

実世界ハプティクス の 応用技術

実世界ハプティクスの応用技術に関する協同研究委員会編

目 次

1. まえがき	3	3.3 混合定数系モデルに基づく 柔軟アームの力制御	25
1.1 実世界ハプティクスの応用技術に 関する協同研究委員会の目的	3	3.4 電動ヘリコプタの接触力制御	29
1.2 世界的動向	3	4. 人間支援機器への応用	33
1.3 委員会活動報告	3	4.1 力可視化バイオフィードバック機能を 有する前脛骨筋の遠心性収縮 トレーニングシステム	33
2. ハプティクスの基盤技術	4	4.2 力情報に基づく下肢機能評価に関する 一考察	38
2.1 双方向ドライバビリティ行列に 着目した制御設計の一検討	4		
2.2 時間遅れを有する遠隔操作における 接触予見制御	9		
2.3 熱拡散方程式に基づく温熱覚呈示	13		
3. ハプティクスのための力制御	17		
3.1 外乱にロバストな二慣性系のねじれトルク 制御のための等価外乱補償器	17		
3.2 推力定数変動を考慮した反力推定 オブザーバによる高精度力覚 センシングと力覚制御	21		

実世界ハプティクスの応用技術に関する 協同研究委員会委員

委員長	辻 俊明(埼玉大学)	委員	高崎 正也(埼玉大学)
幹事	境野 翔(埼玉大学)		竹内 一生((株)東京自働機械製作所)
幹事	菅野 貴皓(東京医科歯科大学)		田中 由浩(名古屋工業大学)
幹事補佐	横倉 勇希(長岡技術科学大学)		中山 学之(大阪工業大学)
委員	浅野 洋介(木更津工業高等専門学校)		名取 賢二(千葉大学)
	伊藤 和晃(豊田工業高等専門学校)		野崎 貴裕(慶應義塾大学)
	内村 裕(芝浦工業大学)		藤本 康孝(横浜国立大学)
	遠藤 孝浩(京都大学)		宮崎 敏昌(長岡技術科学大学)
	大石 潔(長岡技術科学大学)		元井 直樹(神戸大学)
	大西 公平(慶應義塾大学)		矢代 大祐(三重大学)
	大場 譲(仙台高等専門学校)		山之内 亘(沼津工業高等専門学校)
	桂 誠一郎(慶應義塾大学)		吉澤 信幸(日本工業大学)
	下野 誠通(横浜国立大学)		

1 ま え が き

1.1 実世界ハプティクス応用技術に関する協同研究委員会の目的

視覚や聴覚の情報はメディアによる記録・再生が比較的容易であり、今日では様々な場面にその技術が導入されている。その一方で触覚の情報については、対象物への接触時に作用力に対して反作用力が発生する、双方向性と呼ばれる特徴を考慮してメディアを設計しなければならない。その制約を考慮したうえで触覚を処理するためにはバイラテラル制御をはじめとする様々な技術が必要となる。情報伝達経路をフィードバックループに含む閉ループ系を構成する際には、接触力の正確な伝達のための制御や、情報伝達の遅延を含むシステムの安定性などが課題となるが、これらの課題を解決するためには電気工学はもとより、制御工学、情報工学、通信工学にまたがる複合的な研究領域で議論を進める必要がある。そこで、アクチュエータ、センサ、モーションコントロール、通信・ネットワークシステム、データベースなどの研究者・技術者を対象とした協同研究委員会を設置する。さまざまな分野を専門とする研究者を集め、有機的な連携に基づく議論の場を提供することにより、当研究分野のさらなる発展に寄与することを目的とする。

1.2 世界的動向

IoT 技術の浸透は、人が活動する実世界と情報ネットワークの統合をもたらすものである。実世界と情報ネットワークをより強固に繋いだ用途が増えるにしたがい、視覚や聴覚を利用したインタフェースに加えて触覚インタフェースを利用すべき例が増えている。人とネットワークや情報機器の接点として、ハプティクス技術の重要性はますます高まっていると言える。また、ネットワーク技術の進化に伴い、伝達された触覚データの利用方法の選択肢が増えつつあり、ハプティクス技術の応用可能性は拡張している。以上の背景からハプティクスの研究は世界的に盛んである。IEEE においては、HAPTICS, HAVE, WHC などの国際会議が開催されている。また、IEEE Robotics and Automation Society (RAS) において、Technical Committee on Haptics (TCH) が 2005 年に設立されているほか、Industrial Electronics Society (IES) の Technical Committee on Sensor and Actuation や Technical Committee on Motion Control でも活発に研究調査が進められている。国内においては、日本バーチャルリアリティ学会、人間工学会、計測自動制御学会などで活発に議論が進められている。電気学会においては、2012 年に「実世界ハプティクス協同研究委員会」が設置され 2 年間の研究調査を行い、2014 年には「実世界ハプティクスの高度化に関する協同研究委員会」においてその活動を発展させている。上記の委員会は、IEEE Industrial Electronics Society の主催による国際会議 IECON, AMC, ICM および

電気学会産業応用部門大会、全国大会、SAMCON などにおいて特別セッションを企画することで、国際的なイニシアチブを発揮してきた。上記委員会の活動は 2016 年 11 月をもって設置期間満了のため一旦終了したが、上に述べた理由により、これまでに高められてきたハプティクスの技術を応用展開する機運が高まりつつある。そこで 2017 年 3 月に本協同研究委員会を産業応用部門メカトロニクス制御技術委員会の傘下に設置した。

1.3 委員会活動報告

平成 29 年 (2017 年) 3 月に本委員会を発足した際に設置趣意書に記載した活動内容は以下のとおりである。

1. 高精度・広帯域な触覚検知技術とその制御を可能にするための力制御技術について調査を行う。併せて、触覚検知と位置検知を複合して得られる情報から技能を抽出・再現する方法論を議論する。
2. ハプティックデバイスの多自由度化・フレキシブル化に不可欠なアクチュエーション、センシング技術について調査を行う。
3. 遠隔操作における触覚フィードバックを行うための新しい通信方式ならびに遅延補償制御について整理する。
4. 医療・福祉を対象とする人間支援分野や産業分野への展開の可能性について調査を実施し、これらの応用システムから得られる触覚データの利用方法について検討する。

上記の内容に基づき、平成 31 年 2 月までに 10 回の委員会、2 回の研究会、産業応用部門大会のシンポジウムセッション 1 件、SAMCON2018 における招待セッション 1 件と SAMCON2019 におけるスペシャルセッション 1 件を開催し、最新技術および応用事例についての網羅的な調査・研究を行ってきた。さらに、IECON, AMC, MECHATRONICS 等国際会議におけるオーガナイズドセッション、スペシャルセッションを数多くオーガナイズした。また、SAMCON2018 と SAMCON2019 において企画した実演デモンストレーションは大変好評であった。このような活発な活動を通じて、以下の 4 点の成果が得られた。(1) 鋭敏な触覚伝達のためのアクチュエータ技術の発展、(2) 触覚情報を検知するためのセンサ技術の発展、(3) 上記技術を実装したバイラテラル制御による制御性能の向上、(4) 人の技能運動の解析と編集に関する手法の確立。その成果について 2 章以降で報告する。

(担当：辻)