

論文の内容の要旨

申請者 中川 修一

論文題目

農業・建設用車両における流体起因の騒音源と遮音に関する研究

農業・建設用車両（以後、作業用車両）は、農作物の生産や社会インフラの整備などを支える衣食住に欠かせない車両であり、国内外を問わず広く普及している。様々な工業製品において騒音問題は改善されてきたが、作業用車両では未だ、聴覚障害を発症し得るレベルの騒音が発生している。作業用車両の騒音では、流体運動に起因する騒音が 50%以上の寄与率を占めており、静粛性の向上には音源となる流体现象への対策や音場への対策が求められている。さらに、将来的には原動機の多様化、すなわち電動化や内燃機関と電気モーターの複合化などにより、内燃機関から生じる騒音が低減し、流体起因の騒音の寄与率が相対的に顕著化すると予見できる。したがって、本論文では、流体起因の音源と音源の遮蔽、すなわち遮音に関する研究成果を論じ、作業用車両の静粛性に資する工学的知見の創出を目的としている。

作業用車両における流体起因の音源の一つは、油圧システムである。油圧システムから発生する騒音（以後、油圧音）は、キャビテーションや自励振動に起因する特定条件下で生じる騒音と油圧ポンプの容積変動に起因する定常的な騒音に大別できるが、本論文では、作業用車両において必然的に生じる定常的な騒音に着目し、特に、作動油を介して車両の広範囲で音源となり得る圧力脈動に焦点を当て、第 2 章および第 3 章で論じている。

第 2 章では、作業用車両の運転状態における作動油中の音速の挙動を調査している。波動方程式からわかるように、音速は圧力脈動に影響を及ぼすが、空気中では状態方程式に基づいた音速の理論が構築され、音響学として広く実用されている。しかしながら、作動油中では、作動油の種類や運転状態の多様性、混入空気の影響などのために、音速の理論が一般化されているとは言い難い。本章では、作業用車両での一般的な運転状態と作動油中の音速の関係性を調査し、音速に影響を及ぼす諸変数の分析とその特性を考察している。

第 3 章では、油圧システムの定常運転中に経時変化する圧力脈動について論じている。騒音レベルの低減を最終的な目的とした研究がある一方で、近年は機械騒音の音質も問題視されている。騒音は、機械の正常運転を知らせる信号の役割を担っているため、作業用車両が一定負荷で運転している場合や運転者が何ら操作をしない場合の騒音変化は、運転者

に不快感やストレスを与えるに加え、故障との誤解にもつながる。また、騒音を参照信号とした故障診断では誤診断にもつながるため、事前に運転中の経時変化を把握しておくことが有効となる。油圧音においても、定常運転中に経時変化することが知られているが、時間経過と音源である圧力脈動との因果関係は報告されていない。本章では、外的要因が無い、すなわち定常運転状態における油圧管路内の圧力脈動が経時変化する要因の分析と圧力脈動の挙動について考察している。

また、作業用車両における流体起因の音源のもう一つには、送風システムがあり、軸流ファンおよび熱交換器から構成される余剰熱の排出を目的とした冷却システムと、芝、穀物、夾雑物などの空気搬送を目的とした搬送システムに分類できる。冷却システムでは、乗用車両での研究例に加え、定置型の工業製品であるヒートポンプや電気製品での研究例が多数あり、作業用車両に応用されている。一方、搬送システムでは、対象物に応じて様々なシステムが採用されており、静粛性に関する設計指針が乏しい。特に、欧米で広く普及しているローンモアは、芝や雑草の刈取りとその空気搬送のために回転運動するブレードが装備されているが、ブレードの周速は高速で空力音の寄与率が非常に高いため、第 4 章で論じている。

ローンモアは、芝や雑草の切断と空気搬送を実現するために、刈刃としての機能と動翼としての機能を担う回転ブレードが装備されており、独特の形状を有する半開放形のスクロールケーシングに収められている。ケーシング内部の流動や騒音の発生機構に関する研究報告は乏しいため、本章では、実験による騒音分析やその特徴と関連する流体現象について実験や数値流体解析による考察を行っている。また、明らかとなった騒音の発生機構に基づいて騒音制御を実現することで、ローンモアの機能を損なわずに静粛性を向上するための設計指針を示している。

作業用車両の静粛性向上には、流体運動に起因した音源の制御に加え、音場の制御が有効である。第 5 章では、遮音のために音場の開口面積を最小化しながらも車両の余剰熱の排出に必要な換気風量を維持する、いわゆるエンクロージング問題に、ノンパラメトリック感度解析を援用する方法を提案している。

以上の研究内容を第 6 章に結論としてまとめ、本論文は、作業用車両の静粛性向上に資する流体起因の音源と遮音に関する工学的知見を論じている。