

「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」

神戸市立工業高等専門学校 清水 俊彦

1 研究の背景と目的

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⁽¹⁾ または双腕型⁽²⁾ 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。

そこで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。図1に示すように、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。

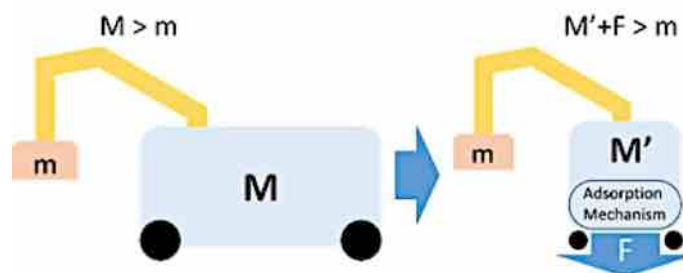


図1 吸着機構によるAGVの軽量化

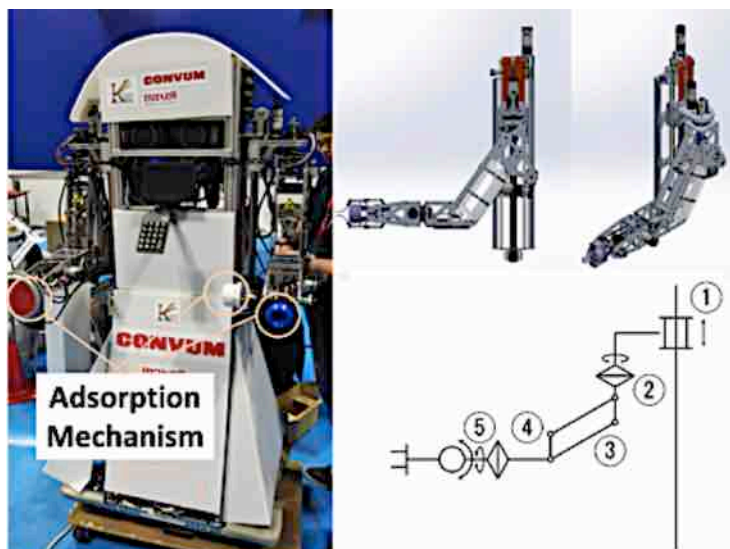


図2 Q-bot 外観 (左) , CAD 図 (右上) , 腕部自由度 (右下)

2 研究方法・研究内容

本ロボットの全体像を図 2 に示す。表 1 に主要寸法と搭載機器を示す。図 2 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 625 mm 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 2 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。

本システムの概要図を図 3 に示す。通信は ROS を用いる。PC と各 Arduino 間では rosserial を用いた。本システムは外部からの指示をテンキーを通して Ubuntu PC が受け取る。PC は受け取った情報を基に予め設定されていた関節角度や真空ポンプの ON・OFF 等の値を各 Arduino に送る。それと同時に音声合成ソフトを用いて、スピーカから行う動作について音声及び外部モニターで説明する。例えば「運搬します」と音声案内をした後、モニターには運搬中と表示させる。Arduino では PC から送られてきた値と各センサの値を比較し、モータドライバを駆動する。この一連の流れを行うことにより物体の把持運搬を行う。

表 1 Q-bot の主要仕様

Main Dimensions	Height: 1750mm, Width: 800mm, Depth: 560mm
Weight	80kg
Gripping Power	small-size: 2kg, large-size: 40kg
vacuum power to the ground	100kg
Joints	10axis (one arm: 5axis)
Tire	Mecanum wheel
External Input	Numeric keypad, Ubuntu PC, limit switch
External Output	speaker, motor
communication	ROSerial, I ² C, digital signal, analog signal
Sensors	gyrosensor, distance sensor × 6, line sensors × 3, pressure sensor × 2
Arduino	Arduino MAGA × 1, Arduino UNO × 2
Battery	lithium-ion battery × 3, DC24V5.5Ah
vacuum pump	TOPSFLO tx512 v12-8015 (-80kPa) × 9

