性を拡大することで、より多くの顧客に当社の過給エンジンを体験してもらうことができた。

今後も世界中のライダーに豊かな生活と夢を提供するモーターサイクルを開発していく。

参考文献

- 1) 山田：“顧客知見に基づく機種開発”，川崎重工技報，No.174，pp.4-7（2014）
- 2) 倉敷：“高圧力比多段遠心圧縮機における高効率化技術”，川崎重工技報，No.167，pp.22-25（2008）
- 3) Kattwinkel：“Mechatronic Solution for Electronic Turbocharger”，SAE 2003-01-0712



渡部 寛之



市 聡 顕



成岡 翔平



齋藤 将仁

最新型レトロスポーツモデル「Z900RS」の開発

Development of the Latest Retro Sport Model, Z900RS



萩	尾	清	二①	Seiji Hagio
宇	積	陽	一②	Yoichi Utsumi
勝	川	陽	太③	Yota Katsukawa
市	川	和	宏④*	Kazuhiro Ichikawa
徳	永	寿	慧⑤	Hisato Tokunaga
宮	本	大	樹⑥	Daiki Miyamoto

モーターサイクル市場では、スタンダードスポーツモデルを好む顧客が多い。このような顧客は、速さなどの車両性能よりもブランドが持つ歴史を重視しており、リラックスして楽しめるモーターサイクルを好んでいる。そこで、ニュートラルな操縦感と楽しさを引き出すエンジンサウンドのつくりこみに注力した開発を行った。

In the motorcycle market, many customers like standard sport models. These customers focus on the history the brand has rather than vehicular performance, such as speed, and prefer relaxing motorcycles. For this reason, we developed a motorcycle that focuses on a neutral steering feel and an engine sound that inspires fun.

まえがき

先進国におけるモーターサイクルは趣味嗜好性が高いため、顧客の感性に訴求できる魅力的なモデルの提供が重要である。特に日本市場においては、スタンダードスポーツモデルを好む顧客が多い。

1 背景

当社のスタンダードスポーツモデルの「ZRX1200 DAEG」やクラシックモデルの「W800」に続く魅力的なモデルを開発するにあたり、市場調査を行った。その結果、このようなカテゴリーを選択する顧客は、速さなどの車両性能よりも、味わいやブランドが持つ歴史を重視することが分かった。

2 開発コンセプト

市場調査の結果を受けて、1971年に上市された「Z1」から最新の「Z900」まで続く歴史のある「Z」ブランドを軸として開発することとした。

開発コンセプトは、「Timeless “Z”：現在の機能を持ちつつ、たゞまいは時代を超えた価値観を共有できるZ」として、単純な懐古主義のモデルではなく、「Z1」のトラディショナルなスタイルイメージから最新の「Z900」のパフォーマンスまでを織り込むこととした。そうすること

で、「Z1」を当時から知る方や若い方まで、幅広い層の顧客に訴求できる魅力的なモデルとなる。そのためには、乗りやすさと楽しさの味付けを高次元でバランスさせることが必要であった。

そこで、幅広い層の顧客がリラックスして運転できるように、意図どおりにコーナリングできるニュートラルな操縦感のつくりこみを行うこととした。また、スタンダードスポーツモデルを所有する顧客はエンジンサウンドに対する要求が高いため、心地よさを引き出すエンジンサウンドのつくりこみを行うこととし、排気システムの開発に重点的に取り組むこととした。

3 操縦感のつくりこみ

幅広い層の顧客がリラックスして運転できるようにするためには、旋回中に自然にハンドルが切れ、ライダーが余分な操作をしなくて済む“ニュートラルな操縦感”が必要である。そこで、まずは旋回中の操縦感に影響を及ぼす車体諸元を特定した。続いて、シミュレーション技術を用いて、試作車を作る前段階で“ニュートラルな操縦感”のつくりこみを行った。最後に、実車を用いて“ニュートラルな操縦感”を実現できていることを確認した。

(1) 定常旋回中の操縦感と車体諸元の定量的な関連づけ
旋回中の操縦感とは、ライダーがハンドルを回すために

加える力であるステアリングトルクに密接に関連しており、旋回中にステアリングトルクを負荷しない状態が“ニュートラルな操縦感”であることが基礎研究よりわかっている¹⁾。また、この走行中のステアリングトルクは、車体のさまざまなパラメータのうち、図3に示す「キャスト角とトレール」から大きな影響を受ける。

そこで、まず、定常旋回中のステアリングトルクについて、図4に示すように定義した。

- ・引き舵：旋回方向と同方向にハンドルを回す力
- ・当て舵：旋回方向と逆方向にハンドルを回す力

つぎに、「キャスト角とトレール」の影響について定量的に把握した。図5に示すように、キャスト角を大きくするほど、またトレールを小さくするほど、引き舵が強くなる。このため、たとえば当て舵の特性を持つ車体については、キャスト角を大きくしたりトレールを小さくしたりして、当て舵の特性を弱めることで“ニュートラルな操縦感”を実現できる。



図3 キャスター角とトレール
Fig. 3 Caster angle and trail

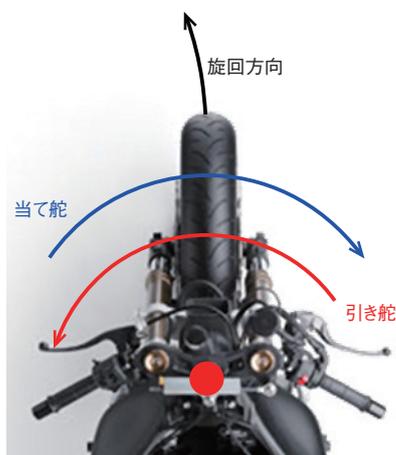


図4 当て舵と引き舵の方向
Fig. 4 Positive torque and negative torque

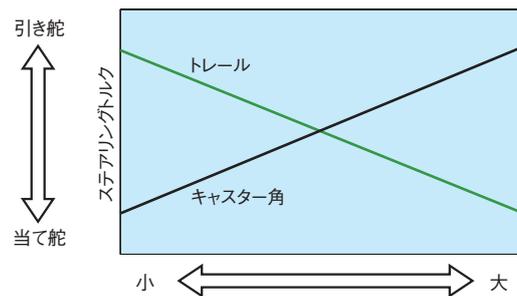


図5 キャスター角とトレールがステアリングトルクに及ぼす影響
Fig. 5 Effects of caster angle and trail on steering torque

(2) 「Z900RS」の操縦感のつくりこみ

開発の初期段階において、図6に示すライディングシミュレーターを用いて、「Z900RS」の操縦感のつくりこみを行った。ライディングシミュレーターは、ステアリングトルク・スロットル操作・ブレーキ操作など実際の操作および図7に示す車体ロールとピッチの運動をリアルタイムに再現できるリアルタイムシミュレーターである。このため、試作車が存在しない構想段階においても、シミュレーターで実車に近い操縦体験をすることができ、効率的なつくりこみを行える。

今回は、さまざまな走行シチュエーションにおいて、「キャスト角」と「トレール」を変化させて「Z900RS」の目指す操縦感を確認した。そして、タイヤの特性が変わっても可能な限り操縦感が損なわれないよう、“操縦感のニュートラル性”が最も高くなる「キャスト角」と「トレール」を決定した。



図6 ライディングシミュレーター
Fig. 6 Riding simulator

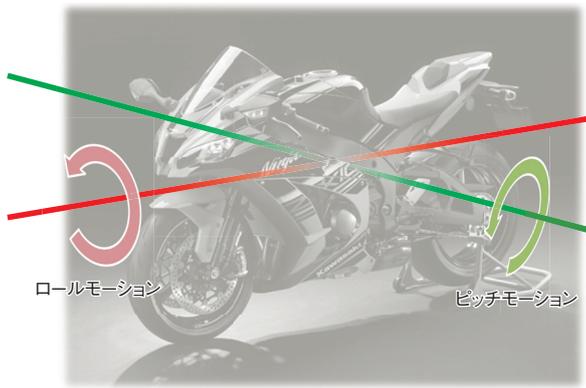


図7 車体ロールとピッチの運動
Fig.7 Roll and pitch motion of motorcycle

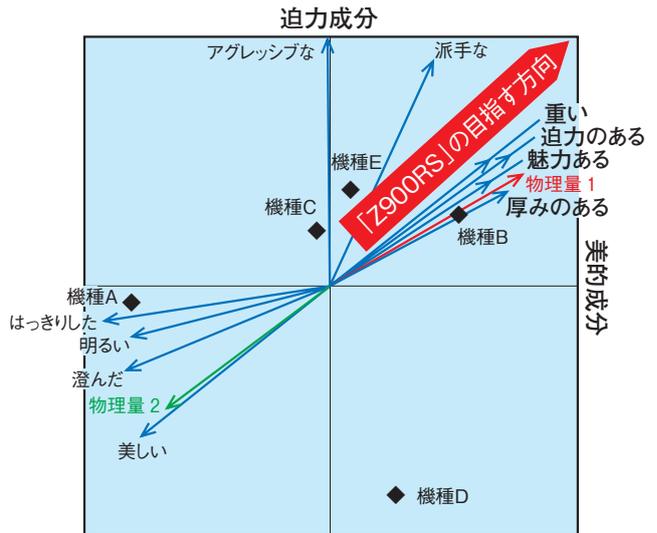


図8 エンジンサウンドの印象評価マップ
Fig.8 Image map of engine sound

(3) 「Z900RS」の操縦感の実車による確認

シミュレーターで確認した車体諸元を持つ試作車を製作して操縦感の確認を行った。その結果、ライダーの評価と計測データにより、目標とする操縦感が実現できていることを確認した。

シミュレーターを用いることにより、限られた期間と走行試験で、車体諸元を基にして効率良く操縦感をつくりこむことができた。

4 エンジンサウンドのつくりこみ

エンジンサウンドは吸気音／排気音／エンジンメカ音に分類することができる。「Z900RS」では、速さや性能に代わる価値を付加するため、アイドリング時や低い速度で走っている時の排気音に着目した。顧客の要求に応えるためには、排気サウンドを聞かせる低いエンジン回転数では音量を大きくする一方で、騒音規制の対象となる高いエンジン回転数では消音する必要がある。これまで「Z1000」などの吸気音のつくりこみで培った技術²⁾を応用して、排気システムを開発した。

(1) 感性評価技術を用いた目標設定

魅力ある排気サウンドの目指す方向を科学的に決めるため、SD法 (Semantic Differential method)³⁾と呼ばれる実験手法を利用した。SD法とは人間の感じ方を客観的に把握できる感性評価技術である。

まず、サンプルとして代表的な数機種の排気サウンドを録音する。これらの音を複数の被験者に聞かせて、あらかじめ用意した形容詞に対して評定を行う。集計して得られた結果を主成分分析して、排気サウンドの印象評価を図8に示すように美的成分と迫力成分でマップにまとめた。このマップに布置された機種および形容詞の方向を基に、

「Z900RS」の目指す排気サウンドを「迫力ある重厚な音」と決めた。

つぎに、それぞれの機種の排気サウンドが持つ特徴を、音の物理量として算出し数値化した。これらの数値を重回帰分析して印象評価マップに重ねることにより、形容詞と物理量の関係が明確になるため、目指す排気サウンドの方向を定量化することも可能である。

(2) 排気システムの開発

排気サウンドの迫力を出すには音量が必要になるが、騒音規制への適合と両立させるためには制限がある。また、重厚な音を出すためには排気音の原音に含まれている低い音色が必要になる。これらの要求を満たすため、排気システムを開発した。ここでは排気サウンドに大きな影響を与える排気チャンバーについて述べる。

排気チャンバーとは図9に示すようにエキゾーストパイプとマフラーの間にある消音器である。エンジンから流れてくる排気ガスが最初に到達する消音器であるため、排気サウンドのつくりこみにおいて重要な部品である。

要求される排気サウンドとするためには、各エンジン回転数における排気チャンバー内での排気ガスの流れをコントロールする必要がある。「Z900RS」の排気チャンバーには、排気ガスがエキゾーストパイプから流れ込む部分に図10に示すような横穴の開いたテーパ型パイプを配置しており、エンジン回転数に合わせて、図11に示すように排気ガスと排気脈動の流れが変わるような構造にしている。エンジン回転数が低いときは、原音に近い音がそのまま排気され、ある程度の音量で低い音色の排気サウンドを聞かせることができる。一方で、エンジン回転数が高いときは、チャンバー内に配置された膨張室を有効に使うことで、消



図9 排気チャンバーの位置
Fig.9 Location of exhaust chamber

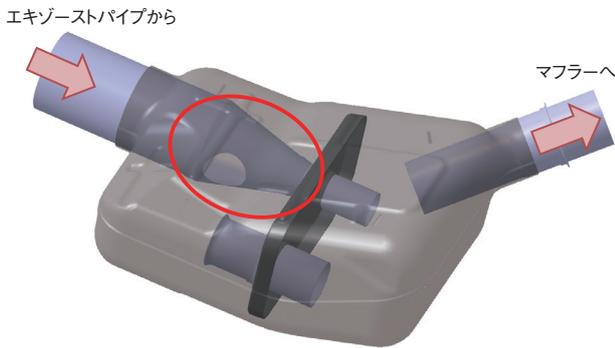


図10 排気チャンバーの内部構造
Fig.10 Internal structure of exhaust chamber

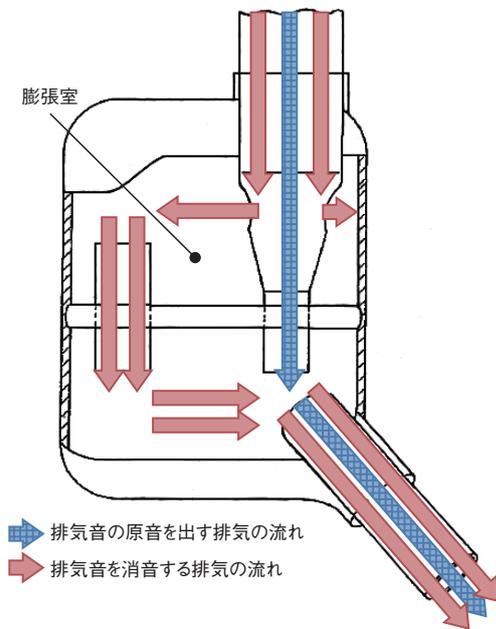


図11 排気チャンバー内の排気ガスの流れ
Fig.11 Exhaust gas flow in exhaust chamber

音器としての役割を果たすことができるようになる。

この排気チャンバーを含む排気システムの構築により、騒音規制に適合しながらも、「迫力のある重厚な排気サウンド」をつくりこむことができた。

あ と が き

今回開発した「Z900RS」は2017年9月から、派生モデルとしてカフェスタイルのカウリングを装着した「Z900RS CAFE」は2018年1月から量産を開始して、日本市場のみならず世界中の市場で好評を得ている。

今後、モーターサイクル市場はさらなる競争の激化が予想され、これまで以上に顧客の感性に訴求できる強いモデルの開発が必要となってくる。これまで培った技術や市場調査を通じ、顧客の要望に応えるモーターサイクルを提供できるよう、当社独自の技術開発および機種開発を継続していく。

参 考 文 献

- 1) Kazuya Nagasaka, et al.: Development of a Riding Simulator for Motorcycles, Small Engine Technology Conference, 2018-32-0031 (2018)
- 2) K. Matsubara, N. Nakamura, Y. Katsukawa, K. Furuhashi: "Development of Intake Sound Control Technique for Sports-Type Motorcycles", 19th Small Engine Technology Conference (2013)
- 3) 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)



萩尾 清二



宇積 陽一



勝川 陽太



市川 和宏



徳永 寿慧



宮本 大樹

レース最強モトクロスサー「KX450」の開発

Development of the Most Powerful Racing Motocrosser, KX450



厚味亮輔① Ryosuke Atsumi
松下充② Mitsuru Matsushita

当社では、レースで勝つことに対して一切の妥協を許さず、世界最速を目指したモトクロスサーの開発を続けている。

今回フルモデルチェンジした「KX450」では、フィンガーフォロワーロッカーアームの採用によりエンジン性能を向上させるとともに、車体の剛性バランス変更により車体性能を向上させた。

With an uncompromising attitude toward winning races, we have been continuously engaged in development with the aim of creating the fastest motocrosser in the world.

