

## 第Ⅱ部門

## 河川流計測ロボットにおける姿勢制御の高度化に関する研究

|      |     |     |     |
|------|-----|-----|-----|
| 京都大学 | 学生員 | ○相澤 | 航   |
| 京都大学 | 正会員 | 山上  | 路生  |
| 京都大学 | 正会員 | 岡本  | 隆明  |
| 京都大学 | 学生員 | 重田  | 明日香 |
| 京都大学 | 学生員 | 加藤  | 恭平  |

## 1. はじめに

適切な河川整備計画や治水事業を進める上で河川の流速・流量のリアルタイムでの観測は極めて重要である。著者らのグループはこれまでに河川流速を自動計測する自律制御型ボートロボットの開発を進めてきた。正確な流速値を計測するためにはロボットの向きと河川の主流方向が一致している必要があるが、従来のラダーのみによる制御ではロボットの向きを制御するのが困難な場合があった。そこで本研究ではロボットの向きを主流方向に維持するための姿勢制御システムを開発してロボットに搭載し、性能検証を行った。



図-1 ロボットの試作機(全長 70cm, 横幅 20cm, 高さ 15cm)

## 2. ロボットによる流速計測原理

WEB カメラで河川を撮影し PC で計測範囲と目標点を設定した後、計測範囲内でロボットをリリースする。ロボットはプログラミングに従い目標点まで自律移動した後、モーターの推進力によって静止する。このとき流れによる抗力とモーターによる推進力は釣り合っており、モーターの出力は対向流速に比例するため、予めモーターの出力 ( $I_p$  値) と流速の関係式 (校正式) を得ることでモーターの出力から流速を逆算することができる。

## 3. 制御システム

## (1) マイコン開発環境

ロボット(図-1)は主流方向の移動用メインモーターと横断方向の移動用サイドモーターにより二次元運動を行い、ラダー(舵)とサイドモーターによって姿勢制御を行う。位置情報の取得とロボットの動作制御にはワンボードマイコンの Arduino Uno-R3<sup>1)</sup> 及びオープンソースソフトの Processing<sup>2)</sup> を用いた。Arduino にプログラムを読み込ませて各種センサー

及びモーターと接続し、XBee の対をロボットと PC にそれぞれ搭載し無線接続した。

## (2) 画像処理

実河川計測では PC に USB 接続された WEB カメラを河岸に設置し河川全体を斜め上方から撮影し画像内のピクセル単位で座標を設定するが、このままでは単位ピクセル当たりの実際の距離が画像内で異なってしまう。そのため画像の射影変換を行った。これは実際の計測範囲が長方形型となるように杭などで目印をつけ、その目印を PC の画面上で選択することで PC 画面上でも選択範囲を長方形型に変換するものである。これにより画像内での単位ピクセル当たりの実距離を均一にする。

## (3) カラートラッキング

河岸に設置した WEB カメラで撮影した画像内で選択したピクセルの輝度情報を読み取り、同様の輝度を持つピクセルを画像内で追跡することでロボットの位置情報をリアルタイムで取得する。得られたロボットの位置情報を PC からロボット制御用の Arduino に無線通信する。

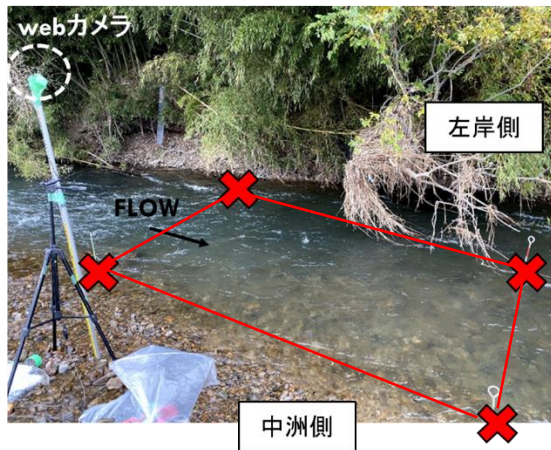


図-2 計測範囲 (3.8m×2.1m)

