

## 駆動について

ステッピングモータはインダクションモータやDCモータとは異なり、モータにただ単に電源を接続するだけでは回転しません。モータを駆動する場合、回転速度や回転角度を決めるパルス発振器、巻線に流す電流を順次切り換える駆動回路（ドライバ）、回路およびモータを駆動させる直流電源が必要になります。

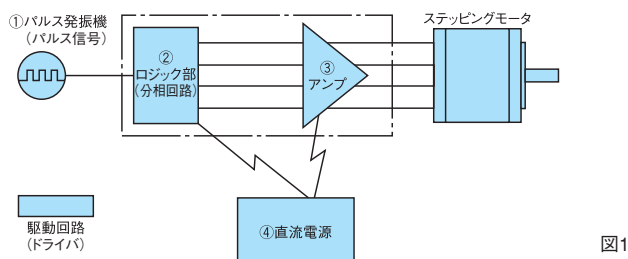


図1

### パルス発振器

モータの回転角度および回転速度を決定するパルス信号を作り出す回路です。ステッピングモータはここから発振されるパルス信号に同期して回転しますので、モータの速度はパルス周波数（pps）で決まり、回転角度はパルス数で決まります。

### 駆動回路（ドライバ）

モータの駆動回路は発振器からのパルス信号を整形、分配するロジック部と、電流指令に比例した電流をモータに供給するアンプ部から成り立っています。つまり、発信器から出力されたパルス列の印加タイミング毎にモータの巻線に流れる電流の大きさを決まった順序で変えるための回路です。この巻線に流れる電流を変える規則性を励磁方式といいます。

### 直流電源

モータ用電源は電流容量に余裕がありできる限り電圧の安定した電源を使ってください。ただし、駆動回路によっては、スイッチング電源や商用電源を直接整流しコンデンサなどで平滑した電源を使うことができます。制御回路用には回路素子構成素子にあった定電圧電源を使用してください。

### 定電流駆動方式

定電流駆動方式とは、モータの定格より十分高い電圧をスイッチング回路で細かく切り刻み、モータ巻線に印加し、低速回転から高速回転まで電流を一定に保つ方式です。回路構成が複雑で高価になりますが、高速回転時の出力トルクを大幅に改善でき、電力損失も少ないという特長があります。

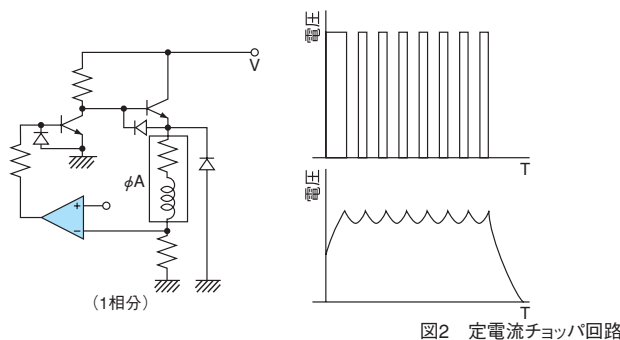


図2 定電流チョップ回路

## ユニポーラ駆動、バイポーラ駆動

### [ユニポーラ駆動]

ユニポーラ駆動とは、一つの巻線に対し常に一定方向に電流を流す方式で図5-1に示すようなセンタタップを設けた結線のステッピングモータに適合します。図に示すように駆動回路はシンプルになりますが、電流オフ時に反転相にエネルギーが移りますので高い巻線結合係数のモータを選定する必要があります。また、電流をオン、オフする際にコイルに高い電圧が発生しますので高耐圧の半導体が必要です。

### [バイポーラ駆動]

バイポーラ駆動とは、一つの巻線に対し双方向に電流を流す方式で図5-2に示すような結線のステッピングモータに適合します。ユニポーラ駆動とは逆に駆動回路は複雑になりますが、電流の制御が容易で、コイルに発生する電圧をユニポーラ方式よりも低く抑えられますので電流制御回路の耐圧を小さくできます。

ユニポーラ (図5-1)	バイポーラ (図5-2)
<b>●基本回路</b> 	<b>●基本回路</b> 
<b>●駆動シーケンス</b> 	<b>●駆動シーケンス</b> 
<b>●結線</b> 	<b>●結線</b> 

図5 励磁シーケンスと基本回路

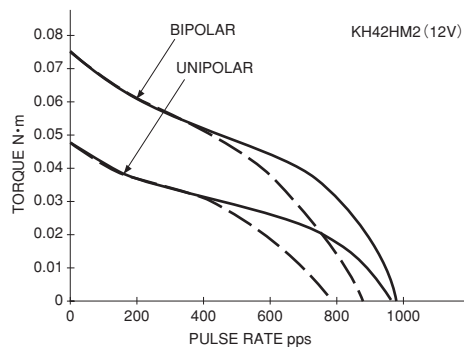


図6

## 駆動方式

### ■マイクロステップ駆動

機械的に決まるステップ角 ( $\theta_0$ ) を、電子回路によってさらに分割し、微小な角度で徐々に回転させる駆動方式をマイクロステップ駆動といいます。従来の励磁方式が励磁相を入力パルスに応じて ON、OFF することにより、一定角ずつステップ状に回転させるのに対し、マイクロステップ駆動では、励磁相の 1 相の電流値を徐々に上げていき、もう 1 相の電流値を徐々に下げることによってモータ固有のステップ角 ( $\theta_0$ ) をさらに分割して滑らかに回転させています。図 7 にロータの動きを、図 8 に励磁シーケンスを、図 9 に回路例を示します。

