

# 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

Development of an Off-Throttle-Steer System for Personal Watercraft

高地 隆夫\*

Takao KOCHI

浦木 護\*

Mamoru URAKI

山崎 五郎\*

Goro YAMASAKI

勝賀瀬 元\*

Hajime SHOGASE

## 要 旨

ジェット水流で推進し、その水流の方向を変えることにより操舵を行う乗り物であるパーソナルウォータークラフトは、走行中にスロットルを全閉(オフスロットル)にした状態では推力が低下するため回頭性が低下する。これは陸上を走る乗り物とは異なった旋回特性である。そのため陸上用の乗り物の運転に慣れているユーザが PWC に乗った場合に感じる操舵に対する回頭性の違和感を小さくするデバイスとして、オフスロットル操舵システムを開発した。システムは、ハンドフル転舵情報をトリガとしてエンジン回転数を制御することを基本とし、スロットル開度とエンジン回転数からの船速推定と制御タイミングを特定するタイマで構成されている。これにより、高速での旋回特性と、低速でのコントロール性の両方をバランスさせ、自然な操舵特性が得られた。

## ABSTRACT

Personal Watercrafts (PWC) are vehicles, which propel by water jet and steer by changing the direction of the water jet. Because of decreasing of when the throttle is fully closed during running, the steering force also decreases. This phenomenon is different from that of land vehicles. Therefore, in order to not giving uncomfortable feeling to users of land vehicles, the Off-Throttle-Steer (OTS) System has been developed as a device to reduce a different sense of steering operation. Basically, the system controls engine speeds using the signal of full steering, and also uses a throttle opening, a running speed of PWC predicted by engine speed, and a timer for determining of control timing as other control signals. Thus, a natural steering characteristic was obtained by balancing a turning characteristic at high speed and controllability at low speed.

## 1. はじめに

パーソナルウォータークラフト(以下、PWC という)は近年、アメリカを中心に数多くのユーザが水上レジャーとして楽しんでいる。ジェット水流で推進し、その水流の方向を変えることにより操舵を行うのが PWC の特徴である。そのような構造から、一般走行時からスロットルを全閉にした状態(オフスロットル状態)においては推力が低下し、ライダーが意図したように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、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。本稿では、これを解決する手法としてスロットルオフ時の旋回操作において、ライダーの操舵に対する回頭性の

違和感を少なくするオフスロットル操舵(以下、OTS という)システムを開発したので紹介する。本システムはHonda AquaTrax F-12/F-12X に搭載されている。

## 2. OTS システムの概要

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、本システムでは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。本システムのスロットルボデーの構造図を Fig. 1 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

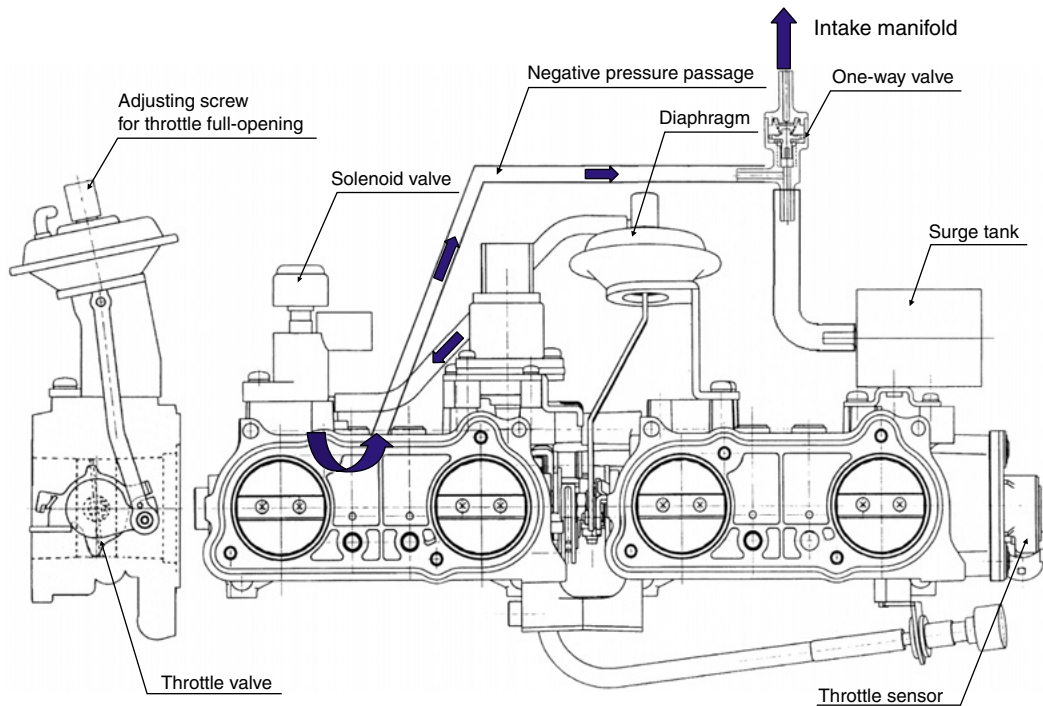


Fig. 1 Construction of OTS system

ジタンクに蓄積された負圧がダイアフラムに導かれスロットバルブを開き、エンジン回転を上昇させ旋回性を確保するものである。制御情報に必要な船速は、パドル式スピードセンサでは波などの影響を受け易く不安定であるため、エンジン回転数とスロットル開度により ECU で演算し推定した。

### 3. OTS システムの性能評価

#### 3.1. 走行テスト方法

低速から最高速までの船速を変えて、オフスロットル状態からハンドフル転舵で旋回したときの軌跡及びヨーレートなどを OTS 非装備と OTS 装備で測定して評価した。走行条件としては船速 50km/h, 70km/h, 90km/h でエンジン設定回転数を 1400 ~ 2000r/min とした。また、複数のライダーによる旋回性と加速違和感のフィーリング評価も実施した。フィーリング判定基準を Fig. 2 に示す。

#### 3.2. 計測システム

旋回性の評価では走行軌跡の評価が重要になる。しかし、水上の乗り物の場合、走行軌跡を明確に測定することは困難であった。また、ブイなどで設定したコースを通過する評価方法も、波、風などの影響で十分な精度を得られ難く、旋回性を適切に評価する測定結果を得ることが困難であった。そこで、これらの問題を解決するために、GPS を用いた走行軌跡計測システム (Dual RTK システム) を使用した。本装置は、車載用として 2 台の高精度 GPS 受信機と A/D コンバータを装備している。移動する実験艇の位置、方向、

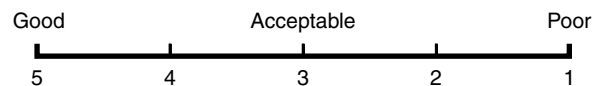


Fig. 2 Subjective evaluation rating scale

速度などを計測し、陸上に設置した基地局の GPS との相対位置関係を計算することで、 $\pm 5$  cm の精度で 200ms 毎に軌跡データを得ることができる。また、船体前後にそれぞれ GPS アンテナを配置することで、船体の斜航角などを計測できる。船体の挙動はジャイロを使用して測定し、そのデータから船体挙動を解析した。実験艇を Fig. 3 に示す。

#### 3.3. 目標性能

OTS システムの目標性能を明確にするために、まず OTS システム非装備でのオフスロットル時の操舵特性を計測し



Fig. 3 Prototype PWC

た。Fig. 4にスロットルを全閉にし、同時にフル転舵したときのヨーレートの時刻歴波形を示す。比較のために陸上の乗り物として、鞍乗りでかつ旋回時にバンクする挙動が似ているモータサイクル(以下、MCという)の同一初速でのJターン時のヨーレート時刻歴波形を示す。MCは、ヨーレートが一定値を保つ傾向がある。これに対し PWC は、初期のヨーレートは発生するものの、その後減少し、マイナス値(反旋回方向)となる傾向がある。Fig. 5にその時のPWC走行軌跡を示す。PWCは操舵初期には旋回挙動となっているが、図中の赤線のサークルで示すように、後半では操舵し続けているにもかかわらずほぼ直進している。実験艇の前後に装着したGPSの走行軌跡からも船体が回頭していないことが分かる。これらの事象により、旋回性に違和感を感じていると推測される。以上の結果から、OTSシステムの目標

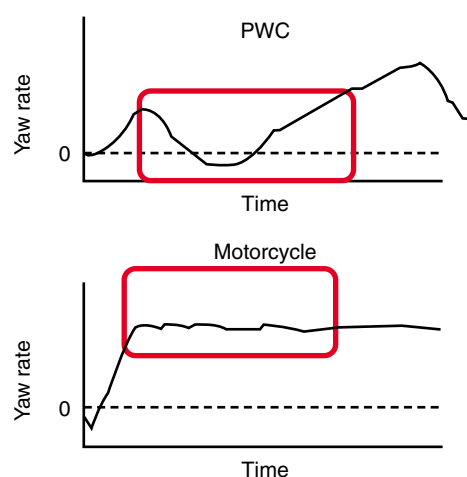


Fig. 4 Comparison of yaw rate characteristic between PWC and motorcycle

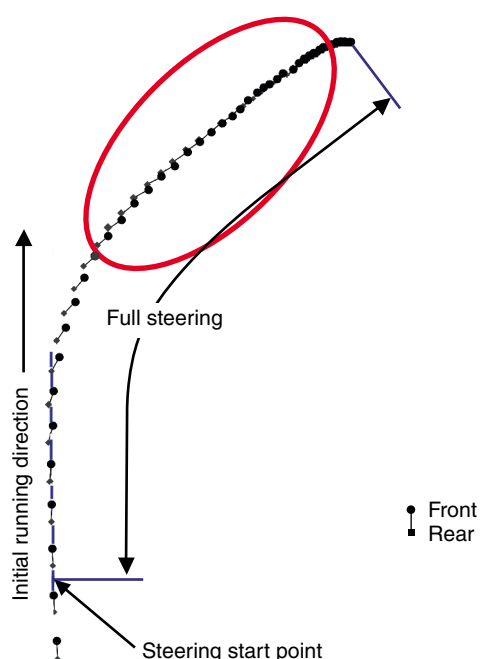


Fig. 5 Running locus without OTS system

性能を操舵し続けている間はヨーレートがマイナス値にならないように持続させることとした。

さらに、ライダーの意思に対して自然なコントロールを実現するため、以下の目標要件を設定した。

- (1) スロットルを閉じたのにエンジン回転が上昇することの unnatural な感じが少ないこと。
- (2) 低速走行時は、必要条件を満たしたときのみOTSシステムが作動すること。
- (3) 最高速からOTSシステムが作動するときも、旋回挙動が安定していること。

### 3.3.1. OTS 作動条件

OTSシステム非装備の各船速におけるフィーリング評価結果をFig. 6に示す。エンジンとポンプが直結であるため、低速の場合はアイドル回転でもポンプからの推力が発生し、OTS 非装備でも回頭性は許容レベルであることが分かる。この結果から、OTS 作動船速はフィーリング評価が3点以下となる 40km/h 以上と設定した。

オフスロットル状態の減速時においては、エンジン回転数による船速推定は困難である。そこで、Fig. 7に示すような減速特性を考慮し、40km/h まで減速する時間をスタンバイタイムとし、オフスロットルポイント直前の推定船速に応じた時間を設定した。Fig. 8に船速とスタンバイタイムの関係を示す。オフスロットルからステアリングスイッチ