#### (4) 制御アルゴリズム

制御システムには基本的なフィードバック制御方式である PID 制御 (Proportional Integral Differential Control) を用いた。カラートラッキングで得たロボットの位置座標  $x_n$  と目標点座標  $x_T$  との偏差から  $n$  番目のステップにおける入力値  $Ip_n$  を与えモーターを制御する。比例、微分及び積分制御の各パラメータは、Sanjou & Nagasaka<sup>3)</sup>の研究を参考に室内水路試験によって適切な値に設定した。

#### (5) 姿勢制御システム

目標点においてロボットが主流方向と平行でなければ  $Ip$  値から逆算する対向流速値は主流速値と異なってしまう。そこで本研究では検知した主流方向とロボットが平行となるように姿勢を制御するシステムを開発した。また、この技術が本研究の新規開発点である。算出した主流軸とロボットの長軸が平行になるようにラダーを動作させる従来の姿勢制御に加え、主流軸に対するロボットの長軸の角度が一定以上になった場合にその角度に応じてサイドモーターを駆動させるサイドモーター制御を新たに開発した。

#### 4. 校正試験

実河川計測に先立ち、 $Ip$  値と対向流速  $U$  との関係を表す校正式の導出を目的とした校正試験を室内水路で実施した。 $U$  はロボットの喫水深さのものを電磁流速計で計測した。式(1)に線形近似により得られた校正式を示す。決定係数は 0.975 となり妥当な近似といえる。実河川のロボット計測ではこの式を用いて  $Ip$  値から流速を逆算した。

$$U = Ip \times 0.4602 - 691.2 \quad (1)$$

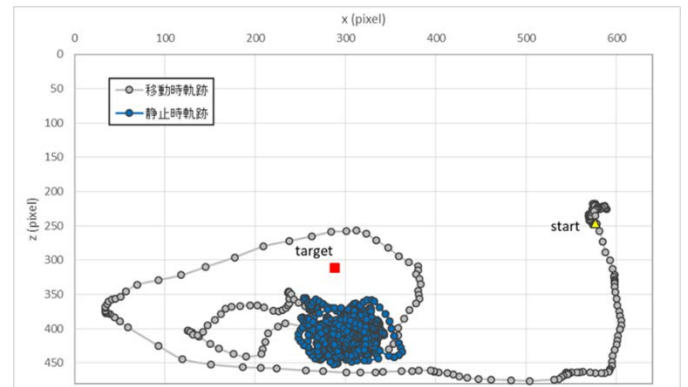


図-3 目標点とロボットの軌跡

#### 5. 実河川計測

京都府亀岡市保津町の桂川で計測を実施した。目標点を計測範囲中央付近に設定し、静止時の平均  $Ip$  値より式(1)の校正式から流速を算出した。また、計測点の流速を電磁流速計により求め、ロボット計測流速と比較した。計測範囲を図-2 に、計測時の目標点とロボットの自律移動の軌跡の一例を図-3 に示す。各計測点において流速計測誤差は 25.0～33.6%とやや大きい結果となった。本計測範囲は場所による流速の変化が大きく、図からも確認できるようにロボットの静止範囲が点ではなく面的なものであったことが要因であると考えられる。一方で主流軸とロボットの長軸のずれは従来のものと比べ大きく減少させることに成功し、それに起因する流速計測誤差を最小限に抑えることができたといえる。

#### 6. おわりに

本研究では流速計測ロボットに姿勢制御システムを搭載することで実河川における計測可能な流速範囲の拡大に成功した。しかしながら計測精度や計測所要時間などの課題も残っており、今後はそれらを一つ一つ解決していき、より正確かつ簡便な流速計測システムの確立を目指していく。

#### 参考文献

- 1) 高橋隆雄:Arduino で電子工作をはじめよう, 秀和システム, 2013.
- 2) Casey Reas, Ben Fry 著, 船田巧訳:Processing をはじめよう, オーム社, 2011
- 3) Sanjou, M. and Nagasaka, T., "Development of autonomous boat-type robot for automated velocity measurement in straight natural river", *Water Resources Research*, AGU Publications, Vol.53, pp.9089-9105, 2017.