

# 博士論文要旨

## 論文題名：可変弾性機構に基づく

## 柔軟関節ロボットアームの実現

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

フリガナ マツサカ ケント  
氏名 松阪 憲人

昨今、産業分野等の多関節ロボットアームに対し、組み立て作業など環境と機械的に接触する作業が切望されている。このため、環境と接触・衝突しても、ロボット自体や環境を破壊しない関節の柔軟性が必要と考えられる。また、関節が柔軟であれば、重力などの効果を利用して、エネルギー効率の高い運動の生成が期待できる。

一方、現在の産業分野で一般的に利用される多関節ロボットアームは、モータの高出力トルク化やエンコーダの高分解能化のために、駆動モータに高減速比ギアが取り付けられている。このため、関節の静止摩擦、クーロン摩擦、機械粘性が増大し、関節の柔軟性は損なわれている。その結果、ロボットが環境と機械的に接触する場合に問題が発生することが多い。

そこで、本論文では、まず関節柔軟化のために、小型/軽量で可変弾性機能を有する新しい可変弾性機構を提案する。提案する機構は、正から負まで弾性を調節できる長所を持つ。本論文では、この提案機構のモデル化を示し、負の弾性値の利用方法などを実験的に検証する。また、多様な作業を実現するためには、弾性の平衡点も変化できることが望ましい。そこで、この提案機構を拮抗駆動させ、弾性の平衡点と弾性値を同時に調整可能な構造と制御法を開発し、その制御性能を実験的に示す。

ロボットの柔軟関節に期待される特徴の一つは、機械的弾性要素や重力のポテンシャルエネルギーを利用した高エネルギー効率の運動生成である。そこで、本論文では弾性や重力のポテンシャルエネルギーを利用した産業用ロボットの作業の高エネルギー効率化を実証する。具体的には、実際の工場で利用されるピック&プレイス作業や重力影響下でのパレタイジング作業について、エネルギー効率を高める制御法を提案する。提案した制御法によって、高エネルギー効率のピック&プレイス作業とパレタイジング作業が実現可能であることを実験的に示す。

# Abstract of Doctoral Thesis

## **Title: Realization of flexible joint robot arms based on variable elastic mechanisms**

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

マツサカ ケント  
MATSUSAKA Kento

Recently, various industrial fields have required mechanical contact tasks to be performed by multi-joint robot arms in an assembly environment. Therefore, it is believed that flexible robot joints are necessary to avoid damage to a robot or its surroundings in the event of mechanical contact or collision. Moreover, if robot joints are flexible, it is expected that highly energy-efficient motion can be generated using the effects of gravity.

In contrast, the current general multi-joint robot arms used in industry employ drive motors with high-reduction gears to increase the motor torque and improve encoder resolution. Because high-reduction gears cause static friction, Coulomb's friction and mechanical viscosity, the flexibility of the robot joints is lost. As a result, when robots mechanically contact their surroundings, serious problems often occur.

To achieve flexible robot joints, this dissertation proposes a new, small, and lightweight mechanism with a variable elasticity function. The proposed mechanism has the advantage of realizing both positive and negative elasticity. This dissertation constructs a mathematical model of the proposed mechanism and experimentally verifies the method of utilizing negative elasticity. In addition to adjustable elasticity, the equilibrium position should be adjustable in order to perform various tasks. Therefore, this dissertation develops a mechanism that can simultaneously tune the elasticity and equilibrium position by using the proposed mechanisms antagonistically. Furthermore, it proposes a control method and experimentally confirms the control performance.

Another expected feature of flexible robot joints is that highly energy-efficient motion will be generated by utilizing the potential energy of a mechanical elastic element and gravity. This dissertation demonstrates control methods that improve the energy efficiency of pick-and-place and palletizing tasks under gravity in actual factories. Furthermore, it experimentally verifies that the proposed methods achieve these tasks in an energy-efficient manner.