

超小型/超軽量の水中探査ロボット“水中Hi-ROV”的開発

国際環境工学部 エネルギー循環化学科 教授 伊藤 洋

1. 背景と開発の経緯

「水中ロボットを普通車のパンに一人で積んで海まで行って、陸上もしくはボート上から水中の世界を自由に観察し、記録することができる」、それを実現したのが“水中Hi-ROV”（後述）である。昨今では空中を簡単に飛ばせる「ドローン」が有名になっているが、ロボットはペットから産業用ロボットまで幅広く存在する。こうしたロボットの中で意外と開発が進んでいないのが、水中分野である。水中のロボットと言えば、図-1に示したように深海底を探査する潜水艦のようなものが多く、潜水士が作業可能な水深数十m程度までの作業に適した水中ロボットはほとんど存在していない。もちろん、水深300m対応可能な水中ロボットであれば水深20mでも適用可能であるが、コストや作業性、機動性に課題が多く、事実上適用は難しい。ここで開発した「水中ROV (Remotely Operated Vehicle)」は、こうした水深40m以内にターゲットを絞り、安価で軽量で機動性に優れた「水中ロボット」の開発を目指したものである。この水中ロボットの名称は決まっていないので、ここでは、「High-mobility innovative underwater ROV(高機動性の革新的水中ROV)」から“水中Hi-ROV”と呼ぶことにする。

この“水中Hi-ROV”的活躍の場は、潜水士の作業範囲と概ね合致する。つまり、潜水士の代わりにロボットが作業を行うイメージになる。加えて、潜水士が作業を行う場合のデメリットである、①安全性確保（周辺海域を含めた対応が必要）、②作業時間の限界（たとえば、水深50mでは10分程度）、③対象物のリアルタイム検証、④連続した調査記録映像保存、などといった課題は大きく改善されることになる。ここで最大の課題はコストであり、“水中Hi-ROV”では潜水士作業コストレベルかそれ以下を目指している。そこで、革新的な発想をしたのが、山本郁夫教授（長崎大学、元北九州市立大学）と稻川直裕准教授（日本文理大学、元FAIS）である¹⁾。センサーや駆動機器を水密性の優れた容器

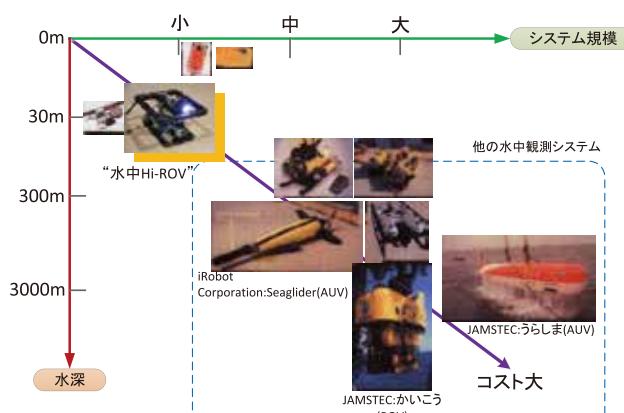


図-1 “水中Hi-ROV”的位置づけ

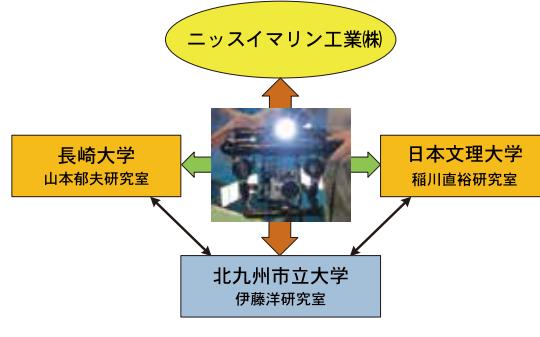


図-2 共同研究体制

内に収めるのではなく、浮力バランスを考慮した骨組み構造にセンサーや駆動機器を取り付ける構造を発案し、ニッスイマリン工業株の支援を得て当初は学生の教育研究の材料として試作を行ったのが出発点である。その後、山本先生が他大学に移ることになり、その時に門外漢の小学生が本学の担当になった。この時、この“水中Hi-ROV”を見て、本格的に技術開発を進めれば“大化けする”と確信した。その後の成果は後述するが、図-2に示した産学共同研究体制で精力的な技術開発が進められ、一気に実用化に近づき、国土交通省の現場実証実験対象技術に採択されるなど多目的な展開も視野に入るようになってきている。

