

## 福祉ロボットへ応用可能な触覚センサの開発

- 触覚情報検出システムについて -

田中智大\*<sup>1</sup> 関根俊彰\*<sup>2</sup>

### Development of Tactile Sensor Applicable to Welfare Robot

- About a tactile information detecting system -

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

#### 抄録

福祉ロボットの実用化が進む中で、介護空間における安全性については様々な議論がなされている。特に人と接する環境下においては、対人親和性の高いロボットの開発が求められており、安全性への要求は高まるばかりである。対人親和性の高いロボットの実現には、ロボットに人間と同じような皮膚感覚を持たせることが極めて重要であり、同時に人体に対する接触面の柔軟さも要求される。本研究では皮膚感覚の中でも特に重要となる圧覚及びすべり覚に注目し、柔軟なセンサ部位を有する触覚情報検出システムを開発した。

キーワード：触覚センサ，すべりセンサ，光ファイバセンサ，福祉ロボット

#### 1 はじめに

高齢者や障害者の自立を支援し、介護者に掛かる負担を軽減しようとする試みが福祉ロボットの実用化という形で進んでいる。一方で福祉ロボットの安全性についても盛んに議論がなされており、特に人と接する環境下においては対人親和性の高いロボットの開発が求められている。人は物をつかむ際に適度な力で把持することができるが、これは人が皮膚感覚（圧覚，温覚など）で力の強さや物体の質感を捉え、力をコントロールしているからである。すなわち、対人親和性の高いロボットの実現には、ロボットに人間と同じような皮膚感覚を持たせることが極めて重要であり、同時に人体に対する接触面の柔軟さも要求されることになる。

本研究では皮膚感覚の中でも特に重要となる圧覚及びすべり覚に注目し、接触面となるセンサ部位の柔軟性を確保しつつ、福祉ロボットへ応用可能な触覚情報検出システムを開発した。

#### 2 検出原理

##### 2.1 光ファイバセンサ

センサ部位における触覚情報の検出手段として、静電容量型圧力センサや感圧導電性ゴム式圧力センサ、光ファイバセンサなどを検討した。その結果、本システムが要求する検出精度や素材とのマッチングなどにおいて、光ファイバセンサが最も適切な検出手段であるとの結論に至った。そこで、本システムでは光ファイバセンサをベースとしてセンサ部位の開発を行うこととした。

光ファイバセンサの特徴としては、データ伝送媒体が光であるため、ノイズや熱に強く、磁気などの影響を受けないなどのメリットが挙げられ

\*<sup>1</sup> 福祉・デザイン部

\*<sup>2</sup> 生産技術部

る。また、通常使用下においては、劣化が少なく半永久的な使用が可能である。

## 2.2 圧力検出の原理

発泡ウレタンに光ファイバの入出力を対向に配置することによって光ファイバセンサを構成し、単一セルの感圧点とした(図1)。

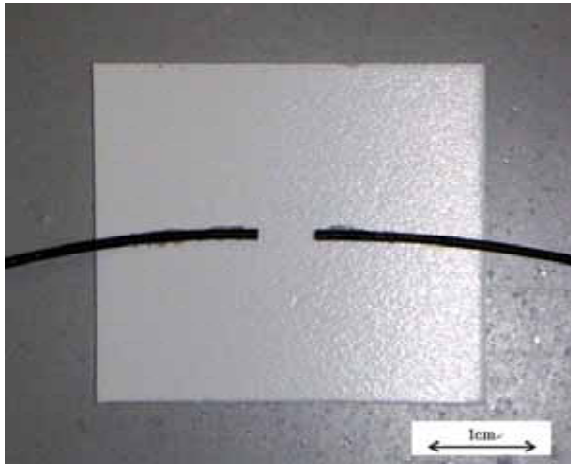


図1 光ファイバにより作製した感圧点

発泡ウレタンは外部から圧力を加えることで内部の気泡が収縮し、光の透過率が低下する特性を持つことで知られている。

すなわち、対向に配置された光ファイバの中心部において、発泡ウレタンが圧迫されると、光の透過率が低下し、光ファイバから照射された光の入力/出力比が増大する。

本システムでは、発泡ウレタンの収縮に伴う入力/出力比の変化を負荷圧力に対応させ、圧力検出の原理とした。また、この原理を応用し、図2に示すような圧力検出面を作製することとした。

