

船外機「F350B」の開発

Development of the “F350B” Outboard Motor

笠井 慎也 大石 真也 中村 圭佑



Abstract

In recent years, boats have been getting larger, leading to the expansion of the market for large outboard motors. As a result, there is a growing demand for a lineup of outboard motors with strong product appeal in this market. However, due to the recent aggressive strategies of competitors, Yamaha Motor's (hereafter referred to as "the Company") dominance in the large outboard motor segment is gradually being lost. While competitors have expanded their lineup to include models up to 600 horsepower, accommodating a wide range of boats, the Company has discontinued the production of the "F350A" in 2019, creating a gap in its lineup at the 350-horsepower level. Due to the inability to supply 350 horsepower, the Company faces challenges where customers switch to competitors even in the similar horsepower range.

Given this background, the development of this horsepower range has become urgent. However, this horsepower range has unique difficulties: V8 engines are too heavy, and V6 engines lack power. Yamaha Motor has attempted this several times in the past but have given up each time.

Additionally, the performance requirements for outboard motors have changed recently. The market now demands not only "light and powerful" but also better maneuverability and reduced noise for a more comfortable boating experience. In this development, the goal was for an early market launch by tuning up the existing "F300F", which is highly rated for its light weight, high reliability, and maneuverability, to achieve an overwhelmingly light and highly usable 350 horsepower range.

1 はじめに

近年、ボートの大型化が進行し、大型船外機の市場が拡大している。そのため、この市場において強い商品性をもった船外機のラインナップが求められている。

しかし、昨今の競合他社の攻勢により、大型船外機におけるヤマハ発動機(以下当社)の優位性が失われつつある。他社は

600馬力までのラインナップを整え、多様なボートに対応しているのに対し、当社では2019年に「F350A」が生産終了になり、350馬力にラインナップ上の穴ができてしまっている。当社から350馬力を供給できていないことで、周辺馬力帯においても他社に乗り換えられる課題がある。

これらの背景から、この馬力帯の開発が急務となっている。しかし、この馬力帯は特有の難しさがありV8では重く、V6ではパワー

不足となり、過去何度かチャレンジしたが、断念した経緯もある。

また昨今の船外機へ求められる性能にも変化がみられ、従来の“軽くてパワフル”だけでなく、操船性や音に対する市場要求も増え、より快適なボートینگの実現が求められている。

今回の開発では、軽量、高信頼性、操船性などの面で市場から高い評価を受けている既存の「F300F」をチューンナップすることで、350馬力帯において圧倒的に軽量で高いユーザビリティを有しながら、早期市場投入を目指した。

2 開発の狙い

本モデル(図1)は、早期市場投入ニーズに応えつつ、競争力の高い船外機にすべく下記4項目に取り組んだ。

1. ベース機種「F300F」活用による短期集中開発
2. 軽量「F300F」エンジンの基本構造を流用した改良で、圧倒的軽量の実現
3. 吸気系の一新による出力向上
4. 最小限の改善で効果的な静粛性向上



図1 「F350B」

3 商品の特徴

開発の狙いでも述べたが、本モデルでは市場で好評を得ているベース機種「F300F」の良さを踏襲しつつ、さらに磨き上げた。前モデル「F350A」に対し、操船性含めた高いユーザビリティを有しながら、船外機の基本性能として非常に重要な要素である“重量”においても、約60kgの軽量化を実現し、競合他社含めた350馬力帯において圧倒的軽量、ハイパフォーマンスを実現した(表1)。

表1 各モデル主要諸元比較

モデル名	F300F	F350A	F350B
エンジン形式	V6	V8	V6
重量	288kg	354kg	293kg
排気量	4,169cm ³	5,330cm ³	4,256cm ³
ボア	96mm	94mm	96mm
ストローク	96mm		98mm
圧縮比	10.3	9.6	11.0
吸気バルブ径	38.5mm		40mm
排気バルブ径	33mm		34mm
点火プラグ径	M14		M10
発電量	70A	54A	74A
ステアリング	電動	油圧	電動
レゾネータ	無し		有り
ローワー	6KA	6AW	6KA 改

※全て北米仕様/Xトランサム

※「F350A」は2019年度、その他は2024年度の情報

3-1. 出力開発

出力開発は、本モデルの最大の課題の一つであり、開発部門一丸となり取り組みを進めた。なお、開発に際しては、既存の技術に磨きをかけることで達成を目指した。アプローチは大きく二つ“吸入空気量の向上”と“駆動ロス低減”である。

