

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 軸受内の荷重分布を測る

車軸などに用いられる転がり軸受の内部では、ころなどの転動体が外輪と内輪の間を転がりながら荷重を支えています。軸受内での転動体にかかる荷重の分布を正確に知ることができれば、ハウジングなどの周辺構造を含めた信頼性の向上に役立てられます。本稿では、軸受や荷重分布について解説した後、これまでに使われてきた荷重分布測定法に触れながら、新たな実験技術の概要とこれを用いて得られた見解の一例を紹介します。

## 鉄道車両と軸受

軸受は、荷重を支えながら軸の滑らかな回転運動を保つ機械要素です。軸受は、転がり軸受とすべり軸受の二種類に分類されますが、ここでは軸受とは転がり軸受のことを指します。

鉄道車両での軸受の使用箇所を、電車の走り装置(台車)を例に図1に示します<sup>1)</sup>。車軸には車両の重量や走行中の車両の揺れによる荷重を支える軸受が取り付けられており、図1に示す複列の円すいころ軸受や、円筒ころ軸受が使われています。主電動機の回転軸の両端には玉軸受ところ軸受がそれぞれ使われています。主電動機の動力

を車軸に伝える歯車装置では、小歯車軸を二つの円すいころ軸受で受け、さらに歯車箱を大歯車側の二つの円すいころ軸受で支えています。これらの軸受は車両の安定な走行を担っているので高い信頼性が求められます。

## 軸受の仕組みと転動体荷重

図2に示す深溝玉軸受と円筒ころ軸受を例に軸受の基本構造を説明します。軸受は外輪、内輪、玉やころなどの転動体、そして転動体を一定間隔に配置する保持器によって構成されています。外輪と内輪の、転動体が転がって接触する部分を軌道面といいます。玉軸受



**永友 貴史**  
Takafumi Nagatomo  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
室長  
[専門分野] 転がり軸受,  
金属材料



**高橋 研**  
Ken Takahashi  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
研究員  
[専門分野] 転がり軸受,  
機械工学



**岡村 吉晃**  
Yoshiaki Okamura  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 転がり軸受,  
金属材料



**寺田 泰也**  
Yasunari Terada  
研究開発推進室  
設計・試作  
主査  
[専門分野] 機械設計,  
PLC

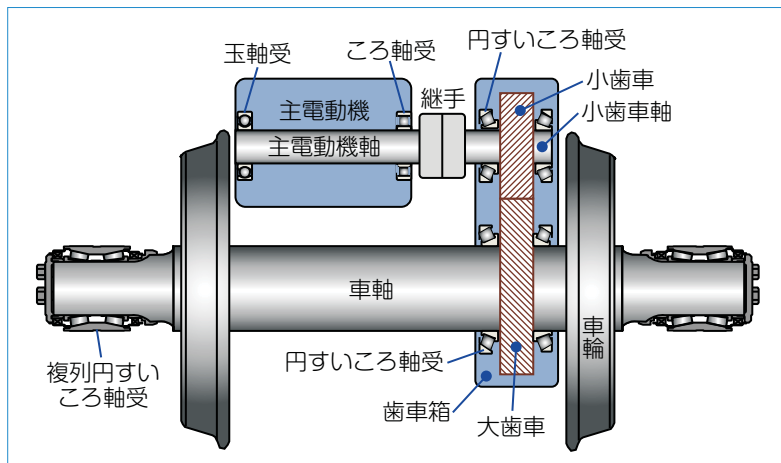


図1 走り装置の軸受使用箇所(例)

