

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年 5月18日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560259

研究課題名 (和文)

剛性可変マッサージロボットアーム・ハンドの開発と剛性調節アルゴリズムの構築

研究課題名 (英文)

Development of a Robot Arm and Hand System with Stiffness Adjuster for Massaging a human body

研究代表者

梶川 伸哉 (KAJIKAWA SHINYA)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：80290691

研究成果の概要：

本研究は平成19年度～平成20年度の2年間に亘り行われたものである。研究内容は大きく二つに分けられる。1つ目は、剛性可変機能を有するアームおよびハンドシステムの開発である。この点については、二つの異なる方式を提案し試作機構を用いてその性能の評価を行った。また、試作機構の一方に関してはハンドシステムに取り入れ、マッサージ動作への適用を行った。これらの結果は、投稿論文1篇、学会発表論文6件（国内4件、国外4件）としてまとめられた。また、国内学会発表1件においては、優秀講演賞を受賞した。

二つ目は、関節剛性の制御方法を構築する目的で人の動的な運動における関節運動の解析である。このテーマに関しては、国内学会で発表を予定している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：「機械工学」・「知能機械学・機械システム(5007)」

キーワード：ロボットハンド，ロボットアーム，関節機構，剛性制御，人間動作解析，マッサージ

1. 研究開始当初の背景

- (1) 要介護人口の増加に伴いヒューマンケアロボットの需要が高まりつつある。上記ロボットのサービスは人に触れる可能性が非常に高く、ロボットには第一に安全性、さらに状況に即した器用な動作が要求される。
- (2) 現在までのロボットの構造は表面を弾性体で覆う方法やメカニカルな受動コンプライアンスを有する関節機構などが提案されている。しかしながら、受動コンプライアンス対応方向、コンプライアンスの調節機能の不備、機構の複雑さ、サイズなどの問題がある。
- (3) 剛性調節をロボットの作業にいかん利用するかという研究は少ない。

2. 研究の目的

これまで研究代表者らは、上記の背景を鑑み、独自の関節剛性可変機構を提案してきた。今回の研究期間では、これまでの研究成果をベースとして、コンプライアンス調節可能なアームとハンドの開発とそれらの運動および特性を協調させる制御手法の構築を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

研究は、申請書記載の研究計画に沿って次の2点について行われた。

- (1) 弾性関節および可変剛性関節機構の開発とその評価
- (2) 人の手指関節の剛性調節機能の解析
 - (1) については、アーム、およびハンドに搭載することを目的として、剛性可変機能を有する関節、或いは外力推定機能を有する弾性関節を提案し、それぞれの機構の基本性能について検証を行った。

また、(2)については、人の手指の巧みな運動特性の制御が顕著に現れると考えられる物体受け取り動作を対象とし、動作時の手指関節運動と筋電位データを基に、剛性を巧みに調節するための関節運動の制御スキルについて考察を行った。

4. 研究成果

(1) 弾性梁を用いた関節剛性可変機構の開発

ロボットアームの関節に搭載することを目的とした剛性可変関節機構を開発し、その性能評価を行った。

この機構は関節内に弾性梁を挿入し、その梁の姿勢制御により関節剛性を調節することを狙ったものである。関節剛性調節の原理を図1に示す。

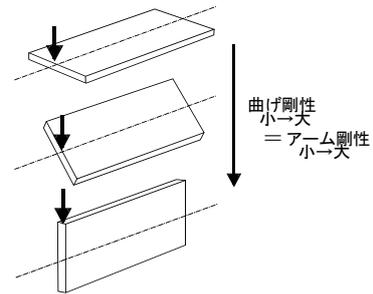


図1 梁の姿勢と曲げ剛性

図1に示すように、薄板梁の姿勢を制御することで曲げ方向の力(矢印方向)に対する梁の剛性を大きく変えることができると期待できる。つまり、姿勢制御のみ曲げに対する剛性調節を可能とするものである。梁の回転制御のみであることから非常に簡便で、高速化とコンパクト化も期待できる。さらに、梁の表面にひずみゲージを貼り付け、梁のひずみ量を計測することにより、外力によるアーム先端の変位量の推定機能を付加することも可能となる。

関節機構

提案機構を搭載したアームの簡略図を図2に示す。また、試作機を図3、図4に

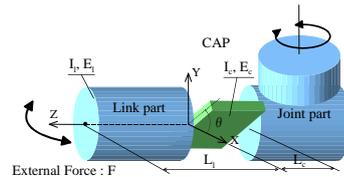


図2 提案関節を搭載したアーム機構の概要

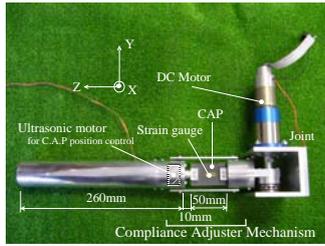


図3 プロトタイプ (側面)

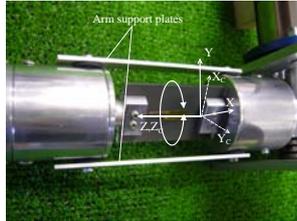


図4 プロトタイプ関節機構部

示す。

性能評価実験

試作機を用いて関節機構のコンプライアンス特性の検証, 先端変位量の推定機能の検証を行う。

(A) コンプライアンス特性および先端位置推定機能の検証

実験は図5に示すようにアーム先端をロードセルを用いて x 軸方向に強制変位を与え, その際の反力を計測する方法で行った. CAPの姿勢角 θ を 0, 30, 45, 60, 75, 90deg. の6種類と設定した. その結果を図6に示す。

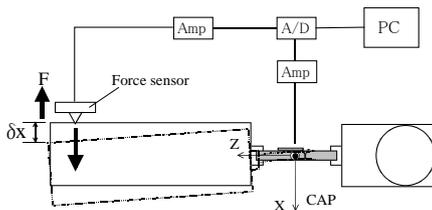


図5 コンプライアンス検証実験

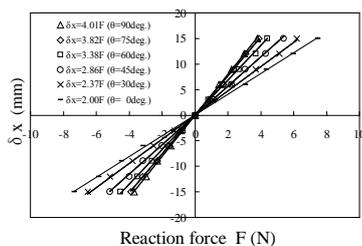


図6 先端変位 δx と反力 F の関係

図6からは, どの姿勢角でも先端変位量 δx と反力 F は線形の関係にあることがわかる. この傾きがコンプライアンスを表しており, CAPの姿勢により調節が可能であることがわかる。

また, CAPのひずみを基にアーム先端位置の推定を行った結果を図7に示す. この図より, ひずみ ϵ は先端変位 δx の増加に比例して増加する傾向があることがわかる. ただし, CAPの姿勢角が小さくなるとその関係は崩れ, 先端変位の増加ほどひずみは増加しなくなることがわかる. これは, 姿勢角が小さくなるほど, アーム先端に加えた力の方向とのずれが大きくなるためである. この結果から, 姿勢角が 30~90deg. の範囲において先端位置を精度良く推定することができることが確認される。

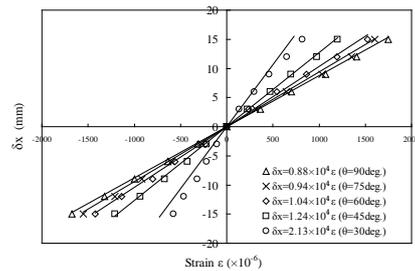


図7 先端変位とひずみの関係

(2) 空気圧クッションを用いたハンド用弾性関節機構の開発

開発した関節機構は関節駆動部に空気圧クッションを挿入し, このクッションを介してリンクへの運動を伝達する. クッションの弾性により, リンク先端に加わる外力を効果的に吸収する. また, クッション内圧の変化により外力の推定機能も有する。

提案機構を搭載したハンドの概要

本ハンドを構成する指モジュールの概要を図1に示す. 提案機構はMP関節部に搭載されており, 他に2関節を有する. また, そのモジュール3本で構成されるハンドシステムを構

築した (図2参照) .

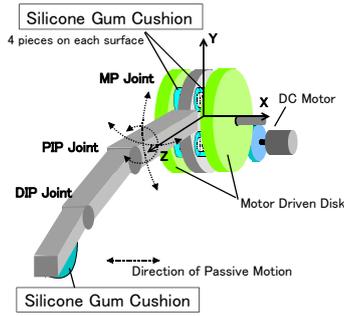


図1 提案関節を搭載したロボットフィンガ概要

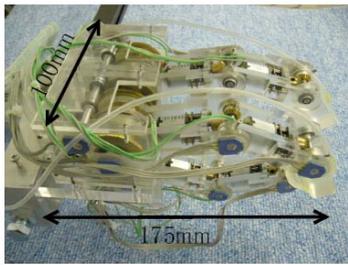


図2 プロトタイプハンドの概観

性能評価実験

(A) 関節柔軟性の検証

まず、MP関節部の柔軟特性について検証する。リンクを回転軸回りに強制変位を与えその際の反力を計測した。その結果を図5に示す。

この結果から、回転方向の過度の力を吸収し、柔らかい応答を実現できることが確認された。

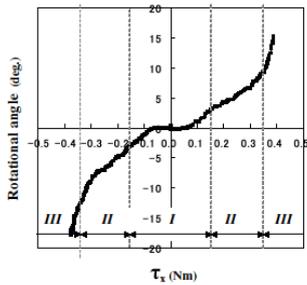


図3 外力推定機能検証実験

(B) 外力推定機能の検証

次に、指先への横方向とねじり方向の力を加え、関節内部のクッションの内圧変化から、それらの大きさを推定する実験を行った (図4参照) . その結果を図5に示す。図より、二つの外力を正確に分離し、推定できることが確認された。

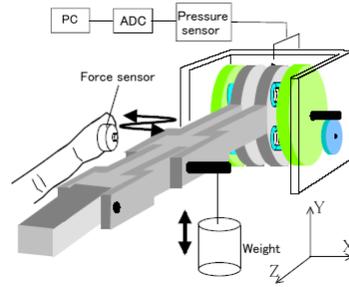


図4 外力推定実験の結果

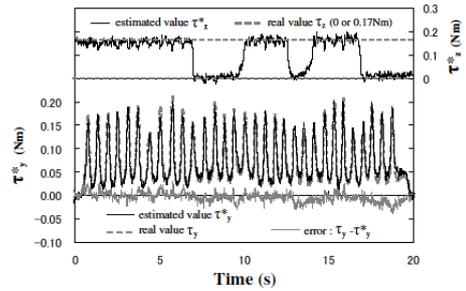


図5 外力推定結果

(C) 身体ケアサービスへの適用性

ここでは身体接触作業として人の腕をなぞる作業を取り上げた。なぞり動作中は心地よさを重視し、皮膚との摩擦力を一定に保つ指先力の制御を行った。その結果、図7に示すように目標値として設定した1.0Nの摩擦力を保ちながら左右へのなぞり動作が実現できることが確認された。



図6 なぞり実験

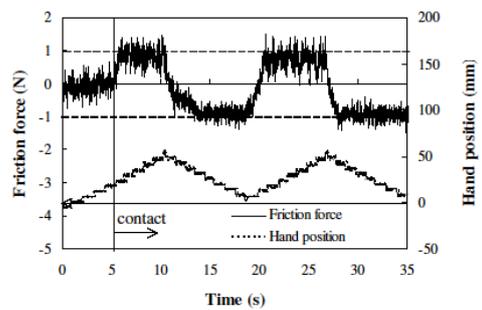


図7 摩擦力一定制御の結果

4 (3) 人の手指関節の剛性調節機能の解析
 関節剛性の制御方法を構築する手がかりとして人間の行うトス動作を解析し、各関節の協調と関節剛性の変化の様子、および力強いはじき上げを実現するスキルについて考察した。

実験方法

実験環境を図1に示す。この図に示すように、手のひら先端に物体を落下させ、受け取りとはじき上げ動作を行わせる。被験者には手首関節 (wrist joint) と指根元関節 (MP joint) のみを用いて、できるだけ柔らかく受け取り、さらに、できるだけ高く投げ上げるよう指示を行った。

動作中の手首関節と指根元関節の動きと手首と指根元関節の駆動に関する尺側手根屈筋 (FCUM)、総指伸筋 (EDM)、浅指屈筋 (FDSM) の筋電位も同時に計測した。被験者は、実験内容についての同意を得た男子大学生 3 名であり、全員利き腕を用いて実験を 3 回ずつ行った。

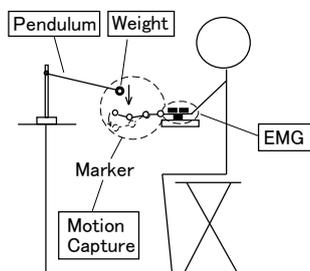


図1 実験システムの概要

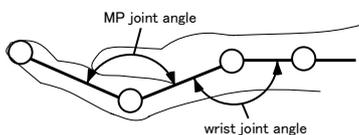


図2 関節角の定義

実験結果および考察

典型的な手首、指根元関節の角度変化と筋電位を図3、図4に示す。受け取り区間では、顕著な筋電活動が見られず、筋が弛緩した状態

で受け取りを行っていることが予想される。また、手首関節については、伸張反射と見られる筋電位活動が FCUM について見られ、これを契機としてはじき上げに移行するものと考えられる。

一方、MP 関節に関しては手首関節の動作移行に遅れる傾向が見られた。この遅れにより、MP 関節駆動筋が過度に引き伸ばされる状況となり、関節剛性の上昇と筋の弾性エネルギーの蓄積が同時に生じているものと考えられる。

この遅れののちに MP 関節がはじき上げ方向に運動しており、剛性を高めた状態で、弾性エネルギーの解放を行い、素早いはじき上げを実現しているものと考えられた。

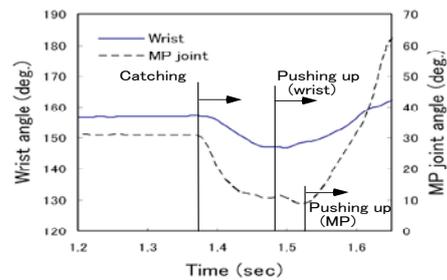


図3 手指関節角の時間変化 (錘 600g)

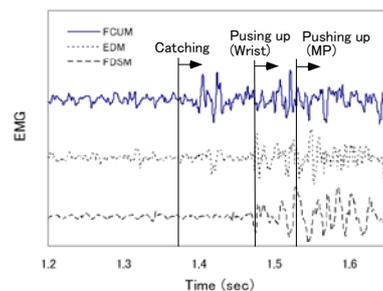


図4 実験時に観測された筋電位

(4) 今後の展望

以上の成果を基に今後は以下の点について研究を進展させる予定である。

まず、ロボットハンド・アームシステムを製作し、その性能を評価する。次に、人の関節剛性の調節メカニズムを参考に、ロ

ロボット関節が有する弾性的な振る舞いと人の筋伸展-収縮活動による関節特性の変化との対応付けを行い、関節運動と関節剛性の調節タイミングを把握する。この知見を基に剛性調節制御を組み込んだロボットハンド・アームシステムのマッサージ動作への適用を行うことを予定している。

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 1 件)

- ① 梶川伸哉, 身体接触作業用ロボットハンドの開発, 計測自動制御学会論文集, vol. 44, no. 12, 2008, 948-955, (査読有)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 梶川伸哉, “弾性梁を用いた可変コンプライアンスロボットアームの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec07), 2007年5月, 秋田市
- ② S. Kajikawa, “Robot Hand with Soft Compliant Mechanism for Human Body Care”, Proc. of the 13th IASTED International Conference on Robotics and Applications (RA2007), 2007年8月, ドイツ ウルツブルク, (査読有) .
- ③ S. Kajikawa, “Variable Compliance Mechanism for Human-care Robot”, 33rd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics (IECON2007), 2007年11月, 台北, (査読有) .
- ④ 梶川伸哉, “身体接触作業用ロボットハンドの製作”, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2007年12月, 広島市.
……優秀講演論文賞受賞

- ⑤ 梶川伸哉, “コンプライアンス可変機構を有するロボットハンドの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec08), 2008年6月, 長野市.
- ⑥ S. Kajikawa, “Development of a Robot Hand with an Adjuster Mechanism for Joint Compliance”, Proc. of International Conference on Robotics and Biomimetics, 2009年2月, バンコク, (査読有) .
- ⑦ S. Kajikawa, “Development of robot hand aiming at nursing care services to humans”, International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), 2009年5月, 神戸市 (査読有)
- ⑧ 阿部啓, 梶川伸哉, “ロボットフィンガ用剛性可変支持機構の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec09), 2009年5月, 福岡 (発表予定)
- ⑨ 門間好功, 梶川伸哉, “トス運動時の手指関節運動の解析”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(Robomec09), 2009年5月, 福岡 (発表予定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東北学院大学工学部
教授 梶川伸哉

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし