

高出力，低燃費船外機[BF150]の開発

Development of High-power, High Fuel Economy BF150 Outboard Motor

米 沢 道*
Makoto YONEZAWA
設 楽 貞 文*
Sadafumi SHIDARA

松 田 佳 之*
Yoshiyuki MATSUDA
豊 後 圭一朗*
Keiichiro BUNGO

田 和 寛 基*
Hiroki TAWA
鈴 木 幸 夫*
Yukio SUZUKI

要 旨

Honda 4ストロークエンジン(以下, 4st)大型船外機シリーズの中で中核をなす, 110kW(150 馬力)クラスの船外機を開発した。2ストロークエンジン(以下, 2st)が主流のこの馬力帯に本格参入するにあたり, 他社 2st 機と同等の走行性能を持たせるためのエンジン出力向上技術と軽量化技術を投入した。

エンジン出力向上のためには, DOHC-VTECをはじめとした自動車エンジン技術の活用と共に, 船外機独自の二系統独立制御冷却システムやバタフライ式可変管長吸気機構を採用した。

走行性能の向上のためには, 新製法の樹脂製エンジンアンダカバーやオイルケース構造等の軽量化技術や, 大型のプロペラに対応するための, ギヤ比をローレシオ化したギヤケースを採用した。

燃費性能の追求では, 船外機初となるLAF(Linear air fuel ratio)センサ制御によるリーンバーンを採用した。

その結果, 比出力(kW/L)で, 自社既販機に対し, 15%の向上に成功した。燃費性能においても, 2008年のCARBエミッション規制に適合しながら, 同20%減というレベルで性能向上を図ることに成功し, 走りと燃費の高い次元での両立を達成した。また, 実走行性能においてもオフショアボートで他社 2st と遜色ない最高速と加速性能を得た。

ABSTRACT

Honda has developed a 110kW (150hp) class outboard motor as the flagship model of its large, 4-stroke engine (4st) outboard series. A variety of technologies have been employed to increase power and reduce weight to produce a 4st engine in a horsepower class normally associated with 2-stroke engines (2st) and equal the performance of competitors' 2st engines.

To increase the power of the engine, automotive engine technologies including DOHC-VTEC were employed, together with a dual control cooling system (unique to outboard motors) and a variable intake port system employing butterfly valves.

Improved performance was achieved through the application of weight saving technologies including a resin engine undercover manufactured using a new production process and a new oil case structure and the employment of a gear case that lowers the gear ratio to cope with the demands of the large propeller.

Increased fuel efficiency has been achieved through the employment of lean-burn using linear air/fuel ratio (LAF) sensor control in a world first for an outboard motor.

As a result of the technologies outlined above, a 15% increase in specific power (kW/L) has been achieved in the new outboard against previous Honda models. The motor satisfies the emission requirements stipulated in the 2008 CARB regulations while increasing fuel efficiency by 20% against the previous model in the same output range, and offers an excellent balance between running performance and fuel economy. In actual offshore use the top speed and acceleration of the new outboard match those of competitors' 2st engines.

1. はじめに

世界の船外機市場において, いわゆる, 大型クラスと呼ばれる 74kW(100 馬力)以上の船外機が占める割合は, 約 22%(2000 年度, Honda 調べ)であり, 台数にして約 144 千

台となる。

Honda は, 1998 年に BF130/115⁽¹⁾によって, 初めてこのクラスに参入し, 続いて 2001 年に BF225/200⁽²⁾, 翌年には BF200 をデチューンした BF175 を市場投入してきた。

このクラスは, 全体市場の拡大と共に堅調に推移してお

*朝霞東研究所

り、中でも 110 から 147kW(150 から 200 馬力)までの出力帯は、燃費や快適性、環境意識の高まりから、大型船外機市場の中でも急進している市場である。しかしながら現状では、燃費性能を訴求した一部の 2 ストローク直噴エンジン搭載機(以下、2stDI)のみで、半数近いシェアを独占している状態である。Honda としてこのクラスに本格参入するにあたっては、経済性と環境適合性を、既販機以上のレベルで実現することは勿論、従来の 4st 船外機の高信頼性を維持しながら、更なる優位性を持たせるための低燃費化技術と、競合 2st 機と遜色ない動力性能を持たせるための高出力化及び軽量化技術の採用が必要であった。

2. 開発のねらい

商品開発にあたり、目標として掲げたものは、

“走りと燃費の高い次元での両立”であり、具体的には、4st 船外機 No.1 の比出力(kW/L)と、船外機 No.1 の低燃費の達成である。

目標達成に向け、

エンジン出力の向上手段としては、

- ・DOHC-VTEC
- ・可変管長樹脂インテークマニホールド
- ・二系統独立制御冷却機構(船外機初)

船外機としての走行性能向上手段としては、

- ・船外機重量の低減(目標、既販機 BF130 以下)
- ・大型プロペラに対応したギヤケースの採用

燃費の向上手段としては、

- ・LAF センサ制御によるリーンバーン(船外機初)
- をそれぞれ採用した。

その上で、Honda 船外機のフラッグシップである BF225 で採用された、数々のアラート制御機構を同等に装備させるとともに、懸架系部品へのステンレス材の採用拡大等、クラスを超えた信頼性を持たせることや、操作性やメンテナンス性に対する配慮を徹底し、更なる商品力の強化を図った。

このように BF150 は、運動性能、経済性、信頼性、取扱い性、すべての面でクラス最良を得られる船外機を目指して開発された。

また、外観デザインは、市場投入後に大変好評価をいただいた、BF225 で採用のインテグレートッドラインを踏襲した Wing Form を採用し、Honda 船外機の先進性を強くアピールした。Fig. 1 に BF150 の外観写真を示す。

3. 主要諸元および概要

BF150 の主要諸元を Table 1 に示す。

エンジンは、2003 年モデルの US アコード用 2.4L 直列 4 気筒エンジンから、クランクシャフト、コンロッドなど主運動系部品を流用し、動弁系には吸気側にのみ 3 ロッカーアームタイプの VTEC 機構を組み込んだ、DOHC 4 バルブ形式を選択した。船外機搭載にあたり、エンジン本体を縦置きとするために、BF130 開発からの経験を生かして、潤滑、冷却システムを自動車エンジンから大幅に見直した。また、BF225 で採用した、自動車用部品との加工設備の共用化については、シリンダヘッドにおいて、船外機の専用加工部位をなくした完全共用化を実現し、生産コストを抑えた。エンジンカバー寸法は、他社 2st 機との搭載互換性を配慮した寸法とし、2 機掛け搭載時の取り付けピッチも、既販機同一の 26 インチ(660mm)に対応できるような全幅にした。

さらに、高速艇との適合性をにらんで、トランサムハイトの短縮化(対 BF130 比 -29mm)や、ウォータスクリーンの取り付け位置を下げて、トリムアップ滑走状態でもエンジン冷却水の吸水性能を充分確保できるようにした。

また、取扱い性を重視してサイズを決めた小型のエンジンカバー、軽整備に対応したリアグロメットの設置、メンテナンス部位の右舷側への集約等、メンテナンス性への配慮をした。アンダカバーは、軽量化のためにポリプロピレン製のインジェクション成型品としながら、剛性確保と部品点数の削減を目的とした新構造を採用した。シフト機構については、従来構造からリンク部品を減らして、操作フィーリングを向上させた。

リーンバーンのための LAF センサは、自動車用部品をベースに、エキゾーストマニホールドへの直付けの対応や、



Fig. 1 External view of BF150

Table 1 BF150 L-type Specifications

Overall length (mm)	845
Overall width (mm)	580
Overall height (mm)	1665
Transom height (mm)	508
Dry weight (kg)	217
Engine type	4stroke L-type 4 cylinder
Displacement (cm ³)	2 354
Bore (mm) × stroke (mm)	87 × 99
Compression ratio	9.6 : 1
Valve train	DOHC-VTEC 16 valves
Valve number	4/cylinder
Maximum power (kW/rpm)	110 / 5500 (150 PS / 5500 rpm)
Maximum torque (N·m)	202
Recommended engine rpm range	5000 - 6000
Fuel supply system	Programmed Fuel Injection
Ignition system	Programmed Ignition (with Plug Hole Coil)
Charge output (A)	40
Cooling system	Water cooling (with 2 thermostats)
Exhaust system	Through propeller hub

排気管からの被水タフネスを上げるための変更をした。制御系は、BF225 に採用した各種アラート機構を踏襲し、自動車用のプログラムをベースにしながら、船外機の使い勝手に合わせた専用セッティングの ECU を開発した。

4. コンポーネント技術

4.1. エンジン出力向上技術

4.1.1. 二系統独立制御冷却システム

BF150では、船外機エンジンとしては初のヘッド・ブロックの独立制御冷却システムを採用し、ノック限界を向上させ、出力向上を図った。

一般的なエンジンにおいては、シリンダヘッドとシリンダブロックのウォータージャケットはガスケット面で連結されており、一つのサーモスタットで水温制御をおこなっている。

しかしこの従来のシステムの場合、海水等を直接吸い上げて冷却をおこなう船外機においては、シリンダブロック側の過冷却によるオイルダレーションを防止するために、水温の制御温度を一定レベル以下に下げる事が出来ない。そのため、シリンダヘッド側へのより効果的な冷却が出来ず、出力向上の妨げになっていた。

そこでBF150では、シリンダヘッドとシリンダブロックの冷却水経路をヘッドガスケットによって、完全に分離・独立させ、二つのサーモスタットにより経路ごとに水温制御をおこなった。これにより、シリンダヘッド側のサーモスタット制御温度(50℃)をブロック側制御温度(60℃)より低く

設定する事が出来、ノック限界を約8°向上させ、約2.5%の出力向上を達成した。

また、エキゾーストマニホールドとオイルギャラリーは上記二経路とは独立した冷却経路により冷却をおこない、排気系冷却とオイル冷却をおこなった。Fig. 2 に BF150 における冷却水経路図を示す。

4.1.2. 可変管長樹脂インテークマニホールド

BF150では、中低速域の高トルクと高回転域での高出力を両立させると同時に、軽量化と耐食性向上を目的として、可変管長機構付きオール樹脂インテークマニホールドを採用した。

BF150 で採用した可変管長吸気機構は、バタフライバルブにより吸気管長を二段階変化させる構造で、VTEC との相乗効果により、低速域から高速域にかけてのフラットなトルクと高出力の両立を実現した。Fig. 3に可変管長吸気機構の略図を、Fig. 4 に BF150 の出力特性グラフを示す。

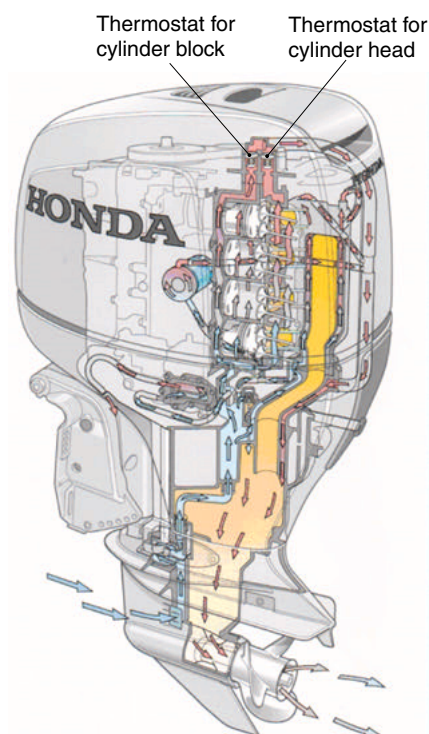


Fig. 2 Dual control cooling system

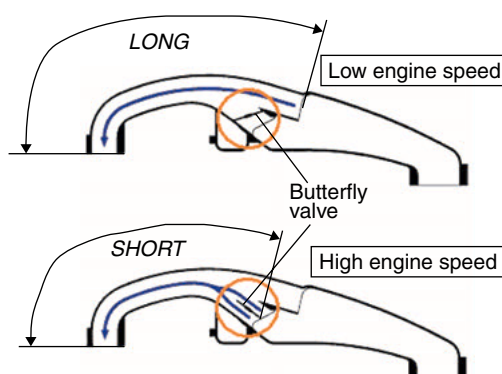


Fig. 3 Variable air intake port system

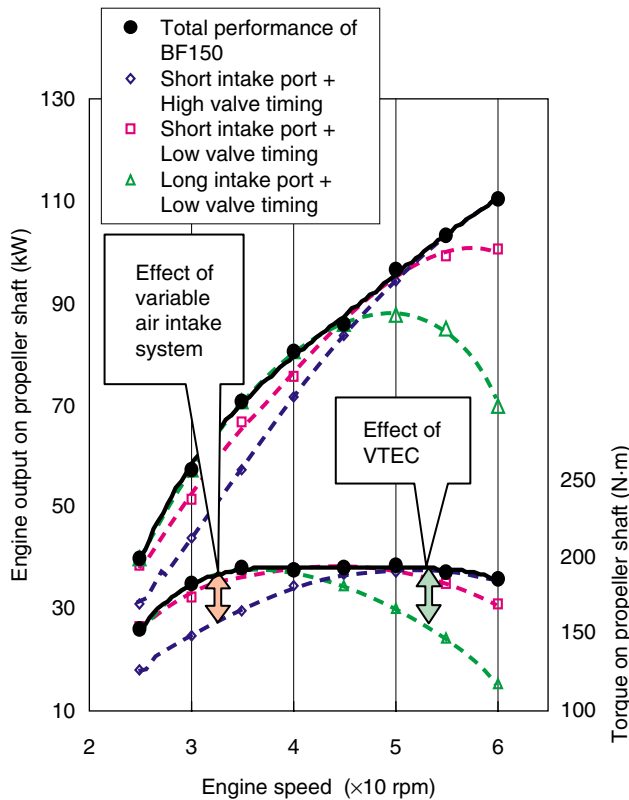


Fig. 4 Power curve of BF150

また構成部品については、メインボデーにバルブ作動用のバキュームタンクやダイヤフラムボデー、チェックバルブを一体化して部品点数を削減するとともに、樹脂材料を採用する事により軽量化と耐食性向上を図った。また、吸気管長切り換え用のバタフライバルブについても、バルブ本体はもとより、軸受け部にも樹脂材料を適用しオール樹脂化を実現した。これにより、アルミダイキャストで作った場合に比べ、2.7kgの軽量化を達成した。Fig. 5に可変管長部の透視図を示す。

以上の出力向上技術により、比出力(kW/L)で自社既販機に対し15%向上し、4st 船外機で最大値を達成した。Fig. 6に比出力の比較グラフを示す。

4.2. 走行性能向上技術

4.2.1. 軽量化技術

軽量化技術としては、可変管長樹脂インテークマニホールド以外に新製法軽量樹脂エンジンアンダカバーと、エクステンションケース上部と一体化したオイルケース構造を採用した。

(1) 新製法軽量樹脂エンジンアンダカバー 従来機種ではエンジンアンダカバーを樹脂化する際、横置き運搬時のカバー変形防止のため、金属部品を使用して内側より補強する構造を採用している。BF150では、軽量化および支持構造の部品点数削減のため、インジェクション成型の外観カバーに内側からブロー成型の内部フレームを溶着結合す

る構造とした。本構造の採用により1kgの軽量化を達成した。Fig. 7にエンジンアンダカバーの構造図を示す。

(2) オイルケース構造 従来オイルパン廻りの構造としては、オイルパンにエキゾーストパイプを取り付け、その外周をエクステンションケースで覆い、その間に冷却に使用した水をシャワー状に流すことで排気透過音の低減を図っていた。BF150では大幅な軽量化を図るため、オイルパン及びエキゾーストパイプを一体成型し、エクステンションケース上部と一体化したオイルケース構造とした。エキゾーストパイプ部は、オイルケースのほぼ中央に設定して排気口を外壁から遠ざけるとともに、オイルケース内側をオイルパン部で分離して共鳴する内側面積の最小化を図り

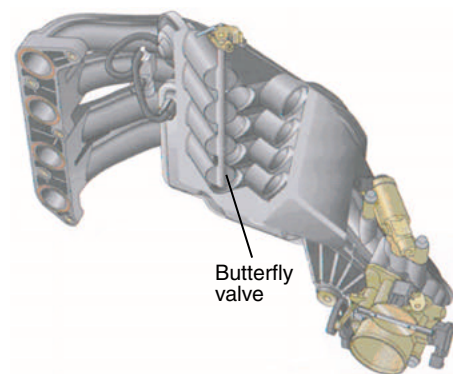


Fig. 5 Cutaway view of intake manifold

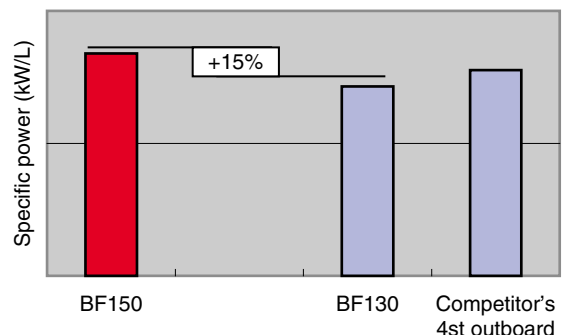


Fig. 6 Comparison of specific power

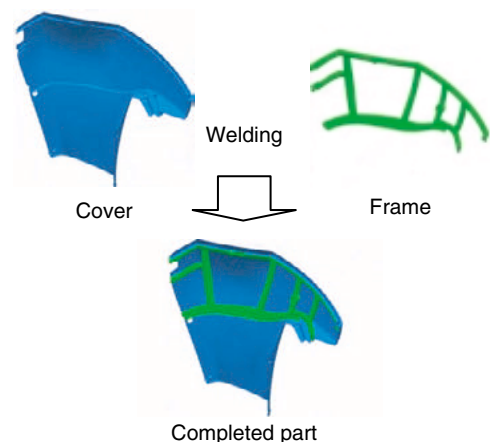


Fig. 7 New product engine undercover

排気透過音を抑えた。本構造の採用により2kgの軽量化を達成した。Fig. 8 にオイルケース構造の断面図を示す。

4.2.2. 駆動系の専用設計

BF225 用の大径プロペラに対応したハウジング径の大型化と軽量化の両立を図るため、ギヤケースを専用化した。

大径プロペラとのマッチングを図るためギヤ比を下げ、またハウジング径の大型化に合わせギヤも大径化して、耐久性の向上を図った。これにより、他社同クラス 2st DI 機に対し最高速度及び 0-200m の発進加速タイムで同等値を達成した。

他社 2st DI と比較した、Fig. 9 に最高速度、Fig. 10 に発進加速性能のグラフを示す。

4.3. 燃費低減技術

4.3.1. リーンバーンによる低燃費の実現

各国の排出ガス規制をクリアし、燃費においても他社船

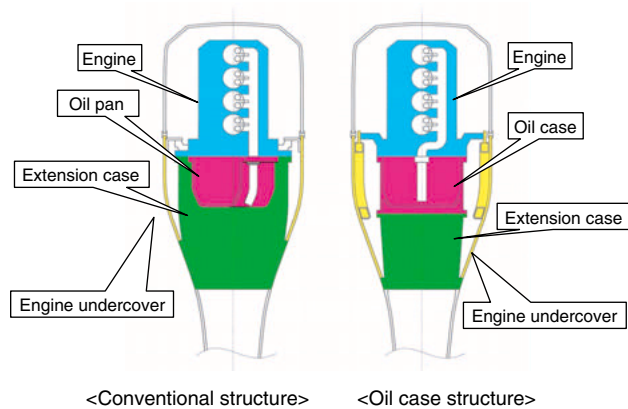


Fig. 8 Cutaway view of oil case

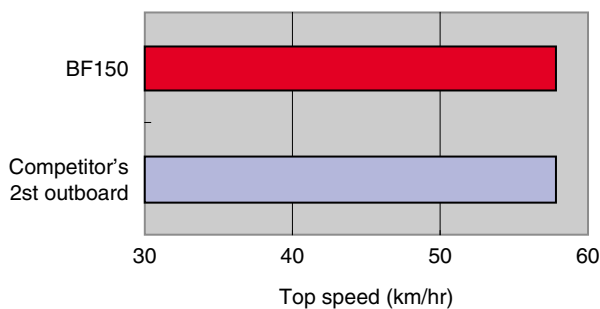


Fig. 9 Top speed

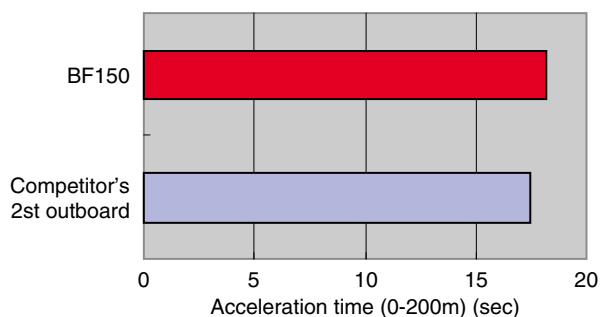


Fig. 10 Acceleration performance

外機を大幅に上回る性能とするため、吸気、燃料系システムは PGM-FI とし、さらに船外機では初めて LAF センサを用いたリーンバーン制御を採用した。これにより、燃費ではエミッション測定モードにおいて自社既販機比20%、他社同出力 2st DI 船外機に対し 15%のアドバンテージを達成した。Fig. 11 に燃費の達成値を示す。

船外機において、お客様にはっきりと燃費の良さを感じ取って頂くためには、使用頻度の高いクルージング速度領域で燃費が良い事が条件となる。BF150 では、エンジン回転数4700rpmまでリーンバーン領域とし、あらゆる船体で燃費の良さを実感出来る様にした。

リーンバーン領域の空燃比は、低燃費とドライバビリティとの両立より A/F=18 に設定し、さらにリーン領域からリッチ領域に遷移する際の急激な出力の立ち上がりに対応するべく、非線形開度特性としたスロットルカムを装備し、良好な出力コントロール性を得た。

Fig. 12 に一般的な船体における実用燃費低減効果を、Fig. 13 にリーンバーン領域設定を、Fig. 14 にスロットルボデーを示す。

また、排出ガスエミッションについては CARB マリンエミッション規制の最終年度(2008 年)規制値をクリアし、ULTRA-LOW エミッションのレベルを達成した。さらに2006年より施行される欧州の排出ガス規制に対しても施行を先取りした性能とした。Fig. 15 および Fig. 16 に排出ガスエミッションの達成値を示す。

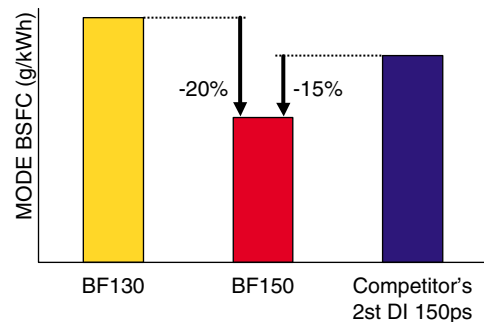


Fig. 11 BSFC in emission measurement mode

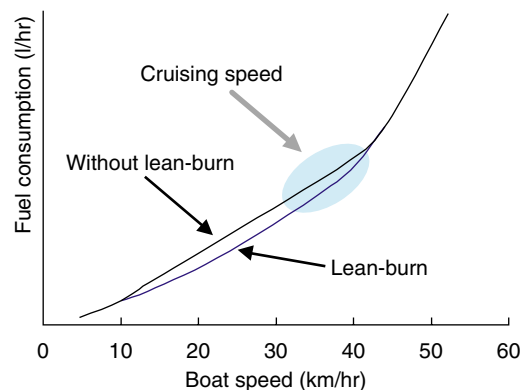


Fig. 12 Effect of lean-burn

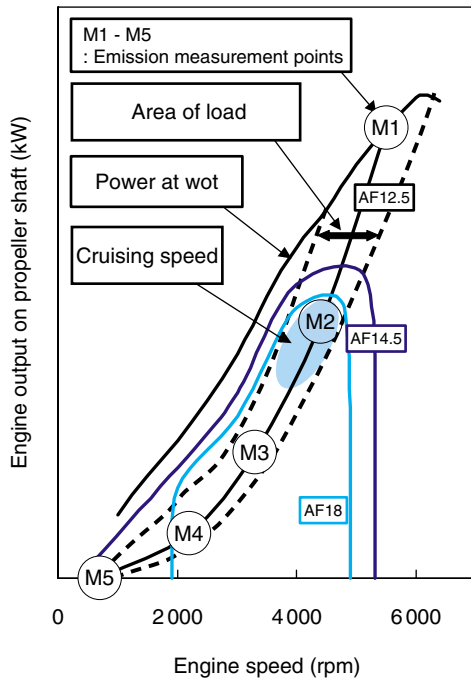


Fig. 13 BF150 lean-burn area

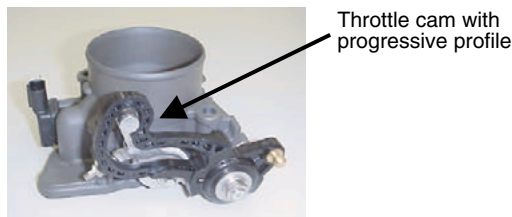


Fig. 14 Throttle body

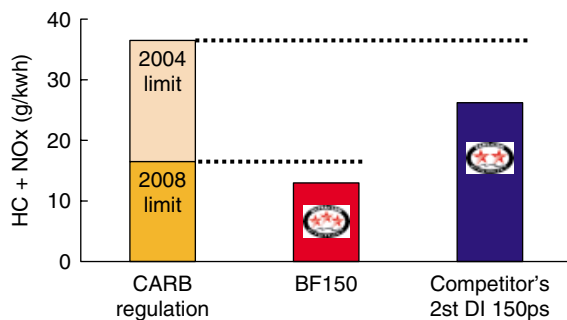


Fig. 15 Level of exhaust emissions (CARB)

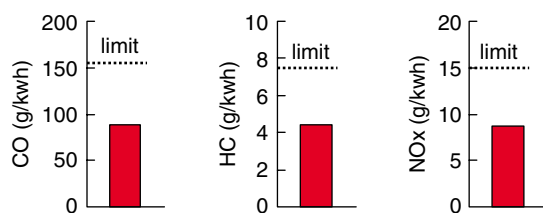


Fig. 16 Level of exhaust emissions (EC)

4.3.2. LAF センサの船外機対応

LAF センサは、自動車用部品をベースとし、本機特有の使われ方である下記2点の対応をおこなった。

1)エキゾーストマニホールド直付けへの対応

2)排気管からの被水タフネス向上

エキゾーストマニホールド直付けにより発生する、自動車と異なる振動に対応するため、センサ内部の構造を一部変更した。

また、海水と排気通路が直接接しているため、排気側に設置するLAFセンサに、海水による被水が発生する可能性がある。そこでその被水タフネス向上策として、Fig. 17の通り、排気通路の最上流部にあたる上端側にセンサを配置するとともに、センサのプロテクタ形状も専用設計することで、センサ素子への被水量を最小となる設定とした。

4.4. その他の商品力向上要素

4.4.1. チェーンシステムのマリナイズ化

BF150では、Honda船外機としては初めてカムシャフト、バランスシャフトの駆動にチェーンを採用した。

これは、ベースとした自動車エンジンのレイアウトを踏襲し、船外機搭載時のエンジン全高を短縮すると同時に、オートテンショナを採用してメンテナンスフリーとする事を目的としたものである。

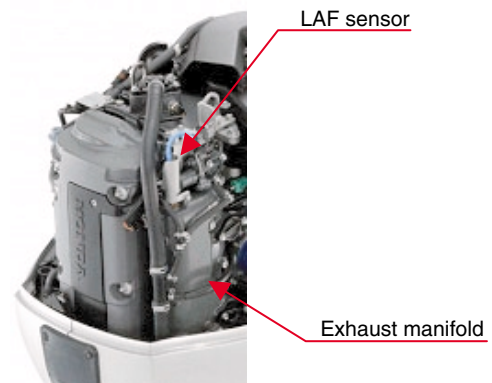


Fig. 17 LAF sensor layout

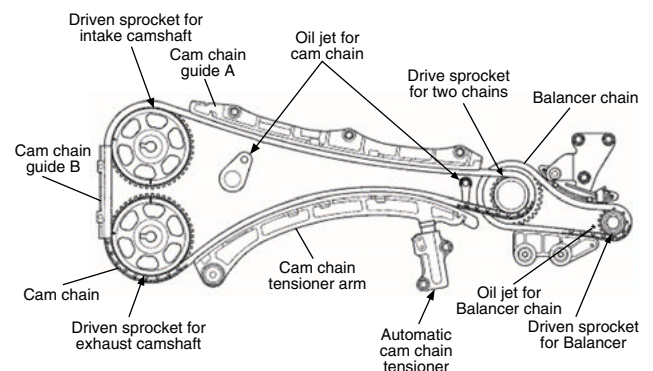


Fig. 18 Camshaft and balancer driving system

システム構成部品は、自動車エンジンのものを流用しているが、船外機に採用するにあたっては潤滑方法に変更を加えている。

BF150においては、クランクシャフトを直立させ、フライホイールをエンジンの下側に配置しているので、チェーンはエンジンの最上部に配置される事となる。そのため、自動車エンジンのシステムのままでは、シリンダヘッド潤滑後のオイルがチェーン潤滑にも活用される自動車エンジンと比較すると、チェーン潤滑のためのオイル量が極端に少なくなってしまう。

その問題を解消するために、新たに三箇所のオイルジェットを設置し潤滑オイルの供給をおこなうと同時に、スプロケット周辺にオイル保持形状を設定し、チェーンライン上に積極的にオイルを供給し潤滑をおこなった。これにより、十分な潤滑オイル量を確保し、チェーンの伸びを抑え、自動車エンジンと同等の高い耐久信頼性を得た。Fig. 18にチェーンシステム略図を示す。

4.4.2. シフトフィーリングの向上

シフト機構においては、従来構造に対しリンク数を減らすことで、結合部の機械ロスを減少させて伝達効率を上げシフト荷重の低減と節度感の向上を図った。Fig. 19にシフト構造の略図を、Fig. 20に操作荷重の伝達効率の比較図を示す。

4.4.3. メンテナンス性向上

メンテナンス性向上を目的とし、下記構造を採用した。

1) オイルレベルゲージ、オイルキャップ、オイルフィルタ、及びギヤケースのオイルドレインとチェックボルトを、す

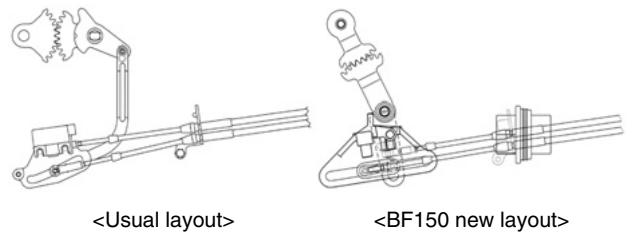


Fig. 19 Comparison of shift change system

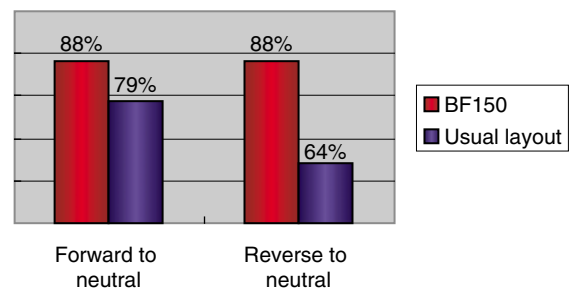


Fig. 20 Power efficiency of newly designed shift change system

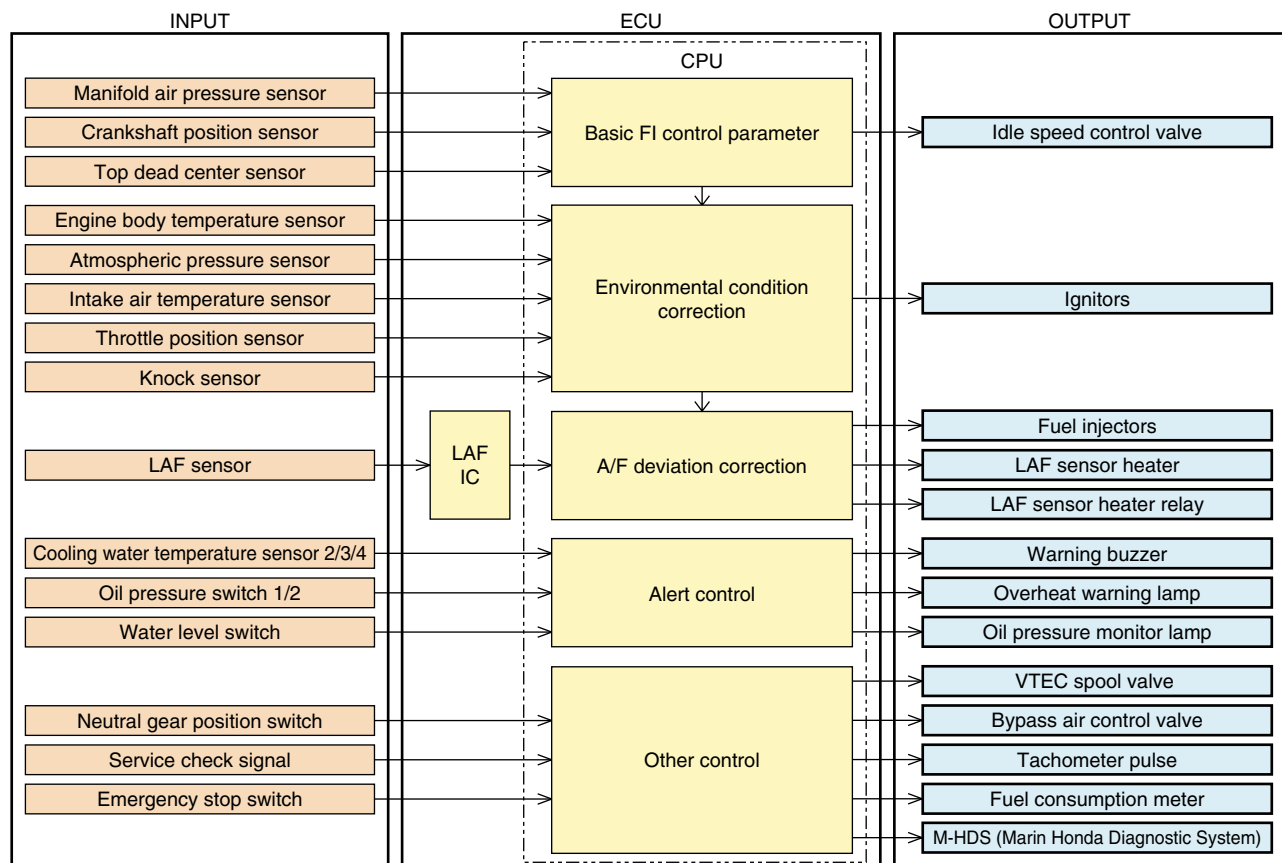


Fig. 21 BF150 engine control system

べて右舷側に集約して、メンテナンス時のアクセスを楽にした。

2) エンジンアンダカバーに、ワンタッチで脱着が出来る、エンジンオイル交換時の受け皿としても使用出来るドレインプラグカバーを設定した。

3) 4番シリンダのスパークプラグの点検・清掃を、エンジンアンダカバーを外さずに出来るようにするため、エンジンアンダカバー後部にアンダーカバーグロメットを設定した。

4) 2分割エンジンアンダカバーの採用により分解/組み付け性向上を図った。

4.4.4. エンジン制御システム

(1) 全体システム概要 エンジン制御システムは自動車の制御システムを基本としたうえで、燃費向上を目的とした LAF センサによるリーンバーンシステム、BF130 以来培ってきた船外機特有の使われ方を考慮したアラートシステムを搭載した。さらにデジタルメータ対応および診断機対応によりユーティリティの充実を図った。Fig. 21 に制御システム図を示す。

(2) アラート制御システム フラッグシップモデルである BF225 と同等の信頼性を確保するために、以下のアラート制御システムを搭載した。

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、冷却性能にばらつきが生じる可能性がある。BF150では新構造による冷却システムの採用に伴い、各冷却経路の閉塞を的確に検知するために、オーバヒート検出センサをシリンダヘッド、シリンダブロック、エキゾーストマニホールドの3箇所配し、検出箇所毎に適した温度でオーバヒートアラート制御を動作させるシステムとした。アルゴリズムはオーバヒート検出後に燃料、点火カットによりエンジン回転数を段階的に低下させ、その間にオーバヒート解消しない場合は最終的にエンジン停止させる。この間、ブザーとランプによる警告をおこなう制御とした。

2) その他のアラート

オイル補給忘れによる油圧低下保護のために、BF225/200 を踏襲した高低2種類の油圧スイッチを装備して監視をおこない、エンジン回転数と油圧に応じたアラート動作をおこなうシステムおよび、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、ブザーやランプでおこなうシステムを装備した。

(3) 逆転検出制御システム ブレーキ機構の無い船外機システムにおいては、危険回避のために船外機特有の操作モードとして、高速走行時にシフトレバーを前進から後進に急激に入れることがある。この際、舟艇の慣性によりプロペラを經由してエンジンが逆回転の力を受ける。BF150 ではクランク軸の角速度変化を監視することで逆

回転へ遷移する瞬間を検出し、エンジンをスムーズに停止させる制御とした。

4.4.5. ユーティリティ

(1) デジタルメータ対応 視認性の向上や、操船者に対しより正確で多くの情報を与えられることから、近年船外機のオプションパーツとして要望の高いデジタルメータを、Honda 船外機で初めて設定した。表示内容としては、速度やエンジン回転数の他に、インジェクタからの燃料噴射量を、正確に噴射時間から換算して燃費表示するシステムを装備した。Fig. 22 にデジタルメータを示す。

(2) 診断機対応 サービスメンテナンス機能として、従来機種同様、センサ故障等によるフェール検出時にはブザーおよびランプによる警告とランプの点滅回数による異常箇所の表示をおこなう。これに加え、フェール発生時のエンジン制御状態を記憶し、診断機通信ポートから M-HDS (Marine Honda diagnostic system) を用いて読み出すことで故障箇所の発見を容易にした。Fig. 23 に M-HDS を示す。

5. まとめ

4章にあるコンポーネント技術により達成した成果は、自社既販機(BF130)に対し、

- (1) 比出力(kW/L) 15%向上(4st 船外機 No.1)
- (2) モード燃費 20%低減(船外機 No.1)
(他社 2stDI に対して 15%低減)
- (3) 完成機重量 5 kg 低減
(パワーウエイトレシオで 15%低減)



Fig. 22 Digital meter with fuel consumption gauge



Fig. 23 M-HDS

(4) 2stDI に対する走行性能(オフショアボート)

最高速度, 0-200m の加速タイムで同等
という効果を得ることができた。

6. おわりに

BF150 は, Honda 船外機の OEM ビジネス展開の拡大に向けて, 大型クラスの商品ラインナップ充実化のために, 大変重要な役割を担う機種である。

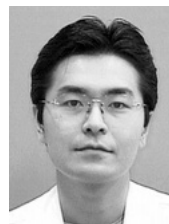
商品化にあたっては, 自動車の既存技術と構造を応用適用しながら, 船外機独自の新機構と新構造も積極的に取り入れることで, 既存機にない魅力を訴求した高い商品力を備えるものに仕上げることもできた。これは, Honda の商品開発の根幹である Challenging spirit を忘れることなく, 商品目標要件の立案時点から攻めの姿勢で望み, 目標達成の手段を初期構想段階から変えることなく, 粘り強い努力のもと具現化して得られたものであり, 開発担当者は大変貴重な経験をすることができた。

本開発にあたり, 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。特に, 自動車エンジンの構造応用化においては, ベースエンジン⁽³⁾の開発を担当された方々と, 顔を合わせながら直にアドバイスを頂く等, 多大なるご支援をいただいた。ここにあらためて感謝の意を表する。

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) 角田 正樹, 古谷 健太郎, 大角 雅之, 設楽 貞文, 米沢 道, 木全 隆一: ホンダ船外機のフラッグシップ「BF225/200」の開発, Honda R&D Technical Review Vol.14, No.1, p.11-20(2002)
- (3) 新里 智則, 林 有登: 新型 2.0L リーンバーンエンジンの開発, HONDA R&D Technical Review Vol.12, No.2, p.45-54(2000)

■ 著 者 ■



米 沢 道



松 田 佳 之



田 和 寛 基



設 楽 貞 文



豊 後 圭 一 朗



鈴 木 幸 夫