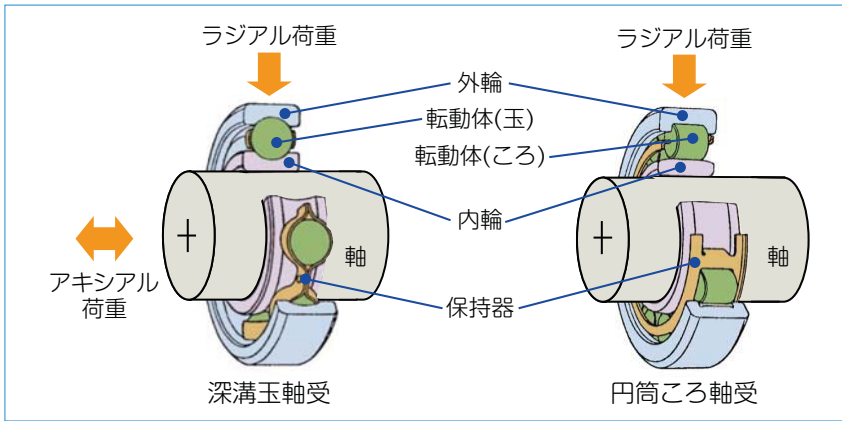


図2 転がり軸受の基本構造

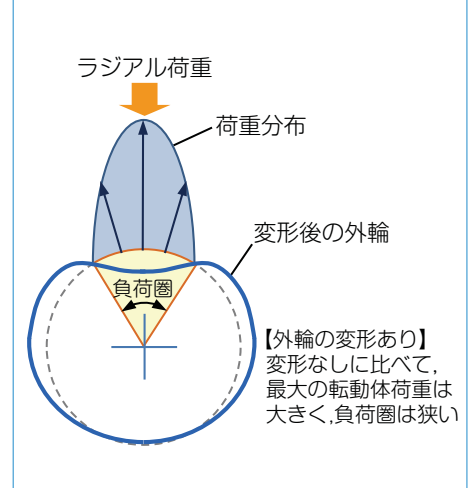
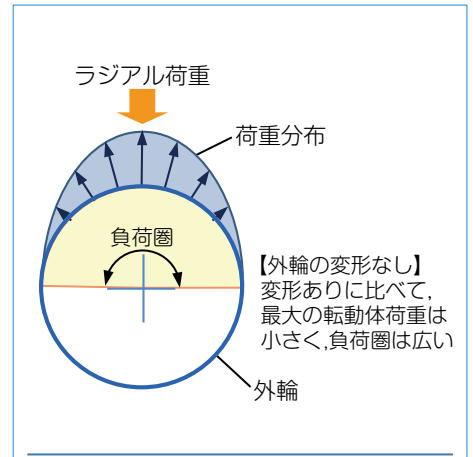


図5 外輪変形の有無による荷重分布の模式図

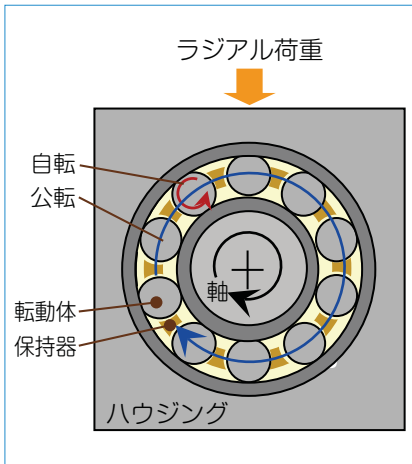


図3 転動体の自転と公転

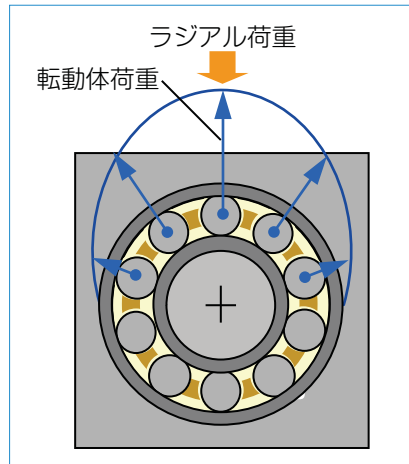


図4 転動体荷重

ではラジアル荷重とアキシャル荷重(☞参照)の両方を、ころ軸受では主にラジアル荷重を受けます。外輪はハウジングや軸箱と呼ばれるケースに収められ、内輪は軸にはめあわされます。

今、図3に示すように、ハウジングにラジアル荷重が加わって、軸が回転している状態を考えます。内輪は軸と一しょに回転し、転動体は外輪と内輪の間を転がります。このとき、同図の矢印で示すように、転動体はそれぞれ自転しながら公転します。ハウジングに加わった荷重は、外輪から転動体を経て内輪に伝わり、軸受内では図4のように、いくつかの転動体が分担して荷重を受け、その荷重の大きさは転

動体の位置により異なります。転動体が受ける荷重のことを転動体荷重、荷重を受ける範囲を負荷圏といいます。

### 転動体荷重分布と軸受寿命

軸受は外輪と内輪の軌道面を転動体が転がりながら荷重を支えるので、それぞれの材料が繰り返し荷重を受けて転がり疲れによる寿命(☞参照)に至ります。したがって、軸受の寿命には転動体荷重が影響するので、軸受内の転動体荷重の分布(以下、荷重分布といいます)を知ることは重要です。

