

# 新遊星減速機 PS ギヤの開発

塚本 成紀

## PS gear developed as a new planetary gear

Shigeki TSUKAMOTO

In recent years, requests to achieve higher power, higher speeds, higher accuracy by smaller motor packages have come from industrial machinery and equipment manufacturers. In order to respond to these requests, our company reviewed the conventional **PL** gear as a planetary gear from its structural design. The newly developed **PS** gear is the result of this review as a new planetary gear design concentrating on torque improvement and downsizing. This article explains the structure, features and the usage of the **PS** gear.

### 1. はじめに

近年、フラットパネルディスプレイの大型化やウェハーの大径化により、製造装置の駆動源であるモーターにはいっそうのハイパワー化が求められています。一方、装置の小型化も進んでおり、モーターの小型化も同時に求められています。これらの要求にこたえるために、当社では早くからステッピングモーターなど制御モーターに減速機を組み合わせ、駆動源の小型化を図る方法を紹介してきました。

この度、更にコンパクトでハイパワーになった PS ギヤを開発しましたので、その特徴、使い方について解説します。

トルクが複数の遊星歯車によって分散されて伝達されるため、平行軸歯車に比べて許容トルクを大きくすることができます。PS ギヤの構造を図 2 に示します。

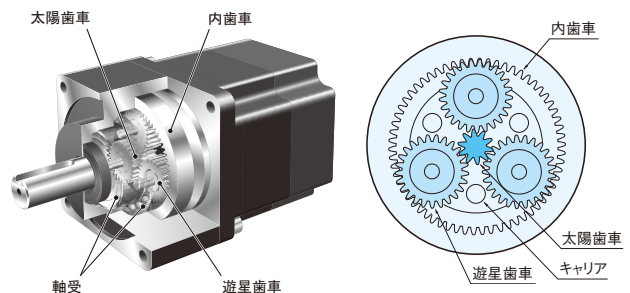


図 2 PS ギヤの構造

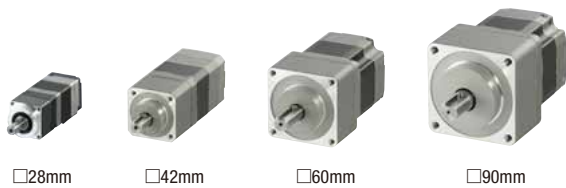


図 1 AR シリーズ PS ギヤードタイプの外観

## 2. 構造と特徴

### 2.1. 遊星減速機の原理と構造

PS ギヤは遊星歯車機構の減速機です。遊星歯車機構は太陽歯車、遊星歯車、内歯車の 3 つの基本部品で構成されます。中心に位置する太陽歯車の外側に複数の遊星歯車があり、内歯車を介して太陽歯車の周りを公転しています。遊星歯車の公転がキャリアを介して出力軸の回転になります。

### 2.2. PS ギヤの特徴

新しく開発した PS ギヤは PL ギヤに対して以下の特徴を持った遊星減速機です。

- (1) 歯車強度向上によるトルク向上
- (2) 軸受の大型化による許容回転速度範囲の拡大
- (3) 歯車の精度向上によるバックラッシ量の低減
- (4) コンパクト化を重視した設計による全長短縮

PS ギヤは、歯車の熱処理の変更、軸受の大径化により、PL ギヤと比較してトルク性能が向上しました。その結果、加減速領域で使用する短時間での出力トルクを大きくとることができ、許容回転速度の向上とも相まって装置のタクトタイム短縮に貢献することができます。同時に、歯車の精度を上げることによりバックラッシも低減することができました。

表1に取付角60mmのPSギヤとPLギヤの比較を示します。

表1 PSギヤとPLギヤの主な仕様比較(減速比50)

項目	PSギヤ	PLギヤ
取付角寸法 [mm]	60	60
全長 <sup>(注1)</sup> [mm]	52	60
最大トルク <sup>(注2)</sup> [N·m]	20	—
許容トルク <sup>(注3)</sup> [N·m]	8	8
許容回転速度 [r/min]	3000	1800
バックラッシ [min]	15	20

