

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05321

研究課題名（和文）身体性拡張のためのアクチュエータの固有インピーダンス・平衡位置の同時制御と伝達

研究課題名（英文）Development and Control of Variable Impedance toward Embodiment of Assistive and Remotely Controlled Device

研究代表者

野田 智之（Noda, Tomoyuki）

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・主任研究員

研究者番号：30588661

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,600,000円

研究成果の概要（和文）：超高齢化社会の到来が予測される中で、知能ロボットの活用が注目されている。当該研究では、次世代FAやリハビリテーションのためのアシストロボットに必要で、従来産業ロボットが実現できていない「人の筋のしなやかさ」、つまり可変/低インピーダンス特性をハードウェア的に実現することを目的とし、駆動装置（アクチュエータ）自体の開発と、位置・インピーダンス・力の制御手法と、各種センサに基づき制御入力を学習する手法とを実機で実証した。従来の産業ロボットの固い関節機構を擬似的に制御するのではなく、本質安全を実現するハードウェア的に可変かつ低インピーダンスの駆動関節の基盤技術を構築した点が、重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：While anticipated a super aging society in Japan, intelligent robots are getting attention. Yet, industrial robots have never been realized a movement of human-muscle-like property in terms of intrinsic safe with compliant characteristics by hardware level. This property is deserved for assistive robot in rehabilitation robotics or for next-generation FAs. In this project, the researches underlying development of the actuator device, control of position, impedance, and force has been challenged. Learning control input based on various sensors were experimentally demonstrated on actual hardware platform. It is an important result not to pseudo control of conventional industrial robot with high impedance actuator/joint but to build fundamental technology of variable and low impedance actuator/joint to realize intrinsic safeness.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：外骨格型ロボット アクチュエータ アシスト技術 可変インピーダンス 生体信号 空電ハイブリッドアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

近年の少子高齢化を背景に、世界的に超高齢化社会の到来が予測されている。生産人口が低下の低下が社会課題となるで、生産労働性の向上を図るため、様々な場面での知能ロボットの活用が注目されており、ヒトと協調・協働するロボットが期待されている。特に、近年では、リハビリ医療・工場におけるアシストロボットなど、身体性をロボットにより拡張する技術が開発されるようになった。

これまでの産業用ロボットは、工場の柵内部で使用されており、人とは別の環境で使用されるものであった。ロボットに必要なとされたのは、精密な動きを実現する高い位置決め精度であり、高減速比ギアにより制御される固い関節機構で構成されていた。しかし、身体性を拡張する目的で開発されるロボットに必要なのは、ヒトの関節と互換性のある力強くやわらかい駆動関節である。その実現のためには、人の筋と互換性のある特性（インピーダンス）が実現できるアクチュエータが必要である。世界的には、可変インピーダンスで駆動させるロボット関節開発が盛んに行われている。特に、欧米・欧州では、剛性を変更できるバネを高減速比のモータと直列に組み合わせた駆動装置が主流なアプローチとなっているが、十分に社会課題を解決できるようなプラットフォームや制御方法は未だ確立されていなかった。

2. 研究の目的

本研究においては、リハビリテーションやアシスト技術に利用可能な身体性拡張の基礎となる基盤技術開発を行うため、特に、外力に柔軟に応答するために、柔軟性を変えることのできるハードウェアとして、アクチュエータ開発し、これまでの高減速比モータで駆動させるロボットとは全くことなる駆動特性のロボット関節の実現と、上肢・下肢のアシストロボットや遠隔操作されるインピーダンスが可変なロボットアームなどに応用可能な安心・安全な制御するための基盤技術の開発を目的とした。

次世代 FA などのアプリケーションにおいても同様に、軽量・低インピーダンスかつ可変剛性のアクチュエータの開発が期待されている。特に、人とロボットが協調して作業もしくはアシストされるような用途においては、本質安全を実現するために、関節はなるべく外力に柔軟に応答できるよう、低インピーダンス性やバックドライバブル（出力側からの外力に弾力性）であることが望まれており、速さ・パワー・外力への応答性などにはトレードオフを解消することが必要である。

