

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21560150

研究課題名（和文） 小型玉軸受の必要最小荷重に関する研究

研究課題名（英文） Study about necessary minimum load of small ball bearing

## 研究代表者

野口 昭治（NOGUCHI SHOJI）

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：80349836

研究成果の概要（和文）：転がり軸受においては、寿命計算や負荷容量を検討するために基本動定格荷重や基本静定格荷重が規定されている。機械に要求される信頼性を向上させるためには、大きな荷重に対する考慮は必要不可欠である。一方、軸受に対して荷重が小さすぎても回転不安定等の問題を起こすことが知られている。しかし、小さな荷重に関しては、明確な規定はなく、経験や実績に基づく値が参考として示されているに過ぎない。そこで本研究では、小径玉軸受を対象として転動体公転滑りの観察し、転動体公転滑りが上昇しない荷重を必要最小荷重と定義して、実験的な検討を行った。その結果、基本動定格荷重の0.65%以上の等価荷重が負荷された場合には、転動体公転滑りは上昇しないことを明らかにした。この値は適正予圧として推奨されている値に近く、推奨予圧の妥当性も実験的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In a rolling bearing, a basic dynamic load rating and a basic static load rating are provided by the design guideline to consider the life calculation and load capacity. To improve reliability required in a machine, consideration on large load is absolutely necessary. On the other hand, it is known that several problems, for example rotational instability, are caused when the load is too small. However, there is no specific rules and regulations in terms of small load, and several empirical data and actual measured values are denoted as reference. Therefore, in this research, revolution slip of rolling element was observed. Then, necessary minimum load was studied experimentally, assuming that the necessary minimum load was defined by a load at which the rotation slip of rolling element did not increase. Consequently, it was clarified that the rotation slip of rolling element did not increase in case of equivalent load more than 0.65% of basic dynamic load rating. This condition value is similar to a recommended value as the appropriate preload. Thus, reasonability of the recommended preload was explained experimentally.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,700,000	1,110,000	4,810,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・トライボロジー

キーワード：機械要素、トライボロジー、玉軸受、転動体公転滑り

## 1. 研究開始当初の背景

転がり軸受の使用においては、疲労寿命を検討するための基本動定格荷重、塑性変形を検討するための基本静定格荷重のように大きな荷重については規格が存在し、広く知ら

れている。機械システムの信頼性向上のためには、疲労寿命の計算や強度的な検討は不可欠であり、仕様を満足させる転がり軸受を選定する上で大きな荷重に対する規格値は重要な意味を持つ。

しかし、小さい荷重についての規格は、転がり軸受の回転精度測定や音響における最小荷重の規定はあるが、実用的な必要最小荷重については、海外の軸受メーカー1社のカタログに経験的な値として記載されているだけである。軸受に対して荷重が大きい場合には早期損傷を招くが、小さ過ぎても回転精度不良や剛性不足等の不具合を起こすことも知られている。しかし、これまでの転がり軸受の研究において、必要最小荷重を見いだすような研究は行われていない。

## 2. 研究の目的

機械に組み込まれる際の予圧が小さい小径玉軸受の必要最小荷重を実験的に求める研究を行った。小径玉軸受は予圧が小さいため、取付不良、使用中のなじみ等によって僅かでも予圧が低下すると“予圧抜け”状態になりやすく、性能維持の観点から必要最小荷重が重要な意味を持つと考えられる。必要最小荷重については、使用条件や要求性能によって定義が異なると考えられるが、本研究では“内輪回転において軸受が安定して回転できる荷重”と定義した。軸受の回転不安定については、回転振れが大きくなる、音・振動が大きくなる等軸受の外部から検出できる不具合が起こる前に、軸受内部で先に異常が起きていると思われる。本研究では、内部の異常として、転動体の公転滑りに着目した。

