（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	綱島　昇

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　准教授	博士（工学）	杉本　麻樹

(論文審査の要旨)

学士（工学），修士（工学）綱島昇君提出の学位請求論文は「Coupling of Motion Components and Environmental Adaptation for Multi-Degree-of-Freedom Motion Reproduction」（多自由度動作再現のための動作要素の結合と環境適応）と題し，6 章から構成されている．

ロボットによる人間の動作の再現は，超高齢社会における製造分野の人手不足の解決のみならず，ものづくりのさらなる高度化にあたって実用性の向上が期待されている．人間の動作には速度情報のみならず，力情報も含まれているため，その再現を目的として，これまでに位置／力ハイブリッド制御に基づいた手法が提案されてきた．しかしながら，従来手法の多くが少ない自由度による単純な動作を対象としたもの，あるいは，動作保存時と再現時の環境が同一であるという条件下でのみ成立するものであったため，多自由度機構へ拡張した際の制御系設計論や環境適応性の獲得が必要とされていた．本論文では上記に鑑み，多自由度動作再現のための複数動作要素の結合再現手法ならびに動作保存時と異なる環境へ適応するための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，多自由度デバイスを使用して人間の動作を保存・再現するための制御構造について定義している．使用するデバイスによらず汎用性の高い動作再現を行うため，デバイスの関節空間から作業空間への座標変換に加えて，動作の種類に基づいた機能モード空間への座標変換を階層的に構成した位置／力ハイブリッド制御の構造について示している．本制御構造を採用することにより，動作の機能要素ごとに適した再現制御法を選択し，動作全体で統合設計が可能になることを明らかにしている．

第 3 章では，複数の保存動作を時系列で結合して再現するための制御手法の提案を行っている．本章では結合の際の動作の連続性を考慮し，位置および力の双方を補間するフィードバック型ならびに加速度参照値を用いたフィードフォワード型の 2 種類の制御構成が可能になることを示し，それぞれの性能について評価している．

第 4 章では，動作保存時と再現時の環境の違いを補償するための適応手法について提案している．本章では，ペグ・イン・ホール作業を例として，把持対象物の重量が変化する場合ならびに初期位置が変化する場合のそれぞれについて再現手法を示している．具体的には，動作の機能要素ごとに第 3 章で示したフィードバック型，フィードフォワード型の制御を選択的に統合することで，デバイスー把持対象物間の差異および把持対象物ー外部環境間の差異に対して適応できることを実験的に明らかにしている．

第 5 章では，前章までに示した手法を統合し，複合化された作業の再現手法を提案している．あらかじめ複数の動作を保存しておき，環境の差異に応じて再現データを切り替えることで，所望の作業の遂行が可能になることを実験により示している．このように，複数動作要素の結合再現と環境適応の双方において，本論文で提案する機能要素ごとの再現制御構造が効果的であることを確認している．

第 6 章では，各章で得られた成果をまとめ，本論文全体の結論を述べている．

以上要するに，本論文では多自由度動作の再現における複数動作の結合ならびに環境適応のための制御構造を提案するとともに，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．