

学位論文内容の要旨

報告番号	先端科学技術	第 189 号	氏 名	武井 裕輔
論文題目	EHD ポンプの高流量化に基づく新たな流体駆動源の開発とそのロボット駆動機構への応用に関する研究			

ソフトロボティクスへの注目度の高まりから、「柔らかいロボット」の研究開発が活発に行われている。こうした柔らかいロボットは一般的に電動アクチュエータや空気圧アクチュエータが使用されており、例えばモータなどによって直接関節を動作させ、制御によってコンプライアンス性を保つ場合もあれば、空気圧人工筋などアクチュエータ自身が構造的な柔軟性を有することで柔らかさを持たせる場合もある。しかし、モータ駆動に関しては電気エネルギーによって機械的な駆動部を動作させ、動力を得る構造をしていることから、複数のセンサによって常に機構の状態を把握し続け、複雑な制御を行う必要がある。また、空気圧・水圧アクチュエータにおいては、アクチュエータ単体では動作ができず、ポンプやコンプレッサなど別の駆動源によって流体を圧送してその圧力を利用して駆動しており、これらの駆動源はモータ駆動と同様に機械的駆動部を電気で動作させ圧力を得ていることから、構造的な複雑さと制御的な複雑さの両方の問題を抱えている。これらの問題に対して、本研究では機能性流体アクチュエータに注目し、機械的駆動部を有さない、EHD 現象を応用した EHD ポンプのロボット駆動への応用を提案することとした。

第 1 章では、従来のアクチュエータ及びその問題点について言及し、それらの空気圧に代わる駆動方法として、EHD 現象について説明している。

EHD 現象とは、電氣的絶縁特性を有する液体内の電極に直流高電圧を印加すると液体に流動が生じる現象であり、1950 年代に数元により報告され、数元効果とも呼ばれている。この EHD 現象の応用として他の研究機関においてマイクロポンプ (ECF マイクロポンプ) や小型な EHD アクチュエータの開発が行われている。しかし、吐出流量の少なさから大型のマシンへの応用は行われておらず、著者らの研究グループで考案した独自の電極構造 (+電極と傾斜させた GND 電極の間に一方向の流れが発生) を用いた比較的大型の EHD ポンプやアクチュエータの開発が行われたが、やはり流量不足による動作速度の遅さから応用は進んでいるとは言えない。そこで、本論文では EHD 現象を高流量化することによる高流量が吐出可能な新たな流体駆動源の開発とその駆動源に適した液圧アクチュエータの開発及びロボット駆動機構への応用が目的である。

第 2 章では目的に関して開発手順をステップごとに説明している。

第 3 章では、EHD ポンプの高流量化手法に関して論じている。EHD 現象により発生した流動を流体の運動として捉え、流体力学に基づいて高流量化の手法を検討し、EHD ポン

プの流路断面積を増加させる2つの手法としてEHDポンプの拡幅化と並列化を考案した。そして、これまで検討されていない配線による電界分布への影響と電極幅との関係を電界解析によって検証し、高流量化を行う際に配線部の影響の少ない設計条件を明らかにした。

第4章では、第3章での考案した手法と解析結果に基づく高流量型EHDポンプの開発について論じる。前章で明らかにした設計条件に基づいて基準となるEHDポンプを製作し、基準EHDポンプに基に拡幅型EHDポンプと並列型EHDポンプを製作した。これらのEHDポンプの吐出流量、吐出圧力の評価を行った結果、吐出流量については、電極幅2倍のEHDポンプ1.8倍、電極幅4倍のEHDポンプで3.5倍の流量の吐出が可能であった。また、圧力に関しては並列数にかかわらず同様の吐出傾向を示した。よって、開発した高流量型EHDポンプは電極幅と印加電圧に応じて吐出流量を増加させることが可能であり、吐出圧力は電極の直列段数と印加電圧が支配的であることが分かり、これにより高流量の吐出が必要な機器への応用が可能になっただけでなく、高流量かつ低圧力を求められる機器への応用も可能であるため、要求される性能に対して自由に並列数、直列数を調整することによる応用範囲の大幅な拡大に成功したことを示した。

第5章では、高流量EHDポンプを駆動源とする液圧アクチュエータの開発及びそのロボット駆動機構への応用に関して論じている。これまで、EHD現象は優れた静穏性や柔軟性、制御性を有しているにもかかわらず、その吐出流量の低さからマイクロマシンが主な応用先になっており、中・大型マシンへの応用ができなかった。しかし、前章で開発した高流量EHDポンプを駆動源とすることでより大きな機器へと応用が可能となった。そこで、EHDポンプはその特徴から人の周りで動作するロボットに適していると考え、生体の筋肉を模倣した人工筋に着目した。そして、従来の人工筋が抱える構造上の問題である駆動圧力の高さと、発揮する収縮力の算出の難しさに関して解決可能なEHD人工筋の開発を行った。このEHD人工筋は収縮力発揮する部分が常に直角になる構造であり、人工筋がどんな収縮率であっても、印加圧力に比例した収縮力を発揮することが可能である。これにより、問題であった収縮力の予想し難さは改善された。そして、このEHD人工筋を駆動源としたロボット駆動機構を構築し、動作させることによってこれまでに困難であった中・大型マシンへの応用の可能性を示した。

第6章では、本論文の結論を論じている。本論文では、結論として、EHD現象を応用した高流量EHDポンプを開発することで、これまで困難であった高流量機器への応用が可能となり、実際にこれを組み込んだアクチュエータの製作およびロボット駆動機構の動作を実現しさらなる応用の可能性を示したことを述べている。