

小池 康晴

東京工業大学 ソリューション研究機構・教授

知覚中心ヒューマンインターフェースの開発

## §1. 研究実施体制

### (1)「小池」グループ

① 研究代表者:小池 康晴 (東京工業大学ソリューション研究機構、教授)

#### ② 研究項目

- ・粘弾性特性の推定
- ・粘弾性特性の知覚条件の検討

### (2)「川嶋」グループ

① 主たる共同研究者:川嶋 建嗣 (東京工業大学精密工学研究所、准教授)

#### ② 研究項目

- ・力覚提示機能を有する遠隔対応型外科手術ロボットシステムの開発
- ・マスタ・スレーブ型ロボットへの実装
- ・手術ロボットシステムの評価実験

### (3)「石井」グループ

① 主たる共同研究者:石井 雅博 (富山大学大学院理工学研究部(工学)、准教授)

#### ② 研究項目

- ・奥行き知覚の実験
- ・能動的動作と視知覚に関する実験
- ・Pseudo-Haptics の実験

### (4)「中小路」グループ

① 主たる共同研究者:中小路 久美代 (株式会社SRA先端技術研究所、所長)

#### ② 研究項目

- ・タッチセントリックな環境において硬さや重さを感じるような表現手法のデザインと実装

- ・物理シミュレーションに基づく粘弾性を高速かつ軽量に表現するための計算的機構の設計と試作
- ・力覚フィードバックの有無による遠隔ロボット操作性比較実験のデザイン

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

### (1) 小池チーム

本研究では、筋骨格系のモデルを用いて筋電信号から粘弾性特性を推定する。推定された粘弾性特性に応じてロボットを制御し、その結果を視覚にフィードバックすることで重さを知覚できる技術を用いて、手術ロボットなどへのアプリケーションに応用する。

#### 1. 粘弾性特性の推定

疑似触覚を提示するためには、筋骨格系の粘弾性特性の推定と関節角度の推定を同時に精度良く行う必要がある。これは、仮想世界あるいは、ロボットの挙動が実際の人の運動と同じであることが、疑似触覚を生じさせるために重要な要素だからである。右図のように関節に二つの筋が接続された関節のモデルは、それぞれの筋肉の発生する張力の差が関節のトルクとなる。

そこで、各筋肉の張力を

$$F_i = (k_{oi} + k_{1i}u_i)(l_{0i} + l_{1i}u_i - a_i\theta)$$

のようにモデル化し、各パラメータを求めることを考える。このとき、筋肉の活動と関節のトルクを計測することで、パラメータを推定するか、トルクが 0 になる釣り合いの位置と筋肉の活動を

