

高性能化のための モーションコントロール最新技術

モーションコントロールの高性能化に関する調査専門委員会編

目 次

1. まえがき	3	3.7 ネットワーク化制御におけるモーションコントロール	44
1.1 背景	3	3.8 周期外乱オブザーバに基づくモーションコントロール	49
1.2 委員会活動報告	3	3.9 プロペラ推進システムの力制御	53
1.3 本報告の概要	3	3.10 流体ダイナミクスとモーションコントロール	57
2. モーションコントロールの高性能化に関わるアクチュエータ・変換器	4	4. モーションコントロール技術の産業分野, 医療・福祉, 人間・機械複合系における高性能化	62
2.1 新方式の大出力ピエゾアクチュエータ	4	4.1 様々な減速機構に起因する弾性関節を持つロボットアームにおける非線形モデルベース振動抑制制御の評価	62
2.2 人間支援システム応用を指向したダイレクトドライブモータ	8	4.2 高速光軸変更手段による複数対象監視	66
2.3 バックドライブアクチュエータを用いたアシスト制御	12	4.3 通信時間遅れを有する系に対する遠隔操作支援システム	70
2.4 マルチレベル電力変換器におけるデッドタイムに起因する電圧誤差に関する基礎的検討	16	4.4 力覚による操作アシストを有する移動ロボットの遠隔操作技術	75
3. モーションコントロールシステムの高性能化に関わる制御手法	20	4.5 ビジョンと連携した車椅子のパワーアシスト制御	80
3.1 P-PI 制御の極配置制約とフィードフォワード制御の効果	20	4.6 電気自動車への力制御の応用	84
3.2 2 慣性系の負荷側加速度制御のためのねじれトルク制御系における内部安定性解析	24	4.7 機能的電気刺激を用いた人-ロボット間のバイラテラル制御	88
3.3 等価剛体オブザーバを使用した 3 慣性系に対する振動抑制制御	28	5. あとがき	94
3.4 位置決め制御系におけるナイキスト周波数を超えた共振特性の評価	32		
3.5 モーションコントロールにおけるデータ駆動型制御器設計法の応用	36		
3.6 無線通信フィードバック制御システムにおける変動むだ時間の補償および定常偏差の改善	40		

モーションコントロールの 高性能化に関する調査専門委員会委員

委員長	残間 忠直	(千葉大学)	名取 賢二	(千葉大学)
	幹事 野崎 貴裕	(慶應義塾大学)	橋本 誠司	(群馬大学)
	矢代 大祐	(三重大学)	早川 聡一郎	(三重大学)
委員	浅野 洋介	(木更津工業高等専門学校)	林 崇	(富士電機)
	熱海 武憲	(千葉工業大学)	林田 宣宏	(ニコン)
	池田 英俊	(三菱電機)	平田 光男	(宇都宮大学)
	石井 千春	(法政大学)	藤本 博志	(東京大学)
	伊藤 和晃	(岐阜大学)	松家 大介	(日立製作所)
	伊藤 正英	(愛知県立大学)	真鍋 舜治	()
	内村 裕	(芝浦工業大学)	望月 慶佑	(三菱重工業)
	浦川 禎之	(日本工業大学)	元井 直樹	(神戸大学)
	恵木 守	(オムロン)	藪井 将太	(名古屋大学)
	呉 世訓	(D G I S T)	弓場井 一裕	(三重大学)
	大明 準治	(東芝)	横倉 勇希	(長岡科学技術大学)
	大内 茂人	(早稲田大学)	吉浦 泰史	(安川電機)
	置田 肇	(ファナック)	岩崎 誠	(名古屋工業大学)
	木村 麻衣	(I H I)	オブザーバ 大石 潔	(長岡技術科学大学)
	小田 尚樹	(千歳科学技術大学)	大西 公平	(慶應義塾大学)
	桂 誠一郎	(慶應義塾大学)	河村 篤男	(横浜国立大学)
	加藤 敦	(住友重機械工業)	駒田 諭	(三重大学)
	金子 健二	(産業技術総合研究所)	鈴木 達也	(名古屋大学)
	上條 芳武	(東芝)	辻 俊明	(埼玉大学)
	齊藤 英一	(三菱電機)	藤本 康孝	(横浜国立大学)
	境野 翔	(筑波大学)	堀 洋一	(東京大学)
	柴田 昌明	(成蹊大学)	村上 俊之	(慶應義塾大学)
	島田 明	(芝浦工業大学)	執筆協力者 浅井 洋	(神奈川県立産業技術総合研究所)
	下野 誠通	(横浜国立大学)	延命 朋希	(東京大学)
	朱 赤	(前橋工科大学)	金井 嘉毅	(横浜国立大学)
	関 健太	(名古屋工業大学)	千葉 誠	(千葉大学)
	高橋 悟	(香川大学)	土屋 光樹	(住友重機械工業)
	高橋 太郎	(トヨタ自動車)	八田 禎之	(横浜国立大学)
	恒木 亮太郎	(ファナック)		

1. まえがき

1.1 背景

モーションコントロールは、工作機械・産業用ロボット・ステージ装置・マテリアルハンドリングシステム・エレベータ・ディスク装置・車両駆動システム・圧延機・印刷機・フィルム成形機・人間支援装置など、さまざまな機器に広く用いられている。これらの応用分野においては、さらなる高速化・高精度化・高信頼化など、システムの高性能化が求められている。モーションコントロールの高性能化については、制御手法そのものも重要であるが、センシング手法やアクチュエータの開発もまた重要である。最近ではIoT (Internet of Things:モノのインターネット) 化という言葉に代表されるように、さまざまな装置がネットワークに接続され、それらの間で情報交換することにより相互に制御するシステムが注目されている。これらは今後、産業機器分野から医療・福祉分野へと広がっていくことが予想されるが、ここでもモーションコントロールの高性能化が欠かすことはできない。

1.2 委員会活動報告

「モーションコントロールの高性能化に関する調査専門委員会」は、前記の技術や手法に関する動向調査を活動目的として学界・産業界からの委員 50 名と幹事 2 名およびオブザーバ 10 名によって構成され、2017 年 10 月に発足し、途中 2 名の委員交代を経て、2019 年 9 月に解散した。本委員会は活動期間中に 10 回の委員会を開催した他、2019 年電気学会全国大会でのシンポジウムや他学会などでのオーガナイズドセッションやスペシャルセッションを数多く企画し、その調査活動を通してモーションコントロールの発展と普及に貢献してきた。

1.3 本報告の概要

本委員会では、モーションコントロールの高性能化装置・高性能化手法および産業分野、医療・福祉、人間・機械複合系におけるモーションコントロールの高性能化に関する調査を行ってきた。本報告ではこれらの調査活動を以下の 3 つに分けて報告する。

1.3.1 モーションコントロールの高性能化に関わるアクチュエータ・変換器に関する調査

モーションコントロールシステムの高性能化には、センサ・アクチュエータ・構造・機構（ハードウェア）の開発も欠かせない。そこで、新たなセンサや計測技術・アクチュエータ・パワーデバイスや電力変換器の周辺関連技術の調査を行った。

- (1) 新方式の大出力ピエゾアクチュエータ (加藤, 土屋)
- (2) 人間支援システム応用を指向したダイレクトドライブモータ (下野, 浅井, 八田)
- (3) バックドライブアクチュエータを用いたアシスト制御 (藤本 (康), 金井)
- (4) マルチレベル電力変換器におけるデッドタイムに

起因する電圧誤差に関する検討 (名取, 千葉)

1.3.2 モーションコントロールの高性能化に関わる制御手法に関する調査

モーションコントロールシステムの高性能化は、制御手法 (ソフトウェア) を改良することによって実現することができる。これにはデータ欠落や遅延に対する補償、診断・同定、外乱除去手法や、それらの結果に応じた制御則の切替・適応や学習機能などがあり、これらについて調査を行った。

- (1) P-PI 制御の極配置制約とフィードフォワード制御の効果 (浦川)
- (2) 2 慣性系の負荷側加速度制御のためのねじれトルク制御系における内部安定性解析 (横倉)
- (3) 等価剛体オブザーバを使用した 3 慣性系に対する振動抑制制御 (吉浦)
- (4) 位置決め制御系におけるナイキスト周波数を越えた共振特性の評価 (熱海)
- (5) モーションコントロールにおけるデータ駆動型制御器設計法の応用 (弓場井)
- (6) 無線通信フィードバック制御システムにおける変動むだ時間の補償および定常偏差の改善 (浅野)
- (7) ネットワーク化制御におけるモーションコントロール (残間)
- (8) 周期外乱オブザーバに基づくモーションコントロール (桂)
- (9) プロペラ推進システムの力制御 (矢代)
- (10) 流体ダイナミクスに起因した振動抑制解析 (藪井)

1.3.3 モーションコントロール技術の産業分野、医療・福祉、人間・機械複合系における高性能化に関する調査

モーションコントロール技術の応用における高性能化の産業分野におけるニーズ・シーズの調査を行った。

- (1) 様々な減速機構に起因する弾性関節を持つロボットアームにおける非線形モデルベース振動抑制制御の評価 (大明)
- (2) 高速光軸変更手段による複数対象監視 (松家)
- (3) 通信時間遅れを有する系に対する遠隔操作支援システム (内村)
- (4) 力覚による操作アシストを有する移動ロボットの遠隔操作技術 (元井)
- (5) ビジョンと連携した車椅子のパワーアシスト制御 (小田)
- (6) 電気自動車への力制御の応用 (藤本 (博), 延命)
- (7) 機能的電気刺激を用いた人-ロボット間のバイラテラル制御 (境野)