

ISSN 0387-7906

# 川崎重工技報

パワースポーツ&エンジン特集号



TECHNICAL REVIEW

**No.186**

November 2024





カワサキに関わる人すべての、  
よろこびと幸せのために。

**Kawasaki**  
Let the Good Times Roll





■ 巻頭インタビュー	パワースポーツ&エンジン事業のさらなる成長に向けて	1
■ 総括説明	パワースポーツ・パワーユニット領域における技術開発戦略 ～ナンバーワンへ～	2

技術解説

■ 電動化の推進 ～電動モーターサイクル「Ninja e-1」「Z e-1」 ハイブリッドモーターサイクル「Ninja 7 Hybrid」「Z7 Hybrid」開発	Advancing Electrification: Development of Electric Motorcycles Ninja e-1 and Z e-1, and Hybrid Motorcycles Ninja 7 Hybrid and Z7 Hybrid	6
■ カーボンニュートラルを実現する水素エンジンの研究	Study on Hydrogen Engines for Carbon Neutrality	10
■ オフロード四輪車の開発効率化を実現するシミュレーション技術	Simulation Technologies for Efficient Development of Off-road 4x4 Vehicles	16
■ 乗用芝刈り機の自動化技術開発	Development of Autonomous Riding Mower Technologies	20
■ 新たなFUNを提供するコネクティッドビークル	Connected Vehicles Delivering New Levels of Fun!	24
■ 柔軟な生産体制の構築：車体生産構造改革	Developing a Flexible Production System: Transforming Vehicle Production Process	28
■ 環境負荷低減に貢献する革新的塗装技術	Innovative Coating Technology for Reducing Environmental Impacts	32

新製品紹介

■ オフロード四輪新ラインナップ「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズ	New Lines of Off-Road 4-Wheelers: The RIDGE and RIDGE XR Series	38
■ 4気筒エンジン搭載の新モデル「Ninja ZX-4R」	New Model with 4-Cylinder Engine: Ninja ZX-4R	40
■ 扱い易さと高性能を両立「Ninja 500」「Z500」	Building High Performance with Ease of Handling: Ninja 500 and Z500	42
■ 軽量・足つきのよい気軽な新型クルーザー「ELIMINATOR」「ELIMINATOR SE」	New, Lightweight Cruisers with Enhanced Ground Reach: ELIMINATOR and ELIMINATOR SE	44
■ オールラウンドニューモトクロスパー「KX450」	New All-Round Motocross Bike: KX450	46
■ 高出力・低燃費の乗用芝刈り機用エンジン「FX820V EVO」	High-Power and Low Fuel Consumption Engine for Riding Mowers: FX820V EVO	48
■ 自然吸気エンジン搭載ジェットスキー「ULTRA 160LX」「ULTRA 160LX-S」	Jet Skis with Naturally Aspirated Engines: ULTRA 160LX and ULTRA 160LX-S	50
■ 新たな個人モビリティ「noslisu（ノスリス）」	New Personal Means of Mobility: The noslisu	52

特許紹介

■ ハイブリッド車両 ーハイブリッド二輪車におけるパワーユニットの小型化を実現ー	54
■ UTILITY VEHICLE ーユーティリティビークルの悪路走破性を高めるフレーム構造ー	54

## 【伊藤社長に聞く】

# パワースポーツ&エンジン事業のさらなる成長に向けて

パワースポーツ&エンジン事業を取り巻く環境、経営状況はいかがでしょうか？

当社は、2021年10月に川崎重工業株式会社から分社し、カワサキモータース株式会社として新たに出発しました。分社後は、当社独自の成長戦略がコロナ禍におけるアウトドアレジャー需要の高まりによって追い風を受けた形となり、非常に良いスタートを切ることができました。

一方、足元では、コロナの収束とともにサプライチェーンの混乱が落ち着き、各社の流通在庫が回復し、市場競争が激化しています。製品別の動きとしては、二輪車の先進国市場については比較的安定して推移していますが、新興国市場は需要がスクーターに移りつつあり、一部の国を除いて、当社の得意とするスポーツモデルは苦戦を強いられている状況です。

また、四輪車は、ユーティリティモデルが好調ですが、レクリエーションモデルは軟調となっており注視が必要です。汎用エンジンは、完成機メーカーの在庫調整により足元では需要が減速していますが、今後は緩やかな回復を見込んでいます。

### 今後の経営戦略を教えてください

当社では、2018年に独自の「2030年ビジョン」を策定しました。これは、2030年までに売上高：1兆円、事業利益率：10%以上の達成を目標にしており、全社一丸となって、この目標の達成に向け取り組んでいます。

二輪車については、特に新興国市場に注力していきます。中国・インドを中心とした新興メーカーの台頭が目覚ましく、また、前述の通りスクーターに需要が移りつつある状況ですが、まだまだ成長余力のある領域だと考えています。新興国市場において需要が高い小～中排気量モデルのラインナップの拡充を行うとともに、販売店政策にも注力しブランド強化を図ることで、競合他社と差別化を行い、安定した収益と持続的な成長を目指します。

四輪車・パーソナルウォータークラフト（PWC）については、2030年ビジョンの達成に向けたキードライバーとして、特に注力しています。競争力のある新機種を継続的に投入するとともに、2024年からメキシコ新工場を本格的に稼働させ、売上の拡大を図ります。

また、2030年以降のさらなる成長を見据えた取組みとして、これまでに培ってきたエンジン技術を活かした航空用



伊藤 浩 専務執行役員  
カワサキモータース株式会社  
代表取締役社長執行役員

レシプロエンジン事業への進出を検討しています。当社の各パワースポーツ製品に搭載されているエンジンは、軽量・コンパクトでありながら、大出力を生み出すことができるという優れた特長があります。また、同クラスのターボシヤフトエンジンと比較して、燃料消費率では3～5割優れているという環境面での利点もあり、さらに、将来的には水素エンジン仕様への展開も予定しています。

### カーボンニュートラル対応を含めた今後の技術開発面における取り組みについて教えてください

当社は昨年、他社に先駆けてスポーツタイプのEV/HEVモーターサイクルを計4モデル発表しました。

当社は、かねてよりカーボンニュートラルの実現にはマルチパスウェイが必要と考えており、電動化のみならず、水素燃料エンジンや、バイオ燃料、e-fuelなどの選択肢も含め、あらゆるオプションを通じてカーボンニュートラルに向け挑戦していきます。

また、開発力の強化に向けて、開発人員の増強に加え、解析技術の向上による試作車レス開発など、開発効率化を積極的に進めていきます。

### 最後に

当社は、高付加価値のパワースポーツおよびパワーユニット領域のリーディングプレイヤーであることをビジョンとしています。これからも“Let the Good Times Roll（カワサキに関わる人すべての、よろこびと幸せのために）”を合言葉に、持続的な成長と、Good Times Companyの実現に向け、挑戦し続けます。



# パワースポーツ・パワーユニット領域における 技術開発戦略 ～ナンバーワンへ～

友森 博志

カワサキモータース株式会社 取締役常務執行役員



## まえがき

当社は、2030年ビジョンとして売上高1兆円を目標に掲げ、モーターサイクルやオフロード四輪車などの高付加価値パワースポーツおよび芝刈り機用エンジンなどのパワーユニット領域のリーディングプレイヤーとして持続的な成長を目指している。2020年に3,374億円、2023年に6,040億円と急成長しており、当初目標の前倒しも視野に入れ、ビジョン達成に向けて技術開発を推進中である。

当社のコアコンピタンスとして、

- ① 質・量ともに他社を圧倒する新製品の投入や業界をリードする電動化やCASE：Connected/Autonomous/Shared/Electric対応などによる製品競争力
- ② 「革新」と「伝統」を兼ね備えたトップブランドとして、顧客価値に根付いた高いブランド力

が挙げられ、これらを活用しながら他社への優位を確立するため、効率的かつアジャイルな技術開発を推進している。

当社の製品は、モーターサイクル・オフロード四輪車・パーソナルウォータークラフト（PWC）、汎用エンジンなどの領域で、それぞれ独自に技術開発しながらも協調することによりお互いが高めあっている。

## 1 モーターサイクル

当社の収益の柱となる先進国向けモーターサイクル事業においては、脱炭素化社会への流れに乗ったEV/HEV/水

素エンジンなどの開発を加速させるとともに、ICE：Internal Combustion Engine（内燃機関）搭載高付加価値モデルも積極投入を行うなど、世界情勢や要求に柔軟に対応できる技術開発を推進している。

### (1) 電動車No.1

電動車両の特徴である低騒音・低（ゼロ）エミッションはもちろんのことから、ICE車で培った「Fun to Ride」（走る喜び、操る楽しさ）を電動車両でも確立させ進化させる技術開発を戦略としており、EV/HEV併せて4機種を発表・上市して、電動車No.1ブランドを目指している。

・「Ninja e-1」「Z e-1」（EV）：フルサイズスポーツ ピュア電動モーターサイクルで、力強い加速と低回転域の優れたレスポンスを活かし、走行モード選択機能・e-boost機能に加えてウォークモードなど、EV特有の機能を満載して顧客の意図を広く満たせるような技術開発を行っている。

・「Ninja 7 Hybrid」「Z7 Hybrid」（HEV）：世界初となるストロングハイブリッドモーターサイクルで、600cm<sup>3</sup>クラスの車体に4ストローク2気筒451cm<sup>3</sup>エンジンと交流同期モーターのハイブリッドユニットを搭載。EVモードと2つのハイブリッドモードがあり、ハイブリッドモードを切り替えて250cm<sup>3</sup>クラスの低燃費性能あるいは1000cm<sup>3</sup>クラスの動力性能を選択できるなど、顧客の走りが思いのままとなるモデルコンセプトの開発を実現している。

### (2) 新規領域への参入

・「Elektrode」（EV）：子供にも「Fun to Ride」のスピリットをという想いで開発した電動キッズバイクである。高い耐久性とスポーティーな外観で排ガスや排気音の発生もないことから、小さな子どもでも気軽に扱え、走る楽しさを体感できる、カーボンニュートラルを目指した最小の電動戦略モデルとなる。もちろん開発には「KX」の開発テクノロジーを投入しているため、将来のモトクロスプロライダーへの入門モデルとなることは言うまでもない。

・「noslisu」「noslisu e」：“快適で気軽な移動体験を全ての人へ”をコンセプトとして、3輪電動ビークルの技術開発を行った。モーターサイクルで培った技術と経験を活かし、当社独自の2輪ステア機構により、3輪ならではの安定感

## 革新



図1 「革新」 EV/HEV  
モーターサイクル上市

## 伝統



図2 「伝統」 Ninja 40周年  
MEGURO 100周年



図3 「Elektrode」



図4 「noslisu」 「noslisu e」

と2輪自転車の自然な操縦性を両立して、スムーズな走行を可能とした。フレームや前輪のリンク機構も軽快で機能美あふれるスタイリングを演出している。電動アシスト自転車仕様と電動車（普通自動車免許扱）仕様により、幅広いユーザーに安心感・便利さ・楽しさを提供して自由な暮らしをサポートしていく。

### (3) 継続的なICE新機種投入

先進技術導入や製品改良および装備充実を図りながらICEモデルの新機種継続投入を行うことで、顧客の購入選択肢を広げており、安定的な事業収益としても重要となる。  
・「Ninja H2 SX」：1000cm<sup>3</sup> スーパーチャージャー搭載モデルに先進運転支援（前方衝突警告・前車追従式クルーズコントロール（ACC：Adaptive Cruise Control）・後方死角検知（BSD：Blind Spot Detection）・オートハイビーム）を搭載した最高水準の技術を集結したモデルである。先進運転支援機能については、本モデルでの技術開発を皮切りに、主要モデルへの展開を計画している。

・「Ninja ZX-4R」：クラストップレベルの性能を誇る399cm<sup>3</sup>並列4気筒エンジンを250cm<sup>3</sup>クラスモデル並みの車体に搭載。強力なパワーとシャープで軽快なハンドリングでスーパースポーツを体験できるモデルである。電子制御スロットルに加えてクイックシフターやコネクテッド対応フルカラー TFT：Thin Film Transistor Liquid Crystalメータを備え、一度は途絶えた400cm<sup>3</sup>クラス4気筒の「伝統」に「革新」を加えてリニューアルして、全世界で幅広い顧客を魅了するモデルとなっている。

・「Ninja 500」「Z500」：市場で広く受け入れられている「Ninja 400」「Z400」に、エンジン排気量アップ・新型フルLCD：Liquid Crystal Displayメータによる商品力向上・意匠進化を図りながら、軽量化を実現している。世界戦略車として合理的に開発を行い市場投入を果たしたモデルである。

・「ELIMINATOR」：一度途絶えたその名を復活させるべく、ロー&ロングのスタイルを進化させ、軽快かつ自然な



図5 「Ninja H2 SX」

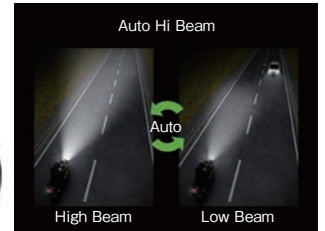


図6 「Ninja ZX-4R」



図7 「Ninja 500」

ハンドリングに配慮して開発したモデルである。オーソドックスなデザインと最新テクノロジーを併せ持ち、気負わず楽しめる魅力に溢れる仕上がりとなっている。特に日本でドライブレコーダー装着仕様をいち早く投入したことも話題となった。シミュレーション技術を駆使した試作車レス開発による短期導入も、技術開発テーマとして重要な位置付けの機種であった。

### (4) オフロードNo. 1

オフロード市場は安定して伸長が見込め、当社の成長余地も大きく、ラインナップを拡充してオフロード・デュアルパーパスセグメントでNo.1ブランドを目指している。

・「KX450」：50年の歴史を超えてオールラウンダーをコンセプトにエキスパート向けモトクロッサーとして、表彰台の頂点を目指すべく、先進テクノロジーを投入して「KX450」が進化。定評のある従来モデルに対して、コントロール性を高めた新エンジンと前輪まわりの安定性を高めた新シャシーを搭載した。エキスパートの頂点を目指すモデル開発を今後も行っていく。

### (5) 新興国での競争力の強化

インド戦略モデル開発を軸に、よりローコストな調達・生産方法の確立を進めている。

・「W175」：「伝統」を受け継ぐモデルとして開発。インドほかの市場へ投入することで、アジア市場でのシェア拡大を図るとともに、インド調達を拡大して他モデルへ戦略的に展開することで、当社でのコスト低減の礎の目的も有する。





図8 「ELIMINATOR」



図9 「KX450」



図10 「W175」

## 2 オフロード四輪車

北米オフロード四輪車市場は今後も堅調に成長すると予想されることから、モーターサイクル事業を上回る中核事業化に向けた技術開発を行い、競争力のあるモデルの投入に加えて、生産工場拡充も強力に推進している。

・「TERYX KRX4 1000」：マーケットはより高性能なファミリー向け大型モデルへとシフトしており、その開発が激化している。顧客はさらに高性能モデルを求めていることから、本モデルの高性能化は通過点であり、さらなる技術開発の新たなスタートポイントでもある。

・「RIDGE XR」：顧客の多様な利用用途に応じて、本モデルではユーティリティはもちろん、レクリエーションユースにも対応できるモデルとした。4気筒エンジン採用によりリニアなレスポンスと滑らかなパワー特性に加えて、フルキャブ・HVAC：Heating Ventilation and Air Conditioning（エアコン装着）仕様車を設定することで過酷な外気温環境でも快適に過ごすことができる頼れるモデルを上市できた。



図11 「TERYX KRX4 1000」



図12 「RIDGE XR」

## 3 パーソナルウォータークラフト（PWC）

高性能なエンジンと船体で「Fun to Ride」を楽しむ用途も依然として根強い人気である一方、ウエイクボードなどのトーイングによる楽しみ方や、レクリエーションのための移動手段など、用途に応じた開発が重視されつつある。

・JET SKI「ULTRA 160LX」「ULTRA LX-S」「ULTRA LX-S ANGLER」：PWC市場において機能や装備を充実させたモデルの投入が増加しており、要望が大きい自然吸気エンジンを搭載したJET SKI「ULTRA 160LX」および「ULTRA 160LX-S」を開発。派生として「ULTRA 160LX-S ANGLER」を海上での釣り場への移動手段として、また時には釣り船そのものとなって、楽しめる仕様・装備に仕上げています。マリーナでのレクリエーションシーンは拡大しており、それに応じた仕様・装備が提供できるように技術開発を継続していく。

## 4 汎用エンジン

### (1) 芝刈り機用エンジンNo. 1

・「FX820V EVO」：米国の芝刈り関連コマーシャル市場において燃料供給の電子制御化が進んでおり、さらなる高出力・低燃費・低排ガスを達成するための新世代エンジンとして開発した。吸気2バルブの3バルブ仕様として、従来当社同排気量クラス比で、エンジン出力性能+20%アップ、燃費10~20%向上を達成しており、芝刈り本機の作業性もアップして高評価を得ている。

### (2) 芝刈り機の自動化

北米造園業界の慢性的な人手不足および賃金上昇により省人化の需要が高まり、乗用芝刈り機の自動化システムとそれに適したエンジンを供給することで、トップシェアである当社のさらなるシェア拡大を目指すべく、乗用芝刈り機自動化に向けた要素技術開発に着手している。乗用芝刈り機特有の車両構造において、安定して自動走行させる制御技術開発に取り組んで上市を目指す。



図13 JET SKI  
「ULTRA160 LX-S ANGLER」



図14 「FX820V EVO」

## 5 ICT

### (1) コネクティッドビークル

「RIDEOLGY THE APP」は、Bluetoothによる連携機能を有したスマートフォン向けアプリケーションである。モーターサイクル用の「RIDEOLGY THE APP」では、各種車両情報確認および各種設定変更がスマートフォンアプリから実行可能。これらサービスの提供を通じ、顧客と車両の対話を容易にするとともに「走る楽しさ」を支援して、新たな価値を提供している。これからも新しい機能付加のための技術開発を進めていく。

## 6 新事業への挑戦

### (1) 航空事業への参入

エアバスグループの元最高技術責任者が立上げたフランスの電動／Hybrid航空機スタートアップVOLTAERO社への出資・協業を推進。2025年、「Ninja H2 SX」のエンジンを搭載した試験飛行に向け技術開発を行っている。

また、新規で6気筒エンジンも開発中である。

### (2) 水素エンジンの開発

2023年5月設立の技術研究組合：水素小型モビリティ・

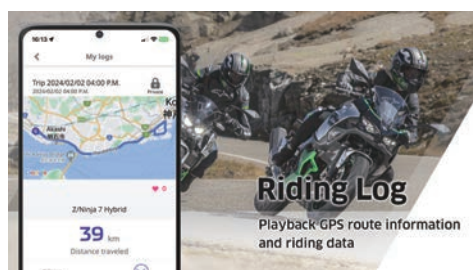


図15 「RIDEOLGY THE APP」

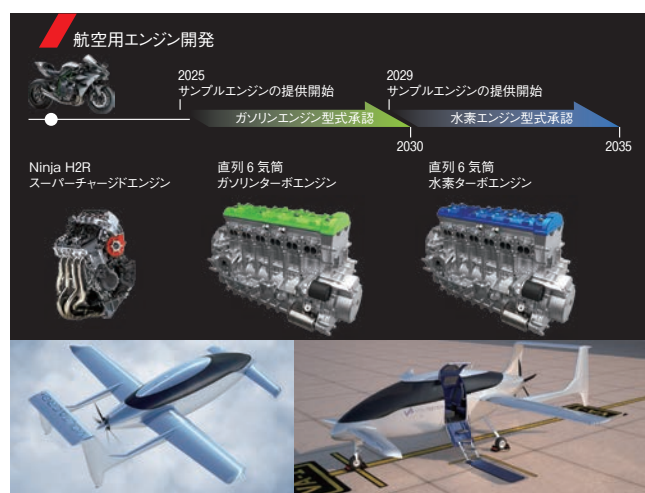


図16 航空事業への参入



図17 水素エンジン車両



図18 メキシコ工場

エンジン研究組合 HySE : Hydrogen Small mobility & Engine technologyに参画し、当社製4気筒過給エンジンを供試して、水素エンジンの基礎的な研究を推進している。研究中の水素エンジンは、二輪車に搭載されて国内外の各種イベントへの参加を果たし、また四輪車に搭載されて「ダカール2024 “Mission1000”」に既に出走して実績を得ている。これからの脱化石燃料に対する選択肢を提供できるように継続して技術開発を進めていく。

## 生産戦略

今後の当社の成長のためには、高い技術力で顧客に愛されるのみならず、世界中のより多くの国の顧客に愛用されるためのコスト戦略も今や開発戦略の一つと言える。新工場展開による海外生産を通じた現地部品調達は、開発戦略に非常に重要なものとなってきており、これも併せた開発プロセスの確立を着実に推進してきている。

## あとがき

世界の持続的な発展を重要な企業理念として循環型社会を追求し、ゼロエミッションを目指し、自然共生社会を実現していく。

これらの製品開発と販売力強化も相まって、各カテゴリでのシェアNo1ブランドを達成することにより、より早期のビジョン達成を目指すとともに、世界のすべての国と人々の豊かさの提供を貪欲に進めていく。



# 電動化の推進 ～電動モーターサイクル「Ninja e-1」「Z e-1」 ハイブリッドモーターサイクル「Ninja 7 Hybrid」「Z7 Hybrid」開発

## Advancing Electrification: Development of Electric Motorcycles Ninja e-1 and Z e-1, and Hybrid Motorcycles Ninja 7 Hybrid and Z7 Hybrid



山 本 哲 路① Tetsuji Yamamoto  
房 崎 晃 士② Koshi Fusazaki  
加 治 基 貴③ Motoki Kaji  
橋 爪 健 二④ Kenji Hashizume  
北 川 英 作⑤ Eisaku Kitagawa  
加 藤 啓 多⑥ Keita Kato  
多 田 知 希⑦ Tomoki Tada  
磯 崎 直 哉⑧ Naoya Isozaki  
溝 口 拓 弥⑨ Takuya Mizoguchi

モーターサイクルにおいても電動化の普及加速が求められつつある社会情勢に対し、カーボンニュートラルの実現に向けて、当社はマルチパスウェイとしてBEVモデルとHEVモデルの量産車を新規開発した。駆動モータやバッテリーパックなどの電動コンポーネントのモーターサイクルへの最適なパッケージング開発を実施し、また、HEVモデルでは、ICE（内燃機関）と駆動モータの最適な協調制御技術開発によりモーターサイクルの電動化を実現した。

In response to growing social pressure to accelerate motorcycle electrification, Kawasaki Motors, Ltd. has developed new mass-produced BEV and HEV models as a multi-pathway for achieving carbon neutrality. We optimized the packaging of electric components, such as traction motors and battery packs, for integration into motorcycles. For the HEV models, we have developed a technology that ensures optimal cooperated control between the internal combustion engine (ICE) and the traction motor, achieving motorcycle electrification.