荷重分布の理論では、軸受が荷重を

#### ☞ 軸受の寿命

転がり疲れの蓄積により軌道面などがうるこ状にはがれる“はく離”と呼ばれる損傷が発生するまでの総回転数が軸受の寿命と定義されています。ただし、鉄道車両用の軸受寿命は走行距離に換算して表すのが一般的です。

受けた状態でも外輪や内輪が変形せずに円形を保ち、さらにハウジングも変形しないことを前提にしています。しかし、実際には構造上の寸法的な制約、軽量化やメンテナンス上の都合などの理由で、ハウジングが変形しないように十分な厚さを持たせるのは難しく、その変形も無視できません。また、ハウジングの形状や荷重のかかり方によって変形も様々で、ハウジングの変形が外輪の変形にも影響するので、荷重分布は理論と異なってしまいます。図5に外輪変形の有無による荷重分布の違いの例を模式的に示します。

では、どのようにして実際の荷重分布を知ることができるのでしょうか。

次に、荷重分布を調べる実験技術について、これまでに使われてきた方法に触れた後、著者らが新たに考案した方法と測定例を紹介します。

#### ☞ 軸受に働く荷重

軸受の中心軸に垂直な方向、すなわち半径方向に働く荷重をラジアル荷重、一方軸受の中心軸に平行な方向に働く荷重をアキシャル荷重と呼びます。

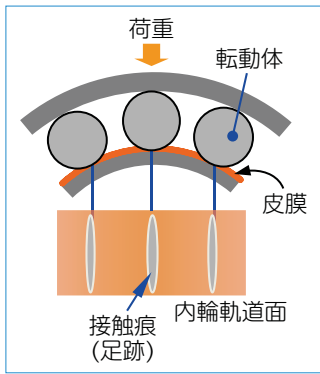


図6 足跡法

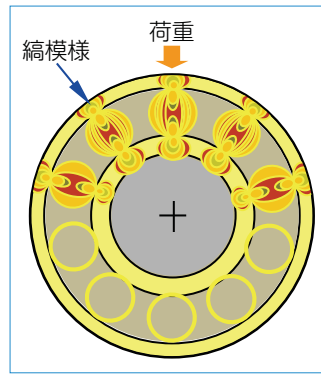


図7 光弾性法

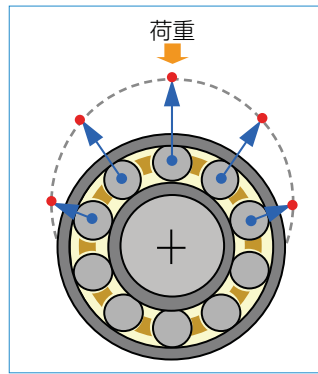


図8 離散的な荷重分布

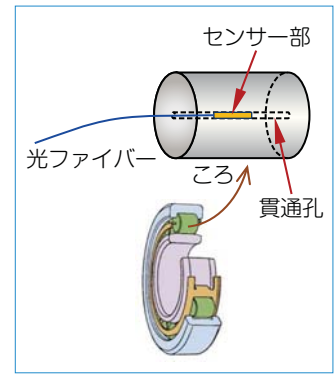


図9 センサーを装着したころ

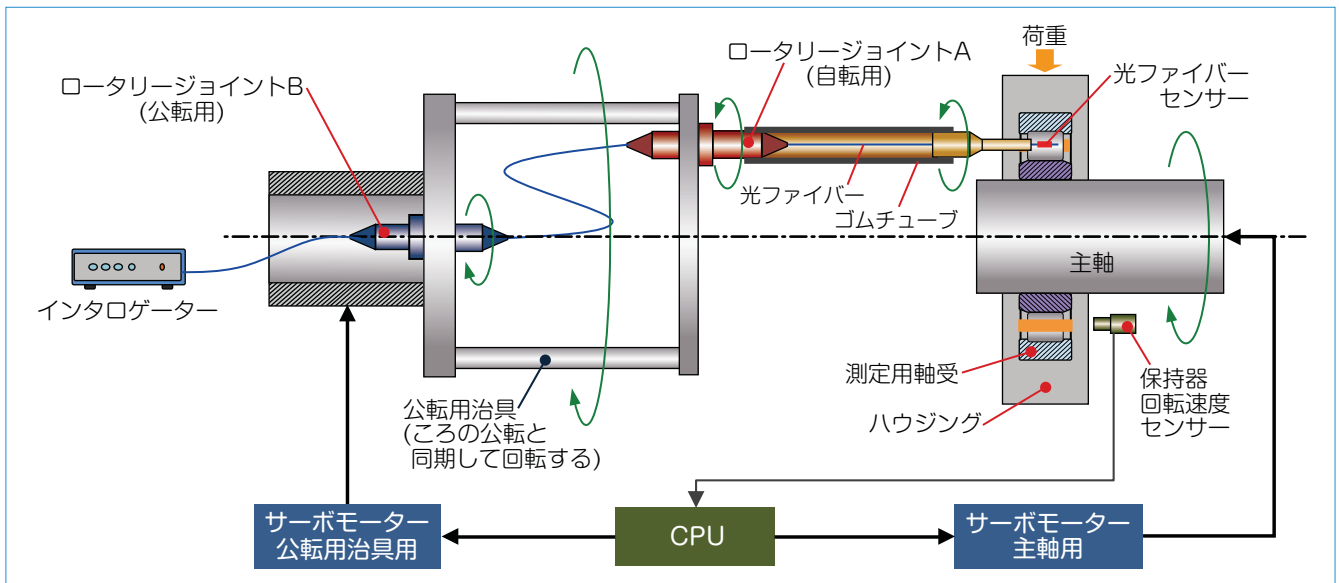


図10 新たに考案した荷重分布測定装置の概略

### これまでの荷重分布測定方法

荷重分布を実験的に求める代表的な方法である、足跡法と光弾性法について簡単に述べます。

