

氏 名	柴田 優
学 位 の 種 類	博 士 (情報工学)
学 位 記 番 号	情工博甲第304号
学位授与の日付	平成27年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	噴流を利用した油圧方向切換回路の特性に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 田中 和博
	〃 檜原 弘之
	〃 伊藤 高廣
	〃 鶴 正人
	准教授 湊脇 正樹

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

油圧システムは、出力パワー密度が高い点で電動システムより優れており、依然として多くの精密な作動装置に適用されている。さらに、産業界より油圧システムの高効率化と高性能化が求められている。本研究で対象とする油圧切換回路は、左右に揺動するノズルとその噴流が供給される2つの穴を持つ壁面により構成される。この油圧回路はノズルに一定圧力の作動油が供給され、ノズルが左右に揺動することにより、壁面の穴に供給される作動油の方向を切り替える油圧回路である。本研究対象は、様々なバルブやアクチュエータのパイロット回路として用いられ、油圧システムの高性能化の鍵となる。そこで、対象とする油圧回路の高性能化を目標として、この目標を達成するため、製作誤差の影響が小さく最も性能を向上できる設計指針を得ることを研究目的とする。

従来の解析手法は、ノズルと壁面間のフローパタンの可視化による現象解明が困難であることを前提に確立されたものであり、フローパタンを考慮していないため実験結果との差異が大きい。そのため、形状の検討は試行錯誤となり、性能に重要な影響を及ぼす形状を見出すことが大変困難である。このことより、内部流動に関するフローパタンの可視化を通して発生事象の多面的な検討による現象解明を基に性能に重要な影響を及ぼす形状を見出す事が課題となる。これらの課題を解決するため、フローパタンの可視化が可能な三次元数値流体力学（3D-CFD）による解析を用いる。また、数値解析結果の実証・比較を行うために実験を実施し、解析結果と整合を図りつつ、フローパタンから実現象に影響する要因を多面的に検討する。

現在、3D-CFD による流体解析は、流体の流れが影響する航空機、自動車などの分野において盛んに実施されているが、油圧業界においてはスプール弁についてわずかに行われている程度である。この為、本研究で対象とする油圧回路について3D-CFD を用いた流れ解析は全く行われていないのが現状である。スプール弁と本研究対象である油圧回路では、フローパタンのスケール（流速、寸法）が大きく異なるため、現在までに実施されているスプール弁の3D-CFD 解析の研究成果をそのまま使用することは不可能である。そこで、新たに数値解析の手法を確立する必要がある。

また、解析結果を検証する実験結果を得るために、新たに実験装置を構築する。実験装置の製作に当たり、ノズル形状を設計する必要がある。このために、公開されている特許情報などから得られた形状、左記形状からノズル内部を滑らかに変更した新形状、独自設計の円筒オリフィス形状の三種類から適切なノズルを選択することとした。この選択に当たっては、製作誤差を考慮した3D-CFD 解析を実施し、性能が良く製作誤差のバラツキの影響を受けないノズルを選択する。壁面の穴を流れる作動油の「流量特性」と「圧力特性」、ノズル周囲のフローパタンから決定され、かつ、ノズルの作動に影響を及ぼす「流体力特性」、品質工学の考え方を導入したノズルと壁面穴を流れる作動油の「運動量」の4 種類を評価指標とした。その結果、高性能で製作誤差のバラツキが小さいノズル内部形状を滑らかにした形状を選択した。

次に、適切な計算格子精度、乱流モデル、非定常性を考慮した3D-CFD解析を実施し、解析結果と実験結果を比較する。流量特性、圧力特性、ノズルに作用する流体力特性について実験結果と解析結果を比較すると、流量特性と圧力特性は良く一致したものの、流体力特性では不一致が発生した。この原因としては、ノズル出口近傍の圧力分布が周方向に不均一になっており、これが流体力に大きく影響していることが明らかとなった。

これらを通して、まずは、本研究対象の油圧回路の数値解析手法を新たに確立したといえる。次に、構築した解析手法によりノズルと壁面間の内部流動に関するフローパタンが得られ、多面的な検討が実施された。具体的には、ノズルのフローパタンと流量特性、ノズルに印加される流体力、ノズルと壁面間の渦流れ、渦と流量特性、壁面の穴の管摩擦抵抗、壁面の穴の渦と管摩擦抵抗による流量特性変化、ノズルの非定常流体力に関する項目である。本研究の特徴的な成果として、ノズルが対向する壁面に接近するとノズル内部の圧力分布が不均一となること、ノズルに印加される定常流体力は作動油の粘性によるせん断力の影響が大きいこと、非定常流体力が定常流体力に対して数十%程度と大きいことなど、多数の有益な知見が得られた。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、油圧システムの高性能化の鍵となる油圧回路について多面的な検討が実施され、ノズルが対向する壁面に接近するとノズル内部の圧力分布が不均一となること、ノズルに印加される定常流体力は作動油の粘性によるせん断力の影響が大きいこと、非定常流体力が定常流体力に対して数十%程度と大きいことなどが明らかにされた。また、性能に重要な影響を及ぼす寸法パラメータを含む設計指針も確立された。これらの研究成果は、本研究で対象とした油圧回路の開発設計に対して重要な役割を果たすことができる。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。