KX450, which has undergone a full model change, provides improved engine performance with finger-follower rocker arms and improved chassis performance with modified chassis stiffness balance.

まえがき

モトクロスは土や砂からなる未舗装の周回コース（モトクロスレーストラック）で速さを競うモータースポーツであり、モトクロスサーが横一線から一斉にスタートして第1コーナーに飛び込んでいくシーンは大迫力である。また、コースには直線やコーナーだけでなく大きなジャンプや連続したコブなどもあり、それらをいかに攻略していくかが勝敗を分けるカギになる。

モトクロスサーは、長い間2ストローク（2st）エンジンが主流であったが、2000年前半に4ストローク（4st）エンジン搭載モデルが発売された。その扱いやすいトルク特性から、熟練者のみならず初心者にも支持を受け、2stからの乗り換えだけにとどまらず、モトクロスサー全体の市場拡大にまでつながった。

1 背景

当社ではその業界動向に対応すべく、2005年にフラッグシップである「KX」のエンジンを2st250cm³から4st450cm³に変更した後、エンジンの出力向上に努めてきた。また、他社に負けない製品をつくり続ける必要があり、絶えず技術開発を続けている。

2 開発コンセプト

「レース最強モトクロスサー」を開発コンセプトとした。レースで年間タイトルを獲得するためには、マシンの戦闘力向上に加えて、安定してポイントを獲得するための装備も重要である。

戦闘力向上についてはエンジンの出力向上と車体の操縦安定性およびコーナリング性能向上を、安定したポイントの獲得についてはクラッチレバーの操作負担軽減と始動性の向上を、それぞれ図ることとした。

3 エンジンの出力向上

モトクロスサーの発売以来、各社ともにエンジンの出力向上を続けており、今も年々上がり続けている。また、単にピーク出力が向上すれば良いというものではなく、ライダーが扱いやすいトルク特性も併せ持つエンジンが必要である。レースにおいて横一線からのスタートでライバルに競り勝ち、第1コーナーにトップで進入（ホールショット）するためにはエンジン高回転域の伸びが重要となる。また、コーナー直後のジャンプを飛ぶためには、低回転からのレスポンスが重要となる。

今回のモデルチェンジでは、タペット式直打バルブ機構に代えて図1に示すフィンガーフォロワーロッカーアーム



図1 フィンガーフォロワーロッカーアーム
Fig. 1 Finger-follower rocker arm

機構を採用することで、大幅なエンジン性能の向上を果たした。

フィンガーロッカーアーム機構の最大の恩恵は、動弁系の往復部質量を抑制できることである。これは揺動運動するロッカーアームは、従来の往復運動するタペットと比較して、往復部質量が圧倒的に少ないためである。質量を抑制したことで、以下の性能向上が図れた。

①吸気・排気バルブ径の拡大

吸気バルブ径をφ36からφ40へ、排気バルブ径をφ31からφ33へ、それぞれ拡大することで、高回転時の吸入効率を向上させて高出力化した。

②バルブオーバーラップの減少

最大リフトおよび加速度が高いカムプロフィールを採用し、吸気と排気ともに作動角を狭くして、図2に示すオーバーラップを76°から68°へ減少させることで、低速域の掃気効率を向上させて低速域性能向上を図った。

③エンジンの最高回転数の引き上げ

質量の抑制により、最高回転数を11,500min⁻¹から11,700min⁻¹へ200min⁻¹引き上げると、最高回転数までエンジンを回してシフトアップした後のエンジン回転数もより高くなるため、加速のつながりが良くなり

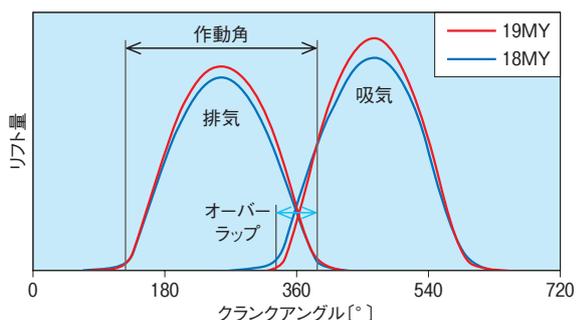


図2 カムプロフィール
Fig. 2 Cam profile

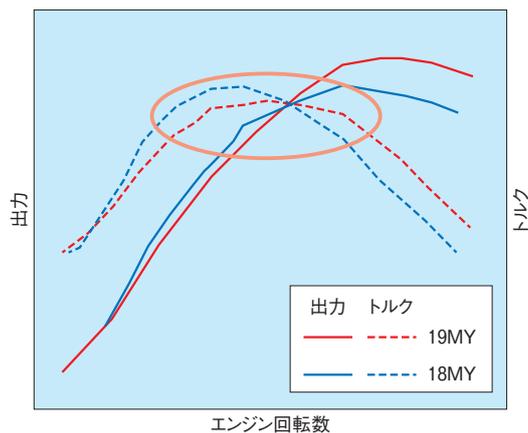


図3 エンジンパフォーマンスカーブ
Fig. 3 Engine performance curve

スタート時もコース走行時も大きなアドバンテージとなる。

最終的なエンジン性能は、吸気・排気部品とのマッチングを行い、図3に示すようにフラットトルクでパワーバンドが広くライダーに扱いやすいトルク特性を持たせることができた。

4 車体の操縦安定性およびコーナリング性能の向上

モトクロスレーストラックのようなラフロード（凹凸のある不整地路面）において、安定した加減速やコーナリングを行うためには、車体の剛性が高ければ良いというものではない。剛性が高すぎると路面の凹凸からの衝撃をダイレクトに受けて車体が弾かれ、逆に剛性が低すぎると車体が大きく変形してしまい、どちらの場合も車体の挙動が不安定になる要因となる。車体の挙動を安定させるためには、適度に車体がしななってサスペンションとともに衝撃を吸収することが極めて重要である。

そこで、メインフレームやスイングアームなどの車体構成部品について強度・剛性解析を実施し、構成部材に鍛造材・鋳造材・押出成形材を適切に組み合わせることでバランスのとれた剛性を実現した。

(1) メインフレーム

衝撃吸収性の向上および前後トラクションの向上を目的に、車体の骨格であるメインフレームの剛性バランスを変更した。剛性解析結果の一例を図4に示す。

このような剛性解析を繰り返しながら、製法・形状・材質を変更して、図5に示すように力を吸収する部位と剛性を上げる部位にメリハリをつけ、衝撃吸収性と前後トラクションの両方を向上させた。

(2) スイングアーム

リヤトラクションの向上を目的に、後輪とメインフレー

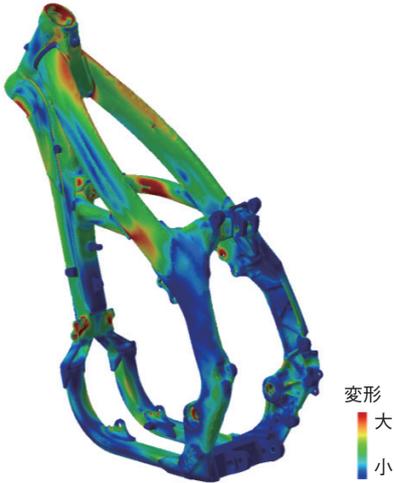


図4 メインフレームの剛性解析結果
Fig. 4 Stiffness analysis results for main frame

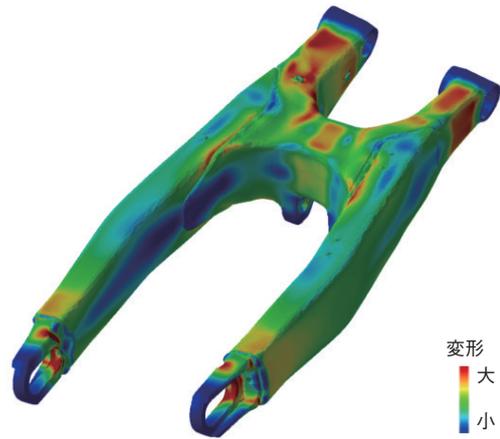


図6 スイングアームの剛性解析結果
Fig. 6 Stiffness analysis results for swing arm

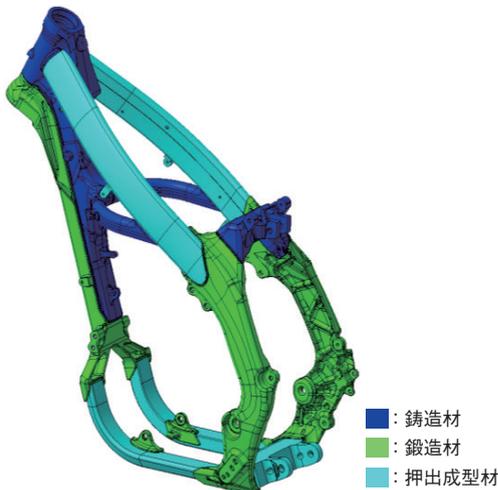


図5 メインフレームの構成部材の製法
Fig. 5 Manufacturing methods for main frame components

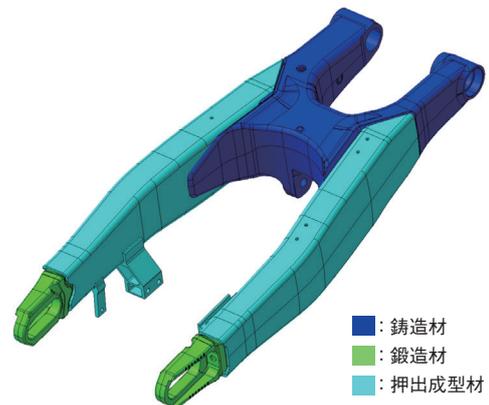


図7 スイングアームの構成部材の製法
Fig. 7 Manufacturing methods for swing arm components

ムをつなぐスイングアームの剛性バランスを変更した。剛性解析結果の一例を図6に示す。

このような剛性解析を繰り返しながら、製法・形状・材質を変更して、図7に示すようにパイプの最大拡管部の高さを上げることで縦剛性を増加させた。同時にねじり剛性が増加したため、車軸を支持するアクスルブラケットの剛性を下げることで、ねじり剛性の増加量を抑えてコーナリング性能を維持した。これらにより、直進時と旋回時の両方でリヤトラクションを向上させた。

メインフレームやスイングアーム以外に、リヤフレーム・エンジンマウント・フロントフォーク・トリプルクランプ・アクスル・アクスルシャフトなどの剛性変更も行うことで、加減速・コーナリング時の安定性を高め、車体取り回し時の軽快感も両立した車体を開発した。

5 クラッチレバーの操作負担軽減

モトクロスでは、発進時やギアチェンジ時だけではなく走行時にマシンコントロールのためにクラッチを操作するなど、路面コンディションによってクラッチを多用する場面がある。特にサンド質(砂)路面や泥濘(水気の多い泥)路面のレースでは頻繁にクラッチを操作する。頻繁なクラッチ操作はクラッチ本体の温度上昇を招き、軸方向に膨張することによりプッシュロッドの押す位置が変わって、レバー遊びが変化する。軽量でメンテナンス性の良さにより採用されてきた従来のケーブル構造クラッチでは、そのような場合に対応するために遊びの変化を調整する機構をレバーの手元に設けてある。しかし、レース中にレバー遊びを調整することはライダーにとって負担は小さくない。

一方、油圧クラッチはオイルを介してプッシュロッドを押す構造であり、レバー操作に伴ってオイルの量が自動調

整されるため、プッシュロッドの押す位置が変化しても自動的に追従する。つまりライダーはレース中にレバー遊びを調整する必要がなくなることになり、これが油圧クラッチ採用における最大のメリットである。しかし、油圧クラッチは、その特性上ケーブル式と比較すると、クラッチのつながり幅が少なくなる。これはレースのスタート時においてクラッチミートのコントロールを難しくし、安定した素早いスタートが出来ないことを意味する。そこで、クラッチ本体にジャダースプリングを採用することで、クラッチのつながり幅を確保した。

「KX」初採用となる油圧クラッチは、つながり幅を確保しながらレバー遊びの調整を不要とすることで、ライダーに扱いやすい装備とした。

6 始動性の向上

モトクロスレースでは、スキルの高いトップライダーでも転倒を100%回避することはできない。横一線のスタート直後に他者との接触による転倒もよく見られ、単独走行中であっても1周ごとに変わりゆく路面コンディションでは時に転倒が発生する。転倒時に一番重要なことは、最短時間でレースに復帰することである。転倒してエンジン停止となったマシンを起こし、エンジンを再始動させてレースに復帰する状況においては、軽量ではあるが始動に時間がかかるキックスタータよりもボタンを押すだけで始動するエレクトリックスタータの方が大きなアドバンテージを得ることができる。

本機種では、当社製モーターサイクル初となるリチウムイオンバッテリーの採用と主電源回路の工夫により、質量増を最小限に留めつつ安全性と優れた始動性を確保した。

(i) リチウムイオンバッテリー

コンパクトで軽量なりチウムイオンバッテリーは、携帯電話などの電化製品を筆頭に、世の中に普及が始まっている。しかし、モーターサイクルでの採用例はまだ少なく、当社としては初採用となるため、慎重に仕様選定を行う必要があった。始動能力や機械的な信頼性については従来のモーターサイクル開発と同様の確認を実施し、リチウムイオンバッテリー特有の次の3項目の試験を実施して確認した。

①過充電試験

過充電時、バッテリーに付属の保護回路により過電圧を検知し、回路を遮断して充電を停止させること

②過放電／再充電試験

バッテリーに付属の保護回路により過放電を防止するとともに、その後の再充電も安全に行えること

③外部短絡

バッテリーに付属の保護回路の一部回路を断線させる

ことで、安全にバッテリーを使用不可にできること

(ii) 主電源回路

一般のモーターサイクルと異なり、競技車両である「KX」には従来からメインスイッチ機能が無い。本機種では、ユーザーがスタートボタンを押すことで、メインスイッチをONする代わりにメインリレーによる主電源回路保持を行うシステムを構築した。エンジン停止時は、メインスイッチをOFFする代わりに、電子制御装置ECU (Electronic Control Unit) のセルフシャットダウン制御により一定時間経過後に主電源回路を遮断する。また、このセルフシャットダウン制御は転倒時のECUリセットを瞬時に行えるため、転倒してエンジン停止となった後、マシンを起こしながらエンジンを再始動することもできる。メインスイッチ式の場合はECUリセットを手動で行う必要があるが、今回採用したリレー式は自動で行われるため、より早くレースに復帰できることになる。