2. “水中Hi-ROV”的特長

写真-1は、“水中Hi-ROV”的全体のシステム構成であり、基本的なコンセプトは以下の3点である。表-1は、“水中Hi-ROV”的主な特長を整理したものである。

■ 安価

機能を限定し、システム規模を小型化することで潜水士作業と同等のコストを目指す。

- ・使用水深を40m程度に限定し、フレーム構造とする。

■ 超軽量

一人で運搬できる重量を目指す。

- ・付帯設備を含めて数kg程度とする。

■ 優れた機動性

夜間や冷水中でも運用可能とし、迅速で多方向への移動ができ、操縦も容易なシステムを目指す。

- ・8方向（前後進、左右水平、左右旋回、浮上、潜航）の推進機能を有し、ジョイスティックでの手動操作とする。



写真-1 “水中Hi-ROV”的全体システム

表-1 “水中Hi-ROV”的主な特長

着眼点	設計方針	結果
圧倒的な低コスト	目途・機能の限定し、システム規模を小型化する。	・システム全体で数百万円
圧倒的な機動性	抵抗が少なく簡素なシステム構成とする。 ① ROV本体 ② ケーブル ③ 基地局	・1台の普通車に搭載可能 ・超小型/超軽量（本体3.0kg以下） ・運転開始まで約5分
汎用性	容易に電源確保できること。	・可搬性発動機あるいは家庭用電源を使用
広い用途	探査の目的に対応した着脱可能なシステム構造とする。	・着脱可能なセンサーを採用 ・深度（水深）センサー ・水中位置測定観測機器 ・距離センサーなど
操縦性	専門のオペレーターでなくとも容易に操縦できること。	・マイコン支援の手動操作の簡単なコントローラ

3. 実証実験の例

実証実験は、海洋の沿岸付近の海底調査、護岸の亀裂調査、沈没船の調査から水中洞窟の探査、ダム堤体の劣化調査、海洋の構造物の劣化調査や海底ケーブルの調査に至るまで多くの実証実験を行ってきており、ここでは代表的なものを簡単に紹介する。

3.1 実験水槽での試運転と予備実験

プロトタイプの“水中Hi-ROV”は、ニッスイマリン工業株が運営する日本サバイバルトレーニングセンターの大型水槽で試運転を行い、写真-2にその状況を示した。

一方、写真-3は、ダム堤体等でのコンクリートの損傷等の識別可能な水中の濁度評価のために実施した実験の状況を示したものである²⁾。



写真-2 大型水槽での試運転状況



写真-3 水中濁度とコンクリートの損傷等識別精度の実験状況

3.2 水中洞窟の探検

鍾乳洞の中に底なしとされる縦穴の水中洞窟があり、その探検を行った。水は冷たく透明度は高いが当然ながら水底は見えない。“水中Hi-ROV”的投入で探検が始まる・・・(写真-4)。



写真-4 水中鍾乳洞の底なし洞窟の探検

3.3 ダム堤体の調査

ダム堤体の劣化・損傷調査は、国土交通省の「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」プロジェクトの“水中維持管理技術”部門に採択されて実施したものである。周知のようにこれまでに蓄積された社会インフラは膨大な数・量であり、今後の維持管理手法を確立することは国家の基盤を維持するためにも重要な課題となっている。つまり、建設現場での人手不足対応のみならず、効率的で質の高い維持管理を行う上でロボットの開発が不可欠となる。この実証実験の中では、トランスポンダーと水深センサーによる水中での三次元位置情報管理や高出力LED照明、ハイビジョンカメラ搭載、画角による距離判定システムなどの付加機能を搭載した。

また、トライアルとして水深100m深度にも対応できるように改良を加え、水深95m程度までの画像を得ることができた。写真-5は、ダム堤体付近での船艇上の状況である。

3.4 海底探査

海洋構造物の基礎および海底ケーブルの点検などの目的で海底探査のテストトライを行った。ここでは、そのイメージとして別の場所での海底探査映像例を写真-6に示す。

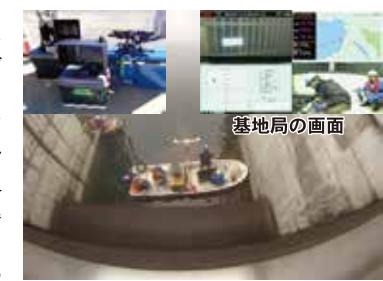


写真-5 ダム堤体のコンクリート壁面調査状況(水深20~100m)



写真-6 海底探査の状況

4. 今後の展開

“水中Hi-ROV”は、非常に自由度が高く、目的に応じた様々な設計・製作が可能である。水中での観察が可能な分野は様々であり、現在視野に入れているターゲットは以下のとおりである。

- ①養殖場の網および沈殿物の調査(実証実験済)
- ②ダム堤体の劣化・損傷調査(2014年度国交省の現場実証実験実施、2015年度も実施予定)
- ③河川護岸の劣化・損傷調査(2014年度国交省の現場実証実験実施)
- ④橋脚等の水中部の劣化・損傷調査(一部テストトライ済)
- ⑤海底ケーブルの劣化・損傷調査(テストトライ済)
- ⑥船艇の劣化・損傷調査(実証実験済)
- ⑦海難事故時の海上調査【客船転覆事故時の船内調査など】(構想のみ)
- ⑧災害時等での浅海底の調査【サンプリング、放射線測定など】(構想のみ)
- ⑨栈橋の腐食劣化調査【海上から上部観察】(構想のみ)
- ⑩沿岸部付近での調査【護岸欠損調査、沈没船調査など】(実績多数)
- ⑪水中洞窟等の探検(実績あり)

これ以外にも様々な応用展開が考えられる。現在、ダム堤体を軸としたインフラ調査での実用化を最優先の目標にしているが、それ以外でも既に多くのテストトライアルの依頼がきており、継続的な技術開発によって³⁾、“水中Hi-ROV”的実用化は近いと感じている。

なお、“水中Hi-ROV”は、山本研究室・稻川研究室の合同チームでTechno-Ocean国際水中ロボット競技会で『優勝』(2012)、沖縄海洋ロボットコンテスト(内閣府)のROV部門で『最優秀賞』(2014)、といった国内外コンテストでも高く評価されている。

【参考文献】

- 1) I.Yamamoto, Y.Morinaga, N.Inagawa et al.(2013) : Development of a High-Mobility Unmanned Underwater Observation Vehicle with Super-Luminosity LEDs for Sea Exploration, Proc. of the 2013 International Offshore and Polar Engineering, Anchorage, Alaska, USA, pp.383~387.
- 2) 小池廣光・山本郁夫・稲川直裕・伊藤洋・山田百合子(2014) : 水中ROVにおける濁度とコンクリート損傷等の識別精度の関係について、土木学会第69回年次学術講演会, pp.975-976.
- 3) I.Yamamoto, D.Kawabata, N.Inagawa and Y.Ito (2015) : Research and Development of User Friendly ROV with High Maneuvering Control System, Proc. of the 2015 International Offshore and Polar Engineering, Vol.2, Kona, Hawaii, USA, pp.510~514.

Profile



伊藤 洋

Yo Ito

役職／教授

学位／工学博士

学位授与機関／北海道大学

■ 研究分野・専門

1.多機能盛土の開発(重金属汚染土壤・放射性物質)

2.廃棄物陸域埋立における浸出水制御

3.地中ガス観測による斜面前壊予測

これまで、原子力発電所の設計・研究、コンクリート構造物関連、放射性廃棄物地中処分、地下環境影響評価、最終処分場管理技術、土壤先净プラント開発、昨今では汚染土壤を封じ込める「多機能盛土」や有機酸・蒸発作用による土壤浄化、地中ガス反応による斜面前壊予測などの研究を進めています。また、実務でも多くの経験があり、企業との共同研究や自治体等の難題解決に取り組んでいます。

資格：技術士(総合技術監理、建設)、第2種放射線取扱主任者ほか

連絡先

TEL 093-695-3253 FAX 093-695-3379

E-mail yito@kitakyu-u.ac.jp