

二層構造に基づくジャミング把持力と凹凸面吸着力を両立した 万能真空吸着グリッパ

Universal Vacuum Gripper with both Jamming Gripping Force and
Uneven Surface Adhesion Force based on Double-Layered Structure

○ 正 清水 俊彦 (神戸市立高専) 中井 悠輔 (神戸市立高専)

Toshihiko SHIMIZU, Kobe City College of Technology, kcct-ts8@g.kobe-kosen.ac.jp
Yusuke NAKAI, Kobe City College of Technology, r113146@g.kobe-kosen.ac.jp

In this paper, double-layered Universal Vacuum Gripper (in short, d-UVG) is proposed for grasping various objects. The d-UVG is a vacuum suction cup based on the jamming transition phenomenon with two functional layers. First layer is used for grasping smaller object than the gripper based on vacuum forming method, and also protecting the membrane's damage from vacuum force that is one of the problems in the conventional UVG. Second layer is used for air-sealing for adhering uneven surface. We examined the d-UVG on several test pieces for evaluating its gripping performances and verify d-UVG's concept and effectivities.

Key Words: Universal Vacuum Gripper, Vacuum adhesion, Jamming gripping force

1. はじめに

World Robot Summitなどの国際ロボット競技会において、ロボットによる店舗の陳列廃棄などの自動化を進める試みがなされている。多様な商品を把持するソフトロボットハンドが開発されており[1]、剛性を変化可能であり、かつ簡便に扱えるという点で、Universal Gripper (以下UG)が注目された。UGはエラストマー膜袋に粉体を充填し、袋内部を負圧にすることで、粉体の振舞いが流動的から固体的に切り替わるジャミング転移現象により物体を把持する。UGと真空吸盤を組み合わせた万能真空吸着グリッパ (Universal Vacuum Gripper, 以下UVG) [2]は、ドーナツ状のUGから成るリップ部を持つ真空吸盤であり、UGでは把持することが困難な平面的な凹凸物まで把持できる。一方で、UVGはUGと比較して、ジャミング把持力が低下することが報告されており、またリップ部の膜が真空口に巻き込まれ、破断することを防止する多孔質素材の耐久性も実用上の問題となっていた。

そこで本研究では、二層構造に基づくジャミング把持力と凹凸面吸着力を両立したUVGを開発する。本稿では、真空成形法による小径物など多品種のジャミング把持力を向上し、二層の高低差を利用した凹凸面吸着力の向上、さらに把持戦略についての検証状況を報告する。

2. 二層構造に基づく万能真空吸着グリッパ

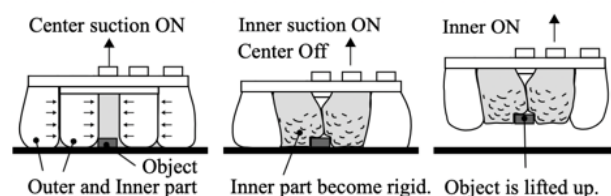
二層型UVGのCAD図と実物を図1に示す。同心円状に配置された二層のドーナツ状UGを持ち、中心に真空口を有し、二層のUG部も真空引きすることが可能な、3自由度を持つ構造となっている。先行研究の一層型UVGと比較して、自由度を1つ追加することとなるが、以下に述べる性能向上を実現することができる。

二層型UVGのジャミング把持は押付法と真空成形法が可能である。押付法は、対象物にUVGを押付け、内側と外側のUG部を負圧にする方式であり、小径物を把持するには高い押付け力を必要とする[3][4]。図2(a)の真空成形法は、外側のUGで凹凸面上に置かれた対象物を覆い、中心より真空引きすることで、内側のUGを対象物の形状に沿わせる方式であり、押付法と比べ、小さい押付け力で小径物を把持することができる。

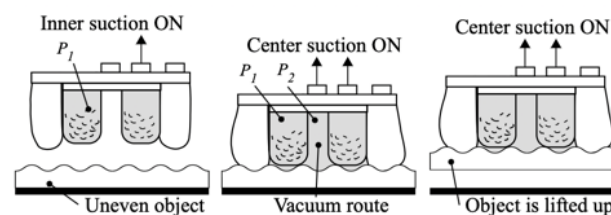
二層構造は凹凸面吸着力について有利に機能する。図2(b)のように、外側に比べて内側の高さが低く設計されている。凹凸



Fig. 1 Schematic drawing of double-layered UVG.



(a) Small object gripping with vacuum foaming



(b) Uneven object adhesion with inner part's jamming

Fig. 2 Operations of double-layered UVG

面吸着の操作手順として、まず内側のUGを真空引きし、内部を負圧 P_1 として硬化させる。凹凸面に対して、外側のUGを追従させ気密性が高め、中心部真空口より負圧 P_2 とする。 $P_1 < P_2$ となれば、内側UGは真空路を保つため、真空口への巻き込みによる破断を防止する。その結果、一層型UVGの際、問題となっていた多孔質素材に比べ、膜と粉体による耐久力の向上が見込まれる。また外側のUGが内側に乗り上げることで、エアリーク部を適所で気密するため、凹凸面での吸着性能が一層型UVGと比較して向上している。

