

論文の内容の要旨

申請者 栗林 哲也

論文題目

圧力脈動低減のためのヘルムホルツ型油圧サイレンサに関する研究

騒音規制法は、工場、事業場および建設作業場から発生する騒音の上限を定めており、これらの設置環境で用いられる産業機械には静粛性が望まれている。油圧ショベルなどの建設機械、油圧プレスや射出成型機などの工作機械、またトラクターといった農業機械では、動力伝達機構に油圧システムが利用されているため、油圧騒音の低減化によって、その静粛性は飛躍的に向上する。油圧騒音の原因の一つは、主に容積形ポンプから発生する周期的な圧力の変動と定義される圧力脈動であり、油圧システムを構成する管路の壁面などを通じて空気を励振させている。本論文は、油圧回路中の圧力脈動を低減させるためのヘルムホルツ型油圧サイレンサを研究対象とする。このパッシブ型サイレンサは、円筒形容量部に円筒形のネック部が直列に接続されており、これらの内部の流体から構成される減衰1自由度振動系の共振現象によって圧力脈動を低減させる。そのため、共振周波数近傍では高い減衰効果を得られるものの、そこから外れた周波数の圧力脈動に対しては有効でないという特徴を有している。したがって、本サイレンサを用いて圧力脈動を低減させるには、以下に示す課題などに取り組むことが求められる。

第一の課題は、本サイレンサの共振周波数が、低減対象とする圧力脈動の周波数と一致するように設計を行う必要があるということである。従来の研究成果より、容量部が細長い場合には、減衰特性を実用上十分な精度で得ることができる。しかし、容量部の長さが直径に対して小さい扁平な形状では、特性を正しく予想し難くなるなど、サイレンサのネック部および容量部の形状が減衰特性に与える影響に関しては、これまで明らかにされていない。

第二の課題は、本サイレンサはポンプの回転速度変化に対応できないことである。近年、可変容量形ポンプを使用する代わりに容量形ポンプの回転速度をインバータやサーボモータにより制御する省エネルギー型のシステムが脚光を浴びている。本サイレンサにおいて減衰効果が期待できるのは共振周波数近傍のみであるため、負荷サイクル中のポンプの回転速度がほぼ一定な油圧システムに対して

は有効であるが、ポンプ回転速度が変化したときには減衰効果を失う結果となる。

第三の課題は、油圧回路を構成する管路内において生じる圧力脈動の液柱共鳴である。圧力脈動は、ポンプの要素数と回転速度で定まる基本周波数およびその整数倍の周波数において高い振幅を有している。そのため、狭帯域においてのみしか有効でない本サイレンサでは、これらの調和成分における圧力脈動の全てを減衰対象とすることはできない。同サイレンサで低減されない圧力脈動の周波数と油圧回路における液柱の固有振動数とが一致した場合、共振により圧力脈動が増大する。その結果、油圧回路全体では圧力脈動をさほど減衰できず、本サイレンサを効果的に利用できなくなると考えられる。

本研究論文では、これら三つの課題を解決することに着目し、ヘルムホルツ型油圧サイレンサを用いた油圧システムにおける圧力脈動の低減を目的としている。論文の各章は次のように要約される。

第1章では、研究の背景および課題と研究目的について述べている。

第2章および第3章では、第一の課題に着目している。まず、容量部が扁平な場合に適用できる半径方向の平面波動理論による分布定数系モデルを新たに提案する。つぎに、容量部およびネック部の寸法をパラメータとし、本サイレンサの形状が減衰性能に与える影響を考察する。なお新しいモデルでは、容量部の壁面における弾性変形が共振周波数に与える影響も考慮している。

第4章では、第二の課題に着目している。同章では、ポンプ回転速度に従って共振周波数を推移させることのできる可変共振機構を有するヘルムホルツ型油圧サイレンサの開発を行っている。まず、汎用の油圧シリンダをベースとした単段のヘルムホルツ型油圧サイレンサを設計する。つぎに、試作サイレンサをポンプ回転速度が変化する油圧回路内に設置し、減衰効果を調べることで可変共振機構の有効性を検証している。

第5章では、第三の課題に着目している。同章では、実際の油圧回路の終端条件が液柱の共振現象へ与える影響を論じている。まず、終端インピーダンスの振幅および位相と接続管路内の圧力脈動の関連性を調べる。つぎに、終端条件が閉鎖端と開放端との間の領域に対して、圧力脈動の共振モードが遷移することを明らかにし、この遷移領域におけるモードの特性を考察する。

第6章では、結論について述べている。