あとがき

当社は、「モトクロスレーストラックで無敵」のモーターサイクル開発を目標に掲げて、「KX」の開発を継続してきた。そして、これまでメインクラスで多くのタイトルを獲得して、カワサキブランドのイメージアップに貢献している。AMAスーパークロス史上で2人しかいない4連覇を成し遂げるなど圧倒的なレース勝利数を誇っている(2006年から2018年のスーパークロスにおいて、レース勝利数84回、表彰台148回)。今回投入した技術により勝利数がさらに伸びると確信している。

今後も一切の妥協を許さず積極的に新技術の開発に挑戦し、“モトクロッサーのトレンドは「KX」が創造する”という使命を感じながら、ライバルメーカーに負けないモーターサイクルを開発していく。

参考文献

- 1) 友森・甲斐 他：“最速モトクロッサー「KX450F」”川崎重工技報, No.162, p.16-19 (2006)
- 2) 高須・松下 他：“圧倒的パフォーマンスのモトクロッサー「KX250F」”, 川崎重工技報, No.174, p.26-29 (2014)



厚味 亮輔



松下 充

オフロード多目的四輪車「MULE PROシリーズ」の開発 Development of Multipurpose Off-road Vehicles MULE PRO Series



久田 和政① Kazumasa Hisada
高橋 敬二② Keiji Takahashi
糸尾 成司③ Seiji Ito
高馬 裕二④ Yuji Kouma

2009年以降、米国のオフロード多目的四輪車（Side×Side）市場は大きく伸張している。当社はその内のユーティリティ車両市場に対して「MULE PROシリーズ」の開発・投入を行い、四輪事業の飛躍を導くことができた。「MULE PROシリーズ」は、当社初となる最高速40km/h超のユーティリティ車両であり、エンジンの出力アップ・快適な走行性能の確保・新トランス機構の採用などを行った。

Since 2009, the market for multipurpose off-road vehicles (Side × Side vehicles) has been growing in the U.S.A. Targeting the utility vehicle market among them, Kawasaki has developed and marketed the MULE PRO Series, achieving a leap forward in its multipurpose off-road vehicles business. The MULE PRO Series is our first utility vehicle that can achieve a top speed of over 40 km/h. The engine power was increased with assuring vehicle performance comfortable and a new transformation mechanism was adopted.

まえがき

米国パワースポーツ市場の中心は、顧客の高齢化に伴い、従来のモーターサイクルやATV（All Terrain Vehicle）からオフロード多目的四輪車（Side×Side）へと移行しつつある。Side×Sideはユーティリティ車両とレクリエーション車両に大別され、前者の市場規模は2023年に約38万台まで拡大する見込みである。また、近年は最高速アップを求める声が高まっている。

1 背景

1988年の「MULE 1000」の販売開始以降、当社製ユーティリティ車両の耐久性は市場から高い評価を受けてきた。また、多様化する市場要求に対して、当社は複数のエンジン形式やシートアレンジの採用などを行ってきた。その一方、近年では、最高速アップ（40km/h超）の要求への対応が必須となっていた。

2 開発コンセプト

「MULE PROシリーズ」の開発においては、これまでの「MULE」の特長を継承しつつ、近年の最高速アップ要求への対応と共通プラットフォーム化をコンセプトとするとともに「Durable, Stable, ComfortableなDependable Workhorse」を開発キーワードに設定した。

(1) 最高速アップへの対応

従来の「MULE」に比べて、最高速アップ（40km/h超）を初めとして大幅なエンジン性能の向上を目指した。また、エンジン性能に見合った車体性能とするため、ホイールベースとトレッドの拡大・ホイールトラベルとタイヤサイズ的大幅アップ・前後ブレーキ形式の変更を行うこととした。主な諸元について、従来の「MULE」との比較を表1に示す。

表1 従来の「MULE」との主な諸元の比較

Table 1 Comparison of major specifications against the previous MULE model

項目	「MULE PRO-FXT」 (AF820C)	「MULE 4010 TRANS4×4」 (AF620R)
最高出力	×2.38(「MULE 4010」比)	基準
最大トルク (N・m)	65/3, 500min ⁻¹	47/2, 500min ⁻¹
最高速	+32km/h(「MULE 4010」比)	基準
ホイールベース (mm)	2,345	2,165
トレッド (F/R) (mm)	2300	1,160/1,180
ホイールトラベル (F/R) (mm)	222/217	100/70
タイヤサイズ (F/R)	26×9.00-R12/ 26×11.00-R12 ラジアル	23×11.00-10 バイアス
ブレーキ形式 (F/R)	ディスク	ドラム

(2) 共通プラットフォーム（フレーム）化

複数のエンジン形式とシートアレンジに対応した、収益性の高い共通フレームを開発することとした。エンジン形式とシートアレンジの具体的な組み合わせを表2に、フレームの概略形状を図1に示す。このように後席後方にエンジン用スペースを広く確保するとともに、前後中央付近で容易にフレームの延長や短縮ができるようにすることとした。

(3) 開発キーワード実現のための対応

(i) Durability（耐久性）

特にエンジン・駆動系の防水・防泥性や、CVT（Continuously Variable Transmission）ベルト・車軸・操舵系・足回り系の強度・耐久性を高くすることとした。

(ii) Stability（走行安定性）

高い走行安定性と安心感のあるハンドリングの両立を実現することとした。

(iii) Comfort（快適性）

吸排気系やFI（Fuel Injection）およびCVTセッティングの最適化による扱いやすいエンジン特性・高い動的グラウンドクリアランスの確保による優れた走破性・ドアの装備による対泥はね性の確保に加えて新トランス機構の採用により、多様性と扱いやすさを兼ね備えた車両にすることとした。

3 技術課題

開発コンセプトや開発キーワード実現のため、設計開発の開始時に多くの技術課題を設定した。

(1) ガソリンエンジンの出力アップ

開発の効率化を図るため、乗用車用に開発されたCHERY社製のエンジン本体とそれを制御する電子制御装置ECU（Electronic Control Unit）をセットで採用することとした。当社の設計基準を満たすための改良、オフロード車両としての要件に応じたECUプログラムの変更、およびセッティングの見直しを実施する必要があった。

(2) ディーゼルエンジンの信頼性の向上

搭載するディーゼルエンジンは点火を必要とせず、燃料噴射方式も機械式のため、エンジンを停止させる際に燃料供給を遮断するためのストップソレノイドや、予熱のためのグロープラグなど、ガソリンエンジンでは必要の無い電気デバイスが多数必要となる。コスト・信頼性の観点から、これらを統合的に制御する必要があった。

(3) 駆動系の強度・信頼性の向上

オフロードでは路面や使用状況に不確定要素が多く、駆動系に大きな衝撃荷重が発生しうる。「MULE PROシリーズ」で採用するゴムベルト式CVTには、ベルトがシープに対して多少滑っても継続走行可能という利点がある一方、寿命に関しては特に注意を払う必要があった。また、タイヤが路面により急激に減速させられ、慣性吸収によって車軸が破損することがあるため、車軸についても十分な強度が必要であった。

(4) 横安定性の確保

1名乗車状態のみならず、当社製Side×Sideとして初となる6名乗車状態での旋回時についても、適切な横安定性を確保する必要があった。

(5) 新トランス機構の開発

当社は競合他社に先駆け、1列シートモード（2名掛け）と2列シートモード（4名掛け）との間の変換（Transformation）を最大の特長としたSide×Side「MULE

表2 エンジン形式とシートアレンジ
Table 2 Engine type and seat arrangement

エンジン形式		シートアレンジ	
		1列シート (3名掛け)	2列シート (3/6名掛け)
ガソリン	812cm ³	2016MY 「MULE PRO-FX」	2015MY 「MULE PRO-FXT」
	4ストローク 水冷直列3気筒		
	DOHC-4バルブ		
ディーゼル	993cm ³	2016MY 「MULE PRO-DX」	2016MY 「MULE PRO-DXT」
	4ストローク 水冷直列3気筒		
	OHV-2バルブ		

※ MY：Model Year

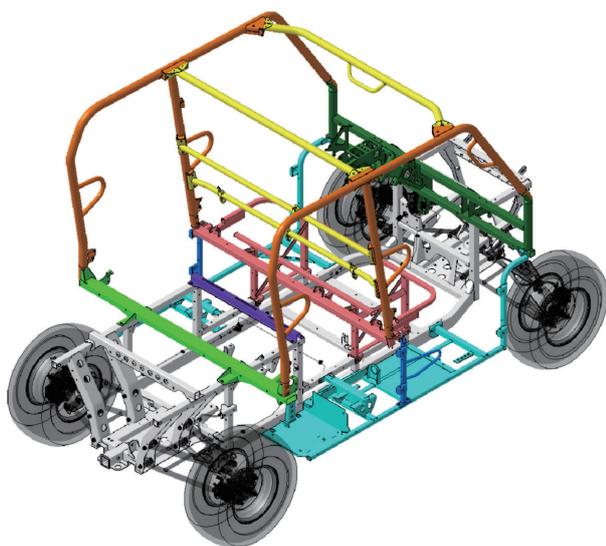


図1 フレームの概略形状
Fig. 1 Schematic shape of frame

TRANS 4×4シリーズ」の販売を2006年に開始している。このシリーズでは、カーゴベッド前方のスクリーンを前後に移動させてベッドの長さを変化させることで、競合他車よりも短いホイールベースにもかかわらず、両シートモードを成立させている。「MULE PROシリーズ」の開発にあたっては、取り扱いやすさ向上のため、このトランス機構を大幅に見直した。

4 技術課題の解決プロセス

(1) ガソリンエンジンの出力アップ

CHERY社製ECUをオフロードユーティリティ車両である「MULE PROシリーズ」に採用するために、ECUプログラムの変更や各種制御関係のセッティングの大幅な見直しを行った。

- ①高速走行性能が確保できる図2に示すようなエンジンパワーフィール特性、パワーフィールを犠牲にすることなく排気ガス規制値をクリアできるFIセッティング、作業用途には必要不可欠な優れた低温始動性などを実現した。
- ②2WD⇔4WDおよびリヤデフロックの切り替え制御や、万が一車両が転倒した時にエンジンを停止するというオフロード車両特有の機能を追加した。
- ③市場でのメンテナンス性にも配慮し、FIシステムのトラブル発生時に故障診断が可能なKDS (Kawasaki Diagnostic System) の機能も持たせた。
- ④エンジン性能に大きな影響を及ぼす吸・排気系部品については、当社専用仕様品を開発して、ECUセッティングとのマッチングを図ることで、非常に扱いやすい出力特性を得ることができた。

(2) ディーゼルエンジンの信頼性の向上

ガソリン仕様と同様に、2WD⇔4WDおよびリヤデフロックの切り替え制御に加え、ストップソレノイド・グロー

プラグ・スタータ始動禁止制御・燃料フィードポンプなど、ディーゼルエンジン特有の各種電気デバイスの統合制御を行うビークルコントローラを新たに開発・採用した。これにより、リレーなどの多くの電気デバイスが不要となり、低コストと高信頼性を両立することが可能となった。

(3) 駆動系の強度・信頼性の向上

- (i) ベルト強度と変速フィーリングを両立するCVTセッティング

CVT本体構造を図3に示す。加速フィーリングに加え、アクセル急開時のLOWへの変速やエンジンプレーキに関する要求性能を満たしつつ、ベルト滑りに起因するスキール音の発生を抑制できるセッティングとした。その際、ベルトへの負荷を増大させないように、ドライブ側プーリのウェイト形状とスプリング荷重・ドリブン側プーリのトルクカム角度とスプリング荷重を調整し、ベルトのクランプ力を最適に設定した。ガソリンとディーゼル仕様それぞれのエンジン特性に合わせ、個別に最適な設定としている。

- (ii) CVT室内の導風効率の向上

ドライブ側固定シブ背面に設けたフィンおよびCVT室内のフィン周辺のケース形状を最適化することで、ドライブプーリ周辺からドリブンプーリ周辺へ滞留すること無く旋回してCVT室の外へと排出される空気の流れを作り出した。これにより、CVTベルトの寿命を大きく向上させる冷却性能を確保している。

- (iii) クラストップレベルの車軸強度の実現

コストと重量を考慮した上で、駆動系全体の強度バランスを保ちながら、クラストップレベルの車軸強度を実現した。従来の「MULE」との比較を図4に示す。

- (iv) 高耐久性CVTベルトの採用

三ツ星ベルト株式会社製の新開発品を採用して、耐久性を従来の「MULE」から4倍強と大幅に向上させた。

(4) 横安定性の確保

ワイドトレッドの採用(表1参照)や、高強度材の採用による上部構造物であるROPS (Roll Over Protective

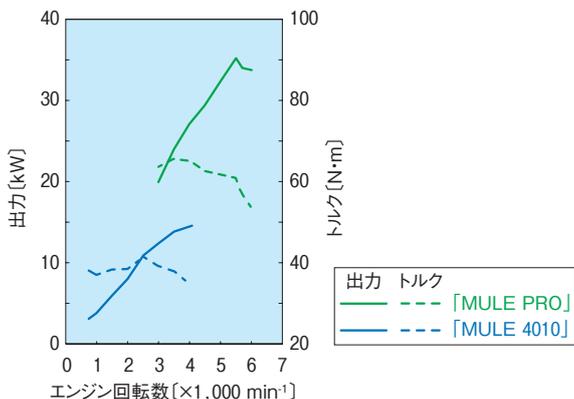


図2 エンジン性能曲線
Fig. 2 Engine performance curve

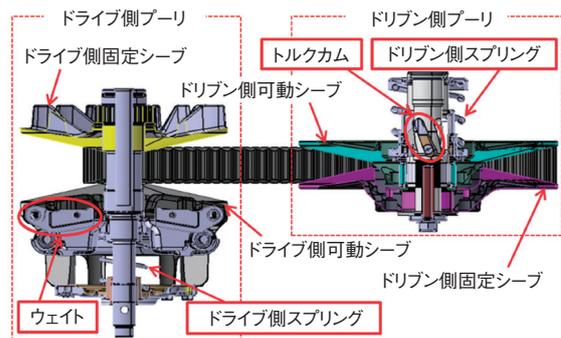


図3 CVT本体構造
Fig. 3 Structure of CVT (main unit)

