

# 折り紙構造を用いた液体掬い取りグリッパ

○ 名手 一生 (立命館大) 王 忠奎 (立命館大) 平井 慎一 (立命館大)

本研究では水中生物の飼育、管理のロボットによる自動化を目的としてロボットグリッパを作成した。水中生物は水から引き上げると衰弱する個体が存在し、水と一緒に運搬することが求められる場合がある。そのためには容器を用いることが一般的であるが、ロボットで実行するためには複雑な軌道が求められ、容器を動かすことで発生する水流を考慮した制御が必要である。そこで本研究では、折り紙構造を用いることで水中で変形するロボットグリッパを考案した。これにより、鉛直方向の動作のみで対象物を水と同時に掬うことが可能である。作成したグリッパを用いて、液体の保持実験や運搬実験を行うことでグリッパの性能評価を行った。

## 1. 緒言

養殖業における水中生物の飼育、管理においては、IOT化をはじめとした自動化が推進されている [1]。しかし、生物の移動や運搬に関しては未だに多くの課題が残っており、人の手に頼る必要がある。特に稚魚や一部の脆弱な生物は水から引き上げると衰弱するため、慎重な扱いが求められる。そこで本研究では、折り紙構造を利用して鉛直方向の運動のみで対象物と水を同時に救出するグリッパを考案した。これによって生体を水中から出すことなく、直接触れる必要もないため、衰弱させずに運搬することが可能である。また、水を灌ぐ際には容器を傾ける必要がないため、複雑な制御も不要である。

## 2. 液体掬い取りグリッパ

### 2.1 グリッパの特徴

本研究で開発されたグリッパは折り紙構造を利用し、水中で変形することで液体を掬いあげることが可能である。作成したグリッパを図1に示す。グリッパはシリコンで作成された膜の部分と、それを固定する3Dプリンタ (Prusa, i3 MK3, Prusa Research) で作成されたフレーム部分で構成されている。図1(a)に示す自然状態から、図1(b)に示すように変形する。シリコン膜の下部を図2で示す。シリコン膜の下部には折目が付いており、力を加えることで変形する。液体を掬う際は、シリコン膜の下部が変形し容器の底として作用し、シリコン膜の上部で液体を保持する。

### 2.2 折り紙構造の原理

本研究で用いる折り紙構造は、らせん構造の円筒折りである [2]。正多角柱の三次元形状の上部と下部を逆方向に回転させながら圧縮することで、正多角形の二次元形状に変形する。本研究では六角柱の形状を採用し膜を作成した。図3に六角柱の展開図を示す。実線は山折り、破線は谷折りを意味する。図3に示す折れ線に従うと最終的に正六角形になる。変形後は多角柱の中心部分をふさぐことができ、液体を掬うことができる。

### 2.3 シリコン膜の形状

シリコン膜は液体シリコン3Dプリンタ (L320, InnovatiQ) を用いて作成した。図2に示すように、正多角柱の側面の谷折り箇所の内側にはひだが存在し、外側には溝が彫られている。内側のひだは変形後の正多



(a) 変形前

(b) 変形後

図1: 液体掬い取りグリッパ



図2: 折り紙構造を持つシリコン膜下部

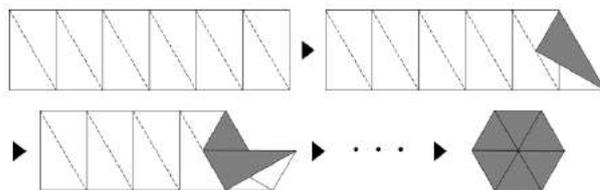


図3: 折り紙構造の展開図

角形の中心を密閉し、外側の溝は谷折りの折れ目として機能する。

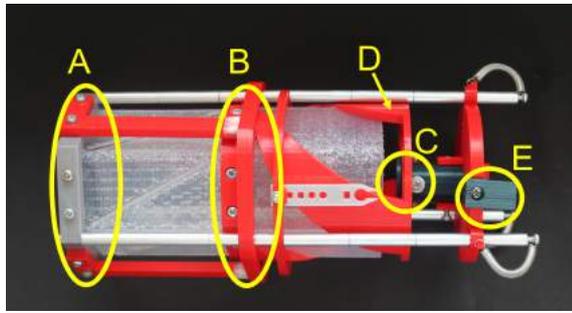


図 4: グリッパの構造



図 5: 液体の浸透実験環境

## 2.4 グリッパの駆動原理

本グリッパはロック機構を搭載しているためアクチュエータは用いず、地面との接触を利用して変形させる。図4はグリッパの構造を示す。シリコンの膜はAとBの部分で固定されている。Cの部分は回転軸であり、Dが回転することで膜は変形する。Eの部分にはロック機構を搭載している [3]。そのため、地面との接触のみでグリッパの変形が可能である。

