

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 李 湧権

本論文は「マイクロ空気圧システムによるソフトアクチュエーション」と題し、4章から構成される。人のいる環境で作業するロボットには安全性の確保のため柔軟な材質と動作が必要であり、ロボットの動きの柔軟さを作り出すソフトアクチュエータが欠かせない。本論文では空気圧で駆動する小型人工筋及びマイクロバルブを組み合わせることで、小型空気圧ソフトアクチュエータを含むマイクロ空気圧システムを構築することを目的とし、安全性が重要視される福祉ロボットなどの駆動系として応用することができるとしている。

本研究ではソフトアクチュエータとしてマッキベン型ゴム人工筋と呼ばれる空気圧人工筋を小型化し、その評価のために人間の骨格モデルを利用したソフトロボットハンドを試作した。また小型化した空気圧人工筋（以下、マイクロ人工筋）の制御装置としてマイクロバルブを試作し、テストを行った。本研究で試作したマイクロ空気圧人工筋やマイクロバルブを組み合わせることで、軽量かつコンパクトなマイクロ空気圧システムを構築したことを述べている。

第1章「序論」では、福祉ロボットに適したソフトアクチュエータとして、生体筋に類似したソフトアクチュエータである空気圧人工筋の従来の研究について述べている。また空気圧人工筋や空気圧システムの小型化の必要性を述べている。

第2章「マイクロ空気圧人工筋」においては、空気圧人工筋の小型化に伴う問題点を検討している。また、空気圧人工筋を小型化するための力学モデルの解析やマイクロ空気圧人工筋の製作過程、製作されたマイクロ人工筋の各種特性について述べ、マイクロ空気圧人工筋のための制御手法を提案している。更にマイクロ空気圧人工筋を用いたソフトロボットハンドの製作過程とその動作や制御などについて記述している。

本研究で試作したマイクロ空気圧人工筋は、モデル解析結果をもとにしたゴムチューブ及び編物スリーブから構成され、直径1 mm、長さ20 cm、重さ0.3 gと小型・軽量である。また印加圧力0.6 MPaのときに最大で約21%収縮し、約4 Nの最大収縮力を発生させることができる。収縮速度も約90 msecで、全体的に小型・軽量で、出力・応答性とも優れたソフトアクチュエータである。

第3章「マイクロバルブ」においては、マイクロ空気圧人工筋を含むマイクロ空気圧システムの構築について述べている。マイクロ空気圧システムの動的モデル解析や実験結果との比較、制御デバイスであるマイクロバルブの製作及びその特性などについて詳しく記述している。マイクロバルブはMEMS技術である異方性エッチングや陽

極接合、レーザ加工などを用いて製作を行い、19 mm×25 mm×2 mm のサイズに 6 チャンネルのマイクロ流路や制御ポートが形成されている。SMA の薄膜アクチュエータを用いて、約 0.6 MPa の圧力下で 800 cc/min の流量の制御ができ、マイクロ人工筋の制御デバイスとして十分使用可能であることを示している。

第 4 章「結論」においては、本研究の結論について述べ、研究成果及び考察としてマイクロ空気圧人工筋とマイクロ空気圧システム及びソフトロボットハンドの特性について述べている。また今後の展望としてマイクロ空気圧人工筋やマイクロ空気圧システムの活用の可能性などについて記述している。

本論文の結論は以下の通りである。

空気圧人工筋のモデル解析により直径 1 mm のマイクロ空気圧人工筋を試作することで、空気圧人工筋の小型化のための設計法を明らかにしている。マイクロ空気圧人工筋の制御デバイスとして MEMS 技術を用いマイクロバルブを試作し、それによってマイクロ空気圧人工筋に適合した駆動法を提案している。更にマイクロ空気圧人工筋を人間の手の骨格模型上に生体筋のように配置し、ソフトロボットハンドを製作することで、マイクロ空気圧人工筋及びその制御デバイスの有効性とマイクロ空気圧システムの有用性を実験的に評価している。

本論文は以上のような研究成果をもとにマイクロ空気圧システムを用いて、ソフトアクチュエータであるマイクロ人工筋が駆動できることを十分に立証したと言える。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。