

平成22年 3月 3日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19360122

研究課題名 (和文) 高度なスキルを実現可能な空圧駆動筋電義手の設計

研究課題名 (英文) Design of Pneumatically-Driven Myoelectric Prosthetic Hand for High-Performance Skills

研究代表者

辻内 伸好 (TSUJIUCHI NOBUTAKA)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60257798

研究成果の概要 (和文) : 本研究は、人との接触を前提とした、より高機能で軽量の筋電義手の開発を目的としておこなった。安全性を考慮し、筋電義手には独自に開発した空気圧アクチュエータを駆動源とする5指ロボットハンドを使用した。アクチュエータの動作特性や外乱に対する制御系および手指の動作識別法を構築し、実験によってそれらの有効性を検証した結果、手首2自由度と母指掌側内転機能を有する空圧駆動筋電義手の基本的な設計手法が確立された。

研究成果の概要 (英文) : In this study, we aimed to develop a more sophisticated lightweight myoelectric prosthetic hand premising contact with humans. We used a five-fingered robot hand driven by our original pneumatic actuators for the myoelectric prosthetic hand with safety in mind. After we constructed control systems for performance characteristics and disturbance in the pneumatic actuators as well as the motion discrimination method of hands and fingers, we established the fundamental design method of pneumatically-driven myoelectric prosthetic hand with two-degree-of-freedom wrist and thumb palmar adduction function as results of validating those effectivenesses by experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	12,400,000	3,720,000	16,120,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：ワイヤ腱駆動, 空気圧アクチュエータ, 人工筋, サーボバルブ, 筋電義手, ロボットハンド, レギュレータ

1. 研究開始当初の背景

(1) 義手の使用動向

安全衛生管理や労働災害防止対策が重要視されている現代社会においても、疾病や労

働災害・交通事故などにより手足の切断を余儀なくされる場合がある。現在、日本において上肢切断者は十万人近く存在し、その大部分が日常生活で何らかの義手を使用している。最も多く使用されている装飾義手は外観の装飾性が非常に優れているが、手指をユー

ザの意思によって操作できない。能動義手は手先の開閉動作が可能であるが、残存部の動きをワイヤによって手先に伝えるため操作時の姿勢に制限がある上、外観が悪いため普及していない。そこで近年、筋肉が収縮する際に生じる活動電位を計測した筋電信号を制御入力とし、随意に手先の開閉動作などの操作が可能であり、外観の装飾性にも優れている筋電義手が注目されている。

しかし、筋電義手は個人差の大きい筋電信号を制御入力とするために、ユーザに合わせて調整する必要がある。また、現在市販されている筋電義手は、指先の開閉動作や手首の回転動作などしか行えず、人間の手を再現しているとは言い難い。さらに、開閉角度の調整により把持力を調整するものがほとんどであり、所望の把持力を得ることは困難である。そのため、使用者は義手をセルフケアに利用することは少ない。

(2) ロボットハンドの開発動向

近年、数多くのロボットが盛んに開発されており、人間の生活支援など様々な場面での実用化が期待されている。これらのロボットが行う作業は複雑であり、生活様式によっても変化する。そのため、ロボットを人間と共存させる、あるいは人間の分身として行動させるためには、幅広い作業および作業の変更に柔軟に対応し、人間と同様のフレキシブルな動きを実現可能なロボットの開発が重要である。また、作業空間に人間が入り込むことが少ない作業用ロボットとは異なり、これらのロボットは人間と直接接触することが多くなるため、高い安全性が要求される。したがって、素材、機構、駆動方法および制御方法などの選択が重要となる。

そこで、このようなロボットの実現に向け、空圧駆動ロボットの研究開発が行われている。空気の圧縮性による大きなコンプライアンスを利用するため、高い安全性・柔軟性を持つ駆動系の構築が可能である。空圧駆動ロボットの開発には、人間の筋肉を模擬した空気圧アクチュエータで駆動する器用な動作が可能で多指ロボットハンドの開発が必要不可欠である。

このようなロボットハンドの開発はすでに行われている。しかし、従来の空気圧アクチュエータは、十分な出力を得るために高圧の圧縮空気を必要とするため、圧縮機が大型となりシステム全体が大型化してしまう。また、アクチュエータ自体大型のものが多く、人間の手と同じ大きさを持つロボットハンドの関節に直接埋設できず、ロボットハンドの腕部にアクチュエータを配置し、ワイヤで牽引することによりロボットハンドを駆動させていたため、システムが複雑となる。

