

令和元年6月24日現在

機関番号：54502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18056

研究課題名(和文) ジャミング転移に基づく万能真空吸着グリッパの開発

研究課題名(英文) Development of Universal Vacuum Gripper based on Jamming Transition

研究代表者

清水 俊彦 (SHIMIZU, Toshihiko)

神戸市立工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：30725825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では粉体のジャミング転移に基づく万能真空吸着グリッパ(以降UVG)を用いたロボットシステムの開発を行った。まずUVGの操作方法と粉体による吸着把持性能を検証し、壁のぼりロボットによる凹凸壁面や天井移動を実現した。次に、UVGの膜形状による壁面吸着性能の比較評価を行い、壁面吸着に有効な形状を確認した。これを用いた打音検査用マルチコプタを開発し、打音による壁面の亀裂を判断可能であることを確認した。最後にUVGを装着した等身大ヒト型ロボットQ-botを開発した。World Robot Summit 2018に参加し、コンビニエンスストアにおける多品種商品の把持性能を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、粉体を用いた万能グリッパの性能評価を行い、粉体工学に関する知見を収集したことにある。主に粉体の素材とサイズがグリッパに寄与する影響を評価した。また柔軟構造物であるエラストマー膜の形状による吸着性能を評価した。

社会的意義は万能グリッパを用いたロボットシステムを開発し、性能評価を行った点にある。社会インフラの検査に向けた壁のぼり検査ロボットや、壁面吸着型打音検査用マルチコプタを開発し、モルタル壁面などにおける吸着が可能であることを示した。またヒト型ロボットによる多品種商品の把持性能を検証し、凹凸物から重量物まで把持搬送が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed several robot systems using Universal Vacuum Gripper (UVG) based on the jamming transition of granular material. First of all, the grip performances by the operation method and the material of UVG were verified, and the wall climbing robot realized the movement of the uneven wall and ceiling. Next, we evaluated the adhesion performance on uneven wall surface depends on the film shapes of UVG. We developed a multi-copter for tapping sound inspection using the wall effective UVG, and confirmed that the robot system was possible to judge the crack of the wall surface by the hammering test. Finally, we developed a human-adult-sized humanoid robot, named Q-bot equipped with UVG. We participated in the World Robot Summit 2018 and evaluated the gripping performance of multi-variety products in convenience stores.

研究分野：ロボット工学

キーワード：万能グリッパ 真空吸着 ジャミンググリッパ 吸着ロボット 打音検査 マルチコプタ 工場自動化 社会インフラ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

<壁のぼりロボットおよび壁面吸着マルチコプタ [1][2][3][4]>

ビルの外壁や窓の清掃、橋の劣化損傷検査などの高所作業は、危険を伴う作業である。これらの作業をロボットで行うためには、凹凸面に吸着する技術が必要となる。従来研究では、真空吸盤、爪、磁石、分子間力、粘着などを用いたロボットが開発されてきた。真空吸盤とは真空ポンプを用いて吸盤内を真空にすることで吸着力を高めている吸盤である。しかし、凹凸面では凹凸の隙間から空気が流入するため、気密性を保つことは困難である。爪を壁の凹凸に掛ける方法は、壁を傷つける可能性があり、また天井などの水平面の移動が困難である。磁石は金属壁の張り付きに限定され、分子間力は 100g 程度の小型ロボットに限られる。粘着は粘着剤を利用するため、壁からの脱着機構の付与と付着物による粘着力の低下が問題となる。

また近年、鉄橋や高層ビルなどの社会インフラの近接点検に向けて、目視検査や打音検査を行なうマルチコプタ型検査ロボットが開発されている。目視や打音検査は併用して実施されることが信頼性の観点から望ましい。しかし打音検査型マルチコプタは、打撃を加える際の反力により墜落する危険性がある。そこで、マルチコプタに吸着機構を付加することで、その問題点を改善する吸着ロボットが研究されている。これら吸着機構は、ガラスやコンクリートなど材質を問わず、平面だけでなく凹凸面に吸着できる必要がある。従来研究では真空吸盤を用いて平らな天井面や壁面に吸着する方法や、爪を用いて段差に引っ掛かる方法が提案されてきた、しかし上述した理由から、適用範囲に制限があった。

本研究では、凹凸面への吸着が可能な真空吸盤、Universal Vacuum Gripper（以降 UVG とする）を提案した。凹凸面を含む平板や曲面を持つ物体への吸着の様子を図 1 に示す。UVG は、図 2 に示すように、ジャミング転移効果に基づく Universal Gripper（以降 UG とする）を、吸盤のスカート部に用いた真空吸盤である。スカート部が凹凸面に合わせて変形するため、気密性が保たれる。十分に変形できず、気密性が保たれない場合においても、空気流入量に対して吸引量を大きくすることで、吸盤内部が負圧となり吸着力を確保できる。また変形後にスカート部を硬化させることで、爪と似た働きが期待される。

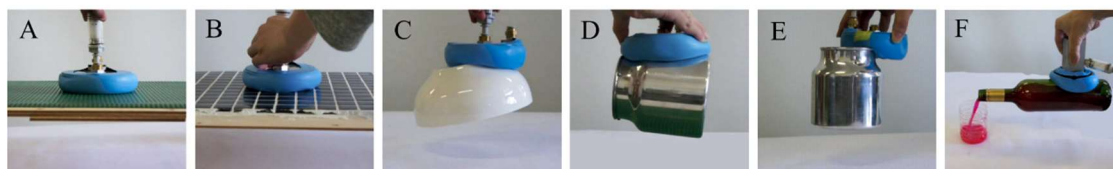


Figure 1. Adhesion experiments to the multiple materials with the proposed vacuum pad. (A) plate with uneven surface, (B) tile plate, (C) bowl, (D) taper can, (E) grasping the edge of can, (F) filled wine bottle.

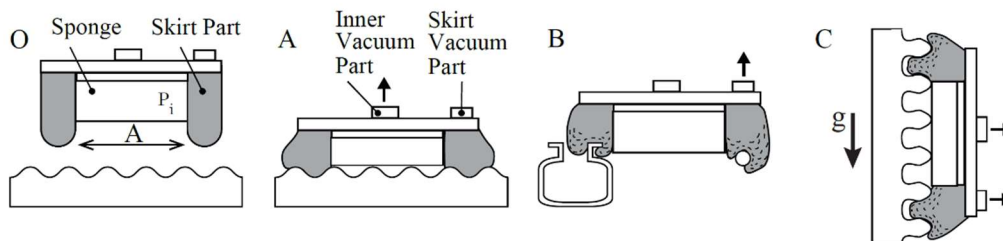


Figure 2. Adhesion modes of Universal Vacuum Gripper. (O) Before adhere, (A) vacuum, (B) gripper, (C) hook.

<万能真空吸着グリップによる超多品種ピッキングシステム>

近年、国内の労働人口の減少に伴い、物流業界やサービス業などでは人手不足が深刻化している。このため、World Robot Summit 2018 において、Future Convenience Store Challenge（以降 FCSC）という、コンビニエンスストア（以降コンビニ）作業をロボットによって実現する競技会が開催された。FCSC は、接客、清掃、陳列・廃棄という3種目に対して、企業や大学の連合チームが独自のロボットシステムを開発し、その性能を競うものである。開発されたロボットはロボットアームと AGV（無人搬送車）を組み合わせたハードウェアに、各種センサを統合したシステムで構築されている。FCSC では単腕型または双腕型のロボットアームが搭載された。AGV により所定位置まで移動し、アームに取り付けられたエンドエフェクタにより、各種製品を把持搬送することでタスクを実施した。

コンビニで作業を行うロボットを実用化する上での課題は、小型軽量のロボットによる重量物の把持搬送である。重量物とは例えばペットボトルを詰めたダンボールなどである。ダンボールの受取、開梱、品出しをする必要がある。また通路の狭いバックヤードなどを有するコンビニ内において作業をするため、クレーン車のような大型ロボットは望ましくない。さらにロボットの転倒によるロボット本体や店内設備の破損を防止する必要がある。

2. 研究の目的

<壁のぼりロボットおよび壁面吸着マルチロータ>

本稿では、粉体の粒径、凹凸面形状および真空順序に関する UVG の吸着力を評価する。また、UVG を用いた回転型脚式ロボットによる壁登りおよび天井移動に関して報告する。さらに図 3 に示すような壁面吸着型マルチコプタに搭載するための打音検査システム、およびそれを搭載したマルチコプタを開発し、性能を評価する。

<万能真空吸着グリッパによる超多品種ピッキングシステム>

本研究では転倒を防止し、クレーンよりも小型軽量で重量物を搬送可能なヒューマノイドロボット、Q-bot を開発する。Q-bot の主たる特徴は足裏の吸着機構にある。クレーンは自重以下の対象物を搬送するため、ある程度のサイズが必要となる。足裏の吸着力により自重を補償することで、小型軽量化を図る。また転倒を検出した際、足裏吸着を用いて身体を固定し、転倒の回避もする。さらに Q-bot は双腕型を採用し、ダンボールなどの重量物を把持搬送し、開梱、品出しを行う。本稿では開発した Q-bot のシステム構成を述べ、FCSC に参加した結果について報告する。

