

5相ステッピングモーターユニット CRKシリーズ高分解能タイプの特徴

友野 淳一

Features of the 5-phase stepping motor and driver package **CRK Series** “high resolution type”

Junichi TOMONO

Recently, a newly developed high-resolution type stepping motor that seeks to increase the positioning accuracy than that of the high performance 5-phase stepping motor and driver package **CRK Series** were added to our lineup. With the high torque and high resolution, the motor positions the system with improved accuracy. In addition, combining the motor with microstep-driven driver facilitates fine feeding of the system, making it ideal for the applications such as fine adjustment. Together with proving data, we are going to show that the newly developed motor demonstrates improved static angle error, which is also less subject to the influence of external load.

1. はじめに

ステッピングモーターは、オープンループ制御で、入力パルスだけで手軽に停止位置を決められるモーターです。装置の小型化、低振動・低騒音化といった要求に対しても、5相ステッピングモーターPKタイプと小型マイクロステップドライバCRDタイプを組み合わせた5相ステッピングモーターユニットCRKシリーズの商品化により、それらの要求を満足してきました（図1参照）。

- ・25種類のステップ角が設定可能
- ・パワーLED搭載
- ・フォトカプラ入力仕様

と、機能も充実させたDC電源入力基板型ドライバです。⁽¹⁾

しかし低振動、低騒音に効果のあるマイクロステップ駆動は、電氣的に分解能を上げているため、モーターの停止精度向上には限界がありました。

今回開発した高分解能タイプのモーターは、基本ステップ角が0.36°、取付角3種類（□28mm、□42mm、□60mm）で、マイクロステップ駆動だけでは実現が難しかった高分解能化と停止精度の向上を両立させることが可能になりました。ここでは、CRKシリーズ高分解能タイプ（図2参照）のモーターを中心に、動作原理と特徴を紹介します。