### ま え が き

地球温暖化防止のためCO<sub>2</sub>フリーやカーボンニュートラルの実現が求められている。環境問題に対する解決策の一例として、都市部に低排出ゾーンLEZ（Low Emission Zone）を設定し、環境ステッカー貼付の義務付けと環境基準をクリアできない車両の乗入れを規制する地域があるなど、電動化への動きが加速している。

### 1 背 景

モーターサイクルにおいても電動化の普及加速が求められつつある社会情勢に対し、当社ではカーボンニュートラルの実現に向けて、電動モーターサイクルだけでなく、451cm<sup>3</sup>の二気筒ICE（内燃機関）に駆動モータを組み合わせた世界初のストロングハイブリッドモーターサイクルも含めたマルチパスウェイとして量産車を新しく開発した。

### 2 開発目標

高い走行性能と環境性能の両立を実現する新たな製品コンセプトを確立すべく、モーターサイクルパッケージに最適となる「電池」「モータ」「システム」などの電動化のためのコア技術の開発を行った。

各製品コンセプトを以下に示す。

#### (i) 電動モーターサイクル（BEV）：図1

電動モーターサイクルの有すべき特性として、環境に優しいゼロエミッション・低騒音・低振動を定めた。従来のモーターサイクルにない電動化特有となる「Fun to Ride」（走る喜び、操る楽しさ）につながる新機能を実現しつつも、モーターサイクルらしい扱いやすく違和感のないフィーリングを実現することとした。

#### (ii) ハイブリッドモーターサイクル（HEV）：図2

ハイブリッドモーターサイクルが有すべき特性として、ワンクラス上の走行性能と利便性・低走行時における静粛性・高い操縦性・低エミッションを定めた<sup>1)</sup>。



(a) 「Ninja e-1」 (b) 「Z e-1」

図1 電動モーターサイクル (BEV)  
Fig. 1 Electric motorcycles (BEVs)



(a) 「Ninja 7 Hybrid」 (b) 「Z7 Hybrid」

図2 ハイブリッドモーターサイクル  
Fig. 2 Hybrid motorcycles (HEVs)



図3 ハイブリッドモーターサイクルの製品コンセプト  
Fig. 3 Product concept of hybrid motorcycles

図3に示すように従来のモーターサイクル同様に郊外や高速走行時の快適性を満足しつつ、市街地などにおいては電動走行を可能とすることで静粛性・高い操縦性・エミッション低減を実現する必要がある。これらのライディングモードを1台の車両パッケージで実現することを製品コンセプトとした。

### 3 新規開発技術

#### (1) 電動部品の小型化・高出力化 (共通)

##### (i) 駆動モータ

BEVやHEVの駆動モータは、開発効率の観点から同じモータ仕様として、モータケース以外の構成部品を共通開発(図4)することでパワーユニット同時開発を可能とした。

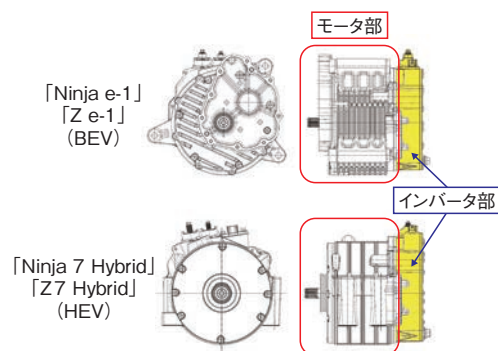


図4 駆動モータ  
Fig. 4 Traction motor

駆動モータの仕様選定にあたっては、継続的に使用可能な定格出力と限られた時間内でのみ出力可能な瞬時出力を決定する必要がある。

住宅街や市街地等の比較的低速走行を行う状況において、必要十分な動力性能となるように駆動モータの定格出力は6.0kW以上に設定した。一方で、瞬時出力に関しては、451cm<sup>3</sup>の二気筒ICEと組み合わせることで、1000cm<sup>3</sup>クラスの発進加速と全域でワンクラス上の加速感を得ることをHEVの開発目標とし9.0kWに設定した。BEV用の駆動モータとしても、HEVと同様の定格/瞬時出力を達成することで、BEVの用途として想定している都市部での一般的な制限速度50-60km/h以下の領域において、ユーザ走行データの8割をカバー可能な加速性能を得ることができるスペックとしている<sup>2)</sup>。

また、BEVでは回生充電量のセッティング調整によりICEのエンジンブレーキに近いフィーリングを実現している。

##### (ii) バッテリーパック

###### ① HEV用バッテリーパック

HEV用バッテリーパックを新規開発するにあたり、以下のコンセプトを設定した。

- ・胸がすくような加速を実現できる出力性能  
(瞬時最大出力11kW)
- ・EV走行に必要なエネルギーを貯蔵できること
- ・軽量でコンパクトであること



図5 HEV用バッテリーパック  
Fig. 5 Battery pack for HEVs



上記コンセプトを達成するため、図5に示すような高出力および高エネルギー密度を兼ね備えたリチウムイオンバッテリーを開発した。

このバッテリーは300Aを超える高出力放電性能を有しており、大電流充放電に伴う温度上昇を効率的に除熱する必要がある。この課題に対しては、発熱源であるセルとアルミ製外装ケースを絶縁かつ熱伝導性に優れた材料を挟み直接接触させることで、効率的に外部へ熱を逃がす構造としたほか、図6で示すような車体右側に設置したダクトにより直接走行風をバッテリーへ当てる冷却構造としている。

## ② BEV用バッテリーパック

HEV用バッテリーパックと同様に、高出力で、高エネルギー密度を兼ね備えたリチウムイオンバッテリーを使用している。

本バッテリーは、車両状態での充電に加えて、車両から取り外すことで、図7に示すような屋内での充電にも対応している。車両には二つのバッテリー搭載スロットがあり、二つのバッテリーを同時に接続することで、最大出力（9kW）および最大航続距離（72km WMT CLASS-1）を実現できるほか、バッテリー1個のみでの走行もサポートしている。また2個のバッテリーの状態（充電状態や温度など）を監視して、必要に応じて2個のバッテリー接続を自動で切り替える機能をバッテリーパックに備えている。

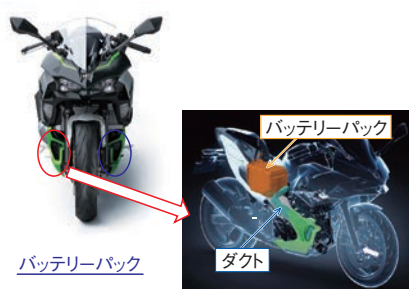


図6 バッテリー冷却  
Fig. 6 Battery cooling



図7 バッテリー充電  
Fig. 7 Battery pack for BEV & Charging system

## (2) e-boost機能・WALKモード機能（共通）

モーターサイクルのFun要素となる新機能として、加速時に駆動モータの出力を瞬間的に引き出すe-boost制御を盛り込んだ。バッテリー出力や温度により、使用可能時間と回復時間の適切な設定を行うことで、従来のモーターサイクルにはないブースト機能を実現した。

また、駆動モータによる利便性機能としてWALKモードを備えている。駆動モータの逆回転によりバックギヤ無しで後進可能となるため、駆動モータの回転方向により、微速前進および後進機能を持たせることができ、従来のモーターサイクルにはない取り回し容易性を備えている。

## (3) モータとエンジンの協調制御（ハイブリッド）<sup>3)</sup>

ハイブリッドモーターサイクルでは、ICEと組み合わせる駆動モータの特性を使い分けることで3つの特徴的な走行モードを設定した。ライダーが加速したいときに意図したタイミングで瞬間的にモータの最大出力を発揮する「e-boost」機能（図8）を付加することで、よりFUN要素を高めることができる「SPORT-HYBRIDモード」、発進はモータのみで行い、自動でICEとの切り替え運転やアイドリングストップ機能を備えることでより低エミッションでの走行が可能な「ECO-HYBRIDモード」、また制限区域での走行や、より静粛性が求められる早朝や深夜での住宅街での走行を想定したモータのみでの走行が可能な「EVモード」がある。

### (i) 油圧電子制御クラッチ

3つのモードを成立させるために、駆動モータとエンジンとをクラッチを介して並列関係にあるパラレルハイブリッド方式を採用している。図9に示すようにモータのみの動力で走行するEV走行とモータとエンジン双方の動力で走行するHEV走行とをクラッチの切断／締結により切替えを実現している。

モータとICE双方の発生トルクを緻密に制御することで、「ECO-HYBRIDモード」におけるモータ駆動による発進からICE駆動への切り替わり、「SPORT-HYBRIDモード」における「e-boost」によるモータアシストを円滑に違和

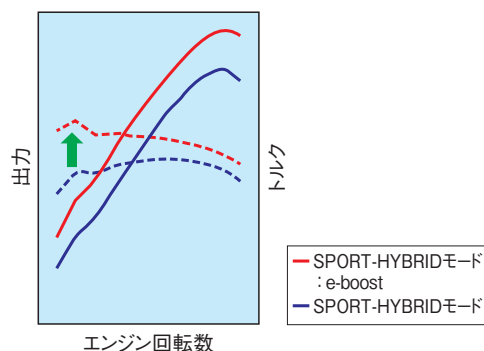


図8 e-boost機能  
Fig. 8 Function of e-boost (performance curve)

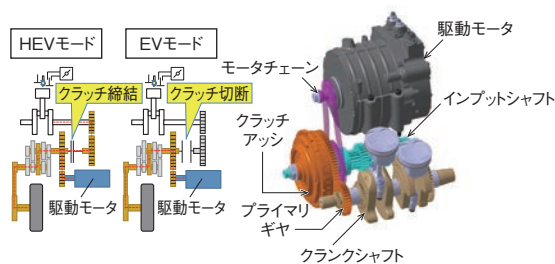


図9 ハイブリッド動力伝達  
Fig.9 Hybrid power delivery system

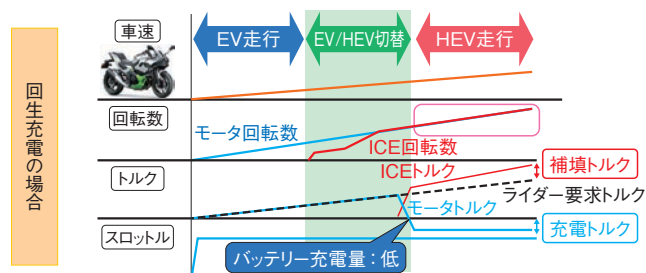


図10 トルクベース制御  
Fig.10 Torque-based control

感なく実現している。モータ駆動とICE駆動のシームレスな切り替えを実現するために、HEV-ECUにより油圧式クラッチを電子制御している。

スロットル入力や車速といった車両情報に応じてHEV-ECUがクラッチ油圧を制御し、クラッチ締結度合いを調整することでスムーズな車両発進を実現している。また、自動でクラッチを締結・切断することができるため、EV走行とHEV走行の相互移行をライダーによるクラッチ操作なく実施することができる。ライダーの技量を問わずアクセル操作のみで気軽に走行することを可能にしている。

## (ii) トルク指令分配

図10に示すようにスロットル操作の入力に応じてライダー要求トルクを決定して、各コンポーネントの状態に応じてエンジンと駆動モータへのトルク指令分配量を適切に制御している。

バッテリーパックの充電量が低い時には、駆動モータへ充電トルク指令を行い、ライダー要求トルクに対する不足分をエンジンへのトルク指令で補うことで、スロットルの入力に応じたトルクを常に一定とすることができる。その結果、走行フィーリングを損なうことなく、バッテリー充電を行うことができるため、ライダーはバッテリー充電を気にすることなくライディングを楽しむことができる。

加速中のライダー要求トルクに対しエンジンへのトルク指令では不足している場合、不足分を駆動モータへトルク指令して、エンジントルクに対してモータトルクをアシストすることで加速感を損なうことなく走行を継続できる。これらの制御によって、各シーンに応じた車両状態のコン

トロールや適切なドライバビリティを提供し、“Fun”，“ECO”，“快適性”を実現している。

## あ と が き

今回開発した「Ninja e-1」「Z e-1」はカワサキ初のBEVモデル、「Ninja 7 Hybrid」「Z7 Hybrid」は世界初のストロングハイブリッドモーターサイクルとして、それぞれ2024年モデルとして量産を開始している。駆動モータによる「e-boost」機能を搭載することで、これまでにない商品性を提供することができるBEV／HEVモデルを開発した。ICEと駆動モータとの協調制御技術によりシームレスなパワーデリバリーを実現することができた。

電動化でも幅広いライダーに「Fun to ride」, 「Ease of riding」を感じていただき、世界中のライダーに豊かな生活と夢を提供しながら地球環境の未来に貢献するモーターサイクルを今後も開発していく。

## 参 考 文 献

- 1) 陳尾, 細谷, 北川, 大林, 河合, 寺井: “高い走行性能と環境性能の両立を目指すモーターサイクルの電動化／ハイブリッド化”, 川崎重工技報, No.183, pp.34-37 (2001)
- 2) Y. Matsuda: “Hybrid-MC as a Solution in the Transit Stage for the Carbon Neutral Society”, SAE 2023-01-1854/20239554
- 3) 山本, 房崎, 磯崎, 加藤, 多田: “ストロングハイブリッドモーターサイクルNinja 7 Hybrid用新型パワーユニット開発”, 自動車技術会シンポジウム (2024)



山本 哲路



房崎 晃士



加治 基貴



橋爪 健二



北川 英作



加藤 啓多



多田 知希



磯崎 直哉



溝口 拓弥



# カーボンニュートラルを実現する水素エンジンの研究

## Study on Hydrogen Engines for Carbon Neutrality



市 聡 顕① Satoaki Ichi  
 渡 部 寛 之② Hiroyuki Watanabe  
 宇 積 陽 一③ Yoichi Utsumi  
 和 泉 恭 平④ Kyohei Izumi  
 有 馬 一 樹⑤ Kazuki Arima  
 丸 橋 健 人⑥ Taketo Marubashi  
 久 野 篤 志⑦ Atsushi Hisano  
 桜 井 洋 太⑧ Yota Sakurai  
 中 尾 祥 典⑨ Yoshinori Nakao

地球温暖化防止の観点からカーボンニュートラルを目指す動きが世界的に加速しており、川崎重工グループでは水素のサプライチェーン構築を推進している。カワサキモータースでは水素燃料内燃機関（水素エンジン）を用いたモビリティの実用化を目指しており、エンジン内の水素噴流の挙動把握を実験やシミュレーションで実施している。また、四輪車、二輪車に搭載して実機研究を実施している。

Kawasaki Heavy Industries Group is developing a hydrogen supply chain in response to the accelerating worldwide movement toward carbon neutrality to prevent global warming. Kawasaki Motors is conducting experiments and simulations to analyze hydrogen jet flows within engines, with the aim of commercializing new mobility solutions based on hydrogen-fueled combustion engines. The research engine has also been mounted on a four-wheeled and two-wheeled vehicles to explore practical applications.

### ま え が き

地球温暖化防止の観点からカーボンニュートラルを目指す動きが世界的に加速しており、モビリティに対してもその期待は大きくなっている。用途に応じて蓄電池電動車・燃料電池電動車・代替燃料エンジン車（アルコール／合成燃料／水素等）など利点の異なるさまざまな方式を最適に組み合わせる「マルチパスウェイ」の手法が、早期にCO<sub>2</sub>排出量を低減するためには必要であると考えられている。中でも水素燃料エンジン車（以下水素エンジン車）は、従来のパワースポーツ小型モビリティの利点を深化させながら、カーボンニュートラルを実現できる手法として注目されている。

### 1 背 景

川崎重工グループでは、水素を「つくる」「ためる」「はこぶ」「つかう」を一貫通貫したサプライチェーンの構築を推進している。カワサキモータースでは水素を「つかう」ソリューションとして、小型モビリティのカーボンニュートラル（CN）化に向けて水素エンジンを用いたモビリティの実用化を目指している。

### (1) 水素エンジンの特徴と課題

水素の燃焼生成物は水でありCO<sub>2</sub>を排出しない。また、ガソリンに比べて燃焼速度が速く可燃範囲が広い特徴を有している。このため、水素エンジンはパワースポーツ小型モビリティに求められる俊敏な応答（レスポンス）を実現できるため、カーボンニュートラルを実現すると共に、新たな走行フィーリングを実現できると期待されている。さらに、燃焼期間が短くなり理論サイクルに近づくため、高効率化が期待される。

一方で、着火温度は高いが着火エネルギーが低いため、微小な高温部分が原因で着火して過早着火やノッキングといった異常燃焼や吸気管に炎が逆流するバックファイア<sup>1)</sup>が懸念される。また、消炎距離が短いことに起因する熱損失増加とエンジンオイルの燃焼、高温の燃焼ガスを起因とする窒素酸化物の生成<sup>2)</sup>などが懸念されるが、その詳細なメカニズムは解明されていない。

さらに燃料が常温で気体であるため、小型モビリティにはその搭載方法や漏れを“防ぐ”“検知する”“とめる”技術の獲得が必要となる。

## (2) 水素小型モビリティ・エンジン研究組合

HySE : Hydrogen Small mobility &

Engine technology Association

前項のような課題を解決しなければ水素エンジンを実用化することはできないが、水素の物性を制御する基本的な技術を各社が並行して研究することは非効率であるため、技術組合を設立して共同で解決に取り組むこととした。正組合員としてカワサキモータース株式会社・スズキ株式会社・本田技研工業株式会社・ヤマハ発動機株式会社、特別組合員として川崎重工業株式会社とトヨタ自動車株式会社が参画して、技術組合HySEを2023年5月に設立した。主な取組内容は、水素エンジン（要素研究・実機研究に基づく水素エンジンモデルの構築）と、ストレージ（タンク・周辺機器）に関する共通課題の研究と検討である。さらに、水素エンジンが日本固有の技術ではなく、広く世界の企業とも連携して世界標準の技術となるように取り組むことも大きな方針である。

## 2 水素エンジンの研究

### (1) 燃料供給方式の選定

燃料供給方式として、吸気ポート内に燃料を噴射して混合気を形成しシリンダ内に供給するポート噴射方式（PI）と、シリンダ内に直接燃料を噴射して混合気を形成する筒内直接噴射方式（DI）がある。

PI方式では、理論空燃比状態で混合気に燃料が占める体積割合はガソリンの約2%に対して水素は約30%となる。吸入できる空気量が水素の体積分だけ減少するため、シリンダ容積あたりの発熱量は約16%減となる。さらに、高負荷時は吸気工程中にシリンダ内で着火した炎が吸気ポートに達するバックファイアが発生する可能性があり、高負荷運転に課題がある。

DI方式では、吸入空気量は減少せず、バックファイアを避けることができるため、高出力が求められる小型内燃機関には適した方式である。このため本研究ではDI方式を選択した。

### (2) 空気供給方式の選定

水素燃焼では燃焼温度が高くなると窒素酸化物 $\text{NO}_x$ が生成することが知られており、これを抑制するためには希薄燃焼（リーンバーン）が有効である。しかし、リーンバーンでは出力が低下するため、これを補う手段として過給方式の採用が有効である。本研究では空気量の選択範囲を拡大するため、過給方式を選択した。供試エンジンとして「Ninja H2」用過給エンジン<sup>3)4)5)</sup>をベースとした。主要諸元を表1に示す。

表1 諸元表

Table 1 Specifications

エンジン形式	Inline 4
排気量 [cm <sup>3</sup> ]	998
ボア×ストローク [mm]	76.0×55.0
ストローク／ボア	0.72
圧縮比	8.5

### (3) 燃料供給圧力の設定

DI方式において、吸入空気量の確保と吸気ポートへの水素の逆流を防ぐため、水素供給開始（SOI）タイミングは吸気弁閉（IVC）後とした。また点火時期（IgT）までに噴射を終了する必要がある。クランクアングルで100CA程度なので、機関回転数 $6000\text{min}^{-1}$ の場合実時間は4ms程度であるが、 $12000\text{min}^{-1}$ では2ms程度しかなく、理論混合比にするためには、この時間で、約 $100\text{Ncm}^3$ の水素を筒内に供給する必要があるため、燃料の供給圧力は2～10MPa以上と高圧にする必要がある。

### (4) 混合気形成の最適化

水素供給は量だけではなく、適正な濃度分布の混合気を形成して、点火時期に点火プラグ近傍に可燃混合気を誘導する必要がある。3D CFDによるシミュレーションを用いて現象の把握と改善品の設計検討を行った。この計算結果を図1に示す。左に示す噴射方向では、燃料濃度の偏りなどが見られる計算結果となり、実機評価では過早着火やノッキングなどの異常燃焼が発生した。右に示すよう下向きに燃料噴射方向の改良を行ったところ、混合気分布が改善される結果となり、実機運転でも異常燃焼を抑制することができた。このように水素エンジンでは筒内の水素の挙動を把握<sup>6)</sup>することが非常に重要である。

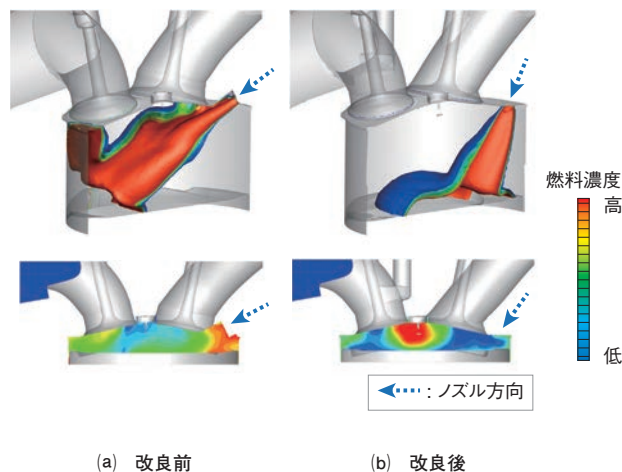


図1 燃料混合シミュレーションによる混合気改良  
(上段：噴射後 下段：点火前)

Fig. 1 Improved mixture through simulation of mixed air and fuel



### 3 水素噴流の挙動把握

#### (1) 実験

異常燃焼や窒素酸化物の生成を考える上で、分子量が大きく異なる水素(2)と空気(30)の混合現象を理解することが非常に重要である。定容容器に水素を噴射した場合の水素と空気の混合について測定した事例を紹介する。

DI方式においては、エンジン筒内へ水素を供給するために、筒内圧よりも十分に高い圧力で水素を噴射する必要があり、インジェクタのノズル出口近傍圧が背圧（筒内圧）より2倍以上高くなると、衝撃波を伴う不足膨張噴流となり複雑な噴流構造となる。

そこで、水素噴流の挙動および拡散現象を理解するため、定容容器内で容器内圧および水素噴射圧を変化させた場合の水素噴流の挙動をシュリーレン法により撮影した。噴射試験は定容容器内へインジェクタから水素を所定時間噴射して、容器に取り付けたガラス窓から高速度カメラ（Vision Research社製：Phantom V2512）により撮影した。

試験条件を表2に示す。圧縮工程での噴射を想定して、容器内圧を0.2MPaから1.0MPaに設定し、噴射圧の変化に対する水素噴流挙動の変化を観察した。圧縮行程前半（IVC近傍）の噴射を想定した水素噴流挙動を図2(a)に示す。容器内圧を低圧雰囲気場の筒内圧相当（0.2MPa）に設定して噴射圧2MPaで噴射した。噴射後2.0msec後には、容器内の水素が拡散していく様子がうかがえる。

圧縮行程中盤における噴射圧を変化させた場合の水素噴流挙動を図2(b)と図2(c)に示す。高噴射圧の場合は、噴流先端の到達距離が伸長して噴射後に水素が拡散している。また、低圧雰囲気場での噴射と比較すると水素噴流が塊となりその場に留まり続ける様子がうかがえる。このような水素噴流の特徴的な観察結果により、水素噴流の挙動および混合現象について理解を深めて、エンジン筒内での混合気濃度分布の適正化に寄与していく。

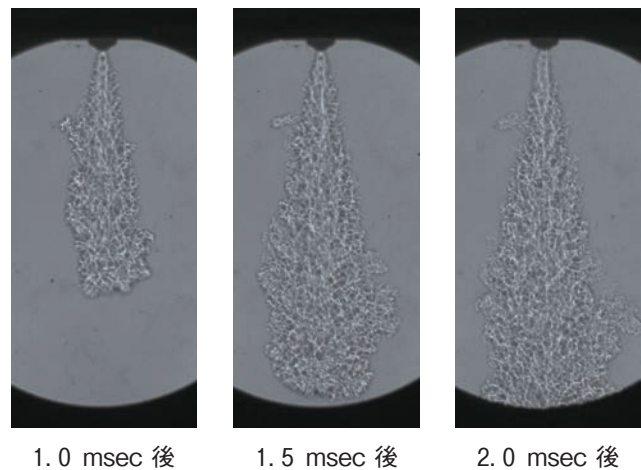
#### (2) 数値シミュレーション

水素噴流に伴う空気との混合気形成過程の把握が重要である。そのため、①水素噴射に関するパラメトリックな検討や②混合過程の様子を評価するためには、CFD解析による数値シミュレーションの実施が有効な手段と考える。

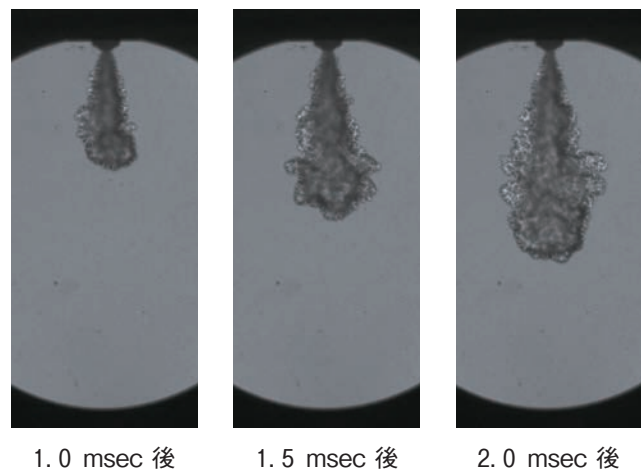
表2 シュリーレン法による水素噴流の撮影試験条件

Table 2 Conditions for Schlieren photography of hydrogen jet flow

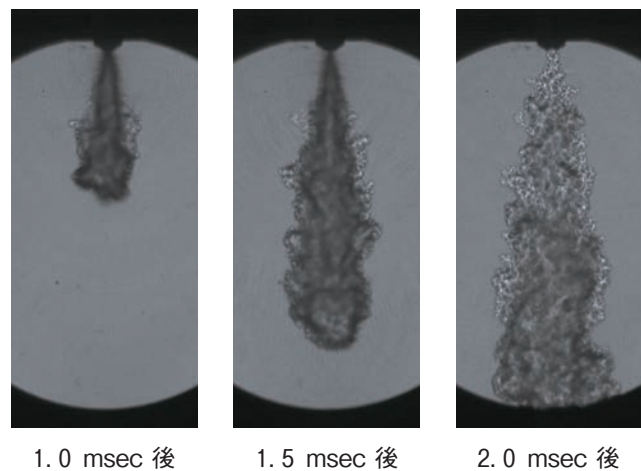
燃料	水素
燃料噴射圧 [MPa]	2.0–10.0
燃料温度 [K]	300
噴射時間 [ms]	1.0
容器内圧 [MPa]	0.2–1.0
容器内気体	窒素
フレームレート [fps]	39000



(a) 噴射圧 2 MPa, 容器内圧 0.2 MPa



(b) 噴射圧 2 MPa, 容器内圧 1 MPa



(c) 噴射圧 10 MPa, 容器内圧 1 MPa

図2 水素噴流のシュリーレン画像  
Fig. 2 Schlieren images of a hydrogen jet flow

前述の通り、高压の水素噴流は一般的に超音速流となり非常に大きな乱流が発生する。よって、水素と空気の乱流拡散現象が重要となるため数値シミュレーションを行う上で乱流モデルを選定する必要がある。乱流を平均化してモデル化するRANS: Reynolds Averaged Numerical Simulationと、指定メッシュサイズ以上の渦スケールは直接数値計算を行い、それ以下の渦スケールはモデル化するLES: Large Eddy Simulationがある。

また、水素の噴射のモデリング手法は、インジェクタ内部のリフティングパーツのモーションを模擬してリフティングパーツ上流側に噴射圧境界を与える方法とした。水素直噴エンジンの場合には時々刻々筒内圧が変化するため、リフティングパーツモーション込みで噴射モデルの構築が必要と考えた。しかし、インジェクタ内部の詳細は不明であるため、インジェクタ外観からおおよその着座位置直径を仮決定して、インジェクタのカーテンエリア（開口部）の時間履歴を噴射信号履歴の様子と1サイクル当たり水素噴射量に合うように合わせ込みした。

表2の試験条件において、噴射圧6 MPaで、容器内圧1 MPaとした際の定容器における噴射開始後1 msec時の水素噴流可視化の試験と数値シミュレーションの比較結果を図3に示す。シュリーレン画像試験およびLESでは噴流界面の乱流の渦構造による凹凸をとらえているのに対して、RANSでは噴流界面に凹凸がなく平均化されるため噴流形状は涙型となった。すなわち、乱流モデルによって噴流界面の面積が異なることが分かり、混合拡散の程度に幾分かの差が生じるとみられる。次に、噴流到達距離と噴射角の比較結果を図4に示す。噴流到達距離は噴流の運動量や筒内衝突後の混合挙動をみる上で重要な指標であるが、試験と数値シミュレーション（LES/RANS）ともに噴流到達距離は良好に一致し、いずれの乱流モデルにおいても試験と再現性があることが分かった。一方、噴射角は噴流の広がり进行评估するうえで重要な指標であり、噴射角にお

