

# 複数の触覚を持つ柔軟指の製作

## Development of a soft finger with multiple tactile sensors

山崎 雄介 (阪大) 正 多田 泰徳 (阪大)  
正 細田 耕 (阪大, 阪大 FRC) 正 浅田 稔 (阪大, 阪大 FRC)

Yusuke YAMASAKI, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka  
Yasunori TADA, Osaka University  
Koh HOSODA, HANDAI Frontier Research Center, Osaka University  
Minoru ASADA, HANDAI Frontier Research Center, Osaka University

In this paper, a soft finger equipped with strain gauges and PVDF films is developed. The finger is made from two different kinds of Silicon gum, one for “cuticle” and one for “cutis”. These different modalities are used to sense various touch/slip conditions. Experimental results demonstrates that the difference between the surfaces of paper and wood can be detected by these sensors.

**Key Words:** soft finger, multi-modal sensor, tactile sensor, texture, PVDF film

### 1 はじめに

さまざまなロボットをより身近に活動させるためには人間を傷付けないことが必要である。そのためにはロボット表面を人間の皮膚のように柔軟な素材で覆い、そこに触覚センサを配置することで接触状態を検知する必要がある。柔軟な素材に触覚センサを埋め込み、それによって各種の触覚を得ようという研究は、これまでさまざまなものが提案されている<sup>3, 4</sup>。しかし素材の中にセンサを埋め込むという性質上、正確にセンサを配置することは難しいと考えられる。センサの規則的な埋め込みを目的とせず、素材内にランダムに配置する研究も進められている<sup>1, 2</sup>が、これらの研究でも埋め込まれているセンサは単一で、素材も均一なものを用いている。

人間の指を観察すると、その内部構造は均一ではなく、表面に剛性の高い表皮、内部に剛性の低い真皮が存在し、それらの中にさまざまな種類のセンサが埋め込まれている。そして、それぞれのセンサの特性の違いや、それが埋め込まれた部分の素材の性質の違いによって、さまざまな接触、すべり状態が検出されていると考えられる。

そこで本研究では、人間の皮膚の真皮と表皮に相当する構造を異なる剛性をもつシリコンゴムで模擬し、その中に二種類の異なる特性を持つ歪ゲージとPVDF(polyvinylidene fluoride) フィルムをランダムに配置した柔軟指を製作する。そして製作した柔軟指で、木と紙の上をなぞる実験を行い、どのような情報が検出可能であるかの基礎的なデータを収集した。

### 2 柔軟指の製作

本研究で用いる柔軟指の製作手順を Fig.1 に示す。まず指の型に触覚センサとして歪ゲージ、PVDF フィルム各 3 枚を任意の位置、方向で挿入する。また骨の役割をする金属性のボルトも挿入する。そして型にシリコンゴム(信越化学工業製 KE-1316)を流し込み硬化させる。さらに硬化した指の表面に歪ゲージ、PVDF フィルム各 3 枚を張り付け、その周囲に KE-1316 よりも硬いシリコンゴム(信越化学工業製 KE-1300)の膜を生成する。この二段階の工程によって、人間の真皮と表皮の構造をまね

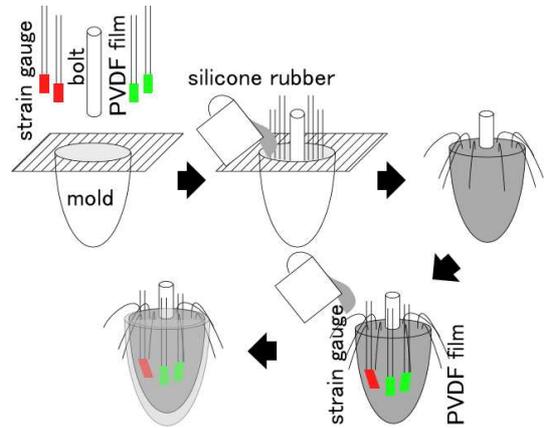


Fig.1 Development of the soft finger-tip



Fig.2 The soft finger-tip with tactile sensors

た柔軟指となる。完成した柔軟指を Fig.2 に示す。

### 3 柔軟指を用いたなぞり実験

#### 3.1 実験装置

安川電機製の 3 自由度ロボット指先端に、製作した柔軟指を取り付け、種々の物体をなぞる実験を行った。実験装置の概観を Fig.3 に示す。

#### 3.2 紙をなぞった場合

実験では一定の力で対象物体に指を押し付けた後、一定速度で物体表面をなぞる動作をした。紙(コピー用紙)をなぞったときの歪ゲージ、PVDF フィルムの出力を Fig.4、