3. 研究の方法

従来研究において、高減速比ギアードモータで駆動されるロボットのインピーダン

ス特性を、力センサの速いフィードバック制御で擬似的に再現することは行われていた。特に高減速比モータであれば、元々ハードウェア的に固い関節を、完全に制御する必要があり、本質安全の実現は難しくなる。本研究では、ハードウェア的に低インピーダンス特性とし、バックドライバブルなアクチュエータでパワーのある駆動関節を構成することで、本質的に安全で、外力にも理想的に弾力性のある筋のような駆動特性を実現する。そのため、本研究では高減速比のモータで駆動するのではなく、空圧アクチュエータの優れた重量質量比を利用し、空圧もしくは空圧と低減速比/減速比を用いない電磁モータを組み合わせ、低インピーダンスの特性と制御特性を両立し、従来の駆動関節と異なる全く特性を実現することを目指した。

1) 人の筋に近い特性を実現しつつ、剛性と位置を同時に制御することのできる低インピーダンスな駆動関節を実現する。特に、非線形性の高いアクチュエータにおいて、軽量で人の筋に近い特性が実現可能な空気圧人工筋を用いて、伝達機構の開発と力・(平衡)位置、もしくは力・インピーダンス制御を行う。

2) 制御性能と電磁力と空圧アクチュエータを組み合わせた空電ハイブリッドアクチュエータの制御インピーダンス特性の制御ワイヤ伝達およびされる駆動関節において、効率的かつコンパクトな構造で力を変換・伝達可能なアクチュエータを実現する。

3) 上記のような駆動関節で実現される多リンク系の制御プラットフォームの開発と、上記のようなアクチュエータによって駆動される関節において、人の動きや動作の意図を生体信号や各種センサにより、運動意図を推定、計測、もしくは適切に入力パターンの学習に利用できる制御基盤を構築し、実機により実証する。

4. 研究成果

1) 可変剛性の関節における制御を実現するため、空気圧人工筋によりケーブル拮抗駆動される駆動関節において、力とインピーダンスもしくは位置とインピーダンスを同時に制御することのできるアクチュエータのモデルの構築を行った。ケーブル駆動で拮抗制御されるアクチュエータにおいては、アクチュエータが制御可能な範囲を超える場合にもワイヤのわずかなテンションを保持可能な機構を採用し、当該研究においては、ワイヤへの大きな力を伝達し・駆動関節における力をトルクへの変換するための機構の開発を行った。

さらに、実験機によって出力側の力と人工

筋の駆動に関する入力をキャリブレーションすることによってモデルの構築とパラメータの最適化を実現した。実際に空気圧人工筋を拮抗させて駆動する実験機によって、剛性を変えつつ、位置と剛性を伝達し、遠隔操作もしくはアシスト動作を行うような制御手法が実機に実装できることを実験的に確認・実証した。

2) 高い制御性を実現するために、低減速比の電磁モータおよび空圧、もしくは空圧とダイレクトドライブの電磁力を組み合わせたハイブリッドアクチュエータにおいて、理想的なインピーダンス制御特性を向上させるための、アクチュエータの要素技術開発を行った。特に、電磁要素におけるダイレクトドライブの電磁気による磁気回路を構成する要素部品において、従来の方法より製作効率・性能・安定性などに優れる設計を行い、実際に励磁する制御実験を行い、実験的に制御性能のフィジビリティ検証を達成した。

3) これらのアクチュエータによる多自由度系の制御の検証のために、軽量の多リンク系の駆動関節を開発した。ヒューマノイド型のロボットや上肢・下肢外骨格型ロボットを構成するために拡張可能な多リンク系であり、設計はモジュラー化され軽量に設計されているため、特に、イナーシャに影響するエンドエフェクタにおいて有利である。

