

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Components

Vol. **34**B4  
October/2018

機能部品事業

■ 新商品・適用事例紹介

## 「複列4点接触玉軸受」

"Double Row 4 Point Contact Ball Bearing"

〈キーワード〉 玉軸受・多点接触・低トルク・軸受剛性  
外輪クリープ・小型化・デフサイド・長寿命

軸受事業部／技術部

河合 敏宏 Toshihiro Kawai

## 要 旨

近年、世界規模で環境規制がすすみ、自動車において電動車両の普及が重要である。駆動系ユニットにも電費改善が必要で、使用される転がり軸受においてもさらなる低トルク化が求められている。

一般的には、支持剛性が必要な部位で円すいころ軸受を用いる場合が多く、トルク低減の課題は大きい。

そこで、玉軸受でありながら、円すいころ軸受に対し、支持剛性を確保しつつ、大幅なトルク低減を可能にした「複列4点接触玉軸受」を開発した。

## Abstract

In recent years, environmental regulations have become stricter in a global scale and this has emphasized spread of an electric vehicle in the automobile industry. This also requires improvement of electric consumption in a drive unit and further lower torque of rolling bearing in the vehicle.

Generally, a tapered roller bearing is quite often used in the locations that require rigid support, posing a significant challenge of torque reduction.

NACHI has developed “Double-row 4-point Contact Ball Bearing” that has substantially lower torque than a tapered roller bearing while ensuring rigid support in spite of a ball bearing.

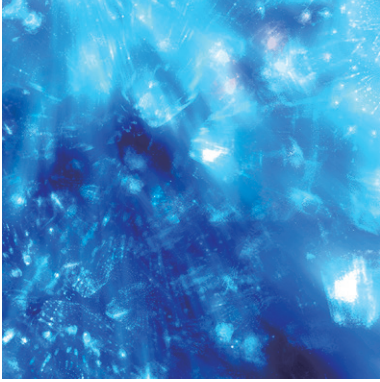
## 1.はじめに

電気自動車やハイブリッド車を中心にパワートレインの電動化が加速するとみられている。電気自動車においては動力源のモーターに加え、複数段変速がない減速機のみ搭載される場合もある。減速機の場合、構成する部品点数は少なく、減速するためのギヤや回転支持部に使用される転がり軸受などが主な部品である。そのため、転がり軸受へのトルク低減要求はますます高まっている。

例えば、減速機のデフサイドのような入力荷重が大きな軸の支持軸受には円すいころ軸受を用い、支持剛性を確保するため、予圧を与えて使用されることが多い。しかし、デフサイドはその他の軸に比べ回転数が低く、円すいころ軸受の場合、内輪大つば部の油膜形成が不十分となる領域で、すべり抵抗が大きくなる。さらに今後、潤滑油の低粘度化がすすむと、内輪大つば部のすべり抵抗はますます顕著になり、効率面での課題がある。

一方で、玉軸受は転がり抵抗が小さく、効率面で有利であるが、支持剛性では不利となり、デフサイドには使用しにくい面がある。

そこで、支持剛性を確保しつつ、円すいころ軸受に対し、大幅なトルク低減を可能にした「複列4点接触玉軸受」を提案する。



## 2. 開発目標

図1に示すように、円すいころ軸受は高剛性であるが、トルクは大きい。一方、深みぞ玉軸受は点接触であるため、トルクは小さくなるが、剛性は低い。

そこで、円すいころ軸受に対する支持剛性低下を最小限に抑え、円すいころ軸受より大幅なトルク低減し、かつ低負荷時に深みぞ玉軸受とほぼ同等のトルクである軸受を開発目標とした。目標達成のため、新構造として、4点接触玉軸受を複列化した軸受を開発した。

