

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：54502

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19807

研究課題名(和文)膜のないジャミンググリップ

研究課題名(英文)Membrane-less Jamming Gripper

研究代表者

清水 俊彦 (SHIMIZU, TOSHIHIKO)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：30725825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、粉体のみで構成されたジャミンググリップを提案した。膜袋に粉体が充填されたジャミンググリップは、粉体の充填密度を変化させることで柔剛状態が切り替わるジャミング転移により多様な商品を把持できる万能グリップであるが、膜の破断による機能不全が本質的問題となっていた。そこで、磁場中に存在する磁性粉体を用いた破断耐性グリップを開発し、膜袋という物理的制約を廃し、従前のジャミンググリップにはない破断耐性を有する真空グリップを実現した。さらには、オイルと粉体を混合したシリコン粘土を用いた自己修復可能な真空グリップについても開発し、鋭利面に対する吸着や自己修復が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、ジャミンググリップにおける本質的課題である、表面が突出した鋭利な構造物などを把持した際、膜が破断するという点について、粉体特性に着目した耐破断機構を検証したことにある。自己修復ポリマーによる熱修復などと比較し、提案手法は修復の応答性に優れるという特性を有する。また社会的意義は、凹凸面に吸着可能かつ耐破断性に優れた真空吸着グリップを提案・開発したことにある。例えば、社会インフラが老朽化する本邦において、吸着式移動ロボットによる自律検査が望まれている。1つのハンドで多種類の対象物に対応できる吸着ハンドを実現することで、インフラの健全性評価に貢献することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a jamming gripper composed only of powder is proposed. A jamming gripper with a elastomer membrane bag filled with powder is a versatile gripper that can grasp a variety of products by means of a jamming transition that switches between flexible and rigid states by changing the density of the powder filling rate. We have developed a rupture-resistant gripper that uses micro-magnetic powder existing in a magnetic field, thereby eliminating the physical restriction of a membrane bag and realizing a vacuum gripper with rupture resistance. We also developed a self-healing vacuum gripper using silicon clay mixed with oil and powder, and showed that it can adhere to sharp surfaces and self-healing ability.

研究分野：ロボティクス

キーワード：Jamming Robot gripper Manipulation Granular material Soft robotics

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

膜袋に粉体が充填されたジャミンググリップは、粉体の充填密度を変化させることで柔剛状態が切り替わるジャミング転移により多様な商品を把持できる万能グリップである。下図左のように、柔軟状態で把持対象物に押し付け、その形状に慣わせた後、袋内を負圧にすると粉体が詰まり硬化し、対象物の形状・姿勢を問わず把持できる。膜が柔軟であるほど把持性能は向上するが、耐久性とトレードオフの関係があり、特に膜破断による機能不全が問題となった。またセンシング機能を持たないため、カメラなどの補助が必要であった。

2. 研究の目的

本研究では発想を転換し、**粉体のみで構成されたジャミンググリップ**を提案する。磁場中に存在する磁性粉体を自在に操作する方法論を構築することで、膜袋という物理的制約を廃し、従前のジャミンググリップにはないセンシングを実現する。さらには、複数のジャミンググリップを結合することにより、形状自在にアクチュエータやセンサを連結できる分散型グリップシステムを実現し、超多品種を把持できる万能グリップを実現する。

3. 研究の方法

3.1. 微小磁性粉体を膜のないジャミンググリップ

微小磁性粉体を磁場により吸着保持することにより、ドーナツ状の吸盤を作成し、対象物を吸着把持する図1のような真空吸着グリップを提案する。真空吸着には、吸盤のリップによる凹凸面の気密性が重要となる。本研究では、微小粉体が示す低透気性に着目し、凹凸面の気密を実現する。また磁場の強弱をエアリングにより調整することで、粉体を保持しつつ、粉体部の剛性を調整可能とし、柔軟状態で凹凸面に押し付け、なじみ性能を向上させた。なおグリップの中心に真空孔を設置する。

