

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420088

研究課題名(和文) 小型玉軸受の損傷におよぼす外部振動の影響の定量的解明

研究課題名(英文) Quantitative clarification for influence of external vibration to damage in small ball bearing

研究代表者

金田 徹 (KANADA, Tohru)

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：20169551

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：試験玉軸受608VVについて、外部ラジアル振動(周波数は $24.75 \pm 0.5$ Hz、振動加速度 $10\text{m/s}^2$ まで)を与えた範囲では、寿命に至るほどではないが、外部振動が大きくなると、試験軸受から発生する振動が大きくなる頻度が高くなる傾向が見られた。外部ラジアル振動を加えると、固定輪である外輪負荷圏の軌道面には、走行跡が目立つようになり、外部振動がおおきいほど走行跡は太く、顕著になることが確認できた。外輪の負荷圏における軌道面の表面疲労は、外部振動にともなって大きくなる傾向があるが、疲労インデックスの値としては小さく、表面疲労を問題にするレベルには至らないことを確認した。

研究成果の概要(英文)： For small ball bearings (608VV), in the range of external radial vibration whose frequency is  $24.75 \pm 0.5$ Hz and vibration acceleration is up to  $10\text{m/s}^2$ , almost all the test bearings kept their duration life. However, when the external vibration became larger, it was observed that the vibration arising from the test bearing increased with the external vibration. In case that the external vibration was applied, a travel trail came to be highly visible on the fixed outer raceway surface for loading area. Furthermore, it was made clear that the travel trail became more heavy and distinguished with larger external vibration. Though there was a tendency that the surface fatigue in the outer raceway for loading area increased, it was confirmed that the value of fatigue index was small and the surface fatigue was not an influencing factor in this case.

研究分野：精密測定、機械要素設計、規格開発

キーワード：軸受寿命 軸受損傷 外部振動 寿命計算規格 補正係数

### 1. 研究開始当初の背景

転がり軸受は軸に加わる荷重を支えながら回転運動を案内する機械要素で、多くの機械に使用されている。転がり軸受は内輪と外輪の間に転動体が存在し、転動体が回転することによって低摩擦を実現しているが、内外輪と転動体は油膜を介してではあるが接触しており、回転に伴い軸受毎に特定周波数の振動が発生する。また、機械には複数の歯車や回転軸を支える軸受、原動機などの振動源があり、1つの転がり軸受を考えると自ら振動を発生しながら、外部からも振動が加わる環境で稼働している。軸受に外部振動が加わるような環境における転がり軸受の選定においては、軸受に加わる動等価荷重に荷重係数、ベルト係数、歯車係数などの係数を乗じて、定格寿命を計算する。しかし、軸受メーカーのカタログや機械設計の書籍に書かれている荷重係数は、条件毎に範囲で示されており、外部振動条件から荷重係数を定量的に決められるようにはなっていない。設計者としては、機械の安全性を考慮して、大きめの値を選んでしまうことが多いと思われる。このことは、必要以上の軸受を選定することになるので、機械の大型化、高コスト化になってしまう。また、軸受の定格寿命は荷重の3乗に反比例して短くなるので、荷重係数を適切に決めないと疲労寿命を精度良く見積もることもできない。

しかし、軸受メーカーから公表される寿命試験データは、実験が静的な環境で行われていることが多い。軸受の使用環境を考慮した寿命試験については、顧客との間に個別に実施されていると考えられるが、守秘義務があるので公表されないことが多い。一方で、転がり軸受に外部振動を加えた研究としては、一定の成果があるが、そこで使用された軸受は静止状態であり、回転中に外部振動を加えての耐久試験ではない。また、別の研究では、軸受が組み込まれた試験装置の共振周波数と軸受から発生する振動周波数とを一致させるように軸受を回転させた試験を行い、短寿命になることを明らかにしている。しかし、機械装置においては共振を回避するように設計されているので、軸受の稼働条件としては特殊である。転がり軸受の研究では、転がり軸受から発生する振動を扱った研究は多く見られるが、外部から振動が加わった場合の軸受損傷を扱ったものは少ない。

### 2. 研究の目的

本研究では、外部振動を意図的に加えた条件で小型玉軸受の音響や疲労寿命試験を行い、振幅や周波数、振動方向（アキシャル、ラジアル）の影響を定量的に解明することを目的とする。

本研究によって、振動による使用条件係数を決定できる可能性もあり、転がり軸受の寿命予測精度を向上させることが期待できる。さらに、過剰スペック予防やコストダウンが

可能になるので、経済的な効果も大きいと思われる。

### 3. 研究の方法

初年度（平成26年度）においては、まず、小型玉軸受（608VV）専用の3台の耐久試験装置を設計開発した（図1参照）。この装置では、試験玉軸受に対して、ラジアル方向およびアキシャル方向に（個別に、または同時に）任意の振動加速度（周波数と振幅）を与えることができる。

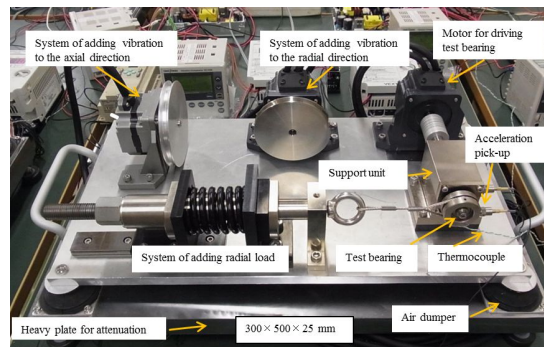


図1 製作した外部加振可能な寿命実験装置

続く平成27年度および平成28年度にわたって、所定の稼働状態の下で（表1参照）計算される寿命の3倍の時間（1560時間）について連続的に試験玉軸受を回転させる耐久試験を実施した。その試験中に付加されている（発生している）試験玉軸受の振動加速度および軸受カバーの温度を記録した。同様な試験は、共同研究者の一人の所属機関（東京理科大学）でも、同時並行で実施しており、同一条件のもとで、複数のデータを記録した。ラジアル方向の加振条件としては、試験玉軸受が外部振動に対して共振を起こすと考えられる周波数近辺において、振動加速度を  $1.0\text{m/s}^2$ 、 $2.5\text{m/s}^2$ 、 $5.0\text{m/s}^2$ 、 $10.0\text{m/s}^2$  と変化させた。

表1 実験条件

試験軸受	608VV
回転速度 (rpm)	4000
環境温度 ( )	$23 \pm 3$
潤滑剤	グリース
ラジアル荷重 (N)	660
寿命 (時間)	521
試験時間 (時間)	1563
外部振動方向	ラジアル
外部振動周波数 (Hz)	$24.75 \pm 0.5$
外部振動加速度 ( $\text{m/s}^2$ )	0、1.0、2.5、5.0、10.0

平成28年度後半においては、アキシャル方向の外部振動（振動加速度は  $1.0\text{m/s}^2$ 、 $2.5\text{m/s}^2$ 、 $5.0\text{m/s}^2$ 、 $10.0\text{m/s}^2$ ）を加える実験も開始した。本研究で加えた外部振動の周波数は1種類であるが、FA機器、自動車、輸送機器等の振動に該当しており、圧縮機では下限

に近い周波数である。このようなことから、本研究で加えた外部振動が一般的な機械振動に該当していることがいえる。圧縮機や自動車においては、小～中程度の振動レベルであるが、FA 機器や輸送機器用途においては、振動の範囲を含んでいる。

#### 4. 研究成果

試験玉軸受 608VV において外部からの加振状態での寿命試験（複数台について 1560 時間連続運転）を継続してきた。ラジアル方向の振動加速度の初期設定値として、 $1.0\text{m/s}^2$  から始めた実験も、 $2.5\text{m/s}^2$ 、 $5.0\text{m/s}^2$ 、 $10.0\text{m/s}^2$  の条件まで終了した状態である。同様に加振方向をアキシャル方向に変え、同様な実験を開始しているが、これについての結果は、なお時間がかかる。現時点までに得られたラジアル方向加振について、次のことが明確になった。

- (1) 本実験装置の構成において、外部ラジアル振動（振動加速度  $10\text{m/s}^2$  まで、周波数は  $24.75 \pm 0.5\text{Hz}$ ）を与えた範囲では、寿命に至るほどではないが、外部振動が大きくなると、試験軸受から発生する振動が大きくなる頻度が高くなる傾向が見られた（図 2 参照）。

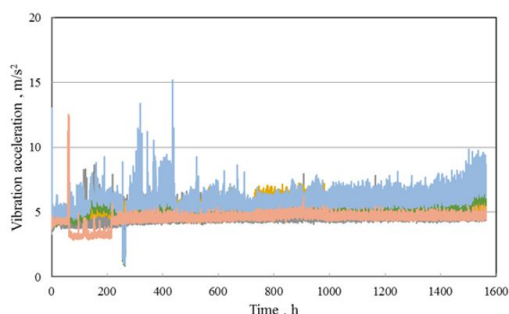


図 2 振動加速度の推移（ $10\text{m/s}^2$  加振）

- (2) 外部ラジアル振動を加えると、固定輪である外輪負荷圏の軌道面には、走行跡が目立つようになり、外部振動がおおきいほど走行跡は太く、顕著になることが確認できた（図 3 参照）。

