

実世界ハプティクスの最新技術

実世界ハプティクス協同研究委員会編

目 次

1. まえがき	3	5. 遠隔操作のための実世界ハプティクス	27
2. 実世界ハプティクスの理論と展望	5	5.1 テレハプティクスのための 時間遅れ系の制御	27
3. 実世界ハプティクスの高度化技術	7	5.2 通信外乱オブザーバを適用した バイラテラル遠隔操作システム	31
3.1 センサレス力制御と 電流制御系の統一設計法	7	5.3 テレハプティクスのための通信技術	35
3.2 ダイオードクランプリニア増幅器を用いた 高品位電流制御による力制御	11	6. 実世界ハプティクスによる人間支援・ 産業応用	39
4. 実世界ハプティクスの多自由度化・ フレキシブル化	15	6.1 動作の手づたえ教示を支援する 実世界ハプティクス	39
4.1 多指ハプティックインタラクション	15	6.2 実世界ハプティクスの 上肢リハビリテーション支援応用	42
4.2 二関節同時駆動ロボットアームの制御	19	6.3 ハプティクスと外科手術	46
4.3 油圧アクチュエータを用いた 多自由度バイラテラル制御	23	6.4 ハプティック機能を有する自動化機械	50
		7. あとがき	54

実世界ハプティクス協同研究委員会委員

委員長	大石 潔(長岡技術科学大学)	委員	下野 誠通(横浜国立大学)
副委員長	内村 裕(芝浦工業大学)		竹内 一生(東京自働機械製作所)
幹事	桂 誠一郎(慶應義塾大学)		田中 由浩(名古屋工業大学)
	藤本 康孝(横浜国立大学)		辻 俊明(埼玉大学)
幹事補佐	遠藤 孝浩(岐阜大学)		名取 賢二(千葉大学)
委員	青木 良輔(日本電信電話)		野崎 貴裕(横浜国立大学)
	浅野 洋介(木更津工業高専)		橋本 誠司(群馬大学)
	伊藤 和晃(豊田工業高専)		宮崎 敏昌(長岡技術科学大学)
	大西 公平(慶應義塾大学)		村上 俊之(慶應義塾大学)
	大場 讓(仙台高等専門学校)		元井 直樹(神戸大学)
	河合 俊和(大阪工業大学)		矢代 大祐(三重大学)
	久保 亮吾(慶應義塾大学)		山之内 亘(沼津工業高専)
	境野 翔(埼玉大学)		横倉 勇希(長岡技術科学大学)
	島田 明(芝浦工業大学)		吉澤 信幸(日本工業大学)

1. まえがき

1.1 背景

五感情報のうち聴覚情報（音声）や視覚情報（画像，映像）は電話やラジオ，テレビといった発明により空間を越えて通信，放送することが可能になっており，今日のヒューマンコミュニケーションになくなくてはならない存在となっている。触覚情報は視聴覚のマルチメディア情報に続く第3メディアとしてその実現が期待され，多くの研究開発が行われているものの，その多くがバーチャルリアリティの延長技術にとどまっている。これは触覚情報が作用反作用の法則に支配される双方向性を有する感覚情報であるため，その再現において遅れが許されないからであるために他ならない。

近年，触覚情報の人工再現を取り扱う学問領域であるハプティクス（触覚学）分野において，実世界ハプティクスの基本原理が解明され，マスタースレーブシステム使用による鋭敏な触覚再現の実現が可能になっている。この実世界ハプティクス技術は，産業界において革新をもたらすことが期待されるばかりでなく，フレキシブルでパーソナルな人間支援においても重要な技術となる。実世界ハプティクスのさらなる高度化には，アクチュエータ，センサ，電力変換，モーションコントロール，通信・ネットワークシステム等の総合デザイン方法論を明らかにすることが必要である。

以上のような状況に鑑み，電気学会産業計測制御技術委員会の下に，2012年8月から2014年7月まで「実世界ハプティクス協同研究委員会」を設置し，2年間に亘り関連技術の調査・検討を行った。2013年1月からは新たに発足したメカトロニクス制御技術委員会傘下の協同研究委員会として活動を行った。

1.2 委員会活動報告

本協同研究委員会は2年の活動期間の中で，12回の委員会をはじめ，2回の研究会，平成26年電気学会全国大会におけるシンポジウムをそれぞれ開催した。特に研究会においては，2回の実施でのべ34件の論文を取り纏め，協賛運営を実施してきた。そのほかにも本委員会メンバーの多数が国際会議や学術講演会等におけるオーガナイズドセッションの提案，運営への参画等，本研究分野における国際的な研究調査活動に大きく寄与してきた。こうした活発な活動を経て，以下の4点の調査・研究を行った。

- (1) 高精度・広帯域な触覚抽出・再現を可能にするための実世界ハプティクスの総合デザイン技術
- (2) 実世界ハプティクスの多自由度化・フレキシブル化に不可欠なアクチュエーション，制御系実装技術
- (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
- (4) 医療・福祉分野をはじめとする人間支援分野への展開，産業応用技術

1.2.1 委員会

- (1) 第1回委員会
日時：2012年8月20日(月)
場所：横浜国立大学
基調講演：「実世界ハプティクス」(大西委員)
- (2) 第2回委員会
日時：2012年11月9日(金)
場所：慶應義塾大学 新川崎キャンパス
講演：「「超身体」獲得のための実世界ハプティクス」(桂幹事)
- (3) 第3回委員会
日時：2013年1月22日(火)
場所：長岡技術科学大学，まちなかキャンパス長岡
講演1：FPGAを用いた高速サンプリングのバイラテラル制御(大石委員長)
講演2：G級増幅器を用いた高品位電流制御系によるバイラテラル制御(横倉委員)
- (4) 第4回委員会
日時：2013年3月8日(金)
場所：千葉大学
- (5) 第5回委員会
日時：2013年6月21日(金)
場所：芝浦工業大学 豊洲キャンパス
講演1：「テレハプティクスのための時間遅れ系の制御」(内村委員)
講演2：「化学ロボットの設計」(前田真吾先生(芝浦工業大学))
- (6) 第6回委員会
日時：2013年8月31日(土)
場所：ホテルニュータナカ
講演1：「実世界ハプティクスの上肢リハビリテーション支援応用」(下野委員)
講演2：「油圧アクチュエータを用いたバイラテラル制御」(境野委員)
- (7) 第7回委員会
日時：2013年11月22日(金)
場所：アオーレ長岡
- (8) 第8回委員会
日時：2013年12月25日(水)
場所：岐阜大学
講演1：「長さ知覚における皮膚感覚と自己受容感覚の役割」(寺田和憲先生(岐阜大学))
講演2：「多指ハプティックインタラクション」(遠藤委員)
- (9) 第9回委員会
日時：2014年3月10日(月)
場所：芝浦工業大学 芝浦キャンパス