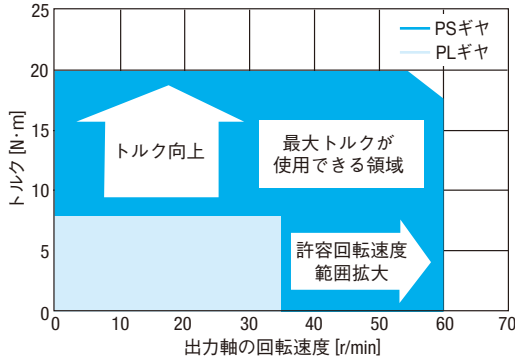


図3 PSギヤとPLギヤの仕様比較

### 3. トルク向上と許容回転速度範囲の拡大およびバックラッシ量の低減

#### 3.1. 歯車の強度向上

歯車を設計する上で重要になるのは、歯車の歯元曲げ強さと歯面強さです。歯元曲げ強さは加速トルクや衝撃負荷が加わったときの歯折れに関係します。また、歯面強さは耐摩耗性、耐ピッチング性に関係します。

従来製品のPLギヤでは遊星歯車には窒化処理を施していますがPSギヤでは浸炭焼入を採用しています。図4に浸炭焼入れと窒化処理での硬度分布の比較を示します。浸炭焼入の方がより深く硬いことがわかります。これにより歯車の曲げ強度と面圧強度ともに大幅に向上し、短時間出力時のトルクを上げることができます。

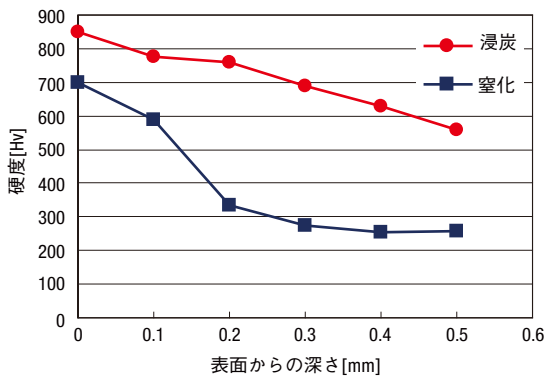


図4 浸炭焼入れと窒化処理での硬度 - 深さ比較

#### 3.2. 許容回転速度範囲の拡大

図5にPSギヤとPLギヤの構造比較を示します。従来のPLギヤはケースの軸受部を分離し、ボルトで固定しているため軸受のサイズに制限がありましたが、PSギヤではケースを一体にすることで軸受のサイズを大きくすることができました。これにより、軸受の寿命に余裕を持たせることができ、PLギヤより許容回転速度範囲を高くすることができました。

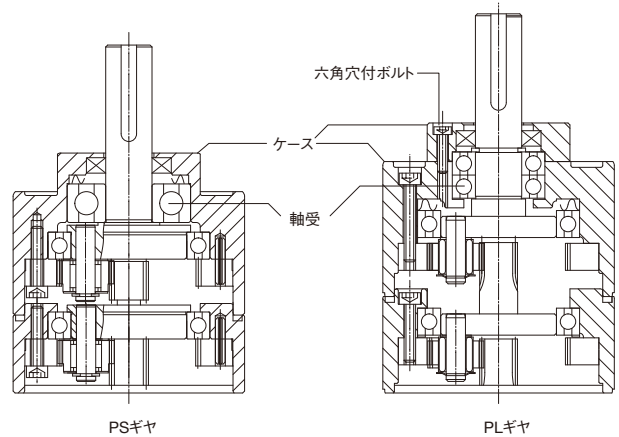


図5 PSギヤとPLギヤの構造比較

#### 3.3. バックラッシ量の低減

歯車に窒化処理や浸炭焼入などの熱処理を施すと歯車が歪み、歯形・歯筋精度などが低下し、位置決め誤差が大きくなります。PLギヤでは熱処理した歯車をそのまま使用していましたが、PSギヤは熱処理後に高精度仕上加工を行い、熱処理による歪を除去しています。これにより、図6に示すとおりPLギヤに対してPSギヤのバックラッシのばらつきを小さくすることができ、仕様値も小さくすることができました。

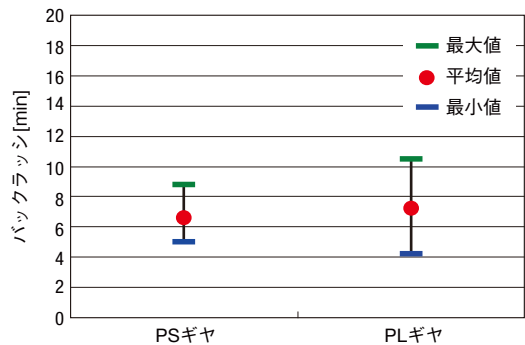


図6 PSギヤとPLギヤのバックラッシ量の比較

(注1) 全長はギヤ部の値です。

(注2) 最大トルクは加速・減速時にギヤードモーターが出せるトルクの最大値です。

(注3) 許容トルクは連続運転時にギヤードモーターが出せるトルクの最大値です。

#### 4. 最大トルクの活用方法

最大トルクは加速・減速時に短時間で減速機が出力できるトルクの最大値です。これを活用することにより位置決め時間を短縮することができます。

ギヤ出力軸での加速トルクは式 (1) で表されます。ギヤ出力軸で考えているため、ギヤ出力軸上のローター慣性モーメントは減速比の 2 乗に比例します。

式 (1) より負荷慣性モーメントが大きいほど、また加速・減速時間が短いほど必要な加速トルクが大きくなるのがわかります。そのため、加速・減速運転時にギヤ出力軸が発生するトルクが大きい方がより位置決め時間を短くすることができます。

$$T_a = (J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{N_G}{t_i} \dots\dots\dots (1)$$

各記号は、次のとおりです。

- $T_a$  : 加速トルク [N・m]
- $J_0$  : ローター慣性モーメント [kg・m<sup>2</sup>]
- $i$  : 減速比
- $J_L$  : 負荷慣性モーメント [kg・m<sup>2</sup>]
- $N_G$  : ギヤ出力軸の運転速度 [r/min]
- $t_i$  : 加速(減速)時間 [s]
- $t_o$  : 位置決め時間 [s]

位置決め時間を算出して、運転速度と位置決め時間の関係を表したパターンを図 7 に、そのときのトルクパターンを図 8 に示します。

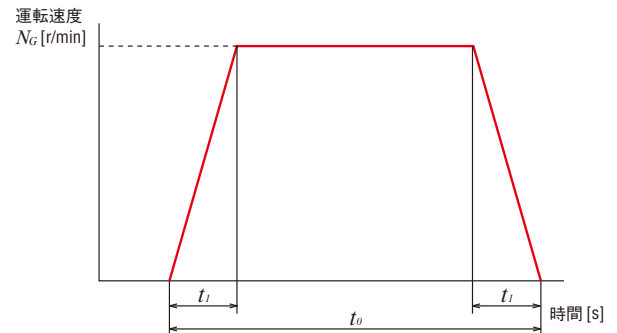


図7 運転速度パターン図

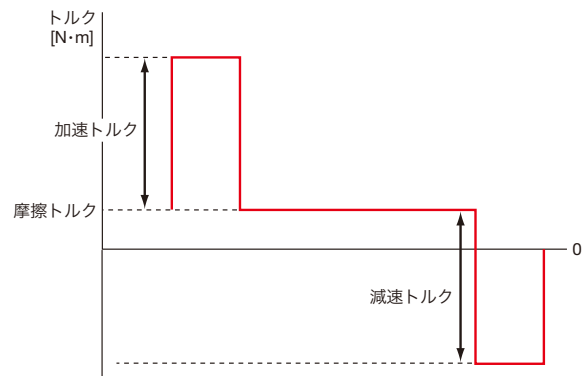


図8 トルクパターン図

例として、下記条件の慣性体を駆動した場合の位置決め時間を計算してみます。摩擦負荷は 0 としています。

<駆動条件>

- 慣性体：直径 400mm 厚さ 10mm 材質 鉄
- 移動量：180 度
- 安全率：1.5

図 9 に、PS ギヤを使用した ARL66AA-PS10 のトルク特性を示します。最大トルクの仕様値は 11N・m、許容トルクは 5N・m です。目安となる最大トルク、許容トルクは安全率 1.5 を考慮してそれぞれ算出すると、最大トルクが 7.3N・m、許容トルクが 3.3N・m となります。それらのトルクを加速トルクが上回らないように加速時間を計算し、位置決め時間を求めると表 2 のようになります。

