

洪水観測を目的とした自律制御水中ロボットの開発 Development of Autonomous Control Underwater Robot for the Purpose of Flood Observation

○金子泰洸ポール・山上路生・長坂豪士・戸田圭一

○Taikopaul KANEKO、Michio SANJOU、Tsuyoshi NAGASAKA、Keiichi TODA

It is of special important to measure mean velocity and discharge in natural rivers for preventing flood disasters. In this study, we developed an Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Robot which can measure mean velocity easily and cheaply. Using triangulation by ultrasound, this robot can acquire own position information and move autonomously. Because speed of screw's rotation is proportional to velocity of water, the user can obtain the velocity of water. Management of robot is conducted by PID controller.

1. はじめに

河川の整備計画や治水事業を進めるにあたって、河川の流量観測とそのデータベース構築は重要である。また河川洪水時には正確なダム操作が求められるため、流況のリアルタイム観測は極めて重要である。実河川の流量観測の最も主要な方法は浮子法であるが、浮子が必ずしも流れに追従しないこと、目視のために計測の主観性が排除できないという問題点がある。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¹⁾、ビデオ撮影による PIV で表面流速を得るもの²⁾、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³⁾などがある。これらは浮子法に代わる可能性をもつ素晴らしい手法であるが、それぞれ欠点も有する。例えば、ADCP は橋脚に曳航船体を繋ぎとめるため、観測可能場所が橋脚周りに制限される。PIV 法と電波流速計による方法は、計測するのが表面流速のため風波の影響を受ける。

ところで、水中で自律移動するロボットは AUV(Autonomous Underwater Vehicle)と呼ばれ、海底の鉱石分布の探査やダム湖の管理に活躍している。例えば東京大学生産研究所の Tri-TON は、海底に置かれたステーションとの相互位置の測定や海底のモザイク写真の作成により、自己の位置を把握して自律行動をすることが出来る。この Tri-TON は 2012 年に鹿児島島の熱噴出孔の海底を調査し、200 平方メートルの地形情報を取得することに成功している⁴⁾。

このような背景をもとに、筆者らは洪水時の流

量観測を目的とした自律制御水中ロボットを開発している。開発は数年のスパンで行い最終的には簡便で低コストで使えるロボットの完成を目指す。

2. 水中ロボットの概要

開発するロボット（以下、「流量観測 AUV」）の基本設計は極めてシンプルである。流量観測 AUV の外見は潜水艦型にし、川の流れに対して相対的に静止するように制御する。このとき、ロボットのスクリューの回転数と水の流れの速さが比例すると考えられる。したがって、あらかじめ実験室内でスクリューの回転数と流速の関係（校正曲線）を得ておけば、スクリュー回転数から流速を導くことが出来る。河川の横断方向に網羅的に流速を計測すれば、断面積と流速から流量を算出することが出来る。流速取得までの一連の流れは次の通りである。

- ①流速を計測したいポイントの座標を入力。
- ②あらかじめ設置してある基準位置からの測位により、ロボットが位置情報を取得する。
- ③計測ポイントに向かって自律移動。
- ④計測ポイントに到着したら、一定時間静止するよう自動制御。
- ⑤静止時のスクリュー回転数から平均流速算出。

同様の原理で測定対象を表面流速に絞るなら、潜水型ではなく船型のロボットも考えられる。船型の方が防水化の不要や制御の簡便さで開発が用意である。しかし潜水型の方が大きなメリットがあり、それは風の影響を受けないことである。船型の場合だとロボットに風による抗力がかかり、

スクリーンの回転数と流速が単純には比例しなくなってしまう。

2. 1 水中での位置情報の取得

今回開発するロボットの一歩のカギは、水中での正確な位置情報の取得である。水中では電波はすぐに減衰して遠くまで伝わらないため、位置情報の取得に GPS は使うことが出来ない。また使えたとしても GPS には大きな測定誤差があり、自律制御に用いるには不十分である。そこで、本研究では水中での超音波を用いた 3 次元位置測定システムの開発を行った。

音波は空気中を約 340m/s の速さで伝わるが、水中では空気中よりもかなりはやく約 1500m/s で伝わる。ここで、水中での音波の速さを c [m/s] とすれば、距離 d [m] を伝わるのにかかる時間 t_{of} [s] は次の式で表せる。

$$t_{of} = \frac{d}{c} \quad (1)$$

ここで t_{of} は Time Of Flight を意味し、音波の伝播時間を示している。水中の 3 ヶ所にトランスポンダという機器を設置する。トランスポンダは、ロボットから超音波を受けるとロボットに超音波を送り返す機能をもったものである。ロボットはトランスポンダに向けて超音波を発射し、トランスポンダが返信して再度ロボットに超音波が到達するまでの時間を計測する。(1) 式を用いれば、計測した時間からトランスポンダまでの距離を算出することができる。トランスポンダの座標が既知であれば、3 つのトランスポンダとの距離を使って、三角測量の原理より自身の 3 次元位置を推定することができる。

3. 機体の構築方法

ロボットの制御には PIC と呼ばれるマイクロコントローラーを用いた。PIC は Microchip 社の製品であり、内部のメモリにプログラムを書き込むことができる。この PIC にモーターやセンサーなど様々な周辺機器をつないで制御することで、多様な機能を実現させることができる。プログラムの開発には MPLAB X IDE という専用の開発環境を用いることができ、フリーのコンパイラを用いれば C/C++ で開発を行うことができる。

またどちらもフリーソフトである bsch3v と pcbe で回路図と配線図の作成を行い、ユニバーサル基板にスズメッキ線で配線を行って回路を組み

立てた。

4. 試作機の作成と実験結果

本年度は開発の取り掛かりとして、船型の試作機の開発を行った。船型試作機は前部分に赤外線距離センサーを有しており、水路内に置かれた目標となる板までの距離を測定し、あらかじめインプットした目標の距離の位置で静止できるようにスクリーンの回転数を自動で調節する。距離センサーには SHARP の GP2Y0A021YKF6 を用いた。このモジュールは測定した距離に応じた電圧を出力してくるので、マイコンの A/D コンバータで電圧値をデジタル値に変換し、距離に変換して制御に用いた。また、スクリーン回転数の制御には PID 制御を用いた。PID 制御の式は以下のように表される。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

ここで $u(t)$: 操作量, $e(t)$: 目標値と現在の値の差, K_p : 比例ゲイン, K_i : 積分ゲイン, K_d : 微分ゲインである。実際には (2) 式を離散化したものを用いている。3 つの係数の値 (K_p , K_i , K_d) により動作が大きく変わるので、実験を繰り返して最適な係数の値を見つけた。さらに、スクリーンの直下にサーボモーターで駆動するラダーを取り付け、船体の方位を制御した。方位の測定にはコンパスセンサーを用いた。

実験結果については現在整理中であるので、発表時に最新の結果を報告する。

参考文献

- (1) 二瓶泰雄・色川有・井出恭平・高村智之, 超音波ドップラー流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討, 土木学会論文集 B, Vol.66, No.2, pp.99-114, 2008.
- (2) 小林範之・金目達弥・藤田一郎, PIV による洪水時河川流量観測装置の開発, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp.455-458, 2002.
- (3) 山口高志・新里邦生, 電波流速計による洪水観測, 土木学会論文集, No.497, II-28, pp.41-50, 1994.
- (4) M. Tashiro, Y. Sato, T. Matsuda, A. Kume, T. Sakamaki, T. Ura, "AUV Tri-TON -A hover-capable platform for 3D visualization of complicated surface", Underwater Technology Symposium, 2013 IEEE International, pp.1-6, 2013.