

# 先端が柔軟な指単独および指一対による器用な物体操作

Pham Thuc Anh Nguyen (ファム トウ アン ヌエン)

現今、工場の自動化ラインには、製造効率や製品の品質を向上させ、また安全性や健康を脅かす困難な仕事から人間を解放するために、多数のロボットが投入されている。しかし、人が日常生活で行う作業、たとえば、物を手に持ち、箱につめる、窓を拭く、といったあるレベルの器用さと多才性を必要とする作業を実行するには、現今の多関節ロボットや多指ロボットハンドは未だ不器用である。この不器用さは、ロボット作業に関する全体システムのダイナミクスの定式化や、センシングから関節モータ制御に至る有効なフィードバック経路の設計に関する我々の知識が未だ限定されていることに起因する。

本論文の目的は、人間の指のように、環境と相互作用しつつ対象物体を操作できる器用さと柔軟性を種々の指ロボットに実現することである。二つの基本問題、1) ダイナミクスの数学モデルの導出、および2) センソリーフィードバック制御則の設計、を解く。本論文で扱う指ロボットの顕著な特徴は、指先が柔軟かつ変形する材料で覆われていることであり、従って、それらは対象物体や周囲の環境に面接触で柔らかく相互作用できることである。本論文は二つの主要部から成る：1) 1自由度あるいは多自由度の柔軟指ロボット単独と固定した対象物体との相互作用の力制御、2) 柔軟な先端部をもつ多自由度の指二本による安定把持と物体操作。

第一部では、指先の復元力特性が非線形になることを指摘し、従来は線形システムに対してのみ用いられたインピーダンス制御法を拡張し、指定した接触力を実現させる方法を与える。

第二部では多自由度の指<sup>2</sup>本が物体操作を行うときの全体のダイナミクスを導き、面接触による拘束条件下のもとで行う物体操作のシミュレーション法を確立する。また、非線形かつ拘束条件をもつこのような複雑なシステムにも、物体の回転角が測定できれば、種々のセンソリーフィードバック経路があり得ることを示す。更に、これらのフィードバック則の線形的な重ね合せが有効になり、物体の動的な安定把持とともに、姿勢や重心位置の制御が同時に実現できることを示し、様々な条件下で行ったコンピュータシミュレーションで確認する。