

# 博士論文要旨

## 論文題名：インフレータブルロボットアームの 機構設計と制御

立命館大学大学院理工学研究科  
機械システム専攻博士課程後期課程

キム ヘジョン

KIM Hyejong

近年、福祉、医療、家庭内、エンタテインメントロボットなどの新たな分野でロボットの利用が拡大している。人と同じ空間で動作するロボットに要求される最も重要な条件は安全性である。この論文は、人間の安全を確保するために、柔軟で軽量な多関節ロボットアームの実現方法として、インフレータブル構造に焦点を当てる。インフレータブルロボットアームが実現できれば、従来の産業用ロボットと同様の直列リンク構造を有するため、産業分野での活も期待される。しかし、現在のインフレータブルロボットアームは、これらの要求に十分に対処できる動作速度及び位置決め精度を有していない。そこで、本論文では高速で高精度な位置決めを実現可能なインフレータブルロボットアームの機構設計法と制御法を提案する。

この論文では、高速運動と高精度位置決めに適したインフレータブルリンク構造を提案する。次に、ロボット全体を軽量化するために空気圧バッグアクチュエータを設計/製作する。このアクチュエータの出力トルク特性を記述可能なモデルを明確にし、このモデルをロボットの運動制御に用いている。また、この論文ではロボット関節のねじれを防止するプラスチック関節固定具を考案する。その結果、この関節固定具がロボットの動作再現性を効果的に改善することを実験的に確認する。さらに、運動時の振動抑制のために、回転式可変粘度効果器 (r-VVE) が提案される。速度信号を r-VVE にフィードバックすれば、関節に粘性効果が実現できることを実験的に証明する。運動制御に関して本論文では、ユーザが直感的にインフレータブルロボットを操作できるように、ジョイスティックを用いた手動制御方式を提案する。また、インフレータブルロボットアームに適した相対位置誤差に基づく視覚サーボ (RPEVS) を提案する。提案された RPEVS によって制御された 2DOF インフレータブルロボットアームでは 1mm 以下の位置精度、また 3DOF インフレータブルロボットアームは約 2mm 程度の位置精度を達成できることを実験結果から実証する。

# Abstract of Doctoral Thesis

## **Title: Mechanical Design and Control of Inflatable Robotic Arm**

Doctoral Program in Advanced Mechanical Engineering and Robotics  
Graduate School of Science and Engineering  
Ritsumeikan University

キム ヘジョン

KIM Hyejong

Recently, the use of robots is expanding in new fields such as welfare, medical, in-home and entertainment. The most important condition required for a robot operating in the same space with people is safety. This thesis focuses on the inflatable structure as a method to realize flexible and lightweight multi-joint robotic arms to ensure human safety. As the inflatable robotic arm has a serial link structure similar to that of conventional industrial robots, it is also expected to be usable in the industrial fields. However, current inflatable robotic arms have not the motion speed and positioning accuracy to sufficiently cope with these requirements. Therefore, this thesis proposes mechanism design and control methods of inflatable robotic arms which can realize high speed and high precision positioning. This thesis proposes an inflatable link structure suitable for high speed motion and high precision positioning. Next, in order to reduce the weight of the entire robot, a pneumatic bag actuator is designed and manufactured. A model capable of describing the output torque characteristic of this actuator is clarified, and this model is used for motion control of robot. This thesis proposes a plastic joint fixture to prevent twisting of the robotic joints. As the result, it is experimentally confirmed that this fixture effectively improved robot motion repeatability. Furthermore, a rotational variable viscosity effector (r-VVE) is proposed to suppress vibration. It is experimentally proven that the viscous effect can be realized on the joint by feeding back velocity signal to r-VVE. Regarding motion control, this thesis proposes a manual control method using a joystick so that the user can intuitively operate the inflatable robot. In addition, visual servo (RPEVS) based on relative position error suitable for inflatable robotic arms is proposed. The proposed RPEVS experimentally demonstrate that the 2DOF inflatable robotic arm and the 3DOF inflatable robotic arm can achieve a position accuracy of 1 mm or less and about 2 mm, respectively.