

柔軟性と伸縮性のある静電気式触覚センサの原理と特性

多田 泰徳^{*1} 井上 雅博^{*1} 河崎 俊実^{*2}
川人 康^{*2} 石黒 浩^{*3} 菅沼 克昭^{*1}

A Principle and Characteristics of a Flexible and Stretchable Tactile Sensor Based on Static Electricity Phenomenon

Yasunori Tada^{*1}, Masahiro Inoue^{*1}, Toshimi Kawasaki^{*2},
Yasushi Kawahito^{*2}, Hiroshi Ishiguro^{*3} and Katsuaki Suganuma^{*1}

Tactile sensors are required for various robots. In humanoid robots, softness is an important feature for physical damage prevention and for interacting with the human. Moreover, if the sensor is made of stretchable material, the sensor is unbreakable and can be put on curved surfaces and joints easily. This paper proposes a novel tactile sensor which is flexible and stretchable because it is made of soft material. The sensor utilizes static electricity and electrostatic induction phenomenon, and can detect some touch conditions. Detail of principle and basic characteristics of the proposed sensor are reported in the paper. Experiments show that the sensor output depends on touch area, touch velocity, and material of touch objects. However, the sensor does not depend on touch weight. Moreover, an experiment shows that even if the proposed sensor is stretched, it performs as the tactile sensor.

Key Words: Tactile Sensor, Robot Skin, Flexible Sensor, Static Electricity, Electrostatic Induction

1. はじめに

触覚センサはロボットハンドやヒューマノイドロボットなど様々なロボットで必要とされている。ヒューマノイドロボットにおいては人間とのコミュニケーションに触覚センサが使われることがある。例えば、Robovieのようなヒューマノイドロボットに対して、多くの人間はロボットの頭を撫でたり、抱きついたり、握手したりしようとする[1]。このような接触を検出するために、ヒューマノイドロボットの全身を覆うように触覚センサが搭載されることがある。

ヒューマノイドロボットに搭載された全身触覚センサはいくつか発表されており、Tajimaら[2]は導電性布や導電性ゲルを用いた分布型触覚センサを提案している。Ohmuraら[3]や小田島ら[4]はフレキシブル基板上にセンサ素子を載せた分布型触覚センサを提案している。また先に記したRobovieではシリコンゴムの中にピエゾフィルムを埋めたロボット皮膚を使用

している[5]。これらの触覚センサで見られるように、ヒューマノイドロボットの触覚センサは柔軟性を持つことが多い。触覚センサが柔軟であれば人間がヒューマノイドロボットに触ったときの違和感が減少し、また衝突時の安全性が向上するためと考えられる。

さらに触覚センサに伸縮性があれば、ヒューマノイドロボットのように曲面や関節部が多いロボットへの搭載が楽になる。しかし、上記の触覚センサを含め、従来の多くの触覚センサ[6]~[10]に柔軟性はあるが伸縮性がない。HoshiとShinoda[11]は導電性布とウレタンフォームで作られたロボット皮膚を提案しており、これは柔軟性と伸縮性を持っている。しかし、ロボット皮膚を伸長させたときのセンサ出力について議論していない。

本論文ではヒューマノイドロボットで使用することを目指して、柔軟性と伸縮性を持ち、接触と剥離を検出できる触覚センサを提案する。提案する触覚センサは接触状態の検出に静電気と静電誘導を利用している。そのため、触覚センサは帯電体と導電性材料のみから構成され、非常に単純な構造である。本研究では柔軟性と伸縮性を期待して、軟らかい絶縁性および導電性のシリコンゴムで触覚センサを作製する。そして作製した触覚センサの特性について報告する。なお、静電気や静電誘導は古くから知られた現象であるが、筆者らの知る限り、これらの現象を接触、剥離を検出できる触覚センサとして利用した例はない。ただし、物体の材質を識別するセンサに静電気を利用した例はある[12]。

原稿受付 2007年9月7日

^{*1}大阪大学産業科学研究所

^{*2}株式会社十川ゴム

^{*3}大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻

^{*1}The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

^{*2}Togawa Rubber Co., LTD.

^{*3}Department of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University

■ 本論文は提案性で評価されました。

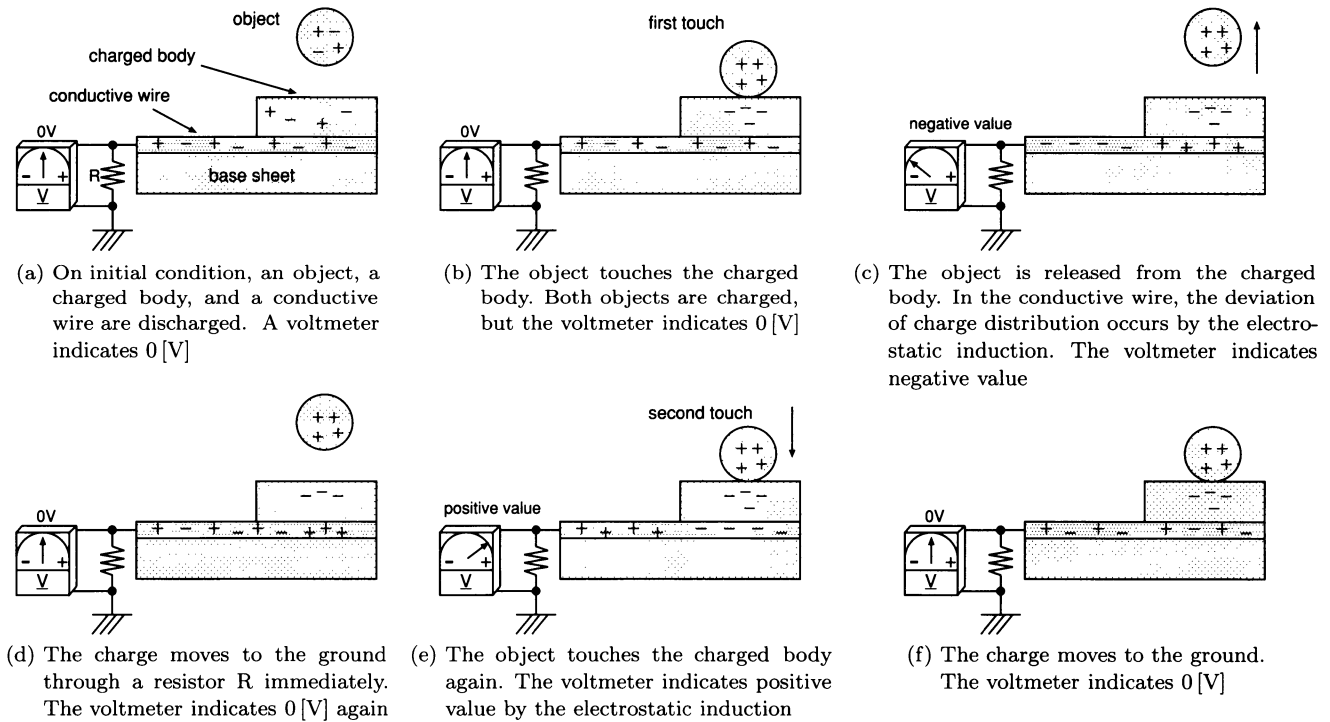


Fig. 1 The principle of the proposed sensor

本稿ではまず、提案する触覚センサの原理について明らかにする。そして原理に基づいて作製した触覚センサがどのような特性を持っているかを示す。実験では加重、触覚センサ素子面積、接触速度、接触物体の材質を変えたときに触覚センサの応答がどのように変化するかを示す。さらに、触覚センサを伸長させたときのセンサ出力を示す。

2. 触覚センサの原理

提案する触覚センサの原理について Fig. 1 を用いて説明する。Fig. 1 (a) に示すように触覚センサは基板 (base sheet) の上に導電性のワイヤ (conductive wire) があり、さらにその上に絶縁性の帯電体 (charged body) がある。導電性のワイヤは抵抗 (R) を介してグランドに接続されている。そして電圧計 (V) はワイヤとグランド間の電圧を計測するように接続されている。このような構造は、既存の静電容量検出型や静電誘導検出型の触覚センサに似ている。しかし、それらの触覚センサが静電容量の変化や、ハムノイズによる静電誘導を利用しているのに対し、提案する触覚センサは物体 (object) が接触したときに発生する静電気を静電誘導で検出している点で異なる。

それぞれの段階について説明する。Fig. 1 (a) は初期状態であり、この状態において触覚センサおよび物体は帯電していないものとする。そして Fig. 1 (b) のように帯電していない物体が帯電体に接触するとこれらの中で静電気が発生する。この1回目の接触では両者に発生した正負の電荷が等しいため電気的に中性であり、ワイヤに静電誘導は起こらない。そのため電圧計は 0 [V] を示したままである。なお、ここでは物体が正に、帯電体が負に帯電したものとする。次に Fig. 1 (c) のように物体を帯電体から離すと、帯電体にとどまった負の電荷の影響でワ

イヤに静電誘導が起こる。すなわち、帯電体の下部に正の電荷が集まり、抵抗が接続されている側には負の電荷が集まる。そして電圧計は負の電圧を示す。しかし、ワイヤは抵抗を介してグランドに接続されているため、Fig. 1 (d) のように電荷の空間的な偏りは放電によってすぐに解消されて電圧計は 0 [V] を示す。さらに Fig. 1 (e) に示すように正に帯電した物体が接近すると、今度は Fig. 1 (b) とは異なり、ワイヤに静電誘導が起こって抵抗側に正の電荷が集まる。そのため電圧計は正の電圧を示す。なお、帯電体が負に帯電しているのにその真下に負の電荷が集まるのは、接触した物体の帯電量が帯電体の帯電量を上回っているためと考えられる。そしてワイヤ内部の電荷の空間的な偏りは放電によってすぐに解消され、Fig. 1 (f) のように電圧計は 0 [V] を示す。以上の原理によって提案する触覚センサは物体の接触および剥離を検出することができる。

