

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 6日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700184

研究課題名（和文） 柔軟変形する接触面の情報を取得する柔軟接触型力覚センサの開発

研究課題名（英文） Development of a flexible structural contact force sensor which obtains the contact information on the contact surface

研究代表者

齋藤 直樹（SAITO NAOKI）

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号：60315645

研究成果の概要（和文）：本研究では、接触部が柔らかい力覚センサを開発した。信号検出素子にカーボンナノチューブを混入したポリカーボネート材を使用し、4軸の力が検出できるセンサ構造を検討した。ニューラルネットワークの学習プログラムにより、入出力の関係を同定し、出力信号から4軸接触力が求められることを実験的に確認した。また、接触面の接触情報を取得できる、柔軟変形可能なタクタイルデバイスを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a flexible structural contact force sensor. A polycarbonate with vapor grown carbon fiber sheet was used to translate from pressure to electrical signals. We have arranged this material into the sensor to measure four axis contact forces. A relation between four axis contact force and output signals are identified by a learning program of neural network. We confirmed that four axis contact force can estimate appropriately by this learning program and output signals experimentally. In addition, we have developed a flexible tactile device which can detect contact points. Detection capability of contact point was confirmed experimentally.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム

1. 研究開始当初の背景

人間の指先の内部構造が明らかになるにつれて、この特徴を接触センサなどに応用することで、

- 反応できる力のレンジが広がる
- 接触対象物の形状になじみやすい
- 接触力が計測できる
- 滑りや質感などの触覚感覚を識別できる

といったことの実現が期待できる。こうした研究は様々行われているが、いずれも人間の指の機能を解明するためのセンサという傾向が強く、産業への応用は難しい状態にある。

2. 研究の目的

こうした指の機能を考慮して、より高度な接触情報が取得できる、簡単な構造および信

号処理で使えるデバイスの実現を目指して、接触面の情報を取得する柔軟接触型力覚センサを開発する。

この中で本研究では、人の指の特徴として柔軟変形が可能で、接触力を計測でき、接触箇所情報を取得することに注目して、柔軟変形可能な4軸力覚センサと、柔軟変形可能な接触点検出タクトイルデバイスを開発することとした。

このタクトイルデバイスは将来的に柔軟接触型力覚センサの接触部に実装し、力覚だけでなく、接触対象物との接触面内の情報を取得できるデバイスに統合する。

3. 研究の方法

はじめに4軸の力センサの構造を検討する。ここでは以前に提案したセンサ構造を改良し、垂直方向の分力に変換する構造を検討する。分力への変換は力センサの接触部で行うため、接触部の試作を行い、分力の状態を実験的に確認して適切な形状を決定する。

次に、感圧導電材として利用するPC/VGCFシートの特性を明らかにしたうえで、先に求めた接触部と組み合わせ、4軸の力センサを開発する。

センサ出力と4軸方向の接触力の関係はニューラルネットワークで同定を行い、センサ出力から接触力の算出が可能であることを実験的に確認する。

一方、センサ接触部への実装を目的とした柔軟変形なタクトイルデバイスについては、はじめに原理の検討を行い、実際に試作して接触状態の検出実験を行う。ここでは人間の指と比較して十分な柔らかさを持つデバイスを検討する。

4. 研究成果

(1) 柔軟接触部を有する力センサの開発

開発した4軸力センサを図1に示す。このセンサは、シリコンゴムでできており、接触に対して柔軟変形が可能で、接触力を4つの分力に分ける接触部と、その分力を出力信号に変換する計測部からなる。

