

## 第II部門 流向自動検知システムを搭載した河川流速計測ロボットに関する研究

京都大学	学生員	○加藤恭平
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	フェロー	戸田圭一

## 1. はじめに

一年を通し各地で洪水被害が発生している我が国において河川の流速・流量をリアルタイムで観測すること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。これまでの試作機では流向を既知のものとして制御しているため、湾曲部や流れが局所的に変化する場所での適用は困難であった。そこで本研究では流向の自動検知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。

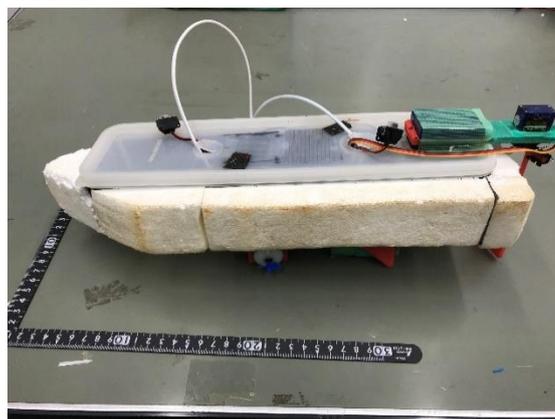


図-1 ロボットの試作機(全長 36cm, 横幅 13cm, 高さ 12cm)

## 2. ロボットによる流速計測原理

ロボットは目標点まで自律移動し、推進力によって静止するようにプログラミングされている。静止時に機体が受ける抗力とモーターによる推進力が釣り合うためモーターへの入力値(以下 $I_p$ 値)はその位置での対向流速値に比例する。そのため事前に $I_p$ 値と流速の関係式(校正式)を室内試験で導出することで、実河川で静止した時の $I_p$ 値から流速を逆算することが可能となる。

## 3. 制御システム

## (1) マイコン開発環境

ロボット(図-1)は主流方向の推進用モーターと横断方向のサイドスラスタにより二次元運動を行い、ラダー(舵)によって姿勢制御を行った。位置情報の取得と船体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。そこで精度を向上させるため、画像の射影変換を行った。これは予め射影変換後の画像が長方形型になるように設定し、河川を撮影した PC の画面上で計測したい範囲を選択することで平面の画像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 USB カメラを設置し、ロボットの位置情報を画像データより計算する。ここではロボットに目印をつけてカラートラッキングによりリアルタイムのロボット位置座標を得る。得られた情報を PC からロボット制御用の Arduino に無線通信する。

## (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

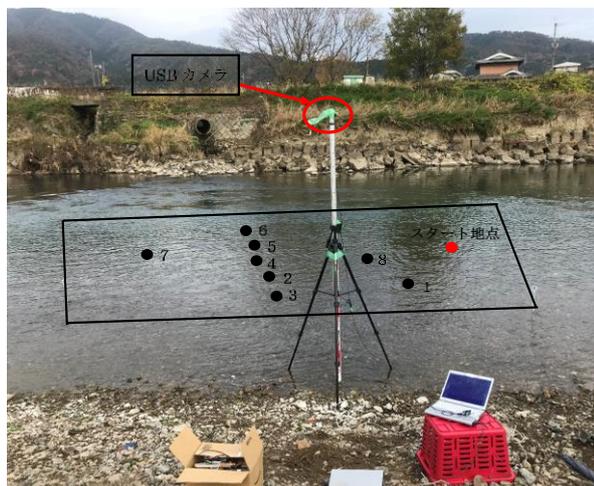


図-2 計測範囲(5m×3m)と目標点位置(黒丸)

Control)を用いた. カラートラッキングで得た船体の位置座標 $x_n$ をフィードバックさせて, 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, 積分及び, 微分制御の各パラメーターは, Sanjou & Nagasaka<sup>3)</sup>の研究を参考に系統変化させて最適値を選定した.

#### (5) 流向自動検知システム

目標点において機体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. そこで本研究では流向を自動的に検知するシステムをロボットに搭載した. また, この技術が本研究の新規開発点である. 推進用モーター及びサイドスラスターの出力を0にし一定時間自由流下させ, その時のロボットの軌道より流向を算出するというシンプルな原理である. 算出した主流軸と機体の長軸が平行になるようにサーボモーターに指令を送りラダーを動作させ姿勢制御を行う.

#### 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京都大学の乱流水理実験室所有の 1.5m 幅水路で実施した.  $U$ 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. 決定変数は 0.97 となり, 高い相関値を持つことから信頼性の高い近似式といえる. 実河川のロボット計測ではこの式を用いて $Ip$ 値から流速を逆算する.

$$U = Ip \times 0.1254 - 163.96 \quad (1)$$

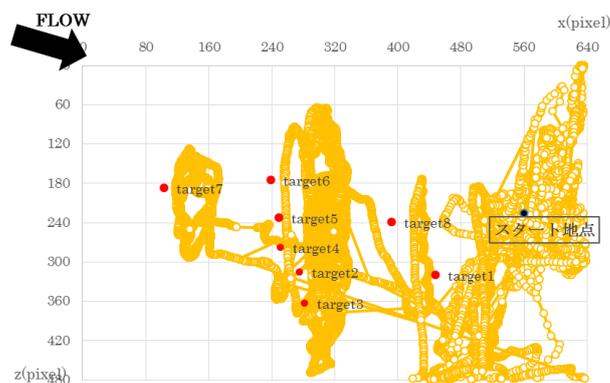


図-3 ロボットの軌跡(640pixel×480pixel)

#### 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 8 点設定しそれぞれの点での静止時の平均 $Ip$ 値より式(1)の校正式から流速を, 機体の傾きを表す $yaw$ 角の平均値から流向を算出し, 電磁流速計により求めた流速・流向と比較した. 計測システム及び計測範囲と目標点位置を図-2 に, 計測時のロボットの自律移動の軌跡を図-3 に示す. 各計測点において流速計測誤差は 0.62~12.92%, 流向計測誤差は 0.14~4.10%となった. この計測誤差は 50cm/s以上の流速では精度が落ちるといふロボット性能や船体を受ける風波が要因であると考えられる. しかし電磁流速計の計測誤差を考慮すれば比較的良好な結果であり, 特に流向は非常に精度の高い計測であったため, 主流軸とロボットの軸のず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流向自動検知システムを搭載することで実河川における計測をより高精度のものにすることに成功した. 今後はさらに課題を一つずつクリアすることでロボットによる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.