足跡法では、軌道面上に化学的に生成させた皮膜に転動体を押し付けて取り除くと、接触部の皮膜がはがれてできた接触痕すなわち転動体の足跡が観察できます(図6)。その大きさから転動体荷重を求めます。ただし、軸受の組み立て・分解時に皮膜が傷つきやすく、また足跡の大きさの読み取り誤差を生じやすいので注意が必要です。

光弾性法は、透明な高分子材料で作った軸受のモデルに荷重を加えて偏光を通した時にできる明暗の縞模様から転動体荷重の大きさを求めます(図7)。この方法はモデルでの測定なので、実物との対応を確かめる必要があります。

これらの方法は転動体荷重を直接測定するものではありません。またどちらも軸受が静止した状態での測定であり、図8の赤い点(●)に示すような、測定の際に転動体が存在する位置の転動体荷重(離散的な分布)を求めるものなので、軸受が回転しているときの軸受全体の連続的な荷重分布(同図の点線)を知ることはできません。

そこで、実物の軸受を回転させながら、転動体の変形から荷重分布を求めする方法を新たに考案しました<sup>2)</sup>。

### 考案した荷重分布測定方法

#### 測定用軸受

ここでは、小型の円筒ころ軸受(内径30mm, 外径62mm, 幅16mm, ころ径9mm)を用いています。図9に示すように、一つのころ(転動体)の軸中心に設けた細い貫通孔に、ひずみ

を検出できる光ファイバーセンサー(参照)を接着してあります。ころが荷重を受けて変形する際のひずみを測定することで転動体荷重を得ます。

#### 測定装置の仕組み

図10に測定装置の概略を示します。測定用軸受は、ハウジング(縦140mm, 横140mm, 幅30mm)に収められ、ハウジングに荷重を与えて軸受を回転させられる試験装置に取り付けられています。主軸を回転させると、図3のように、ころが自転しながら公転するので、ころに取り付けた光ファ

#### 光ファイバーセンサー

ここでは、センサー部にFBG (Fiber Bragg Grating) という複数の回折格子が等間隔に並んだ光ファイバーを用いています。ひずみの発生により回折格子の間隔が変化することで光の波長が変化するので、波長の変化からひずみが求められます。

