

すべり検出システムの精度向上と実用化

田中智大*¹ 関根俊彰*²

Accuracy Improvement and Practical Use of Slip Detection System

TANAKA Tomohiro*¹, SEKINE Toshiaki*²

抄録

すべり検出システムの高精度化と定量的な評価技術の確立を目指し、センサ部位の薄型化と感圧点の高密度化、及び、検出プログラムのロジックの見直しを行った。これにより、出力信号の精度と信頼性が向上し、圧力、すべり量、及び、移動方向の定量的な評価が可能になった。また、システムの評価実験では、すべりや転がりといった運動状態の判定精度と、定量化した数値の正確さについて検証を行った。その結果、旧システムとの比較では、すべりと転がりの判定率が向上し、定量化した検出情報の評価では、実測値とほぼ一致した結果が得られた。

キーワード：すべり検出システム，感圧導電センサ，圧力検出，すべり量

1 はじめに

著者らは、これまでにプレート式のすべり検出システムを開発し、被測定物の移動方向を示す変位ベクトルと摩擦力の向きを示す力ベクトルとの比較から、すべりと転がりの判別を行い、動摩擦係数及び、すべり量の検出が可能であることを確認している^{1),2),3)}。また、新たな試みとして、柔軟なシート式のすべり検出システムについても試作実験を行い、一定の精度で判定が可能であることを確認している^{4),5)}。しかし、このシート式すべり検出システムは、構造面に課題があり、検出情報の定量化もできなかった。本研究では、これらの課題を解決するため、センサ部位の薄型化と感圧点の高密度化、及び、検出プログラムのロジックの見直しを行い、運動状態の判定精度と、定量化した数値の正確さについて検証を行った。

2 検出原理

2.1 すべり及び転がりの検出原理

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、本研究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している。

シート式すべり検出システムでは、感圧点を二層に配置することによって、センサ部位の上下面にかかる圧力をそれぞれ独立に検出し、被測定物の移動に伴う感圧点座標の変位量から、上下面間の位相差を求め、位相の遅れ量からすべり値を算出している。

例えば、図1に示すように、質量 m の被測定物がセンサ部位上の座標(1,1)に置かれているとする。また、この被測定物とセンサ部位の上面(a)との間には摩擦があり、このときの摩擦係数はセンサ部位の上面(a)と下面(b)との間の摩擦係数よりも十分に大きいものとする。

時刻 t_0 において座標(1,1)にあった被測定物に

*¹ 福祉・デザイン部*² 生産技術部

対し接線方向に力を加えると、被測定物はセンサ部位の上面(a)を引きずり、時刻 t_1 には上面(a)と下面(b)との感圧点間に変位を与える。さらに、力を加え続けると被測定物はすべり始め、摩擦を伴いながら移動し、センサ部位の上面(a)と下面(b)との間に変位を生じさせたまま、時刻 t_2 には座標(2,2)に到達する。

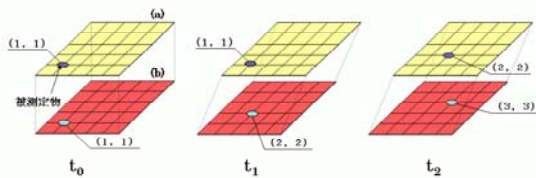


図1. すべりの検出原理 (概念図)

時刻 $t_0 \sim t_2$ における一連の運動を時系列により表すと、図2のようになり、センサ部位の上面(a)と下面(b)との間に生じた位相差を明瞭に確認できる。すなわち、被測定物が摩擦を伴いながらセンサ部位上を移動した場合には、必ずセンサ部位の上面(a)と下面(b)との間に位相差が生じるため、この位相差の発生を捉えることで、すべりを検出できる。

