

# 漕艇競技のための回転運動倣い装置の試作

Trial Manufacture of the Rotation Simulator for Rowing

尾 台 保 生\*・板 倉 博\*\*・木 下 健\*\*

Yasuo ODAI, Hiroshi ITAKURA and Takeshi KINOSHITA

## 1. はじめに

漕艇競技では、艇を推進するために必要なパワー（推進源が行う仕事率）は艇速のほぼ3乗に比例し、艇の推進力が最大となるのは艇の加速度が最大となる時であり、艇速のほぼ2乗に比例する。一方クルーによるオール最大の牽引力の持続時間（反復回数）とパワー（1ストローク毎の仕事量×ピッチ）の持続時間はそれぞれの値が大きくなると短くなるので、レースタイムが決まるメカニズムは図1のようになる。大幅にタイムを短縮するためには、各漕手が1ストローク毎に行う運動の牽引力と仕事を計測し、牽引力とパワーを増大させる要因を分析し、解析結果をクルーのローイングに反映させることが課題になる。

漕手が行う運動の仕事量を計測する装置はこれまでもいくつか提案されているが、Concept II社のエルゴメータに代表されるように漕手の牽引力でハズミ車を加速する機構となっており、実艇上での動きとはかなり異なる運動の仕事量を計測している。

実艇においては、ハンドルに働くトルクとハンドルの回転速度はそれぞれハンドル回転角の関数として変化する。そこで本装置は2種類のサーボモータによってハンドルのトルクの下限とハンドル回転速度の上限をハンドル回転角 $\theta$ の関数〔トルク関数 $T(\theta)$ および速度関数 $N(\theta)$ 〕としてそれぞれ同時に倣わせることとし、開発の目的を、目標とするレースタイムを実現しようとするクルーが身に付けるべき第一必須条件（目標艇速を維持できるパワーおよび最大牽引力の持続時間を目標タイムより延長できること）を判定することとした。

## 2. トルク関数 $T(\theta)$ と速度関数 $N(\theta)$ の設計

### 2.1 エネルギー方程式と運動方程式

艇の運動の模式図を図2に示す。クルーの行う仕事は、艇・クルー・オールが受ける抵抗とオールのブレード面が発生する泡によるエネルギーロス分となるので、次のように表せる。

$$\int_{\theta_c}^{\theta_f} F_1 L_1 \sin \theta d\theta = \int_{\theta_c}^{\theta_f} T(\theta) d\theta$$

$$= \int_{x_c}^{x_c+L} D dx + \int_0^{s_f} F_{2x} ds + \int_{y_c}^{y_f} F_{2y} dy \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $\theta$ はハンドル回転角、 $T(\theta)$ はトルク関数、 $F_1$ はハンドル牽引力、 $L_1$ はハンドル長さである。また、 $x$ は艇の進行方向、 $y$ はこれに直交する水面座標、 $s$ はブレードの $x$ 方向への移動量、 $D$ は艇全体が受ける総抵抗、 $L$ は1ストローク毎の艇の進行距離、 $F_{2x}$ 、 $F_{2y}$ はブレードに働く力の $x$ 、 $y$ 成分である。なお添字 $c$ 、 $f$ はブレードのキャッチ、フィニッシュ時の値を各々示している。

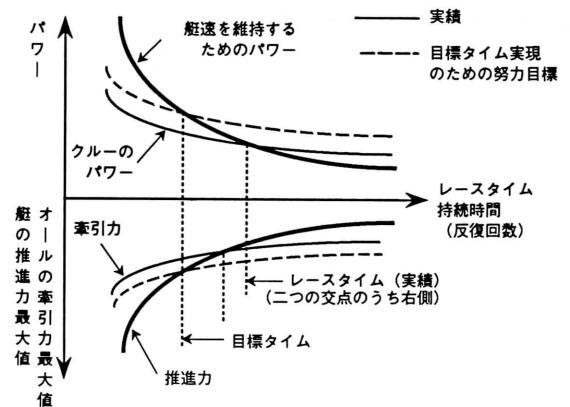


図1 レースタイムが決まるメカニズム

\*東京大学淡青会

\*\*東京大学生産技術研究所 第2部

次に、艇の推進力は総抵抗  $D$  と艇全体の慣性力の和として次のように表せる。

$$F_1 + F_{2x} = D + \frac{W}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $W$  は艇の総重量、 $g$  は重力加速度、 $V(t)$  は艇全体の重心の速度である。

