

マイクロフォース・モーメントセンサ内蔵ソフトフィンガの開発と接触実験

藤井 郁夫 井上 貴浩 Dzung Viet Dao 杉山 進 平井 慎一 (立命館大学)

Development of Soft Finger with Micro Force/Moment Sensor and Its Contact Experiments

Ikuo Fujii, Takahiro Inoue, Dzung Viet Dao, Susumu Sugiyama, and Shinichi Hirai

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.,

1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

E-mail: rr010015@se.ritsumei.ac.jp

Abstract— In this paper, we show a novel tactile sensor fabricated by embedding a Micro-Force/Moment Sensor inside a hemispherical soft fingertip, which is applicable to the object manipulation using robotic hands. This sensor is produced by MEMS technology, designed to detect one force component (F_z) and two moment components (M_x, M_y). We show the high sensitivity and performance of the sensor, its structure, and detection principle. Finally, we show that F_z, M_x , and M_y measured by the electrical potential difference on each terminal have high accuracy and keep low fluctuation in compression test of the soft fingertips.

Key Words: Micro-Force/Moment Sensor, Soft Fingertip, Manipulation

1. はじめに

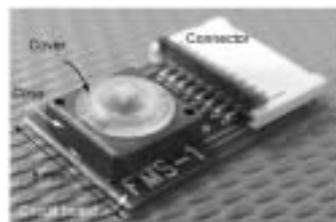
ロボットハンドによる物体操作に関する研究は、近年様々な手法により行われている。安定して物体を把持するためには、指先は剛体ではなく人間のように柔らかい物質であることが好ましい。また、物体の把持・操作において指先の力覚は、最も重要な情報の一つと考えられ、特に柔軟指においては指先のセンシング能力が重要である。

本稿では、指先のセンシングの手段として、柔軟指に直接力センサを埋め込む方法を用いる。これは、直接力センサを埋め込むことによって、視覚などを用いて間接的にセンシングを行うのに比べて精度の高いセンシングが可能であると考えたためである。柔軟指に埋め込むセンサとして新たに MEMS 技術により製作されたマイクロフォース・モーメントセンサ¹⁾を用いる。このセンサのチップは、小型 ($2 \times 2[\text{mm}^2]$) で 1 軸方向の力 (F_z) と 2 軸回りのモーメント (M_x, M_y) が検出可能であり、これらにより指先の押し込み量や接触方向を検出することが可能である。

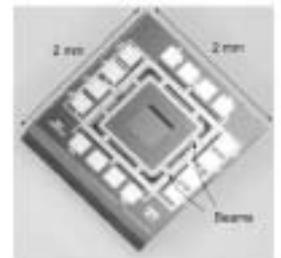
本稿では、このセンサを半球型ソフトフィンガに埋め込み、ロボットハンドの指先への応用を目的とした触覚デバイスを製作した。Fig.2-(a) に示したこの触覚デバイスを TES (tactile sensor-embedded soft fingertip) と略して呼ぶ。製作した TES を用いて動的な接触試験を行う。接触時に半球内部に発生する力とモーメント (F_z, M_x, M_y) をセンサの出力電圧から検出し、ロボットハンドの物体操作への応用に適したセンサの高い感度と応答性を確認する。

2. センサの構造と検出原理

Fig.1-(a) にソフトフィンガ内部に埋め込むセンサを示す。センサはセンシングエリアとコネクタから構成される。センシングエリアは、Fig.2-(b) に示すセンサチップ、力伝達用ピラー、柔軟な半球状接触部で構成

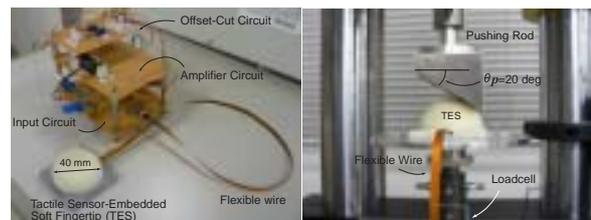


(a) schematic of the sensor



(b) sensing chip

Fig.1 A novel tactile sensor



(a) overall view of TES

(b) compression test

Fig.2 Setup of tactile sensor-embedded soft fingertip (TES).

されている。

物体の接触により、半球状接触部に力やモーメントが加わるとそれらは力伝達用ピラーを介してセンシングチップに伝達する。センシングチップは、検出素子として piezo 抵抗素子を用いており、加わった力やモーメントを電圧の変化量に変換する。本センサはその電圧の変化量から加わった力やモーメントの大きさ及び方向を検出することが出来る。

3. 接触実験

Fig.1-(a) で示したセンサを直径 40mm の半球型ソフトフィンガに埋め込み、その性能を検証するために接

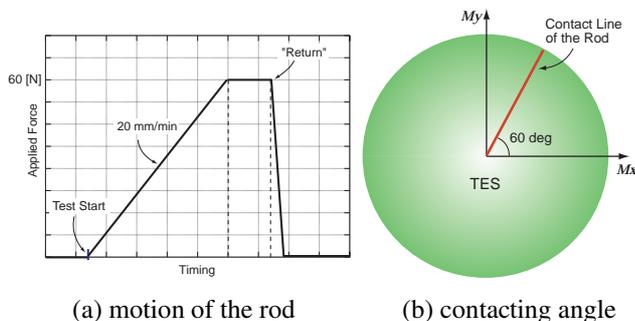


Fig.3 Motion manner of the pushing rod of the compression machine.