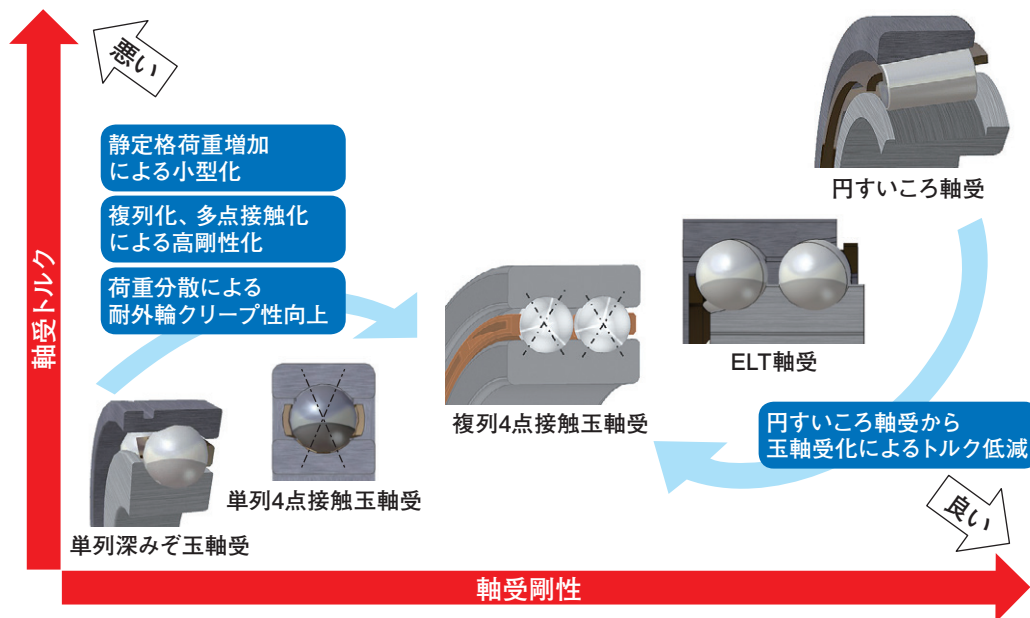


図1 開発の狙い

### 3. 開発品の特徴

「複列4点接触玉軸受」は従来の4点接触玉軸受を複列化した軸受である。図2に開発品の外観、図3に開発品の特徴を示す。4点接触玉軸受は深みぞ玉軸受に対し、玉が外内輪と4点で接触するため、高剛性であるが複列化することで、より高剛性とすることが可能になった。4点接触構造は深みぞ玉軸受に対し、差動すべり抵抗やスピニングが大きいのが、接触角や軌道曲率、内部すきまなどを最適設計し、低トルク化を可能とした。

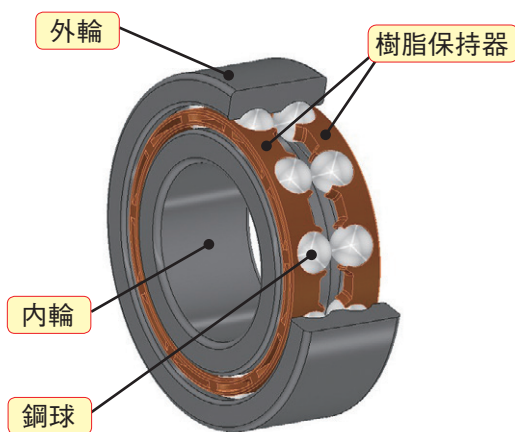


図2 開発品外観

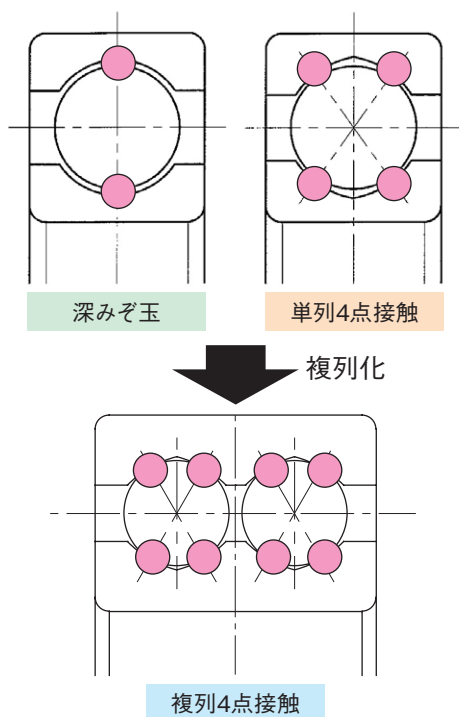


図3 開発品断面図

### 4. 評価結果

#### 1) トルク測定結果

表1にある軸受サイズの「複列4点接触玉軸受」と円すいころ軸受で、軸受トルク測定を実施した。図4、図5にトルク測定比較結果を示す。

条件①の純スラスト荷重条件では円すいころ軸受の場合、低回転時に内輪大つば部の油膜形成不足によりすべり抵抗が大きいのが、「複列4点接触玉軸受」にすることで、大幅にトルク低減した。

とくにデフサイドは低速回転であり、円すいころ軸受の場合、内輪大つば部のすべり抵抗の寄与度が高くなるので、玉軸受化がトルク低減に有利になるといえる。

条件②のラジアル荷重が主となる条件では、「複列4点接触玉軸受」の場合、8点接触状態となるものの、円すいころ軸受に対し、36%以上のトルク低減になった。

また実機では円すいころ軸受の場合、予圧を与えて使用されることが多いが、「複列4点接触玉軸受」は予圧を与えなくても使用できることから、よりトルク低減の効果は大きい。

