

4 ストロークパーソナルウォータークラフト AquaTrax F-12/F-12X の紹介

Introduction of Personal Watercrafts AquaTrax F-12/F-12X Installing a 4-Stroke Engine

勝賀瀬 元*
Hajime SHOGASE
高地 隆夫*
Takao KOCHI

黒崎 隆晴*
Takaharu KUROSAKI
浦木 護*
Mamoru URAKI

土谷 政彦*
Masahiko TSUCHIYA
横谷 登*
Noboru YOKOYA

要 旨

AquaTraxF-12/F-12X は、既存の2ストロークエンジンパーソナルウォータークラフト(PWC)を超えるドライバビリティと環境適合性を目指して開発された。PWCとしては初の4ストロークエンジンとターボチャージャを搭載した。EPA2006年排出ガス規制とCARB2004年排出ガス規制を業界で初めてクリアしながら、既存の2ストロークエンジンPWCを超えたドライバビリティを達成した。また、4ストロークエンジンの特性に適した新開発のウォータージェットポンプとHonda独自の船底形状によりモーターサイクルのように自然にバンクする旋回フィーリングを実現した。これらの結果、既存の3人乗りPWCの水準を一新した。

ABSTRACT

The AquaTrax F-12 and F-12X of Personal Watercraft (PWC) have been developed aiming at a PWC that have an excellent driveability and lower emission superior to the existing 2-stroke engine PWCs. They installed 4-stroke engine and turbo charger for the first time in PWCs. As a result, they passed the EPA 2006 emission regulation and the CARB 2004 emission regulation for the first time in PWCs, and the driveability that exceeded existing 2-stroke engine PWCs was realized. The turn feeling like motorcycles were realized by newly developed water jet pump suitable for characteristic of 4-stroke engine and the hull bottom of Honda's original shape. Thus, the level of existing PWCs was changed completely.

1. まえがき

パーソナルウォータークラフト(Personal Watercraft: PWC)は、現在、乗車定員1人用から4人用までが販売されている。PWCは船と異なった高い運動性能を特徴として、2001年現在、アメリカにおいて年間約11万台の市場を形成している。Hondaは、近年の環境志向の高まりとともに、高い操縦安定性とスピードを求める市場トレンドの変化に対応するため、4ストロークエンジンを採用して開発を進めてきた。

2002年モデルのAquaTrax F-12(F-12X)をFig. 1に示す。AquaTraxは高い安定性のみならず、今までにない乗り味を実現するとともに、オフスロットル操舵(Off-Throttle-Steer: OTS)システム⁽¹⁾、エンジンの最高回転数を制限するリミッ

*朝霞研究所

ットモードを装備し、初心者ユーザにも十分配慮して開発された3人乗りPWCである。また、F-12Xはターボチャージャを装備し、3人乗りPWCでは最大出力を実現している。本稿では、性能目標を達成するための主要技術について説明する。



Fig.1 AquaTrax F-12

2. 開発コンセプト

Aquatrax F-12/F-12X の開発にあたっては、既存の PWC の常識にとらわれず、ファミリーユースで PWC がどうあるべきか、楽しさはなにかというお客様視点に立ち、環境適合性が高くスポーティさと扱い易さを同時に提供できる商品であることを基本として開発コンセプトを決定した。F-12/F-12X の開発コンセプトを Fig. 2 に示す。

3. エンジン

PWC の排出ガス規制として、EPA(U.S. Environmental Protection Agency)マリン規制のみならず CARB(The

California Air Resources Board)も新たな厳しい規制値を発効し、さらにUS水質基準局も規制検討を開始するなど、環境に対するマリンエンジンとしての対応はより厳しいものに変化している。Honda は環境適合性を考慮し PWC 用エンジンとして4ストロークエンジンを採用した。ベースエンジンには、二輪車 CBR1100XX 用エンジンを用い、船用エンジンとしての変更を施し PWC 用にするとともに、ストロークを5mm伸ばし排気量を1235cm³とした。AquaTrax F-12/F-12X の主要エンジン諸元を Table 1 に示す。無過給の AquaTrax F-12 は 7000r/min において 100PS/L を目標とし、排気系の圧力損失や機械損失の低減を図った結果、PWC市場のミドルクラスの性能目標を達成した。AquaTrax F-12X は、F-12 用エンジンにターボチャージャーを装着し市

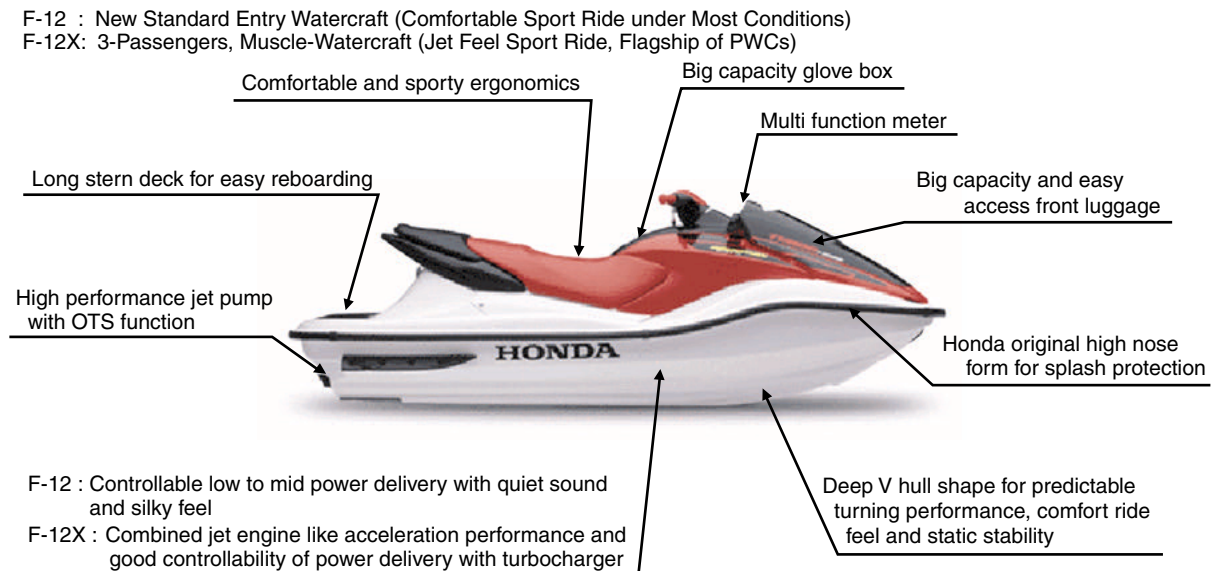


Fig. 2 Development concepts and features for AquaTrax

Table 1 Major specifications of engines

Items	AquaTrax F-12X	AquaTrax F-12
Engine type	4-stroke inline 4 cylinder	4-stroke inline 4 cylinder
Valve train	DOHC 16 valve	DOHC 16 valve
Displacement (cm ³)	1235	1235
Bore x stroke (mm)	79 x 63	79 x 63
Compression ratio	8.5	11
Cooling system	Water cooled, open loop	Water cooled, open loop
Lubricating system	Dry sump	Dry sump
Fuel supply system	Programmed fuel injection	Programmed fuel injection
Intake system	Turbocharger and intercooler	—
Balancer shaft	Applied	—
Maximum power (kW/ r/min)	121.4 / 6100	91.9 / 7000
Maximum torque (N·m/ r/min)	191.8 / 5500	125.5 / 7000

販売されている PWC のなかで最高出力を得るとともに、二軸二次バランスを採用し快適な高速クルージングを可能としている。

一般に4ストロークエンジンは2ストロークエンジンに比べ、多くの利点があるものの比出力は劣っている。F-12X 用エンジンは、トップパフォーマンスの達成手段として高回転化と高出力化、過給、大排気量化を検討した。エンジン回転数を高くすると、ウォータジェットポンプのキャビテーション発生でポンプ効率が著しく低下する。そこで、インペラの使用限界回転数を超えないようにするため、リダクションを検討したが、回転数のうわづり感があり採用しなかった。大排気量化は、重量増によりパワーウェイトレシオが目標を満足できない。過給は、排気ターボチャージャを採用することで目標性能の達成を可能にした。

Fig. 3 に F-12X のエンジン外観を、Fig. 4 にエンジン透視図を、Fig. 5 に F-12/F-12X の出力特性を示す。どちらのエンジンも最大出力時のエンジン回転数を 7000r/min 以下に設定し、エンジンとウォータジェットポンプとのカップリングをシンプルなクランク直結構造とした。しかし、ジェットポンプインテークダクトの吸入効率を低下させないために、推進軸はハル底面に対し極力下げなければならない。そのため、薄型のオイルパンを備えるドライサンプとしてクランクセンタハイトを下げた。オイルタンクはフロ