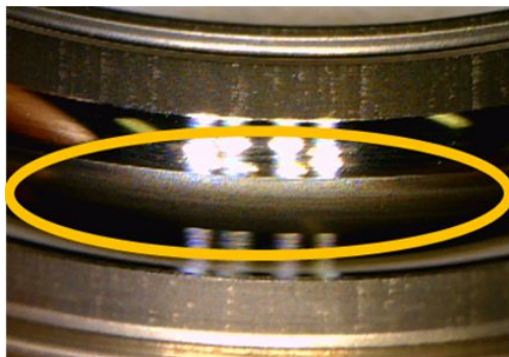


図 3 外輪軌道面（負荷圏）の走行跡

- (3) 外輪の負荷圏における軌道面の表面疲労は、外部振動にともなって大きくなる傾向があるが、疲労インデックスの値としては小さく、表面疲労を問題にするレベルには至らないことを確認した（図 4 参照）。

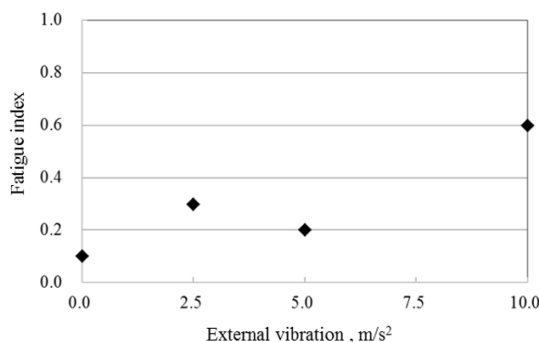


図 4 外輪（固定輪）における疲労インデックス

なお、今回設定した振動条件は、自動車、輸送機器、FA 機器等の稼働環境に近いが、今後は、より大きな振動環境での実験を実施した上でその傾向を把握し、寿命規格への反映ができればと考えている。

#### 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 1 件）

- (1) 野口昭治、金田徹、宮永宜典、堀田智哉、浅田誠司：小型玉軸受の損傷に及ぼすラジアル方向外部振動の影響（第 1 報、 $10\text{m/s}^2$  までのラジアル振動を与えた場合）設計工学、査読有、52、4（2017 年 4 月）pp.229-240.

DOI: 10.14953/jjsde.2016.2712

〔学会発表〕（計 3 件）

- (1) 野口昭治、金田徹、宮永宜典、堀田智哉：小型玉軸受の損傷に及ぼすラジアル方向外部振動の影響（振動周波数を変化させた場合）（公社）日本設計工学会東海支部平成 28 年度研究発表講演会（2017 年 3 月 9 日）（名古屋市、名城大学）
- (2) 金田徹、野口昭治、宮永宜典：小型玉軸受の寿命におよぼす外部振動の影響（継続している実験の状況）（公社）日本設計工学会東海支部平成 27 年度研究発表講演会（2016 年 3 月 9 日）（名古屋市、名城大学）
- (3) 金田徹、野口昭治、宮永宜典：小型玉軸受の寿命におよぼす外部振動の影響（実験装置の製作と実験の状況）（公社）日本設計工学会東海支部平成 26 年度研究発表講演会（2015 年 3 月 11 日）（名古屋市、名城大学）

なお、次は未公表であるが、応募論文は受理されて、2017年9月17日～19日、ドイツ・アーヘンにて開催される ICDES 2017(International Conference on Design Engineering and Science 2017)において発表予定となっている。

T. Kanada, S. Noguchi, N. Miyanaga and T. Hotta : Influence of external vibration in radial direction for damage of small ball bearings (In case of giving radial vibration up to 10m/s<sup>2</sup>)

〔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  
<http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~kanada/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金田 徹 (KANADA, Tohru)  
関東学院大学・理工学部・教授  
研究者番号：20169551

### (2) 研究分担者

宮永 宜典 (MIYANAGA, Norifumi)  
関東学院大学・理工学部・准教授  
研究者番号：00547060

野口 昭治 (NOGUCHI, Shoji)  
東京理科大学・理工学部・教授  
研究者番号：80349836

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )