

水上のスーパースポーツ ジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」

A Supersport of Watercraft Jet Ski® ULTRA 300 Series



加藤 広徳① Hironori Kato
 新城外志夫② Toshio Araki
 渡部 悟③ Satoru Watabe

パーソナルウォータークラフトにユーザーが求めていることは、「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」である。この要求に応えるため、当社は高効率な過給機を採用した高出力エンジンを搭載するジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」を開発した。さらに2014年モデルとして、改良を加えた「ULTRA 310シリーズ」を開発した。本稿では、水上のスーパースポーツとして開発したジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」の高出力エンジンおよび船体の構造と特徴などを紹介する。

What riders seek in a personal watercraft are powerful acceleration, greater maximum speed and excellent maneuverability on rough water. To meet these demands, Kawasaki developed the Jet Ski® ULTRA 300 Series powered by a high-output engine featuring an ultra-efficient supercharger. Kawasaki then added further improvements in the ULTRA 310 Series, developed as the 2014 model.

This paper discusses the structures and distinct features of the high-powered engine and hull of the Jet Ski® ULTRA 300 Series – a supersport of watercraft.

まえがき

近年、ジェットスキー®（図1）をはじめとしたパーソナルウォータークラフトの市場は、図2のように高価格帯モデル（高出力・高機能）と低価格帯モデル（比較的低下出力・ベーシック機能のみ）という二極化の様相を呈している。このうち低価格帯モデルはリゾートなどのレンタル向けが主であり、一般ユーザーの注目は高出力・高機能に特化した高価格帯モデルに集まっている。

ユーザーがこうしたモデルに求めている「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」とい

った要求に応えるため、最近のパーソナルウォータークラフトには過給エンジンが搭載されている。当社も、2007年から過給エンジン搭載のジェットスキー®「ULTRA 250X」を販売している。

しかし、近年ではエンジンの高出力化が急激に進んでおり、ユーザーの要求に応えるために、さらに高出力なエンジンの開発が必要になった。このような状況の中、当社は、高効率の過給機を搭載することにより、エンジンとハル（船体）のサイズを大きくすることなく、高出力化したジェットスキー®「ULTRA 300シリーズ」を開発した。



図1 ジェットスキー® ULTRA 300X
 Fig. 1 Jet Ski® ULTRA 300X

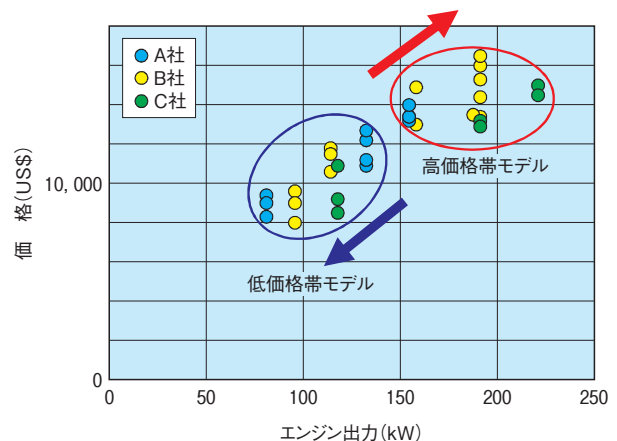


図2 エンジン出力と価格の分布
 Fig. 2 Engine output and price distribution

1 高出力エンジンの開発 —高過給圧の追求—

(1) 過給機の選定

「ULTRA 250X」のエンジンの過給圧比は1.8であり、これは遠心式やルーツ式のスーパーチャージャーまたはターボチャージャーを搭載した自動車なども含めた従来の過給エンジンと同じであった。

まず、過給圧比2.2以上を目標として、最適な過給機を選定した。圧倒的な加速を得るためには、効率良くジェットポンプを回転させる大きなエンジントルクが低回転域から必要となる。そのため、低回転域から十分な流量を吐出できる過給機が必要であり、今回はルーツ式スーパーチャージャーを採用した。

ルーツ式は他の過給方式と異なり、極低速から最高速域までの全回転域で一定の高過給圧を発生することができ、フラットで太いトルクカーブが実現できる。しかし、通常のルーツ式スーパーチャージャーでは過給圧比1.8が構造上限界であった。そこで、米国イトン社が開発したTVS(Twin Vortices Series)スーパーチャージャー(図3)を採用した。このTVSは過給圧比2.4という高過給が実現できる最新式のものであるが、本来は自動車用に開発されており、マリン製品への搭載は初めてであったため、さまざまな改良を行った。