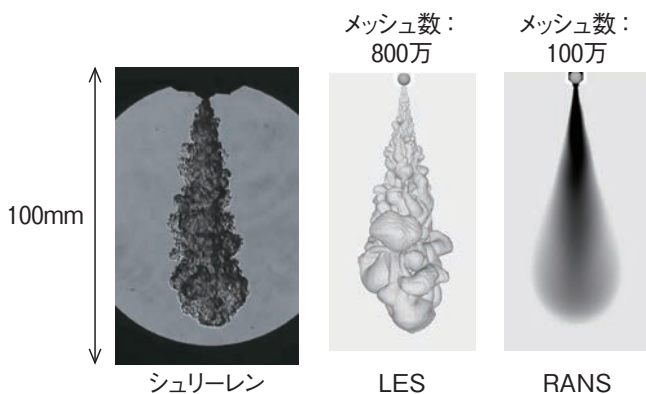


図3 定容器水素噴流可視化の試験と解析の比較結果  
(噴射開始後1 msec 噴射圧6 MPa, 容器内圧1 MPa)

Fig. 3 Comparison of visualized hydrogen jet flow within a constant volume vessel with simulated images

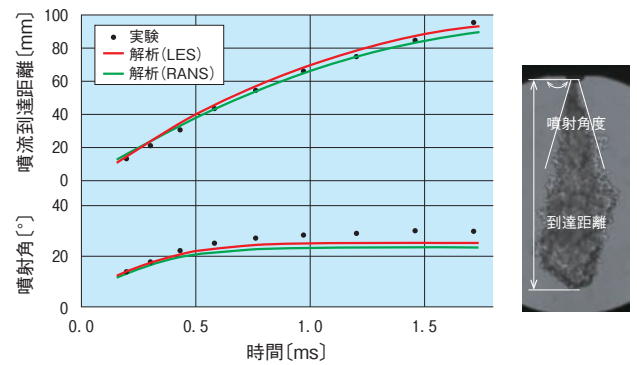


図4 噴流到達距離と噴射角の試験と解析の比較結果  
(噴射圧6 MPa, 容器内圧1 MPa)

Fig. 4 Comparison of jet flow distances and angles in tests and simulations

いては噴射後半で試験と解析とで若干の差があるが、LESとRANSの結果の差はほぼない。なお計算時間は、RANSが約1.5日に対しLESは約14日となり大きな差がある。

以上から試験との検証の結果、水素噴流の数値シミュレーション技術を構築できた。水素と空気の混合過程の現象を詳細に評価する際はLES、多くの設計パラメーター（噴射位置／噴射方向／噴射圧等）を大域的に検討するにはRANSと乱流モデルを使い分けると良いと考える。

#### 4 水素エンジンの実機評価

##### (1) 実機環境での水素エンジン研究

水素エンジンを二輪車などの小型モビリティに適用する場合、台上試験だけでなく実走行で発生する課題の抽出と対策が必要である。実走行において、エンジンにはユーザー要求による加減速や走行する路面の勾配や滑りやすさや、周囲を走行する車両による影響などの状態変化に対応する過渡特性が重要である。さらに異常燃焼・排出ガス・走行フィーリングなどへの影響も考慮する必要がある。

加えて、燃料供給系システムが必要であり、水素タンク・充填口・調圧バルブなどの「水素ストレージシステム」、ストレージシステムの状態を把握し制御を行う「水素ストレージ制御システム」、水素漏出を“防ぐ”“検知する”“止める”を行う「水素安全システム」を搭載する必要がある。

これらのシステムを搭載し、運転者と車両の状態監視者が同乗して、制御の適合をリアルタイムで実施できる「動く実験室」として、当社製オフロード四輪車「TERYX KRX1000」をベースに試験用水素ビークルを製作して研究に活用している。エンジンはDI方式4気筒を採用した。

研究車の構築においては、HySEメンバーと共に取り組んだことで、短期間で安全性を確保しながら走行試験を実施することができた。カーボンニュートラルという共通の目標に向けて、これまでには考えることができなかった「企業の枠を超えた仲間づくり」が実現できた（図5）。





図5 水素ビークルをサーキットでお披露目  
Fig. 5 The unveiling of the hydrogen vehicle at a racetrack

## (2) 過酷環境での水素エンジン研究

HySEにおいて水素エンジンを研究するにあたり、現状未知で容易に想像できない課題を早期に抽出して水素エンジンの基盤技術構築を加速するため、世界一過酷なモータースポーツともいわれるダカールラリーに参加した。Dakar 2024のMission 1000（期間：2024/1/3～19、開催地：サウジアラビア）は、水素エンジン車・バイオ燃料エンジン車・燃料電池車・電動車とそのハイブリッドなど、カーボンニュートラルに向けた次世代パワートレインの開発を促すため2024年から新設されたカテゴリである。11日間でおおむね1000km走行する。全11ステージの路面は砂漠や砂丘、荒野など多様で、標高は0～1700m程度、朝夕の寒暖差も大きく、さまざまな過酷環境での試験が短期間で可能となる。主催者が移動式水素ステーションを用意したことで参加が可能となった。加えて、ダカールラリーは世界で2番目に視聴者数が多いと言われており、HySEの取り組みや水素エンジンという選択肢を世界に向けてアピールするとともに、仲間作りの輪を世界に広げることも狙いとした。

我々は四輪バギー車（名称：「HySE-X1」）で参加（図6）し、エンジンはDI方式4気筒である。エンジン適合は出

力を重視した全域ストイキオメトリ（理論空燃比）付近とし、多様な路面・標高での走破性を高めることで可能な限り多くの距離を走行して、データを取得する方針とした。準備期間は4カ月と短期間であったが、前項の経験とラリー経験者の支援があり、全11ステージ922km中830kmを走行することができた。100kmを超えるステージでは燃費を重視した走行をおこない、50km程度のステージでは高負荷運転を行うなど、負荷条件を変えながら走行（図7）し、走行中に複数の異常燃焼を観測することができた。またテレビ・ネット記事・Dakar 2024参加中のライブ中継など多くのメディアで取り上げられ、世界に向けたHySEの取り組みのアピールができ、今後の仲間作りにも貢献できた。ここで得られた結果や経験は、これからの水素エンジンの技術開発に活用していく。

## (3) 二輪車における水素エンジン研究

二輪車は四輪車に比べて搭載可能なスペースが限定され、車体の引き起こしや押し歩きが必要で質量の制限も大きい。また、転倒のリスクもあることから、転倒時の機器の保護など二輪車特有の課題を早期に抽出して解決することが必要である。さらに、現状では限定的な整備を充実させていくためには、技術実証を行う試験車両が必要となる。公道試験走行が可能になれば、実環境での既存車両との関係の確認や市中の水素ステーション利用時の課題の抽出など、より幅広い研究が実施可能となる。

このような背景から、水素エンジン搭載の二輪車を製作（図8）し、研究を行うことにした。エンジンはDI方式4気筒である。水素タンクは車体後方左右に合計2個搭載している。タンクの周囲はパイプ材で保護して、タンクは固定部材で固定するとともに、外側をCFRP製カバーで覆う構造とすることで、転倒や衝突時でも水素タンクに第三者が直接接触しない構造とした。この構造でFEM解析を実施して、衝突時の水素タンクの挙動を確認した。タンク容量は圧縮水素充填技術基準JPEC-S0003に基づいて設置さ



図6 HySEメンバーと「HySE-X1」  
Fig. 6 HySE members with the HySE-X1



図7 砂地を疾走する「HySE-X1」  
Fig. 7 HySE-X1 racing across sandy terrain



図8 水素二輪車  
Fig.8 Hydrogen-powered motorcycle

れた市中の水素ステーションで補給できる最小サイズから、50L（2kg）とした。ただし、二輪車のタンクサイズは国連協定規則UNR146で23Lまでしか規定されていないため、本試験車両を活用して車両区分に応じた拡張を関係機関に働きかけていく。

排出ガスは、希薄燃焼方式を採用して、NO<sub>x</sub>排出量を低減することができた。

水素エンジンの可能性を広く伝えていくため、2024年7月20、21日に鈴鹿サーキットで開催された8時間耐久レース会場で公開走行を実施した。さらにフランスにおいて公開走行を実施し、世界に向けて水素エンジンの可能性を示すことができた。

## あとがき

水素エンジンビークルを普及させるためには、技術的な面だけでなく関連する法律や供給インフラの整備が必要である。また、自動車工業会で「マルチパスウェイ」を提唱しており、水素エンジンを広く社会に知って頂くため、広報活動が重要である。試験用水素ビークルは、サーキットでのイベントや東京都主催のゼロエミッションビークルの展示会で公開走行を実施して都知事に試乗していただくなど、社会的な認知度向上のための活動にも活用した。

水素エンジンの研究<sup>7)8)</sup>は古くから行われているが、近年のストレージやインジェクタなどの機器の急速な発達とカーボンニュートラルに対する世界の関心の高まりから、その実用化が期待されている。我々は特に小型モビリティに着目して、その実用化を実現するため、研究開発のみならず、実証・仲間作り・世論作り・法整備などさまざまな角度から取り組みをすすめていく。

## 参考文献

- 1) 近藤, 飯尾, 昼間, 古濱: “水素エンジンの異常燃焼に関する研究”, 日本機械学会論文集 (B編), 63巻, 610号 (1997-6), 論文No.96-1481, pp2209-2214 (1997)
- 2) 二宮, 興石, 昼間, 染谷: “高圧水素噴射エンジンのNO<sub>x</sub>低減に関する研究”, 日本機械学会通常総会講演会講演論文集, 70th, Pt.2, pp731-733 (1993)
- 3) H.Watanabe, S.Ichi, M.Saito, K.Arima, T.Ishibashi : Development of a Supercharged Engine for Motorcycle with a Centrifugal Supercharger, Small Engine Technology Conference, No.2015-32-0729 (2015)
- 4) 渡部, 市, 成岡, 齋藤: “モーターサイクル用過給エンジンの開発”, 川崎重工技報, No.180, pp.12-15 (2019)
- 5) 市, 松田, 久野, 桜井, 齋藤: “二輪車用過給ガソリンエンジンのための筒内燃料直接噴射技術の開発”, 自動車技術会論文集, Vol.53, No.6, pp1186-1191 (2022)
- 6) 宮川, 宮元, 丹野, 塚本, 大村, 高橋, 中田: “噴流MBD活用による水素直噴エンジン混合気形成の改善” トヨタ・テクニカル・レビュー, Vol.69, No.1, pp.39-47 (2023)
- 7) 古濱: “未来をひらく水素自動車”, 東京電機大学出版局 (1992)
- 8) 石山, 塩路: “高性能水素エンジンの開発”エネルギー・資源, Vol.21, No.1, pp.62-67 (2000)



市 聡 顕



渡 部 寛 之



宇 積 陽 一



和 泉 恭 平



有 馬 一 樹



丸 橋 健 人



久 野 篤 志



桜 井 洋 太



中 尾 祥 典



# オフロード四輪車の開発効率化を実現するシミュレーション技術

## Simulation Technologies for Efficient Development of Off-road 4x4 Vehicles



加藤 秀幸① Hideyuki Kato  
 久村 隆② Takashi Hisamura  
 原田 崇広③ Takahiro Harada  
 野崎 琢磨④ Takuma Nozaki  
 長坂 和哉⑤ Kazuya Nagasaka  
 大邊 優⑥ Yu Obe  
 宮本 大樹⑦ Daiki Miyamoto

カワサキモータースでは2030年ビジョンにおいて、オフロード四輪事業を中核とした売上高1兆円の目標を掲げている。

目標達成のためには魅力的なNewモデルを断続的に市場へ投入することが必要であり、タイヤ荷重推定技術・バーチャル強度解析・バーチャル走行試験などシミュレーション技術を活用して効率的に機種開発を進めている。

In our Vision 2030 statement, we at Kawasaki Motors set a sales target of one trillion yen, primarily through our off-road four-wheel drive vehicles.

To achieve this target, we need to periodically launch new, attractive models on the market. We are utilizing simulation technologies, including measurement technology of the tyre force, virtual durability testing, and virtual test driving, to streamline the development process.

### まえがき

北米においてオフロード四輪車（Side×Side）は、農業・林業・狩猟・レクリエーションなど、さまざまな用途で使用されており、図1に示す通りその市場は近年急激に拡大している。そのため、多くのメーカが参入して市場競争も激しくなっており、競合他社との差別化や新たな市場セグメントの開拓が求められている。

## 1 背景

カワサキモータースでは2030年ビジョンとして、2030年度に売上高1兆円達成の目標を掲げており、オフロード四

輪事業をその中核に据えている。ビジョン達成に向けてオフロード四輪事業の飛躍的な成長が求められている。

## 2 方針

オフロード四輪事業成長のためには、他社に先駆けて魅力的な製品を開発して、早期に市場投入することが重要である。そこで当社では、設計自由度の高い初期計画段階で性能や品質の作りこみを行うことで試作車製作以降の検証フェーズの手戻りを減らし、全体の開発工数の削減および開発期間の短縮（開発のフロントローディング）に取り組んでいる。

## 3 課題

耐久評価でのフロントローディング取組みのイメージを図2に示す。検証フェーズにおける実車評価での耐久性確認を設計フェーズの詳細設計でのバーチャルシミュレーションで実施することで、検証フェーズの手戻りが減少して全体の工数削減が実現できる。

フロントローディングによる工数削減イメージを図3に示す。初期設計段階の検討が増えることで概念設計・詳細設計の設計フェーズの工数は増加するが、試作・評価以降の検証フェーズのトラブルが減少することで、開発全体の工数削減が期待できる。

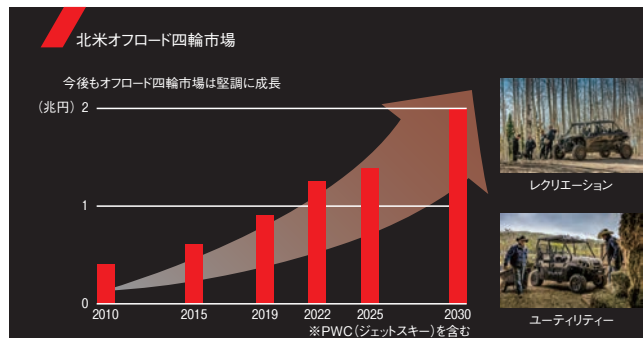


図1 北米オフロード四輪市場<sup>1)</sup>

Fig. 1 North America Off-Road Four-Wheelers Market

このようなフロントローディングを実現する手法の確立が現時点の課題となっている。

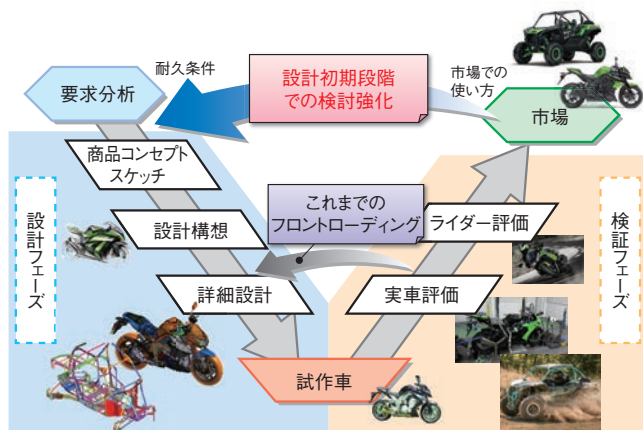


図2 耐久評価でのフロントローディングの取組み  
Fig. 2 Front-loading of durability evaluations

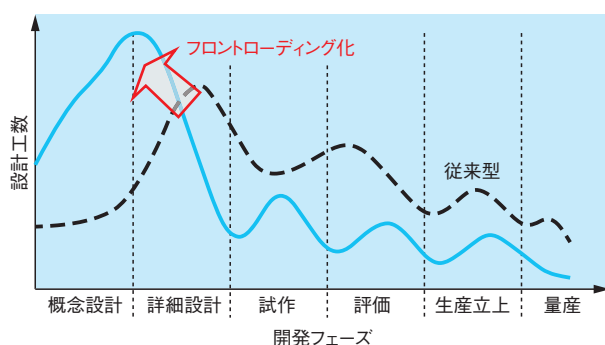


図3 フロントローディングによる工数削減  
Fig. 3 Reduction in man-hours achieved by front-loading

## 4 取組事例

フロントローディング実現に向けた課題に対する現状の取組事例を示す。

### (1) タイヤ荷重推定技術

走行中はタイヤを経由して外力が車体に加わるため、タイヤ荷重により車体の耐久走行試験条件が設定される。タイヤ荷重の推定を初期段階で見誤ると、試作車の耐久性確認段階で車体強度の不足などによりフレーム改修などの手戻りが生じる。そのため、車体強度評価を行うにあたり、高精度なタイヤ荷重推定が必要不可欠となってくる。

モーターサイクルでは平坦なオンロード走行が主体のため、タイヤ荷重推定は比較的容易であるが、オフロード四輪車は不整地凹凸路での高速走行・ロックセクションの乗り越え・ジャンプ着地など走行条件が多岐にわたり、オンロード以上にタイヤ荷重推定が困難であった。そこで、オフロード環境における四輪タイヤ荷重推定技術を構築した。

タイヤ荷重推定手法を図4に示す。車両に搭載した姿勢角センサなどの情報から、タイヤ荷重を推定するロジックを構築している。

タイヤ荷重推定イメージを図5に示す。凹凸路通過、ジャンプ着地などの悪路環境走行においても、四輪の各成分(前後・左右・上下)のタイヤ荷重を推定できる手法を構築している。

### (2) バーチャル強度解析

オフロード環境走行中のタイヤ荷重を推定した後、そのタイヤ荷重を用いて車体のバーチャル強度解析をおこなうことで、実車評価時のトラブル予防が期待できる。

タイヤ荷重取得後の車体フレーム応力計算から寿命推定までの一連の流れを説明する。応力解析イメージを図6に示す。タイヤ荷重が入力された際のタイヤ荷重と車体慣性



(a) モデリングデータ例



(b) タイヤ荷重イメージ

図4 タイヤ荷重推定手法<sup>2)</sup>  
Fig. 4 Measurement method of the tyre force





図5 タイヤ荷重推定のイメージ図  
Fig. 5 Measurement of the tyre force in action

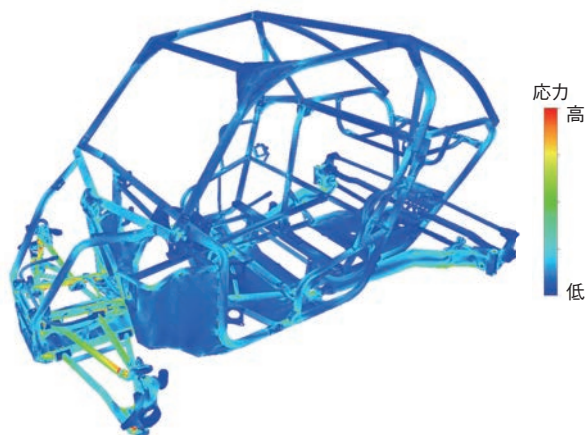


図6 応力解析イメージ図  
Fig. 6 Image of stress analysis

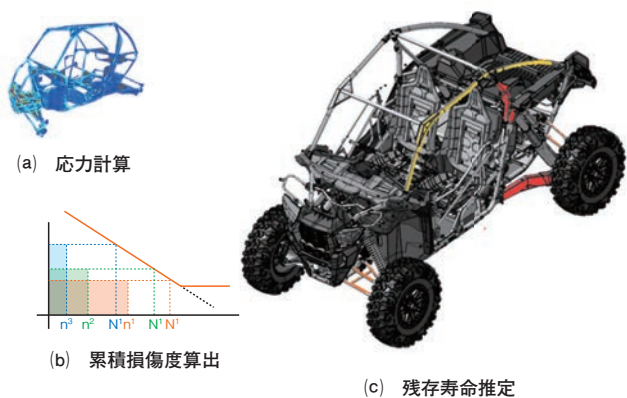


図7 フレーム損傷度算出イメージ図  
Fig. 7 Image of frame damage calculation

の釣り合いを解くことで、フレーム応力の算出をおこなうことができる。タイヤ荷重は悪路走行した際の時刻歴データであるため、フレーム応力も時刻歴データとして求めている。フレーム応力時刻歴導出後は、各パーツに対して累積損傷度算出をおこなっており、図7に示すように最終的に各パーツの残存寿命推定を行うことができる。

### (3) バーチャル走行試験

図2の検証フェーズでは、実車を用いたドライバーの感性評価により車体の作りこみをおこなっている。ドライバーによる評価対象は、振動・乗り心地、操縦安定性、シートポジション、スイッチ操作性など多岐にわたる。ドライバー評価でNGが生じた場合、車体改修に多くの工数と期間を要する。そこで、実車によるドライバー評価をバーチャル走行試験へ置き換えることにより、フロントローディングに取り組んでいる。

バーチャル走行試験の概要を図8に示す。シミュレーション上で四輪車の車両モデルを構築し、新機種の車両挙動をバーチャル上で再現できる環境となっている。ドライバーは、6軸モーションテーブル上に設置した操作端末で新機種のバーチャル走行が可能な状態となっている。操作端末では、アクセル・ブレーキ・ステアリング操作が可能であり、6軸モーションのフィードバックにより、ロール・ピッチ・加減速などの車両運動をドライバーが体感可能となっている。既存車両と新機種の乗り比べをバーチャル上で実現可能であり、新機種の操縦フィーリングの味付けなどに活用している。

バーチャル走行試験での感性評価結果を図9に示す。ロール運動に関して評価の高い車体の作りこみを行う際、どのような車体諸元が望ましいかを検討するためバーチャル走行試験の利用が期待できる。



(a) 感性評価シミュレータ



(b) 走行シミュレーションイメージ図

図8 バーチャル走行試験<sup>3,4)</sup>  
Fig.8 Virtual test driving

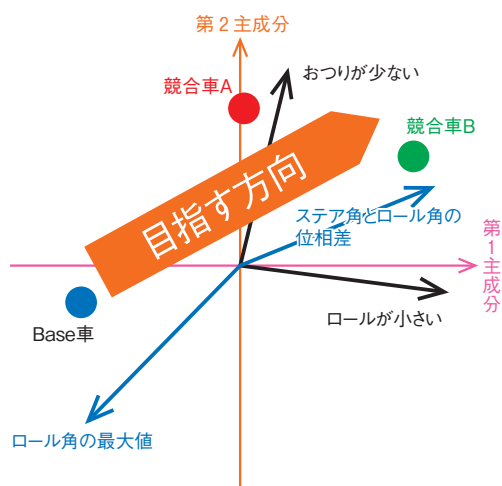


図9 感性評価手法イメージ図  
Fig.9 Example of sensory evaluation method application

## あ と が き

カワサキモーターズ2030年ビジョンの達成に向け、オフロード四輪車の開発効率化を実現するシミュレーション技術とその取組事例を紹介した。

現状では各事例のシミュレーションによる推定精度の向上に取り組んでいる最中である。

今後は、これらの取り組みを取り入れた上で開発プロセス全体の改善を図ることで、2030年時点で1機種当たりの開発工数・期間を大幅に低減させることを目標に活動を進めていく。

## 参 考 文 献

- 1) 2023年度グループビジョン2030進捗報告資料  
[https://www.khi.co.jp/ir/library/other\\_presen\\_231212.html](https://www.khi.co.jp/ir/library/other_presen_231212.html)
- 2) H. Tokunaga, K. Ichikawa, T. Kawasaki, A. Yamasaki, T. Ichige, T. Ishimori, Y. Sansho, Development of the Compact and Light Wheel Forces and Moments Sensor for Motorcycles, SAE Technical Paper, 2016, 32-0053
- 3) K. Nagasaka, K. Ichikawa, A. Yamasaki, H. Ishii, Development of a Riding Simulator for Motorcycles, SAE Technical Paper, 2018, 32-0031
- 4) T. Terada, K. Ichikawa, H. Tokunaga, S. Hagio, Y. Utsumi (2020). Development of Techniques to Control Steering Feeling for Motorcycle. Symposium on the Dynamics and Control of Single Track Vehicles.



加 藤 秀 幸



久 村 隆



原 田 崇 広



野 崎 琢 磨



長 坂 和 哉



大 邊 優



宮 本 大 樹



# 乗用芝刈り機の自動化技術開発

## Development of Autonomous Riding Mower Technologies



上野政宏① Masahiro Ueno  
 田渕光一② Koichi Tabuchi  
 矢野琢潤③ Takahiro Yano  
 長坂和哉④ Kazuya Nagasaka  
 稲場太一⑤ Taichi Inaba  
 石川修平⑥ Shuhei Ishikawa

北米の造園業界では慢性的な人手不足および賃金上昇が続いており、プロガーデナーの芝刈り作業においても省人化需要が高まっている。

プロガーデナーが利用する乗用芝刈り機に対して、自動化システムとそれに適したエンジンを供給することで、乗用芝刈り機向けエンジンのシェア拡大を目指すべく、乗用芝刈り機自動化に向けた要素技術開発を進めている。

In the US landscape industry, chronic labor shortages and rising wages are increasing demand for labor-saving mowing solutions among professional gardeners.

To capture a larger share of the riding mower engine market, we are developing key technologies for autonomous riding mowers, focusing on supplying autonomous systems and suitable engines for professional riding mowers.

### まえがき

北米の造園業界では慢性的な人手不足および賃金上昇が続いており、プロガーデナーの芝刈り作業においても省人化の需要が高まっている。

### 1 背景

北米の乗用芝刈り機市場は近年拡大傾向となっており、カワサキモータースもさらなる販売台数拡大とトップシェアの維持を目指して、さまざまな技術開発に取り組んでいる。差別化技術により、当社の乗用芝刈り機コマーシャル市場におけるエンジン供給比率は50%を超え、業界トップシェアを誇っている。

一方、近年では造園業界の人手不足と賃金上昇により、プロガーデナーの芝刈り作業においても省人化の需要が高まっている。そこで、差別化技術の一つとして、乗用芝刈り機自動化の要素技術開発に取り組み、自動化システムと自動化に適したエンジンを供給することで、シェア拡大に繋がると考えている。

### 2 乗用芝刈り機概要

#### (1) 機体概要

代表的な乗用芝刈り機の車両構造を図1に、仕様を表1

に示す。またエンジンを図2に示す。

乗用芝刈り機は、搭載エンジンのクランク軸に直結され

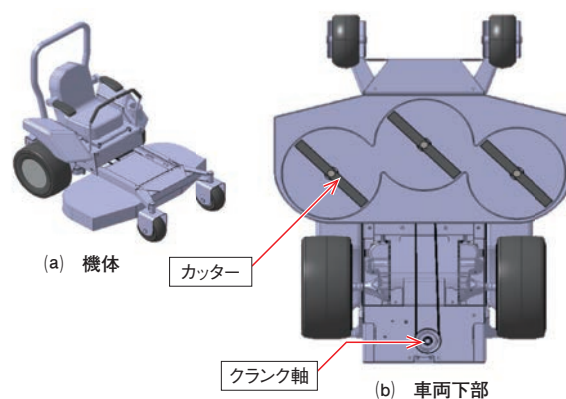


図1 乗用芝刈り機の車両構造  
 Fig. 1 Structure of a riding mower

表1 代表的な乗用芝刈り機の仕様  
 Table 1 Specifications of a typical riding mower

代表的な乗用芝刈り機スペック	
搭載エンジン	Kawasaki FX820V
排気量 [cc]	822
最高出力 [hp] ※グロス	34.5
車体寸法 [mm]	縦2007×横幅1283×高さ1562
芝刈り速度 [km/h]	16



図2 芝刈り機用エンジン「FX820V」  
Fig. 2 Engine for lawn mowers: FX820V

たプーリーからベルトを介して図1(b)に示す車両下部に取り付けたカッターを回転させることで、芝刈りをおこなっている。

エンジンは油圧ポンプに接続しており、発生した油圧で左右輪を駆動させることで、車両を動かしている。タイヤへの駆動力はシート左右にあるレバーで制御可能であり、搭乗者はシート左右にある2本のレバーを両手で操作することにより、前進、後進、旋回をおこなうことができる。両方のレバーを前方へ倒すと前進し、両方のレバーを後方へ倒すと後進する。片側のレバーを前方、もう片方のレバーを後方に操作すると、車体中心を軸として、その場で車体の向きを変えることができる（ゼロターン）。小さい旋回半径でUターンしなければならない乗用芝刈り機に必須の機能である。

## (2) 乗用芝刈り機を用いた芝刈り作業手順

北米では多くの家庭で芝生を有しているが、綺麗な芝面を維持するには定期的な芝刈り作業が必要であり、この作業をプロガーデナーへ委託する人が多く存在する。

芝刈り作業の依頼を受けたプロガーデナーは、乗用芝刈り機を搭載したトラックで現地へ赴き、芝刈り作業を実施する。

図3に芝刈り作業イメージを示す。一定の芝刈り方向と芝高さで作業を実施していく。芝刈りエリアの端まで到達すると、車両1台分の旋回半径でUターンして、常に芝刈り方向を一定とすることが多い。障害物の無い広範囲のエリアは乗用芝刈り機が担当し、木々の間など狭い領域のトリミングは手持ちの芝刈り機で作業している。

一つの場所の芝刈り作業は1時間以内に完了することが多く、プロガーデナーは1日に複数箇所の芝刈り作業を掛け持つ。



図3 芝刈り作業イメージ  
Fig. 3 Image of lawn mowing

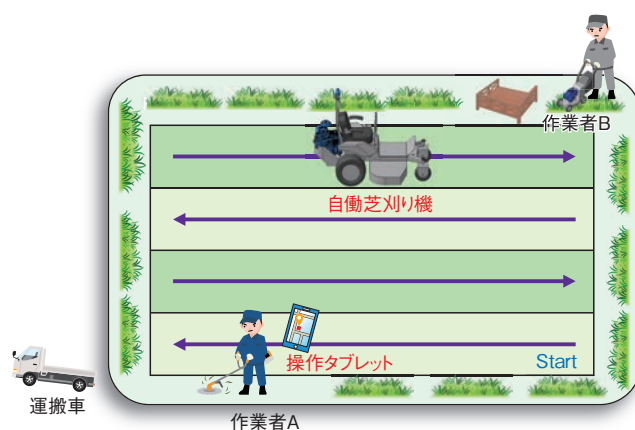


図4 自動芝刈り機ユースケース  
Fig. 4 Usage case for an autonomous lawn mower

## 3 自動化の運用イメージ・メリット

通常の芝刈り作業は2～3名／チームで実施している。1～2名が乗用芝刈り機で広範囲の芝刈りを実施し、残り1名が周囲のトリミングを実施する。

図4に示すように、自働運転導入後は広範囲の芝刈り作業を自動芝刈り機が担当し、周囲のトリミングと自動芝刈り機運行管理を1名で実施することで、1名の省人化が期待できる。

## 4 乗用芝刈り機特有の車両制御技術開発

### (1) 自動化のための車両改修

図5に自動芝刈り機のシステム概要を示す。自律走行ユニットからの外部指令によってエンジン始動、加速・減速・旋回、パーキングブレーキ、エンジン停止などの一連の操作ができる構成とした。また、自働運転と有人走行を切り替えられる構成とした<sup>1,2)</sup>。



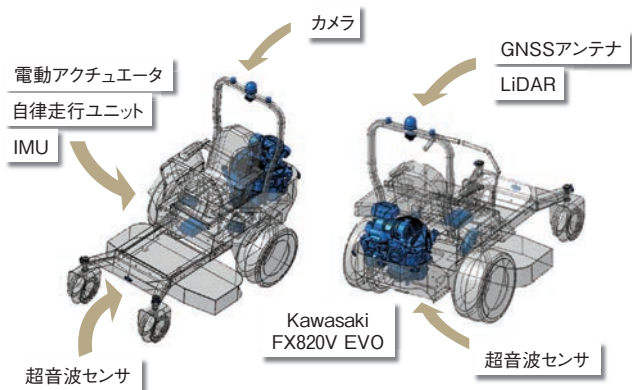


図5 自働芝刈り機概要説明図

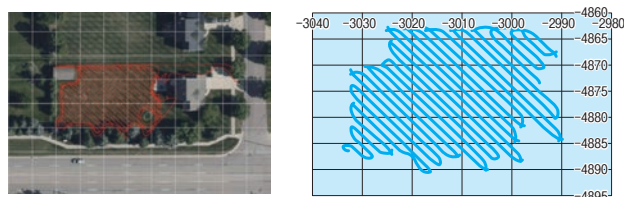
Fig. 5 Illustrated overview of the autonomous lawn mower

自働運転をおこなう際は、はじめに芝刈りエリアと芝刈り方向の設定が必要だが、タブレット端末により遠隔から設定する。タブレット端末から自律走行ユニットへ走行ルート情報を転送後、自働走行を開始する。自働走行中は、自車の自己位置を確認しながら決められたルートに沿って走行をおこなう。車両の現在位置と目標ルート情報を基に、自律走行ユニットが車両の速度や旋回方向を計算している。芝刈り機上部にはGNSSアンテナを取り付けており、衛星情報を用いて自己位置と方位推定をおこなっている。またIMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) も取付けており、斜面の勾配に応じたトルク配分などをおこなうことにより、経路逸脱の少ない安定した自働走行を目指している。障害物を検知するセンサーも備えており、障害物検知後は、一時停止やルート変更などをおこない、芝刈り作業の継続を試みる構成としている。

## (2) 走行精度目標値設定

自働芝刈り機の走行精度目標値を設定するため、プログラマーによる芝刈り作業の走行データ取得を行った。

乗用芝刈り機の芝刈り中の走行軌跡を図6に示す。作業エリア内で折り返し走行を繰り返し実施することで、くまなく芝刈りを実施していることが分かる。芝刈り跡を綺麗に見せるため、直進走行時の安定性が重要である。また、折り返し走行を実現するために、1.5m程度の小さな回転

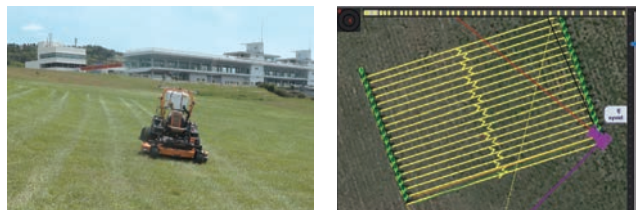


(a) 芝刈り走行ログ

(b) GNSS 座標データ

図6 有人走行データログ取得

Fig. 6 Logging manual driving data



(a) 自働走行試験

(b) 芝刈り経路計画

図7 自働芝刈り機の試験風景

Fig. 7 View of the autonomous lawn mower during a test drive

半径で旋回することが求められる。

自働走行中の車速や直進時の許容誤差は、有人走行を基に設定した。これにより、有人走行と同等以上の芝刈り精度と作業速度を実現できるようにした。

## (3) 走行試験

図7に自働芝刈り機の試験風景を示す。芝生エリアで実際の芝刈り作業と同じ経路計画に基づく自働走行を実施し、直進時安定性、目標車速に対する追従性、傾斜地での安定性、Uターン時の挙動確認、障害物のある環境下での動作検証などをおこなっている。

## 5 さらに付加価値向上の取り組み

### (1) 自社製エンジンとの組み合わせによる相乗効果

自動化システムと当社エンジンの組み合わせによる付加価値向上の取り組みも進めている。

当社エンジンを利用した自動化システムであるため、エンジンECU情報を自動化システムで利用できることが大きな強みである。芝刈り作業中の燃料消費率を算出した芝刈り請負費用の適性化検討、エンジン回転数制御が可能であるため芝刈り環境に応じて作業騒音を抑えた芝刈り作業などが実現可能であると考えている。また、図8に示す様に、将来的に、外部通信可能な通信ユニットを当社エンジンが搭載することで、自働走行中の運転データをクラウドサーバーへ集約し、次世代製品開発へのフィードバックなど事業運営へ活用することを検討している。

### (2) 意匠性の高い芝刈りパターンの実現

図9に示すような意匠性の高い芝刈りパターンが顧客からプログラマーへリクエストされることが多い。このような芝刈りパターン作成には、複雑な経路での走行や、場所によって芝高さを変化させるなどが必要となり、有人走行では高い技術が要求される。

一方、自働芝刈り機の場合、複雑な経路でもあらかじめ経路設定しておけば芝刈り可能であり、意匠性の高い芝刈りパターンも容易に効率的に実現できる。このように自働

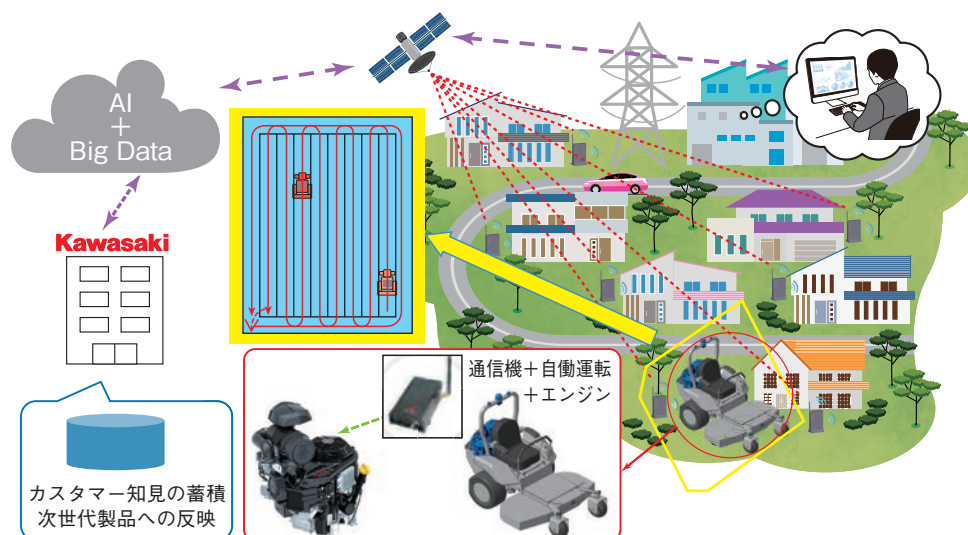


図8 自社製エンジンと組み合わせた付加価値検討  
Fig. 8 Potential added value with our engine



図9 意匠性の高い芝刈りパターン  
Fig. 9 Well-designed lawn mowing patterns

芝刈り機を導入したプロガーデナーのメリットとなるような要素技術開発も進めている。

## あとがき

北米の造園業界の慢性的な人手不足に対応するため、乗用芝刈り機の自動化技術開発をおこなっている。今後もコマース市場におけるエンジン供給トップシェアの維持を目指して、付加価値の高い開発を進めていく。

## 参考文献

- 1) 石井, 佐野, 長坂, : “人・モノの移動を自動化・省人化する自律オフロード四輪”, 川崎重工技報, No.183, pp.22-25 (2021)
- 2) カワサキモータース公式YouTubeチャンネル: “Kawasaki RIDEOLGY meets SELF-DRIVING / 自律走行自動運転” (2020)



上野 政宏



田 渕 光 一



矢 野 琢 潤



長 坂 和 哉



稲 場 太 一

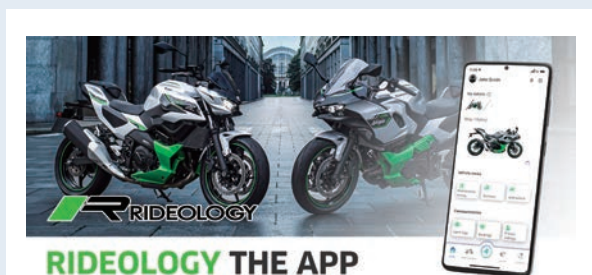


石 川 修 平



# 新たなFUNを提供するコネクティッドビークル

## Connected Vehicles Delivering New Levels of Fun!



中 村 崇 嗣① Takashi Nakamura  
平 山 孝 志② Takashi Hirayama  
志 村 拓 俊③ Hirotooshi Shimura

近年、自動車業界ではCASEを意識した製品・サービスの開発が盛んに行われており、その一つとしてコネクティッドビークルが急速に普及している。当社でも、主力製品であるモーターサイクルとスマートフォンを繋ぐコネクティッドアプリを開発してきた。

第2世代のアプリでは、クラウドサービスと連携することで多彩な双方向通信が可能となり、顧客への新たな価値提供を実現するとともに、ビッグデータ分析・活用によって商品改良や新たなサービスの提供を推進する。

Recently, the automotive industry has experienced a surge in the development of CASE-focused products and services, leading to a rapid increase in connected vehicles. Amid this trend, we have been developing a “connected” app that integrates our flagship product, motorcycles with smartphones.

The second generation of this app enhances bidirectional communication through our cloud service. This not only delivers new value to our customers but also facilitates product improvements and the introduction of new services through big data analysis and utilization.

### ま え が き

近年、自動車業界ではCASE（Connected：コネクティッド，Autonomous：自動運転，Share&Service：シェアリングサービス，Electric：電動化）を意識した製品・サービスの開発が盛んに行われている。

CASEの一つであるコネクティッド分野において，ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）の発展に伴い，ICT端末としての機能を有するコネクティッドビークルが急速に普及している。コネクティッドビークルはICTを通じて，従来のクルマにはない新たな価値やサービスを提供するものである。

### 1 RIDEOLGY THE APP MOTORCYCLE

モーターサイクル業界でも各社からさまざまなサービスが提供される中，当社では顧客に対してモーターサイクルならではの「走る楽しさ」を支援し，新たな価値を提供することを目指して，2017年よりBluetooth通信によるモーターサイクルとの連携機能を有したスマートフォン向けアプリ「RIDEOLGY THE APP MOTORCYCLE」の研究開発を進めてきた。

### 2 第2世代アプリ開発方針

第1世代アプリ（図1）は利便性向上や顧客体験向上を目指して2019年に上市し，モーターサイクルとスマートフォンの連携により以下の機能を実装した。

#### ・車両情報：図1(a)

エンジンを始動していない状態（IG-OFF時）にて残燃料やバッテリー電圧値などを閲覧できる機能。次回走行時の給油やメンテナンス時の振り返りに活用できる。

#### ・走行ログ：図1(b)

任意の走行区間に関する走行距離・時間・燃費といった概要情報と走行速度やギア情報などのセンサー値をグラフで閲覧する機能。サーキットなどでの自身の走行分析に活用できる。

#### ・車両セッティング：図1(c)

車両の走行モード（通常走行，スポーツ，雨天用など）など乗り心地に左右する各種設定をアプリから操作・設定する機能。煩わしいスイッチ操作から解放され，手軽にセッティングできる。

第2世代アプリ（図2）は，趣味を分かち合う仲間や，ライダー同士の出会いを増やしたいという着想から2021年に上市し，第1世代アプリにはなかった以下の機能を実装した。

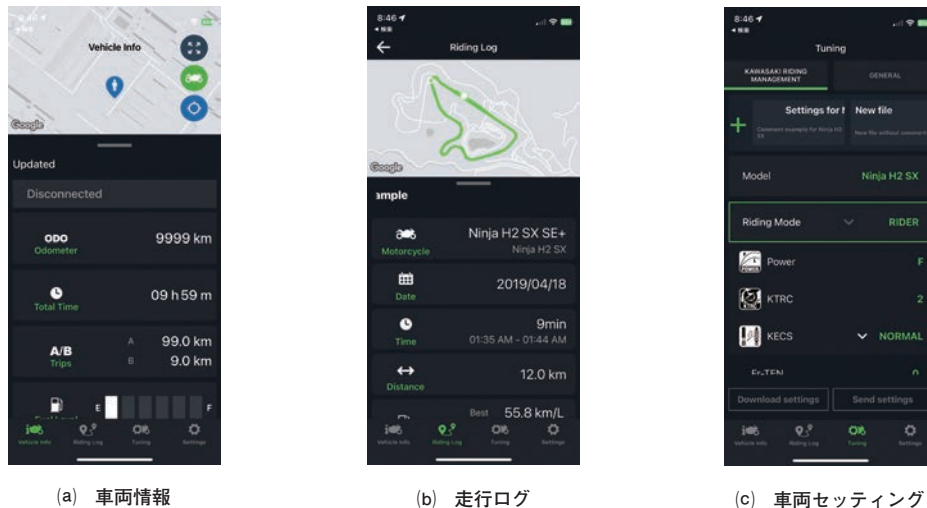


図1 第1世代アプリの機能  
Fig. 1 Features of 1st generation app



図2 第2世代アプリの機能  
Fig. 2 Features of 2nd generation app

- ・走行ログ共有：図2 (b)  
前述の走行ログを他人と共有できる機能。他人のログを参考としたツーリング計画に活用できる。
- ・RIDEOLGY SCORE：図2 (c)  
走行ログ内での快走度を表現する機能。
- ・走行位置共有：図2 (d)  
自身の走行位置をアプリユーザーに発信して、ツーリングの呼びかけに活用できる。

第2世代アプリの機能の多くはインターネットを活用し、ユーザー同士が繋がることで実現されるが、それだけでなく、アプリ提供者である当社とユーザーが繋がることによるメリットにも着目した。たとえば、インターネットを介して得られるデータを通じてアプリや車両の利用状況を将来の車両開発に活用したり、機能の不具合を即座に検

知できるといったメリットがある。

### 3 技術課題

#### (1) アプリ・クラウド環境開発

##### (i) クラウド環境の仕組み作り

システム構築を行うにあたり、インターネットを利用した通信手段だけでなく、走行ログなどのデータの蓄積・計算処理を行うサーバーが必要となる。サーバーを自社内で管理・運用するオンプレミス環境と、管理を簡略化できるクラウド環境のどちらかの選択となる。グローバルへの展開を前提とし、利用者が年々増加することが予測されることから、ハードの仕様変更が柔軟に可能であることに加え、24時間システムが継続して稼働できることが望ましいと考え、クラウド環境を導入することとした。クラウド環境の



構築における技術的な課題として、限られた開発リソースの中で効率的にシステムを開発・運用するための仕組み作りを検討する必要がある。

(ii) 応答時間の短縮化

走行ログをクラウド環境に保管することになるため、個人情報扱うことによるセキュリティ対策に加えて、スマートフォンとクラウド間の通信による応答性の遅延時間を可能な限り短縮させるためのシステム構成とする必要がある。

(iii) 走行ログ共有の視覚化

走行ログ共有時の車速・燃費情報などの走行データを公開することになり、これらの数値情報が第三者に開示されることで、危険運転を助長する恐れがあるため、数値情報に代わる何らかの視覚情報で走行ログを共有する方法を検討する必要がある。

(2) データ分析・活用

モーターサイクルの各コンポーネント間でCAN通信により、さまざまなデータを高頻度でやり取りしている。車両の開発段階では、これらのデータを解析して評価改善に使用している。一方で、市場での車両状況はライダーや走行環境などに大きく依存するため、正確に把握した上で開発に反映することは非常に難しい。現状、市場から収集できる情報は、企画段階でのユーザーへのヒアリングや、ディーラーを介した不具合情報など限定的である。

これらの課題に対し、コネクティッドアプリを活用することで、走行データや位置情報といった、より高精度のデータをクラウド上で収集することで解決を図る。これらのビッグデータを分析・活用することで、図3に示すように、商品改良・アフターサービスの品質向上・マーケティングへの活用・新たなサービスの提供促進が期待されている。

ここでの技術課題として、最終的にはグローバルに存在する数十万の車両から日々高頻度で送られてくる大量のデータに対して、適切なデータ加工整形を実施し、セキュアでありながらも容易に利用可能な形で蓄積する必要がある。

4 技術課題への取り組み

(1) アプリ・クラウド開発

(i) クラウド環境の仕組み作り

アプリ・クラウド環境開発期間の短縮化を図るため、マイクロサービスと呼ばれる小規模機能の組み合わせでのシステム構築が可能なAWS (Amazon Web Service) を採用し、図4のような構成とした。特に開発時・運用時の早期不具合発見やパフォーマンス監視などを意識して以下のサービスを導入した。

・ Amazon SNS / Chatbot

マイクロサービス単位でのエラーを含む任意の通知を代表的なSNSサービスに発信する仕組み。

・ AWS X-ray

各マイクロサービスを横断して、パフォーマンスのボトルネックやエラーの根本原因を容易に探ることを可能としたサービス。

・ Amazon CloudWatch

AWS標準で実装されるログ監視サービス。必要に応じて、任意のダッシュボードを作成することが可能。

(ii) 応答時間の短縮化

走行ログについては、Amazon Kinesis Data Analyticsを採用することで、走行ログ取得開始と同時に絶え間なく車両情報を送信し、リアルタイムで保存・分析が可能とした。これにより取得終了のタイミングから少しの待機時間

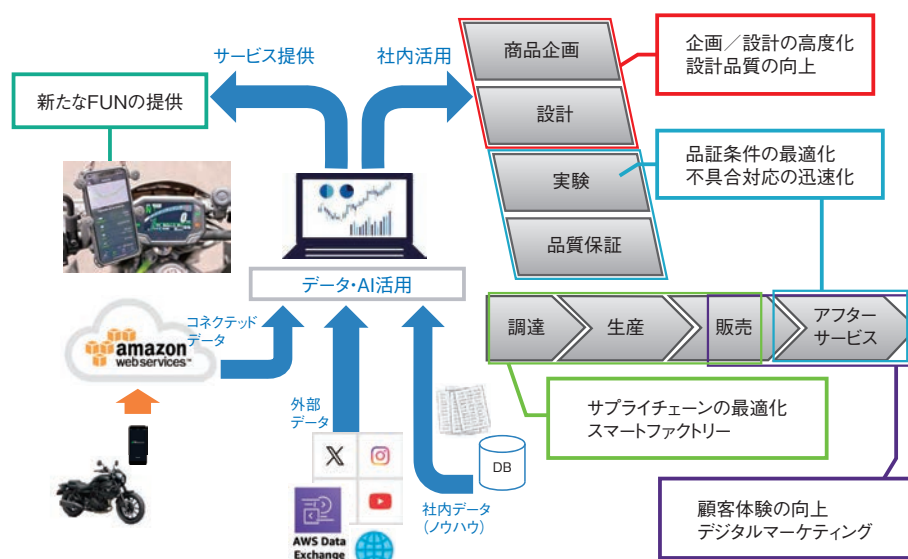


図3 ビッグデータ活用イメージ  
Fig. 3 Image of big data utilization

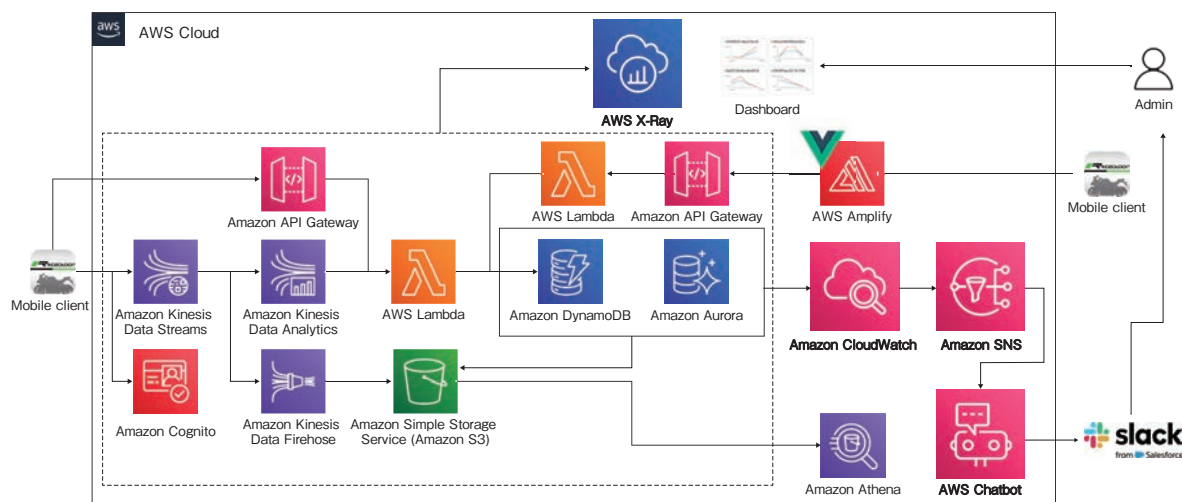


図4 AWS構成図  
Fig. 4 AWS architecture diagram



図5 3Dアニメーション  
Fig. 5 3D animation



図6 BIダッシュボード  
Fig. 6 Business intelligence dashboard

でログの結果閲覧を可能として快適性の維持を図った。

### (iii) 走行ログ共有の視覚化

走行ログの公開情報については図5に示すような3Dアニメーションを採用することで、車速などの数値表現を避けつつ、走行状態を視覚的に楽しめる形とした。

## (2) データ分析・活用

数十万台の車両から高頻度かつ大量に送られるデータを安定的かつセキュアに収集・加工・蓄積するにあたり、前項で述べたAmazon Kinesisを介してAmazon S3に格納するアーキテクチャを採用した。また、セキュアにしながらも社内でのデータ利活用を促進するため、データ分析基盤をアプリのバックエンドシステムより上位レベルで分離して権限管理を容易にする共に、データ分析基盤については、個人情報を含む機微なデータを持ち込まないこととした。

データ分析基盤上では、アプリからバックエンドシステムを介して送られてきたデータを加工して、図6のような利用用途に応じたBIダッシュボードでの見える化を実現した。データ加工においても、AWSの提供する自動的にデータを抽出・変換・格納するサービスを活用することで、運用工数の低減を図っている。

## あ と が き

モーターサイクル向け第2世代アプリが上市してから3年が経過し、アプリ接続台数は10万台を突破した。顧客の要望や期待に応えるため、さらなる品質改良や新機能の搭載を継続している。2024年6月には新たにオフロード四輪向けアプリも上市して、順次新機種に対応していくと共に、その他製品にもサービスを拡大していく予定である。

将来的には、乗用車で広く普及している常時通信接続対応などにより、製品のみならずコネクティッドサービスでも新たな価値創造を提供していく。



中 村 崇 嗣



平 山 孝 志



志 村 拓 俊



# 柔軟な生産体制の構築：車体生産構造改革

## Developing a Flexible Production System: Transforming Vehicle Production Process



師 田 一 伸① Kazunobu Morota  
 村 上 卓② Taku Murakami  
 田 坂 嘉 彦③ Yoshihiko Tasaka  
 西 尾 昂 礎④ Takato Nishio  
 鶴 田 浩 平⑤ Kouhei Tsuruta  
 岡 田 大 貴⑥ Taiki Okada

米国市場ではオフロード4輪ビジネスの堅調な成長が見込まれており、当社のグループビジョン2030においても、2030年までにモーターサイクルで20%～50%、オフロード4輪車で40%～60%の売上高成長率を見込んでいる。グループビジョン達成に向け成長戦略を実現するため、顧客の要求に柔軟に対応でき、極限までのコスト削減と高効率生産を実現する生産プロセスの改革を車体生産などにおいて推進中である。

The US market for off-road vehicles is projected to experience steady growth. Our Group Vision 2030 anticipates a sales increase of 20% to 50% for motorcycles and 40% to 60% for off-road vehicles. To implement this growth strategy and achieve our Group Vision, we are driving the reform of our production processes related to vehicle assembly. This transformation aims to meet customer demands flexibly while achieving maximum cost reduction and the highest production efficiency.