転がり軸受が軽荷重、高速回転で使われる場合には、内輪軌道輪と転動体が純転がりとならずに転動体の公転滑りが生じることが知られている。転がり軸受の転動体公転滑りについては、転動体の一つを磁化して外輪に巻き付けたコイルの磁束変化を観察する方法で、自転滑りとともに測定されており、転動体の運動や潤滑状態を含めた発生メカニズムが検討されている。転動体の公転滑りが大きくなると発熱や摩擦が大きくなるので、公転滑り量の変化を観察すれば、軸受に不具合が起こる前兆を捉えることが可能と考えられる。

本研究では、複数型番の小径玉軸受を対象にして、許容回転速度の1/2程度までの回転速度範囲で転動体公転滑りを観察し、転動体公転滑りが上昇せずに回転できる荷重を実験的に明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 転動体公転滑りの測定

低荷重条件において、軸受の音や振動が上昇する原因としては、転動体の公転滑りが考えられる。そこで、本研究では最初に高速回転における小型玉軸受の公転滑りを測定できる装置を開発した。

実験装置の概略を図1に示す。また、測定軸受周辺の詳細図を図2に示す。測定軸受の

上面を開放して、上方から高速度カメラで転動体の公転を撮影できるような構造である。アクリル性の透明シールを使用することにより、軸受内部の観察と高速回転時の潤滑剤飛散防止を実現している。

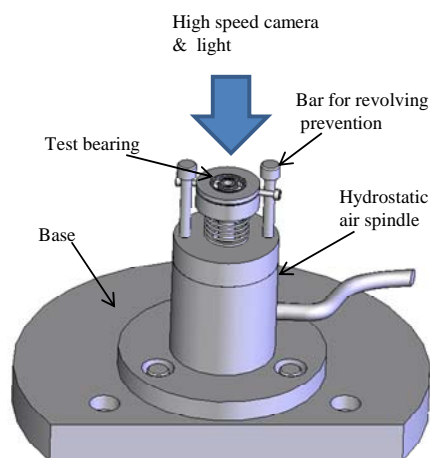


図1 転動体公転滑り測定装置概略図

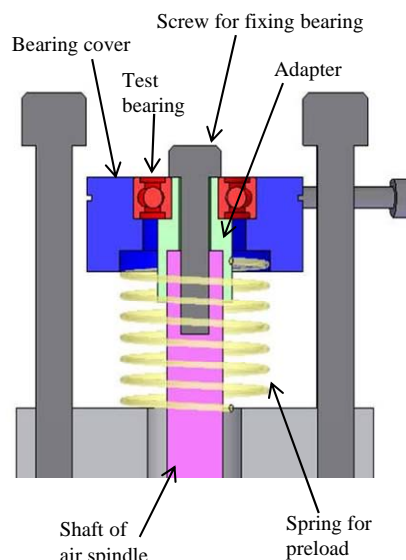


図2 軸受部分詳細図

### (2) 転動体公転速度の算出

図1の装置上面から高速度カメラで転動体の公転を撮影した動画を記録する。記録画像は図3のようになっており、転動体は光の反射で白く見えている。転動体が連続的に動いている画像が撮影されており、撮影コマ数と連動した時間が上部に表示されるので、コンピュータ画面上に基準線を決めて、その基準線を10公転分(695では転動体80個、693、608では転動体70個)の転動体が通過する時間を求めて、転動体公転速度を計算した。

