

## すべりセンサの開発と応用 ～すべり検出システムについて～

関根俊彰\*<sup>1</sup> 田中智大\*<sup>2</sup>

Development and Application of a slip sensor  
- About a slip detecting system -

SEKINE Toshiaki\*<sup>1</sup>, TANAKA Tomohiro\*<sup>2</sup>

### 抄録

すべりを検出するための新たな原理を考案し、それを実現するためのシステムを作製した。静電容量型 3 軸力覚センサをプレートの四隅に配置し、物体の重心位置の移動及び負荷力の検出を行い、すべりを検出するシステムである。センサ、システムの特性評価を行い、その結果、このシステムによるすべりの検出が確認された。

キーワード：すべり，センサ，重心，力，検出

### 1. はじめに

近年、センサはあらゆるメカトロ製品及び製品評価のために必要不可欠なものとなっており、数多くの種類が存在する。本研究では、これらセンサの中でも特にすべりに着目した。

近年、高齢化が顕著となり、福祉機器の開発が急がれているが、義手やテレマニピュレータのためのロボットハンドでは、人の手と同じような把持機能が求められており、これらを実現するためには力覚センサやすべりセンサなどの触覚センサが非常に重要となっている。

また、介護の現場では、床ずれと呼ばれている褥瘡が問題になっているが、現在、この褥瘡の発症要因として人とクッション間のすべりが着目されている。これは、人がクッション上でずれした場合に、そのすべりによって褥瘡が発症する

といった考え方になってきている。ところが、このずれの測定方法等が実用化されていないため、課題となっている。

そこで、本研究ではすべりを検出可能なセンサの開発を行うことを目標とし、すべりに関して、新たな検出原理を考案し、それを実現するためのシステムを作製した。基礎的実験として、センサ、システムの特性評価を行い、その結果、すべりの検出が確認されたので、その結果を報告する。

### 2. すべりの検出原理

すべりには摩擦を伴うものと摩擦を伴わないものがあるが、ここでは摩擦を伴わないすべりを単に変位と定義し、摩擦を伴うすべりを検出すべきすべりと定義する。本研究におけるすべり検出の基本的な概念を図1に示す。まず、すべり検出面に置かれた物体の重心位置(図1 )と、検出面に対し水平な方向のXY力ベクトル(図1 )とを別々に検出する。検出された物体の重心位置は物体の移動に伴い変位する。このとき、重心位置

\*<sup>1</sup> 生産技術部

\*<sup>2</sup> 福祉・デザイン部

の移動方向と変位量から重心変位ベクトルが求められる(図1)。この重心変位ベクトルと前述のXY力ベクトルの向きが一致した場合、物体が検出面上を滑ったとして、すべりとみなす(図1 すべり)。また、重心変位ベクトルが検出されたにも関わらず、XY力ベクトルが検出されない場合、物体が検出面上を転がったとして、転がりとみなす(図1 転がり)。

実際のシステムにおいても基本的な考え方は同様であり、図2に示すように、重心変位ベクトルとXY力ベクトルの向きが一致した場合、物体が検出面上を摩擦を生じながら移動したとみなし、すべりとして判定をする。例えば、図2のグラフ(a)の時刻において、重心変位ベクトル及びXY力ベクトルはともに  $4/5[\text{rad}]$  の方向を示し、ベクトルの向きが一致しているため、すべりと判定をする。また、グラフ(b)の時刻において、重心変位ベクトルは一定の向きを示しているにも関わらず、XY力ベクトルは全く検出されていない。これは検出面上を物体が転がったため、摩擦を殆ど生じることなく物体が移動したことを示しており、プログラムは物体が検出面上を転がったとして判定をする。このように、本システムは物体のすべりや転がりなどの運動状態をリアルタイムに判定することが可能である。