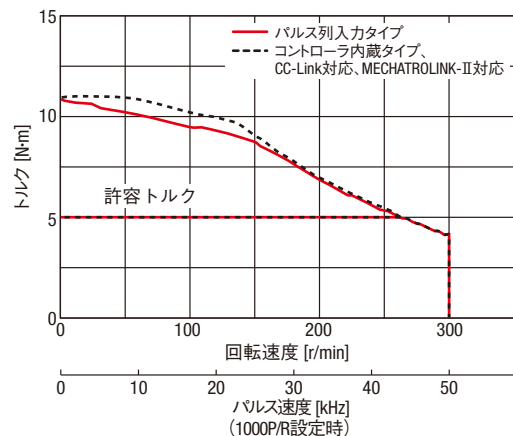


図9 トルク特性  
ARL66AA-PS10

表 2 最大トルク、許容トルクによる位置決め時間比較

	最大トルク使用时	許容トルク内の使用时
$T_a$ [N·m]	7.3	3.3
$J_0$ [kg·m <sup>2</sup> ]	$380 \times 10^{-7}$	
$i$	10	
$J_L$ [kg·m <sup>2</sup> ]	$1985 \times 10^{-4}$	
$N_G$ [r/min]	50	
$t_l$ [s]	0.145	0.321
$t_0$ [s]	0.745	0.921

求めた位置決め時間のトルクパターンを図 10 に示します。このように、最大トルク領域を使用することで、図 11 のとおり位置決め時間を早めることが可能となります。

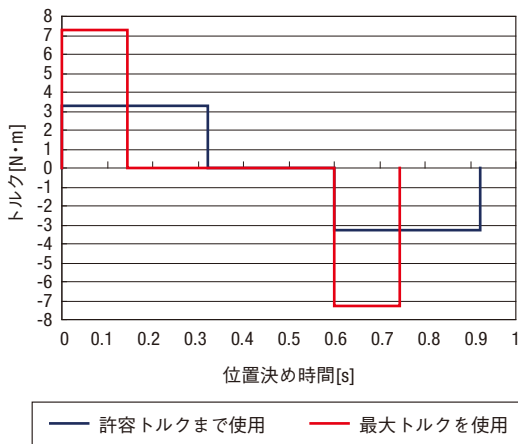


図 10 トルクパターン比較

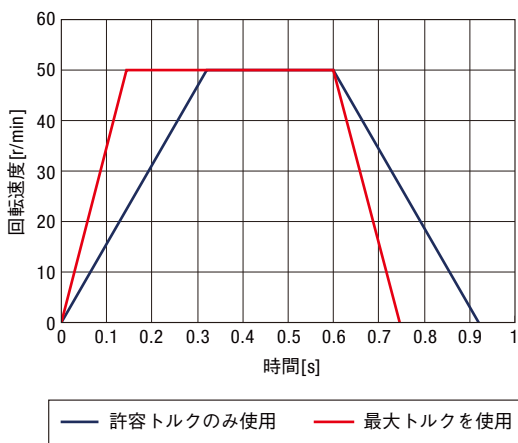


図 11 回転速度パターンの比較

## 5. 省スペース化について

### 5.1. PS ギヤと PL ギヤの全長比較

PS ギヤは構造の工夫により PL ギヤと比較し全長の短縮ができました。図 12 に取付角 60mm の PS ギヤと PL ギヤとの比較を示します。

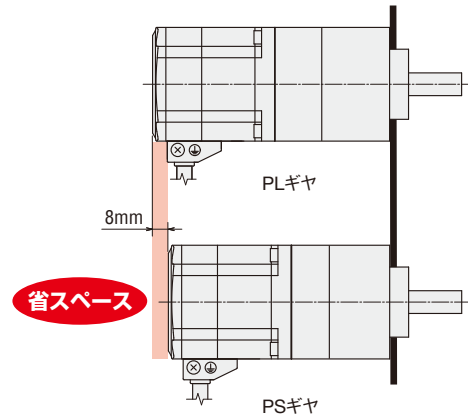


図 12 PS ギヤと PL ギヤの全長比較

### 5.2. PS ギヤと減速機付きサーボモーターの全長比較

一般的にサーボモーターと減速機は別々のコンポーネントとして発売されていて、カップリングなどで連結されています。そのため、連結部分のためのスペースが必要となります。

