

# ロボット減速機用軸受の技術紹介

## Introduction of Technology for Robot Reduction Gear Bearings

早川恵司 K. HAYAKAWA

In recent years, the decrease in the working population emerged as an issue, and there are concerns regarding the impact on product quality due to a decline in skilled workers. Industrial robots are becoming more widespread with the aim of improving productivity through IoT-centered digitization, big data, and AI. This paper will introduce the bearings JTEKT is developing for adoption in precision reduction gears of various robots, as well as their associated technologies.

**Key Words:** precision reduction gears, industrial robots, long life, rotational accuracy, high rigidity, ultra-thin

### 1. はじめに

近年、労働人口の減少が問題となっており、特に熟練作業者の減少による製品品質への影響が懸念されている。IoT やビッグデータ、AI などを活用したデジタル化による生産性向上を目的として、産業用ロボットの普及が拡大している。産業用ロボットが使用されている代表的な分野は、溶接や塗装、組立て、搬送などである。これらロボットの各関節部には位置制御用モーターと精密減速機が使用されている。

一般に、産業用ロボットに用いられる精密減速機には、主に小型・中型ロボットに使用される波動歯車減速機と、大型ロボットに使用される2段減速機がある。

本報では、ロボット減速機に求められる性能と使用される軸受の技術について紹介する。

### 2. ロボット減速機に求められる性能

ロボットへの要求と減速機の必要性能を表1に示す。

表1 ロボットへの要求と減速機の必要性能  
Required performance of robots and reduction gears

ロボットへの要求	減速機の必要性能
メンテナンスフリー	長寿命(メンテナンス期間の延長)
正確な動作	高位置決め精度
省スペース化 (小型化)	小型化
	高減速比
省エネルギー	高効率

減速機には表1に示す通り長寿命、高位置決め精度が必要である。加えてロボットを省スペース化(小型化)するための減速機自体の小型化や高減速比による減速機使用台数の削減も求められる。

また減速機に使用される軸受にもさまざまな要求があるが、本報では波動歯車減速機が必要な性能を満たすために求められる軸受の性能について3項以降で説明する。

### 3. 波動歯車減速機

#### 3.1 波動歯車減速機の構造

波動歯車減速機ユニットの断面図を図1に、波動歯車減速機の構造を図2に示す。

波動歯車減速機は、内歯歯車であるサーキュラスプラインと外歯歯車であるフレックスプライン、およびフレックスプラインに圧入されるウェーブジェネレーター(超薄肉玉軸受をだ円形状のカム軸に組み込んだもの)から構成される。サーキュラスプラインの内歯歯車の歯数はフレックスプラインの外歯歯車の歯数より数枚多く、これらの歯車はだ円に変形したフレックスプラインの長径で真円状態のサーキュラスプラインとかみあっている<sup>1)</sup>。

波動歯車減速機の減速機構を図3に示す。一般的な使用方法として、入力軸であるカム軸が1回転すると、出力軸であるフレックスプラインは歯数枚数差の分だけカム軸と逆方向に回転する。これが出力回転速度になる<sup>2)</sup>。

ウェーブジェネレーター内の玉軸受には、軌道輪の厚みが従来の薄肉軸受である 68 系列よりもさらに薄い超薄肉玉軸受が採用されている。この内輪はだ円形状をしたカム軸に圧入することで、真円状態からだ円形状に変形する。外輪は、玉を介して内輪のだ円形状にならうように変形する。内輪は入力回転速度で、外輪はフレックススプラインと同期して出力回転速度で使用される。したがって、カム軸に圧入された内輪は常に内輪円周上の同じ位置が長径・短径になるのに対して、外輪は入力回転と出力回転の速度差によって外輪円周上で長径・短径の位置が変動する。