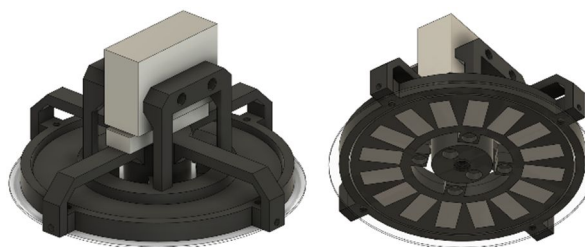


Fig. 1 Proposed gripper using micro magnetic powder



Fig. 2 Difference in appearance of magnetic lines of force between (a)normal magnet and (b)proposed device

磁場は図2左に示すリング磁石を用いると、中心部に磁性粉体が集まる。そこで、図1のように磁石のN極とS極を交互に配置することで図2右のように装置中心部の磁力が弱まるドーナツ状の磁場が形成できる。

磁力を強弱させたときの様子を図3に示す。図3(a)の磁力が大きい状態では、母材部分に粉体が集まり硬化しており、図3(b)の磁力を小さくした状態では、微小磁性粉体の密度が下がり、柔軟化していることが確認できる。なお低磁力による柔軟化により、凹凸面への馴染み性能は向上するが、真空吸着する際、磁力による粉体の保持力が小さいため、粉体リップを保持できず、エア漏れが発生する。そこで磁力を高め、剛性を向上させることで、エア漏れを防止できる。



(a) High magnetic force (b) Low magnetic force

Fig. 3 Actual gripper compared with magnetic force

開発グリップにより鋭利構造を持つ凹凸面に対する真空吸着実験を行った。厚さ5mmのゴム板と複数の画鋸を用いて、板から3mm程度針が突出する鋭利



Fig. 4 Preliminary experiments by the proto-type device

平面を製作した。製作した棘を持つ鋭利凹凸面の様子を図4(a)に示す。把持対象にグリップを押し当てると、粉体が表面に密着し、真空吸着できることを確認した。その他、平面、ボウルへの吸着も可能であった。なお鋭利凹凸面に使用した画鋸は磁性体であるが、高磁力状態でもリップ部表面の最高磁束密度は32.4mT程度であり、真空引きをしない状態では吸着把持することはできなかった。よって、微小磁性粉体を用いた吸盤により、鋭利構造を持つ物体表面に対しても真空吸着ができることが確認された。

3.2. シリコン粘土を用いた受動修復可能な真空吸着グリッパ

真空吸盤は柔軟なリップ部により吸着面とリップ内部を密閉空間とし、内部を負圧にすることで対象物を吸着する機構である。リップ部が破断することで、空気の流入により密閉が困難となり、機能的不全を起こすことが本質的な課題であった。そこで、リップ部を修復可能な素材とすることで、破断対策を施す。

修復可能な素材の種類としては、粘土や、自己修復ポリマが挙げられる。しかし、紙粘土などは空気に触れると時間経過により硬化し、修復困難となり、自己修復ポリマーは熱を加えて修復するまでの即応性が低い。そこで、時間経過により硬化せず、化学的に安定なシリコン粘土を使用する。

図1に考案した真空グリッパを示す。ディスク状の粘土を固定する2つのリングと、粘土の膜を吸盤形状に膨らませる可動式のピンで構成されている。図2に可動ピンによる粘土吸盤の形成過程を示す。ピンは吸盤の底面から10mmの高さまで動き、上部に柔軟なTPU素材を用いることで粘土膜に合わせて変形する。また、粘土の吸盤を内側から均等に流体で加圧する、加圧孔を設置している。このため、粘土が潰れても可動ピンと空圧により形状を再形成できる。

加圧による再形成実験を行った。図3の(a)及び(b)に粘土膜に対して加圧した前と後の様子を示す。実験より平らに慣らした状態の粘土膜に加圧を行うと、図3(b)のように約10mm程度の高さまで粘土膜が膨張し、再形成が可能であった。また、可動ピンにより、吸盤を押し込んで元の形状に戻ることを確認した。

開発したグリッパを用いて滑らかな平面に対する真空吸着実験を行った。図4に示す、万能試験機(株式会社エー・アンド・アイ製、MCT-2150W)を用いた装置により水平吊り下げ吸着力の計測の様子を示す。使用する負圧は-80kPaであり、把持対象は滑らかなアクリル平板・鋭利構造を有する物体表面である。使用する負圧は-80kPaであり、把持対象は高さ3mm、直径1mmの鋭利な針を12mmの間隔で複数配置した平面とした。実験の結果、平面および鋭利凹凸面に対し、吸着可能であることを示した。すなわち、シリコン粘土を用いた真空吸盤は、鋭利凹凸面に対して有効であることを確認した。

