

報告日： 2022年 6月 17日
報告者： 公立諏訪東京理科大学 工学部 機械電気工学科
助教 藤原大佑

1. 研究概要

(和文)

- (1) 課題名：圧力差を用いた吸着機能搭載型ホタテガイ用水中グリップの開発
- (2) 研究者氏名、職名：藤原大佑 公立諏訪東京理科大学 助教
- (3) 研究概要：

近年、沿岸部海底のホタテガイを生食用として収穫することが望まれている。既存のホタテガイの収穫方法は、貝内部への砂の混入、貝殻を破損させる等の問題があるため、収穫量の減少が問題となっている。そのため、新しい方法として海底のホタテガイを水中ドローンで認識し、ロボットアームで把持する直接的な収穫方法を検討してきた。アームでのホタテガイの把持には、専用グリップの装着が必要となる。そこで、本研究では、圧力差によって対象を吸着する現象に注目し、この現象を利用した収穫用吸着グリップを開発した。開発したグリップを用いた水中での貝の把持実験から、把持が可能であることを把握した。また、グリップ先端形状と把持性能の関係を実験的に検証し、その関係を把握した。

- (4) キーワード：ホタテガイ, 吸着, 負圧, 水中, 漁業

(英文)

- (1) Research title :

Development of Underwater Gripper with Function of Adsorption Mechanism f
or Scallop Harvesting

- (2) Name of researcher with title of position :

Daisuke Fujiwara, Suwa University of Science, Assistant Professor

- (3) Summary : Fishers hope to harvest raw scallops living on the coastal seabed.

The current harvesting method of scallops includes problems such as the following: ingress of foreign matter in the shells, harvesting of other sea creatures, and damage to the shells. To address these issues and improve the productivity of harvesting, this study proposes a new harvesting method using a robot arm. The robot arm requires a dedicated gripper to grasp the scallops. This study focuses on the phenomenon of absorbing objects by differential pressure in water and develops an adsorption gripper for scallops. The experimental results of the grasping scallop indicated that the developed gripper could grasp scallops. Furthermore, we investigated the relationship between the shape of the tip part of the gripper and the grasping performance.

(4) Key Words : scallops, adsorption, negative pressure, under water, fishery industry

2. 本研究の意義、特色

2.1 意義

ロボットアームを用いた直接収穫に貢献できるホタテガイ専用グリップの開発は、ホタテガイ収穫量の増加に貢献できる可能性がある。

2.2 特色

生食用のホタテガイを収穫するには、砂の混入や貝殻の破損、収穫時に対象以外の海産資源の収穫を防ぐことなどが求められる。本研究では、上記問題を解決するため、収穫時に貝上部からアクセスし、負圧を用いた吸着による直接収穫を提案している。提案した手法ではロボットアームに取り付けるホタテガイに特化したグリップが必要であり、そのグリップの開発例はこれまでに見られない。

3. 実施した研究の具体的内容、結果

3.1 グリップ仕様検討およびその開発

砂の混入や貝の破損などを防ぐためのグリップの仕様を検討し、既存の各種グリップから、吸着グリップがホタテガイの把持に最適と判断した。一般的な吸着グリップは、図 1 に示すように把持時に対象へ接触する先端部、対象へ吸着力を加える把持穴、内圧を変更できる内部空間という構成となる。把持原理は図 1 に示すように、まず、先端部を把持対象に押し付け、対象に沿って変形させ、把持穴を閉じ、内部空間を密閉する。次に、内部空間の圧力を減少させ、負圧にすることで、グリップ外部圧力と内部空間圧力に差を生じさせる。この差によって、把持穴部分に吸着力を生成し、対象を把持する。対象に押し付け後、内部空間を膨張させる際、既存の方法では電動アクチュエータを用いる方法が一般的である。一方で、本研究では、電動アクチュエータではなくバネの復元力を用いて負圧を生成する方式を採用する。これは、ホタテガイ収穫において、吸着力の生成に電動アクチュエータを用いることは、グリップ自体が把持及び待機時に電力を消費するため省電力性が低くなる恐れがある。また、電動アクチュエータに接続する電線、バッテリーなどの電氣的機構やそれを保護するための防水機構の追加は重量増加となり、電力消費が増加する可能性がある。ロボットアームによる収穫は、港もしくは母船から水中ドローンを出発させ、ホタテガイの漁場を探索・収穫させるという長時間の稼働が求められる。そのため、省電力性が低いとドローンのバッテリーの消費が速くなり稼働時間が短くなるため問題となる。

開発した吸着グリップの構造を図 2 に示す。先端部と把持穴は既存の吸着グリップと同様の働きを持ち、内部空間は把持時に密閉される。外壁は柔軟素材で製作したことにより、

押し付け時に縮小変形する機能をもつ。また、縮小された内部空間を膨張させるバネ、負圧時に内部空間が内側に引き込まれ圧力が上昇することを防ぐ壁、内部の流体が排出される排出口が構成要素となる。

上記の構造により、グリップは対象へ押し付けられたときに内部空間が縮小し、内圧を一時的に上昇させる。内圧が上昇することによって、排出口が開き、グリップ外へ内部の流体を排出する。このとき、バネも同時に縮小されており、押付を止めたときに、縮小されたバネは内部空間を膨張させ、グリップ内に負圧を生成し、対象を吸着する。このように、バネ内蔵式吸着グリップは、負圧の生成をバネで行うことから、上述の電氣的機構の追加による重量増加やグリップ自体での電力消費を防ぐことができるため省電力に貢献できる可能性を持つ。加えて、電氣的機構の削減を行えることから、電氣部品の故障リスクの低下や機構の削減による構造的ゆとりを生み出すことができる。

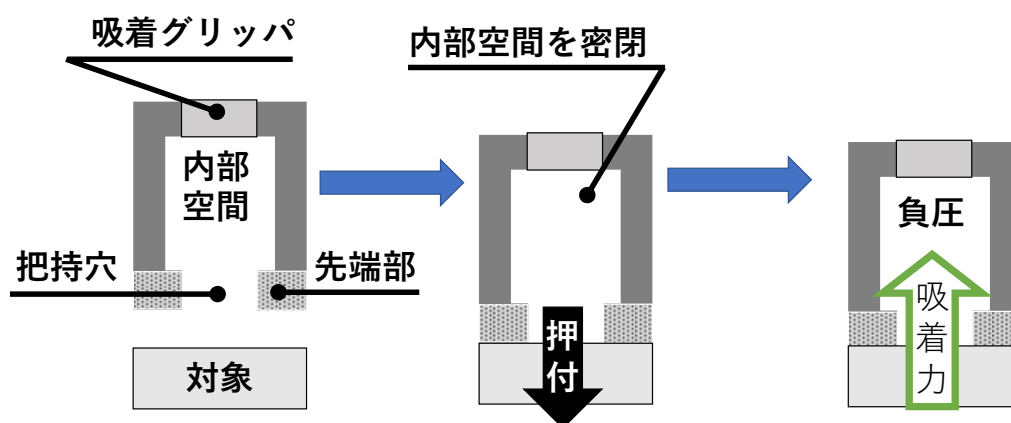


図1 吸着グリップの把持原理

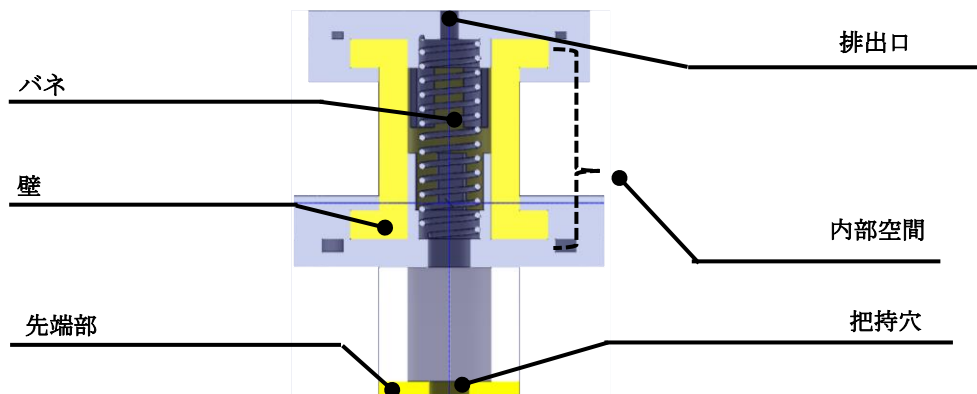


図2 バネ内蔵式吸着グリッパ

3.2 把持実験結果および先端形状と把持性能の関係

開発したグリッパを用いて、ホタテガイの殻を把持する実験を行った。図3に実験の様子を示す。把持の設定時間は30 sとして実験を行った。結果より、個体によっては、問題なく把持できることを確認した。しかし、把持を行った個体により把持できる時間に差があることも確認した。これは、殻表面の凹凸形状が個体により異なり、凹凸が激しい個体であるほど把持が難しくなることが原因である。この問題の解決のためには、押し付け時に先端部をよりホタテガイに沿った形状に変形させる必要があり、柔軟度が重要であると考えられる。

次に、先端部の柔軟度は先端部のパラメータ（硬度と形状）と押し付け力に依存すると考え、先端部の形状や柔軟度（硬度）、押し付け力と把持性能の関係を調査した。具体的には、図4に示す実験装置により実験を行った。先端部の硬度と形状が異なる吸着グリッパを複数用意し、ホタテガイのように表面が湾曲し、凹凸を持つオブジェクトを把持する実験を実施した。実験では、先端部の形状は図5に示すように把持穴直径を30 mm、壁厚と高さを5, 10, 15 mm、硬度（Type e）を0, 3, 6, 9, 12のいずれかとする。また、吸着グリッパの対象へ押し付ける力は10, 6, 2 Nのいずれかとし、条件（先端部の硬度・形状、押し付け力）ごとに把持中のグリッパ内部の負圧や把持できていた時間を測定した。

図6に代表的なデータである、先端部の形状が壁厚5 mm、高さ5 mmにおける各押し付け力での把持成功率および内部負圧の結果を示す。図6より、一概に材質を柔らかくまた、押し付け力を高くすればいいというわけではないということが把握できる。その他壁厚や高さに関する実験も同様に行った。

結果より、吸着グリッパは、先端部の硬度が6以下ではないと全くオブジェクトの把持ができないことを確認した。また、把持穴直径が30 mmの円筒型先端部でホタテガイを把持するには、先端部は高さ、壁厚のどちらかは10 mm未満である必要があることを実験から確認した。これは高さ、壁厚が大きいほど先端部の柔軟度が小さくなり凹凸に対応できないことと、押し付け力が分散し先端部とオブジェクトの密着度合が小さくなりグリッパ内部

の密閉空間の維持が難しくなるからだと考えられる。よって、吸着グリップ先端部は、硬度 6 以下、高さ、壁厚のどちらかは 10 mm 未満である必要がある。一方で、実験では、柔軟度が高すぎる場合に把持成功率を減少させる事例が見られた。これは、対象に押し付けられたときに先端部が過剰に変形し、先端部と対象の間に隙間を発生させることが原因であると考えられる。以上のことから、硬度及び壁厚や高さの値が小さく、高い柔軟度の先端部の方が吸着グリップでホタテガイを把持しやすいが、把持を行う際には柔軟度に適した押付力である必要があることを実験的に把握した。

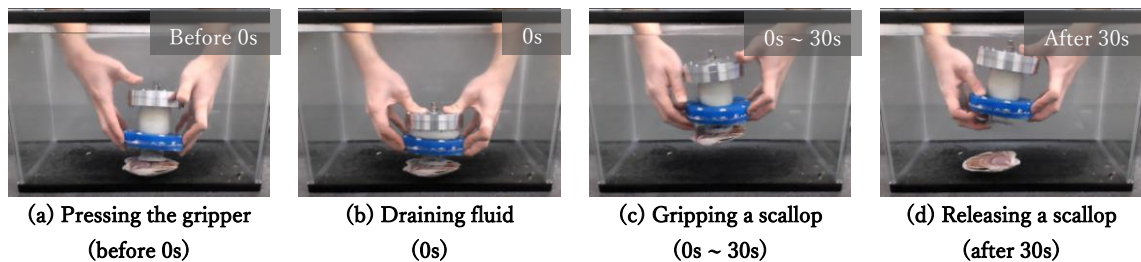


図 3 把持実験の様子

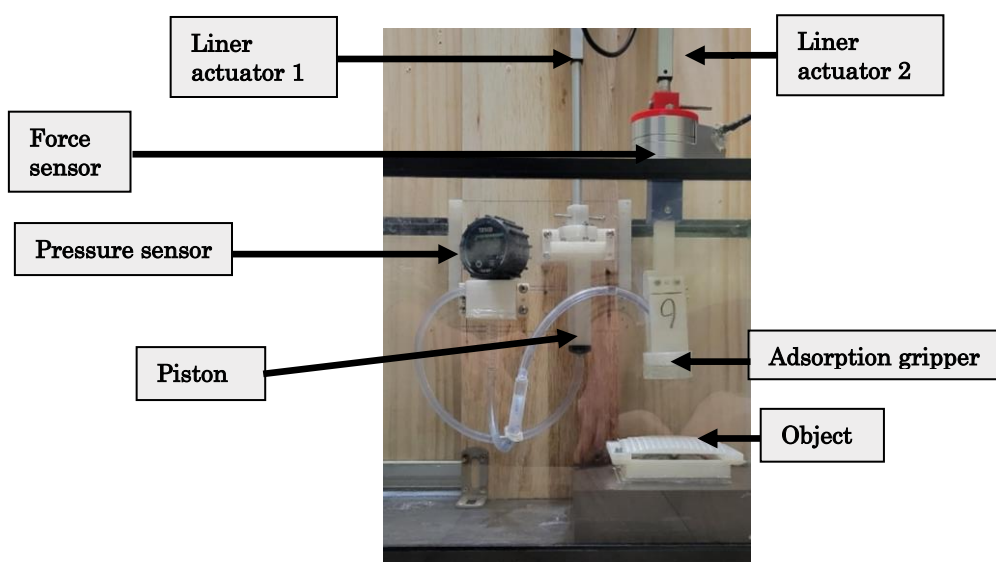
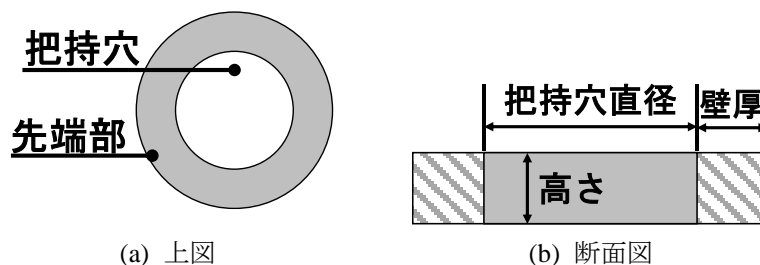


図 4 実験環境



(a) 上図

(b) 断面図

図 5 実験に使用する吸着グリップ先端部の形状

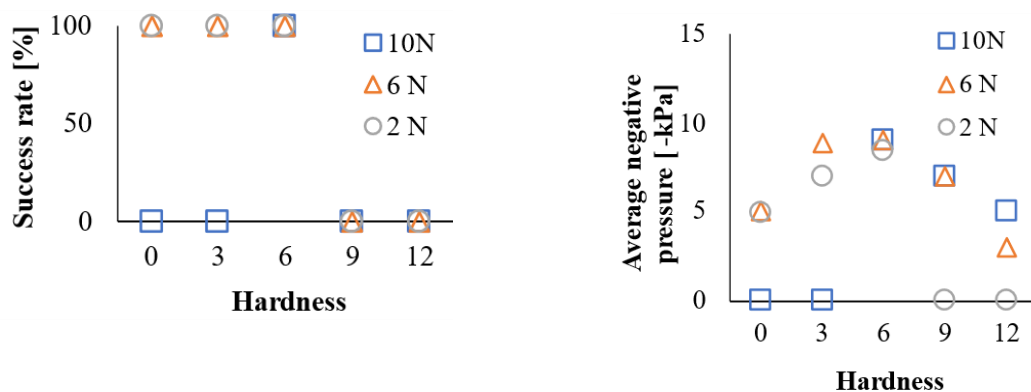


図6 実験結果: tip wall has width 5 mm and height 5 mm

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

飯塚 浩二郎・芝浦工業大学 システム理工学部・教授

戸田 真志・熊本大学 教授システム学専攻・教授

榎本 洸一郎・滋賀県立大学 電子システム工学科・講師

栗原 康裕・北海道立総合研究機構栽培水産試験場・主任主査

三好 晃治・北海道立総合研究機構中央水産試験場・主査

大淵 陽・芝浦工業大学 システム理工学部・博士課程学生

5. 研究実施時期

2020年 4月 1日から 2022年 3月 31日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

[1] 大淵陽, 飯塚浩二郎, 藤原大佑, 榎本洸一郎, 戸田真志, 栗原康裕, 三好晃治, “水中負圧を利用したホタテガイ収穫用グリッパの提案”, 設計工学, Vol. 56, No. 9 (2021) pp. 449 - 464, 査読有.

[2] Akira Ofuchi, Kojiro Iizuka, and Daisuke Fujiwara, Experimental Verification of the Adsorption Gripper Tip Suitable for Grasping Scallops, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, In press, 査読有.

7. 内外における関連研究の状況

○吸着グリッパに関する研究

[1] 高橋智一, 菊池智史, 鈴木昌人, 青柳誠司, 微笑突起をもつタコの吸盤を模倣した真空吸着グリッパの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 35, No. 1 (2017), pp. 62 - 67.

○水中で作業するグリッパに関する研究

[2] 吉田和哉, 安孫子聡子, OTA, Jeffery M., 水中作業ロボット用多関節グリッパの開発,

日本機械学概論文集 (C), Vol. 68, No. 675 (2002), pp. 3373 - 3380.

- [3] SINATRA, N. R., TEEPLE, C. B., VOGT, D M., PARKER, K. K., GRUBER, D. F., and WOOD, R. J. Ultragentle manipulation of delicate structures using a soft robotic gripper, Science Robotics, Vol. 4, No. 33 (2019).

○ジャミンググリップに関する研究

- [4] 藤田政宏, 野村陽人, 高根英里, 小松洋音, 西田健, 多田隈健二郎, 昆陽雅司, 田所論, 房状ジャミング膜に基づく柔剛可変グリップ機構, 計測自動制御学会東北支部 第 307 回研究会 (2017.2.27), 307-7 (2007), pp. 1 - 4.

上記研究と関連して, 本研究はホタテガイに特化したグリップの知見として貢献できる.

8. 今後の発展に対する希望

今後は, ①より実環境に近づけた状態での試験の検討, ②ロボットアームへ実際にグリップを登載した状態での収穫実験を行っていきたい.

- ① 本申請に関する研究では, 把持実験を行っている環境は水流や砂がなく, ホタテガイが生息する環境と異なり, ホタテガイの姿勢や水から受ける抵抗力についても考慮していない. このことから, 実際に海中でホタテガイを把持できるかは実環境で把握していく必要がある. 例えば, 水流を起こした海水中で, 凹凸のある硬い地盤や砂が積り姿勢を安定させることが難しい柔らかい地盤など, ホタテガイ及び本グリップに力が伝達させることが難しい地盤での実験を行う.
- ② 現在はホタテガイ収穫用のグリップの開発を中心に行ってきた. 今後は, ロボットへのグリップの実装やロボットを用いた収穫システムの具体的な検討を行っていきたい. また, 実装やシステム検討の結果, 開発したグリップの改修も同時に行いたい.