Fig. 3 F-12X Engine appearance

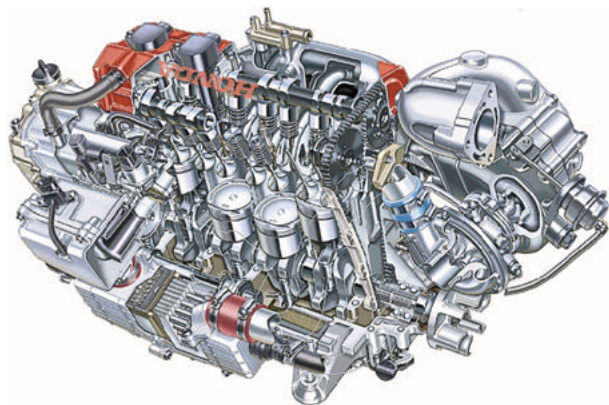


Fig. 4 Cutaway drawing F-12X engine

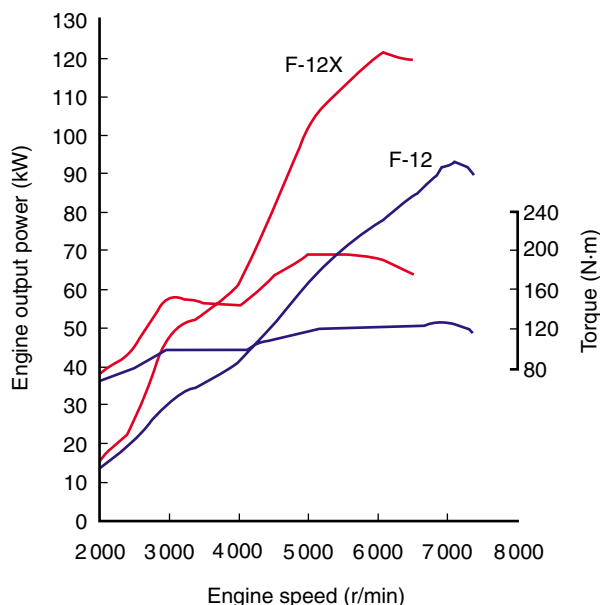


Fig. 5 F-12/F12X Engine performance

ントカバーと一体型とし、オイルポンプを内蔵した。オイルポンプの駆動は ACG フライホイールの先端からセミオールドムカップリングにより直接駆動され、チェーンや駆動ギヤのないシンプルな構造とした。

F-12X に採用されたターボチャージャは、IHI 製で F-12X 専用に新しく開発され、このクラスでは世界初のウェイス トゲート付海水直接冷却排気ターボチャージャである。その構造図を Fig. 6 に示す。PWC 用エンジンには、高いスロットルレスポンスが要求されるので、タービンプレードには慣性力の小さい斜流式を採用した。これにより、Fig. 7 に示すようにタービン重量が 22% 減少し、タービン回転上昇の加速性能で 20% の向上が得られて、ターボラグを極力小さくすることができた。タービンハウジングは海水耐腐蝕性能に優れるニレジスト鋳鉄製でウォータジャケットを備え、全開出力下でも表面温度は 85°C 以下に保たれる。ターボ過給により筒内平均有効圧は 2.14MPa に達する。それに耐えるためにピストンは鍛造製とし、形状は剛性の高いフルラウンド型とした。また、ピストン裏へのオイルジェット冷却によりピストン温度を低く抑え、トップリング溝にアルマイト処理を施し高負荷連続運転に対応させた。

また、PWC の特徴として、転覆を考慮してブリーザからのオイル流出の対策が必要となる。AquaTrax F-12/F-12X では、Fig. 8 に示すように縦長オイルタンク内に縦長ブリーザ室をエンジン側とオイルタンク側に設け、転覆時のオイル油面が両ブリーザ室のセパレータ高さより低くなるように設計した。このため転覆状態で放置してもブリーザホースにオイルが流出しない。また、特別なデバイスを用いないシンプルな構造のため信頼性も確保できた。エンジン冷却は冷却水ポンプをもたないジェットポンプ水圧利用による直接冷却方式を採用し、ウォータージャケット内面防蝕処理は船外機と同じ樹脂トップコーティングを施している。ま