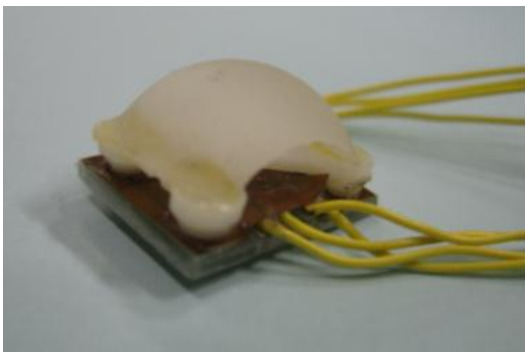


図1 4軸力センサ

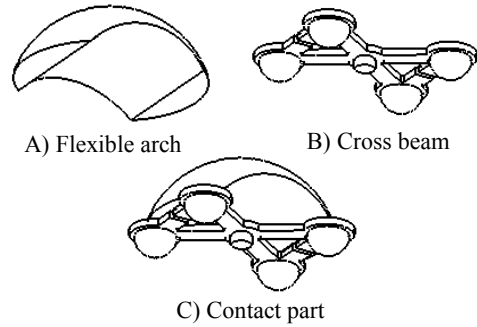


図2 接触部詳細図

接触部の詳細構造を図2に示す。この接触部の構造により、接触力の分力は図3のような傾向になると考えられる。実際に計測しているときには、複数の軸方向の力が同時にかかるため、分力は図3の接触部の分力を重ね合わせた結果となる。

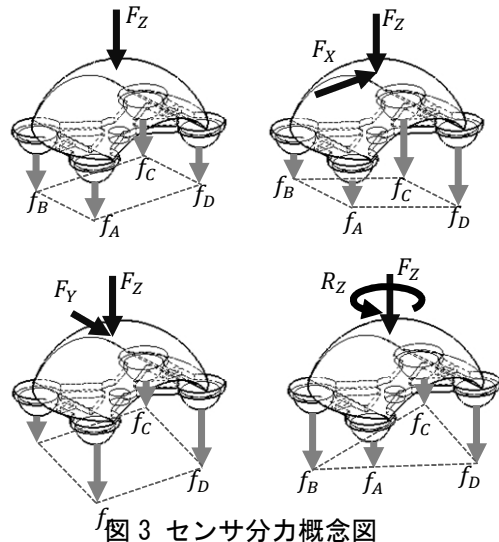


図3 センサ分力概念図

各軸方向の接触力における分力の出力結果を図4に示す。

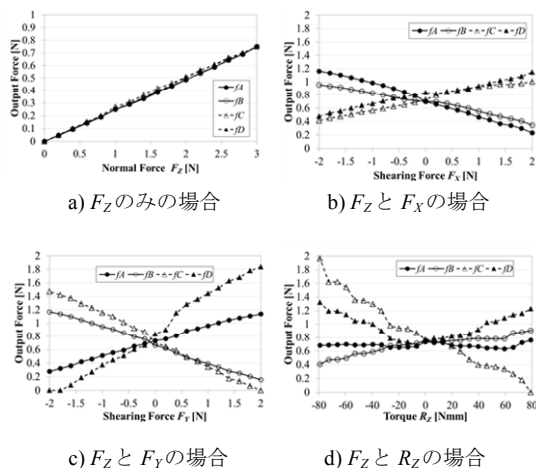


図4 分力の計測結果

この結果から、4軸のそれぞれの力の方向に従って出力される分力が異なるため、試作した接触部を用いて4軸の接触力を求めることが可能であるといえる。

次に、分力を計測する計測部の構造を図5に示す。感圧導電材であるPC/VGCFシートを上下を基盤で挟む構造である。上側がフレキシブル基盤になっており、分力を計測部に伝える。

