

# 導電布を用いた近接・接触センサに基づく 可変剛性リンクの圧力制御

○石原真奈（立命館大学） 松野孝博（立命館大学） Kaspar Althoefer（Queen Mary University of London） 平井慎一（立命館大学）

## 1. はじめに

近年、規則 [1][2] で人とロボットが同じ領域で作業する協働ロボットが認められた。柵や囲いなどで人と分離する必要はなく、人とロボットの空間を共有しつつ作業を進めることができる。ただし、現在の規則においても作業者の安全の確保は必要である。

現在、協働ロボットの安全装置として距離センサ [3]、力センサ [4]、LRF センサ [5] などがある。これらのセンサを用いることで人や物体の接近および接触を検出し、危険状態を回避する。また近年、協働ロボットの安全性を高める方法として、協働ロボットにソフトロボットを導入することが提案されている。ソフトロボットの一つとして可変剛性リンク（Variable Stiffness Links）が開発されている [6]。可変剛性リンクは、布層とシリコン層で構成されたリンクであり、円筒の中空構造である。円筒内部に加える空気圧を変化させることで、リンクの剛性を変えることが可能である。協働ロボットに使用することで、人や物体との近接・接触時に、剛性を下げることができ、安全性が確保される。

距離センサ、力センサ、LRF センサには、様々な問題がある。距離センサは至近距離で作業ができないという欠点を持つ。また、力センサは人や物体が触れないと反応しない。さらに、LRF センサは死角が発生する。したがって作業に支障がなく、人や物体が接触する必要もなく、死角も発生しないセンサが求められている。

ソフトロボットにセンサを組み込む場合、剛体のセンサを導入することが難しい。可変剛性リンクに剛体のセンサを取り付けた場合、リンクの剛性にかかわらずセンサ部が硬いため、本来の目的である安全の確保が困難になる。よって、剛性の変化に対応できる安全装置が必要となる。本発表では、可変剛性リンクに適した近接・接触センサの開発について述べる。

## 2. 近接・接触センサ

### 2.1 近接・接触センサの測定原理

本研究で使用する近接・接触センサは、電極と人や物体の間に発生する静電容量を計測する [7]。本研究では、可変剛性リンクに取り付けるため、柔軟性のある導電布を電極として静電容量を計測した。

### 2.2 計測方法

何も触れていない状態の静電容量を基準値として設定し、基準値より大きくなった時を近接、さらにあらかじめ定められた閾値を超えた時を接触とする。

基準とする静電容量は、温度や湿度などの環境要因によって変化しやすいので、適切な近接判定をするた

めには基準値の更新が必要である。直近の計測データの分散を調べ、閾値以下であれば、その平均値を新たな基準値とする。

### 2.3 リンクの角度補償

リンクの姿勢により静電容量が変化するため、定数の基準値では近接判定は難しくなる。そこで、図1のように過去の計測値を静電容量の関係にまとめる。図2のように関数にフィッティングし、リンクの姿勢に合わせて基準値を変更する。その関数から大幅にずれた場合を近接・接触と判定する。

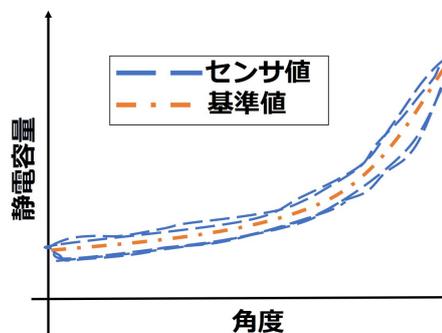


図1: 基準値設定

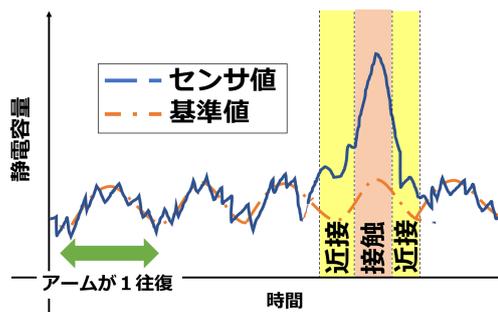


図2: 計測時の判定方法

## 3. 可変剛性リンクの圧力制御

### 3.1 圧力制御方法

本研究の圧力制御方法について説明する。使用したシステムを空気関連と制御関連にまとめてそれぞれ図4(a)と図4(b)に示す。

まず、目標圧力を図4(a)にあるレギュレータで設定する。基本の動作は、可変剛性リンクに空気を入れた

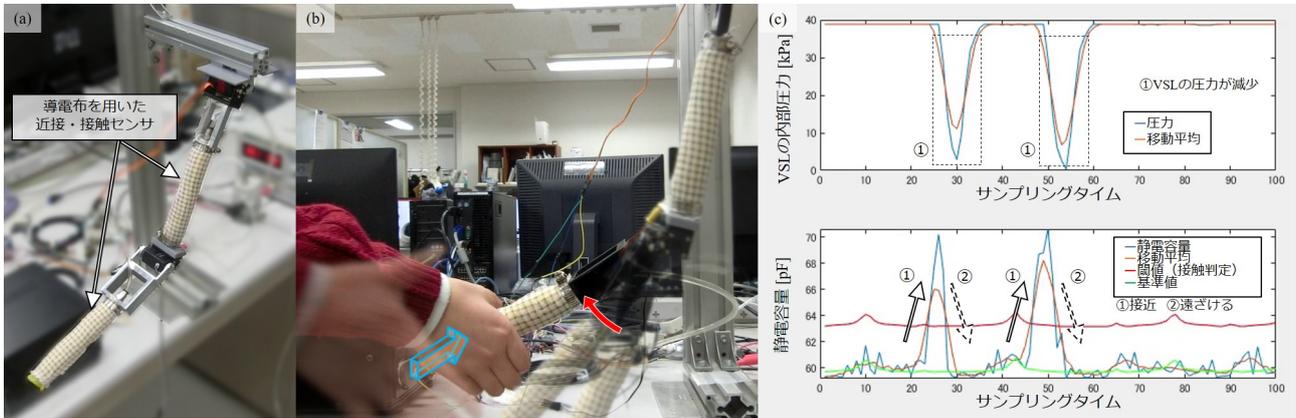


図3: 可変剛性リンクの圧力制御 (a) 導電布を用いた静電容量式近接・接触センサを2軸2リンクの可変剛性リンクに導入 (b) 可変剛性リンクに手を接近させる (c) (b)の時の圧力と静電容量の関係

状態で図4(b)のサーボモータも動作させる。図4(b)の導電布と静電容量評価モジュールを組み合わせた近接・接触センサで物体や人を検知した場合に、電磁弁を閉じ減圧する。また、サーボモータの動作も停止する。物体や人が離れた時に電磁弁を開放し、目標圧力を一定に保つ。サーボモータの動作も復帰する。

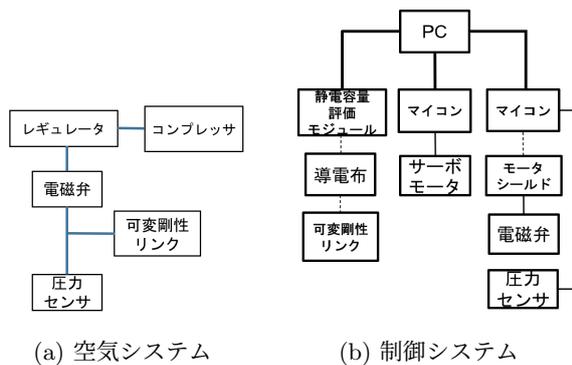


図4: 本実験で使用したシステム

### 3.2 動作実験

実際に3.1節の圧力制御を用いて可変剛性リンクの手先のリンクを制御した。可変剛性リンクから手を離すと静電容量が減少し、同時に圧力も増加する。一方、図3(b)に示すように、手が近づくと静電容量が増加する(図3(c))。なお、手でリンクを握りしめてからリンクの圧力が減少するまで約0.8秒かかった。

## 4. おわりに

本稿では、導電布を用いた近接・接触センサを可変剛性リンクに導入した。実験結果から、静電容量によって可変剛性リンクの圧力が変化することが確認できる。よって、可変剛性リンクは人または物体が近づいた時に圧力を減少でき、安全性を保つことができる。

本稿での近接・接触検知の導入は手先のリンクのみであった。今後は根本のリンクを動作させ、それぞれのリンクの静電容量測定に影響が出るのか検証する予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H00333 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] “平成 25 年 12 月 24 日付基発 1224 第 2 号 通達”, <https://www.jaish.gr.jp/horei/hor1-54/hor1-54-62-1-2.pdf>
- [2] ”ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices - Collaborative robots”, <https://www.iso.org/standard/62996.html>
- [3] E. Kim, Y. Yamada, S. Okamoto: “Improvement of safety integrity level by multiplexing radio wave sensors,” in Proceeding IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Taiwan, December 11-14 2017.
- [4] 韓天実, 舟洞佑記, 道木慎二, 道木加絵: “面状圧力センサを配置した人間協調ロボットの圧力情報に基づく制御による人体への安全性確保”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2016 巻, 2016.
- [5] 伊藤琢也: “ヨーロッパのロボット向けセンサと安全の考え方”, 日本ロボット学会誌, Vol. 29 No. 9, pp. 789-791, 2011.
- [6] A. Stilli, L. Grattarola, H. Feldmann, H. A. Wurdemann and K. Althoefer: “Variable Stiffness Link (VSL): Toward inherently safe robotic manipulators,” in Proceeding IEEE International Conference on Robotics and Automation, Singapore, May 29 June 2, 2017.
- [7] M. Ishihara, T. Matsuno, K. Althoefer and S. Hirai, “Stiffness Control of Variable Stiffness Link Using a Conductive Fabric Based Proximity Sensor,” in Proceeding 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Japan, January 11-14, 2021.
- [8] T. Matsuno, Z. Wang, K. Althoefer, and S. Hirai: “Adaptive Update of Reference Capacitances in Conductive Fabric Based Robotic Skin,” IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 4, Issue 2, pp. 2212-2219, April 2019.