

ホンダ船外機のフラッグシップ 「BF225/200」の開発

Development of Honda Flagship Outboard Motor “BF225/200”

角 田 正 樹*
Masaki TSUNODA
古 谷 健太郎*
Kentaro FURUYA

大 角 雅 之*
Masayuki OHSUMI
設 楽 貞 文*
Sadafumi SHIDARA

米 沢 道*
Makoto YONEZAWA
木 全 隆 一*
Ryuichi KIMATA

要 旨

ABSTRACT

ホンダ4ストローク船外機シリーズの最高峰として、世界最大の3.5リッターV型6気筒(以下V6と略す)エンジンを搭載した225馬力、200馬力の船外機を開発した。この「BF225/200」は、4ストローク船外機として初めてのVTEC(Variable valve Timing and lift Electronic Control system)、可変吸気システムとO₂フィードバックシステムを採用した。エンジン性能は、CARB(米国カリフォルニア州大気資源局)のマリンエンジンに対する排出ガス規制の2008年度最終規制値を200馬力クラスの船外機としては世界で初めてクリアする排出ガスエミッションレベルを達成しながら、既存機種と比較し10%増の最大トルクと約15%減の低燃費という高次元でバランスした性能を達成した。また船外機の外観部品塗装のノンクロム化を取り入れ、既存機種同等の塗装品質と環境対応の両立を達成した。快適性としても、クラストップの低振動、低騒音を達成した。また、自動車用V6エンジンと同一構造のアウトバンク排気配置、樹脂インレットマニフォールド構造の採用により搭載性は従来の2ストローク船外機を搭載した船にそのまま載せ換えられる軽量及びコンパクト化を達成した。これらの性能を達成しながら、基本諸元の統合及び、自動車用V6エンジンとの部品共用を図ることにより、高い信頼性を維持しつつコスト低減を達成した。

Honda has developed 225 and 200-horsepower outboard motors powered by 3.5-liter V-type 6-cylinder (V6) engines, the largest such outboard motors in the world, as the flagship models in its 4-stroke outboard motor series. The BF225/200 models are the first 4-stroke outboard motors to use the VTEC variable valve timing and lift electronic control system, a variable intake system, and O₂ feedback system. The resulting engine performance also makes them the world's first outboard motors in the 200-hp class to achieve emissions levels that satisfy the final model year 2008 values for marine engine exhaust emissions set by the California Air Resources Board (CARB). At the same time, they have achieved a highly balanced performance improvement, with a maximum torque that is 10% greater and fuel consumption that is approximately 15% lower than previous models. The adoption of non-chrome coating methods for exterior parts on these motors has achieved both environmental compliance and coating quality on a par with previous models. In terms of comfort, their low vibration and low noise place them at the top of their class. The out bank exhaust manifold design with the same construction as V6 automotive engines and the use of a plastic inlet manifold make these models lightweight and compact enough to replace conventional 2-stroke outboard motors without requiring any modification to the boats. Honda has achieved these performance levels while maintaining high reliability and reducing cost by standardizing the basic specifications and sharing parts with its automotive V6 engines.

1. はじめに

世界の船外機市場は、北米地域が最大の市場であり、この北米地域においてEPA(米国環境保護庁)の排出ガス規制に加え、2001年度より、CARB(米国カリフォルニア州大気

資源局)の規制も始まった。このCARB最終年度である2008年規制への適合が重要課題であり、従来の2ストローク船外機から、クリーンな排出ガス、低燃費、低騒音、低振動などの特徴を持つ4ストローク船外機への需要が加速されることとなった。

*朝霞東研究所

本田は、1964年以来一貫して4ストローク船外機のみを生産してきた。1998年に4ストローク船外機としては当時最大馬力のBF130/115⁽¹⁾を発表した。このような背景の中、大型船外機の全世界における年間販売台数の8割を占める主要市場である北米地域の競争力の向上と、ホンダ船外機シリーズのフルラインナップを達成すべく、Fig. 1に示すBF225/200が開発された。



Fig. 1 External view of BF225

2. 開発のねらい

このBF225/200はホンダ4ストローク船外機シリーズの基本コンセプトである、

“人と環境に優しい

経済的で高品質な4ストローク船外機”

を踏襲しながら、船外機としては世界で初めて

- ・VTEC⁽²⁾

- ・可変吸気システム

- ・外観ノンクロム塗装

を採用し、4ストローク船外機として初めて

- ・O₂ フィードバックシステム

- ・ノックコントロールシステム

などの新技術を採用し、ホンダ船外機シリーズの最上位馬力機種として、他社の2ストローク直噴船外機(以下2stDIと略す)、及び従来の4ストローク船外機を超える環境適合性、経済性、信頼性を持つ、

“次世代をリードするフラッグシップ船外機”

をねらいに開発された。

また、搭載性は、2ストロークエンジンに比べ動弁系の追加に伴うエンジンカバーの大型化の影響を最小限に抑え、従来の2ストローク船外機を搭載した船にそのまま搭載できるパッケージと重量をねらった。

3. 主要諸元および概要

BF225の主要諸元をTable 1に、透視図をFig. 2に示す。エンジンはラグレイト用の3.5リッター60°V6エンジン⁽³⁾のクランクシャフト、コンロッドなど主運動系部品を共用し、動弁系はコンパクトさを重視してSOHC-VTECのエンジン部品を共用した。船外機搭載のため、エンジン本体を縦置きとし、潤滑、冷却系統は船外機に適するように変更した。補機の配置は、進行方向前方にオイルフィルタとオ

Table 1 Specifications

Code name	BF225 X-type
Overall length (mm)	920
Overall width (mm)	625
Overall height (mm)	1 800
Transom height (mm)	635
Dry weight (kg)	272
Engine type	4 stroke 60° V-type 6 cylinder
Displacement (cc)	3 471
Bore (mm) × stroke (mm)	89 × 93
Compression ratio	9.4 : 1
Valve train	SOHC VTEC 24 valves
Valve number	4/cylinder
Maximum power (kW/rpm)	165 / 5 500 (225 hp / 5 500 rpm)
Maximum torque (N·m)	295
Recommended engine rpm range	5 000 ~ 6 000
Fuel supply system	Programmed Fuel Injection
Ignition system	Programmed Ignition (with Plug Hole Coil)
Charge output (A)	60
Cooling system	Water cooling (with 2 thermostats)
Exhaust system	Through propeller hub

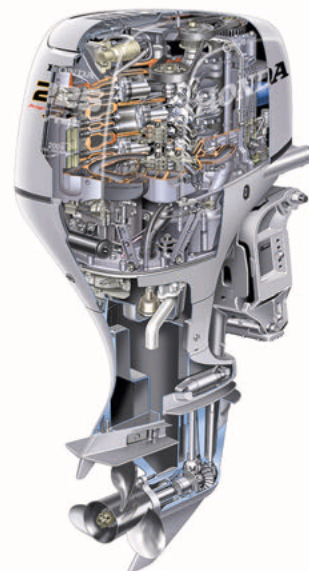


Fig. 2 Cutaway view of BF225

ルタネータ、後方インバンクに吸気系および燃料系、アウトバンクに排気系、右舷側にECU、左舷側にスタータを配置し、スリムな外観を達成した。

エンジンには、4ストローク船外機初の VTEC、可変吸気システム、O₂フィードバックシステム、ノックコントロールシステムを採用。また既存機種同様、電子制御燃料噴射方式(Programmed fuel injection, 以下 PGM-FI と略す)を採用し、出力、動力性能、燃費、排ガスエミッションすべての性能の向上を図った。制御システムは、実績のある自動車エンジンのシステムを踏襲しながら、船外機特有の機能と使われ方に対応する各種アラートシステム等の変更を加えた。

4. コンポーネント技術

4.1. 自動車エンジンの活用

Fig. 3 に、ホンダにおける自動車エンジンと船外機エンジンの相関を示す。BF90/75において、クランクシャフト、コンロッドの主運動系の部品共用を実現してから、BF130/115では更に、動弁系とバランス機構も含んだ共用する部品点数の拡大化を図ってきた。BF225/200の開発においては、更なる共用部品の拡大化を推し進めると共に、シリンダヘッド、シリンダブロックの、自動車用部品の加工設備の共用化も視野に入れ、従来の船外機とは異なるエンジンレイアウトを採用した。

従来船外機においては、排気通路をシリンダヘッドとし

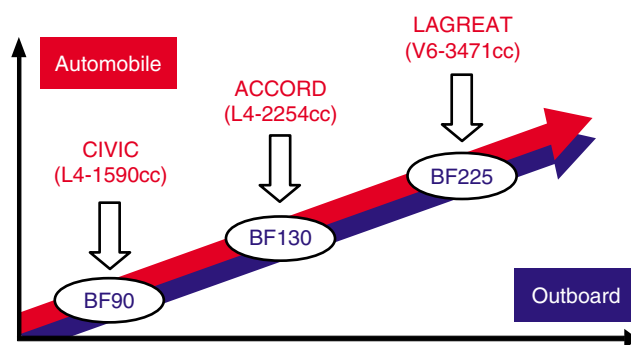


Fig. 3 Relation of automobile and outboard engine

シリンダブロックに一体構成した船外機エンジン独自の構造を採用していた。BF225/200 は、自動車エンジンのシリンダヘッド、シリンダブロックの機械加工ライン共用化を実現するために、排気通路を別体化して、自動車と基本寸法を統合した。別体化された排気通路は、排気ポートの周りをフルジャケット化し、ヘッドに固定される水冷アルミエキゾーストマニフォールドとマウントケースに支持されるエキゾーストガイドにより構成した。ヘッドからの排気ガスはシリンダブロックを経由することなく、直接マウントケース下のエクステンションケースまで導かれる構造とした。また本構造により、自動車エンジンのヘッドガスケットを共用することも可能となった。なお、クランクシャフトの支持方法も、自動車エンジンと同一の焼結製のベアリングキャップ構造を採用した。これらにより高い信頼性の確保

