

## 審査の結果の要旨

氏名 Pimpin, Alongkorn (ピンピン アロンコン)

本論文は, ” Development of MEMS electrostrictive actuator for flow control” (和訳「流体制御のための MEMS 電歪アクチュエータの開発」) と題し, 6 章よりなっている.

せん断流れは一般に非線形性を有し, 人為的に加えた微小擾乱により, 流れの特性を大きく変えることのできるポテンシャルを有しており, マイクロアクチュエータによるアクティブ制御が注目されている. そのような流体制御用アクチュエータには, 静電アクチュエータなどの従来のマイクロアクチュエータを用いることが難しく, 新たな動作原理・構造が求められている. 本論文で対象とする電歪アクチュエータは, 二枚の変形可能な電極と, それらにはさまれた柔軟な誘電体とで構成される. 電場によるマクスウェル圧力によってエラストマーは伸縮・座屈し, 垂直方向に変形を起こす. 本論文は, 大変形を達成するための柔軟性の高い電極を実現するため, FEM 解析により電場および応力場の解析を行うとともに, マイクロマシン技術により試作を行って, アクチュエータの特性を系統的に検討したものである.

第 1 章は序論であり, 流れ組織的構造と流体制御手法, および, 流体制御への応用が注目されているマイクロアクチュエータについて概観している. そのなかで, 流体制御用アクチュエータへの要求事項としては, 大変形, 高応答性, 高効率, 耐環境性が挙げられ, 静電アクチュエータなどの従来のマイクロアクチュエータでは, これらの要求を全て満足することが難しいことが指摘している. そして, 種々の動作原理の比較から, ポリマーアクチュエータのなかでも電歪ポリマーアクチュエータの特性が良いことを示している.

第 2 章では, 電歪アクチュエータの動作原理, 従来の研究, 検討すべき項目を論じている. 変形量を決定する支配的なパラメータを導き, それをもとに様々なシリコン系ポリマーの比較検討から, マイクロアクチュエータの製作に最も適した材料を選択している. シリコン膜両面の電極には従来導電性グリースなどが用いられてきたが, マイクロマシン技術との整合性, 耐久性の予備的検討から, マイクロパターンを有する金属電極が必要であることを示している.

第 3 章では, 電場, 応力場の 2 次元 FEM 解析から電極の詳細設計を行った結果, および, マイクロマシン技術による製作手法の詳細について述べている. 電場解析から, 電極間隔が小さいほどフリンジ効果によって電極間の電場が増大することを示している. また, 計算により得られたマクスウェル応力を印可した場合の変形解析から, 電極間隔と電極幅との比率が 0.2-0.4 の範囲内で最大の変形が得られること, 電極間隔と電極幅の比が一定

のとき、電極幅が小さいほど変形が大きいことを示している。そして、シリコン基板上に、シリコン膜、および、パターニングされた金の薄膜電極を形成し、ダイアフラム型のアクチュエータを製作する手法の詳細を述べている。

第4章では、アクチュエータの評価結果について述べている。マイクロマシン技術により製作された直径 2 mm および 4 mm の電歪アクチュエータについて電極の幅、電極間隔が変型量に与える影響を実験的に調べ、FEM 解析の結果と定性的に一致することを示している。また、最適な電極パターンにおいて、直径 2 mm のアクチュエータで最大約 120  $\mu\text{m}$  (直径に対する変形量の比 0.06) の変形量が得られ、ピエゾアクチュエータより 10 倍以上大きい値が得られることを明らかにしている。また、動特性の評価から、動作周波数が 2 kHz 以上であること、消費エネルギーが 1 mW 程度であり、最大変換効率が 29%であることを示している。

第5章では、本論文で製作したアクチュエータをシンセティックジェットアクチュエータに適用した結果を論じている。キャビテイの下面に配置したアクチュエータを振動させることでオリフィス上部に噴流を形成できることを示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果をまとめている

以上、本論文では、流体制御用の新たなアクチュエータ開発を目的として、電歪ポリマーアクチュエータの FEM 解析による最適設計、マイクロマシン技術による試作、動作特性の評価、噴流アクチュエータへの適用を行った。電場および応力場の FEM 解析により、電極配置の影響を系統的に検討し、最適な電極寸法決定の具体的な指針を獲得した。実際にマイクロマシン技術により電歪アクチュエータを試作して、実験的にその静特性、動特性を確認した。さらに、噴流アクチュエータに適用し、流体制御への適用可能性を示した。従って、本論文は、様々なスケールの熱流体制御手法についての新たな知見を加えるもので、熱流体工学をはじめ機械工学の上で寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。