

外輪アンチクリープ玉軸受の開発

Development of Anti-Creep Ball Bearing for Outer Ring

石井康彦 Y. ISHII 神保友彦 T. JINBO

In ball bearings receiving heavy radial load, there have been problems in the past where, for example, the bearing housing became worn due to creep caused by continuous strain in the outer ring of the ball bearing. The conventional countermeasure against this creep phenomenon is to increase outer ring thickness. However, this countermeasure comes with the setbacks of increased weight and larger outer ring diameter. JTEKT has therefore developed an anti-creep ball bearing which was designed without increasing the outer ring thickness.

Key Words: creep, ball bearing, wear, strain

1. はじめに

自動車の変速機としては、コンベンショナルなマニュアルトランスミッション (MT) / オートマチックトランスミッション (AT) から HV/FCV 用変速機までさまざまな変速機が用いられており、それぞれ改良が進められている。これら変速機では、ギヤ支持用として多くの軸受が使用されているが、近年の低トルク化や小型軽量化のニーズを受け、薄肉玉軸受の使用割合が増えている。

このような背景から、今まではほとんど問題にならな

かった軸受のクリープが問題視され、対策が必要となってきている。

特に、組付け性からすきまばめとなる外輪とハウジング間のクリープが問題となることが多い。外輪のクリープは、発生メカニズムの違いにより表 1 に示す 3 種類に分類される。

クリープが発生すると、軸受とハウジングの間で摩擦が進行し、軸の芯ずれや傾きが大きくなり、異音などの不具合が発生する。大きなラジアル負荷を受ける CVT プーリのサポート用軸受や、軽量化のため薄肉玉軸受が使用される HV トランスアクスル用軸受では、外輪ひ

表 1 外輪クリープの種類
Types of outer ring creep

	①	②	③
クリープの種類	ひずみによるクリープ	連れ回りによるクリープ	振れ回りによるクリープ
クリープ方向	軸受回転方向	軸受回転方向	軸受回転の逆方向
クリープ速度	遅い	速い	遅い
発生原因	大きな一方向ラジアル荷重による外輪の円周方向ひずみ	軸受回転トルク > 外輪・ハウジング間の摩擦トルク 荷重抜けや、軽荷重時に発生しやすい	外輪がすきまばめの場合、振れ回りラジアル荷重により外輪外径とハウジング内径の周長差からクリープが発生
模式図			
対策方法	外輪厚肉化, 回り止めピン	オリング, 樹脂巻き, ハウジングとのしめしるアップ, 回り止めピン	

ずみによるクリープが発生しやすく、ハウジング摩擦による不具合が懸念される。

この外輪ひずみによるクリープを防止するためには、外輪の厚肉化が効果的であるが、外径寸法アップによる搭載性の悪化や、質量増加の背反があった。

そこで、外輪を厚肉化することなく、クリープを抑制し、ハウジング摩擦量を低減できる外輪アンチクリープ玉軸受を開発したので紹介する。

2. 外輪ひずみによるクリープ発生メカニズム

内輪回転で使用される玉軸受において、一方向にラジアル荷重が負荷される場合、外輪が転動体から受ける荷重（転動体荷重）により、外輪にひずみが発生する。軸受が回転している状態では、外輪は玉の通過に伴い連続的にひずみが発生する。

また、転動体荷重直下では大きな面圧が発生し、外輪外径面とハウジング内径面の接触部に、摩擦力による固着が発生する。この固着部を境に、玉の進行方向前方では外輪の円周方向ひずみにより外輪が円周方向に押し伸ばされるように変形し、玉の進行方向後方では押し伸ばされた外輪が元の状態に戻るよう変形する。

玉が荷重負荷圏を通過するたびに、上述の外輪ひずみによる変形が連続的に発生することで、ハウジングに対して外輪が玉の進行方向と同方向に徐々に移動する。これが外輪ひずみによるクリープ発生メカニズムである。（図1）

