

## 河川流速の自動計測を目的とした自律制御ロボットの試作開発 Prototype Development of Autonomous Control Robot for Velocity Measurements in Rivers

○山上路生・長坂豪士・磯部駿佑・岡本隆明・金子泰洸<sup>ポール</sup>・今井貴大  
○Michio SANJOU, Tsuyoshi NAGASAKA, Shunsuke ISOBE, Takaaki OKAMOTO,  
Taiko-Paul KANEKO, Takahiro IMAI

The present study developed autonomous-mobile floating-robot using one-board microcomputer arduino which could measure automatically mean velocity in an open-channel flow. Camera tracking system and PID control method could make the robot remain the position against main stream, and then mean velocity was evaluated reasonably by a duty-ratio of screw propeller motor. Reliable laboratory experiments with electromagnetic velocimetry provided the calibration curve that connects the duty-ratio and mean current velocity. Furthermore, the present robot could be found to move successfully in not only the laboratory flume but also in natural creek.

### 1. はじめに

今日最も普及している流量観測法は浮子法である。この伝統的手法は原理がシンプルな長所をもつがデータの信頼性や計測作業の機動性においては課題がある。これを打破するため様々な新手法が提案されている。特にビデオカメラや赤外線カメラを用いる画像解析法や ADCP 法は正確な流量算定に必要な主流速の横断プロファイルを得ることができ大変魅力的である。ただしいずれも長所と短所を併せ持つため、依然として鋭意研究が続けられている。

本論文でとりあげるボートロボットは既存の方法とは全く異なる切り口から開拓・開発を進めてきた。前報<sup>1)</sup>の1号機(タイプRX-01)はレゴマインドストームにより制作した。目標計測地点で静止するようにメインスクルーを制御するが、対向流速によってスクルー回転数が変化することを利用して流速を評価することが本ロボットの真髄である。サイドスラスタにより平面2次元運動も可能であるが、対応流速が15cm/s程度しかない弱点があった。その後高速化を狙って、機体を流線形にした2号機(RX-02)、PIC制御を導入した3号機(RX-03)の試作機を順次制作した。

これまでの試作機では位置計測に超音波を用いたが、本稿ではカメラ画像によるトラッキング技術を適用する。ロボット投入地点と計測地点を含めた画像の中でロボット位置をリアルタイム追跡し、位置情報をロボットに無線送信して自動航行を実現させる。この方法はGPS信号が届きにく

い屋内水路でも使用可能である。複数のセンサやモータを一括制御し、さらにPCとの情報通信を行うために、ロボットの処理装置として arduino マイコンを使った。

まず室内水路で運動挙動をテストするとともにモータの duty 比(後述する回転数の制御ファクター)と対向流速の校正曲線を求めた。さらにコンパスセンサによるヨー角制御と平面2次元運動を試験した。最後に実際の河川にて流速計測を実施した。

### 2. 試作機の概要

計測現場には制御用PCにUSB接続したWEBカメラをセットする。カラートラッキングするためにロボットは画像認識しやすい様工夫した。実験室では上面ボディの一部を黄色蛍光塗料で塗装しブラックライトを用い、暗室状態でテストした。屋外では赤色テープをボディ上面に貼りつけた。

PCにはオープンソースの統合開発環境である processing をインストールし、WEBカメラの輝度情報(カラー)を解析して求めたロボットの位置座標と目標地点までの距離・方角情報をリアルタイムでロボットに無線送信する。ロボットにはマイコン(arduino)を搭載し、PID法により目標地点まで移動、静止する様に各モータ出力する。

図-1に本研究で制作した機体(タイプRX-05)の概略を示す。ロール安定を考慮してトリマランタイプ(三胴船)とした。卵型のセンター部に動力部、制御部、電源をすべて格納し、サイドに発泡スチロール製のフロートを備えた。フロート部も含めた全

