

機関番号：32641

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760139

研究課題名(和文) 可変粘弾性関節を有するゴム人工筋マニピュレータの開発と制御

研究課題名(英文) Development of variable impedance manipulator with PAM and MR Brake

研究代表者

中村 太郎 (Nakamura, Taro)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：50315644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人工筋肉と機能性流体を組み合わせた可変粘弾性関節を持つマニピュレータを開発し、瞬発力の発生や振動制御に関する検討を行った。さらに、本マニピュレータを2自由度化することで投擲等の瞬発力を生かした動作の実現について検討を行った。

その結果、瞬発力の発生により、従来のステップ応答による方法よりも3倍以上の最大出力パワーを得ることができ、振動の制御についても最適な可変粘性パラメータを導入することで、オーバーシュートを抑えつつ、十分な振動抑制効果と位置制御性能が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed one-degree-of-freedom manipulator with a variable impedance joint using straight fiber type artificial muscle and magnetorheological brake.

With the generation of instantaneous force, the dead and rise time decreased compared to the conventional method. Further, we controlled the vibration of the arm by controlling the MR brake using evaluation functions

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械機能要素

キーワード：ソフトマニピュレータ ソフトロボティクス

1. 研究開始当初の背景

現在、医療・リハビリテーション分野をはじめとして、人間との協調活動が必要とされるロボットシステムの構築が求められている。これらのロボットは、人間と同じフィールドに存在するため、人間の腕のように、柔軟でありながら振動の少ない関節をもったマニピュレータを持つことがふさわしい。しかしながら、現在ロボットに用いられているモータの多くは、減速比の高い機構を有しており、人間との接触や衝突に対して十分な安全性が確保されていない。またトルクの負荷等を考慮した応答の遅れを鑑みた場合、ソフトウェアコンプライアンス等による制御系の適用にも限界が生じる。

そこで、応募者らはアクチュエータとして空気圧ゴム人工筋肉(以下:ゴム人工筋)に着目した。ゴム人工筋は機構的な柔軟性を有し、軽量であるため、人間等への接触や瞬間的な衝突に対して有効であると考えられる。しかしながら、ゴム人工筋は低剛性であり、空気圧によって動作するため応答が遅い。したがって、物体保持や持上動作において、制御不能な振動を生じ、アームが安定化しにくいという問題点があった。

2. 研究の目的

本研究では、ゴム人工筋マニピュレータに磁気粘性流体(以下:MR流体)を適用することを提案する。MR流体は磁場を与えることにより、高い応答速度(ミリ秒単位)で見かけの粘性が可逆的に変化する流体である。この流体をゴム人工筋マニピュレータの関節部に適用することで、柔軟でありながら、大きな振動を引き起こすことのないマニピュレータが構成できると考えている。さらに、ゴム人工筋による関節剛性とMR流体による粘性を独立に制御することで、ゴム人工筋の弾性エネルギーを利用した、瞬発力をともなう挙動も実現できる。この挙動は、パワーアシスト機器への応用を考えた上でも、省エネルギーで大きな出力を得られるような装置を開発できる可能性があり、可変粘弾性関節の特長を生かした興味深い特性である。

3. 研究の方法

試作機として、応募者らが開発している軸方向繊維強化型人工筋と米 LORD 社製の MR ブレーキを用いて 1 自由度マニピュレータを作成し簡単な制御系の実験を試みている。しかし、本 MR ブレーキはトルクが 3 Nm 程度と人工筋に比べて非常に小さく、質量も大きいため制御手法の適用に限界があり、多自由度化も望めない。したがって本研究では以下の事項について明らかにしていく。

(1) 小型 MR ブレーキと 2 自由度マニピュレータの開発: 小型高出力の MR ブレーキを開発し、それを関節に搭載した 2 自由度の人工筋肉マニピュレータを作成し、応募者らの文献による非線形動特性モデル(中村ら[2010])の再構築を行う。

(2) 振動制御系の構築: マニピュレータに可変粘性制御、人工筋の動特性モデルを考慮した統合制御等を適用し、シミュレーションと実験により、人工筋の振動制御を試みる。

(3) 瞬発的な挙動の実現: 可変粘弾性制御として急激な可変バネ特性により生じる人工筋の瞬発的な挙動を、MR ブレーキの粘性によるエネルギー消散機能によりコントロールすることで大きな振動を誘発することなく人間の「ジャンプ」、「投げる」といった瞬発的な挙動を実現する。

4. 研究成果

瞬発力の発生により、従来のステップ応答による方法よりも 3 倍以上の最大出力パワーを得ることができ、振動の制御についても最適な可変粘性パラメータを導入することで、オーバーシュートを抑えつつ、十分な振動抑制効果と位置制御性能が得られた。また 2 自由度のマニピュレータを開発し、瞬発力を生かした投擲動作の実現に成功した。

