

モーターサイクル用過給エンジンの開発

Development of Supercharged Motorcycle Engines



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

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

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

まえがき

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

1 背景

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

2 開発方針

(1) モーターサイクル用過給エンジンに求められる特性

本エンジンには、以下のような特性が求められた。

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

- ・加速フィーリング：加速の過程で、意図通りの加速が体感できる感覚

(2) 過給機の選定

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

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

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

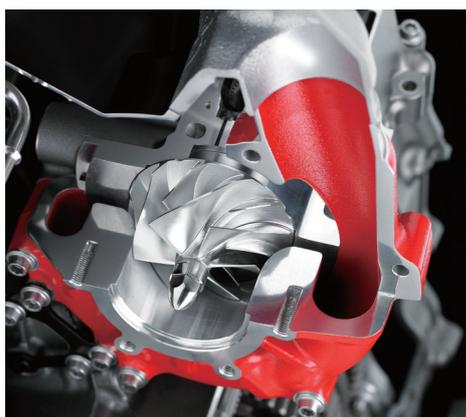


図1 遠心式過給機（「Ninja H2」用）
Fig.1 Centrifugal supercharger (for Ninja H2)

(3) 2つの過給エンジン

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

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

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

3 パワー型過給エンジンの開発

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

(1) 吸気温度の抑制

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

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

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

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

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

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

(2) コンテインメント性能の確保

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

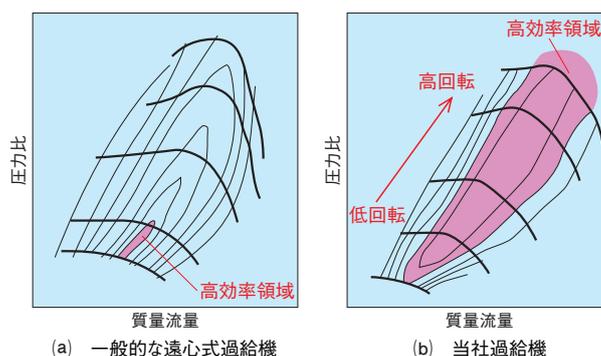


図2 コンプレッサーマップ
Fig.2 Compressor map

ことが重要であるため、図3に示すような衝突解析を用いて開発を行った。

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

(3) 過給機駆動方式の確立

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

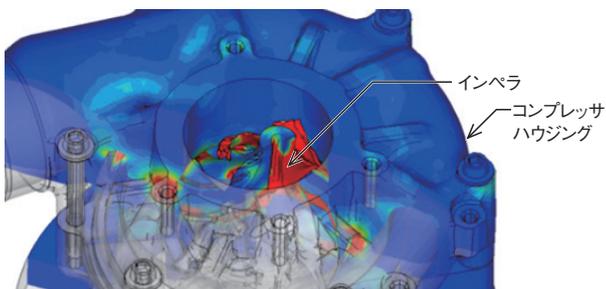


図3 衝突解析
Fig. 3 Crash analysis

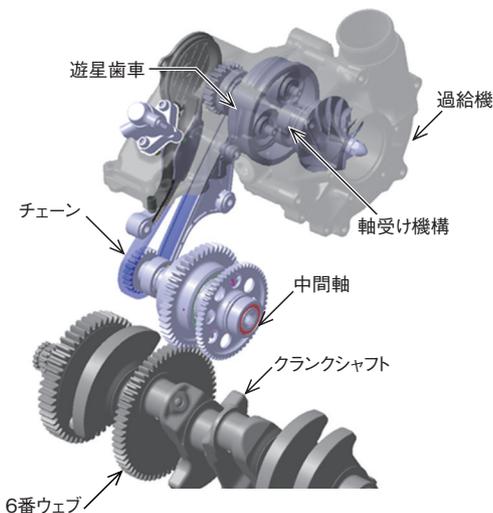


図4 過給機の駆動機構
Fig. 4 Supercharger drive mechanism

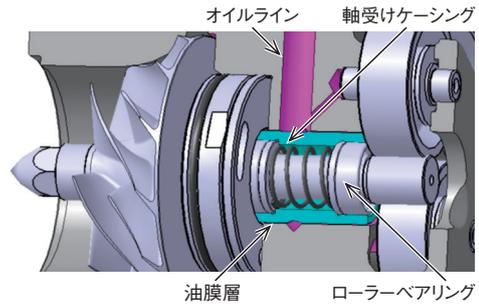


図5 軸受け構造
Fig. 5 Bearing structure

品点数の削減と省スペース化および軽量化を実現した。

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

4 バランス型過給エンジンの開発

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

(1) 高圧縮比化

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

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

(2) 過給機特性の最適化

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

パワー型用過給機とバランス型用過給機のコンプレッサ

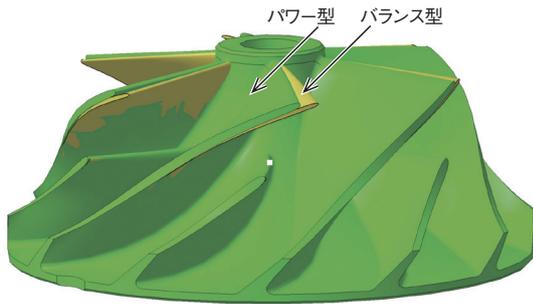


図6 インペラ翼形状
Fig.6 Impeller blade shape

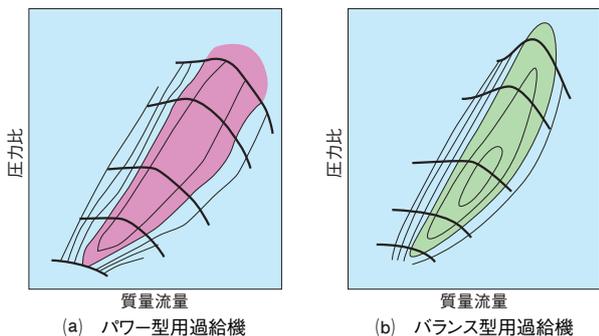


図7 コンプレッサマップ
Fig.7 Compressor map

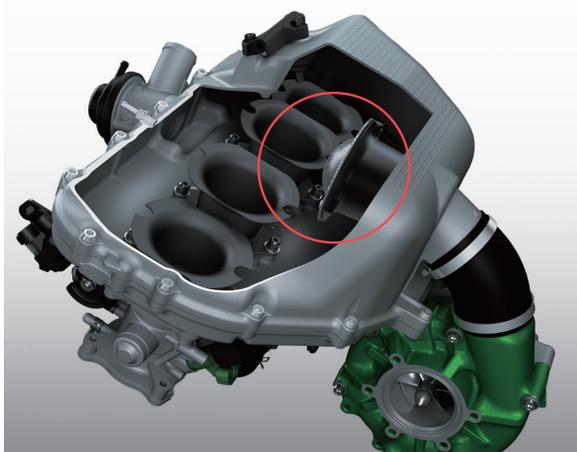


図8 吸気チャンバー内のディフューザー構造
Fig.8 Diffuser structure inside intake chamber

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

が高く、狙い通りの特性を示している。

(3) 吸気構造の最適化

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

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

あとがき

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

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

参考文献

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



渡部 寛之



市 聡 顕



成岡 翔平



齋藤 将仁