### まえがき

北米市場におけるオフロード4輪車市場の成長や、昨今のスーパースポーツ系モーターサイクルの販売増など、カワサキモータースを取り巻く市場環境は堅調な成長が見込まれている。

### 1 背景

当社のグループビジョン2030の達成とそれに続く企業の持続的成長のため、製品を迅速に顧客へ供給し続けることで確実に収益を確保して、グローバル市場で競合他社をしのご企業へと発展することを目指している。

この目標を達成するためには、各生産拠点で製造コストの削減と効率的な生産を追求すると同時に、顧客の要求に柔軟に対応できる生産体制を構築することが不可欠である。

明石工場の役割は、各生産拠点の真のマザー工場としてDX推進の先駆けとなり、生産技術開発および生産プロセスの改革において他工場をリードしていく存在であるべきと考える。明石工場の生産工程の中で、最終製品の生産工程である車体組立工程と部品管理・搬送プロセスを最初のターゲットに設定して、デジタル技術を活用した工場の見える化と、それを基にした生産プロセスの改革に着手した。

### 2 課題と対応方針

車体組立に関連する生産プロセスには以下の課題がある。

#### (1) 車体組立ライン

車体組立工程は製品の最終品質を決定するだけでなく、市場の需要変化や部品供給問題といった外乱にも柔軟に対応することが求められており、鍛造・機械加工・溶接・塗装などの部品製造ラインを含む全体の生産活動を円滑に行ううえで重要な工程である。車体組立工程がこの重要な役割を果たすためには、イレギュラーな状況においても迅速に生産ラインを再編成して、生産計画を達成することが必要である。

現状の車体組立では、各ラインごとに生産できる機種が固定されているため、増産時に他ラインと並行して生産する場合や他ラインでトラブルが発生した場合に、工程振替を行うため数カ月を要する。この原因は、ラインサイドのスペースが部品棚で埋まっており部品を供給する間口が不足していること、また、各部品には誤組み防止のための部品ボカヨケが設置されているため部品棚の追加や位置を変更する際には配線の変更工事が必要となるためである。

これらの課題を解決するため、生産ラインの進捗に同期して都度ラインに必要な部品のみを供給することで、ラインサイドの部品棚と部品ボカヨケ（図1）を撤廃することを考えている。

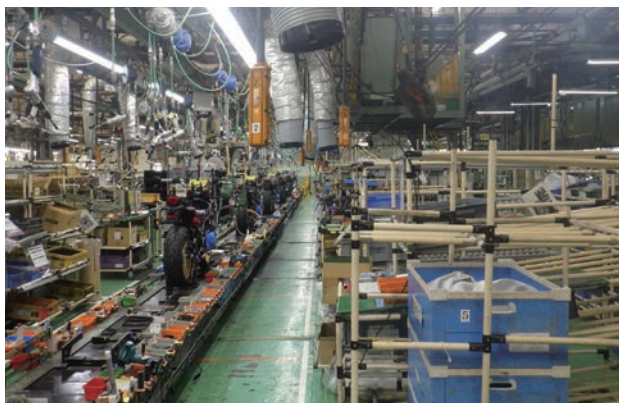


図1 ラインサイドの部品棚とポカヨケ  
Fig.1 Parts racks and poka-yoke system along the lineside

## (2) 部品管理プロセス

組立ラインの進捗に同期して必要な部品のみをラインサイドに都度供給する場合、これまでラインサイドで保管していた部品は、別の場所で保管する必要がある。また、サプライチェーンのグローバル化による海外輸入部品の増加により、輸入部品専用の社外倉庫から明石工場への部品搬入の頻度が増えていることや、国内調達部品の取引先側での不測事態発生によるJIT（ジャストインタイム）供給の停滞などが発生している。これら状況を鑑み、

- ・ 明石工場内の部品倉庫にて、国内調達部品および海外調達部品を集中管理できる環境
- ・ 部品倉庫からラインに対して必要部品のみを都度供給できる環境

を構築するため、部品管理方式の抜本的な変革が必要である。

### (3) 部品搬送プロセス

明石工場内での部品搬送は、工場構内ではターレットト

トラックおよび自転車での搬送、工場間ではトラック輸送による方式を採用しており、人手に頼っている。

近年、少子高齢化による労働人口の減少が進んでおり、これに伴い労働力の確保がますます困難になっている。そのため、人手に頼るプロセスが多いほど、将来の生産活動に支障をきたす可能性が高まっている。

そこで、運搬作業のような付加価値を生まないプロセスに対しては、人的資源を投入しない方法を優先的に考える必要がある。

### 3 取組状況

車体組立に関連する生産プロセスの課題解決のため、以下のように取り組んでいる。

### (1) 生産同期型の部品供給方式

組立ラインの進捗に同期した部品供給と部品ボカヨケ付きの部品棚撤廃のため、生産進捗に同期して必要部品を算出するシステムADS：Automated Delivery Systemを開発する。

各機種別の必要部品情報であるBOM情報と車体組立ライン別の組立順位情報を基にして、組立ライン上における製品1台単位の進捗情報を取得できるようにする。

図 2 に示すように、ADSからは以下の指示が作成される。

- ・生産進捗に同期した倉庫への部品ピッキング指示
- ・ピッキング済み部品のラインサイドへの搬送指示

これらの指示は、後述する部品倉庫管理や部品自動搬送の各機能と連携する。これにより、組立工区ごとに必要な部品が台車で準備され、適切なタイミングでラインサイドへの部品供給が可能となる。

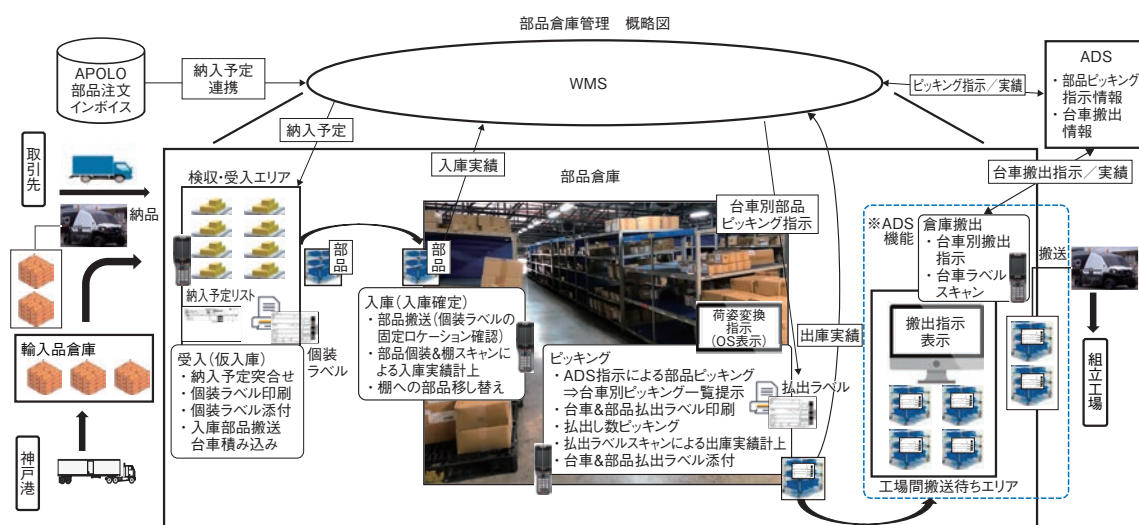


図2 部品倉庫管理および周辺システム概略図  
Fig. 2 Overview of the WMS and its peripheral systems



## (2) 部品倉庫管理

部品供給体制を実現するため、図2に示すように明石工場内に新たに部品倉庫を設け、あらゆる部品を一括管理する環境を構築する。

倉庫での部品管理においては、数万点にもおよぶ部品を限られたスペースで効率よく管理するため、流動的に保管場所を変更するフリーロケーション方式を採用する。部品倉庫管理システムWMS: **W**arehouse **M**anagement **S**ystemを導入し、部品の入庫から出庫に至るまでのプロセスをシステムによってすべてを管理する。部品の出庫指示については、前述のADSよりサイクリックかつタイムリーに台車単位の部品ピッキング指示を出力し、連携して一連のプロセスを管理する。

また、部品倉庫の省スペース化と省人化の観点から、高さ方向を有効に活用した自動立体倉庫の活用も視野に入れ、費用対効果のバランスを見ながら導入を検討している。

## (3) 工場内部品自動搬送システム

部品搬送を自動化するにあたり、市販されている各メーカーの搬送車両やシステムを市場調査した結果、明石工場の環境や使用用途に適したシステムは限定的であり、また高額であることも分かった。そこで物流業界の先端技術である自律走行技術を取り入れたAMR: **A**utonomous **M**obile **R**obotの自社開発に取り組むこととした。

### (i) 自律走行技術

内製のAMRの外観を図3に、仕様を表1に示す。自律走行の仕組みは、事前に用意した環境データとAMRに搭載しているLiDARで測位した距離データを照合させ自己

位置を推定しながら走行を行うSLAM: **S**imultaneous **L**ocalization and **M**apping方式である。さらに車輪の回転数からAMR移動量をフィードバックするオドメトリ技術を掛け合わせ、9軸IMUセンサにより走行姿勢や微小なスリップといった補正をかけることで高度な自己位置推定を行う。

### (ii) フレキシブルな走行ルート設定

AMRの走行ルート・停止ポイント・走行ルールといった設定は全てソフト上で行う。車体組立ラインにて作成した地図データと走行ルートを図4に示す。図中に示すサブラインでは、フレームにエンジンや前後足回りを組み付ける作業を担っている。サブラインは通路を跨いでメインラインに繋がっており、車体に周辺部品を組み付けて完成車に仕上げるライン構成となっている。まず、AMR本体を手動で操作して壁や柱といった情報を2次元点群データとして取得する。次に取得した情報を編集して地図データを作成する。その後、走行ルートや停止ポイントなどを設定する。地図データは分割して作成することも可能なため、広大なエリアであっても容易に作成・編集ができる。同様に建屋内レイアウトを変更した場合や走行ルートや停止場所の変更についても、柔軟かつ即座に対応可能である。

### (iii) 人・物との共存

人や物が走行先に存在する場合でも、ガイドレスのため障害物を回避して走行することが可能である。走行ルートが固定されているAGVの場合、障害物がある場合は停止させざるを得ないが、今回開発したAMRは回避走行が可能であり、必要なタイミングで部品を配送しなければならない点においてなくてはならない機能である。

### (iv) 上位システムとの連携

複数のAMRとADSを連携させるために、AMRの群制御システムを開発した。ADSから指示された情報をもとに群制御システムが各AMRを適切に配車し、搬送の指示を与える。群制御管理画面では、各AMRの走行位置・機器状態・搬送状況のモニタリングが可能でトラブルが生じた際のログ取得や搬送履歴といったフィードバックも可能となる。

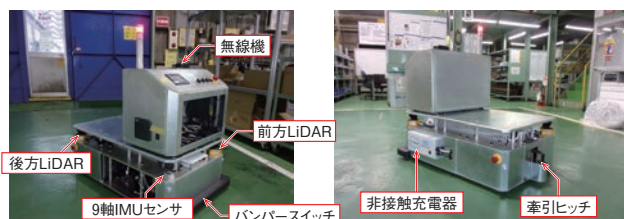


図3 内製AMR 外観

Fig. 3 Appearance of the AMR developed in-house

表1 AMR仕様

Table 1 Specifications of the AMR

車両サイズ [mm]		D1, 200×W750×H1, 130
重量 [kg]		200
駆動方式		差動二輪駆動
定格速度 [km/h]		4.7
牽引重量 [kg]		300
停止精度	距離 [±mm]	10
	角度 [±°]	1
バッテリー容量 [Ah]		23
充電方式		非接触急速充電
充電電流 [A]		30

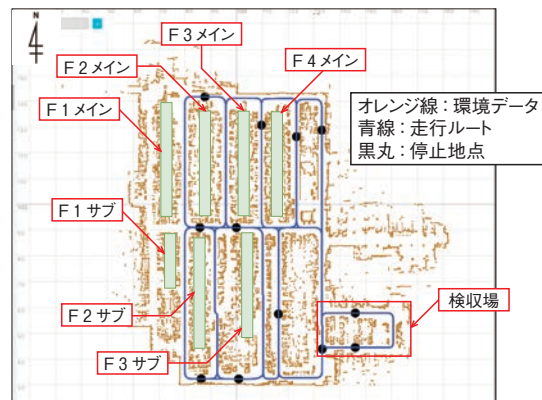


図4 地図データと走行ルート

Fig. 4 Map data and travel route



図5 MUGV車両外観  
Fig. 5 Appearance of the MUGV

#### (v) 安全機能

開発したAMRには無人搬送システムの安全に関する国内規格であるJIS D 6802<sup>1)</sup>で規格化されている安全機能を設けている。安全装置を制御するコントローラは走行制御コントローラやPLCとは別系統で用意しておいて、安全装置が作動した場合に、直ちに走行を停止する回路で構成する。機器構成としては非常停止ボタン・AMRの衝突を検知するバンパースイッチ・レーザースキャナでAMR周囲に防護領域を作り、速度やカーブなど状況に応じて領域を変化する仮想バンパーで構成する。いずれも安全認証を取得している機器を採用している。

#### (4) 工場間部品自動搬送システム

ADSの指示に基づいて部品倉庫でピッキングされた部品の工場間搬送は、MUGV（図5）を活用して自動搬送する。

工場間（屋外）の部品自動搬送車両であるMUGV：Multi-use Unmanned Ground Vehicleは、人が乗って運転することも可能な車両であるが、自律運転を可能とするためには、ハンドル・アクセル・ブレーキなどの人による操作入力から、速度やステアリングなどを自動制御する「走行コントローラ」と、LiDARセンサの取得データにより車両の現在位置と周囲の障害物を把握して定められた走行ルートの自律走行を制御する「自律制御コントローラ」の2つのコントローラが必要である。特に自律制御コントローラの開発にあたっては、歩行者・自転車・トラックなどの運搬車両などが煩雑に行き交う工場内で無人車両を安全に走行させるため、保険会社にリスクアセスメントの実施を依頼するなどして、自律制御の仕様や安全機器の搭載など運用時の安全を第一として開発した。自律走行の方式は、基本的にAMRと同様であるが、LiDARセンサは3次元のものを使用して、地図データには速度制限・横断歩道・交差点などの情報を付与して、より高度な自己位置推定と環境把握を行っている。

自律制御コントローラのソフトウェアにはオープンソースの自動運転OSであるAutowareを用いている。幾度も動作検証を重ね、走行中の障害物への対処として、以下の機

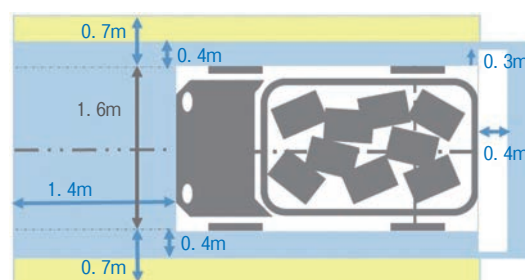


図6 周囲検知範囲  
Fig. 6 Surrounding detection range

能を実装している。

#### ① 車両前方の障害物を検知して追従および停止機能

障害物の5m手前で停止するよう減速し、障害物が動く場合は最少4mの距離を保ち追従することが可能である。

#### ② 左右後方の障害物の検知機能

図6に示すように、車両周囲の障害物を検知して減速・停止することが可能である。（黄エリア：減速、青エリア：停止）

#### ③ 動体予測を取入れた動作

AIを使用し、横断歩道や交差点では移動物体の動体予測をすることにより、予測に基づいて動作継続・減速・停止などの判断を行うことが可能である。

## あ と が き

実際の生産現場へ車体組立の生産プロセス改革の導入を完遂して、グループビジョン2030に掲げている成長戦略達成に貢献していく。そして、真のマザー工場として他拠点をリードして、グループ全体の製造コスト低減と高効率生産を徹底的に追求することで確実に利益を確保し、グローバル市場で競合他社を凌駕する企業へと成長していくことを目指す。

## 参 考 文 献

- 1) JIS D 6802:2022 無人搬送車及び無人搬送システム—安全要求事項及び検証



師田 一伸



村上 卓



田坂 嘉彦



西尾 昂 礎



鶴田 浩 平



岡田 大 貴



# 環境負荷低減に貢献する革新的塗装技術

## Innovative Coating Technology for Reducing Environmental Impacts



中 川 文 寛①	Fumihiro Nakagawa
足 立 尚 義②	Takayoshi Adachi
川 本 英 樹③※	Hideki Kawamoto
朝 戸 達 健④	Tatsutoshi Asato
内 藤 義 貴⑤	Yoshiki Naito
石 友 真⑥	Yuma Ishi

川崎重工グループはカーボンニュートラルへの取組みとしてScope1,2を2030年、Scope3を2040年までに完了することを目標としている。製品製造中の塗装工程のみならず、塗料の製造や物流に関連して多くのCO<sub>2</sub>を排出しており、塗料の廃棄量を減らす必要がある。環境負荷低減への取組みとして塗料の廃棄量削減を目指し、洗浄性の高い二液混合塗装機や高効率な塗装を実現するための複雑な塗装ロボットティーチングをVR技術で簡単に実現できるシステムにより、革新的な塗装技術を開発した。

The Kawasaki Heavy Industries Group is committed to achieving carbon neutrality, targeting Scope 1 and 2 emissions by 2030 and Scope 3 by 2040. Given the significant CO<sub>2</sub> emissions from our coating processes during product manufacturing and the production and logistics of coatings, minimizing coating waste is essential. To achieve this objective as part of our efforts to reduce environmental impacts, we have developed an innovative coating technology. This includes a two-component coating machine that is easy to clean and a virtual reality system that simplifies teaching complex operations to coating robots for highly efficient coating.

### ま え が き

塗装職場では水・蒸気・都市ガス・電気など多くのエネルギーを使用して生産を行っている。カーボンニュートラルを実現する上で、これらのエネルギー使用量を削減することは重要である。さらに、塗装職場で使用する塗料を減らすことも、塗料の製造や物流を含めたライフサイクル全体を考えたカーボンニュートラルへの取組みとして重要である。川崎重工グループはカーボンニュートラルへの取組みとしてScope1,2を2030年、Scope3を2040年までに完了することを目標としており、カワサキモータースでは、塗料の廃棄量削減を目指している。

### 1 塗装工程での課題

塗装には、図1に示すように大きく分けて2つの廃棄ロスが発生する。1つ目は調合塗料の廃棄である。モーターサイクルの樹脂カウリングや燃料タンクには二液硬化型の塗料を使用しており、主剤と硬化剤を混合し低温の乾燥炉で硬化するように設計している。デメリットとして常温でも硬化反応が進むことがあげられ、1日20回程度の色替え

が必要な塗装職場では、日々多くの塗料を廃棄している。2つ目は噴霧した塗料の廃棄である。塗装機から噴霧された塗料に対する被塗物への付着量を示す塗着効率は、塗装ロボットによる静電塗装で約40～50%、手作業による非静電塗装ではわずか10%程度となっている。付着しなかった塗料はそのまま廃棄されることになる。

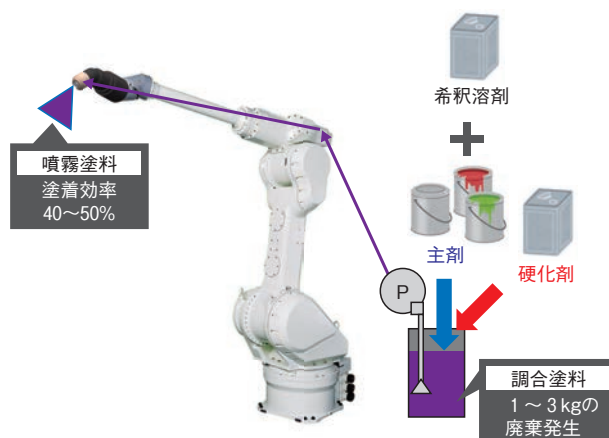


図1 塗装工程で生じる廃棄  
Fig.1 Waste from a coating process

## 2 塗料廃棄量削減に向けた二液混合塗装機開発

二液硬化型の塗料は調合した塗料が余ったとしても翌日に使うことができないため、日々洗浄および廃棄する必要がある。二液混合塗装機を導入することが一般的である。ただし、当社のようにさまざまな塗料を扱う職場においては、従来の二液混合塗装機では安定した品質で塗装することが難しいという問題がある。

### (1) 従来の二液混合塗装機の課題

#### (i) 洗浄性の課題

一般的な二液混合塗装機であるベル型静電塗装機の断面図を図2に示す。図中のフィードチューブから塗料が供給され、高速回転しているベルカップで塗料が霧化される。図3に示すスタティックミキサーが塗装機のフィードチューブに内蔵されており、主剤と硬化剤がスタティックミキサーを通過することで混合攪拌できる仕組みとなっている。しかし、スタティックミキサーは複数の複雑な形状の羽が備わっているため、洗浄性が悪く洗浄溶剤の消費量増加や洗浄不足による塗料カスの蓄積が起因の塗装不良が発生する可能性が高くなる。

#### (ii) 混合性の課題

主剤と硬化剤の供給経路を図4に示す。主剤経路の途中から硬化剤経路が繋がっている仕組みとなっている。主剤と硬化剤の供給圧力が同程度であれば問題とならないが、硬化剤の圧力が弱くなると硬化剤を投入できなくなり硬化

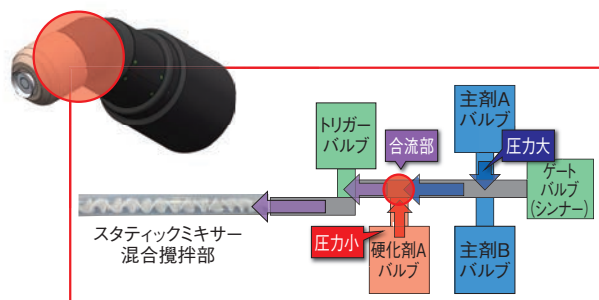


図4 塗装機内部の主剤・硬化剤供給経路

Fig. 4 Feeding paths for main and catalyst inside a coating machine

不良の原因となる。自動車産業の塗料のように主剤と硬化剤の割合が3対1で固定されていれば問題とならないが、当社が扱う塗料は3対1から11対1まで多種多様である。特に硬化剤の割合が小さい条件では、供給圧力を一定に保ちながら微量の硬化剤を供給することが難しく硬化不良となる。

### (2) 先端二液混合塗装機の開発

新しい二液混合塗装機の開発では、従来とは異なる流体力学的な発想を基にした革新的な混合機能によって、従来型の課題を克服した<sup>1)</sup>。

ベル型静電塗装機は内部に二重管構造のフィードチューブがあり、中心部に塗料、外側部に洗浄溶剤が供給される。この二重管構造のフィードチューブに着目して開発したフィードチューブを図5に示す。二重管構造のフィードチューブにテーパ型ノズルキャップを取り付けたシンプルな構造である。この構造では二重管の中心部に硬化剤、外側部に主剤を投入し、ノズルキャップ内で合流させ、ノズルキャップの断面積が徐々に絞られる事により流速が早くなり互いに混ざり合うことを期待した。

本構造の有効性を検証するために、2パターンの数値流体力学(CFD)解析を行った。検証1では二重管構造のフィードチューブの中心部に硬化剤、外側部に主剤を投入したケースとし、検証2は検証1と同条件でフィードチューブ先端にノズルキャップを取り付けたケースである。解

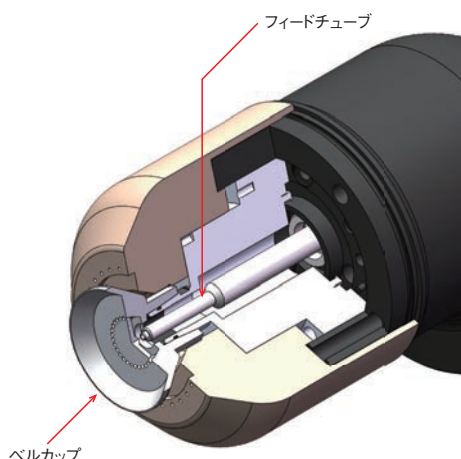


図2 ベル型静電塗装機の断面図

Fig. 2 Section of a Electrostatic rotary atomization bell

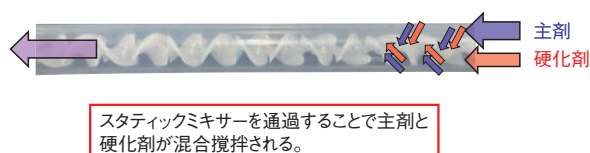


図3 塗装機に内蔵されたスタティックミキサー

Fig. 3 Built-in static mixer of a coating machine

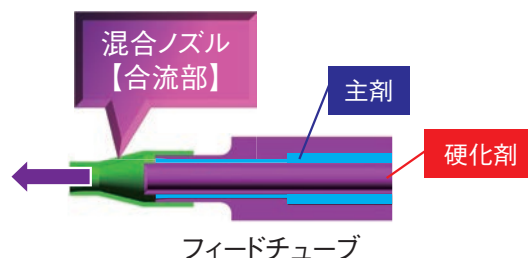


図5 開発したフィードチューブ

Fig. 5 Paint feed tube developed by Kawasaki Motors.



析の結果を図6に示す。硬化剤が赤色、主剤が青色、混合状態が良好な部分を白色で示している。図6(a)に示すように検証1では高速回転するベルカップに衝突してから主剤と硬化剤が混合し始めているのに対し、図6(b)に示すように検証2ではノズル内部で混合が始まり、ノズル出口では十分に混合されていることがわかる。この結果から主剤と硬化剤は両者の境界面で流速差によるせん断力が発生し、さらにノズルによって流れが加速されることで両者の混合が促進されていると推測される。

本解析結果を元に塗装機メーカーと共同で開発した。開発した塗装機の断面図を図7に示す。

本構造はスタティックミキサーが不要であり、フィードチューブ先端にノズルキャップが追加された極めて簡単な

構造であるため洗浄性に優れている。そのため塗装不良の恐れがない。また、主剤経路と硬化剤経路の合流部がノズル内部であるため、流速差を持つ2液のせん断力で両者が混合されることから、従来のように厳密に供給圧力を揃える必要がなくなった。

### (3) 導入事例

本塗装機は当社グループのグローバルスタンダードの塗装機として設定し、順次国内外の拠点へ展開する予定である。現在までに日本の樹脂塗装工場とメキシコの樹脂塗装工場(図8)で運用しており、調合塗料の廃棄量削減に貢献している。

また、塗装機メーカーと共同開発した塗装機であるため

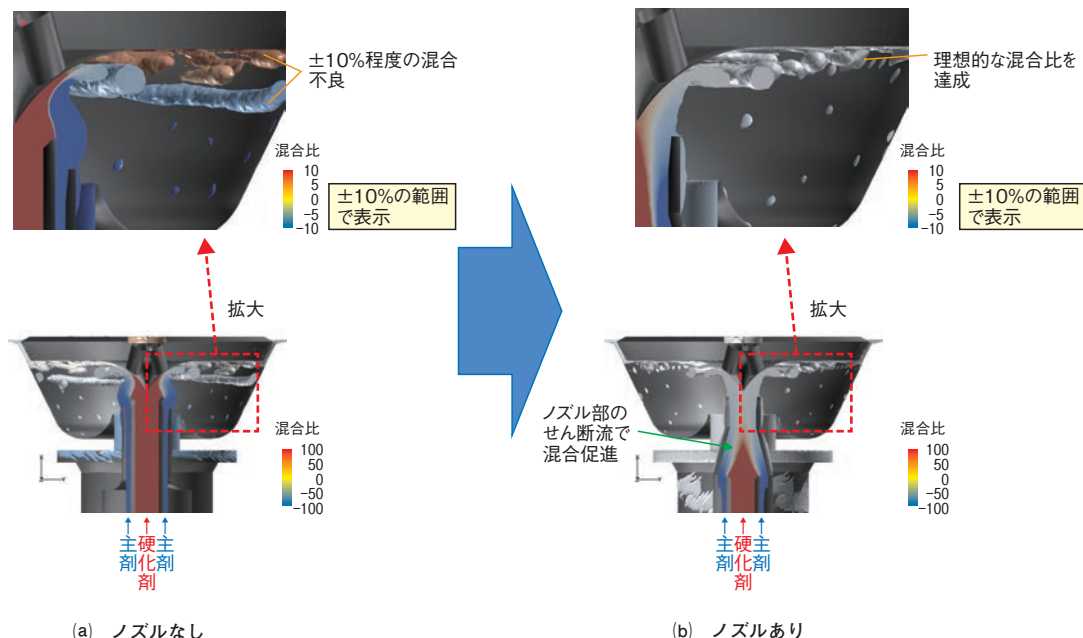


図6 CFD解析の結果  
Fig. 6 CFD analysis results

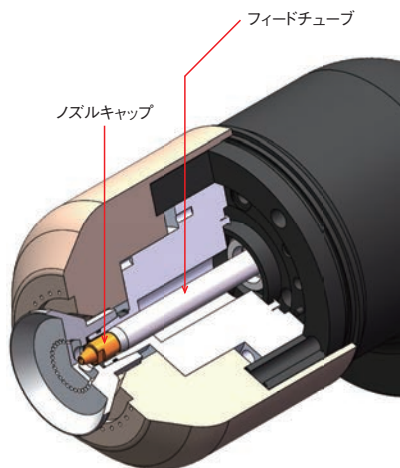


図7 先端二液混合塗装機断面図  
Fig. 7 Section of the coating machine that blends two components at the tip



図8 メキシコ工場の導入事例  
Fig. 8 Installation at a factory in Mexico

一般販売も開始しており、この技術を通して塗装業界全体で塗料の廃棄量を削減し、持続可能なものづくりの未来を築いていきたいと考えている。

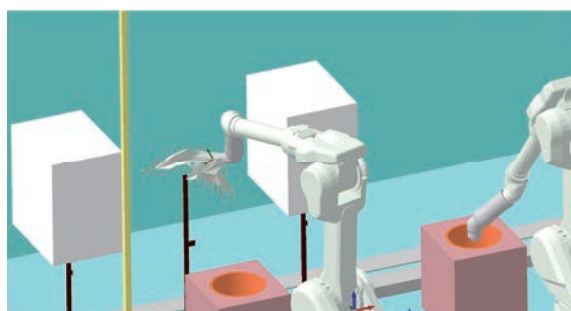
### 3 塗装時の塗料廃棄量削減に向けたロボットティーチング

#### (1) 塗装ロボットのティーチングプログラム作成

塗装時の塗料廃棄量を削減するには、塗着効率を向上させることが最も効果的である。近年、高塗着タイプのベル型静电塗装機による近接塗装が主流になりつつあり、当社も導入を開始している。しかし、塗着効率が良い近接塗装は、塗装機と被塗物の距離を従来よりも150mm近い100mmにしなければならない。図9に示すように、塗装機を被塗物へ近づければ衝突するリスクが増加するため、ロボットをどのように動かすのが重要となる。さらに、被塗物に多くの塗料が付着することで、被塗物のエッジに塗料が溜まり塗装不具合につながることから、従来と異なる軌跡でロボットを動かすティーチングプログラムを作る必要がある(図10)。すなわち高効率な塗装を実現するためには、今まで以上にロボット塗装が重要であり、塗装ロボットを巧みにティーチングするスキルが求められる。



(a) ティーチペンダントを使用したティーチング



(b) OLPを使用したティーチング

図10 塗装ロボットのティーチング手法

Fig.10 Method for teaching coating robots



(a) 従来の塗装



(b) 近接塗装

図9 高塗着塗装時の塗装機と被塗物の距離

Fig.9 Bell type coating: distance between a coating machine and an object to be coated

塗装ロボットに塗装機の運行を教える方法は図10に示すように2種類あり、現場でティーチペンダントを用いて行う方法とOLP (Off-Line Programming) を用いてティーチングする方法である。現場でティーチングを行う場合、工場の生産が終了してから行う必要があるため、夕方から夜間の作業となり生産技術員の負担が増加する。一方、パソコンを使ったOLPでは、現場の生産状況に関係なく作業ができるメリットがあるものの、1部品あたり約1日程度の時間を要することもある。そのため、簡単に効率的にティーチングプログラムを作成することが可能な新たなOLPツールが求められている。

#### (2) OLPを活用したティーチングの課題

OLPで作成した塗装ロボットのティーチングプログラムを最大限活用するためには、現実世界の環境(塗装ロボットの位置や被塗物の位置)とOLP内の環境を合わせなければならない。OLP内の環境と実際の環境に差異が生じている場合、ロボットの動作軌跡にも差異が生じることになり、塗着効率が良い塗装機を用いたとしても塗着効率は下がってしまう。

当社では3DCADを用いた製品設計を実施しているため、被塗物である樹脂カウリングや燃料タンクなどの部品は精度の高い3Dモデルが存在する。しかし、塗装ブースなどの設備については2D図面から製作されていることも



あり、精度の高い3Dモデルが存在しない。さらに、塗装設備は大型の構造物であるため、施工段階で図面と異なる点もあり、精度の高い3Dモデルを2D図面から作ることも難しい状況である。そこで、実際の塗装設備をLiDAR (Light Detection and Ranging) でスキャンし、そのデータから点群モデルを構築することで2D図面から作成した3Dモデルと比較し差異を確認した(図11)。

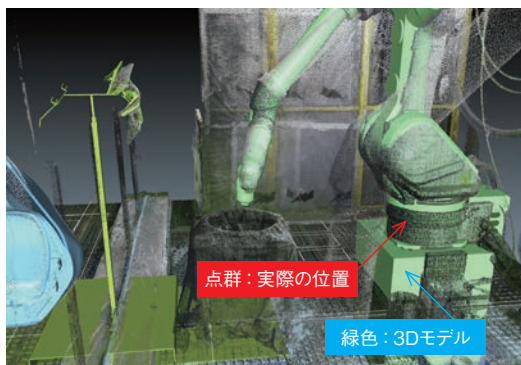
(i) 塗装ロボットの差異

点群モデルと3Dモデルの比較を図11(a)に示す。塗装設備の施工時に塗装ロボットのベースプレート設置位置が図面と若干異なった結果、塗装ロボットの設置位置にズレが生じ、塗装ロボットの塗装機と被塗物の相対位置が異なっていた。

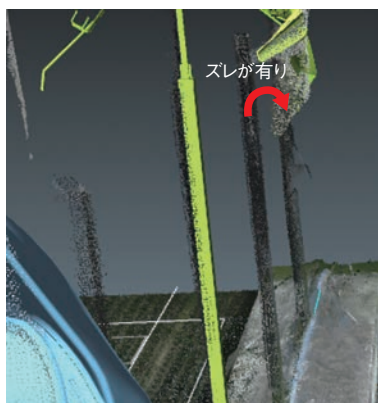
(ii) 塗装治具の差異

点群モデルと3Dモデルの比較を図11(b)に示す。塗装用の治具は3DCADを用いて設計を行っているが、被塗物の自重や重心による傾き、垂れ下がりやを考慮できていなかった。さらに、現場で使用していた塗装治具は経年劣化により変形が生じ、3Dモデルと異なった状態のものが運用されていた。

OLPで使用する3Dモデルの精度を向上させるために



(a) 塗装ロボットの差異



(b) 塗装治具の差異

図11 点群モデルと3Dモデルの比較  
Fig.11 Comparison of point-cloud and 3D models

は、実際の塗装設備の点群モデルを構築し比較することが重要である。その結果を元に3Dモデルを修正することで、実際の環境との差異を減らすことができた。この作業により一部の塗装ラインではOLPで作成したティーチングプログラムを現地調整なしで使用することができ、現地作業時間の大幅な削減が可能となった。

(3) 次世代ロボットティーチングシステムの開発

川崎重工業が開発したロボットの遠隔協調システムである「塗装Successor」(図12)の技術を活用して次世代ロボットティーチングシステムの開発を行った。「塗装Successor」は、ロボットの操作時にティーチペンダントの代わりとして、Wizardと呼ばれる専用のコントローラを動かすことで、人の手の動きに合わせて直感的にロボットを遠隔操作する技術である。この技術で使用されている、コントローラのトラッキング技術を活用して人間の手の動きをロボットの教示点作成に利用し、目的の場所に正確に素早く教示点を配置することを目指すことにした。また、VR技術と組み合わせることでOLP内に作られた環境に入り込み、実際のティーチングと同じような感覚で作業することも合わせて取り組んだ<sup>2)</sup>。

本システムで使用するVRデバイスは、安全のためVRゴーグルを装着していても周囲の環境が視認できるように、シースルー機能が搭載されたMeta Quest 3を選定した。パソコンにはOLPとしてVR機能に対応した特別な「K-ROSET」が導入されており、3Dモデルの入れ替えなどは「K-ROSET」を使用して操作する。「K-ROSET」はロボットの動作を高い精度で模擬可能なシミュレータである。ロボットの操作は図13のようにMeta Quest 3に付属しているコントローラを用いており、人間の手の動きでロボットを直感的に操作することが可能である。現実世界のロボットティーチングでは実現できないVRならではの視覚効果として、教示点や軌跡を視覚的にわかりやすく表示(図14(a))することや、ロボットと被塗物との干渉表示(図14(b))なども実現している。現在もティーチング補助

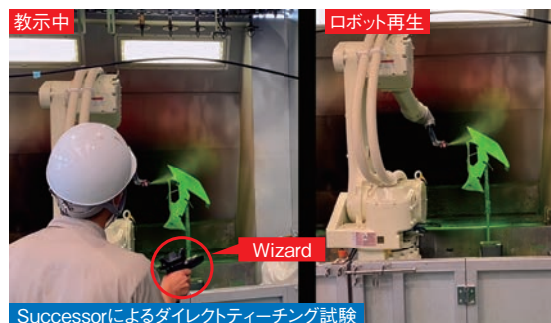


図12 塗装Successor  
Fig.12 Successor Wizard

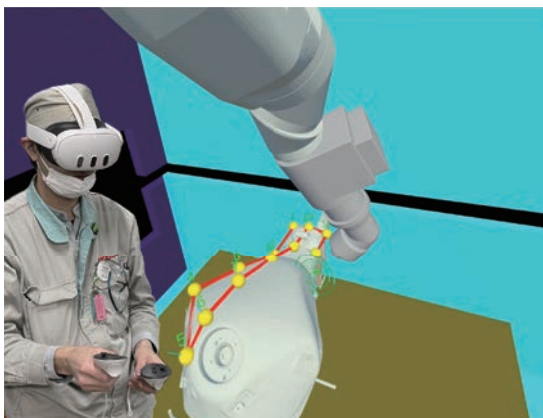
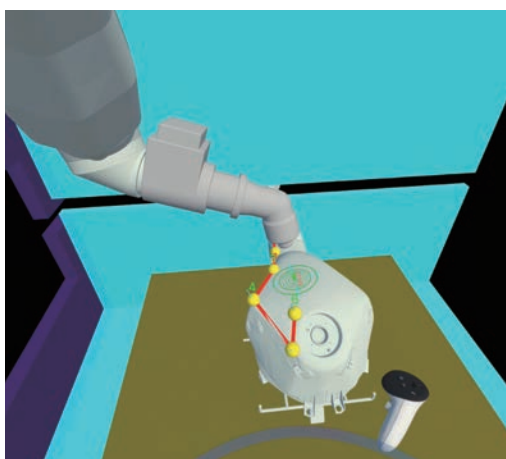
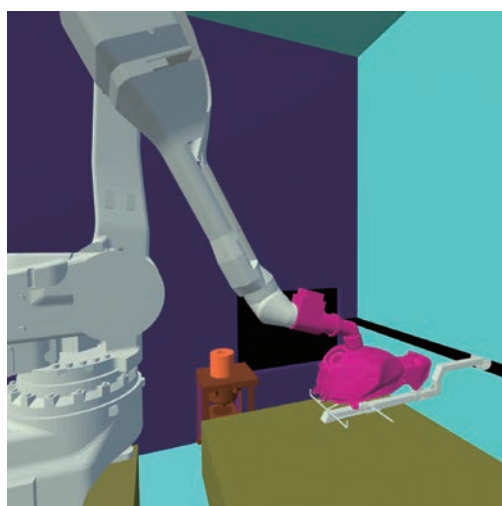


図13 選定したVRデバイス  
Fig.13 Selected VR device



(a) VR表示機能：教示点や軌跡の表示



(b) VR表示機能：ロボットとの干渉

図14 VR表示機能の例  
Fig.14 Example of VR display functionality

機能は開発中であり、随時機能アップする予定である。

本システムは、実際の工場設備と同じスケールの3Dモデルの中で作業ができることとロボットを自身の動作で直感的に操作が可能であるため、誰でも簡単に扱うことができるOLPとなった。現在は塗装ロボットのティーチング作業をメインに開発を進めているが、将来的にはハンドリングや溶接といった工程でも使用できるように目指していきたい。

## あ と が き

環境負荷低減を目指した塗装技術の開発を行い、部分的に導入を進め効果を検証してきた。今後は、このような技術を国内外の拠点に順次導入を進めることで、環境負荷低減を川崎重工グループ全体で達成する。

塗装工程は製品の保護と美観を向上するために行われるものであるが、多くのエネルギーを必要とし、また多くの廃棄物を生み出しているのが現状である。今後も地球環境への負荷低減を追求していくことで、持続可能なものづくりの未来を目指す。

## 参 考 文 献

- 1) 特許 第7064657号，“塗装液混合装置及び塗装液の混合方法”
- 2) 中川：“次世代塗装ロボット教示システム Successor+VRの開発”，自動車技術協会関西支部ニュース,第62号（2023）



中川 文 寛



足 立 尚 義



川 本 英 樹



朝 戸 達 健



内 藤 義 貴



石 友 真

# オフロード四輪新ラインナップ 「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズ

New Lines of Off-Road 4-Wheelers: The RIDGE and RIDGE XR Series



北米パワースポーツ市場ではオフロード四輪車の市場拡大が続いており、仕事と遊びの両方に対応できる汎用性を提供するため、「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズを開発した。高出力・高トルクを実現したカワサキ製999cm<sup>3</sup>水冷4ストローク並列4気筒エンジンを搭載するとともに、静かで広々とした快適なスペースと上質な仕上げを特長とするキャビンを備えている。2024年2月以降、米国およびカナダなど北米地域を中心に順次発売している。

## まえがき

北米パワースポーツ市場ではオフロード四輪車の市場拡大が続いており、ユーティリティ用途やレクリエーション用途などライフスタイルに密着した多彩な使われ方をして

## 2 製品の概要

日常作業用途向けの「RIDGE」シリーズと、レクリエーション用途向けの「RIDGE XR」シリーズがあり、それぞれに多くのバリエーションを設定することで幅広いニーズに対応している。オフロード用車両として必要な性能・強度を有するエンジン・駆動系システム、ロングトラベルサスペンション、高い最低地上高、十分な積載量を備えた荷台および頑丈なシャーシをシリーズ共通としている。

「RIDGE」シリーズは、日常作業での荷物の積み下ろしを容易にするため、小径タイヤを採用することで荷台高を低く設定している。また、エンジンの排気音量を低く抑えることで、長時間運転時の快適性向上を図っている。

「RIDGE XR」シリーズは、レクリエーション用途におけるオフロード走行性能向上のため、高出力エンジン・前後デファレンシャルロック機構付き駆動系システムおよび大径タイヤを採用している。

## 1 背景

当社が1988年から販売している「MULE」シリーズは、高い機能性と耐久性を有する日常作業用車両として知られている。また、2008年に登場した「TERYX」シリーズは、レクリエーション用途に応える走行性能を有した車両として販売している。「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズは、これまでのオフロード四輪車にはないレベルの快適性と品質、また日常作業とレクリエーション両方の用途に対応できる車両を目指して開発を行った（図1）。



図1 「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズのバリエーション  
Fig.1 Variants of the RIDGE and RIDGE XR series



### 3 主な特長

#### (1) エンジン

図2に示す新開発の999cm<sup>3</sup>の水冷4ストローク並列4気筒DOHC4バルブエンジンを搭載することで、リニアなレスポンスと滑らかなパワー特性を実現して、日常作業やレクリエーションの幅広い用途に対応している。4気筒エンジンならではの明瞭で爽快なサウンドが“操る悦び”を高めながらも車内で会話するのに十分な静粛性を備えている。

「RIDGE XR」シリーズのエンジンは、スポーツライディングに対応するため、「RIDGE」シリーズから出力とトルクをさらに向上させている。電子制御スロットルの採用により、3つのパワーモードを選択可能としている。Workモードでは、スロットルレスポンスを穏やかにして低速域のコントロール性を向上させている。Sportsモードは、よりリニアなスロットルレスポンスでスポーツライディングをサポートしている。Normalモードは両者のバランスを取った特性としている。

また、CVT (Continuously Variable Transmission) ベルトクラッチのキャッチ&リリースを制御することで、下り坂における信頼性の高いエンジンプレーキにより安定した走行が可能となっている。

#### (2) シャーシ

快適性に主眼を置いて開発した鋼管製ラダーフレームは剛性のバランスが良く、高い耐久性を実現しながらオフロード走行時の衝撃にも耐えられる適度な柔軟性を確保することで、高い乗り心地を実現している。

#### (3) デザイン・装備

全バリエーションに高輝度LEDヘッドライトに加えてライン型LEDポジションライトを備えることで、迫力ある表情を演出している。

高級感のあるD字型ステアリングホイールの感触・7インチTFTカラーのインストルメントパネルを内蔵したダ



図2 エンジン外観  
Fig.2 Engine exterior



図3 インテリア  
Fig.3 Vehicle interior

ッシュボードデザインとコントロール・室内空間を最大限に活用するために設計されたフラットデザインのドアハンドル・厳選された質感と角度の滑り止め付きフットレスト・フロア照明・バックライト付きスイッチや各部装飾部品など、ハイグレードなフィット&フィニッシュのディテールが、図3のような上質なインテリアに貢献をしている。

#### (4) サスペンション

前後にダブルウィッシュボーン式ロングホイールトラベルサスペンションを採用し、優れた地面追従性能と快適性を有している。

#### (5) フルキャブ・HVAC

(Heating, Ventilation and Air Conditioning)

前後ウィンドシールドおよび電動パワーウィンドウ付きフルドアが装備されているフルキャブ仕様を当社で初めて設定した。オフロード走行時のダスト環境から解放され、さらにエアコンにより夏の暑さや寒さを逃れて快適に過ごすことが可能となっている。

### あ と が き

「RIDGE」「RIDGE XR」シリーズは、2024年2月以降、北米地域を中心に順次発売している。「RIDGE」は英語で“頂 (いただき)”を意味し、“頂点に向けた挑戦”というカワサキの思いが込められており、引き続き、より良い商品とサービスを提供していく。

〔文責 カワサキモータース株式会社

四輪・PWCディビジョン 車両開発総括部 設計部  
山本 照晃〕

#### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社

<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>

# 4気筒エンジン搭載の新モデル「Ninja ZX-4R」

## New Model with 4-Cylinder Engine: Ninja ZX-4R



競争が激化する400cm<sup>3</sup>クラスのスポーツバイク市場に向けて、1989年モデルの「ZXR400」以来となる完全新設計の4気筒モデルを投入した。現行の競合モデルの最高出力35kWに対して、当モデルは57kW/14,500min<sup>-1</sup>と圧倒的なパフォーマンスを発揮するエンジンを搭載した新モデル開発した。

### まえがき

400cm<sup>3</sup>クラスのスポーツバイクは、元来日本の免許制度に合わせたモデルであったが、当社の「Ninja 400」が米国・欧州・中国にて大きく販売を伸ばしたことにより、全世界的に大きな台数が見込める市場となっている。

### 1 背景

「Ninja 400」は依然として市場で高い評価を得ているが、他社からも多数の競合モデルが投入されており競争が激化している。しかし、それら競合モデルは単気筒・2気筒エンジン搭載モデルが大半である。そこで当社は、それらを凌駕するモデルとして新たに4気筒エンジンを搭載した「Ninja ZX-4R」を開発した。

400cm<sup>3</sup>クラスの当社4気筒モデルは2008年モデルの「Zephyr400」以来であり、また完全新設計のスポーツ用4気筒400cm<sup>3</sup>エンジンとしては1989年モデルの「ZXR400」以来の約30年ぶりとなる。

### 2 仕様

今回開発した「Ninja ZX-4R」および「Ninja 400」「ZXR400」の主要諸元の比較を表1に示す。最新の2気筒モデル「Ninja 400」に比べて60%以上、過去の4気筒モデル「ZXR400」に比べて30%以上性能が向上していることがわかる。

### 3 特長

競合モデルに対して大きなアドバンテージとなる4気筒エンジンを採用して最高回転数を15,000min<sup>-1</sup>以上とすることで、4気筒ならではの爽快なエキゾーストサウンドを実現している。また上位モデルの「ZX-6R」「ZX-10R」と同様のラムエアインテークシステム（図1）を採用して、ラム圧を用いた充填効率向上により59kW（80馬力）の出力を発揮している。

#### (1) エンジン

「Ninja ZX-4R」および「Ninja 400」の出力特性比較を図2に示す。4気筒化することでピストン・コンロッドが軽量となり高回転化が可能となっており、特に10,000min<sup>-1</sup>以上の高回転域での出力が大幅に向上している。また、図3に示す燃焼室のスキッシュエリアを構成する形状の精度を機械加工により向上させることで、ピストンとのクリアランスを縮小して高圧縮比化、および吸気抵抗を低減させるφ34の大径スロットルバルブと「ZX-10R」

表1 「ZX-4R」「Ninja 400」「ZXR400」の主要諸元  
Table 1 Main specifications of ZX-4R, Ninja 400, and ZXR400

