

氏名	おち あい よし たか 落 合 義 孝
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	乙第13号
学位授与年月日	平成18年 3月17日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	往復動機関のピストンの2次運動及びピストンとシリンダ間の潤滑油分布と挙動に関する実験的研究
学位論文審査委員	(主査) 鈴木豊彦 (副査) 宮近幸逸 田中久隆 有井士郎 小嶋直哉

学位論文の内容の要旨

概要

本論文は、以下の通り実験研究を行った結果について述べている。

1. 往復動機関のピストンの2次運動の理論を示し、運動の数値シミュレーションプログラムを作成し、ピストンスカート形状の相違による2次運動への影響を数値的に調べた結果を述べる。
2. ディーゼル機関の2次運動の実機計測のため、ディーゼル機関のピストンに変位ピックアップを取り付け計測した結果を述べる。
3. ピストンとシリンダ間の潤滑油油膜の運動の境界要素法を使用した数値シミュレーションプログラムを作成し、空気圧縮機での油膜挙動の数値計算の結果を述べる。
4. ピストンスカート上の潤滑油の面的な計測が必要であることを述べ、単気筒空気圧縮機のシリンダを石英製のガラスシリンダに置き換えて可視化観察を可能にし、ピストンスカート表面上の溝と潤滑油挙動の関係を述べる。
5. 誘起蛍光法(LIF法、Laser Induced Fluorescence Method)を用い、ピストンとシリンダ間の潤滑油油膜の挙動と厚さを同時に計測した結果を述べる。
6. デジタル高速度カメラの使用によって潤滑油油膜の連続的な撮影を行い、時間経過に沿った油膜の挙動を明らかにし、PIV法(Particle Image Velocity Method)を用いて、潤滑油の移動速度を算出した結果を述べる。実験パラメータとしてピストンスカートのすべり面の面積を変え撮影を行っている。
7. 供試機関を直列4気筒ガソリン機関に変え、潤滑油粘度を実験パラメータとして高速度撮影を行い、観察の結果から油膜挙動に及ぼす潤滑油粘度の影響を述べる。
8. 総合的なまとめをする。

要旨

本論文は、往復動機関の振動・騒音の主原因になっているピストンがシリンダ内を横断して移動する2次運動と、その運動時にピストンとシリンダ間にある潤滑油がどの様に挙動し、影響するかを実験的に調べた結果について述べる。

往復動機関のピストンの2次運動に関する理論式を展開し、数値シミュレーションのプログラムを作成し、ディーゼル機関用のスカート形状の異なるピストンについて2次運動と衝突時の力を数値的に求め、力積曲線などの方法でピストンスラップ強度の評価を試みた。さらに詳細に2次運動を計測するため、ピストン上の多点に取り付けた変位ピックアップによる計測を行い、ピストン2次運動が単に平面的な動きでなく3次元的であることを示した。これらの実験結果から、ピストンの2次運動にピストンの変形を考慮しなければならないこと、潤滑油の影響を考慮する必要があることがわかった。そこで、潤滑油の挙動に関する運動方程式をたて、潤滑油油膜挙動に関する数値シミュレーションプログラムを作成した。数値シミュレーション結果を空気圧縮機でクランク角ごとに単発撮影した可視化写真と比較すると、良好な相関が見られた。潤滑油油膜の厚さと挙動を同時に計測するためLIF法を用い、往復動空気圧縮機のピストンスカート上の油膜を計測し、結果を示した。併せて、LIF法での測定精度も明らかにした。この実験では、ガソリン機関で通常使用されているピストンを測定の対象としている。LIF法の有効性とピストンスカート部の潤滑油分布がオイル上がりに関係すること、ピストンスカートの形状が潤滑油の分布に大きく影響することを示した。しかし、ここまでの実験では、クランク角度ごとに単発撮影を行っており、撮影結果は時間的には連続していない。時間的に連続した潤滑油の挙動をより明確にするためにデジタル高速度カメラを使用し、空気圧縮機のピストンスカートの周方向幅を変えて撮影し、ピストンスカート周囲の構造が潤滑油の分布に影響することを示した。

潤滑油の粘度の影響を調べるため、モータリング時の直列4気筒ガソリン機関のピストンスカート上の潤滑油油膜の挙動の観察をしたが、比較的高温(60℃)で粘度差のすくない状態で実験したので、全体的な潤滑油油膜の挙動には、大きな差異はなかった。しかし、瞬間的な油膜の動きには差異が見られ、さらなる研究の必要性を示した。

審査結果の要旨

本論文は往復動機関の振動・騒音の主原因のひとつとして知られるピストンスラップ現象とそれを惹起するピストンの2次運動、ピストン潤滑に関する長年の研究をまとめたものである。

前半では往復動機関のピストン2次運動に関する理論式を展開し、それを用いて数値シミュレーションを行い、実験による各種計測結果との比較を実施して、その理論と数値シミュレーションの妥当性を示すと共に、ピストン・シリンダ隙間に形成される潤滑油膜の影響の重要性を明らかにした。

後半では潤滑油膜の動的挙動予測を数値シミュレーションによって実施して得られた研究成果

を示すと共に、レーザー誘起蛍光法による油膜厚さ計測をピストンスカート部の広い範囲について実施して、潤滑油の動的挙動を明らかにした。これは他の研究者らによる同種の研究が点測定あるいは線上の測定に比べて、本方法が面測定であるために潤滑油の動的挙動の理解に優れており、高く評価できる。また、この潤滑油の動的挙動の理解は、往復動機関からの排気ガス汚染原因のひとつでもある潤滑油の気筒内混入を低減するための環境汚染対策の視点でも重要であることから、この成果は重要である。

以上、本論文は往復動機関のピストン2次運動に及ぼす各種設計パラメータ・運転パラメータの影響をあきらかにし、実用往復動機関のピストン設計に重要な指針を与えたのみならず、これまで未解明の複雑な隙間内の潤滑油の分布とその挙動に関して新しい知見を与え、これからの往復動機関の設計に大きな実用的貢献をしたことは高く評価でき、博士(工学)の学位論文に値するものと認められる。