

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」

研究課題

「知覚中心ヒューマンインターフェースの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成21年10月～平成27年3月

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)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

知覚中心のヒューマンインタフェースの実現をめざし、知覚メカニズムの解明とそこから得られた知見をインタフェースに応用するという観点で研究を進めてきた。知覚メカニズムの解明においては、視覚入力情報、体性感覚入力情報、触覚入力情報など、重さや固さの知覚に必要な複数の感覚の特性を調べた。視覚情報については、石井グループが両眼視差による 3 次元の奥行き知覚の特性を調べ、人の奥行き知覚が生じやすい場所と生じにくい場所が存在し、個人毎にその場所が異なっていることを見いだした。さらに、石井グループ、中小路グループでは、視覚単独ではなく動作が伴うときの知覚を実験的に解析し、自分自身の運動が知覚に及ぼす影響を調べた。これらの研究により、奥行き手がかりや擬似的に知覚される力覚の方向依存性や個人差などが分かった。このため、ヒューマンインタフェースとして単眼でも立体視が可能な運動視差や絵画的な手がかりの必要性を示した。この結果を応用し、iPad などのタブレット端末で 3 次元空間を構築し、両眼視差を使用しないディスプレイを用いた知覚特性の実験を行った。

また、脳の出力にあたる運動関連領野からの出力信号である筋肉の活動を計測することで、小池グループでは、筋電図からの腕の粘弾性特性の推定とそれを用いたインピーダンス制御による身体に装着可能なロボットなどを用いた研究を行った。その結果、粘弾性特性が重さ知覚に重要な役割を示していることを見いだした。また、中小路グループは、触力覚情報が与えられない環境での重さや固さを知覚できるインタフェースの開発を行い、インタラクティブに環境を操作できるソフトウェア群を開発した。これらの実験環境を用いて行った実験結果から、脳の知覚は、感覚入力の物理的な特性だけではなく、脳内に獲得した環境のモデルを用いて、重さや固さなどの感覚を作り出していることを見いだした。

また、知覚中心ヒューマンインタフェースの応用として、川嶋グループを中心に手術ロボットの開発をめざし、マスタ・スレーブ型の手術ロボットにおいて、力覚提示に着目して研究開発を行った。医師が操作するマスタデバイスでは、単にスレーブ側での接触力を反力として提示するのではなく、知覚特性の成果を応用した方法を実装してその有効性を評価した。この結果、物理的な力覚を与えなくても、仮想的に力覚を知覚できることを示した。これら独自の技術を導入した新しい力覚提示機能を有する手術支援ロボットのマスタ側、スレーブ側双方を試作、それらを結合する制御方法を提案実装した上でシステムを構築した。複数の外科医の協力の下、in vitro 実験を行った。従来の鉗子を用いる方法と比較し、ラーニングカーブが著しく早いこと、また力覚提示が有効であることを実験によって明らかにした。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 粘弾性特性を調整できるロボット制御技術

力センサを必要とせず、人が発生している力を筋電図だけから推定する技術を応用し、力センサでは計測が難しい粘弾性特性をリアルタイムに推定し、ロボットを制御する技術を開発した。粘弾性を変化させることによる負荷を低減するパワーアシスト機能を開発し、重さ知覚を操作できることを示した。

2. 錯覚を用いた力覚提示

人の重さ知覚は、触覚などの力の入力情報だけではなく、大きさなどの視覚情報により影響されることが知られている。さらに、視覚と触覚の提示タイミングを変えるだけでも、重さ知覚が異なることを発見した。さらに、対象の動きや、自身の動きと物体の動きの関係を変えることでも重さ知覚が変化することを見いだした。

3. 脳における運動の情報表現

脳が身体を動かすときには、外部座標系における身体運動の認識だけでなく、関節角度や筋肉の動かし方など、内部座標系における身体表現も必要となる。脳における運動関連領野である、補足運動野、運動前野、一次運動野における座標系の問題を、脳活動でコーディング手法を用いて解析した。その結果、サルで侵襲的に調べられていた結果と同等の結果が得られた。錯覚を生じさせる視覚情報との関連を今後調べていく。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 力覚提示機能を有する空気圧駆動手術支援ロボットシステム

力センサを用いることなく、鉗子先端での接触力を鉗子根元部の空気圧アクチュエータの差圧から推定する方法を確立した。また、限られた手術室内の広さを考慮し、電動駆動ではなく空気圧駆動により鉗子や内視鏡を操作するロボットアームを開発し、従来品に比べ軽量でコンパクトかつ低価格化が可能な特徴を有する手術支援ロボットを開発し、実用化を目指して大学発ベンチャー企業を設立した。

2. 力覚を調整できるパワーアシストロボット、義手

人が装着可能であり、力センサを必要としないため、小型軽量を実現した。筋電図から推定した関節の釣り合い位置と粘弾性特性から、ロボットを釣り合い位置の周りでインピーダンス制御することで、重さのフィードバック情報が無いにもかかわらずおもりの重さを識別できることを見いだした。

§2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 小池グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小池 康晴	東京工業大学 ソリューション研究機構	教授	H21.10～
神原 裕行	東京工業大学 精密工学研究所	助教	H21.10～
李 艶	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻	D4	H21.10～H22.3
渡邊 将人	同上	D3	H21.10～H22.3
大石 圭一	同上	M2	H21.10～H22.3
河村 拓郎	同上	M2	H21.10～H22.3
小暮 雄一郎	同上	M2	H21.10～H22.3
下田 智大	同上	M2	H21.10～H22.3
AHI SERCAN TAHA	同上	D2～3	H21.10～H23.3
山崎 弘嗣	同上	D2～3	H21.10～H23.3
薩摩 有葉	同上	M2	H22.4～H23.3
藤原 大	同上	M2	H22.4～H23.3
米山 和也	同上	M2	H22.4～H23.3
佐々木 涼子	東京工業大学 精密工学研究所	研究補助員	H22.4～H24.3
山本 恭裕	同上	研究員	H22.4～H25.9
吉村 奈津江	男女共同参画推進センター	助教	H22.4～
三浦 成智	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻	M1～2	H22.10～H24.3
山崎 佑朋	同上	M1～2	H22.10～H24.3
矢嶋 真淑	同上	M1～2	H22.10～H24.3
陳 超	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻	D2～3	H23.4～H25.9
近藤 雄太	同上	M2	H24.4～H25.3

林 熙權	同上	M2	H24.4～H25.3
小川 展夢	同上	M1～2	H24.4～H26.3
地村 弘二	東京工業大学 精密工学研究所	研究員	H24.4～
ZINTUS-ART Kalanyu	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻	M1～	H24.4～
西本 淳	同上	M1～2	H24.11～H26.3
山口 和真	同上	M1～2	H24.11～H26.3
金親 拓也	同上	M1～2	H24.11～H26.3
辛 徳	東京工業大学 精密工学研究所	研究員	H25.4～H26.3
BELKACEM Abdelkader Nasreddine	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻	D1～	H25.4～
濱 直人	同上	M1～	H25.4～
清水 遥	同上	M1～	H26.4～

研究項目

- ・粘性の推定
- ・粘弾性特性の知覚条件の検討

② 川嶋グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
川嶋 健嗣	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	教授	H21.10～
只野 耕太郎	東京工業大学 精密工学研究所	准教授	H21.10～
吉川 大地	東京工業大学 大学院総合理工学研究 科メカノマイクロ学専攻	M1～2	H21.10～H23.3
Li Hongbing	同上	D1～3	H21.10～H24.10
岡本 悠	同上	M2	H23.4～H24.3
吉田 浩之	同上	M1～2	H23.10～H25.3
Hangjier Jaing	同上	M1～2	H24.10～H26.3

金 寅	同上	D3	H25.4～
菅野 貴皓	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所	助教	H25.7～
李 君	東京医科歯科大学	研究員	H25.10～
宮崎 良兼	東京医科歯科大学 大学院	M1	H26.4～

研究項目

- ・疑似力覚を用いたマスタデバイスの提案試作
- ・空気圧駆動を用いた鉗子マニピュレータの提案試作
- ・スレーブ側に空気圧駆動を用いたマスタ・スレーブ型手術ロボットの開発
- ・筋電信号を用いた力学提示方法の提案と手術ロボットへの実装
- ・手術ロボットの評価実験

③ 石井グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
石井 雅博	札幌市立大学 大学院デザイン研究科	教授	H21.10～
佐藤 雅之	北九州市立大学 国際環境工学部	教授	H21.10～
藤田 昌志	富山大学 理工学教育部	M1～2	H21.10～H23.3
五十嵐 理恵	同上	M1～2	H21.10～H23.3
瀧川 佳範	同上	M1～2	H21.10～H23.3
横山 光太郎	同上	M2	H23.5～H24.3
谷内 優介	同上	M2	H23.5～H24.3
横井 浩之	同上	M2	H23.5～H24.3
前田 隼希	同上	M2	H23.5～H24.3
藤井 稔	同上	M1	H23.5～H24.3
中村 大志	同上	M2	H23.5～H25.3
松田 修平	同上	M2	H23.5～H25.3
大上戸 智之	同上	M2	H23.5～H25.3
木下 義成	同上	M1	H24.5～H25.3
佐藤 秀一	同上	M1	H24.5～H25.3
森田 飛祐馬	同上	M1	H24.5～H25.3

安岡 晶子	札幌市立大学 大学院デザイン研究科	研究員	H24.4～
-------	----------------------	-----	--------

研究項目

- ・奥行き手がかりの評価
- ・奥行き提示条件の検討

④ 中小路グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
中小路 久美代	株式会社 SRA 先端技術研究所	所長	H21.10～
山本 恭裕	東京大学 先端科学技術研究センター	特任准教授	H21.10～H22.3
松原 伸人	株式会社 SRA 先端技術研究所	研究員	H22.4～
小田 朋宏	株式会社 SRA 先端技術研究所	研究員	H23.4～

研究項目

- ・重さと粘性の知覚の解明
- ・インタラクションデザインによるアプリケーション開発

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

手術ロボットの評価実験は、東京医科歯科大学低侵襲医学研究センターの医師の協力を得て実施した。

§ 3 研究実施内容及び成果

3.1. 知覚メカニズムの解明(東京工業大学 小池グループ)

- ・ 「粘性の推定」において、筋電図から粘性を推定するモデルを作成するために、ロボットのパータベーション(摂動)による実験を行っているが、トルク、剛性の推定に比べ、粘性の推定は安定せず、精度の良い教師データを作成することが困難であった。そこで、粘性が弾性と定性的には同じ特性を示すことから、剛性の定数倍や筋電図によらず定数として実験を行った。
- ・ 「粘弾性特性の知覚条件の検討」において、手首の動きを補助する手首ロボットを製作し、粘弾性を変更することで、重さ知覚が変化するかを調べた。手首ロボットには力センサをつけず、人の手にも触覚ディスプレイはつけずに重さ知覚が可能かどうかを調べた。その結果、剛性を変化させることで重さ知覚が変化することを見いだした。

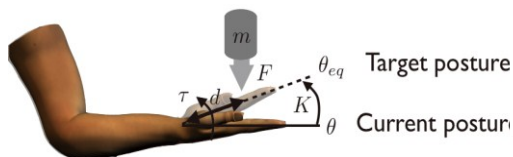


図 3.1.5 装着型ロボット

平衡位置と剛性を独立して制御できるため、剛性を変えても指令通りの平衡位置へ腕を動かすことが可能であるため、おもりを持ったまま、自由に関節を操作することができる。

3.2. 手術ロボットの開発(東京医科歯科大学 川嶋グループ)

3.2.1 実施概要

マスタ・スレーブ型の手術ロボットにおいて、力覚提示に着目して研究開発を行った。実施した内容は大きく下記3つである。

1. 操作者に力覚を提示するマスタデバイスの開発および提示方法の探求
2. 接触力を検知するスレーブ側鉗子マニピュレータの開発
3. マスタ・スレーブを統合した手術ロボットシステムの制御系設計と評価実験

3.2.2 力覚を提示するマスタデバイス

はじめに、疑似力覚を用いたマスタデバイスを試作した。小型で低コストを実現するために、機械要素を用いず錯覚を利用して操作者に力覚を提示するインタフェースの開発を行った。図 3.2.1 に示すように、バーチャルカップリングと呼ばれる概念を利用して操作者の入力スケールを変化させ、それを目視させることで疑似力覚を提示する方法を提案した。バーチャルカップリングとは、操作者の手と操作対象を仮想的にばねとダンパで結合することをいう。操作者の手の動作とスレーブ側の対象物との動作の同期が、バーチャルカップリングによって視覚的にずれる。これによって錯

視が生じ、疑似的に力覚を知覚できるものである。結合するばね定数の値を種々変えて、複数の被験者で実験を実施し、提案する方法の有効性を明らかにした。

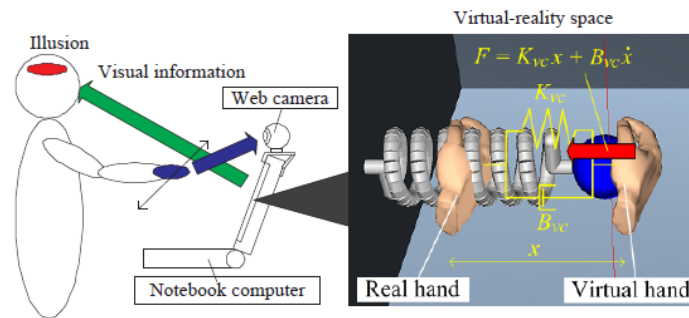


図 3.2.1 バーチャルカップリングを用いた疑似力覚提示装置の概要

しかし、上記では多自由度化への展開に制約があることがわかった。そこで次に、並進方向においてアクチュエータを使わず、操作者が加えた力のみで操作できるマスタデバイスを提案試作した。本デバイスは、通常力提示機能および広い可動範囲を実装するために、多数のアクチュエータを用いることでデバイスの大型化・高コスト化が発生する問題を低減できるものである。さらに、スレーブ側の力情報をマスタ・スレーブ制御系に取り入れ、アクチュエータが無くとも操作者に疑似的に力を提示する方法を提案した。

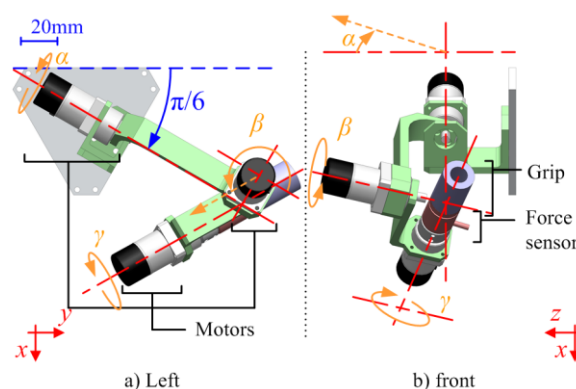


図 3.2.2 試作した並進 3 自由度力入力マスタデバイス

図 3.2.2 に試作した並進方向力入力型マスタデバイスを示す。回転の 3 自由度はジンバル機構によって実現し、ジンバル機構の回転中心に力センサを設置、この力センサで並進 3 自由度の入力を検知する。よって、並進方向にアクチュエータがないことから、操作者に反力としてスレーブ側での接触力を提示することができない。そこで、スレーブ側での接触力を操作者の力入力の値から引いたものをスレーブ側の操作入力として与える方法を提案した。これは、例えばスレーブマニピュレータを用いて重りを持ち上げたい場合、重り以上の力を操作者が加える必要が生じることを意味する。すなわち、操作者はアクチュエータが無くとも操作時に力を疑似的に感じるができるものである。

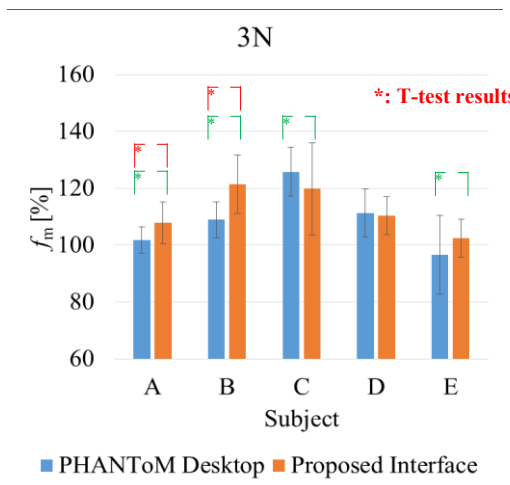
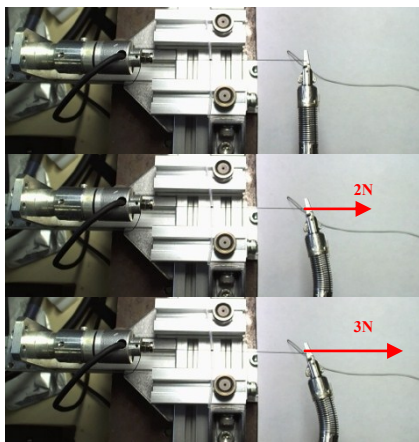


図 3.2.3 力入力マスタデバイスによる縫合糸引張実験結果

試作した力入力マスタデバイスの有効性を示すために、図 3.2.3 左に示すように縫合糸をスレーブ側鉗子マニピュレータで引っ張る実験を行った。操作者は、スレーブ側の鉗子先端において外力の大きさにより生じる柔軟関節の屈曲角度の変化(力の視覚情報)、および操作者自身がマスタマニピュレータに加える力(疑似的な力提示)を利用し、指示された目標の引張力で縫合糸を引っ張る。操作者ははじめに定量的に力を画面に表示し、力が分かる状態で縫合糸を引っ張り、その感覚を覚える。その後、力の表示なしで目標の引張力となるようにマスタデバイスを操作し、その際の引張力を力センサで測定して、目標値との差を調べた。20 回繰り返し引っ張り実験を行った。実験結果の一例として、5 名の被験者に対し、目標引張力 3N とした場合の結果を図 3.2.3 右に示す。比較のために市販のアクチュエータを搭載した変位入力のマスタデバイスで同様の実験を行った結果を合わせて示す。この結果より、提案したマスタデバイスは従来のマスタデバイスとほぼ同等の操作性を有することが明らかとなった。

3.2.3 空気圧駆動スレーブ側鉗子マニピュレータ

スレーブ側に空気圧駆動を採用し、鉗子根元駆動部の空気圧シリンダの差圧から鉗子先端に作用する外力を推定する機能を有する鉗子マニピュレータの試作改良を行った。スレーブ側は大きく、2 自由度屈曲、把持を有する鉗子部分とそれを保持する 4 自由度を有する保持部分で構成される。提案する空気圧駆動のスレーブ側鉗子マニピュレータの外力推定精度向上のためには、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、鉗子先端関節の剛性向上と鉗子の軽量化による慣性の影響低減が重要である。そこで、図 3.2.4 の右図に示すように、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。これによって、外径 10mm の鉗子先端の剛性が 0.15N/mm から 0.25N/mm に高まり、対象物に接触した際の反力をより正確に捉えることが可能となった。また駆動部には、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 3.2.4 左図)。

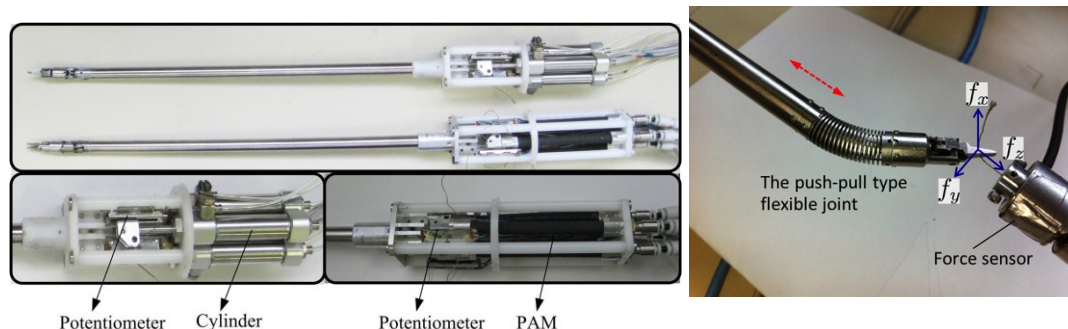


図 3.2.4 試作した空気圧駆動鉗子部分

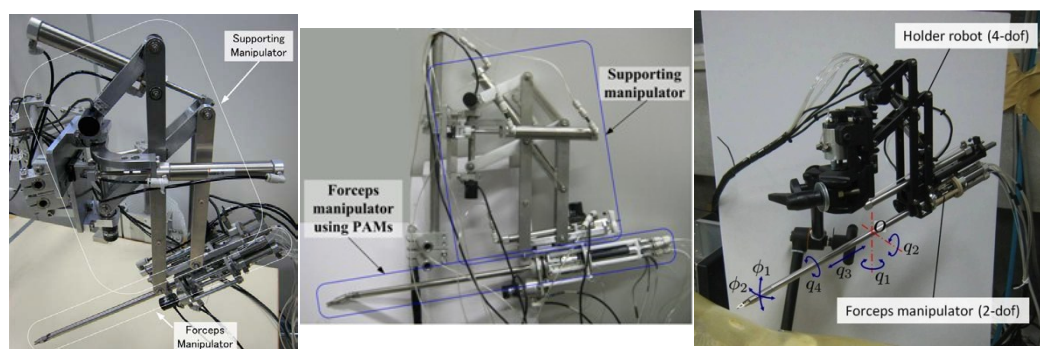


図 3.2.5 鉗子保持マニピュレータ(左 1次試作, 中央 2次試作, 右 3次試作)

鉗子保持マニピュレータは、医師の助言、実験結果を踏まえて図 3.2.5 に示すように左図から大きく3回試作を行い、可動範囲の拡大、小型化を実現した。図 3.2.5 右図の3次試作では、基準姿勢で 250mm×200mm×80mm の直方体に収まる程度の大きさとなっており、アーム本体の重量は 0.98kg とコンパクト化と軽量化を実現している。挿入ポートの位置を中心とする回転3自由度および鉗子挿入方向の並進1自由度の計4自由度を有している。

これらの試作改良によって、当初、接触力の最小推定値が 3N であったものが、最終的に 0.1N まで小さくすることが可能となった。通常の縫合作業では 0.5N～3N 外力提示が望まれている。試作したシステムでは 0.1N～5N の外力が推定可能であることを実験によって確認しており、実際の使用範囲を満たすことができた。また、鉗子先端での位置決め精度は 0.1mm 以下であり、消化器外科や泌尿器科での手術には十分な精度があることを実験によって確認した。

3.2.4 手術ロボットシステムの制御系設計と評価実験

上述したマスタ側とスレーブ側を結合してマスタ・スレーブシステムを構築した(図 3.2.6)。マスタ・スレーブ間はインターネット回線で接続した。将来の遠隔実験に備えて、通信遅れが生じる場合でもシステムが不安定とならないバイラテラル制御方法を提案し、その有効性を確認した。

さらに、小池研での筋電計測の成果を活用し、手のひら親指つけ根付近に筋電計を取り付け、術者の力み具合を測定、その値に比例してスレーブ側鉗子の外力を増幅してマスタ側操作者に反力として提示する方法を提案、システムに実装して実験を行った。5名の被験者による実証実験の結果、4名の被験者において本手法の有効性が確認できた。また残りの1名については、力む

ことによって作業力が弱くなる傾向があったため、スケーリングの関数を負の傾きにして与えることで、効果が向上することを確認した。以上により、操作者にとって適切なスケーリングの関数を与えることで、作業力が目標に近づくことを示した。生体信号を有効活用して力覚提示機能を有する手術ロボットを構成した事例は今までない。

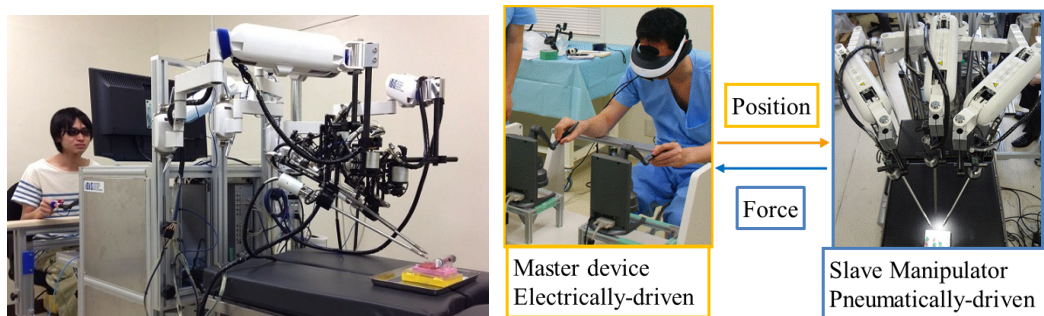


図 3.2.6 試作した力覚提示機能を有するマスタ・スレーブ型手術支援ロボットシステム

開発した手術ロボットの評価実験として、より実際の手術に近い作業を実施した。マスタ側には市販品 (Phantom Desktop) を、スレーブ側に試作した空気圧駆動の力覚検出機能を有する鉗子マニピュレータを用いた。実験はドライボックス下での胆管空腸吻合モデル (WetLab 社製) を用い、通常鉗子と手術ロボットによる胆管空腸吻合を比較検討した。内視鏡カメラには3D のものを使用した。胆管空腸吻合は後壁、前壁連続縫合 8 針、結紮は最初と最後に3回行った。実験は腹腔鏡手術経験5年の若手外科医と経験のない学生が各10回作業を行い、所要時間を計測した。その結果、試作したロボットシステムを用いた方が通常の場合よりラーニングカーブが短く、特に、未経験者の上達度が圧倒的に早いこと、力覚提示が有効であること、術者の疲労度軽減にもつながることなどが確認された。

マスタ・スレーブ型手術支援ロボットは実用化された DaVinci が有名であり、その他米国、ドイツ、日本他で研究開発が進められている。DaVinci は力覚提示機能がなく、操作者は視覚情報に頼っている。安全性向上のため力覚提示機能の付加が現場医師から強く求められている。ドイツ DLR のロボットは鉗子先端に力センサが内蔵されており、力覚提示が可能である。しかし、鉗子先端は滅菌洗浄の必要があることから、鉗子部分へのセンサの搭載が望ましくない。また、光ファイバーなどで鉗子先端の外力を推定する研究が行われているが、本研究のように空気圧シリンダが直接駆動であり、バックドライブを有する特徴に着目し、スレーブ側鉗子駆動に空気圧駆動を用いた研究はなく、独自性は高い。これは空気圧の制御技術を長年研究してきた成果を手術ロボットに適用することで実現できた。

さらに、研究代表者の小池先生の研究から力み具合によって力の知覚が変化してしまうことが知られている。手術中は術者が力む場合があり、これを筋電で測定し、力み具合に合わせて、提示する力を可変にする制御を提案、実装したことは、新規性、有効性ともに高いと考える。

以上、完成度の高い手術ロボットを開発し、in vitro 実験や動物実験を通じて、提案した力覚提示方法の有効性を実証した。

3.3. 視覚特性の計測と評価(札幌市立大学 石井グループ)

- ・ 三次元空間内における視覚誘導性疑似力覚の特性について

マウスポインタ等の自己投影物の移動速度に変化が生じた場合、擬似的な力覚が知覚されることが確認されている。この現象は Pseudo-Haptics と呼ばれている。これまで Pseudo-Haptics の特性は前額平行面上での運動について調べられてきた。本研究では3D空間での奥行き方向の運動が Pseudo-Haptics 知覚に及ぼす影響について調べた。その結果、奥行き方向での Pseudo-Haptics 生起率・知覚力覚量が小さいことがわかった。またその原因は腕の運動方向より視覚にあることがわかった。

この現象を詳しく調べた結果、擬似的に知覚される力覚の大きさは、絶対運動を知覚する感度、および運動の変化を知覚する感度に影響されることが分かった。これら2つの要因で知覚される疑似力覚の異方性を大旨説明することができた。これらの結果から次のことが言える。Pseudo-Haptics をインタラクティブシステムに利用する際には、奥行き方向の速度変化を強調して提示する必要がある、強調の方法はユーザ毎に適応的に決定する必要がある。

- ・ 両眼網膜像差による奥行き知覚の異常における視野依存性について

実環境では、天井よりも床や地面を見ることが多く、鉛直の対象は見下げるよりも見上げるほうが多い。これは視覚機構形成の重要な時期にある乳幼児にも当てはまる。床や見上げた鉛直対象では上視野は注視点より遠方に、下視野は近方にある。したがって視覚系はこれらの空間配置に対して良く適合し、逆の配置には弱いと想定できる。そこで本研究では、両眼網膜像差による奥行き知覚を上視野と下視野で特に奥と手前の知覚の特性の差を調べた。100名の被験者の奥行き知覚特性を調べ、上記の予測を支持する結果を得た。すなわち、上視野では注視点よりも奥にある視対象は認知が容易であり、下視野では注視点よりも手前にある視対象の認知が容易であった。

- ・ 絶対距離知覚に対する輻輳および調節刺激の効果について

絶対距離知覚に対して、輻輳と調節はそれぞれ有効な手がかりとなると報告されている。これらを同時に与えたときの知覚への影響に関しては、相反する結果が報告されている。本研究では、輻輳刺激による絶対距離知覚が調節刺激によって変調されるか調べた。実験に先立って、知覚した距離を口頭で応答できるように被験者を訓練した。刺激はミラーステレオスコープで提示された暗黒中の白色正方形であり、中心に黒色の十字があった。刺激の描画位置によって輻輳を、眼前に凸または凹レンズを置くことで調節を刺激した。実験の結果、輻輳による絶対距離知覚は調節によって変調されることが分かった。このことは、立体映像を提示する際には、眼性疲労という観点だけでなく正確な奥行き知覚という観点からも両眼網膜像差の情報だけでなく、調節の情報も提示できる装置を用いる方が望ましい、ということを示している。

- ・ 観察者の能動的動作が視覚認知に及ぼす影響

私たちが認知する視覚世界は、網膜像のみによって決まるのではない。例えば視覚刺激と同時に他の感覚刺激が与えられると、視知覚はその影響を受けることがある。他感覚との統合

によって視知覚が変調することは多くの研究者によって示されてきた。本研究では、観察者の随意運動が視覚認知に及ぼす影響を調べた。視覚刺激として運動奥行き効果(kinetic depth effect)を用いた。運動奥行き効果とは、二次元平面に投影された影からは元の三次元立体の形は分からないが、三次元立体を回転させ二次元平面に投影された影が動き始めると三次元立体の形が知覚される現象である。この効果による奥行き感は強力であるが、凹凸方向の知覚に関して曖昧性が残る。つまり、立体の回転方向が一意に決定できず、ネッカーキューブのように二義的解釈が可能なのである。運動奥行き刺激が提示されたとき、右回転あるいは左回転のどちらに見えるかは観察者には決められないし、右回転だと思って刺激を見続けていると、ある時点で急に回転方向が左に切り替わったりする。申請者は、観察者が手を用いて運動奥行き効果刺激の回転を制御した場合、凹凸曖昧性が解決されるか調べた。観察者による刺激の回転制御の入力にはトラックボールを用いた。実験の結果、刺激への関与が凹凸曖昧性解決に寄与することが分かった。

これまでの視覚認知研究は、観察者が受動的に刺激を観察する条件下で調査されてきた。インタラクティブなシステムでは受動的観察に留まらないので、観察者の刺激への能動的関与による認知変調を調べていく必要があるだろう。

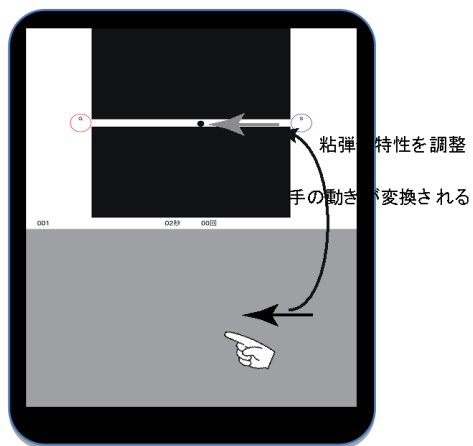
- 運動視差による奥行き知覚における頭部運動方向の影響

観察者の視点または観察対象が移動することによって生じる網膜像の変化を運動視差と呼ぶ。例えば、列車の車窓からの風景は近いものほど速く動き、遠くのものほど遅く動く。この速さの違いにより相対的な奥行きを知覚することができる。これまで運動視差による奥行き知覚は、左右方向の頭部運動に関して調べられてきた。しかし、人間は左右に移動することは稀であり、むしろ前方向に移動する際の知覚特性を調べるべきではないだろうか。そこで本研究では、前後方向の頭部運動による奥行き知覚の特性を調べた。実験の結果、前後方向の頭部運動による運動視差では、奥行きの知覚が困難になることが分かった。幾何学的な考察によって、狭い視野では像の移動が極めて小さくなり、奥行きの知覚が困難になることは予想できる。広い視野を有する視覚刺激では頭部の運動による網膜像の移動量は同程度となるにもかかわらず、奥行きの知覚は容易ではなかった。

3.4. インタラクシオンデザインによるアプリケーションの開発(株SRA 中小路グループ)

これまで開発してきた TCieX 上で筋電信号を入力できるように拡張を行い、筋電計測装置を装着したユーザ実験を行った。

狙いとする重さと粘性の知覚を生じさせるような機構の関係を心理物理実験によりおこない、筋電図の利用の有効性を実験的に確認した。また、ユーザによる実利用の観察実験の実施と分析により、筋骨格系のモデルを用いて筋電信号から粘弾性を推定しその特性に応じたビジュアルなインタラクティビティを介して重さを知覚できる技術を用いたアプリケーションシステム群を作成し、運動や視覚情報に関する様々なパラメータを調整できる環境を構築した。



手の動きに粘弾性特性を調整したダイナミクスを適用し、カーソルの動きを調整することで擬似触覚を生じる。さらに、筋電信号によりインタラクティブに粘弾性特性を変化させることにより、能動的に感覚を変化させることが可能となる。



図 3.4.1 筋電図によるインピーダンス調整可能な iPad アプリケーション

§ 4 成果発表など

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 11 件、国際(欧文)誌 22 件)

- [1] Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Kazuyuki Kojima, Naofumi Tanaka, “Development of a pneumatic surgical manipulator IBIS IV”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.22 No.2, pp.179-188, (2010)
- [2] Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “Development of a Master Slave System with Force-Sensing Abilities Using Pneumatic Actuators for Laparoscopic Surgery”, *Advanced Robotics*, Vol.24, No.12, pp.1763-1783, (2010)
- [3] 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)
- [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
- [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 Komiyama, 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] 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)
- [8] 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)
- [9] 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)
- [10] 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)
- [11] 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)
- [12] Toshihiro Kawase, Keiichi Ohishi, Kazuya Yoneyama, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, “Recalibration of time to contact”, *Robotics and Autonomous Systems*, vol.60 No.5, pp.742-746, (2012)

- [13] 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誌, Vol.43 No.3, pp.62-69, (2012)
- [14] 石井雅博, 佐藤秀一, “3次元空間内における Pseudo-Haptics について”, 映像情報メディア学会誌, (2012)
- [15] 大上戸智之, 石井雅博, 佐藤雅之, “遠近調節が輻輳による見えの距離に及ぼす影響”, 映像情報メディア学会誌, (2012)
- [16] 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 田中直文, 小嶋一幸, “空気圧駆動ロボットアームとヘッドマウントディスプレイを用いた立体内視鏡操作システム”, 日本医工学治療学会, Vol.24, No.3, pp.177-184 (2012)
- [17] Yu Okamoto, Kotaro Tadano, and Kenji Kawashima, “A basic study on biological signal of operator during master-slave system control”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.24, No.5, pp.908-916, (2012)
- [18] 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(関節構造および理論モデルの改善による性能向上)”, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.44, No.6, pp.8-15, (2013)
- [19] Li Hongbing, Kenji Kawashima, Kotaro Tadano et.al., “Achieving Haptic Perception in Forceps Manipulator using Pneumatic Artificial Muscle”, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.18, No.1, pp.74-85 (2013) (DOI 10.1109/TMECH.2011.2163415)
- [20] 小池康晴, 神原裕行, 吉村奈津江, 辛徳, “運動と姿勢の動作解析”, 作業療法ジャーナル, Vol.47 No.6, pp.492-496,(2013)
- [21] Hiroyuki Kambara, Duk Shin, Toshihiro Kawase, NatsueYoshimura, Katsuhito Akahane, Makoto Sato, and Yasuharu Koike, “The effect of temporal perception on weight perception”, *Frontiers in Psychology*, Vol.4(40), pp.1-14, (2013)
- [22] Hiroyuki Kambara, Duk Shin, and Yasuharu Koike, “A computational model for optimal muscle activity considering muscle viscoelasticity in wrist movements”, *Journal of Neurophysiology*, vol. 109, No. 8, pp.2145-2160,(2013) (DOI: 10.1152/jn.00542.2011)
- [23] Duk Shin, Atsushi Katayama, Kyoungsik Kim, Jaehyo Kim, Natsue Yoshimura, Hiroyuki Kambara, and Yasuharu Koike, “A Virtual Instrument System Operated by Electromyographic Signals”, *INFORMATION, An International Interdisciplinary Journal* , Vol.16, No.5, pp.3275-3285, (2013)
- [24] Jun Li, Kenji Kawashima, Toshinori Fujita, Toshiharu Kagawa, ”Control design of a pneumatic cylinder with distributed model of pipelines”, *Precision Engineering*, Vol.37, No.4, pp.880-887,(2013) (DOI: 10.1016/j.precisioneng.2013.05.006)
- [25] 守井清吾, 石井雅博(札幌市立大学), 鈴木淳也, 川原茂敬, 広林茂樹, “点図ディスプレ

イを用いた触図作成システムにおけるペン・指先入力の比較”、映像情報メディア学会論文誌、Vol. 67, No. 12, pp. 448-454, (2013)

- [26] Hongbing Li and Kenji Kawashima, “Achieving Stable Tracking in Wave-Variable-Based Teleoperation”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMECH), Vol.19, No.5, pp.1574-1582, (2014) (DOI: 10.1109/TMECH.2013.2289076)
- [27] Kumiyo Nakakoji, Yasuhiro Yamamoto, “An Anatomy of Shikakes”, AI & Society, Journal of Knowledge, Culture and Communication, Springer, (2014) (DOI: 10.1007/s00146-014-0559-2)
- [28] Duk Shin, Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Yousun Kang, Yasuharu Koike, “Control of a Brick-breaking Game using Electromyogram”, International Journal of Engineering and Technology, Vol.6, No.2, pp.128-131, (2014)
- [29] Kalanyu Zintus-art, Duk Shin, Natsue Yoshimura, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, “Advanced Mobile Security System Operated by Bioelectrical Sensor”, International Journal of Security and Its Applications, Vol.8, No.4, pp.139-150, (2014)
- [30] Natsue Yoshimura, Koji Jimura, Charles Sayo DaSalla, Duk Shin, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, Yasuharu Koike, “Dissociable neural representations of wrist motor coordinate frames in human motor cortices”, NeuroImage 97, pp.53-61, (2014)
- [31] Hongbing Li, Kenji Kawashima, “Experimental Comparison of Backdrivability for Time-delayed Telerobotics”, Control Engineering Practice, Vol.28 July, pp.90-96, (2014) (DOI: 10.1016/j.conengprac.2014.03.009)
- [32] Hongbing Li, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “Model-based passive bilateral teleoperation with time delay”, Transactions of the Institute of Measurement and Control, accepted (DOI: 10.1177/0142331214530423)
- [33] Takahiro Kanno, Daisuke Haraguchi, Masayoshi Yamamoto, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “A Forceps Manipulator with Flexible 4-DOF Mechanism for Laparoscopic Surgery”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMECH), accepted (DOI:10.1109/TMECH.2014.2327223)