2. 研究の目的

上記の状況を鑑み、本基盤研究「高度なスキルを実現可能な空圧駆動筋電義手の設計」が開始された。空気圧アクチュエータを用いた、より高機能で軽量の筋電義手とその制御方法の開発を目的とし、その前段階として、より安全で柔軟性を兼ね備えたフレキシブルに動く5指ロボットハンドの開発に着手した。ロボットハンドには駆動源として独自に開発した空気圧アクチュエータを組み込み、アクチュエータの制御系を構築するとともに、筋電信号による手指の動作識別法を適用し、筋電義手による人間の手を模擬した動作の実現を目指した。

3. 研究の方法

(1) 筋電信号による手指の動作識別

本研究では、前腕部より表面筋電信号を計測し、特徴的な手指の各動作を識別する手法を提案する。今回、識別する動作は手の握り、開き、摘み動作および手首の屈曲、伸展動作の計5動作とする。動作識別には図1に示す特徴空間上の円錐モデルを用いて、短時間での学習を可能とする。円錐モデルには、肘動作に伴い前腕部の筋が活動する際、肘動作を前腕部の動作であると誤認しない利点がある。さらに、円錐モデルによる動作識別の精度を向上させるため、二次多項式を用いて識別する各動作の特徴を抽出する手法を提案する。二次多項式は、動作に対応した教師信号を与え、最小二乗法により推定する。

また、動作識別を用いる義手は、動作の速さをユーザが任意に操作できないことが多く、人の手と比べて不自然である。そこで、重回帰モデルを用いて、各動作に対応する義手関節の角速度を生成する手法を提案する。これらの手法を用いて、グラフィックスによって作成した3Dハンドモデルを操作できるシステムを構築する。このシステムを用いて3Dハンドモデルを操作する実験により、二次多項式による特徴抽出法と重回帰モデルによる角速度生成法の有効性を実証する。

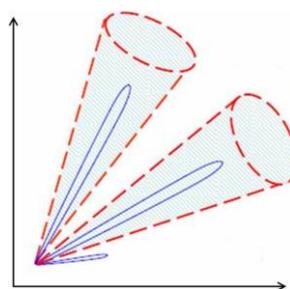


図1 円錐モデル

(2) 空圧駆動5指ロボットハンドの開発

① 空気圧アクチュエータの開発と制御

本研究では、図2に示す独自に開発した低圧の圧縮空気駆動可能な小型の空気圧アクチュエータを用いて、図3に示す人間の右手を模倣した5指ロボットハンドを開発し、ロボットハンドに人間と同様の動作を行わせるマスタ・スレーブシステムを構築する。次に、より高精度なロボットハンドの制御を実現するために、空気圧アクチュエータおよびそれらを用いた図4に示すような1リンクアームのモデル化を行う。

しかし、空気圧アクチュエータは内部摩擦によるヒステリシスなどの非線形要素を多く含むため、収縮時および緩和時で発生力が異なり、モデル化は困難である。そこで、摩擦や体積変化などの影響を考慮するとともに、ヒステリシス特性を示すダンパ要素と、空気圧による力を示すバネ要素を並列に並べた図5に示すバネ・ダンパモデルを構築し、モデルの精度向上を図る。

次に、1関節を有し、2基の空気圧アクチュエータを拮抗させた1リンクアームを試作し、慣性モーメントおよび粘性摩擦係数を考慮した1リンクアームのモデル化を行う。さらに、それらのモデルを用いて1リンクアームの制御系を構築し、実験により提案したモデルの有効性を検証する。

② ロボットハンド用腱駆動手首の開発

開発するロボットハンドは手首に自由度を持たないため、実際にアームに装着しても人間の手と同様の動作は不可能である。そこで、ロボットハンドに装着可能な人間の手首と同じ大きさを持つ腱駆動の手首を新たに開発することにより、この問題を解決する。開発する手首は2基のモータをワイヤで協調駆動させることにより小型化および高トルク化を実現したため、ロボットハンドに装着した際に違和感がなく動作範囲も広げられ、回内、回外動作および橈屈、尺屈動作の計2種類に分けられる動作が可能である。さらに、この手首を指示通りの確に動作させるため、制御系の構築を行う。