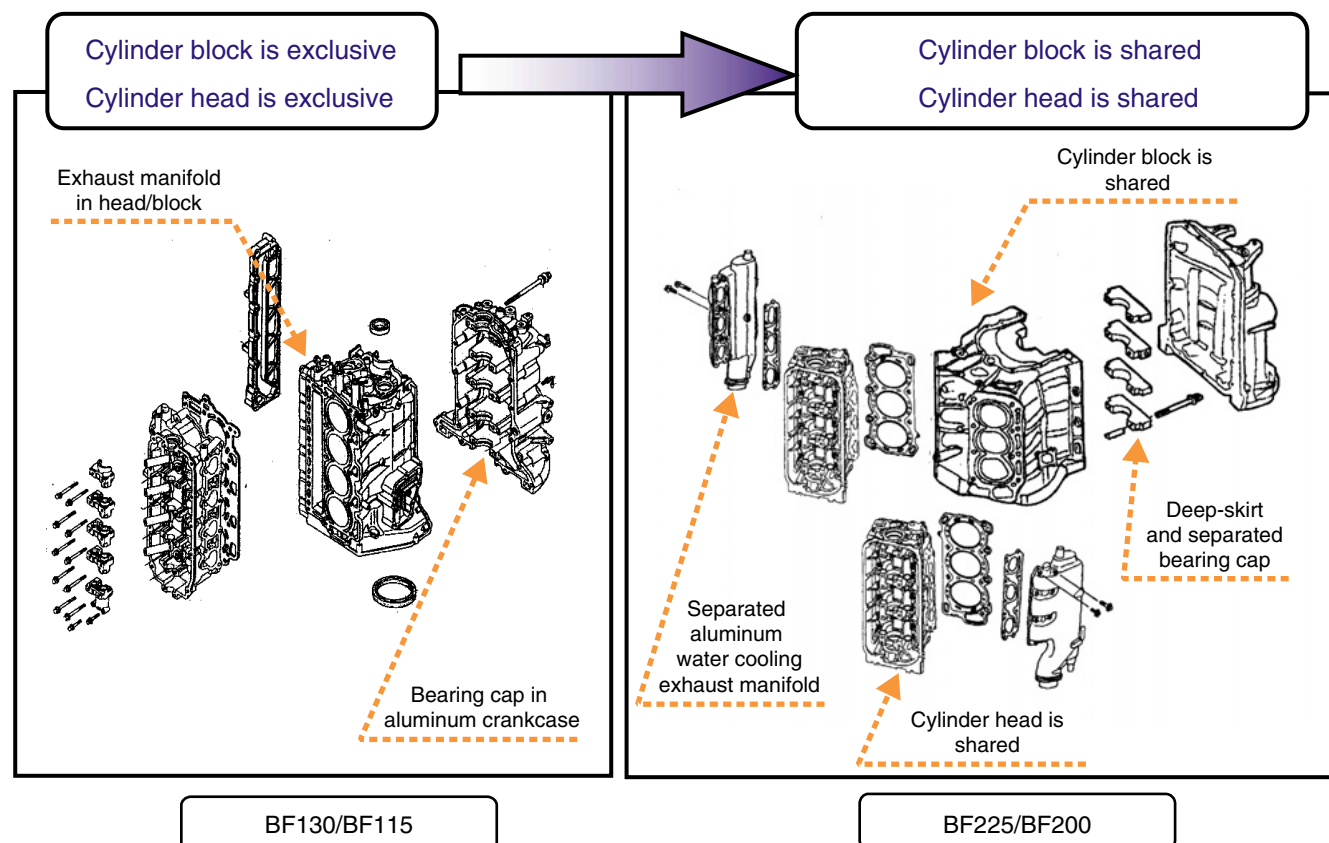


Fig. 4 Structure of power head

とコスト低減の両立を図った。Fig. 4に船外機のエンジン主要部の比較を示す。

4.2. VTEC/可変吸気システム

BF200 の出力をベースに排気量設定をし、BF225 においては、船外機エンジンとしては初の VTEC 機構を採用し出力向上を図った。

BF225 に用いた VTEC は吸気側のみ可変機構を持ち、高速側の設定は 225 馬力の最大出力を得られるバルブタイミング設定とした。低中速側の設定は、アイドリング回転の安定性等、実用域での使い勝手を重視したバルブタイミング設定にした上で、可変吸気システムの採用により低中速トルク向上を図った。この可変吸気システムは、インレットマニフォールドの左右のチャンバを仕切るバルブを開閉させることで 4000 回転以下では吸気の共鳴効果を用い、4000