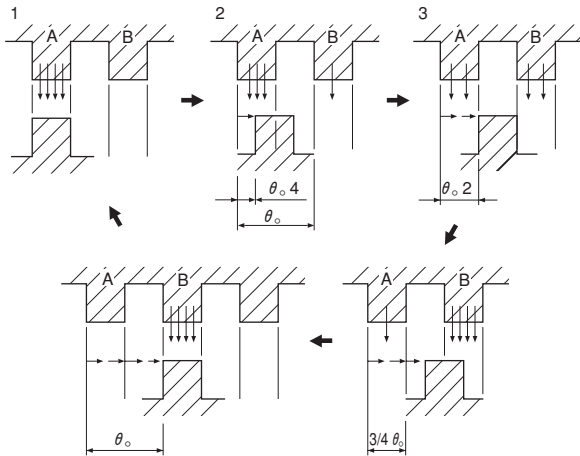


図7  $\theta_0$  移動期間中のロータの動き

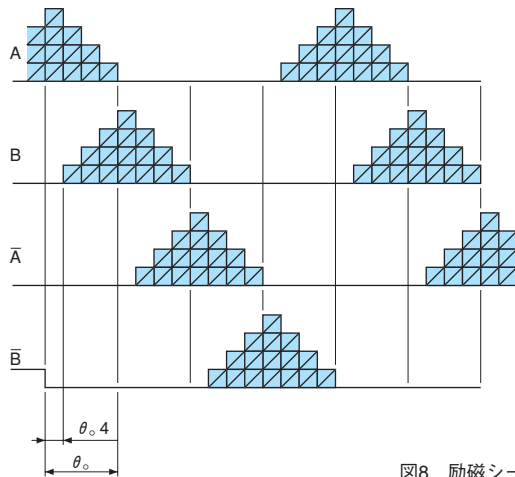


図8 励磁シーケンス

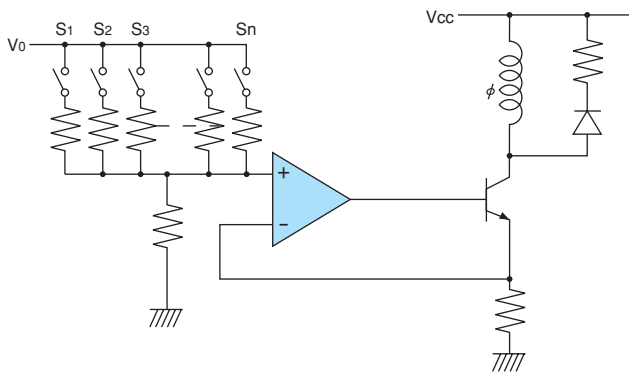


図9 階段波発生回路例 (1相分)

## 励磁方式

モータの巻線に決まった順序で電流を流す方式を励磁方式といいます。この励磁方式を変えることにより同じモータを駆動してもそれぞれ違った特性を引き出すことができますので、用途に応じて選定してください。

モータ相数	シリーズ名	励磁方式
3相	KTシリーズ KRシリーズ	2相励磁 2-3相励磁
2相	KAシリーズ KPシリーズ KHシリーズ	1相励磁 2相励磁 1-2相励磁

### ■3相KT、KRシリーズの励磁方式

#### [2相励磁]

常時2相ずつ励磁する方法です。出力トルクが大きくダンピング特性が優れているため、現在もっとも多く使われています。

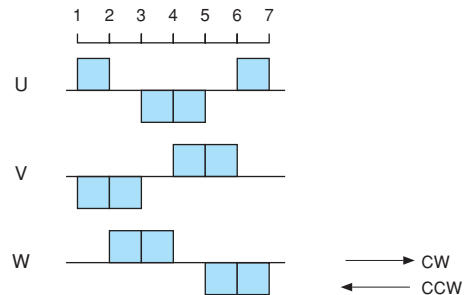


図12

#### [2-3相励磁]

2相励磁と3相励磁を交互に繰り返す励磁方式です。この励磁方式を用いてステッピングモータを駆動した場合、モータのステップ角が半分になるため回転がスムーズになり振動が少なくなります。

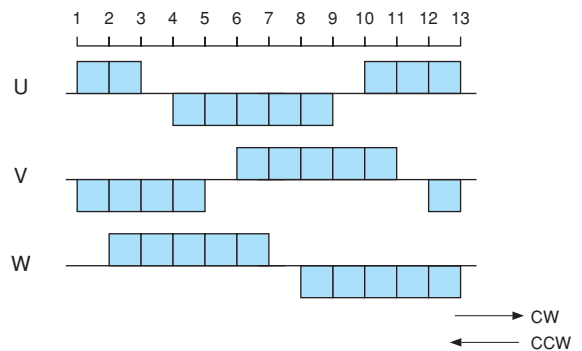


図13

## ■2相KA, KP, KHシリーズ励磁方式

### [1 相励磁]

常時1相ずつ励磁する方法です。消費電力は少なくなりますが、ダンピング効果が少ないため振動が発生しやすくなります。

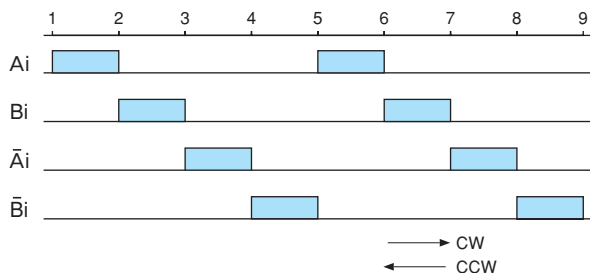


図14

### [2 相励磁]

常時2相ずつ励磁する方法です。1相励磁に対して入力2倍になりますが、出力トルクが大きくダンピング特性が優れているため、現在もっとも多く使われています。

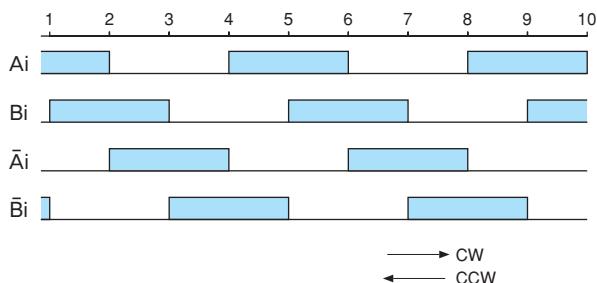


図15

### [1-2 相励磁]

1相励磁と2相励磁を交互に繰り返す励磁方式です。この励磁方式を用いてステッピングモータを駆動した場合、モータのステップ角は半分になります。ステップ角が半分になるため回転がスムーズになり振動が少なくなります。

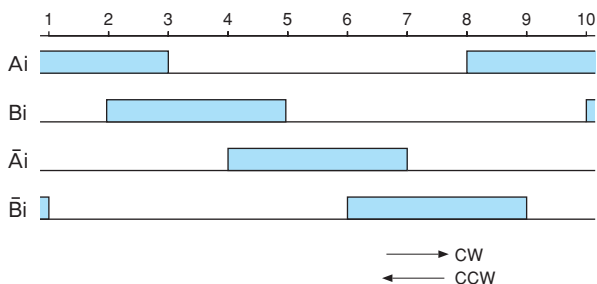


図16

## 基本特性

### ■動特性

#### [トルク-スピード特性]

トルクと回転速度の関係を表すと図17のようになります。モータを自起動領域内で駆動させる場合には、必要とされる速度に対応するパルス信号を駆動回路に入れると瞬時に起動・停止が行えます。スルー領域とはモータの能力を最大限に発揮させ、高速で駆動させる場合に、自起動領域内で一度起動させ徐々にパルス速度を立ち上げるスローアップ・スローダウン制御を用いることにより同期運転が行える領域です。

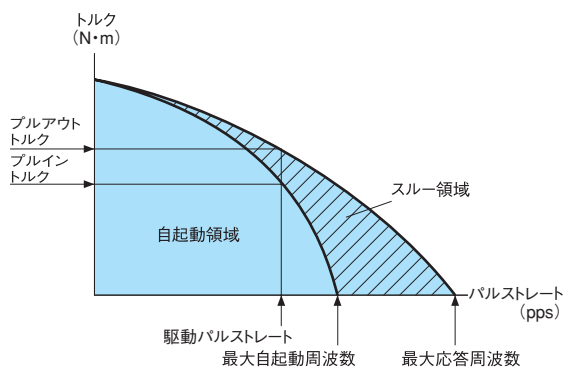


図17

#### [パルスイナーシャ特性]

モータはインダクションモータや直流モータのように、一定速度でスムーズに回転しているものでなく、パルス信号が入るごとに起動・加速・減速・停止という動作を繰り返しながら回転しているため、負荷のイナーシャ（慣性モーメント）によって特性が変化します。

