

審査の結果の要旨

氏 名 浦田 順一

本論文は、「すばやさと力強さを備えるロボットのための電力系設計と実現」と題し、人がもつような「すばやさ」と「力強さ」を等身大のヒューマノイドロボットにおいても実現すべく、従来と同等サイズの電気モータでも人間が出しうる最大関節角速度と最大関節トルクを出しうるロボットの電力系の設計法と実現法を明らかにした研究をまとめたものであり、全7章からなる。

第1章「序論」では、等身大ヒューマノイドロボットの社会的な重要性と意義を示して、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べている。

第2章「人間とヒューマノイドロボットにおけるすばやさと力強さ」では、人間の筋肉とヒューマノイドロボットのアクチュエータである電気モータを比較し、人間において必要となるトルクと速度に対してそれらを実現する必要出力設計について考察している。そこでの考察を踏まえ、「すばやさ」と「力強さ」に必要な最大関節角速度と最大関節トルクを設定し本研究での実現方針を示している。

第3章「温度制御に基づく瞬発力モータ駆動」では、電気モータの大出力駆動を実現するための手法について論じている。第2章で論じた「すばやさ」と「力強さ」を電気モータを用いて実現するために、本研究では温度制御に基づく瞬発力モータ駆動を提案している。これは、電気モータの温度特性を積極的に利用し瞬間的に大出力で駆動することで結果として「すばやさ」と「力強さ」の両方を実現するものである。モータのハウジング外部に取り付けた温度センサからモータ内部の巻線の温度を推定するために、モータの熱モデルを2抵抗モデルによって近似し、さらに、液冷時の効果を評価する方法として液冷の熱モデルを定常時のモータから環境までの熱抵抗として近似した。これらのモータ・液冷の熱モデルのパラメータを実測によって得ることでモータの短時間時の駆動の温度推定を行う方法を考察し、焼損しない温度をあらかじめ決めようとして短時間であれば大出力駆動できる可能性を示している。

第4章「大出力駆動のためのロボット用電力システム」では、第3章で導入している温度制御に基づく瞬発力モータ駆動をヒューマノイドロボットに適用するうえで必要となる、1) 大出力のモータドライバ、2) キャパシタを用いた大出力電源装置、3) エラー訂正符号を用いた頑強なロボット内通信系について述べている。

第5章「大出力ヒューマノイドロボットのための二脚ロボット」では、開発した電力系をヒューマノイドロボットに展開するにあたってもっとも負荷が大きくなる脚行動を評価するために開発した等身大サイズで12自由度の二脚ロボットについて述べている。開発した二脚ロボットは比較検討ができるように研究用ヒューマノイドプラットフォームHRP3の脚部と同じサイズの骨格とし、電気モータは元のDCモータよりも小型で定格出力の大きいACモータに置き換え、膝と股関節の減速器を軸径を大きくすることで大トルク容量のものとし、ポンプとラジエータを胴体部に搭載し脚ごとにモータドライバとモータを柔軟配管で接続することで、液冷による冷却系を付加して改造したものである。本二脚ロボットの片脚での複数モータの連動制御における通信系と冷却系の評価を行うために、高トルク動作と高速動作の両方の実験を行い、モータの温度変化を見ることでシステムの評価を行っている。

第6章「すばやさと力強さを示す行動実現と評価」では、第5章で示した二脚ロボットを用いて本研究で提

案する「すばやさ」と「力強さ」の実現と評価について論じている。「すばやさ」と「力強さ」を示す行動として、1) 跳躍動作、2) 高速歩行動作、3) 胴体への衝撃力に対する外乱適応歩行動作を例として実現している。跳躍動作は、速度とトルクが両方が必要となる動作であり、短時間大出力の行動の代表例となっている。本研究での改造前の二脚ロボットにおいて成された跳躍では数センチ程度の実現例はあったが、本研究で実現した跳躍動作は、体重55[Kg]の二脚ロボットで重心が0.25[m]足先で0.44[m]の跳躍を成功させているもので、大出力の効果を明確に示した実験となっている。この跳躍動作において複数軸同時出力のために13.8[kW]の出力と4.9[kW]の電力回生が可能な電力系となっていることを確認し、温度上昇も焼損温度に達していない動作となっていることを示している。高速歩行動作では、動作の継続による通信系の安定性と、モータ温度上昇の評価を行っている。外乱適応歩行動作では、胴体への衝撃力に対して足を踏み出すことで転倒しないような実時間動作生成と制御を行い、その動的制御中における通信系の安定性とシステム全体の応答性の評価を行っている。最大597[N]の衝撃力に対して、1[ms]以内で3歩の適応歩行軌道を生成し、トルクが最も必要な一步を約250[ms]で踏み出し、速度が最も必要な二歩目を次の600[ms]で踏み出し、次の600[ms]で両足をそろえて安定に立ち止まる動作が実現されている。これにより電力系と通信系の安定性を評価できていることを示している。

第8章「結論」では、本論文を総括し、その成果と貢献、ならびに本論文の先にある課題を挙げ、今後の展望を述べている。

以上、これを要するに本論文は、人間が出しうる関節トルクと関節角速度をこれまで出すことができていなかった等身大ヒューマノイドロボットにおいて、従来と同等サイズの電気モータを用い、モータの熱特性によりモータ巻線温度を推定し、モータとそのドライバを液冷することで、モータを焼損させずに人間が出しうる関節トルクと関節速度を出すことができる電力系とロボットシステムを設計し、人のような「すばやさ」と「力強さ」をもつ脚行動による実証実験を行った研究をまとめたものである。これまで電気モータにより実現されたことの無かった等身大ヒューマノイドの跳躍、全身重力と同程度の胴体への横衝撃力を受けても倒れずに適応歩行動作を実現しているところは世界に類を見ない成果であり、知能機械情報学へ貢献するところ少なくない。

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。