

# 圧倒的な加速力を実現した「Ninja H2シリーズ」の開発

## Development of Ninja H2 Series for Excellent Acceleration Performance



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

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

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

### まえがき

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

### 1 背景

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

### 2 製品コンセプト

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

や「Ninja H2 SX」を提供することとした。

#### (1) 「Ninja H2R」(代表図)

経験豊かなライダーのための究極のモーターサイクル

- ・エンジン排気量：998cm<sup>3</sup>
- ・エンジン出力：228kW {310PS}
- ・走行安定性：300km/h以上の速度域でも安定
- ・デザイン：機能美を追及した造形
- ・外観仕上げ：所有感を感じる丁寧な仕上げ
- ・走行環境：クローズドコース
- ・乗車定員：1名

#### (2) 「Ninja H2」(図1)

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

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

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

「Ninja H2」に対して、さらに公道走行装備を充実

- ・乗車定員：2名

6 ①② モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部 開発部

③ 航空宇宙システムカンパニー 技術本部 技術開発部

④ モーターサイクル&エンジンカンパニー 技術本部 技術管理部

関連動画



図1 「Ninja H2」  
Fig.1 Ninja H2

関連動画



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

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

### 3 開発方針

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

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

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

### 4 技術紹介

#### (1) 新規開発技術

##### (i) 過給機・過給エンジン

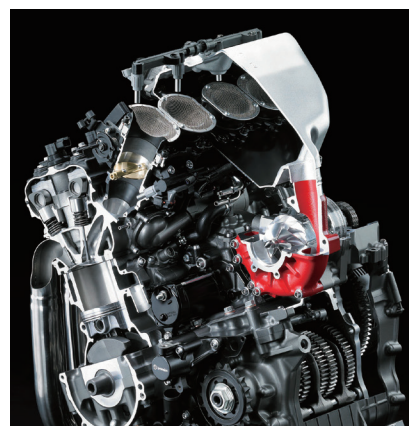
モーターサイクルは、エンジンの使用回転数域が1,200~14,000min<sup>-1</sup>と非常に広く、さらに比出力（出力/質量）が非常に大きいことから、俊敏な加減速とそれに伴うエンジン回転数の急激な変化が大きな特徴である。また、ライダーの要求に対して過不足なく瞬時に応答することが求められる。この要求を満足するため、モーターサイクル専用の遠心式過給機を設計開発した。

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

##### (ii) トレリスフレーム

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

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



関連動画



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

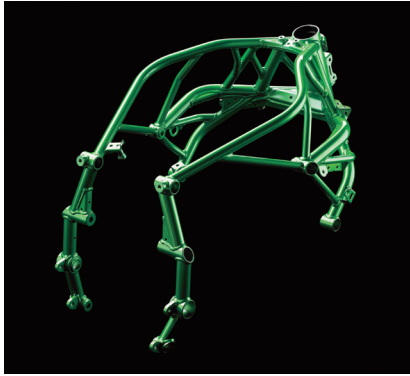


図4 トレリスフレーム  
Fig. 4 Trellis frame

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

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

(iii) 空力デバイス

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

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

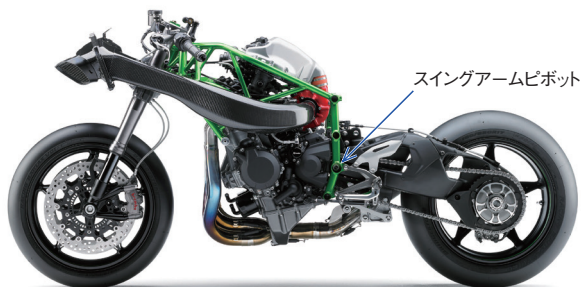


図5 「Ninja H2R」の骨格  
Fig. 5 Frame for Ninja H2R



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

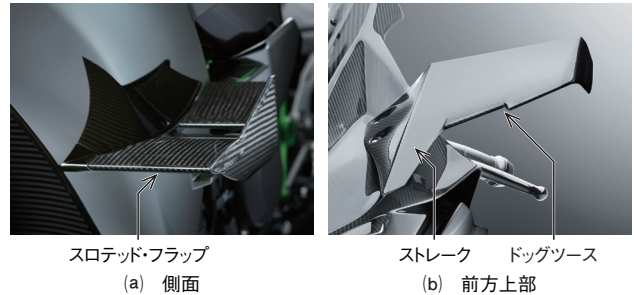


図7 「Ninja H2R」の空力デバイス形状  
Fig. 7 Aerodynamic device shape of Ninja H2R

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

(2) 全車CFD解析

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

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

(i) エンジン冷却性能の検討

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

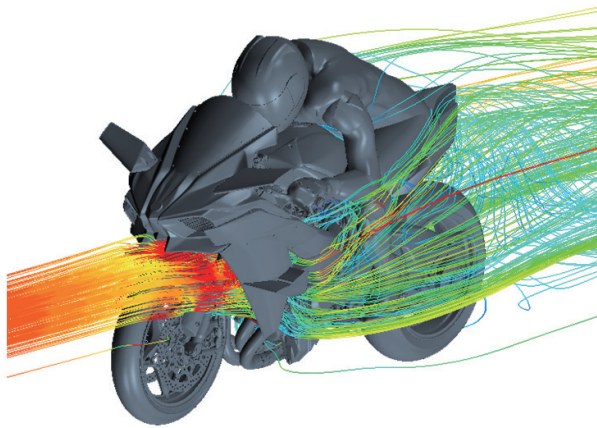


図8 エンジン冷却検討時の解析結果  
Fig. 8 Analysis results of engine cooling study

(ii) 空力デバイスの検討

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

(3) クラフトマンシップに基づくものづくり

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

(i) 過給機の加工

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

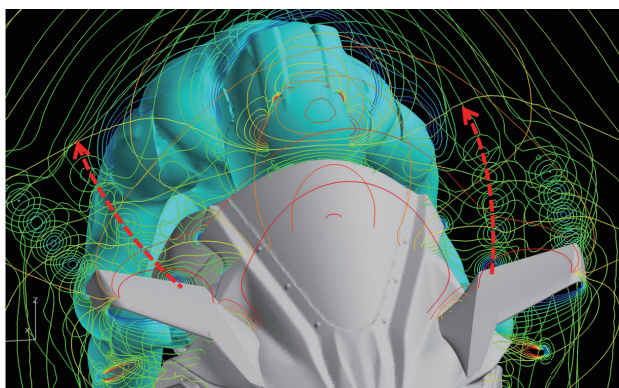


図9 全車CFD解析による渦流れの可視化  
Fig. 9 Visualization of vortex flow using total-vehicle CFD analysis

を実現している。

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

(ii) 過給機の組立

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

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

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

(iii) フレーム溶接

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

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

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



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

関連動画



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

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

(iv) 車体組立

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

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



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

き、作業姿勢を一定とすることで安定した組立品質を実現している。

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

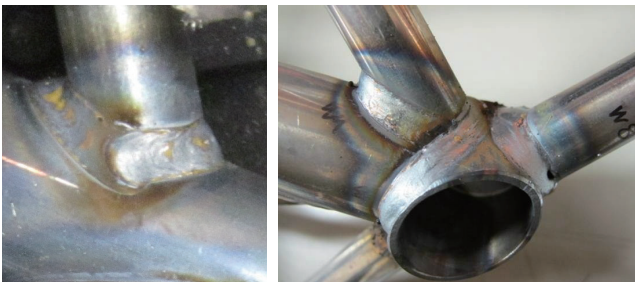
さらに照明にもこだわって太陽光下と同等の見え方となるように調整するとともに、熟練の検査員が目を光らせてキズなどの不具合を流出させないようにしている。

(v) 銀鏡塗装

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

(vi) ハイリーデュラブルペイント

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



(a) 従来溶接 (b) 求められる溶接

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

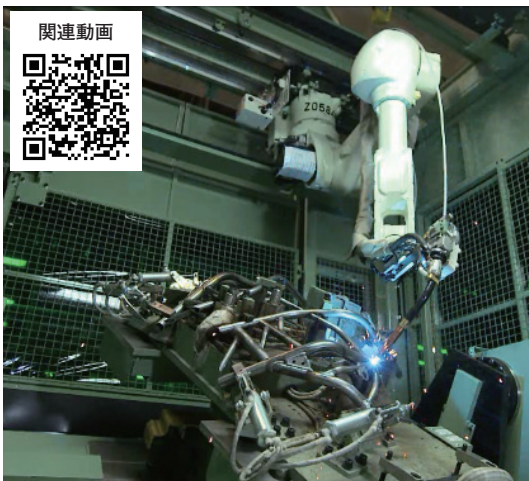


図12 多軸協調制御溶接ロボットセル  
Fig.12 Multi-axis coordinated-control welding robot cell

関連動画



図14 銀鏡塗装  
Fig.14 Silver mirror Paint

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

### あとがき

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

関連動画

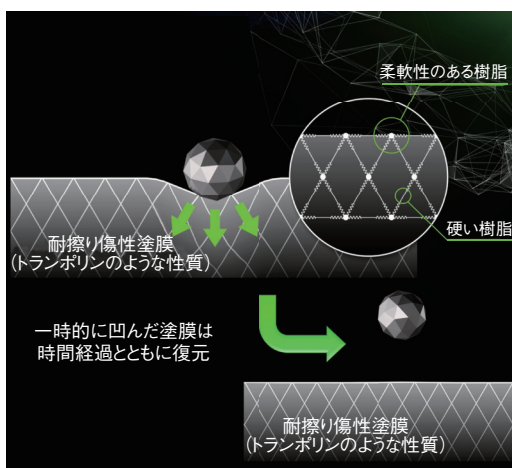


図15 復元メカニズム  
Fig.15 Recovery mechanism

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

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

### 参考文献

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

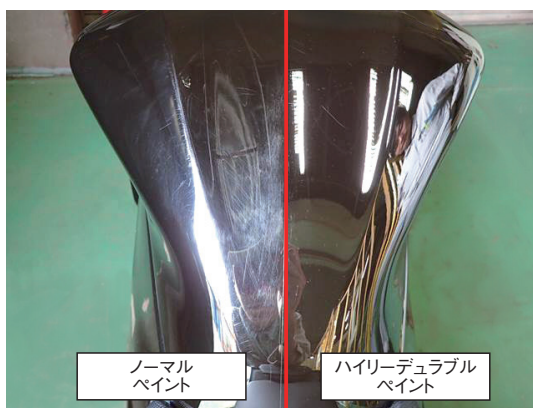


図16 実車テスト結果  
Fig.16 Vehicle test results

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



市 聡 顕



石 井 宏 志



中 村 悠 志



森 川 学



穂 積 昭 充



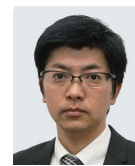
藤 田 博



松 本 武 志



岡 本 康 秀



高 橋 裕 樹