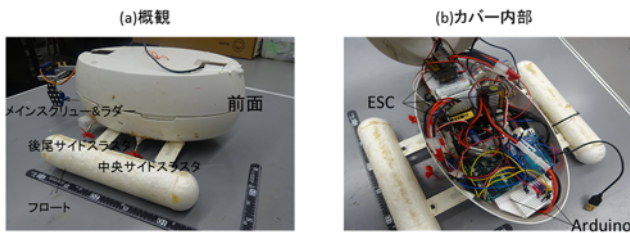


図-1 試作機のロボットの概観

長は40cm, 全幅は33cm, 全高は14cmである。総重量は1653gで片手で十分に持ち運びできる。吃水は7cmである。メインスクリューにはスポーツチューンされたマブチ540モータを1つ使用し、背後にサーボモータ駆動のラダーを付けた。低速時にはラダーによる方向制御ができないため機体後方にサイドスラスト（マブチ240モータ駆動）を設置した。これによりメインスクリューの推力がゼロであっても方向制御が可能となる。さらに目標地点への横移動のために機体中央にもサイドスラスト（マブチ240モータ駆動）を付けた。水面からの気泡吸い込みを防ぐためメインスクリュー上部の水平フィンを付けた。なおPIDによる移動静止制御の詳細は前報を参照されたい。

### 3. 校正試験

静止に必要なduty比と対向流速 $U$ を関係づける校正試験を幅40cmの室内水路で行った。流れが十分に発達する上流から7m地点にロボットが静止して流速計測を実施する目標ポイントを設ける。水面より2.8m上方からUSBカメラによって目標領域を含む流下方向に約2mの範囲を撮影する。水深は10cmに固定し代表流速を9通りに変化させた。ロボットを取り除いた状態で、ロボット静止の位置のスクリュー高さの点を電磁流速計により主流速を計測した。これを各ケース60秒間平均して校正用流速値とした。なお $U = 20.8, 25.5, 29.1, 32.9, 33.6, 37.6, 39.6, 42.2, 43.5$  (cm/s)である。

全水理条件について、静止させるために必要なロボットのduty比と電磁流速計による実測流速の関係を整理したものが図-2である。Ip値(duty比に対応するモーター入力値)が1594まで線形増加するが、それ以上では勾配が大きくなり複雑な挙動になることわかる。目視観察の結果からこのような特性は造波抵抗の変化によるものと考えられる。

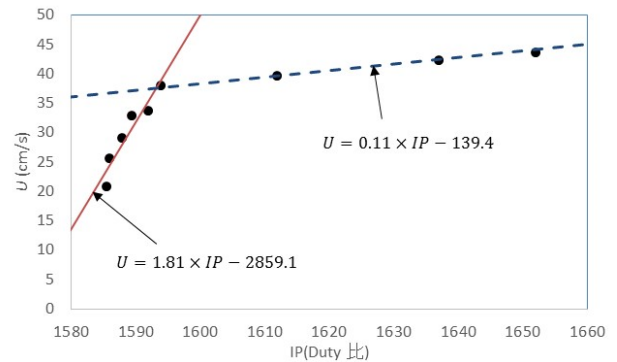


図-2 Duty比と対向流速の校正ライン

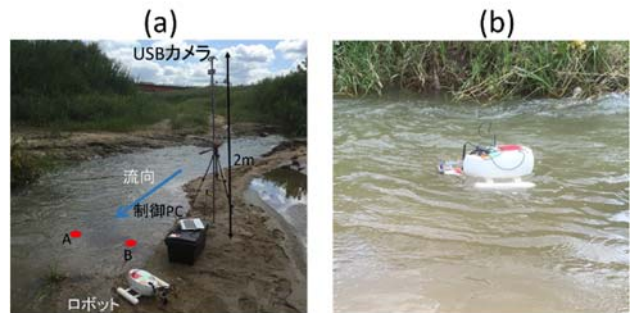


図-3 野外テストの様子

### 4. 小河川への適用事例

京都府八幡市の木津川大橋下流における幅2m程度の網状河道で野外計測を実施した。図-3aは現場周辺と計測機材である。ノートPCにはUSBカメラとXbeeアンテナを接続するだけで、Processing上で機体のトラッキングを開始すれば自動的に位置情報とduty比の時系列信号がPCに保存される。USBカメラは非常に軽量であるため1mの亚克力パイプを2本連結した先に取り付け、小型三脚に固定した。図-3bは静止時の機体の様子である。室内水路と同様にPID制御により目標地点にスムーズに静止した。なお計測時は無風であり、室内水路の校正曲線が使用できる。計測は流路左岸より30cm(図aのB,水深20cm)と80cm(図aのA,水深50cm)の2か所で行い、それぞれ静止に必要なduty比は1585, 1650であった。校正曲線から流速に換算すると25.6cm/sおよび43.7cm/sとなる。実際に流路中央は側岸より明らかに高速であり、妥当な結果が得られた。

### 参考文献

- (1) 山上路生・金子泰洗・戸田圭一：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.