

審査の結果の要旨

氏名 サルブッチ ヴァレリオ

本論文は、**Power Assist Robot Design Inspired by Biological Control and Actuation Mechanisms**（生物の制御と操作メカニズムに学ぶパワーアシストロボットの設計）と題し、可変インピーダンスによる力センサレスパワーアシスト制御（FSPAC）と、無限大ノルムによる新しい冗長性評価、および、それにもとづく非線形位相差制御（NLPDC）の開発によって、パワーアシストロボットの性能向上を達成した成果をまとめたもので、英文で記述された7章からなる本文と、本文で提示した数式の証明を主とする5つの付録で構成されている。

第1章「**Introduction**」では、本論文で扱ったパワーアシストロボット設計の背景や研究の動機を説明し、論文の構成は、すなわち、生物に求めたインスピレーション、ロボットの制御系設計、実験による検証、という3部分に分かれることを述べている。

第2章「**Biological Principles for Power Assist Robot Design**」では、パワーアシストロボットの制御とハードウェア設計の発想のもととなった、二つの生物学的原理について記述している。一つめは、人間や動物がもつ不安定な力の発生を安定化させるために導入した、可変インピーダンス制御であり、二つめは、人間や動物の筋肉操作メカニズム、とくに二関節筋（二つの関節に力を及ぼす筋肉）のもつ冗長性である。二関節筋の存在が、人間や動物の機械的エネルギーの伝達、可変インピーダンスや安定化のための基本原理となっていることを述べている。

第3章「**Variable Impedance Control Design**」では、人間や動物が用いている可変インピーダンス制御に学んだ、力センサレスパワーアシスト制御（FSPAC）を、パワーアシストロボットの力制御への新しいアプローチとして提案し、その具体的な制御系の設計法を示している。

第4章「**Variable Impedance Control Implementation**」では、摩擦が少ないリニアモータ、あるいは、大きな摩擦をもつ回転形モータとボールスクリュウによって駆動されるドアの実験装置を開発し、可変インピーダンス制御による

力センサレスパワーアシスト制御 (FSPAC) が良好に機能することを、従来の固定インピーダンスによる FSPAC と比較しながら示している。

第 5 章「**Bi-Articular Actuation Control Design**」では、パワーアシストロボットのための二関節筋操作メカニズムの制御系設計を行っている。まず、二関節筋で駆動される多くの関節にみられる冗長性の解析や評価が、ロボット設計の基本であり、高性能化を成し遂げるためにきわめて重要であることを述べている。具体的には、アクチュエータ冗長性の評価法として、二つの新しいアプローチ、すなわち、無限大ノルムを用いた冗長性解析法を提案し、つづいてそれをもとにした非線形位相差制御法 (NLPDC) を提案している。

第 6 章「**Bi-Articular Actuation Implementation**」では、BiWi と名付けた人間のような動作をするロボット (二関節筋の原理にもとづき、ワイヤ駆動されるロボットアーム) について述べ、前章で提案した冗長性の解決を行う二つの手法を、三つの従来法 (Phase Different Control (PDC), 疑似逆行列, リニアプログラミングによる方法) と比較し、安全性, ロバスト性, なめらかさ, エンドエフェクタの力の最大化, 応答速度, 精度の改善など多くの項目において、その優位性を示している。

第 7 章「**Conclusions and Future Works**」は結論であり、本論文の成果をまとめるとともに、将来の課題を示している。

以上これを要するに、本論文は、生物の制御と操作メカニズムに学ぶパワーアシストロボットの設計法として、可変インピーダンスによる力センサレスパワーアシスト制御 (FSPAC) と、無限大ノルムによる冗長性評価法や非線形位相差制御 (NLPDC) を提案し、実際に作成したロボットアームを用いて、人間・ロボット間のなめらかな制御と性能改善を行い、安全性, ロバスト性などにおいて著しい向上を達成できることを示したもので、制御工学, ロボット工学, モーションコントロールなどの分野への貢献が少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。