#### 2) 剛性計算、測定結果

図6にある解析モデルを用い、デフサイド軸受の軸受形式を変更し、ギヤ噛みあい点変位量を計算した。

軸受サイズ: 内径 $\phi 50$ ×外径 $\phi 90$ ×幅20

軸受予圧: 円すいころ軸受のみ2kN

図7に噛みあい点変位比の計算結果を示す。

円すいころ軸受に対し、変位比は大きくなるが、深みぞ玉軸受に対し、大幅に変位比が小さくなる。スラスト変位がとくに小さくなる理由は、4点接触の軌道部がゴシックアーチ形状となっており、スラストガタが小さいためである。

また図8にあるデフサイド軸を簡易的に模擬した試験機にて、変位量を実測した。図9に結果を示すが、机上計算同様に「複列4点接触玉軸受」の変位量が小さくなることを確認した。実機においても「複列4点接触玉軸受」を使用することで、支持剛性が向上する。

表1 トルク測定条件

軸受サイズ	内径φ30×外径φ60×幅19
荷重,N	条件① スラスト荷重 4,000 条件② ラジアル荷重 1,480 スラスト荷重 264
油種	ギヤ油
油量	軸中心
油温,°C	70

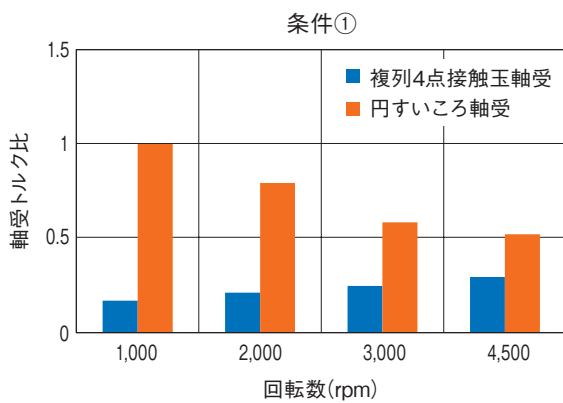


図4 トルク測定結果(純スラスト荷重)

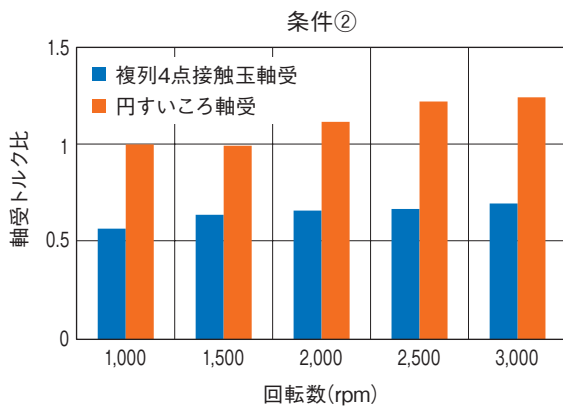


図5 トルク測定結果(合成荷重)

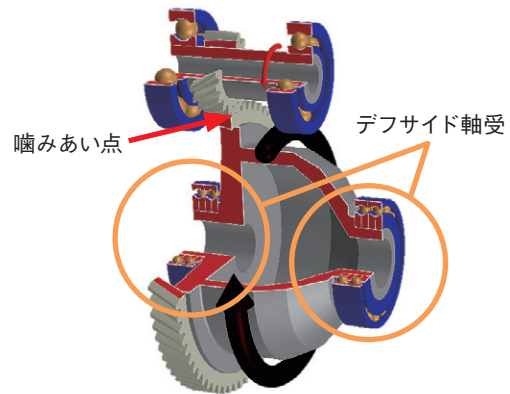


図6 解析モデル

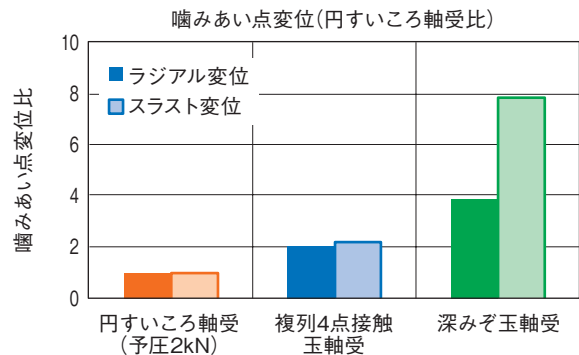


図7 噛みあい点変位計算結果

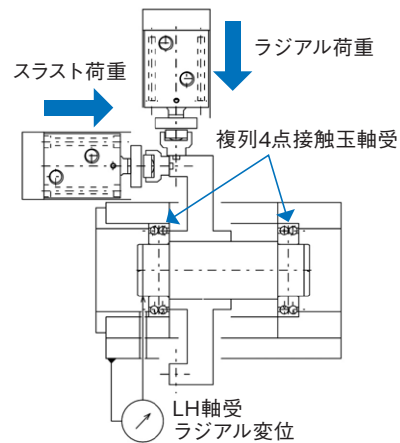


図8 試験装置

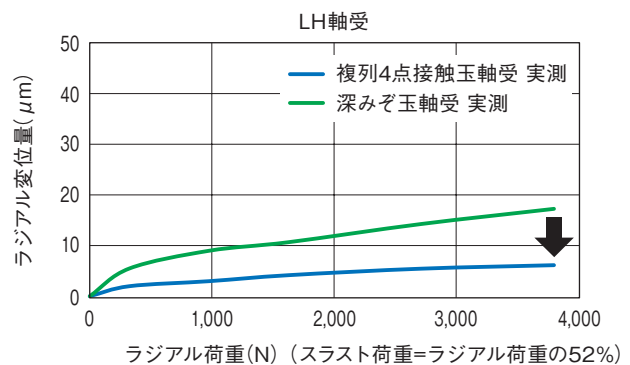


図9 ラジアル変位測定結果

### 3) 昇温試験結果

4点接触構造は軌道部の差動すべり抵抗が大きく、さらに複列化による発熱大の懸念があるため、昇温値の確認を実施した。軌道部の接触状態による差異を確認するため、表2にある3水準で実測した。

図10に昇温試験結果を示す。

条件①、③のようなスラスト荷重に対し、ラジアル荷重の割合が大きく、8点接触状態となる条件では、予想どおり昇温が大きくなった。ただし、いずれの条件においても軸受に異常はなく、十分な実用性があることを確認した。

### 4) 耐久評価結果

「複列4点接触玉軸受」は純ラジアル荷重条件が最も計算寿命が長くなるが、昇温試験では発熱が最も大きい結果であり、耐久性を確認するため、異物油中耐久試験を実施した。表3に試験条件、図11に試験結果を示す。

試験は3Gr実施したが、いずれも異常な昇温もなく、試験時間は計算寿命を上回り、異物噛み込み痕起点の表面起点はくりであることを確認した。

表2 昇温試験条件

軸受サイズ	内径φ30×外径φ60×幅19		
荷重条件	条件① 8点接触状態	条件② 4点接触状態	条件③ 8点接触状態
荷重比 Fr:ラジアル荷重 Fa:スラスト荷重	Fa/Fr=0.25	Fa/Fr=1.0	Fa/Fr=0
最大軌道面圧,MPa	2,600		
回転数,rpm	1,000 ~ 10,000		
油種,油量	ギヤ油 軸中心		

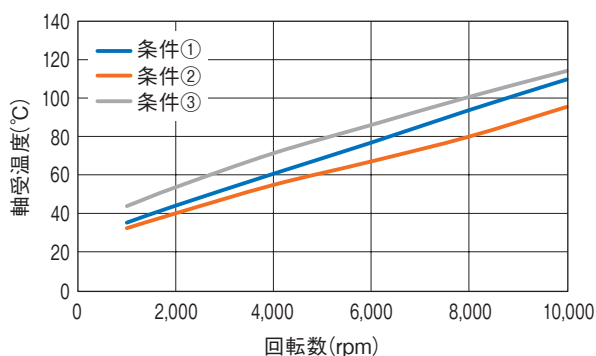


図10 昇温試験結果

表3 耐久試験条件

軸受サイズ	内径φ50×外径φ90×幅20	
荷重,N	ラジアル荷重 14,408	スラスト荷重 0
回転数,rpm	3,000	
油種,油量	ギヤ油 下玉浸漬	
油温,°C	100	
傾き,rad	1/1,000	
異物	硬質鉄粉 径:~150μm 量:100ppm	

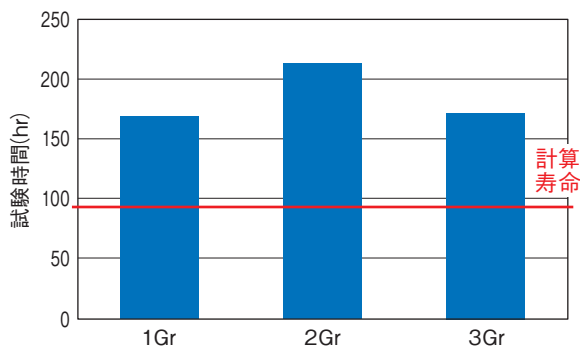


図11 耐久試験結果

## 5) 外輪クリープ評価結果

最近では、玉軸受を使用した場合、小型軽量化の影響から軸受の外輪クリープによるハウジング摩耗が問題となることが増えてきている。外輪クリープにはメカニズムの違いにより幾つかの種類があるが、デフサイドのように負荷荷重が大きい部位では、外輪の円周方向ひずみによるクリープ(以下、外輪ひずみクリープ)が発生しやすい。図12に外輪ひずみクリープのメカニズムを示す。<sup>1)</sup> 外輪ひずみクリープ対策として、外輪の厚肉化が有効とされているが、外輪外径寸法を大きくすることで、搭載性悪化や質量増加の背反がある。

「複列4点接触玉軸受」は図13のように転動体荷重が分散されるので、荷重負荷時の外輪外径面の変形量を小さくすることが可能である。図14に外輪外径面の変位解析におけるコンター図を示す。また本解析に使用した軸受サイズ、荷重条件は表3と同じとしている。

つまり外輪外径を大きくすることなく、クリープ防止を抑制し、ハウジング摩耗を低減することができるので、軸受の小型化にも貢献できる。

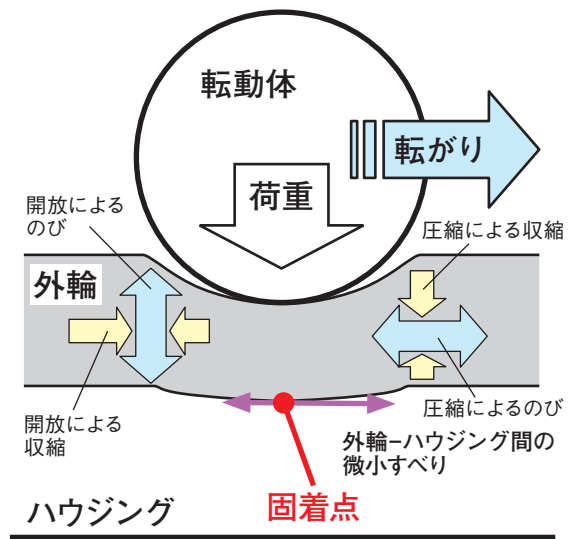


図12 外輪クリープメカニズム

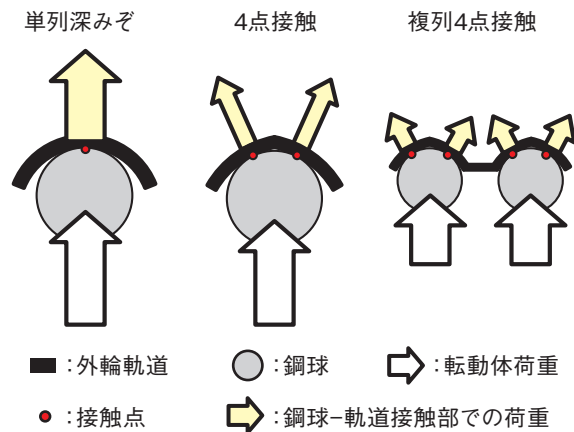
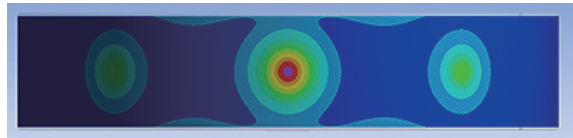
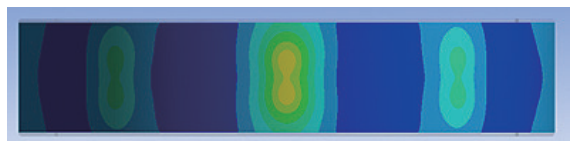


図13 転動体荷重の比較

深みぞ玉軸受



4点接触玉軸受



複列4点接触玉軸受



図14 外輪変位計算結果

## 5. 結論

軸受剛性と低トルク化を両立させた「複列4点接触玉軸受」を開発した。

デフサイド軸受を低トルク化するために開発した軸受であるが、それ以外の部位においても、円すいころ軸受に対しての低トルク化や深みぞ玉軸受の小型化が可能である。

今後もさらに転がり軸受の商品開発をすすめ、自動車の省エネルギー化に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) 展・坂尻・武村・湯川：NSK Technical Journal, No.680(2006) 13.