

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18011

研究課題名(和文) 高圧環境下での駆動を可能とする柔軟外殻水中ロボットの力学

研究課題名(英文) Dynamics of Underwater Robot with Flexible Body Moving Under High-pressurized Environment

研究代表者

柴田 瑞穂 (SHIBATA, Mizuho)

近畿大学・工学部・講師

研究者番号：70454519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、外殻を樹脂とする水中ロボットの高圧環境下での運動特性評価を試みた。圧力試験機および視覚センサを利用することにより、高圧環境下でのアクチュエータおよびひれの運動特性を評価する手法を構築した。また、運動中に柔軟外殻がひれや本体に密着したまま滑らない条件下においても、可動するために必要な外殻が余分に存在すれば、ひれが運動可能であることを、幾何モデルおよび実験を通して明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research verified the motion characteristics of a fish-like robot encapsulated by a flexible plastic film under high-pressurized environment. To verify the motion of the fish-like robot, the position of transition of an actuator and a fin were measured using a camera centered onto the transparent case. Additionally, we modeled geometrically the fin motion under assumptions that the film enables to be inflected but not to be extended during the motion. In this model, we also assumed that the film did not slip with the components including the fin during the motion. Based on the model and several experiments, we confirmed that an appropriate volume of the insulating fluid was needed to move the fin.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ソフトメカニクス 水中ロボット

1. 研究開始当初の背景

近年、水質調査、資源開発、災害後の探索において、水中ロボットの利用が期待されている。特に、水深 100m 以上の高深度域は、圧力の観点から潜水士では作業が行えない。従来の高深度水中ロボットは、潜水艦の技術をベースとし、本体に金属製の耐压容器を利用しているため、大きく重量のある場合が多い。計測の空間/時間分解能の向上という観点から、複数の小型水中ロボットを使用した計測手法の確立が期待されている。しかしながら、小型かつ耐压性を有するロボットを安価に製造する技術はいまだ確立されていない。

柴田(研究代表者)は、水中ロボットの外殻に柔軟要素を適用することで、この問題の解決を試みた。ロボットの外殻を非伸縮柔軟フィルムで成形し、外殻内に駆動機構と共に絶縁流体を封入することで防水性・耐压性を確保する。提案する水中ロボットは、外殻内部でモータに接続された揺動板(薄板柔軟物)を駆動することで推進力を得る。外殻の加工には真空包装の技術を応用している。この、サーボモータや駆動回路等のロボットの構成要素を樹脂袋に封入する手法は他に類を見ず、我々はロボットパッキング法と呼んでいる(図1)。容器の一部をゴム材などの柔

軟要素で構成し、内部に工業油などの絶縁流体を封入して耐压性を確保する手法は均圧法と呼ばれ、水中ロボットの電池の防水などに利用されている。均圧法では、外殻を通じて流体が変形することで、容器の内外の圧力は等しくなり、ロボットの耐压性は駆動機構に利用する素子自体の耐压性に依存することを利用している。本手法で提案する水中ロボットは、ロボットの外殻すべてを柔軟要素とするため、従来の均圧法の自然な拡張になっている。

柴田(研究代表者)は、柔軟要素を水中ロボットに適用する研究および作業用水中ロボットの研究に従事しており、耐压性を有する小型水中ロボットの実現という問題に対して、これらの知見/技術を融合し、ロボットの外殻全体を柔軟要素とすることで解決可能であるという認識に立った。

2. 研究の目的

高圧力環境下におけるアクチュエータの特性変動の計測・評価を通して、高圧環境下における機械要素の性能評価に関する知見を明らかにする。使用するアクチュエータを高圧力かつ周囲に流体がある環境で駆動することになり、駆動するアクチュエータは環境圧を高めることでその特性が変動することが予想される。

高圧環境下におけるフレキシブルアーム/パックの運動測定・解析を通して、高圧環境下における柔軟要素の動特性に関する知見を明らかにする。本研究では、モータに接続する揺動板(樹脂板などの薄板柔軟物)がフィルム外部にあるものをフレキシブルアーム、揺動板がフィルム内部にあるものをフレキシブルパックと呼ぶことにする(図2)。フレキシブルアーム/パックは、本研究で提案する水中ロボットにおける推進器の役割を果たす。フレキシブルアーム/パックの運動を視覚センサで撮影し、その可動域の変化、周波数特性の変動などを確認する。揺動板(薄板柔軟物)は加圧した場合に厚さ方向に対する変形が小さい。したがって、薄板柔軟物の運動特性は環境圧によって大きく変動しないことが予想される。しかしながら、周囲の樹脂フィルムと接触する場合は、環境圧



図1: ロボットパッキング法による魚型水中ロボットの製作

真空包装技術を利用して製作

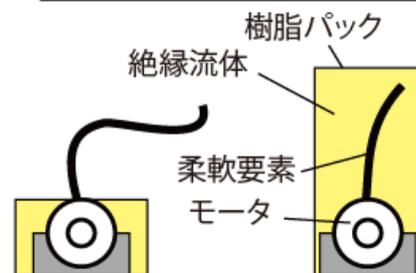


図2: フレキシブルアーム/パック

によってその摺動特性が変化することが予想される．この評価を通して水中ロボットの推進性能と圧力の関係を明らかにする．

### 3. 研究の方法

#### (1) 高圧力環境下におけるアクチュエータの特性変動の計測・評価

真空包装技術を利用して、パッキングしたモータを圧力容器内で周期運動させる．徐々に加圧し、モータの運動周波数および振幅の変動を確認する．モータ先端部の動作を視覚センサにて計測するため、モータに接続したリンクの先端に LED を配置した．得られたデータを周波数解析することで、周波数および振幅を確認する．加圧条件は、0MPa から開始し、2分程度の計測時間後、1MPa ずつ加圧し、モータの動作が停止もしくは、10MPa まで加圧後、実験を終了する．マイコン、センサなどロボットに使用するその他の構成要素についても同様の耐圧試験を実施した．

#### (2) 高圧環境下におけるフレキシブルアームノパックの運動計測・評価

真空包装技術を利用して、パッキングしたフレキシブルアームノパックを圧力容器内で周期運動させる．徐々に加圧し、フレキシブルアームノパックの運動周波数および振幅の変動を確認する．フレキシブルアームノパックの先端部の動作は視覚センサにて計測する．得られたデータを周波数解析することで、周波数および振幅を確認する．加圧条件は、0MPa から開始し、2分程度の計測時間後、2MPa ずつ加圧し、モータの動作が停止もしくは、8MPa まで加圧後、実験を終了する．

### 4. 研究成果

#### (1) 高圧力環境下におけるアクチュエータの特性変動の計測・評価

2 種類のサーボモータの特性を計測・評価した．表 1 にサーボモータの圧力と振幅・動作周波数の典型例を示す．表のモータでは、10MPa 加圧した時点で動作が停止したことが確認される．これらの結果から、加圧することによって、両サーボモータとも最終的には停止した．しかしながら、動作中は振幅、動作周波数とも変動はなかった．これにより、動作範囲内の圧力環境下であれば、モータの動作変動はないことが明らかになった．

また、市販のマイコン、赤外線センサ、電池に関しては、10MPa までの耐圧性を確認している．したがって、これらの要素を利用して、サーボモータの動作範囲内の圧力環境下であれば、樹脂フィルムを柔軟外殻とする水中ロボットが製作可能であることが明らかになった．

表 1 加圧下のサーボモータの運動特性

Pressure (MPa)	Amplitude (rad)	Frequency (Hz)
0	1.49	0.8
1	1.54	0.8
2	1.52	0.8
3	1.58	0.8
4	1.50	0.8
5	1.54	0.8
6	1.48	0.8
7	1.54	0.8
8	1.56	0.8
9	1.51	0.8
10	0.01	-

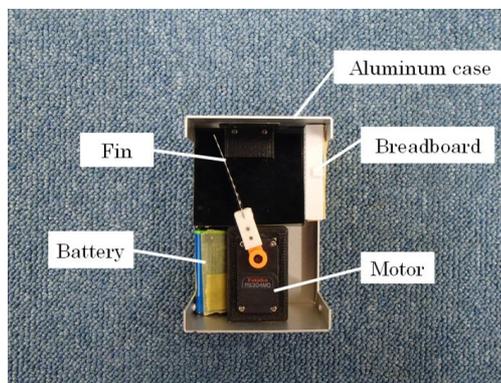


図 3: フレキシブルアーム計測システム

#### (2) 高圧環境下におけるフレキシブルアームノパックの運動計測・評価

フレキシブルアーム計測システムを図 3 に示す．この試作機には外形に幅 70mm、高さ 50mm、奥行き 100mm のアルミケースを使用し、内部に Arduino Nano、サーボモータ(双葉製 RS304MD)、バッテリー(GoldenPwer 製 Alkaline 9V)、スイッチ、ブレッドボード、サーボホーン、ラミネータで作製したひれを設置した．ひれは長さ 40mm、幅 15mm、厚さ 0.25mm である．この試作機全体を、真空包装機(古川製作所製 TM-HV)を使用したパッキングしている．パッキング時に使用する絶縁流体として 3M 製 フロリナート FC-3283 を利用している．(1)の結果を受けて、サーボモータの動作範囲内の圧力環境下で実験を行った．フレキシブルアームの動作結果を表 2 に示す．この結果より、動作中のフレキシブルアームの先端角に大きな変動はないことが明らかになった．したがって、これを利用して圧力環境下でも運動特性の変動が少な

表2 加圧下のフレキシブルアームの先端角度

Pressure	Angle (deg)	
	Right	Left
0MPa	- 20.9	26.3
2MPa	- 21.6	25.9
4MPa	- 21.4	23.3
6MPa	- 21.3	25.3
8MPa	- 21.6	25.0

い水中ロボットの製作が期待される。  
 フレキシブルパックに関しては、耐圧容器越しの計測が困難であったことから、圧力下で評価するに至らなかった。しかしながら、空中では、封入する液量を調整することで、樹脂フィルム（フレキシブルパック）と外殻内部のヒレ部が摺動しないことが確認されている。また、適切に本体を設計することで、樹脂フィルムと外殻内部のヒレ部が摺動せずとも、動作が可能であることが明らかになっている。これらの知見を統合することで、フレキシブルパックの動作に関しても、圧力下での変動は少ないものと推察される。

5. 主な発表論文等  
 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計3件)

柴田瑞穂, 坂上憲光, "柔軟外殻水中ロボットにおける封入液量とひれ運動の関係", SICE SI 2016, 2016年12月15日, 「札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市)」。

Mizuho Shibata, Norimitsu Sakagami, "Attitude Control Mechanism for Underwater Robot with Flexible Plastic Film Body", Proceedings of the Twenty-fifth International Ocean and Polar Engineering Conference, Vol.2, pp. 558-563, 2015年11月11日, 「パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)」。

Mizuho Shibata, Norimitsu Sakagami, "A Robot Fish Encapsulated by An Electromagnetic Wave-Transmitting Plastic Film", Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.2729-2734, 2015年6月23日, 「コナ(アメリカ合衆国)」。

[図書](計1件)

Mizuho Shibata 他, Recent Advances in Robotic Systems, 284(235-251), 2016, InTech.

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 出願年月日:  
 国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 取得年月日:  
 国内外の別:

[その他]  
 ホームページ等  
<http://greenapple.world.cocacn.jp/school/work/fish/index-j.html>

解説  
 柴田瑞穂, "樹脂フィルムのロボット分野での活用 - 魚型ロボットの開発を例に - ", MATERIAL STAGE, Vol. 15, No. 3, pp. 60-62, 2015.

6. 研究組織  
 (1)研究代表者  
 柴田 瑞穂(SHIBATA, Mizuho)  
 近畿大学・工学部・講師  
 研究者番号: 70454519

(2)研究分担者  
 なし( )

研究者番号:

(3)連携研究者  
 なし( )

研究者番号:

(4)研究協力者  
 なし( )