

# PKP シリーズ 小型・薄型コネクタ搭載モーターの開発

住田 翔

従来の **PKP** シリーズで要望が多かった、リード線の引き回しのしやすさとコネクタ部の低背化に応えるため、モーターサイズを変えずに **PKP** シリーズ小型・薄型コネクタ搭載モーターを開発しました。コネクタ部の低背化を実現するためにモーター構造を工夫し、さらに、コネクタは端子の材質及び形状を見直して高電流に対応しました。また、磁気設計の適正化によるトルク及び振動の特性向上と、出力軸に対するアキシャル・ラジアル方向の許容荷重の向上を図っています。ここでは、**PKP** シリーズ小型・薄型コネクタ搭載モーターの構造や特性について説明します。

## 1. はじめに

ステッピングモーターは、オープンループで位置制御・速度制御が可能なモーターです。そのため、自動改札機や監視カメラなど、さまざまな用途で採用されています。特にオリエンタルモーターのハイブリッド型ステッピングモーターは、高トルクと高精度を特長としています。

従来の **PKP** シリーズ (以下、従来品) は、**PK** シリーズの特性を向上するとともに、モーターの取り付け・取り外しの作業性を改善するため、リード線をモーターから直接引き出す構造 (以下、リード線タイプ) ではなく、モーターにコネクタを搭載し、接続ケーブルを使用してドライバと配線する方式 (以下、コネクタタイプ) を採用しました。

新たに開発した **PKP** シリーズ小型・薄型コネクタ搭載モーター (以下、新製品。図1参照) では、さらに、従来品で要望が多かったコネクタ部の低背化、高トルク化、出力軸許容荷重の向上を図りました。



図1 リード線タイプからコネクタタイプへの変遷

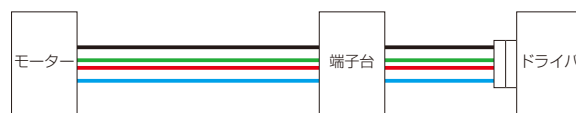
## 2. 小型・薄型コネクタ搭載モーター

### 2.1. コネクタタイプの利点

モーターとドライバの配線は、リード線タイプの場合、一般的に中継用の端子台やコネクタなど使用しますが、コネクタタイプは接続ケーブルを用意すればモーターとドライバを直接接続できます。(図2参照)

モーターと接続ケーブルを脱着できるコネクタタイプの利点は表1のとおりです。接続や部品手配・交換作業のしやすさ・在庫管理の面で優れています。(図2~図5参照)

#### ●リード線タイプの場合



#### ●コネクタタイプの場合

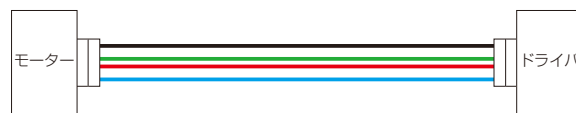


図2 モーターとドライバの接続

#### ●リード線タイプの場合



#### ●コネクタタイプの場合

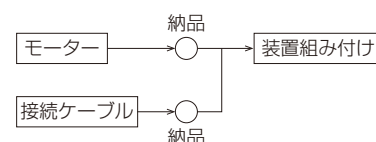


図3 モーター・接続ケーブルの手配

表1 リード線タイプとコネクタタイプの比較

	参照図	リード線タイプ	コネクタタイプ
接続	図2	モーターとドライバの間に中継端子台を使用	モーターとドライバを直結で配線可能
部品手配	図3	モーター納品後にリード線端の加工	モーターと同時に接続ケーブルを手配
交換作業	図4	リード線の再配線が必要	モーターのみ交換可能
モーター在庫	図5	同サイズのモーターでもリード線種ごとに管理	サイズごとにモーターを管理

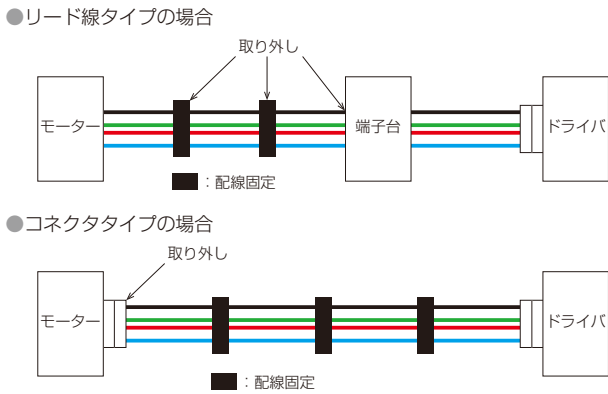


図4 モーターの交換作業

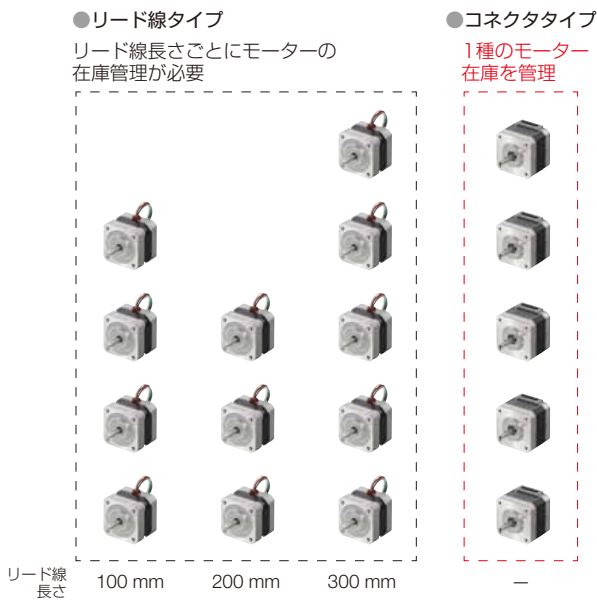


図5 モーター在庫の集約

## 2.2. 高電流対応の小型・薄型コネクタ

従来品は、コネクタの挿抜や引き回し方向の改善、小型化の要望がありました。くわえて、近年ステッピングモーターの用途が広がるにつれ、高速回転での高トルク化の要望も高まっており、モーターの高電流化に対応するコネクタが必要となってきました。

コネクタの小型化と高電流対応を同時達成するには、市販のコネクタでは実現することが難しいため、このモーターに適したコネクタをヒロセ電機株式会社と共同開発を行いました。

開発したコネクタは、挿抜のしやすさを考慮したサイドロック構造を採用することで、小型・薄型化を実現しています。(図6参照)

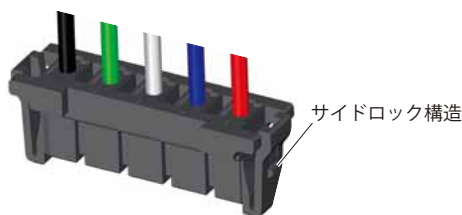


図6 小型・薄型コネクタ付接続ケーブル

端子材質は低抵抗の銅合金を採用し、端子とピンの接触面積を十分に確保して、接触抵抗を低く抑えました。小型・薄型でありながら高電流に対応できるコネクタを開発しました。これより、従来品は電流仕様ごとにコネクタを使い分けていましたが、開発したコネクタはモーターの電流仕様が異なっても、1種類で対応が可能になりました。

## 2.3. コネクタ部の構造と特長

新商品では、コネクタ単体の小型・薄型化にくわえ、コネクタをモーター内部に埋め込むことで低背化を実現しています。あわせて、配線作業性向上のために、接続ケーブルの引き出し方向を、出力軸に対して直角方向としました。(図7参照)

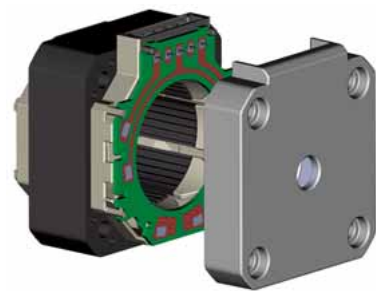


図7 コネクタ部の構造

従来品の構造を基本に、新規コネクタを埋め込んだモーターは全長が長くなってしまいます(図8のa)。

コイルを巻くスペースを確保するためにブラケットの薄肉成形を追求したことで、コネクタ部の低背化とあわせて従来品と同じモーター全長を実現しました(図8のb)。さらに、高電流に対応するため、基板とコイルの接続方法を改良しました。

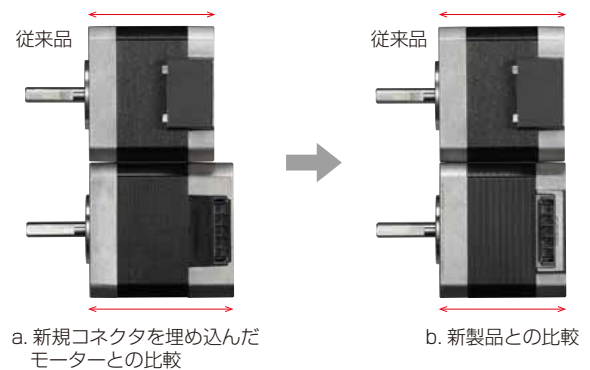


図8 モーター全長

従来品は、出力軸方向に接続ケーブルを引き出し、配線するには適した構造ですが、コネクタの挿抜方向がモーターの出力軸方向に限定され、接続ケーブルの引き回しに制約があります(図9参照)。また、モーター全長が短い場合には取付板とコネクタの間隙が狭くなり、挿抜が困難になります(図10参照)。

新製品では、接続ケーブル引き出し方向をモーター側面に対して直角方向としたことで、接続ケーブルの引き回しの自由度が向上し、挿抜が容易になります。

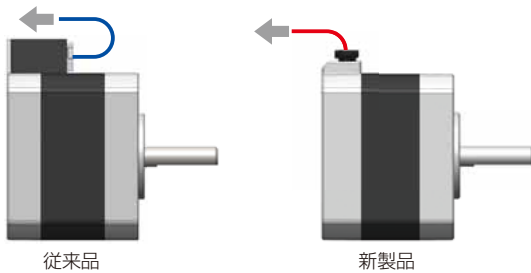


図9 接続ケーブル引き回しの比較

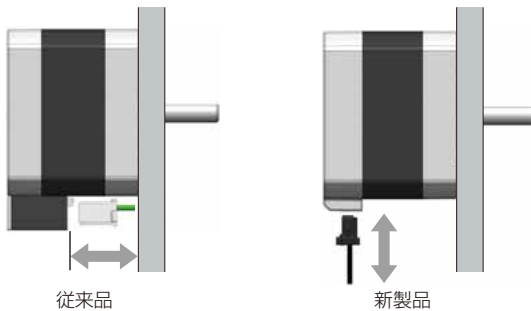


図10 コネクタ挿抜方向とスペースの比較

表2に各社のモーターのコネクタ高さ、引き出し方向を示します。新製品のコネクタ高さは、取付角42 mmでは3.0 mm、取付角56.4 mmでは2.0 mmを実現しています。

表2 コネクタ高さや接続ケーブル引き出し方向一覧

各社比較	コネクタ高さ [mm]		引出方向
	取付角42 mm	取付角56.4 mm	
新製品	3.0	2.0	垂直方向
従来品	9.0	12.0	水平方向
A社	6.0	5.0	垂直方向
B社	7.0	5.5	垂直方向
C社	6.7	10.0	水平方向
D社	7.0	-	水平方向

※オリエンタルモーター調べ2018年7月現在

### 3. 磁気設計の適正化によるモーター特性の向上

ステッピングモーターの駆動は、ユニポーラ駆動に対し、コイルの利用率が高いバイポーラ駆動が増えていきます。さらに、各相の電流を一定のまま励磁の切り替えを行うフルステップ駆動、またはハーフステップ駆動から、各相の電流値を徐々に変化させながら角度を細分化するマイクロステップ駆動が主流となりました。新製品ではマイクロステップ駆動で高トルク・低振動を実現できる設計を目指しました。

モーターの基本構造を図11に示します。ロータは、円板状の永久磁石をロータコアで挟む構造となっており、永久磁石はシャフトの軸方向に着磁されています。一般に永久磁石が大きく、ロータコアが長いとトルクは高くなります。しかし、磁束の量は永久磁石の大きさに比例するため、必要以上にロータを伸ばしてもトルクは高くなりません。

また、モーターの取付角寸法をそのままに、永久磁石を大きくするとシャフト径を小さくする必要があり、シャフト強度が低下します。このような制約があるなかで磁気設計を適正化しました。

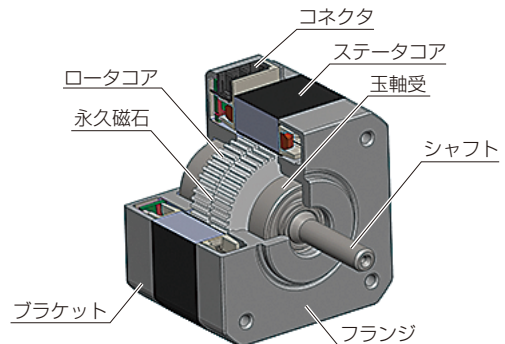


図11 モーター構造

#### 3.1. トルク特性の向上

##### 3.1.1. 駆動方式によるプリアウトトルクの変化

ステッピングモーターはコイルの励磁を切り替えて回転します。駆動方式によるステップ動作と発生するトルクについて角度-トルク特性 ( $\theta$ -T 特性) を用いて説明します<sup>(2)</sup>。

2相ステッピングモーターは、一般的に2相励磁で駆動します。2相励磁における $\theta$ -T特性を図12に示します。この特性の最大値を励磁最大静止トルクと呼びます。A相とB相に電流を流すことをAB、A相に反対方向の電流を流すことを $\bar{A}$ と表します。ABに励磁している状態で $\bar{A}$ に

励磁を切り替えると、励磁した相の安定点に引き込まれるようにロータが動きます。励磁を切り替えることで1.8°ずつ安定点が移動します。この駆動をフルステップ駆動と呼び、この動作を繰り返すことで連続的にロータが回転します。負荷が加わると、負荷トルクとθ-T特性の交点が動作点となります。ABとĀBのθ-T特性の交点まで負荷トルクに耐えることができます。この交点が回転時に発生できる最大トルクとなりプルアウトトルクと呼ばれます。2相モーターのフルステップ駆動のプルアウトトルクは、励磁最大静止トルクの約70%となります。

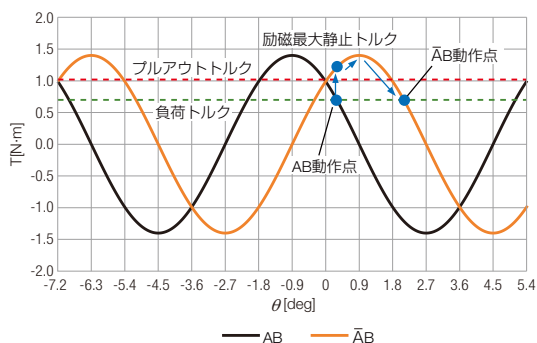


図 12 2相励磁（フルステップ駆動）のθ-T特性

1相励磁と2相励磁を交互に繰り返す1-2相励磁はハーフステップ駆動と呼ばれ、0.9°ずつ回転します(0.9°/stepと表します)。この場合のθ-T特性を図13に示します。ハーフステップ駆動でのプルアウトトルクは、1相励磁の励磁最大静止トルクとなります。

以上から、フルステップ駆動とハーフステップ駆動はプルアウトトルクが等しくなることが分かります。

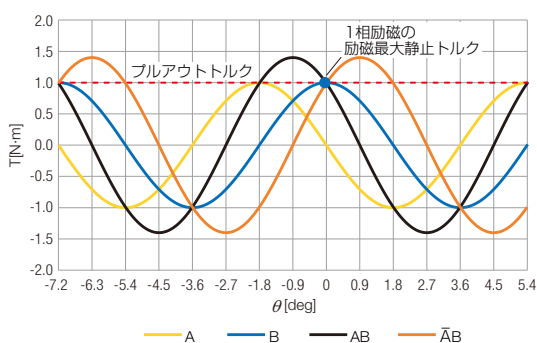


図 13 1-2相励磁（ハーフステップ駆動）のθ-T特性

モーターの入力電力はコイルの損失(銅損)による温度上昇によって決まります。銅損は電流の2乗に比例するため、2相励磁と1相励磁の銅損が等しくなるように1相励磁の電流を√2倍にすることができます。1相励磁の電流を√2倍にしたときのθ-T特性を図14に示します。このように駆動することで、プルアウトトルクが高くなります。

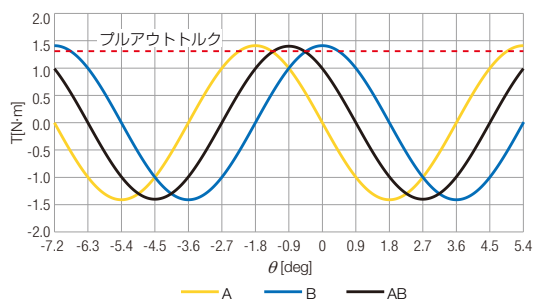


図 14 マイクロステップ (0.9°/step) 駆動のθ-T特性

さらに、分解能を高く(ステップ角度を細かく)する駆動がマイクロステップ駆動です。電流の切り替わり点に中間的なレベルを設けることで、電流値を変えながら、ステップ角度を細分化しています。

ステップ角度を0.45°に細分化したときのθ-T特性を図15に示します。分解能を高くしていくとプルアウトトルクが分解能につれて高くなり、2相励磁の励磁最大静止トルクに近づいていきます。電流は正弦波に近づくことから、正弦波駆動と呼ばれることもあります。

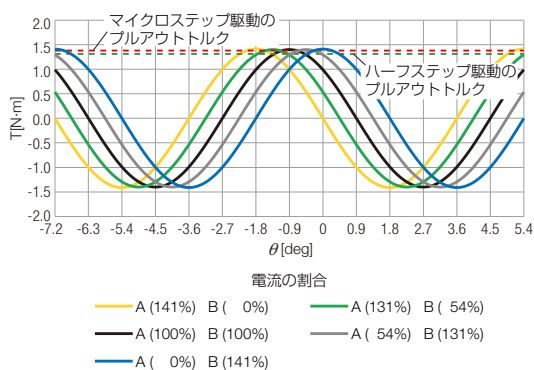


図 15 マイクロステップ (0.45°/step) 駆動のθ-T特性

### 3.1.2. トルク特性の向上

原理的に、トルクはモーター入力電流に比例し、式(1)で表します。

$$T = k_t \cdot I \quad \dots \dots \dots (1)$$

- T : トルク [N·m]
- I : モーター入力電流 [A]
- k<sub>t</sub> : 定数

しかし、実際には図16に示すように電流とトルクは比例関係にならずトルクが飽和する傾向にあります。これはステータコアとロータコアに使用している、電磁鋼板の磁気特性によるものです。これより、マイクロステップ駆動で1相励磁状態の電流を大きくすると、1相励磁のトルクは2相励磁より低くなり、そのため、実際には電流を $\sqrt{2}$ 倍にしてもトルクは $\sqrt{2}$ 倍になりません。

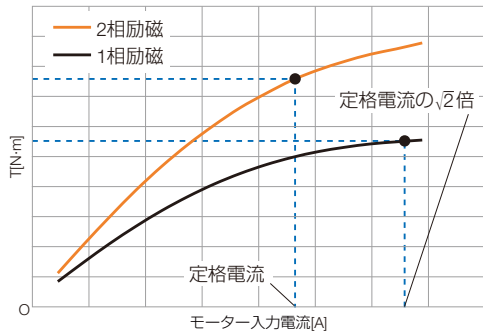


図 16 入力電流 - トルク

以上のことから、従来品では、2相励磁に比べて1相励磁のトルクの飽和が大きく、2相励磁のトルクに対して、1相励磁のトルクが低くなります。トルクの飽和を考慮した $\theta$ -T特性を図17に示します。プルアウトトルクは1相励磁の励磁最大静止トルクになります。

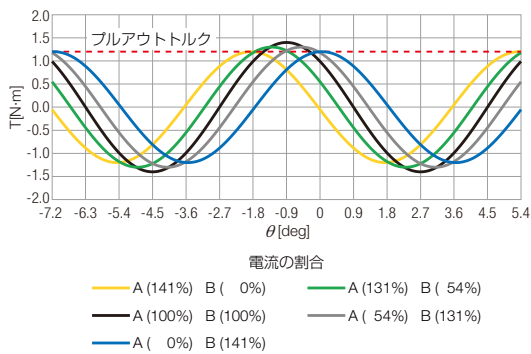


図 17 1相励磁のトルク飽和がある $\theta$ -T特性

図18は、新製品と従来品の1相励磁の入力電流 - トルク特性を比較した図です。新製品では、マイクロステップ駆動に適した磁気設計にすることで、従来品よりモーター入力電流に対するトルクの飽和を緩和し、直線性を向上させています。

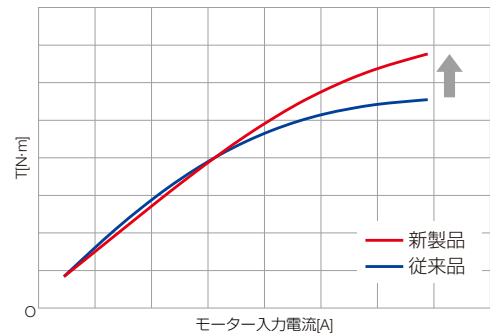


図 18 入力電流 - 1相励磁トルク特性の比較

全速度領域でマイクロステップ駆動を行っているCVKシリーズ用ドライバと組み合わせたときの速度 - トルク特性を図19に示します。従来品に対して全速度領域でトルクアップを実現しています。

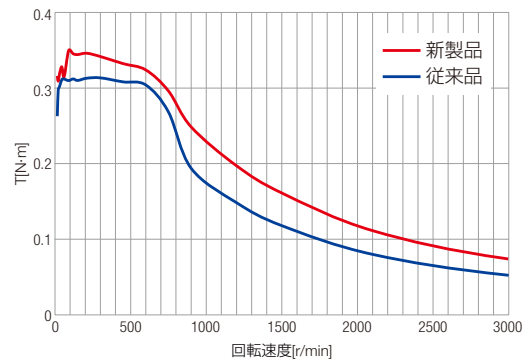


図 19 速度 - トルク特性 (プルアウトトルク) 比較



### 3.2. 共振現象による振動の低減

一般的にステッピングモーターはトルク変動が大きくなると振動が大きくなる傾向にあります。振動は脱調や騒音の要因となります。

原理的にマイクロステップ駆動は各励磁状態での $\theta$ -T特性が等間隔に並びます。安定点の間隔はステップ角度となります。マイクロステップ駆動はA相の電流とB相の電流を徐々に変化させるため、安定点は、A相とB相のトルクのバランスで決まります。従来品は、磁気飽和によりA相とB相の合成トルクは原理どおりにならず、安定点の間隔は等間隔になりませんでした(図20参照)。

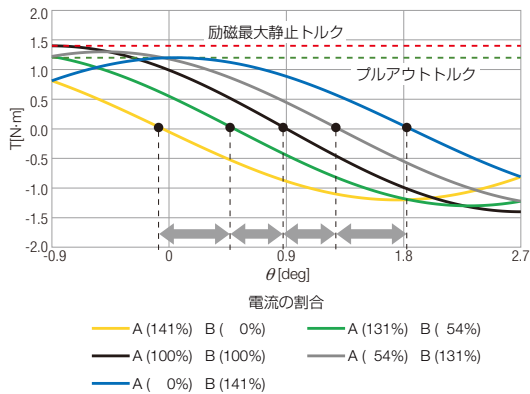


図 20 トルク飽和が大きい場合の安定点の間隔

安定点の間隔が異なるということは、安定点の移動速度が変動していることとなります。安定点の移動速度が変動するとトルク変動が発生し、そのトルク変動の周波数とモーターの固有振動数が一致すると、シャフトの速度変動が急激に大きくなります。これは共振と呼ばれる現象です。

図21に従来品と新製品の振動特性を示します。80 r/min付近の大きな振動が共振による振動です。新製品は電流-トルク特性の直線性が向上したことで、トルク変動が抑えられ、振動が低減しています。

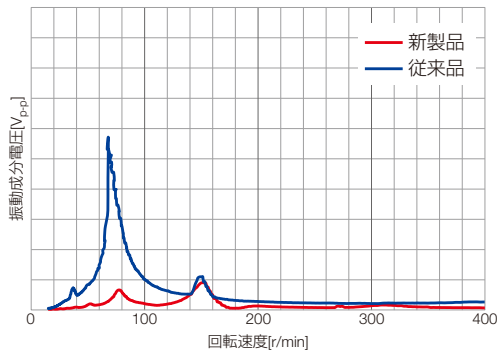


図 21 振動特性の比較

### 3.3. 許容荷重の向上

ステッピングモーターの特性が向上し、用途が広がったことから、モーター出力軸の許容荷重の向上が求められています。

図22に示すように、許容荷重には許容ラジアル荷重と許容アキシャル荷重があります。新商品では、許容ラジアル荷重を上げるために玉軸受部分のシャフト径を大きくし、また、許容アキシャル荷重を向上させるため基本動定格荷重の大きい玉軸受を採用しました。なお、お客様が使用する軸締結部は、従来品との互換性を考慮して、従来品と同じ出力軸径としています。

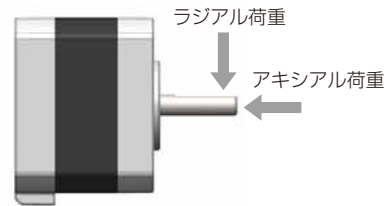


図 22 ラジアル荷重とアキシャル荷重

単にシャフト径を大きくするだけでは、ロータの永久磁石の体積が小さくなりトルクが低下してしまいます。新製品では、シャフト径を大きくすることを前提とした磁気設計を行いました。

図23に取付角42 mmにおける従来品との許容荷重の比較を示します。

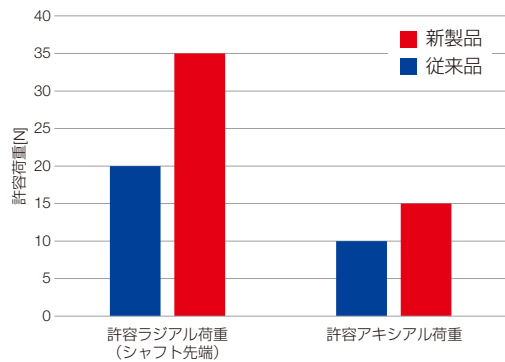


図 23 許容荷重の比較 取付角 42 mm

## 4. まとめ

新製品はモーター全長を従来品と変えずに、コネクタ部の低背化と接続ケーブル引き回し方向の自由度を向上しました。磁気設計の適正化も行い、高トルクと低振動化、出力軸の許容荷重向上も実現しています。より広い用途でお使いいただけるモーターとなりました。

今後も、お客様装置の性能向上に貢献できるように、モーター開発に取り組んでいきます。

### 参考文献

- (1) 金子 貴志,「高トルク2相ステップモーターPKPシリーズの特長」,RENGA, No. 177(2013)
- (2) オリエンタルモーター テクニカルマニュアル ステッピングモーター編

### 筆者



住田 翔

ステッピングモーター事業部