

平成 22 年 4 月 9 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760171
 研究課題名（和文） ヒト指の感覚受容器を模倣したセンサ素子を持つ
 柔軟ロボット指先の開発と触感覚の実現
 研究課題名（英文） Development of a Soft Fingertip with Tactile Elements
 Mimicking Human's Receptors
 研究代表者
 村上 剛司（MURAKAMI KOUJI）
 九州大学・大学院システム情報科学研究院・助教
 研究者番号：80380682

研究成果の概要（和文）：

人間の指先の触感覚は皮膚の中の機械受容器が皮膚の変形を検知することで実現されている。人間の指先触感覚の実現を目指して、人間の皮膚を模倣した柔軟被覆と爪を持ち、機械受容器の特性を模倣したセンサ素子を埋め込んだロボット指先を開発した。実験を通して、開発したロボット指先のセンサ素子は機械受容器の機能を模倣でき、その触感覚機能として Stick-Slip 振動を用いた滑り検出機能を実現できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

Sensing ability of a human fingertip depends on receptors which are in a skin of the fingertip. We developed a robotic fingertip with a soft cover and a hard nail. In addition, tactile elements mimicking human receptors are embedded in the robotic fingertip. In the experiments, the tactile elements of the robotic fingertip show similar characteristics to the receptors of the human fingertip. Slip detection by using the tactile elements is successfully demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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

キーワード：知能ロボティクス、触覚センシング

1. 研究開始当初の背景

多関節多指ロボットハンドによる器用な作業の実現には指先の触感覚機能が欠かせない。しかし、指先の操作能力を失わずにこの触感覚機能を実現するには課題が多く、未だ決定

的なセンサはない。一方、人間は指先での物体との接触を通して、物体の表面特性（硬度や摩擦係数など）や、接触状態（滑り、ひっかき、擦りなど）など多様な情報を得ること

ができ、これらの繊細な触感覚がヒト指の器用さを支えている。解剖学的なアプローチからヒトの触感覚に関係すると思われる4つの感覚受容器（メルケル細胞、ルフィニ終末、マイスナー小体、パチニ小体）とその応答特性が報告されている。これらの感覚受容器はそれぞれ特定の帯域の周波数の刺激に対して応答し、大きく分けて、皮膚の変形刺激に対して変形の加速度要素に応答するものと、変形の変位要素に反応するものの2種類があることがわかっている。しかし、ヒト指の多種類の感覚受容器がどのように組み合わせられて、物体の表面特性（硬度や摩擦係数など）や接触状態（滑り、ひっかき、擦りなど）の認識などの触感覚が実現されているのかは、未だ明らかにされていない。

報告者はこれまでに硬い骨格と爪および、柔らかい被覆で構成された柔軟ロボット指先を開発し、その触覚センシングに関する研究を行ってきた。これまでの研究とヒト指の感覚受容器の特性に関する知見から、爪裏や骨格部にセンサ素子を配置し、爪裏や骨格部での時間的な応力変化として柔軟被覆の振動とその周波数を計測することで、ロボット指先に触感覚機能（物体の表面特性や接触状態の認識）を実現する本研究の着想を得た。

2. 研究の目的

本研究では、ヒトの指先が発揮する器用さをロボット指先で実現することを目指し、ヒト指の構造と、触覚受容器の機能を模擬したセンサ素子を持つロボット指先型触覚センサを開発すると共に、その機能調査を行う。

3. 研究の方法

ヒト指が持つ感覚受容器の特性を模擬したセンサ素子を柔軟被覆を持つロボット指先に埋め込み、時間的な応力変化として柔軟

被覆の振動を計測することで、この柔軟ロボット指先に触感覚機能を実現する。

指先に加わる応力に起因する柔軟被覆の過度の変形によるセンサ素子の破壊を防ぐため、センサ素子を柔軟指の骨格および爪裏に装着する。その上で、柔軟被覆と骨格及び爪が取り外しが可能な構造を取ることで、センサ素子の交換を省力化できる。また、ヒト指の感覚受容器に対応するセンサ素子としてPVDFフィルムと歪みゲージを用いる。PVDFフィルムでは応力変化の加速度成分を、歪みゲージは応力変化の変位成分を計測できる。この2種類のセンサ素子で、ヒト指の感覚受容器が持つ2種類の応答特性を模擬する。商品化され入手容易な歪みゲージやPVDFフィルムなどのセンサ素子を柔軟ロボット指先に組み合わせることで、触覚センサと一体化した形で物体操作部としての機能を持つ柔軟ロボット指先を実現できる点に特徴がある。

実験を通して、センサ素子が触覚受容器の機能を模擬できるかを確認すると共に、開発した爪と柔軟被覆を持つロボット指先で実現可能な触覚機能を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 爪と柔軟被覆を持つ指先の開発

