

## 審査の結果の要旨

氏名 康 天毅

理想的なアクチュエータと駆動系の探求は、黎明期から現在に至るまで続くロボティックスの主要な研究テーマの一つである。本論文は、外力に対して敏感に反応するロボットを構成することを目的として、受動的なバックドライバビリティを追求するために、ギアによる機械摩擦やバルブによる圧力損失を極力排した静油圧伝達系の原理に基づく小型軽量駆動系を開発し、ヒューマノイドロボットの全身駆動に用いることで検証した研究の成果をまとめたものである。

第1章は「Introduction」であり、ロボットアクチュエータの歴史を振り返り、電気静油圧アクチュエータ（EHA）の最近の研究についてまとめている。また、ヒューマノイドロボットの駆動系について概観し、本研究の目的を述べている。

第2章は「Mathematical description of EHA to design a high performance servo system」と題して、EHAの油圧系の流体力学的特性、特にポンプの内部漏れを含む動特性を線形化することによって伝達関数として表し、アクチュエータのTN特性とエネルギー効率を明らかにした。さらに、実験によって主要なパラメータの同定を行った。

第3章は「Key design parameters of a few types of electro-hydrostatic actuators for humanoid robots」と題して、ギアポンプ、直動型シリンダ、回転型ベーンモータの内部漏れを支配する組み立て隙間の影響を論じ、それを小さくする設計上の課題を述べている。その上で、水冷による作動油の粘性の制御、タイロッド型クラスタ・シリンダの高集積化を議論し、実験的検証を行っている。

第4章は「Enhancement of backdrivability and force control accuracy of a large force linear EHA」として、小型軽量トロコイドポンプの低摩擦化と水冷構造を提案し、さらに低摩擦化のためにロッドを細径化し推力以外の外力をリニアガイドで支持する構造の直動シリンダを設計した。これらを組み合わせたアクチュエータの摩擦と動特性を実験により明らかにした。シリンダの最大推力1500Nに対して、摩擦は0.46%の6.58Nであった。

第5章は「Current-pressure-position triple-loop feedback control of electro-hydrostatic actuators for humanoid robots」と題している。電子回路系を開発することによって、一番内側のFPGAによる20kHzの電流制御、その外側のマイクロコントローラによる5kHzの圧力制御、さらに外側の1kHzの位置制御からなる三重のフィードバックループをもつEHA制御系を構成した。初期実験ではロッドを支持するリニアスライド周辺の低い機械剛性のために力制御の応答性が22Hzでとどまっていたが、支持構造の改良を行うことで機械剛性を高め、力制御の応答を53Hzまで向上させた。

第6章は「Integration of electro-hydrostatic actuators to a humanoid robot and its whole-body motion control performance evaluation」である。第5章で述べたリニアスライド支持型両ロッド・シリンダEHAを24個、第3章で述べたベーン型EHAを8個、クラスター状に5個を束ねた小型両ロッド・シリンダEHAを2クラスター合計10個採用し、全身40自由度からなるヒューマノイドロボットHydraの機械設計、電装系、制御系、ソフトウェアの構成について論じている。最後に、体幹と下肢からなる16自由度二足歩行実験系に、粘弾性分解制御法に基づいて外力に敏感な駆動系の特徴を生かした二足歩行制御系を実現した。立位時に水平衝撃力を与える実験では、衝撃力発生後の80msの間の平均で、等価質量は腰関節上部163mmの位置で65.5kg、720mmの位置で11.8kgとなり、外力に対する敏感な反応が確認された。

第7章は「Conclusion」であり、以上説明した本論文の成果をまとめ、結論を述べている。

以上を要約するに、本論文は、外力に敏感でロバスト性に優れた理想的なロボット駆動系を求めて、小型軽量性と低摩擦性をもつ電気静油圧アクチュエータの機械系、電装系、制御系、ソフトウェアを研究開発し、ヒューマノイドロボットの全身駆動系を実現して性能評価を行なうことで、高性能ロボットアクチュエータ実現の一体系を確立したものである。このように本論文は、知能機械情報学に貢献するところが大きい。

よって本論文は、博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。