	「ZX-4R」	「Ninja 400」	「ZXR400」
エンジン形式	直列4気筒	直列2気筒	直列4気筒
排気量 [cm <sup>3</sup> ]	399	399	398
ボアストローク	57×39.1	70×51.8	57×39.0
最大出力 [kW]	57 / 14,500 min <sup>-1</sup>	35 / 10,000 min <sup>-1</sup>	43 / 12,000 min <sup>-1</sup>
最大トルク [N・m]	39 / 13,000 min <sup>-1</sup>	37 / 8,000 min <sup>-1</sup>	39 / 10,000 min <sup>-1</sup>
圧縮比	12.3	11.5	12.1

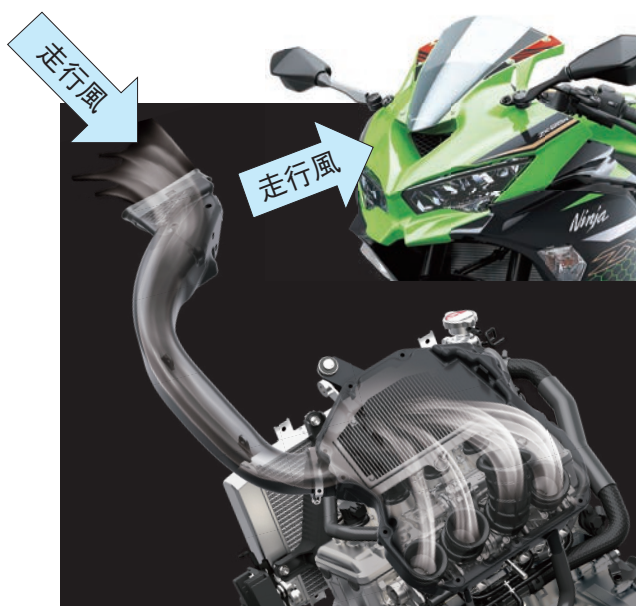


図1 ラムエアシステム  
Fig. 1 Ram-air system

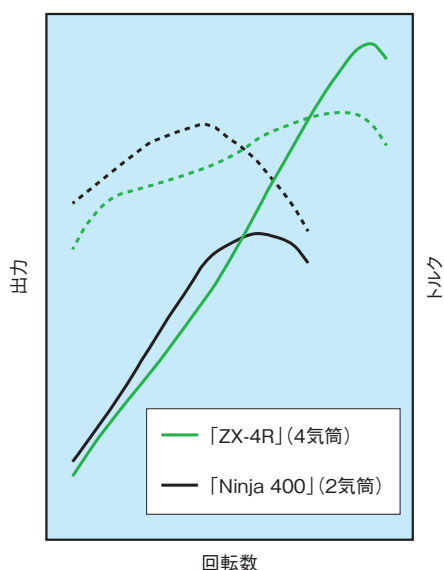


図2 「ZX-4R」と「Ninja 400」の性能曲線  
Fig. 2 Performance curves of ZX-4R and Ninja 400

同様のバルブシート部の加工を採用，などにより高出力を実現している。

## (2) フレーム

250cm<sup>3</sup>モデルである「ZX-25R」のフレームをベースとして，FEM解析により出力向上に対応する箇所を絞り，フレームの質量増加は+1 kg以内としている。他の主な変更点を，エンジン性能の向上に対応したフロントブレーキのシングルからダブルへの変更，高速域での安定性を高めるためのタイヤサイズのフロント110/70/17・リヤ150/60/17からフロント120/70/17・リヤ160/60/17への変

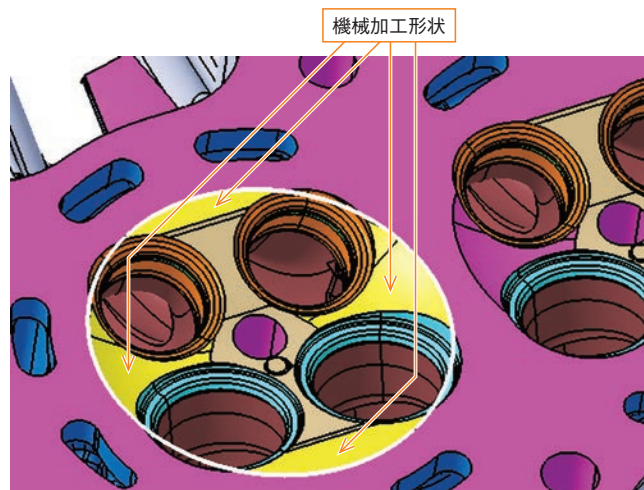


図3 燃焼室形状  
Fig. 3 Combustion chamber configuration

更に絞ることで，車重は「ZX-25R」に対して+6 kgに抑えている。

## (3) 電子装備

4気筒400cm<sup>3</sup>モデルとしては初となる電子制御スロットルを採用することで，パワーモードと上下双方向クイックシフタを採用している。また，コネクティッドに対応したフルカラー TFTメータによりライダーに利便性を提供するとともに，サーキットでの走行を楽しむモードでも表示可能となっている。

## あとがき

排ガス規制はEURO 5，騒音規制はR41-05に対応することで全世界への販売が可能となっている。中国・日本・米国・欧州をはじめ世界各国の規制に対応させたモデルを設定している。

本モデルにより長期間当社ラインナップからはずれていた400cm<sup>3</sup> 4気筒モデルを復活させ，2024年時においては世界で唯一の4気筒400cm<sup>3</sup>量産モデルとなっている。また各種規制が強化される中で大幅な出力向上を達成しており，当社の技術力をアピールする車両となっている。

〔文責 カワサキモータース株式会社  
MCディビジョン 第一設計部 成岡 翔平〕

### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社  
<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>



## 扱い易さと高性能を両立「Ninja 500」「Z500」

Building High Performance with Ease of Handling: Ninja 500 and Z500



扱い易さ・高性能を両立させたモデルとして市場で広く受け入れられている「Ninja 400」「Z400」に対して、カテゴリ内での優位性をさらに強化するべく、エンジン排気量をアップ、意匠および装備面のアップデートなどの商品改良を行い、商品力向上に繋げる開発を行った。低中速域を重視したエンジン性能の向上および新型フルLCDメータによる商品性向上、「Z500」においては新型LEDヘッドライトを採用して小型化による意匠性向上と夜間視認性向上の両立を達成した。

## まえがき

当社は、本モデルの系譜として、2008年に世界戦略車として「Ninja 250R」を市場に投入して以来、排気量を上げつつ本カテゴリーのマーケットリーダーとして市場をけん引してきたが、競合他社も特色のある新モデルを市場に投入してきており、シェア競争がより一層激しくなっている。

## 1 目 的

扱い易さ・高性能を両立させたモデルとして市場で広く受け入れられている「Ninja 400」「Z400」に対して、カテゴリ内での優位性をさらに強化するべく、エンジン排気量をアップすることによりカスタマーにさらなる価値を提供し、また意匠および装備面のアップデートを行うことで、商品力向上に繋げる開発を行う。

## 2 仕 様

エンジンはストロークアップによる排気量アップを実施し、出力制限のないフルパワー（以後FP）仕様と、出力制限のある欧州向けのA2ライセンス（以後A2）仕様とした。

今回開発した「Ninja 500」「Z500」と従来モデルである「Ninja 400」「Z400」の主要諸元の比較を表1に示す。車体関連諸元については好評である従来モデルを踏襲している。

## 3 特 長

## (1) エンジン性能

メインカスタマーであるエントリー層にさらなる「Ease of Riding」を感じてもらうべく、扱い易さに配慮した排気量アップという視点で、一般道や高速道路といった走行シチュエーションでの余裕を持った加速を想定し、低・中速

表1 従来モデルとの主要諸元比較

Table 1 Comparisons of principal specifications with previous models

機 種 項 目	「Ninja 500」 FP仕様	'23「Ninja 400」 FP仕様
エンジン形式	4サイクル水冷 並列2気筒 DOHC 4バルブ	←
排気量 [cm <sup>3</sup> ]	451	399
ボア×ストローク [mm×mm]	70.0×58.6	70.0×51.8
ベンチ最高出力 [kW]	38.3 / 10,000 min <sup>-1</sup>	35.0 / 10,000 min <sup>-1</sup>
ベンチ最大トルク [N・m]	42.6 / 7,500 min <sup>-1</sup>	37.0 / 8,000 min <sup>-1</sup>
シート高 [mm]	785	785
車両質量 [kg]	171	168

機 種 項 目	「Z500」 A2仕様	'23「Z400」 A2仕様
エンジン形式	4サイクル水冷 並列2気筒 DOHC 4バルブ	←
排気量 [cm <sup>3</sup> ]	451	399
ボア×ストローク [mm×mm]	70.0×58.6	70.0×51.8
ベンチ最高出力 [kW]	33.4 / 9,000 min <sup>-1</sup>	33.4 / 10,000 min <sup>-1</sup>
ベンチ最大トルク [N・m]	42.6 / 6,000 min <sup>-1</sup>	37.0 / 8,000 min <sup>-1</sup>
シート高 [mm]	785	785
車両質量 [kg]	167	167

域のパワーフィーリング向上に重点を置いた開発を行った。

(i) FP仕様

図1(a)に示すように、出力・トルクは全域で「Ninja 400」を上回り、加速性能の向上を実現した。燃費については「Ninja 400」同等を確保した。

(ii) A2仕様

出力規制がある中で、より低・中速域での性能向上を狙い開発を行った。図1(b)に示すように、低回転域から出力ピークにかけて「Z400」を上回る出力特性とし、常用域での扱いやすさをさらに向上させた。WMTC燃費で「Z400」の25.5km/Lから「Z500」の26.2km/Lと向上した。

(2) メータ・灯火器

「刺激的でワンランク上」をキーワードとし、メータ・灯火器類も含めて意匠外観のアップデートを行った。

本モデルはSTD (Standard) 仕様のメータ図2(a)・テールランプおよび「Z500」のヘッドランプは今回新規開発を行った。またSE (Special Edition) 仕様にはTFTメータ図2(b)を搭載することで商品力・視認性を向上させた。さらにスマートフォン連携機能を新たに搭載してユーザーの利便性を高めている。

(i) メータ

STD仕様のメータとしては、新型高精細・高コントラストのIBN (Improved Black Nematic) 液晶メータを開発して商品力を向上させた (当社モデルとして初採用)。

(ii) ヘッドランプ「Z500」

開発初期段階から、設計・評価ライダー・デザイン・取引先にて「小型化と明るさの両立」という目標を掲げ、共通認識の下で造り込みを行った結果、意匠レイアウト上優位となるコンパクト化と、図3に示すような夜間視認性向上の両立を実現させた。



(a) STD



(b) SE

図2 メータ外観

Fig. 2 Meter appearances



図3 配光性能の比較

Fig. 3 Comparison of lighting performance

(3) 扱い易さ

車体についてもエンジン特性と同様に、扱い易さを重視した造り込みを行った。

(i) 軽量な車体

「Ninja 400」「Z400」の最大のポイントでもあった圧倒的に軽量なフレーム骨格を踏襲し、従来250ccクラス並みの重量をキープしており、取り回し容易性へと繋げている。

(ii) ライディングポジション

従来モデルでも好評である、過度にスポーティな前傾姿勢を避けた、オールラウンダーとして最適なさまざまなシチュエーションに優位性のある快適で懐の深いライディングポジションとしている。

あとがき

従来モデル同様、高性能かつ扱いやすさを両立させたモデルとして、エントリー層やリターンライダー、女性といった多くのユーザーに満足していただけることを確信している。

〔文責 カワサキモータース株式会社

MCディビジョン 第二設計部 牧原 稔〕

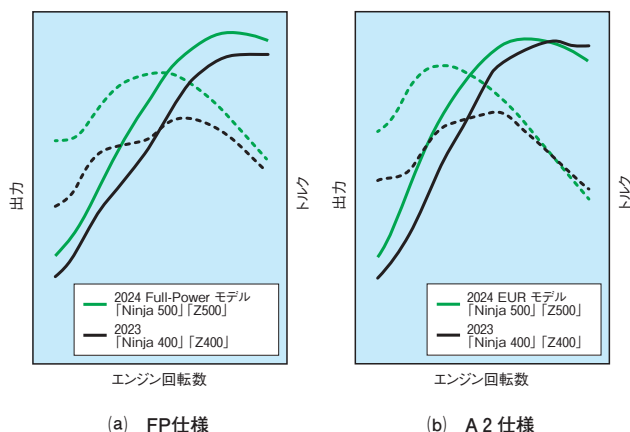


図1 性能特性の比較

Fig. 1 Comparisons of performance curves

〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社

<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>

# 軽量・足つきのよい気軽な新型クルーザー 「ELIMINATOR」 「ELIMINATOR SE」

New, Lightweight Cruisers with Enhanced Ground Reach:  
ELIMINATOR and ELIMINATOR SE



昨今のカスタマーの志向として、各自のライフスタイルに溶け込むようなモデルが求められている。そこで、快適なライディングポジションを備え、気軽に楽しめる現代的なクルーザースタイルのモデルとして「ELIMINATOR」を開発した。  
当モデルは400cm<sup>3</sup>クラス最軽量のクルーザーモデルであり、低いシート高と併せて初心者でも安心できる取り回しを実現した。

## まえがき

2020年から世界中に広がったCOVID-19の影響により、生活における二輪車の存在が見直され、日常の足から週末のレジャーにいたるまで、密を避ける移動手段として需要の高まりを見せている。

## 1 背景

昨今のカスタマーの志向として、二輪車を中心にある生活ではなく、自分の趣味の中に二輪車を取り込みさらに生活を充実させたいという購入動機が増えており、各自のライフスタイルに溶け込むようなモデルが求められている。そこで“軽量・足つきの良いeasy commuter”をコンセプトに、快適なライディングポジションを備え、気軽に楽しめる現代的なクルーザースタイルのモデルとして「ELIMINATOR」と「ELIMINATOR SE」を開発した。

## 2 製品の仕様

スリムでロー＆ロングなスタイル・低く快適なシート・軽快かつ自然なハンドリングなど日常的な使い方からロングツーリングに至るまで、扱いやすさを重視した。400cm<sup>3</sup>クラスのクルーザーモデルでは最軽量であり、低いシート高と合わせて初心者でも安心できる取回しを実現している。

## 3 製品の特長

### (1) ライディングポジション

「ELIMINATOR」では、ライダーの快適性を確保するため、図1に示すように「Z400」に対して上体を起こしゆったりとしたライディングポジションを備えている。また、ステップ位置は多くのクルーザーモデルに見られるフォワードコントロールではなくミッドコントロールを採用することで、膝が適度に曲がる自然なライディングポジションを実現している。

### (2) 車両取回し性

初心者にも安心して取り扱えるように、エンジンを剛性・強度メンバとしてフレームを最適化するなど車体の軽量化

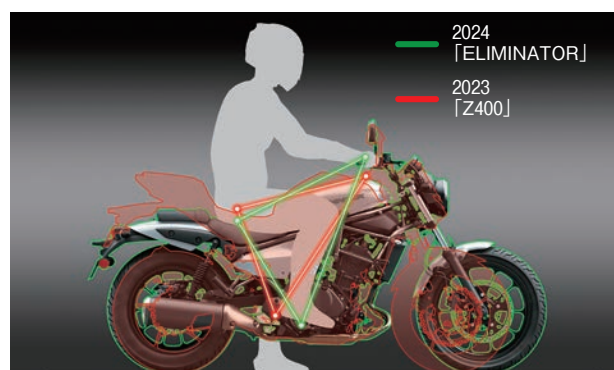


図1 ライディングポジションの比較  
Fig. 1 Comparison of riding positions



を追求した。また、図2に示すように、バッテリーや冷却水のリザーブタンクなどの重量物をシート下に配置することで重心位置を「Z400」に対してライダー側に近づけるとともに、シート高を735mmと低くすることで、跨ったときの安心感に加えて停車時や引き起こし時の取回し性を向上させた。加えてクルーザーモデルらしい1,520mmのロングホイールベースと30°と角度のついたキャスト角を採用しながら、図3に示すようにトレールを一般的なクルーザーモデルからスポーツモデル寄りにすることで軽快かつ自然なハンドリングを実現させた。

### (3) 乗り心地

長時間のライディングでも快適な乗り心地を実現させるために、低いシート高ながらロック機構をシート前方に配置することで、座面部分に十分なウレタン厚を確保した。またウレタン底面に空洞を設けることで、図4に示すように空洞の無いウレタンに比べ跨ったときの面圧が分散され、乗り心地のさらなる向上につながった。さらにアクセサリとしてハイシート（シート高：765mm）とローシート（シート高：715mm）を設定することで、幅広い体格のライダーが快適にライディングを楽しむことができる。

### (4) ドライブレコーダの採用

二輪車向けのドライブレコーダは、搭載場所や取付作業の難易度から四輪車に比べて普及は遅れているものの、

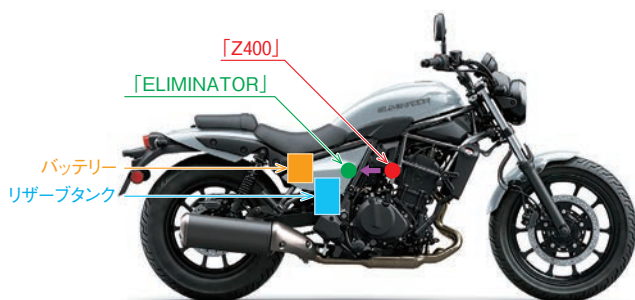


図2 重心位置の比較  
Fig. 2 Comparison of gravity center

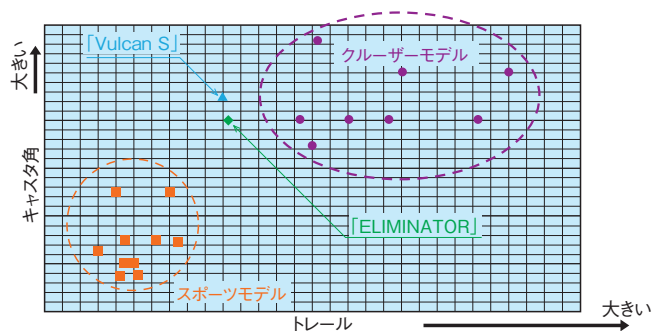


図3 キャスタ角／トレールの比較  
Fig. 3 Comparison of caster angles and trails

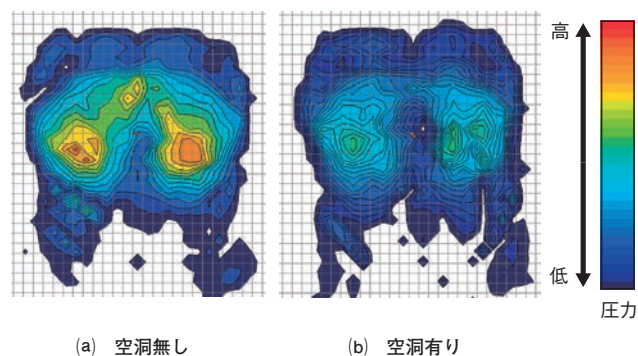


図4 シート面圧の比較  
Fig. 4 Comparison of pressure distribution on seat surfaces



図5 GPSおよび前後カメラ  
Fig. 5 GPS and both front and rear cameras

徐々に需要の高まりを見せている。「ELIMINATOR SE」では専用に開発した取付ブラケットやハーネスのレイアウトにより、すっきりとした外観を実現した。なお「ELIMINATOR SE」は図5に示すGPS搭載・前後2カメラ型ドライブレコーダをモーターサイクルの市販車として世界で初めて標準装備\*した。

※日本仕様のみ（2023年3月カワサキモータース調べ）

### あ と が き

販売後、日本バイクオブザイヤー2023小型二輪部門で最優秀金賞を受賞するなど好評を得ており、市場ニーズに合わせた商品を提供できたと考えている。今後も市場の動向を見極めながら、カスタマーに寄り添った製品開発を続けていきたい。

〔文責 カワサキモータース株式会社  
MCディビジョン 第二設計部  
柏原 健†／岩本 太郎〕

### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社  
<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>

# オールラウンドニューモトクロッサー「KX450」

## New All-Round Motocross Bike: KX450



1973年のデビュー以来、『Built to Win』の哲学を50年以上も揺らぐことなく受け継ぎ、常に表彰台の頂点を目指すべく、先進のテクノロジーを投入し進化を続ける「KX450」。

最高峰のレースであるAMAスーパークロス選手権で数多くの勝利を掴んできた。今回『オールラウンド』をコンセプトにおきマシン性能はもとより装備面についても業界最高水準を目指して開発を行い、市場で高評価を得ている。

### まえがき

モトクロスは、AMAスーパークロスやモトクロス世界選手権MXGPなどの国際的な大会を通じて世界中で親しまれている。AMAスーパークロスは、アメリカの都市部や大型アリーナで開催される人気の高い競技であり、多くのファンにとって刺激的なスペクタクルとなっている。テクニカルで迫力のあるジャンプ、接触を伴う激しいコーナーでのバトル、横一線のスタートからのクラッシュなど、予測不可能な展開が緊張感やドラマを生み、そして観客を魅了し、モトクロスを独特の魅力あるモータースポーツへと昇華させている。

近年では新たなメーカーも参入して競争が激化しており、いっそう魅力あるマシンが必要になってきている。

### 1 背景

「KX」の歴史は1973年の初代デビューから始まり、50周年を迎える今日まで、1年たりとも開発の手を止めることはなかった。レースでの勝利は、AMAスーパークロスでの2011年から2014年までの4連覇をはじめ、数々のタイトルを獲得してきており、そのパフォーマンスの高さを証明している。「KX」の開発哲学は、勝つためのマシンづくりを目指し、「Built to Win」の哲学に基づいている。エキスパート向けモトクロッサーとして、「KX450」は何十年にもわたって、常に表彰台の頂点を目指すべく、先進のテクノロジーを投入し進化を続けている。

### 2 開発コンセプト

この開発哲学を具現化するべく、「オールラウンダー」を開発コンセプトとし、レースで勝つための全方向の性能向上を目指した。特に扱いやすいマシンづくりを目標に路面コンディションが悪くコントロールが難しい状況でも、うまく走れるようなマシンの開発を目指した。

また、さまざまな面からライダーをサポートするための装備の充実を業界最高水準レベルで行い、シーズンを通してチャンピオンシップを目指せるマシンづくりを目標とした。

### 3 特長

応答性の高いエンジンと軽快なシャシーで定評のある従来モデルに対し、コントロール性を高めた新エンジンと、フロント安定性を高めた新シャシーを搭載した。

#### (1) 車体性能

フレーム前部の部分的な剛性に着目し、軽快性と安定性に寄与する剛性を分離し、それぞれを最適な剛性とする事で従来の機種で評価の高かった軽快性を残しつつ、フロント部分のコーナー安定性を大幅に改善した。図1に示すように、この相反する性能を高次元で両立したことで、コーナー進入の速度を高め、より速く安定してコーナーを旋回できるようになり、ラップタイムの短縮に貢献している。また車体が安定したことで転倒のリスクを軽減し、ライダーの疲労も軽減している。

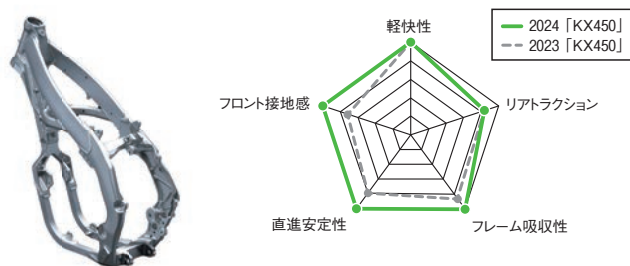


図1 車体性能レーダーチャート  
Fig. 1 Chassis performance radar chart

## (2) エンジン性能

新しいエンジンでは、図2に示すようなフラットなトルク特性や高速域での出力向上により、中高速の力強いトルク感とスムーズかつコントロール性の高いドライバビリティを実現した。その実現のための一翼を担うのが、図3に示す吸排気のストレート化とダウンドラフトの採用であり、充填効率や排気効率を高めている。これに伴い、部品レイアウトを大幅に変更し、吸気ダクトとフレームの構成部品の配置を逆転させたり、ショックの配置を変更するなど様々なレイアウト技術を駆使している。

## (3) スマートフォンコネクティビティ

スマホアプリ「RIDEOLGY THE APP KX」によってスマートフォンからエンジンマップ（燃料噴射量、点火時期）を調整し、エンジン特性の変更が行えるようになった。従来モデルのアクセサリーであったKX FIキャリブレーションキットを標準化かつ無線で操作できるようにしたこと、より簡単・手軽に使えるようになった。シンプルで使いやすいインターフェイスと相まって、セッティングをしたことのないユーザーでも好みや路面状況の変化に対し、エンジン特性を合わせることができるようになった。

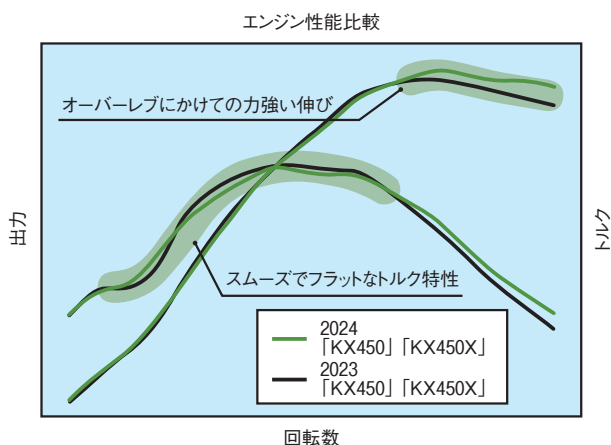


図2 エンジン出力特性の比較  
Fig. 2 Engine performance comparison

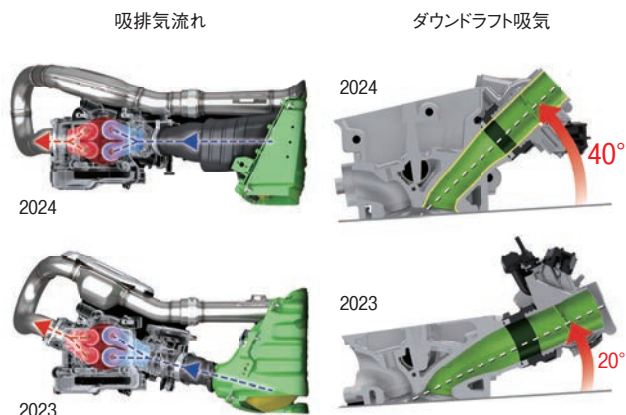


図3 吸排気レイアウト比較  
Fig. 3 Comparison of intake and exhaust layouts



図4 その他最新装備例  
Fig. 4 Other cutting-edge components

さらにエンジンモニタリング・メンテナンスログ・セッティングのログを記録することもできる。

## (4) その他

走行性能だけでなく、図4に示すようなライダーをアシストするアイテムなどや商品性の高いアイテムを採用することで製品としての魅力を高めた。

- ・コントロール性に優れたブレンボブレーキ
- ・交換が容易なODI製ロックオングリップ
- ・安定した加速を実現するトラクションコントロール

## あ と が き

開発に関わった取引先の皆様やKawasaki Motors Corp., U.S.A.の方々など関係者の皆様に深く感謝申し上げます。皆様の尽力と協力により、この開発を成功裏に完了することができました。心より感謝申し上げます。