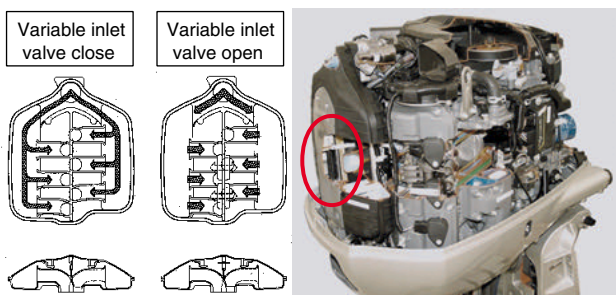


Fig. 5 Variable inlet valve

回転以上では吸気の慣性効果を用いて充填効率を向上することができた。このバルブはインレットマニフォールドの背面に設けたアルミニウム製アップカバー内に配置した。

Fig. 5に可変吸気バルブの模式図と断面を、Fig. 6にBF225の出力特性のグラフを示す。

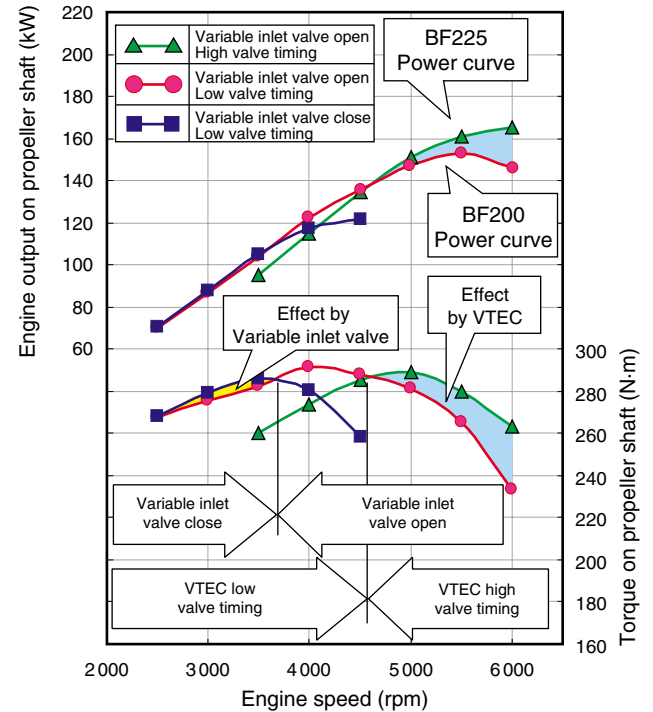


Fig. 6 Power curve of BF225/200

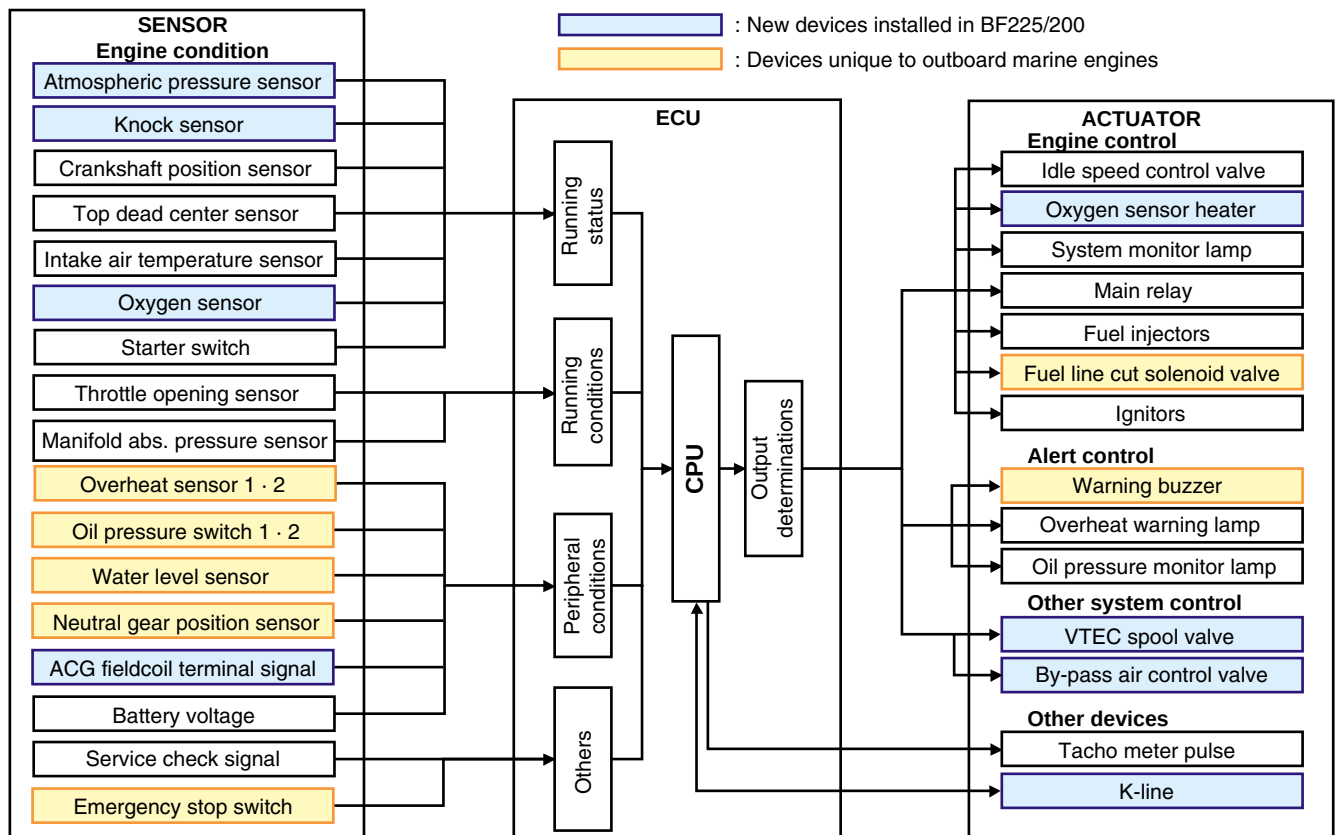


Fig. 7 BF225/200 Engine control system

4.3. エンジン制御システム

4.3.1. 全体システム概要

前モデル BF130/115 において初の PGM-FI を採用し、その始動性、信頼性について好評を得てきた。BF225/200 においてはフラッグシップにふさわしい基本性能の更なる向上を目的として、

- ・ O_2 フィードバックシステムの採用
 - …低燃費、低排出ガスエミッション対応
- ・ ノックコントロールシステムの採用
 - …高出力対応
- ・ 各種アラート制御システムの充実
 - オーバーヒート、オイルプレッシャ、PGM-FI、ACG、ウォーターセパレータアラート
 - …高信頼性対応

