

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656164

研究課題名(和文)ファブリック素材だけからなる柔軟機構の制御と設計のためのモデリング

研究課題名(英文)Modeling of Soft Mechanism Only From Fabrics for Control and Design

## 研究代表者

長谷川 晶一 (HASEGAWA, SHOICHI)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：10323833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、柔らかく人に好まれる触感を持つファブリック材料だけからなる機構を対象とした。この機構は分布型の冗長機構ではあるが、外力が小さい場合には、糸長から姿勢が定まることを利用し、糸長と機構姿勢の対応表を用いた位置制御手法を提案した。外力計測手法を開発しコンプライアンス制御を実現した。コンプライアンスを変えることで、提案機構を用いたぬいぐるみロボットの印象が変化することを確かめた。また、回転3自由度を持つ新規機構を提案した。

研究成果の概要(英文)：This research aims to design and control flexible fabric mechanisms who have good touch feel.

Though the mechanism is distributed redundant mechanism, the posture of the mechanism depends only on the length of string when the external forces are small. With a map between length of strings and the posture of the mechanism, the position control is realized. An external force measurement method is proposed and a compliance control is realized. We also confirmed that user's impression to the robot, when they move the arm, are changed by changing the compliance. A new 3DOF rotation mechanism is also developed.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：ヒューマンインタフェース 柔軟機構 ファブリック テキスタイル ヒューマンロボットインタラクション

### 1. 研究開始当初の背景

近年、コミュニケーション等を目的として、ぬいぐるみや人や動物の皮膚のような外観、触感をもつロボットが開発されている。しかしこれらは、外皮として柔軟な材料を用いているだけであり、効果器や動力の伝達には硬い材料からなる機構を用いている。このような機構は一見柔軟に見えるが、実際に触れてみると芯は固く、関節に指を挟むといった事故も起こり得る。機構全体を柔軟なファブリックで作ればこのような問題は起こらない。固い部材がないためリンクが折れるなどの破損も起こりにくく、軽く壊れにくい機構を作ることができる。柔軟機構の研究もなされているが、エネルギーの蓄積や可動軸にコンプライアンス性をもたせるためのものが多い。柔軟物を構造として用いたものには、液体を詰めた袋を構造として利用するもの[東工大 木村、伊能ら]や McKibben 型人工筋肉や空気圧を用いたもの[岡山大 鈴木ら]があるが、クッションやぬいぐるみのような触感を持たせたものは見つからない。SMA・ゲルアクチュエータのようにアクチュエータ自体を柔軟にする研究もあるが、本研究は構造と力の伝達に注力しアクチュエータは既存のものを使用する。

### 2. 研究の目的

本研究は、衣服や寝具などのように柔らかく人に好まれる触感を持つ材料だけからなる機構について、その設計、製作、制御手法の確立と、そのための機構のモデルの構築を目的とする。

近年、コミュニケーションや介護などの目的に、機械やロボットが人の生活空間で活躍することが期待されている。このような機械やロボットの機構は、人に親和的な質感で触感が良く、人が触れることを望むような材質であることが望まれる。

布に綿(わた)を詰めて糸を通してモータ等で引くと綿が縮むが、配置や通し方により様々な動きを作ることができる。本研究は、古来人が着衣や寝具として利用してきたファブリックによる機構を可能にすることで、人に親和的な機械やロボットを実現する。

### 3. 研究の方法

ファブリックだけからなる柔軟機構が一般に使われるようになるには、所望の運動や機能を実現できるようにする必要がある。そのためには、機構の制御法と設計法の確立が求められる。

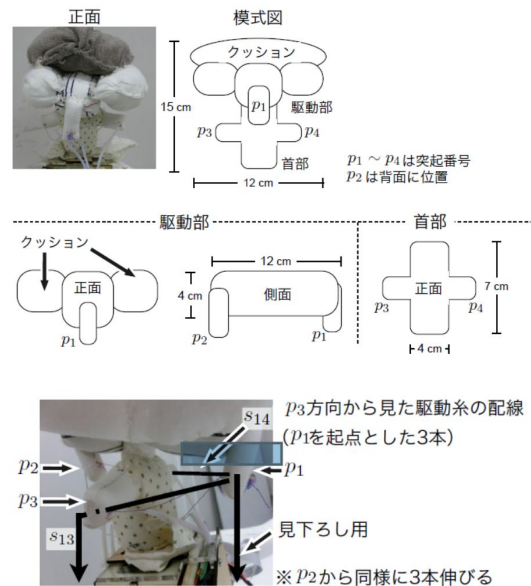
柔軟機構では、力の釣り合いにより姿勢が決まる。駆動力は駆動糸を設置した箇所だけに加わるが、外力は周囲環境や利用法により様々な場所に加わることが考えられる。駆動糸の張力や柔軟機構内部の変形センサにより外力を計測しつつ、駆動糸の長さを制御することで、機構を所望の姿勢に変形させる。機械設計では、同じ鉄でできた部材を、リン