負荷のイナーシャが大きくなると、自起動領域が狭くなります。負荷のイナーシャを考慮した場合の最大自起動周波数は下記の式で近似されます。

$$PL = \frac{Ps}{\sqrt{1 + \frac{JL}{JR}}}$$

PL：負荷のイナーシャを考慮した場合の最大自起動周波数 (pps)

Ps：モータ単体での最大自起動周波数 (pps)

JR：ロータのイナーシャ ( $g \cdot cm^2$ )

JL：負荷のイナーシャ ( $g \cdot cm^2$ )

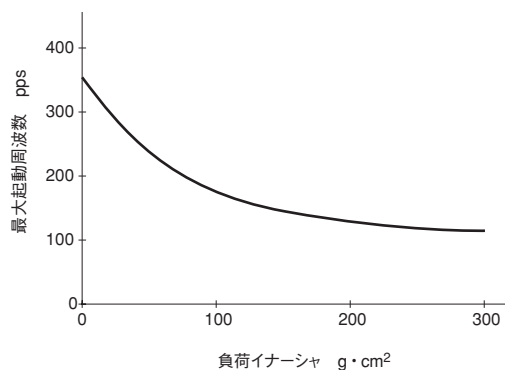


図18

### 〔過渡応答特性〕

ステッピングモータは図19に示すように、減衰振動を繰り返しながら安定点（理論的停止位置）に止まります。この現象は、振動・ミスステップ・停止時間などに影響するため、大変重要な特性といえます。また、モータの構造・励磁方式・負荷条件などで特性が変わるため、十分に検討することが必要です。

#### 1) 立ち上がり時間

パルス信号が印加されてから、ロータが最初にステップ角度に到達するまでの時間をいいます。

#### 2) セットリングタイム

パルス信号が印加されてから、ロータの振動が減衰し、停止するまでの時間をいいます。

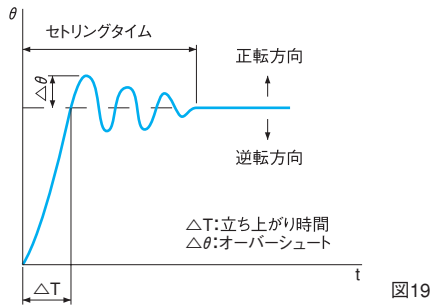


図19

### ■ 静特性

#### 〔角度精度〕

モータの機械的、もしくは、励磁方式によって決まる理論的な回転角度に対する誤差を表すものです。この誤差の原因は機械精度のパラツキや巻線の抵抗値のパラツキと考えられます。角度精度を表すものには（1）静止角度誤差、（2）隣接角度誤差、（3）ヒステリシス誤差があります。

#### 1) 静止角度誤差 (Positional Accuracy)

任意の1点を出発点として、その点から1ステップずつ回転させた時、理論上の位置と実際の位置との差を各ステップ毎に360°にわたって測定し、この差のプラス最大値とマイナス最大値の幅の1/2を静止角度誤差といい、次のように表すことができます。

$$E_p = \frac{|\Delta \theta_i| + |\Delta \theta_j|}{2\theta_s} \times 100 (\%)$$

ここで、 $E_p$  : 静止角度誤差 (%)

$+\Delta \theta_i$  : +最大値 (°) ( $\theta_i - i\theta_s$ )

$-\Delta \theta_j$  : -最大値 (°) ( $\theta_j - j\theta_s$ )

$\theta_s$  : ステップ角 (°/step)

#### 2) 隣接角度誤差 (Step Position Error)

任意の1点を出発点として、その点から1ステップずつ回転させた時、理論上の位置と実際の位置との差を各ステップ毎に360°にわたって測定し、その中の1ステップした角度の誤差の最大を隣接角度誤差といい、次のように表すことができます。

$$E_s = \frac{+\Delta a_i \times 100}{\theta_s} \quad \text{または} \quad E_s = \frac{-\Delta a_j \times 100}{\theta_s}$$

ここで、 $E_s$  : 隣接角度誤差 (%)

$+\Delta a_i$  : +最大値 (deg) [ $\theta(i+1) - \theta_i$ ]

$-\Delta a_j$  : -最大値 (deg) [ $\theta(j+1) - \theta_j$ ]

#### 3) ヒステリシス誤差

ステッピングモータは、正回転時と逆回転時で停止位置に誤差を生じます。この誤差をヒステリシス誤差といいます。一般に、正逆転の誤差の最大値を表します。

#### 〔角度-静トルク特性〕

励磁ホールド状態のとき、出力軸に外部からトルクを加え、ロータを変位させた場合の角度と復元トルクの間を角度-静トルク特性といいます。モータの構造や励磁方式により異なりますが、（1）、（2）式で近似されます。

$$T = T_m \sin \frac{\Delta \theta \pi}{2\theta_s} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta \theta = \frac{2\theta_s}{\pi} \sin^{-1} \frac{T}{T_m} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\theta_s$  : ステップ角 (°/step)

$T_m$  : ホールディングトルク (mN・m)

$\Delta \theta$  : 角度変位 (°)

$T$  : 復元トルク (mN・m)

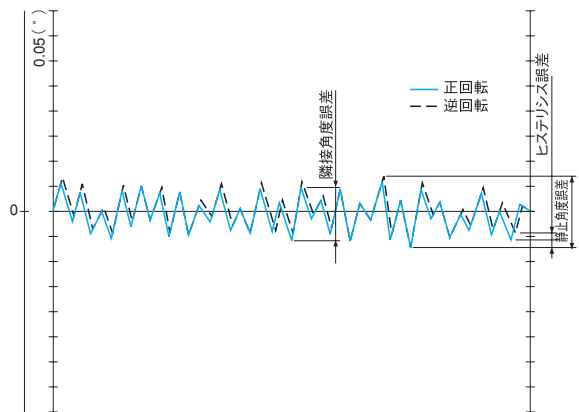


図20 角度誤差

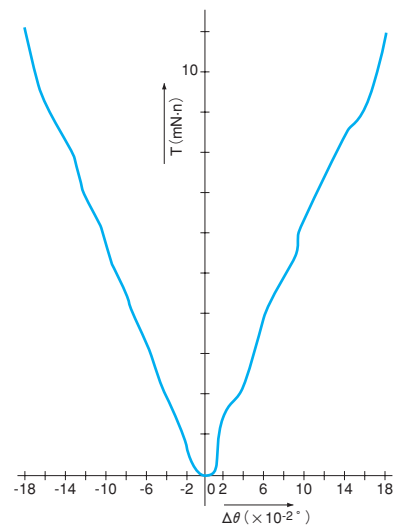


図21 角度-静トルク特性

## 振動対策

### ■共振による振動

モータの固有振動数と入力パルスが一致することにより発生する振動です。通常 100～200 pps で発生し、脱調する時もあります。

### ■低速回転時の振動

ステッピングモータはステップ角毎に起動・停止を繰り返しながら回転するモータです。モータの動作は図22に示す減衰振動の繰り返しになりますので、性質上、低速回転時大きな振動が発生します。