を図った。システムは自動車の制御を基本としているが、船外機特有の使われ方から、特にアラート制御については船外機独自のシステムを構築した。また、各部品については船外機の使用環境に見合うよう、熱、振動、腐食、被水等の環境適合性を向上させた。Fig. 7 にシステム図を示す。

4.3.2. O_2 フィードバックシステム

燃費と排出ガスエミッション性能を高次元で両立させるため、吸気、燃料系システムは PGM-FI とし、さらに4ストローク船外機では初めて O_2 フィードバックシステムを採用した。これらにより燃費では他社同出力 2st DI 船外機に対し 8% のアドバンテージを得、また、排出ガスエミッショ

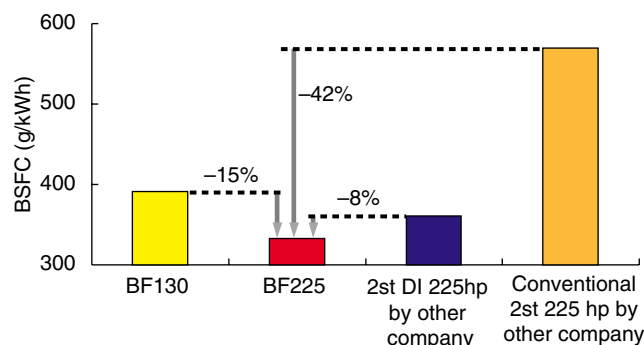


Fig. 8 BSFC on the emission-measuring mode

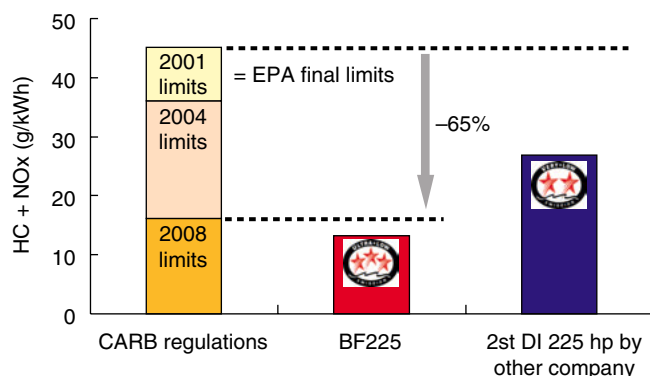


Fig. 9 Amount of exhaust emissions

ンについては CARB のマリンエンジンに対する排出ガス規制の最終年度(2008 年)規制値をクリアし、200 馬力クラス船外機として世界で初めて ULTRA-LOW エミッションのレベルを達成した。Fig. 8 に燃費の達成値を、Fig. 9 に排出ガスエミッションの達成値を示す。

また、前述の CARB マリンエミッション規制をクリアした場合、Fig. 10 に示す CARB 環境ラベルを船外機に貼り付けることができるため、BF225/200 は下段の Three-Star (ULTRA-LOW) ラベルを貼付した。



Fig. 10 CARB environmental label

4.3.3. ノックコントロールシステム

完装状態のプロペラ軸で表示出力 165kW を 5 500rpm で得るためにはエンジン単体で 200kW 相当が必要となり、57 (kW/l) という高比出力が求められた。そこで、前述の VTEC 採用を含む吸気系、排気系システムのチューニングに加え、エンジンの出力ポテンシャルを最大限に引き出すべくノックコントロールシステムを採用した。ノックセンサは共振型で、オクタン価 80 ~ 90RON の範囲で最適点火時期に制御されるよう設定した。本システム採用により、全開出力で 5 ~ 6kW の出力向上を得た。

4.3.4. アラート制御システム

(1) オーバヒートアラート 船外機の冷却系は、海水などを直接エンジンに吸入し冷却するため、水面の浮遊物などにより吸水口や冷却水通路が遮断されると、エンジンがオーバーヒートを起こし、重大な被害を受ける可能性があった。本機種は V6 エンジンであり、各バンクでの水路の閉塞を的確に検知するために、両バンクにそれぞれオーバーヒートセンサを配置し、オーバーヒートを早期に検出できるシステムとした。制御アルゴリズムは前モデル BF130/115 を基本踏襲し、アラートの動作はブザー、ランプによる警告と、燃料、点火カットによるエンジン回転数低下制御とした。

(2) 油圧アラート 油圧アラートの制御アルゴリズムは、BF130/115 を基本踏襲したが、油圧を低圧、高圧 2 種類の油圧スイッチにて監視し、エンジン回転数と油温に応じたアラート作動設定を可能とし、エンジンの保護機能を向上させた。アラートの動作は前述のオーバーヒートアラートと同様とした。

(3) その他 オルタネータ異常時の警告や、燃料タンクに溜まった水の燃料ラインへの浸入を未然に防止する警告を、ブザーやランプで行なうシステムを装備した。

4.4. 軽量化技術

4.4.1. 樹脂インレットマニフォールド

インレットマニフォールドは、従来のアルミニウム製から強度と剛性を考慮しナイロン樹脂製とした。インレットマニフォールドの外観を Fig. 11 に示す。

インレットマニフォールドは Fig. 12 のように6ナイロン製インジェクション成型の三つの部品を振動溶着で接合する構造とした。各々の溶着の接合面を同一平面上に設定することで単品状態での溶着面精度管理をし、溶着品質の安定化を図った。

BF225/200 で採用したインレットマニフォールドは、船外機のエンジンカバーの前後長を短縮するため扁平な形状とし、可変吸気バルブカバーの取り付け開口部を有する必要があった。この形状での耐圧強度の確保という課題に対しては、カバー取り付け用開口部の周囲に設けた6箇所の柱を同時に振動溶着する構造とすることで強度を確保した。さらにCAEによる溶着部を含めた耐圧強度解析・振動解析



Fig. 11 External view of inlet manifold



Fig. 12 Structure of inlet manifold

によって柱やリブの設定の最適化を図り、一般部肉厚4 mm 以下を確保しながら十分な強度を得ることができた。これらの技術によりアルミニウム製とした場合の重量に比べ約 1/2 と大幅な軽量化を達成した。

4.4.2. 樹脂 ECU ケース

これまで点火イグナイタを内蔵するために発熱の大きかった ECU は、放熱を考慮してアルミニウムケースに樹脂を注型することで使用環境に対応していたが、そのため大幅な重量増となっていた。そこで、イグナイタを点火コイルに内蔵させ、発熱回路部を基板上放熱しやすい位置に配置する工夫をし、エンジン実装位置における雰囲気温度を抑えることで、ECU の樹脂ケース化を実現した。併せて、電子部品の実装高さの検討を進めると同時にケース形状をこれまでのバスタブ型から封筒型に変更し、注型樹脂量を節約できる構造とすることで、従来比約30%以上の軽量化と同時にコストダウンも図ることができた。ロープロファイル化を推進することで ECU の実機搭載性も向上した。

Fig. 13 に ECU を示す。



Fig. 13 ECU

4.4.3. 懸架系部品の最適化

懸架系の軽量化に対する取り組みとしては、船外機を船体に取り付けるスタンプラケット及び転舵軸を支えるスィベルケースについて、Fig. 14 に示すような CAE 解析モデルを用いて、現物による静的及び動的破壊荷重との相関を図りつつ、荷重負担の大となる部位を特定して、強度確保と軽量化を両立する最適形状とした。

その結果、従来船外機(BF130/115)の懸架系重量に対し - 20%(推力比)の軽量化を達成した。

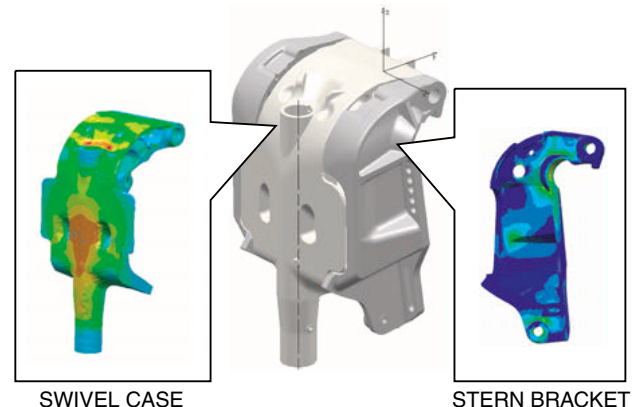


Fig. 14 CAE model of strength

4.5. センタハンドルエンジンカバー

4ストローク船外機では、出航前点検にオイルレベルのチェックを実施するためのエンジンカバー脱着の際、大きくて重いエンジンカバーでは持ち難く、お客様の負担が大きいと考える、軽くて持ちやすいエンジンカバーを開発した。従来船外機のエンジンカバーは、エンジンの吸気口とチルトアップハンドルをかねて手をかける場所を後方に設定していたが、大型化することに伴いエンジンカバーを持つための専用ハンドルを上面の中央に設定した。重量はBF130/115 で実績のあるリム成型を採用し、2st DI 船外機に比べエンジンカバー重量で 7.1kg の軽量化を実現した。エンジンカバーの外観と手で持ったイメージを Fig. 15 に示す。



Fig. 15 Center handle engine cover

4.6. 新防食塗装

前述の低排出ガスエミッション、低燃費等の実機使用時における環境対応と共に、製造工程での取り組みとして外観部品にノンクロム塗装を採用した。

船外機の外装部品においては海上使用における耐食性能を確保するため、陽極酸化皮膜をアルミニウム合金上に形成し、その上に塗装皮膜を重ねる仕様となっている。

陽極酸化皮膜には空孔があり、この空孔から陽極酸化皮膜が破れ腐食が局部的に進行する事がある。従来、二硫化モリブデンと酢酸ニッケルで封孔処理を実施し、陽極酸化皮膜の補強を施していた。しかし塗装皮膜を破るような深い外傷がついた場合、二硫化モリブデンは結晶体であるためアルミニウムの地肌を覆い隠すような不働態皮膜は形成されず腐食が進行してしまう。そこでアルミニウムとの間で不働態皮膜を形成し、防食効果を発揮するクロムを含有したプライマを用いて腐食の進行を抑えていた。

BF225/200 で採用したクロムを全廃した新防食塗装は陽極酸化皮膜の空孔にリン酸ジルコンを含浸し、酢酸ニッケルで封孔して陽性酸化皮膜を補強した。リン酸ジルコンは非結晶体であるため、塗装皮膜を破るような深い外傷がついた場合でもアルミニウムとの間で不働態皮膜を形成し防食効果を発揮でき、さらにリンモリブデン酸を含有したプ

ライマを追加することで不働態皮膜を強固なものとし、塗装に含まれるクロムを全廃しながら従来同等以上の耐食性能を確保した。Fig. 16 に船外機の塗膜層の模式図を示す。

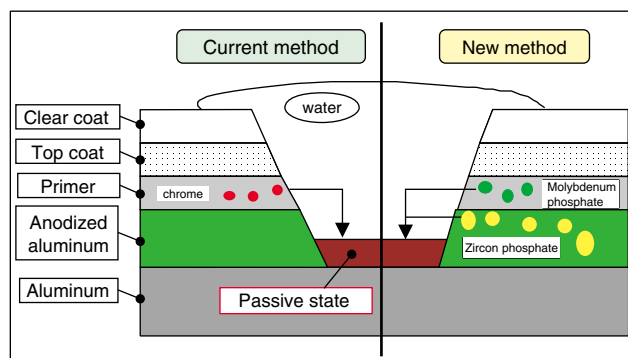


Fig. 16 Cross-sectional image of outboard paint

5. 開発の成果

5.1. 動力性能

VTEC、可変吸気システム、ノックコントロールシステムなどによる出力向上技術と樹脂インレットマニフォールド、懸架系構造解析などによる軽量化技術により、Fig. 17に示すように、他社2stDI 船外機と同等の加速性能を達成した。

5.2. 低振動

60° V6 エンジンと、トルクロー軸(爆発反力による回転振動中心軸)支持、非線形ばね特性ラバーマウントの採用により、他社 2stDI 船外機に対し振動レベルで半分以下という低振動を達成した。Fig. 18に船体振動レベルをFig. 19に非線形ラバーマウントのばね特性を示す。

5.3. 低騒音

コンパクト性を犠牲にしないように、大容量吸気サイレンサをエンジン上部に配置し、Fig. 20に示すように、他社2stDI 船外機に対し 3 dBA 以上の低騒音を達成した。

