T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	圧電振動子を用いた微粒子励振小型油圧制御弁の研究
Title(English)	
著者(和文)	浮田 貴宏
Author(English)	Takahiro Ukida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10957号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴森 康一,遠藤 玄,大熊 政明,松永 三郎,塚越 秀行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10957号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

要約公表用

圧電振動子を用いた微粒子励振小型油圧制御弁の研究

東京工業大学　大学院理工学研究科　機械宇宙システム専攻
浮田　貴宏

油圧で制御されたロボットには，アクチュエータを制御する小型の制御弁が必要になる．パイロット弁の利用は制御弁の小型化に有効だが，従来のパイロット弁の構造では，高価な上に非動作の間にエネルギーを消費するという欠点がある．本研究では，圧電素子の振動による共振現象を利用した空圧用流量制御弁である微粒子励振型制御弁の油圧化を提案し，異なる 2 つの振動モードの設計法および特性を明らかにした．さらに固有振動数の異なるポートを一つのアクチュエータで制御する手法を提案し，駆動周波数を変化させることで複数ポートの独立した動作を達成した．アクチュエータへの応用では，本制御弁を軽量なアクチュエータである油圧人工筋の端末に搭載した際の制御法と動作特性を論じ，その制御を実験によって具体的に検証した．

第 2 章「周固定型円板振動子を用いた微粒子励振制御弁」では，従来の微粒子励振型制御弁の振動モードである周固定型円板振動子を用いた制御弁について述べた．本制御弁の油圧化に関する課題は，オリフィス板の振動の高出力化および出力ポートに発生する振動の抑制である．まず，本制御弁を駆動する圧電素子の積層による高出力化された試作機を用いて，作動流体として油を使用することによる振動特性への影響を有限要素法およびレーザードップラー振動計による測定で明らかにした．作動流体としてシリコーンオイルを使用すると，オリフィス板の振動速度は 76%低下するが，これは主に作動流体の質量増加が原因であった．また，圧電素子の枚数を 2 枚から 4 枚に増加させると，振動速度は 217%増加し，振動速度の高出力化を達成した．この試作機では，作動流体として動粘度が 3 mm^2/s のシリコーンオイルを大気開放して使用するとき，供給圧力が 0.5 MPa で最大流量 838 ml/min を達成した．次に出力ポートに発生する振動を，圧電素子やオリフィス板などの振動部分と分離させ，出力ポートに発生する振動を抑制させた試作機を評価した．この試作機の出力ポートを油圧回路に接続した状態での最低動作電圧は従来の出力ポートを大気に開放した制御弁と同等であった．以上の結果から本振動モードによる油圧回路への実現性を示した．その特性について，構造の近いポペット弁と比較すると，その質量は従来の油圧用ポペット弁の 2.5%であった．また，質量あたりの最高使用圧力および流量係数についても高い値が示された．以上より，本制御弁はこれまでの制御弁とは異なる質量帯の新しい制御弁であることがわかった．

第 3 章「片持ち梁型振動子による高粘性流体の制御」では，高粘性の作動流体での動作を目的とした片持ち梁型振動子を用いた微粒子励振型制御弁を提案し，従来の振動モード

との比較を行った．周固定型円板振動子を用いた微粒子励振型制御弁により，シリコーンオイルの制御に成功したが，その動作は低粘性の流体に制限される．そこで，一般的な作動油と同等の動粘度を有する動粘度 30 mm^2/s のシリコーンオイルでの動作を実現させるために，作動流体が微粒子をオリフィスに押し付ける力に対して，直行する方向に微粒子およびオリフィスを加振する片持ち梁型振動子を用いた微粒子励振型制御弁を考案した．この振動モードで動作する試作機を用いた動作評価では，作動流体として動粘度 30 mm^2/s のシリコーンオイルが使用され，供給圧力 0.8 MPa のとき，最大流量 248 ml/min を達成した．加えて，この振動モードにおける弁座形状および微粒子の直径の最適化を行った．複数の弁座のテーパ角度を用いた最低動作電圧の評価実験では，弁座のテーパ角度が 100°のとき，その他の弁座より低く，供給圧力 0.8 MPa では 73.0 $V_{p\text{-}p}$ で動作した．微粒子の直径を変更した実験では，設計値である直径 1.5 mm 以上の微粒子を使用した動作電圧の評価実験を行い，直径 2.0 mm 以上の微粒子では安定した振動が得られず，この振動モードには不適切であることを示した．また，最低動作電圧における開口面積あたりの皮相電力を従来の振動モードと比較し，測定された全ての印加圧力で本振動モードの皮相電力が低く，印加圧力が 0.8 MPa のとき，42%低下した．一方で，最大流量の低下と流量の変化が ON-OFF 弁であるという問題点を指摘した．

第 4 章「共振モード選択による複数ポートの独立制御」では，従来の制御弁からの機能拡張として，複数ポートを有する制御弁を試作し，単一の圧電素子によるそれぞれのポートの独立制御について述べた．これまでの微粒子励振型制御弁は入力と出力を 1 箇所ずつ有する 2 ポート弁であった．そこで 2 箇所の出力ポートを有する制御弁を試作し，1 箇所の圧電素子で共振周波数の違いを利用した複数ポートの独立制御に成功した．

第 5 章「油圧人工筋肉への適用」では，実際にアクチュエータとして油圧人工筋肉に搭載し，本制御弁の有用性を具体的に示した．

第 6 章「結論」では，本研究で得られた結果を総括し，今後の展望を述べた．

以上を要するに本論文は，小型，軽量かつ低コストの油圧用制御弁を実現するために，微粒子励振型制御弁に着目し，その油圧における特性を示し，従来の油圧サーボ弁より小型，軽量の制御弁を実現した．