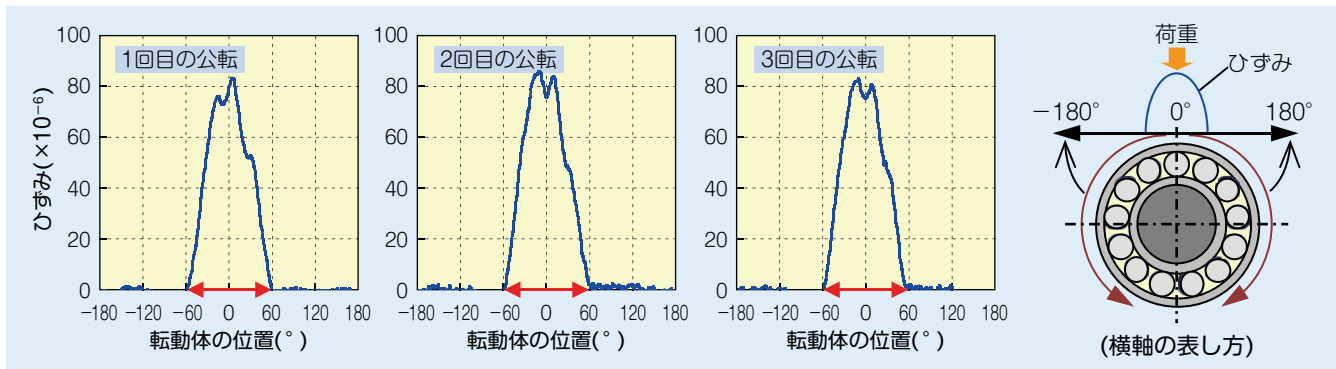


図11 このころの公転ごとに測定されたひずみの分布の例(ラジアル荷重: 3900N)

イバーはねじれてしまいます。

これを防ぐために、回転部と静止部との間で光の伝送ができるロータリージョイント(以下、ジョイントといいます)と呼ばれる部品を、ころの自転および公転に対して用いています。

自転用のジョイントAはころの公転とともに回転する公転用治具に、センサーを付けたころとちょうど向かい合う位置に取り付けられています。ころとジョイントAは十分剛性のあるゴムチューブでつながれており、両者間の光ファイバーに力が加わることなく、ころの自転力でジョイントAの回転部が回転できるようになっています。

また、ジョイントAはセンサーを付けたころと常に相対して同期回転しなくてはなりません。ころの公転速度と保持器の回転速度は等しいので、保持器の回転速度を計測して、それと同一の速度で公転用治具を回転させます。ジョイントBは公転用治具に取り付けられており、主軸の中心軸上にあるころの公転速度で回転します。主軸や公転用治具は精度よく回転の制御ができるサーボモーターを使っています。

以上のように、ころに付けた光ファイバーセンサーは二つのジョイントを経て、光源とひずみ計測機能を持つインタロゲーターと呼ばれる機器に接続され、回転する軸受の中にある転動体のひずみを計測することができます。

### 測定例

以上の測定装置を用いて、いくつかのラジアル荷重の条件で、主軸を

60rpmで回転させて荷重分布を求めた例を示します。図11は測定された3公転分の転動体のひずみ分布のグラフです。ひずみは荷重に直接対応します。各グラフの横軸は、同図の右側に示すように、軸受まわりのころの位置を直線上に表して、頂点の位置を0°とてあります。これらのグラフから、ひずみは図8のような離散的ではなく連続的な分布として得られていることがわかります。いずれの公転ごとの分布も負荷圏の範囲(図11中の両矢印)は一定であるのに対し、特に頂点(0°)付近では凸凹が見られ、ひずみの挙動が公転ごとにばらつくことがわかります。これは各々の転動体荷重のバランスが、軸受の回転中に時々刻々と変化しているためと考えられます。

ひずみ分布の頂点付近ではばらつきがみられるので、複数公転分の分布を平均すると、頂点のばらつきが均されて単純に上に凸の分布が得られることがわかりました。三つのラジアル荷重でそれぞれ計測された20公転分のひずみ分布を平均して転動体荷重に換算したものが図12のグラフです。ラジアル荷重の大きさに応じた荷重分布が得られています。

軸受を回転させながら転動体に発生するひずみを連続的に測定することで、離散的な分布では明確に把握できなかった負荷圏の範囲を含む転動体荷重の挙動が初めて観測できるようになりました。

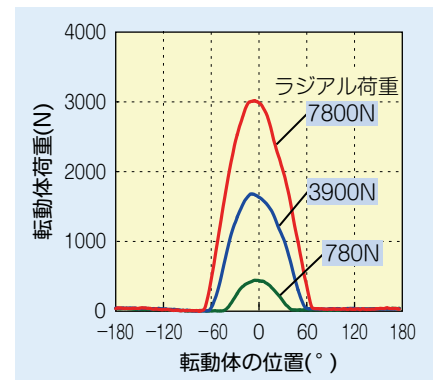


図12 荷重分布の測定例

### おわりに

軸受内の荷重分布とその測定方法について、回転している軸受の荷重分布を得る新しい方法を交えて紹介しました。荷重分布は軸受寿命に影響するので、荷重分布を正確に把握することで、ハウジングなどの軸受周辺の構造を含めて軸受の信頼性をさらに向上させることができると考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 永友, 曾根: 転がり軸受と潤滑剤の寿命と信頼性, RRR, Vol.65, No.9, 2008
- 2) 永友ほか4名: 光ファイバセンサーによる転がり軸受の転動体荷重測定法(第2報, 動的測定), 日本機械学会論文集C編, Vol.77, No.778, 2011