

令和元年6月21日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01562

研究課題名(和文)介護作業用柔軟構造ロボットハンドの開発と程度表現指示による身体ケア作業の実現

研究課題名(英文) Development of soft structural robot hand and its application to human-body care services with the instruction of ambiguous expression of degree

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、安全で親しみやすい身体ケアサービスロボットシステムの開発に向けた取り組みを行った。まず、安全で心地よいマッサージサービスを提供するため、接触面と関節の剛性を調節できるロボットハンドを作成した。次に、このハンドシステムを“少し強く”や“ほんのすこし弱く”等の日常表現を使って簡単に扱えるマッサージシステムとするため、曖昧な程度表現に対する触圧刺激(力、圧力等)の適切な調整レベルを実験により解析した。この解析結果から、各種程度表現に対するロボットハンドの制御目標を算出するモデル構築することができた。両成果を合せることにより、ヒューマンフレンドリーなマッサージシステムが実現できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したロボットハンドは、硬さを変えることが可能であり、安全性と快適性を必要とする介護等のサービスに対して有効に利用できる。また、そのハンドを制御するために、ヒューマンフレンドリーな日常用語の使用を目的としており、“少し強く押し”などの指示に対する適切な接触作業の解析を詳細に行った。この解析結果から、単なる力の制御ではなく圧力分布を考慮した“押し作業”の必要性を見出すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we worked on development of a safe and friendly physical care service robot system.

First, in order to provide a safe and comfortable massage service, we fabricated a robot hand with adjustable joint stiffness.

Next, in order to apply this hand to a massage services that can be easily handled using everyday expressions such as “press a little more” and “press more”, we analyzed adjustment levels for each expression through several experiments. From this analysis, we could construct a model that calculates the control target of the robot hand for various degree expressions. By combining the two results, a human-friendly massage system can be realized.

研究分野：人間工学

キーワード：可変関節剛性 ロボットハンド マッサージ 程度表現 感覚量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 介護やリハビリなどの需要が高まる中、人手不足や作業の長時間化、重労働化が問題となっており、ロボットシステムにおける介護サービス代行のニーズが高まっていた。その中で、人の身体に触れる作業は基本的なものであり、安全性の高いロボットハンドシステムが望まれていた。また、作業内容に応じてハンドの機械的特性を調節できること(例えば、力強く押すや優しく触れるなど)も必要である。しかしながら、高い安全性を保ちつつ、作業遂行能力を兼ね備えたハンドの開発例は少ない状況であった。

(2) 身体に触れるロボットハンドは、接触制御(力の強弱や速度の加減等)を通じて人とのコミュニケーションが図られると考えられる。しかしながら、接触制御による物理的刺激の変化をより明確に判別させ得るハンド、フィンガの機械的特性については研究がなされていなかった。

(3) ヒューマンケアを目的とするロボットシステムには、親和性が求められる。その実現に対する有効な方法として、日常使用する言葉による操作が挙げられる。音声認識の技術が進展し、ロボットの動作を指定する音声コマンド(“押す、揉む”等)の利用は可能であるが、その動作様式を指定する感覚的な程度表現(“少し強く”等)に対しては、それらを適切に定量化し、ロボットの制御に繋げる取り組みが少なく、曖昧な程度表現を定量化するモデルの構築が課題となっていた。

また、これまでのマッサージロボット制御などでは、単純に接触力を制御対象としてきているが、接触状況は変位や面積なども含まれ、制御すべき要素として力のみで良いか検証を行う必要性も考えられた。

上記の3点を統合することにより、真にフレンドリーで効果的な介護サービスを実現できると考えられるが、そうした試みは見られない状況であった。

2. 研究の目的

(1) 介護現場での利用を想定した可変柔軟構造を有するロボットハンドの開発である。関節と指先の双方の硬さを調節できるハンドの開発を目的としている。それぞれに要求される硬さの調節範囲、サイズを考慮し、異なる柔軟性調節メカニズムを提案し、それらを搭載したハンドシステムを開発する。

