

研究種目：若手研究(S)
研究期間：2007～2011
課題番号：19676003
研究課題名(和文) 可逆性を有するスパイラルモータを人工筋肉として用いた柔軟で高出力な人間型ロボット
研究課題名(英文) A High-power and Flexible Humanoid Robot Driven by Artificial Muscles of Back-drivable Spiral Motors
研究代表者
藤本 康孝 (FUJIMOTO YASUTAKA)
横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号：60313475

研究代表者の専門分野：制御工学
科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学
キーワード：制御システム、環境適応ロボット、アクチュエータ

1. 研究計画の概要

一般に、大きな負荷のかかるロボットやサーボシステムでは、高減速比のギアが用いられる。ギアを含む位置/力の運動制御系では、位置制御の精度を高めるために機構の剛性を高めると、高い帯域での力制御が困難になり、逆に、力制御の精度を高めるために柔軟機構を導入すると、高い帯域での位置制御が困難になるという問題がある。これに対してギアを用いずに直接、電磁力により負荷を支えるダイレクトドライブ(DD)ロボットでは、電流制御系の応答がそのまま力制御系の応答となるため、広帯域でダイナミックレンジの広い力制御が実現できる。しかし、従来のDDロボットで大きな力を出すためには装置が大型化するという欠点があった。

本研究では、ギアが不要で推力が大きいダイレクトドライブ式スパイラルモータを動力とした高出力・柔軟ヒューマノイドロボットを開発する。バックラッシュやロストモーション、摩擦などが少ないため、高精度・広帯域・高ダイナミックレンジの力制御・位置制御が期待できる。これにより広帯域かつ高出力の全身運動制御システムを実現することを目的とする。

2. 研究の進捗状況

まず、スパイラルモータの諸特性解明および理論モデル検証を行った。次にヒューマノイドロボットに搭載するためにスパイラルモータの小型化について検討を行った。検討に基づいて、小型スパイラルモータを開発し、これを筋肉に見立てた筋骨格型ヒューマノイドロボットの下肢の設計・開発を行った。具体的に以下に示す。

(1)スパイラルモータ1号機の推力特性の解明
直径 ϕ 200mm \times 420mmのスパイラルモータの推力を測定し、特性を明らかにした。また、世界最高レベルの単位体積あたりの発生推力を実現した。

(2)埋込磁石型小型スパイラルモータの開発
直径 ϕ 60mm \times 170mmの小型スパイラルモータの設計、理論解析、および、製作を行った。可動子表面部の鉄心の磁気飽和を考慮したモデルを考案し、推力特性がFEM解析結果および実験結果と良く一致することを示した。

(3)表面磁石型小型スパイラルモータの開発
直径 ϕ 55mm \times 120~240mmの小型スパイラルモータの開発を行った。固定子ブロックを圧粉成形法により製作し、ネオジム磁石を専用装置により螺旋形状に加工、製作した。これにより、埋込磁石型スパイラルモータの問題点(加工性、巻線占積率、磁石磁束利用率、鉄損)を解決した。

(4)筋骨格型ヒューマノイドロボットの開発
上記(3)で開発したスパイラルモータを用いた筋骨格型ヒューマノイドロボット的设计・開発を行った。設計にあたり人体の骨格の寸法、相対位置、および、筋肉の起始・停止位置を可能な限り模倣した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

現在までに、モータ製作に関して当初の目標に向けて順調に研究が進展している。

・まず、スパイラルモータ1号機によって、原理的に高推力が発生可能であることが実証できた。

- ・次に、2号機、3号機の開発では、スパイラルモータの小型化に成功した。
- ・さらに3号機では、スパイラルモータを構成する基本要素部品(固定子、可動子、永久磁石)の製作法を確立し、複数台のスパイラルモータの開発を容易にした。
- ・ギアを用いない8台のスパイラルモータを用いた筋骨格型ヒューマノイドロボットを設計・開発した。
- ・制御対象モデルとして用いるためのスパイラルモータのモデルを確立した。電気系のモデルについては、スパイラルモータ固有の電流ベクトル制御系を提案・実装して検証を行い、モデルおよび制御則の妥当性を確認した。

以上のように、順調に研究が進展している。

4. 今後の研究の推進方策

現在までに構築した電流ベクトル制御系の上位に、外乱オブザーバに基づく運動制御系を構築し、実験を行う。運動モデルは、①直進運動と回転運動が干渉することと、②磁石吸引力が負性バネとして作用することが特徴となっている。最終目標である力制御の応答性 数kHz、力のダイナミックレンジ40dB、位置の応答性100Hzを達成し、広帯域かつ高出力の全身運動制御システムを実現する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Y. Fujimoto, T. Kominami, and H. Hamada, "Development and Analysis of a High Thrust Force Direct-Drive Linear Actuator", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 56, no. 5, pp. 1383-1392, 2009, 査読有
- ② 小南, 藤本, "高推力スパイラルモータの推力特性の検討", 電気学会論文誌D, vol. 129-D, no. 2, pp. 130-135, 2009, 査読有
- ③ 小南, 藤本, "2つの負荷に対し振幅・周波数を独立制御可能な9スイッチインバータの提案", 電気学会論文誌 D, vol. 128-D, no. 5, pp. 561-568, 2008, 査読有
- ④ T. Li and Y. Fujimoto, "Control System with High-Speed and Real-Time Communication Links", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 1548-1557, 2008, 査読有

[学会発表] (計22件)

- ① Y. Fujimoto, Y. Wakayama, H. Omori, and I. A. Smadi, "On a High-Backdrivable Direct-drive Actuator for Musculoskeletal Bipedal Robots", Proc. IEEE Int. Workshop on Advanced Motion Control, NF-003891, 2010. 3. 23, 長岡

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

名称: 磁気異方性磁石の製造方法

発明者: 藤本康孝、外2名

権利者: 国立大学法人横浜国立大学、外1社

種類: 特許

番号: 特願 2009-265069

出願年月日: 2009. 11. 20

国内外の別: 国内

○取得状況 (計1件)

名称: 螺旋型直線電動機

発明者: 藤本康孝

権利者: よこはまティールオー株式会社

種類: 特許

番号: ZL2003 8 0102689.9

取得年月日: 2009. 3. 4

国内外の別: 国外 (中華人民共和国)

[その他]

<http://www.fujilab.dnj.ynu.ac.jp/spiral/spiral.html>