2.2 艇・クルー・オールの受ける抵抗の算出

フィニッシュから次のキャッチまでのフォワード過程では、 $F_1 = F_{2x} = F_{2y} = 0$  であることから、この間の平均抵抗  $D_m$  は次式より算出できる。

$$\int_{X_f}^{X_f+L_f} D dx = D_m L_f = \frac{W}{2g} (V_f^2 - V_c^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $L_f$  はフォワード過程で艇が進行する距離である。厳密にはクルーの体重移動の影響を補正する必要がある。

2.3 ブレードに働く力  $F_2$  ( $F_{2x}$ ,  $F_{2y}$ ) の計測

これらを実艇において求めることは困難である。そこで実艇においてブレードが水面を移動する時の軌跡を、水槽に据え付けた 3 軸移動装置に取り付けたブレードに倣わせて、ブレードに働く力を 3 分力計で計測する。(1) 式の第 2 項と第 3 項も算出することができる。

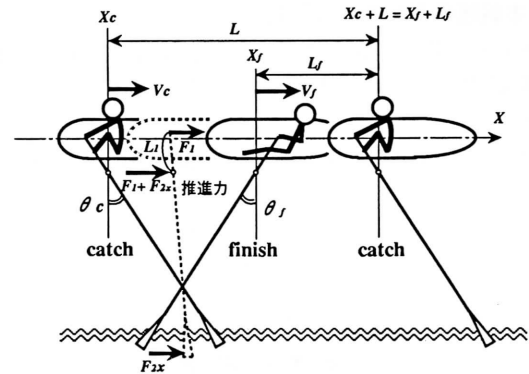


図 2 艇の運動の模式図

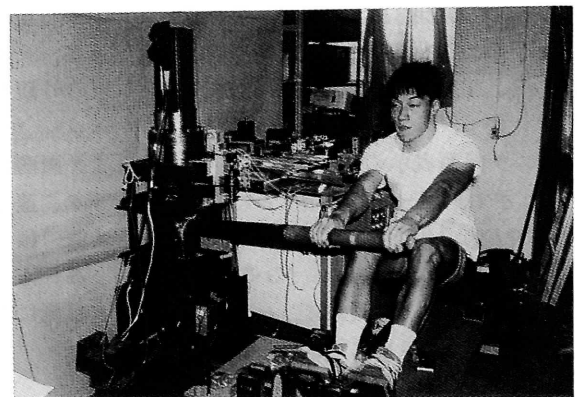


図 3 倣い装置本体の外観

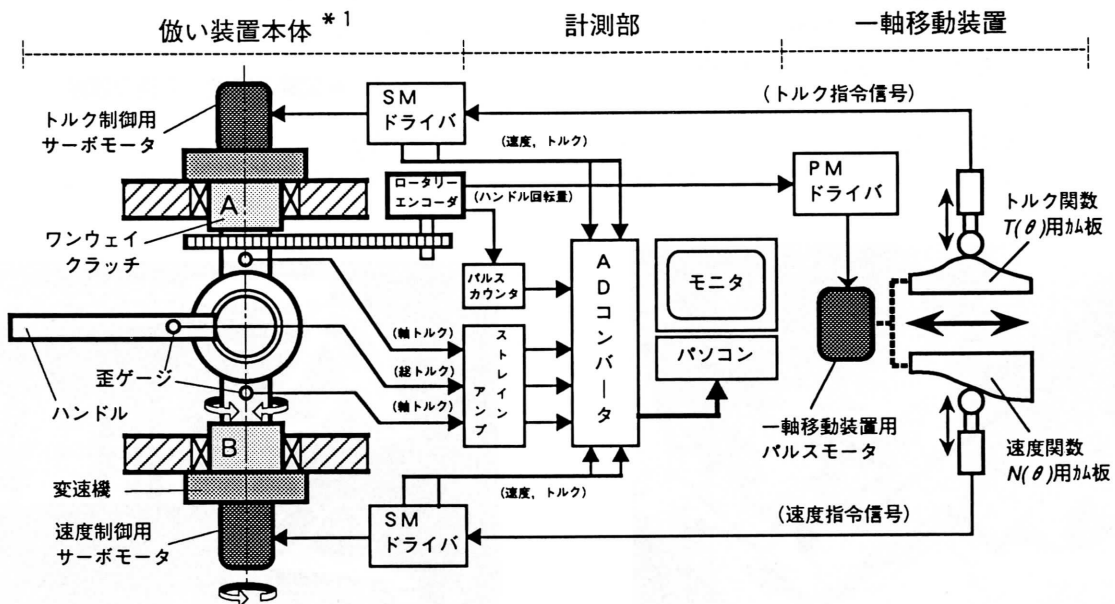


図 4 装置の構成と計測ブロック図

## 研究速報

## 2.4 本装置の運転条件の設計

ストローク過程の艇の速度および加速度とクルーの体重移動を計測して(2)式を使って実艇での  $T(\theta)$  と  $N(\theta)$  を算出する。

目標とする艇速を実現するための運転条件 [ $T_{run}(\theta)$  と  $N_{run}(\theta)$ ] は、

- ①クルーの体力のファンダメンタルズを考慮し、
- ②(1), (2)式の左辺が各式の右辺よりも大きくなるように、実艇の  $T(\theta)$  と  $N(\theta)$  を増強して設計する。

## 3. 装置の概要

本装置は本体、2台のサーボモータ(SM)のドライバ、各ドライバにそれぞれ速度指令信号とトルク指令信号を出力する一軸移動装置および計測・モニタシステムからなる。

- a) 装置本体の外観を図3に、全体の構成を図4に、一軸移動装置と  $T(\theta)$  および  $N(\theta)$  制御用カム板の外観を図5に示す。
- b) モニタ画面表示の一例を図6に示す。モニタ画面には図4に示す歪ゲージで検出するハンドル総トルク、速度制御用SM側の軸トルク、トルク制御用SM軸側の軸トルクおよび各サーボドライバのモニタ出力によるSMの回転速度と軸トルクを縦軸に、ハンドル回転角を横軸にとり、各測定値がリアルタイムで表示されていく。

## 4. 運転の概要

- a) ハンドルは上下方向に無負荷で回転でき、フォワード方向へも無負荷で移動できる。
- b) ハンドルをストローク方向へ回転させる時、ワンウェイクラッチAが連結して漕手はトルク制御用SMの制動トルクに打ち勝ってハンドルを回転させねばならない。ハンドルの回転が速度制御用SMに追い付くと、速度制御用SMの回転を放するので、ハンドルの負荷トルクは2

台のSMの制動トルクの合計となる。

- c) 一軸移動装置はハンドルの回転量に比例して移動する。取り付けられた  $T(\theta)$  用と  $N(\theta)$  用の2枚のカム板を放うカムフォロアの移動量を検出し、各SMのドライバにそれぞれトルク指令信号と速度指令信号として入力する。
- d) 漕手はフォワード方向へは自由に移動して次のストローク過程の準備を行なう。ハンドルの回転方向を変更してワンウェイクラッチを連結させるストローク過程では図6のモニタ画面にリアルタイムで表示されるハンドルの総トルクと速度制御用SM側の軸トルクを観察して、各トルクの表示が増大するように体の動かし方を工夫する。

## 5. 測定結果の一例

本装置の発案者が漕いだ結果の一例を図7に示す。設定する速度関数  $N(\theta)$  とトルク関数  $T(\theta)$  として図5に示すカム板を使用した。サーボドライバのトルク指令ゲインを増やすとトルク制御用SMの制動トルク(実トルク関数)は、設計トルク関数  $\times$  (基準トルク指令ゲイン / トルク指令ゲイン) の関係で減少する。図8は各トルク指令ゲインに対する測定結果の平均値をまとめたもので、実トルク関数が増大すると、ハンドル総トルクが増大する。実際に漕いでいて、実トルク関数が最も小さい場合(図中▲マーク)は、ハンドル総トルクの最大値を表示された状態より安定して増大させることは困難であった。一方、実トルク関数が最大の場合(○マーク)は素直に漕いで容易にハンドル総トルクの最大値を増大できた(なお図6は○マークのモニタ画面表示である)<sup>\*2</sup>。

## 6. 本装置の特徴と今後の課題

- a) 本装置の特徴は、
  - 1) 運転条件の設定精度および再現性がよく、測定デー

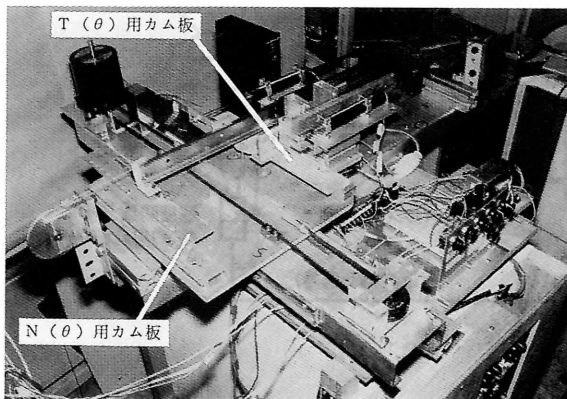


図5 トルクおよび速度関数出力機構

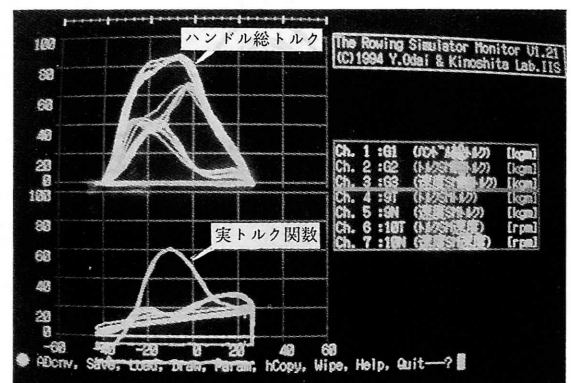


図6 モニタ画面表示例

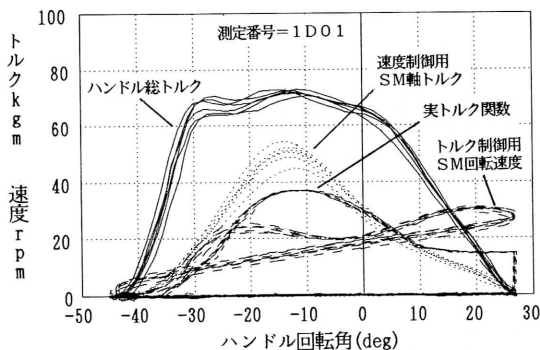


図7 測定データの一例

測定番号	1D01	1D02	1D03	1D04
図中記号	▲	△	●	○
トルク指令ゲイン	72	60	50	40
ピッチ (cpm)	35.5	34.5	34.5	35.5
平均仕事率 (W)	343	341	331	367
ストローク過程の平均仕事率 (W)	811	778	780	813