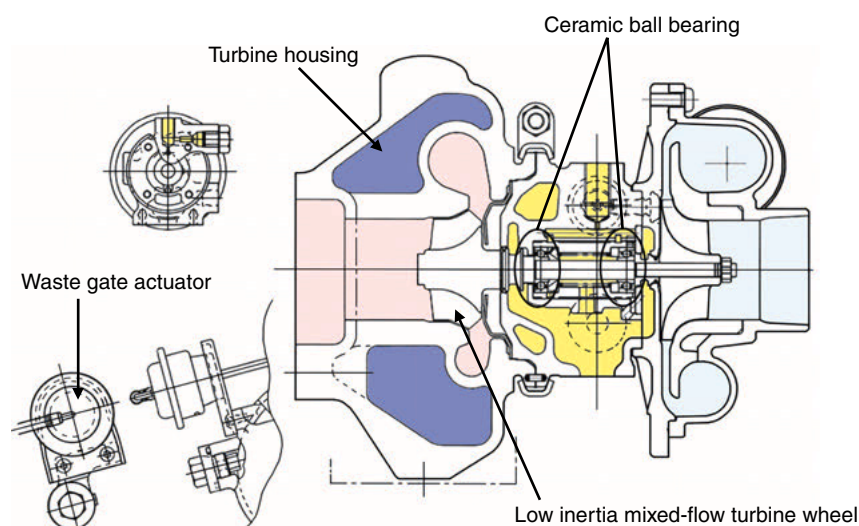


Fig. 6 Layout of turbo charger for F-12X

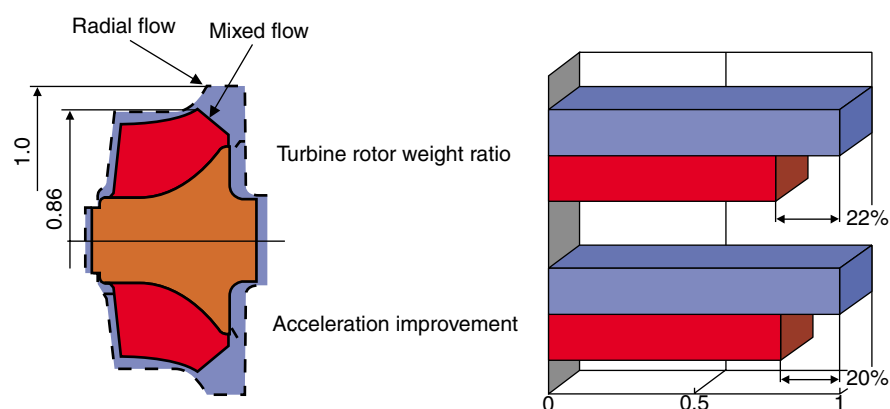


Fig. 7 Improvement of acceleration

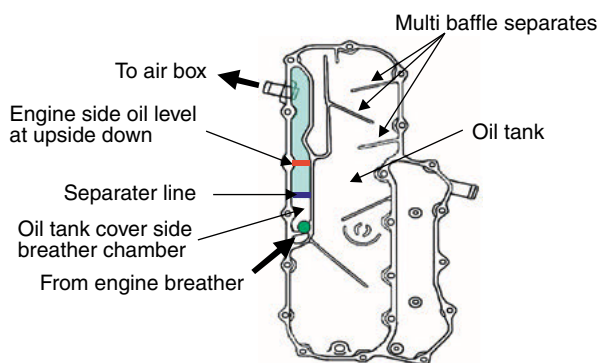


Fig. 8 Engine breather system

た排気系内部に噴射する冷却水が転覆時に逆流しないように、Fig. 9に示すような構造によりウォーターマフラからエンジンへの逆流を防いでいる。

4. ハル

ハルの基本船底勾配(以下、デッドライズという)は、旋回時、モータサイクルと同様にバンクして旋回する形態を実現するため、Fig. 10に示すようなマルチチェーンディープVハル形状を採用した。デッドライズ角度は、操縦性と走行抵抗のバランスを考慮し設定した。左右2本のストレイクは、走行時に浮力を発生し、ハルの走行抵抗の軽減に寄与

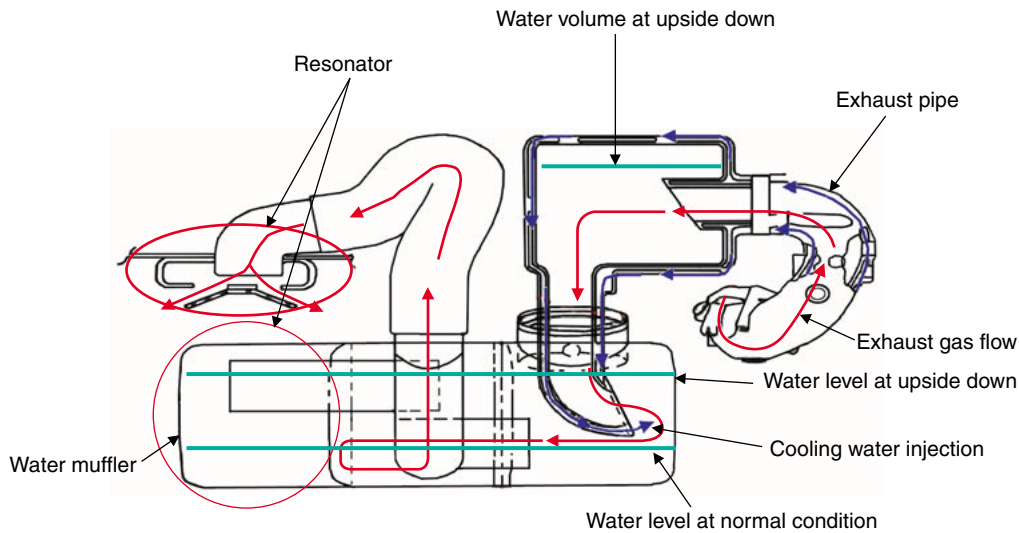


Fig. 9 Layout of exhaust system



Fig. 10 3-D Hull design

している。船底の最下部であるキール部(船底中央部)は、左右の船底をつなぐ部分の曲率を大きく設定して、旋回時にバンクし易くするとともに、走行時の横波などによるヨー方向の過敏さを低減した、既存 PWC に対し特徴的な形状となっている。ハル後部に装着したスポンソンは、旋回時の船体グリップを確保し、静的安定性を確保するために効果がある。Fig. 11 に示すサイドフロースポンソン形状は、旋回時にスポンソン下面の水流をサイドフロー部から逃すことで、旋回初期における急激なヨーレートの発生を抑え、旋回時における船体のスライドとグリップを両立させている。

5. デッキ

5.1. ハイノーズフォルムデザイン

走行中に水しぶき(スプラッシュ)がライダーにかかるのを軽減する目的で船体後方のボンドラインに対して前方のボンドラインを高い位置に設定した。このデザインは既存の PWC に対し外観的に特徴がある部分であり、AquaTrax のアイデンティティとなった。

5.2. サイドパネル

メンテナンス時に、ハル内へのアクセスを容易にするため、シート下の両側に位置するデッキの一部を Fig. 12 に示すような脱着可能な構造とした。これにより、従来の 2 ストローク PWC 以上のメンテナンス性能を確保した。

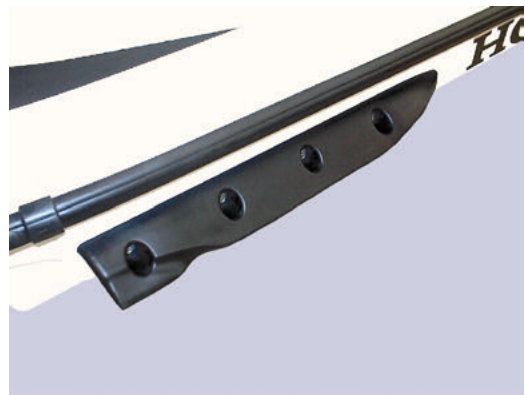


Fig. 11 Sponson



Fig. 12 Side panel

5.3. ライディングポジション

快適かつスポーティな操縦性を得るため、シート高さを既存 PWC に対し高めに設定した。ライディングポジション図を Fig. 13 に示す。この結果、船体コントロールのし易いライディングポジションが得られ、ハルの旋回性能と相まって、快適でスポーティな操縦性が実現した。

5.4. 収納スペース

AquaTrax F-12/F-12X は、船体前部に 74.6 リットルのストレージボックス、手元には 10.3 リットルのグローブボックスを装備した。Fig. 14 に示すグローブボックスは既存の PWC のなかで最大容量であり、使い勝手の大幅な向上を達成した。

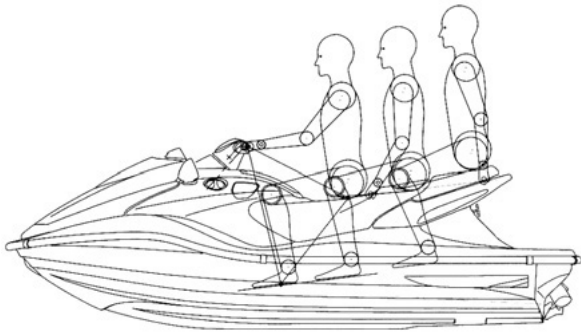


Fig. 13 Riding position



Fig. 14 Glove box

5.5. スターンデッキ

スターンデッキ部には、全長に対し十分な平坦部を確保し、水中からの乗り込み性を向上させるとともに、トローイングなど様々な使い方に便利な構造とした。

6. ウォータジェットポンプ

AquaTrax F-12/F-12X に採用した推進機は、自社開発の軸流式単段ウォータジェットポンプ⁽²⁾である。その構造を Fig. 15 に示す。インテーク部は、キャビテーションタンネルによる単体テストと、CFD (Computational Fluid Dynamics) を活用して、低速から高速までの性能バランスを考慮し設計した。ポンプ部は、ステンレススチールの 3 ブレードインペラを持ち、インペラハウジングにもステンレススチールを採用し、摩耗耐久性に優れる。ステータは 6 ペーンで、インペラの翼とともに、翼断面による特性を考慮して設計した。内部の軸受け構造は、F-12X のエンジン出力を受け止めるため後方のベアリングを大きくし、推力を後方のベアリングで受け持つタイプとした。ジェットノズルはストレートタイプで、負圧を利用したビルジポンプが装備されている。

ポンプマッチングは、実走テストで最適化を図った。4 ストロークエンジン特有のアイドリングから最高回転数までの早い吹き上がりや、ターボチャージによる急激な出力増加に対応するため、トランジェント領域での吸収馬力が高めになるようチューニングを施し、また、エンジン出力特性にも変更を加え、加速感の持続や加速初期のフィーリング向上をねらった。

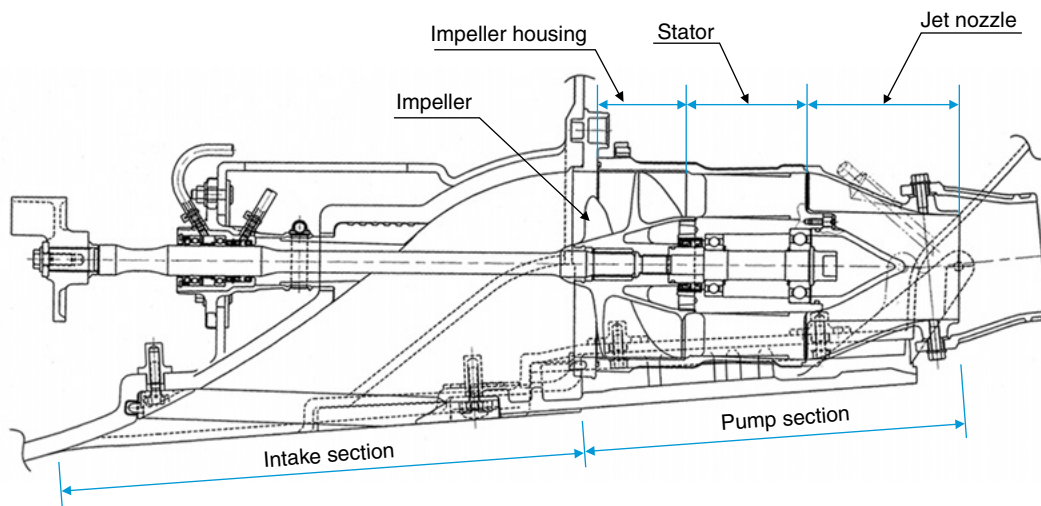


Fig. 15 Water jet pump for AquaTrax

7. OTS (Off Throttle Steer) システム

PWCの構造的特徴により、スロットルを全閉にした状態（オフスロットル状態）には推力が低下し、この状態で操舵してもライダーが意図したような旋回ができない場合がある。そのため、陸上を走る乗り物に慣れたユーザがPWCに乗った場合に、操舵に対する回頭性の違和感を感じるという課題があった。これを解決する手法として、オフスロットル状態の旋回操作においてライダーの違和感を少なくするOTSシステムを採用した。AquaTrax F-12/F-12X のスロットルボ

デー構造図を Fig. 16 に示す。

OTSシステムの方式には、ラダータイプとエンジン回転を上げるタイプがあるが、AquaTrax F12/F-12Xではオフスロットル状態でフル転舵したときに、エンジン回転を上げて旋回できるようにする方式を採用している。OTSシステム動作図を Fig. 17 に示す。本システムは、オフスロットル状態時にハンドルをフル転舵することにより、ハンドルシャフトに設けた転舵スイッチが ON されると、ソレノイドバルブが作動しサージタンクに蓄積された負圧がダイヤフラムに導かれスロットルバルブを開き、エンジン回転を