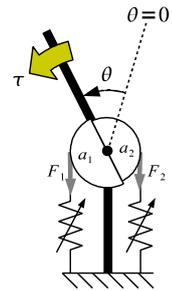


図 1 筋骨格モデル

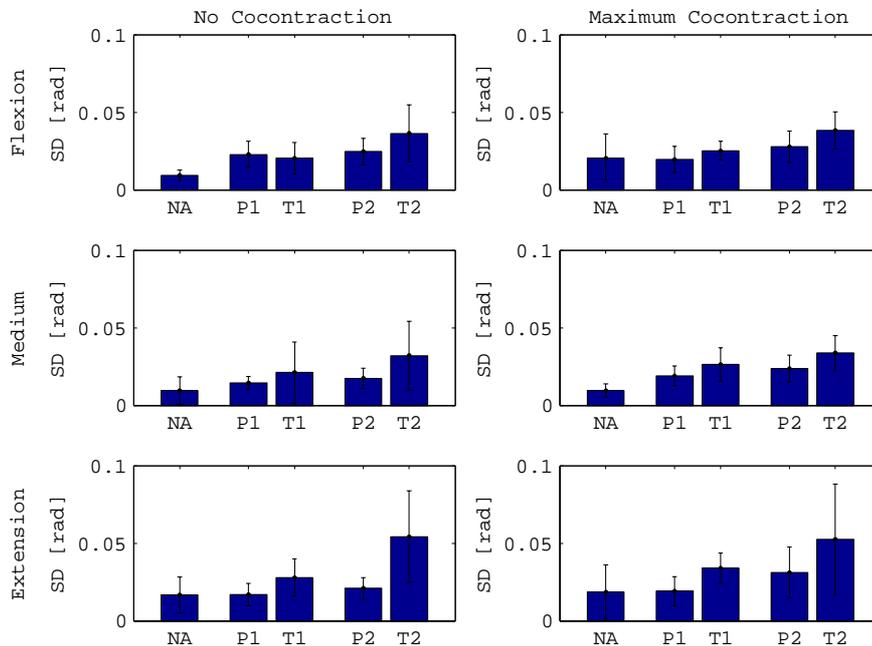


図 2 推定誤差

計測することで、パラメータを推定するかで、精度が大きく異なることが分かった。そのため、関節の角度を推定する場合と、トルクを推定するそれぞれの式のパラメータを推定した。上図で P は平衡位置を用いてパラメータを推定した結果であり、T は、トルクを用いてパラメータを推

定した結果である。特に屈筋と伸筋を同時に活動させた場合 (Maximum Contraction) は、平衡位置を基に筋骨格系のパラメータを推定した方が良い結果となった。この結果を用いて、実際にパワーアシスト装置を使って、実験をおこなった。粘弾性特性はトルクを用いて推定したパラメータ、関節角度は平衡位置を用いて推定したパラメータを用いた。この結果、従来のトルクだけを用いて制御する方法よりも、安定した制御を実現することが可能となった<sup>1)</sup>。

## (2) 川嶋チーム

「手術ロボットの開発」を研究題目とし、安全性、操作性の向上を目指した力覚提示機能を有するマスタ・スレーブ型手術支援ロボットシステムの開発を目的としている。スレーブ側多自由度鉗子マニピュレータに空気圧駆動を採用している点に最大の特長がある。これによって、電気的なセンサを鉗子部に配置することなく、駆動部の空気圧アクチュエータの差圧から鉗子先端での外力推定する機能を提案、実装している。また、研究代表者と連携し、錯視を用いたマスタデバイスを開発し、手術ロボットシステムに実装することを目指している。

以下に各研究項目の成果をまとめる。

### ・力覚提示機能を有する遠隔対応型外科手術ロボットシステムの開発

提案しているシステムでは、特に空気圧駆動のスレーブ側鉗子マニピュレータが重要であり、力覚提示の精度を決定する大きな要因は、空気圧アクチュエータによるワイヤを介した関節駆動における伝達損失の軽減と軽量化による慣性の影響の低減が課題である。

そこで、本年度は、関節部分を従来の剛体リンクではなく、切削加工型の高性能スプリングを採用し、その内部に超弾性合金の補強を施すことによって、構成部品を減らしかつ剛性の高い屈曲機構を提案試作した<sup>4, 5, 8)</sup>。また、その制御方法を検討した<sup>6)</sup>。実験によって試作した鉗子の有効性を確認した。さらに、駆動アクチュエータとして従来の空気圧シリンダではなく、空気圧ゴム人工筋を用いて約 25%の軽量化を実現した(図3参照)<sup>7)</sup>。

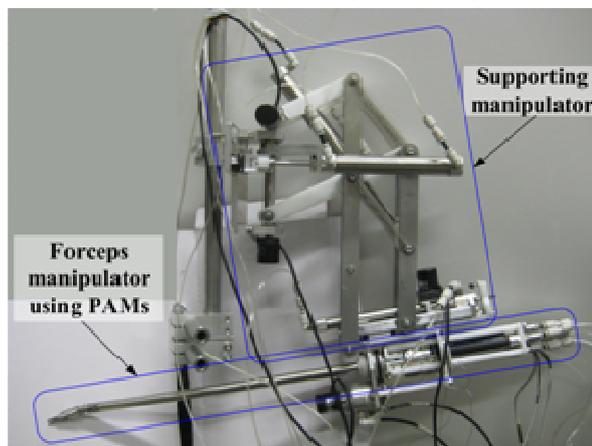


図3 空気圧ゴム人工筋を用いた  
鉗子マニピュレータ

### ・マスタ・スレーブ型ロボットへの実装

上記に示した鉗子マニピュレータをマスタ・スレーブシステムに実装した。また、昨年度開発したバーチャルカップリングを利用して操作者と同期して動く物体の移動スケール(入力スケール)を変化させ、その様子を目視させることで、疑似力覚を提示する錯視を利用したハプティックインタフェースを遠隔操作型ロボットに実装した。

### ・手術ロボットシステムの評価実験

マスタ・スレーブ型ロボットのスレーブ側に弾性体を採用した多自由度鉗子マニピュレータを実

装し, in vitro での実験を実施した. 先端での外力が推定可能であることを明らかにした[原著論文 1, 5]. また, 錯視を利用したハプティックインタフェースをマスタデバイスとして用いた実験を行い, アンケート調査と筋電実験の結果より, 提案手法によって疑似力覚提示が可能であり, 筋電の積分値が増加することを確認した.

### (3) 石井チーム

・マウスで操作されているカーソルの移動速度に突発的な変化を与えると, 力の錯覚が生じる. この現象はこれまで前額平行面上での運動について調べられてきた. 本年度は奥行き方向の運動での現象について調べた. 被験者の正面に立体ディスプレイを置き, 仮想の立方体を SPIDAR で操作させる. 仮想物体には両眼網膜像差, 見かけの大きさ変化, およびキャストシャドウの視覚情報を与え, マグニチュード推定法によってこの現象を計測した. 実験の結果, 奥行き運動によって知覚される疑似力覚は平面運動による疑似力覚よりも小さいことが分かった.

・平面に投影された影から三次元物体の立体形状を知覚することは出来ないが, 物体を回転させると立体形状を知覚できる. これは奥行き知覚の手がかりとして強力であるが, 凸凹・回転方向の知覚に関して曖昧性が残る. つまり知覚は二義的である. 本研究では, 観察者が手を用いて刺激の回転を能動的に制御した場合, 凸凹・回転方向の曖昧性が解決されるか調べた. その結果, 能動的運動は曖昧性の解決に寄与することが分かった.

・運動視差は, 両眼網膜像差と同様に, 奥行きを知覚させる強力な手がかりの 1 つである. これまで運動視差は, 左右方向の頭部運動に関して調査されてきた. 本研究では, 前後方向の頭部運動による奥行き知覚の特性を調べた. その結果, 前後方向の頭部運動によって知覚される奥行きは, 左右運動のものよりも小さいことが分かった.

## §3. 成果発表等

### (3-1) 原著論文発表

#### ●論文詳細情報

1. Toshihiro Kawase, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, “A Power Assist Device Based on Joint Equilibrium Point Estimation from EMG Signals”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.1, pp.205-218, 2012
2. Hiroyuki Kambara, Keiichi Ohishi, and Yasuharu Koike, “Learning Strategy in Time-to-Contact Estimation of Falling Objects”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15 No. 8, pp.972-979, 2011
3. Toshihiro Kawase, Keiichi Ohishi, Kazuya Yoneyama, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, “Recalibration of time to contact”, Robotics and Autonomous Systems, (in press)
4. Daisuke Haraguchi, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima. “A Prototype of Pneumatically-Driven Forceps Manipulator with Force Sensing Capability Using a Simple Flexible Joint”, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 931-936, 2011 (DOI 10.1109/IROS.2011.6094603)

5. Daisuke Haraguchi, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima. "Development of a Pneumatically-Driven Forceps Manipulator Using a Flexible Joint", the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp. 619-625, 2011
6. Mizuki Komiya, Kenji Kawashima, Kotaro Tadano, Toshiharu Kagawa. "Control Design for Antagonistic Drive with Pneumatic Actuators", the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, pp. 638-643, 2011
7. Li Hongbing, Kenji Kawashima, Kotaro Tadano et.al., "Achieving Haptic Perception in Forceps Manipulator using Pneumatic Artificial Muscle", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (Accepted) (DOI 10.1109/TMECH.2011.2163415)
8. 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発(先端屈曲機構の簡略化と外力推定), 日本フルードパワーシステム学会. (accepted)
9. 石井雅博, 星山美佳, "両眼画像の色差が両眼網膜像差による奥行き知覚に及ぼす影響", 映像情報メディア学会誌, 65, 6, pp.802-805, 2011
10. 石井雅博, 横川健, "手振り動作を用いた3次元形状入力システム", 映像情報メディア学会誌, 65, 6, pp.806-810, 2011
11. 山下洋平, 石井雅博, "左右乳様突起への定電流刺激による視運動知覚", 映像情報メディア学会誌, 65, 6, pp.816-820, 2011
12. 石井雅博, 福本純久, "Differential Perspective の変化が衝突時間推定に及ぼす影響", 映像情報メディア学会誌, 65, 6, pp.821-824, 2011

### (3-2) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 2件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 2件)