

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760203

研究課題名(和文)回転軸の安定性に及ぼす軸受油膜の傾斜油膜係数の影響

研究課題名(英文)Effect of Angular Oil Film Coefficients on Stability Characteristics of Rotor-Bearing System

研究代表者

田浦 裕生(Taura, Hiroo)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：20334691

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：ジャーナル軸受油膜の油膜係数は、軸・軸受系の振動特性・安定性に及ぼす影響など不明な点が多いため、傾斜油膜係数が回転軸の安定性に及ぼす影響を明らかにし、より高い安定性を維持するための軸受設計指針を導出することを目的として研究を行った。

実用的に使用される各種軸受形状(真円軸受、多円弧軸受、ティルティングパッド軸受)に対して、幅広い運転範囲における傾斜ばね係数、傾斜減衰係数のデータを得た。また、傾斜油膜係数を考慮した弾性軸のジェフコットロータに対して安定解析を行った結果、柔な回転軸において広い安定領域を確保するには、予圧係数を高く設定した二円弧軸受を採用するのが最も適当であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The effects of angular oil film coefficients on the stability characteristics of an elastic rotor supported in journal bearings are investigated. Angular oil film coefficients are numerically obtained for circular bearings, 2-lobe to 4-lobe bearings, and tilting pad journal bearings. A Jeffcott rotor considering the angular oil film coefficients are constructed, and stability threshold speeds were calculated under wide operating conditions. While the angular oil film coefficients do not affect the stability of the rotor-bearing system when the stiffness of the rotating shaft is high, the stability threshold speed increases when the shaft is very flexible, indicating the angular oil film coefficients improve the stability of the rotor-bearing system. Two-lobe bearings with a high preload factor cover much larger stable region in the stability charts than the other bearings. From the results, 2-lobe bearings with a high preload factor are most suitable for supporting the flexible rotor.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：すべり軸受 回転体の力学 軸受油膜 オイルホイップ 安定性 動特性 油膜モーメント 傾斜油膜係数

1. 研究開始当初の背景

回転軸の振動特性・安定性に大きな影響を与えるジャーナル軸受油膜の動特性係数(油膜係数)は、通常、ジャーナル中心軸と軸受中心軸が常に平行であるとして求められている。しかし実際の運転においては、ジャーナルと軸受の両中心軸が相対的に傾斜しているものと考えられる。この場合、油膜には軸を傾斜させるモーメントが生じ、これに対してもばね、減衰(傾斜ばね係数、傾斜減衰係数(併せて傾斜油膜係数))が発生する。従来の回転軸の振動解析では通常、油膜のモーメント作用や傾斜油膜係数は考慮されてこなかった。このため、傾斜油膜係数の実測例はなく、軸受面形状に伴う変化や、軸・軸受系の振動特性・安定性に及ぼす影響など不明な点が多い。

2. 研究の目的

本研究では、ジャーナルと軸受が傾斜することにより発生する傾斜油膜係数が回転軸の安定性に及ぼす影響を明らかにし、より高い安定性を維持するための軸受設計指針を導出することを目的とする。

3. 研究の方法

研究方針として、まず軸受面形状が傾斜油膜係数に及ぼす影響を調べ、続いて傾斜油膜係数が回転軸の安定性に及ぼす影響を明らかにし、最後に両者をまとめることにより目的を達成する。そのため、具体的には以下の事柄を明らかにする。

- (1) 傾斜油膜係数の測定方法の確立し、実験的に傾斜油膜係数の測定を行う。
- (2) 軸受面形状が傾斜油膜係数に及ぼす影響を調べる。傾斜油膜係数のデータベース作成する
- (3) 傾斜油膜係数を考慮した場合の不安定化機構の解明と、傾斜油膜係数の各項が安定性に及ぼす影響を明確にする。
- (4) 傾斜油膜係数のデータベースに連動した安定解析プログラムの開発し、広範な運転条件における安定限界線図を作成し、それを元に軸受設計指針の提示する

4. 研究成果

- (1) 傾斜油膜係数の測定については、浮動させた軸受に対して外部から加振を行う油膜動特性試験機を傾斜油膜係数測定用に

改良した。具体的には、軸受を傾斜加振させられるように軸方向に2か所の加振装置と、油膜モーメントが測定できるような軸方向2か所にロードセルを設置した。計測方法についても、並進運動に関する油膜係数測定を傾斜油膜係数の測定に拡張する形で、計測システムを構築した。

傾斜油膜係数の測定に関しては、測定におけるノイズを取り切れず、定性的に意味のある結果が得られなかった。

- (2) 軸受面形状が傾斜油膜係数に及ぼす影響については、理論的に解析を行い、幅広い運転条件に関する、真円軸受、多円弧軸受(二、三、四円弧)、ティルティングパッド軸受の傾斜油膜係数が得られた(図1, 2)。その結果、傾斜ばね係数、傾斜減衰係数は、ゾンマーフェルト数が小さな場合、予圧係数に依らないが、ゾンマーフェルト数が大きな場合には、予圧係数が増加するほど大きくなる。ただし、二円弧軸受の連成傾斜ばね係数の連成項は予圧係数が増加により符号が変化するなど例外的な特徴を示すことが明らかとなった。

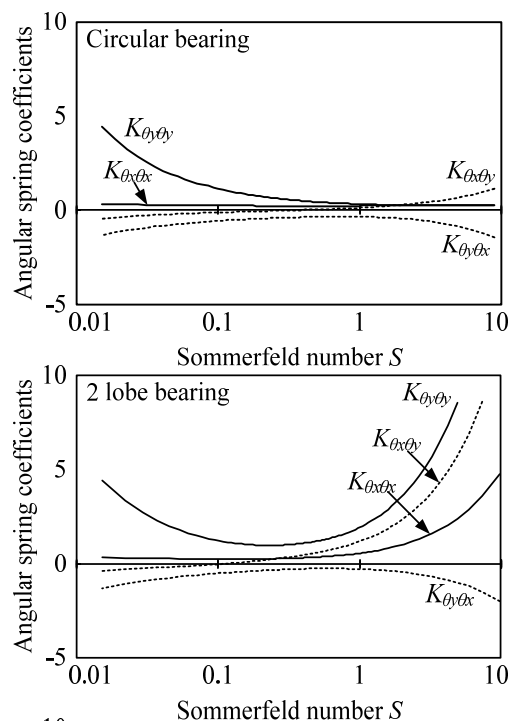


図1 傾斜ばね係数の例(真円軸受, 二円弧軸受)

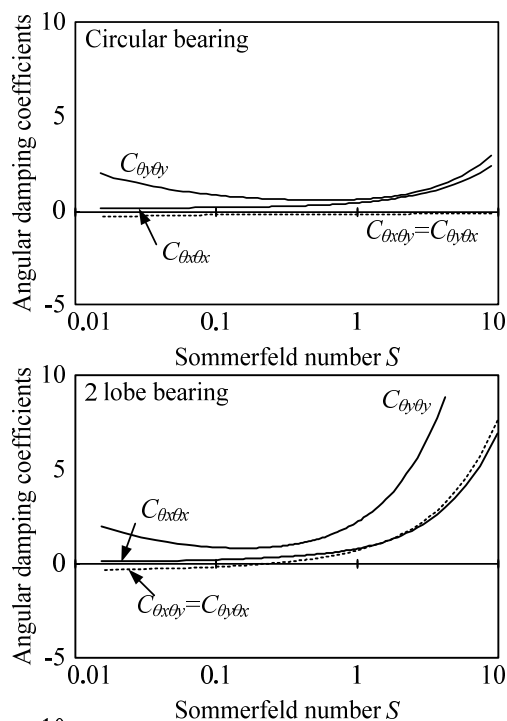


図2 傾斜減衰係数の例（真円軸受，二円弧軸受）

- (3) 傾斜油膜係数を考慮した場合の不安定化機構の解明については、すべり軸受で両端を支持された弾性軸のジェフcottロータにおいて、軸受部に傾斜ばね係数、傾斜減衰係数が作用する理論解析モデルを構築し、同モデルを用いて広範な運転条件における安定解析を行い、安定限界線図・安定裕度分布図を作成した。得られた結果を、傾斜ばね係数、傾斜減衰係数を含まない従来の理論解析モデルと比較検討した結果、以下のことが明らかとなった。

真円軸受の傾斜ばね係数、傾斜減衰係数は、軸・軸受系の安定性に影響を与え、安定限界となるゾンマーフェルト数の値を増加させる。この影響は軸の曲げ剛性が低い場合ほど大きく表れる。その一方、軸の曲げ剛性が高いと、傾斜ばね係数、傾斜減衰係数の影響は実際上無視できる。本解析の結果より、傾斜ばね係数、傾斜減衰係数の影響が無視できる軸の曲げ剛性は、軸の弾性度指数で約 1 以上と考えられる（図3参照）。