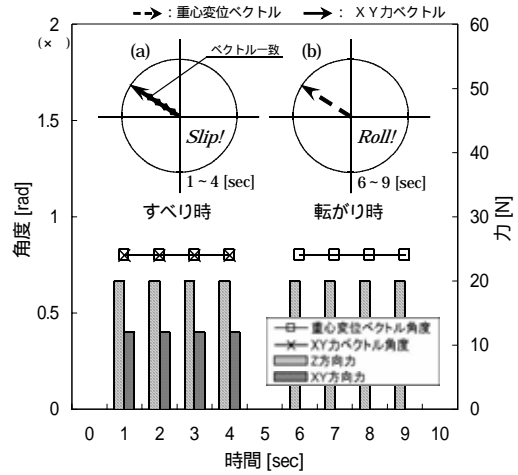


図2 すべり判定プログラムの検出原理

### 3. システム構成及び試作

2の検出原理を実現するために、平面プレートの四隅にX,Y,Z方向の力を測定可能なセンサを配置し、これにより物体の重心及びXY方向力を検出するシステムを開発した。

#### 3.1 3軸力覚センサ

X,Y,Z方向の力を測定するセンサとして、図3に示すニッタ社製の静電容量型3軸力覚センサ PicoForce PD3-30-05-15を採用した。

このセンサは、スティック(軸)に加わる力の方向と強さにより内部の金属ダイヤフラムと固定電極間の静電容量が変化し、この変化を各軸方向成分の信号として検出するものである。

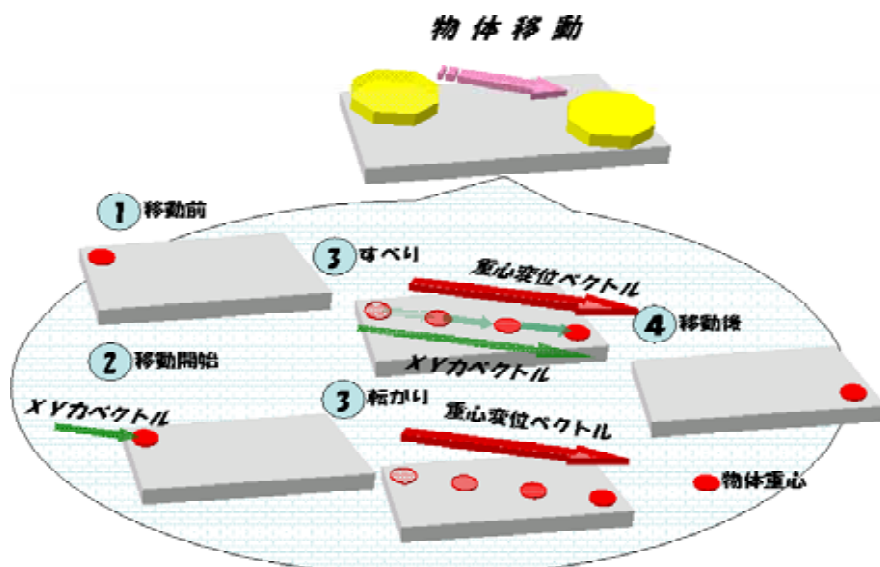


図1 すべり検出の概念図

なお、定格荷重は X,Y 方向 15[N・cm]、Z 方向 15[N]であり、重量は 10[g]である。



図3 3軸力覚センサ

### 3.2 増幅ボード

3 軸力覚センサからの出力は 20~30[mV/FS]であるため信号を増幅する必要があり、図 4 に示すようなオフセット、ゲイン調整機能付き増幅ボードを作製した。計装アンプ IC には TEXAS INSTRUMENTS 社製 INA122 を使用した。基本的な回路図を図 5 に示す。なお、センサからの出力に対しローパスフィルタ(RC)を通すことにより、ノイズ信号を低減させている。

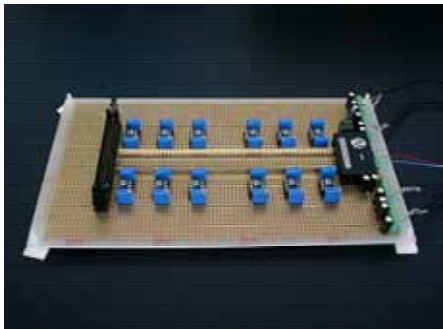


図4 増幅ボード

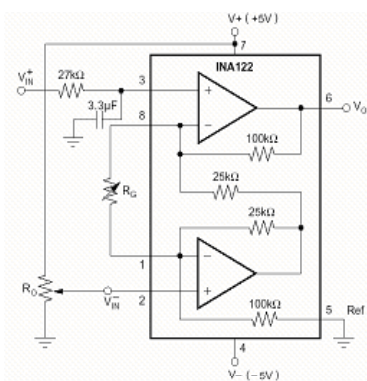


図5 計装アンプICの回路図

(補足:  $R_o$  および  $R_G$  は可変抵抗であり、 $R_o$  によりオフセット調整、 $R_G$  によりゲイン調整を行う。これによりセンサ出力の初期補正を完了する。ここで、 $V_{in}^+$  にセンサからの出力を入力し、増幅された値が  $V_o$  より出力される。つまりゲイン増幅率は  $G = 5 + 200k\Omega / R_G$  で与えられ、 $V_o = (V_{in}^+ - V_{in}^-) G$  の値が出力される。アンプへの入力側 ( $V_{in}^+$ ) にローパスフィルタを設置している。)

### 3.3 プレート

検出プレートは、大きさが各辺 125[mm]の正方形で、素材は軽量かつ高強度なジュラルミンを採用した。このプレートの四隅にセンサ取り付け穴を切削加工した後、センサをプレート2枚で挟み込むようにネジ止めし、固定した。なお、センサのスティックと上面プレートとは O リングを介して接触している。その外観を図 6 に示す。

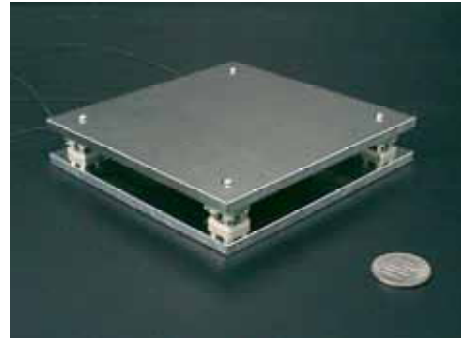


図6 作製した検出プレート

### 3.4 すべり判定プログラム

3軸力覚センサからの信号は、増幅ボードを通じて、PC(CPU:Pentium3 1GHz,Memory:384MB)の AD ボード(Interface 社製 PCI-3133)に入力される。PC 上では National Instruments 社製 Labview6i を使用して、2 の原理に基づいたすべり判定プログラムを開発した。図 7 が開発した判定プログラム画面である。この測定画面上では、センサからの X,Y,Z 信号、物体の重心位置及びその軌跡、重心変位ベクトル、XY カベクトルが表示される。重心変位ベクトルと XY カベクトルの方向が一致した場合、すべり判定ランプが点灯する仕組みである。また各処理における様々な補正機能が付いている。重心位置 ( $X, Y$ ) 及び重心の変位方向 ( $\Delta X, \Delta Y$ ) ・変位量  $\Delta A$  は次式より求められる。XY カベクトル  $F$  は 4 つのセンサからの平均値を用いた。なお、( $x, y$ ) は各センサの座標、 $w$  は出力値である。

$$(X, Y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^4 x_i \times w_{zi}}{\sum_{i=1}^4 w_{zi}}, \frac{\sum_{i=1}^4 y_i \times w_{zi}}{\sum_{i=1}^4 w_{zi}} \right)$$

$$\begin{aligned} (\Delta X, \Delta Y) &= (X - X', Y - Y') \\ \Delta A &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{aligned} \quad F = \frac{\sum_{i=1}^4 w_{xyi}}{4}$$

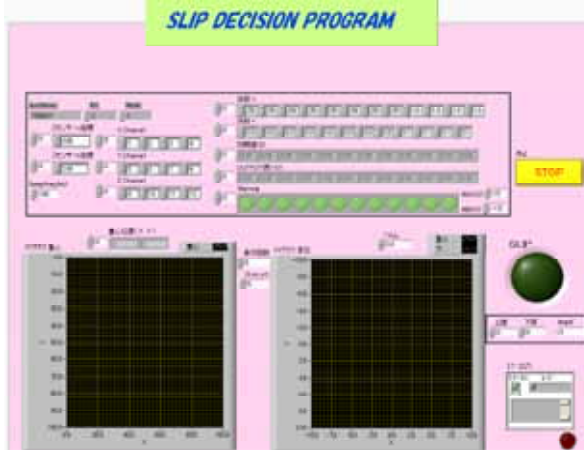


図7 すべり判定プログラム

4. 実験

本システムの基本的な特性及び動作を確認するため、実験を行った。

4.1 3軸力覚センサ負荷特性

3軸力覚センサ単体での負荷特性を把握するため、実験により特性評価を行った。

Z軸方向への負荷は、センサのスティックの上に質量0.1, 0.5, 1.0, 1.5[kg]の重りを乗せ、その出力を測定した。X,Y軸方向への負荷は、スティックに糸を巻き付け、同様な重りを滑車を通して吊し、モーメントを与えた。なお、センサへの電源電圧は5[V]であり、出力に対して特に増幅等は行わず測定した。図8～10が各軸の負荷特性である。なお、各図はオフセット表示してある。この結果、若干の他軸干渉はあるが、出力信号は、ともに高い線形性を有していることが分かった。

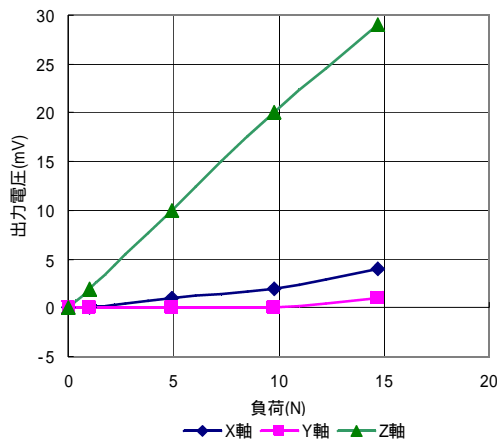


図8 Z軸負荷特性

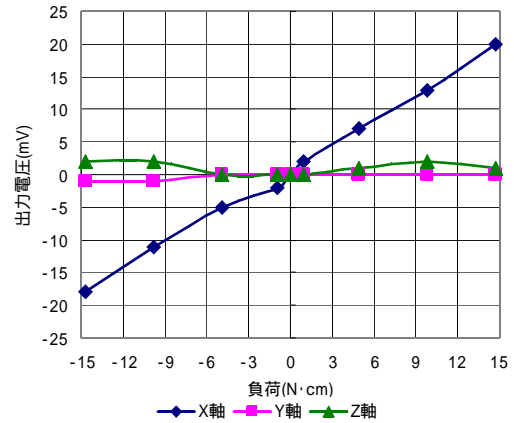


図9 X軸負荷特性

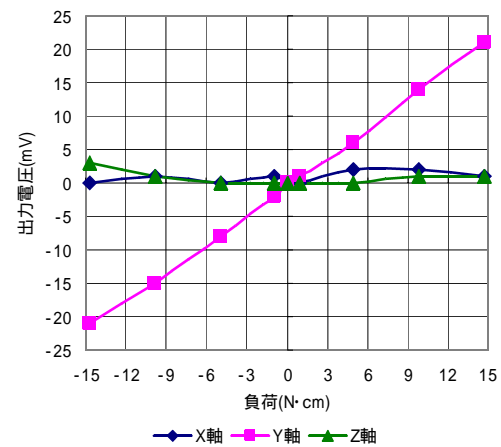


図10 Y軸負荷特性

4.2 すべり検出システム特性

システムの動作を確認するため、実験として質量0.3[kg]の円筒状の物体をプレート上で転がした場合、及びすべらせた場合で検証を行った。なお、プレート上でこの物体をすべらせるのに要する力は5[N]であった。計測条件として、アンプボードのゲインは全て50倍に設定し、プログラム上で、X,Y軸出力はさらに35倍に増幅させた。サンプリング周期は100[kHz]に設定し、連続したサンプリングデータ5つの平均値を代表値として、先の計算で処理することとした。

図11～13はすべり判定プログラム上にある重心変位ベクトルとXYカベクトルが表示されるグラフの拡大図である。図11は物体がプレート上にあり静止している状態である。図12は図11の状態から、物体をプレート上ですべらせず、転が

している状態である。図13は図11の状態から、物体をすべらせている状態である。

3.4のプログラムは、これらのグラフに表示される重心変位ベクトルとXYカベクトルの方向が一致した場合はすべりと見なし、判定ランプが点灯する仕組みである。今回は許容範囲をもうけ、両ベクトルのなす角度が0~20°であれば同一方向とみなすこととした。また、しきい値も設定し、両ベクトルの大きさが、しきい値より大きい場合にのみ判定ランプを点灯することとした。これらは、両ベクトルの方向が完全には一致しないこと、微少なノイズ信号などによるベクトルの振れは無視し、実際に物体が移動している場合のみを判定対象とするためである。表1は図11~13の場面における角度、しきい値、判定ランプの状態をまとめたものである。図13のすべらせた場合のみ判定ランプが点灯している。この実験から、すべりの検出が確認できた。なお、指をプレート上で動かした場合もほぼ同様な結果となり、すべりの検出が行われた。

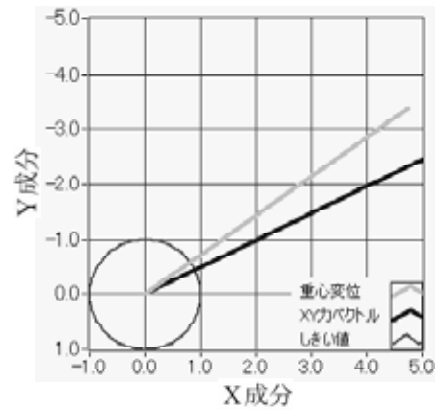


図13 すべり時

図11~13はベクトルの方向を確認するため、縦横軸の単位は特に定めていない。

表1 図11~13の各パラメータ

	静止 (図11)	転がり (図12)	すべり (図13)
角度	138°	171°	12°
しきい値	NG	NG	OK
判定ランプ	消灯	消灯	点灯

5.まとめ

本報では、すべりに関して、新たな検出原理を考案し、それを実現するためのシステムを作製した。基礎的実験として、センサ、システムの実験を行い、その結果、すべりと転がりの判別は可能であり、すべりが確認された。しかし、センサの感度が良いため、微少なノイズ・信号も誤動作の原因となり、角度の許容範囲、しきい値などを設定する必要があった。課題として、本システムのさらなる改良、また、この原理を応用した、新たなセンシング方法、機構の検討などが挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたり多大な御指導を頂いた東京工科大学山浦富雄教授に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 塩田泰仁;はじめてのメカトロニクス,工業調査会,1998
- 2) 松井邦彦;OP アンプ活用 100 の実践ノウハウ,CQ 出版社,1999
- 3) 稲葉保;アナログ技術センスアップ 101,CQ 出版社,2001

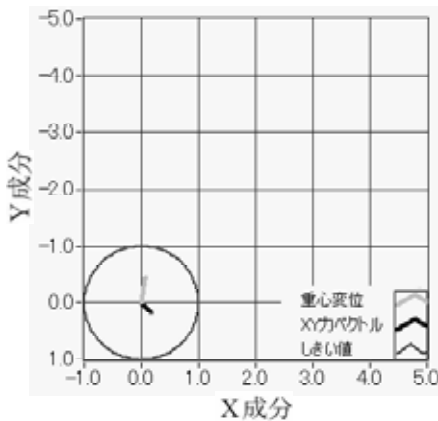


図11 静止時

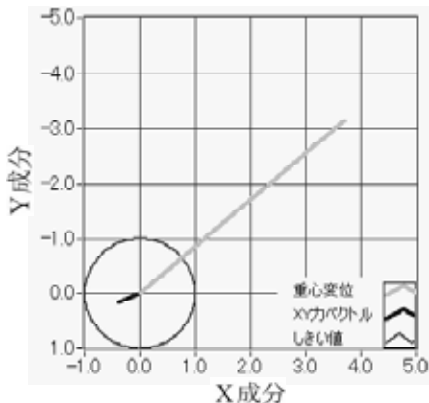


図12 転がり時

