

セパレートドライブグリッパによる蚕の割愛操作

○盛影 大樹 (立命館大学), 平井 慎一 (立命館大学),

王 忠奎 (立命館大学), 野中 明 (ペンタリンク(株))

1. 緒言

養蚕は歴史のある産業であるが、まだ手作業に依存した工程が存在する。そのため、生産量を増加させるためには多くの人手を必要とする。また、養蚕農家の高齢化と後継者不足[1]の懸念により、ロボットによる効率化と自動化が求められている。しかし、蚕は柔らかく、品種や個体差によりサイズにばらつきがあるという特徴がある。これらの特徴により、従来のメカニカルグリッパによる把持や自動化は困難である。上記の問題を解決するため、ソフトグリッパによる解決を目指す。本研究は、養蚕における割愛作業に着目した。割愛とは、交配した蚕虫の雌雄を引き離す作業である。交配させた雌雄は、自ら分離し産卵することができない。そのため、人間の手により分離分別を行い、産卵をさせる。ここで、ソフトグリッパにより雌雄をどのように分離し把持運搬を行うかが課題である。また、従来の柔軟指を図1に示す[2]。

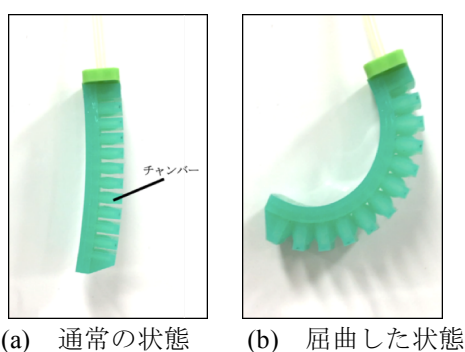


図 1 空気圧駆動式柔軟指

従来の柔軟指はチャンバーが複数存在し、形状が複雑である。そのため、洗浄に時間がかかりメンテナンス性に課題がある。加えて、柔軟指がチャンバーと一体化しているので設計の自由度が低い。これらの問題を解消するため、セパレートドライブグリッパによる蚕の割愛操作を提案する。先行研究では、ベローズ伸縮を用いたセパレートドライブグリッパにより食品把持を行った[3]。対し、本グリッパはエアシリンダと柔軟指、ベルトから構成される。エアシリンダの伸縮により柔軟指が変形し、対象物の把持と開放を実現できる。また、エアシリンダの動作を利用しベルトが稼働し、割愛を実現する。本稿は五節により構成される。第二節は、割愛方法とグリッパ動作原理を述

べる。第三節は、本グリッパの構造について紹介する。第四節は、製作したグリッパが作業の再現が可能であるか、適切なベルトの位置を実験的に探る割愛実験について説明する。第五節は、結言を述べる。

2. 割愛方法とグリッパの動作原理

本節では、割愛方法とグリッパの動作原理を述べる。図2に手作業と本グリッパによる割愛方法を示す。図2(a)は、手作業による割愛方法である。

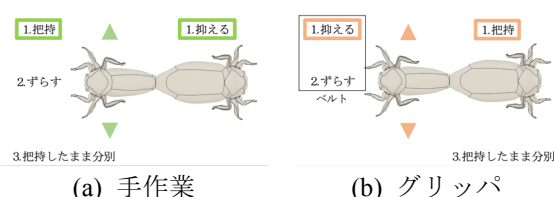


図 2 手作業と本グリッパによる割愛方法

メスの腹を抑えつつ、オスの腹を掴みずらすことで分離する。また、掴んだオスは別所へ分別する。この割愛方法をグリッパへ落とし込むため、図2(b)へ変更した。柔軟指によりメスを把持し、ベルトにより抑えずらすことで分離する。また、把持したメスは別所へ分別する。この方法の利点として、メス同士に間隔を空け整理できる点である。これにより、卵の上に産卵することを防ぎ、卵の品質を保つことができる。図3に、グリッパの動作概要図を示す。図3(a)は柔軟指の開放形状である。エアシリンダが収縮することで、図3(b)の把持形状に変形する。このように柔軟指の形状を単純化にすることで、メンテナンス性と設計自由度の向上を図る。また、エアシリンダのピストンロッドとベルトを接続することで、柔軟指が把持形状へ変形すると同時にベルトが稼働する。これにより、アクチュエータの省略とグリッパの小型軽量化を図る。

