

柔軟な伸縮アーム機構を有する水中ロボットアームの開発  
Development of underwater robot arm with flexible lengthening-shortening arm mechanism

○岩持賢季\*, 高木基樹\*\*, 三好扶\*

Yoshiki IWAMOCHI\*, Motoki TAKAGI\*\*, Tasuku MIYOSHI\*

\*岩手大学, \*\*帝京大学

\*Iwate University, \*\*Teikyo University

キーワード：水中ロボットアーム(Underwater Robot Arm),  
すべりねじ機構(Sliding Screw Mechanism), 障害物回避(Obstacle Avoidance),  
小型カメラ(Small Camera), 経路追従(Path-Tracing)

連絡先：〒020-8551 盛岡市上田 4 丁目 3-5 岩手大学 理工学部 システム創成工学科 三好扶

E-mail: [tmiyoshi@iwate-u.ac.jp](mailto:tmiyoshi@iwate-u.ac.jp)

## 1. 研究背景

現在、水産資源管理における漁業従事者の負担軽減、管理の少人数化、サーフゾーンにおける潜水士のリスク軽減などを目的として水中カメラを搭載した小型水中ロボットの研究が行われている<sup>1)</sup>。この水中ロボットを潜水枠取り調査に導入することで、従業員の負担軽減や少人数化による継続的な調査が期待できる。しかし、潜水枠取り調査の対象となるアワビやウニといった磯根資源の生息域には岩や海藻類などの障害物が多い。そのため、我々は水中ロボットが侵入不可能な岩陰や深奥部の調査を、水中カメラを搭載したロボットアームで達成することを提案する。まず、障害物を回避し画像の取得が可能な位置まで水中カメラを移動させる必要があることから、多関節ロボットアームに着目した。多関節ロボットアームは数多くの関節があり自由度が高く、各リンクが障害物を避け、エンドエフェクタを任意の目標位置に到達させることが可能な特徴を持つ<sup>2)</sup>。この多関節ロボットアーム

を用いることで、侵入困難な領域の調査が行えると考えた。また詳細な調査を行うためには、調査対象へ接近し鮮明な画像を取得する必要がある。これに対し多関節ロボットアームに伸縮機構を追加し、与えられた作業に必要なアーム長さの確保や、深奥部への侵入、調査対象への接近を行う。さらに、アームが障害物間に侵入する際、伸縮を行うことで、同一の軌道上を辿る動作を達成できると考え

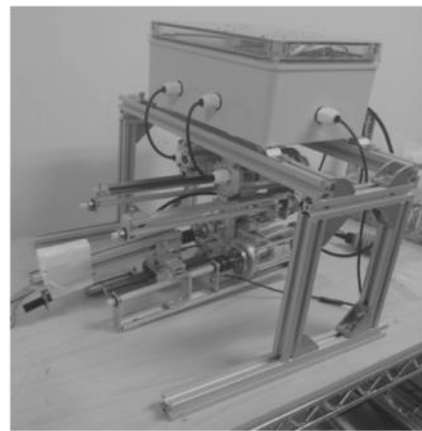


Fig. 1 A photo of prototype device

た。そこで、本研究では水中における障害物の回避し、岩陰や深奥部の調査が達成可能な水中ロボットアームの開発を目的とした。本稿では、開発した試作機と追従動作実験について報告する。

## 2. ロボットアームの開発

### 2.1 試作機

本研究では、伸縮機構を搭載した水中多関節ロボットアームの試作機として、すべりねじ機構を用いた 2 関節 4 自由度のロボットアームを開発してきた<sup>3)</sup>。すべりねじ機構を採用することで関節の屈曲や伸縮を可能としている。関節回転中心の左右にはモータと直結したねじシャフトがあり、これを回転させることでねじシャフト上をスライダが移動し、関節の伸縮・屈曲動作が達成される。試作機は、短縮時の全長約 290[mm]、延長時の全長約 560[mm]、第 1 関節のストローク 180[mm]、第 2 関節のストローク 90[mm]、各関節屈曲範囲  $\pm 45[\text{deg}]$ 、全高約 190[mm]、アーム固定台を含む機体重量約 3.9[kg]である。また、機体は 2 次元空間で伸縮屈曲の動作をする。

### 2.2 すべりねじ機構

本研究の開発目的である水中ロボットアームの大きな特徴としては、関節が伸縮屈曲を同時に行えることである。それを可能とするため、本研究のロボットアームにすべりねじ機構という新たな機構を採用した。このすべりねじ機構について説明する。モータに連結されたねじシャフトが回転することで、ねじが切ってあるスライダが直動運動を始める。このユニットを 1 関節の左右 2 つ設置する。この左右のスライダを操作することで関節の伸縮屈曲を可能にするのがすべりねじ機構である。すべりねじ機構を持つ 1 関節を図 2 に示す。図 1 の(a)は両方のスライダが最もモータに近い縮んだ状態、(b)はスライダが左右同時に移動し伸びた状態、(c)は左右のスライダ

が同時に反対方向へ移動し、屈曲をした状態である。この関節を複数設けることで、多自由度を達成する。

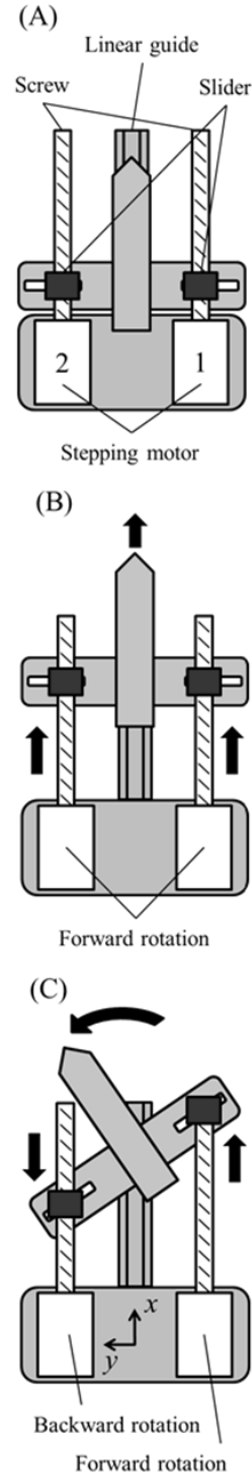


Fig. 2 Schematic figure of the sliding screw mechanism: (A) initial condition, (B) lengthened condition, and (C) flexible condition

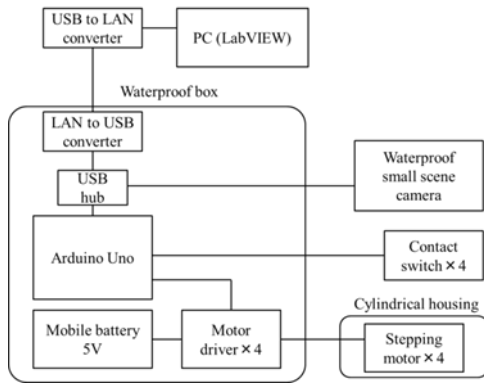


Fig. 3 System configuration

### 2.3 システム構成

マイコンボードには Arduino(Arduino Uno R3, SWITCHSCIENCE)を使用し、プログラムは LabVIEW で作成した。LabVIEW より Arduino からモータードライバ (SFE-ROB-12779, SWITCHSCIENCE)に制御信号が送られ、その信号に応じてモータードライバがステッピングモーターの回転数・回転速度を制御する。また、Arduino によりタッチスイッチの ON/OFF を検知し、スライダのオーバーランを防止している。

## 3. 試作機の経路追従実験

### 3.1 実験の目的

経路計画とその追従動作は、岩影の調査において重要な課題である。障害を回避しつつ、岩影や深奥部に到達し調査を達成するためには、経路計画と追跡アルゴリズムを実装する必要がある。これまでに伸縮機構を有する柔軟ロボットアームの制御に関する研究がされている<sup>4,5)</sup>。しかし、俯瞰カメラによる地形データが取得できない岩陰のような環境下では、経路計画が不可能である。したがって、アーム先端のカメラ映像のみを使用し、手動で操作する方法を用いることとした。操作者がカメラ映像を用いてアーム先端の進行方向を決定し、アーム先端のみ前後及び左右方向の進行方向へ操作する。そして、後方リンクがアーム先端の移動経路を追従する。したがって、この実験の目的は、経路追従アルゴリズムを試作機の

動作プログラムに実装し、後方リンクの経路追従動作の精度を評価することである。

### 3.2 実験方法

試作機の追従動作は、リアルタイムの 3 次元モーションキャプチャシステム (VENUS3D, Nobby Tech, Ltd.) を用いて計測した。経路追跡における動作の流れを図 4 に示す。図 4(A)では、グローバル座標系の原点にアーム先端位置が一致した状態で試作機が固定されている。この時を初期姿勢としている。図 4(B)では先端が目標経路を追従し、続いて後方リンクが追従する様子を示している。実験前に目標経路として (S 字パターン) とそのミラー化(グローバル座標系の X 軸を対象とした)した目標経路を設定し、それぞれグローバル座標系の原点から追従動作を開始した。各パターンで 3 試行の追従動作と計測を実施した。アーム先端と第 2 関節の動作経路を測定し、目標経路に対する追従動作経路を比較した。実験は追従アルゴリズムの確認であることから、地上で実施した。

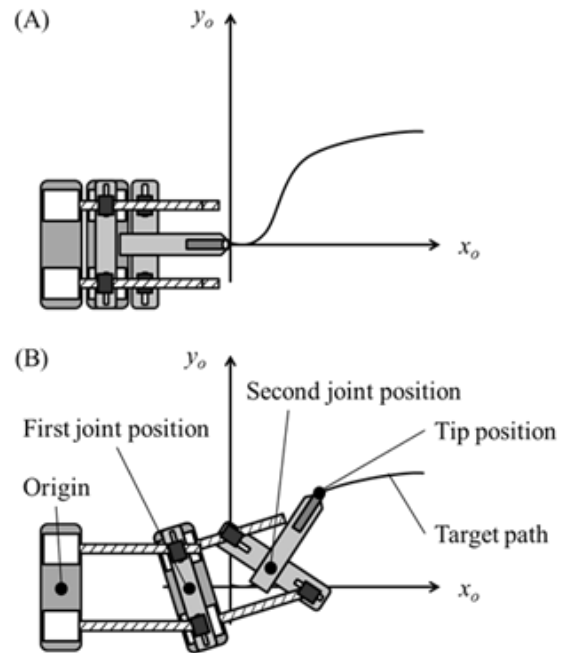


Fig. 2 Conceptual figure of path tracing in the FLSAM: (A) initial condition, (B) target path tracing by the tip

### 3.3 結果

図5にS字とミラー化S字の経路追跡結果を示す。太い実線が目標経路で、黒がS字、グレーがミラー化S字である。細い実線が先端、点線が第2関節の動作経路である。動作経路は、3試行すべてをプロットしている。

図5より、先端が目標経路に沿った追従動作をしているのが確認できる。また、追跡結果がミラー化した経路と対称であることが確認された。これらの結果から、経路追従アルゴリズムの有効性が確認された。しかし、アームが伸長するにつれ追従誤差が発生しており、この原因を究明するためには、さらなる研究が必要である。追従誤差がミラー化した経路と対称的であることから、各リンク長の設計値と組立時の各リンク長間で不整合が発生し、追従制御アルゴリズムの計算過程でモータへの入力値に誤差が生じた可能性がある。

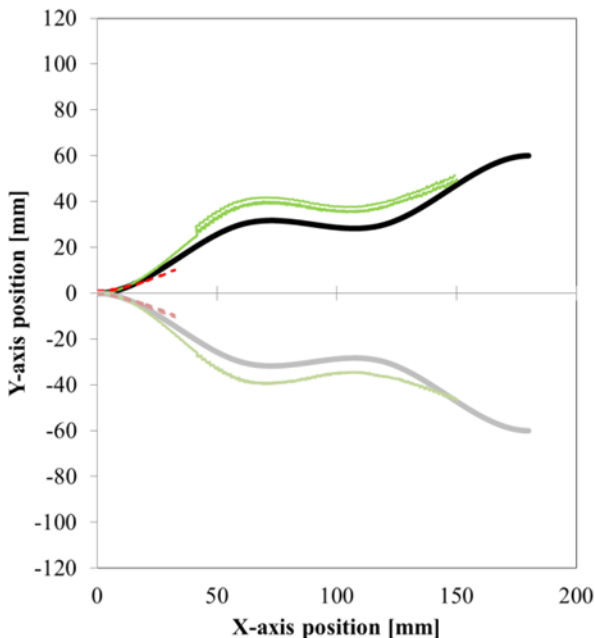


Fig. 5 Results of path tracing

### 4. 結論

本研究では、柔軟な伸縮アーム機構を有する水中ロボットアームを実現するため、すべりねじ機構を採用し、試作機を開発した。先端経路の追従動作を達成するため、経路追従アルゴリズムを構築し、実験を実施した。結果として追従アルゴリズムの有効性は確認できたが、追従誤差が発生し、原因を究明する必要がある。

#### 謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 17K08029 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- 1) 佐藤 和幸, 高木 基樹, 森 隼人, 三好 扶, 沿岸の水産資源調査を目的とした水中ロボットの開発, 日本機械学会東北学生会第45回卒業研究発表講演会講演論文集, 49/50 (2015)
- 2) 白石 耕一郎, 木村 元, 梶原 宏之, 流体抗力を考慮した多自由度水中マニピュレータの最適動作計画について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 5-W, 83/86 (2007)
- 3) 岩持 賢季, 高木 基樹, 三好 扶, すべりねじ機構を用いた4自由度水中ロボットアームの開発, 日本機械学会東北学生会第46回学生会卒業研究発表講演会講演論文集, 60/61 (2016)
- 4) S. Ma and Y. Ohmameuda: Obstacle Avoidance Control of Moray-Type Robot Arm, Japan Society of Mechanical Engineers, 68-670, 169/175 (2014)
- 5) Y. Cao, V.J. Modi, C.W.de Silva, M. Chen and A.K.Misra: Trajectory tracking experiments using a novel manipulator, Acta Astronautica, 52, 523/540 (2003)