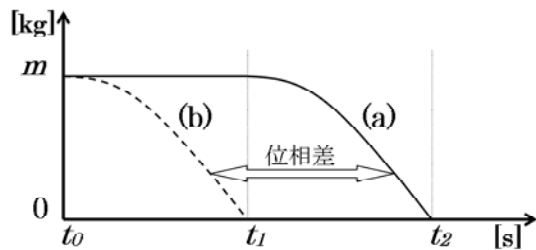


図2. 座標(1,1)における圧力の時間変化

2.2 すべり量の検出原理

被測定物が摩擦を伴いながら移動した距離をすべり量として定義し、移動の始点から終点までの経路の合計として検出するようにした。

開発したシステムでは、サンプリング周期ごとに感圧点座標の変位を加算していき、プログラムがすべり判定を返したときのみ、すべり量を検出するようにしている。これにより、被測定物が滑った場合の距離の合計を求めることができ、例えば、被測定物が移動途中で転がりに転じたとしても、その距離は加算されることはなく、滑った距離のみを検出できる。

したがって、センサ部位上面における被測定物の移動開始点の座標を (X_{i-1}, Y_{i-1}) 、移動中の任意の時間における座標を (X_i, Y_i) とすると、 n 周期の移動距離 S_n は、

$$S_n = \sum_{i=1}^n \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2} \quad (1)$$

で求められる。

3 システムの改良

これまでに試作したシート式すべり検出システムは、すべりと転がりの判定のみ可能で、検出情報の定量的な評価はできなかった。また、検出プログラムにも誤判定が多いという問題があった。

本研究では、センサ部位の薄型化、信号の高出力化とノイズ対策によるSN比の改善、検出プログラムにおけるロジックの見直しと機能強化を行い、システムの高精度化と検出情報の定量化を図った。

3.1 センサ部位

これまでのシステムでは、センサ部位における感圧素子に光ファイバセンサを用いていた。光ファイバセンサは、発砲ウレタンに光ファイバの入出力を対向に配置した構造になっており、圧迫による透過光の減少を圧力検出の原理としていた。しかし、光ファイバセンサは、原理的な制約から薄型化が難しく、厚さ 3mm 以下ではセンサとしての特性を著しく損なうため、新たな感圧素子として、ニッタ社製の圧力センサ FlexiForce (A201-1) (以下、感圧導電センサ) を採用することにした。

圧力検出方式の変更により、センサ部位の薄型化と感圧点の高密度化が可能となり、新たに試作したセンサ部位では、厚さ約 3mm、単位面積あたりの感圧点数 1,600 個/m² を達成した。これまでのセンサ部位 (厚さ約 12mm, 感圧点数 278 個/m²) と比較すると、厚さで約 4分の1の薄型化、感圧点数で約 5.8 倍の高密度化が図れたことになる。センサ部位の薄型化と高密度化は、測定条件への影響を少なくできるとともに、測定対象の微小な変化への対応も可能になるため、検出精度の

向上を目指すうえで非常に重要である。試作したセンサ部位の外観を図3に示す。

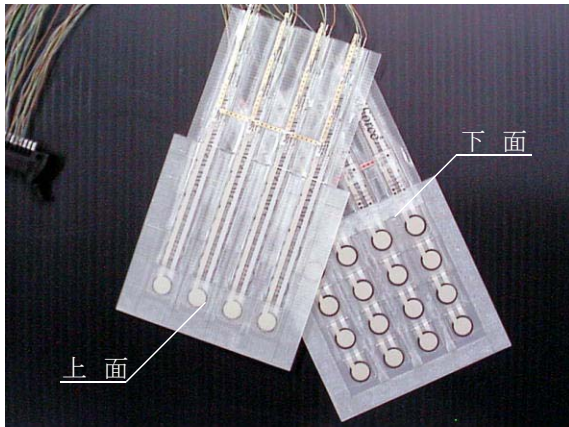


図3. 試作したセンサ部位 (100mm×100mm)

センサ部位の圧力検出面は、感圧素子を4×4のマトリクス状に展開した構造となっており、これを二層に配置することで、すべりを検出可能なセンサ部位を形成している。

3.2 アンプボックス

センサ部位の感圧素子として採用した感圧導電センサは、圧力に反比例しながら抵抗値が減少する特性を備えている。そこで、抵抗値の変化を電圧値の変化に対応させ、さらに出力信号を±5Vの範囲で増幅させるため、図4に示すような回路を設計した。

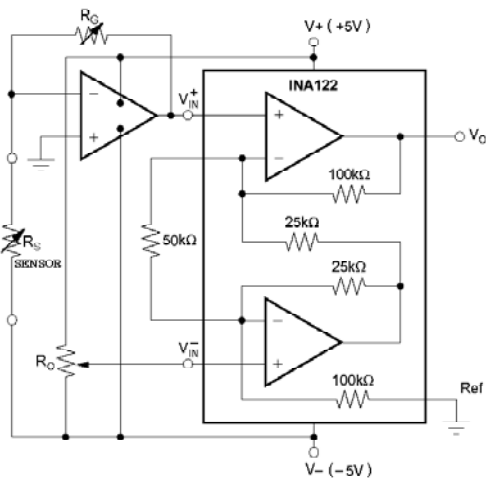


図4. 設計した感圧導電センサ用増幅回路

回路図において、 R_s は感圧導電センサ、 R_0 および R_G は可変抵抗であり、 R_0 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信号 $V_s = -R_G / R_s (V)$ が入力されると、計装増幅回路により増幅された値が V_o から出力される。つまり、計装増幅回路の増幅率 A は、 $A = 5 + 200k \Omega / 50k \Omega$ で与えられ、 $V_o = (V_{IN+} - V_{IN-}) A$ の値が出力される。

図4の増幅回路を基に試作したアンプボックスの外観を図5に示す。ボックス内にはアンプのほか、計測に必要なデバイス類（電力供給電源、フィルタ等）を格納している。電力供給は、スイッチング電源により行っており、電源ラインに設けたフィルタでリップルの低減を図っている。なお、アンプボックスの仕様は、入出力 32ch、最大出力電圧±5V となっており、チャンネルごとのオフセット・ゲイン調整が可能である。

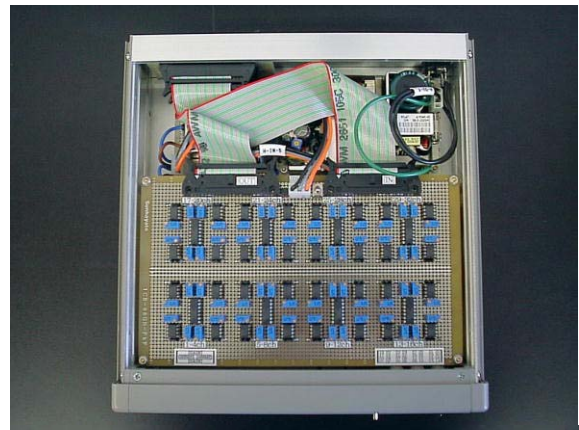


図5. 試作したアンプボックス

3.3 すべり検出プログラム

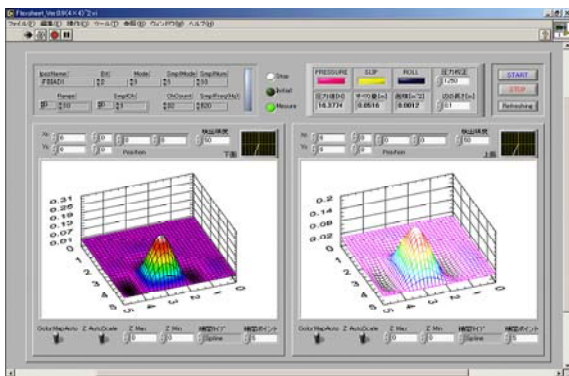
センサ部位で検出された被測定物の運動は、直ちに電気信号に変換され、制御端末に送られる。制御端末上には、NATIONAL INSTRUMENTS 社製のプログラム開発環境 LabVIEW7.0 により開発したすべり検出プログラムが格納されている。

このすべり検出プログラムは、センサ部位の上面と下面にかかる圧力をそれぞれ独立に検出し、被測定物の移動に伴う感圧点座標の変位量から、上下面間の位相差を求め、位相の遅れ量からすべり値を算出する仕組みになっている。

本研究では、判定精度の向上と検出情報の定量化を図るため、ロジックの見直しと機能強化を行い、圧力、すべり量、及び、移動方向を定量的に評価できるようにした。

検出プログラムのフロント画面は図6に示すとおりであり、画面左下のウィンドウには、センサ部位下面における圧力分布が表示され、画面右下のウィンドウには、センサ部位上面における圧力分布が表示される。ここで、両ウィンドウの右上にあるサブウィンドウには、被測定物の移動方向を示す変位ベクトルが表示される。また、画面の右上に表示されている三つのランプは、圧力検出、すべり検出、及び、転がり検出にそれぞれ対応しており、いずれかの運動状態が検出された場合には、対応するランプが点灯する仕組みである。これらのランプの下に表示されている圧力値、すべり量、及び、面積の各項目の表示器には、被測定物の運動状態に応じた値がそれぞれ表示され、運動状態の定量的な評価が可能となっている。

図6. すべり検出プログラム



4 特性評価

本システムの基本的な特性及び動作を確認するため、以下に示す評価実験を行った。

4.1 検出精度の評価

精度向上のために実施した主な対策は、センサ部位の薄型化と感圧点の高密度化、信号の高出力化と電源ラインのノイズ低減、及び、検出プログラムにおけるロジックの見直しと機能強化である。これらの対策による効果を確認するため、被測定物の各運動状態における判定結果について評価を行った。実験では、直径 80mm、高さ 26mm、質量 1kg の円筒状の重りをセンサ部位上で滑らせた場合、及び、転がした場合について、判定の正確さを検証した。なお、実験時の測定条件は、サンプリング周期 520kHz、センサ部位の表面温度

23℃、湿度 36% であった。

測定は各 10 回行い、判定結果の正誤比較により検出精度を評価した。その結果を表 1 に示す。新たに試作したシステムでは、すべり 8 割、転がり 10 割の確率で判定に成功し、誤判定はすべりの場合 1 回、転がりの場合 0 回の計 1 回という結果になった。ここで言う誤判定とは、実際の運動とは異なる判定を返した場合を指し、いずれの判定も行われなかった場合は、未判定として処理した。例えば、重りを滑らせた際に、転がりの判定を返した場合は誤判定としてカウントし、いずれの判定も返さなかった場合は、未判定としている。また、過去に行った旧システムの評価実験では、すべり 7 割、転がり 8 割の確立で判定に成功し、誤判定がすべりの場合 2 回、転がりの場合 1 回の計 3 回という結果であった。

以上のことから、新たに試作したシステムは旧システムに比べ検出精度が向上し、特に誤判定が少なくなっていることが確認できた。

表 1. 検出精度の比較結果

	すべり判定	転がり判定	誤判定	未判定
新システム	8/10	10/10	1	1
旧システム	7/10	8/10	3	2

4.2 圧力検出特性

センサ部位の感圧素子として採用した感圧導電センサの圧力検出特性について、評価実験を行った。0.1 ~ 0.9kg のスチール製の重りを感圧導電センサ上に乗せ、そのときの検出値と実際の重りの重さとの比較を行った。その結果を図 7 に示す。0.6kg までは検出値と実際の重りの重さはほぼ一致し、線形に推移しているが、0.7kg 以上では検出値の増加はなく、飽和状態にあることが確認できる。このことから、感圧導電センサの測定可能範囲は、0.6kg 以下であることが分かった。

次に、試作したセンサ部位の圧力検出特性を調べるため、2 ~ 17kg の重りをセンサ部位上に乗せ、そのときの検出値と実際の重りの重さとの比較を行った。その結果、図 8 に示すように検出値と実際の重りの重さは、ほぼ一致していることが

確認でき、検出値は線形に推移していることが分かった。

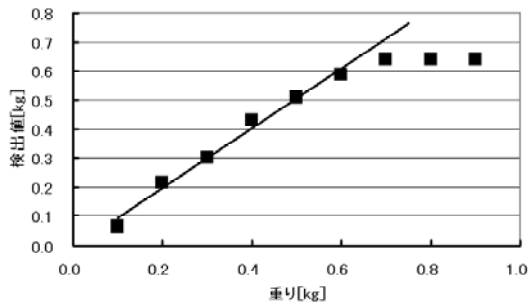


図7. 感圧導電センサの圧力検出特性

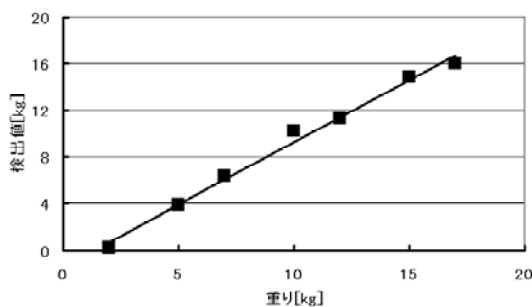


図8. センサ部位の圧力検出特性

4.3 すべり量測定

被測定物が摩擦を伴いながら移動した移動距離をすべり量と定義している。実験では、センサ部位上で質量 1kg の重りを感圧点間距離 0.02m、0.04m、及び、0.06m のそれぞれに対して滑らせ、システムの検出値との比較を行った。その結果、図9に示すように検出値と実際のすべり量は、ほぼ一致していることが確認できた。なお、実験時の測定条件は、システムのサンプリング周期 520kHz、センサ部位の表面温度 24℃、湿度 33%であった。

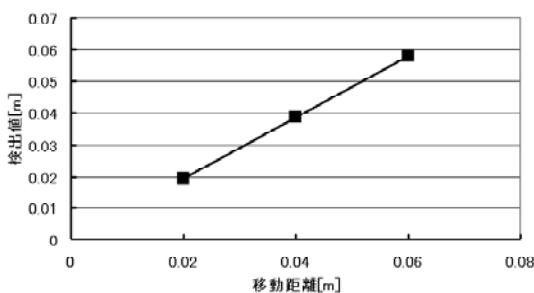


図9. すべり量の検出特性

5 まとめ

シート式すべり検出システムの高精度化と定量的な評価技術の確立を目指し、システムの改良を行った。その結果、これまでのシステムと比較し、センサ部位の厚さを約4分の1に薄型化、感圧点数を約5.8倍に高密度化することができた。また、試作したアンプボックスによる信号の高出力化と、電源ラインのノイズ対策によるSN比の改善により、出力信号の精度と信頼性が向上し、検出プログラムにおけるロジックの見直しと機能強化により、検出情報の定量的な評価が可能になった。

システムの評価実験では、すべりと転がりの判定率が向上し、旧システムとの比較では、誤判定が3分の1となり、検出精度の向上が確認できた。また、圧力特性の評価では、2～17kgの負荷範囲で線形性を確認し、すべり量の評価実験では実測値とほぼ一致した結果が得られた。今回の試作では、感圧素子を4×4のマトリクス状に配置したが、実用的な使用を考えると、さらに感圧点を高密度化していく必要がある。今後は、実用性を考慮した感圧素子の配置方法や配置数などを調査し、評価装置としての応用を検討していく。

参考文献

- 1) 関根俊彰, 田中智大: すべりセンサの開発と応用, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **2**, (2004), 57
- 2) 田中智大, 関根俊彰: すべり検出システムの精度向上と実用化, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **4**, (2006), 18
- 3) 関根俊彰, 田中智大: すべり検出システム及びすべり検出方法, 特開 2005-342443
- 4) 田中智大, 関根俊彰: 福祉ロボットへ応用可能な触覚センサの開発, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **3**, (2005), 30
- 5) 関根俊彰, 田中智大: 柔軟なセンサ部位を用いたすべり・転がり検出システム及び検出方法, 特開 2006-343195