

# 総論 転がり軸受の技術・研究動向

東京理科大学 野口 昭治\*

\*のぐち しょうじ：理工学部機械工学科教授，博士(工学)，技術士(機械部門)

## はじめに

最近では、可動部はないが情報を加工するという意味でコンピュータも機械に分類されるようであるが、一般的な機械は、目的の仕事をさせるために使用されるので、荷重を支えながら所定の動きをすることが要求される。可動部の運動は、直線運動、回転運動、螺旋運動などに分類されるが、“滑り”による運動が基本であった。しかし、転動体を介して“転がり”運動をさせることによって、より低摩擦(低トルク)で円滑な運動が可能となった。転がりを利用した案内要素は“転がり軸受”と呼ばれ、機械システムを構成するために重要な機械要素であり、“機械の米”と呼ばれるほど多くの機械に使われている。

日本には創業100年を迎えた軸受メーカーが複数存在するが、転がり軸受の外観や内部の基本構造は変わっていない。筆者も30年以上前に軸受メーカーに入社した際には、“形が変わらないものを70年もやってきて、まだ課題が残っているのか”と思っていたが、いまだに転がり軸受の研究を生業にできている。さらに最近は、“以前と比べて転がり軸受の使用条件が厳しくなった”とメーカーの技術者から聞くことが多くなった。回転速度、荷重、周囲温度などの条件が厳しくなっているにもかかわらず、軸受サイズは現状維持、むしろサイズダウンしたい、などの要求が出ているそうである(さらにコストダウンの要求まで加わるらしい)。このままでは、機械設計において安全に対する余裕がなくなってしまうことが懸念

される。転がり軸受メーカーでは、使用条件が厳しくなっている現状を踏まえて、より高性能で、信頼性の高い製品を供給することが急務となっている。本文では転がり軸受の技術・研究動向について紹介するが、機械設計誌では数年間隔で転がり軸受に関する特集を組んでいるので、前回記事と構成や内容が重複する部分があることについては、ご容赦いただきたい。

## 転がり軸受の技術開発動向と生産状況

転がり軸受は、単独ではなく機械装置(機械システム)に組み込まれて使用される。したがって、転がり軸受における技術動向は、各機械装置における技術動向、要求ニーズと密接な関係がある。社会環境と転がり軸受に求められている要求機能、対応技術の関係を図1に示す<sup>1)</sup>。この図はもう15

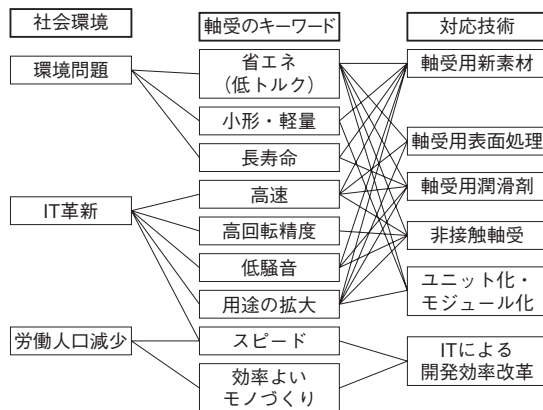


図1 社会環境と転がり軸受の技術ニーズ

年以上前に書かれたものであるが、転がり軸受の技術シーズ、ニーズに関しては劇的な変化はないため、現在でも十分通用している。

環境問題（エコロジー）に関しては、世界的に業種業界の垣根を越えて取り組まれている重要な課題である。転がり軸受業界では、軸受の摩擦損失を小さくすることによって、エネルギー効率を高め、資源の節約とCO<sub>2</sub>削減に貢献できることを世界ベアリング協会（2006年に設立された世界的な業界団体）でも強調している。さらに、環境負荷物質の削減も求められており、軸受材料、潤滑剤から有害性が疑われる物質を廃絶する方向で技術開発が行われている。

IT技術については、設計や研究において3次元CADの活用によって、解析モデル作成から計算結果の表示までを一連の操作で可能なシステムも構築されてきた。これから労働者不足が懸念される中で、IT技術の活用は、効率的な技術開発において不可欠になっていくと考えられる。とくに、実験を行うことが困難な大型軸受や軸、ハウジングを含めた軸受周辺の変形や熱解析においては、コンピュータを用いた数値解析は重要課題である。

図2にベアリング工業のHPで統計資料として公表されている国内における転がり軸受生産金額の推移（2016年まで）を示す<sup>2)</sup>。1～12月までの生産金額であり、企業の会計年度とは異なっているが、生産金額の推移は把握できる。2008年までは順調に伸びていたが、2009年は、いわゆる“リ

ーマンショック”で30%程度生産金額が減少した。そこからV字回復したが2011年から微増・微減を繰り返して約7,000億円程度となっている。また、生産金額における玉軸受ところ軸受の比率は、毎年ほとんど変化しておらず、55：45程度である。転がり軸受はあらゆる機械に使われているので、転がり軸受の生産金額の推移を見れば、製造業の景気動向がわかると言われている。ここ数年は規模こそ維持できているが、成長の面では停滞しているように思われる。ただし、軸受メーカーの収益は為替相場の影響を受けるので、生産金額推移とは若干異なっている（業界的には輸出比率が高いので、円安になると利益は向上する）。

### 転がり軸受に関する研究発表件数の推移

研究件数については、転がり軸受に関する研究講演が最も多い日本トライボロジー学会のトライボロジー会議における講演件数を調べた。2013年春から2017年春までの8回のトライボロジー会議（2015年秋は国際会議のため除外）における件数を図3に示す。転がり軸受、転がり摩擦、グリースをキーワードとして調べた結果である。グリースについては、用途の多くが転がり軸受であるということで調査の対象とした。内容の重複や抜けも若干あると思われるが、転がり軸受そのものを対象とした研究発表は平均して6件程度である。しかし、転がり摩擦やグリースを含めると平

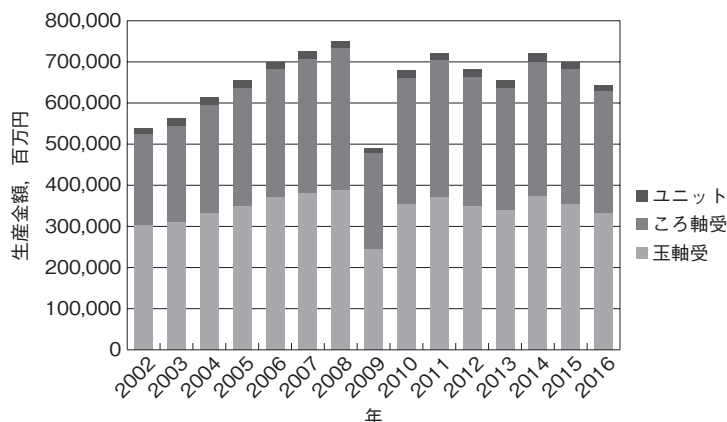


図2 転がり軸受国内生産金額の推移

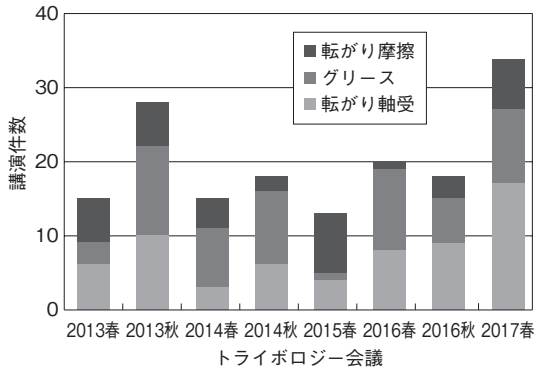


図3 トライボロジー会議における転がり軸受関係講演数

均で15件を超えており、トライボロジー会議の講演総数は約200件であるので、講演総数の約8%が転がり軸受関連のテーマとなっている。2017年春は3テーマ合せて34件とほぼ倍増しているが、転がり軸受関係のシンポジウムが1日開催されたためである。また、企業からの講演が増えており、実用を前提とした研究発表が行われている。

## 転がり軸受技術の概観

本章では、軸受メーカーのプレスリリースや展示会情報を基に、最近の転がり軸受技術について概観する。

### 1. 低トルク化

転がり軸受の低トルク化は、機械効率の向上、

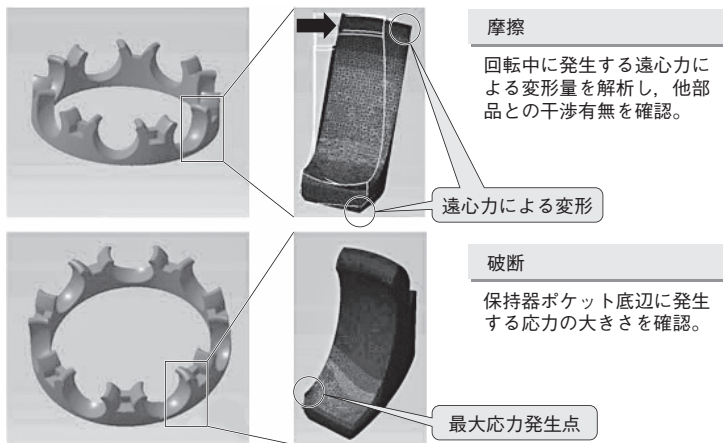


図5 高速回転玉軸受保持器の改良

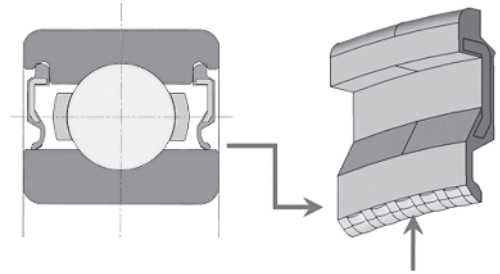


図4 低フリクションシール付玉軸受

省エネに直結しているのも、非常に重要な開発課題である。また、低トルク化は低発熱化と同じであり、転がり軸受にとっては、永遠の課題でもある。曾田先生の実験では、硬い材料の組合せでは転がりにおける摩擦係数は $10^{-5}$ のオーダーであるが、転がり軸受の摩擦係数は $10^{-3}$ のオーダーである。軸受内の転がり抵抗以外の摩擦成分をいかにして減少させるか、が軸受メーカーの課題である。

低トルクに関する製品はこれまで多く発表されている。自動車用円すいころ軸受においては、潤滑油の粘性抵抗、攪拌抵抗を低減するため、潤滑油の流れを最適化することで低トルク化を実現した軸受が開発されたが、保持器形状の最適化、素材の最適化を加えたさらなる低トルク軸受が軸受各社で開発されている<sup>3,4,5)</sup>。また、図4に示すような低トルクと密封性を兼ね備えた低フリクションシール付き軸受の開発も行われている<sup>6)</sup>。

### 2. 高速化

転がり軸受においては、遠心破壊などを考慮する必要があるため、高速の尺度としては単純な回転速度(角速度)ではなく、 $d_m n$  値(転動体ピッチ円直径 [mm] × 回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ])を用いることが多い。工作機械のスピンドルに使われるアンギュラ玉軸受では、開発環境(実験室レベル)ではあるが、 $d_m n$  値で400万を達成している。このような超高速を達成するためには特殊な潤滑方法・装置が必要となるため、市場では手軽に使