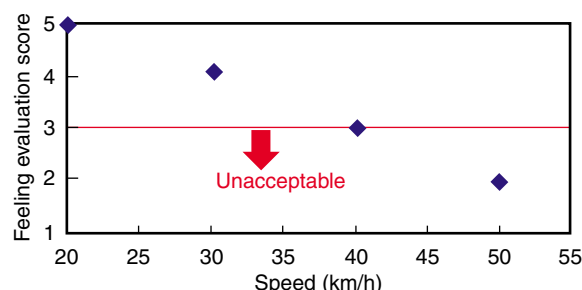


Fig. 6 Subjective evaluation result of turning feel without OTS

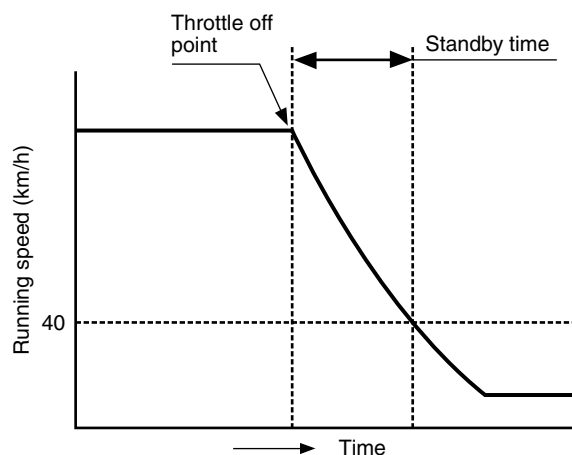


Fig. 7 Prediction of deceleration characteristic

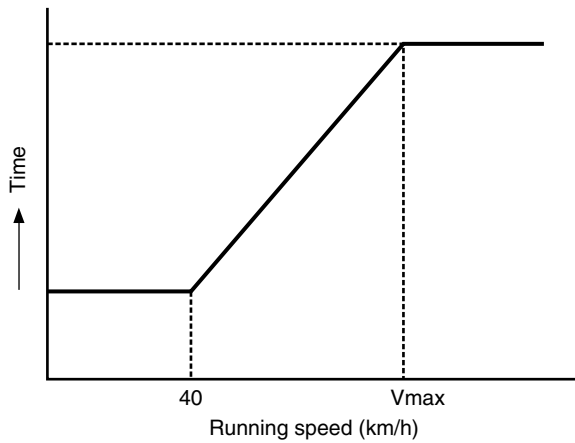


Fig. 8 Relation between PWC running speed and standby time

がONになるまでの時間がスタンバイタイム以内であれば、40km/h 以上であると判断し OTS システムが作動する。

ライダーが自分の意思で旋回をコントロールするときを OTS システムを作動させない条件として、下記のいずれかでシステムが停止するように設定した。

- ・フル転舵のステアリングスイッチが OFF になったとき。
- ・ライダーがスロットルを開けたとき。
- ・システムが作動して 7sec を経過したとき。

### 3.3.2. OTS 作動時のエンジン回転数

Fig. 9 に OTS システムの作動時のエンジン回転数に対する旋回性の効果と加速違和感のフィーリング評価の結果を示す。OTS システム設定回転数が高ければ、図中の破線で示すように旋回性が向上していく傾向であるが、高過ぎる場合には船体挙動が急激となり、旋回性評価は低下する。また、加速違和感は回転数が上昇することで評価が低下する。加速違和感を少なくするために、設定回転数は 2000r/min 以下とした。また、Table 1 にヨーレートの極小値の符号を示す。操舵方向と同じ向きの場合をポジティブとする。船速が速いほど、ヨーレート極小値がネガティブとなる傾向がある。1800r/min 以上であれば 90km/h でもヨーレートが持続することが分かった。フィーリング結果とヨーレートの符号より、目標設定回転数を 1800 ~ 2000r/min に決定した。

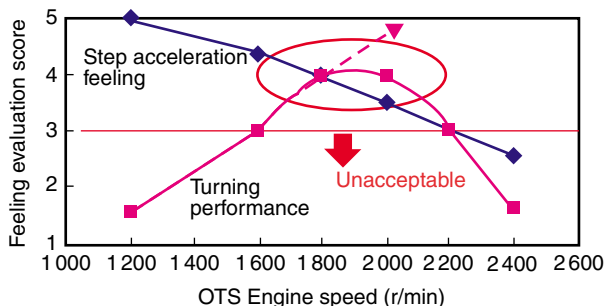


Fig. 9 Subjective evaluation results of acceleration and turning feeling by different engine speeds

