

## 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	竹内 一生	
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 准教授	博士 (工学)	矢向 高弘
		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) 竹内一生君提出の学位請求論文は「System Abstraction and Interactive Control Design Based on Element Description Method」(要素記述法に基づくシステムの抽象化と対話型制御設計) と題し、7章から構成されている。

産業機械の知能化は世界中で進められており、特にデータの高度利活用がその鍵を握っている。近年、ビッグデータの取り扱いにあたっては、ニューラルネットワークに基づく機械学習や最適化手法といった人工知能の導入が注目を集めている。人工知能は閉環境においてはこれまでに多くの成果が上がっているが、産業システムは開環境下で動作されるため、実応用を想定すると、そのままの形で利用することが困難になっている。また、算出過程もブラックボックス化されることも問題視されている。一方で、従来のモデルベースの制御設計は物理的な解釈が明解であるものの、きめ細やかに現象を記述することは困難であるため、環境変動等へ適応できる範囲が限られる場合がある。本論文では上記に鑑み、解釈が容易なシステムの抽象化ならびに対話型の制御設計を行うための手法として、新たに要素記述法を提案している。

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、要素記述法の概念およびシステムの抽象化について記述している。要素記述法の特長は、ニューラルネットワークのような豊富な表現力と、モデルベース手法のような結果の可読性を両立できる点にある。設計法として、構造や次数を指定した一括学習と階層的学習の2つの手法を示している。階層的学習は、システムの抽象化にあたり一括学習に比べて時間を要するが、支配的なモデルを順々に抽象化できるため、可読性が向上する。十分な精度を有するモデルを得られた時点で学習を終了することで、実装上の複雑さも低減可能である。要素記述法の適用例として、摩擦システムの抽象化と補償器設計を行い、効果の検証を行っている。

第3章では、要素記述法を用いた対話型制御設計法を提案している。要素記述法によって抽象化された結果をもとに、設計者が新たな条件を与え、次段階の学習を繰り返し行うことで、人間の有するノウハウを含む制御設計が可能になることを示している。具体的には、多慣性共振系を対象として、対話型制御設計の具体的手順を示している。

第4章では、要素記述法を指令値生成に応用し、目標値追従特性の向上に効果があることを示している。特に、クロソイド曲線を用いた時空間スプラインの生成につなげることで、フィードフォワード制御の設計手順を明確化している。

第5章では、人間の動作データに基づき、ロボットが適応的に動作再現を行うための手法について述べている。具体的には、動作保存時と再現時における環境変動を考慮した再現動作の生成が可能になることを示している。

第6章では、本論文で提案した手法を自動機械に適用し、人間の調整ノウハウを機械で代替する実験を行い、効果があることを示している。実験では、特にモデル化が難しいとされている粉体を対象として抽象化ならびに粉体充填制御の精度等を評価し、提案手法の効果を明らかにしている。

第7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、本論文では要素記述法をベースとしたシステムの抽象化ならびに対話型の制御設計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、制御工学分野において、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。
--------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------