(2) マッサージ等の介護作業でのロボット操作法として、日常用語の使用を想定し、その中で多用される感覚的な程度表現(“少し”、“もっと”、“ほんの少し”等)を定量化するモデルの考案を行う。程度表現は、物理的刺激に対する感覚量を表したものと考え、身体への物理的刺激の変化に対する感覚量の変化を解析し、両者の関係を明らかにすることにより程度表現のモデル化を進める。

(3) 触力覚刺激量の変化に対する人の識別能力を解析する。また、知覚特性に影響を与える物理的要素(力、変位、面積等)を実験的に明らかにし、マッサージロボットの制御パラメータやハンドの最適な機械的特性の検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 可変柔軟構造を持つロボットハンドの開発

関節部と指先部に異なる機構を提案し、その性能を評価する。関節部には、図1に示すように、関節駆動モータと出力リンクの間にクラッチに相当する空気圧クッションを挿入し、クッション本来の柔らかさで柔軟性を確保することとした。また、クッション内圧を調節することで、クッション全体の剛性を高めるとともに、クッションの膨張によるリンク部との接触力増加を実現し、トルクの伝達効率を高める方式を考案した。

一方、図2に示す指先部は、人の指先構造を模擬し、表皮、脂肪、骨部からなる三層構造を採用した。表皮はシリコンゴム製の半球殻、脂肪層はウレタンスポンジ、骨部は硬質ゴムを利用した。また、モータ駆動のネジ機構を用いてウレタンスポンジを硬質ゴム(可動台)で圧縮することで、指先の剛性を調節することとした。

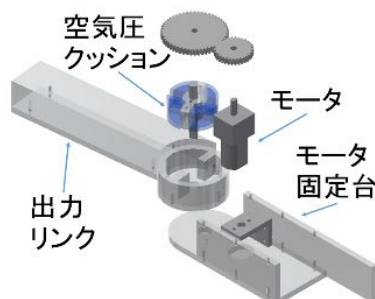


図1 剛性可変関節の展開図

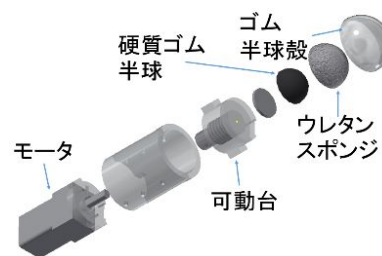


図2 剛性可変指先の展開図

両機構の剛性特性の評価法として、力センサでリンク先端、指先を押し込み、その際の変位量を計測することとした。

(2) 接触刺激に対する知覚能力の解析と程度表現の定量化モデルの構築

接触刺激の大きさと感覚的程度表現の関係を明らかにすること、また、ロボットの作業様態の変化を的確に知覚させ得るロボットフィンガの機械的特性を把握するため、人の指先を複数の異なる弾性指で押す実験を行った。

実験条件は、被験者の指先を、数種類の異なる剛性を有する人工指を用いて一定速度(2.0mm/sec)で押し込み、指定された程度表現のレベルに押し込み刺激の強度が達したと感じた時点で人工指の押し込みを停止してもらった(図3参照)。程度表現としては、“少し強く”、“ほんの少し強く”の2種類とした。また、指先の初期接触力として、1.0, 2.0, 3.0, 4.0Nの4種類を設定した。実験では、変位、力、接触面積を計測した。

解析は、まず、好ましいロボットフィンガの機械的特性を把握するため、各表現に対して得られた押し込み力の差を比較し、より明確に差が現れる人工指の剛性特性を検証した。

次に、程度表現の定量化を行うため、程度表現に対する押し込み力到達値、および到達圧力の相対変化で定義される感覚量を算出した。これらの値と初期接触力、および初期接触圧の関係について解析を行った。これは刺激強度に対する感覚量の変化を表現したものが程度表現であろうという推測に基づいたものである。感覚量と程度表現の関係が得られれば、この関係を基に各程度表現に対する刺激量の増減目標値を算出することが可能になる。

一方、根本的に接触刺激に対して得られる感覚知覚が単純に接触力で良いのかという点を検証するため、舌や指に対して面積の異なる円筒形の弾性指の押し当てを行い、その押し当て力の知覚に対する面積の影響について検討も行った。

4. 研究成果

(1) 可変柔軟機構を持つロボットハンド

関節部に関しては、空気圧クッションの内圧を0.01~0.07 MPaとした場合、剛性は11.9~16.0 mNm/degの範囲となり、3割増加する結果が得られた。この結果は、安全性の面において非常に高い性能を持つと言え、有効が確認できた。一方で、マッサージ等の力を必要とする作業に利用する場合には、さらに剛性を高める必要もあると考えられる。この点については、クッションを構成するゴム素材やクッション形状の見直しにより改善が図られると考えている。

次に指先部の剛性特性について図4に示す。この図は、指先を力センサで押し込み、その際の変位量と押し込み力の関係をプロットしたものである。6種類のプロットはウレタンスポンジの圧縮量の違いによるものである。この図の各プロット点の傾きが指先の剛性を表している。

これらの結果を見ると指先の剛性は人の指と同様に押し込み量によって剛性が変化していくことがわかる。今回のデータからは、二つの剛性が実現できることが確認できる。また、スポンジの圧縮量によって剛性の变化位置を指定することができることがわかる。こうした人と同じような特性を持ち、さらにその剛性を調節できる機構は、今まで報告がなく、ロボットハンドの新たな機能として、有効に活用できると考えられる。

(2) 接触刺激に対する知覚能力の解析と程度表現の定量化モデルの構築

まず、ロボットフィンガの機械的特性については、4つの剛性の異なる人工指を比較した結果、人の指に近い柔らかさのものが、接触状況の変化を、人により伝えやすいことを確認した。これは、柔らかいものほど押し当ての変化による接触面積の増減が顕著となり、刺激を知覚する皮膚内部の触圧受容器の動員数に直結するためと考察した。

先行研究では、感覚量の大きさは、刺激を受けた受容器は、その強度に比例した数のインパ

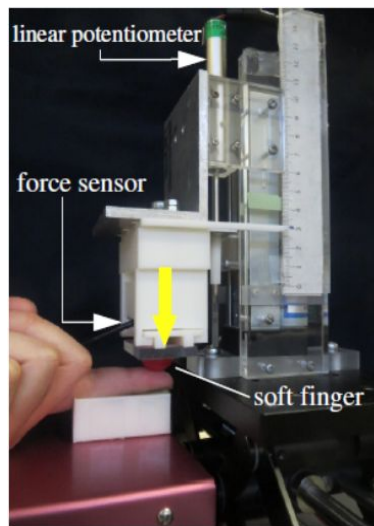


図3 実験の様子

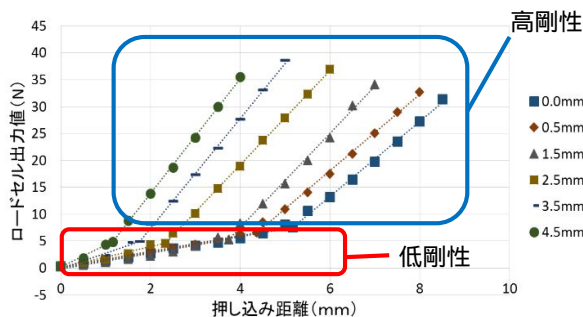


図4 スポンジ圧縮量に対する剛性特性の変化

ルス出力を脳に創出し、脳はその数に応じた感覚量を得るということが示されている。インパルス信号の数により感覚量の大小が決定されるということは、接触面積が増え、刺激にさらされる受容器の数が増えることでもインパルス数が増加すると考えることもできる。このことから接触面積は触圧刺激に対する感覚量の獲得に大きな影響を持つと言える。このような視点は、人との接触を通じたコミュニケーションを模索するロボットシステムを構築する際、ロボットフィンガなどの表面構造の設計に対してより多くの注意を払うことを示唆するものである。