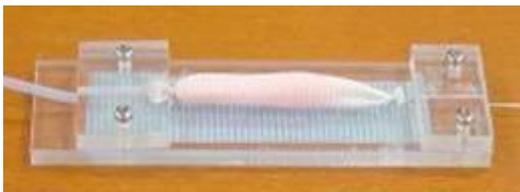


図2 人工筋型空気圧アクチュエータ



図3 5指ロボットハンド

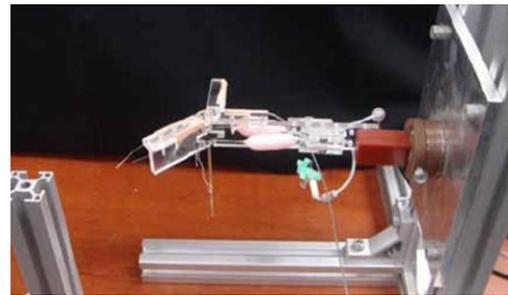


図4 アクチュエータの1リンクアーム

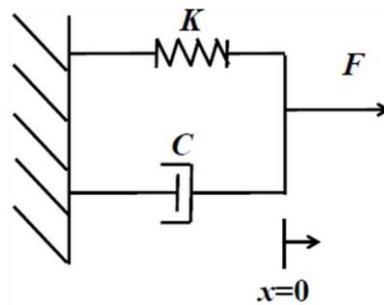


図5 バネ・ダンパモデル

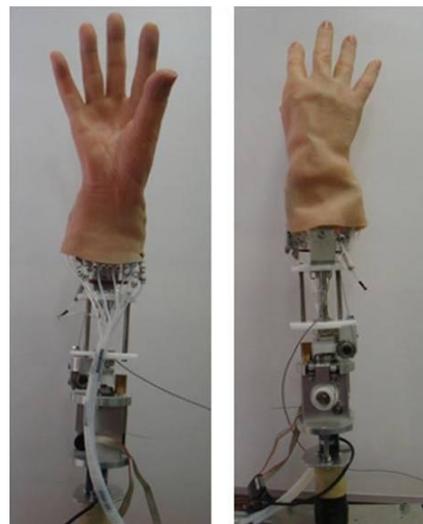


図6 ロボットハンド用腱駆動手首

4. 研究成果

(1) 筋電信号による 3D ハンドモデルの操作

肘動作を前腕部の動作であると誤認しない円錐モデルによる手指の動作識別法を提案したことに加えて、動作識別の精度を向上させることを目的として、二次多項式を用いた識別する各動作の特徴抽出法を提案した。また、義手の動作速度を任意に操作できるようにすることを目的として、重回帰モデルによる手首関節の角速度生成法を提案した。

これら一連の流れを総括した、3D ハンドモデルを操作可能なシステムの構築により、誤動作の少ない筋電義手駆動方法を開発し、3D ハンドモデルの操作実験によりその有効性を確認した。得られた成果は国際会議(EMBC2008: 査読付き, EMBC2009: 査読付き)で公表し、いずれも十分な評価を受けた。今後は、手の動作と手首の動作を同時に動作識別可能な手法を構築していく予定である。

(2) 空気圧マスタ・スレーブハンドの制御

より安全で柔軟性を兼ね備えたロボットハンドを開発するため、マッキベンタイプ的人工筋を用いて独自に開発した低圧駆動型空気圧アクチュエータ 22 本を駆動源とした 5 指ロボットハンドを試作し、物体の「握り」と「摘み」動作を確認した。

また、空気源として使用する圧縮機の小型化が必須であるため、小型圧縮機、小型アクチュエータおよび小型サーボバルブから成る 5 指ロボットハンドの制御系および空気圧供給システムについても試作した。5 指ロボットハンドの制御手法を高度化するため、レギュレータを用いた連続制御手法を開発した。摩擦や体積変化などの非線形性による影響を考慮した制御系を構築し、モデル精度の向上を図った。さらに、構築したモデルを用いて 1 リンクアーム指モデルの制御系を構築し、実験によりその有効性を検証した。

最終的に、空気源として試作した小型圧縮機および円筒の周囲に配置することによって小型化を実現したサーボバルブを用いて、試作した 5 指ロボットハンドが駆動可能であることを確認した。5 指ロボットハンドの制御の有効性を実証するため、マスタ・スレーブハンドの制御を実現し、国際会議(EMBC 2007: 査読付き, MOVIC2008: 査読付き)で公表するとともに、日本機械学会論文集 C 編および Journal of System Design and Dynamics に纏め、いずれも十分な評価を受けた。

(3) 筋電義手に用いる腱駆動手首の開発

5 指ロボットハンドにおいてさらなる器

用さの実現を図り、手首関節に回内・回外および橈屈・尺屈の 2 自由度を付加するため、5 指ロボットハンドに小型軽量のモータ装置を組み込んだ肘から先を持つ 5 指筋電義手のプロトタイプを試作した。手首に追加した自由度は、義手としての自然な動きを実現できるようにワイヤ腱駆動方式を導入し、新規性の高い駆動手法を開発した。2 基のモータを協調駆動することにより、トルクの低い小型モータで、60N のトルク発揮を実現した。

また、ワイヤ駆動による非線形性と物体把持による負荷変動に対してロバストな制御系として、目標値に対する手首の偏差角度と偏差各速度を入力とするファジィ制御を提案し、実験によってその有効性を実証し、得られた成果を同志社大学大学院工学研究科博士課程(前期課程)修士論文に纏めるとともに、国際会議(EMBC2009: 査読付き)で公表し、いずれも十分な評価を受けた。今後は、筋電信号による手指の動作識別法と組み合わせ、実践的な筋電義手への適用を目指していく予定である。

(4) 空気圧アクチュエータのモデル化

マスタ・スレーブハンドの制御に引き続き制御精度の向上を図るため、空気圧アクチュエータが有するヒステリシスなどの非線形性による影響を考慮したバネ・ダンパによる制御系を構築した。また、構築した制御系を 1 リンクアーム指モデルに適用し、実験によりその有効性を検証した。得られた成果を国際会議(IECON2009: 査読付き)で公表し、十分な評価を受けた。これらの成果は、セル生産に用いられる産業用ロボットハンドに展開され、図 7 に示すように「国際食品工業展 2009, ロボットフードパーク」にて「すしをつまみ上げるロボットハンド」としてデモ展示を行い、多くのメディアに取り上げられた。今後は、現代制御理論を用いてアクチュエータの応答性を改善していく予定である。



図 7 すしをつまみ上げるロボットハンド

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 14 件)

- ① Y. Hayashi, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Oshima, T. Hiroshima, A. Ito and Y. Tsuchiya, Structural Optimization of the Thin-Type Four-Axis Force/Moment Sensor for a Robot Finger Using Response Surface Methodology and Desirability Function, Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 査読有, 2009, pp. 1750 - 1755
- ② H. Oshima, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, Y. Hayashi, A. Ito and Y. Tsuchiya, Optimized Design Method of Three-Axes Force Sensor for Robot Fingers, Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 査読有, 2009, pp. 700 - 705
- ③ N. Tsujiuchi, T. Koizumi, K. Kayamoto, H. Oshima, M. Hirano and Y. Nakamura, Correction of Image Coordinate Using Landmark for Setting Error, Proceedings of the 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 査読有, 2009, pp. 2448 - 2453
- ④ N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Kan, H. Takeda, T. Kudawara and M. Hirano, Modeling and Control of a Joint Driven by Pneumatic Actuator, Proceedings of the 35th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 査読有, 2009, pp. 2291 - 2296
- ⑤ 大島裕子, 小泉孝之, 辻内伸好, 土屋陽太郎, 伊藤彰人, 実験計画法を用いた三軸触覚センサの最適設計, 設計工学, 査読有, Vol. 44, No. 10, 2009, pp. 559 - 566
- ⑥ H. Takeda, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Kan, M. Hirano and Y. Nakamura, Development of Prosthetic Arm with Pneumatic Prosthetic Hand and Tendon-Driven Wrist, Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2009, pp. 5048 - 5051
- ⑦ N. Tsujiuchi, T. Koizumi, S. Nishino, H. Komatsubara, T. Kudawara and M. Hirano, Development of Pneumatic Robot Hand and Construction of Master-Slave System, Journal of System Design and Dynamics Special Issue on D&D2007, 査読有, Vol. 2, No. 6, 2008, pp. 1306 - 1315
- ⑧ Y. Hayashi, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Oshima, A. Ito and Y. Tsuchiya, Performance Evaluation of the Thin Type Four-Axis Force/Moment Sensor as Two-Times Model for the Robot Hand's Fingertip, Proceedings of the 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 査読有, 2008, pp. 1765 - 1770
- ⑨ H. Komatsubara, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Kan, Y. Nakamura and M. Hirano, Development & Control of Master-slave Robot Hand Driven by Pneumatic Actuator, Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control, 査読有, 2008, pp. 201 - 210
- ⑩ H. Kawashima, N. Tsujiuchi and T. Koizumi, Hand Motion Discrimination by EMG Signals without Incorrect Discriminations that Elbow Motions Cause, Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2008, pp. 2103 - 2107
- ⑪ 辻内伸好, 小泉孝之, 西野慎哉, 小松原寛之, 久田原辰夫, 平野正徳, 空気圧マスタ・スレーブハンドの開発および関節制御, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol. 74, No. 741, 2008, pp. 1267 - 1272
- ⑫ N. Tsujiuchi, T. Koizumi and M. Hashimoto, Contact Task with an Unknown Inclined Plane, Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 査読有, 2007, pp. 1440 - 1445
- ⑬ S. Nishino, N. Tsujiuchi, T. Koizumi, H. Komatsubara, T. Kudawara and M. Shimizu, Development of Robot Hand with Pneumatic Actuator and Construct of Master-Slave System, Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 査読有, 2007, pp. 3027 - 3030
- ⑭ 辻内伸好, 小泉孝之, 西野慎哉, 白井茂樹, 久田原辰夫, 清水三希夫, 低圧駆動型空気圧アクチュエータの開発と制御性能, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol. 73, No. 732, 2007, pp. 2320 - 2326

〔学会発表〕 (計 13 件)

- ① 辻内伸好, 腱駆動手首を持つ空気圧駆動筋電義手の開発, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 13 日, 岩手大学 (盛岡市)
- ② 辻内伸好, 腱駆動手首の開発とロボットハンドへの応用, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009, 2009 年 8 月 6 日, 北海道大学 (札幌市)

- ③ 辻内伸好, 日常生活での使用を考慮した小型 6 軸ロボットアームの軌道生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2009 年 5 月 25 日, 福岡国際会議場 (福岡県)
- ④ 辻内伸好, ロボット指用小型 3 軸力センサの構造最適化, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2008, 2008 年 9 月 5 日, 慶應義塾大学 (横浜市)
- ⑤ 辻内伸好, 空気圧アクチュエータを用いたマスタ・スレーブハンドの開発と改善, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008 年 6 月 7 日, ビッグハット (長野市)
- ⑥ 林祐一郎, ロボットハンドの指先に装着可能な薄型 4 軸力覚センサ 2 倍モデルの性能評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2008 年 6 月 6 日, ビッグハット (長野市)
- ⑦ 廣島亨, ロボット指用小型 3 軸力センサの開発, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2008 年 3 月 15 日, 大阪大学 (豊中市)
- ⑧ 林祐一郎, ロボットハンドの指先に装着可能な薄型 4 軸力覚センサの開発, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2008 年 3 月 14 日, 大阪大学 (豊中市)
- ⑨ 辻内伸好, 特徴空間上の距離尺度を用いた筋電義手のための動作識別法, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2007, 2007 年 9 月 25 日, 広島大学 (東広島市)
- ⑩ 辻内伸好, 空気圧駆動マスタ・スレーブハンドの開発と関節制御, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2007, 2007 年 9 月 25 日, 広島大学 (東広島市)
- ⑪ 辻内伸好, 電空レギュレータを用いた空気圧駆動マスタ・スレーブハンドの開発, 日本機械学会 2007 年度年次大会, 2007 年 9 月 11 日, 関西大学 (吹田市)
- ⑫ 辻内伸好, 空気圧アクチュエータの開発とロボットハンドへの応用, 第 10 回「運動と振動の制御」シンポジウム - MoViC2007 -, 2007 年 8 月 9 日, 東京工業大学 (東京都)
- ⑬ 伊藤彰人, ロボット指用分布型触覚センサのための小型センサ素子の開発とその特性評価, 第 10 回「運動と振動の制御」シンポジウム - MoViC2007 -, 2007 年 8 月 9 日, 東京工業大学 (東京都)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: 回動装置, 回動制御システム及び回動

装置への流体供給制御方法

発明者: 辻内伸好, 他 4 名

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2009-265026 号

出願年月日: 2009 年 11 月 20 日

国内外の別: 国内

名称: 移動型床反力計測装置

発明者: 辻内伸好, 他 4 名

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2008-306913 号

出願年月日: 2008 年 12 月 1 日

国内外の別: 国内

名称: 回動装置

発明者: 辻内伸好, 他 3 名

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2008-277042 号

出願年月日: 2008 年 10 月 28 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 2 件)

名称: 触覚センサおよび多点型触覚センサ

発明者: 辻内伸好, 他 6 名

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 4399545 号

取得年月日: 2009 年 11 月 6 日

国内外の別: 国内

名称: 回動装置

発明者: 辻内伸好, 他 3 名

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 4212644 号

取得年月日: 2008 年 11 月 7 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://moavic.doshisha.ac.jp/papers.htm>
1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻内 伸好 (TSUJIUCHI NOBUTAKA)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 6 0 2 5 7 7 9 8

(2) 研究分担者

小泉 孝之 (KOIZUMI TAKAYUKI)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 2 0 2 4 7 7 9 5