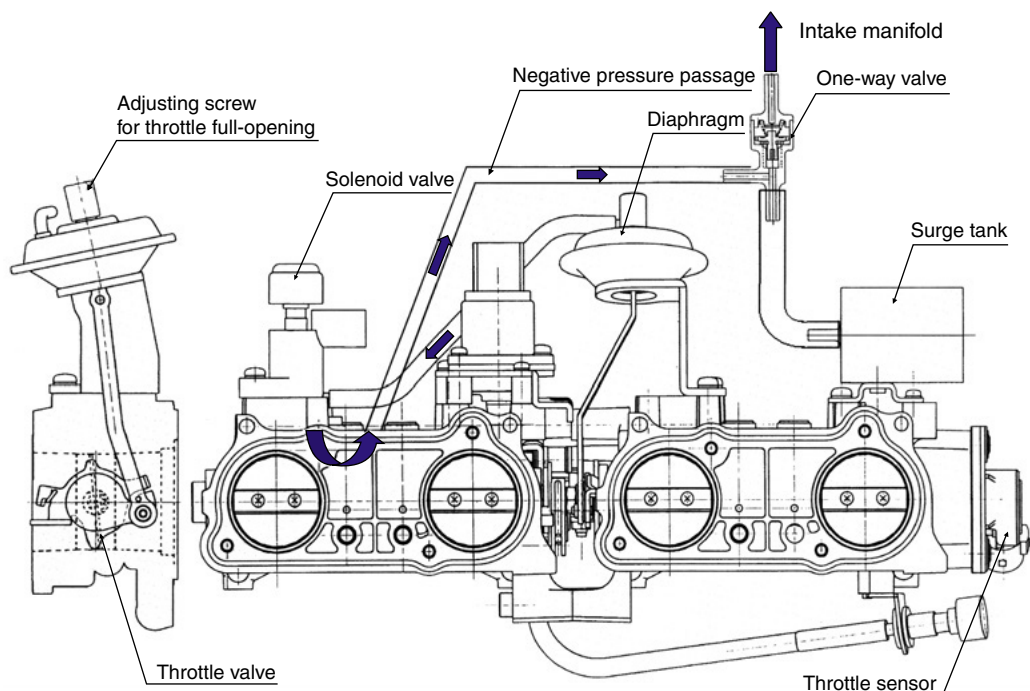


Fig. 16 OTS Construction

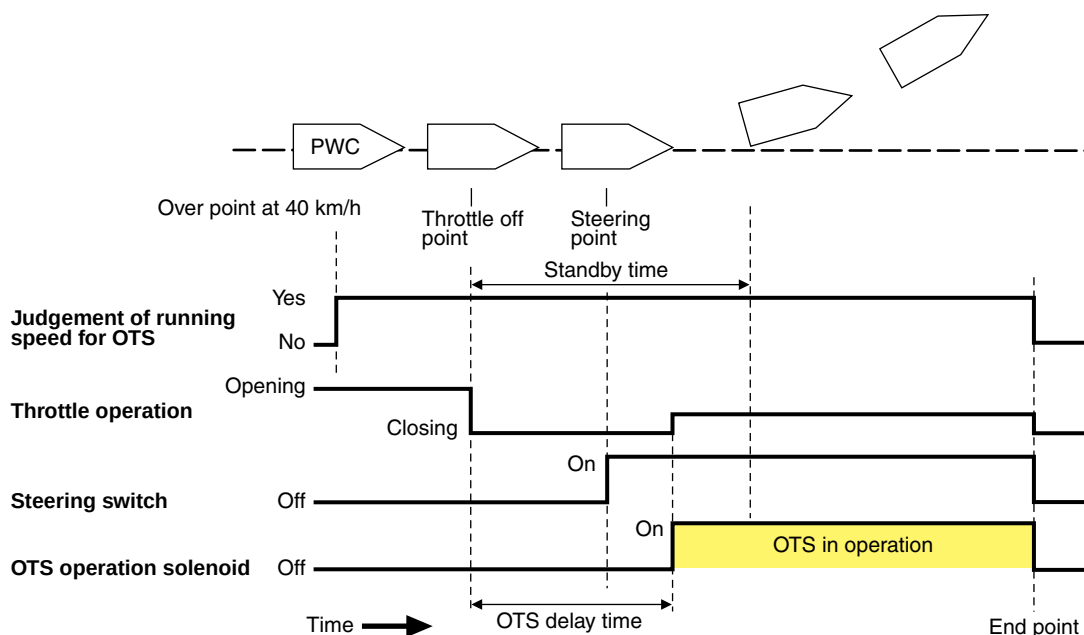


Fig. 17 OTS System operation

上昇させ旋回性を確保するものである。制御に必要な船速は、エンジン回転数とスロットル開度を用いて ECU で演算し推定した。OTS あり無しでの走行軌跡を Fig. 18 に示す。OTS システムを採用したことで、オフスロットル状態の旋回操作において、操舵し続けている間、回頭が持続する旋回挙動が得られた。

8. 電装系

AquaTrax F-12/F-12X は、電子制御燃料噴射点火方式採用により、走行状態に応じて最適な燃料噴射と点火時期をコントロールすることで、高いスロットルレスポンスとともに高出力と低エミッションを両立している。AquaTrax F-12Xにおいては、きめ細やかなウェイストゲートコントロールにより、無過給の低回転域からターボチャージで出力の増大する高回転域までストレスの無いトランジェント出力の供給と、高回転域での圧倒的な出力を達成している。また AquaTrax F-12は、全回転域において高レスポンスで扱いやすい特性を発揮するセッティングを施し、ターボ搭載モデルとは違う楽しさを提供している。

さらに、AquaTrax F-12/F-12X ともに、初心者ユーザの操船学習のためにリミットモードを採用した。この機能は、Fig. 19に示すマルチファンクションメータ上のモードボタンにより設定する。リミットモード設定時には、エンジン最高回転数の制限を実施することで、初心者が船体の挙動を低速度域で学習することができる。コンビネーションメータは走行速度、エンジン回転数、燃料残量をLCD(液晶)ディスプレイ上に表示し、時計、積算航行時間、区間航行時間、



Fig. 19 Multi function meter

区間航行距離を表示するマルチファンクションメータ部を備えている。各種警告表示は赤色LEDインジケータとディスプレイ上のLCDマークにより表示される。同時にブザーによりライダに注意を喚起する。警告の種類には、燃料残量、バッテリー電圧低下、油圧異常、水温異常、燃料噴射システム異常がある。また、燃料噴射システム異常警告のLCDマークと赤色LEDは燃料噴射システム診断時の診断コードの出力表示器として機能する。さらに、ユーザが任意に設定できる ID 番号により電装システムをロックすることが可能な施錠機能も備えている。