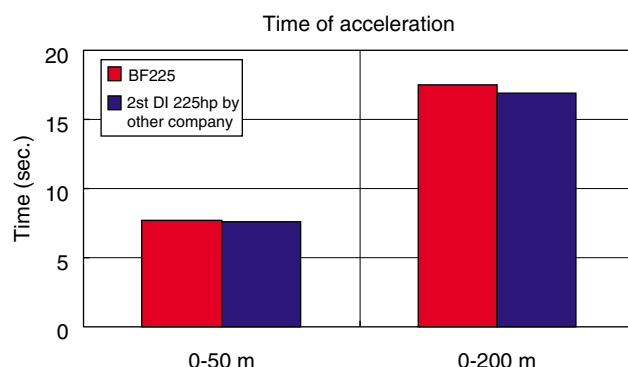


Fig. 17 Comparison of acceleration time

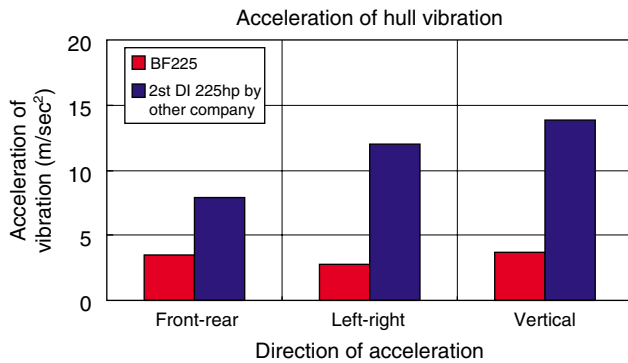


Fig. 18 Comparison of vibration level

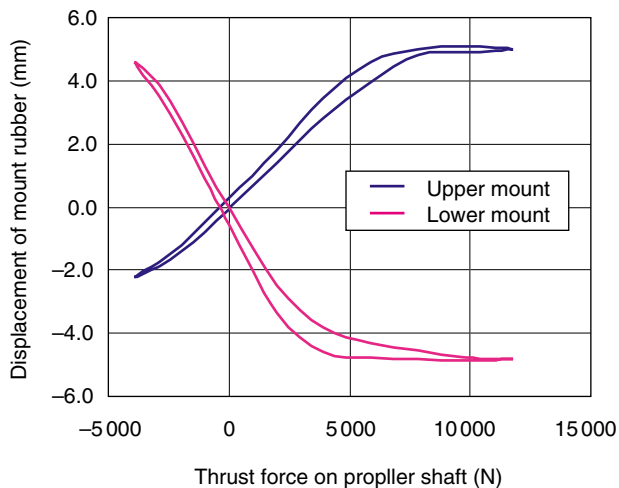


Fig. 19 Displacement of mount rubber

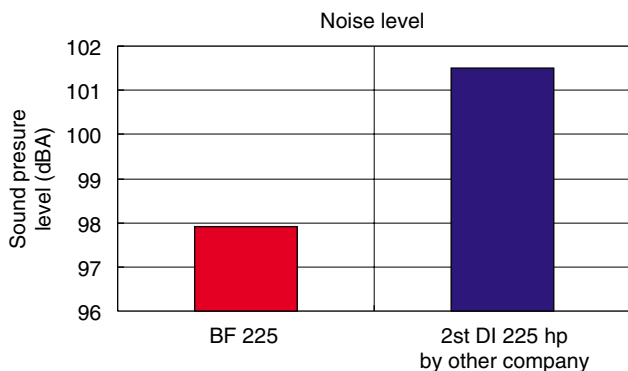


Fig. 20 Comparison of noise level

5.4. 船外機搭載性

この出力帯の船外機は、ひとつの船に2台の船外機を取り付ける(以下2機掛けと称する)比率が高く、2機掛けの場合、旋回時にプロペラが水面から出ないように、なるべく中央よりに近づけて2台の船外機を取り付けるのが一般的であった。従来、2ストローク船外機に対し、4ストローク船外機は出力を確保するために排気量が大きめの設定になる上、動弁系を持つため、V6エンジンの場合、全幅が大きくなる傾向があったが、BF225/200ではエンジンカバーの

前方の幅を絞り込む“V-Wing Form”の採用により、200馬力クラス4ストローク船外機として世界で初めて、2機掛け取り付けスパン 660mm という業界最小スパンでの搭載が可能となった。

つまり他社の2ストローク船外機からの乗せ換えにおいて、大切な船に船外機の取り付け穴を空け直さなくて良くなることができた。

Fig. 21 に他社 2stDI 船外機と、BF225/200 を2機掛けした状態を比較したイラストと、Fig. 22 にはフルステアリング状態の船外機の上面図を示す。

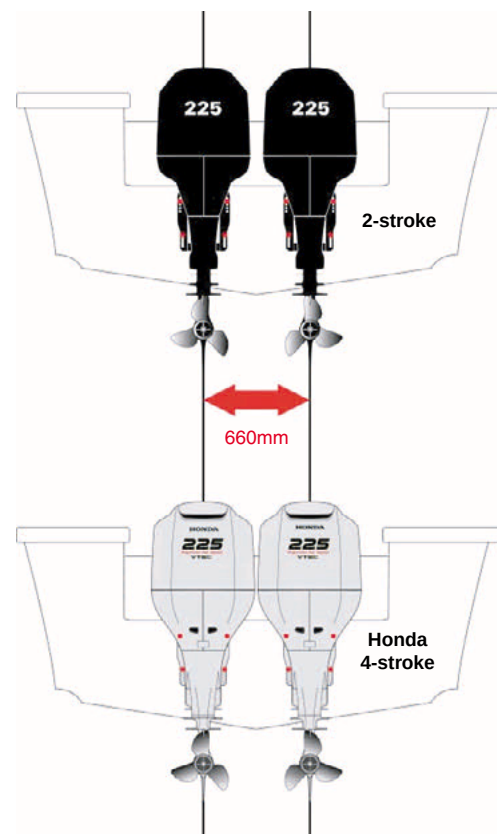


Fig. 21 Installation of twin outboard motors

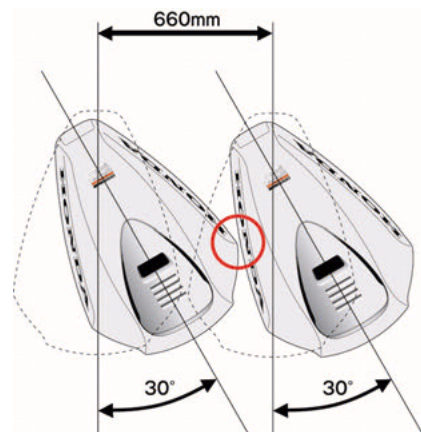


Fig. 22 Twin installation at full steering

6. おわりに

BF225/200は、VTEC、可変吸気システム、樹脂インレットマニフォールド、ノックコントロールシステム、水冷アルミエキゾーストマニフォールドなどにより、既存同クラス2st DI 船外機と同等の動力性能と搭載性を確保しつつ、PGM-FI、O₂フィードバックシステムなどにより、出力、燃費、排ガスエミッションの高次元バランスを達成した。また、自動車エンジンとの部品共用と、シリンダブロックやシリンダヘッドなどの加工設備共用により、高信頼性と低コストの両立を実現した。

以上により、ホンダ4ストローク船外機のフラッグシップにふさわしい世界最大出力4ストローク船外機、BF225/200(Fig. 23)を市場に提供する事ができたと共に、ホンダ4ストローク船外機のラインアップを2馬力から225馬力まで拡大する事ができた。

最後に、この船外機を完成させるにあたり、国内外の各製作所の方々をはじめ、社内外の多くの方々から多大なるご協力をいただいた。ここにあらためて感謝の意を表する。



Fig. 23 Boat with twin BF225s at cruising speed.

7. 参考文献

- (1) 角田 正樹, 設楽 貞文, 島崎 弥, 林崎 正一: 大型4ストローク船外機「BF115/130」の開発, HONDA R&D Technical Review vol.11 No.1, p.15-22 (1999)
- (2) Hosaka,T., Hamazaki,M.: Development of the Variable Valve Timing and Lift (VTEC) Engine for the Honda NSX, SAE Paper 910008
- (3) 大津啓司, 中原 一浩, 坂本 泰英, 今井 世志弘: 97 モデル「アキュラCL用3.0LV6エンジンの開発, HONDA R&D Technical Review vol.9, p.51-60 (1997)

■ 著 者 ■



角田 正 樹



大角 雅 之



米 沢 道



古谷健太郎



設 楽 貞 文



木 全 隆 一