（様式甲 10）

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲　第　　号	氏　名	長津　裕己

論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学）	桂　誠一郎
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士	大森　浩充
		慶應義塾大学教授	博士（工学）	村上　俊之
		慶應義塾大学教授	博士（情報学）	小檜山　雅之

(論文審査の要旨)

学士（工学），修士（工学）長津裕己君提出の学位請求論文は「Estimation and Compensation of High-Order Disturbance for Motion Control Systems」（モーションコントロールシステムのための高次外乱推定と補償）と題し，7 章から構成されている．

モーションコントロールは，外乱オブザーバを中核技術として，産業機械の精密位置決め制御からロボットの柔らかい力制御まで広く応用が進んでいる．特に，ロボットによる人間の動作の再現に関しては，医療・介護の充実化や技能伝承など，人間支援の高度化にあたって性能の向上が期待されている．高精度に人間の動作を再現するためには，位置制御と力制御の双方が高い性能を持った上で同時に実現されなければならない．これまでに雑音を含むシステムの制御に関して多くの研究がなされてきたが，動作のさらなる高速化や，センサの分解能に相当する空間分解能での高精度な制御性能の獲得のためには，外乱の持つダイナミクスをより積極的に考慮する必要がある．本論文では上記に鑑み，モーションコントロールシステムのための高次外乱推定と補償法を提案している．

第 1 章では，研究の背景と目的を述べ，従来の研究を概説している．

第 2 章では，確率的な振る舞いを考慮した高次外乱モデルを定義し，外乱推定における雑音の影響を明確化している．その上で外乱のモデル化において最高次数に雑音のモデルを含め，カルマンフィルタに基づいた高次外乱オブザーバの構造提案ならびにその設計法を示している．また提案する高次外乱オブザーバを力制御に適用し，その性能を検証している．

第 3 章では，力制御系の接触対象である環境の持つ剛性や粘性の変動について高次外乱オブザーバで補償するための制御手法を提案し，安定性解析を行っている．提案する制御系により，接触時の衝撃力を緩和しつつ，過渡特性を向上できることを検証している．

第 4 章では，人間の動作情報の抽出に必要となる位置・力ハイブリッド制御系に高次外乱オブザーバを適用し，位置制御，力制御それぞれの制御性能を維持したまま統合するための非干渉化手法を示している．特に，力制御の性能に影響を与えることなく位置制御とのハイブリッド制御が構成できることを示し，安定な接触動作の実現につながることを確認している．

第 5 章では，ロボットによる人間の動作の再現にあたり，動作を抽出した環境と異なる環境で保存動作を正確に再現するための適応手法について提案している．まず，動作再現制御における制御目標を定義し，再現精度を定量的に解析するための評価法を示している．その上で，接触環境の変化を動作再現における外乱として定義し補償器を構成することで，従来手法では困難であった動作の高精度な再現ならびに環境変動への柔軟な適応の同時実現が可能になることを確認している．

第 6 章では，提案する動作再現制御の汎用性を高めるための方法を示している．前章までの手法を統合し，環境変動とセンサ雑音の双方の影響に対してロバストな性能が得られることを確認している．

第 7 章では，各章で得られた成果を纏め，本論文全体の結論を述べている．

以上要するに，本論文では高次外乱推定と補償のための制御系設計の方法論を明らかにするとともに，理論と実験の双方からその有効性を実証しており，モーションコントロール分野において，工学上，工業上寄与するところが少なくない．

よって，本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める．

学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第２（システム統合工学専修）科目担当者で試問を行い，当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した． また，語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した．

○○○には審査担当者氏名，△△△には専修名を記載する．