

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：14603  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2017～2019  
 課題番号：17K13088  
 研究課題名（和文）柔軟物の計測と操作ができるロボットハンドを用いた「気持ちを感じる・伝える」手法

研究課題名（英文）Feel and Tell the Mind using a Robot Hand that can Measuring and Manipulating the Deformable Object

研究代表者  
 丁 明 (Ding, Ming)  
 奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・客員准教授

研究者番号：40585840  
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は人間の撫でる動作を実現できるロボットハンドと動作生成手法を提案することが目的である。まず、人の手の構造を観察と計測を行い、人の撫でる動作の計測とロボットハンドの必要様相の検討し、開発するハンドに必要な硬さ、温度などの物理特性を抽出した。そして、抽出された特性を満たすロボットハンドを開発した。人のハンドと同じ関節の柔軟さ、表面の柔らかさ、接触の暖かさ、を有するロボットハンドを試作し、その有効性を検証した。最後に、開発したロボットハンドをロボットアームに取り付けることで、人の撫でる動作を生成し、その動作の有効性を物理的と生理的な効果を検証した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は人の手の構造を観察と計測し、抽出した接触動作に必要な手の機能をロボットハンドの開発により実現する方法を試した。人間の機能を有するロボットハンドの開発に関する重要な研究である。開発したロボットハンドをロボットアームに取り付け、撫でる動作を生成し、多方面から動作の快適さを確認した。今後引き続きロボットと人の接触動作に関する研究の基礎になり、タッチケアロボットの実現に貢献できた。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed a robot hand and generated the touching motion to mimic human's stroking motion. We observed and measured the construction of human's hand first and examined the requirements for realizing the comfortable stroking motion. The required stiffness, temperature, and such physical factors has been extracted for the development of the robot hand. Then, a robot hand which has these factors has been designed. It has same softness on the joints and skin as human's hand. The contacting temperature can also be controlled same as human. Finally, we equipped the developed hand on the tip of a robot arm. The stroking motion could be generated based on the measured human motion. The physical and physiological effectiveness of has been verified in the experiment.

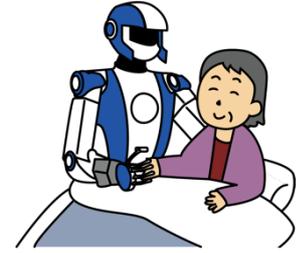
研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボットハンド ヒューマンロボットインタラクション 撫でる動作 温度制御

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

手は人間にとって器用な「運動器」であると同時に、鋭敏な「感覚器」でもある。手は多くの自由度を持ち、外部物体の感知と操作により様々な日常活動を実現することができる。手の皮膚は身体他の部分と比べても感覚力が非常に鋭敏で、細かい作業などが実現できる。手は繊細な動きにより、感じるだけでなく、自ら情報を伝えることもできる。「握る、撫でる、叩く」など、他人の体を直接に接触することでコミュニケーションや感情表現を深めることができる。「タクティールタッチ」などの感覚療法は疼痛や筋緊張の緩和、幸福感・安心感・信頼感の形成に効果があると認識され、健康な人から病気を持っている人など、すべての人に適用できる。ロボットが人の日常生活で生活や介護支援を行うため、図のような接触による感情表現も必要と考えられている。



人が他人や他の生き物と接触する時の接触状態を直接に計測するのは困難であり、計測できる物理的な情報から人間の手により伝わる感情など心理的な情報の認識と解明するのも困難である。そのため、動作、接触力、温度など正確に制御できるロボットハンドを用いて、手の接触による気持ちを感じると伝わるメカニズムを定量的に解明するのが望ましい。

現在、様々なロボットハンドが開発されて、硬い物体から柔らかい物体、形状規則な物から形状不規則な日用品まで、多種多様な物体の把持と操作に関する研究が行われている。ロボットハンドに角度センサ、力センサ、温度センサなど、様々なセンサを取り付けることにより、操作物体の特性を同時計測することも可能となっている。しかし、人が他人と接触時に行う「撫でる」や「叩く」など非把持的な動作について制御がまた難しい。特に、接触相手も生き物である場合は、力の制御だけではなく、相手に当たる運動や湿度などの制御も必要となる。正確に接触状況を検知し制御することができれば、相手の気持ちを感じ、自分の気持ちを伝えることができると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は人間の手のような機能を実現するために必要な機能を抽出し、それらの機能を実現するロボットハンドを開発することが目的である。開発したロボットハンドを用いて、タッチケアに利用できる人間のような「撫でる」動作も生成し、開発したロボットハンドの有効性を検証する。更に、接触状況（力、温度、湿度、撫でる速度等）の制御により、人間らしさのメカニズムも解明する。

### 3. 研究の方法

本研究は人を撫でることができるロボットハンドを開発し、人間のハンドのような柔らかさ、接触力、接触温度を有するロボットハンドを開発し、撫でる動作での有効性を検証する。研究目的を実現するため、以下の3つのステップで研究を行う。

(1) 人間の情報を計測し、ロボットハンドを開発する時に必要な要求（硬さ、接触面積、接触温度）を抽出する。人間の撫でる動作も観察と計測を行い、撫でる動作時の接触力や接触速度などの必要情報も抽出する。

(2) 計測された人間の手の性能が再現できることを目指し、力や温度など接触状態が制御できるロボットハンドを開発する。手の性能を実現するための構造、温度について検討し、最適なロボットハンドを提案する。

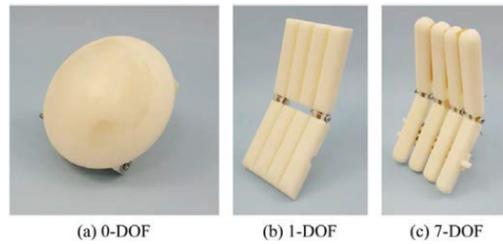
(3) 開発したロボットハンドを他自由度ロボットアームに取り付け、計測された人間の動作情報に基づいた撫でる動作を生成する。被験者実験により、動作を主観的評価と生理学的評価で有効性を確認する。

### 4. 研究成果

#### (1) 手の構造と撫でる動作の計測と検討

人の撫でる動作を実現するため、ロボットハンドの試作も行った。3Dプリンタを用いて、自由度と形が異なるロボットハンドを複数個制作した。ハンド温度も調整し、接触温度の重要性も示した。制作したハンドを直接に人が持って他人に接触する時の感覚を比較し、人を接触するハンドに必要な要素を抽出した。ロボットハンドの表面は柔らかい素材で被ることで、より人間らしい接触動作ができる。更にロボットハンドを事前に温めることで、より人間らしい接触動作が

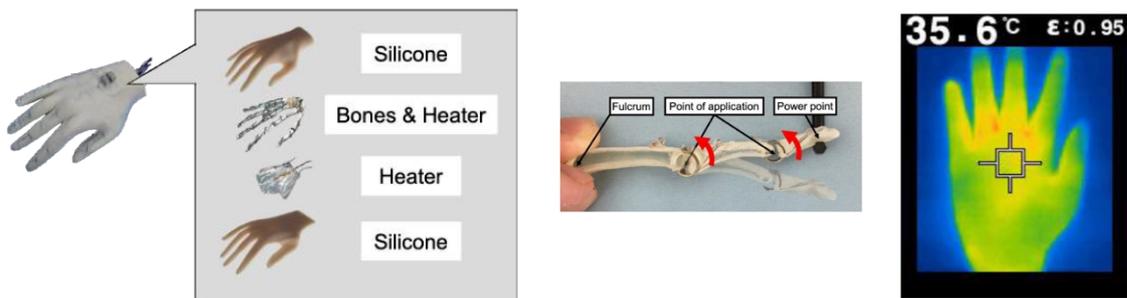
できると判明した。



人が他人を撫でる時の動作を観測し、同時に撫でられる方からの感覚を調査した。更にマネキンとフォースプレートを用いて、撫でる動作に必要な力も測定した。得られた人の動作と力に基づき、ロボットハンドの制作と開発に利用した。人の皮膚形状変化の計測による動作を簡易に計測手法も提案した。

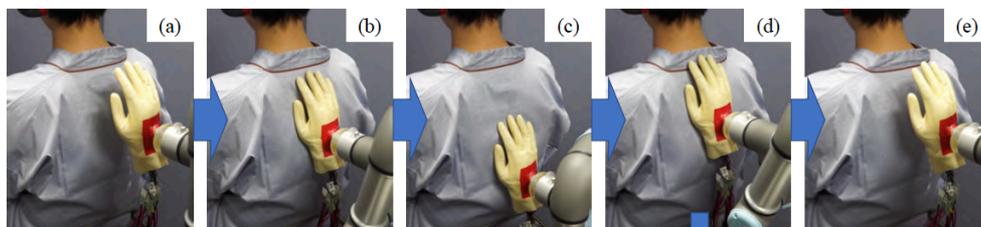
### (2) ロボットハンドの開発

人の手と同じ形状と構造を持つロボットハンドを設計し試作した。人の手の骨機構は骨の三次元形状データを用いて、3Dプリンターにより制作した。人の手の関節の弾性要素を表現するため、関節の部分はトーションバネで連結し、受動機構により撫でる動作中の接触力を表現することを可能にした。骨の外部は人肌ゲルを用いて、人の手の形状と同じ形で造形した。柔軟な部分を作成することで、手の柔らかさを再現した。試作したロボットハンドの中に電熱線と温度センサも埋め込んだ。人の手の温度を計測し、その温度を再現することで、手の暖かさも再現した。ハンドの表面近いところにも温度センサを取り付け、接触相手の温度の計測も可能にした。



### (3) 撫でる動作の生成

開発したロボットハンドを小型ロボットアームの先端に取り付けた。一定圧力で撫で動作を実現するために、インピーダンス制御を用いた。接触力は事前に人が人を撫でる際に発生する接触力を参考した。接触速度も制御できるようにした。上肢の動作（姿勢と発揮力）をより効率的に測るため、皮膚表面変形の計測に基づいた計測手法も提案し、検証を行っている。



実験では開発した撫でる動作システムと人の撫でる動作を比較し、撫でる速度の影響も検証した。12人の成人男性を対象として実験を行った。ロボットから発生する圧力と速度をフォースプレートやモーションキャプチャーなどで計測した結果、設定した通りに発生することができ、人間の動作を物理的に模倣することができることを確認した。更に、主観的評価手法（アフェクトグリッドと自由記述式アンケートなど）、生理学的評価手法（皺眉筋（Cor）および大頬骨筋（Zyg）の顔面筋電位、皮膚コンダクタンスレベル（SCL）の測定）を用いて多角的に評価し、作成した撫でる動作システムの有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kenta Toyoshima, Ming Ding, Jun Takamatsu and Tsukasa Ogasawara
2. 発表標題 What is Required for a Robot to Gently Stroke a Human using its Hand
3. 学会等名 ICRA2018 Workshop on Elderly Care Robotics Technology and Ethics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村 勇希, 清川 拓哉, 丁 明, 高松 淳, 小笠原 司
2. 発表標題 タッチケアロボットのための温度制御可能な受動機構を有する柔軟指の開発
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高松淳, 豊島健太, 佐野哲也, 湯口彰重, G. R. Gustavo Alfonso, 丁明, 小笠原司
2. 発表標題 ロボットによる見る・触れる動作の模倣とそれを通じた評価
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石倉智貴, 湯口彰重, 北村勇希, 趙崇貴, 丁明, 高松淳, 佐藤弥, 吉川左紀子, 小笠原司
2. 発表標題 人の手を模したハンドを用いた優しい撫で動作の主観的, 生理学的評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉角 哲也, 趙 崇貴, 丁 明, Gustavo Alfonso Garcia Ricardez, 高松 淳, 小笠原 司
2. 発表標題 上肢動作推定のための上腕形状計測可能な距離センサアレイの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Kurasumi, Sung-Gwi Cho, Ming Ding, Gustavo Alfonso Garcia Ricardez, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara
2. 発表標題 Simultaneous Estimation of Elbow Joint Angle and Load Based on Upper Arm Deformation
3. 学会等名 the 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sung-Gwi Cho, Tetsuya Kurasumi, Masahiro Yoshikawa, Ming Ding, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara
2. 発表標題 Estimation of Forearm Pose Based on Upper Arm Deformation Using a Deep Neural Network
3. 学会等名 the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBI02019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考