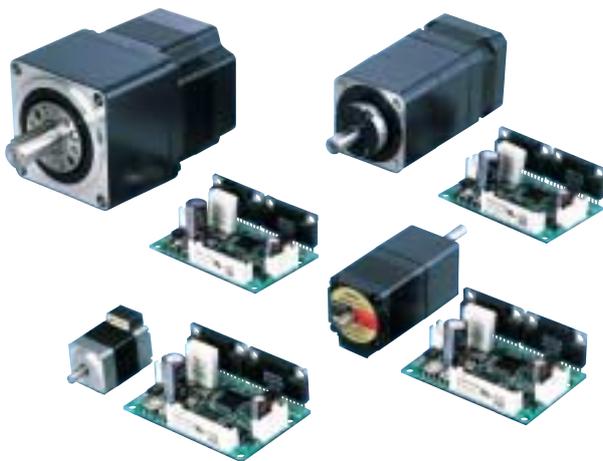


図1 CRKシリーズ

CRDタイプは、新開発の専用ICを採用したことで、小型・軽量ながらマイクロステップ駆動を実現し、

- ・スムーズドライブ機能
- ・1パルス入力／2パルス入力切り替え可能

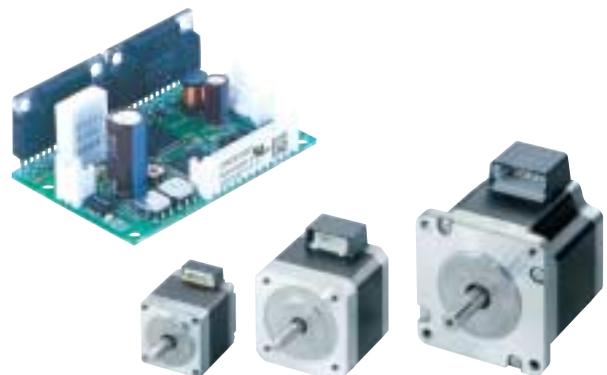


図2 CRKシリーズ高分解能タイプ

2. 高分解能タイプの構造と原理

2.1. モーター構造

高分解能タイプのモーター構造は、図3に示すとおり、多くのハイブリッド型ステッピングモーターと同様の部品構成になっています。

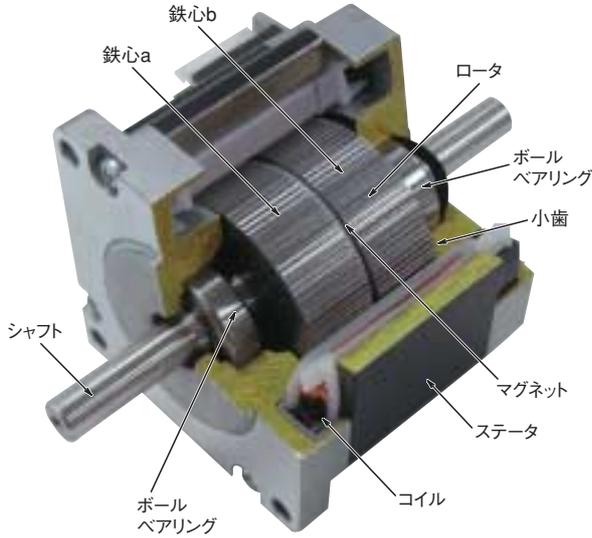


図3 モーター構造

高分解能・高精度化に最も貢献している部分はステータとロータの小歯部です。プレス技術の向上により、従来困難であった微小な寸法の小歯の打抜き・積層が高精度に行えるようになりました。

図4は取付角□28mmモーターのステータ小歯部です。0.5mmシャープペンシルの芯よりも細い小歯が高精度に積層されていることがわかります。



図4 □28mmモーター小歯部写真

2.2. 動作原理

ハイブリッド型ステッピングモーターの基本ステップ角は、ステータの各突極の小歯の配置とロータ外周にある小歯の枚数によって決まります。

図5は、基本ステップ角が 0.72° のモーターのロータとステータの小歯の関係を示したものです。ロータは二

つの鉄心aとbと、その間に挟まれたマグネットで構成されています。各鉄心には50枚の小歯があり、鉄心aの小歯と鉄心bの小歯は、互い違いになるように構成されています。図5のように突極1のステータ小歯とロータ鉄心aの小歯が向かい合うとき、突極2のステータ小歯は、ロータ鉄心bの小歯に対して、 0.72° ずれて配置されています。この構造により、励磁する突極を切り替えることで、 0.72° ずつロータは回転します。

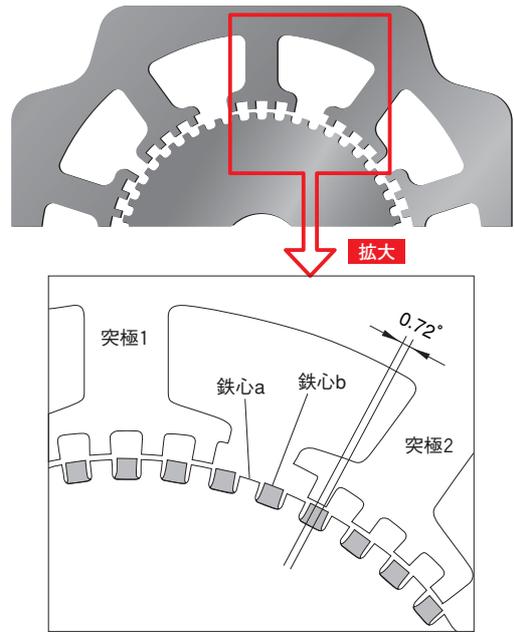


図5 ロータとステータの小歯の関係

一方、高分解能タイプは、ロータに小歯が100枚のものを使用することで、図6のように図5のモーターの2分の1となる 0.36° の基本ステップ角で回転することができます。

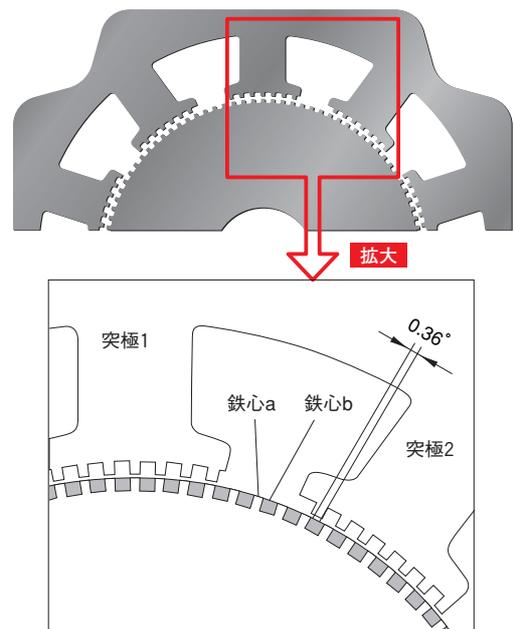


図6 ロータとステータの小歯の関係

3. 高分解能タイプの特徴

3.1. 高トルク

高分解能タイプのモーターは、「高精度位置決め」を前提に、スティフネスを向上させるため励磁最大静止トルク重視の設計を行っています。

その実現には、PKシリーズ高トルクタイプの設計を踏襲し、モーター内部の磁束密度が最適値になるように部品寸法、材料を決定しています。⁽²⁾

その結果、図7に示すように□60mmモーターの場合、標準タイプに対しては、1.3~1.8倍の高トルク化を実現しています。

□28mm、□42mmモーターについては、高トルクタイプに対して同等のトルクを発生します。

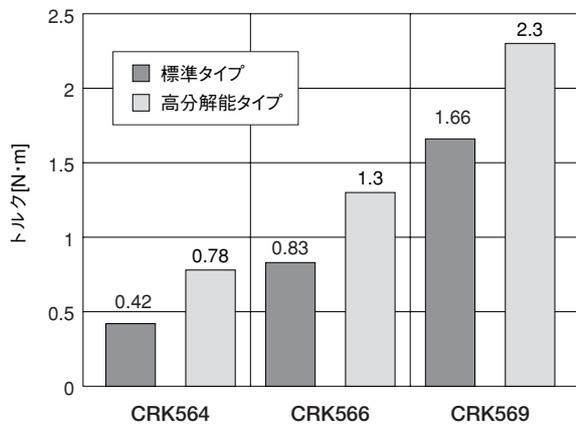


図7 □60mmモーター励磁最大静止トルク比較

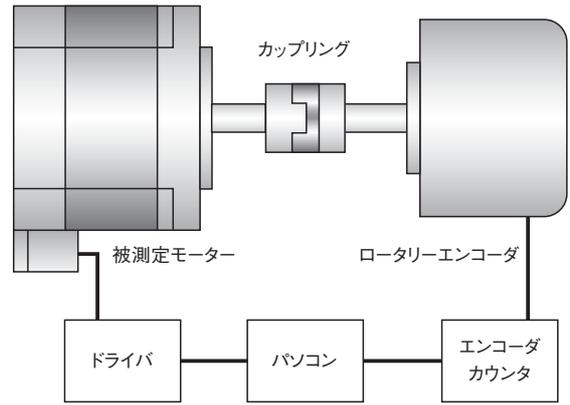
3.2. 静止角度誤差の向上

3.2.1. 静止角度誤差測定方法

図8のように被測定モーターとロータリーエンコーダを、カップリングを介して接続し、被測定モーターを低速（パルス速度=1Hz程度）で回転させながら、1回転中の停止角度の理論値（ステップ角度の整数倍の位置）と、測定値（実際にモーターが停止した位置）との差を停止位置ごとに角度誤差として求めます。