ところで二つの物体が接触したときにどちらが正でどちらが負に帯電するかは、それぞれの材質の仕事関数によって相対的に決まる [13]。すなわち、仕事関数が低いほうの物体は電子を奪われやすく正に帯電する。したがって、提案する触覚センサにおいて帯電体の材質によっては、ある物体が接触したときには正の値が出力され、ほかの物体が接触したときには負の値が出力されるという可能性がある。接触および剥離を識別するためには、接触する物体によって符号が逆転することがないように、帯電体には仕事関数の非常に小さい、あるいは逆に大きい材質を選ぶ必要がある。

3. 実験

3.1 実験装置

前章の原理に基づき、Fig. 2 に示す構造の触覚センサを作製

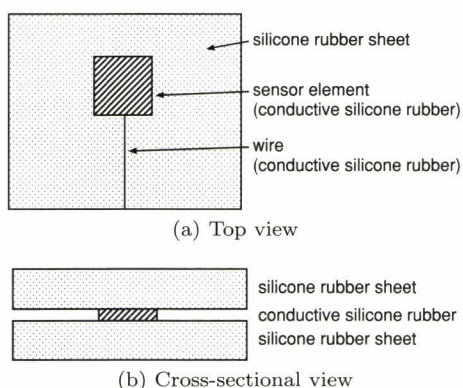


Fig. 2 The structure of the proposed sensor

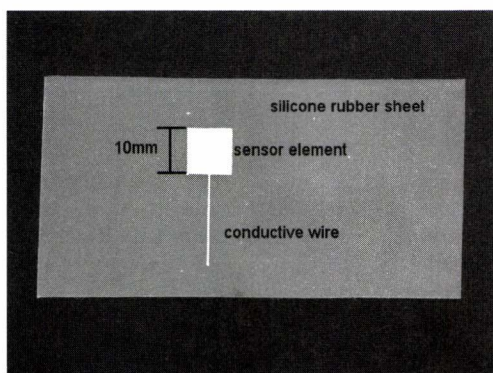


Fig. 3 A photograph of the developed tactile sensor

した。Fig. 2(a)のように触覚センサ素子は絶縁性のシリコンゴムシート上に導電性シリコンゴムで正方形に作られており、さらに触覚センサ素子を外部へ接続するための配線がある。ここでは触覚センサ素子を正方形としたが、形状はどのようなものでもよい。そして触覚センサ素子はFig. 2(b)のように絶縁性のシリコンゴムではさまれている。なお、原理から明らかなように触覚センサ素子には任意の導電性材料を使うことができ、例えばアルミホイルを絶縁性のシリコンゴムにはさんでもよい。本研究では触覚センサに伸縮性を持たせるため、180%伸長させても導通が確保できる導電性シリコンゴム（藤倉化成製XA-819A）[14]を用いた。実際に作製した触覚センサをFig. 3に示す。シリコンゴムシートの厚みは1[mm]ずつあり、2枚のシリコンゴムシートの上に10[mm]角の触覚センサ素子が作られている。そして触覚センサの出力をFig. 4の増幅回路で増幅し、データロガー（キーエンス製NR-500）によってサンプリングレート1[kHz]でPCに取り込む。ここで増幅率は2倍とし、オペアンプにLF411を用い、抵抗 R_s と R_f はともに10[k Ω]とした。また、入力インピーダンスを決める抵抗 R_i は1[M Ω]とした。なお、回路図中のグラウンド記号は増幅回路電源の0[V]端子に接続することを意味しており、必ずしも接地する必要はない。

3.2 触覚センサの特性

まず、人間の指で触覚センサに触れたときの出力をFig. 5に示す。この図から分かるように、触覚センサに触れると正の値が出力され、その後すぐに0[V]に戻る。また指を離すと負の値