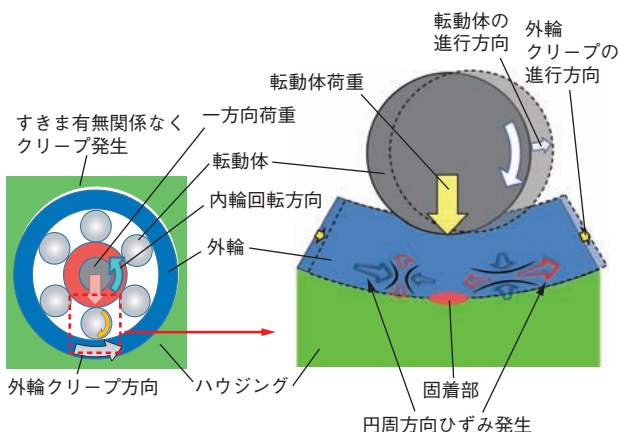


図1 外輪ひずみによるクリープ発生メカニズム
Mechanism of creep occurrence due to outer ring strain

3. 開発品の概要

3.1 開発品の着想

前述の発生メカニズムに基づき、外輪ひずみによるクリープ対策として、外輪に発生するひずみを低減することを考えた。従来のクリープ対策である外輪の厚肉化は、外輪軌道と転動体の接触点から、外輪外径面とハウジング内径面との接触点までの最短距離が長くなるため、外輪ひずみが低減し、クリープを抑制する効果があると考えた。

まず、外輪肉厚とクリープ量の関係を確認するため、CAE解析を行った。結果を図2に示す。解析結果では、外輪を厚肉化することにより、ひずみが低減し、クリープを抑制できることを確認した。

そこで今回、外輪外径面の中央部分に空間（溝形状）を設けることで、外輪外径面とハウジング内径面との接触点までの最短距離が長くなるため、外輪の厚肉化と同様に、外輪の円周方向ひずみが低減され、外輪ひずみによるクリープを抑制できると考えた。（図3）

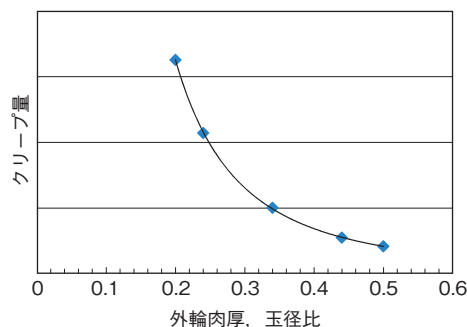


図2 外輪肉厚とクリープ量のCAE解析結果
Results of CAE analysis of outer ring thickness and creep amount

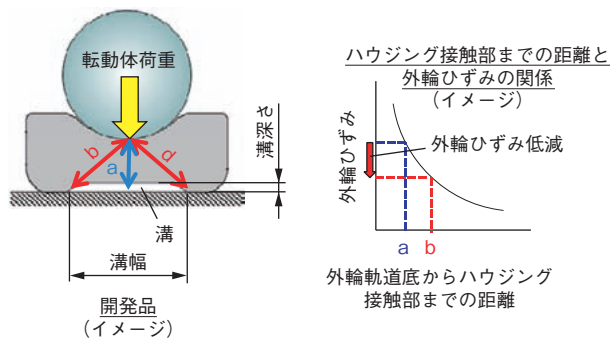


図3 開発品の着想
Concept of developed bearing

3.2 外輪の溝設計

クリープを抑制するためには、図3に示す溝幅を広くすれば良いが、そうすると溝底部の発生応力が高くなるため、溝形状のバランス設計が必要となる。今回、溝幅と深さをパラメータとして、外輪ひずみにより発生するクリープ量と、溝底部に発生する応力をCAE解析により求め、溝形状を決定した。

現行品（通常品）および外輪厚肉品と、開発品とのクリープ量の比較をCAE解析で行った。解析条件を表2に、結果を図4に示す。CAE解析での軸受ハウジングモデルは、クリープ量測定装置（図5）のハウジングと同一形状とした。開発品は外輪厚肉品と同様に現行品と比べ、外輪ひずみによるクリープ量が約50%に抑えられる結果となった。

また、過去に実機ユニットにて外輪クリープ対策を行った外輪厚肉品に、実機相当のハウジングモデルでCAE解析を行った結果、クリープは発生しなかった。このことから、軸受単体評価での開発品のクリープ量が外輪厚肉品以下であれば、実機でのクリープを防止できると考えられる。

表2 クリープ量のCAE解析条件
CAE analysis conditions of creep amount

	現行品	外輪厚肉品	開発品
外輪外径, mm	φ70	φ72.4	φ70
外輪肉厚, mm	3.2	4.4	3.2
ラジアル荷重, kN	4		

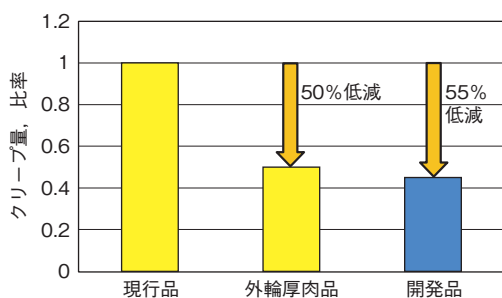


図4 クリープ量のCAE解析結果
Results of CAE analysis of creep amount

4. 開発品の性能

4.1 クリープ量の確認方法

図5にクリープ量測定装置を示す。ハウジングは外輪アンチクリープ玉軸受の効果を明確にするため、クリープしやすい鋼製を使用した。また、外輪の挙動を確認するために外輪端面にマーキングし（図6）、ビデオカメラを用いて撮影した。撮影した動画を画像解析し、時間あたりのクリープ量を求めた。

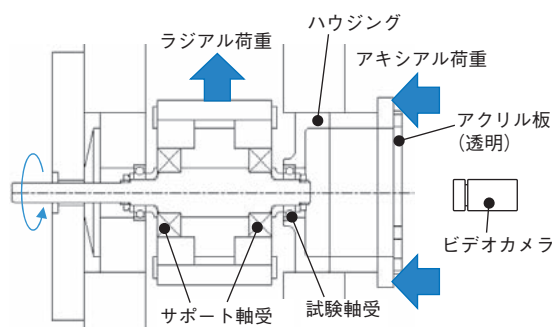


図5 クリープ量測定装置
Device for measuring outer ring creep amount

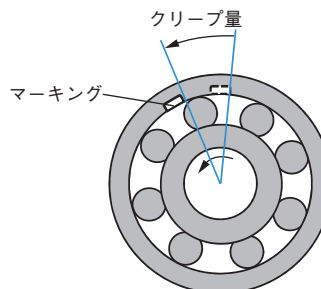


図6 クリープ量測定方法
Method for measuring outer ring creep amount

4.1.1 純ラジアル荷重条件でのクリープ量

純ラジアル荷重条件下におけるクリープ抑制効果を確認した。クリープ量の測定条件を表3に、結果を図7に示す。現行品、外輪厚肉品、開発品ともにラジアル荷重の増加に伴い、クリープ量は増加し、ラジアル荷重にほぼ比例することが分かった。また、現行品と比べて外輪厚肉品のクリープ量は40%低減、開発品のクリープ量は55%低減し、開発品のクリープ量が外輪厚肉品以下となった。

表3 試験条件
Test conditions

ラジアル荷重, kN	1, 2, 4
回転速度, min ⁻¹	10 000
潤滑	オイル塗布

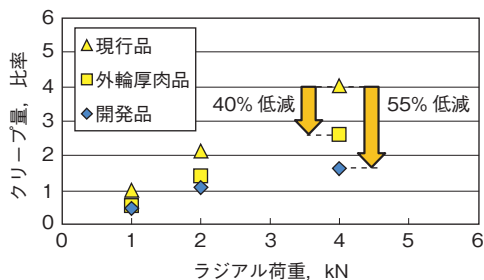


図7 ラジアル荷重とクリープ量の関係
Relationship of radial load and creep amount

4.1.2 合成荷重条件でのクリープ量

ラジアル荷重とアキシャル荷重の両方を負荷した合成荷重条件下において、クリープ抑制効果を確認した。クリープ量の測定条件を表4に、結果を図8に示す。現行品と比べて開発品のクリープ量は40%低減し、合成荷重条件下においてもクリープ抑制効果が認められた。