ク、カム、歯車のようにその部材の機能に応じた名を付け、これらを組み合わせることで所望の動作や機能を実現してきた。柔軟機構では、このような機能に応じた名前がまだ付けられていない。機械設計では長年の間に様々な機構が作られ、その過程で、部材の役割が分類され名前が付けられたと考えられる。柔軟機構に対してこれを短期間に行うために、シミュレーションにより、短期間でたくさんの機構を試作する。

### 4. 研究成果

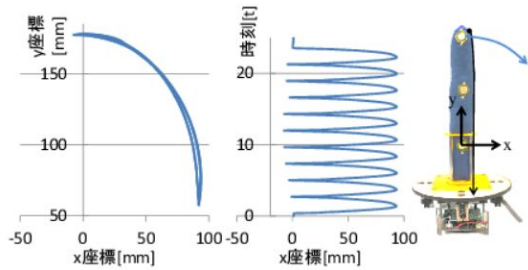
柔軟機構のシミュレーションについては実時間性を重視して、コンピュータグラフィクス分野でリアルタイムシミュレーションに用いられ、有限要素法より高速な、Shape Matching という手法の適用を検討している。柔軟物のシミュレーションを高速に実現できることを確認したが、物理特性に応じたパラメータ設定手法が確立していないため、検討を続けている。

機構の設計手法の確立については、多数の機構を試作することで、ある程度の見当を付けることができた。例えば、可動域の大きな回転3自由度を持つ6本糸駆動の機構を設計することができた(下図)。



回転3自由度を持つ機構と駆動糸

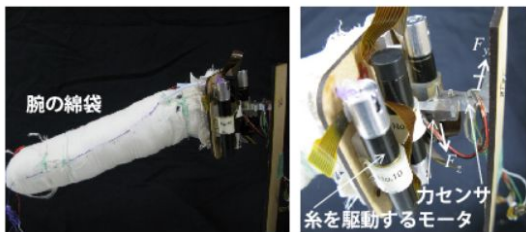
制御については、まずまた糸長と機構の姿勢を計測し対応表を作成することで位置制御を実現した。



位置制御の繰り返し制御

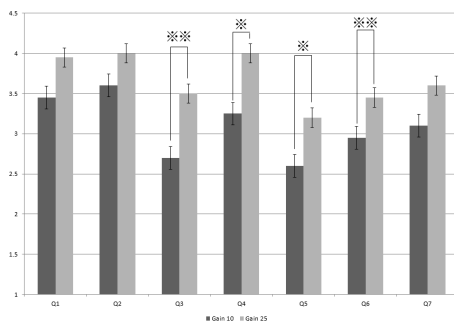
糸張力を計測し、インピーダンス制御を行うことも試みたが、糸の摩擦の影響で力計測のヒステリシスが大きくコンプライアンスを大きく取ることは難しかった。

そこで、ファブリック素材機構に加わる外力を2自由度の力センサを機構の根本に配置して計測した。



機構根本の力センサによる外力計測

これにより、大きなコンプライアンスが実現でき、柔軟機構自体の柔らかさを活かしつつ、制御による柔軟な加重や運動を付加することができた。例えば、非常に弱い力を加えるだけで、人の手の動きに合わせて動かすことができる。また、提案機構を用いたぬいぐるみロボットの腕のコンプライアンスを変えたところ、手でロボットの腕を動かした際のロボットの印象が変化することがわかった。



| No. | Pairs of Adjective Words (形容詞句対)        |                                   |
|-----|---|-----------------------------------|
| Q1  | Friendly (親しみやすい)                       | Unfriendly (親しみにくい)               |
| Q2  | Peaceful (安心な)                          | Unpeaceful (不安な)                  |
| Q3  | Emotional (感情を持つ)                       | Impassive (感情を持たない)               |
| Q4  | Charming (好ましい)                         | Boring (好ましくない)                   |
| Q5  | Understandable (心が通じる)                  | Not understandable (心が通じない)       |
| Q6  | Pleased to shake hand (ティンペアは喜んで握手している) | Forced to shake hand (いやいや握手している) |
| Q7  | Obedient (従順な)                          | Obstinate (強情な)                   |

コンプライアンス低(左)と高(右)の印象評価の結果

SIGGRAPH の展示を初め、国内の展示会・学会等でも展示・発表を行ったところ、国内外の研究者・企業から研究等への利用の打診があった。しかしながら、現状では我々による手作りにより作成しているため製作に手間が掛かり過ぎ、簡単に提供することができない。また、利用しているモータが高価であるため、多自由度の機構では費用がかさむ。このため、現状では、多くの研究者にロットを提供することは難しい。また、柔軟部分は用途ごとに異なる形状や機構が求められる。そこで、駆動部を安価に頒布できるユニットとして設計し、安価に頒布できる設計と製作体制を整えたい。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 3 件)

Yuanyuan Li, KLEAWSIRIKUL Nutnaree, Yutaka Takase, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa : 'Intention Expression in Stuffed-Toy Robots based on Force Control', ACE '14 Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, Article Number 22, 2014. 10.1145/2663806.2663837, 査読あり

長谷川 晶一, 三武裕玄: 人と触れ合うための柔軟機構とその制御 -傷つけず壊れにくく触感のよいぬいぐるみでロボットを作る-, 日本ロボット学会誌, Vol.32 No.8, pp.678-683, 2014. 10.7210/jrsj.32.678, 査読なし

高瀬 裕, 山下洋平, 石川 達也, 椎名美奈, 三武 裕玄, 長谷川 晶一: 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.327-336, 2013. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009657334>, 査読あり

(学会発表)(計 7 件)

YuanYuan Li, Yohei Yamashita, KLEAWSIRIKUL Nutnaree, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa: Force Control based Soft-stuffed Robot Interaction, Laval Virtual, Laval France, 2014.4.7-11.

Yutaka Takase, Hironori Mitake, Youhei Yamashita, Shoichi Hasegawa: Motion Generation for the Stuffed-Toy Robot, International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System

Integration, Nagoya, Japan,  
2013.9.14-17.

Yuanyuan Li ,Yohei Yamashita ,Hironori  
Mitake , Shoichi Hasegawa: Force  
Control based Soft-stuffed Robot  
Interaction, エンタテインメントコン  
ピューティング 2013, 高松, 2013.10.5.

Youhei Yamashita, Tatsuya Ishikawa,  
Hironori Mitake, Ikumi Susa, Fumihiro  
Kato, Yutaka Takase, Wataru Seshimo,  
Yukinobu Takehana, Satoru Onohara,  
Takahiro Harano, Shoichi Hasegawa,  
Makoto Sato : 'Stuffed Toys Alive!  
Cuddly Robots From a Fantasy World',  
SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies,  
Los Angeles, 2012.8.5-9.

Youhei Yamashita, Tatsuya Ishikawa,  
Hironori Mitake, Ikumi Susa, Fumihiro  
Kato, Yutaka Takase, Wataru Seshimo,  
Yukinobu Takehana, Satoru Onohara,  
Takahiro Harano, Shoichi Hasegawa,  
Makoto Sato : 'Stuffed Toys Alive!  
Cuddly Robots From a Fantasy World',  
SIGGRAPH 2012 Posters, Los Angeles,  
2012.8.5-9.

山下洋平, 三武 裕玄, 高瀬 裕, 加藤  
史洋, 須佐 育弥, 長谷川 晶一, 佐藤  
誠 : 多様な反応動作を行う柔らかいぬ  
いぐるみロボット, 日本バーチャルリ  
アリティ学会第 17 回大会論文集, セッ  
ション 33E, 横浜, 2012.9.12-14.

山下洋平, 三武 裕玄, 高瀬 裕, 加藤  
史洋, 須佐 育弥, 長谷川 晶一, 佐藤  
誠 : 芯まで柔らかいぬいぐるみロボッ  
トとのインタラクション, エンタテイ  
メントコンピューティング 2012 デモ  
発表 D-15, 神戸, 2012.9.28-30.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況(計 0 件)

名称 :  
発明者 :

権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://haselab.net/en\\_project\\_soft\\_stuffed\\_robot](http://haselab.net/en_project_soft_stuffed_robot)

6 . 研究組織  
(1)研究代表者  
長谷川 晶一 (SHOICHI HASEGAWA)  
東京工業大学・精密工学研究所・准教授  
研究者番号 : 10323833

(2)研究分担者  
( )

研究者番号 :

(3)連携研究者  
( )

研究者番号 :