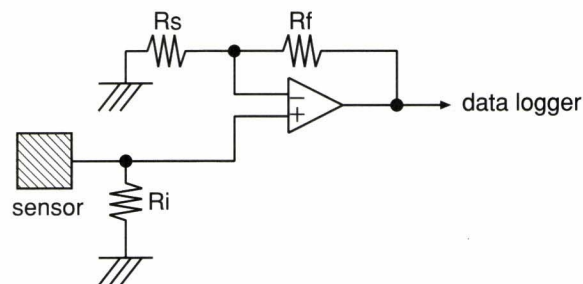


Fig. 4 A diagram of amplifier circuit

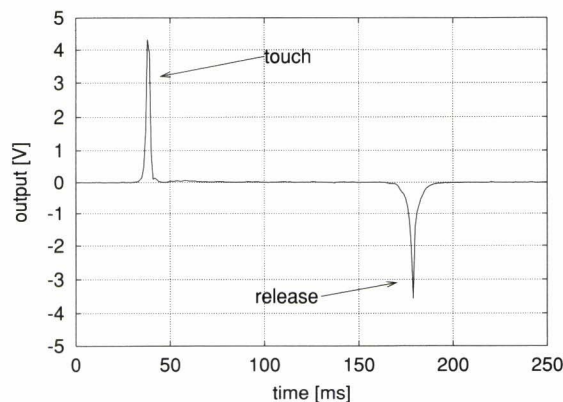


Fig. 5 The sensor output when the human touches the sensor

が出力されその後すぐに0[V]に戻る。このような出力の特徴は指で触れた場合だけでなく、ほかの様々な物体で触れても同様であった。なお、原理の説明において指摘したように、帯電体の材質によってはこの結果とは逆に接触時に負の値が出力されることもある。しかし、本研究で用いたシリコンゴムはほかの材質に比べて非常に負に帯電しやすく、多くの場合、本触覚センサは原理で示した例と同様に接触時に正の値を出力する。

作製した触覚センサの特性を調べるために、(1)加重への応答、(2)触覚センサ素子の面積の違いによる出力の変化、(3)物体の接触速度の違いによる出力の変化、(4)接触させる物体の材質の違いによる出力の変化について調べた。なお、(1)～(3)の実験では直径20[mm]、高さ40[mm]の亚克力樹脂の円柱の底面に、同径で厚さ1[mm]の天然ゴムシートを貼り付けたものを触覚センサに接触させる物体Nとして用いている。

まず、(1)加重への応答を調べた。素子面積が100[mm²]の触覚センサの上にあらかじめ物体Nを置き、それにかかる加重を圧縮試験機で変化させたときの触覚センサ出力を計測した。最大で約12[N]の加重をかけたときの、加重と触覚センサ出力の変化をFig. 6に示す。図の上のグラフは加重の変化を示し、下のグラフが触覚センサ出力を示している。この図から提案する触覚センサは加重や加重の変化に反応しないことが分かる。このような結果になるのは、加重が変化するだけでは物体と触覚センサが剥離することがなく、静電気が発生しないためである。なお、加重のグラフが振動しているのは実験に用いた圧縮試験機の発するノイズによるもので、実際の加重が振動しているのではない。

次に、(2)触覚センサ素子の面積を変えた場合の応答を調べ

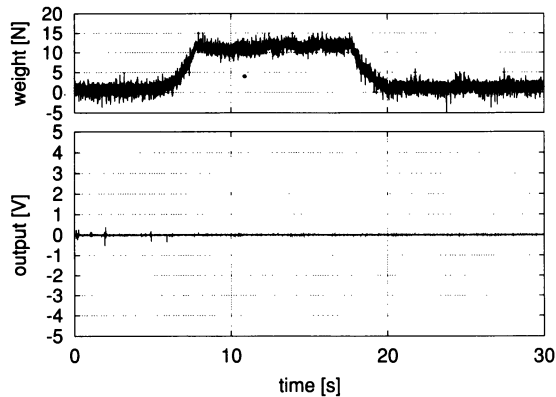


Fig. 6 The sensor output when the weight is changed

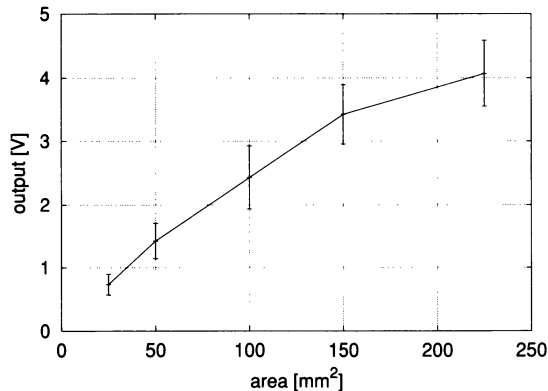


Fig. 7 The relationship between the sensor output and the area of the sensor element

た、この実験では触覚センサ素子の面積を 25, 50, 100, 150, 225 [mm²] とし、物体 N を 30 [mm] の高さから落したときの出力を計測した。実験は各面積につき 50 回行い、物体 N が接触したときの触覚センサ出力のピーク値の平均と標準偏差を求めた。その結果、Fig. 7 に示すように面積が広い程出力も大きくなる傾向が認められた。このようになるのは次の理由によると思われる。まず、電流と電荷には次式の関係があり、1 秒間に流れた電荷量から電流が求まる。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