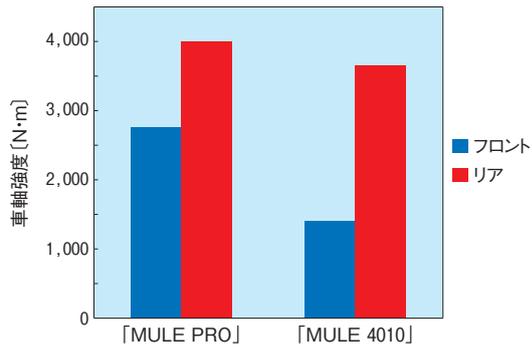


図4 車軸強度の比較
Fig. 4 Comparison of axle strength

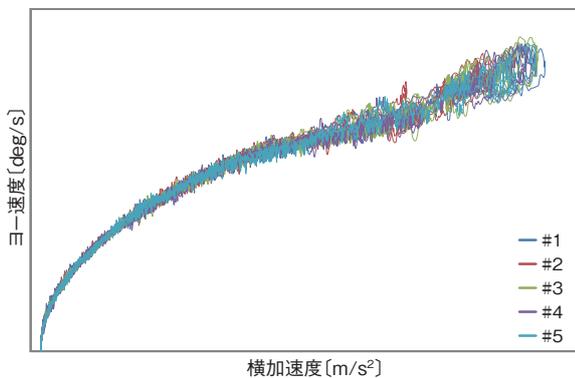


図5 車両ハンドリング試験の測定結果の一例
Fig. 5 Example of measurement results of vehicle handling test

Structure) の軽量化などにより、車両の低重心化を実現した。また設計計画当初から定常円旋回を模擬した机上解析を行いながら車両の重心位置や足回りのアライメントの最適化を進め、車両ステア特性を適度な弱アンダーステアとした。OPEI (Outdoor Power Equipment Institute) 基準による車両ハンドリング試験の測定結果の一例を図5に示す。高い横加速度においてもヨー速度が急激に上昇することなく、安定した旋回を実現できていることが分かる。

(5) 新トランス機構の開発

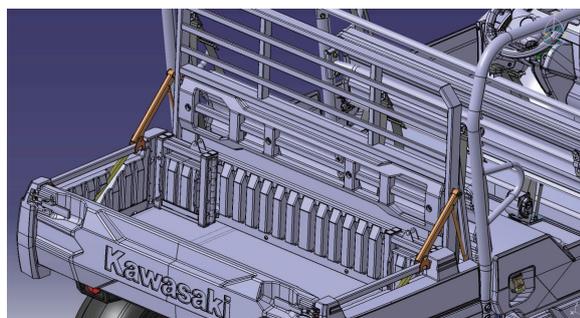
オフロード環境での耐久性を確保しつつ、1人が車両の周りを1往復すれば1分で変換できるという「1:1:1」を方針として、取り扱いやすいシンプルな機構とした。具体的には、脱着式であった後席後ろのスクリーンをスライド式へと変更することで、従来は車両の両側から2名で行なう必要があった変換時のスクリーン移動を車両の片側から1名で行なえるようにしている。図6に、車両右斜め後方から見たスクリーンおよびカーゴベッドを示す。

あとがき

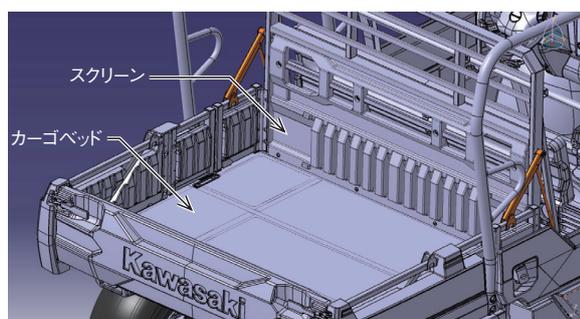
2014年に「MULE PROシリーズ」最初の機種として「MULE PRO-FXT」の量産を開始して以降、共通フレームを使った車両として合計4機種の開発を完了させた。

また、2017年には、同フレームを短縮することでホイールベースを短縮した「MULE PRO-FXR」を追加し、さらなるモデルバリエーションの拡大を図った。現在、これら機種による売上高は数百億円/年にも及び、当社四輪事業の飛躍を導くことになった。さらに2018年には、本シリーズのミッドサイズ車両として新しいエンジンとフレームを採用した「MULE PRO-MX」の量産も開始している。

今後も継続的な改良を行いつつ、さらなる顧客満足度の向上を図っていく。



(a) 2列シートモード



(b) 1列シートモード

図6 スクリーンとカーゴベッド
Fig. 6 Screen and cargo bed



久田 和政



高橋 敬二



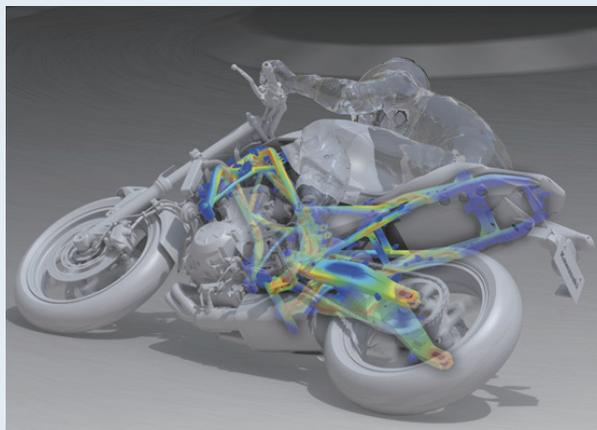
糸尾 成司



高馬 裕二

圧倒的な軽量車体の実現

Achievement of an Extremely Lightweight Frame



井高賢士① Kenji Idaka
市川和宏② Kazuhiro Ichikawa
長坂和哉③ Kazuya Nagasaka

モーターサイクルの軽量化は、扱いやすさや運動性能など車両の特徴を決定付ける要素に大きく影響を与える。「Z650」と「Ninja 650」の開発では、新たな軽量車体開発手法に取り組み、剛性・強度・運動性能のバランスを最適化しつつ、大幅な軽量化を実現した。

Motorcycle weight reduction has a great impact on the factors that determine vehicular characteristics, such as ease of handling and maneuverability. During the development of the Z650 and Ninja 650, we worked on new techniques to develop lightweight frames, optimized the balance among stiffness, durability and maneuverability, and achieved significant weight reduction.

まえがき

モーターサイクルの車体開発において、車両の質量は扱いやすさや運動性能に大きく影響を与える重要な要素である。

初心者にとって車両の質量が軽ければ軽いほど引き起こしや取り回しなどにおいて安心感を得ることができる。その一方で、軽量化しすぎると車両の剛性が犠牲となり、走行時の安定性や運動性能（操縦安定性）が低下するため、中上級者にとって満足できる走行性能を達成することが難しくなる。また、信頼性に関わる車体そのものの強度の低下にもつながる。

1 背景

軽量車体の開発においては、剛性・強度・運動性能の3つの要素のバランスが最も重要な課題であり、車両の特徴を決定づけるものとなる。

車体構成部品の中でも軽量化に最も寄与度の高いメインフレームおよびスイングアームの開発では、特に、設計→静的剛性試験→走行試験→評価→設計のように実機を伴ったサイクルでつくりこみを行っており、改良による組換え作業や実走行テストなど、モーターサイクルの開発工数の大半をこの課題への取り組みに費やしている。

2 軽量車体の開発方針

当社独自の車体剛性評価方法を開発して車体開発に適用することで、軽量化と剛性・強度・運動性能のバランスを同時に実現した量産車の効率的な開発を目指すこととした。

3 従来の開発フローと課題

従来の車体開発においては、フレームの静的剛性を基にした設計と、走行試験によるライダーのフィードバックによるつくりこみが行われてきた。しかし、静的剛性はフレームを治具に固定した静荷重試験から算出しており、実走時の荷重条件や拘束条件との相違が生じていた。このように走行フィーリングを静的変位のみで説明することが難しい場合もあり、必ずしも大幅な軽量化を実現できていなかった。

4 新たな軽量車体開発手法

(1) 新しい車体剛性評価方法

走行中の車体の変形を、図1に示すようにモーターサイクルの運動理論に基づいた数値シミュレーションで再現して、その変位量により車体の剛性を評価することとした。

走行中の車両は、前輪もしくは後輪のタイヤ力と車体の

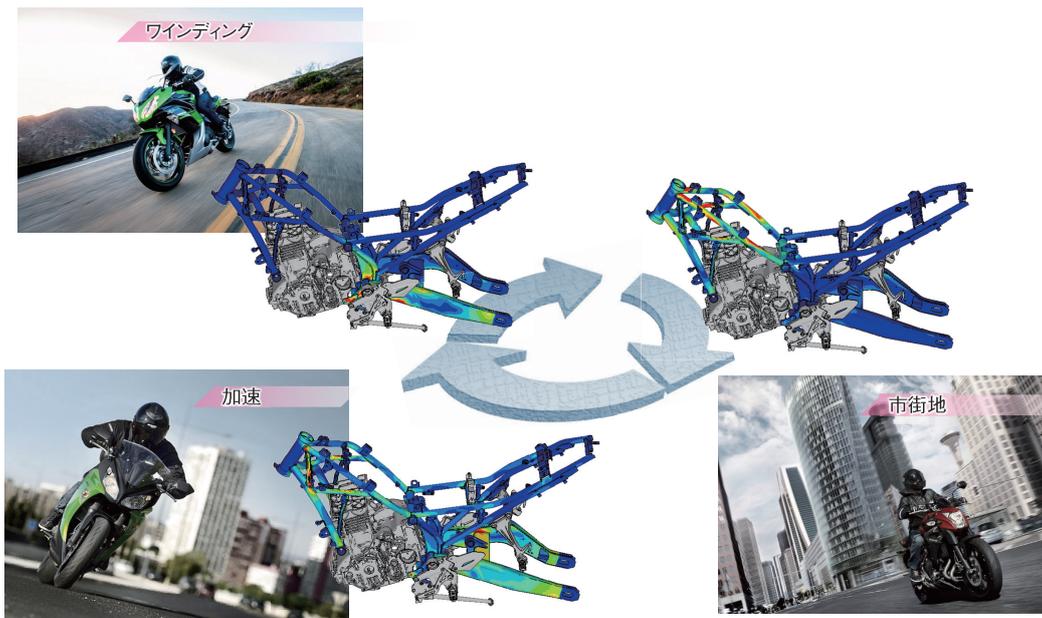


図1 走行中の車体変形の数値化
Fig.1 Quantification of frame deformation during vehicle running

慣性力が常に釣り合っている¹⁾。そこで、タイヤ接地点に荷重を加えて、車体の慣性力が釣り合う状況を数値シミュレーションで忠実に再現した。

なお、詳細なレイアウトのない開発初期段階においても効率的なシミュレーションを可能とするため、フレーム・スイングアーム・エンジンの3点のみの簡易モデルを採用する。エンジンは車体の変形にほとんど寄与しないが、車体の慣性力の大部分を生み出すため、モデル化が不可欠と考えた。その他の部材は剛体で置き換え、車体の変形への影響を除外する。

また、モーターサイクルの部品の中で最も剛性の高いエンジンとタイヤとの相対変形量より、車体の剛性を算出する。

(2) 剛性評価対象の走行シチュエーション

車体の剛性の影響が顕著に表れる、次の3つの走行シチュエーションを剛性評価の対象とする。

(i) 制動

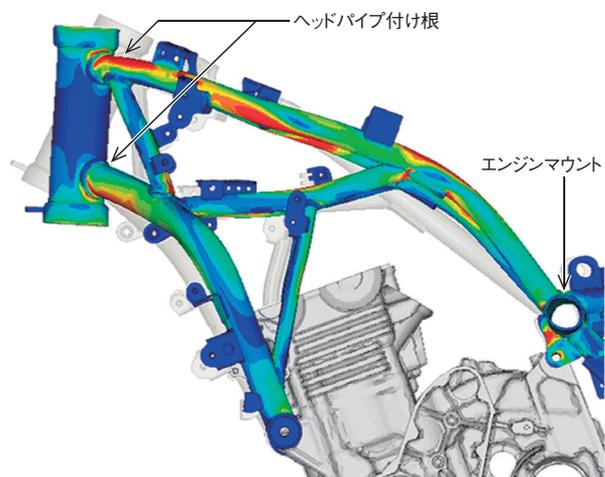
図2に示すように前輪タイヤの制動力と車体の慣性力が釣り合いながら走行する状況であり、制動力によるモーメントでヘッドパイプが曲げられる。ヘッドパイプ付け根および前方エンジンマウントに高い応力が発生する。

(ii) 旋回

図3に示すように前後輪タイヤの横力と車体の遠心力が釣り合いながら走行する状況であり、ヘッドパイプおよびスイングアームが横方向にねじられる。ヘッドパイプ付け根およびスイングアーム左右連結部に高い応力が発生する。



(a) 力の釣り合い

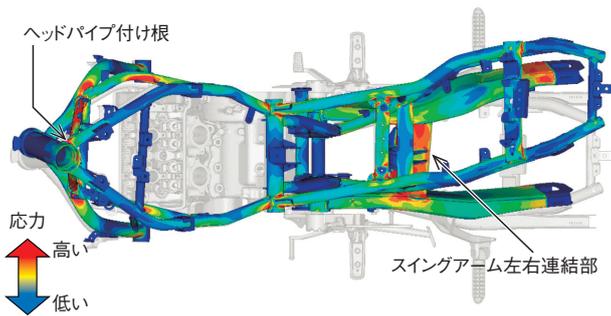


(b) 解析結果(側面)

図2 制動中の車体変形
Fig.2 Frame deformation with brake applied



(a) 力の釣り合い

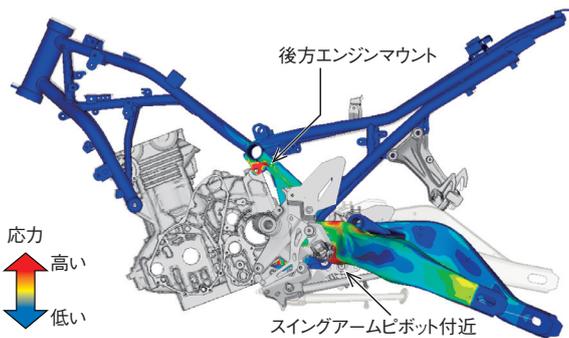


(b) 解析結果(上面)

図3 旋回中の車体変形
Fig. 3 Frame deformation during steady turning



(a) 力の釣り合い



(b) 解析結果(側面)

図4 加速中の車体変形
Fig. 4 Frame deformation during acceleration

(iii) 加速

図4に示すように後輪タイヤの駆動力と車体の慣性力が釣り合いながら走行する状況であり、チェーン張力によりスイングアームが曲げられる。スイングアームのピボット付近および後方エンジンマウントに高い応力が発生する。

5 適用結果

世界戦略車²⁾として広く展開している中型モデルである図5に示す「Z650」と「Ninja 650」は、初心者から中上級者に「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を提供する機種である。

新たな軽量車体開発手法を用いてこれらの機種のメインフレームとスイングアームをつくりこむことで、大幅な開発工数の削減を実現するとともに、高い次元でバランスされた従来モデルの運動性能はそのままに大幅な軽量化を達成した。

(i) 軽量化

適切なフレーム形状および最適なパイプ径や板厚を数値シミュレーションで導出した。そして図6に示すようなメインフレームとスイングアームにすることで、合計10kg以上の軽量化を実現した。モデルチェンジ前の車体である「ER-6n」との質量比較を表1に示す。



