



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | Tactile Sensors Using Micro Cantilever Structures for Normal and Shear Stresses   |
| Author(s)    | 黄, 裕銘   |
| Citation     | 大阪大学, 2008, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/49599">https://hdl.handle.net/11094/49599</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【38】

|               |  |
|---------------|--|
| 氏 名           | 黄 裕 銘  |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)  |
| 学 位 記 番 号     | 第 2 2 4 9 7 号  |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 20 年 9 月 25 日   |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>基礎工学研究科システム創成専攻  |
| 学 位 論 文 名     | Tactile Sensors Using Micro Cantilever Structures for Normal and Shear Stresses<br>(マイクロカントレバー構造による垂直および剪断応力検知触覚センサ) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 奥山 雅則<br>(副査)<br>教 授 岡本 博明 教 授 酒井 朗 准教授 金島 岳   |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、著者が大阪大学大学院基礎工学研究科（システム創成専攻、電子光科学分野）の奥山雅則教授の指導のもとで行った “Tactile Sensors Using Micro-Cantilever Structures for Normal and Shear Stresses”（マイクロカントレバー構造による垂直および剪断応力検知触覚センサ）に関する一連の研究をまとめたもので、本文 6 章と謝辞により構成されている。以下は各章の概要を記す。

**第 1 章 序論** 近年、ロボットと MEMS 技術が注目されている。本研究論文では近い将来に日常生活に入ってくる次世代のロボットに対して、ロボットの安全性と作業性の向上を目的として、人間並みの触覚を実現するために、ナノ薄膜と MEMS 技術を応用した集積多軸触覚センサを開発する。将来、家庭へ導入されるヒューマンサポートロボットは、人を支え上げるような、人に直接接触する場面が多くなる。また家事を支援する際には、コップや皿を持ち運ぶために、力を入れすぎてものを破壊することなく、しかも力を抜き過ぎて滑り落とすことのないよう、適切な力でのものを把持する必要がある。

**第 2 章 触覚センサの原理とデザイン** 本章では、提案するセンサ構造と相似する模型を作製し、実際のセンサより得られるであろうデータを模擬的に取得することにより、提案する計測原理によって垂直と剪断応力とが同時に検出

可能であることを確認する。この模擬センサではひとつのカンチレバーをセンサ素子とし、センサ素子を縦軸方向と横軸方向に2本ずつ対に配置する。そして、構造体全体を覆うように弾性物体（エラストマー）が塗布される。この弾性物体の表面上に加わる外力によって、カンチレバーは個々に異なる変形をする。既知の力を与えたときのセンサ出力を測定し、それらの関係定数を定めることができ、任意の力に対するセンサ出力から力を求められることを示した。一方、有限要素法で触覚センサを解析した。その結果垂直と剪断応力は同時に検知でき、カンチレバーに発生する内部応力分布から剪断応力が検出しやすいことを検証した。

**第3章 カンチレバー作製と最適化** ここではセンサ素子としてカンチレバーのデザインと作製について説明する。まず、立体構造と平面形状に関して検討し、有限要素法を用いてカンチレバーの形状を解析した。有限要素法によりカンチレバーに横方向に力を印加した時のカンチレバー変形を分析し、形状制御層としてCr、フッ素ポリマーが適用していることを示した。あるいは立体構造についてカンチレバーの反り量の測定値と有限要素法の解析値と比較し、一致することが分かった。平面形状として実際に作製して評価したところ、三角形と矩形が有効であることを検証した。

**第4章 エラストマー材料と応力解析感度** 本触覚センサにおいては、エラストマーの材料がセンサの性能を左右すると考えられる。本研究では三種類のエラストマーを検討した。エラストマーとしては人体に対して無害であり、表面が柔らかいことが必要条件である。基板との密着性も重要である。これらの観点から本研究では、PDMSとウレタンゲルを選択した。これらのエラストマーは人体の皮膚のような弾性があり、カンチレバーの構造を保護しながら力を印加した時、エラストマーも変形した。次に、エラストマーの変形量とセンサの感度は関係してると考え、有限要素法と実際測定の値と比較した。その結果エラストマーのヤング率によりセンサの感度を制御することができると考えられる。エラストマーを塗布したセンサを作製し、エラストマーとしてPDMSを用いた時、広い範囲で印加した力とセンサ出力が直線的に変化することが分かり、良好な応答が得られた。しかし、ヤング率の小さいウレタンゲルを用いた時は、感度は大きくなったが、ヒステリシスを持ち良好な直線性が得られなかった。

**第5章 ひずみゲージ作製と高性能化** 本研究で提案している触覚センサにおいて、力の検出にひずみゲージを用いた。本章ではひずみゲージに用いる材料を検討した。感度の点から、ひずみに対する抵抗変化率（ゲージ率）の大きい材料を選択した。実際に半導体（p<sup>+</sup>-Si）と金属（Pt）ひずみゲージを用いたセンサ測定を作製し、応答特性を調べた。しかし、センサ出力にドリフトが見られ、その原因の一つとして温度の影響を考えた。そこで抵抗温度係数が小さい材料であるNi-Crを選択しひずみゲージを作製した。Ni-Crを用いた触覚センサの応答特性によると抵抗の温度影響を改善することができ、垂直と剪断応力を同時に検知できた。空間分解能に関しては四素子で1mm<sup>2</sup>サイズが実現できた。

**第6章 結論** 本研究の結果により、提案された触覚センサは目標を達成し、将来、家庭へ導入が期待されているヒューマンサポートロボットへの応用が可能であると考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

ロボットは機器の自動組み立てや歩行する人型のものとして知られているが、次世代ロボットとしては日常生活に入って人に直接触れてサービスをするものが期待されている。その動作には十分な安全性と作業性が確保されねばならず、人間並みの触覚センサが必要となる。申請者はこの高度な触覚機能を有するセンサを設計、試作、評価を行った。

作製された触覚センサは、シリコン(Si)基板上の傾斜した薄膜カンチレバー上にビエゾ抵抗膜を積層し、弾性体厚膜でコートした構造を持つ。対抗する2つのカンチレバー上のビエゾ抵抗膜の歪みは、垂直応力に対し同符号であるが、水平の剪断力に対し異符号となり、ビエゾ抵抗変化の和と差により垂直応力と剪断力を区別して計測できる。互いに直角な2対の対抗カンチレバーにより剪断力の方向も求められる。センサの作製は、SOI(Si On Insulator)基板上にSiと熱膨張率の異なるCrやfluoropolymer膜を積層し、フォトリソグラフィにより矩形、三角形にくり抜かれ、Si直下のSiO<sub>2</sub>をフッ酸で除去することにより傾斜カンチレバーが形成され、その形状は有限要素法で解析した結果とほぼ一致し、制御性よく作製できた。ついで、弾性体としてヤング率と歪みの関係を理論解析と試作により調べ、polydimethylsiloxaneが歪み量と安定性に優れていた。最後に、ビエゾ抵抗材料にSi、Pt、ニクロム膜を用いたときの性能を理論解析と実験から検討し、ニクロム膜が温度ドリフトの小さい良好な感度を与えることを示した。これらの検討に基づいて試作した触覚センサが1mm角の大きさで人と同じ集積度を持ち、0.5kPaの分解能で垂直応力と剪断力の大きさと方向が求められることを示し、十分な性能を有することを示した。

以上述べたように、本論文は、ヒューマンサポートロボット用触覚センサとしての集積度を有し、垂直応力と剪断力を十分な精度で同時計測可能なことを示す重要な結果を得ており、博士(工学)の学位論文として価値があるものと認める。