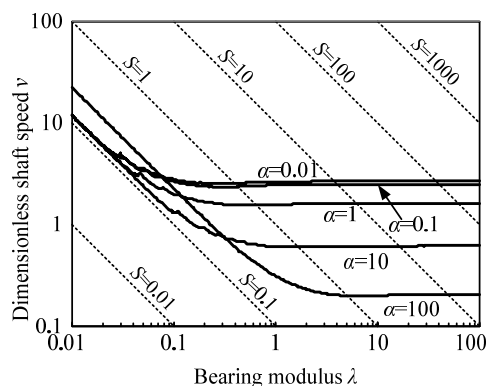


図3 傾斜油膜係数を考慮したモデルロータの安定限界線図（軸の曲げ剛性の影響）

軸受幅径比  $L/D$  が小さな場合には傾斜ばね係数、傾斜減衰係数が軸・軸受系の安定性に影響は小さく無視できるが、 $L/D$  が増加すると安定限界となる  $S$  の値を増加させる。ただし、系の安定性に及ぼす影響は軸の曲げ剛性の影響よりも小さい（図4参照）。

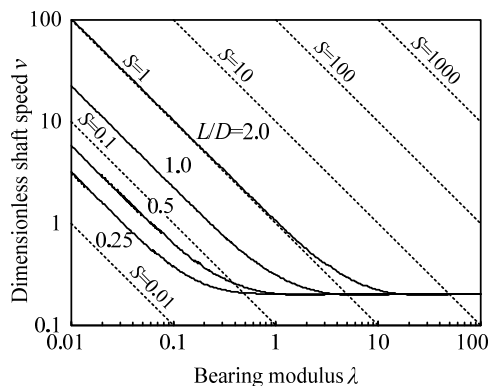


図4 傾斜油膜係数を考慮したモデルロータの安定限界線図（ $L/D$  の影響）

二円弧軸受は、予圧係数が高い場合に安定性が、他の形式の軸受に比べて非常に高くなる。三円弧軸受、四円弧軸受は、傾斜ばね係数・傾斜減衰係数が安定性に及ぼす影響が二円弧軸受に比べて小さい（図5参照）。

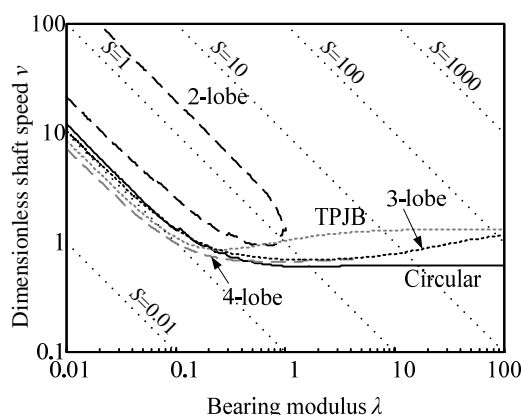


図5 傾斜油膜係数を考慮したモデルロータの安定限界線図（各種軸受の比較）

- (4) 傾斜油膜係数のデータベースに連動した安定解析プログラムの開発し、広範な運転条件における安定限界線図を作成した結果、柔な回転軸において広い安定領域を確保するには、予圧係数を高く設定した二円弧軸受を採用するのが最も適当と結論される。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 3件)

- 田浦裕生, 田中正人, 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オイルホイップ安定性に関する研究(第2報 軸受設計変数の影響), 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77巻783号, pp.4100-4110, 2011.
- 田浦裕生, すべり軸受で支持された柔な回転軸の安定性に及ぼす軸受油膜の傾斜ばね係数・減衰係数の影響, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77巻775号, pp.889-902, 2011.
- 田浦裕生, 真円ジャーナル軸受で支持された弾性回転軸の安定性に及ぼす軸受油膜の傾斜ばね係数・減衰係数の影響, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 77巻775号, pp.879-888, 2011.

〔学会発表〕(計 3件)

山田博之, 田浦裕生, 金子覚, 四角穴付きジャーナル軸受における動特性の数値解析, 日本機械学会機械力学・計測制御

部門 D&D2013講演論文集, 査読無, 2013.  
 山田博之, 田浦裕生, 金子覚, しゅう動面に四角穴を有するジャーナル軸受の油膜動特性の数値解析, 日本機械学会北陸信越支部題51期講演会, 査読無, 2013.  
 前田翔, 田浦裕生, 金子覚, スターブ潤滑下における真円ジャーナル軸受の油膜動特性に関する実験的解析, 日本機械学会北陸信越支部第49期総会・講演会論文集, 査読無, 2012.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕  
 出願状況(計 0件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 出願年月日:  
 国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 取得年月日:  
 国内外の別:

〔その他〕  
 ホームページ等  
 なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
田浦 裕生 (TAURA Hiroo)  
 長岡技術科学大学・工学部・准教授  
 研究者番号: 20334691
- (2) 研究分担者  
 なし
- (3) 連携研究者  
 なし