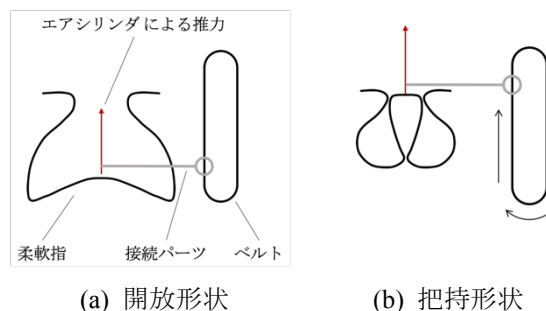


図 3 グリッパ動作概要図

3. グリップの構造

本節では、グリップを構成する柔軟指とベルトについて述べる。図4にグリップのCAD図、図5に作成したグリップ全体図を示す。

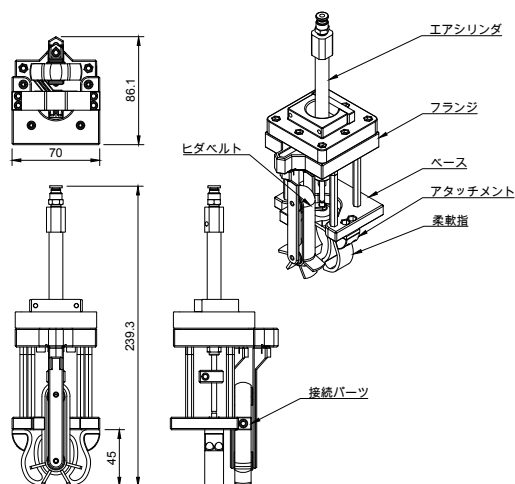


図 4 グリップCAD図

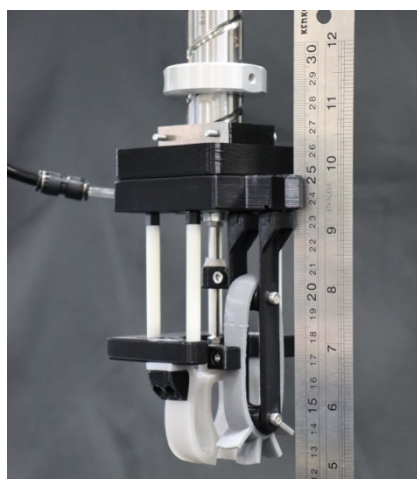


図 5 グリップの全体図

把持時における柔軟指の形状として、2点を条件に設計した。二本の柔軟指の先がテーブルに対して水平になる点。そして、柔軟指が互いに密着する点である。また、開放時に指先の間隔が14.5 mmとなる形状を目指した。これは、蚕のメスの腹より大きい。形状決定には、Fusion360のシミュレーションを用いた。モデリングした把持形状を開放形状に変形させる。次に、変形した開放形状をトレースし、モデリングした。モデリングした開放形状をシミュレーションにより、再び把持形状に変形させ、上記の条件を満たすか確認した。把持形状に求める条件を満たすか確認するシミュレーションの結果を図6に示す。

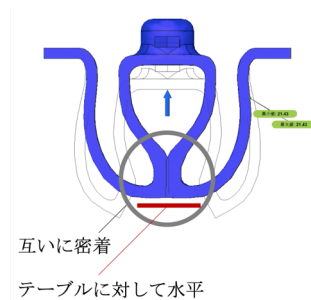


図 6 把持形状に求める条件を満たすか確認するシミュレーションの結果

柔軟指とベルトは硬度がショアA30のシリコンゴムにより作成した。また図4に示すように、固定部にアタッチメントを設けた。把持時に根元が広がり把持力を低下することを防ぐためである。ベルトは楕円ベルトを作成した。楕円ベルトCAD図を図7に示す。楕円ベルトは、割愛において抑える、ずらす動作を行う。

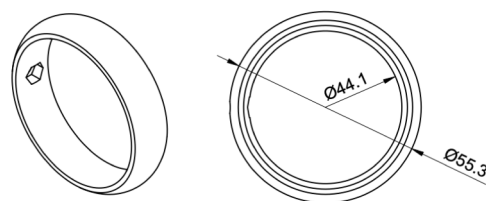


図 7 楕円ベルト CAD 図

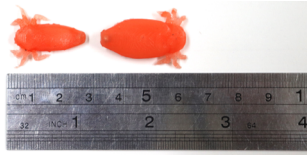
4. 割愛実験

4.1 実験目的と方法

実験目的は、楕円ベルトを装着したグリップが作業の再現が可能であるかと、適切なベルトの位置を探ることである。自作の蚕の成虫の模型を把持対象とした。概要を表1に、対象物の外観を図8に示す。

表 1 把持対象物の概要

把持対象物	寸法(腹部のみ) [mm]	重量 [g]
メス	13.0×21.7×9.9	1.6
オス	8.9×16.6×6.4	0.8



(a) 把持対象物の上面



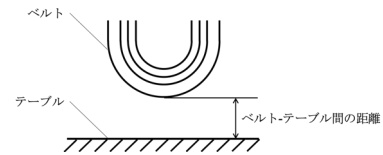
(b) 把持対象物の側面

図 8 把持対象物の外観

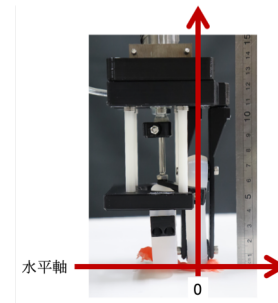
寸法は上田蚕種で取り扱う蚕を元に設計した。模型は、硬度ショアA10のシリコンゴムにネオジウム磁石を埋め込んだ。模型の腹を空洞に造型することで、本物の蚕の腹の柔軟さを再現した。また、磁石により雌雄を接着し交配を再現する。エアシリンダ(CDJ2F10-45ARZ-B, SMC, Japan)に定格供給圧力0.2 MPaを印加し本グリップを稼働させる。エアシリンダへ印加する圧縮空気のONとOFFの切り替えは圧縮空気用3ポートソレノイドバルブ(VK334-5G, SMC, Japan)を使用する。圧縮空気を電空レギュレータ(ITV2030-212BS, SMC, Japan)で整圧し、エアシリンダに供給する。ロボットアームは、4自由度ロボットアーム(HSR-065, デンソーウェーブ, Japan)を使用する。実験方法として、模型の位置を定め割愛操作を行う。試行回数を5回とする。また、ベルト-テーブル間の距離を2.5 mm, 5.0 mm, 8.3 mm, ベルトの水平位置を-5.0 mm, 0.0 mm, 5.0 mmとした。ベルト-テーブル間の距離と水平位置の定義を図9に示す。

4.2 結果と考察

図10に割愛実験のスナップショット、表2に実験結果を示す。実験結果から、楕円ベルトによる割愛作業の再現可能性と割愛操作を成功する要因が分かる。表2(1)は、成功回数が多い。しかし、対象物へのベルトの食い込み量は3.9 mmと大きい。そのため、オスへの負担が大きい。

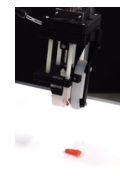


(a) ベルト-テーブル間の距離



(b) ベルトの水平位置の定義

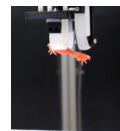
図 9 ベルト-テーブル間の距離と水平位置の定義



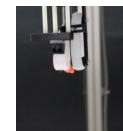
(a)



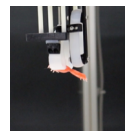
(b)



(c)



(d)



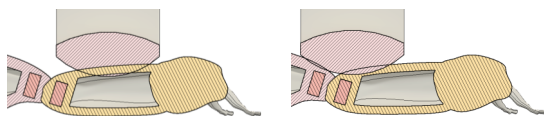
(e)

図 10 楕円ベルトによる割愛実験のスナップショット (a)-(e)はそれぞれ表 2(1)-(5)の条件による割愛実験のスナップショット

表 2 楕円ベルトによる割愛実験の結果

	ベルト-テーブル間の距離 [mm]	ベルトの水平位置 [mm]	成功回数/試行回数
(1)	2.5	0.0	5/5
(2)		0.0	5/5
(3)	5.0	5.0	0/5
(4)		-5.0	4/5
(5)		0.0	0/5
(6)	8.3	5.0	0/5
(7)		-5.0	0/5

加えて、テーブルと対象物から加わる垂直抗力により、ベルトの回転は小さいものとなった。よって、主に抑える動作が働く結果となった。表2(2)は、最も成功回数が多い。この条件では、楕円ベルトが蚕の腹に1.4 mm食い込み割愛を行う。表2(3)は、蚕の胸にベルトが接触する。胸は固く腹が柔軟なため、割愛時にオスが捻転した。そのため、衝撃が吸収され、失敗したと考えられる。表2(4)は、ベルトが腹の末端に接触する。表2(2)と(4)の条件におけるベルトと対象物が接触する際のイメージ図を図11に示す。



(a) 水平位置:0.0 mm (b) 水平位置:-5.0 mm

図 11 表 2(2)と(4)の条件におけるベルトと対象物が接触する際のイメージ図

この場合、腹の末端は先細り形状になっており、ベルトの食い込み量が小さい。そのため、回転が伝わらず、失敗したと考えられる。表2(5), (6), (7)は、ベルトが対象物に接触しないため、割愛が失敗した。上記より、楕円ベルトによる割愛操作はベルトを腹の中央に接触させ、約1.0 mm食い込ませることが作業の再現を成功させる要因であることが分かった。

5. 結言

本稿では、セパレートドライブグリップによる蚕の割愛操作を提案した。本グリップは主に、エアシリンダと柔軟指、ベルトにより構成されている。本グリップによる作業の再現性の検証とベルトの適切な位置を探るため蚕の模型を対象物として実験を行なった。実験より、割愛操作を成功させる要因がわかった。しかし、今回の実験は対象物である模型の位置決めをしている。今後は、対象物の位置に差が生じても把持できる汎用性の高いグリップの開発と、本物の蚕にも対応することができると検証する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご助力いただきました上田蚕種の皆様にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。なお、本研究の一部は内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム

(SIP) 第2期／フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人：NEDO)によって実施されました。

参考文献

- [1] 農林水産省(2019)「新蚕業プロジェクト方針」
- [2] Z. Wang and S. Hirai: “Geometry and Material Optimization of a Soft Pneumatic Gripper for Handling Deformable Object”, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Kuala Lumpur, 2018.
- [3] O. Morikage, Z. Wang and S. Hirai: “Multi-Fingered Soft Grippers Driven by Bellows Actuator for Handling Food Materials”, 2021 27th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), Shanghai, 2021.