(a) 「Z650」



(b) 「Ninja 650」

図5 軽量車体開発手法の適用車両

Fig. 5 Models developed with new frame weight reduction technique

† 前モデルER-6n/6fに対し、WMTC（世界統一・二輪専用）モード燃費7%向上。排ガスレベルはCO 63%, THC 56%, NOx 50%低減。

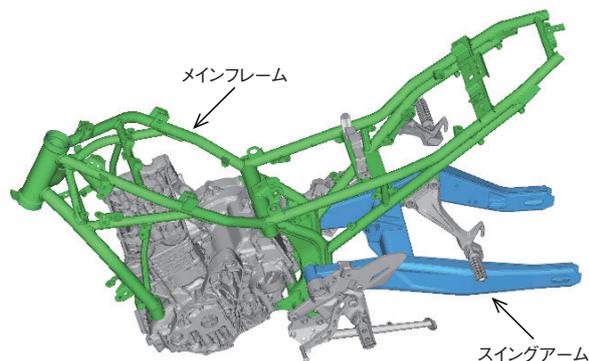


図6 軽量化対象部材
Fig. 6 Components subjected to weight reduction

表1 従来機種との質量比較
Table 1 Weight comparison with existing model

項目	「Ninja 650」	「ER-6n」
フレーム [kg]	17.9	28.1
メインフレーム [kg]	12.9	20.5
スイングアーム [kg]	5.0	7.6

(ii) 剛性

車体剛性の指標値を図7に示す。圧倒的な軽量フレームである「Z650」と「Ninja 650」は、前機種の「ER-6n」と「Ninja 650」と同等の剛性を確保している。

(iii) ライダー評価

ライダー評価においても、軽量化による運動性能の低下に関するコメントはなく、各走行シチュエーションで適切な剛性になっていることを確認した。

本手法により、大幅な軽量化と剛性・強度・運動性能の両立を達成できている。

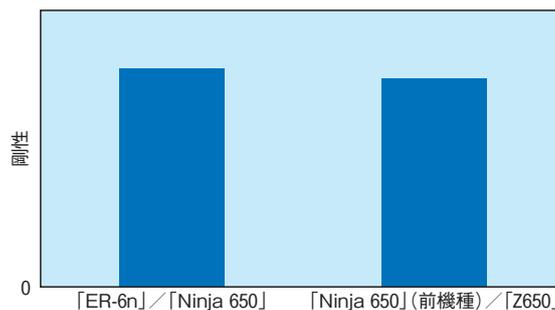


図7 剛性評価 (旋回中)
Fig. 7 Stiffness evaluation (during steady turning)

あとがき

新たな軽量車体開発手法により、「Z650」と「Ninja 650」で従来機種に比べて19kgの軽量化が図れた。開発した手法は、その後の新機種である「Ninja 250」と「Ninja 400」にも適用しており、今後はすべての機種に展開していく。

参考文献

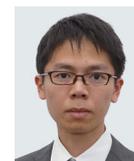
- 1) Y. Nakamura, K. Ichikawa, T. Kawasaki, Y. Okabe, H. Ishii, A. Yamazaki: "Development of Technology for Measuring Dynamic Deformation of Motorcycle Bodies", 19th Small Engine Technology Conference (2013)
- 2) 田中: "クラスを超越する世界戦略車「Ninja 250 / 300」", 川崎重工技報, No.174, pp.14-17 (2014)



井高 賢士



市川 和宏



長坂 和哉

スーパースポーツモデル「ZX-10R」の車両制御技術の開発 Development of Vehicle Control Technologies for Super Sport Model ZX-10R



河合大輔① Daisuke Kawai
 廣上達也② Tatsuya Hirokami
 寺井昭平③ Shohei Terai
 陵城孝志④ Takashi Okashiro
 東誠治⑤ Seiji Azuma
 准田一磨⑥ Kazuma Waida

エンジン・車体性能の高度化に伴い、ライダーの操縦を支援する車両制御技術の重要性が高まっている。

ライダーの「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を実現するため、海外向けモデル「ZX-10R SE」に車両挙動に応じた「ウィリー制御」および「電子制御サスペンション制御」を搭載した。

With increasingly sophisticated engine and chassis performance, vehicle control technologies that assist the rider in steering are becoming increasingly important.

To achieve for riders a fun and easy ride, we equipped our overseas model ZX-10R SE with tailored wheelie control and electronic control suspension control to cater for such vehicle behavior.

まえがき

乗用車においては自動運転の開発が活発化しており、高速道路などの限定された環境ではその実用化が近づいている。これらは、環境認識をはじめとする各種制御技術の塊であり、運転者の判断や操作を排除することを志向している。一方でモーターサイクルにおいては方向性が異なっている。

1 背景

当社のモーターサイクルは性格上、ライダーが操縦を楽しむ乗り物であり、一見すると高度な制御は不必要に見える。しかし、エンジン・車体の性能が高度化した現在、「楽に、楽しく」乗りこなすためにはさまざまな制御技術が投入されている。これらには必ず「ライダー（人間）」が介在しており、自動運転では難しいとされる「ライダー協調制御」の実現に取り組んでいる。

2 モーターサイクルにおける制御技術

モーターサイクルにおいては、古くから図1に示すようなレースの世界を中心として制御技術の開発が進められてきた。当初はエンジン性能向上を狙った制御が主であったが、エンジン性能が高くなるとタイヤのスリップを抑える

トラクションコントロールが導入された。それに続いて、減速時の強大なエンジンブレーキを緩和するためのエンジンブレーキ制御が開発されている。さらには、図2に示すように、シフトアップ・ダウンをクラッチ操作なしに実現するシフト制御や加速中の浮き上がりを防止するウィリー制御など、レース中はほぼあらゆる場面で制御が関わっている。

レースで採用する技術の目的は「より速く走り、勝利する」ことである。エンジンや車体の性能が高度化した現在においては「ライダーと協調し、操作負担を減らしながら性能を引き出す」ことが求められる。これはレー



図1 ロードレース（スーパーバイク世界選手権WSB）
 Fig. 1 Road racing (World Superbike Championship)

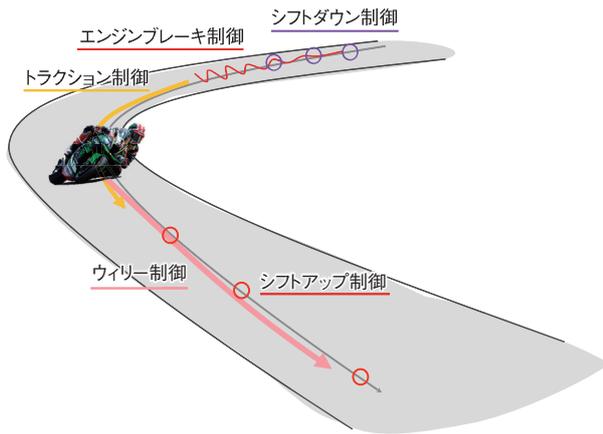


図2 レースシーンにおける制御
Fig.2 Controls for racing situations

スにおいてのみ求められることではなく、「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を追求する当社のコンセプトと一致する要求である。

サーキット走行を想定し、レース車両のベースモデルとなるスーパースポーツモデルは技術力の高さをアピールするブランドの象徴であり、制御技術などのレースで培われた技術を基に各社とも開発を進めている。

近年は制御装置であるマイコンの進化とともにMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用したジャイロセンサーが市販車両に搭載できるまでコストダウンが進んでいる。また、電子制御サスペンションなど新しい制御デバイスも市販可能になるまで技術開発が進んでいる。

スーパースポーツモデル「ZX-10Rシリーズ」において、市販可能な技術を活用しつつレースで培った制御技術の展開を進めている。

3 「ZX-10Rシリーズ」のコンセプト

「ZX-10R」は、カワサキのブランドを象徴するモデルであるとともに、量産バイクレースの最高峰であるスーパーバイク世界選手権のベースとなるモデルである。コンセプトは「サーキット性能No.1」であり、エンジン・車体・制御すべてにおいてレース活動で得られた成果を量産車両の開発へフィードバックしている。

レースおよびサーキット走行において制御に求められることは、「ライダーと協調し、操作負担を減らしながら性能を引き出す」ことである。これはレース中の限界走行のみならず、一般道路を走行する場合でも同じである。

ただし、レースにおいては協調すべきライダーや走行環境が限定出来ることに対して、量産・市販化においてはライダーのスキル・走行環境・使用機器（コスト）などの

ハードルをクリアする必要がある。

「ZX-10Rシリーズ」は図3に示すように当初より開発時点で投入可能な制御技術を盛り込んでいる。

2016年の「ZX-10R」からは慣性計測装置IMU (Inertial Measurement Unit) を用いたウィリー制御などを、2017年の「ZX-10R SE」からは電子制御サスペンションを投入しており、一段と高いレベルの制御技術を市販化している。

以下に、IMUを用いた制御の代表例であるウィリー制御および新しい制御デバイスである電子制御サスペンションを用いたサスペンション制御について記載する。

(1) ウィリー制御

加速中にエンジンの出力が大きすぎると、前輪が浮き上がるウィリーが発生する。ウィリー状態では速く走り続けることができないが、速く走るためにはウィリー発生付近の加速状態が理想となり、ライダーにとってデリケートなスロットル操作が要求されることになる。

ウィリー制御は、車体の姿勢を把握しながらライダーの操作をアシストして、このようなライダーの操縦負担を減らしつつ最大加速を実現する機能である。

(2) サスペンション制御

一般的なサスペンションは減衰量が固定となるため、加減速・旋回・切返しなど、走行シーン別に最適な設定をすることができなかった。

図4に示す電子制御サスペンションは、減衰量を変更できるため、車両の姿勢や状況に応じて最適な減衰制御が可能である。

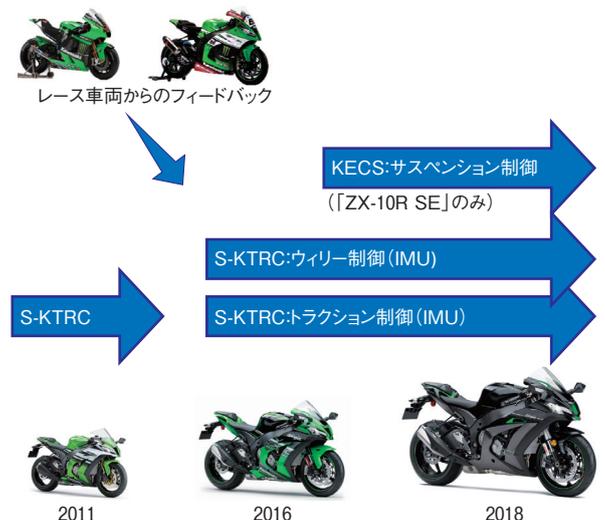


図3 「ZX-10R」の制御技術導入
Fig.3 Introduction of control technologies for ZX-10R



図4 電子制御サスペンション (Kawasaki Electronic Control Suspension)
Fig. 4 Electronic control suspension (Kawasaki Electronic Control Suspension)

4 技術開発の取り組み

高度な車両制御を実現するため、姿勢と挙動の推定技術・ウィリー制御におけるライダー協調・新しいデバイスである電子制御サスペンションの開発および検証に取り組んでいる。

(1) 姿勢と挙動の推定技術

車両の挙動にはモーターサイクルの状況だけでなくライダーの意図情報も含まれており、ライダーと協調する制御を実現するには挙動把握が必須となる。

これまでの姿勢を直接把握することは困難であったため、車輪の速度やライダーのスロットル操作から間接的に姿勢の推測を行っていた。一方で、近年では図5に示すようなジャイロセンサーが量産車に採用可能な環境となってきた。ただし、ジャイロセンサーの信号は運動量であり、姿勢や挙動への変換を行う必要がある。

モーターサイクルは複雑な運動をするため、廉価なジャイロセンサーで姿勢を推定することは容易ではない。たとえば旋回運動は図6に示すように、バンク（リーン角）を取りつつ旋回（ヨー運動）を行う。そのバンク姿勢についても車体・ライダー・統合重心（定旋回時のつり合い角度）などの要素が絡み合っている。そこで、モーターサイクルの運動特性に合わせた姿勢と挙動の推定技術を開発して



(a) 外観 (b) 計測量

図5 ジャイロセンサー
Fig. 5 Gyro sensor

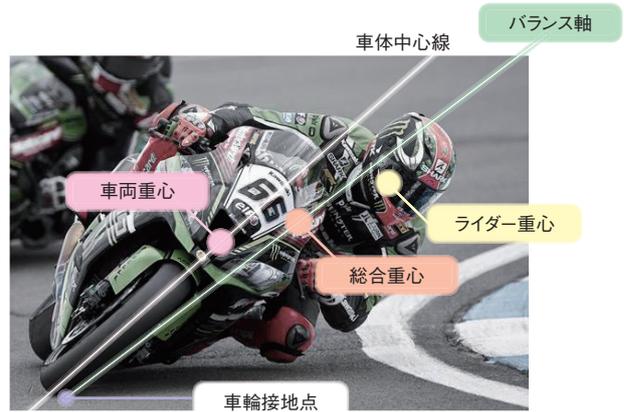


図6 バンク（リーン）中のモーターサイクルの姿勢
Fig. 6 Motorcycle posture while cornering (leaning)

いる。

ロジックの開発においては、車体運動シミュレーションや実データを連携させており、理論面と実環境（計測した振動やバラツキ）を融合させた開発を行っている。

(2) ウィリー制御におけるライダー協調

ウィリー制御は車体の姿勢（ウィリー状態）に応じてエンジンのトルクを制御するものであり、当社では「ライダーとの協調」を考慮しながら開発を進めている。

(i) ライダーの操作自由度

ライダーは常に加速・減速を意識しながらスロットルを操作しており、ウィリー中においても例外ではない。このため、制御介入時においても、図7に示すようにライダーの意思が操作自由度の範囲で車両挙動へ反映されるように制御ロジックを開発している。

(ii) より広範囲な状況への適応

ウィリーは車体やライダーの重量そして路面環境によって発生状況が異なる。また、ライダーのスキルや好みにより、必要とする制御介入量が異なる。

「ZX-10R」では、図8に示すように設定を5段階設けることで、広範囲な状況への適応を実現している。設定はハンドル手元のスイッチで容易に切替えることができる。

(3) サスペンション制御の開発および検証

サスペンション制御は、内蔵されたストロークセンサーやジャイロセンサーからの加減速などの情報に応じて、最適な減衰量を制御するものである。

これまで、新しい制御デバイスを開発する際は、主に実走行ベースの確認と検証を行っていた。しかし、機能の複雑化に伴う工数の増大や検証漏れに対応するため、サスペンション制御開発ではHILS（Hardware-In-the-Loop-Simulation）を用いた検証を進めている。