また、出力軸には、外部荷重、モーメントを受けるための主軸受としてクロスローラー軸受を代表とする高剛性・高負荷容量の軸受が採用されることが多い。

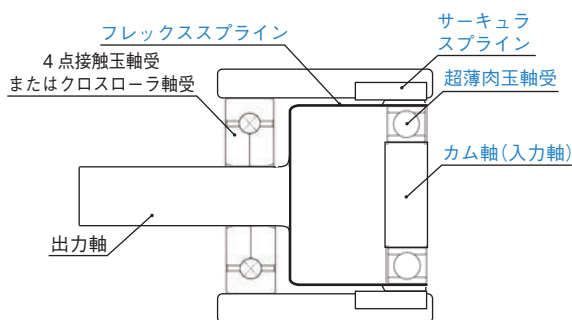


図1 波動歯車減速機ユニット  
Strain wave gear unit



図2 波動歯車減速機の構造  
Structure of strain wave gearing

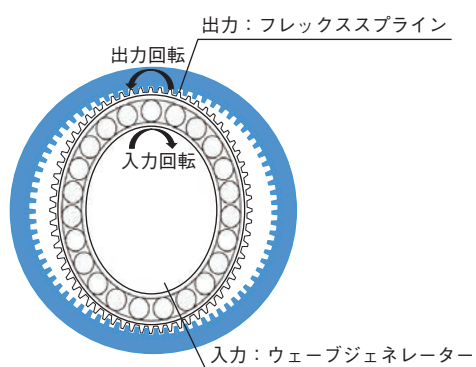


図3 波動歯車減速機の減速機構  
Deceleration mechanism of strain wave gearing

### 3.2 超薄肉玉軸受への要求性能

減速機の必要性能と軸受への要求性能を表2に示す。

表2 減速機の必要性能と軸受への要求性能  
Required performance of reduction gears and bearings

減速機の必要性能	超薄肉玉軸受への要求性能
長寿命 (メンテナンス期間の延長)	高負荷容量
小型化	高強度 (内外輪のだ円変形時)
高位置決め精度	カム軸挿入時, 内輪の変形追従性
高効率化	カム軸回転時, 外輪の変形追従性
	低寸法変化 (回転時の外輪長径)

減速機を長寿命化・小型化するために、軸受の負荷容量アップが必要である。加えて軌道輪がだ円形状に変形することから、内輪にはカム軸によるだ円変形に対する強度、外輪には長径⇔短径の繰り返し変形に対する疲労強度が要求される。

外輪の寸法変化がフレックススプラインを通して、サーキュラスプラインとのギヤのかみあいに影響を及ぼすため、位置決め精度を高めるためには回転時の外輪長径の寸法変化を小さくする必要がある。

さらに、外輪が変形に対してスムーズに追従することにより玉の回転抵抗の低減が図れ、損失なく減速することができ、高効率化が可能になる。

#### 3.2.1 超薄肉玉軸受の設計仕様

軸受の設計仕様を表3に示す。

#### 3.2.2 高負荷容量化<sup>3)</sup>

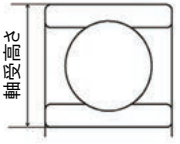
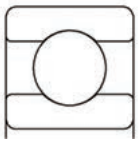
フレックススプラインとサーキュラスプラインの歯車がかみあっている長径対向2箇所から軸受に荷重が負荷される。超薄肉玉軸受の加工・熱処理・組立て技術により 68 系列の同断面積品と比較して玉径を大きく、また玉数を多くすることで軸受の容量を大きくした。6805 相当軸受の場合、玉数を軌道周長の 50% から 75% に増加することで、軸受容量を 1.5 倍に向上できた。

#### 3.2.3 高強度化

外輪は、だ円カム軸の回転により引張⇔圧縮が繰り返される。外輪に発生する応力の解析事例を図4に示す。

90°ずれた位置で外輪内径と内輪外径に最大引張応力と最大圧縮応力が発生する。その部分が最弱部となり、割損が引き起こされる場合がある。

表3 超薄肉玉軸受の設計仕様\*1  
Design specifications for ultra-thin ball bearings

	超薄肉玉軸受 (開発品)	68 系列 (一般品)
軸受断面		
断面比 (玉径/軸受高さ)	1.2	1
軌道輪肉厚比	0.6	1
玉数比	1.3	1
負荷容量比	1.5	1

\*1 現行の68系列品を1とした時の比率を示す。

本軸受では、外輪に特殊熱処理を採用することで繰り返し引張曲げ強度を向上させ、従来の熱処理品に対して繰り返し疲労に対する安全率を大幅に向上させ、6805相当軸受の場合、特殊熱処理を採用することで安全率を1.3倍に向上できた。

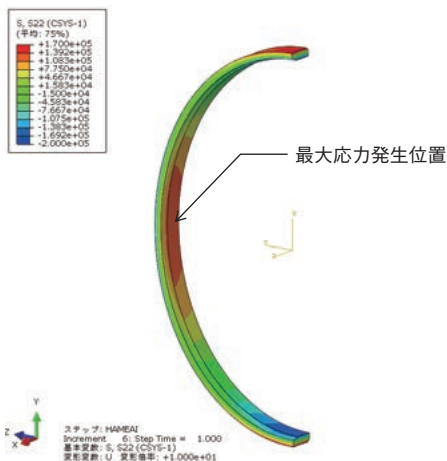


図4 外輪強度の解析事例 (代表例)

Analysis example of outer ring strength (typical example)

### 3.2.4 変形追従性・低寸法変化

減速機の位置決め精度には3.2項で前述した通り、内輪にカム軸を挿入した時に外輪がカム軸と同じだ円形状に変形できる特性 (変形追従性) と回転時の長径寸法の低寸法変化特性が必要である。表4に示すように、軌道輪肉厚の最適化・玉数の最適化設計によりだ円形状への追従性、長径寸法の低寸法変化特性の向上を図っている。

表4 位置決め精度向上設計  
Positioning accuracy improvement design

軸受への要求	軸受設計
スムーズな外輪の変形追従性	軌道輪の超薄肉化
外輪長径の低寸法変化	玉数多による多角変形の最小化
	玉奇数個による軌道、玉弾性変位変化量小 (図5)

### 3.3 出力軸主軸受への要求性能

減速機の必要性能と出力軸主軸受への要求性能を表5に示す。

主軸受は出力軸から高いモーメント荷重を受ける。減速機が高い位置決め精度を維持するためには、モーメント条件下でも出力軸の傾きを抑制する必要がある。そこで軸受には高モーメント条件下でも高い剛性が必要とされる。

表5 減速機の必要性能と主軸受への要求性能  
Required performance of reducer and main bearing

減速機の必要性能	出力軸主軸受への要求性能
出力軸の高剛性 (高位置決め精度)	高剛性

この主軸受には、主にクロスローラー軸受が採用されているが、小型領域ではクロスローラー軸受の製造が難しいことから、4点接触玉軸受が採用されることが多い。

#### 3.3.1 4点接触玉軸受の設計仕様

4点接触玉軸受の設計仕様を表6および図6に示す。4点接触玉軸受の剛性を高めるために、保持器の廃止と内輪を2分割にすることにより玉数を多くし、さらに接

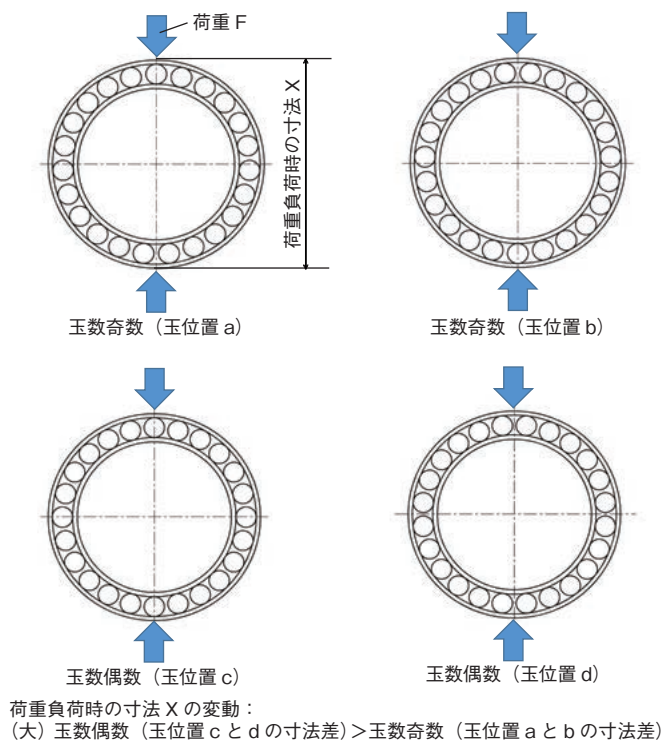


図5 玉数による軌道, 玉弾性変位変化量

Amount of change in trajectory and ball elastic displacement depending on the number of balls

触角も大きくした。それにより従来の保持器付軸受と比較してモーメント剛性を 1.8 倍に向上できた。

表6 4点接触玉軸受の設計仕様\*1

Design specifications for four-point contact ball bearings

	波動減速機用	従来設計品
玉数比	1.7	1
モーメント剛性比	1.8	1

\* 1 従来設計品を 1 とした時の比率を示す。

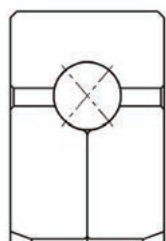


図6 4点接触玉軸受の構造

Structure of four-point contact ball bearings

#### 4. おわりに

日本国内だけではなく、世界中で各種産業用ロボットの高機能化や用途拡大が進んでいる。そこに使用されるロボット減速機にもさまざまなニーズが出てくること

予想される。本報で紹介した技術をさらに発展させた軸受の開発に取り組み、減速機性能の向上に貢献していきたい。

#### 参考文献

- 1) 特許公報 特許第 6536271 号.
- 2) 日本機械学会：機械工学便覧 応用システム編 γ7 メカトロニクス・ロボティクス(2008).
- 3) JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1016(2018) 88.

#### 筆者



早川 恵司\*

K. HAYAKAWA

\* 産機・軸受技術本部 産業機器技術部