

第 II 部門 流速計測用自律ボートシステムのカラートラッキングによる位置制御

京都大学	学生員	○磯部駿佑
京都大学	正会員	山上路生
京都大学	学生員	長坂豪士
京都大学	フェロー	戸田圭一

1. はじめに

高度な河川整備計画や治水事業を進めるにあたって、河川の定期的な流速計測は高水時に限らず低水時においても必要不可欠である。昨今では異常気象により日本各地で大型の洪水や都市内での洪水などが数多く発生しており、それらの被害を最小限に留めるための対策を考える上においても河川の流速計測をリアルタイムで行うことは極めて重要である。川幅が狭く急勾配河川が多い我が国では水位や流量の増減が短時間で発生するため、流量観測は迅速に行われなければならない。

実河川の流速観測においては浮子法が最も普及しているが、浮子が必ずしも主流に追随しないことや計測の主観性が排除できないという課題がある。一方、近年注目されている流量観測の手法として、ADCP を曳航式浮体に取り付けて水深方向の流速プロファイルを得るもの、ビデオ撮影による PIV で表面流速を得るもの、水面に電波を発射してその散乱から表面流速を得る電波流速計によるものなどがある。これらは浮子法に代わる可能性をもつ手法であるが、それぞれ問題点も有する。

これらとは異なる流速計測手法として山上ら¹⁾は洪水時の流量観測を目的とした自律制御ロボットを開発している。本稿ではこの発展研究として自律制御の位置情報の取得に新しくカラートラッキングという手法を用いた。

2. 自律制御ボートでの流速計測の原理

本手法の原理はシンプルである¹⁾。自律制御ボートには水流において静止するような制御プログラムが組み込まれており、静止状態をキープするために必要な推進力から流速を評価できる。あらかじめ実験室内でロボットのスクリュウ回転数と流速の関係(校正曲線)を得ておけば、スクリュウ回転数から流速を算出することが可能である。計測手順を以下に示す。

- 1) 計測ポイントの座標を入力。
- 2) カラートラッキングを行い、船体の位置情報取得。
- 3) 計測ポイントに向かって自律移動。
- 4) 計測ポイントで静止するよう自動制御。
- 5) 静止時のスクリュウ回転数から平均流速算出。

3. 自律制御ボートの概要

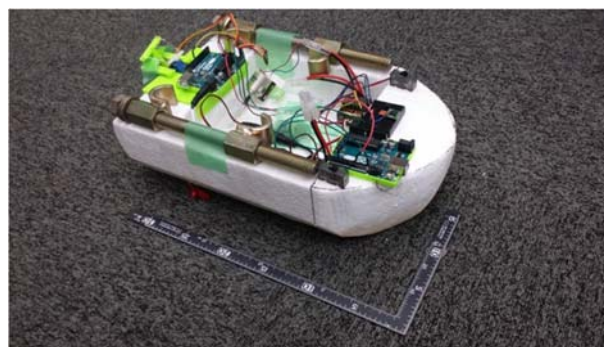


写真-1 自律制御ボートの外観

写真-1 は本研究で用いた自律制御ボートの外観である。制御プログラムの実行にはワンボードマイコン Arduino Uno-R3²⁾を用いた。Arduino にプログラムを読み込ませ、各種センサー及びモーターと接続することで自律制御を行っている。

4. カラートラッキング

本研究では位置情報の取得にカラートラッキングを用いた。図-1 にカラートラッキングのイメージを示す。これにより船体が自らの座標情報を得ることができる。計測現場には制御用 PC に USB 接続された WEB カメラを設置する。PC にはオープンソースの統合開発環境である Processing³⁾をインストールし、画像内のピクセル単位で座標を設定し、さらに船体の輝度を認識させる。その輝度情報をもつピクセル座標を追跡し、制御用 PC から船体に搭載したマイコン (Arduino) に座標情報を送信することで推進モーターの制御に必要な位置情報を取得した。

