

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 田 浦 裕 生

本論文は「ティルティングパッドジャーナル軸受の安定性に関する研究」と題し、6章と若干の付録からなる。

すべり軸受でささえられた回転軸には軸受油膜の不安定化作用による自励振動(オイルウィップ)が発生することがあり、高速回転機械ではこれが絶対に発生しないように設計することが求められる。従来、ティルティングパッドジャーナル軸受は、原理的にオイルウィップを発生しない最も安定なすべり軸受とされていた。しかし最近になって、軸受荷重やパッドの予圧係数が小さい場合にオイルウィップが発生したという報告が相次いでなされている。ところが、従来の理論モデルは、このティルティングパッドジャーナル軸受で発生するオイルウィップ現象を合理的に説明することができていない。そこで本研究では、ティルティングパッドジャーナル軸受のオイルウィップ発生メカニズムを合理的に説明できる理論モデルを新たに構築してそれを実験的に検証し、その理論モデルに基づいて安定な運転を可能にする軸受設計指針を提示することを目的としている。

第1章「序論」では、研究の背景、従来の研究、先行する関連研究の内容を論じ、次いで本研究の目的と研究方針を述べている。

第2章「剛体軸で支持されたティルティングパッドジャーナル軸受の安定性に関する実験解析」では、先行する研究報告の追試として、剛な回転軸上に油膜を介してティルティングパッドジャーナル軸受を浮上させる軸・軸受系の装置を使用して、実験を行った。その結果、軸受すき間、予圧係数の大きさに依らず、ある回転速度以上になると軸受が激しい振れ回り振動を発生し、回転速度をさらにも上げて振動が持続すること、また、その振動数は軸回転周波数よりも低い回転非同期であること、この周波数の強制振動外力が存在しないことから、この振動は軸受油膜の不安定化作用を原因とする自励的な不安定振動(オイルウィップ)であるとしている。また振動モードは常にコンカルモードであり、パラレルモードの振動は発生しなかった。

第3章「剛体軸で支持されたティルティングパッドジャーナル軸受の安定性に関する理論解析」では、第2章での実験的事実を踏まえて、ティルティングパッドジャーナル軸受とジャーナルの中心軸線が相対的に傾斜する場合に油膜が発生する傾斜ばね・傾斜減衰の作用を理論的に明らかにし、その作用を傾斜ばね係数、傾斜減衰係数で表現してその特性を明らかにした。次に、この係数を用いて軸・軸受系の運動方程式を導出し、特性方程式に対してラウス・フルビッツの安定判別法を適用することにより線形安定性解析を行って安定限界速度を理論的に得ている。実験値との定量的な一致度は十分ではないものの、実測された安定性挙動と定性的に良い一致をみた。また傾斜ばね係数の連成項が不安定力として作用し、オイルウィップを発生させることが明らかになった。

第4章および次の第5章は本論文の中核的な章である。まず第4章「ティルティングパッド

ジャーナル軸受で支持された回転軸の安定性に関する実験解析」では、ティルティングパッドジャーナル軸受によって支持された弾性ロータのモデル装置を用いて実験したところ、油膜の傾斜ばね・傾斜減衰作用を無視できる軸受単純支持方式の装置では、実験の範囲内ではオイルウィップが発生しなかった。これに対して、油膜の傾斜ばね・傾斜減衰が作用する軸受固定支持方式の装置では、パッドの予圧係数、軸受荷重によらず、ロータの曲げ1次固有振動数に等しい振動数のロータの振れ回り振動が必ず発生し、ティルティングパッドジャーナル軸受で支えた回転軸でもオイルウィップが発生することを実証した。

第5章「ティルティングパッドジャーナル軸受で支持された回転軸の安定性に関する理論解析」では、第4章の実験に対応する理論解析を行っている。オイルウィップの発生が確認できた軸受固定支持方式の装置に対応して、油膜の傾斜ばね係数、傾斜減衰係数のみならず、フルセットの並進ばね係数、並進減衰係数を用いて軸・軸受系の運動方程式を導出し、特性方程式の複素固有値解析を行って線形安定性解析を行っている。その結果、実験結果を定性的によく説明できる安定限界線図を得ることが出来た。また、安定限界速度については理論予測と実測値の定量的な一致度が十分に得られていないが、この原因についても種々論じている。さらに、実験ではオイルウィップが発生しなかった軸受単純支持方式の装置についても同様に線形安定性解析を行ない、パッド予圧係数が大きい場合は実験範囲内では安定であるという実験結果と対応する解を得た。これらの理論解析により、ティルティングパッドジャーナル軸受で支えた回転軸のオイルウィップ発生のメカニズムが合理的に説明できるようになったと言える。さらに、これらの理論モデルを用いて、軸受や軸の設計変数が安定性に与える影響を詳細に検討し、広い安定な運転領域を確保するための設計指針を提示している。

第6章「結論」では、以上の知見を総括している。また付録として、座標系の詳細、式の詳細な導出過程を説明している。

以上を要するに、本研究は従来明らかにされていなかったティルティングパッドジャーナル軸受の安定性挙動とそのメカニズムを実験と理論解析により明らかにし、導出した理論モデルに基づいて安定な運転を確保するための当該軸受の設計指針を提示したもので、トライボロジーと振動学に関わる分野の機械工学、並びに関連する工業技術の発展に大きく寄与したと言える。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。