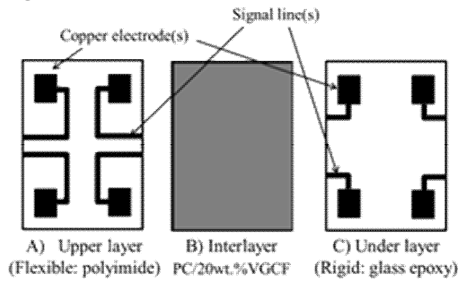


図5 計測部構造図

この計測部にかかる分力と電圧変化との関係は図6のようになっており、高感度なデバイスであるといえる。

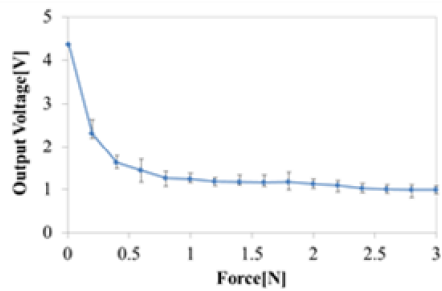


図6 計測部の出力電圧特性

以上の構造的特徴を持つ接触部と計測部を合わせて図1に示す4軸接触力センサを試作した。このセンサによる接触力の推定を実験的に行った。

各軸方向の外力を与え、出力信号との関係をニューラルネットワークを用いて推定した結果を図7に示す。この結果より、実験で与えた外力と、ニューラルネットワークにより推定した結果はほぼ一致していることがわかる。このことから、開発したセンサで4軸接触力の推定は可能であるということがわかった。また、図8は、垂直力と、2軸のせん断方向に同時にせん断力を加えた結果である。この結果から、垂直力は実験条件である3Nが得られており、良好である。しかし、せん断力に関しては、図中の斜線付近に推定結果が表れるのが理想的であるが、特に F_x に関して、あまり良好な結果が得られなかった。この原因として、接触部の固定方法に問題があると考えられ、この点は今後の課題である。

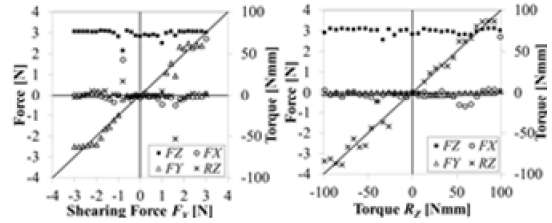
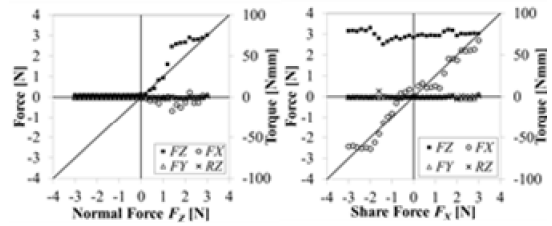


図7 4軸接触力の推定結果

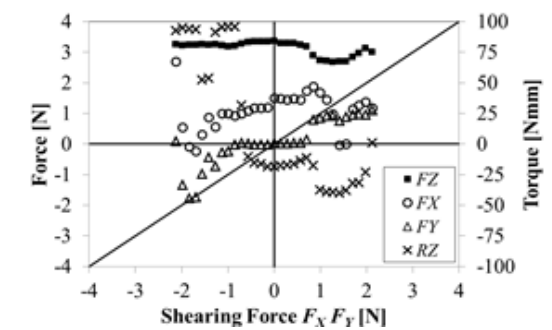


図8 2軸方向のせん断力と垂直力を加えた場合の推定結果

以上の結果から、改良の余地はあるものの、接触部が柔らかく、4軸方向の接触力が計測できる、PC/VGCFシートを利用した力センサの実現の可能性を示唆することはできた。

(2)柔軟なタクトイルデバイスの開発

次に、このセンサの接触面情報を取得することを目的として開発した、柔軟なタクトイルデバイスの模式断面図を図9に示す。

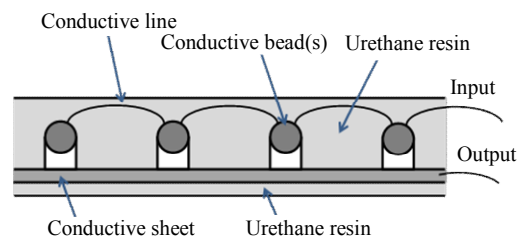
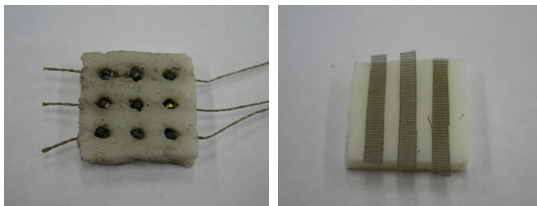


図9 柔軟タクトイルデバイス模式断面図

このデバイスが取得する接触面情報とは、接触した場所、形状程度でよいと考える。したがって、過度の情報量の増加を抑えることを考え、本研究では、簡易式のスイッチ回路を採用することにした。図9より、導電ビーズがウレタン樹脂内にドームスイッチ状に埋

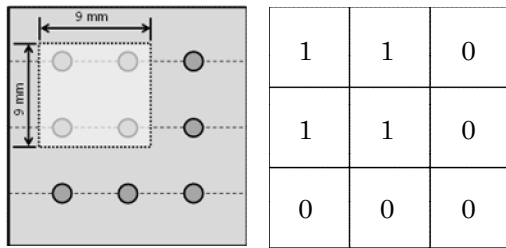
め込まれ、接触によるウレタン樹脂の潰れによってビーズと下側の導電シートが通電し、信号が流れるというものである。したがって、得られる情報は接触箇所の接触有無のみとなる。この導電ビーズを平面にマトリクス状に配置して、キーマトリクス方式の信号処理を適用し、多点接触情報検出を行う。