## 3. グリッパの性能評価

### 3.1 液体の浸透実験

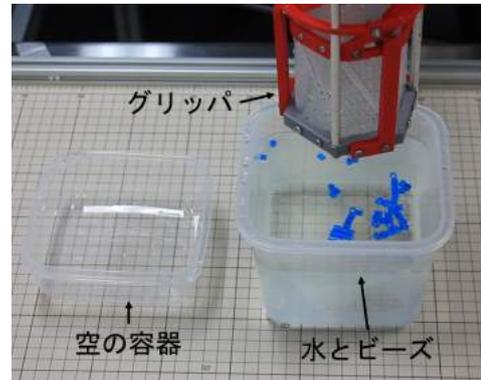
膜の密閉性能を評価するための実験を行った。図5に示すように膜を変形させた状態でロボットアームに固定し、直下にはかりと容器を配置する。この状態で膜の上から20ccの水を注ぎ1分間放置する。その後、はかりを確認し水漏れの量を計測する。

結果は1分間で7gの水漏れが計測された。グリッパの使用用途が液体の運搬であれば、十分な密閉性能であると考えられる。

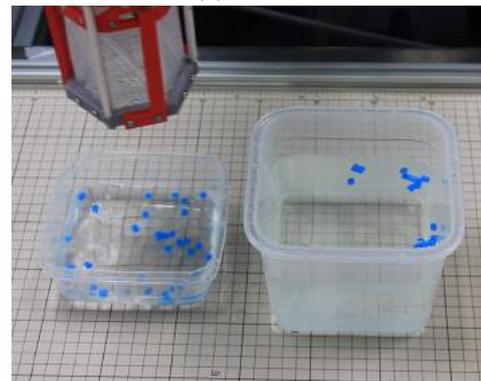
### 3.2 液体の運搬実験

液体を運搬する実験を行った。実験環境を図6(a)に示す。右側の容器に水とビーズを入れ、グリッパを用いて水とビーズを左側の容器に運搬する。

結果は水とビーズを運搬することに成功した。運搬後



(a) 運搬前



(b) 運搬後

図 6: 液体の運搬実験

の様子を図6(b)に示す。今回の実験では水に浮くビーズを用いたため運搬に成功した。しかし、水槽の底に沈む物体を運搬するためには、水流などを発生させ対象物を浮遊させる必要があると考えられる。

## 4. 結言

液体と固体を同時に掬いあげることが目的として、折り紙構造を利用したロボットグリッパを考案した。水中で変形する機構を採用することで、鉛直方向の運動のみで水の運搬が可能である。また、ロック機構を組み込むことでアクチュエータを用いる必要がなく水中での使用に適している。本研究では水中生物の飼育を目的としてグリッパを開発したが、食品産業分野など他の用途への応用も検討していきたい。

## 参考文献

- [1] 農林水産省, “水産分野の成長産業化にむけた技術事例”, 2018, [https://www.jfa.maff.go.jp/j/kenkyu/pdf/attach/pdf/130515gizyutsukaihatsu\\_a-20.pdf](https://www.jfa.maff.go.jp/j/kenkyu/pdf/attach/pdf/130515gizyutsukaihatsu_a-20.pdf)
- [2] 萩原一郎, 山本千尋, Xin TAO, 野島武敏: “反転らせん型モデルを用いた円筒形折り紙構造の圧潰変形特性の最適化検討”, 日本機械学会論文集 A 編, vol. 70, no. 689, pp. 36–42, 2004.
- [3] Issei Nate, Zhongkui Wang, Shinichi Hirai, “Passive Robotic Gripper Using A Contact-Based Locking Mechanism”, 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2023), pp. 10305–10309, May 29–Jun. 2, 2023.