静止角度誤差は、図9のように停止位置ごとに求めた角度誤差の最大幅Asより式(1)のように求められます。

$$\text{静止角度誤差} = \pm \frac{A_s}{2} [^\circ] \dots \dots \dots (1)$$



測定に用いたロータリーエンコーダの仕様

分解能	1296000 p/r
タイプ	インクリメンタル

図8 静止角度誤差測定方法

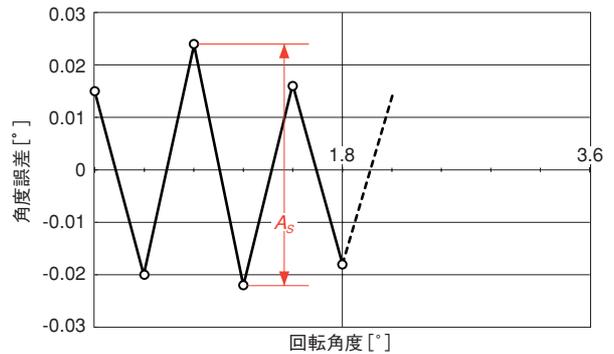


図9 測定結果イメージ

3.2.2. 高分解能タイプの静止角度誤差

表1にモーターのサイズ、励磁最大静止トルクが同じ高分解能タイプと高トルクタイプの仕様を示します。

高分解能タイプの静止角度誤差は、

$$\pm 0.034^\circ (\pm 2')$$

に対し、高トルクタイプは、

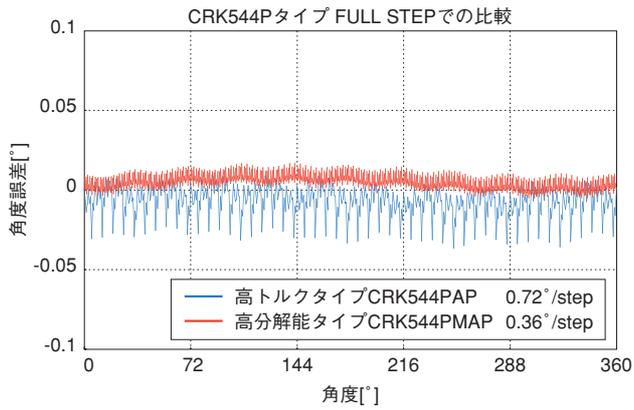
$$\pm 0.05^\circ (\pm 3')$$

ですので、静止角度誤差は3分の2になっています。

表1 CRK544PMAPとCRK544PAPの仕様比較

	高分解能タイプ CRK544PMAP	高トルクタイプ CRK544PAP
基本ステップ角	0.36 [°]	0.72 [°]
モーターサイズ (取付角×全長)	□42×39 [mm]	□42×39 [mm]
励磁最大静止トルク	0.24 [N・m]	0.24 [N・m]
静止角度誤差 (無負荷時)	±0.034 [°] (±2')	±0.05 [°] (±3')

高分解能タイプと高トルクタイプの静止角度誤差を
 測定し、比較した結果を図10に示します。



測定条件

測定製品	CRK544PAP (高トルクタイプ) CRK544PMAP (高分解能タイプ)
ドライバ設定	DC24V 印加 ステップ角 = Full Step スムースドライブ機能 = OFF 自動カレントダウン機能 = OFF
外部負荷	無負荷

図10 静止角度誤差測定結果

3.3. スティフネスの向上

前項では、無負荷時の静止角度誤差について説明しましたが、ここでは、実際の負荷が付いた場合を考えてみます。図11に示すようにパウダブレーキを負荷装置として接続した状態で、励磁最大静止トルクの20%、40%の負荷トルクを加えて、モーター1回転の静止角度誤差を測定しました。その結果を図12に示します。

