

人間支援モーションコントロール の最新技術

人間支援モーションコントロールに関する協同研究委員会編

目 次

1. まえがき	3	3.3 住友重機械工業における制御事例紹介	40
1.1 人間支援モーションコントロール協同研究委員会の位置付け	3	3.4 IHI におけるロボット研究開発事例の紹介	45
1.2 委員会活動報告	3	4. リハビリテーション分野における人間支援技術開発	50
1.3 本報告書の概要	3	4.1 Robocup サッカーと歩行支援機器	50
2. 人間支援モーションコントロールの基盤技術	4	4.2 現場ニーズに基づくリハビリ訓練支援機器	54
2.1 実世界ハプティクスによる人間支援の新展開	4	4.3 ウェアラブル肘関節の研究	57
2.2 拘束条件をもつ制御対象のモデリングと制御	9	5. あとがき	62
2.3 スペクトラルモデルによるナイキスト線図上での制御器設計	13		
2.4 スパイラルモータのダイレクトドライブ制御	17		
2.5 モーションコントロールシステムにおけるむだ時間補償法の提案	21		
2.6 量子化フィードバックによる位置決め制御	25		
3. ロボット分野・産業界における人間支援技術開発	31		
3.1 人と機械システムの相互協調制御を目指して	31		
3.2 弾性関節を持つロボットアームのグレーボックスモデリング	36		

人間支援モーションコントロールに関する 協同研究委員会委員

委員長	南方英明(千葉工業大学)	委員	駒田 諭(三重大学)
幹事	伊藤正英(成蹊大学)		榊 泰輔(九州産業大学)
	残間忠直(千葉大学)		柴田昌明(成蹊大学)
幹事補佐	元井直樹(横浜国立大学)		島田 明(芝浦工業大学)
委員	浅野洋介(木更津高等専門学校)		下野誠通(横浜国立大学)
	熱海武憲(H G S T)		鈴木達也(名古屋大学)
	池浦良淳(三重大学)		高橋 悟(香川大学)
	池田英俊(三菱電機)		高橋 太郎(トヨタ自動車)
	石井千春(法政大学)		谷口 峻(東芝)
	岩崎 誠(名古屋工業大学)		辻 俊明(埼玉大学)
	内村 裕(芝浦工業大学)		名取賢二(千葉大学)
	恵木 守(オムロン(株))		橋本誠司(群馬大学)
	呉 世訓(サムスン重工業)		早川聡一郎(三重大学)
	大明準治(東芝)		林田宣宏(ニコン)
	大石 潔(長岡技術科学大学)		平田光男(宇都宮大学)
	大内茂人(東海大学)		藤本博志(東京大学)
	大西公平(慶應義塾大学)		藤本康孝(横浜国立大学)
	置田 肇(ファナック)		堀 洋一(東京大学)
	小椋 優(I H I)		真鍋 舜治()
	小田尚樹(千歳科学技術大学)		村上俊之(慶應義塾大学)
	桂誠一郎(慶應義塾大学)		森園哲也(福岡工業大学)
	加藤 敦(住友重機械工業(株))		森田良文(名古屋工業大学)
	加藤義樹(三菱重工業)		吉浦 泰史(安川電機)
	金子健二(産業技術総合研究所)		弓場井一裕(三重大学)
	河村 篤男(横浜国立大学)		劉 江桁(富士電機ホールディングス)

1. まえがき

1.1 人間支援モーションコントロール協同研究 委員会の位置付け

モーションコントロールとは直訳すれば運動の制御ということで、身の回りの物理現象（特にニュートン力学）に基づく運動を、なるべく我々の意に沿った形にすることを意味している。すなわち航空機のような大きなものから分子レベルのマニピュレーションのような小さなものまで、「ものが動く」時には必ずついて回るテーマである。電気学会においてはその動力源として電気を使うアクチュエータを中心に据え、その適切な制御によってさまざまな運動を適切におこなうという観点からの研究調査が盛んに進められてきた。つまり従来はほぼ定速な運転がおこなわれていた電気モータが、可変速駆動や精密な位置制御が可能になってきたことにより、できることが大きく広がったことにもなる研究調査分野であり、この 25 年で大いに発展した項目である。このような背景からいわゆる電気モータを使うアプリケーションが主に扱われてきたが、その技術は電気モータ以外のアクチュエータにも、またものが動かない分野（例えば熱フローの制御など）にも応用が進みつつある。なおモーションコントロールという言葉が公に使われたのは 1985 年の Bose の論文⁽¹⁾が最初ではないかと言われている。

電気学会においては産業応用部門産業計測制御技術委員会（以下 IIC）が主体的にモーションコントロールに関する調査研究をすすめている。IIC に設置されたモーションコントロール関係の研究調査専門委員会（あるいは協同研究委員会）は 1989 年の「アドバンスドモーションコントロール調査専門委員会」を祖とし、2012 年に至るまで 11 代に渡って当時の主要な話題を盛り込みながら継続がなされている。代を重ねるごとにモーションコントロール技術の適用範囲は広がっていき、医療・介護などの人間との相互作用もその対象に含まれるようになってきている。そこで 2010 年に発足した人間支援モーションコントロール協同研究委員会（以下、本協同研究委員会）では直接・間接を問わず広く人間を支援しうるモーションコントロール技術に焦点を当てて研究調査をおこなっていくこととなった。

1.2 委員会活動報告

本協同研究委員会では、以下の項目を調査検討対象として設定した。

(1)人間・機械複合系におけるモーションコントロールの研究開発事例の調査

医療・福祉分野や環境・生活支援関連分野をはじめ、人の介在するシステムを対象とするモーションコントロ

ールを中心とした研究開発事例について調査する。

(2)モーションコントロールの共通基盤技術に関する調査

リアルタイム OS や組込み型 OS、通信・ネットワークシステムや FPGA などのソフトウェア、ミドルウェア、ハードウェアにわたってモーションコントロール技術の実現に不可欠な共通基盤技術の開発が発展してきている。それら技術開発を踏まえたモーションコントロールの研究応用事例の現況ならびに発展動向に関して調査する。

これをふまえて 2 年間にわたって 10 回の委員会、8 回の見学会を開催した。また発足期間中の 2 回の研究会(2011 年 3 月、2012 年 3 月)に委員を中心として多数の論文投稿をおこなっている。なお当該研究会は IIC 傘下の委員会を合同する形で実施されるようになり、150 を超える論文が集まるほどの活況を呈している。また電気学会産業応用部門大会では産業応用部門ものづくり技術委員会とシンポジウムを共同提案し、60 名近い参加者を集めることとなった。また本報告書を利用した産業応用フォーラムの開催が 2013 年に予定されている。

1.3 本報告書の概要

本報告書の第 2 章以降は下記の構成からなっている。

2 章では人間支援に繋がりうるモーションコントロールの基盤技術について解説をおこなっている。ハプティクスとは触覚のことであり、人間との相互作用において重要な役割を果たすことが期待されている。また様々な制約下で制御を実現したり、制御設計の見える化を進めたり、実装上の問題（無駄時間や量子化など）を解決していくことは適用分野を広げていく過程で重要な要素である。加えて本章ではより人間の筋肉に近い直動に適したモータの紹介もおこなっている。

3 章は実用化に関する事例紹介を中心に構成しており、環境問題から一般の関心も高い電気自動車の話題やロボットアーム、射出成形機等々におけるモーションコントロール技術の適用例を紹介している。

4 章ではより人間に近づいた環境での話題を集めている。最終的に人間と同じ環境でサッカーをプレーすることを目指している Robocup サッカーの紹介や歩行支援の話題、リハビリテーションの評価システムの開発、体に装着して負担を軽減する装置などを紹介している。

(担当：南方)

参考文献

- (1) B.K.Bose: "Motion Control Technology –Present and Future", IEEE Trans.on Industrial Applications, IA-21, No.6, 1985