以上の考察に関係し、接触刺激の知覚には接触面積が大きく影響する結果が実験においても確認された。特に、追加的に行った舌に対する触圧刺激実験においては、接触力の変化（舌で触れているものの硬さ）を加えた場合、接触面積がその硬さ知覚に大きく影響を与えることが確認された。この派生的に得られた結果を利用することで、舌の触力覚機能を活用したこれまでにない新たな機器操作デバイスを提案することもできた。

次に、程度表現に対する刺激の変化と感覚量の差の関係については、Weber-Fechner の法則を基に両者の関係を解析した。感覚量は刺激の強度の対数に比例するという、および上記の刺激知覚のメカニズムの考察から、接触圧 P を用いて感覚量を定義することとした。その結果から感覚量の差 R_p を以下のような式で算出することとした。

$$R_p = \log(P) - \log(P_0) = \log(P/P_0)$$

ここで P_0 は初期圧力である。この式に基づいて実験データから求めた各程度表現に対する感覚量の差を図 5 に示す。この図は被験者 5 人の実験データをプロットしたものであり、表現によるレベルの違いを検証するため、正規化した値 R_{norm} をプロットしている。

また、図中の圧力値は、カメラで計測した接触面積値 (pixel) で接触力を除して得たものであり、単位は $N/pixel$ となっている。各表現に対する感覚量の差は、単に一定のレベルになると考えていたが、初期圧力 P_0 の影響を受け、変化することが確認された。初期接触圧 P_0 の増加に伴い、感覚量の差 R_{norm} は減少していき、その後一定値に収束する傾向となった。

このように各表現に対する感覚量の差は、初期負荷刺激による影響を受けることが確認されたが、表現に対するレベルの差は明確であることがわかった。この結果を基に各表現を満足させる圧刺激の増加量を算出するモデルが構築できた。

圧力刺激負荷状況下 P_0 において、その刺激量の変化を求める新たな程度表現指示が与えられた場合、図中示す「圧力刺激量 - 感覚量の関係式」から、程度表現に合致する感覚量の変化 R_{norm} が同定される。次に、この値を基に表現を満足する目標刺激の量 P を推定することができることになる。

このモデルを基に、図 3 に示した実験装置を用いて、程度表現指示を利用した押し込み実験を行った結果、人の感覚にあった圧刺激を提示することができた。

今後は、より多くの表現を取り入れ、多彩な表現を用いた身体接触作業の実現を目指す予定である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

梶川伸哉、高野遼大、舌によるスティック操作と力感覚特性の計測、人間工学、査読有、52 巻、2016、134-140、<http://doi.org/10.5100/jje.52.134>

〔学会発表〕(計 4 件)

Jun Takahashi, Shinya Kajikawa, Analysis of tactile sensations for robotic body-care services instructed using ambiguous expressions of degree of contact、International Conference on Artificial Robots and Intelligent Systems, 2018.

高橋 惇、梶川伸哉、弾性指による触圧作業に対する程度指示と感覚量の関係、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2018

Taku Ohba, Shinya Kajikawa, Tongue-operated joystick device with reaction force feedback mechanism, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2017.

大場拓、梶川伸哉、操作反力調節機能を有する舌用ジョイスティック、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会、2016

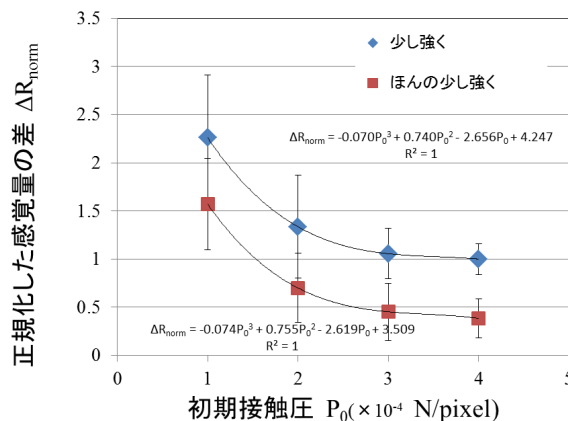


図 5 初期圧力に対する感覚量の差の変化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。