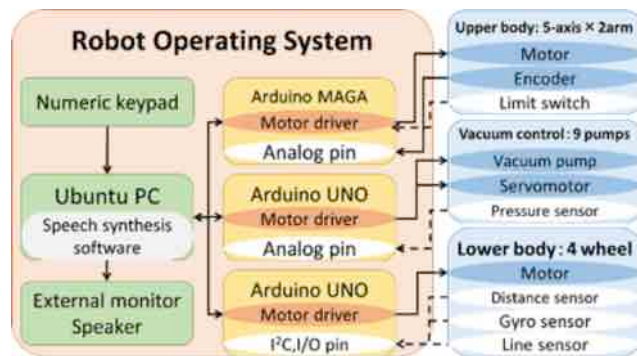


図 3 Q-bot 操作システム概要図

3 研究成果

3. 1 自重補償による重量物把持実験

図 4(a)の示すように Q-bot に滑車を付けワイヤによって荷物を支え、アームを使って荷物を固定する。実験方法は荷物をテーブルに乗せることを想定してアームを使い荷物を前に突き出す。この時、転倒防止グリッパの ON・OFF によって転倒するかを検証した。図 4(a)にモデル図を示す。転倒し始めた時を考える。つり合いより(1)式が成り立つ。 m は荷物の重量[kg], M は本体重量[kg], b はタイヤの軸間距離[m], f は転倒防止グリッパの吸着力である。(2)式を変形して a は(3)式で求めることができる。

$$Mg \times \frac{b}{2} + f \times \frac{b}{2} = mg \times a \quad (1)$$

$$a = \frac{Mb}{2m} + \frac{fb}{2mg} \quad (2)$$

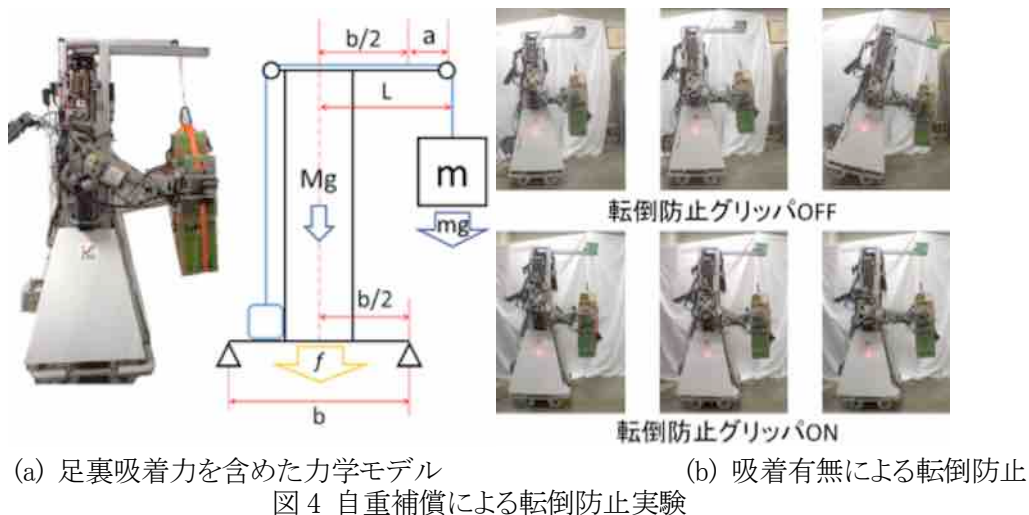
となり、転倒し始める距離 L [m] は(5)式で求めることができる。

$$L = \frac{b}{2} + a = \left(1 + \frac{M}{m} + \frac{f}{mg}\right) \frac{b}{2} \quad (3)$$

転倒防止グリッパを動作させない時: $M = 80$ kg, $b = 0.3$ m, $f = 0$ N で荷物 m が 30 kg とすると, $L = 0.55$ m となる。これは腕を最大ストロークまで伸ばすと転倒することを意味する。

図 4(b) に実験の様子を示す。腕を最大ストロークまで伸ばした時、転倒防止グリッパの OFF では転倒し、転倒防止グリッパの ON では転倒しない結果が得られた。それにより、本グリッパを用いることで転倒防止を出来ることを確認した。また、本グリッパなしに荷物を把持・運搬出来ない

ため、自重補償による運搬性能を向上も検証できたと言える。



3. 2 WRS2018 FCSC でのデモンストレーション

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、各参加者が開発したロボットやインフラを用いて、模擬店舗空間で各自設定した接客作業のデモンストレーションを行い、開発したシステムの新規性、有用性、実現可能性を競う。図 5(a) は模擬店舗内の見取り図である。

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、図 5(b) における①の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、テンキーを押す。ロボットに要求に応じた把持運搬動作をさせる。今回把持する対象と結果を表 4.1 に示す。また、図 4.3 ではワイン (720ml) を図 4.4 ではスーツケース (4kg) を把持に成功とき時を示す。ペットボトルが把持失敗の原因はペットボトルの蓋が UVG のリップ部内側に入り込むことができなかつた。その為、リップ部内側に密閉することができず空気が隙間からもれ規定の真空圧に達せず把持が失敗したと考える。

清掃タスクにおけるデモンストレーションを図 7 に示す。セッティングタイム中、Q-bot はホームに移動させ、インフラ設置可能エリアの全体にゴミ箱を設置した。図 5(b) における②のラインを辿ってトイレ前まで移動する。その後、持っていたモップを下ろし、モップを左右に動かしながら前進し、ゴミ箱に回収する。模擬尿の除去に関しては競技中一度リトライを行ったため、採点されなかつた。また、回収できなかった紙くずとトイレトーパーの芯についてはどちらも便器の奥側にありモップが届かず回収できなかった。

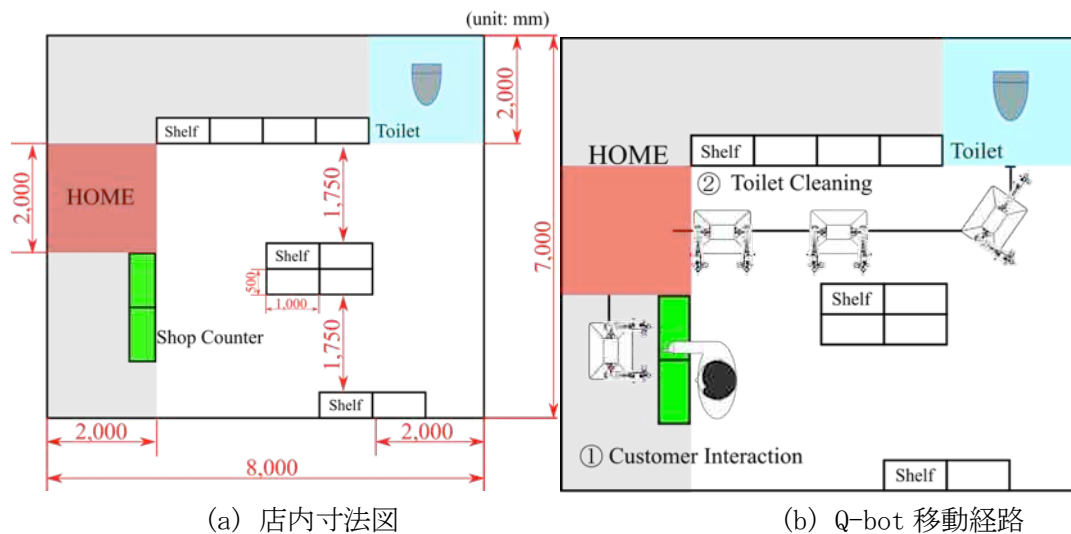
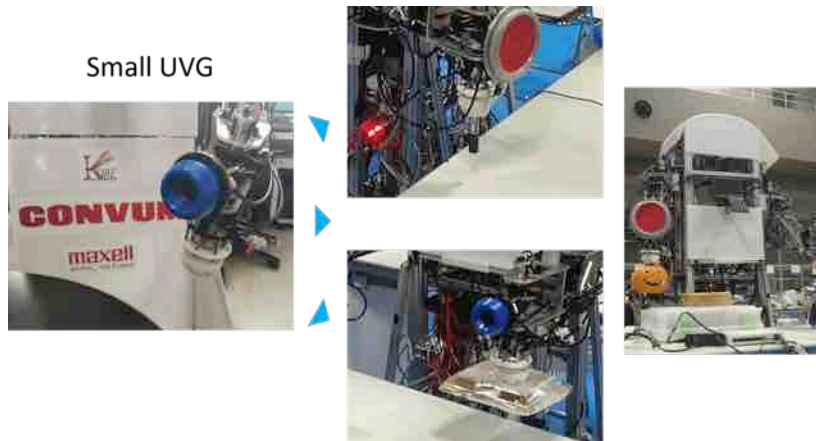


図 5 WRS2018 FCSC の接客および清掃タスクにおける Q-bot 戦略



(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

図 6 WRS2018 FCSC における接客タスクのデモンストレーション

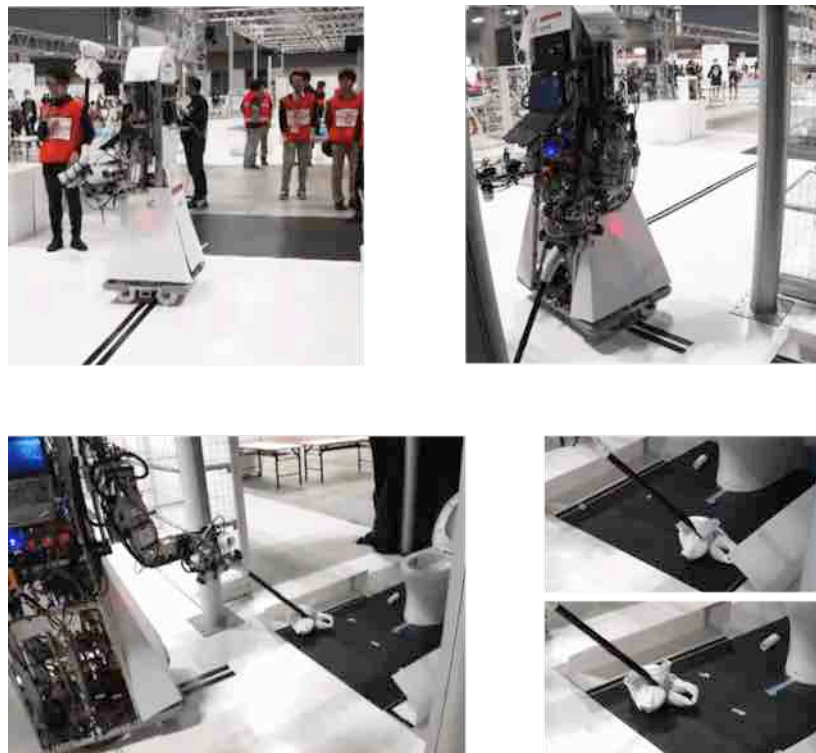


図 7 WRS2018 FCSC における清掃タスクのデモンストレーション

4 生活や産業への貢献および波及効果

FCSCで題材となったコンビニエンスストア、物流現場などの人材不足が深刻化し、ロボットの活躍が期待されている。この中で、本研究により開発した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は従来のロボットと比較して以下の特徴を有する。

- 自重補償機能により小型軽量ながら高重量物を把持搬送できる。
- 転倒防止機能により詳細な姿勢制御なしに直立を維持できる。
- 万能真空吸着グリッパと双腕型により多品種物体を把持搬送できる。

上記の特徴を活かし、以下のような場面で貢献が期待される。

- 重量物の把持搬送を行う日常的に行う業種（日通、ヤマト運輸など）
- 船舶業務など足場の不安定な状況で行う業務（上組の船舶運輸など）
- 物流現場など多品種の物体を把持搬送する業務（アスクル、自動車ラインなど）

波及効果として多様な状況での物体把持搬送が実現できることで、WRS 2018 で取り上げられたような異なる分野においても活用が期待される。

- カボチャなど重量があり異形物を把持搬送する必要がある業務（農業）
- 災害現場など足場が不安定で把持搬送する必要がある業務（レスキュー）
- 教育現場などより多様性に富んだ環境での作業（書類整理、子供の教育など）

こうした波及効果を生み得る研究課題となったと考えられる。今後よりシステムの完成度を向上し、上述した業務に適用できるシステムとなるよう研究開発を進める所存である。

参考文献

- (1) 古賀 達也, 青木 豪, 沖 賢太郎, 井尻 善久, 藤吉 弘亘, 橋本 学, FCSC 大会に向けて, ROC2 チーム (オムロン, 中部大学, 中京大学) の取り組み, 公益社団法人 計測自動制御学会, 2018 年 57 巻 12 号 p. 878-882
- (2) 矢口 裕明, 溝花 弘登, 堀 慎太郎, 笹淵 一宏, 長濱 虎太郎, 稲葉 雅幸, コンビニエンスストアを題材とした陳列廃棄における認識・動作計画手法と接客のための合意形成手法, 公益社団法人 計測自動制御学会, 2018 年 57 巻 12 号 p. 883-886