〔文責 カワサキモータース株式会社  
MCディビジョン 第三設計部 平山 盛士〕

## 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社  
<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>



# 高出力・低燃費の乗用芝刈機用エンジン「FX820V EVO」 High-Power and Low Fuel Consumption Engine for Riding Mowers: FX820V EVO



米国の芝関連コマーシャル市場では、電子制御燃料噴射装置EFIを搭載したエンジンのニーズが増加している。当社も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システムを適用したモデルを投入したが、競合メーカーも製品ラインナップを揃えてきている。そこで、作業機メーカーでの当社エンジン採用率を上げるために、従来モデルを凌駕するEFI専用設計した高出力で低燃費の新世代エンジン「FX820V EVO」を開発した。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、燃料噴射量を精度良く制御でき低燃費化や良好な始動性が実現できる電子制御燃料噴射装置EFI（Electronic Fuel Injection）搭載エンジンが作業機メーカーの乗用芝刈機に採用されるようになり、より高性能なモデルが求められている。

## 1 背景

米国では、一般家庭の庭や公共施設・スーパーマーケットなど広い土地の芝の手入れをプロの庭師（ランドスケーパー）に任せることが一般的である。ランドスケーパーが自身の利益を最大化とするために製品に求めていることは、故障して作業が中断されないこと、大型の作業機で短時間に広い面積の芝を刈れるよう高出力であること、低燃費で単位面積当たりの芝刈り作業にかかるコストが安いことである。

当社の製品はこのようなコマーシャル市場において、品質や信頼性で長年高い評価を得てきた。一方で、競合エンジンメーカーも低燃費を特徴とするEFI搭載モデルのラインナップを充実させてきた。当社も早期にEFI仕様をシリーズ化するため、従来のキャブレター仕様のエンジンのブロックを流用した「FX850V-EFI」を開発し市場へ投入した。

しかし、EFI仕様のエンジンに対しては、さらなる付加価値を作業機メーカーは求めている。そこで、より高出力で低燃費なエンジンを実現するためEFI搭載を前提とした新世代エンジン「FX820V EVO」を開発した。

## 2 仕様

EFI専用機として主要部品を新設計した「FX820V EVO」とキャブレター仕様のエンジンブロックを流用した従来機種「FX850V-EFI」の主要諸元の比較を表1に示す。EFIによる精度の高い燃料噴射制御を前提とした「FX820V EVO」は、従来の2バルブ（吸気1本、排気1本）から3バルブ（吸気2本、排気1本）を採用すると共に、

表1 「FX820V EVO」と「FX850V-EFI」の主要諸元

Table 1 Comparison of principal specifications: FX820V EVO vs. FX850V-EFI

項 目	「FX820V EVO」	「FX850V-EFI」
エンジン形式	空冷縦軸 V-twin	
動弁機構形式	OH-3V	OH-2V
排気量 [cm <sup>3</sup> ]	822	852
ボア×ストローク [mm]	83×76	84.5×76
圧 縮 比	9.1	8.2
最大出力 [kW]	24.1 / 3,600 min <sup>-1</sup>	19.9 / 3,600 min <sup>-1</sup>
最大トルク [N・m]	65.9 / 2,600 min <sup>-1</sup>	62.0 / 2,400 min <sup>-1</sup>
全長×全幅×全高 [mm]	519×521×624	524×515×620

さらに高圧縮比化している。また、排気量は30cc減らしてダウンサイジングとなっている。

### 3 特 長

EFI専用機として主要部品が新設計されたエンジンは、特に吸排気系・燃焼系部品を最適化することで出力の向上と燃費の低減を実現している。一方で出力向上に伴うエンジンの発熱量の増加に対しては、冷却性能を強化して各部の耐久性を向上させることで、従来モデルと同様に信頼性を確保している。さらにメンテナンス性を向上させており、複数台の作業機を管理しているランドスケーパーでも従来よりも短時間で点検整備が可能である。

#### (1) 出力向上

高圧縮比化と、吸気バルブ2本化により熱効率と混合気の充填効率を高めている。図1に示すように、常用エンジン回転数である $3600\text{min}^{-1}$ における出力は、従来モデルに対して約20%向上している。

#### (2) 燃費低減

吸気通路の抵抗が下がるよう吸気系部品のレイアウトを最適化して、さらに燃料と空気の混合比である空燃比を薄くすることで、常用出力域での燃料消費率が従来機種に対して約20%低減している。

#### (3) 耐 久 性

シリンダーヘッドは、従来のダイカスト製から高温時の耐久性が高い低圧鋳造製に変更している。

さらに、冷却風の導風構造を見直して高温部位に冷却風

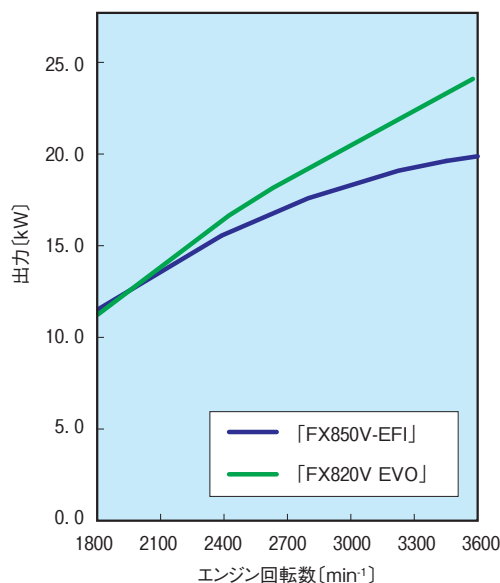


図1 「FX820V EVO」と「FX850V-EFI」の性能曲線  
Fig. 1 Performance curves of FX820V EVO and FX850V-EFI



図2 「FX820V EVO」が搭載された乗用芝刈機  
Fig. 2 Riding mower equipped with FX820V EVO

が集中するように設定した。これにより高出力化に伴う温度上昇が抑えられ、高温状態でも従来モデル以上の耐久性を確保している。

#### (4) メンテナンス性

シリンダーやシリンダーヘッド周辺に堆積してオーバーヒートの原因となる芝を頻繁に容易に除去できるように、エンジンカバーの一部にメンテナンス用の広い開口部を設けている。またオイルの交換やチェックを短時間で実施できるように、オイル注入口となるオイルフィルターを高い位置に設置して、さらに大型化している。

### 4 納入事例

当モデルは2023年1月からKMM/Maryville工場にて、米国市場向けに量産を開始している。作業機メーカー各社は主に、図2に示すようなZero Turn Radiusタイプと呼ばれる後輪の左右輪に回転数差を与えて操舵する非常に小回りの効く乗用芝刈機に搭載して市場投入している。

### あ と が き

1,000ccクラスのエンジンに迫る出力でありながら燃料補給の回数が少なくなったと市場でも好評である。今後はEVOシリーズとして他排気量クラスへも展開し、市場のニーズに応えていきたい。

〔文責〕 カワサキモータース株式会社  
汎用エンジンディビジョン 開発部 小林 靖卓

#### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社  
<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>

# 自然吸気エンジン搭載ジェットスキー 「ULTRA 160LX」「ULTRA 160LX-S」

Jet Skis with Naturally Aspirated Engines: ULTRA 160LX and ULTRA 160LX-S



パーソナルウォータークラフト市場において、高機能や装備を充実させたカテゴリーが拡大している。当社は、今までにない革新的なスタイルと装備・機能を採用した自然吸気エンジンを搭載したジェットスキー「ULTRA 160LX」「ULTRA 160LX-S」を2023年に開発し、全世界で発売した。水流を左右に導く船首構造やジェット噴流の前後方向切り替えのモーター駆動化を始めとして、他社を圧倒する新装備と高機能により市場で好評を博している。

## まえがき

パーソナルウォータークラフト (PWC) 市場においては、シートに座って操縦できるランナバウトタイプが安定して乗りやすく、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、市場の中心となっている。このカテゴリーでは、高機能や装備を充実させたモデルが拡大しており、各メーカーもモデルラインナップを急速に拡充している。

## 1 背景

当社も2022年モデルとして革新的な装備や機能を新規搭載した高性能過給エンジンの「ULTRA 310LX」「ULTRA 310LX-S」「ULTRA 310X」を発売し市場から非常に高い評価を得た。

さらにこのカテゴリーのモデルラインナップを拡充するべく、市場からの要望が大きい自然吸気エンジンを搭載した「ULTRA 160LX」「ULTRA 160LX-S」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 160」に搭載している環境対応型4ストローク4気筒1,498cm<sup>3</sup>の高出力自然吸気エンジンを搭載した。船体は、「ULTRA 310LX」をベースにジェットポンプを最適化している。「ULTRA 160LX」「ULTRA 160LX-S」の主要諸元を表1に示す。また、表2に示すように、当社独自の技術も含め

て新しい機能や装備を採用している。

表1 主要諸元  
Table 1 Principal specifications

項目		
全長 [mm]		3,580
全幅 [mm]		1,195
全高 [mm]	ULTRA 160LX	1,240
	ULTRA 160LX-S	1,180
燃料タンク容量 [リットル]		80
エンジンタイプ		4ストローク 4気筒
ボア×ストローク [mm]		83×69.2
排気量 [cm <sup>3</sup> ]		1,498
最大出力 [kW]		112 / 7,500 min <sup>-1</sup>
最大トルク [Nm]		144 / 5,750 min <sup>-1</sup>

表2 仕様比較  
Table 2 Comparison of features

	「ULTRA 160LX」	「ULTRA 160LX-S」
電子制御減速リバースシステム	●	●
7インチTFTメーター	●	●
前後調整式ラグジャリーシート	●	—
スポーツシート	—	●
サイドストレージ	●	●
クリート	●	●
マルチマウントシステム	●	●
カップホルダー	●	●
延長リヤプラットフォーム	●	●
リヤビューカメラ	●	●
アクセントライト	●	●
メーターバイザー	●	—
4スピーカーオーディオシステム	●	—

●は当社独自の機能・装備



### 3 特 長

このカテゴリーの市場の要求を満足させるため、当社独自のスタイリング・機能・装備を搭載した。

#### (1) 革新的なデザイン

ダイナミックで引き締まったスタイリングを採用。フロントにはPWC初となるLEDアクセントライトを配置して精悍な顔付きとした。さらに新設計されたバンパーとフロントハッチによって、図1のように走航時の船首にかぶった水流を左右に導くことができる。これによって、ライダーにかかる水しぶきを低減させて、快適性を向上させた。

#### (2) 電子制御減速リバースシステム (KSRD)

PWCは、後方に排出しているジェット噴流をリバース用バケットで前方に向けることで後進する。従来はバケットを手動レバーで動かしていたが、当社独自の電子制御減速リバースシステム (KSRD) を開発して、図2で示すようなモーター駆動化した。

操作レバーについてもスロットルレバーと一体式のサムレバー構造にすることで、片手のみで前後進の切替えができるようにした。これによって、ユーザーは走航時や着岸時の減速や後進を容易に行うことができるようになり、操作性が格段に向上した。このシステムでは以下のような機能も搭載している。



図1 船首付近にかぶった水の流れ  
Fig. 1 Water flow along bow



図2 KSRDのシステムのイメージ図  
Fig. 2 Image of KSRD system



図3 「ULTRA 160LX-S ANGLER」のイメージ図  
Fig. 3 Image of ULTRA 160LX-S ANGLER

- ・ニュートラルモード：従来はアイドリング時にも艇が前に進んでしまう。そのため、バケットの位置を最適化して艇の推力を0に保つことで、艇を定位置に保持することができるようにした。
- ・リバースアシストモード：リバースの推力が不足していると運搬トレーラーから水上に艇を降ろすことができないことがある。そのため、エンジンの推力を一時的に増加させることができるようにした。

#### (3) 7インチTFTメーター&4スピーカーオーディオ

大型の7インチTFT画面を備えたメーターを採用。GPSを標準搭載しており、登録した目的地までの方向や距離を表示できるようにした。また、「ULTRA 160LX」には4スピーカーオーディオを搭載し走航時に好きな音楽を楽しむことができる。これらの機能により、ユーザーは従来では成しえなかった快適なツーリングやファンライドを楽しむことができる。

### あ と が き

2023年から全世界で発売しており、各国で好評を博している。さらに、釣りに特化した装備を搭載した「ULTRA 160LX-S ANGLER」(図3)も各種ショーで発表し、大きな反響を呼んでいる。

今後もモデルラインナップを拡充して、市場から求められる製品を開発していきます。

〔文責 カワサキモータース株式会社〕

四輪・PWCディビジョン PWC開発部 新城 外志夫〕

#### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社

<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>

# 新たな個人モビリティ「noslisu (ノスリス)」

New Personal Means of Mobility: The noslisu



近年、電動アシスト自転車や電動スクーターなどの電動ビークルが注目されている。これらは社会問題の解決また健康や楽しさをもたらす一方で、安定性・操縦性・積載性などの課題も抱えている。これらの課題を解決するため、当社は3輪の電動ビークル「ノスリス」を開発した。これは当社が長年培ってきたモーターサイクルの設計技術と経験を活用して開発した新しいタイプの電動ビークルである。当社独自の2輪ステア機構を搭載して、3輪ならではの安定感と2輪自転車に近い自然な操縦性を両立させた。2023年5月の発売後、市場から好評を得ており、2025年春頃からは新仕様でさらに販売を拡大していく。

## まえがき

近年、電動アシスト自転車や電動スクーターなどの小型電動ビークルが注目されている。これらのビークルは、環境に優しく、交通渋滞や駐車場の問題を解決し、健康や楽しさをもたらすというメリットがある。しかし一方で、小型電動ビークルには、安定性・操縦性・積載性などの課題がある。たとえば、2輪の小型電動ビークルではバランスを保つのが難しい場合や荷物を運ぶのが不便な場合がある。また、4輪の電動ビークルは車体が大きく、取り回しが悪い場合や、狭い道や歩道を走るのが困難な場合がある。

## 1 開発目的

これまでの電動ビークルの課題を解決するため、当社は3輪の電動ビークル「ノスリス」を開発した。3輪ならではの安定感と、2輪自転車に近い自然な操縦性を両立することで、幅広いユーザーに快適で気軽な移動体験を提供することを目指した。

## 2 仕様

「ノスリス」は、当社が長年培ってきたモーターサイクルの設計技術と経験を生かし、開発した新しいタイプの電動ビークルである。カワサキ独自の2輪ステア機構を搭載し、3輪ならではの安定感と2輪自転車に近い自然な操縦性を両立した。

「ノスリス」シリーズの仕様を表1に示す。シリーズは2タイプ用意されており、電動アシスト自転車仕様の「ノスリス」とフル電動仕様の「ノスリスe」がある。電動アシスト自転車仕様については2025年春頃にモーターやバッテリーの仕様を一新した新仕様を発売する。

## 3 特長

「ノスリス」シリーズの特長は、カワサキ独自の2輪ステア機構である。2輪ステア機構\*により、ハンドル操作と車体の動きがシンクロする自然な操縦性を実現するとともに、路面の傾斜や凹凸の影響を受けにくく安定した走行を可能にする。

※特願2020-129765, 特願2020-129766 他

表1 「ノスリス」シリーズの仕様  
Table 1 noslisu series specifications

モデル	「ノスリス」	「ノスリスe」
タイプ	電動アシスト自転車	フル電動
免許	不要	普通自動車
車両重量 [kg]	40.0	41.0
最高速度 [km/h]	25	60
走行距離 [km]	47.4	40.0
バッテリー容量 [Wh]	504	504
モーター出力 [W]	250	4.0k
荷台容量 [kg]	20	20
メーカー希望小売価格	363,000円	431,000円



(a) 車体の傾きに同調し、車輪も傾くリンク構造



(b) 挙動動画 (SNSリンク)

図1 2輪ステア機構  
Fig.1 Two-wheel steering mechanism

#### 4 市場の声

「ノスリス」シリーズは、2021年にクラウドファンディングサービスで限定販売され、大きな話題となった。電動アシスト自転車仕様の「ノスリス」は50台、フル電動仕様の「ノスリスe」は50台が発売当日夜には完売し、多くの支援者から高い評価を得た。この声を受け2023年5月からカワサキモータースジャパン正規取扱商品として販売を開始した。

クラウドファンディング支援者からは、以下のような声が寄せられた。

－「ノスリス」は、自転車としても楽しめるし、電動アシストも強力で快適だ。2輪ステア機構は、思ったよりも自然でスムーズに曲がれる。

－「ノスリスe」は、フル電動なのに軽快で取り回しが良い。最高速度も十分だし、バッテリーの持ちも良い。3輪なので安定感があって安心だ。

また2023年の正規取扱製品としての販売後も多くの反響があった。免許返納後の乗り物として購入したというような話もあり、少しずつ世の中に浸透していることを実感している。

#### 5 次期モデル仕様

2023年の販売後さらに多くの反響と改善提案を頂き、2025年春頃には早速仕様を大幅アップデートする。主な変更内容は以下の通りである。

- ・リアハブモーターからセンターモーターに変更
- ・バッテリーの容量増加
- ・より楽な乗車姿勢となるように、ハンドルグリップ位置を変更
- ・アクセサリの充実

#### あ と が き

「ノスリス」シリーズは、カワサキが提案する新しい移動のカタチである。3輪ならではの安定感と、2輪自転車に近い自然な操縦性を両立することで、快適で気軽な移動体験を全ての人に届けることをコンセプトに開発した。2025年春頃から新仕様でさらに販売を拡大し、皆様の生活をより豊かにできるよう拡販を図る。本プロジェクトは川崎重工本社 企画本部イノベーション部主催のビジネスアイデアチャレンジで採択されたことから始まった。その後、カワサキモーターサイクル(株)に事業が移管され無事事業化、さらに開発が進んでおり、2025年春頃にはマイナーチェンジを迎えることとなる。プロジェクト推進にあたっては多くの方にご協力と賛同やアドバイスをいただき、ここまで育てることができたと感じている。この場を借りて改めて感謝の意を表す。



図3 プロジェクトメンバー集合写真  
Fig.3 Photo of all project members

〔文責 カワサキモータース株式会社  
四輪・PWCディビジョン 車両開発総括部 設計部  
石井 宏志〕

#### 〔問い合わせ先〕

カワサキモータース株式会社  
<https://www.global-kawasaki-motors.com/jp/inquiry/>



特許 第7261645号

発明の名称：ハイブリッド車両

発明者：西藪 正貴

ーハイブリッド二輪車におけるパワーユニットの小型化を実現ー

二輪車は機器を配置できるスペースが限られるので、ハイブリッド二輪車として世界初となるストロングハイブリッドモーターサイクル(図1)用として小型のパワーユニットを開発した。

ハイブリッド二輪車は、エンジンに加えて走行駆動用のモーターが搭載される。エンジン停止時には、変速機などに潤滑油を供給する潤滑用ポンプを走行駆動用のモーターで駆動する。



図1 ストロングハイブリッドモーターサイクル

本発明のパワーユニットでは、エンジンの動力はプライマリギヤを介して、変速機の上に配置された走行駆動用のモーターの動力はチェーンを介して変速機の入力軸に伝達する。

プライマリギヤと変速機の入力軸のギヤ列との間に、エンジンから潤滑用ポンプに動力を伝達するワンウェイクラッチと、走行駆動用のモーターから潤滑用ポンプに動力を伝達するワンウェイクラッチとを配置している。

このような構成にすることで、2つのワンウェイクラッチを軸方向にコンパクトに配置でき、ハイブリッド二輪車に最適な小型のパワーユニットを実現している。

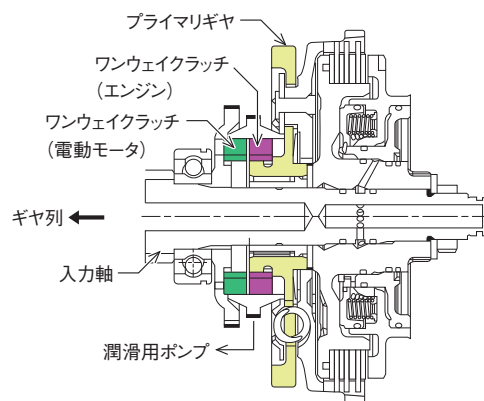


図2 ハイブリッド二輪車用小型パワーユニット

特許 US10618489

発明の名称：UTILITY VEHICLE

発明者：久村 隆, 久田 和政, 木下 雅斗

ーユーティリティビークルの悪路走破性を高めるフレーム構造ー

舗装されていない悪路(野山・荒地・傾斜地などの不整地)などの起伏の多い地形で走行するユーティリティビークル(多目的四輪車, 図1)においては、予期せぬ転倒時の乗員への影響を低減するために、ROPS (Roll-Over Protective Structure) と呼ばれるフレーム構造が採用される。ROPSは、たとえば運転席を覆う様な形で、車両外側の骨格を形成している。



図1 悪路を走行するユーティリティビークル

本発明は、ROPSを構成する左右一対のサイドビームと、リヤサポートと、ブランチピラーとを連結することで、サイドビームを車体後方のリヤサポートで支持している。また、リアショックアブソーバと車体上部をブランチピラーで連結している(図2)。

本発明では、ROPSを強度部材の一部として組み込むことで、リヤサポートやブランチピラーを通じて車体にかかる応力を車体全体に分散させることができる。これにより高い悪路走破性と耐久性を高次元でバランスした車体フレームを実現している。

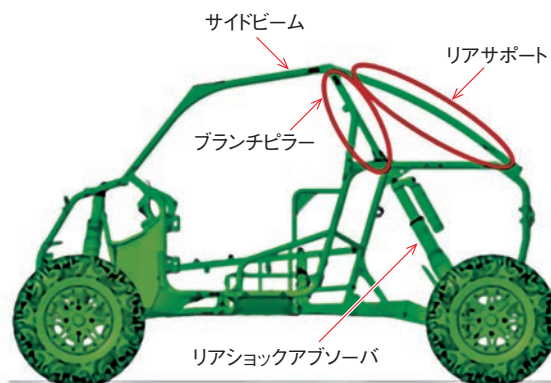


図2 (車体フレーム構造の説明図)

## 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
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，標的システム，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，航空機用ギアボックス	明石工場 西神戸工場
車 両 (川崎車両株式会社)	・鉄道車両，新交通システム，貨車	神戸本社 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
エ ネ ル ギ ー ソ リ ュ ー シ ョ ン & マ リ ン	・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）	播磨工場 安徽海螺川崎節能設備製造有限公司（中国）* 安徽海螺川崎装備製造有限公司（中国）* 上海海螺川崎节能环保工程有限公司（中国）*
	・産業用ガスタービン（コージェネレーション用，非常用発電設備用），発電用ガスエンジン，産業用蒸気タービン ・空力機械（遠心圧縮機，プロワ） ・船用機械（主機，推進装置）	神戸工場 明石工場 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
	・破碎機，環境関連機器	(株)アーステクニカ・八千代工場
	・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）*
	・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） Kawasaki Precision Machinery (U.S.A.) , Inc.（アメリカ） 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） 川崎机器人（昆山）有限公司（中国） Flutek, Ltd.（韓国）
	・油圧プレス	川崎油工(株)
パワースポーツ & エ ン ジ ン (カワサキモータース株式会社)	・モーターサイクル，オフロード四輪車（Side × Side，ATV），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	本社工場 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） PT. Kawasaki Motor Indonesia（インドネシア） Kawasaki Motors (Phils.) Corporation（フィリピン） Kawasaki Motores de Mexico S.A. de C.V.（メキシコ） 常州川崎発動機有限公司（中国）

\* 持分法適用会社

- 「Let the good times roll」, 「Ninja」ロゴ, 「Z」ロゴ, 「MEGURO」ロゴ, 「メグロ」ロゴ, 「Elektrode」, 「noslisu」, 「Ninja H2」, 「ZX」ロゴ, 「ELIMINATOR」, 「KX」ロゴ, 「Wエンブレム」ロゴ, 「TERYX」ロゴ, 「TERYX KRX」, 「JET SKI」, 「ULTRA」ロゴ, 「RIDEOLOGY」, 「RIDEOLOGY」ロゴ, 「HySE」, 「E-BOOST」, 「KRX」ロゴ, 「Successor」, 「K-ROSET」, 「RIDGE」, 「MULE」, 「MULE」ロゴ, 「ZX」, 「STX」は、川崎重工業株式会社またはカワサキモータース株式会社の登録商標です。



- 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。

川崎重工技報 第186号	
2024年11月	
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 川崎卓巳
発行人	技術開発本部 技術企画推進センター長 片岡幹彦
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



# 川崎重工業株式会社

## 国内事業所

### 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 大阪府大阪市北区曽根崎2丁目12番7号(清和梅田ビル16F)  
Tel. 06-6484-9310 / Fax. 06-6484-9330

### 中国・四国支社

〒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

## 生産拠点

### 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

### 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 兵庫県神戸市西区櫨谷町松本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

### 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

台湾 台北市仁愛路二段99号 福記大樓15樓  
Tel. +886-2-2322-1752 / Fax. +886-2-2322-5009

# 川崎車両株式会社

### 神戸本社

〒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

### 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

### 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

# カワサキモーターズ株式会社

### 本社・本社工場

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町1番1号  
Tel. 078-921-1301 / Fax. 078-921-1420

### 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. 079-427-0743 / Fax. 079-427-0745

### 東京事務所

〒105-8315 東京都港区海岸1丁目14番5号  
Tel. 03-3435-2523 / Fax. 03-3435-2033