ここで、 I は電流 [A]、 Q は電荷 [C]、 t は時間 [s] を示す。本触覚センサにおいて静電誘導で発生する電荷は非常に少ないため、発生した電荷はすべて単位時間内にグラウンドに流れると考えられる。したがって、接触面積が広く静電誘導で発生した電荷量が多いほうが電流が高くなる。さらにオームの法則より、電流と電圧には比例関係がある。よって接触面積が広いほうがセンサ出力が大きくなると考えられる。

次に、(3) 物体が触覚センサに接触する速度を変えた場合の応答を調べた。この実験では触覚センサ素子の面積を 100 [mm²] とし、物体 N を落す高さを 10, 30, 50, 70, 90 [mm] と変えることで接触速度を変えた。この実験においても、各高さについて 50 回実験を行い、接触時の触覚センサ出力のピーク値の平均と標準偏差を求めた。Fig. 8 に結果を示す。図から分かる

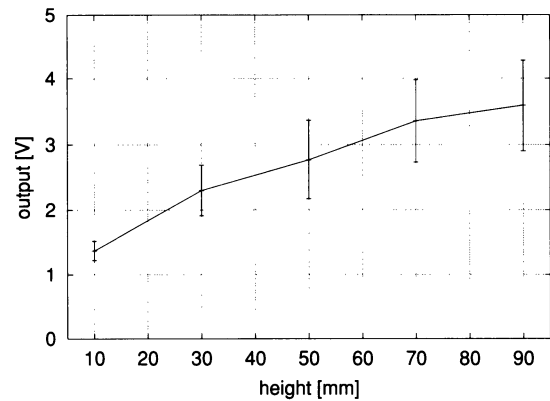


Fig. 8 The relationship between the sensor output and the height of fall

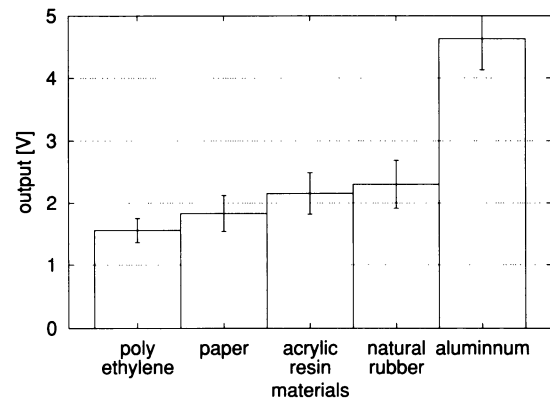


Fig. 9 The sensor output in each material

ように高い位置から落したほうが出力が大きい。つまり接触速度が速いほうが出力が大きくなると言える。これは次の理由によると思われる。静電誘導は帯電した物体が触覚センサに近づくことで起こるが、その速度が遅いと静電誘導で発生した電荷は測定される前に抵抗 R_i を通してグラウンドに流れてしまうため、触覚センサ出力は小さくなる。反対に速度が速い場合には電荷がグラウンドに流れる前に測定されるため触覚センサ出力が大きくなると考えられる。

最後に、(4) 接触させる物体の材質による応答の変化を調べた。この実験では触覚センサ素子の面積を 100 [mm²] とし、物体を落す高さを 30 [mm] とする。接触させる物体は直径 20 [mm]、高さ 30 [mm] のアルミ円柱、直径 20 [mm]、高さ 40 [mm] のアクリル樹脂円柱、このアクリル樹脂円柱の底面に円柱と同径のポリエチレンシート、コピー用紙、天然ゴムシートをそれぞれ貼り付けたものを使用する。そして各材質について 50 回実験を行い、接触時のピーク値の平均と標準偏差を求めた結果、Fig. 9 のようになった。この図から、提案する触覚センサは接触させる物体の材質によって出力が変化することが分かる。このように変化するのは、静電気の発生が物体の材質によって異なることが原因である。

3.3 伸長したときのセンサ出力

本研究で用いた導電性シリコンゴムは柔軟性、伸縮性に富み、約 3 倍の長さに伸長しても導通を確保できる。したがって、

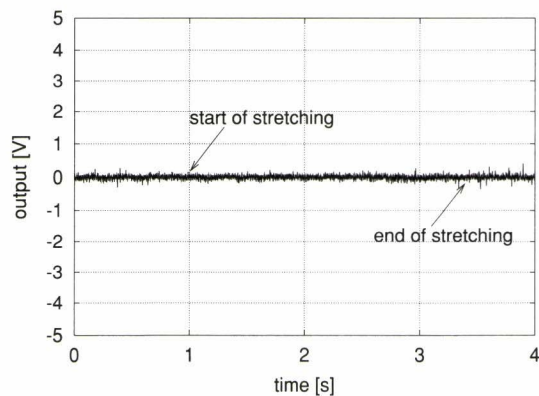
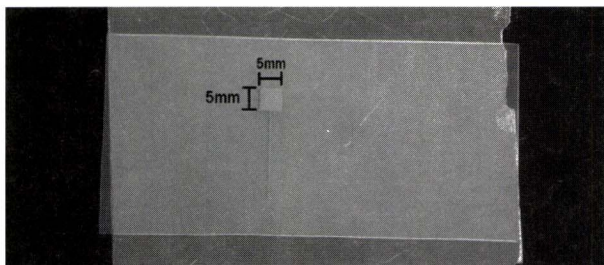
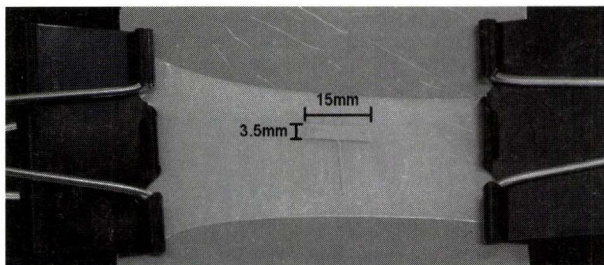


Fig. 10 The sensor output when the sensor is stretching



(a) A 5×5 [mm] sensor element



(b) The same sensor element is stretched to triple length

Fig. 11 Two photographs show the same tactile sensor element. The element shown in an upper photograph is unstretched. A lower photograph shows the same element which is stretched triple length to the lateral direction

触覚センサ素子が外力によって伸長されたとしても、触覚センサとして機能すると期待される。そこで触覚センサを伸長させた場合のセンサ出力を調べた。ここでは二つの実験を行う。まず、物体は接触させずに触覚センサを伸長させる途中のセンサ出力を調べ、次に、伸長した触覚センサに物体を接触させたときのセンサ出力を調べる。

一つ目の実験として、触覚センサを一方向に伸長させる途中のセンサ出力を調べた。触覚センサ素子の寸法は 10×10 [mm] である。触覚センサを伸長させるには引張試験機を用い、伸長速度 1,000 [mm/min] で 40 [mm] 伸長するように設定した。ただし、触覚センサの固定具の遊びやシリコーンゴムの変形特性のため、触覚センサ素子の実際の伸びは 10 [mm] であった。実験結果を Fig. 10 に示す。図の 1 [s] から 3.4 [s] までの間、引張試験機が駆動しているが触覚センサ出力は変化していない。これは触覚センサを伸長しただけでは静電気が発生しないからで

Table 1 The sizes and areas of the sensor elements

	unstretched	100% stretched	200% stretched
element A	5 × 5 [mm] 25 [mm ²]	10 × 4 [mm] 40 [mm ²]	15 × 3.5 [mm] 52.5 [mm ²]
	unstretched	25% stretched	50% stretched
element B	10 × 10 [mm] 100 [mm ²]	12.5 × 9.25 [mm] 118.75 [mm ²]	15 × 8 [mm] 120 [mm ²]

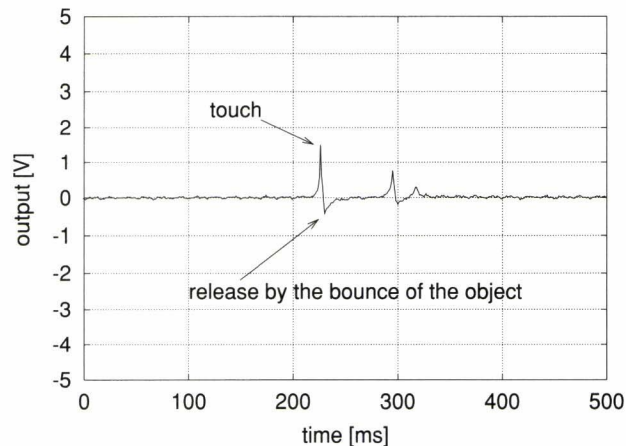


Fig. 12 The figure shows an example of the sensor output that the sensor element A is stretched to triple length. Even if the sensor is stretched, the sensor detects touch and release of the object

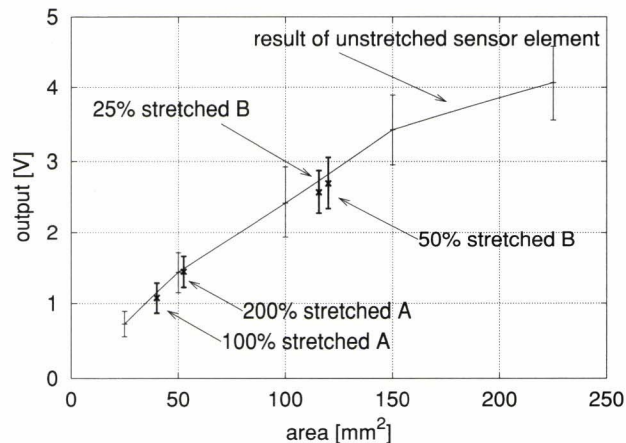


Fig. 13 The results in the section 3.3 are superimposed on Fig. 7. The sensor output depends on the area of the sensor element even if the sensor is stretched

ある。なお、ほかの実験に比べ触覚センサ出力が振動しているのは引張試験機の発するノイズによるものである。

二つ目の実験として、一方向に伸長させた触覚センサに物体を接触させたときのセンサ出力を計測した。実験で用いた触覚センサの一つを Fig. 11 に示す。図の上の写真は伸長前の触覚センサ素子であり、その寸法は 5×5 [mm] である。そして下の写真は同じ触覚センサ素子を横方向に 200%伸長させたもので、寸法は 15×3.5 [mm] になっている。実験に使用した触覚センサは寸法が 5×5 [mm] の触覚センサ素子 A と 10×10 [mm]

の触覚センサ素子 B である。触覚センサ素子 A は 100% および 200% 伸長させ、触覚センサ素子 B は 25% および 50% 伸長させて実験を行った。これらの触覚センサ素子の伸長前後の寸法と面積を Table 1 に示す。前節で用いた物体 N を 30 [mm] の高さから落したときのセンサ出力を計測した。Fig. 12 は 200% 伸長させた触覚センサ素子 A に物体 N を落したときのセンサ出力の例である。この図は触覚センサを伸長させても物体の接触と剥離を検出できることを示している。それぞれの伸長条件について物体を落とす実験を 50 回ずつ繰り返し、接触時のセンサ出力のピーク値の平均と標準偏差を調べた。その結果を Fig. 7 に重ね合わせた図が Fig. 13 である。この図より、触覚センサ出力の大きさは触覚センサ素子を伸長させた場合でも、その面積に相当する出力が得られることが分かる。

4. おわりに

本論文では静電気と静電誘導を利用し、接触と剥離を検出できる触覚センサを提案した。この触覚センサは帯電体と導電性のワイヤがあれば機能するため、構造が単純で簡単に作製できる。また動作原理から明らかのように、触覚センサには任意の材料を使うことができる。本研究では導電性および絶縁性のシリコンゴムをそれぞれ触覚センサ素子と帯電体として用いることで、触覚センサに柔軟性と伸縮性を持たせることができた。本触覚センサの特性として、加重や加重の変化には反応しない、接触面積が広いほうが出力が大きくなる、接触速度が速いほうが出力が大きくなる、接触する物体の材質によって出力が変化するということが分かった。さらに触覚センサを伸長させても接触と剥離を検出できることを示した。また、伸長した場合の触覚センサ出力の大きさは、伸長後の触覚センサ素子の面積に依存することが分かった。

本研究では触覚センサの基本的な特性のみ測定しており、様々な接触状態への応答を調査していない。今後は触覚センサ素子の形状による出力の違い、転がりや、こすりなどの様々な接触における出力について確認する必要がある。さらに実用性を確認するために、複数の触覚センサ素子を持つ触覚センサを作り、実際のヒューマノイドロボットへ適用した場合の特性を評価する必要がある。

提案した触覚センサで物体の接触を検出するには、物体が帯電している必要がある。そのため、衝突検出のように信頼性を要求される場面で用いることはできない。また、触覚センサ表面が汚れていたり、濡れていたりすると静電気の発生が阻害され、触覚センサとしての能力が低下してしまう問題がある。このような表面状態によるセンシング能力の低下を回避するために、触覚センサの上に隙間をあげ、新たに帯電体となるシートを設ける方法が考えられる。この帯電体となるシートと、触覚センサのシリコンゴムシートとの接触によって静電気を発生させれば表面状態を一定に保つことができ、センシング能力が低下しないと考えられる。