HILSを用いた検証においては、図9に示すように実際

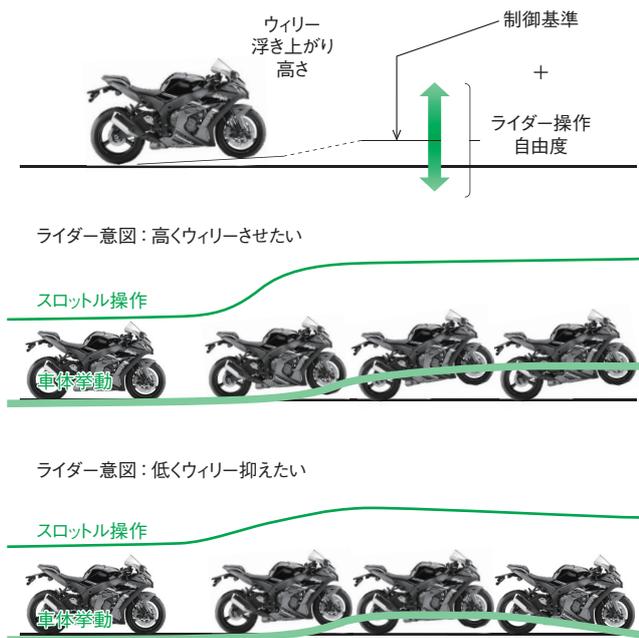


図7 ウィリー制御中のライダー自由度
Fig. 7 Rider's degree of freedom during wheelie control

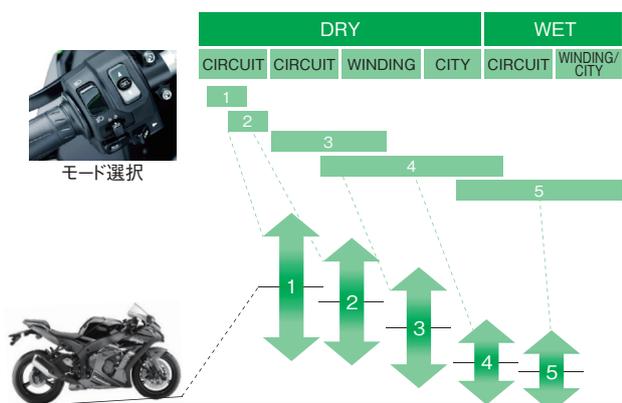


図8 ウィリー制御のモード設定
Fig. 8 Mode setting for wheelie control



図9 HILSを用いた検証
Fig. 9 Verification using HILS

の電子制御装置ECU (Electronic Control Unit)・センサ・アクチュエータなどを用いてリアルタイムシミュレーションを行うことで、実走行における評価時間を短縮するとともに、テスト困難な条件も再現して確認できる。

あとがき

レースで培った技術をフィードバックした「ZX-10R」は高い次元で「Fun to Ride」・「Ease of Riding」を実現しており、より高くを目指して今後も進化を続けていく。

スーパースポーツモデルに限らずモーターサイクルには今後さまざまな電子制御やデバイスが追加されていく。しかし、走るということは、車両（マシン）とライダーの共同作業であり、双方の信頼関係が前提となる。この本質は自動運転社会が到来しても変わらない。我々はライダーにより信頼され協調できる制御を実現するべく、今後も開発を進めていく。

参考文献

- 1) 松田義基：Kawasaki Technical Review MotoGP-2006, 2006-10-30, Valencia Spain/松田義基：Kawasaki Technical Review Moto GP-2007, 2007-11-5, Valencia Spain
- 2) 増田 松本：“Stability Control of Motorcycle”, SAE 2011-32-0558 / JSAE 20119558, SETC2011 (2011)
- 3) 松田義基：“トラクションとトラクションコントロール”, Motor Riding No.34 自動車技術会 (2012)
- 4) 東 誠治：“スーパースポーツ車両Ninja ZX-10Rの開発”, 自動車技術会関西支部ニュース, No.48, (2016)
- 5) 河合, 陵城：“二輪車の走行姿勢推定”, 自動車技術会関西支部ニュース, No.53, pp.6-7 (2018)



河合 大輔



廣上 達也



寺井 昭平



陵城 孝志



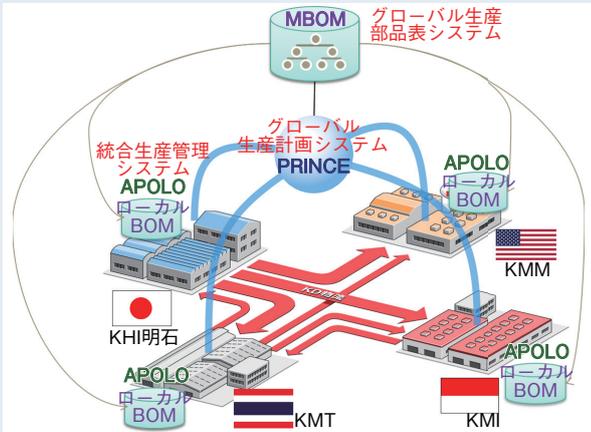
東 誠治



准田 一磨

グローバルサプライチェーン改革の取り組み

Efforts toward Global Supply Chain Innovation



田坂嘉彦① Yoshihiko Tasaka
 平田武一② Takekazu Hirata
 森田和樹③ Kazuki Morita
 吉識岳人④ Gakuto Yoshiki
 宮武誠⑤ Makoto Miyatake
 松本哲征⑥ Noritomo Matsumoto

グローバルなビジネス展開に伴って、海外生産拠点での部品調達や内製部品製作を進めており、特にアジア域を中心とした生産拠点間の部品相互供給が複雑化してきている。

このような状況に対応するために、グローバルなサプライチェーンの効率化を目的として、業務システムの構築に取り組んでいる。

While developing our business globally, we are promoting local procurement and in-house production of parts at our overseas production factories, resulting in increased complexity with regard to mutual parts supply among our factories, especially in Asia.

To address this situation, we are developing a business system for enhancing the efficiency of our global supply chain.

まえがき

近年ではモーターサイクルは世界中で利用されており、これに対応するためモーターサイクル各社においてグローバル展開が進められている。

1 背景

モーターサイクルの市場状況は、インドやベトナムなどの新興国で大きく成長する可能性があり、特にインドにおいては当社が得意とするレジャー用途のモーターサイクル市場の拡大が期待できる。

今後は、それら市場への本格的な参入も見込んで、さらに進展するグローバル化に向けた新たな取り組みが必要であった。

2 生産拠点のグローバル展開

当社では、1970年代に北米のKMMリンカーン工場設立を皮切りに生産拠点のグローバル展開を進めており、2000年以降はアジア域の新興国を中心に主にレジャー用途のモーターサイクルの生産を展開してきた。現在では、図1に示すように世界中で、モーターサイクルは9拠点、四輪車/PWC（パーソナルウォータークラフト）は1拠点、汎用エンジンは2拠点で生産している。

3 グローバル生産におけるサプライチェーンの状況

(1) 部品現地調達率の増加に伴う拠点間部品供給の拡大

生産拠点のグローバル展開の当初は、主に日本調達部品を現地組立部品として海外拠点に出荷して、各拠点はそれら部品と一部のローカルサプライヤーからの現地調達部品を用いて完成車を生産する形態が主流であった。しかし、各拠点国内のローカルサプライヤーの実力向上に伴って、安価な部品の現地調達率も増加したことに加えて、モーターサイクル市場の競争激化に伴い、日本と最終組立拠点にかかわらず多拠点から安価な部品を調達することになってきた。

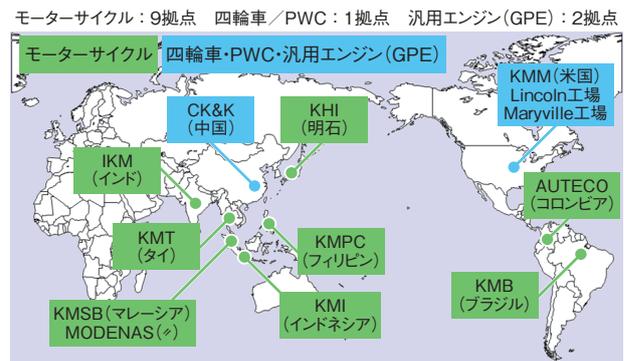


図1 モーターサイクル関連の海外生産拠点
 Fig. 1 Overseas production factories for motorcycles

(2) グローバルレベルでの生産「大部屋化」の推進

各拠点の生産モデルの種類と生産台数の増加に伴って、組立のみならず機械加工・溶接・塗装などの内製能力も向上してきた。一方で、経営戦略として当社グループ全体での設備投資抑制と設備能力の有効活用を主眼に置き、効率的な分業化としてグローバルレベルでの生産の「大部屋化」も併せて推進してきた。

(3) グローバルサプライチェーン構造の複雑化

アジア域新興国へレジャー用モーターサイクルの生産を本格的に展開した2000年当時は、生産・部品供給ともにシンプルな構造であった。しかし、前述の拠点間部品供給の拡大とグローバルな生産の「大部屋化」推進の結果、図2および図3に示すように、2008年時点では多拠点が多段階で部品を調達・内製・供給する複雑な生産構造が生まれた。

生産拠点間の部品供給については、海外生産拠点を立ち上げる際に採用する現地組立生産方式の影響により、部品を供給する拠点が供給される拠点の生産に同期させて部品

を調達・内製・出荷する方式を主流としている。そのため、各生産拠点では、次の4つに分類できる部品や半完成品の種類と点数を確実に把握して、それに関する業務を実行していく必要がある。

- ・自拠点で調達しなければならない部品
 - ・他拠点より入荷する部品および半完成品
 - ・自拠点で内製しなければならない半完成品
 - ・他拠点に出荷しなければならない部品および半完成品
- しかし、各拠点の生産モデル数は増加の一途をたどっており、それに伴って各拠点で扱う部品や内製品も増加していく中、各拠点がそれらを独自管理することは非常に困難であった。

4 グローバルサプライチェーン改革

複雑化したグローバルサプライチェーンにおいて、各拠点が間違いを起こすことなく、効率的にオペレーションを実行するためには、以下の3つのシステムを開発する必要がある。

- ・グローバルサプライチェーンを網羅したグローバル生産部品表管理システムMBOM (global Manufacturing Bill Of Material)
- ・グローバル生産部品表に基づいた各拠点向けの生産および部品供給計画を策定するためのグローバル生産計画管理システムPRINCE (PRoduction planning system INtegrative for CEntral control)
- ・生産および部品供給計画に基づいた、各拠点が同期した調達・生産・出荷の実行支援するための統合生産管理システムAPOLO (Akashi PrOdution and Logistics management system)

(1) グローバル生産部品表管理システムMBOMの開発

最終組立拠点で製品を生産するために、どこの拠点が、どの部品を調達・内製して、どこの拠点に出荷するのか、を明確にする。また、製品単位の複雑な生産構造を容易に把握でき、各拠点の生産活動において有効活用できるシステムを開発する。

(i) 特長

製品1台単位の生産構造を適切に管理・表現するための情報管理手法として、将来的に各拠点の生産管理における有効活用を視野に入れて、各拠点が生産管理システムで活用している生産部品表のマスター情報管理と同じ方式にすることとした。

また、拠点間の部品および半完成品の移動の把握および製品単位のグローバルな生産構造を表現するための部品構成上の品目情報に、調達・内製・生産する拠点情報を付与した。

これらにより、部品構成の階層をたどることで、部品の

[2000年]	拠点	N-4月		N-3月		N-2月		N-1月		N月	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
タイ生産 「EX650」	KMT(タイ)										●最終組立
	KHI(明石)						●エンジン組立・部品出荷				

(a) 展開前

[2008年]	拠点	N-4月		N-3月		N-2月		N-1月		N月	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
フィリピン生産 「AX125」	KMPC (フィリピン)										●最終組立
	KMI (インドネシア)						●部品出荷				●エンジン組立・部品出荷
	KMT(タイ)						●部品出荷				●部品出荷
	KHI(明石)						●部品出荷				●部品出荷

(b) 展開後

図2 グローバル展開に伴う生産構造の変化

Fig. 2 Changes in manufacturing structure associated with global business expansion into Asia

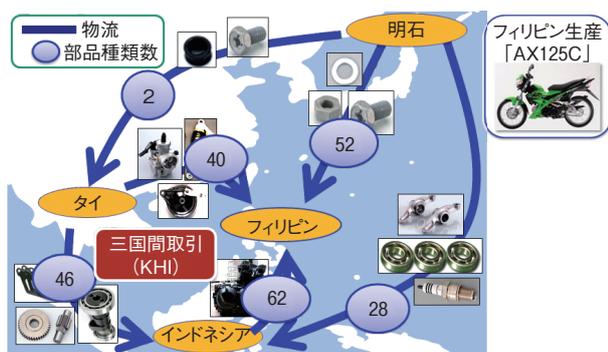


図3 拠点間部品供給経路と部品種類数(フィリピン生産「AX125C」)

Fig. 3 Parts supply routes among production factories and number of types of parts (AX125C, produced in the Philippines)

拠点間の供給ルート情報を提供することが可能となり、図4に示すように製品の生産構造を容易に把握することができる。

(ii) 運用

MBOMがグローバルに機能するためには、部品単位に各拠点の役割や拠点間のつながりを俯瞰的に把握・集約・管理することが必要となる。そのため、MBOMの運用はマザーファクトリーである明石で一元管理している。MBOMは2008年10月より運用を開始している。

(2) グローバル生産計画管理システムPRINCEの開発

各拠点からの調達品および内製部品の供給を最終組立拠点の生産に同期化させることを目的に、全拠点の生産計画および各拠点からの部品出荷計画を集約して一元管理できるシステムを開発する。

(i) 特長

全拠点間の部品供給を指示するためには、全最終組立拠点のマスター生産計画を基にして、MBOMの生産構造の

情報に基づいて調達・内製・物流それぞれのリードタイムを考慮した、各拠点向けの部品出荷計画を一度に算出する必要がある。そのため、各拠点がおのおので運用管理していた生産計画を統合管理可能なシステム構成とした。

また、各拠点向けの多段階部品出荷計画立案用のマスター管理においては、MBOMより製品ごとの生産構造情報を適宜連携して、その情報に拠点間部品供給に必要な部品調達・内製・物流に必要な標準リードタイムを付与した多段階部品出荷構造マスターを管理できる仕組みとした。

なお、各拠点向けの多段階の部品出荷計画立案においては図5に示すように、最終組立拠点の月次のマスター生産計画に基づいた平準化日程展開・日別計画を出荷ロットサイズにまとめた出荷ロット計画作成・グローバル出荷管理マスターに基づいた多段階の出荷ロット計画の自動スライド展開を一元的に実行できる機能を設けた。

さらに、各拠点向けのローカルな運用のため、各拠点の実生産で適用する実行計画管理機能として、月次マスター計画および他拠点向け部品出荷計画に基づいた車体およびエンジンのライン別日別計画の平準化展開機能を実装した。この機能は、現時点ではKHI明石工場向けのシステムのみの実装となっている。

(ii) 運用

各拠点間向けの多段階部品出荷計画の展開については、俯瞰的に全体を見渡した運用が必要である。そのため、現時点ではすべての計画業務を明石で一元管理している。PRINCEは2015年11月より運用を開始している。

No	Level	Factory	Item Qty.						Ship
			Local Purchase	Receive	Make	Through	Total		
0001	0---	KMIN	65	371	30	0	466	0	
0002	1---	AKA	100	0	3	0	103	98	
0003	1---	IKM	5	0	0	0	5	5	
0004	1---	KMT	533	86	140	0	759	268	
0005	2--	AKA	95	0	22	0	117	86	

図4 MBOMによる生産構造の表現
Fig. 4 Manufacturing structure by MBOM

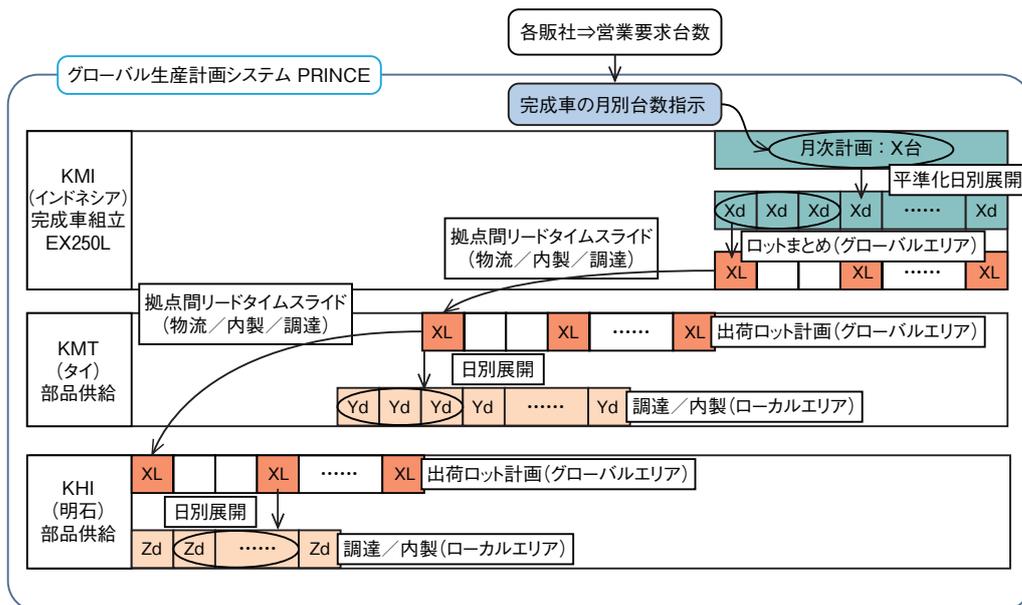


図5 各拠点向け多段階の部品出荷計画展開のイメージ
Fig. 5 Multilevel parts shipment schedule for each production factory

(3) 統合生産管理システムAPOLOの開発

KHI明石工場の生産管理システムの老朽化更新のタイミングで、サプライチェーン改革の一環として、グローバル展開を視野に入れた生産管理システムの開発に着手した。

KHI明石工場における生産管理業務を基準に生産管理システムを構築して、部品調達・部品在庫管理・内製／完成車生産・現地組立部品出荷業務の標準化を図るとともに、各拠点へのシステムおよび生産管理業務の横展開によるグローバルサプライチェーンの強化と効率化を推進する。

(i) 特長

生産管理システムの核となる部品表管理については、PRINCEと同様にMBOMを活用して、各拠点の生産および現地組立部品出荷に必要な品目情報と部品構成情報を自動連携する方式とした。

部品発注管理においては、システムのグローバル展開を視野に入れて、各拠点で異なる発注処理サイクルの違い（KHI明石：4回／月、海外拠点：2回または1回／月）を許容するとともに、必要に応じて変更できるように発注サイクルの変更機能を実装した。

部品在庫管理においては、各職場での部品実在庫とシステム上の理論在庫の乖離をなくして実在庫の棚卸確認に基づいた理論在庫の更正などの処理判断を容易にするため、完成車の組立実績ベースのみで行っていた理論在庫の引き去り方法を見直して、計画管理対象の内製部品・エンジン・完成車のそれぞれについて実際に部品が使用される工程の生産実績ベースで引き去る方法を採用した。また、部品の過不足状況を必要なタイミングで把握できるように、各生産計画から算出される部品使用予定と、理論在庫および納入予定を付き合わせた在庫推移確認機能を実装した。

(ii) 運用

APOLOは、2017年10月より運用を開始している。

5 システム活用

(1) 機種別連結利益管理

MBOMで管理する拠点間をまたぐ部品を含めたグローバルマスターと、各拠点ローカルで運用されている生産／出荷管理システムとの情報連携により、製品1台あたりの比例費や出荷価格を容易に集計することが可能となった。これを応用して、別途管理している内製費と突き合せ、機種別連結利益管理にも活用している。

(2) 新機種量産準備

新機種の試作開発終了から量産開始に関わる業務におい

て、その過程の各ステージにおけるグローバルマスターをMBOMで管理することにより、量産開始前の各拠点での調達・内製・出荷などの準備作業についても、各拠点の分担および責任範囲を明確に指示することが可能となった。また、これを生産拠点間で機種生産を移管する場合にも適用して効果を上げている。

あとがき

グローバルサプライチェーンのさらなる改善・強化を目的に、海外の各拠点へのPRINCEの実行計画管理機能およびAPOLOの導入を進めている。

これまでの各拠点の生産管理系システムの導入においては、拠点ごとに個別に開発してきたが、今後はKHI明石工場の業務およびシステムを標準として導入することを大前提として進めていく。

これからもKHI明石工場を含めた各拠点の業務レベルの底上げを図り、さらなる効率化に向けた活動を継続していく。

参考文献

- 1) 佐藤知一、山崎誠：“BOM/部品表入門（図解でわかる生産の実務）”，ISBN-10: 482074268X
- 2) 佐藤正美：“データベース設計論 T字形ER”，ISBN4-88373-216-9
- 3) 渡辺幸三：“生産管理原価管理システムのためのデータモデリング”，ISBN4-534-03473-3



田坂 嘉彦



平田 武一



森田 和樹



吉識 岳人



宮 武 誠



松本 哲征

高出力の乗用芝刈機用エンジン「FX850V-EFI」

High-output Riding Mower Engine, FX850V-EFI



米国の芝関連コマーシャル市場において、作業機メーカー各社の高出力・出力安定を実現する電子制御燃料噴射装置EFI搭載エンジンの需要が増加している。その市場ニーズに応えるため、市場の評価が高い既存のキャブレター仕様のエンジンブロックを流用して、EFI搭載モデル「FX850V-EFI」を開発した。このモデルは電子ガバナ制御採用による実用最大出力の向上や実作業時のパワーフィーリングの向上を実現している。

当モデルは既に量産を開始しており、作業機メーカー各社の乗用芝刈機に搭載して市場投入されている。

まえがき

米国の芝関連コマーシャル市場（専門業者向け）において、作業機メーカー各社の高出力・出力安定を実現する電子制御燃料噴射装置EFI（Electronic Fuel Injection）搭載エンジンの需要が増加している。

また、競合エンジンメーカーも同市場向けにEFI搭載モデルのラインナップを充実させてきており、市場ニーズがさらに高まっていくと予測される。

1 背景

当社の乗用芝刈機用エンジン「FXシリーズ」は、米国の芝関連コマーシャル市場において50%以上のシェアを誇っており、マーケットリサーチにおいて品質や耐久性に高い評価を得ている。

しかし、同市場へのEFI搭載モデルの投入に関しては、シェア堅持・拡大のため競争力のあるラインナップを早急に揃える必要があった。当モデルにおける新EFIシステムの基盤技術の確立と市場での高評価の獲得が、今後の当社製EFI搭載エンジンの拡販に重要な役割を担うことになる。

そこで、EFI仕様の早期シリーズ化を最優先として、既存のキャブレター仕様「FX850V」のエンジンブロックを流用するとともに、別モデルで先行開発していた新EFIシステムを適用することで「FX850V-EFI」を開発した。

2 仕様

今回開発した「FX850V-EFI」とキャブレター仕様

「FX850V」の主要諸元の比較を表1に示す。エンジンブロックが変わらないため排気量は同じであるが、電子ガバナ制御の採用により「FX850V-EFI」では実用最大出力の向上を実現している。電子ガバナ制御とは、温度・吸気圧・スロットル角度などの各センサーの情報を電子制御装置ECU（Electronic Control Unit）が処理して、エンジン回転数や負荷などに応じて、スロットル開度をモーターで自動的に制御する方式である。

3 特長

EFI化により実用最大出力や実作業時のパワーフィーリングおよび低温時の始動性を向上させるとともに、エンジン点検を容易にする機能などを実装した。

表1 「FX850V-EFI」と「FX850V」の主要諸元
Table 1 Major specifications of FX850V-EFI and FX850V

項目	「FX850V-EFI」	「FX850V」
エンジン形式	空冷縦軸 V-twin OHV	
排気量 [cm ³]	852	852
ボア×ストローク [mm]	84.5×76	84.5×76
実用最大出力 [kW]	20.2/3,600min ⁻¹	18.2/3,200min ⁻¹
最大トルク [N·m]	63.2/2,400min ⁻¹	61.3/2,400min ⁻¹
全長×幅×全高 [mm]	516×503×620	488×465×626
乾燥質量 [kg]	59.7	56.4

(1) 実用最大出力向上

電子ガバナ制御を採用することで、図1に示すように、従来の機械式ガバナ制御より高い実用最大出力を実現している。

(2) 実作業時のパワーフィーリング向上

図1に示すように、負荷変動に対してエンジン回転数が不変であるため、実作業時のパワーフィーリングも向上している。

従来モデルである「FX850V」では刈刃の回転数を意味するエンジン回転数が急激に落ちてしまうような負荷の高い芝でも、「FX850V-EFI」ではエンジン回転数を落とさずに刈ることが可能である。このため、刈り終わった芝生にムラがない綺麗な状態とすることができる。

(3) 低温時の始動性向上

エンジンに取り付けた温度センサーの情報をECUに入力することで、自動的に始動時の燃料噴射量を増加させ、低温時（-29℃まで）でもチョーク操作などの必要がない軽快な始動性を実現した。

(4) 作業機との通信およびダイアグ（自己診断）機能

将来、作業機が電子制御化された際にエンジンとの通信を容易に行えるよう、競合他社に先んじてCAN（Controller Area Network）通信可能なECUを採用している。

また、このECUはダイアグ（自己診断）機能も備えており、専用のダイアグツールを用いてパソコンと接続させることで、ディーラーでも容易に故障診断ができるようにした。

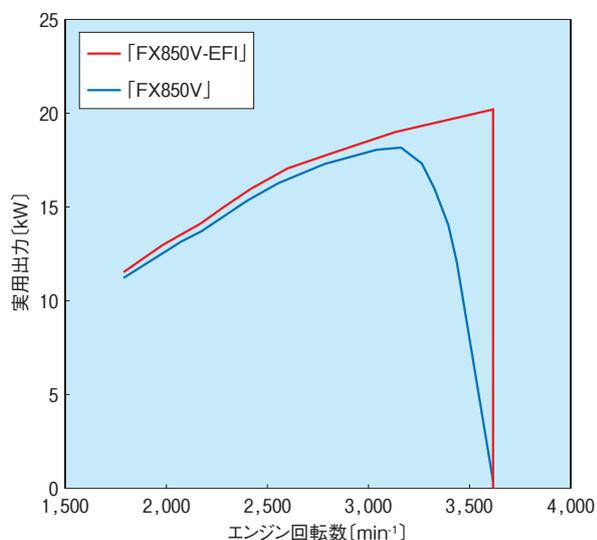


図1 「FX850V-EFI」と「FX850V」の性能曲線
Fig. 1 Performance curves of FX850V-EFI and FX850V



図2 「FX850V-EFI」が搭載される作業機（ZTR）
Fig. 2 Riding mower mounted with FX850V-EFI (ZTR)

(5) エンジン保護機能

オーバーヒートあるいは低油圧検知時には、自動的にエンジン回転数を下げて、エンジン焼き付きなどの重大な不具合を発生させないような保護機能を有している。

4 納入事例

当モデルは2017年4月からKMM/Maryville工場にて、米国市場向けに量産を開始しており、作業機メーカー各社の図2に示すようなZTR（Zero Turn Radius mower）に搭載して市場投入されている。ZTRとは後輪の回転差により操舵する乗用芝刈機のことであり、左右輪を逆回転させてその場で方向転換可能である。

あとがき

作業機メーカーおよび市場のニーズに合致した高性能・高品質のエンジンを開発していくことで、当社製汎用エンジンが芝関連市場において今後も継続的に高評価を得られると確信している。

〔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 野中 雅浩

〔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 営業業務課
Tel. (078) 921-1355, Fax. (078) 921-5173

唯一無二の操縦性を持つスタンドアップタイプ 「JET SKI SX-R」

A Stand up Type with Unique Maneuverability: JET SKI SX-R



パーソナルウォータークラフト（PWC）市場は、主に座って乗るタイプで安定性が高く乗りやすいランナバウトタイプが中心となっている。一方で、独特の操縦性を持つスタンドアップタイプに対する市場からの要望は大きく、それに答えるべく環境対応型エンジンを搭載した「JET SKI SX-R」を開発した。圧倒的な加速性能と高い旋回性能および安定性により、市場で高評価を得るとともに日本ポートオブザイヤー-2017PWC部門賞を受賞した。

まえがき

パーソナルウォータークラフト（PWC）には、乗員1名で主に立って乗るスタンドアップタイプと乗員2～3名で主に座って乗るランナバウトタイプがある。スタンドアップタイプは、乗りこなすには技量が必要でスポーツ性が高い。ランナバウトタイプは、安定していて乗りやすく、ウエイクボードなどのトーイングもできてレクリエーショナル性が高いため、現在は市場の中心となっている。

また、排出ガス規制も厳しくなっており、従来のパーソナルウォータークラフトで使用されていた2ストロークエンジンから、環境対応型の4ストロークエンジンへ移行している。

1 背景

パーソナルウォータークラフト市場は、当社が1973年に量産を開始したスタンドアップタイプ「JS400」から始まった。近年ではランナバウトタイプが中心となっており、当社は2012モデルからは環境対応型エンジンを搭載したランナバウトタイプのみを量産していた。

しかし、カワサキジェットスキーの原点であり、唯一無二の操縦性を持つスタンドアップタイプに対する市場からの要望は大きく、それに答えるべく環境対応型エンジンを搭載した「JET SKI SX-R」を開発した。

2 仕様

エンジンは、当社製ランナバウトタイプ「STX-15F」に

搭載している環境対応型4ストローク4気筒1,498cm³の高出力エンジンを改良して搭載している。船体は、高出力エンジンに対応するため大型化している。

「SX-R」と従来機種「800SX-R」の主要諸元を表1に示す。エンジンを従来機種と比較して2倍の最高出力にするとともに、図1に示すように広いパワーバンドにより扱いやすい出力特性としている。船体は、安定性向上のため従来機種と比較して全長を355mmまた全幅を35mm大型化した。

3 特長

上級者が満足する高性能と初心者にも乗りやすい特性の両立を実現するため、加速性能・旋回性能・安定性などを大幅に向上させた。

表1 「SX-R」と従来機種「800SX-R」との比較

Table 1 Comparison between SX-R and its previous model 800SX-R

項目	「SX-R」	「800SX-R」
エンジン形式	4ストローク 4気筒	2ストローク 2気筒
排気量 [cm ³]	1,498	781
ボア [mm] × ストローク [mm]	83 × 69.2	82 × 74
最大出力 [kW]	118/7,500min ⁻¹	58.9/6,250min ⁻¹
最大トルク [N·m]	152/7,250min ⁻¹	94.2/5,750min ⁻¹
全長 [mm]	2,655	2,300
全幅 [mm]	765	730
全高 [mm]	840	735