表4 試験条件
Test conditions

ラジアル荷重, kN	3.6
アキシャル荷重, kN	1.8
回転速度, min ⁻¹	10 000
潤滑	オイル塗布

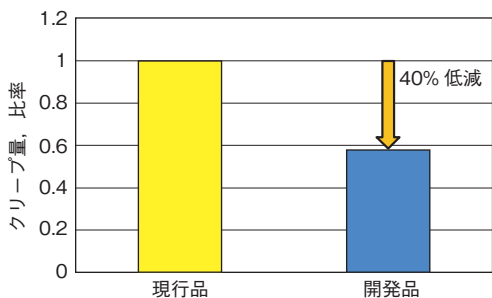


図8 合成荷重条件下のクリープ量測定結果
Measurement results of creep amount under combined load conditions

4.2 ハウジングの摩耗量

実機相当材のアルミ合金製ハウジングを用いて、ハウジングの摩耗量を現行品と比較した。クリープの発生を促進するため、剛性の高いハウジング形状とし、ラジアル荷重は実機使用条件よりも大きく設定した(軸受の基本静定格荷重相当)。摩耗試験の条件を表5に、結果を図9に示す。また、試験後のハウジングの摩耗形状(代表例)を図10に示す。開発品のハウジング摩耗量は、現行品と比べて50%低減した。この結果から、開発品は外輪クリープによるハウジング摩耗を抑制することが確認できた。

表5 試験条件
Test conditions

ラジアル荷重, kN	11.9
回転速度, min ⁻¹	5 000
潤滑	オイル軸中心油浴

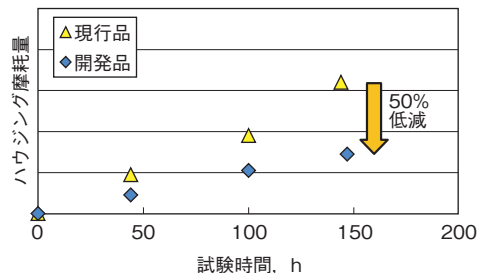


図9 ハウジング摩耗の測定結果
Measurement results of housing wear

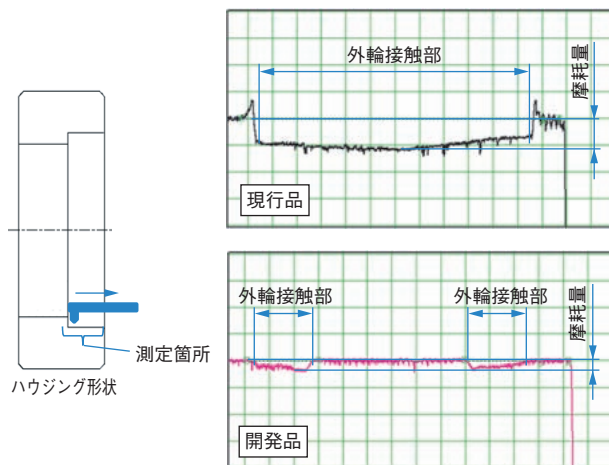


図10 摩耗形状
Contour of housing wear

5. 背反事象の確認

開発品にて高負荷耐久試験を実施し、軌道の剥離寿命および外輪疲労強度を確認した。その結果、現行品と同様に計算寿命の10倍以上の寿命を有していることを確認した。また、外輪の割れなどの異常もなく、外輪強度に問題がないことも確認した。

6. おわりに

外輪外径面に溝形状を設けることにより、外径寸法をアップすることなく、外輪のひずみによるクリープを抑制し、ハウジング摩耗量を低減できる外輪アンチクリープ玉軸受を開発した。

外輪アンチクリープ玉軸受は、現行品に対してハウジング摩耗量の低減効果があり、軸受寿命と外輪強度の背反もないことを確認した。

今回開発した外輪アンチクリープ玉軸受の使用により、軸受のサイズダウンと軽量化が可能になるため、適用拡大により自動車の低燃費、省エネルギー化に貢献していきたい。

筆 者



石井康彦*
Y. ISHII



神保友彦**
T. JINBO

* 軸受事業本部 軸受技術部

** 軸受事業本部 実験解析部