

正 前野 隆 司 (慶大)

佐藤 武彦 (慶大)

Takashi MAENO, Keio University, Hiyosi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, maeno@mech.keio.ac.jp

Takehiko SATO, Keio University, Hiyosi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522

Many kind of tactile sensors have been suggested to detect tactile information when finger is in contact with various objects. These sensors are expected to measure and transfer information to virtual or tele world. However feeling of direct touch is usually lost or eliminated because most sensors are placed directly on finger pad. In this study, we suggest a new tactile sensor which detect a strain distribution of nails when the finger pad is in contact with various objects. First, finite element analysis is conducted to clarify how the amplitude and direction of strain change when the finger is indented or slid on an object. Then, a arrangement of strain gages on the nail is decided. Finally, strain distribution of strain gages placed on the nail is measured for various contact condition to confirm that the suggested sensor is useful to distinguish among various contact conditions.

**Key Words :** Tactile sensor, Nail of finger, Contact Problem, Friction, Finite Element Analysis

## 1. はじめに

近年、コンピュータへの情報入力や遠隔環境への触感覚の伝達を目的として、様々な手指装着型触覚センサが提案されている。その多くは指腹部に力・ひずみ検出デバイスを装着するものである。しかし、指腹部で対象物を直接接触することができなくなるため、使用者自身の触覚感が減少するという問題がある。そこで、Asadaら<sup>(1)</sup>は、指の変形に伴う爪の直下の皮膚の色の变化を計測することにより、指先が物体に接触した状態を検出するセンサを考案した。また、このセンサを用いて、人とロボットの共同作業の実現を図っている。しかし、装置に光学系を組み込む必要があるため装置の大型化を免れない上、物体の指への接触方向(接触力の方向)を検出することはできなかった。

そこで、本研究では、爪表面の複数の箇所のひずみを複数のひずみゲージで検出することによって、指が物体に触れた際の接触力の大きさと方向を容易に検出する触覚センサを提案する。まず、ヒト示指の3次元有限要素解析を行い、指・物体間に法線力・接線力が加わる場合の爪表面のひずみ分布パターンを明らかにする。次に、指に貼付する複数のひずみゲージのパターンを提案するとともに、実際に爪にひずみゲージを貼付した場合のひずみパターンを計測し、本センサの可能性と問題点について考察する。

## 2. 有限要素解析

Fig. 1にヒト示指の有限要素モデルを示す。指の座標系と

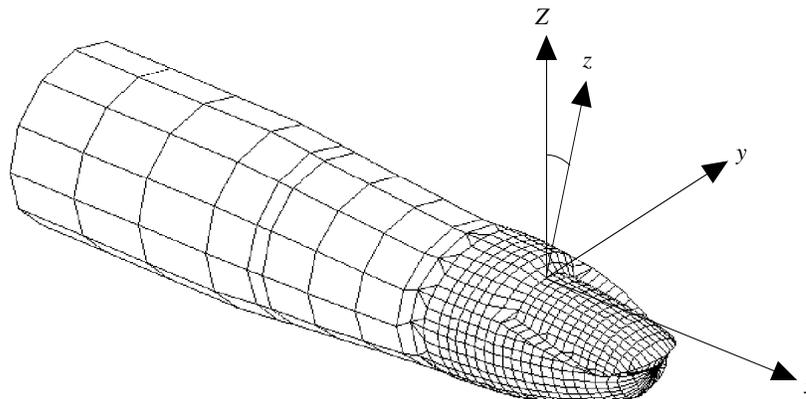


Fig. 1 Finite element model of a finger

して、爪中央付け根を原点とし、原点で爪に接する $x$ - $y$ 平面と、 $x$ - $y$ 平面に垂直な $z$ 軸を定義する。また、絶対座標系における鉛直軸 $Z$ と $z$ 軸との成す角を $\theta$ とする。物性値は筆者ら<sup>(2)</sup>が計測した値を用いた。このモデルを平板に押し込んだ後に $x$ または $y$ 方向に滑らせた場合の解析を行う。

を15度から60度まで変化させて、指を平板に対し $Z$ 方向に1mm押し込んだ場合および押し込んだ後に前後または左側に滑らせた場合の指・爪の変形分布・ひずみ分布を計算した。一例として、 $\theta$ が15度の場合の主ひずみをFig. 2に示す。外形線は爪の輪郭を表す。主ひずみは直交した3軸テンソルであるが、指を押し込んだ場合(図(a))を除けば面外成分は小さかった。図より、指を前に滑らせた場合(図(b))には前後( $x$ 軸)方向の引張りひずみが、後ろに滑らせた場合(図(c))には前後方向の圧縮ひずみが、それぞれ顕著であることがわかる。もちろん、分布パターンは左右対称である。これに対し、指を左向きに滑らせた場合には、全体に、左上から右下に向かう方向の引張りひずみが大きい(せん断ひずみ $\epsilon_{xy}$ が大きい)ようなひずみ分布パターンが得られている。以上のように、爪のひずみ分布は、指の運動方向に対応して、それぞれ特徴的な分布パターンを呈している。なお、指の角度や押し込み量を変えた場合にも同様な結果が得られた。

よって、爪の上の何力所かのひずみを検出すれば、それらの演算に基づいて、指と物体との接触状態、すなわち、指を滑らせた方向あるいは接触力の方向を求められると考えられる。例えば、Fig. 3に示したように、ひずみゲージを

直交して配置する(a), あるいは,  $x_y$  を直接求めるために一部のひずみゲージを斜めに配置する(b), などのパターンが考えられる.

