

# インフレタブルロボットアームによるピックアンドプレイス作業の実現

Realization of Pick and Place Operations by an Inflatable Robotic Arm

○ 多田羅僚介 (九大)      河村 晃宏 (九大)  
正 倉爪 亮 (九大)      正 川村 貞夫 (立命館大)

Ryosuke TATARA, Kyushu University, tatara@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp  
Akihiro KAWAMURA, Kyushu University  
Ryo KURAZUME, Kyushu University  
Sadao KAWAMURA, Ritsumeikan University

This paper presents an overview of pick and place operations performed by an inflatable robot. The inflatable robotic arm is composed of inflatable links and pneumatic bag actuators. This technology is expected to be applied to service robots working in human daily life, since the robotic arm has many advantages such as lightness, softness and safety. The pick and place tasks are realized by both pressure and visual feedback controls. The usefulness of the robot is demonstrated by several real world experiments.

**Key Words:** Soft robotics, Inflatable robot arm, Visual feedback control

## 1 緒言

近年の急速な高齢社会の進行に伴う、福祉・介護分野の人材不足問題の解決策として、サービスロボットの活用が期待されている。これらの分野は、人や物との頻繁な接触を伴う作業もしくは人の近傍で行う作業が多く含まれ、安全なロボットが必要とされている。しかし従来のロボットの多くは、金属素材が用いられており、高速・高精度・高出力を実現している一方、剛性が高く、接触時における安全性を担保することが困難であった。そこで我々の研究グループでは、インフレタブル構造のソフトロボットに着目し、極軽量・柔軟なロボットアームの開発を進めてきた。本ロボットは、リンク、アクチュエータ、関節、ハンドの全てがプラスチック材料から作られており、各関節の内外に拮抗的に配置した膨張型アクチュエータの差圧によって関節トルクを発生し、駆動する。

本研究では、インフレタブルロボットアームにより、幅広い生活支援サービスの実現を目指す。そのため本稿ではまず、従来のインフレタブルロボット制御則<sup>[1]</sup>に圧力フィードバックを付加し、運動制御の高精度化を行い、モーションキャプチャシステムを用いた視覚フィードバック制御によるピックアンドプレイス作業の実現を行う。

## 2 インフレタブルロボットアーム

本ロボットは、3自由度インフレタブルロボットアームの手先にプリーツ構造のロボットハンドを取り付け製作した。開発中の本ロボットの概観を図1に、プリーツ構造のロボットハンドの開閉時の画像を図2示す。プリーツ構造とは、片面にのみ折り込み加工が施された袋状の構造のことである。加圧時、折り込み部分の膨張率が他の部位よりも大きいため、袋全体が屈曲するような動作を行うことが可能となり、物体把持が可能になる。ロボットハンド部分には、反射マーカが取り付けられており、光学式モーションキャプチャシステムによって、手先位置・姿勢が計測可能となっている。本ロボットアームは、インフレタブル構造のリンク、膨張型アクチュエータ、鉛直平面内回転台座で構成され、台座を除くアーム及びハンド部分の総重量は170[g]と、従来のロボットに比べて大幅な軽量化を実現している。リンクは内圧により円筒状に膨張することで一定の剛性を保ち、アクチュエータは高密度ポリエチレンを溶着して作られた袋状構造物を5個ないし6個重ねて構成される。また、各アクチュエータには圧力センサが搭載されており、圧力フィードバック制御が可能である。

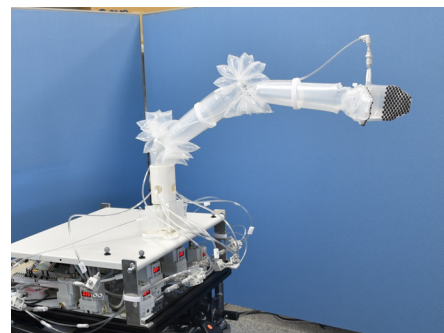


Fig.1 Inflatable robotic arm

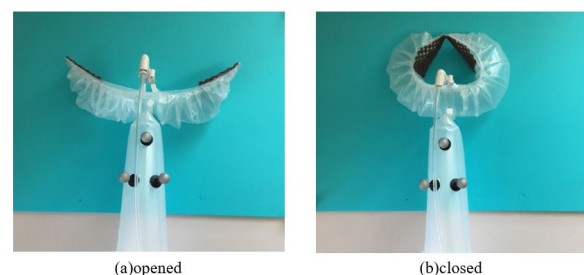


Fig.2 Robotic hand with pleated structure

## 3 制御則

本研究では、圧力フィードバック制御と視覚フィードバック制御を組み合わせ、手先位置の制御を行った。

### 3.1 圧力フィードバック制御

レギュレータとアクチュエータは内径4[mm]、長さ数[m]の細いチューブで接続されており、アクチュエータ自体は約200[mL]の体積を持つ。そのため、チューブの入口圧力と出口圧力には時間遅れにより誤差が生じ、レギュレータの標準流量による加圧では流量不足になる場合がある。また、レギュレータは一般に、工場出荷段階でゲインや感度などの個体差を高精度に揃えるのが難

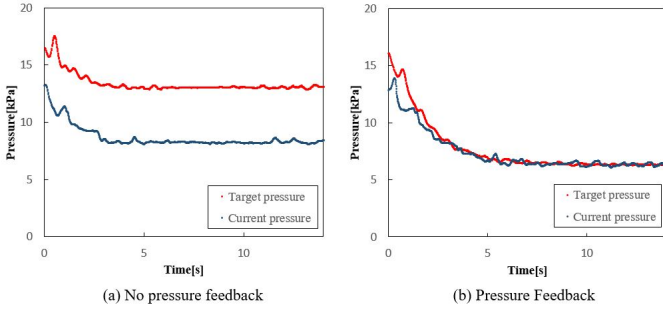


Fig.3 Transient responses of pressures

しく、定常応答に振動が生じる場合（ハンチング）や、目標圧力に対して数 kPa 程度の定常偏差が生じる場合がある。

本研究ではこれらの問題を解決し手先位置制御の高精度化を図るため、圧力フィードバック制御則が下記の通り、PID制御を用いた式で表される。

$$P = K_P e_P(t) + K_I \int e_P(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e_P(t) \quad (1)$$

