

水中ロボット開発とその利用

坂 上 憲 光
Norimitsu SAKAGAMI

先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 教授
Professor, Mechanical Engineering and Robotics Course



1. はじめに

2023年4月に機械工学・ロボティクス課程に着任した坂上憲光です。専門は水中作業用ロボットの開発であり、フィールドで利用できることを前提に開発をしてきました。ここでは一般的な水中ロボットの簡単な説明と私のこれまでの研究成果の一部について紹介させていただきます。

2. 潜水船から水中ロボットへ

科学や軍事を目的にした潜水船の利用が始まりであった。しばらくは科学、軍事、石油関連を中心に潜水船の利用が進められてきたが、その後の機械化技術や自動化技術の進展とともに人が搭乗しないタイプの無人潜水機（以下、水中ロボットと呼ぶ）が開発され、利用が増加した^[1]。現在では港湾建設、インフラ設備点検、水産業、災害対応、極地調査等の様々な分野で水中ロボットは活用されるようになり、世界的に見ても開発企業や研究者は増えてきている。

3. 水中ロボットの分類

水中ロボットは大きく次の2つに分類される^[2]。一つはAUV（Autonomous Underwater Vehicle）と

呼ばれる自律型水中ロボットと、ROV（Remotely Operated Vehicle）と呼ばれる遠隔操作型水中ロボットである。AUVは計算機や各種センサを搭載し、高い認識能力と判断能力に基づく自律性を持たせた水中ロボットである。自律性によって海上との通信のためのケーブルを持たずに利用できるため、深い場所や広い範囲の調査に役立つ。しかし、現時点では環境との接触が伴う作業等をさせることは難しく、主に観測や目視検査等の非接触作業を中心に利用される。一方、ROVは海上や陸上とケーブルでつながれており、オペレータが遠隔で操作しながら利用する水中ロボットである（水中では減衰の激しい電波は使えず、カメラ映像等のデータ量が多い通信を必要とする場合は有線にする必要がある）。ケーブルは外乱を受け、ロボットにとっては制御が困難となる要因にもなるが、人間が介入することができるROVはロボットアームを使う作業や複雑な環境での作業の実行が可能となる。

4. 水中ロボットの現在

近年の科学技術の進展によって水中ロボット利用の可能性は様々な分野で広がってきている^[3]。特に半導体性能やバッテリー性能の向上によって、高性能かつ小型・軽量・経済的な計算機やセンサが利用し

やすくなり、水中ロボット分野にも多くの企業や研究者が参入するようになった。日本でもベンチャー企業が立ち上がっている。さらに、3D プリンタ利用の拡がり、多様な材料の開発、5G 導入、AI 技術の台頭など、新しい技術を活かした多種多様な水中ロボットが様々な分野で今後も登場することは間違いないだろう。

5. 筆者のこれまでの研究成果

ここからは筆者がこれまで取り組んできた水中ロボットを利用した研究や開発してきたロボットのいくつかを紹介する。

5.1 沖縄での考古学調査

考古学者との共同研究によって水中ロボットを利用した沖縄県石垣市での海底遺跡調査を実施してきた^[4]。屋良部沖の水深約 20m の海底に壺群や複数の四爪鉄錨が存在する。我々は研究室で開発してきた水中ロボットを利用して調査に協力してきた。そのロボットの調査時の写真を図 1 に載せる。調査では潜水資格を持つ考古学者が遺跡の調査を行っていたが、安全面から長時間の潜水は困難であったため、考古学者の作業を補う形で水中ロボットは海底遺跡の映像記録に貢献した。この時、水中ロボットカメラからの映像を通して、船上にいる潜水資格を持たない考古学者に遺跡を見もらうことで調査にも協力した。また、ロボットに複数台のカメラを取り付け、海底遺跡全体のデジタル画像を取得し、その画像を元に 3D デジタル海底遺跡の作成に貢献した（図 2）。さらに現地の教育委員会と協力し、高校生が水中ロボットを操縦して遺跡探索を行う文化遺産教育のための活動も実施した。

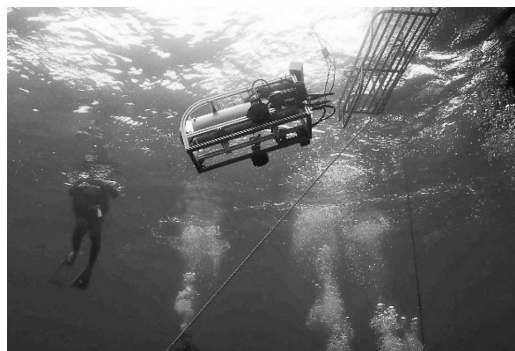


図 1 遺跡調査に利用した水中ロボット

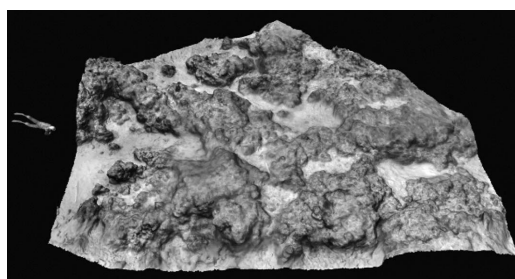


図 2 デジタル海底遺跡

5.2 琵琶湖での考古学調査

琵琶湖の北にある葛籠尾崎でも水中ロボットを利用した湖底遺跡調査を実施してきた^[5]。この遺跡では水深 70m 程度の場所からも土器や須恵器の遺物が見つかっている。我々は発掘作業を実現できる水中ロボットを開発し、遺跡の調査を行ってきた（図 3）。このロボットによって複数の遺物も見つけている（図 4）。開発したロボットは 8 つのスラストを持ち、その内の 2 台は水流を発生し、表土の除去（発掘）にも利用できる機能を持っている。しかし、発掘機能に関しては十分な成果が得られておらず、現在も発掘性能の向上と発掘作業の効率化を図るための開発が続けている。加えて発掘後の遺物の回収装置の開発も行っていきたい。



図3 琵琶湖で利用した水中ロボット

5.3 水中ロボットによる構造物点検

水中構造物の点検等を目的とした水中ロボット(図5)も開発してきた^[6]。ロボットに比べ、ダムや船舶等の構造物は大きいため、それらの壁面は局所的には平面として扱える場合が多い。このため構造物壁面上(2次元平面)にロボットの運動を拘束すれば、オペレータの操縦負担を極端に軽減できる。水中ロボットを構造物壁面上に拘束する手段として、負圧効果板と呼ばれる吸着機構を開発してきた。壁面への吸着によって、操縦の負担を軽減できるだけでなく、外乱がある場合にもロボットの位置・姿勢が安定し、鮮明なカメラ映像を取得できるという特徴もつ。現在も負圧効果板による吸着性能の向上とロボットによる構造物点検の効率化を図るための研究を続けており、船底清掃等への応用を計画している。



図4 ロボットによって発見した遺物

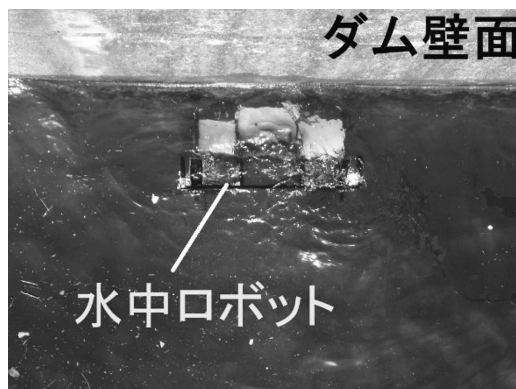


図5 三重県青蓮寺ダムでの実証試験

6. おわりに

水中ロボットは現在では「水中ドローン」と呼んだほうが一般の人達にはイメージしやすいかもしれない。大手 EC サイトで「水中ドローン」と調べてもらおうと誰でも簡単に入手できる時代となった。上で述べたように今後も多種多様な水中ロボットが登場してくるであろう。ただ、実用的な利用のためにはまだまだ取り組むべき課題は多い。今後は先端理工学部の研究者の方々や外部の関係者と協力し、面白い研究課題に取り組んでいきたい。特に瀬田キャンパスは琵琶湖に近い立地にあり、この地理的な利点を最大限に活かし、フィールドとして活用していきたい。

参考文献

- [1] 日本深海技術協会, 海洋調査技術に関する体系的レビュー調査研究委員会, 海洋調査技術に関する体系的レビュー, 2007
- [2] 浦環, 高川真一, 海中ロボット, 成山堂書店, 1997
- [3] 日本ロボット学会編, ロボット工学ハンドブック(第3版)「9. 水中・水上ロボット」, 2023.
- [4] Rintaro Ono, Chiaki Katagiri, Hironobu Kan, Masayuki Nagao, Yumiko Nakanishi, Yuji Yamamoto, Fumiaki Takemura, and Norimitsu Sakagami, "Discovery of Iron Grapnel Anchors in Early Modern Ryukyu and Management of Underwater Cultural Heritage in Okinawa, Japan", International Journal of Nautical Archaeology, Vol.45, Issue 1, pp.77-93, 2016.

- [5] Shohei Hotta, Yusuke Mitsui, Mizuki Suka, Norimitsu Sakagami, Sadao Kawamura, Lightweight underwater robot developed for archaeological surveys and excavations, Robomech Journal, Vol.10, No.2, 2023.
- [6] Norimitsu Sakagami, Yosuke Yumoto, Takahiro Takebayashi, Sadao Kawamura, Development of dam inspection robot with negative pressure effect plate, Field Robotics, Vol.36, Issue8, pp.1422-1435, 2019.