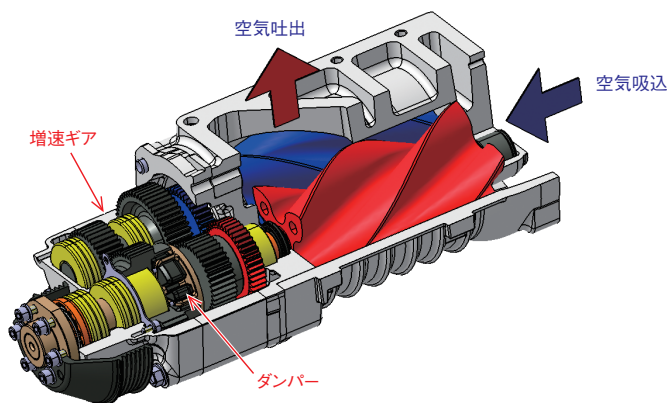


図3 TVSスーパーチャージャーの内部構造
Fig.3 Internal structure of the TVS supercharger

(2) TVS過給機のマリン製品への適用

パーソナルウォータークラフトは、波間をジャンプしながら走行する。ジャンプしている間はジェットポンプに水が供給されないため負荷が抜け、エンジンは定格回転数を超えた過回転領域で使用される(図4A)。これは自動車でジャンプを繰り返しているようなもので、この過回転領域ではエンジン回転数のごく短時間の間に上昇下降を繰り返す。また、着水した際には、ポンプに水が入ることで負荷が急にかかり、エンジン回転数が急激に低下し(図4B)、エンジン本体への負荷が非常に大きくなる。過給機もエンジンとリンクして内部のローターを回転させているため、同様に大きな負荷がかかる。その負荷を軽減するため、過給機の駆動について種々の検討を加えた。

まず、図5に示すようにベルト駆動を採用した。オートベルトテンショナーによって適正なベルト荷重を維持しつつ、過回転時はベルトがスリップして負荷を逃がすようにセッティングしている。しかし、これだけでは着水した際の大きな負荷を吸収することができないため、さらに図3に示すようにTVS内部に特殊なダンパーを備えた。この2つの機構により、TVS本体に伝わる負荷を図6のように低減させ、パーソナルウォータークラフトへの搭載が可能となった。