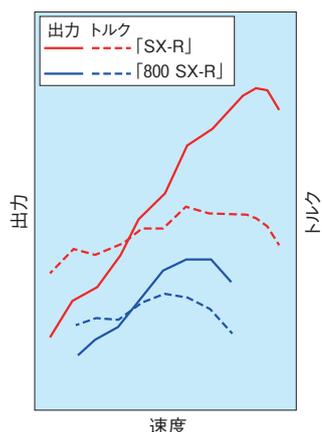


図1 エンジン出力特性の比較
Fig. 1 Comparison of engine output characteristics

(1) 加速性能

従来機種と比較して最高出力が2倍のエンジンと、その高出力に対応して大型化した新設計の船体によって、圧倒的な加速性能を実現した。図2に示すように、静止からの発進加速において短時間で高い速度に到達させるとともに、最高速度も従来機種と比較して約25%向上させている。

(2) 旋回性能

レース活動からのフィードバックにより、高出力エンジンに対応した旋回性能の高い船体を設計した。船首から船尾へ船底幅と船底角度を変化させることで、大型化したにもかかわらず従来機種以上の高い旋回性能を実現し、スタンドアップタイプ独特の軽快な旋回やタイトな旋回を可能としている。

(3) 安定性

大型化した船体により、静止時の安定性が向上して乗り込みが容易になった。同時に走行時の安定性も向上して、後ろから前まで等幅に広くしたフロアにより高まったライディングポジションの自由度とともに、さまざまな水面での走行性能を向上させている。

静止時および走行時の安定性が向上したことで、上級者

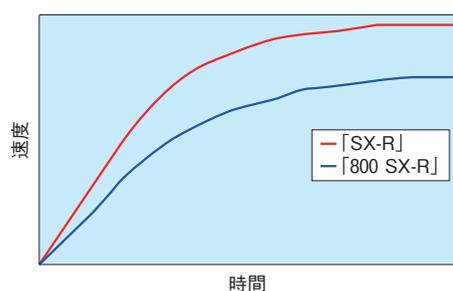


図2 加速性能
Fig. 2 Acceleration performance



図3 船底形状
Fig. 3 Hull bottom shape



図4 フロア形状
Fig. 4 Floor shape

に高いレベルでの走行を可能にするとともに、初心者にも扱いやすくしている。

(4) その他

盗難防止に有用なキーやロープなどを収納することを可能にしたハンドルポール下ストレージなど、走行性能だけではなく実用性の高い機能を装備した。

あとがき

「JET SKI SX-R」は市場で高評価を得て日本ボートオブザイヤー2017PWC部門賞を受賞した。今後も、市場から求められる「乗って楽しい製品」を開発していきたい。

〔文責 モーターサイクル&エンジンカンパニー
技術本部 第三設計部 加藤 広徳〕

【問い合わせ先】

モーターサイクル&エンジンカンパニー
企画本部 渉外部
<http://www.kawasaki-cp.khi.co.jp/inquiry/index.html>

特許 第6392655号

発明の名称：過給機のインペラ

発明者：成岡 翔平， 渡部 寛之

—コンパクトかつ高効率な過給機で，高出力エンジンを実現—

究極のロードスポーツを目指して「Ninja H2」を開発するにあたり，感動的な加速感とレスポンスを実現するために過給エンジンを採用した。そこで，エンジン特性に最適適合する図1に示す過給機を開発した。図2に示すインペラはその過給機の主要部品である。

モーターサイクルでは機器を配置するスペースが限られているので，過給機を搭載する場合には，それを小型化する必要がある。しかし，過給機を小型化すると吸気効率が低下して，所望の吸気量が得られにくくなるという課題があった。

本特許のインペラは，複数のメイン翼とそのメイン翼の間に配置された複数のスプリッタ翼とを備えている。また，図3に示すように，スプリッタ翼の前縁とメイン翼の吸気流れ方向の中間部にある最大厚部分とが流れ方向にずれるように構成している。

このような構成にすることで，スプリッタ翼により流路が急激に狭くなることを防いで吸気効率を向上させ，任意の回転域で強烈な加速力を発揮できるエンジンを実現した。



図1 エンジン本体と過給機

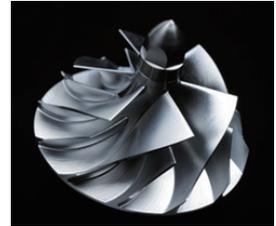


図2 インペラ

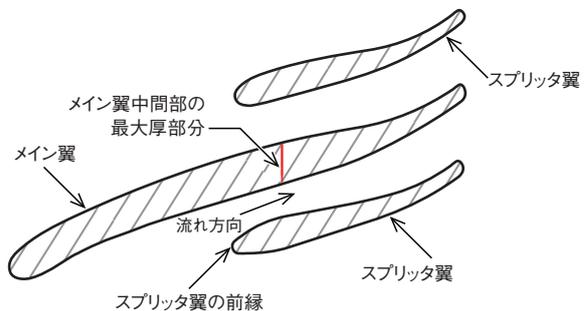


図3 インペラのメイン翼とスプリッタ翼の位置関係

米国特許 第9764797号

発明の名称：PERSONAL WATERCRAFT

発明者：加藤 広徳， 新城 外志夫， 金森 稔， 大北 憲一

—ジェットスキーの滑走時の抵抗をスタビライザで軽減—

ジェットスキーなどの水上を滑走する小型滑走艇は，艇を速やかに滑走状態にするため，船体を受ける抵抗を軽減する必要がある。船体は，水面に接するハルと乗船スペースが設けられるデッキとで構成される。

図1に示すように，ハルとデッキとの接合部は，接合強度を得るための接着長さの確保やハルとデッキとの位置決めも兼ねて，先端が下方を向くかぎ形状となっている。また，この接合部は船体の全周にわたって設けられている。

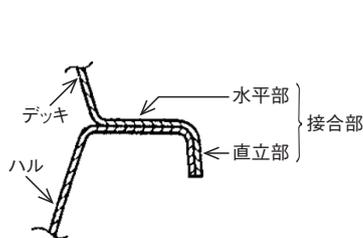
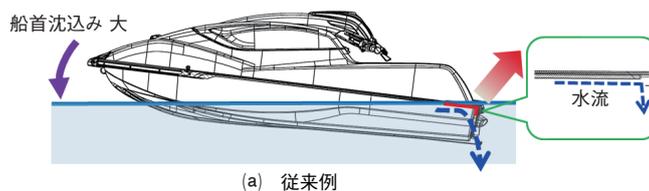
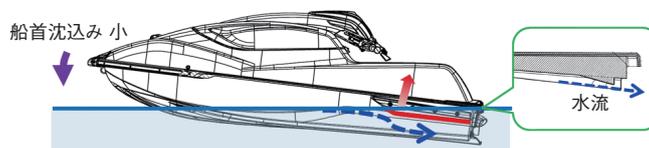


図1 接合部



(a) 従来例



(b) 本発明

図2 本発明の構造と従来例の構造

小型滑走艇の前進滑走時には，船体に沿って流れる水流が船尾の接合部の垂直方向に延びる直立部に衝突して，水流の衝突の力により図2(a)に示すように船首が下に傾けられ，滑走中に船体を受ける抵抗が増したり波を乗り越えるときの安定性が低下したりという課題があった。

本特許のPERSONAL WATERCRAFTは，左右接合部の後部に図3に示すようなスタビライザを設け，図2(b)に示すようにこのスタビライザの底面に設けた傾斜面に沿って水流を流すことで，水流を船尾の接合部の直立部に衝突させないように構成している。

この構成により，船首が下に傾けられることを抑制して，滑走中に船体を受ける抵抗を軽減させ，小型滑走艇の高速化や安定性向上を実現した。



図3 スタビライザ

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	主要製品拠点
船舶海洋	・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	神戸工場 坂出工場 南通中遠海運川崎船舶工程有限公司 (中国)* 大連中遠海運川崎船舶工程有限公司 (中国)*
車 両	・鉄道車両, 新交通システム, 貨車	兵庫工場 播磨工場 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. (アメリカ) Kawasaki Rail Car, Inc. (アメリカ)
	・ロータリー除雪車, 凍結防止剤散布車 ・軌道モーターカー, 重量物運搬車	(株)NICHIGO・曙工場 (株)NICHIGO・稲穂工場
航空宇宙 システム	・航空機 (固定翼機, ヘリコプター), 誘導機器, 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 Kawasaki Motors Manufacturing Corp., U.S.A. (アメリカ)
	・航空機部分品, 標のシステム, ロケット部分品, 宇宙機器, 航空機整備・改造	日本飛行機(株)・横浜工場 日本飛行機(株)・厚木工場
	・航空機用エンジン, 航空機ギアボックス	明石工場 西神工場
エネルギー・ 環境プラント	・各種産業用プラント (セメント, 化学, 搬送プラント) ・各種陸船用ボイラ (発電事業用ボイラ, 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 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司 (中国)* 安徽海螺川崎裝備製造有限公司 (中国)* 上海海螺川崎節能環保工程有限公司 (中国)*
	・船用ガスタービンエンジン ・ガスタービン発電設備, コージェネレーションシステム	明石工場 西神工場
	・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)
	・空調機器, 汎用ボイラ	川重冷熱工業(株)・滋賀工場
	・破砕機, 環境関連機器	(株)アーステクニカ・八千代工場
	・モーターサイクル, ATV (四輪バギー車), レクリエーションユティリティビークル, 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. (アメリカ) Kawasaki Motores do Brasil Ltda. (ブラジル) India Kawasaki Motors Pvt. Ltd. (インド) 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・ ロボット	・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 ・医薬・医療ロボット	明石工場 西神戸工場 Kawasaki Precision Machinery (U.K.) Ltd. (イギリス) 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) 川崎 (重慶) 機器人工程有限公司 (中国) Flutek, Ltd. (韓国)
	・油圧プレス	川崎油工(株)

*持分法適用会社

- 「Ninja」, 「Ninja」 ロゴ, 「ZX」, 「ZX」 ロゴ, 「Z」, 「Z」 ロゴ, 「ZRX」, 「ZRX」 ロゴ, 「DAEG」, 「ER」, 「ER」 ロゴ, 「KX」, 「KX」 ロゴ, 「MULE」, 「MULE」 ロゴ, 「JET SKI」, 「JET SKI」 ロゴ, 「Kawasaki PLAZA」, 「Kawasaki PLAZA」 ロゴは,川崎重工業株式会社の登録商標です。

Ninja **ZX Z ZRX ER**
KX MULE JETSKI
Kawasaki PLAZA

- 本誌に記載されている社名, 商品名, サービス名などは, それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

-  **Kawasaki Green Product Promotion Activity**

Kawasakiグリーン製品は, 当社の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 “Global Kawasaki”」の達成に向け, 製品の環境性能と生産過程での環境管理活動において当社が独自に定めた基準を満足する製品を, 「Kawasakiグリーン製品」, 「Kawasakiスーパーグリーン製品」として適合性評価を行い, 社内外に推進しているものです。

川崎重工技報 第180号

2019年2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 門田浩次
発行人	技術開発本部 技術企画推進センター長 久保貞夫
印刷	広島県広島市中区中島町9番6号 株式会社 秀巧堂

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
Tel. 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)
Tel. 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)
Tel. 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
(JRタワーオフィスプラザさっぽろ14階)
Tel. 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)
Tel. 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41階)
Tel. 052-388-2211 / Fax. 052-388-2210

関西支社

〒530-0057 大阪府大阪市北区曾根崎2丁目12番7号(清和梅田ビル16F)
Tel. 06-6484-9310 / Fax. 06-6484-9330

中国支社

〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀14番4号(JEI広島八丁堀ビル6階)
Tel. 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)
Tel. 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)
Tel. 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
Tel. 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20番地3
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

名古屋第二工場

〒490-1445 愛知県海部郡飛鳥村金岡7番地4
Tel. 0567-68-5117 / Fax. 0567-68-5161

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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 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
Tel. 0877-46-1111 / Fax. 0877-46-7006

海外事務所

台北事務所

15F, Fu-key Bldg., 99 Jen-Ai Road, Section 2, Taipei, Taiwan
Tel. +886-2-2322-1752 / Fax. +886-2-2322-5009

バンコク事務所

28th FL, Sathorn Square Office Tower, 98 North Sathorn Road Silom,
Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
Tel. +66-2-163-2839 / Fax. +66-2-163-2841

現地法人事務所

Kawasaki Heavy Industries (U.S.A.), Inc.

60 East 42nd Street, Suite 2501, New York, NY 10165, U.S.A.
Tel. +1-917-475-1195 / Fax. +1-917-475-1392

Kawasaki do Brasil Indústria e Comércio Ltda.

Avenida Paulista, 542-6 Andar, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil
Tel. +55-11-3289-2388 / Fax. +55-11-3289-2788

Kawasaki Trading do Brasil Ltda.

Avenida Paulista, 542-6 Andar, Cj. 61D, Bela Vista, 01310-000, São Paulo, S.P., Brazil
Tel. +55-11-3266-2790 / Fax. +55-11-3266-2853

Kawasaki Heavy Industries (U.K.) Ltd.

4th Floor, 3 St. Helen's Place, London EC3A 6AB, U.K.
Tel. +44-20-7588-5222 / Fax. +44-20-7588-5333

Kawasaki Heavy Industries Middle East FZE

Dubai Airport Free Zone, Bldg. W6, Block-A, Office No.709,
P.O. Box 54878, Dubai, UAE
Tel. +971-4-214-6730 / Fax. +971-4-214-6729

Kawasaki Heavy Industries (Singapore) Pte. Ltd.

6 Battery Road, #23-01, 049909 Singapore
Tel. +65-6225-5133 / Fax. +65-6224-9029

Kawasaki Heavy Industries (India) Pvt. Ltd.

Room No: 1777, ITC Maurya, Sardar Patel Marg, Diplomatic Enclave,
New Delhi - 110021, India
Tel. +91-11-4358-3531

Kawasaki Trading (Shanghai) Co., Ltd.

10F, Chong Hing Finance Center 288 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003, People's Republic of China
Tel. +86-21-3366-3700 / Fax. +86-21-3366-3701

Kawasaki Heavy Industries Management (Shanghai), Ltd.

10F, Chong Hing Finance Center, 288 Nanjing Road West,
Huangpu District, Shanghai 200003 China
Tel. +86-21-3366-3100 / Fax. +86-21-3366-3108

Kawasaki Heavy Industries Russia LLC

Office 1803 (18th Floor), Entrance 3, Krasnopresnenskaya nab. 12, 123610,
Moscow, Russian Federation
Tel. +7-495-258-2115 / Fax. +7-495-258-2116

KHI (Dalian) Computer Technology Co., Ltd.

Room 205, International Software Service Center, Dalian Software Park,
18 Software Park Road, Dalian, China
Tel. +86-411-8474-8270 / Fax. +86-411-8474-8275