また、上肢および下肢の外骨格型ロボットをプラットフォームとして利用し、周期動作において、生体信号もしくは角度センサ・圧力センサなどを用いることで、負荷が変化しても、所望の周期動作（歩行や上肢の動作アシスト）が適切に実現できるような入力パタンの学習を可能とする制御手法を開発し、実機に実装して実証した。

以上のように、実際に開発したアクチュエータによる駆動関節により、これまでの産業用ロボットや協働ロボットなどとは、全く異なる低インピーダンスであり可変剛性のハードウェア特性を実現することに加えて、実機により制御手法の実証が達成できた点は重要な成果である。

5. 主な発表論文等

(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3件)

[1] Teramae T, Noda T, Morimoto J, "EMG-Based Model Predictive Control for Physical Human-Robot Interaction: Application for Assist-As-Needed Control" IEEE Robotics and Automation Letters, Vol 3 pp.210-218, 2018. (査読有り)

[2] Furukawa J, Noda T, Teramae T, Morimoto J, "Human Movement Modeling to Detect Biosignal Sensor Failures for Myoelectric Assistive Robot Control", IEEE Transactions on Robotics, Vol.33, 2017. (査読有り)

[3] Ugurlu B, Doppmann C, Hamaya M, Forni P, Teramae T., Noda T., Morimoto J. "Variable Ankle Stiffness Improves Balance Control: Experiments on a Bipedal Exoskeleton", IEEE Transactions on Mechatronics, Vol. 21, Issue: 1, 2016. (査読有り)

[学会発表](計8件)

[1] Noda T, Takai A, Teramae T, Hirooka E, Hase K, Morimoto J, "Robotizing Double-Bar Ankle-Foot Orthosis", IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2018),2018(国際学会)。(査読有り)

[2] Furukawa J, Noda T, Teramae T, Morimoto J, "Human movement estimation from multiple biosignal observations toward safe assistive robot control", Real-time Functional Imaging and Neurofeedback Conference(rtFIN2017),2017. (国際学会) (査読有り)

[3] Teramae T, Noda T, Morimoto J, "A control strategy for physical human-robot interaction using biosignal-based model predictive control" Real-time Functional Imaging and Neurofeedback Conference (rtFIN2017),2017. (国際学会) (査読有り)

[4] Takai A, Noda T, Lisi G, Teramae T, Imamizu H, Morimoto J, "The differences in motor performances between sensorimotor area activities of pre and during passive guidance" Real-time Functional Imaging and Neurofeedback Conference (rtFIN2017), 2017. (国際学会) (査読有り)

[5] Noda T, "Development of upper-extrinity exoskeleton robots towards robotic rehabilitation", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2016) Workshop, 2016. (国際学会) (招待講演)

[6] Nakata Y, Noda T, Morimoto J, Hiroshi

I, "Development of a pneumatic-electromagnetic hybrid linear actuator with an integrated structure" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015), 2015. (国際学会) (査読有り)

[7] 仲田佳弘, 野田智之, "若手ロボット学者の視点から -- スマートアクチュエーション技術による人共存型ロボット社会の実現" 第33回日本ロボット学会学術講演会オープンフォーラム, 電機大学(東京都), 2015. (招待講演)

[8] Noda T., Morimoto J., "Development of upper-extremity exoskeleton driven by pneumatic cylinder toward robotic rehabilitation platform for shoulder elevation" IEEE/RAS-EMBS International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR2015), 2015. (国際会議) (査読有り)

〔図書〕(計1件)

[1] 野田智之 他, "普段使いの装具をロボット化: 空気圧人工筋で駆動するモジュール関節付き短下肢装具の開発", 全日本病院出版会 Monthly Book Medical Rehabilitation (メディカルリハビリテーション) Vol. 205, pp.22-27, 2017.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 智之 (NODA, Tomoyuki)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・脳情報通信総合研究所・主任研究員

研究者番号: 30588661