

審査の結果の要旨

氏 名 細 野 美 奈 子

本論文は「埋め込み型せん断ひずみセンサの設計論」と題し、4章から構成される。

材料のひずみを計測する代表的な方法はひずみゲージで、一般的には材料の表面に貼り付けるものである。これに対して、シリコンの微細加工を用いたマイクロカンチレバーを材料に埋め込めば、材料の内部のひずみを直接計測できる。しかしながら、材料のヤング率が計測に与える影響、材料の変形に対するカンチレバーの静的・動的応答や抵抗変化については、詳しく調べられていなかった。本論文の目的は、ヤング率の小さい柔軟な弾性体のせん断ひずみを計測対象とした埋め込み型せん断ひずみセンサについて、解析的手法および実験的手法双方を用いて力学的および電気的な性質を調べ、その結果からセンサの設計指針を提案することとしている。

第1章「序論」では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義について述べている。

第2章「理論・解析」では、埋め込み型せん断ひずみセンサのセンサ素子、および計測対象となる弾性体の変形について理論式を導き、センサ素子の設計および有限要素法による静的解析、固有値解析を行っている。本研究では、センサ素子としてピエゾ抵抗型起立カンチレバーを用いており、弾性体中に埋められたセンサ素子が弾性体にならって変形するときにひずみが生じ、それに応じて変化するセンサ素子の抵抗変化を計測することで、弾性体のせん断ひずみを計測することができる。このとき、弾性体のヤング率やセンサ素子の寸法が応答に与える影響を有限要素法により解析しており、弾性体のヤング率 600kPa 以下かつセンサチップの高さが弾性体厚さの 35%以下であれば、弾性体の影響を無視した変形モデルによってセンサ素子に生じるひずみを誤差 24%以下で近似可能であることを示している。また、センサ素子の主ひずみはセンサ素子のピエゾ抵抗層の長手方向（伸長歪み）および法線方向（収縮歪み）に生じていることを示している。一方、固有値解析ではセンサチップ単体での動的応答特性が全体系の共振周波数に与える影響は微小であることを確認している。また、センサ素子と弾性体それぞれの変形方向に対する等価剛性をセンサの設計パラメータの一つとして導き、センサ素子と弾性体の静的・動的応答特性を算出している。

第3章「製作・実験」では、第2章で設計した動的せん断ひずみセンサを製作し、実際にシリコーンゴム（以下、PDMS）に埋め込んで動的せん断ひずみの計測を行っている。動的せん断ひずみの計測実験ではステップ入力、一定周波数入力、スイープ正弦波入力の3種類の入力に対するセンサ応答を計測している。実験対象として、センサチップを埋め込むPDMSの厚さを調整したもの、埋め込むセンサ素子の等価剛性を約1000倍の範囲で調整したものを用意し、第2章で導いた各等価剛性が、センサチップの埋め込まれた弾性体系の静的、動的応答特性に与える影響を考察している。実験の結果、センサのステップ入力に対する応答は、センサ素子の等価剛性比が1/100000以下になるように寸法を決定すれば、センサ素子が弾性体にならって変形するとみなして誤差40%以内で表現することが可能であることを示した。また、センサの計測可能周波数帯域は、計測対象となる弾性体の共振周波数以下になること、等価剛性比が1/400以下であれば、センサ単体時の動的応答特性は計測に影響を与えないことを示した。

第4章「結論」では、第2章および第3章において得られた結果から結論を述べている。

以上要するに、本論文では、シリコン微細加工を用いたマイクロカンチレバーを、弾性体に埋め込んだせん断ひずみの計測で、シリコンに比べて小さなヤング率をもつ材料にカンチレバーを埋め込んでも、第3章で述べたカンチレバーの寸法とすれば、弾性体の最小の共振周波数以下で弾性体にならってカンチレバーが変形し、静的および動的せん断ひずみを計測することができることを示している。この結果は、埋め込み型マイクロせん断ひずみセンサで、ロボットの触覚や、タイヤと路面に働く力の計測、靴や義肢に働く力の計測をするときの、マイクロカンチレバーの設計に資するものである。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。