

新フラッグシップエンジン搭載「FX-HO」の開発

Development of "FX-HO" Equipped with the New Flagship Engine

逸見 恭彦 諸田 高一郎 清水 聡 松浦 聡史 河井 健二郎 鈴木 正吉 板橋 颯馬



Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. (hereinafter referred to as "the Company") has developed the PWC (Personal Water Craft) (Figure 1) and the SB (Sport Boat) (Figure 2) equipped with waterjet propulsion systems and has launched these products into the market. Two types of basic engine platforms (hereinafter referred to as "PF") are combined with four types of hull PFs for PWC's and SB's, through variation development such as supercharging and catalyst mounting to develop products that meet a variety of needs. This time, the high-output PF engine was fully remodeled for the first time in 15 years. This paper introduces the initiatives in the development of PWC's representative model "FX HO".

1 はじめに

ヤマハ発動機(株)(以下当社)では、ウォータージェット推進機を備える PWC (Personal Water Craft) (図1)と SB (Sport Boat) (図2)を開発しお客さまに提供している。

エンジンは2種類のプラットフォーム(以下 PF)を過給、触媒搭載などのバリエーション開発を行い、PWC、SB それぞれ4種類の艇体 PF に組み合わせ、様々なニーズに合わせた商品展開を行っている。

今回15年ぶりに高出力 PF エンジンのフルモデルチェンジを行った。本稿では PWC の代表モデル「FX HO」を取り上げ開発の取り組みを紹介する。



図1 Personal Water Craft



図2 Sport Boat

2 開発の狙い

開発の狙いは以下二つを設定した。

1. 軽量、コンパクト、高出力、高信頼性の現行エンジンを正常進化させ、商品競争力を強化し、今後の基軸となる素性の良いエンジンを開発する。
2. 合わせて艇体(ジェットポンプ・制御)の開発により新エンジン投入のインパクト最大化を狙う。

狙いを達成するための、エンジン、艇体の開発内容について説明する。

3 エンジン開発内容

1. 高出力(性能開発):次世代エンジン PF として、業界最大排気量の4気筒現行1.8Lをベースに、さらに1.9Lへ排気量をUPするとともに、吸気と排気と燃焼室形状の見直しで PWC 用自然吸気エンジンでは No.1となる146kwを達成した。
2. 軽量、コンパクト:PWC においてエンジン重量とエンジン

全長は運動性能に大きく影響する。原動機周りの新規設計により各部に軽量化設計を採用し、エンジン総重量で3kgの軽量化を実現した。

3. ヒートバランス最適化：性能向上による熱負荷増加に対応するため冷却システムを改良し、エンジンのヒートバランスを最適化した。
4. エンジン外観：新エンジンであることを象徴的に表現するために新しいエンジンカバーを開発した。

図3にエンジン諸元を、図4に外観図を、図5にエンジン性能を比較した図を示す。

	Current Model	New Model
Engine Type	L4	
Bore	86mm	88mm
Stroke	78mm	78mm
Engine Displacement	1,812cm ³	1,898cm ³
Maximum Power	125kw/7600rpm	146kw/7600rpm
Maximum Torque	159.3Nm/6852rpm	185Nm/7353rpm
Engine Weight Dry	107kg	104kg

図3 エンジン諸元

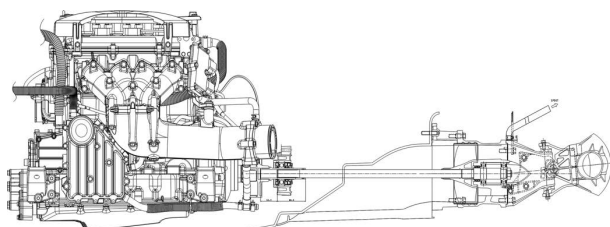


図4 機関外観図

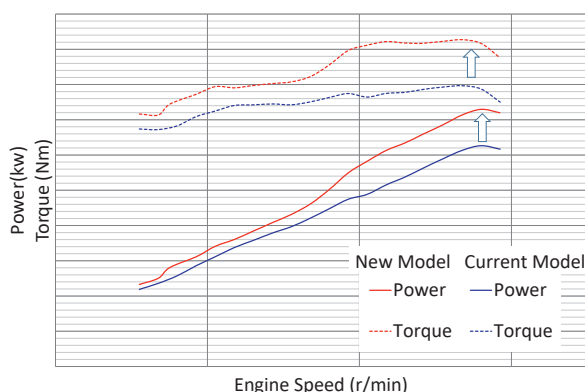


図5 エンジン性能曲線

3-1. 性能開発

現行エンジンからの馬力アップを達成するために吸気系・ヘッドシリンダ・動弁系・排気系の改良を実施した。性能シミュレーション GT-Power と実機の脈動解析を活用して効率的に

開発を行った。

吸気系はスロットルバルブと吸気通路の大径化で通気抵抗を低減しつつ、吸気ポート管長・径・サージタンク容積の各パラメータを最適化することで脈動効果を使って大幅な馬力アップを達成した。

ヘッドシリンダでは吸気ポート形状の改良と燃焼室形状の変更でバルブ周辺の空間を広げて吸気効率を向上させた。

排気系は排気干渉の低減と、慣性効果の向上を狙って集合形状を見直した。従来の4-1集合から4-3-1集合に変更し、干渉を抑えつつ管長を長くすることでコンパクトな排気系を維持したまま性能向上させた。

図6に現行モデルと新型モデルの排気形状の比較を示す。

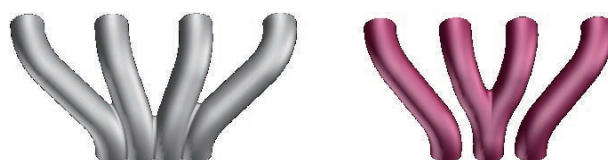


図6 排気系の改良(左:現行モデル、右:新型モデル)

これらのアイテムに合わせたバルブタイミングの調整も含めると、排気量アップ以外の改良により性能向上分の7割近くを占めている(図7)。

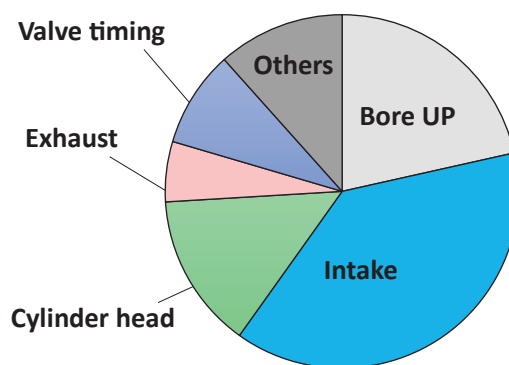


図7 性能開発アイテムと寄与割合

3-2. 軽量 _ コンパクト

高出力を狙うため、ボアアップおよびストロークアップの検討を行った。性能、エンジンサイズ、重量、コスト、設備等の最適バランスを考慮し、ボアを2mm アップさせ、排気量を1,898cm³に拡大した。

ライナは強度が25%高い材料を使用することにより薄肉化を可能にし、エンジン全長を変えることなく、さらに740g/ 台の軽量化を実現した。

ピストンはボアアップしたにもかかわらず、ランド裏の肉抜き等によって、6%の軽量化を実現した。

図8にクランク廻りの断面を示す。

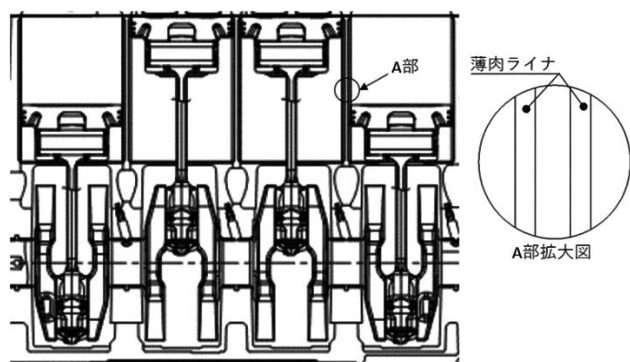


図8 クランク廻り断面

3-3. 冷却システム

性能向上による熱負荷増加に対応するため冷却システムを改良した。冷却システムの基本構造は海水や淡水など外部から直接冷却水を取り入れる構造を取っている。部品構成がシンプルである一方、冷却水温度が一定ではないため温度コントロールに工夫が求められる。

現行エンジンはヘッドシリンダとシリンダブロックを並列に冷却しているため、本来コントロールが必要なシリンダブロックの温度も冷却水温度に左右されてしまう課題があった。

新エンジンではヘッドシリンダに先行して全水量が流れるように直列な冷却経路に変更した(図9)。さらに、サーモスタットの設置箇所をヘッドシリンダからシリンダブロックにすることでシリンダブロックを過冷却しない構造に変更し、安定した温度コントロールを実現した。

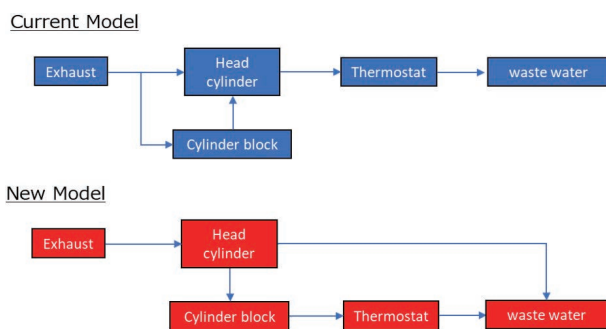


図9 冷却水経路

また、燃焼室に関しては燃焼室の肉厚の変更と排気ポート間が冷却されるように形状変更することで、最大で21%の温度低減を達成し、高出力化に対応した(図10)。

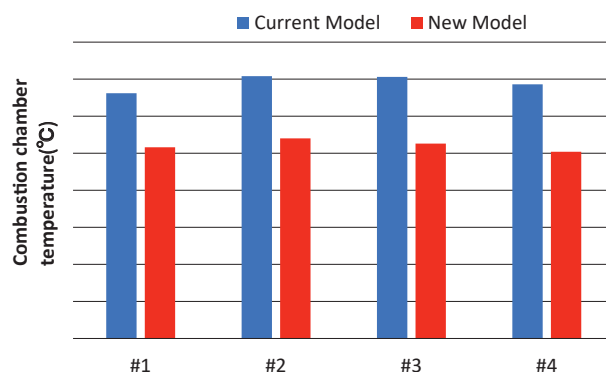


図10 燃焼室温度 新旧比較

3-4. エンジン外観

“Crossbar Concept” のデザインコンセプトを基に、力強さのみならず、先進性、環境への配慮も感じさせるエンジンカバーを開発した(図11)。

カバーは2つの部品で構成され、カバー1はクリーンで新鮮さを感じさせるホワイトとし、新たに高輝度着色材料を開発した。カバー2は、当社の CO₂削減、環境負荷低減に対する取り組みを具体化する一環として、量産部品では世界で初めて木材を原料とする CNF (Cellulose Nano Fiber) を PP に添加した材料を開発し採用した。

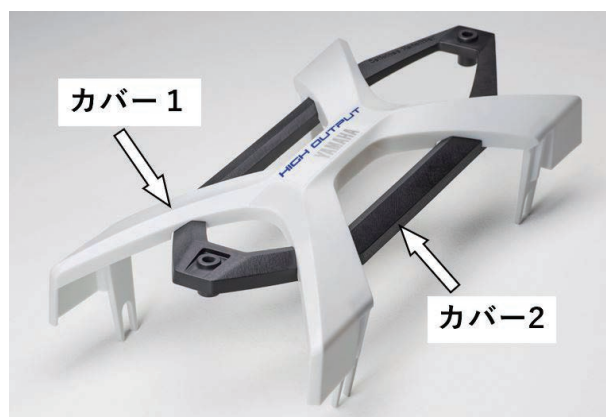


図11 エンジンカバー

4 艇体開発内容

二つ目の開発の狙いである、新エンジン投入のインパクト最大化を狙い、艇体は以下3つを重点化し取り組んだ。

1. 大排気量から期待される加速性能の向上
2. 快適性を向上させるための騒音低減
3. エコモード等商品性を向上させるドライブコントロールの進化

4-1. 加速性能の向上

エンジンの出力アップを最終的に製品としてどのように生かすのかはジェットポンプの味付けによって変わってくる。本モデルでは業界最大排気量から期待される力強いトルク感を表現するために、最高速度を上げることよりも加速に焦点をあて、インペラを新設計し性能を向上させた。図12に加速性能の旧モデルとの比較を示す。

雑誌などで頻繁に比較されるアイドリングから50km/hまでの到達時間を25%向上させた。

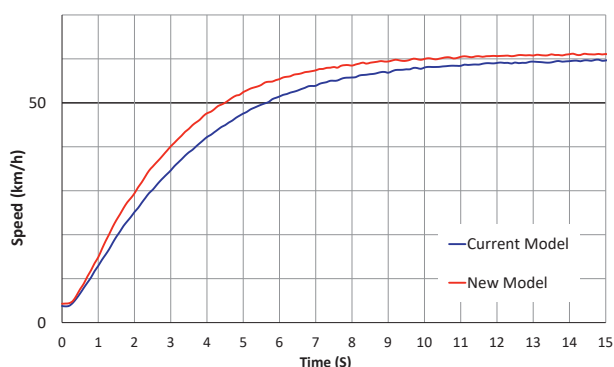


図12 加速性能新旧比較

4-2. 騒音の低減

静粛性は乗船時の快適性を決める要素の1つである。PWCにおいて乗ることそのものを楽しむ用途から、ツーリングやフィッシングなど使われ方の多様化もあり静粛性向上の要求が高まっている。

事前の騒音寄与率調査により、運転手耳元への騒音は300Hz以下の排気音が支配的だと分かった。新FXでは300Hz以下の音圧を下げ、かつエンジン出力に影響を及ぼさない排気系の開発を行った。

音響解析を用いて音響モード、減衰レベルを確認しながら排気系の構造最適化を行った。新排気系の主な変更点はキャッチタンク容積拡大、ウォーターロック構造変更、レゾネーター追加である。これにより300Hz以下の大幅な減衰増加を達成した(図13)。

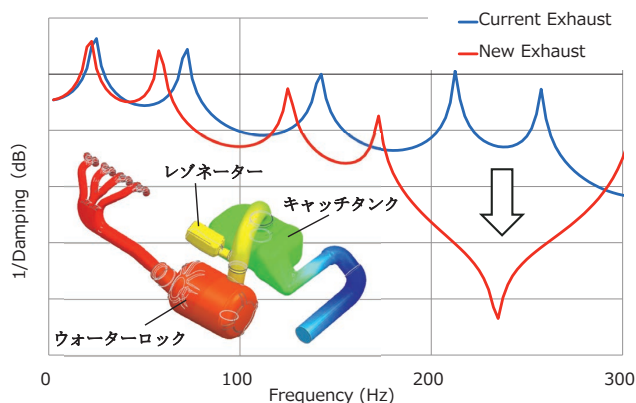


図13 排気系音響解析による新旧比較

図14は新エンジンを搭載した艇の新旧排気系の騒音レベル比較結果である。新排気系は現行排気系に比べて大幅な騒音低減を実現した。

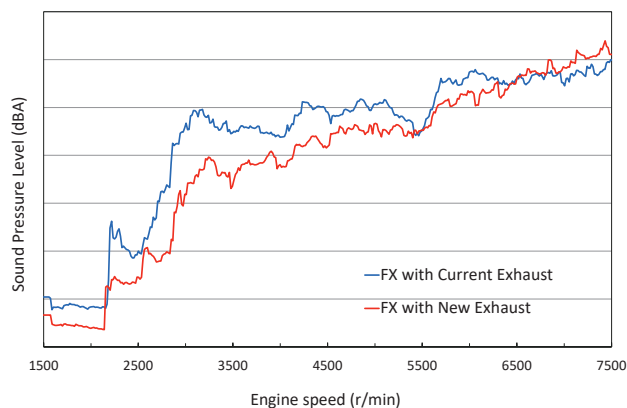


図14 乗船者耳元騒音 新旧比較

4-3. 進化したドライブコントロールモードの開発

新エンジンの搭載と合わせて、従来から当社の得意とする艇体制御をさらに進化させて、よりお客さまが使いやすい新たなモード選択型ドライブコントロールを開発した。

新しいモード選択型ドライブコントロールでは、従来個別に設定する必要のあった速度・加速と艇体ピッチ角を制御するトリム機能をワンタッチで切替することが可能となった。

選択できるモードはEconomy/Performance/Comfort/Towの4種でありお客さまの使用するシチュエーションに合わせて最適に設定された運転パターンを提供する。

今回新たに長距離クルージングなど、低燃費を望むお客さまのためにEconomyモードを開発した。Economyモードを選択すると、急激な燃料消費を抑える加速制御、燃費の良い速度でコンスタントに航走できる速度制御、さらに速度域に応じて最も船体抵抗の小さい艇体ピッチ角に保つ姿勢制御の3つを

自動で調整する。

各モード時には図15で示すように表示色も変えて、選択している機能を分かりやすく伝える工夫も行った。



図15 各モード時のホーム画面

5 おわりに

当社では発動機という社名が示す通り、様々な形式のエンジンが様々な商材で使われており、それは会社を支える貴重な財産となっている。

本開発が正式にスタートするまでには、今後何年にも渡って使い続けるエンジンのベースはどのようなものであるべきか数年に渡り模索を行った。最終的に PWC、SB の専用エンジンである旧 PF をベースに進化させることが最適であると結論付けた。

開発を終え振り返るにその選択は間違いではなく、今後厳しくなっていく環境規制下におけるベースとなり、将来を支える基軸エンジンができたと自負している。

■ 著者



逸見 恭彦
Yasuhiko Henmi
マリン事業本部
開発統括部
艇体開発部



諸田 高一郎
Koichiro Morota
マリン事業本部
開発統括部
エンジン開発部



清水 聡
Satoshi Shimizu
マリン事業本部
開発統括部
エンジン開発部



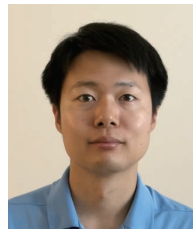
松浦 聡史
Satoshi Matsuura
マリン事業本部
開発統括部
エンジン開発部



河井 健二郎
Kenjiro Kawai
マリン事業本部
開発統括部
エンジン開発部



鈴木 正吉
Masakichi Suzuki
マリン事業本部
開発統括部
艇体開発部



板橋 颯馬
Ryuma Itabashi
YJBM¹⁾

1) YJBM: Yamaha Jet Boat Manufacturing U.S.A., Inc.