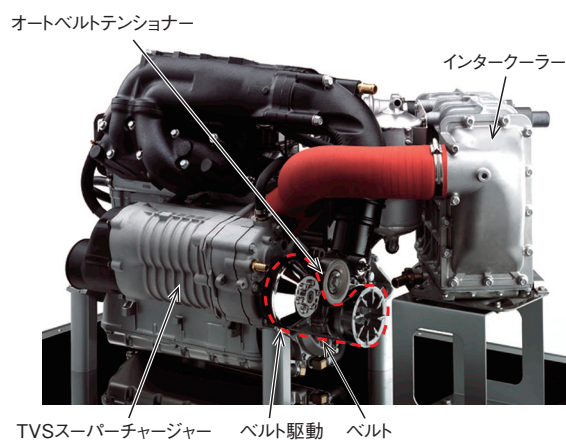


図5 エンジンレイアウト
Fig.5 Engine layout

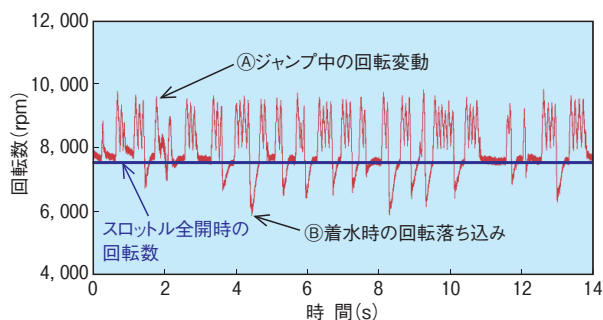


図4 エンジン回転数の変動データ
Fig.4 Engine speed variation data

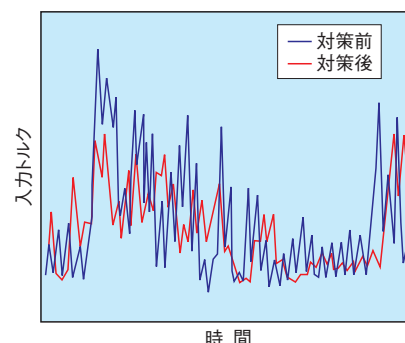


図6 スーパーチャージャーへの入力トルク
Fig.6 Torque input to the supercharger

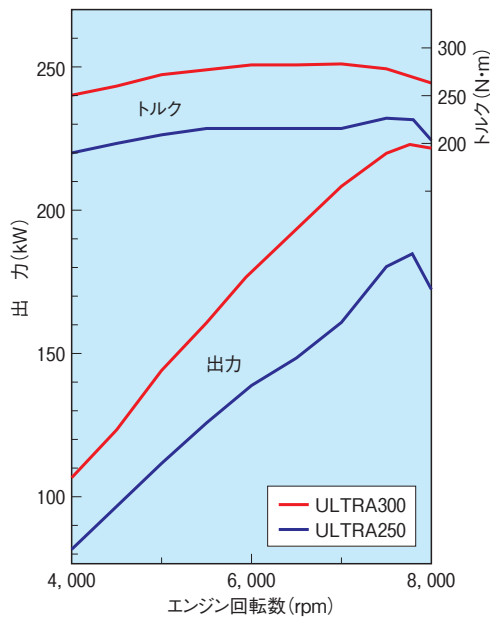


図7 エンジン出力特性
Fig. 7 Engine output properties

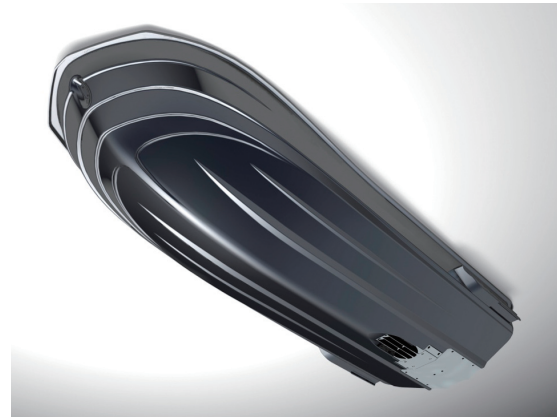
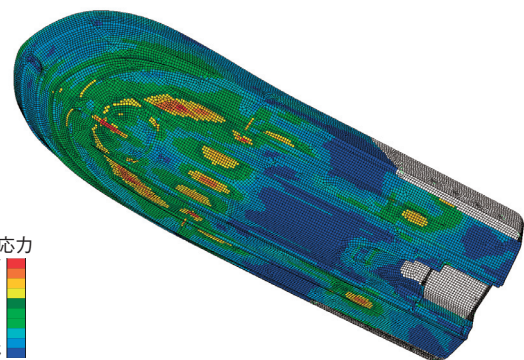


図8 ハル形状
Fig. 8 Hull form

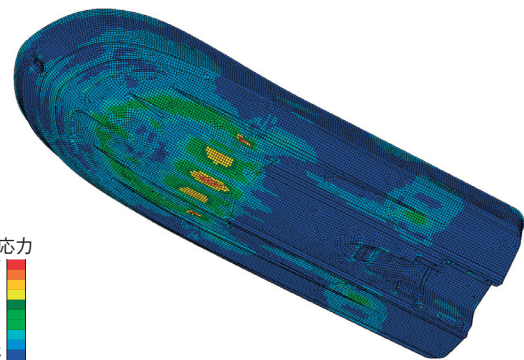
(3) 過給の効率化

効率よく過給して高出力を得るため、以下の改良を加えた。まず、過給した吸入空気を冷やして充填効率を上げるため、大型水冷インタークーラーを搭載した。周囲の潤沢な水を利用して、過給行程で上昇した吸入空気の温度を大幅に低減させた。さらに十分に冷却した吸入空気がエンジンの熱で少しでも温められるのを防ぐため、樹脂製インタークマニフォルドを過給エンジンで初めて採用した。こうして高過給した吸入空気を効率よく燃焼させるため、燃焼や出力の解析を基に実際の燃焼状態を確認しながら、最適なバルブタイミング・燃料噴射量・点火時期を選定した。

これらによって、排気量1.5Lのエンジンでありながら、過給圧比2.2、最高出力221kWというパーソナルウォータークラフトとして業界最高出力を達成した。エンジン出力特性を図7に示す。この新エンジンは、高出力だけでなく、排出ガスを大幅に低減することにも成功し、米国EPA (Environmental Protection Agency) ならびに、世界で最も厳しいCARB (California Air Resources Board) やEUの規制値をクリアした環境に優しいエンジンに仕上がっている。



(a) 従来構造



(b) 新構造

図9 ハルの応力解析結果
Fig. 9 Stress analysis results of the hull

2 高出力エンジンを生かす船体 —加速の追求—

パーソナルウォータークラフトは波のない平水面だけではなく、波のあるラフウォーターも走行する。また、パーソナルウォータークラフトに限らず、いろいろな乗り物において、「速い」という言葉は、「最高速」だけではなく、「加速」を意味することも多い。そこで「ULTRA 300シリーズ」では、「あらゆる水面」での「高い加速性能」を開発の目標とした。

(1) ハル（船底）形状

ハル形状はデッドライズ（船底勾配）22.5°のディープV型ワープ船型とした（図8）。これにより波間での波切り性を向上させるとともに、ウエーブショックを緩和し、ラフウォーターでの走行安定性を向上させた。

通常、波切り性の向上・ウエーブショックの緩和のためにハルのV形状を尖らすと船体の抵抗が増えて、最高速や加速性能が低下するが、高出力エンジンにより補えるため、ラフウォーターの走行安定性を重視し、本形状を採用した。

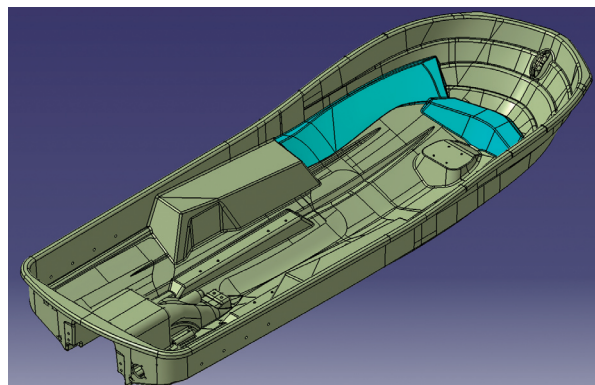


図10 軽量化したハルの新構造
Fig.10 Structure of the new lightweight hull

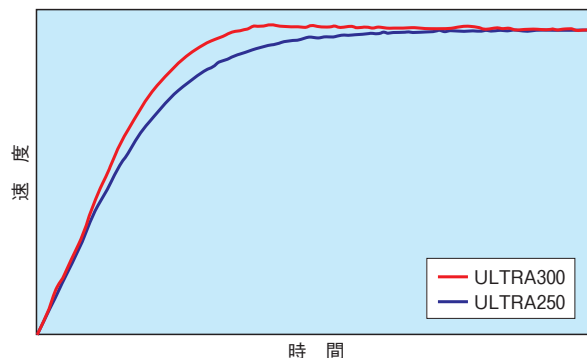
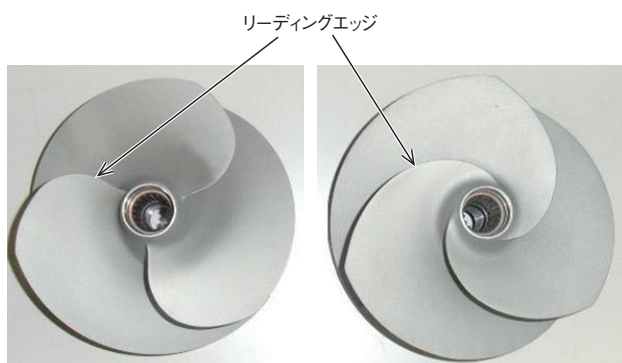


図12 発進加速性能
Fig.12 Starting acceleration performance



(a) 従来形状 (b) 新形状

図11 インペラ形状
Fig.11 Shape of the impeller



図13 ジェットスキー® ULTRA 310LX
Fig.13 Jet Ski® ULTRA 310LX

(2) ハルの軽量化

艇の質量は、加速性能やラフウォーターでの走行安定性に大きく影響する。そこで、特に質量の大きい部分であるハルを軽量化した。

走行中の船底に発生する応力を解析した結果を図9に、解析結果を基に板厚と補強構造を変更したハルの新構造を図10に示す。従来構造で発生応力の高い部位(図9の赤色部分)に補強(図10の水色部分)を追加し全体の肉厚を減らすことで、高剛性を実現し、かつ従来モデルである「ULTRA 250X」よりハル単体で約17kgを軽量化して85kgとなった。

3 高出力エンジンを生かすジェットポンプ

エンジンの出力向上に合わせてジェットポンプも新設計し、従来モデルよりも大型の内径160mmとした。また、従来のリーディングエッジ側の翼形状を大幅に変更し、翼面積が約13%増加したインペラを採用することで、キャビテーション*を発生することなく、高出力エンジンのトルクを効率よく推進力に変えている。インペラの従来形状および新形状を図11に、発進加速性能の比較を図12に示す。

* 液体の流れの中で圧力差により短時間に泡が発生する現象

あとがき

ユーザーがパーソナルウォータークラフトに求めている「圧倒的な加速」、「最高速」そして「ラフウォーターでの走行性」をコンセプトに、当社は、「ULTRA 300シリーズ」を開発した。この「ULTRA 300シリーズ」は、高過給・高出力エンジンとそれを活かす船体とともに高機能な装備を有し、「ジャパンインターナショナルボートショー2013」でもユーザーの関心を独占した。さらに2014年度モデルとして、改良を加えた「ULTRA 310シリーズ」を開発した(図13)。また、排出ガスの大幅低減を達成し、米国や欧州の規制をクリアするとともに、燃費においても大幅に向上させた。このように環境にも大きく配慮することによって、社会のパーソナルウォータークラフトに対するイメージを変え、世界市場の再活性化に大きく貢献していきたい。



加藤 広徳



新城外志夫



渡部 悟