

## 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

A High-power and Flexible Humanoid Robot Driven by  
Artificial Muscles of Back-drivable Spiral Motors

藤本 康孝 (FUJIMOTO YASUTAKA)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授



### 研究の概要

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している。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。

研究分野：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

### 1. 研究開始当初の背景

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。

### 2. 研究の目的

研究代表者が考案した、ねじ機構による推力増幅を電磁的に実現するスパイラル構造の直動アクチュエータを用いて、筋骨格型のヒューマノイドロボットを開発する。このロボットにより力制御系の広帯域化、力の高ダイナミックレンジ化、位置制御系の広帯域化を実現し、高性能な全身運動制御を実現する。

### 3. 研究の方法

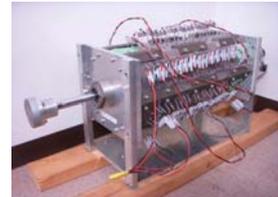
まず、スパイラルモータの諸特性解明および理論モデル検証を行った。次にヒューマノイドロボットに搭載するためにスパイラルモータの小型化について検討を行った。検討

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。

### 4. これまでの成果

#### ①スパイラルモータ1号機の推力特性の解明

直径  $\phi 200\text{mm} \times 420\text{mm}$  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

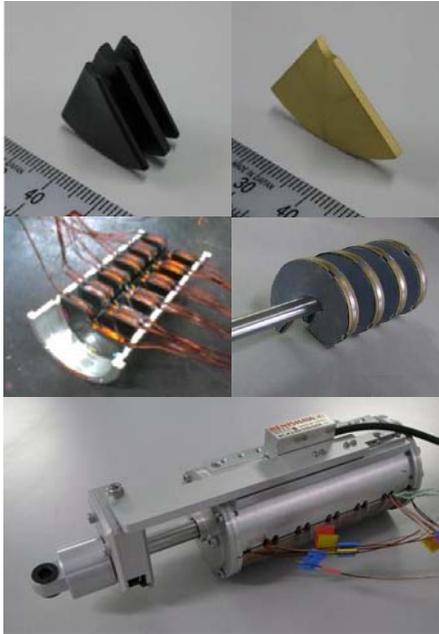
直径  $\phi 60\text{mm} \times 170\text{mm}$  の小型スパイラルモータの設計、理論解析、および、製作を行った。可動子表面部の鉄心の磁気飽和を考慮したモデルを考案し、推力特性が FEM 解析結果および実験結果と良く一致することを示した。



#### ③表面磁石型小型スパイラルモータの開発

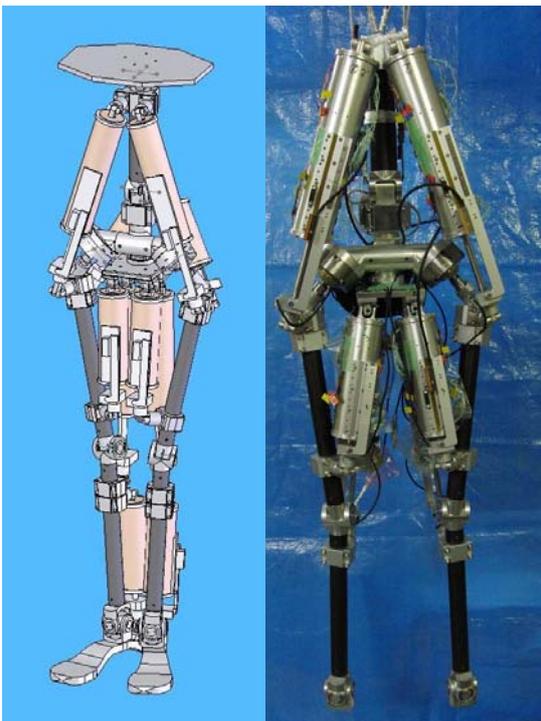
直径  $\phi 55\text{mm} \times 120 \sim 240\text{mm}$  の小型スパイラ

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、ネオジウ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の設計・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。



#### 5. 今後の計画

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。

#### 6. これまでの発表論文等

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.
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.
3. I. A. Smadi and Y. Fujimoto, "On Nonlinear Disturbance Observer Based Tracking Control for Euler-Lagrange Systems", JSME Journal of System Design and Dynamics, vol. 3, no. 3, pp. 330-343, 2009.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. I. A. Smadi, H. Omori, and Y. Fujimoto, "On Independent Position/Gap Control of a Spiral Motor", ibid., NF-001899, 2010.
8. Y. Fujimoto, T. Kominami, and H. Hamada, "Development of a Spirally-Shaped Linear Actuator", Proc. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS15p6, 2008.

#### 受賞

1. システムコントロールフェア2009実行委員会委員長賞、「小型高推力スパイラルモータの研究」、2009.

#### ホームページ等

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