触実験を行った．Fig.2-(a) に TES の全体図を示す．今回の実験では，出力電圧を予め 3000 倍に増幅して検出した．

Fig.2-(b) のように圧縮試験機にソフトフィンガを設置する．上部に加重用のロッドがあり，このロッド部が垂直に降下することによりソフトフィンガに加重し変形させる．試験機の下部にはロードセルが設置されており，ソフトフィンガに与えた加重を計測できる．Fig.2-(b) に示すように今回はロッド接触部を半球に対して 20deg 傾け，Fig.4-(b) に示すように，ロッドの接触方向は半球の x 軸に対して 60deg の方向に設定して加重した．Fig.3-(a) にロッド動作を示す．ロッドを 20mm/min の一定速度で降下させソフトフィンガに 60N まで加重し，60N 到達後にロッドを初期位置に急速に戻すという動作を行った．実験結果を Fig.4 と Fig.5 に示す．比較対象として，Fig.4-(a) にはロッド接触部が 0deg の時の F_z の実験結果を示す．各実験では，実験開始時刻が一致していない．これは 1 回の実験で 3 軸同時に計測したのではなく，1 回に 1 軸ずつ計測したためである．Fig.4, Fig.5 から，各出力電圧ともロッドが線形的に降下しているのに対して出力電圧は非線形の結果を示していることが分かる．これは弾性体の変形特性の影響を受けたためと考えられる．また，Fig.4-(a) から， $\theta_p=20\text{deg}$ の方が $\theta_p=0\text{deg}$ より出力電圧が大きいことが分かる．これは半球上で剛体対象物が接触することによって生じる弾性ポテンシャルエネルギーが極小値を持つ (LMEE)² ことから妥当な結果であると考えられる．

次に，荷重 60N 到達後にロッドが急速に初期位置に戻る動作について検証する．Fig.3-(a) と Fig.4 からロッドが急速に初期位置に戻るのと同期して，出力電圧が初期値に戻っていることが確認できる．また，一旦急速に出力が下がった後，約 35～36 秒の時点からは徐々に初期値に戻っていることが確認できる．これは急速なロッドの移動に半球の形状変化がついていかず徐々に元の形状に変形したためと考えられる．

さらに，Fig.5 を見ると， M_x の値が M_y より大きいことが確認できる．これは，ロッドの接触面がセンサの x 軸に対して 60deg 傾いており， x 軸周りのモーメントが大きくなったためと考えられる．また，どちらの出力電圧結果ともロッドが初期位置に急速に戻った後，一度初期の値を越えてから徐々に戻っていることが確認できた．

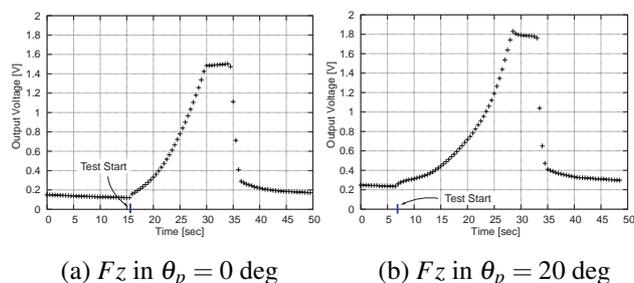


Fig.4 The results of F_z when the force is wholly applied to the fingertip up to 60 N.

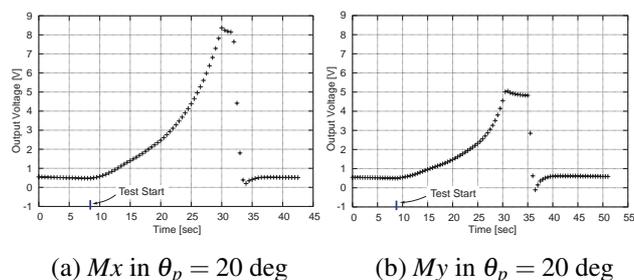


Fig.5 The results of M_x and M_y .

4. おわりに

本論文では，ロボットハンドによる物体操作に応用可能な TES システムを製作し，接触実験を行った．センサチップは，MEMS 技術を用いて製作されており，小型で多軸力覚を検出することが可能である．センサを埋め込んだソフトフィンガを用いて接触実験を行い，3 軸の力とモーメント (F_z, M_x, M_y) を検出しその高い感度と応答性を確認できた．

これらの結果からこのシステムがロボットハンドの指先に装着し，その触覚能力を用いた物体操作を行うのに適していると考えられる．

今後は，Fig.5 に示す 2 リンクロボットに TES システムを装着し，ソフトフィンガ内部の力覚情報による 2 リンクロボットの制御を目指す．

参考文献

- 1) Dzung Viet Dao: "Study on Silicon Piezoresistive Six-Degree of Freedom Micro Force-Moment Sensors and Application to Fluid Mechanics", *Doctoral thesis in Ritsumeikan University*, 2003.
- 2) 井上，平井: "ロボットハンドによる物体操作のための半球型柔軟指の静的弾性モデル"，日本機械学会論文集 C 編，Vol.72, No.715, pp.872-878, 2006.

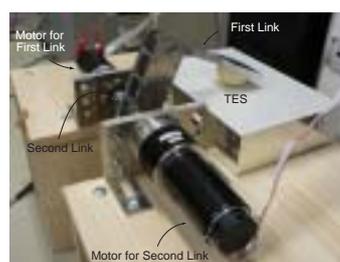


Fig.6 2 link robot equipped with a TES system.