開発した爪と柔軟被覆を持つロボット指先の外観を図1に、指先の内部構造を図2と3に示す。指先は、半球部分と根元の円柱部分を組み合わせたものであり、半球部分と円柱部分の半径は等しい。柔軟被覆は半球部分の半径と円柱部分の半径がそれぞれ11mmのアルミニウム製内殻の周りを均一な厚さで被覆してある。内殻には6軸力覚センサ(ピーエルオートテック(株) ピーエル・NANO センサ)が固定されており、指先に加わる3軸方向の力と3軸方向回りのモーメントを計測できる。

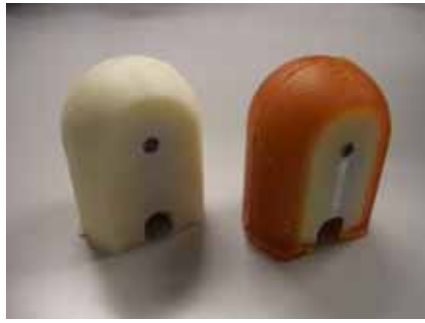


図 1 . 開発したロボット指先の外観

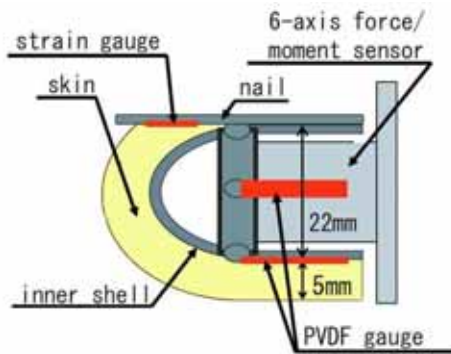


図 2 . 開発したロボット指先の内部構造

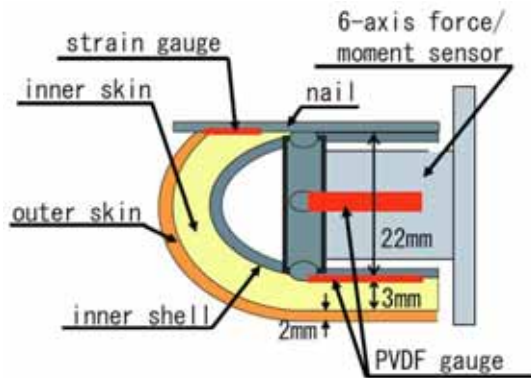


図 3 . 開発したロボット指先の内部構造

開発したロボット指先では、硬度が異なる 2 種類の爪と 3 種類の柔軟被覆を付け替えて使用できる。爪の材質は、アルミニウム製と塩化ビニール製の 2 種類であり、厚さはどちらも 1mm である。柔軟被覆は、硬度[ASKER C] 15 のポリウレタンのみを用いた厚さ 5mm の単層構造、硬度[JIS A] 30 のウレタンゴムのみを用いた厚さ 5mm の単層構造、硬度[ASKERC] 15 のポリウレタンを内部層に 3mm、

硬度[JIS A] 30 のウレタンゴムを外部層に 2mm の厚さ 5mm の二層構造をそれぞれ持つ 3 種類を簡単に交換できる。

触感覚機能を実現するための小型のセンサ素子としては、歪みゲージと PVDF フィルムの 2 種類のセンサ素子を用いる。歪みゲージは爪裏に 1 つ装着し、PVDF フィルムは指腹部に近い骨格部と指腹部側面の骨格部に計 3 つ装着した。センサ素子を柔軟指の爪や骨格に装着することで指先に加わる応力に起因する柔軟被覆の過度の変形によるセンサ素子の破壊を防止できる。柔軟被覆と爪および骨格が取り外し可能な構造を取っているため、磨耗や損傷により柔軟被覆を交換する際に、センサ素子を交換する必要がない。また、柔軟被覆の内部に埋め込むのではなく、爪や骨格部にセンサ素子を配置しているため、センサ素子が壊れた場合にも、交換が簡単で同じ位置にセンサ素子を再配置できる。

(2) 爪を持つ柔軟指先センサの基本機能

指先表面の変形刺激を指先内の各部位に埋め込んだセンサ素子で計測できること、および、PVDF フィルムと歪みゲージの特性が触覚受容器に対応することを確認するための実験を行った。その際、爪や柔軟被覆の硬度の違いが計測結果に与える影響も調査した。

実験では 2 種類の爪と、3 種類の柔軟被覆を組み合わせた計 6 通りの指先を使用する。6 軸力覚センサは骨格部内部に固定し、歪みゲージは爪裏に、PVDF フィルムは指腹部に近い骨格部と指腹部側面の骨格部にそれぞれ装着してある。実験環境を図 4 示す。柔軟指先を台座に固定し、直動アームにプローブを固定している。プローブを指先に押し込み、PVDF フィルムと歪みゲージの出力を調査する。その際、指先へ押し込むプローブの位置と姿勢、および押し込み力を変化させた。計測した指

先表面上の接触点位置は異なる5点で、各点毎に、姿勢の変化は接触点位置の接平面接平面の法線に対して-30deg、0deg、+30degの3通り、押し込み力は100gfと200gfの2通りの条件で、プローブを押し込んだ。

実験では、PVDF フィルムを3箇所装着して計測したが、どの場所に装着しても被覆の変形が伝達されることが確認できた。PVDFフィルムは柔軟被覆が柔らかいほど出力が大きく、歪みゲージは爪が柔らかく、柔軟被覆が硬いほど出力が大きくなることを確認した。また、爪裏に装着した歪みゲージの出力より、被覆の変形が爪方向か指腹方向かどうかを判定できた。この実験を通して、開発した指先では、柔軟被覆の硬度は内殻に配置したPVDFの出力に、爪の硬度は爪裏に配置した歪みゲージの出力にそれぞれ影響を与えることを確認した。

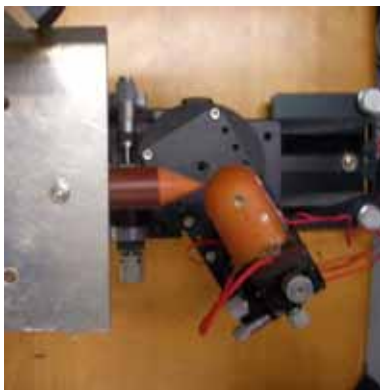


図4 . 実験環境

(3) Stick-Slip 振動を用いた滑り検出

物体が滑る際には、Stick 状態と Slip 状態を周期的に繰り返しながら移動する。この移動で生じる振動は、Stick-Slip 振動と呼ばれる。従って、Stick-Slip 振動を計測できれば、滑り検出機能をロボット指先で実現できる。そこで、滑りの際に生じる Stick-Slip 振動を、センサ素子で計測できるかを実験で確認した。使用する柔軟被覆は、半径 15mm の

半球であり、内側に半径 13mm の硬度[ASKER C] 5 の柔軟被覆、外側に厚さ 2mm の硬度[JIS A] 30 を柔軟被覆を用いている。変形しやすいように内部に柔らかい柔軟被覆を使用し、復元力を上げるために外側に硬い柔軟被覆を使用した二層構造となっている。

実験では、押し付け荷重 200gf、速度 10mm/s で擦り操作を行った。対象物体にはアルミニウムを用いた。PVDF フィルムの出力結果を図5と図6に示す。図5ではStick-Slip 振動が発生し PVDF フィルムの出力が周期的に変化していることがわかる。このときの周波数は約 20Hz であった。一方、図6ではStick-Slip 振動が見られない。これは、一度 Stick 状態から Slip 状態へ遷移した後に、Stick 状態へ戻らず Stick-Slip 振動が発生しなかったためと考えられる。常に Stick-Slip 振動を生じさせるためには、擦り動作のパラメータ調整が必要となることがわかる。以上により、開発したロボット指先が滑り検出センサとして利用できる可能性を持つことを確認した。

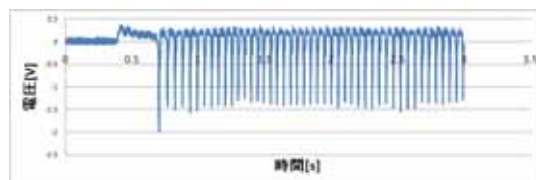


図5 . Stick-Slip 振動が発生した場合の PVDF フィルムの出力結果

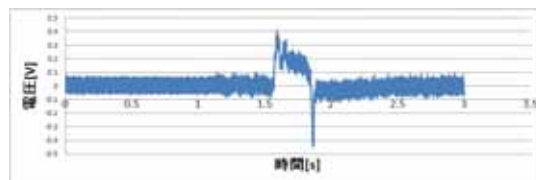


図6 .Stick-Slip 振動が発生しなかった場合の PVDF フィルムの出力結果

(4) まとめ

ヒト指の機械受容器を模倣したセンサ素子を有する柔軟ロボット指先を開発した。開発した指先では、指先表面の変形を指先内の各部位に埋め込んだセンサ素子で計測できることを確認した。また、触覚機能として、Stick-Slip振動を用いた滑り検出機能を実現できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Kouji Murakami, Kazuya Matsuo, Tsutomu Hasegawa, and Ryo Kurazume, A Decision Method for Placement of Tactile Elements on a Sensor Glove for the Recognition of Grasp Types, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 査読有, vol.15, no.1, pp.157-162, Feb. 2010

〔学会発表〕(計6件)

Kazuya Matsuo, Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, Kenji Tahara, and Ryo Kurazume, Segmentation method of human manipulation task based on measurement of force imposed by a human hand on a grasped object, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp.1767-1772, ST. Louis, USA, Oct. 2009

Kazuya Matsuo, Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, and Ryo Kurazume, A Decision Method for the Placement of Mechanical Tactile Elements for Grasp Type Recognition, Proc. of IEEE International Conference on Sensors,

査読有, pp.1472-1475, Lecce, Italy, Oct. 2008

Kazuya Matsuo, Kouji Murakami, Tsutomu Hasegawa, and Ryo Kurazume, A Decision Method of Placement of Tactile Sensors for Recognizing Manipulation Tasks, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 査読有, pp.1641-1646, California USA, May 2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 剛司 (MURAKAMI KOUJI)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号：80380682