ただし、空気圧の制御偏差  $e_P(t)$  は、次式で表される。

$$e_P(t) = P_d - P_s \quad (2)$$

$P = (P_{o1}, P_{o2}, P_{o3}, P_{o4}, P_{o5}, P_{o6})^T$  : 目標圧力値の補正成分

$P_d = (P_{d1}, P_{d2}, P_{d3}, P_{d4}, P_{d5}, P_{d6})^T$  : 目標圧力値

$P_s = (P_{s1}, P_{s2}, P_{s3}, P_{s4}, P_{s5}, P_{s6})^T$  : 圧力センサ値

$K_P, K_I, K_D$  : 比例ゲイン, 積分ゲイン, 微分ゲイン

### 3.2 視覚フィードバック制御

本ロボットには、エンコーダ等のセンサ類は一切搭載されておらず、外部に配置したモーションキャプチャシステムから手先位置と各関節角度を推定し、視覚フィードバック制御により手先位置を制御している。ハンドの把持中心位置は、第3リンク上の3つの反射マーカから得られる位置・姿勢情報を基に計算する。

本手法では、目標位置と手先位置の差分と手先位置に関するヤコビ行列を用いることで目標トルクを計算している。

$$\tau_d = \mathbf{J}^T(\theta) \left\{ L_P e_V(t) + L_I \int e_V(t) dt + L_D \frac{d}{dt} e_V(t) \right\} \quad (3)$$

ただし、手先位置の制御偏差  $e_V(t)$  は、次式で表される。

$$e_V(t) = \mathbf{r}_d - \mathbf{r} \quad (4)$$

$\tau_d = (\tau_{d1}, \tau_{d2}, \tau_{d3})^T$  : 各関節目標トルク

$\mathbf{J}^T(\theta)$  : ヤコビ行列の転置行列

$\mathbf{r}_d = (x_d, y_d, z_d)^T$  : 目標位置

$\mathbf{r} = (x, y, z)^T$  : 手先位置

$L_P, L_I, L_D$  : 比例ゲイン, 積分ゲイン, 微分ゲイン

トルクと圧力の関係式は予備実験から得られており、次式の変換式により目標圧力が求められる。

$$P_d = \mathbf{A}^{6 \times 3}(\theta) \tau_d \quad (5)$$

$\mathbf{A}^{6 \times 3}(\theta)$  : トルク-圧力変換行列

$\theta$  : 第  $i$  リンクの延長線上と第  $i+1$  リンクとのなす角

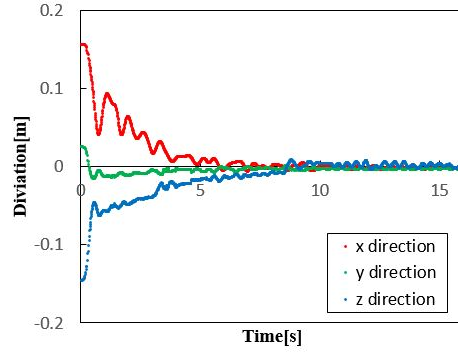


Fig.4 Transient responses of position of the robotic hand

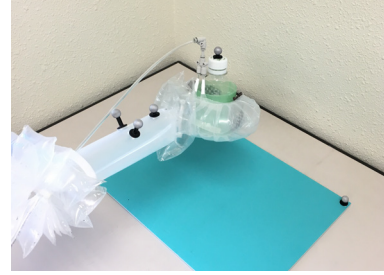


Fig.5 Robotic hand grasping object

## 4 実機実験

### 4.1 圧力フィードバック制御

図3に、ロボットアームの手先を視覚フィードバック位置制御した際のレギュレータの目標圧力値と圧力センサ値の時間推移を示し、圧力フィードバック制御の有無の比較を行った。

図3(a)では約5[kPa]の定常偏差が残っているが、図3(b)では、圧力フィードバック制御によって目標圧力値に対して十分に追従させることができています。圧力フィードバック制御により、空気圧の誤差による予期せぬ手先の運動や、耐圧値を超える圧力の印加によるアクチュエータの破損を防ぐことも可能となる。

### 4.2 視覚フィードバック制御

図4に圧力フィードバック制御を組み込んだ視覚フィードバック制御の手先位置の誤差の時間推移を示す。

図4から、手先位置を目標位置に収束できていることが確認できる。

### 4.3 ピックアンドプレイス作業

本構成のロボットアームは、最大200[g]のペットボトルを把持、指定位置に再度配置することができる。図5に物体把持中のロボットアームの様子を示す。本作業の詳細については、本会で発表予定である。

## 5 結言

本稿では、圧力フィードバック制御を組み込むことで、安定な視覚フィードバック位置制御を可能にした。また、本制御手法を用いることで、ピックアンドプレイス作業が可能となることを確認した。今後は、圧力センサを感覚機能として用い運動性能を向上させ、広範囲の作業タスクの実現を目指す。

## 謝辞

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)(課題研究 JP15H03952)の交付により行われたものである。

## 参考文献

- [1] 金慧鍾, 堀池幸佑, 西岡靖貴, 河村晃宏, 川村真夫 “軽量柔軟インフレイタブル・ロボットアームのセンサフィードバック制御”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 3P1-W03, 2014.