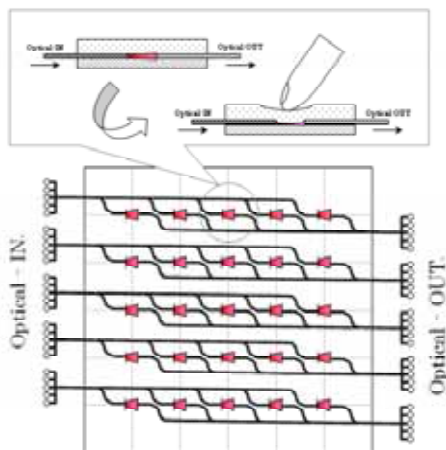


図2 圧力検出面における圧力検出原理

## 2.3 すべり検出の原理

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。

本研究では、感圧点を二層に配置することによって、物体の移動に伴う感圧点座標の上面と下面における変位量を検出し、この変位量から位相差を求め、位相の遅れ量からすべり値を求める原理を考案した。また、この検出原理を実現するため、前述の圧力検出面を二層に配置し、すべりを検出できるセンサ部位を作製することとした。本システムにおける基本的なすべり検出の概念を図3に示す。

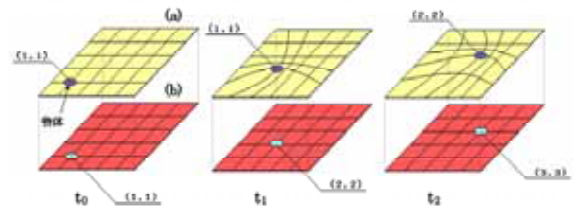


図3 すべり検出の概念図

いま、質量 $m$ の物体がセンサ部位上の座標(1,1)に置かれているとする。また、この物体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)にあった物体に対し接線方向に力を加えると、物体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、力を加え続けると物体はすべり始め、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。

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4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、物体が摩擦を伴いながらセンサ部位上を移動する場合には、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とらえることで、すべりの検出が可能になるわけである。

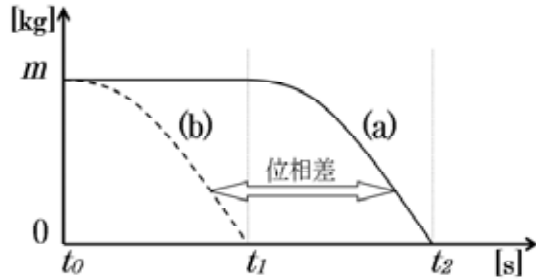


図4 座標(1,1)における圧力の時間変化

### 3 システム構成

#### 3.1 触覚情報検出システム

##### 3.1.1 センサ部位

著者らは、物体のすべりを検出するためのシステムを検討し<sup>4)</sup>、すべり検出システムを開発した<sup>5)</sup>。このシステムは、センサ部位上に置かれた物体の重心変位と接線方向の摩擦力とを比較し、すべりの判定を行うことを原理としている。そのため、検出手段には3軸力覚センサを使用する必要があり、センサ部位には金属プレートなどの硬い素材を用いる必要があった。

本研究では、曲面におけるすべりの検出を可能にするため、センサ部位の柔軟性の確保を第一の課題ととらえ、同時に薄型化を目指すこととした。

センサ部位の柔軟性を決定する上で、素材の選定は非常に重要であるため、ゲルシートや発泡ウレタン、立体繊維などについて十分に検討した。その結果、発泡ウレタンが柔軟性や応答性、収縮に伴う透過光の変化率などの点で最も優れていたため、センサ部位の素材には発泡ウレタンを採用することとした。また、光ファイバを固定する基材には、光ファイバとの接着度合と柔軟性との兼ね合いから、低発泡塩ビ板を採用することとした。

なお、光ファイバセンサのアンプ部にはキーエンス社製の FS-V21RM を使用し、光ファイバには直径 1mm、屈曲率 3mm のプラスチックファイバを使用した。

本研究では、低発泡塩ビ板と発泡ウレタンとの

間に光ファイバセンサを  $5 \times 5$  のマトリックス状に展開し、30cm 角の圧力検出面を作製した(図5)

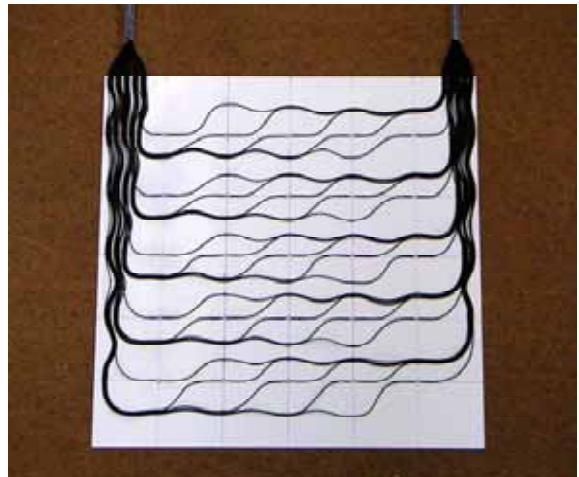


図5 作製した圧力検出面

また、この圧力検出面を二層に配置することで、すべり検出が可能なセンサ部位を作製した(図6)

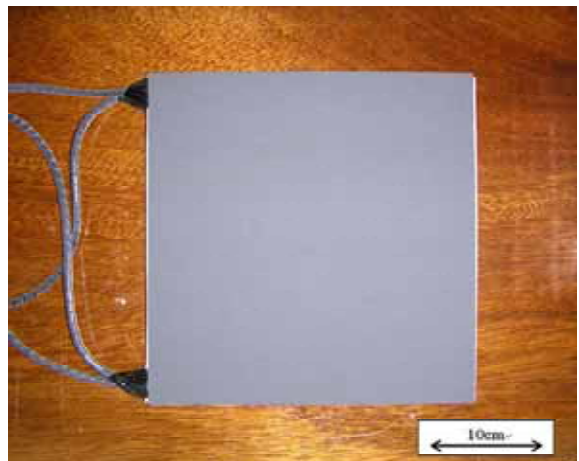


図6 圧力検出面を二層に重ねたセンサ部位

##### 3.1.2 触覚情報検出プログラム

センサ部位で検出された触覚情報は、光ファイバアンプにより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 LabVIEW7.0 により開発した触覚情報検出プログラムが格納されている。

この触覚情報検出プログラムは、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、物体の移動に伴う感圧点座標の上面と下面における変位量から位相差を検出し、位相の遅れ量からすべり値を求めるものである。

触覚情報検出プログラムのフロント画面は図7

に示すとおりであり、画面の左下にセンサ部位の下面における圧力分布が表示され、画面の右下にセンサ部位の上面における圧力分布が表示される。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、転がり検出にそれぞれ対応しており、いずれかの触覚情報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となっている。

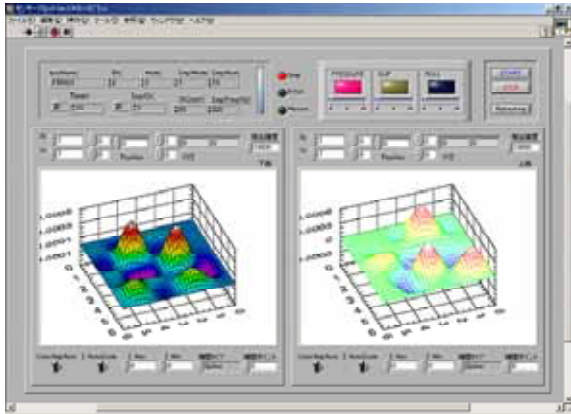


図7 触覚情報検出プログラムのフロント画面

### 3.2 ハードウェア環境

センサ部位から入力された光信号は光ファイバアンプによりアナログ信号に変換される。この光ファイバアンプには、キーエンス社製のFS-V21RMを使用した。なお、応答時間は250  $\mu$ sに設定し、出力電圧の最大値は5Vとした。

光ファイバアンプより出力されたアナログ信号はA/D変換ボードへ入力され、制御端末に取り込まれる。A/D変換ボードにはInterface社製のPCI-3177C(12bit\_D32/S64)を使用した。また、制御端末の仕様は、CPU:Pentium4 / 3.2C GHz, RAM:DDR SDRAM PC3200 CL3 / 512MB x 2, OS:Windows2000 / SP4である。

## 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 光ファイバセンサの負荷特性

圧力検出面における光ファイバセンサ単体の負荷特性を把握するため、単一セルによる圧力検出実験を試みた。

単一セルの光ファイバセンサ上に5~13kPaの範囲で負荷圧力を加え、そのときの光ファイバアンプの出力電圧を測定した。

その結果、図8に示すような負荷圧力特性が得られた。負荷圧力が10kPaを超えると光ファイバアンプの出力電圧は飽和するが、7~10kPaの範囲内では負荷圧力に対し、ほぼ線形に変化していることが確認できる。すなわち、この光ファイバセンサの有効測定範囲は7~10kPaの範囲内にあると言える。

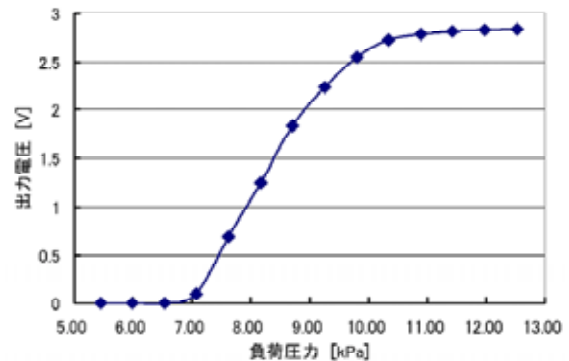


図8 光ファイバセンサの負荷圧力特性

### 4.2 触覚情報検出システムの評価実験

触覚情報検出システムにおける圧力検出精度やすべり及び転がりの判定精度を調べるため、評価実験を試みた。

センサ部位上に質量3kgの物体を乗せ、物体をすべらせた場合と転がした場合におけるプログラムの判定状況について調べた。

その結果、物体をすべらせた場合には図9に示すような判定結果が得られた。この場合、センサ部位の上面と下面において検出された圧力値に位相差が生じており、下面に対し上面の位相が遅れていることが分かる。これは、すべりの際の表面摩擦によりセンサ部位の上面が引張られ、下面との間にズレが生じているためである。このとき、画面右上にあるSLIPランプが点灯しており、すべり判定が正確に行われていることが確認できた。また、物体を転がした場合には図10に示すような判定結果が得られた。この場合、センサ部位の上面と下面において検出された圧力値に位相差は生じていない。これは、物体が摩擦を伴わず

移動したことを示している。このとき、画面右上にある ROLL ランプが点灯しており、転がり判定が正確に行われていることが確認できた。

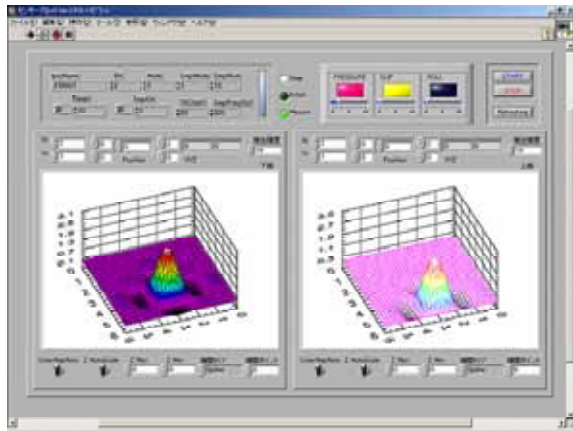


図9 物体をすべらせた際の判定状況

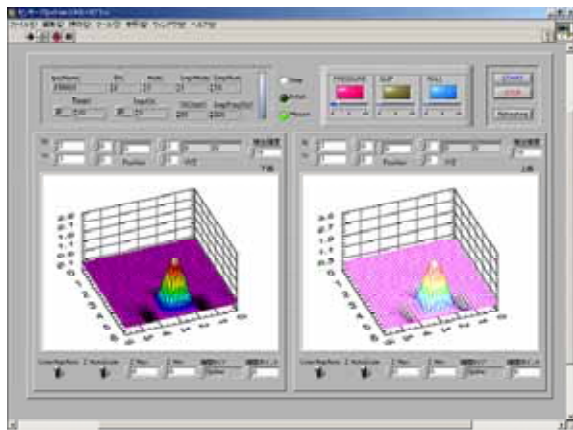


図10 物体を転がした際の判定状況

## 5 まとめ

本研究では、触覚情報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として触覚情報検出システムを開発した。本システムのセンサ部位には薄く柔軟な素材を用い、対人親和性の向上を図った。また、触覚情報を検出するためのプログラム開発には NATIONAL INSTRUMENTS 社製の LabVIEW7.0 を用い、考案した検出原理を実現した。

触覚情報検出システムの特性評価では、物体をセンサ部位上ですべらせた場合と転がした場合において判定実験を行い、その精度について考察を行った。その結果、8割近い確率ですべりと転がりの判別が可能であった。

今後の課題としては、センサ部位における検出精度の向上、感圧点の高密度化、触覚情報検出プログラムのマイコン化などを予定している。

## 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
- 4) 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
- 5) 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, 特願 2004-169173