3-1-1. 吸入空気量向上

出力向上のためには、多くの空気を燃焼室に入れ、素早く燃焼させることが基本である。そのため、細径の点火プラグ採用し、吸排気バルブ径の拡大を行った。これに伴い、吸気管長、サージタンク容量を最適化するために、1次元解析および3次元非定常解析(図2)を用いて短期間で精度の高い形状を作りこんだ。さらに並行して実機評価を行い、結果を解析にフィードバックすることで、最適な吸気形状の作り込みを短期間で実現した。また、シリンダヘッドにおいては、タンブルと流量を両立する斜めスロート加工を採用した吸気ポート形状により燃焼速度向上にも貢献した。シリンダヘッド、動弁系、吸気系においては自動車用エンジン開発部門の協力のもと、開発に取り組んでいったことで、新たな知見も織り込めた。

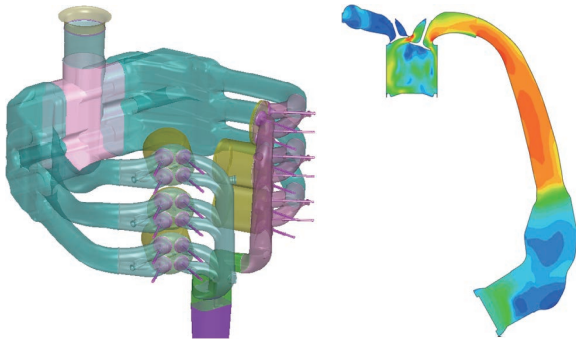


図2 3次元非定常解析モデル

吸気温度を下げる工夫としては、フライホイールマグネット上部のステーターより発せられる熱をカウル外部に排出する排熱ファンの構造を採用した(図3右)。また、シュラウド形状の作り込みにより、吸気温度を約10℃下げる効果が得られた。なお、ステーター部の温度も下がることで、発電量が上がるという副次的な効果も得られている。排熱部の構造は「F350B」を象徴する意匠となっている(図3左)。

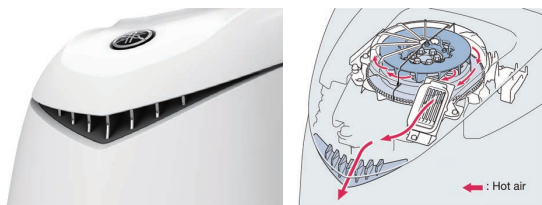


図3 排熱ファン構造
(左:排熱部外観 右:排熱構造)

また、圧縮比も向上させるとともに、クランクシャフトのピン径を2mm 縮小し、その分ストロークを2mm 上げることで排気量も上げた。ピン径縮小による強度への影響は、高強度の材料を採用することでベースエンジン「F300F」の基本構造を変えずに本改良を成立させ、短期開発にも大きく貢献できた。さらにストロークアップにより、吸気速度が上がり筒内乱れの改善、吸気バルブ径アップのポテンシャルを最大限引き出すことができ、排気量の増加比率以上の出力向上効果があった。

最終的には出力点で体積効率110%を実現できた。

3-1-2. 駆動ロス低減

駆動ロスという視点では、主に二つの取り組みを行った。1点目は、クランクケースのポンピングロス低減である。これは、クランクケース部を大きく開口(図4)することで、ポンプロスの低減を図った。

2点目はローワー ASSY (以下ローワー) の駆動ロス削減である。大型のローワー になるとギヤ駆動においても大きなロスとなる。

今回、「F350A」のローワーではなく、「F300F」で開発された小型高耐久ローワーを採用することで、駆動ロスの低減に寄与した。

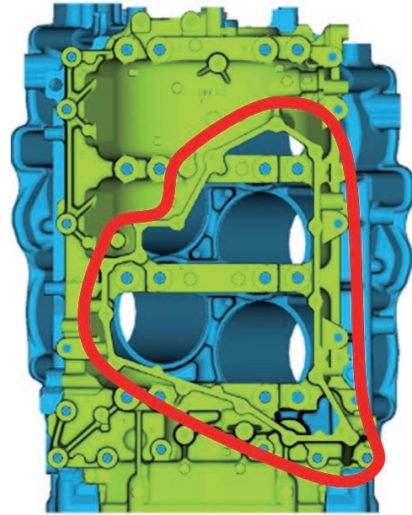


図4 クランクケース形状

その他、上記2点以外にも適合など性能担当者を筆頭にエンジンのポテンシャルを最大限引き出すべく粘り強く開発を進め、機能的な課題との背反を見ながら整合させることで、出力だけでなくエンジン全体で高次元のバランスを実現することができた。