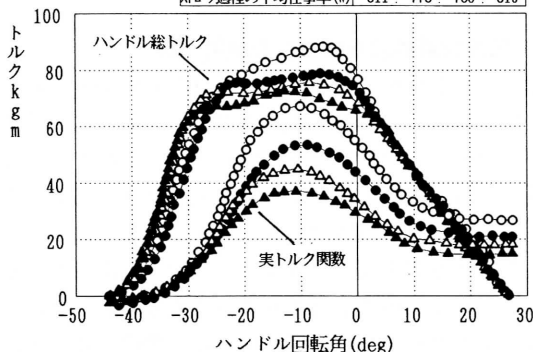


図8 実トルク関数を変化させた時のハンドル総トルク

タを計測モニタ画面上で目標値との比較において定量的かつリアルタイムで活用できる上、バランスがよく波風の影響を受けない状態で漕げること。

2) 安定したパフォーマンスにおけるハンドルの負荷トルクを解析して、目標艇速を実現しようとするクルーに参画できる条件を整える練習を各漕手に行わせることができる。

3) 運転条件をパラメータとして、各漕手の連続したストロークのパフォーマンスを定量的に観察することにより、クルーの選抜のための基本データを提供できることにある。

b) 今後の課題は、

1) 目標艇速に対する最適の運転条件を設計できるように、2.2項と2.3項で示した艇の抵抗やブレード作用力を実測すること。

2) 漕手のそれぞれのレベルに対応した練習条件が容易に設定できるように、トルクおよび速度関数の出力機構を、現状の機械式一軸移動装置からコンピュータを用いた任意関数発生装置に置き換えることにある。

### 7. ま と め

本装置で実現しているようにハンドルを牽引する感触をリアルタイムでモニタ画面で定量的に確認できることおよび自分の体の動きをビデオモニタで観察しながら漕げることは、ボートの関係者にとって画期的である。本装置により漕艇競技を力学的に解析できる見通しが開けたことを理解して頂けると幸いです\*3。

本装置によって生み出される艇速を向上させるためのアイデアを活用して、日本クルーが最も合理的なローアウトを身に付け、国際舞台で雄飛する日を期待したい。

最後に、本装置の試作にあたり多大な協力を頂いた生産技術研究所試作工場の皆様に感謝いたします。また本装置を試漕してくれた東大ボート部の選手諸君の今シーズンの健闘を祈念します。  
(1995年2月10日受理)

\*1) 特許出願中 (特願平6-302621)

\*2) 図8は、実トルク関数の設計を工夫することにより負荷トルクの最大値がより大きくなり、1ストローク毎の仕事量が安定的に増大し、体力のファンダメンタルズが現状のままクルーのパワーを大幅に向上できる可能性を示唆している。

\*3) 漕艇競技では、ブレードが入水して水を把むキャッチと水中から引き上げられるフィニッシュの時には、ハンドルの操作に特別な工夫が必要で、ブレードが艇の推進力を生み出しているハンドルの有効回転角は、実際のハンドルの回転範囲より小さくなるのが一般的である。艇のバランスの変化および波風は、クルーの体の動き及びオール操作に悪影響を及ぼす。あらゆる状態において安定してハンドルを強く牽引できることが理想であるが、ラフコンディションにおいては経験の浅いクルー程ハンドルの有効回転角も小さくなり、牽引力およびパワーも大きく減少する傾向にある。

本装置が前提としているモデルは、キャッチとフィニッシュにおける完成されたオール操作技術(いわゆるブレードワーク)を身に付けた漕手で編成されたクルーが、①波風の影響を受けずに②クルーとして完成されたユニフォームティを実現して漕いでいる状態であり、流体力学のポテンシャル流のように理想化されたものである。この状態で、クルーのパワーを安定的に増大させる条件を研究することは、実艇でクルーが実現し得るパワーの目標値を高く設定する根拠を提供することができ、クルーがレースタイムを短縮することに貢献するものと期待される。