

氏名	吉田 太志
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	甲 第 678 号
学位授与の日付	平成 29 年 9 月 30 日
学位授与の要件	信州大学学位規程第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	水圧用容積式圧力変換装置に関する基礎的研究
論文審査委員	主査 准教授 飯尾 昭一郎 教授 吉野 正人 准教授 酒井 悟 教授 松原 雅春 教授 桜井 康雄 (足利工業大学)

論文内容の要旨

産業機械の駆動には、油圧、空気圧など圧力を利用するものが多い。その中で、作動流体に水道水を使用する水圧技術は、高い出力が得られるとともに安全、安心、衛生的なシステムの構成を可能にする。この水圧技術が求められる生産現場では、圧力レベルとして 1×10^6 Pa 程度の低圧から 14×10^6 Pa の高圧まで対応することが必要である。これを一つの圧力源で実現するために、増圧・減圧が任意に行える圧力変換技術が重要となる。圧力変換装置の一つに減圧時のエネルギー効率がよく、増圧も可能な Active Charge Accumulator (ACA) がある。これまで油圧において ACA を用いたシステムが総合的に評価されており、位置と力の制御性および省エネルギー効果等について、その有効性が示されている。しかしながら、ACA 単体の基本特性については十分な検討は行われておらず、水圧に適用した場合の知見も獲得されていない状況である。

本研究では、水圧システムにおいて ACA による圧力変換技術の実用化を目指し、ACA 単体の減圧および増圧過程の動的特性を明らかにすることを目的として、実機試験および数学モデルを用いた数値計算を行った。

減圧過程について、ACA 内部の各圧力室の圧力を実験的に評価した結果、 10×10^6 Pa の高圧から 2×10^6 Pa への減圧が連続的に可能であることを確認した。また、ACA の減圧時のエネルギー変換効率は、従来の減圧弁による方法よりも高く 75 % 以上となることを示した。次に、ACA からの吐出圧力と負荷条件との関係性を評価した結果、目標の圧力範囲の大きさによらずに安定した圧力の供給が可能であることがわかった。さらに ACA の動作周期は負荷の減少とともに長くなり、その減圧された圧力は目標圧力範囲の 3 % 以内で供給できることを示した。実験を補完するために ACA を含む水圧システムの数学モデルを構築した。ACA、切換弁及びアキュムレータなどの構成機器をそれぞれ定式化し、全体を常微分方程式の形でモデル化し、これらの方程式を 4 次精度のルンゲクッタ法を用いて数値積分し、圧力変換部の変動周期、圧力変動に関する特性を数学モデルで模擬できることを示した。

増圧過程についても ACA の各部圧力を測定した。その結果、ACA で増圧された圧力は、損失がないと仮定した設計増圧比 2.78 に対して 96.7 % の圧力変換率で増圧可能であることを示した。ACA のピストンの移動速度が 3×10^{-4} m/s の極低速の場合においても、ピストンが断続的に移動するスティックスリップは発生せず、静摩擦および動摩擦は増圧力に対して 1 % 未満と小さいことを確認した。これらの結果は、ACA の設計自由度が広いことを示唆している。次に、ACA の蓄圧室の圧力設定方法について実験的に調べた結果、蓄圧室の圧力をガス圧で設定した場合と比較して、水圧で設定することで約 10 % 高い増圧力を発生できることがわかった。また、ACA の低圧の圧力室とタンクを繋ぐ配管をバイパス接続とすることで、その間の圧力上昇を抑制できることがわかった。さらに、減圧過程と同様

に増圧過程について各要素を定式化し、数値積分を行い実験結果と比較した。その結果、増圧された圧力波形を誤差 3 %以内で再現することができた。また、数学モデルを用いて目標増圧力を発生させるためのパラメータ調整方法の指針を示した。

最後に、ACA の水圧システムへの応用可能性を評価した。その結果、ACA からシリンダへ目標の増圧力 $10 \times 10^6 \text{ Pa}$ を供給しながら、シリンダの推力 $10 \times 10^3 \text{ N}$ 以上を維持して伸縮動作が可能であることを明らかにした。また、数学モデルを用いた検討により、切換弁の開閉タイミングがシリンダの伸縮回数に影響を及ぼすことを示した。

以上の結果から、本論文の結論は次のとおりである。水圧用 ACA 単体の特性について、減圧および増圧過程の動特性を実験的に明らかにした。減圧過程では、減圧した圧力を連続的に供給可能であり、増圧過程では、増圧した圧力を断続的に供給できる。減圧および増圧過程の数学モデルの数値計算の結果が実験結果と一致することを示し、数学モデルを用いた動特性を考慮した設計が可能であることを示した。これらの結論は増圧・減圧が可能な水圧用 ACA の産業機械への応用可能性を強く示すものである。