

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560303

研究課題名(和文)非線形弾性特性を有するアクチュエータを用いた筋骨格系上腕マニピュレータ

研究課題名(英文)Skeleto-Muscular type Upper-arm Manipulator using Actuator with Non-Linear Elastic System

研究代表者

小金澤 鋼一 (Koganezawa, Koichi)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：10178246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、すでに先行研究で開発している、非線形弾性特性を有するアクチュエータ(ANLES)を筋肉のように拮抗させて用いて、関節の角度および剛性を制御する、7自由度上腕マニピュレータの開発を目的とし、肩部2自由度、肘部2自由度、手首部3自由度の開発を平行して行った。肩部においては、機構を完成させ、腕部を接続した場合の自重補償機構を付加し、所与の性能を確認した。肘部においては、大幅なスリム化設計を行い、組立、駆動実験を行った。手首部においても大幅なスリム化設計を行い、駆動実験を行い、所与の性能を確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study was to develop a 7 DOF redundant manipulator of which joints are controlled in an antagonistic manner similar to human skeleto-muscular system. We used the muscle-like actuator called ANLES that has a non-linear elasticity similar to a voluntary muscle. The research was proceeded in parallel with three research items; the development of 2DOF shoulder joint, the development of 2DOF elbow joint and the development of 3DOF wrist joint. Design, assembly and the development of the control system were completed in all of the items and their performance in terms of the stiffness and angle control were confirmed by experiments.

研究分野：ロボット工学

キーワード：剛性制御 拮抗筋型アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

近年ヒューマノイド型ロボットの研究・開発が活発に行われており、近い将来に人間の居住空間内においてロボットと人間が共存する状況が考えられる。このとき、ロボットに求められる機能として次の2点が考えられる。一つは人間との共同作業ならびに人間が日常用いる道具や機械・装置を巧みに操る機能である。さらにもう一つの機能としてロボットの腕や足が人間あるいは什器・家具と接触しても相手に損傷を与えないようなフェールセーフ機能である。これらの機能は概括して外界に対するロボットのコンプライアントな対応機能であるといえる。これらを実現する一つの方法としては、ロボットの各部に接触・圧覚センサー等を取り付け、仮想的なコンプライアンス動作をロボットに行わせる方法がある。この方法は比較的緩慢な外力作用に対しては有効であるが、急速に変化する外力に対しては有効とはいえず、また、数多くのセンサー情報処理と複雑な計算処理を伴う。本研究では、これに対し人間の筋骨格系の拮抗駆動方式を基本的に模倣する剛性可変型アクチュエーションシステムで関節の角度および剛性を制御することを提案し研究目的とする。

人間の筋骨格システムにおいて複数の筋で関節の駆動を行っていることは重要な意味をもつ。このシステムは関節角度の制御から見たときオーバーアクチュエーションであるが、角度に加えて関節剛性の制御も担っている。本研究では、この脊椎動物の筋骨格システムを基本的に模倣した機械システムを構築することを研究目標としている。このシステムにおいては、筋がもつ非線形の弾性特性が関節の剛性調節において決定的に重要な要素となる。本研究では弾性特性を自在に設計できる非線形弾性特性を有するアクチュエータ (Actuator with Non-Linear Elasticity System: ANLES) を開発し、その設計方法ならびにANLESを複数用いた関節の剛性制御理論をこれまでの研究で確立している。ANLESは図1に示すように、超大リードボールねじによって直動と回転を双方向に変換し、ねじりコイルバネが外力あるいはモータによりねじられる。このときねじりコイルバネはテーパ形状をなす案内軸に巻き付いていくため実効的に非線形弾性特性が得られるのである。この案内軸の形状を設計することにより、ANLESの非線形弾性特性を設計できる。