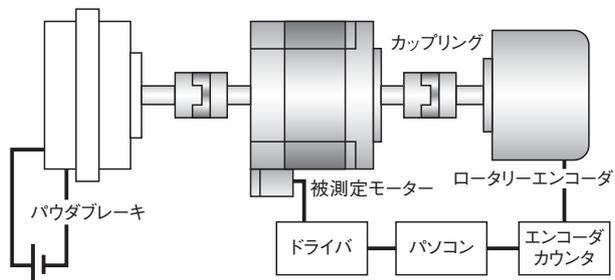
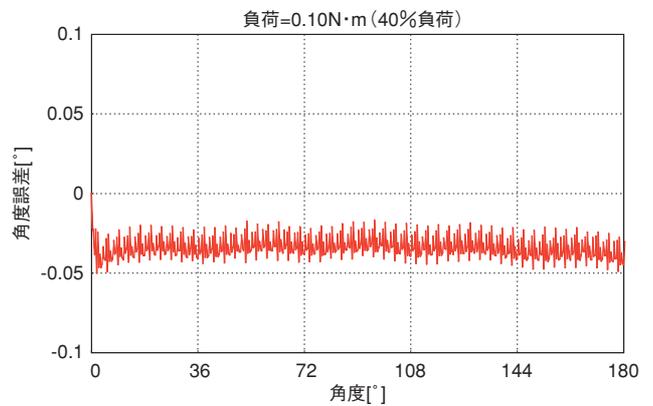
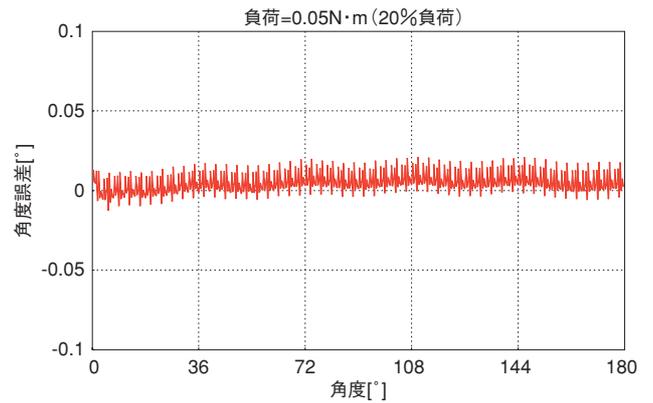
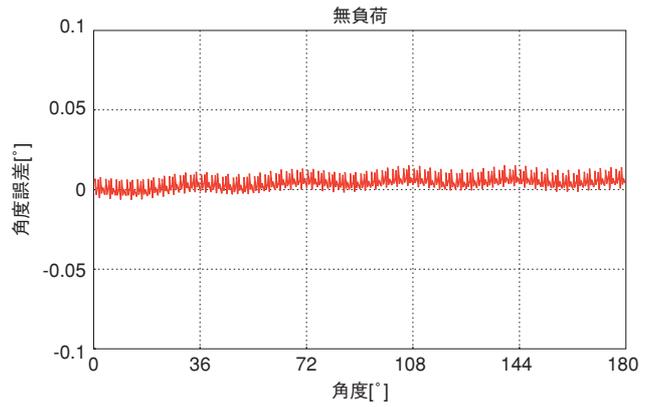


図11 負荷装置付きの静止角度誤差測定方法



測定条件

測定製品	CRK544PMAP (高分解能タイプ)
ドライバ設定	DC24V 印加 ステップ角 = 0.36° スムースドライブ機能 = OFF 自動カレントダウン機能 = OFF
外部負荷	パウダブレーキ (0.05N・m、0.10N・m)

図12 負荷装置付きの静止角度誤差測定結果

この結果より、負荷トルクと静止角度誤差の関係にグラフを書き直すと、図13のようになります。

負荷トルクの増加に伴い、静止角度誤差が大きくなっていることがわかります。

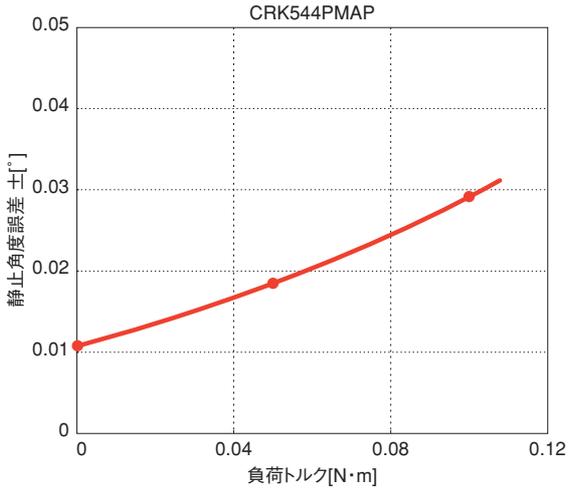


図13 負荷トルク-静止角度誤差

図13の結果に、CRK544PAP高トルクタイプの結果を重ね合わせたものが図14になります。同一条件にするため、CRK544PAP高トルクタイプはハーフステップ駆動によりステップ角を0.36°にして測定しています。

ここで比較している高トルクタイプと高分解能タイプは同トルクですが、ステップ角を同じにしても、負荷トルクの増加に伴う静止角度誤差の増加の比率は、高トルクタイプの方が大きくなっています。つまり、高分解能タイプの静止角度誤差の方が外部負荷の影響を受けにくいことがわかります。

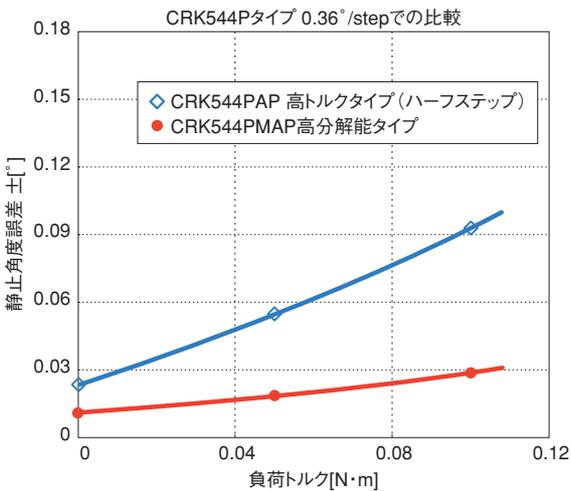


図14 負荷トルク-静止角度誤差 (取付角□42mmモーター)

同様に取付角□28mm、□60mmのモーターについても測定した結果を図15、図16に示します。

これらを見ても、高分解能タイプの静止角度誤差が外部の負荷トルクからの影響を受けにくいことがわかります。

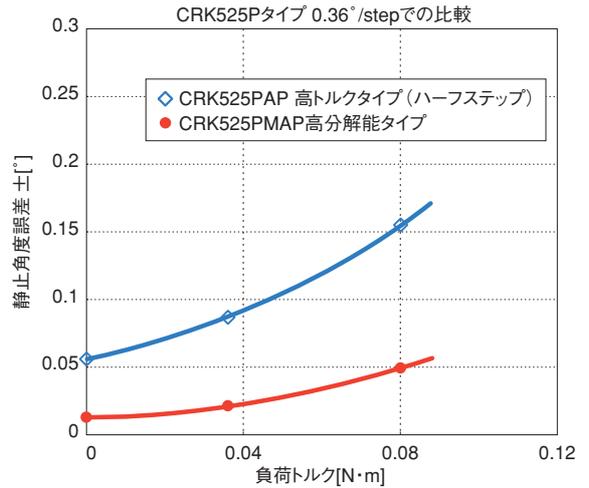


図15 負荷トルク-静止角度誤差 (取付角□28mmモーター)

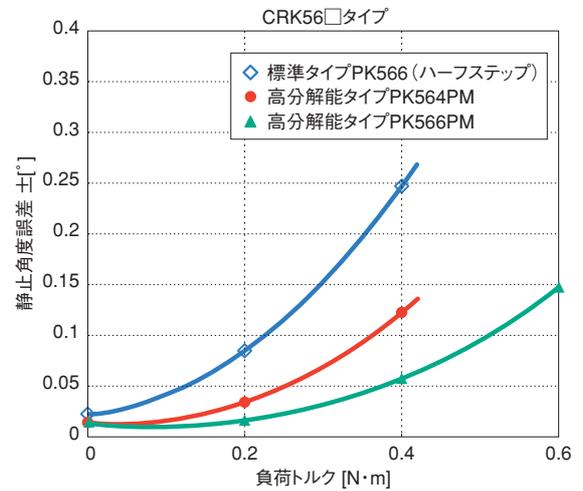


図16 負荷トルク-静止角度誤差 (取付角□60mmモーター)

図16では、同サイズのモーター同士の比較となる

標準タイプ PK566

[励磁最大静止トルク=0.83N・m、全長=57.5mm]

高分解能タイプ PK566PM

[励磁最大静止トルク=1.3N・m、全長=56mm]

において、高分解能タイプの方が外部トルクの影響を受けにくいことがわかります。

また、モーター全長が異なり、トルクが同等のモーター同士の比較となる

標準タイプ PK566

[励磁最大静止トルク=0.83N・m、全長=57.5mm]

高分解能タイプ PK564PM

[励磁最大静止トルク=0.78N・m、全長=46.5mm]

においては、全長が11mmも短い高分解能タイプ PK564PMでも、標準タイプよりも負荷トルクからの影響を受けにくく、装置のダウンサイジングにも貢献できることがわかります。

3.4. 角度-トルク特性と静止角度誤差との関係

標準タイプや高トルクタイプに比べ、高分解能タイプが、外部からの負荷トルクに対し静止角度誤差の変化が小さいのは、「角度-トルク特性」の差によるものです。

ステッピングモーターが励磁状態で停止している時に、外部からモーターシャフトにトルクを加えると、シャフトの停止位置に角度変位が発生します。そのときの外部トルクと角度変位の関係をグラフ化したものが図17のトルク曲線で、これを角度-トルク特性と呼びます。

摩擦トルク T_L がある場合、図17に示すように θ_d の範囲内でモーターの停止位置がばらつく可能性があります。この範囲をデッドバンドと呼び、式(2)で表されます。

$$\theta_d = \frac{\tau_R}{180} \sin^{-1} \left(\frac{T_L}{T_H} \right) \dots\dots\dots (2)$$

- θ_d : デッドバンド[°]
- τ_R : ロータ歯ピッチ[°]
- T_L : 負荷摩擦トルク[N・m]
- T_H : 励磁最大静止トルク[N・m]

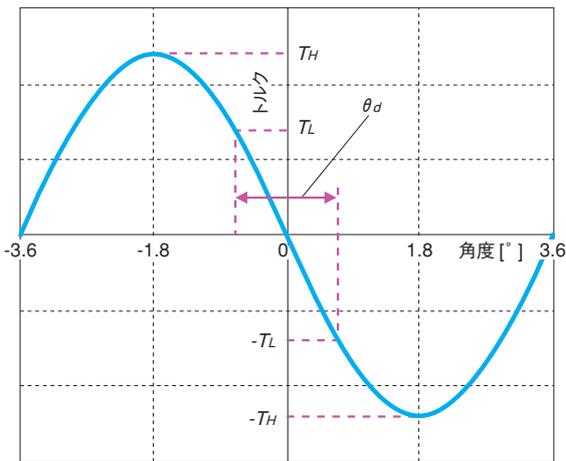


図17 角度-トルク特性 (標準タイプ)

式(2)から、デッドバンドはロータの小歯ピッチや負荷摩擦トルク、励磁最大静止トルクの影響を受けることがわかります。

ここで、CRK544Pタイプのモーターでのデッドバンドを計算してみます。 T_L が励磁最大静止トルク $T_H=0.24\text{N}\cdot\text{m}$ の半分の $0.12\text{N}\cdot\text{m}$ のときには、表2の結果となります。

表2 CRK544Pタイプでのデッドバンド比較

	高トルクタイプ CRK544PAP	高分解能タイプ CRK544PMAP
T_H	0.24 [N・m]	0.24 [N・m]
τ_R	7.2 [°]	3.6 [°]
T_L	0.12 [N・m]	0.12 [N・m]
θ_d	1.2 [°]	0.6 [°]

励磁最大静止トルクが同じCRK544Pタイプ同士の比較では、高分解能タイプの方がデッドバンドは半分となります。

これを角度-トルク特性の図で示したものが図18です。

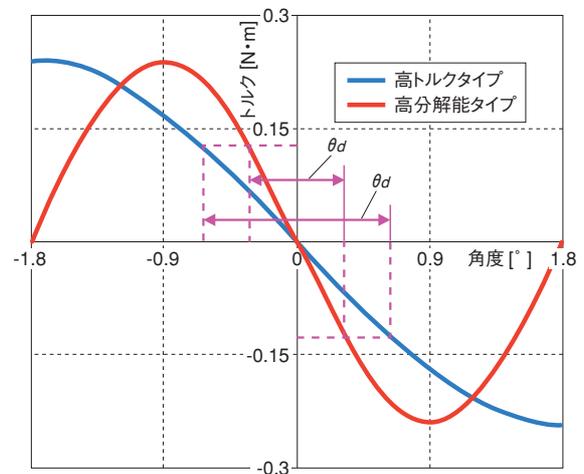


図18 CRK544Pタイプの角度-トルク特性

同様に、モーターが同サイズで、励磁最大静止トルク差が最も大きいCRK564タイプ同士についても計算してみます。

T_L が標準タイプの T_H の半分を想定した際には、表3の結果となります。

表3 CRK564タイプでのデッドバンド比較

	標準タイプ CRK564AP	高分解能タイプ CRK564PMAP
T_H	0.42 [N・m]	0.78 [N・m]
τ_R	7.2 [°]	3.6 [°]
T_L	0.21 [N・m]	0.21 [N・m]
θ_d	1.2 [°]	0.31 [°]

標準タイプに対し、高分解能タイプのデッドバンドが4分の1になっていることがわかります。また、このようにデッドバンドが狭いということは、モーターの静止

角度誤差も良いといえ、高分解能タイプの方が、負荷変動による静止角度誤差への影響が小さくなります。

4. まとめ

高分解能タイプは、位置決めに適したステッピングモーターの中でも、無負荷時における静止角度誤差は±0.034°(±2')と優れています。さらに、角度ートルク特性の周期が短いことで、スティフネスが向上し、静止角度誤差は、負荷による影響を受けにくくなっています。これにより、高精度な位置決めを必要とする用途に最適です。

また、高分解能タイプは、高トルク設計でもありますので、より小さいものを使用することで、装置の小型化にも貢献できます。

トルクマージンのある用途では、運転電流を下げることで、従来モーターよりも発熱の低いモーターとしてもお使いいただけます。

なお、モーターとケーブルの接続には、基本ステップ角0.72°の高トルクタイプで好評な、取扱いに優れたコネクタ接続方式を採用しています(図19参照)。コネクタ接続方式では、オプションのケーブル長を選択することで、無駄なケーブルカット量が減らせ、お客様自身でコネクタを準備する手間が省けます。また、メンテナンス時には、モーターとケーブルは外して作業できますので、作業性が向上します。

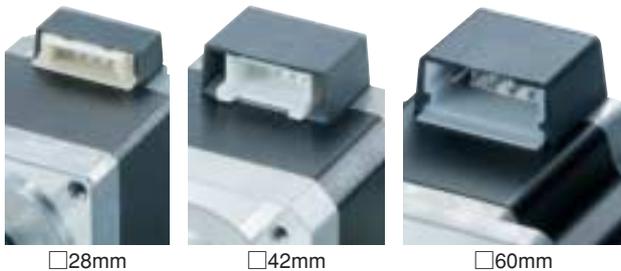


図19 モーターのコネクタ部

上記に加え、CRDタイプドライバの

- ・小型・軽量
- ・スムーズドライブによる低振動・低騒音
- ・マイクロステップ駆動による低振動・低騒音

といった特徴・機能も合せてご使用いただくことで、小型で、高精度に位置決めができ、低振動な装置設計にお役に立てるものと思います。

また、今回のCRKシリーズ高分解能タイプの追加により、CRKシリーズのラインアップは、表4のようになりました。お客様の装置への選択肢がますます広がるものと考えます。

表4 CRKシリーズのラインアップ

	□20mm	□28mm	□42mm	□60mm
高分解能タイプ	—	●	●	●
高トルクタイプ	●	●	●	—
標準タイプ	—	—	●	●
THギヤードタイプ	—	●	●	●
PLギヤードタイプ	—	—	●	●
PNギヤードタイプ	—	●	●	●
ハーモニックギヤードタイプ	●	—	●	●

●：発売済みの商品

参考文献

- (1) 山本 昭泰, 「小型5相ステッピングモーターユニットCRKシリーズのドライバ小型化技術」, RENA, No.166, (2006), p12-15
- (2) 丸山 淳, 「ステッピングモーターPKシリーズ各タイプの特性」, RENA, No.164, (2003), p19-23

筆者



友野 淳一

土浦事業所 VEXTA事業部
モーター技術部 モーター開発課