図 13 のように当社のギヤードモーターではモーターのシャフト部に直接歯切りをすることでカップリングが不要となり、その分省スペースになります。ほぼ同じトルクの一般的なサーボモーターと減速機を連結した場合と PS ギヤと組合せた ARL シリーズの比較を図 14 に示します。

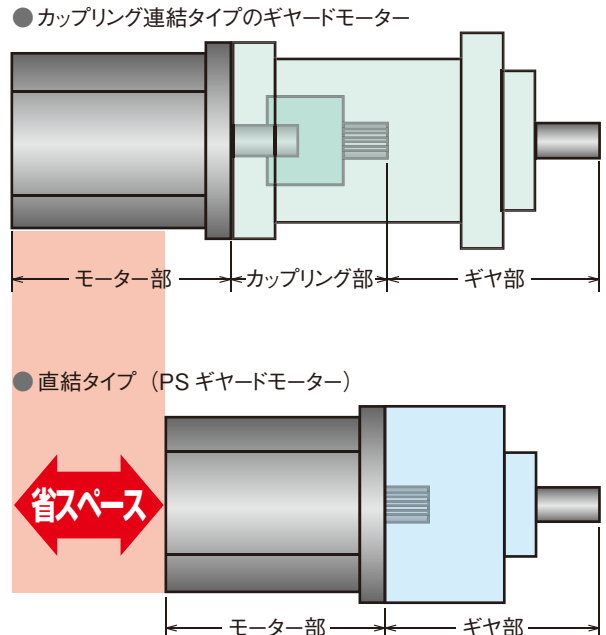
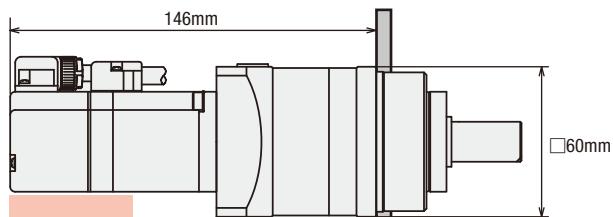
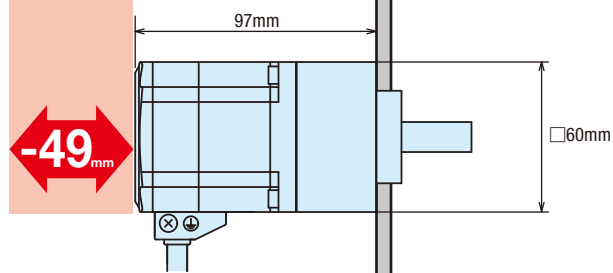


図 13 カップリング連結タイプと直結タイプの比較

- サーボモーター 出力100W + 遊星減速機 (i=11)  
最大トルク：9N・m



- ARLシリーズ PSギヤードタイプ  
最大トルク：11N・m



ますますコンパクト高出力化が進んだ PS ギヤは、さまざまな装置のコンパクト化と信頼性の向上に貢献できるものと考えます。今後は、適用モーターを増やし、市場からのさまざまな要求にこたえるべく、バリエーション拡大を進めていきます。

図 14 一般的なギヤードモーターと ARL66AA-PS10 の全長比較

## 6. ラインアップ

PS ギヤードモーターについて表 3 にラインアップを示し、表 4 に仕様一覧（減速比 10）を示します。

表 3 PS ギヤードモーターのラインアップ

取付角寸法	[mm]	28	42	60	90
AR シリーズ		○	○	○	○
ARL シリーズ		—	○	○	○
RK シリーズ		—	○	○	○
CRK シリーズ		○	○	○	—

表 4 PS ギヤードモーターの仕様一覧（減速比 10）

取付角寸法	[mm]	28	42	60	90
最大トルク	[N・m]	0.5	2	11	35
許容トルク	[N・m]	0.5	1.5	5	20
バックラッシ	[min]	35	25	15	15
許容回転速度範囲	[r/min]	300	300	300	300

## 7. まとめ

PS ギヤは従来製品の PL ギヤと取り付けの互換性を保ちつつ、構造を見直し、主に以下の点について改良を行っています。

- 1) 最大トルクの向上
- 2) 許容速度範囲の拡大
- 3) バックラッシ量の低減
- 4) 全長の短縮

筆者



塚本 成紀

MC 事業部  
制御ギヤ技術部 技術課