2. 研究の目的

本研究は、申請者がこれまで開発してきた非線形弾性特性をもつアクチュエータ: ANLESを用いて、人間の筋・骨格系に類似した

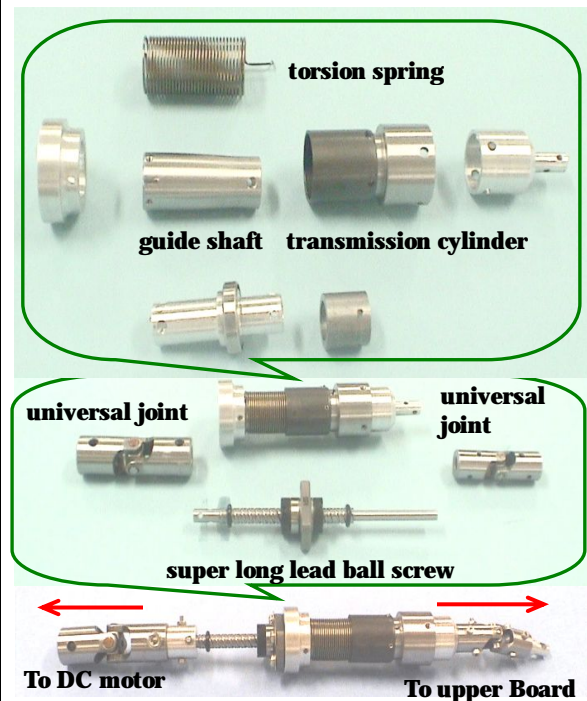


図1 ANLESの構成部品と組立外観

拮抗構造をもつ人間型7自由度上腕マニピュレータの開発を目的とする。開発するマニピュレータは各関節の剛性を調節することができるため、外界のインタラクションに対し柔軟に対応できる。また、それを機構的に実現するため、センサー情報をもとにしたフィードバック制御に過度に頼ることのない本質的安全性を有する。そのため、産業分野のみならず家庭や医療・福祉現場での利用への可能性が広がる。

3. 研究の方法

すでに試作機を製作し実験を行った手首関節および肘関節に加え ANLES で駆動される2自由度肩関節の製作を行う。すでに基本設計は終了しており、詳細設計を現在行っている。続いて肩関節、肘関節および手首関節を統合した7自由度上腕マニピュレータを開発する。この7自由度マニピュレータのエンドポイントの剛性楕円体を各関節剛性の設定で自在に可変できることを確認する。続いてマニピュレータのタスクに対応した剛性および姿勢の制御試験を行う。すでに制御理論は開発し、シミュレーションスタディーを行っている。

平成24年度においては以下の研究アイテムを平行して行う。

- (1) ANLES を用いた肩関節: 詳細設計, 製作, 組立および剛性制御実験, その結果を踏まえての改良
- (2) ANLES を用いた肘関節: 内旋・外旋も ANLES で制御するための改良。
- (3) ANLES を用いた手首関節: 粘性要素を持つ ANLES の改良とそれを用いた手首関節の剛性制御実験

平成25年度以降は以下の研究アイテムを行う。

- (4) ANLES を用いた肩関節, 肘関節および手首関

- 節を統合し、7自由度上腕マニピュレータの開発
 (5) ANLESで制御される各関節の剛性設定により、
 エンド・ポイントの剛性を自在に調節できることを
 実証する。実験結果を踏まえ、剛性制御理論の
 再検討を行う。
 (6) 軽量化、機能の向上を目指した機構の改良。

4. 研究成果

- (1) ANLESを用いた肩関節の開発:

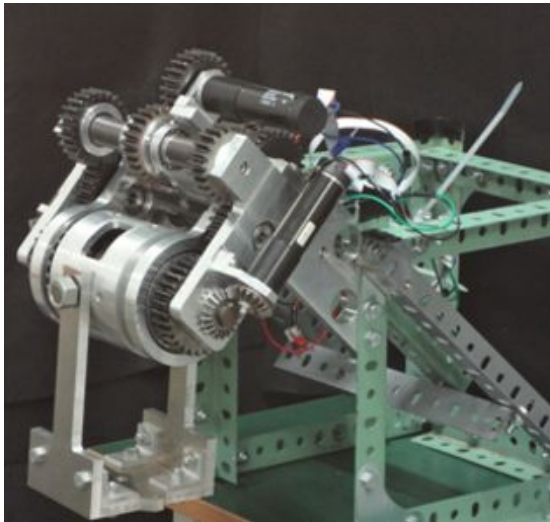


図2 ANLESで拮抗駆動される肩関節

図2に開発した2自由度肩関節の外観を示す。これは4基のANLESにより肩の内転/外転、屈曲/伸展の2自由度の角度と剛性を制御する。遊星歯車機構と差動歯車機構を組み合わせた構造により全てのANLESが移動することなく設置されている。

さらに、上腕・前腕を繋げた際、その自重でANLESがねじられ、その結果剛性調節範囲が限定されるのを防ぐため定荷重バネを用いた自重補償機構を設置した。実験結果より、肩内旋・外旋の広い角度において腕の自重がキャンセルされることを確認した(図3)。

図4に肩関節の屈曲、伸展、外転動作の剛性調節範囲の理論値と実験結果を示す。ほぼ理論通りの剛性調節が可能となった。

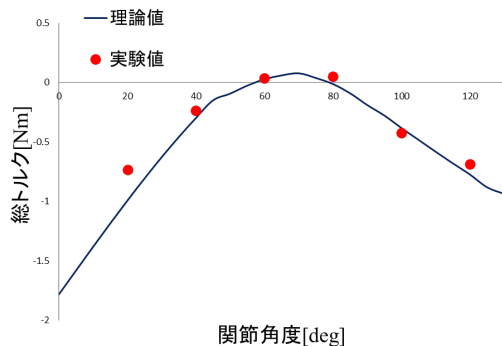


図3 肩関節に設置された自重補償機構

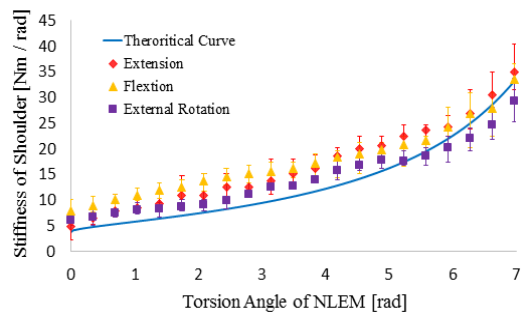


図4 肩関節の屈曲、伸展、外転動作の剛性調節範囲

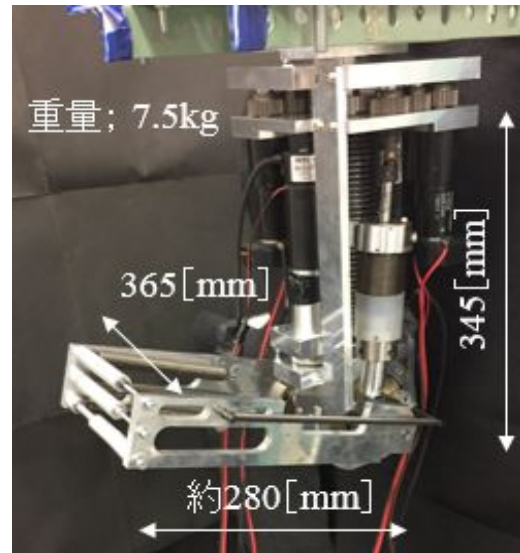


図5 ANLESで駆動される肘関節

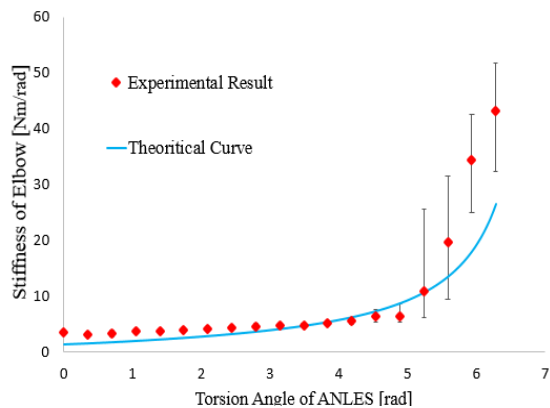


図6 肘関節の内旋/外旋動作の剛性調節範囲

- (2) ANLESを用いた肘関節の開発:

図5にANLES4基で駆動される2自由度肘関節の外観を示す。ANLESの配置を見直し、大幅な短縮を実現した。図6に肘関節の内旋/外旋動作における剛性調節範囲の理論値と実験値を示す。概ね理論通りの結果が得られている。

- (3) ANLESを用いた手首関節:

図7にANLES4基で駆動される2自由度手首関節を示す。ANLESの数を6基から4基に減らし、回内/回外運動は遊星歯車を介したモータ駆動とすることにより、ほぼ人間の前腕と同程度のサイズ/重



図7 ANLESで駆動される手首関節

量を実現した。回内/回外の剛性値を高めるため、図8に示すようにANLESを斜めに配置し、剛性値の測定を行った結果、剛性調節範囲が広がることが確認された。

当初予定していた、肩関節、肘関節、手首関節を統合し、7自由度上肢マニピュレータを開発するまでには至らなかった。平成25年度に残されている以下の研究項目を行う予定である。

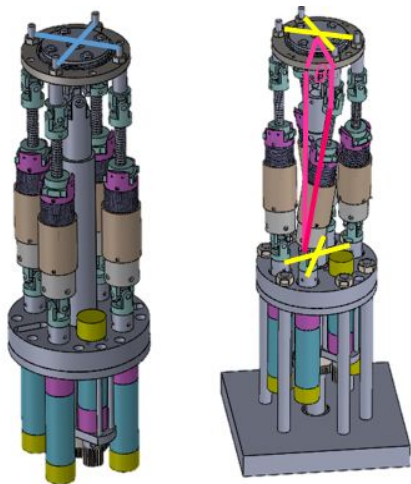


図8 手首関節のANLESの配置の変更

上腕部の大幅な軽量化。
 肩部と上腕部を統合し剛性調節機能をもつ4自由度マニピュレータを開発し、実験により性能の確認を行う。
 肩部、上腕部および手首部を統合し、剛性調節機能をもつ7自由度マニピュレータを開発し、実験により性能の確認を行う。

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16件)

- [1] Multi-Joint Gripper with Differential Gear System, Takumi Tamamoto, Kazuhiro Sayama and Koichi Koganezawa, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS),査読有,15-20,2014.
- [2] Artificial Hand with Stiffness Adjuster, Koichi Koganezawa and Akira Ito, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS), 査読有,21-27,2014.
- [3] Artificial Hand with Stiffness Adjuster, Koichi Koganezawa and Akira Ito, Proceedings of the International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS),査読有,2014.
- [4] Multi-Joint Gripper with Differential Gear Chain, Takumi Tamamoto, Kazuhiro Sayama and Koichi Koganezawa, Proceedings of the 3rd Joint Conference on Multibody System Dynamics, 査読有,2014.
- [5] Development of a Shoulder Joint with a Variable Stiffness Mechanism, Yoshikatsu Naito and Koichi Koganezawa, Proceedings of the 3rd Joint Conference on Multibody System Dynamics, 査読有,2014.
- [6] A Mechanical Musculo-Skeletal System for a Human-Shaped Robot Arm, Koichi Koganezawa, Actuators, 3, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 査読有,124-141, 2014
- [7] 前腕義手制御のための筋電位信号の解析, 青木 秀彰 長尾 秀行 小金澤 鋼一,計測自動制御学会論文集,査読有,Vol.50, No.1, 44-50, 2014.
- [8] Multi-Joint Gripper with Stiffness Adjuster, Koichi Koganezawa and Takumi Tamamoto, Proceedings of the 13th International Conference on Mobile Robots and Competitions, 査読有,20-25,2013.
- [9] Multi-Joint Gripper with Stiffness Adjuster, Takumi Tamamoto and Koichi Koganezawa, Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS), 査読有,5481-5486,2013.
- [10] Artificial Hand Based on the Planetary Gear System, Akira Ito and Koichi Koganezawa, Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation(IROS),査読有,645-650,2013.
- [11] Multi-Joint Gripper with Differential Gear Chain, Takumi Tamamoto and Koichi Koganezawa, Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation(ICMA),査読有,30-35,2013.
- [12] Quantitative Evaluation of Dexterity by Modeling of Joint Torque, Hideyuki Nagao and

Koichi Koganezawa, Proceedings of 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, 査読有, P40-3 ID80, 2013.

[13] 剛性可変機能を有する多関節グリッパ, 下野 宗司 玉本 拓巳 伊藤 祥 小金澤鋼一, 計測自動制御学会論文集, 査読有, Vol.49, No.1, 11-17, 2013.

[14] Antagonistic Control of Multi-DOF Joint, Koichi Koganezawa Gaku Takami and Masakaki Watanabe, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 査読有, 2895-2900, 2012.

[15] A Mechanical Realization of Musculo-Skeletal System, Koichi Koganezawa Gaku Takami and Masakaki Watanabe, Proceedings of 10th International IFAC Symposium on Robot Control, 査読有, 2012.

[16] Antagonistic Control of Multi-DOF Joint, Koichi Koganezawa, Proceedings of 13th International Symposium on Experimental Robotics, 査読有, 2012.

〔学会発表〕(計9件)

[1] 佐山 和宏, 玉本 拓巳, 小金澤鋼一, 差動歯車機構を用いた剛性可変多関節グリッパ, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 日本ロボット学会, 2014年09月, 九州産業大学(福岡県福岡市).

[2] 伊藤祥, 小金澤鋼一, 遊星歯車機構を有したロボットハンドの開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 日本ロボット学会, 2013年09月, 首都大学東京(東京都八王子市).

[3] 八田哲斉, 小金澤鋼一, 剛性可変機能を有する2自由度上腕機構の開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 日本ロボット学会, 2013年09月, 首都大学東京(東京都八王子市).

[4] 内藤吉克, 小金澤鋼一, 剛性可変機構を有する肩関節機構の開発, 第31回日本ロボット学会学術講演会, 日本ロボット学会, 2013年09月, 首都大学東京(東京都八王子市).

[5] 小金澤鋼一, 青木秀彰, 長尾 秀行, 手首関節を有する多自由度義手制御のための筋電位信号の解析, 第23回バイオメカニズム・シンポジウム, バイオメカニズム学会, 2013年07月, ホテルルビノ京都(京都府京都市).

[6] 小金澤鋼一, Artificial Hand Based on the Planetary Gear System, 第9回「手」研究会, The institute of electronics, information and communication engineers, 2013年03月, 沖縄産業支援センター(沖縄県那覇市).

[7] 玉本拓巳, 小金澤鋼一, 剛性可変機能を有する多関節グリッパ, 計測自動制御学会第13回システムインテグレーション部門講演会, 2012年12月, 福岡国際会議場

(福岡県福岡市)

[8] 井上恵次, 内藤吉克, 小金澤鋼一, 剛性可変機構を有する肩関節の開発, 計測自動制御学会 第13回システムインテグレーション部門講演会, 2012年12月, 福岡国際会議場(福岡県福岡市).

[9] 渡邊正賢木, 濱谷敏希, 小金澤鋼一, 3自由度拮抗駆動型手首関節の剛性及び姿勢制御, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会, 日本ロボット学会, 2012年09月, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小金澤 鋼一 (Koganezawa Koichi)
研究者番号: 10178246