

氏名	陳 惠青
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第3205号
学位授与の日付	平成18年 3月24日
学位授与の要件	自然科学研究科エネルギー転換科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	油圧ポペット弁の特性評価に関する研究
論文審査委員	教授 鷲尾 誠一 教授 富田 栄二 教授 柳瀬眞一郎

学位論文内容の要旨

本論文は序論と結論を含めて6章となっており、その概要は以下のようになる。

第2章では、油圧機器・要素の動特性モデルの検証実験で必須となる変動流量、変動差圧の測定方法について、鷲尾らが提案した慣性差圧測定法を発展させ、新たに実用性の高い簡便な測定技法、すなわち「管路の僅かに離れた2点の圧力データから、管路任意断面の脈動流量・圧力・インピーダンスを同時に測定する方法(修正慣性差圧法)」として提示し、実際の油圧管路において別の方法で求めた圧力、流量、インピーダンスと比較して、その信頼性を確認した。修正慣性差圧法では測定2点の圧力をAD変換サンプリングする前に、アナログのまま引き算して求めた両者の差圧を使う方が測定誤差を軽減できること、及び2つの圧力測定孔の間に定在波の節が来ないようにすることが、差圧測定精度を確保する上で重要であることを明らかにした。また測定原理に由来する誤差を評価する数値パラメータを提案し、それにより測定誤差の回避する方法を示した。

第3章では、可変絞りの基本となる固定絞りの非定常特性を調べるため、薄刃オリフィスを取り上げた。平均流量0の振動流れにおいて、流量振幅の増加とともにオリフィスインピーダンスの抵抗成分が増加し、アクタンス成分が減少するという、音響学で報告されている非線形挙動が、油圧オリフィスでも起ることを確認した。その上で、そうしたオリフィスの非線形挙動の原因は、非線形圧力損失を生み出すオリフィス下流の乱流構造が流量変化にすぐに追従できず遅れるためであるという考えのもとに、非定常非線形損失の数式モデルを提案した。そしてこのモデル式を使って、抵抗とリアクタンスが流量振幅の増加とともにそれぞれ増大、減少するという、永年答えられていなかったオリフィスインピーダンスの非線形挙動をはじめ理論的に説明することに成功した。

第4章では、ポペット弁の詳細な特性評価を行った。まずポペットの変位を固定して、脈動流れにおけるその非定常特性を測定し、ポペット絞りの音響インピーダンスでも、オリフィスと同様、流量振幅の増加に伴う非線形性が現れることを確認した。次いで、ポペットをバネで支持した通常の弁作動状態において脈動流れを与え、ポペット弁の差圧、流量、開口面積の間の非定常な関係を調べた結果、3者の関係は定常特性曲線に沿って接線方向に細長いループを描くこと、またそれによって定常特性を非定常特性の第一近似と見なしてよいことが明らかとなった。最後に以上で得られた知見をポペット弁可変絞りの動特性モデルに取り込み、従来のモデルを修正することによって、これまでのモデルでは予測できなかった測定結果をうまく説明することができた。

第5章では、ポペット弁で生じるキャピテーション及び自励振動現象について観察を行った。その結果、キャピテーションは弁座エッジに突然現れる微小な停留空洞から始まること、空洞は成長すると、一部が千切れて下流に多くの微小気泡を放出することが明らかになった。この成長、収縮は周期的に起り、ポペットの変位や流量と関係なくおよそ2kHzの周波数を持つことが判明した。またポペットをバネで支持した場合、300Hz付近で横方向の自励振動が起った。この自励振動の周期は、キャピテーションが起ると変化し、本試験ポペット弁においてはキャピテーション発生時に400Hzと800Hzの横振動が生じた。

論文審査結果の要旨

本論文は、油圧機器を構成する要素として重要な、「圧力に応じて開口面積が変化する絞り」の動作・特性の解明と、それを解析的に記述する数式モデルの提案を目的として、そうした可変絞りの代表であるポペット弁を取り上げ、実験により詳しく調べたものである。

初めに、油圧弁の動特性を調べる上で不可欠な変動する流量の測定を行うため、管路の僅かに離れた2点で得られる圧力データを使って、任意断面の圧力、流量、脈動インピーダンスを同時に求める実用的測定法を提案し、実際の脈動流れにおける変動流量やインピーダンスの測定を通じてその精度を確認するとともに、同測定法の誤差を減少する実験技術を提案している。

次に、あらゆる絞りが共通に示す性質である、流量の自乗に比例する圧力損失について、管路内のオリフィスを使ってその非定常な特性を調べている。振動および脈動流れにおいて、上記方法で測定した変動する流量と差圧の関係を詳しく調べ、変動する流れでは絞りの圧力損失変化が流量変化に対してすぐに追従できず遅れることを確かめ、その特性を初めて定式化することに成功している。そして非定常圧力損失の定式化によって、古くからの疑問でありながらこれまで答えられていなかったオリフィスの音響学的インピーダンスが示す特異な非線形挙動を、初めて解析的に説明した。

次に、上記非線形圧力損失の考えを取り入れて、ポペット弁動特性に対する新しい数式モデルを提案し、従来モデルでは予測できなかった脈動流れにおけるポペット弁の振る舞いを、合理的に説明した。更にポペット弁において生じるキャビテーションと、それが励起するポペット振動を観察し、キャビテーションがポペット軸に垂直な方向の横振動の原因となることを見出した。

以上のように本論文は、ポペット弁の可変絞りにおける非線形な圧力損失の非定常特性の解明を中心に、幾つかの新たな知見を提示し、またそれに基づいて予測精度の良い数式モデルを提案している点で、油圧の設計・開発で必要とされる数値シミュレーションに役立つものであり、博士（工学）の学位論文に値する内容と認められる。