### ■中・高速回転時の振動

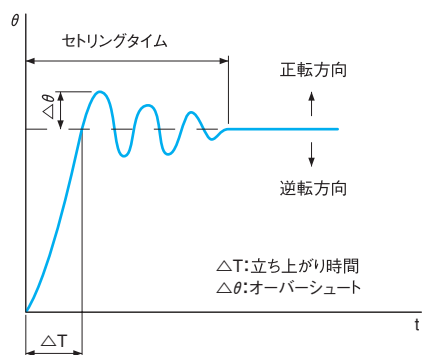


図22

ステッピングモータは図22のように減衰振動しますが、図22においてオーバーシュートが中・高速回転時の振動に影響します。

### ■振動対策

#### ①共振周波数を避けて使う

モータを駆動させる場合、基本的に 100～200pps の共振周波数領域は避けてください。

#### ②励磁方式を変える

励磁方式を1ー2相励磁にすることにより、ステップ角が半分になりますので低速回転時の振動を少なくすることができます。

#### ③負荷トルクを変える

負荷トルク、特に摩擦トルクを増やすことにより、振動エネルギーが吸収され振動が小さくなります。

#### ④機械式ダンパを付ける

この方式は、機械的な制動外力をモータに与え振動を吸収する方法です。機械式ダンパには、フリクションダンパ、フライホイールダンパ、粘性ダンパ、マグネットダンパがあります。

#### ⑤電気式ダンパを付ける

ドライバの出力段のサージ吸収の回路条件を変えることにより、振動エネルギーを吸収させる方法です。代表的なものとしてコンデンサダンパがあります。

#### ⑥モータタイプを替える

2相ステッピングモータで ①～⑤ の振動対策を施しても要求する振動レベルまで達しない場合、3相ステッピングモータ《KTシリーズ》の採用をおすすめします。

原理的に2相ステッピングモータが電気角を4等分するのに対して、3相ステッピングモータは電気角を6等分するので、トルクリプルが少なくなります。図23,24にマイクロステップドライブと矩形波ドライブの振動特性を比較します。

## 3相ステッピングモータの振動比較

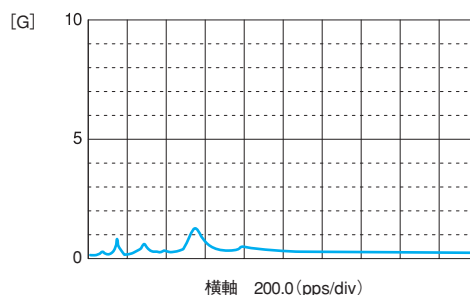


図23 マイクロステップドライブ

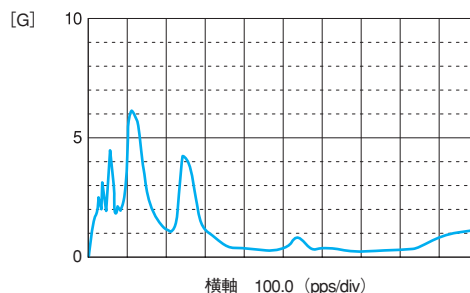


図24 矩形波ドライブ

## FWD-Aの特徴

### ■磁極位置の推定

同期電動機の代表的な磁極位置推定手法として誘起電圧を検出する方式があります。FWD-Aに採用した方式の特長は直接誘起電圧を推定するのではなく仮想ゼロ速モデルと実モータの電流差から磁極位置情報を求めることにあります。誘起電圧を用いた磁極推定方式は低速域及びゼロ速度において適用できませんが中高速回転域ではおおいに効果を発揮します。

### ■振動の抑制

基本ステップ角を制御的に細分化するマイクロステップ駆動を用いて振動の低減を図ることが一般的になっていますが磁極位置を知ることができれば積極的に振動を抑制することができます。FWD-Aシリーズの駆動回路は磁極位置に対する電流の位相を制御することから振動抑制制御を可能としています。

FWD-Aシリーズはマイコン内部で高分解能な磁極位置推定演算を行い、その位置情報を用いて振動抑制機能を構成しています。中高速域においてこの機能により安定したモータ回転を得ることができます。また万一過負荷などにより脱調現象が発生しても、磁極位置推定情報を用いて検出が可能となります。



## 機種選定

モータが回転する場合、発生するトルクは負荷トルクとつり合っていると考え、(a) 式の運動方程式が成り立つものとします。

$$T_m = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + T_f \dots \dots \dots (a)$$

ここで、右辺第1項は加速トルクを、第3項は負荷摩擦トルクを表しています。また第2項は粘性摩擦トルクを示していますが、一般にはほかに比べて非常に小さいので無視します。したがって、

$$T_m \approx J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + T_f$$

ここで、 $T_m$  : モータ発生トルク

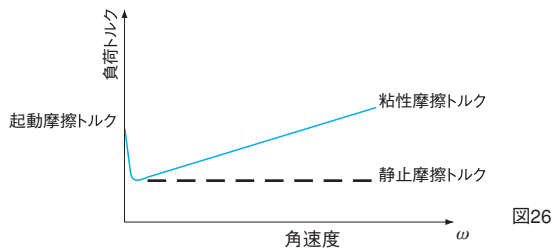
$J$  : ロータ軸に換算した全イナーシャ

$d^2 \theta / dt^2 = d\omega / dt$  : 角加速度 ( $\omega$  = 角速度)

$T_f$  : 負荷摩擦トルク

### (1) 負荷摩擦トルク

機種選定にあたり、まず負荷摩擦トルク  $T_f$  を知る必要がありますが正確な  $T_f$  の値を計算で求めるのが非常に難しいため、 $T_f$  は負荷軸に半径  $R_f$  のプーリを取り付け、これに糸を巻き付けて起動する力をバネ秤で読み、 $T_f = R_f \cdot F$  として求めることができます。なお、負荷トルクは  $\frac{d\omega}{dt} \approx 0$  のとき、図26のように変化します。粘性負荷トルクを無視した場合、静止摩擦トルクよりも起動摩擦トルクを用いて検討するのが一般的です。



### (2) イナーシャ

ステッピングモータは、他のモータに比べて特にイナーシャの影響を受けやすいため、これを把握することが機種選定をおこなう上で大変重要になります。図27で、ある軸  $x$  に関する物体のイナーシャ  $J_x$  は、次式で与えられます。

$$J_x = \int v r^2 \rho dv$$

ここで、 $v$  : 物体の微少部分の体積

$r$  : 軸からの距離

$\rho$  : 物体の微少部分の密度

また、質量  $M$  の重心  $G$  を通る一つの軸に関するイナーシャ  $J_o$  とこれと距離  $L$  を隔てて、この軸に平行な軸に関するイナーシャ  $J_L$  との間には、次式の関係があります。

$$J_L = J_o + L^2 M$$

一般によく使用されるイナーシャの計算式を以下に示します。

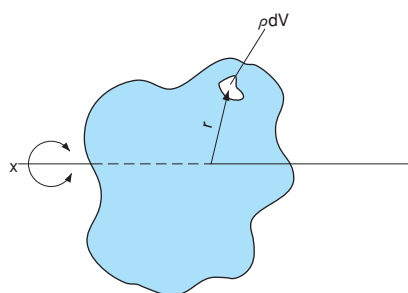


図27 X軸に関する物体のイナーシャ

### ①円柱

$x$  軸まわりのイナーシャは

$$J_x = \frac{1}{8} W D^2 = \frac{\pi}{32} \rho \ell D^4$$

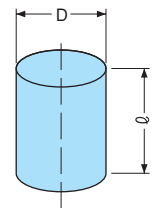


図28

### ②中空円柱

$x$  軸まわりのイナーシャは

$$J_x = \frac{1}{8} W (D_1^2 + D_2^2) = \frac{\pi}{32} \rho \ell (D_1^4 - D_2^4)$$

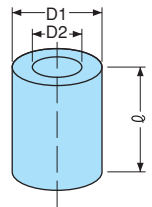


図29

### ③角柱

$x$  軸まわりのイナーシャは

$$J_x = \frac{1}{12} W (A^2 + B^2) = \frac{1}{12} \rho ABC (A^2 + B^2)$$

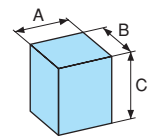


図30

### ④平行運動体

$x$  軸まわりのイナーシャは

$$J_x = W \left( \frac{v}{\omega} \right)^2 = W \left( \frac{\ell_o}{2\pi} \right)^2$$

$v$  : 直線移動速度  
 $\omega$  : 角速度  
 $\ell_o$  : 1回転あたりの移動量

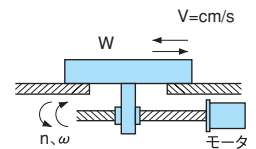


図31

### 3) 駆動パルスレート

ステッピングモータはパルスレートによってトルクが異なるため、どのパルスレートで使うかが問題になります。駆動パルスレートはシステムに要求される速度、伝達機構および制御量により異なりますが、その駆動パルスレート  $f_p$  (pps) と角速度  $\omega$  (rad/s) および回転速度  $N$  (r/min) との関係は、それぞれ、

$$\omega = \frac{\pi}{180} \theta_o f_p \rightarrow f_p = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{\omega}{\theta_o}$$

$$N = \frac{1}{6} \theta_o f_p \rightarrow f_p = \frac{6N}{\theta_o}$$

となります。ここで、

$\omega$  : 角速度 (rad/s)  
 $\pi$  : 円周率 3.141592654...  
 $\theta_o$  : ステップ角 (°/step)  
 $f_p$  : 駆動パルスレート (pps)  
 $N$  : 回転速度 (r/min)

負荷条件および駆動パルスレートを決めたら選定したステッピングモータのパルス・トルク特性図から、自起動領域で駆動できるか、スルー領域でスローアップ、スローダウン制御を用いた駆動になるかを確認してください。ここで注意しなければならないのがイナーシャの影響で自起動領域が減少することです。カタログ掲載のパルス・トルク特性はモータ単体での特性ですので、負荷時最大自起動周波数から、新たな自起動領域を推定して判断してください。また、ステッピングモータは非常に精密なモータですので、モータ自身の組み立て上のバラツキ、環境変化、負荷のバラツキを考慮し十分なマージンを取り、機種選定してください。