### 3.3.3. 高速での制御

Fig. 10 に OTS 装備で、初速度を変化させたときの船速とヨーレートの関係を示す。単純なエンジン回転数上昇の制御だけでは、高速からの旋回においては、ヨーレートの落ち込みがなく増加傾向となり、過大なヨーレートを発生させることが分かる。これは、高速時、スロットルを全閉にした直後にはエンジン回転数がアイドル回転まで下がりきらず、OTS 設定回転数より高い回転数からの旋回となるためである。そこで、スロットルを全閉してから OTS システムが作動するまでのディレイタイムを設けた。種々のディレイタイムでテストした結果を Fig. 11 に示す。0.9sec 以上のディレイタイム設定であれば、ヨーレートの過大な発生を抑えられることが分かった。

Table 1 Observed direction of minimum yaw rate

| Speed (km/h) | OTS Engine speed (r/min) |          |          |
|--------------|--------------------------|----------|----------|
|              | 1 200                    | 1 600    | 1 800    |
| 40           | Positive                 | Positive | Positive |
| 50           | Negative                 | Positive | Positive |
| 70           | Negative                 | Positive | Positive |
| 90           | Negative                 | Negative | Positive |

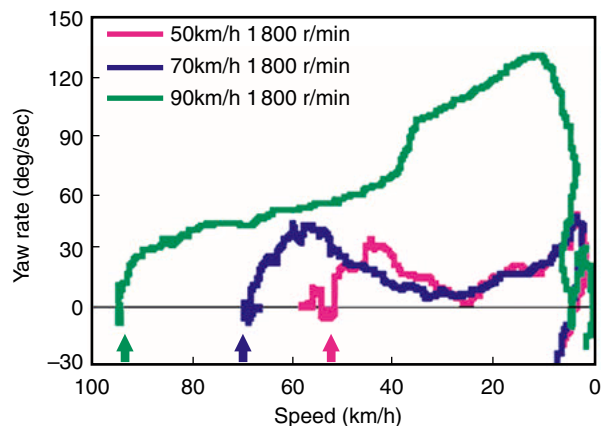


Fig. 10 Yaw rate during decelerating by different initial running speeds

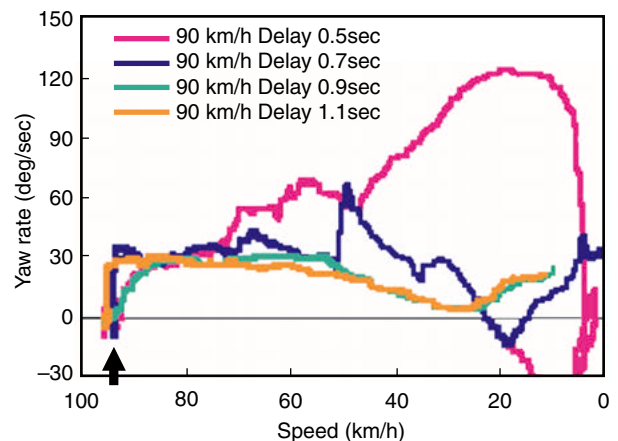


Fig. 11 Yaw rate during decelerating by different delay times

### 3.3.4. 全制御項目採用 OTS システムの評価

すべての制御項目を入れた OTS システムの動作図を Fig. 12 に示す。Fig. 13 にこの仕様での OTS システムでのオフスロットル時の走行軌跡を示す。また、OTS システム非装備の比較も併せて示した。操舵し続けている間は回頭が持続する旋回挙動となっていることが分かる。本システムをエンジン特性の違う AquaTrax F-12 及び F-12X に採用するにあたっては、同一システムを用い、各々の機種特性によって設定回転数とディレイタイムのみの変更で同様な評価が得られた。

## 4. まとめ

PWC 用 OTS システムとして、ライダーが自然と感じる OTS システムの制御が構築できた。さらに、以下の知見が得られた。

- (1) OTS を必要とする船速は、40km/h 以上であることがフィーリング評価により明らかになった。
- (2) OTS システムが作動するときのエンジン回転数は、1800 ～ 2000r/min が適切であった。
- (3) 高速時においては、過大なヨーレートを発生させないために、OTS 作動タイミングを遅らせる手法が有効であった。

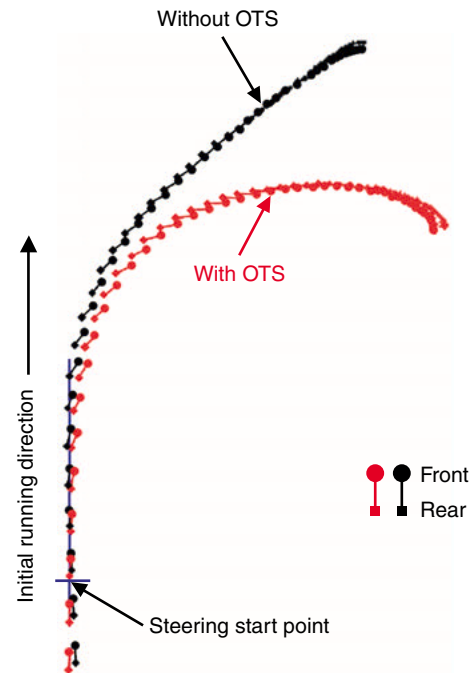


Fig. 13 Comparison of running locus between without and with OTS

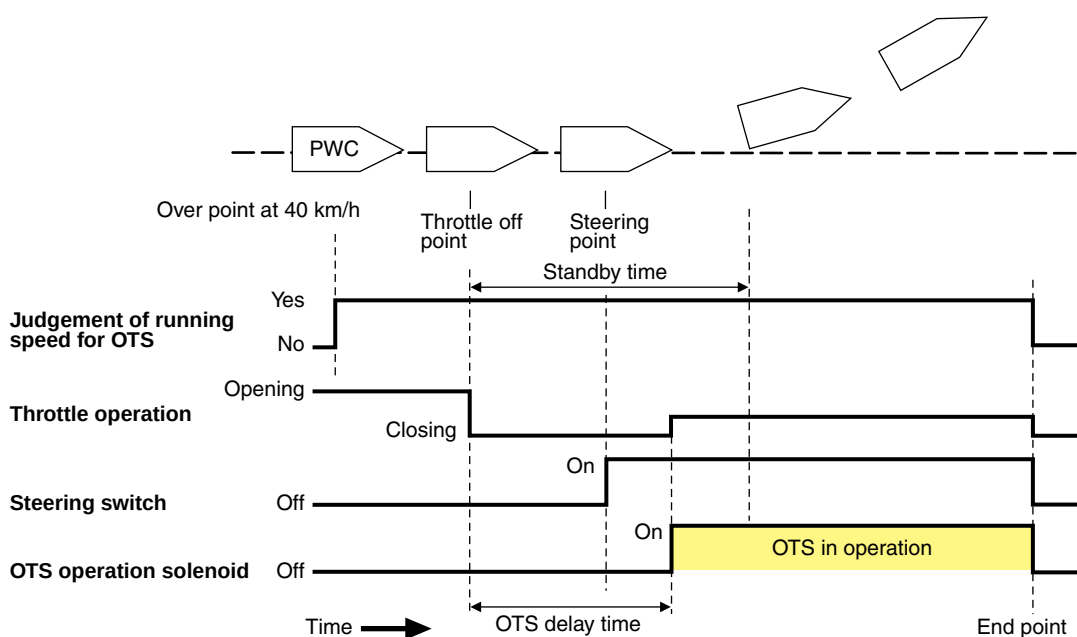


Fig. 12 OTS system operation

■ 著 者 ■



高 地 隆 夫



山 崎 五 郎



浦 木 護



勝 賀 瀬 元