

ロボットボートによる河川流速計測システムの開発 Development of Measurement System for Natural River Velocity using Robot Boat

○山上路生・長坂豪士・磯部駿佑

○Michio SANJOU, Tsuyoshi NAGASAKA, Shunsuke ISOBE

Boat-type robot was developed by using one-board microcomputer called “arduino” which could measure automatically mean velocity in an open-channel flow such as natural rivers. Combination of camera tracking system and PID control method allowed to make the robot remain the position against main stream, and then mean velocity was evaluated reasonably by a duty-ratio of screw propeller motor. The robot position and yaw angle to the streamline was detected through the digital image of a USB camera, and make the boat robot navigate autonomously sending the horizontal position coordinate to the robot in real time. This method is available even in indoor flume where GPS is unusable. Reliable laboratory tests with electromagnetic velocimetry were conducted to provide the calibration curve that connects the duty-ratio and mean current velocity, and it was examined that robot moves reasonably in two-dimensional plane. Furthermore, the present floating robot could be found to move successfully in not only the laboratory flume but also in natural creek.

1. はじめに

著者らは河川流速の自動計測を行うボートロボットの開発を進めており、試作機を年々バージョンアップしている。ロボットの自律制御のためには、自位置および姿勢状況を同時に把握して、推進や姿勢制御にフィードバックさせる必要がある。

昨年度の研究発表では、USBカメラを用いたリアルタイム画像による船体トラッキング技術の有効性を示した。本稿ではヨー角（水平方向の頭振り角）についても画像処理より認識する方法を開発して姿勢制御に活用した。新しい試作機には水中モーターユニットを導入することで、船体制作やメンテナンス性を向上させた。

室内水路試験では、主流軸だけでなく横断方向運動についても動作検証を行い、実際の河川における流速計測を実施した。

2. システムの概要

画像情報を援用する運用イメージを図-1 に示す。計測サイトに USB カメラを設置するセットしロボットのスタート位置と目標計測位置を一面面に収まるように調整する。カラートラッキングするため、背景とコントラストが大きくなる色の目印を船体上部に取り付ける。暗室環境の室内で