## ■ステップ角

回転速度とトルクよりモータの出力を算定することができます。

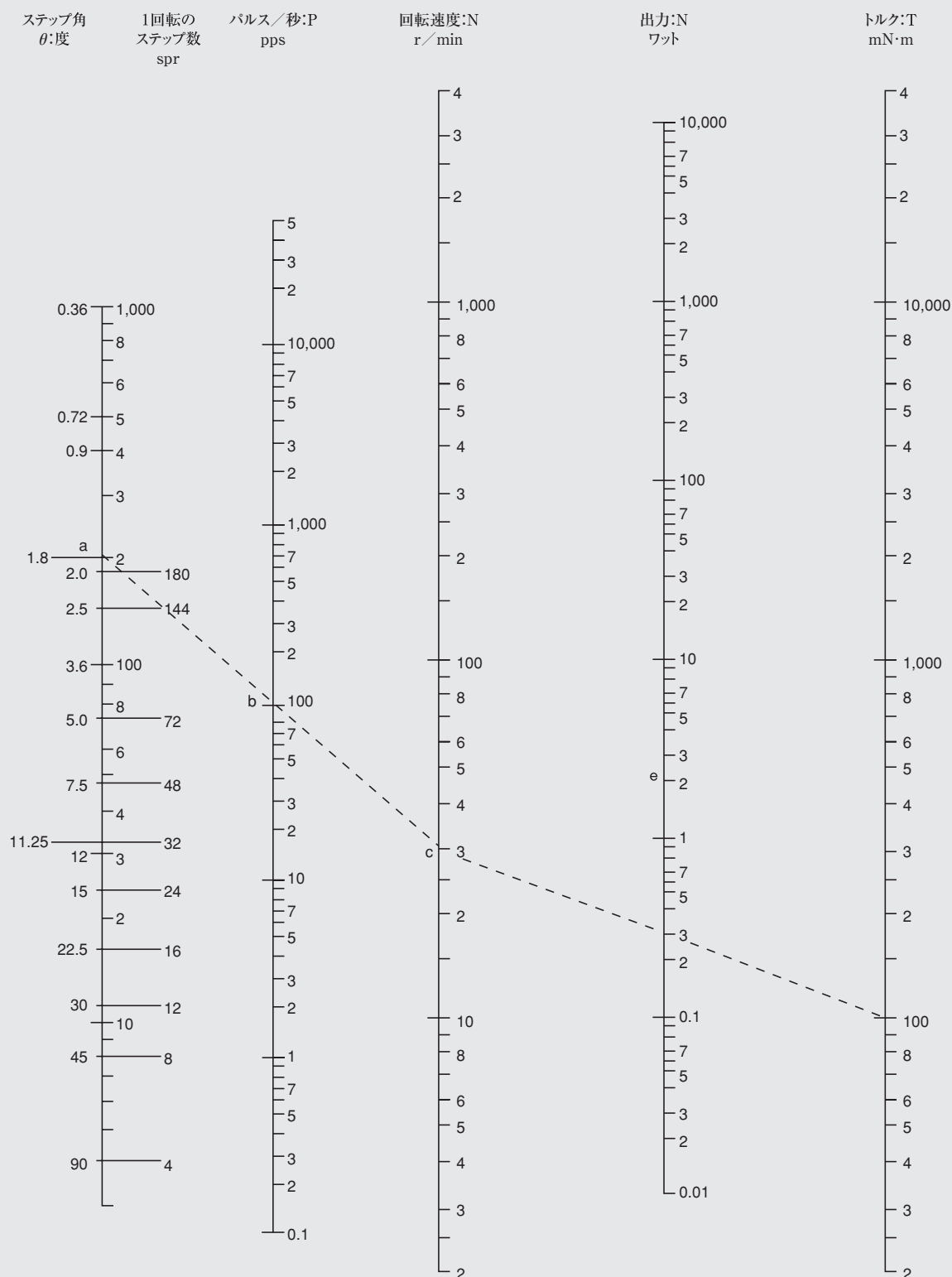


図32

## ■ 自起動周波数

自起動周波数とは入力信号に対応してロータが起動し得る最高の周波数をいう。この自起動周波数は、負荷のイナーシャにより大きく変化します。

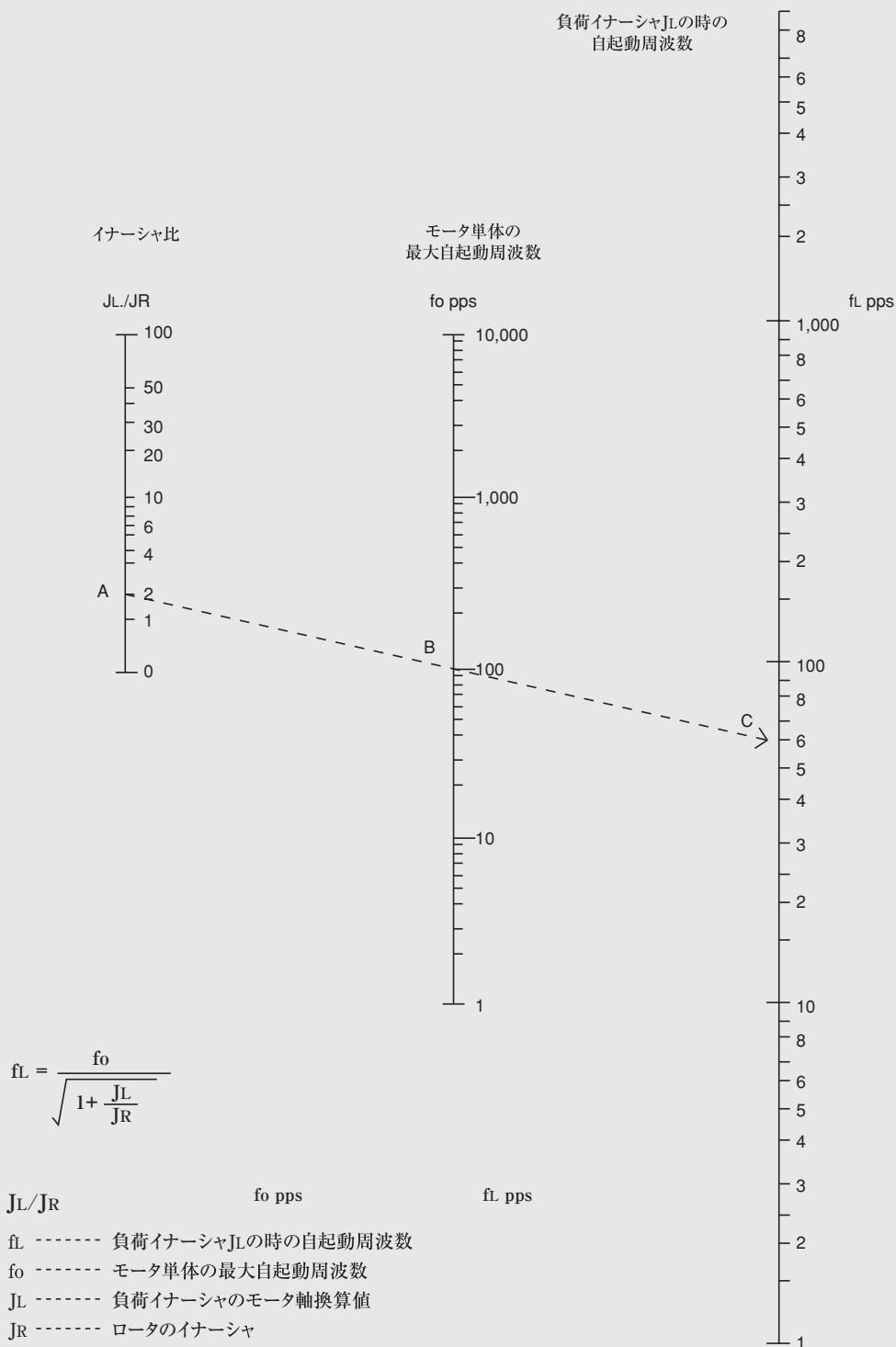


図33



## ■電氣的仕様

負荷の性質	摩擦負荷、イナーシャ負荷、トルク変動負荷、定トルク負荷、連続一定多速、可逆、短時間、反復起動停止頻度、加速時間、減速時間
結合方式	プーリー、ベルト、スクリュー、ギヤー、カップリング
静特性	印加電圧、電流容量、温度上昇、ステップ角、インダクタンス、ホールディングトルク、デイトメントルク、巻線抵抗、ロータイナーシャ
過渡特性	トルク／イナーシャ比、機械的時定数、電氣的時定数、オーバーシュート、セツリングタイム
動特性	印加パルス、回転数、出力動作点、パルストルク特性、パルスイナーシャ特性、最大応答周波数、共振現象、自起動周波数、自起動領域、スルー領域
許容誤差	角度精度、摩擦トルク、ヒステリシスループ、オーバーシュート
フィードバック	オープンループ、クローズドループ
励磁方式	単相、1相励磁、2相励磁、1-2相励磁、マイクロステップ
駆動方式	直接駆動、直列抵抗駆動、チョッパ駆動、可変電源電圧駆動、スローアップ、スローダウン
出力回路とロジック	トランジスターの形式、ロジック、マイクロコンピュータ
ダンピングと保護	外部抵抗、コンデンサ、ダイオード、ツェナーダイオード、電氣的タンパー、機械的ダンパー
電源と発振器	直流電源、容量、発振器

以上によりステッピングモータの使用に際しては、ステップ角、出力トルク、負荷イナーシャ、周波数応答速度、許容誤差等を総合的に検討しなければなりません。

## 機種選定例

条件：3 kgの物体（テーブル+負荷）を5 cm /sの速度で、1cm毎のピッチ送りとします。  
動力の伝達には、リードピッチ5mm/回転、直径10mm、重量1kgのリードネジを使うものとします。  
リードネジの摩擦トルクは30mN・m、伝達効率を90%とします。

W：重量  
D：ボールネジ直径  
l：リードピッチ  
v：送り速度  
Tf：摩擦トルク

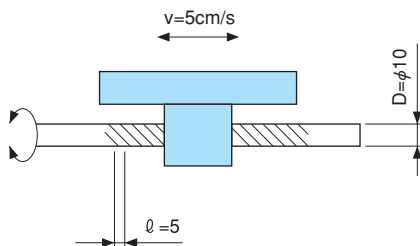


図34

### ①負荷の慣性モーメント

(イ) 直線運動する物体の慣性モーメント  $J_1$

$$J_1 = W \left( \frac{l}{2\pi} \right)^2 = 3 \times \left( \frac{5 \times 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 = 1.9 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

(ロ) ボールネジの慣性モーメント  $J_2$

$$J_2 = \frac{1}{8} W D^2 = \frac{1}{8} \times 1 \times (10^{-2})^2 = 12.5 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

(ハ) 負荷の慣性モーメント  $J$

$$J = J_1 + J_2 = 1.9 \times 10^{-6} + 12.5 \times 10^{-6} = 14.4 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### ②移動速度のパルスレート $f$ ppsの換算

$\theta_0 = 1.8^\circ / \text{step}$  のステッピングモータを使うものとしますと

$$f = \frac{360}{\theta_0} \cdot \frac{v}{l} = \frac{360}{1.8} \times \frac{5}{0.5} = 2000 \text{ pps}$$

$f$ の値が2000ppsということは、「高速」の範囲に入るので、定電流チョップドライバの採用を前提に検討をすすめます。(注参照)

注)

低速  $\approx$  500pps以下、もしくはそのモータの自起動領域内

中速  $\approx$  500～1999pps

高速  $\approx$  2000pps以上

以上のパルスレート (pps) を判断基準としてください。

### ③始動トルク算出

モータを選定するために負荷の始動に要するトルクを算出します。

②で求めたパルスレートでは、スルー領域での運動となるため、始動時パルスレートを500ppsとして、始動トルク  $T_s$  を算出します。

$$\begin{aligned} T_s &\approx J \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_f \approx J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} + T_f \\ &= 14.4 \times 10^{-6} \times \frac{\frac{\pi}{180} \times 1.8 \times 500}{1/500} + 0.03 \\ &= 0.113 + 0.03 = 0.143 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

### ④加速トルクの算出

500ppsから2000ppsまで、0.1秒で立ちあげるとすると、この時に必要な加速トルク  $T_a$  は、

$$\begin{aligned} T_a &\approx J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = J \frac{\frac{\pi}{180} \cdot \theta_s (f_2 - f_1)}{\Delta t} \\ &= 14.4 \times 10^{-6} \times \frac{\frac{\pi}{180} \times 1.8 \times (2000 - 500)}{0.1} \\ &= 6.79 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

となります。

### ⑤全負荷トルク

④で算出した加速トルクと、初期条件として与えられた摩擦トルクより、全負荷トルクは、

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{\eta} (T_a + T_f) \\ &= \frac{1}{0.9} (6.79 \times 10^{-3} + 30 \times 10^{-3}) = 40.9 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

となります。

### ⑥モータの選定

トルクマージンを2倍とすると、

プルイントルク  $\geq 0.143 \times 2 = 0.286 \text{ N} \cdot \text{m}$  (500pps時)

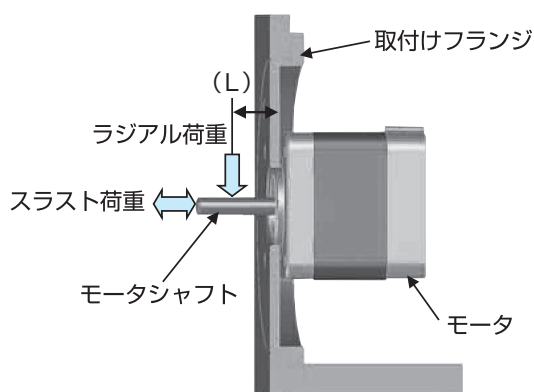
プルアウトトルク  $\geq 0.0409 \times 2 = 0.0818 \text{ N} \cdot \text{m}$  (2000pps時)

を満足するトルク特性のモータでよく、 $\theta_s = 1.8^\circ$  から KH56JM2-901を選定します。

## モータ軸の最大許容荷重および軸振れ

### ■軸荷重

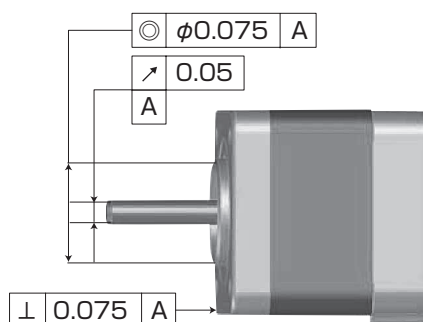
型式	スラスト荷重	ラジアル荷重	
		荷重	L
KH39 KH42 KT35 KT42 KR42 KA50	14.7N (1.5kgf)	19.6N (2.0kgf)	取り付け面から 距離 10mm
KH56 KA60 KT60	40N (4.1kgf)	70N (7.1kgf)	



### ■軸振れ

軸振れ	0.05T.I.R. (mm) ※
取付インローの軸に対する同芯度	0.075T.I.R. (mm) ※
取付面の軸に対する直角度	0.075T.I.R. (mm) ※

※T.I.R. (Total Indicator Reading): 基準軸心を中心にして、測定部を1回転させた場合のダイヤルゲージの読みの全量を表します。



ステッピングサーボ  
FWD A

2相2型「U」[B]  
モータKA

2相ハイブリット形「U」  
ドライバFSD

モータKH

2相ハイブリット形「U」  
ドライバFSD

モータKH

2相PM形「U」  
モータKP

3相ハイブリット形  
ドライバFTD

モータKT

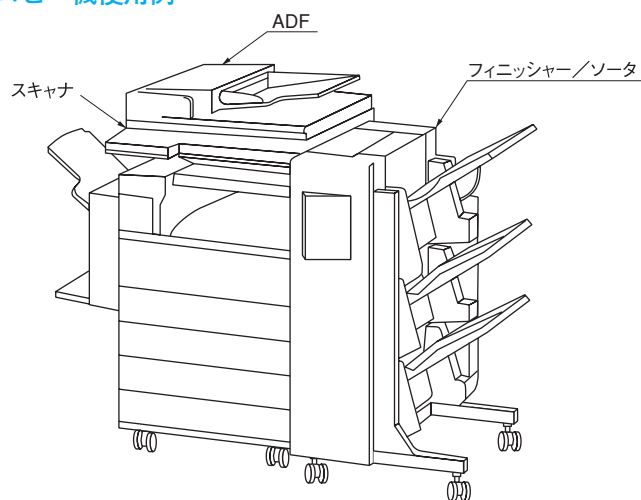
3相リングロータ形  
モータKR

## 用途例

### 〈3相ステッピングモータ採用事例〉

分野	装置	用途	採用理由
事務機	ドットプリンター	キャリッジ	低騒音
	PPC	ソータ	低騒音 低振動
		フィニッシャー	低価格 低騒音 低振動
		スキャナー	低振動 高速回転
		カッタユニット	低振動 高速回転
	カラーPPC	スキャナー	低回転ムラ
カメラ	監視カメラ	カメラ雲台 駆動	低騒音
	テレビカメラ	カメラ雲台 駆動	低騒音
医療機器	眼科用検査機	装置駆動	低騒音
	人工透析機	ポンプ駆動	低騒音
	シリンジポンプ	ポンプ駆動	低騒音
その他	BS受信機	アンテナ駆動	低騒音
	ゲームマシン	ドラム駆動	高トルク
	ライティングユニット	ライト駆動	低騒音
	計測器	ポンプ駆動	低騒音
	理化学機器	エバポレータ	低騒音
	繊維機械	刺繍機	低騒音

### コピー機使用例



主要周辺機構	必要特性
スキャナー駆動	・低回転ムラ (W/F) ・低騒音 ・高速回転
ADF	・低回転ムラ (W/F) ・低騒音 ・高速回転
ソータ	・低騒音 ・小形高トルク
フィニッシャー	・低騒音 ・小形高トルク

## ■ バリアブルレクタンス形 (VR)

モータの構造を表しています。歯車状に加工された磁性材のロータと、励磁されたステータとの間のソレノイド吸引力により回転するモータです。角度精度は優れていますが、出力トルクはやや低くなります。

## ■ パーマネントマグネット形 (PM)

モータの構造を表しています。永久磁石のロータをもち、ステップ角が比較的大きなモータです。角度精度および出力トルクが、他の構造のステッピングモータに対し劣りますが、低コストを特長とします。

## ■ ハイブリッド形 (HB)

モータの構造を表しています。ロータの外周およびステータの内面に多数の歯を切り、ロータの内部に永久磁石を組み込んだ、VR型とPM型の複合型です。微小角・高トルク・高精度を特長としたステッピングモータです。

## ■ 定格電圧

モータの仕様一覧表に記載されている定格電圧は、モータの温度上昇が規格に一致するように設定しています。

## ■ 定格電流

定格電圧をモータに印加した時に流れる電流です。ステッピングモータの場合、停止時にこの電流が流れます。

## ■ ステップ角

1つのパルス信号が入力された時に動く角度をいいます。

## ■ 最大静止トルク (ホールディングトルク)

モータを定格電圧で励磁し、出力軸に外部から角度変位を与えた時に発生する最大トルクです。ステッピングモータの発生トルクの基本となりますので、大変重要な特性です。

## ■ ディテントトルク

PM型、HB型ステッピングモータのように、ロータに永久磁石を使っているモータに無励磁状態で出力軸に角度変位を与えた場合に発生するトルクをいいます。

## ■ 自起動領域

モータを瞬時に起動・停止できる領域をいいます。

## ■ パルスレート

パルスの速度をいいます。pps (1秒間当たりのパルス数) という単位で表します。また、パルスレートと回転速度  $r/min$ 、角速度  $rad/s$  の関係は下記ようになります。

$$\omega = \frac{\pi}{180} \theta_s \cdot fp = \frac{2\pi}{60} N, fp = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{\omega}{\theta_s} = \frac{6}{\theta_s} N$$

ここで、 $\omega$  : 角速度 ( $rad/s$ )     $N$  : 回転速度 ( $r/min$ )  
 $\pi$  : 円周率 3.141592...     $fp$  : 駆動パルスレート (pps)  
 $\theta_s$  : ステップ角 ( $^\circ/step$ )

## ■ 最大自起動周波数 (pps)

自起動領域における最大パルスレートをいいます。負荷イナーシャにより特性が変わりますので、注意してください。

## ■ スルー領域

自起動領域を越えてスローアップ・スローダウンを用いることにより、駆動できる領域です。

## ■ 最大応答周波数 (pps)

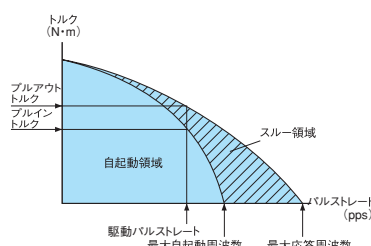
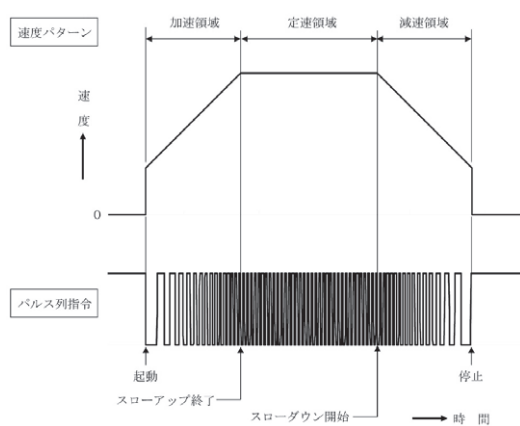


図35 トルクスピード特性曲線

スルー領域における最大パルスレートをいいます。

## ■ スローアップ・スローダウン

モータの能力を最大限に発揮させ、スルー領域で駆動させる場合にパルスレートを徐々に立ち上げる制御を意味します。いろいろなやり方がありますが、例として台形駆動の運転パターンを図36に示します。



## ■ プルイントルク

自起動領域内で駆動させた場合の発生トルクで、同期引入れトルクともいいます。

## ■ プルアウトトルク

スルー領域内で駆動させた場合の発生トルクをいいます。

## ■ 脱調

パルス発振器からのパルス信号に追従出来ず、同期回転を外れてしまうことをいいます。通常、過負荷が原因となりますが、ノイズが原因となることもあります。

## ■ 共振現象

ステッピングモータを駆動させた場合、特定の周波数でトルクの減少やミスステップ、振動などが発生する場合があります。これを共振現象といいます。これはモータの固有振動数に入力パルスが一致した時に起こりますが、一般に 100~200 pps で起こります。この共振現象を無くすることはできませんが、影響を少なくする方法として、励磁方式を変えたり、ダンパを付ける方法があります。

## ■ ソフトダンパ

進角制御方式の駆動回路は磁極位置に対する電流の位相を制御することで原理的に振動抑制が可能であることから、マイコン内部の演算で実現できる振動抑制機能のことをいいます。

## ■ 誘起電圧

モータが回転数に応じて発生する電圧。

## ■ 磁極位置推定

ロータの磁極位置を推定すること。

ステッピングモータ	FWD A
2相励磁型「U」	モータ K A
2相ハイブリッド形「U」	ドライバ FSD
2相励磁型「U」	モータ K H
2相ハイブリッド形「U」	ドライバ FSD
2相励磁型「U」	モータ K P
3相ハイブリッド形	ドライバ FTD
3相励磁型「U」	モータ K T
3相ハイブリッド形	モータ K R