謝辞 本研究は、経済産業省近畿経済産業局地域新生コンソーシアム研究開発事業の援助を受けた。

参考文献

- [1] T. Tajika, T. Miyashita, H. Ishiguro and N. Hagita: "Automatic categorization of haptic interactions—what are typical haptic interactions between a human and a robot?," Proceedings of the 2006 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.490–496, 2006.
- [2] R. Tajima, S. Kagami, M. Inaba and H. Inoue: "Development of soft and distributed tactile sensors and the application to a humanoid robot," Advanced Robotics, vol.16, no.4, pp.381–397, 2002.
- [3] Y. Ohmura, Y. Kuniyoshi and A. Nagakubo: "Conformable and scalable tactile sensor skin for curved surfaces," In Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1348–1353, 2006.
- [4] 小田島, 大西, 田原, 向井, 平野, 羅, 細江: "抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム "RI-MAN" の開発と評価", 日本ロボット学会誌, vol.25, no.4, pp.554–565, 2007.
- [5] T. Miyashita, T. Tajika, H. Ishiguro, K. Kogure and N. Hagita: "Haptic communication between humans and robots," In Robotics Research, ser. Springer Tracts in Advanced Robotics, Thrun, Brooks, and Durrant-Whyte, Springer Eds., vol.28, pp.525–536, 2007.
- [6] O. Kerpa, K. Weiss and H. Wörn: "Development of a flexible tactile sensor system for a humanoid robot," Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robots and Systems, pp.1–6, 2003.
- [7] J. Engel, J. Chen and X. Wang: "Technology development of integrated multi-modal and flexible tactile skin for robotics applications," Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robots and Systems, pp.2359–2364, 2003.
- [8] J. H. Shan, T. Mei, L. Sun, D. Y. Kong, Z. Y. Zhang, L. Ni, M. Meng and J. R. Chu: "The design and fabrication of a flexible three-dimensional force sensor skin," Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robots and Systems, pp.1965–1970, 2005.
- [9] I. Mizuuchi, T. Yoshikai, Y. Sodeyama, Y. Nakanishi, A. Miyadera, T. Yamamoto, T. Niemelä, M. Hayashi, J. Urata, Y. Namiki, T. Nishino and M. Inaba: "Development of musculoskeletal humanoid Kotaro," Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.82–87, 2006.
- [10] S. Koterba and Y. Matsuoka: "A triaxial force discernment algorithm for flexible, high density, artificial skin," Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1359–1364, 2006.
- [11] T. Hoshi and H. Shinoda: "Robot skin based on touch-area-sensitive tactile element," Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3463–3468, 2006.
- [12] 信太, 木本, 一ノ瀬: 材質識別装置, 特開 2007-57276, 2007.
- [13] 上田: 静電気の事典. 朝倉書店, 1988.
- [14] M. Inoue, Y. Kawahito, Y. Tada, T. Hondo, T. Kawasaki, K. Suganuma and H. Ishiguro: "A super-flexible sensor system for humanoid robots and related applications," Proceedings of the International Conference on Electronics Packaging, pp.114–119, 2007.



多田泰徳 (Yasunori Tada)

2002年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程単位取得退学。同年、同大学大学院工学研究科産学官連携研究員。2004年同大学大学院工学研究科特任助手。2006年同大学産業科学研究科特任研究員。2007年名古屋工業大学プロジェクト助教となり現在に至る。博士(工学)。触覚センサの研究に従事。(日本ロボット学会正会員)



河崎俊実 (Toshimi Kawasaki)

2002年(株)十川ゴム入社。人とのインターフェースとなる超柔軟接触センサー(ソフトスキンセンサー)の開発に従事、現在に至る。



石黒 浩 (Hiroshi Ishiguro)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。工学博士。同年山梨大学工学部情報工学科助手。1992年大阪大学基礎工学部システム工学科助手。1994年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻助教授。1998年同大学大学院情報学研究所社会情報学専攻助教授。この間、1998年より1年間、カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2000年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教授。2001年より同大学教授。1999年より、ATR知能映像研究所客員研究員。現在、大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授およびATR知能ロボティクス研究所客員室長。知能ロボット、アンドロイドロボット、知覚情報基盤の研究に興味を持つ。(日本ロボット学会正会員)



井上雅博 (Masahiro Inoue)

1992年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1993年防衛大学校材料物性工学教室助手。1996年大阪大学産業科学研究科助手。2007~2008年Chalmers University of Technology(スウェーデン)客員研究員。博士(工学)。現在の専門分野:材料化学, ソフトマテリアル。エレクトロニクス実装学会, 応用物理学会, 日本金属学会, 日本セラミックス協会, MRS, TMSなどの正会員。



川人 康 (Yasushi Kawahito)

1977年徳島大学工業部応用化学科卒業。同年,(株)十川ゴム製造所入社(現:十川ゴム)徳島工場技術課にて製品開発, 生産技術に従事。



菅沼克昭 (Katsuaki Suganuma)

1982年東北大学金研において博士取得後、阪大産研助手に勤務、セラミックスと金属の接合に従事した。次に1986年防衛大助教授に移り、接合・複合と同時にJIEPを中心に鉛フリーはんだ実装研究を開始した。1996年阪大産研に教授として戻り、環境調和型実装技術への取り組みに本腰を入れ、鉛フリーはんだ界面微細組織、凝固欠陥発生機構解明と抑制策提案、更に導電性接着剤やナノ粒子ペースト技術開発、特に金属ナノ粒子インクを用いた常温実装技術開発などへ展開している。現在、経産省低温はんだ標準化プロジェクト委員長、NEDO高温鉛はんだ代替技術開発プロジェクト委員長、戦略的基盤技術高度化支援事業「電子実装の信頼性向上のためのウイスカ防止技術の開発」(JEITA)研究総括などを務める。国際的には、米国金属学会TMS年会でPhase Stabilityセッションや米国材料学会MRSのLead-Freeセッションのオーガナイザ、欧州ESTCのアドバイザーを務める。