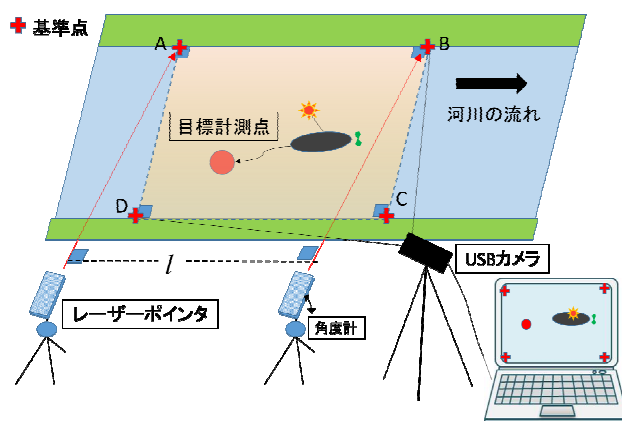


図-1 本システムの使用イメージ

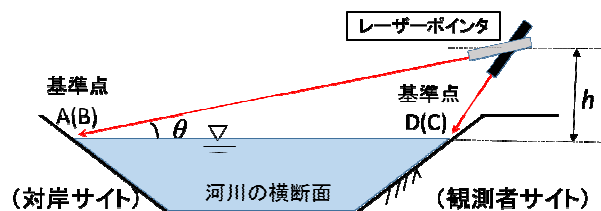


図-2 レーザーポインタによる基準点測量法

は LED のペン型ライトを用いた。野外の場合は日照条件によってマーカー色が変化する問題があ

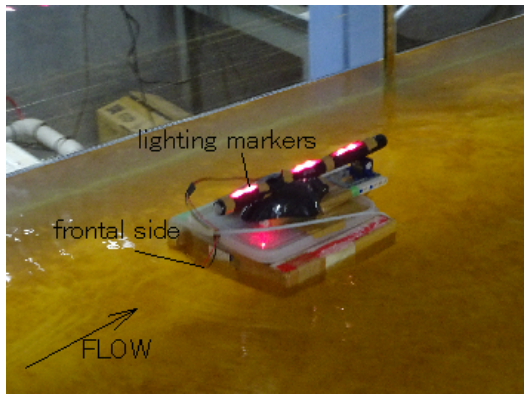


図-3 試作機の外観（船底に水中モーターユニットを主軸と横断軸のそれぞれに装着して横方向移動も可能としている）

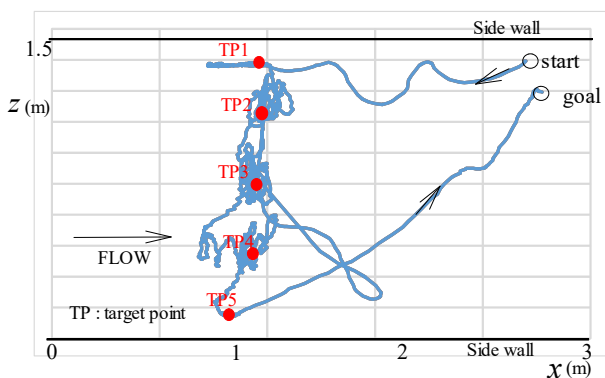


図-4 水路試験におけるロボットの軌跡（TP1～TP5 は目標計測点位置）



図-5 京都市天神川における野外試験の様子（流れは左から右）

るが、これを最小限に抑えるために赤色布を用いた。またヨー角検出のため、マーカーはロボットの中心軸に沿って細長い形状にする。

単一カメラを河岸から使用する際、斜め上方から見下ろす形で撮影することになる。図-1のように矩形領域の四隅を基準点とする。この基準点をもとに射影変換し、変換画像上でポジショニングおよびヨー角検出を行う。

野外使用では、必ずしも人工的な基準点があるわけではないため工夫が必要である。ここでは図-2に示す方法を提案する。図-1のように主流に平行に距離 l だけ離れた 2 か所のレーザーポイントの設置場所を決定する。また両者のレーザー設置高さは等しくする。レーザー光は透過するため水面上を直接マークできないので水際を狙う。図のようにそれぞれ流向に対して直角方向に照射し、頭を上下に振って対岸側（A および B 点）および観測者側の水際位置（D および C 点）をマーキングする。レーザー設置高さと水面間の距離 h とレーザーの頭振り角度 θ を実測すれば基準点の 2 次元座標が計算できる。

基準点区間の川幅が変化せず水面がフラットであれば、ABCD が長方形となり画像上のマーク点より射影変換が可能となる。一般にレーザーポイントは屋外では視認性が低下するが、1000mW クラスのグリーンレーザであれば、30m 程度先でもレーザーマークが確認できた。

以上のトラッキング法により得た自位置とヨー角情報を制御 PC からロボットに無線送信することでロボットは計測点近傍まで自動航行する。計測点に近づくと PID 制御によって静止する。このときのスクリュウ回転数（正確にはモーター回転に必要な duty 比）を記録して、あらかじめ水路試験で得た校正曲線より実流速を算定する。

3. 動作試験と性能検証

室内水路試験時における新試作機（タイプ MS-01）の外観を図-3に示す。LED ライトを主流方向に配置することで位置だけでなく船体の向き（ヨー角）もカメラ画像で検出する。

図-4 は 150cm 幅水路（流量 320/s, 水深 12.5cm）を用いた室内試験におけるロボットの軌跡を示す。TP1～TP5 は目標計測点位置で、ロボットがスタートしてから各計測点で静止後に帰還する。

図-5 は京都市内の中小河川である天神川における野外試験の様子である。川幅 5m 程度の直線部を観測サイトとした。平均流速は 20cm/s 程度と非常に穏やかな流況の下で実施した。岸から 1m 程度離れた箇所を計測位置として、ロボットを静止させた。比較のため電磁流速計（EMV）による計測も実施した。ロボット、EMV の主流速の計測値はそれぞれ 20, 23cm/s で誤差は 10%であった。今後はより大きなスケールの野外条件における試験を継続する予定である。