3. 性能比較実験

3.1 実験方法

吸着試験用のテストピースを図3に示す。吸着試験には、アクリル製の平板に段差を二つ並べたワークを吸着し、真空保持が可能かどうかを確認した。実験条件として、試験片の中心にグリッパの中心を置き、エアシリンダに圧力を加えることでグリッパを押し当てる。その状態で吸着把持を行い、その際の吸着圧力の平均値を計測した。

小径物把持実験の実験装置を図4に示す。試験片には厚さ3mmのL字アングル(60g)、φ15中空パイプ(60g)、一辺8mmの正六面体(5g)、またM5ネジを使用する。実験手順は、試験片をそれぞれのフィンガ部の中心に置き、エアシリンダに圧力を加えてグリッパを押し当てる。この状態でジャミング把持を行い、その際の把持の成功回数を計測した。

グリッパを試験片に押し付ける際のエアシリンダへの供給圧力は0.1MPa(約20N)、吸着及びジャミング時の空気の排気はエジェクタ(SMC製ZH13DS)に0.6MPaの圧力を加えることで行った。実験は1つの試験片につき5回ずつ行った。

3.2 実験結果

凹凸面吸着実験結果を図5に示す。図5左図に示すように、テストピースを吸着把持可能であった。図5の中央の図は、図2(b)において内側UGを硬化させた結果で、真空口を確保できていることが確認できる。図5右は段差を一つ跨いで吸着している様子である。また、平板に吸着を行い内側の硬化による吸着力を測定したところ、内側を硬化することで約50N、硬化しない場合、1N程度であり、内側を硬化させることで有効面積を確保できることが確認された。

図6に把持実験の様子を示す。押付法では、中空パイプ、アングルを5回中5回、把持可能であり、小径物は一度も把持できなかった。そこで小径物について真空成形法を用いることで、正六面体、M5ネジを5回中5回、把持可能であった。図6(d)に示すように真空成形法を用いることで、押付法では困難な小さい対象物を把持可能となった。

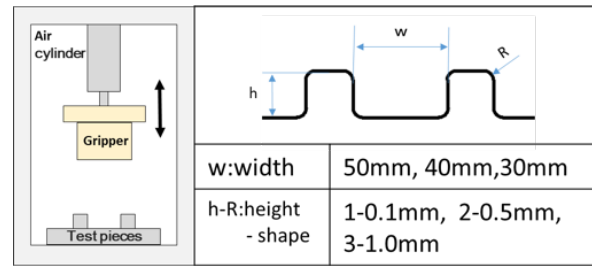
4. まとめ

本稿では、ジャミング把持力と凹凸面吸着力を両立する二層型UVGを開発し、性能評価を行なった。その結果、二層構造を用いることで、二層構造の内側UGを真空成形することで、従来の押付法では把持困難な小径物を把持可能であり、小さな試験片に対する摩擦拘束把持において高い性能を示した。また内側UGを硬化させることで、凹凸面に吸着可能であり、真空面積を確保することが可能であることを確認した。今後は二層構造の耐久試験を行い、経年変化について性能評価を行う予定である。

謝辞：本研究は株式会社妙徳と神戸高専の共同研究により実施されたものである。

参考文献

- [1] Shintake, Jun, et al. "Soft robotic grippers." *Advanced Materials* 30.29 (2018): 1707035.
- [2] Fujita, Masahiro, et al. "Development of universal vacuum gripper for wall-climbing robot", *Advanced Robotics*, 32(6), 283–296, 2018.
- [3] Fujita, Masahiro, et al. "Jamming layered membrane gripper mechanism for grasping differently shaped-objects without excessive pushing force for search and rescue missions." *Advanced Robotics* 32.11 (2018): 590-604.
- [4] 清水 俊彦, 久保田 直暉, 池本 周平, 宮本 猛. "多孔質粉体を用いた高収縮ジャミンググリッパの特性解析", *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集*, 2018, セッション ID 1P2-H14, p. 1P2-H14-, 2018.



(a) Experimental device (b) Test pieces
Fig. 3 Adhesion experiment



Fig. 4 Objects for gripping experiment. Top is the uneven acrylic plate for the adhesion experiment, and lower three pieces are metal angle, stainless steel pole, and tiny block.

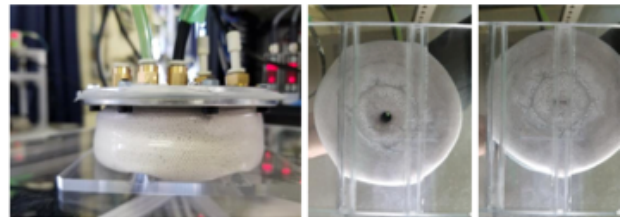
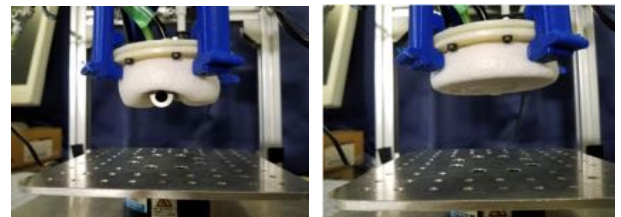


Fig. 5 Experiment of adhesion force measurement. Left figure shows the adhesion state to the uneven test piece. Center figure shows the effect of inner part jamming to ensure the vacuum route on two steps, and last shows the case on one step.



(a) Steel pipe (b) Tiny block



(c) Metal angle (d) Screw

Fig. 6 Jamming gripping experiments