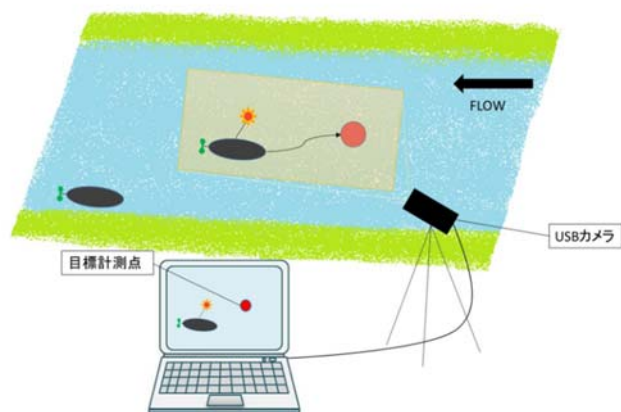


図-1 カラー-trackingのイメージ

5. 制御アルゴリズム

推進モーターの制御には PID 法(Proportional / Integral / Derivative Control)を用いた。これはフィードバック制御の一種で、目標値と出力値の偏差に対応して入力値を決定する比例操作、出力値のオフセットを修正する積分操作及び外乱発生時に出力値を速やかに目標値に近づける微分操作から構成される。時々刻々の位置座標 X_n をフィードバックさせて、 n 時刻における入力値 P_n を次のように与えた。

$$e_n = X_n - X_{tp} \quad (1)$$

$$P_n = P_{n-1} + \Delta P_n \quad (2)$$

$$\Delta P_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d((e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})) \quad (3)$$

ここで K_p 、 K_i 及び K_d はそれぞれ比例、積分、微分のパラメータであり、今回は系統変化させて選定した。また添え字 tp は目標値を意味する。

ラダーについてはコンパスセンサーにより読み取ったヨー角に比例させて1度単位で動作させ、機体が主流と平行になるように姿勢制御する。

6. スクリュー回転速度による流速評価

幅 40cm、長さ 10m の可変勾配水路を用い、流速は電磁流速計で計測し、12.4cm/s から 37.4cm/s までの 9 通りで、モーターへの入力値 Op と主流速 U の対応関係(校正曲線)を調べた。

図-2 に得られた校正曲線を示す。図-2 より本実験の流速パターンではモーターへの入力値と流速が比例することがわかる。

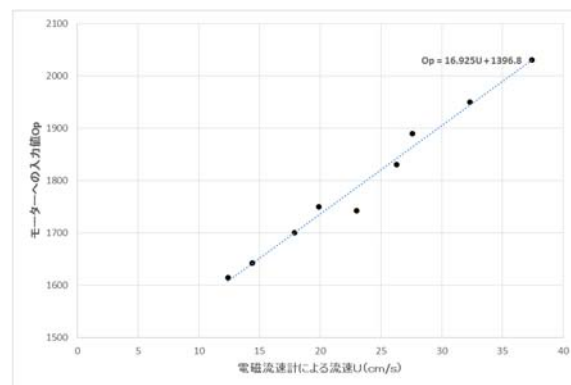


図-2 流速の実測値を用いた校正曲線

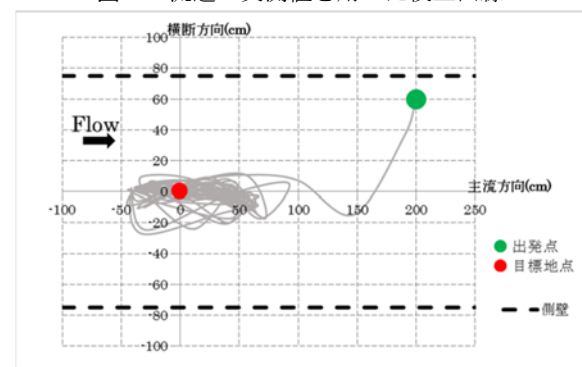


図-3 二次元平面上での船体の軌道

($U_m = 27.0\text{cm/s}$)

7. 二次元運動テスト

横断方向への移動制御を検証するために150cm幅水路において二次元運動テストを行った。図-3 に断面平均流速 27.0cm/s のケースについて二次元運動テストにおけるボートの挙動を示す。横断方向の制御は概ね良好であったが、主流方向に対して計測地点を中心に 50cm 幅で振動している。これは船体にかかる抗力が船体のヨーイングやピッチングに応じて変化することが原因と考えられる。したがって船体の安定性に関するさらなる継続研究が必要である。

8. おわりに

上述のように狭幅水路における主流方向の一次元制御は良好であるが、二次元制御については課題が残る。今後、改良を加えてより優れた計測ロボットを鋭意製作し、簡易かつ正確な計測を目指していく。

参考文献

- 1)山上ら：河川流速の自動計測を目標とする自律移動浮体ロボットの試作開発，水工学論文集 Vol.59, I 841-846, 2015.
- 2)高橋隆雄:Arduino で電子工作をはじめよう，秀和システム，2013.
- 3)Reas,C.・Fry,B., 船田巧訳:Processingをはじめよう，オーム社，2011.