

生体を把持対象としたロボットハンド用MEMSデバイスの研究

竹下, 俊弘

<https://doi.org/10.15017/1654680>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名	竹下 俊弘			
論 文 名	生体を把持対象としたロボットハンド用 MEMS デバイスの研究			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	澤田 廉士
	副 査	九州大学	教授	澤江 義則 (工学府)
	副 査	九州大学	教授	工藤 奨

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

日本の高齢化が進むなか、介護従事者の負担軽減の観点から、介護現場においてロボット技術の活用が強く期待されている。これまでの産業機械で使用される機械部品などと異なり、生体などを把持対象とする繊細な把持動作をロボットで実現することが要求されている。アクチュエータとなるモーターやピエゾアクチュエータの制御用小型センサ、また実際に把持対象に負荷される力を測定可能な力覚センサが必要とされる。

このような背景において、生体などのように柔軟なまた繊細な把持を行うとともに把持対象が産業ロボットに使用されるように予め決まっていなかった場合において必要な小型せん断力センサを実現するために、受力部と検出部を物理的に分離し、対象物や外部からの負荷力に応じて可変な受力部と外部からの負荷の影響を受けない繊細な検出部から構成されるせん断力センサの研究を行った。受力部の底辺にはマイクロミラーが取り付けられており、受けたせん断力や垂直荷重に応じて受力部が変形するとマイクロミラーが傾くか、あるいは垂直に変位する。把持対象に応じて検出部とは独立に受力部の剛性を変えることが可能である。受力部と検出部がボンディングされ、ロボットハンドなどに埋め込みに十分な小型であり、そのサイズは6[mm]×6[mm]厚さ8[mm]である。受力部の底面にボンディングしたマイクロミラーの傾きならびに垂直変位を検出部で検出する。この検出部は、複数個のフォトダイオードと初段アンプをモノリシック形成したシリコンチップの中央部に面発光レーザ (VCSEL) チップをボンディングした光センサチップで構成されている。複数個のPD をワンチップに集積化する他に高機能化のための温度センサ内蔵型光センサチップ、初段アンプもモノリシック形成しており、部品点数が少ない簡単な構造で、超小型 (3 ミリの立方体) という特徴を有する。本研究では、受力部に弾性ゴムを用いた構造で実験を行うことにより二軸方向のせん断力を分離して測定可能であること、また弾性ゴムを変えることによりセンサ性能を変えることが可能であることを示している。

さらには、受力部の弾性ゴムフレームを変えることなく、せん断力センサの分解能および測定範囲を可変化することが可能である、検出部の面発光レーザチップと受力部底面ミラーとの数ミリのギャップの間に挿入可能な1mm×1mmのサイズのMEMS レンズアクチュエータを実現した。このMEMS レンズアクチュエータはマイクロレンズとMEMS アクチュエータデバイスの2つから構成されている。DMD 露光装置というマスクレス露光かつグレースケール露光 ((256 諧調露光) が可能な装置を用いて作製することにより高精度にレンズ形状をコントロールできることを実証した。MEMS アクチュエータデバイスは成膜したピエゾ薄膜(PZT)に電圧を印可することで動作させる。薄膜を用いたMEMS デバイスで問題となる、薄膜と基板の間に発生する内部応力とその内部応力により発生する変形に対して、FEM ソフトウェアを用いてMEMS アクチュエータデバイスの変形の予測を行い、その結果を設計にフィードバックすることで内部応力と「力のつり合い」をさせる

という手法を用いることで、変形が小さなデバイスの作製に成功している。また、その変形がシミュレーションにより高精度に予測可能であることを示すとともに MEMS レンズアクチュエータとせん断力センサを組み合わせることでせん断力センサの性能を可変化できることを示している。

さらには、ナノインプリント技術を用いて、ロボットハンドに内蔵可能な超小型モーターに使用するモーター制御用センサである MEMS マイクロエンコーダの回転回折格子スケールの作製を実証するとともに、ナノインプリントと機械加工をほぼ同時に行う新規的な作製方法により、回折パターンとモーターの回転軸を挿入する貫通穴を高精度に作製した回転回折格子スケールを用い、別件の研究で実現したマイクロエンコーダチップに組み込み実験を行い、回転角、回転角速度を測定可能であることを実証している。

以上のように本論文では、これまでの産業機械に使用される把持対象が決まったロボットに使用されるデバイスとは異なり、生体などのように柔軟かつ繊細な把持が要求されるロボットハンドならびに指に内蔵可能なせん断力センサやレンズアクチュエータなどの MEMS デバイスを考案しその有効性を実証している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認める。