

29 センサ自身の柔軟な変形にもとづいた磁気式触覚センサの開発と応用

中本裕之

1 目 的

日本の産業用ロボットの出荷・稼働台数は世界一であり、HONDA の ASIMO に代表されるヒューマノイド型のロボットも多数開発されている。これらロボット技術を高度化することが日本の技術的優位性を維持するために不可欠となるが、産業用ロボットは旧来の教示再生型の動作のみを行っており、器用な動作でものづくりをすることはない。ヒューマノイドロボットも歩行・走行ができるが、道具の把持・操りなど具体的な作業までには至っていない。熟練の作業者のように作業状態の正確な認識や、器用な把持・操り動作を実現するためには、人間の触覚に相当するセンサが必要であり、安価で耐久性の高い触覚センサが求められている。

これまで、感圧ゴム、 piezo素子、光学素子などを利用した触覚センサが研究されてきたが、デファクトスタンダードとなる製品は現れていない。この要因としては、計測できる対象が限定されていること（例えば、圧力のみ、すべりのみ）、シート状で柔軟性が乏しく十分な接触面積が得られないこと、必ず接触・機械変形を伴うことから断線や破損の不具合が生じ易いことが挙げられる。接触を計測するニーズが多くあるが、実用化の遅れから市場が成熟しないという負の循環にある。

これらの背景から、触覚センサの必要な要素として次の3点が挙げられる。

- ・力とすべりのように異なる情報を同時計測できること
- ・人間の皮膚と同様に柔軟に対象物と接触できること
- ・安価で耐久性が高いこと

この3点を満たすことが可能な触覚センサとして、我々は永久磁石と磁気抵抗素子、インダクタを用いた磁気式触覚センサを提案し、3軸の変位と力の計測、すべりの検出が可能なことを検証してきた。しかし、直径20mm程度まで小型化のニーズがあり、そのためには各素子間の位置関係を適切に決定する必要がある。そこで本研究では、磁界シミュレーションを用いて磁気式触覚センサの設計を行い、その試作と評価を行った。本論文ではその結果について報告する。

2 磁気式触覚センサ

提案する触覚センサの構造を図1に示す。柔軟層と基板層からなる単純な構造であり、両者の間に配線は無い。人間の皮膚と同様に対象との柔軟な接触を可能とし、断線がなく、磨耗しても交換の容易な構造とした。動作

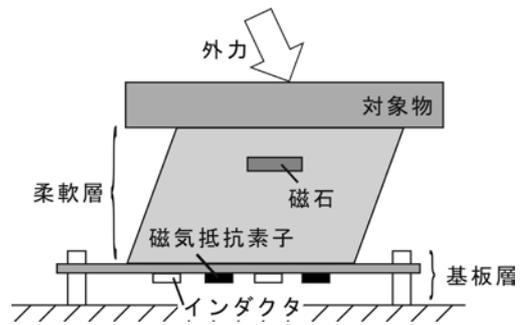


図1 触覚センサの構造

原理は次の通り。柔軟層の変形によって磁石が変位する。その結果生じる磁界強度の変化を磁気抵抗素子で、磁束密度の変化をインダクタで計測し、それぞれ増幅回路を介してPCへ取り込む。磁気抵抗素子の出力から変位と力を算出し、インダクタの出力からすべりを検出する。

3 磁界シミュレーションによる設計

Ansoft社の電磁場解析シミュレータ(Maxwell 2d)を用いて、磁界の強度と磁力線方向を評価するためのシミュレーションを行った。センサに使用する磁気抵抗素子が測定可能な最大磁界強度は約2.0mTである。また、柔軟層内の永久磁石は円筒形のネオジウム磁石(Nd35)、基板層は厚さ1.6mmのガラスエポキシ基板であるとした。直径6.0mm、厚さ1.0mmの円筒形のネオジウム磁石を基板から15mm離れた地点に設置した場合の磁束線と磁界強度の分布に関するシミュレーションの結果を図2に示す。図2の上部の短い長方形が磁石、下部の長い長方形が基板であり、磁石から放射状に出ている線が磁力線、磁石を中心にする円が磁界の強度の分布を示している。この図ではその円の最も内側の線が2.0mT、外側の線が1.0mTの磁界強度の分布を表わしている。この磁力線の分布より、磁気抵抗素子を永久磁石の直下から10mm以上離れた箇所に設置した場合に高い精度が得られると考えられる。また、図2に示した磁界強度の範囲は、1.0mTから2.0mTであり、永久磁石の直下から15mm以上離さないで測定値が飽和する。しかしながら、この触覚センサに実際に用いる永久磁石の磁界強度をガウスメータで測定したところ、シミュレーションのおよそ1/2の値であった。そこで、永久磁石の直下から10mm離れた箇所に磁気抵抗素子を配置するよう設計を行った。

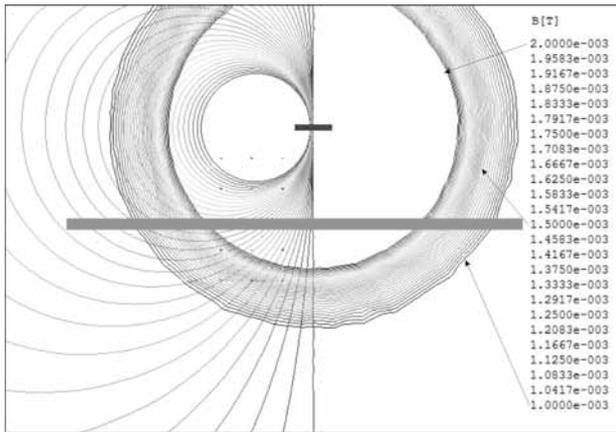


図2 磁気シミュレーション例

4 実験

試作した直径 20mm の磁気式触覚センサを図3に示す。また、3 軸自動ステージを使って柔軟層を $z=2\text{mm}$ 押し込んだ後、 x, y 方向（せん断方向）に与えた変位と、センサの出力した変位の比較を図4に示す。 x, y の原点は柔軟層の中心の初期座標と一致する。ステージで加えた変位とセンサの出力した変位がほぼ一致しており、誤差は 0.2mm 以下となった。同実験においては、誤差 0.1N 以下で力の算出ができることも確認した。また、すべり検出の実験の結果を図5に示す。この実験ではレーザー変位計を用いて、柔軟層表面と対象物（アクリル）との間で固着とすべりが交互に発生するスティックスリップ現象を検出した。レーザー変位計の出力が大きく変化している時間にすべりが発生しており、それと同時にインダクタの出力も大きくなっている。それらインダクタの出力を基に 3 管理によりすべり検出を行ったグラフが図5の下部に示しているが、同じタイミングですべり検出ができていることがわかる。

直径 4mm の円筒部材をセンサの表面に固定し、スナック菓子を潰す実験を行った結果を図6に示す。図6の横軸は時間、左縦軸は x, y, z のそれぞれの変位、右縦軸はインダクタの出力を示す。スナック菓子が崩れるタイミングでインダクタの出力が大きくなっており、 x, y, z の変位と合わせると崩れる大きさと方向が明確にわかる。この結果から、食品の脆さやサクサク感などを3軸で計測できることが明らかとなった。

以上の結果は、直径 20mm の柔軟層を試作、評価したものであるが、直径 10mm の柔軟層からなる磁気式触覚センサも試作し評価した。その結果、同様に変位と力の算出と、すべりの検出ができることを確認した。

5 結論

磁界シミュレーションを用いて磁気式触覚センサの設計を行い、直径 20mm、10mm の磁気式触覚センサの試作、評価を行った。今後は県内企業と実用化を進める。

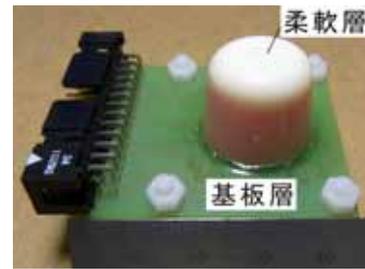


図3 試作センサ

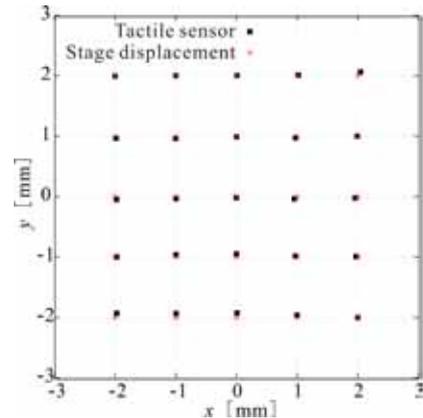


図4 自動ステージの変位とセンサの変位出力

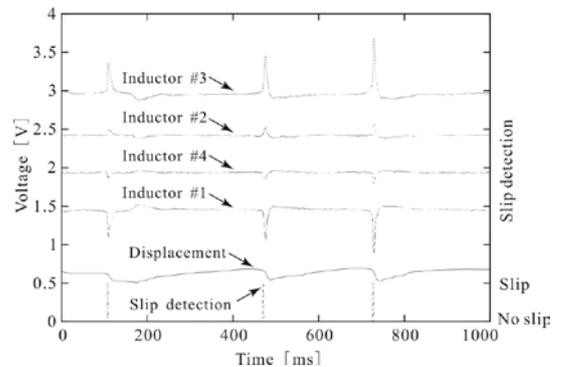


図5 すべり検出結果

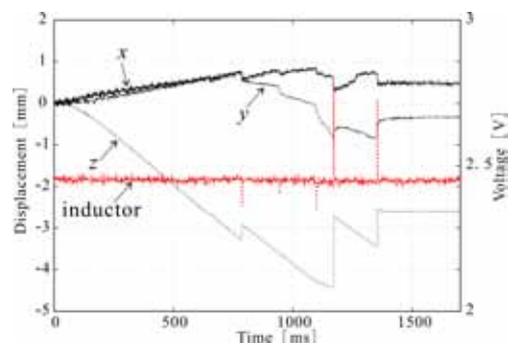


図6 スナック菓子を押しつぶした場合の結果

(文責 中本裕之)
(校閲 三浦久典)