(2) その他の著作物(総説、書籍など)

- [1] 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “力覚を有する低侵襲外科手術支援ロボットシステム”, 油空圧技術, Vol. 50, No. 12, pp. 37-41, (2011)
- [2] 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “力覚を有する遠隔操縦対応型低侵襲外科手術用ロボットシステム”, フルードパワーシステム, Vol. 42, No. 5, pp. 10-12, (2011)
- [3] 川嶋健嗣, “力覚に焦点を当てた日本製ロボットの現状”, 第 100 回日本泌尿器科学会総会、

横浜、(2012)

- [4] 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “空気圧駆動を用いた外科手術支援ロボットシステム”, 油空圧技術, Vol. 51, No. 1, pp. 23-28, (2012)
- [5] 川嶋健嗣, “空気圧サーボシステム設計の勘所”, 油空圧技術, Vol.52, No.12, pp. 6-10, (2013)
- [6] 川嶋健嗣, 只野耕太郎, “空気圧サーボを用いた内視鏡手術支援ロボット”, 油空圧技術, Vol.52, No.12, pp.11-15, (2013)
- [7] 川嶋健嗣, “空気圧サーボシステムのロボットへの展開”, フルードパワーシステム, Vol.45, No.4, pp.158-162, (2014)
- [8] 只野耕太郎, 原口大輔, 川嶋健嗣, “力覚を有する手術支援ロボットシステム”, 電気評論, Vol.99, No.6, pp.35-39, (2014)

(3) 国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 16 件、国際会議 8 件)

- [1] Kenji Kawashima (東京工業大学), “Robotics Systems using Pneumatic Actuators for Teleoperation”, ASME IMECE09, Lake Buena Vista, Florida, 2009.11.18
- [2] 小池康晴(東京工業大学)、“錯覚する脳”、日本音響学会、東京、2010.5.18
- [3] Kenji Kawashima (東京工業大学), “Master Slave Surgical Robot with Force Display using Pneumatic Servo System”, IEEE ICRA Workshop on Medical Cyber-Physical Systems, Alaska USA, 2010.5,
- [4] 川嶋健嗣(東京工業大学)、“医療装置における位置決め装置”、ポジショニング EXPO 併設セミナー、東京、2010.11.10
- [5] 川嶋健嗣(東京工業大学)、只野耕太郎、“遠隔手術用ロボットシステム”、第 24 回光通信システムシンポジウム、静岡、2010.12.17
- [6] Yasuharu Koike(東京工業大学)、“Elucidation of perceptual illusion and development of sense-centered human interface”, IEEE VR 2011 JST Workshop, Singapore, 2011.3.20, <http://www.isvri2011.org/JSTevent/JSTWs.html> - Prof. Yasuharu Koike
- [7] Kenji Kawashima (東京工業大学), “Master Slave Robot System for Laparoscopic Surgery with Haptic Perception using Pneumatic Actuators”, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, OKINAWA, 2011.10.26
- [8] 川嶋健嗣(東京工業大学)、“力覚提示機能を有する手術支援ロボットシステム”、日本機械学会 第三(東海)地区特別講演会メディカル・ロボティクス、名古屋工業大学、2011.11.11
- [9] 川嶋健嗣(東京工業大学)、“力覚を有する手術支援ロボットの開発”、第 13 回耳鼻咽喉科手術支援システム・ナビ研究会、東京医科歯科大学、2011.11.26
- [10] 川嶋健嗣(東京工業大学)、“力覚に焦点を当てた日本製ロボットの現状”、第 100 回日本泌尿器科学会総会、横浜、2012.4.23

- [11] 川嶋健嗣(東京工業大学)、“空気圧駆動を用いた力覚提示機能を有する手術支援ロボットシステム”、精密工学会生産自動化専門委員会、東京、2012.4.27
- [12] 中小路久美代(SRA)、“学習支援ツールの役割とインタラクションのデザイン”、日本教育工学会全国大会シンポジウム招待講演、長崎大学(長崎県長崎市)、2012.9.15
- [13] 中小路久美代(SRA)、“インタラクティビティによる制約の表現”、スケジューリング学会シンポジウム 2012 特別講演、成蹊大学(東京都武蔵野市)、2012.9.30
- [14] Kenji Kawashima(東京医科歯科大学)、“Surgical Robot System with Force Perception”, Bio4Apps2013, Tokyo, 2013.10.31
- [15] 川嶋健嗣(東京医科歯科大学)、“空気圧サーボシステムのロボットへの展開”、日本フルードパワーシステム学会公開技術フォーラム、神戸、2013.11.7
- [16] 小池康晴(東京工業大学)、“ブレイン・マシン・インタフェースの技術を用いた脳機能解析”、日本知能ファジィ学会第 16 回ブレイン・コンピューティング部会、東京、2014.3.14
- [17] 川嶋健嗣(東京医科歯科大学)、“低侵襲手術支援用ロボットシステムの開発”、特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト公開討論会、東京、2014.3.7
- [18] Kenji Kawashima(東京医科歯科大学)、“Pneumatically-Driven Surgical Robot with Force Perception, International Symposium on Technologies against Cancer”, Tokyo, 2014.3.9
- [19] 川嶋健嗣(東京医科歯科大学)、“手術支援用ロボットシステムの開発”、日本能率協会サービスロボット技術戦略シンポジウム、東京、2014.3.25
- [20] 小池康晴(東京工業大学)、“運動と力の統一的学習・制御モデルとその応用”、第 51 回日本リハビリテーション医学会学術集会、名古屋、2014.6.5
- [21] 小池康晴(東京工業大学)、“生体信号を用いたヒューマンインターフェースの開発”、日本能率協会 TECNO-FRONTIER 2014、東京、2014.7.25
- [22] Kumiyo Nakakoji(SRA)、“An Anatomy of Shikakes”, Keynote, Nordes Summer Ph.D. School 2014, Aalto University, Espoo, Finland, August 18th, 2014.
- [23] 神原裕行(東京工業大学)、“腕の到達運動に関する運動学習モデル”、計測自動制御学会中部支部制御理論研究委員会ワーキングセミナー、名古屋、2014.9.12
- [24] Kumiyo Nakakoji(SRA)、“Sense-Centric Interaction Design toward Experiencing and Communicating Weight”, Invited Talk, Session 5: Human-Centered Design of Socio-Technical Symbiotic Systems, Sweden Kyoto Symposium 2014, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, September 12, 2014.

② 口頭発表 (国内会議 31 件、国際会議 17 件)

- [1] Kenji Kawashima(東京工業大学), Kotaro Tadano, “Mustapha Fofana: Bilateral Teleoperation with Time Delay using Modified Wave Variable Based Controller”, ASME IMECE09, Lake Buena Vista, Florida, 2009.11.18

- [2] 川嶋健嗣(東京工業大学), 只野耕太郎, 新井豪, 小宮みずき, 小嶋一幸, 田中直文, “遠隔対応型腹腔鏡手術用マスタ・スレーブロボットシステム”, 第 2 回医歯工学イノベーション・シンポジウム, ホギメディカル多目的ホール(赤坂), 2009.11.28
- [3] 中小路久美代(SRA), 山本恭裕, 小池康晴, “擬似触覚を利用した重みのコミュニケーションのためのビジュアルインタラクションデザイン”, 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 東洋大学川越キャンパス, 2010.3.19
- [4] 川嶋健嗣(東京工業大学), 只野耕太郎, 中野すみれ, 小嶋一幸, 田中直文, “空気圧ゴム人工筋をスレーブ駆動に用いた腹腔鏡手術用マスタスレーブシステム”, 日本医工学治療学会第 26 回学術大会, 東京, 2010.4
- [5] Kawase Toshihiro(東京工業大学), Kambara Hiroyuki, Koike Yasuharu, “A power assist device based on joint equilibrium point estimation from electromyography”, 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions, Czech, 2010.6.14
- [6] Hiroyuki Kambara(東京工業大学), Duk Shin, Yasuharu Koike, “Muscle activation pattern in step-tracking wrist movement predicted by “final-position control hypothesis” with internal models”, 4th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions, Czech, 2010.6.14
- [7] 小池康晴(東京工業大学), “脳はどのように手を制御しているか”, 平成 22 年度作業療法関連科学研究会(SIRWOT), 金沢, 2010.6.26
- [8] K. Nakakoji(SRA), Y. Yamamoto, Y. Koike, “Toward Principles for Visual Interaction Design for Communicating Weight by using Pseudo-Haptic Feedback”, Proceedings of Create 10 Conference, Edinburgh, UK, 2010.7.2
- [9] 松原伸人(SRA), 中小路久美代, 山本恭裕, “インタラクティビティによる情報の提示”, 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 長崎, 2010.7.31
- [10] 小池康晴(東京工業大学), “運動学習と制御の計算論的モデル”, Japan Society for Motor Control & Neuro-rehabilitaion, 山口, 2010.8.26
- [11] Hiroyuki Kambara(東京工業大学), Keiichi Ohishi, Yasuharu Koike, “An adaptational model of time-to-contact prediction against multiple acceleration environment”, Neuro2010(第 33 回日本神経科学大会、第 53 回日本神経化学会大会および第 20 回日本神経回路学会大会 合同大会), 神戸, 2010.9.2
- [12] 平山亮, 米山和也(東京工業大学), 岩本拓也, 小池康晴, “表面筋電信号からの指文字認識の可能性検討”, 第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会、金沢、2010.9.17
- [13] 小池康晴(東京工業大学), “手の動きからの重さ知覚”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会、名古屋、2010.9.23
- [14] 崔竣銘(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “腹腔鏡手術ロボットにおける操作対象への誘導制御”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会、名古屋、2010.9.24
- [15] 吉川大地(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “疑似力学を利用したハプティックイン

- タフェース”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 名古屋, 2010.9.24
- [16] 佐藤慶明(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “アドミタンス提示型ハプティックインタフェースの安定性に関する研究”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 名古屋, 2010.9.24
- [17] Hongbing Li(東京工業大学), Shameek Ganguly, Sumire Nakano, Kotaro Tadano and Kenji Kawashima, “Development of a light-weight Forceps Manipulator using Pneumatic Artificial Rubber Muscle for Sensor-free Haptic Feedback”, 1st International Conference on Applied Bionics and Biomechanics, Venice, Italy, 2010.10
- [18] K. Nakakoji (SRA), Y. Yamamoto, N. Matsubara, “Delicate Interpretation, Illusion and Feedforward: Three Key Concepts toward Designing Multimodal Interaction”, TEI'11 (Tangible, Embedded and Embodied Interaction), Work-in-Progress Workshop Proceedings, E.Y-L. Do, M.D. Gross, I. Oakley (Eds.), Madeira, Portugal, 2011.1.23
- [19] Daichi Yoshikawa, Kotaro Tadano, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike, Kenji Kawashima(東京工業大学), “Development and Evaluation of a Haptic Interface using Pseudo-Haptic feedback”, Proceedings of the 3rd IEEE VR 2011 Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments, Singapore, 2011.3.19
- [20] K. Nakakoji (SRA), Y. Yamamoto, N. Matsubara, “TCieX: An Environment for Designing and Experiencing A Variety of Visuo-Haptic Sensory Conflicts”, Proceedings of the 3rd IEEE VR2011 Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments (PIVE 2011), Singapore, 2011.3.19
- [21] 川嶋健嗣(東京工業大学), 只野耕太郎, “術者が力覚を感じる内視鏡手術ロボット”, 日本泌尿器科学会, 名古屋, 2011.4.24
- [22] 原口大輔(東京工業大学), 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”, 第 12 回「運動と振動の制御」シンポジウム(MOVIC2011), 長野, 2011.6.30
- [23] 岡本悠(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋 健嗣, “マスタ・スレーブシステム操作者の把持力による外力推定方法の検討”, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 東京, 2011.9.8
- [24] 神原裕行(東京工業大学), 吉村奈津江, 小池康晴, “筋骨格系モデルを基にした運動制御モデル”, 第 26 回生体生理工学シンポジウム, 滋賀, 2011.9.20
- [25] 米山和也(東京工業大学), 神原裕行, 吉村奈津江, 小池康晴, “指運動推定のための筋電図計測部位の検討”, 第 26 回生体生理工学シンポジウム, 滋賀, 2011.9.22
- [26] 原口大輔(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣. “超弾性合金ワイヤのプッシュ・プル機構を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発”, 第 12 回流体計測制御シンポジウム, 東京, 2011.11.15
- [27] 山崎佑朋(東京工業大学), 川瀬利弘, 辛徳, 神原裕行, 小池康晴, “スティフネスが重さ知

- 覚に与える影響”, 電子情報通信学会 NC/MBE 研究会, 東京, 2012.3.15
- [28] Zintus-art Kalanyu(東京工業大学), Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike, “Advanced Security System by Sensing Muscle Activation”, The 9th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, London, UK, 2012.5.10
- [29] 只野耕太郎(東京工業大学)、川嶋健嗣(東京工業大学)、田中直文、小嶋一幸(東京医科歯科大学)、“空気圧駆動ロボットアームを用いた腹腔鏡操作システムの開発”、日本フルードパワーシステム学会春季講演会、東京、2012.5.25
- [30] 中小路久美代、山本恭裕、松原伸人、“意思決定支援のための疑似触覚を利用したビジュアルインタラクションの機構設計”、人工知能学会全国大会 2012, 山口, (2012.6)
- [31] Hiroyuki Kambara (東京工業大学), Duk Shin, Yasuharu Koike, “Optimal muscle activation patterns for wrist movements considering inherent viscoelasticity in muscle dynamics”, International Society for Electrophysiology & Kinesiology XIXth Biennial Congress, Brisbane, Australia, 2012.7.19
- [32] Hongbin Li(東京工業大学), Kenji Kawashima, Kotaro Tadano, “Achieving Force Perception in Master-Slave Manipulators Using Pneumatic Artificial Muscles”, SICE Annual Conference, Akita, 2012.8
- [33] 神原裕行(東京工業大学), 辛徳, 小池康晴(東京工業大学), “落下物体の衝突タイミングの予測誤差が重さの知覚に与える影響について”, 神経回路学会全国大会, 2012.9.13
- [34] 小川展夢(東京工業大学)、神原裕行、吉村奈津江、小池康晴、“重さの予測値が運動制御に与える影響についての考察”、日本電子情報通信学会 MBE 研究会、長野、2012.9.27
- [35] 山口和真(東京工業大学)、神原裕行、辛徳、吉村奈津江、小池康晴、“筋電図取得のための防水能動電極の開発”、第 14 回日本電気生理運動学会大会(第 2 回 SICE 電気生理運動学研究会)、大阪、2013.7.7
- [36] 伴大輔、川嶋健嗣他(東京医科歯科大学)、“空気圧制御ロボット内視鏡鉗子による肝胆空腸吻合”、第 11 回日本消化器外科学会大会、東京、2013.10.11
- [37] 小川展夢(東京工業大学)、神原裕行、小池康晴、“予測の不確実性に応じた手首インピーダンス制御モデル”、電子情報通信学会 NC 研究会、仙台、2013.11.22
- [38] 川嶋健嗣(東京医科歯科大学)、“力覚を有する手術支援ロボットシステム IBIS”、第 26 回日本内視鏡外科学会、福岡、2013.11.28
- [39] 中川正敏、小嶋一幸、川嶋健嗣他(東京医科歯科大学)、“空気圧駆動ロボットアームとヘッドマウントディスプレイにより立体内視鏡操作システムの臨床評価”、第 26 回日本内視鏡外科学会、福岡、2013.11.29
- [40] 塚本昌克(東京工業大学)、金親拓哉、真野航、神原裕行、吉村奈津江、小池康晴、“筋骨格モデルを用いた本人認証手法”、2014 年電子情報通信学会総合大会、新潟、2014.3.20
- [41] Hiroyuki Kambara (東京工業大学), Duk Shin, Toshihiro Kawase, Natsue

- Yoshimura and Yasuharu Koike, “Illusion of weight perception caused by temporal mismatch, 5th International Symposium on Measurement”, Analysis and Modelling of Human Functions, Vancouver, Canada, 2013.6.29
- [42] Hiroyuki Kambara (東京工業大学), Duk Shin, Yasuharu Koike, “Trajectory Formation of Step-Tracking Wrist Movements Predicted by an Optimal Control Model”, SICE Annual Conference 2013, Nagoya, 2013.9.16
- [43] Jun Li J., Kenji Kawashima (東京医科歯科大学), Toshiharu Kagawa, “Index to Judge the Necessity of the Distributed Pipeline Model”, 12th International Conference on Fluid Control, Measurement and Visualization, OS19-01-2, Nara, 2013.11.21
- [44] Daisuke Haraguchi (東京医科歯科大学), Hideyuki Yoshino H., Hitoshi Yoshiki, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “Development of a Pneumatically-Driven Hand Type Forceps for Laparoscopic Surgery, 12th International Conference on Fluid Control, Measurement and Visualization, OS4-02-1, Nara, 2013.11.22
- [45] Takahiro Kanno (東京医科歯科大学), Daisuke Haraguchi, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “Design of a 4-DOF Forceps Manipulator for Robotic Surgery”, IEEE/SICE SII2013, Kobe, 2013.12.16
- [46] 清水遥 (東京工業大学), 神原裕行, 吉村奈津江, 辛徳, 小池康晴, “強化学習とフィードバック誤差学習を用いた力場適応のための到達運動学習モデル”, 電子情報通信学会 NC 研究会, 信学技法 114[104], NC2014-11, 213-219, 沖縄, 2014.6.27
- [47] 神原裕行 (東京工業大学), 小川展夢, 辛徳, 吉村奈津江, 小池康晴, “環境の不確実性に応じて変化する最適な手首インピーダンスの考察”, 電子情報通信学会 NC 研究会, 信学技法 114[104], NC2014-13, 227-232, 沖縄, 2014.6.27
- [48] Hiroyuki Kambara (東京工業大学), Duk Shin, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike, “A motor control-learning model for reaching movements in 3-dimensional space”, XX Congress of the international society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK2014), Rome, Italy, 2014.7.17
- ③ ポスター発表 (国内会議 43 件、国際会議 25 件)
- [1] 小池康晴 (東京工業大学), “運動計画と運動学習—運動制御の観点から—, 第 4 回 Motor Control 研究会、東岡崎、2010.5.28
- [2] 吉川大地 (東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “仮想現実空間における物体の挙動と疑似力覚に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 旭川, 2010.6.16
- [3] 小宮みずき (東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 小嶋一幸, 田中直文, “力覚提示機能を有する手術用ロボットの操作性に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’10, 旭川, 2010.6.16

- [4] Yamada T, Kawamura T, Kambara H, Koike Y(東京工業大学), “Motor learning by visual and FES feedback”, International Society of Electrophysiology and Kinesiology, Denmark, 2010.6.19
- [5] Masahiro Ishii(富山大学), Kotaro Yokoyama, “Binocular advantage on percept of continuous motion”, 33rd European Conference on Visual Perception, Switzerland, 2010.8.23
- [6] M Fujita(富山大学), M Ishii, M Sato, “Depth percept from horizontal and vertical motion parallax by to-and-fro head motion”, 33rd European Conference on Visual Perception, Switzerland, 2010.8.23
- [7] 五十嵐理恵(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “ダブルネイル錯視を生起する輻輳条件について”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.19
- [8] 松田修平(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “両眼視差や運動視差で奥行き反転が発生した際の相関研究”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.20
- [9] 中村大志(富山大学), 石井雅博, “刺激への能動的関与による知覚の変調”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [10] 西川雄騎(富山大学), 石井雅博, 唐政, 山下和也, 佐藤雅之, “ランダムドットステレオグラムにおける奥行き消失に関する研究”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [11] 藤田昌志(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “前方方向の頭部移動に伴う運動視差による奥行き知覚に関する研究”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [12] 藤井稔(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “垂直剪断両眼網膜像差刺激による傾斜面の知覚とノニアスの見え方”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [13] 池田浩太(富山大学), 石井雅博, 唐政, 山下和也, 佐藤雅之, “Julesz 型ランダムドット・単純図形ステレオグラムを用いたアノマリー研究”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [14] 山田輝成(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “回旋視差による上下の方向知覚”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [15] 石井雅博(富山大学), 大上戸智之, 佐藤雅之, “輻輳性絶対距離知覚の調節による変調”, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2011.1.21
- [16] 岡本悠(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋 健嗣, “マスタ・スレーブシステムの操作者の生体信号に関する基礎研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山, 2011.5.27
- [17] 小宮みずき(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “空気圧アクチュエータを用いた拮抗駆動に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山, 2011.5.27
- [18] 吉野秀行(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋 健嗣, “操り機構を有する鉗子の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 岡山, 2011.5.27
- [19] Masahiro Ishii(富山大学), Masashi Fujita and Masayuki Sato, “Comparison between lateral head movement and to-and-fro head movement on depth

- perception from motion parallax”, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2011.7.17
- [20] Daishi Nakamura (富山大学), Masahiro Ishii, “The influence of observer’s voluntary action on perception of kinetic depth display”, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2011.7.17
- [21] Tomoyuki Daijogo (富山大学), Masahiro Ishii and Masayuki Sato, “Interaction between accommodation and vergence on distance perception, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2011.7.17
- [22] Shuhei Matsuda (富山大学), Masahiro Ishii and Masayuki Sato, “Combination of binocular disparity and motion parallax does not contribute to the fixing of depth reversal”, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2011.7.17
- [23] Minoru Fujii (富山大学), Masahiro Ishii and Masayuki Sato, “Scaling of retinal image induced by vertical magnification disparity”, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2011.7.17
- [24] Junki Maeda (富山大学) and Masahiro Ishii, “The influence of binocular disparity and motion parallax on shape constancy”, Asia-Pacific Conference on Vision, Hong Kong, 2012.7.17
- [25] 石井雅博 (富山大学), 大上戸智之, 佐藤雅之, “調節の違いは輻輳による見えの距離を調整する”, 第 13 回日本感性工学会大会, 東京, 2011.9.5
- [26] 中村大志 (富山大学), 石井雅博, “運動奥行き知覚における観察者意図の影響”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 富山, 2011.9.8
- [27] 松田修平 (富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “両眼網膜像差と運動視差の組み合わせにおける奥行き反転改善に関する研究”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 富山, 2011.9.8
- [28] 大上戸智之 (富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “絶対距離知覚における調節の影響”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 富山, 2011.9.8
- [29] 藤井 稔 (富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “垂直両眼網膜像差刺激による奥行きの生起機序に関する研究”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 富山, 2011.9.8
- [30] 神原裕行 (東京工業大学), 辛徳, 小池康晴, “状況に応じた運動時間の変化を予言する到達運動制御モデルの提案”, 第 34 回日本神経科学大会, 横浜, 2011.9.16
- [31] 山崎佑朋 (東京工業大学), 辛徳, 神原裕行, 小池康晴, “ステイフネスが重さに知覚を与える影響”, 第 34 回日本神経科学大会, 横浜, 2011.9.16
- [32] Masahiro Ishii (富山大学) and Daishi Nakamura, “Manipulating intent alters perception of depth-from-rotation display”, International Multisensory Research Forum, Fukuoka, 2011.10.18
- [33] 佐藤秀一 (富山大学), 石井雅博, “Pseudo-Haptics の異方性について”, イメージ・メディア・クオリティ研究会, 富山, 2011.11.25

- [34] 神原裕行(東京工業大学), 辛徳, 小池康晴, “手首のステップトラッキング運動における軌道生成に関する研究”, 日本神経回路学会 第 21 回全国大会, 沖縄, 2011.12.15
- [35] 松田修平(富山大学), 石井雅博, “両眼網膜像差による相対距離知覚”, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 富山, 2012.3.12
- [36] 中村大志(富山大学), 石井雅博, “能動的動作が二義的運動知覚に及ぼす影響”, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 富山, 2012.3.12
- [37] 大上戸智之(富山大学), 石井雅博, 佐藤雅之, “遠近調節が絶対距離知覚に及ぼす影響”, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 富山, 2012.3.12
- [38] 藤井稔(富山大学), 石井雅博, “前後方向の運動視差による奥行き知覚”, 電子情報通信学会画像工学研究会, 富山, 2012.3.12
- [39] Masahiro Ishii(札幌市立大学) and Shuichi Sato, “Pseudo-Haptics using motion-in-depth stimulus and second-order motion stimulus”, Vision Sciences Society, Florida, USA, 2012.5
- [40] 山本将義(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “冗長自由度を有する空気圧駆動鉗子マニピュレータの外力推定に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、浜松、2012.5.28
- [41] 吉田浩之(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “遠隔操作システムにおいて力のスケールリングが操作性に与える影響の考察”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会浜松、2012.5.28
- [42] 吉野秀行(東京工業大学), 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “腹腔鏡手術用空気圧駆動ハンドの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会浜松、2012.5.28
- [43] Yoshinari Kinoshita, Zheng Tang, Masahiro Ishii(札幌市立大学), “Horizontal vertical illusion by touch”, Asia Pacific Conference on Vision, Korea, 2012.7
- [44] Masahiro Ishii(札幌市立大学), “A study on stereoanomalies: comparison of upper and lower visual field”, Asia Pacific Conference on Vision, Korea, 2012.7
- [45] 中小路久美代(SRA), 山本恭裕, “TCieX: An Approach toward Communicating Weight through Pseudo-Haptic Feedback Mechanisms”, The Annual Meeting of the Cognitive Science Society (COGSCI 2012), 札幌, 2012.8.3
- [46] Hiroyuki Kambara(東京工業大学), Duk Shin, Yasuharu Koike, “The effect of temporal prediction error on weight perception”, The 42st annual meeting of the Society for Neuroscience (SfN), New Orleans, USA, 2012.10.15
- [47] 大久保晃佑(東京工業大学), 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “遠隔操作システムの力覚感度に関する指標の提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、筑波、2013.5.23
- [48] 江航傑(東京工業大学), 吉田浩之, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, “EMG を用いた異なる力覚タイプに対するフォーススケールリングファクタの調整”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、筑波、2013.5.24
- [49] 吉村奈津江(東京工業大学), Charles Sayo Dasalla, 地村弘二, 花川隆, 小池康晴,

- “fMRI を用いたヒトの手首随意運動における内部・外部座標系の脳内表象”、Neuro2013 (第 36 回日本神経科学大会、第 56 回日本神経化学学会大会、第 23 回日本神経回路学会 合同大会)、京都、2013.6.20
- [50] 神原裕行(東京工業大学)、小川展夢、辛徳、小池康晴、“環境の不確実性に応じてスティフネスレベルを調節する物体受け取りタスクのための運動制御・学習モデルの提案”、Neuro2013(第 23 回日本神経回路学会 合同大会)、京都、2013.6.21
- [51] 小川展夢(東京工業大学)、川瀬利弘、神原裕行、辛徳、吉村奈津江、小池康晴、“遠心性信号が重さの知覚に与える影響についての研究”、Neuro2013(第 23 回日本神経回路学会 合同大会)、京都、2013.6.21
- [52] 辛徳(東京工業大学)、中西康彦、陳超、神原裕行、吉村奈津江、渡辺秀典、南部篤、伊佐正、西村幸男、小池康晴、“サルの皮質脳波から推定した筋電信号を用いた腕の角度の推定”、Neuro2013(第 23 回日本神経回路学会 合同大会)、京都、2013.6.21
- [53] 神原裕行(東京工業大学)、“タイミングのずれが引き起こす重さの錯覚現象”、第 7 回 Motor Control 研究会、東京、2013.9.7
- [54] 小川展夢(東京工業大学)、神原裕行、小池康晴、“予測の不確実性に応じた手首インピーダンス制御”、脳と心のメカニズム第 14 回冬のワークショップ、ルスツ、2014.1.8
- [55] 小川展夢(東京工業大学)、神原裕行、辛徳、吉村奈津江、小池康晴、“Effect of uncertainty in weight prediction on wrist impedance”、5th Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2014)、埼玉、2014.3.12
- [56] Masahiro Ishii(札幌市立大学) and Minoru Fujii, “Depth percept from motion parallax by backward/forward head movements”, 13th Annual Meeting of the Vision Sciences Society, Florida, USA, 2013.5.14
- [57] Akiko Yasuoka(札幌市立大学), Masahiro Ishii, and Shuhei Matsuda, “Stereomanomaly for crossed disparity in the upper visual field and uncrossed disparity in the lower visual field”, 13th Annual Meeting of the Vision Sciences Society, Florida, USA, 2013.5.14
- [58] Duk Shin(東京工業大学), Chao Chen, Yasuhiko Nakanishi, Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Hidenori Watanabe, Atsushi Nambu, Tadashi Isa, Yukio Nishimura and Yasuharu Koike, “Prediction of joint angle from muscle activities decoded from electrocorticograms”, 5th International Symposium on Measurement, Analysis and Modelling of Human Functions (ISHF2013), Vancouver, Canada, 2013.6.27
- [59] Hiroyuki Kambara(東京工業大学), Hiromu Ogawa, Duk Shin, Yasuharu Koike, “A motor control-learning model enabling stiffness adjustment according to uncertainty of object’s weight during load-on task”, 43rd annual meeting of the Society for Neuroscience (SfN), San Diego, USA, 2013.11.10
- [60] Masahiro Ishii(札幌市立大学), “Modulation of distance estimation of visual object

by stimulation of vergence and accommodation”, 14th Annual Meeting of the Vision Sciences Society, Florida, USA, 2014.5.15

- [61] Akiko Yasuoka (札幌市立大学) and Masahiro Ishii, “Summation, interaction and disparity Subjective contour yielded by cue combination”, 14th Annual Meeting of the Vision Sciences Society, Florida, USA, 2014.5.15
- [62] 吉木均(東京工業大学)、原口大輔、川嶋健嗣、只野耕太郎、“空気圧駆動柔軟3本指ハンドにおける指先外力推定”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、富山、2014.5.28
- [63] Duk Shin (東京工業大学), Hidenori Watanabe, Yasuhiko Nakanishi, Hiroyuki Kambara, Atsusi Nambu, Yukio Nishimura, Yasuharu Koike, “Control of an arm robot using decoded muscle activities from electrocorticograms”, XX Congress of the international society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK2014), Rome, Italy, 2014.7.18
- [64] Akiko Yasuoka (札幌市立大学), Masahiro Ishii, “Effect of display inclination on the vertical-horizontal illusion”, 10th Asia-Pacific Conference on Vision, Takamatsu, 2014.7.19
- [65] Ayane Murai (札幌市立大学), Ryuichi Yokota, Masahiro Ishii, “Effect of analytic observation on line length judgments of geometrical optical illusion stimulus”, 10th Asia-Pacific Conference on Vision, Takamatsu, 2014.7.19
- [66] Masahiro Ishii (札幌市立大学), “Illusory contours on random dot images”, 10th Asia-Pacific Conference on Vision, Takamatsu, 2014.7.19
- [67] 神原裕行(東京工業大学), 小川展夢, 辛徳, 吉村奈津江, 小池康晴, “環境の不確実性に応じて変化する最適な手首インピーダンスの考察”, 第8回 Motor Control 研究会, つくば, 2014.8.9
- [68] 神原裕行(東京工業大学), 小川展夢, 辛徳, 吉村奈津江, 小池康晴, “Impedance Control Affected by Uncertainty”, 日本神経回路学会第24回全国大会 (JNNS2014), 函館, 2014.8.27

(4) 知財出願

① 国内出願(3件)

- [1] 手術用撮像システム及び手術用ロボット、川嶋健嗣、只野耕太郎、東京工業大学、2011.4.10、特願 2011-093557
- [2] 力算出システム、川嶋健嗣、只野耕太郎、原口大輔、東京工業大学、2011.4.16、特願 2011-098178
- [3] 力覚提示装置および該方法、小池康晴、川嶋健嗣、只野耕太郎、中小路久美代、山本恭裕、松原伸人、東京工業大学、株式会社 SRA、2013.3.29、特願 2013-73156

② 海外出願(1件)

- [1] 力算出システム、川嶋健嗣、只野耕太郎、原口大輔、東京工業大学、平成24年4月20日、PCT/JP2012/60731、米国他

③ その他の知的財産権

該当なし

(5) 受賞・報道等

① 受賞

- [1] 川嶋健嗣、日本フルードパワーシステム講演会 最優秀講演賞 2010
[2] 川嶋健嗣、2011年度日本機械学会機械力学・計測制御部門一般表彰(オーディエンス表彰)
[3] 川嶋健嗣、2013年度日本フルードパワーシステム学会学術論文賞
[4] 石井雅博、精密工学会北海道支部学術講演会優秀プレゼンテーション賞 2014

② マスコミ(新聞・TV等)報道

- [1] 川嶋健嗣、只野耕太郎:手術支援ロボ小型化, 日刊工業新聞, 平成22年3月8日1面
[2] 川嶋健嗣、只野耕太郎:手術ロボ 微妙な手応え遠隔伝達, 日経産業新聞, 平成22年4月21日11面
[3] 川嶋健嗣、只野耕太郎:東工大 空気圧で鉗子操作支援ロボ触角も伝える, 日経産業新聞, 平成22年5月12日11面
[4] 川嶋健嗣、只野耕太郎:吉川大地:画像で力の感覚伝達, 日刊工業新聞, 平成22年11月1日16面
[5] 川嶋健嗣、只野耕太郎、佐藤慶明:手術支援ロボ小型化, 日刊工業新聞, 平成22年11月10日16面
[6] 川嶋健嗣:日刊工業新聞, 内視鏡の位置頭の動きで操作, 平成23年7月1日21面
[7] 川嶋健嗣:テレビ放映、テレビ東京、ワールドビジネスサテライト、トレンドたまご、平成25年7月17日
[8] 川嶋健嗣:日刊工業新聞、内視鏡手術支援ロボ、平成26年6月3日19面
[9] 小池康晴:日刊工業新聞、問題解決型ロボに注目、平成26年7月18日28面
[10] 小池康晴:テレビ放映、テレビ東京、ワールドビジネスサテライト、人の隣で働くロボット・夢の「一体化」へ、平成26年7月23日
[11] 小池康晴:テレビ放映、テレビ神奈川、ハマナビ、横浜 ROBOT ～ともに暮らすロボットたち～、平成26年9月27日

③ その他

- [1] 第 23 回フルードパワー国際見本市に手術ロボットを実演出展, 2011.7.20～22
- [2] イノベーションジャパン 2011 にインピーダンス制御ロボットの実演出展, 2011.9.21～22
- [3] 国際ロボット展に手術ロボットを実演出展, 2011.11.9～12
- [4] 手術ロボット出展、テクノフロンティア 2013、東京ビックサイト、2013.7.23～25
- [5] 防水型筋電図電極出展、イノベーション・ジャパン 2013、東京ビックサイト、2013.8.29～30
- [6] 腕の巧みな動きを再現するロボット出展、TECHNO-FRONTIER 2014、東京ビックサイト、2014.7.23～25
- [7] イノベーションジャパン 2014 に手術支援ロボットを実演出展、東京ビックサイト、2014.9.11～12
- [8] 第 24 回フルードパワー国際見本市に手術支援ロボット用鉗子を実演展示、東京ビックサイト、2014.9.18～19

(6) 成果展開事例

① 実用化に向けての展開

- ・ 文部科学省大学発新産業創出拠点プロジェクトに採択され、課題名「気体の超精密制御技術を基盤とした低侵襲手術支援ロボットシステムの開発」(H24～H26)、大学発ベンチャー企業「リバーフィールド株式会社」を H26 年 5 月に設立、手術ロボットの実用化に取り組んでいる。

② 社会還元的な展開活動

- ・ 得られた成果(手術ロボットや義手・パワーアシストロボット)について、テクノフロンティアやイノベーションジャパンに出店し、2014 年テクノフロンティアは、3 日間で約 3 万人の来場者があった。講演会では、100 名以上の聴講者があった。

§ 5 研究期間中の活動

5.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成22年7月12日	「筋骨格系を基にした感覚と制御」研究会	岡山館	10人	グループ内の知識の共有のため、関連のあるトピックに関する講演会
平成25年6月27～29日	ISHF2013	バンクーバー・カナダ	20名	人間の機能をどの様に計測しモデル化するかに関する国際シンポジウム

§ 6 最後に

本研究は、知覚中心インタフェースの開発を目指し、脳の知覚メカニズムの研究と、その成果を手術ロボットなどのインタフェースに応用していくものであり、基礎的な研究とその応用研究により構成されている。脳の知覚メカニズムの研究については、腕の筋骨格モデルを用いた粘弾性特性の推定、および、制御アルゴリズムの研究を中心に、筋肉の活動と重さや固さの知覚特性をしらべ、ほぼ予定通り実施できた。粘性については、定量的な推定が困難であったため、弾性との関係を用いて実験的にパラメータの調整を行うことになったが、重さ知覚を任意に制御できるアルゴリズムを構築できた。また、視覚特性についても、両眼視差による立体視が困難な人の割合が、これまで考えられてきた割合よりも多く存在することを、視点を変化させ計測することで明らかにし、立体視の提示に有効な位置を示すことができた。

さらに、脳の活動を fMRI により解析し、運動中の座標系の問題を非侵襲計測により解析できることを示した。これらの成果は、国内外のジャーナル雑誌で成果を公表し、作成したロボットや iPad アプリによる重さ知覚の体験型展示をイノベーションジャパンやテクノフロンティアで行なった。

手術ロボットの開発に関しては、ほぼ予定通り実施できた。特にスレーブ側の鉗子マニピュレータは相当完成度が向上し、動物実験が実施できる段階まで進むことができた。

これまで、様々なハプティックデバイスが開発され、実験室レベルで有効性が示されてきたが、実用化されているものは、振動を用いた擬似的な提示などに限られている。一つの理由は大がかりな装置を用いる必要があるため、商品化が難しいということである。我々は人の知覚特性を筋電図だけから推定することで、センサやアクチュエータを使わずに、操作者の意図とその結果の視覚提示の間に効果的なずれを生じさせることで、重さを知覚できる装置の開発に成功した。今後は、一般的なヒューマンインタフェースに力覚情報が加えられる簡便な装置の開発を行っていく予定である。手術ロボットについても、力覚を視覚的に感じさせることで、ハプティックデバイスで提示する場合とほぼ等しい効果があることを確認した。また、この成果は、特許出願も行った。さらに、医科歯科大学で実際にテストを行うなど、医師からもその有用性を認められた。

このように当初の目標であった、基礎的な研究成果を応用して、知覚中心インタフェースを提案することができ、人が装着できるロボットの開発など、調和型情報社会におけるウェアラブルインタフェースの新しい提案を行うことができた。

また、各グループの研究代表者すべてが、大学の教授に昇進するなど、それぞれの研究成果が認められ、高く評価された。