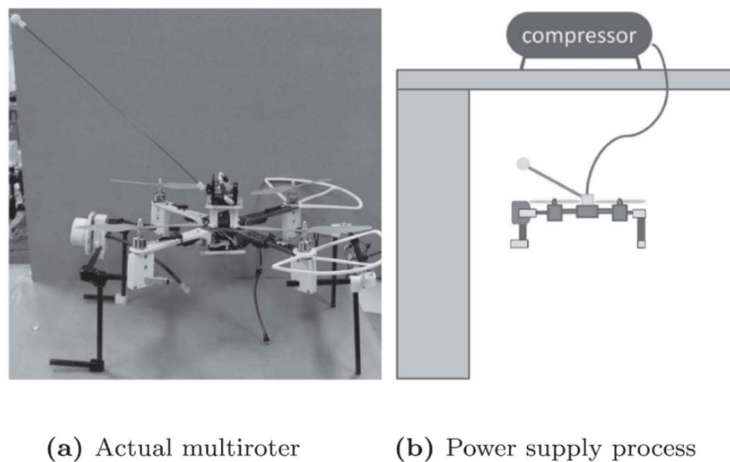


Fig.3 UVG による壁面吸着可能な打音検査用マルチコプタ

3. 研究の方法

<壁のぼりロボット^{[1][2]}>

回転型ロボットの回転機構には DC モータ、タイミングプーリとタイミングベルトを使用しており、各足が 360 度任意の方向に向けることができる。そのため、壁だけでなく床から壁、壁から天井を登ることが可能である。ロボット総重量は約 2.5kgf となった。UVG の理論リフト力は垂直壁面で約 4kgf のため、安全を考慮し、回転型ロボットは片足に 2 個、合計 4 個の UVG を搭載した。ロボットの制御にはマイコン (arduino) を用いており、電磁弁 (SMC 製 5 ポートマニホールドバルブ VQ1171Y-5M0-C4) の切り替えを行うことで、吸着、離着を行った。また、ロボットの操作はアナログスティック (sony 製 PS2 コントローラ) を用いて、手動で行った。詳細については文献^{[1][2]}を参照されたい。

<壁面吸着マルチコプタ^[3]>

本研究では、壁面吸着マルチコプタのため、UVG の壁面吸着力の向上について取り組む。マルチコプタの吸着形式は壁面吸着と天井面吸着の二通りが存在する。壁面吸着は、地面と垂直な面に対して吸着することから、垂直吊り下げとし、天井面吸着は、地面と水平な面に対して吸着することから、水平吊り下げとする。天井面吸着では、マルチコプタ重量による垂直荷重がスカート部に均等にかかる。一方壁面吸着では、垂直荷重モーメントによりスカートの下部に比べ、上部に荷重が大きく働く。このため天井面吸着と比べ、壁面では低荷重で吸着が困難となる。従来の真空吸盤において、吸着力の算出の際には、水平および垂直吊り下げで安全率 4 および 8 が用いられている。一方で UVG の垂直吊り下げにおける安全率は明らかとなっていない。そこで、UVG のスカート部の構造を検討し、安全率の策定に向けたデータ収集を行なう。詳細については文献^[3]を参照されたい。

<万能真空吸着グリッパによる超多品種ピッキングシステム^[4]>

本ロボットの全体像を図 4 に示す。図 4 右に示すようにロボットアームは片腕 5 自由度あり、最大リーチは 625mm である。また平行リンク機構を取り入れることにより、把持対象物を持ち上げる際、常に地面と平行を維持できる。ロボットの土台は陳列運搬を想定して全方向移動可能なメカナムホイールを採用する。ロボットハンドは、コンビニ内で多種多様な物を把持するため、図 4 左に示すように吸着面の直径が異なる真空吸着機構を搭載する。本ロボットでは転倒を防

止するため、足裏に吸着機構を装備した。また、自重補償並びにロボットを地面に固定できるため、重量物の把持搬送を安定して行える。さらに壁の作業において壁からの反力を軽減し、作業できる。