### 3. 計測

Fig. 3(b)のようにひずみゲージを配置し, Fig. 2と同様な方向に指を動かした場合, それぞれのひずみゲージの出力電圧の符号は, Fig. 4に示したようになると考えられる. ただし, 符号の大きさによりおおよそのひずみの分布を表す.

そこで, 実際にヒトの示指に付け爪を装着し, 付け爪に4枚のひずみゲージを貼付して, 有限要素解析と同様な条件下で計測を行った. その結果, それぞれのひずみゲージの出力電圧の符号はFig. 4に示したようになり, 予測値と良く一致した. また, 指の角度や押し込み量を変えた場合にも, 同様に, 計測結果は解析結果とよく一致した. ただし, ひずみの値の大きさには数10%程度のばらつきがあった. これは, ひずみゲージの貼り方, 指の非対称性, 実際の誤差などに起因すると考えられる.

### 4. 考察

本研究では, 爪のひずみ分布は物体の接触力方向に応じたパターンを呈することを示した. したがって, 爪表面の3箇所以上のひずみを計測し, ひずみ分布の特徴を抽出する演算を行えば, 指の押し込み方向および滑り方向を分離して検出することができる. ただし, 指形状やひずみゲージ貼付位置は個人差が大きいので, 指・物体間の接触状態の概略を知ることは可能であるものの, 接触力を定量的に知ることは容易ではないと考えられる. しかし, 本来ヒトの感覚は, Weberの法則として知られているように, 非線形かつ相対的なものである. したがって, 何らかの手段により簡単なキャリブレーションを行えば, ヒトにとって違和感のない接触力情報を取得し伝達することが可能であると考える.

なお, 本研究ではひずみゲージを付け爪に貼付したが, 実用化に当たっては, シール状のセンサを爪に貼る, あるいは付け爪や指サック状の器具にひずみゲージを内蔵するなどの手法が考えられる.

また, 本センサは, その特徴により, 以下のような用途への展開が考えられる.

- 1) モバイル環境下等におけるパソコンのマウスまたはトラックパッドに代わる入力デバイス
- 2) ある人物が物体に触って得た触覚情報を, 遠隔地にいる他の人物に伝えるあるいは仮想空間に伝達するためのデバイス
- 3) 医師による「しこり」や「こり」の触診や伝統工芸, 精密加工など, 医師や職人の触覚情報を同時計測し定量化するためのデバイス
- 4) ロボットとの共同作業時に, ロボットに与える情報の取得用

そこで, 以上のような応用展開の可能性を探っていくことが今後の課題である.

### 5. おわりに

爪の複数の箇所のひずみを複数のひずみゲージで検出することによって, 指が物体に触れた際の接触力の大きさと方向を容易に検出できる触覚センサの構成を提案した. まず, ヒト示指の3次元有限要素解析を行い, 指・物体間に法線力・接線力が加わる場合の爪表面のひずみ分布パターンを明らかにした. つぎに, 指に貼付する複数のひずみゲ

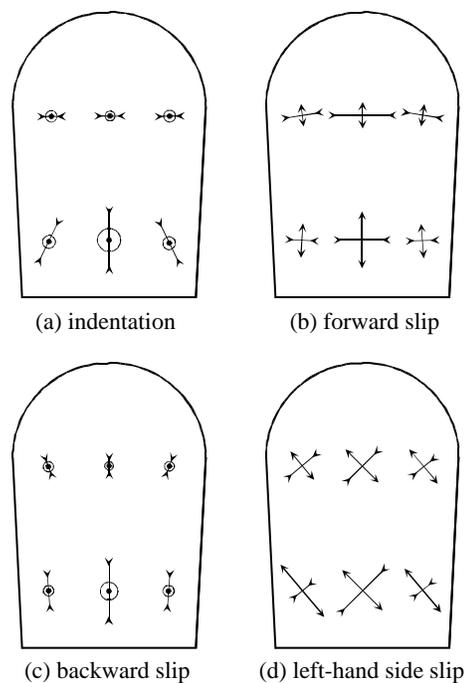


Fig. 2 Calculated principle strain of nail

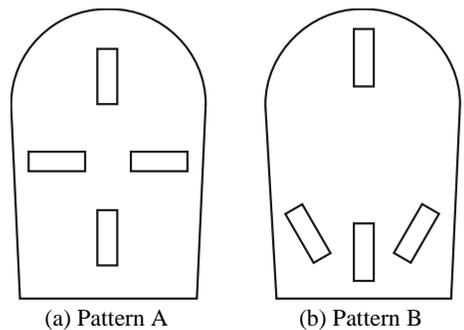


Fig. 3 Proposed pattern of strain gages

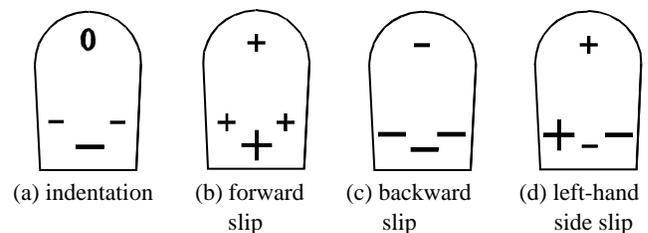


Fig. 4 Measured strain of nail

ージのパターンを提案するとともに, 実際に爪にひずみゲージを貼付した場合のひずみパターンを計測し, 本センサの可能性と問題点について考察した.

### 文献

- (1) Mascaro, Chang and Asada, Finger Touch Sensors using Instrumented Nails and Their Application to Human-Robot Interactive Control, Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division, DSC-Vol. 64 (1998), pp. 91-96.
- (2) 前野, 小林, 山崎, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係, 機論63-607, C (1997), 881-888.