3-2. 音圧レベル低減開発

昨今の船外機において、騒音レベルが低いことも重要な商品性の一部である。出力開発が最大の課題ではあったが、船外機から発生する音圧レベル低減の開発も並行して行った。本船外機にて発せられる音圧の主要因子を調査し、吸気音の寄与が特に大きいことが確認された。対策にはレゾネータ機能を含むサイレンサ追加とした。しかし、サイレンサの吸気抵抗起因による出力低下、消音性能を得るための容積確保のレイアウト制約、複雑な形状に対応する製造的な課題も開発一丸となり各種要件を成立させた(図5)。

さらに、排熱ファンの出口経路となるモールディングエアダクトとカウルの間に吸音材を入れることで、排熱ファンによる騒音の低減を図った。また、ボトムカウルに制振材を追加することで、ボトムカウルの振動により発生する音を抑制した。

音圧レベルについては厳しい制約の中でも商品として成立する領域まで作りこんだが、今後の開発機種においてはさらに高い品質が求められていく技術領域である。今回開発で得た静粛性向上の知見は次の開発に生かし、さらなるレベルアップを図っていきたい。

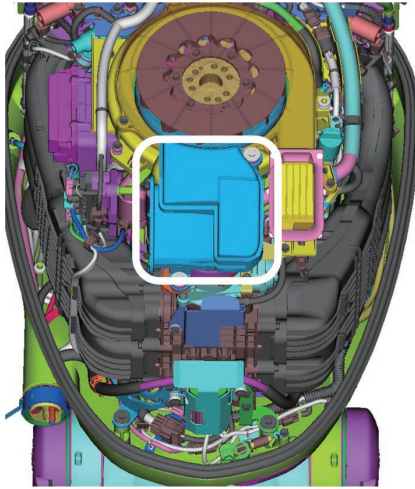


図5 レゾネータ機能付きサイレンサ(白枠内)

3-3. ロワーASSY

ロワーASSY については、3-1-2の駆動ロス低減の箇所でも触れたが、「F350A」(6AW)ベースか、「F300F」(6KA)ベースの2択(図6)があったが、6KA ベースの場合は、大きなメリットがあり、本命案とした。具体的には、“低ロス馬力”、“軽量(約7.5kg)”、“低コスト”、“新規部品の少なさ”、“プロペラ選択肢の広さ”などである。背反は、ギヤの耐久性であり、“50馬力増”の350馬力相当のトルクに対する耐久信頼性が要求される。そこで、開発初期に耐久評価を行い、見極めを行っていった。最終的には、ギヤ材料の品質バラつきを抑えるために、鑄造手法をインゴット鑄造方式から連続鑄造方式に変更して、非金属介在物の量とサイズを低減させることで、本仕様を採用することができた。結果として、本鑄造方法の改善手法は、同材料を使用する当社のギヤ全体の品質向上にもつなげることができた。

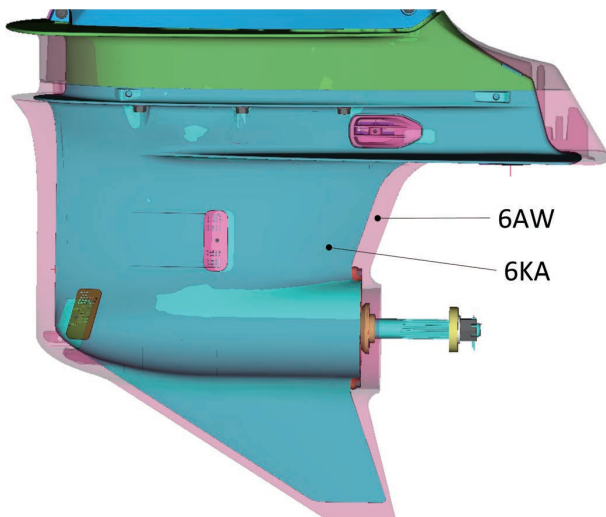


図6 ロワーASSY 比較

4 おわりに

本モデルは、350馬力帯において圧倒的な軽量、ハイパフォーマンスを実現することができた。今後5年、10年、世界中の人々に使っていただき、多くの人々のマリナライフに貢献していくことになると思う。その時、お客さまが笑顔になっていることを願うとともに、今後もさらに良い製品を開発していきたい。

■著者



笠井 慎也
Shinya Kasai
マリン事業本部
開発統括部
PJT 設計部



大石 真也
Masaya Oishi
マリン事業本部
開発統括部
機能実験部



中村 圭佑
Keisuke Nakamura
マリン事業本部
開発統括部
機能実験部