4. 研究成果

上述したように膜のないジャミンググリッパを活用した、破断耐性に優れた真空吸着グリッパの開発を行った。把持対象が鋭利なものに対する、従前のジャミンググリッパが有する機能不全の問題について、有効に機能する微小磁性粉体、およびシリコン粘土によるグリッパを提案し、実験によりその有用性を示した。二つのグリッパは膜がないことによる複数のグリッパの組み合わせが可能な構造であることから、今後はこれらを組み合わせることで、より多品種に対応できるグリッパの開発を行う予定である。

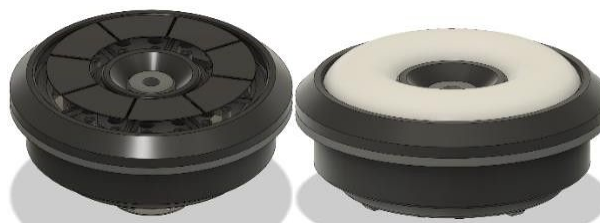


Fig. 1 Developed vacuum gripper using silicone clay

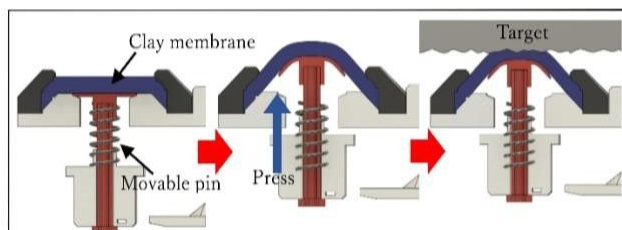


Fig. 2 Cross-sectional structure diagram



(a) Before pressurizing (b) After pressurizing

Fig. 3 Pressure experiment on silicone clay membrane

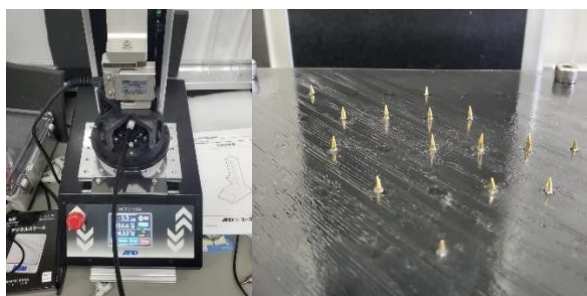


Fig. 4 Pressure experiment and sharp needle surface

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 清水 俊彦	4. 巻 68
2. 論文標題 万能真空吸着グリッパによるドローン革命	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 トライボロジスト	6. 最初と最後の頁 840～847
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18914/tribologist.68.12_840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hara Shunya, Shimizu Toshihiko, Ozawa Masayoshi, Sakai Masahiko, Oyama Tadahiro, Samuel Amar Julien	4. 巻 35
2. 論文標題 Navit(oo)n: Open Source Mobile Robot Project for Nakanoshima Robot Challenge	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1540～1549
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2023.p1540	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菱田 聡、大垣 正信、菱田 康、三輪 昌史、清水 俊彦	4. 巻 4
2. 論文標題 壁面吸着ドローンの開発と活用方法の提案	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 次世代移動体技術誌	6. 最初と最後の頁 2～10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34590/tjam.4.1_2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清水 俊彦、濱田 翼、澁谷 拓海、多賀 康太、大西 凌平、小澤 正宜、尾山 匡浩、酒井 昌彦、AMAR Julien Samuel	4. 巻 61
2. 論文標題 万能真空吸着ハンドに基づく屋内物流ロボット	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 430～434
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11499/sicejl.61.430	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤本郁人, Amar Julien, 原田耀郎, 原悠鷹, 茂木秀斗, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩
2. 発表標題 6軸マニピュレータにおける手先位置姿勢の制御方法についての精度および処理速度比較
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 in名古屋
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山上 昶史, 小澤 正宜, 光藤 真海
2. 発表標題 ブルーカーボン調査に向けたROS搭載USVの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡本 章宏、宮本 蓮汰、清水 俊彦、小澤 正宜、酒井 昌彦尾山 匡浩、アマル ジュリアン サミュエル、藤本 敏彰、池本 周平
2. 発表標題 微小粉体の低透気性に基づく冗長マニピュレータ ジャミング転移に基づく圧力分布特性とその応用
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多賀康太, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 混合粉体を用いたジャミング転移センサの特性評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤浦 大輔（神戸市立高専） 小澤 正宜（神戸市立高専） 正 清水 俊彦（神戸市立高専） 尾山 匡浩（神戸市立高専） 酒井 昌彦（神戸市立高専） Amar Julien Samuel（神戸市立高専） 岩切 敬晃（広島商船） 糸井 雄祐（株式会社 CuboRex）
2. 発表標題 海底耕うんロボットによるアマモ場の環境改善 副題:クローラの取り付けによる海底での安定走行の実現
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水 俊彦, 小澤 正宜, 酒井 昌彦, 尾山 匡浩, AMAR Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 ユニバーサルグリップによるインハンドマニピュレーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀧田 翼, 清水 俊彦, 小澤 正宜, 酒井 昌彦, 尾山 匡浩, AMAR Julien Samuel, 池本 周平
2. 発表標題 万能真空吸着グリップに基づく四脚歩行型壁登りロボット
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澁谷 拓海, 清水 俊彦, 藤本 敏彰, 小澤 正宜, 酒井 昌彦, AMAR Julien Samuel, 尾山 匡浩, 池本 周平
2. 発表標題 摩擦増大機構を有する真空吸盤
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多賀康太, 山村亮太郎, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 混合粉体を用いたジャミング転移センサの特性評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澁谷拓海, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 真空成形法に基づくヤモリを模倣した吸着機構
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧田翼, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 万能真空吸着グリッパに基づく 四脚歩行型壁登りロボットによる壁面SLAM
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原俊哉, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 不整地計測輪を搭載した自律移動ロボット
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本章宏, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, 池本周平, アマルジュリアンサミュエル
2. 発表標題 変形自在なジャミング転移センサ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐土優祐, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 ジャミンググリッパの性能評価指標
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八田千博, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, Amar Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 凹凸面吸着ドローンのピボット移動に基づく位置制御
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西凌平, 清水俊彦, 小澤正宜, 酒井昌彦, 尾山匡浩, AMAR Julien Samuel, 池本周平
2. 発表標題 ジャミング転移センサに基づく万能ジャミングインタフェース - 導電粉体の圧電特性評価 -
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋田翔、小澤正宜、清水俊彦、酒井昌彦、尾山匡浩
2. 発表標題 UVGを利用した水中溶接ユニット
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤正宜、大西凌平、清水俊彦、酒井昌彦、尾山匡浩
2. 発表標題 高専教育向け水中ロボット「CHVIS」の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 漁拓実、清水俊彦、池本周平、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩
2. 発表標題 万能真空吸着グリッパを用いた蛇腹直動型壁のぼりロボット
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原俊哉、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平
2. 発表標題 ジンバル機構搭載 2D LiDARを用いた屋外傾斜面対応の自律移動ロボット Navit(oo)n
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐土優祐、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平
2. 発表標題 ジャミンググリップにおける押付条件及び膜の摩擦係数が把持力に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山村亮太郎、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平
2. 発表標題 ジャミング転移センサに基づくソフトロボットハンド~混合粉体を用いた電磁誘導式ジャミング転移センサの提案と開発~
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤正宜、高橋温生、清水俊彦、酒井昌彦、尾山匡浩
2. 発表標題 サイクロン式集塵機構を用いた微小マイクロプラスチック回収のための基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水俊彦、中井悠輔
2. 発表標題 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プ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多賀康太、山村亮太郎、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平
2. 発表標題 4端子法に基づく触覚機能を有するジャミンググリッパ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澁谷拓海、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平
2. 発表標題 真空成形法に基づくジャミング把持の特性解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧田翼、清水俊彦、小澤正宜、酒井昌彦、尾山匡浩、池本周平、更谷 雄三
2. 発表標題 バンケル型ロータリエンジン駆動コンプレッサを搭載した独立型空圧駆動四足ロボット
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸高専ロボティクス公式HP https://sites.google.com/g.kobe-kosen.ac.jp/kobe-kosen-robotics/home

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	池本 周平 (IKEMOTO SHUHEI) (00588353)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・准教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関