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 11 件:すべて査読有)

1. H Tomori, Y Midorikawa and T Nakamura, "Vibration control of an artificial muscle manipulator with a magnetorheological fluid brake", Journal of Physics: Conference Series, Volume 412 (2013), 012053

2. A Inoue, N Kanno, M Yoshikawa and T Nakamura, "Development of a manipulator with an opposed-placement-type ER clutch contributing to collision force reduction", Journal of Physics: Conference Series, Volume 412 (2013), 012012

3. T Majima, S Nagai, H Tomori and T Nakamura, "Development of 1-DOF manipulator with variable rheological joint for instantaneous force", Journal of Physics: Conference Series, Volume 412 (2013), 012048

4. Taro Nakamura, Masanori Maehara, Daisuke Tanaka and Hiroyuki Maeda, Estimation of Joint Stiffness Using Instantaneous Loads via an Electromyogram and Application to a Master-slave System with an Artificial Muscle Manipulator, *Advanced Robotics* Vol.26, pp.799-816(2012)

5. HIROKI TOMORI, YUICHIRO MIDORIKAWA and TARO NAKAMURA, "CONSTRUCTION OF NONLINEAR DYNAMIC CHARACTERISTIC MODEL OF PNEUMATIC ARTIFICIAL RUBBER MUSCLE MANIPULATOR USING MR BRAKE", Journal of Intelligent Material Systems and Structures(JIMSS), PP.1011-1018 (2012)

6. 戸森 央貴, 田中 大資, 前原 正典, 加茂 大地, 中村 太郎, "突発的な負荷を考慮した 6 自由度人工筋肉マニピュレータの手先剛性制御", 日本フルードパワーシステム学会論文

集 特集号「人間を支援する空気圧の技術と研究」, Vol. 43, No. 3, pp.70-76,(May. 2012)

7. Taro Nakamura, Masahiro Yoshikawa and Kazuhiko Boku, HIGH SPEED REVERSAL CONTROL OF 1DOF MANIPULATOR BY ENERGY DISSIPATION EFFECT OF ER CLUTCHES, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, pp.68-73(2011)

8. Hiroki TOMORI, Hiroyuki MAEDA and Taro NAKAMURA, Orbit tracking control of 6-DOF lubber artificial muscle manipulator considering nonlinear dynamics model, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C (JSME), Vol. 77, No. 779, pp.2742-2755 (2011)

9. Hiroki Tomori, Taro Nakamura, Theoretical Comparison of McKibben-Type Artificial Muscle and Novel Straight-Fiber-Type Artificial Muscle, International Journal of Automation Technology (IJAT), Vol. 5, No. 4, pp.544-550 (2011)

10. TARO NAKAMURA, YUICHIRO MIDORIKAWA and HIROKI TOMORI, POSITION AND VIBRATION CONTROL OF VARIABLE RHEOLOGICAL JOINTS USING ARTIFICIAL MUSCLES AND MAGNETO-RHEOLOGICAL BRAKE, International Journal of Humanoid Robotics (IJHR). Vol. No.8, No. 1,pp.205-222(2011.5)

11. Taro Nakamura Yuichiro Midorikawa and Hiroki Tomori, "Position and Vibration Control of Variable rheological joints using artificial muscles and magneto-rheological brake", International Journal of Humanoid Robotics, pp.205-222 (2011)

[学会発表](計 32 件)

1. Takumi Watanabe, Dai Tanaka, Daich Kamo, Taro Nakamura," Development and Control of 7-DOF Artificial Muscle Manipulator Considering Redundancy", Proceedings of IEEE 39th Annual Conference of Industrial Electronics, (IECON2013), pp. 4083 -4088 (2013.11).査読有 Wein

2. H.Tomori,H.Oshika,T.Nakamura, H. Osumi," Development and Control of 1-DOF Manipulator Using Electrostrictive Rubber Actuator" ,Proceedings of IEEE 39th Annual Conference of Industrial Electronics, (IECON2013), pp. 4089 -4094 (2013.11). 査読有, Wein

3. Tatsuo Majima,Suguru Nagai,Hiroki Tomori,Taro Nakamura,"Motion control of instantaneous force for an artificial muscle manipulator with variable rheological joint"2013 International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation ,Centro Stefano Francini, ,14-19July 2013,P-36(2013.7) 査読有 Ascona,Switzerland,

4. Hiroki Tomori,Yuusuke Hirata,Taro Nakamura,Hisanori Osumi,"DEVELOPMENT OF HEXAPOD ROBOT SUPPORTED MECHANICALLY USINGPNEUMATIC RUBBER ARTIFICIAL

MUSCLES",Proceedings of the Sixteenth International Conference on Climbing and Walking Robots, Sydney, Australia, 14 – 17 July 2013 (CLAWAR 2013) ,p435-442,(2013.7) 査読有, Sydney

5. Tanaka Dai,Kamo Daichi,Watanabe Takumi,Maehara Masanori,Nakamura Taro, "Development of a 7-DOF Manipulator Actuated by Straight-Fiber-Type Pneumatic Artificial Muscle", Proceedings of 2013 IEEE ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics in Wollongong Australia(AIM 2013),p300-306,(2013.7) 査読有, Wollongong

6. Takuma Kawamura, Kenta Takanaka, Taro Nakamura, Hisashi Osumi, "Development of an orthosis for walking assistance using pneumatic artificial muscle", Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, (ICORR 2013), Poster E9, (2013.6) 査読有, Seattle

7. Kenta Takanaka and Taro Nakamura, " Development of Pneumatic Control System for Walking Assist using Dual On/Off valves", Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), pp138-143, (2013.2) 査読有, Verinzona

8. Dai Tanaka, Daichi Kamo, Masanori Maehara, and Taro Nakamura, "Development of two Types of 2-DOF Wrist Joint Driven by Pneumatic Artificial Muscles", Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM), pp471-476, (2013.2) 査読有, Verinzona

9. Hiroki Tomori, Suguru Nagai, Tatsuo Majima and Taro Nakamura," Motion Control of Instantaneous Force for an Artificial Muscle Manipulator with Variable Rheological Joint", Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2012), pp402-407, (2012.12) 査読有, 杭州

10. H. Tomori, Y. Midorikawa, S. Nagai, T. Nakamura, "Vibration Control of an Artificial, Muscle Manipulator with a Magnetorheological Fluid Brake", Processing of novel ER and MR materials,pp.74-75,(2012.7) 査読有. Ankara

11. Akio.Inoue, N. Kanno, M. Yoshikawa, T. Nakamura, "Development of Manipulator with the Opposed Placement Type ER Clutch Contributing to Collision Force Reduction", Processing of novel ER and MR materials,pp.160-161,(2012.7) 査読有, Ankara

12. T. Majima, H. Tomori, S. Nagai, T. Nakamura, "Development of 1-DOF Manipulator with Variable Rheological Joint for Instantaneous Force", Processing of novel ER and MR materials,pp.245-246,(2012.7) 査読有, Ankara

13. AKIO INOUE, MASAHIRO YOSHIKAWA, and TARO NAKAMURA, " High-Speed Reverse Control of a Soft Manipulator using an Electrorheological Clutch", Proceedings of the

37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.124-129, (2011.11) 査読有, Melbourne

14. Daichi Kamo, Masanori Maehara, Daisuke Tanaka, and Taro Nakamura, "Development of a manipulator with straight-fiber-type artificial muscle and differential gear mechanism", Proceedings of the 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.57-62, (2011.11) 査読有, Melbourne

15. Suguru Nagai, Hiroki Tomori, Yuichiro Midorikawa, and Taro Nakamura, "The position and vibration control of the artificial muscle manipulator by variable viscosity coefficient using MR brake", P Proceedings of the 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.260-265, (2011.11) 査読有, Melbourne

16. 河村 拓磨, 野間 鞠依, 中村 太郎, "空気圧ゴム人工筋肉を用いた歩行アシスト装具の軽量化を考慮した機構の開発" 第14回システムインテグレーション部門講演会 (SI2013), pp2017-2019 (2013.12) 査読なし, 神戸

17. 渡辺 拓巳, 加茂 大地, 田中 大, 中村 太郎, 大隅 久, "外乱オブザーバーを用いた差動歯車型2自由度人工筋肉マニピュレータの動特性制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2A2-D04, (2013.5) 査読なし, 筑波

18. 間島 達雄, 戸森 央貴, 永井 豪, 中村 太郎, 大隅 久, "可変粘弾性関節を有するマニピュレータによる瞬発力を伴う運動の制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2A2-D02, (2013.5) 査読なし, 筑波

19. 河村 拓磨, 高中 健太, 中村 太郎, 大隅 久, "空気圧ゴム人工筋肉を用いた歩行アシスト装具の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 1A1-D04, (2013.5) 査読なし, 筑波

20. 戸森 央貴, 平田 祐介, 中村 太郎, 大隅 久, "無通電時での支持可能な人工筋肉搭載型6脚自立移動ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 1A1-P06, (2013.5) 査読なし, 筑波

21. 戸森 央貴, 永井 豪, 間島 達雄, 中村 太郎, 大隅 久, "可変粘弾性関節を有する空気圧ゴム人工筋肉マニピュレータの瞬発力を伴う振動制御", 第18回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp477-484, (2013.3) 査読有, 山形

22. 加茂 大地, 渡辺 拓巳, 田中 大, 中村 太郎, 大隅 久, "軸方向繊維強化型人工筋肉を用いた7自由度マニピュレータの制御", 第18回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp485-491, (2013.3) 査読有, 山形

23. 高中健太, 中村太郎, "歩行アシストを考慮した On/Off 弁による Duty 比相違型圧力制御システムの開発", 第13回システムインテ

グレーション部門講演会 (SI2012), pp2675-2680 (2012.12) 査読なし, 福岡

24. 永井 豪, 戸森 央貴, 間島 達雄, 中村 太郎, 大隅 久, "MR ブレーキ搭載型空気圧ゴム人工筋肉マニピュレータによる瞬発力発生手法の検討および運動制御", 日本ロボット学会第30回記念学術講演会講演論文集, 2C1-4 (2012.9) 査読なし, 札幌

25. 田中大, 加茂大地, 前原正典, 中村太郎, "空気圧人工筋肉を用いた2自由度手首機構の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 1P1-R11, (2012.5) 査読なし, 浜松

26. 井上明男, 菅野展寛, 吉川昌宏, 中村太郎, "衝撃力低減を目的とした対抗配置型 ER クラッチを有するマニピュレータの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 2A2-B09, (2012.5) 査読なし, 浜松

27. 間島達雄, 永井豪, 戸森央貴, 中村太郎, "1 自由度可変粘弾性マニピュレータによる瞬発力を伴う挙動の制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 2A2-C09, (2012.5) 査読なし, 浜松

28. 戸森央貴, 平田祐介, 中村太郎, "無通電時において支持が可能な人工筋肉搭載型6脚移動ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'12 講演論文集, 2A2-U01, (2012.5) 査読なし, 浜松

29. 永井 豪, 戸森 央貴, 緑川 雄一郎, 中村 太郎, "MR ブレーキを用いた可変粘性係数による人工筋肉マニピュレータの位置及び振動制御", ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 2A2-I07, (2011.5) 査読なし, 旭川

30. 井上 明男, 吉川 昌宏, 中村 太郎, "ER クラッチの印加電場制御による1リンクアームのエネルギー消散", ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 2A2-I03, (2011.5) 査読なし, 旭川

31. 加茂 大地, 前原 正典, 田中 大資, 中村 太郎, "差動歯車機構を用いた人工筋肉マニピュレータの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 1P1-P03, (2011.5) 査読なし, 旭川

32. 戸森 央貴, 児島 佑毅, 中村 太郎, "人工筋肉搭載型水陸両用6脚歩行ロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 1P1-O14, (2011.5) 査読なし, 旭川

〔図書〕(計2件)

1. 中村太郎(共著:第13章「人工筋肉の開発と拮抗関節への応用」担当),「筋機能改善の理学療法とそのメカニズム」望月久,山田茂編著,(2014.5)

2. 中村太郎(単著),「図解 人工筋肉 ソフトアクチュエータが拓く世界」,日刊工業新聞社,(2011.11)

〔産業財産権〕

出願状況(計4件)

名称：筒状体の製造方法
発明者：中村太郎 樋高裕也
権利者：学校法人中央大学
種類：
番号：特願 2011-040932
出願年月日：2011/2/25
国内外の別： 国内

名称：人工筋肉に用いられる筒状体及び当該筒状体を備える人工筋肉並びに筒状体の製造方法
発明者：中村 太郎 樋 高 裕 也
横島 真人 安達 和紀権利者：学校法人中央大学
種類：
番号：特願 2011-040933
出願年月日：2011/2/25
国内外の別： 国内

名称：関節装置及びリンク機構
発明者：中村 太郎 田中 大加 茂
大地 前原 正典
権利者：学校法人中央大学
種類：
番号：特願 2012-120053
出願年月日：2012/5/25
国内外の別： 国内

名称：アクチュエータ
発明者：中村太郎 河村拓磨、野間鞠依
権利者：学校法人中央大学
種類：
番号：特願 2013-250517
出願年月日：2013/12/3
国内外の別： 国内

取得状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.mech.chuo-u.ac.jp/~nakalab/>

6. 研究組織

(1) (1) 研究代表者
中村 太郎 (Taro Nakamura)
中央大学・理工学部・教授
研究者番号：50315644
(2) 研究分担者 なし
()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし
()

研究者番号：