

学位論文の審査結果の要旨

本学位論文は、水圧駆動システムに適用する容積式圧力変換装置（Active Charge Accumulator: ACA）の減圧および増圧特性の解明を目的としている。特に、容積式の特徴であるピストンの変位とシリンダ内部圧力室の圧力の時間変化を実験的に評価し、水圧駆動システムに応用するうえで必要なACAの動的特性ならびに設計指針を獲得している。

第1章では、近年の駆動技術を圧力レベルと清浄度から分類し、水圧技術の特徴とその開発意義について述べるとともに、容積式圧力変換装置に関する先行研究についてまとめている。その中で、ACAについては油圧システムへの適用がなされており、システム全体としての特性評価に注力した研究が進められており、ACA単体の詳細な特性解明がなされていないこと、水圧用のACAについての知見が獲得されていないことを述べ、水圧用ACA単体の特性を評価する意義を述べている。

第2章では、圧力変換装置の動作原理を説明している。多段ピストン式ACAの基本構造と圧力変換の基本概念と、本研究で対象とした二段ピストン式ACAの基本構造について述べている。減圧および増圧の両過程ともにピストンの上下動を複数の切換弁の開閉パターンで制御し、段付きピストンの受圧面積の違いから減圧あるいは増圧が行われる。その過程は充填、待機、放出の動作モードを有し、切換のタイミングはACAから吐出される圧力の大きさ、ピストン変位の値にもとづいて決定される。

第3章では、減圧過程について実験的に検証がなされ、ACA内部の圧力を評価した結果、 $10 \times 10^6 \text{ Pa}$ の高圧から $2 \times 10^6 \text{ Pa}$ の低圧への減圧が連続的に可能であることを示した。また、ACAによる減圧時のエネルギー変換効率は、流量条件に依存するものの、従来の減圧弁による方法よりも高くなることを明らかにしている。次に、ACAからの吐出圧力と負荷条件との関係性を評価し、負荷が減少するにつれてACAの動作周期が長くなり、吐出圧力の変動範囲が目標圧力の3%以内であること

を明らかにしている。さらに、実験検証を補間するACAを有する水圧システムの数学モデルを構築するために、ACA、切換弁およびアキュムレータなどの構成機器を管路も含めて常微分方程式でモデル化し、これらの方程式を数値積分することで水圧システムの動的特性を予測した。その結果は、減圧された吐出圧力について実験結果と5%以内の誤差で一致することがわかった。

第4章では、増圧過程について実験的検証がなされ、ACA内部の圧力を評価した結果、損失を無視したACAの設計増圧比2.78に対して、実験結果は2.69となり約97%の圧力変換率が得られた。また、ACA内部のピストン挙動について、その低速特性を評価した結果、ピストンの移動速度が $3 \times 10^{-4} \text{m/s}$ の極低速においてもスティックスリップ現象が発生しないこと、ピストンとシリンダとの静摩擦および動摩擦は増圧力値に対して1%未満と小さいことを確認している。さらに、ACAの蓄圧室の初期充填圧力が増圧特性に与える影響について評価した。水または窒素ガスで充填圧力を調整する方法について、両者の増圧特性を評価した結果、水の充填量で圧力を調整する場合には、窒素ガスで調整した場合よりも約10%高い増圧力が得られることを明らかにしている。また、放出モードにおいて、圧力室からタンクへと水を排出する配管における圧力損失が大きい場合には適正な増圧力が得られず、この配管とACAから負荷を通過してタンクへと戻る配管とを別にすることで解決できることを示している。

第5章では、ACAを有する水圧駆動システムの応用可能性を把握するために、ACAによる増圧力でシリンダを駆動させた場合のACAならびにシリンダの動的特性を実験的に評価している。その結果、ACAからシリンダへ目標の増圧力である $10 \times 10^6 \text{Pa}$ を供給しながら、シリンダに必要な推力 $10 \times 10^3 \text{N}$ を維持して、複数回の伸縮動作が可能であることを明らかにした。また、ACAが吐出する水の容量とシリンダ容積から算出した伸縮回数に対して、実験での伸縮回数が半分程度となり、その原因が切換弁の開閉タイミングにあることを解明している。

第6章では、本論文で得られた結論を総括している。

申請学位論文は、申請者を筆頭著者とする審査付き原著論文1編と審査付き国際会議論文1編に基づいてまとめられており、増圧と減圧が可能な容積式圧力変換装置の産業機械への応用可能性を強く示して

いることから工学的価値が認められる。また、申請者は大学院修了者としての学力を有していることから、本論文が学位論文として認められると判定した。

公表主要論文名

- Futoshi Yoshida, Shouichiro Iio, Kenji Ito, Ato Kitagawa, “Experimental and Theoretical Analysis of Active Charge Accumulator for Water Hydraulics System”, IEEE Access, Vol. 5, pp. 881-890, 2017.
- Futoshi Yoshida, Kenji Ito, Shouichiro Iio, Ato Kitagawa, “EFFECT OF PARAMETER ON CHARACTERISTICS OF ACTIVE CHARGE ACCUMULATOR FOR WATER HYDRAULIC SYSTEM”, Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015, No.11456, pp. 959-963, 2015.