

# 水圧を利用して開閉する水中ロボットハンド

名手 一生 (立命館大) ○ 平井 慎一 (立命館大)

本研究では、水中での開閉動作のために、水の抵抗を利用した多指グリッパを提案する。指は柔らかい材料から成り、先端にロック機構を持つ。グリッパが水中で上昇すると、水圧が下向きに作用し、指が閉じる。その結果、先端がロックされ、閉状態となる。グリッパが水中で下降すると、水圧が上向きに作用し、ロックが解除され、開状態となる。把持実験により、グリッパが水中の物体を掴むことができることを確認した。

## 1. 緒言

近年の研究では様々なロボットグリッパが提案されている。これらの中には、駆動に必要なエネルギーの削減を目的として開発されるものがある。そのための手段として、物体との接触による反力をグリッパの開閉に利用する機構が多数提案されている [1], [2]。これによって、アクチュエータの数の削減や消費エネルギーの削減が見込まれる。しかし、水中環境においては表層や中層では固定物体がなく、反力を得ることが難しい。そこで、本稿では水中で上下に移動させたときの水の抵抗を利用して開閉する、アクチュエータレス多指ハンドを提案する。本ロボットハンドは水中で上昇することで指を屈曲させる。指の先端にはロック機構が取り付けられており、屈曲形状を維持することができる。この状態で物体を把持する。再度入水することでロックを解除し物体を開放する。

## 2. ロボットハンド

### 2.1 駆動原理

ハンドの駆動原理を図1に示す。ハンドは物体を把持するため水中に移動する(図1(a))。その状態から、上昇すると、指の上端部分が水の抵抗によって鉛直下向きの力を受け指は屈曲する(図1(b))。屈曲した指は、先端のロック機構によって屈曲した形状で維持される。これによって、水上に上がっても物体を把持できる(図1(c))。再度入水すると、指の先端は水から鉛直上向きの力を得てロックが解除される(図1(b))。

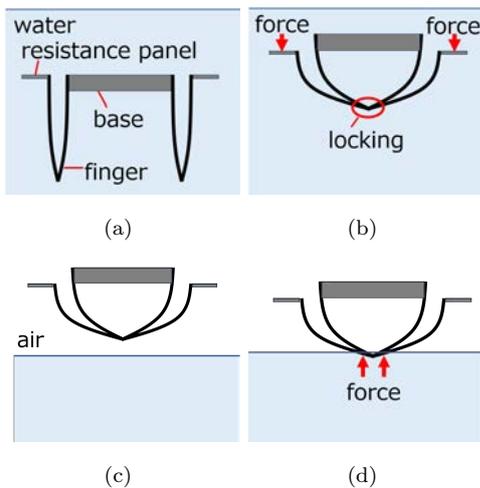


図1 ハンドの挙動: (a) ハンドの構造. (b) ハンドの上昇に伴う指の屈曲. (c) ハンドのロックの維持. (d) ハンドのロックの解除.

### 2.2 ロック機構

ロック機構は図2に示すロック部を用いる。ロック機構の原理を図3に示す。初期状態ではロック部は離れている(図3(a))。指が屈曲するとすべてのロック部が中心に集まり互いに接触する。この状態からさらにロック部が中心に向かう力を受けると、図3(b)に示す様に隣のロック部に引っかかる。この状態がロックされた状態であり、指にかかる荷重を支えることができる。ロックを解除するためには図3(c)に示す様に、すべての指を回転させる。これによって、ロック部は干渉がなくなり、初期状態に戻ることができる(図3(d))。

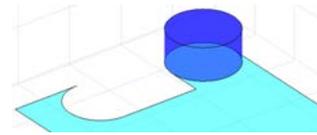


図2 ロック部の形状

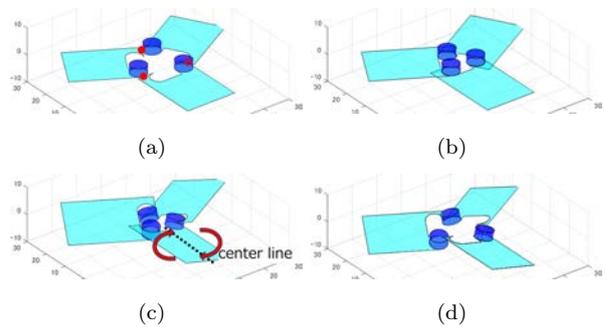


図3 ロック機構の挙動: (a) 初期状態. (b) ロックされた状態. (c) ロックの解除. (d) 初期状態への復帰

### 2.3 ハンドの構成

ハンドは図4に示すパーツで構成される。図4(a)に指を示す。指は弱い力で屈曲できるように、三次元プリンタを用いてシリコンで作成する。指の先端には図4(b)に示すロック部と図4(c)に示す回転板を取りつける。指の外側の上端には、図4(d)に示す抵抗板を固定する。指の内側の上端は図4(e)に示すベースに固定する。ロック部と回転板を取り付けた指を図5(a)に、完成したロボットハンドを図5(b)に示す。

## 3. 水中駆動実験

### 3.1 適正速度の検証

水中でロボットハンドのロック機構の性能を検証した。抵抗板は面積が  $14500 \text{ mm}^2$  と  $27500 \text{ mm}^2$  の2種

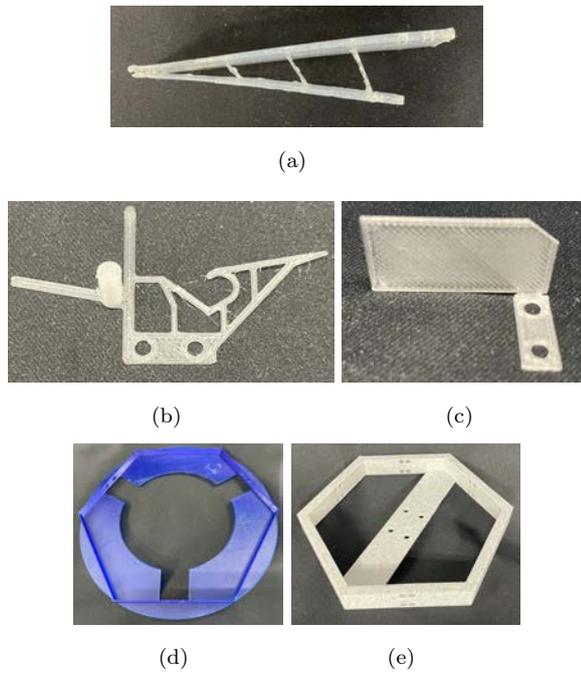


図4 ハンドの構成要素：(a) シリコン製の指. (b) ロック部. (c) 回転板. (d) 抵抗板. (e) ベース.

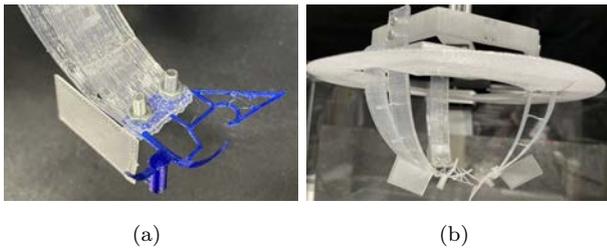


図5 ハンド：(a) ロック部と回転板を取り付けた指, (b) 組み立てたハンド.

表1 実験結果

	maximum speed [mm/s]	minimum speed [mm/s]
small panel	91	110
large panel	35	78

類作成し、それぞれの抵抗板でロックに成功するロボットの移動速度を記録した。結果からロックに成功する速度には上限値を下限値があることが分かった。それぞれの抵抗板での上限速度と下限速度を Table 1 に示す。移動速度が下限値を下回ると、指が十分な屈曲角度を得られなかった。上限値を上回ると、指の先端が振動してしまい、ロックパーツが同時に中心でそろわずロックに失敗した。また、抵抗板が大きいほどロックに成功する移動速度が小さくなることが確認された。

### 3.2 把持実験

水中の物体の把持実験を行った。実験環境を図 6(a) に示す。把持対象物は図 6(b) に示す物体を用いる。これに図 6(c) に示すように 130 g の重りをつるすことで、

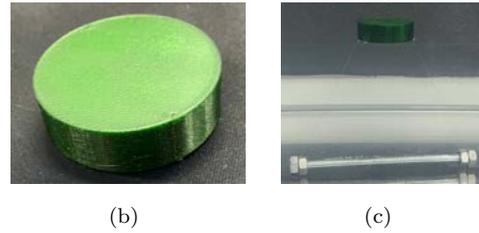
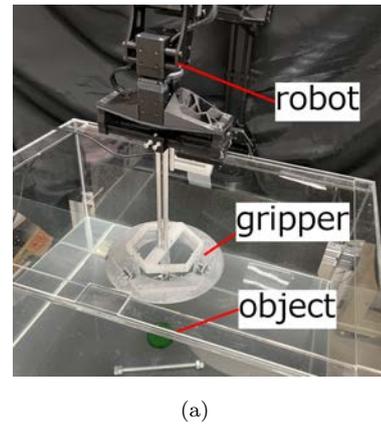


図6 把持実験の環境：(a) 実験装置. (b) 把持物体. (c) 水中の中層に固定された把持物体

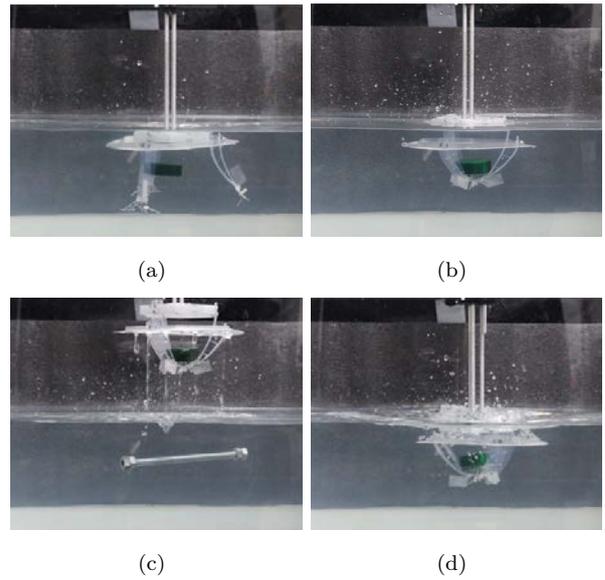


図7 水中物体の把持の様子：(a) ハンドの入水. (b) 上昇時に閉じたハンド. (c) ハンドによる物体の持ち上げ. (d) 把持後のハンドの入水.

水中の中層に固定する。

把持実験の様子を図 7 に示す。図 7(a) は入水時の様子、図 7(b) には上昇時の様子、図 7(c) には水上に物体を持ち上げた様子、図 7(d) には物体を把持した状態で入水した様子を示す。

結果は水中でロックし、物体を水上に運び出すことには成功した。しかしながら入水時のロック解除には失敗した。この原因は、把持対象物の全体の密度が水よりもはるかに大きかったことが原因である。これによって、ハンドの入水時に物体の降下速度が低下せず、

指先と把持対象物に隙間が生まれなかった。その結果、物体は指先に荷重をかけ続け、ロックの解除ができなかった。

#### 4. 結言

本稿では水の抵抗を利用して、アクチュエータを用いずに開閉するロボットハンドを提案した。指の先端にはロック機構が取り付けられており、水中で上昇しながら物体を把持し、再度入水することで物体を開放する。水中での駆動実験を通して、ロックをかけるためには適切な移動速度があることが確認された。速度が下限値を下回ると、指が目標の屈曲角度に到達せず、上限値を上回ると指先が振動しロックに失敗した。把持実験では水中物体の把持が可能であることが確認されたが、高密度の物体はロック解除に失敗することが分かった。

今後の研究では、指の本数を増やすことに取り組む。これによって、球体に近い物体や軟体物の把持が可能になると考える。

#### 参 考 文 献

- [1] HaoTse Hsiao, Feiyu Wu, Jiefeng Sun, and Jianguo Zhao. A novel passive mechanism for flying robots to perch onto surfaces. In *2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1183–1189, 2022.
- [2] Issei Nate, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai. Passive robotic gripper using a contact-based locking mechanism. In *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 10303–10309, 2023.