ウレタン樹脂には、人肌ゲル（硬度 0）を用いた。このウレタン樹脂はアスカ-C 硬度が 0 という大変やわらかい特性を有しており、人の指の腹部と同程度の弾性特性を持つ。この人肌ゲルはおよそ 10mN/mm^2 の接触圧力で 1.0mm 程度変形することを実験的に確認しており、この結果を基に、導電ビーズと導電シートのギャップを 1.0mm 未満にすることを目安にして、デバイスの試作を行った。試作したタクタイルデバイスを図 10 に示す。



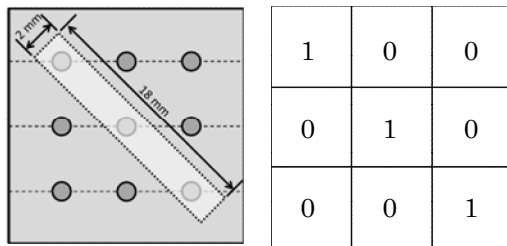
a) Upper layer b) Under layer
図 10 柔軟タクタイルデバイス

このタクタイルデバイスは、導電ビーズ直径が 1.5mm であり、ビーズ中心間距離が 5mm 、外形 $18 \times 18 \times 6\text{mm}$ である。このデバイスを用いて、接触箇所検出実験を行った。プローブを押し当て、接触が検出された時の接触圧力と検出箇所を測定した。結果の例を図 11～図 13 に示す。右側のマトリクスは 1 で接触検出、0 で反応がないことを表している。



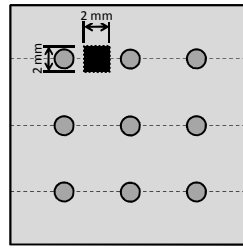
Contact pressure 4.930mN/mm^2

図 11 接触検出実験結果 (1)



Contact pressure 5.739mN/mm^2

図 12 接触検出実験結果 (2)

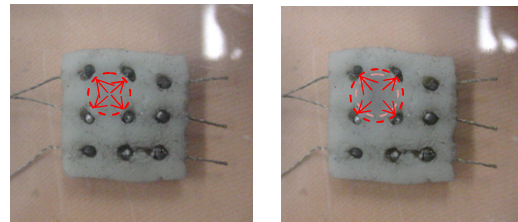


0	0	0
0	0	0
0	0	0

Contact pressure $\sim\text{mN/mm}^2$

図 13 接触検出実験結果 (3)

この結果から、導電ビーズのあるところを接触検出箇所として考えた時に、ビーズ上に接触が発生した場合のみ反応することが分かった。このことは、本来接触していない場合でも構造的変形で接触反応を起こすクロストークが発生しない、良好な結果であるといえる。ここで、クロストークを抑えられた原因について考察する。図 14 は、図 13 のときのようにビーズの上以外の箇所にプローブが接触したときのビーズ周辺の様子である。



a) Low pressure b) high pressure

図 14 タクタイルデバイスの変形

この結果から、ビーズ以外のところにプローブが接触した場合、ビーズと導電シートの上に人肌ゲルが入り込み、ビーズと導電シートの間を埋めているため、クロストークが抑えられているといえる。

このことから、本タクタイルデバイスは人の指の腹部のように柔らかく、クロストークが発生することなく接触箇所の検出ができる、柔軟接触センサの接触面情報を適切に取得できるデバイスとして有用であることが分かった。

(3)まとめ

今後は、このタクタイルデバイスを、図 1 に示した 4 軸力センサの接触部形状になるように成形して力センサに実装し、4 軸方向の接触力だけでなく、その時の接触面の位置や大きさなどの情報を取得できる、より高度な情報が取得できる力センサの開発を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

① Naoki Saito, Noboru Nakayama, Toshiyuki Sato, “Development of a four-axis flexible contact sensor using conductive material”, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011), pp.1984-1989

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 直樹 (SAITO NAOKI)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号 : 6 0 3 1 5 6 4 5

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :