

## 触覚センサを有した多指ハンドにおける物性情報と滑りの検出

Detection of Fingertip Slip and Physicality Information  
in Multi-Fingered Hand Using Tactile Sensor

○船田公一<sup>\*</sup>, 村山嘉延<sup>\*\*</sup>, 坂野進<sup>\*\*</sup>, 尾股定夫<sup>\*\*</sup>

○Koichi Funada<sup>\*</sup>, Yosinobu Murayama<sup>\*\*</sup>,  
Susumu Sakano<sup>\*\*</sup>, Sadao Omata<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 日本大学大学院工学研究科, <sup>\*\*</sup> 日本大学

<sup>\*</sup> Graduate School, Nihon University, <sup>\*\*</sup> Nihon University

キーワード: 触覚センサ (tactile sensor), 位相シフト法 (phase shift method),  
多指ハンド (multi-fingered hand), 物性情報 (physicality information),  
滑り (slip)

連絡先〒963-8852 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

日本大学 大学院 工学研究科 メカトロニクス研究室

船田公一, Tel; (024) 956-8744, Fax, (024) 956-8860, E-mail; g18315@cc.ce.nihon-u.ac.jp

### 1. 序論

近年、ロボットに多種多様な作業を行わせることを目的に、人間の手を模倣としたロボットハンドの開発が数多く行われている。しかし、現在利用されている多くのロボットハンドは掴んだ物体の物性情報や形状などについての情報をセンシングすることが不可能で、また物性の違い、接触速度などにより摩擦力は動的に変化するため把持力の設定や目標達成の判定を行なうのは容易ではない。物体把持における把持力不足や予期せぬ衝撃などによって物体が滑り落ちそうなときに滑りが発生する。滑りが発生すると、安定な把持

を困難にし、指の関節角度限界への到達を早め操作エラーの原因となる。よって操作中滑りを検出できれば把持力調節の再設定をおこなうことができる。そこで、本研究では人の手のように触覚情報をセンシングして伝達する為に位相シフト法による物体の硬さや軟らかさを判別し、滑りを感知できるハプティック型センサを開発する。しかも軟らかいものから硬いものまで物性の異なるものに対して滑りを検出し、把持力調節を行ない物体の把持を目的に基礎的研究を行った。

## 2. 原理<sup>[1]</sup>

Fig. 1 は測定に用いた位相シフト法を有する触覚センサの概略図である。センサシステムは駆動、検出一体型の圧電セラミック素子 (PZT)、及び接触子からなるセンサ部分と検出素子から出力を増幅、位相補正をし、再び駆動素子に帰還する帰還回路から構成されている。この回路系は振動子の機械的共振を利用して強制発振回路として構成されている。

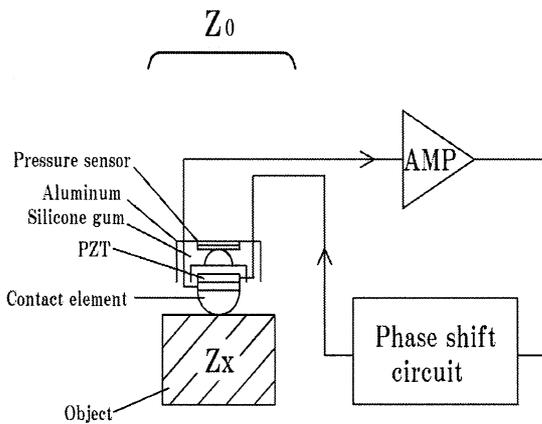


Fig. 1 触覚センサ概略図

但し、 $Z_0$  : センサシステム側の音響抵抗  
 $Z_x$  : 未知の物体の音響抵抗

触覚センサの先端部分は、対象物の表面に対して安定した状態を保つために半球状の接触子を備えているが、接触面からみた物体の接触負荷インピーダンスはセンサを物体に押し付ける接触荷重の大きさによって変化する。よって、センサシステムの共振周波数変化量  $\Delta f$  にも影響を与えることが考えられる。そこで、接触負荷となる物体が自由表面を持つ等方性物体として考え、センサ接触子と物体の接触部分の半径  $r$  が円形であると仮定した場合において、接触荷重すなわち接触面積から考えた物体の負荷インピーダンス  $m_x$  と  $k_x$  は音響機械系の対応により次式で表される。

$$m_x = \frac{\rho}{10(1-\nu^2)} (S)^{\frac{3}{2}} \quad \dots (1)$$

$$k_x = \frac{2E}{(1-\nu^2)} \left(\frac{S}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots (2)$$

但し、 $\rho$  : 密度  $\nu$  : ポアソン比

$E$  : ヤング率  $S$  : 接触面積

従って、半径  $r$  の増加によって  $k_x$  に比べ  $m_x$  の影響が支配的になり、半径  $r$  の減少によって  $m_x$  に比べ  $k_x$  の影響が支配的になる。つまり、センサが物体を押し込むことで接触面積  $S$  が増加するような軟らかい物体の場合には共振周波数変化量  $\Delta f$  は式(3)、硬い物体は式(4)のように近似することができる。

$$\Delta f = -\frac{k_0}{2\pi^2 Z_0} \cdot \frac{m_x}{m_0} \quad \dots (3)$$

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi^2} \cdot \frac{k_x}{Z_0} \quad \dots (4)$$

但し、 $m_0$  : センサ側の等価質量

$k_0$  : センサ側の等価 stiffness

すなわち、 $\Delta f$  は、接触する物質の硬さ、軟らかさによってそれぞれ異なるので、 $\Delta f$  を測定すれば物質の硬さ、軟らかさを求めることが可能となる。

## 3. 計測システム

### (a) 触覚センサ

Fig. 2 は触覚センサ構成を示したものである。センサには検出一体型の円盤型圧電セラミック振動子 (PZT) ( $\phi 8\text{mm}$ ) の先端に接触子としてナイロン半球 ( $\phi 8\text{mm}$ ) を備えている。触覚センサの接触圧をコントロールする為の円盤状の歪みゲージ型圧力センサ ( $\phi 6\text{mm}$ ) を備えた。

(b) 多指ハンド

多指ハンドを Fig. 2 に示す。ハンドは 3 関節指 2 本と 2 関節指 1 本を有し、指 1 本の長さは約 17cm である。ハンド操作用の CPU は ITU、A/D 変換器など周辺機器が充実している H8/3052F マイコンを選択した。サーボモータは PWM 信号により制御を行う。PWM (Pulse Width Modulation) とはパルス幅の High と Low の比率を変えて制御する方法である。サーボモータは、一般的に 16~20 [ms] の周期中に、1.0~2.0 [ms] の High レベル信号を与えることで角度変化する特性を持つ。よってパルス幅の周期情報を H8/3052 のプログラム内で servo\_buffer [SERVO\_CH] [DATA\_BUFF] を設け、サーボの位置の情報を Table [n] 内に作るによりサーボの位置更新を行なっている。更新はサーボの周期 16 [ms] に合わせ、また n の値は任意で変えることが出来る。

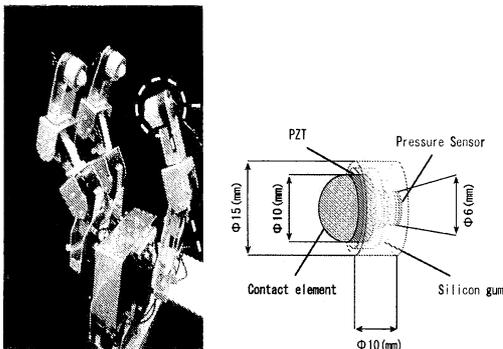


Fig. 2 多指ハンドと触覚センサ構成

(c) ハードウェア構成

Fig. 3 にハードウェア構成を示す。回路システムは PZT センサから得られた出力信号は増幅器、位相補正用帯域フィルタを介し、また圧力センサから得られた出力信号は増幅器、V-F コンバータを介し、それぞれの信号は回路システム内部の周波数カウンタに取り込まれ、RS-232C (9 ピン) によってパーソナルコンピュータに転送される。データの取得速度は

サーボの周期 (16ms) に合わせることでよりセンサからの信号をダイレクトにサーボに反映できる。

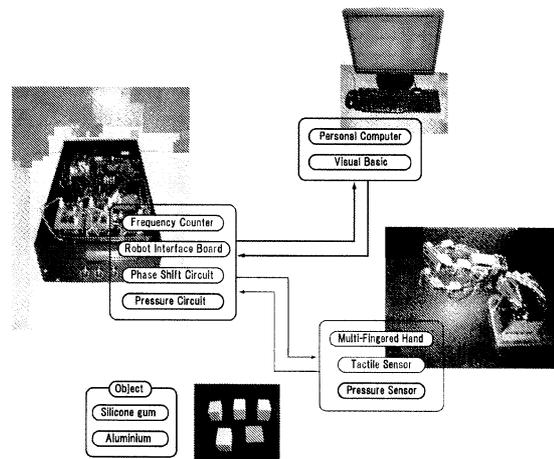


Fig. 3 ハードウェア構成

4. 実験

(a) 物体の硬さ判別実験

Fig. 4 に物体の硬さを判別する実験の計測システムを示す。測定試料には 20%刻みに 40%から 100%までの濃度の異なるシリコーンゴムを用いた。測定には測定試料を 3 指で挟むように角速度 10 (deg/sec) で接触を行ない、このとき接触荷重における周波数変化量について計測を行った。

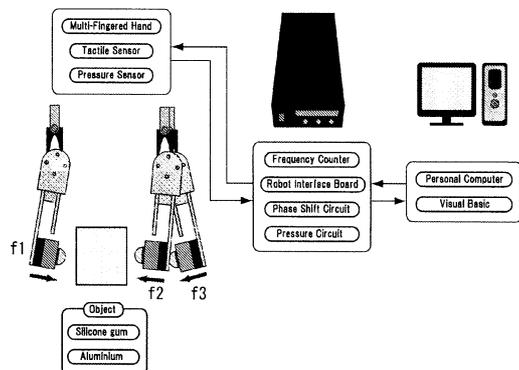


Fig. 4 物体の硬さ判別用計測システム

(b) 滑り検出実験

Fig. 5 に物体の滑り検出に関する実験の計測システムを示す。3 指を物体 (シリコーンゴム) に接触するまで動作し、各指接触次第動作

停止. 3指動作停止後、Z軸方向に多指ハンドを操作. 操作課程の状態遷移を Fig. 6 に示す. 操作課程時の3指のモータの周期、触覚センサの周波数変化量とサンプリング時間における周波数変化量を求めるための微分値変化量を測定する.

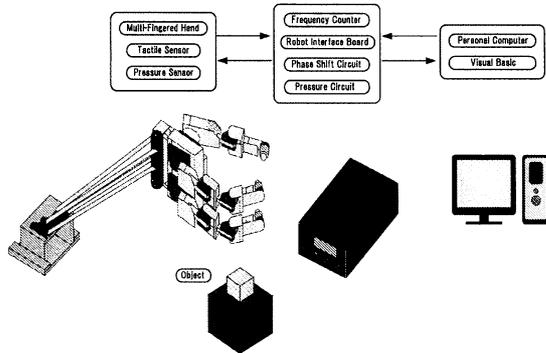


Fig. 5 滑り検出計測システム

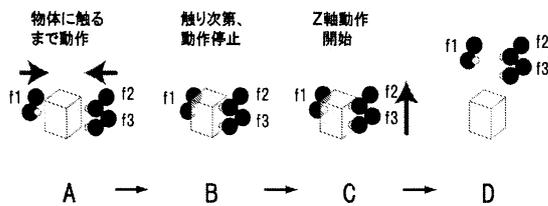


Fig. 6 操作課程の状態遷移

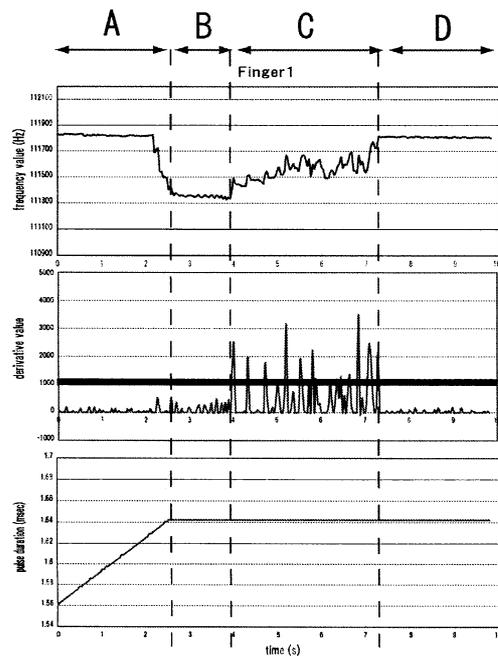


Fig. 7 滑り検出実験

(C) 物体把持実験

Fig. 7 より物体の滑り時だけに微分値変化量が大きく変動を繰り返す. よって周波数の微分値変化量のしきい値処理で3指の把持力調節を行なえば、物体の把持を可能にできると考えられる.

操作課程の状態遷移を Fig. 8 に示す.

Fig. 7 の太い実線は滑りのしきい値を表す. しきい値を超えた時を滑り判定とし、把持力調節を行う.

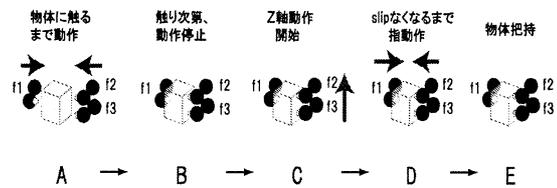


Fig. 8 操作課程の状態遷移

5. 結果

(a) 物体の硬さ判別実験

Fig. 9 に荷重における周波数変化量の結果を示す. 微小荷重における周波数変化量だが各シリコンゴムに対し、濃度 40% > 60% > 80% > 100% の順で周波数変化量が大きく変化した.

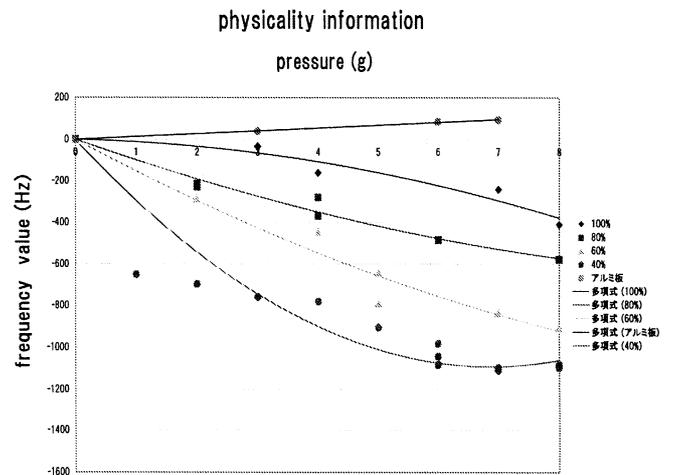


Fig. 9 触覚センサの周波数変化量

### (c) 物体把持実験

Fig. 10に物体把持実験の結果を示す。シリコンゴムの濃度に関係なく近似的な特性を示したので濃度 60%の結果を示す。また実験中の多指ハンドと測定試料の接触先の様子をFig. 11に示す。

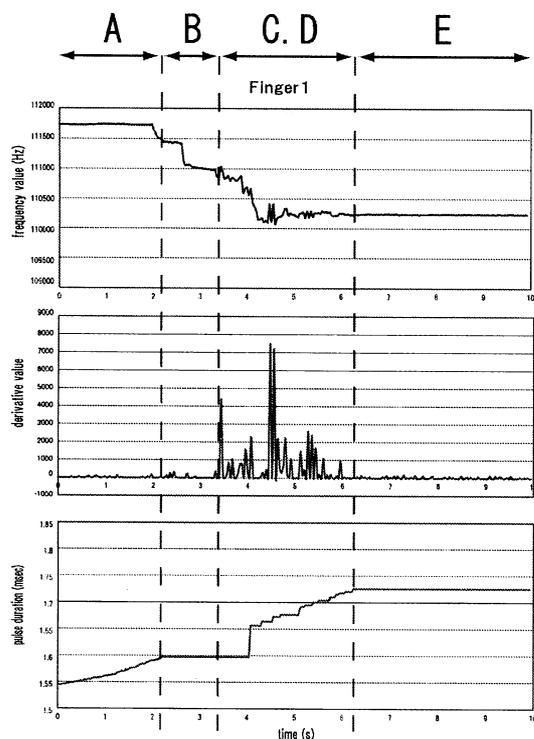


Fig. 10 物体把持における滑り特性

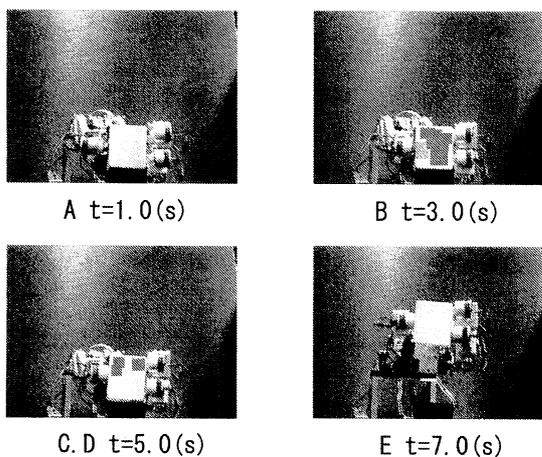


Fig. 11 3指の動作軌跡

### 6. 考察

結果については(a)より微小荷重から周波数変化量を読み取りデータの演算処理によって物体の物性、硬さの情報を得られる可能性が示された。(b)より触覚センサの微分値処理により物体の滑り時のみ信号の変動を確認できた。よって(c)より滑りによるしきい値処理のもと滑りの間、指の関節のモータの角度変化が確認出来き、物体把持が可能になった。従って硬さ、軟らかさの物性情報の検出、微分値処理による物体の把持力制御が可能となるので、本研究で用いた触覚センサがロボットハンドに適用できる可能性が認められた。

### 7. 参考文献

[1] Omata, S, Murayama, Y, ChristorsE. Constantinou, Sensors and Actuator A, 112 278-285  
“Real time robotic tactile sensor system for the determination of the physical properties of biomaterials” (2004)