9. サウンドマネジメント

AquaTrax F-12Xは、二軸二次バランスを装着し、エンジンのラバーマウントで高い静粛性と無振動の上質感を達成した。ターボチャージャは排気エネルギーを吸収するため静粛性に大きく寄与しているが、過給効果が得られるまでの低回転域では PWC 特有の構造である排気系水浸入防止のウォータロックホースが共鳴して静粛性を阻害した。そのため、ウォータマフラーは16.7リットルの大容量とし、その1/3をレゾネータとして共鳴に対応するとともに、排気系出口にウォータチャンバと称するレゾネータを装着した。実機での装着状態を Fig. 20 に、またレゾネータ部を Fig. 21に示す。ウォータチャンバの形状と出口構造はドライバビリティとの両立のみならず、水浸入対応、ポンプメンテナンスなどとバランスさせるものとした。

無過給エンジンの AquaTrax F-12 は、目標動力性能を達成するためにバランスを廃止したので、エンジンマウントラバー硬度を低くして船体振動を低減した。エンジンはラバーマウントであるが、マウントの対象がFRPの板材構造であり、振動、騒音にはスピーカ同様の働きをするため、遮断しきれない振動が各部に騒音を発生した。そこで、ハル側面の板厚、ポストカバーの板厚とリップ形状、サイドパネルの板厚およびリヤグリップの構造と板厚などを見直して振動と騒音を低減した。

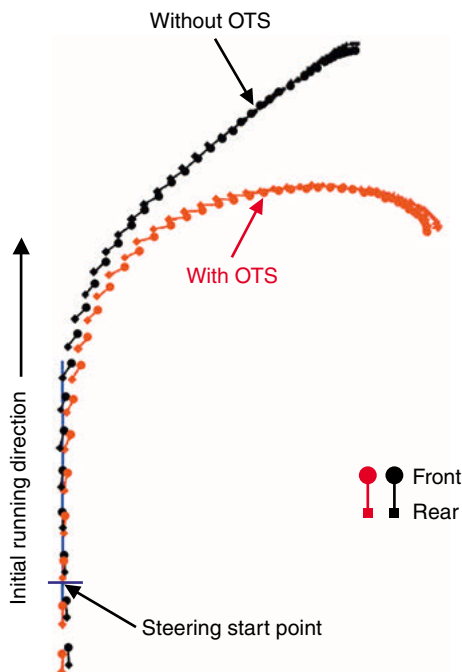


Fig. 18 Comparison of running locus



Fig. 20 Installed appearance of water chamber (Resonator)

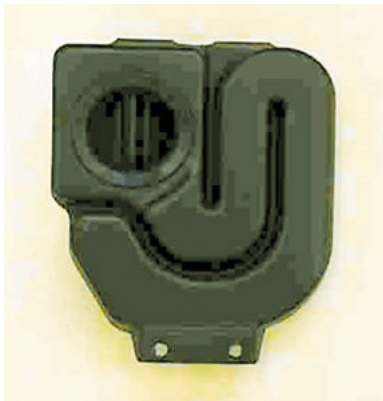


Fig. 21 Upper view of water chamber (Resonator)

謝 辞

AquaTrax F-12Xに搭載したターボチャージャの開発に際し、石川島播磨重工業株式会社様に多大なご協力を頂きましたことに深謝いたします。

参考文献

- (1) 高地隆夫ほか, パーソナルウォータークラフト用オフスロットル操舵システムの開発, Honda R&D Technical Review Vol.14, No.1, p.125-130 (2002)
- (2) 土谷政彦ほか, 4ストロークパーソナルウォータークラフト用ウォータージェットポンプの開発手法の構築, Honda R&D Technical Review Vol.14, No.1, p.117-124 (2002)

10. まとめ

AquaTrax F-12/F-12X は, Honda 初の PWC として既存の PWC の概念にとらわれず, お客様の視点に立ちスポーティさと扱い易さに焦点をあてて開発した。

- (1) PWCでは初の4ストロークエンジンを搭載しジェットポンプとの最適化を行なうことで, 既存の2ストロークエンジン PWC を超えるドライバビリティとエミッション規制をクリアする環境適合性を両立することができた。
- (2) Honda 独自のハル形状によりモータサイクルのような旋回フィーリングを実現した。
- (3) OTSシステムの採用でオフスロットル状態の操舵中でも回頭が持続する旋回挙動を実現した。
- (4) F-12X 用エンジンはターボチャージャの採用で無過給の F-12 に対し 1.3 倍の出力を提供する。また, 二軸二次バランスの採用で高い静粛性, 無振動による快適な高速クルージングを提供する。
- (5) F-12 用エンジンは全回転域において高いスロットルレスポンスで扱いやすい特性であり, ターボ搭載モデルとは違った楽しさを提供する。

■ 著 者 ■



勝賀瀬 元



黒崎 隆晴



土谷 政彦



高地 隆夫



浦木 護



横谷 登