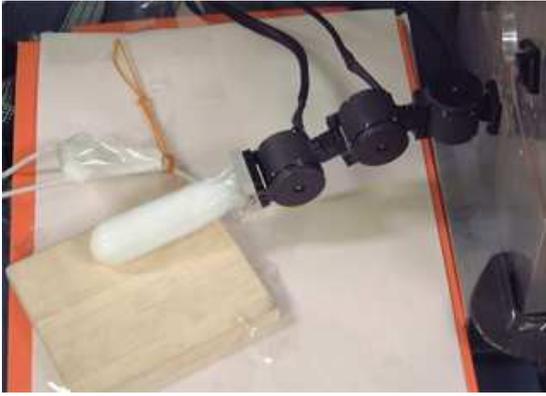


Fig.3 A robot finger quipped with the soft finger-tip

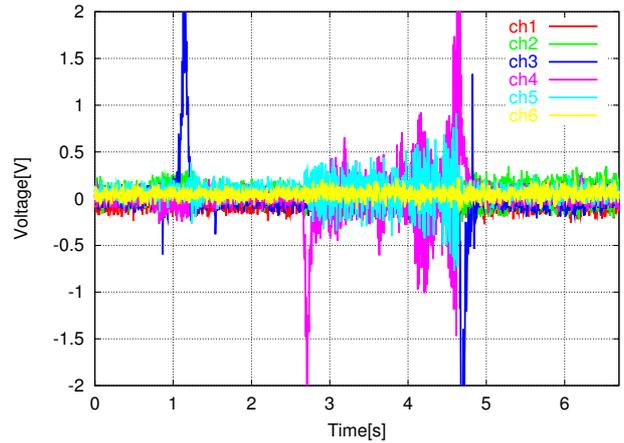


Fig.5 Output of PVDF films

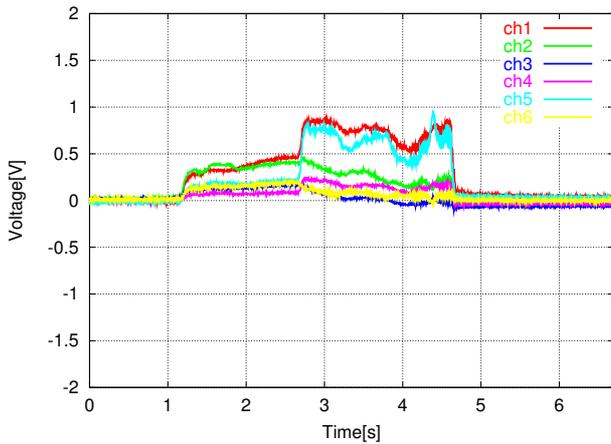


Fig.4 Output of strain gauges

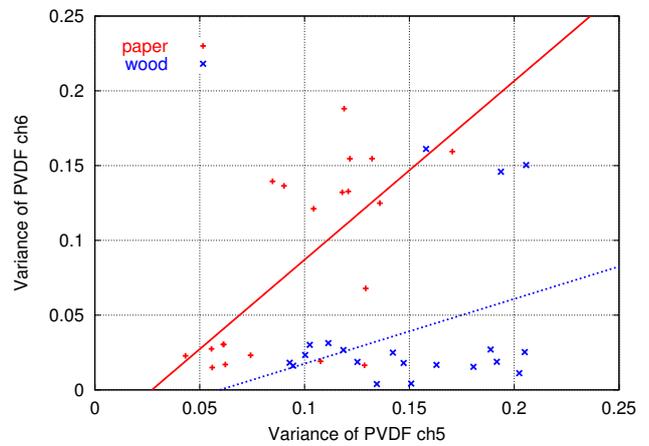


Fig.6 Variances of PVDF films

5に示す．なお、歪ゲージのうち表皮部分に配置されているのが ch1, ch2, ch5, 残りは真皮部分, PVDF フィルムのうち表皮部分に配置されているのが ch3, ch4, ch5 である．実験開始時には指は対象に接触しておらず、約 1[s] 後に接触し、約 2.7[s] 後まで静的に押し付け、その後なぞりを開始、4.6[s] まで対象上をなぞっている．

歪ゲージの信号は、振幅の変化はあるが、押し付け、物体表面のなぞりにおいて比較的安定している．一方、PVDF フィルムのそれは柔軟指が物体に接触したとき ch3 が特に大きな信号を出力しているが、その後はほとんど振幅が見られなくなる．そして物体をなぞりはじめた瞬間、ch4, ch5 が大きく反応し、その後、なぞる動作が終わるまで比較的大きな振動が続くことがわかる．

### 3.3 PVDF による紙と木の区別

表皮と真皮を模した構造を利用した計測が可能であるかどうかを調べるため、紙と木をなぞった場合に、それぞれの部分に存在する PVDF フィルムにどのような計測の違いが生じるかを調べた．横軸に表皮の PVDF フィルム (ch5) の分散を、縦軸に真皮にある PVDF フィルム (ch6) の分散を縦軸にプロットしたものを Fig.6 に示す．紙をなぞったときの結果を+印 (赤) で、木をなぞったときの結果を x 印 (青) でプロットした．この結果から、真皮、あるいは表皮にだけ PVDF フィルムがある場合には素材の違いを検出できないが、表皮と真皮の PVDF フィルムの出力を両方利用することによって、違いを判別可能であると考えられる．

## 4 今後の課題

作成した指先を用いたさまざまな対象のさらに詳しい判別や、その結果に基づくロバストな把持を実現する．また、ランダムに配置されたセンサ素子をどのように利用するか、異なる特性を持つセンサが少しずつれた位置に配置されている場合に、どのような計測を得ることになるか、そのずれをどのように制御に反映させるかなどについてもさらに検討しなければならないと考えている．

## 参考文献

- [1] Mitsuhiro Hakozaki, Katsuhiko Nakamura, and Hiroyuki Shinoda. Telemetric artificial skin for soft robot. In *Proceedings of TRANSDUCERS '99*, pp. 844–847, 1999.
- [2] Koh Hosoda, Yasunori Tada, and Minoru Asada. Internal representation of slip for a soft finger with vision and tactile sensors. In *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 111–115, 2002.
- [3] Ryosuke Kageyama, Satoshi Kagami, and Masayuki Inaba. Development of soft and distributed tactile sensors and the application to a humanoid robot. In *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 981–986, 1999.
- [4] Daisuke Yamada, Takashi Maeno, and Yoji Yamada. Artificial finger skin having ridges and distributed tactile sensors used for grasp force control. In *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 844–847, 2001.