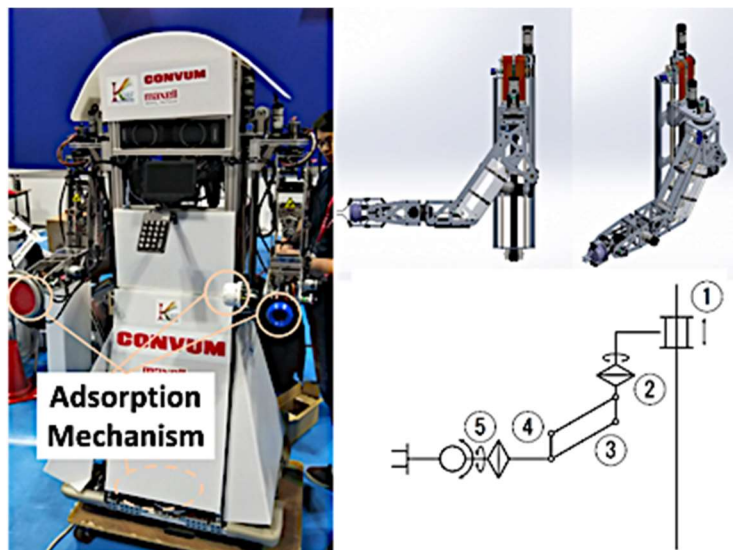


Fig. 4 Q-bot 外観 (左), CAD 図 (右上), 腕部自由度 (右下)

4. 研究成果

<壁のぼりロボット [1][2]>

回転型ロボットを用いて、床から壁、壁から天井への壁登り実験を行った。実験壁はモルタル壁、天井は凹凸がある石膏ボードである。天井を図 5(a), 壁登りの様子を図 5(b)(c)(d) に示す。実験の結果、床から壁、壁から天井の壁登りが可能となった。しかし、天井歩行中に落下した。これは天井の凹凸が約 1.3mm と深く、また板の継ぎ目からエアが流入したためと考えられる。また、天井に UVG を押当ててすることで、落下方向に反力が発生する。角度制御を行い、UVG のスカート部と天井面の平行を維持して押し付けるなどの吸着方法を検討する必要がある。

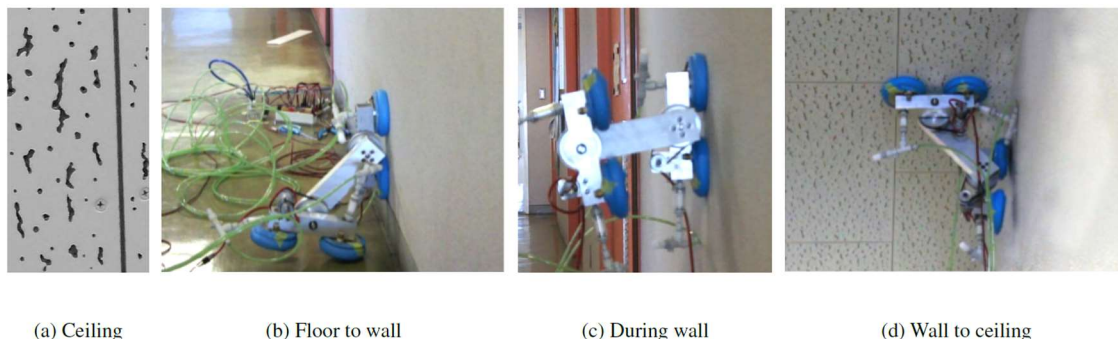


Fig. 5 Climbing test of the rotation type robot

<壁面吸着マルチコプタ [3]>

開発した壁面吸着用 UVG およびそれを搭載した打音検査マルチコプタを用いて、打音検査実験を行なった。詳細については [3] を参照されたい。Fig. 6 にマルチコプタによる打音検査の様子を示す。マルチコプタによる検査は、Fig. 6a のようにマルチコプタを壁面に吸着させ、打音を測定した。その際、打音球が亀裂をまたぐように壁面に吸着させた。このとき、打音球が壁面に押し当たるようにカーボンロッド角度を調節した。マルチコプタの打音検査は Fig. 6b のように、マルチコプタを飛行させながら壁に接近させ、プロペラを停止した状態で吸着する。その後、打診棒を左右に振ることで打音を発生させる。打音解析により剥離有無を判別可能なデータを取得できることを確認した。

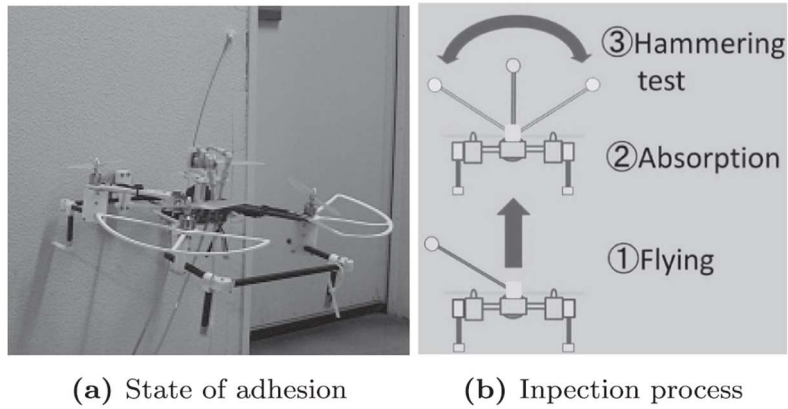


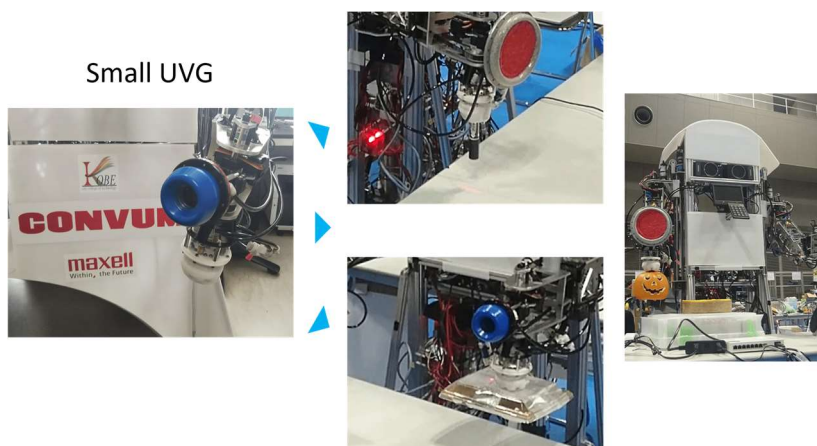
Fig. 6 Adhesion experiment of multirotor

<万能真空吸着グリッパによる超多品種ピッキングシステム⁴⁾>

開発した Q-bot を用いて WRS2018 FCSC に Extreme Q-ban Boys というチーム名にて参加した。競技に参加する者は自律的に移動して作業を行うことのできるロボットや、模擬店舗内に設置可能なインフラを開発する。競技会では各自設定した接客作業のデモンストレーションを行う。接客タスクにおけるデモンストレーションは次の通りを行う。Q-bot は始め、ホームに位置しラインを辿ってレジカウンター前まで移動する。また、ライントレースを行うためのラインはセッティングタイムに設置する。次にレジカウンターにお客が来るとロボットの前面ディスプレイに表示されたコマンドを見て、テンキーを押し、ロボットに要求に応じた把持運搬動作をさせる。接客デモの際、多品種を把持搬送する様子を図 7 に示す。



(a) 大型 UVG を用いた凹凸面を有するスーツケースの把持搬送



(b) 小型 UVG によるペン、カボチャ、弁当の把持搬送

Fig. 7 WRS2018 FCSC における接客タスクのデモンストレーション

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

〔学会発表〕（計 28 件）

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ：<https://sites.google.com/a/g.kobe-kosen.ac.jp/ts8/home>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

参考文献

1. 藤田政宏, 池田優, 清水俊彦, 池本周平, 宮本猛, Universal Vacuum Gripper を用いた壁登りロボットの開発, 第 21 回ロボティクスシンポジウム, やすらぎ伊王島, 2D3, pp.166-171, 2016. 3.17.
2. Masahiro Fujita, Suguru Ikeda, Toshiaki Fujimoto, Toshihiko Shimizu, Shuhei Ikemoto & Takeshi Miyamoto (2018) Development of universal vacuum gripper for wall-climbing robot, Advanced Robotics, DOI: 10.1080/01691864.2018.1447238
3. 中村 友哉, 藤本 敏彰, 岡田 宙士, 清水 俊彦, 池本 周平, 和田 明浩, 宮本 猛, 壁面吸着用 UVG に基づく打音検査型マルチコプタの開発, 計測自動制御学会論文集, 公開日 2018/04/20, Online ISSN 1883-8189, Print ISSN 0453-4654, <https://doi.org/10.9746/sicetr.54.440>
4. 松尾勇夢, 清水俊彦, 中井悠輔, 柿本将大, 澤崎佑基, 森義輝, 菅野天真, 池本周平, 万能真空吸着に基づく自重補償と転倒防止機能を有するヒューマノイドロボット, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-J03.

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。