目視で計算することもできるが、非常に手間が掛かるので、実際には通過する転動体数を入力すれば、経過時間を自動的に求めるこ

とができる画像処理プログラムを自作して公転速度を計算した。

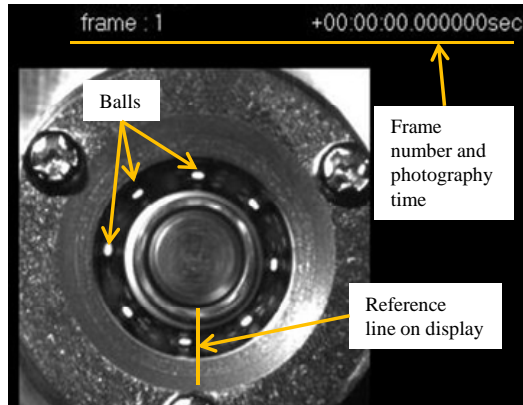


図3 高速度カメラの撮影画像

### (3) 転動体公転滑り率算出方法

転動体に公転滑りが生じると純転がり状態と比較して、公転速度が低下する。そこで本研究では、理想的な純転がり状態における転動体公転速度( $v_1$ )と実際に測定された転動体公転速度( $v_2$ )を以下の式に代入して、公転滑り率を算出した。

$$\text{滑り率} = 100 \times (1 - v_2/v_1) \quad [\%]$$

## 4. 研究成果

### (1) 測定軸受の転動体公転滑り率

測定軸受として 693、695、608 を用いて、アキシャル荷重 1~11N、微量油潤滑、回転速度 2000~18000 $\text{min}^{-1}$ の条件で転動体公転滑り率を測定した結果を図4~6に示す。

測定軸受によって影響が出るアキシャル荷重は異なるが、定性的には、

- ① 回転速度が高くなると公転滑り率は上昇している
  - ② アキシャル荷重が小さくなると公転滑り率は上昇している
- ことがわかる。

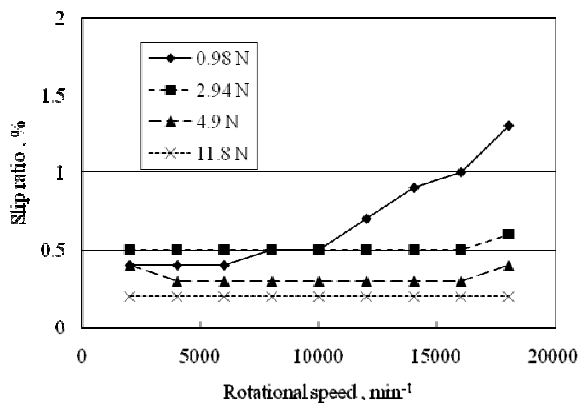


図4 693の転動体公転滑り率測定結果

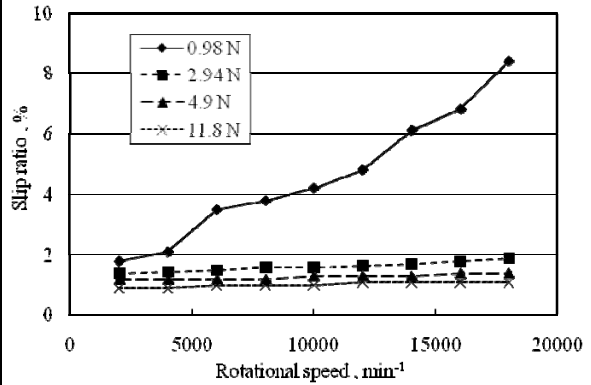


図5 695の転動体公転滑り率測定結果

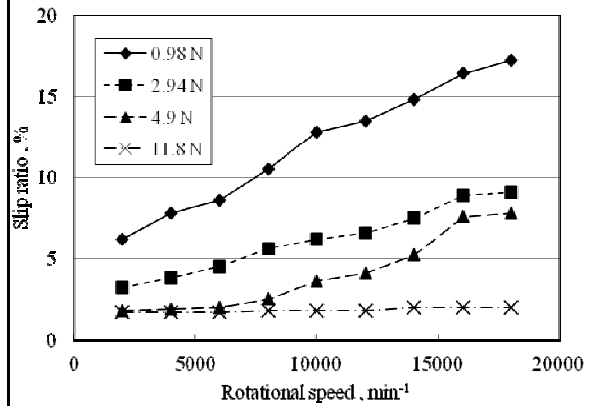


図6 608の転動体公転滑り率測定結果

### (2) 必要最小荷重の定義と結果

公転滑りが上昇すると軸受け内部で転動体と内輪軌道面の滑りが大きくなるので、表面の摩耗が増大し、その結果として音・振動の上昇を招く。そこで軸受が安定して回転できる各軸受における必要最小荷重として、“転動体公転滑りの上昇を起こさない動等価荷重”と定義した。ただし、転動体の公転滑りは回転速度の影響を受けるので、本研究の実験範囲である 18000 $\text{min}^{-1}$ までの条件である。

この定義に基づいて結果を整理すると表1のようになり、3つの型番に共通して基本同定格荷重  $C_r$  との比率において、0.36以下の動等価荷重となったアキシャル荷重においては、転動体公転滑り率が上昇していたことがわかる。したがって、必要最小荷重としては、基本同定格荷重の 0.65%以上の動等価荷重が必要となる。この 0.65%という値は、海外メーカーのカタログに定義されている値 (1%) と比較してやや小さめである。海外メーカーの値は、本研究で得られた値よりも大きいので、安全サイドの数値であり、設計

においては有用であることが確認された。

表 1 各軸受における荷重の定義

(a) 693

$F_a$ , N	$P$ , N	$P/C_r$ , %
0.98	2	0.36
2.94	7	1.25
4.9	10	1.79
11.8	20	3.57

(b) 695

$F_a$ , N	$P$ , N	$P/C_r$ , %
0.98	3	0.28
2.94	7	0.65
4.9	11	1.02
11.8	23	2.13

(c) 608

$F_a$ , N	$P$ , N	$P/C_r$ , %
0.98	3	0.09
2.94	8	0.24
4.9	12	0.36
11.8	29	0.88

\*黄色の範囲で転動体公転滑り率上昇

## 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 6 件)

①永田春樹、野口昭治、藤木直子、合成荷重条件下における小径玉軸受の転動体公転滑りの観察、(社)日本設計工学会平成 21 年度春季大会研究発表講演会講演論文集、PP7-8、2009、査読なし

②藤木直子、野口昭治、永田春樹、小径玉軸受の高速回転における転動体公転滑りの観察、(社)日本設計工学会平成 21 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集、PP19-20、2009、査読なし

③永田春樹、野口昭治、小径玉軸受の転動体公転滑りに関する転動体材料の影響、(社)日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会講演論文集、PP7-8、2010、査読なし

④野口昭治、小径玉軸受の必要最小荷重の検討、日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会講演論文集、PP223-224、2012、査読なし

⑤野口昭治、公転滑りを尺度とした小径玉軸受の必要最小荷重の検討、2012 年度精密工

学会春季大会学術講演会講演論文集、PP1053-1054、2012、査読なし

⑥野口昭治、藤木直子、永田春樹、小径玉軸受の必要最小荷重に関する実験的検討、トライボロジスト、Vol. 57、No. 4、PP289-294、2012、査読有り

[学会発表] (計 5 件)

①永田春樹、野口昭治、藤木直子、合成荷重条件下における小径玉軸受の転動体公転滑りの観察、(社)日本設計工学会平成 21 年度春季大会研究発表講演会、2009.5.23、東京都市大学

②藤木直子、野口昭治、永田春樹、小径玉軸受の高速回転における転動体公転滑りの観察、(社)日本設計工学会平成 21 年度秋季大会研究発表講演会、2009.10.24、広島国際大学

③永田春樹、野口昭治、小径玉軸受の転動体公転滑りに関する転動体材料の影響、(社)日本設計工学会平成 22 年度秋季大会研究発表講演会、2010.10.23、高知工科大学

④野口昭治、小径玉軸受の必要最小荷重の検討、日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会、2012.3.10、日本大学生産工学部

⑤野口昭治、公転滑りを尺度とした小径玉軸受の必要最小荷重の検討、2012 年度精密工学会春季大会学術講演会、2012.3.14、首都大学東京

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/nog/index.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 昭治 (NOGUCHI SHOJI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：80349836

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし