

## 概要

### サーボモータ/サーボドライバとは

サーボモータは、サーボドライバとセットで使用し、サーボシステム(サーボ機構)を構成します。負荷を駆動するモータ部と、位置検出器(エンコーダなど)で構成されます。

サーボシステムは、制御量が位置、速度またはトルクで目標値(指定値・命令値)の任意の変化に従い、機械設備の動作を忠実に制御するシステムです。

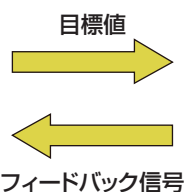
### サーボシステムの構成例

#### ① 指令部

動作の指令信号を出力します



コントローラ

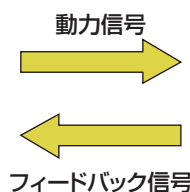


#### ② 制御部

指令に追従するようにモータを動かします

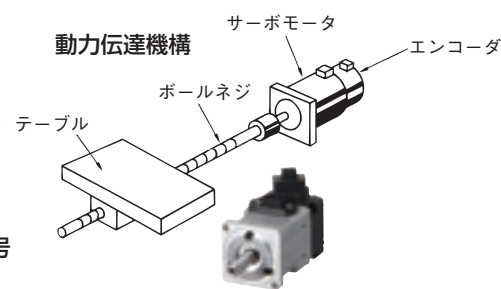


サーボドライバ



#### ③ 駆動・検出部

制御対象を駆動したり、その対象を検出します



サーボモータ

## 特長

### 精密で高速な制御が可能

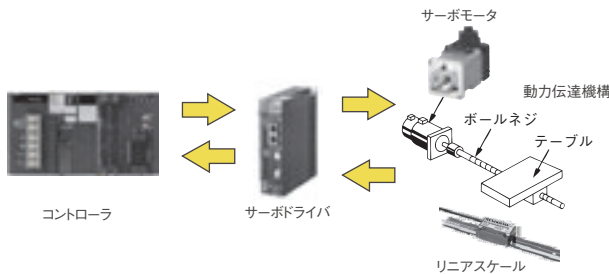
- ・サーボモータは位置制御や速度制御に長けたモータです。
- ・高精度にしかもフレキシブル性に富んだ位置決めができます。
- ・高速にしても脱調することは無く、大きな外力が加わって少しズれることがあっても、エンコーダが動きを監視しているため修正されます。

### フルクローズドループ

クローズドループの中で最も信頼性の高い方式で、高精度を求められる時に使用されます。

機械(ワーク、テーブル)の位置を直接リニアスケールで読み取り、指令値(目標値)と比較しながら、モータを制御する方式です。そのため、モータと機械系との間に存在するギヤのバックラッシュ、送りネジのピッチ誤差、送りネジのねじれ、伸びなどによる誤差を補正する必要はありません。

#### フルクローズドループ方式の構成例



### セミクローズドループ

現在使用されているサーボシステムの多くはこの方式です。オープンループ方式に比べ、速度・位置決め精度はかなり優れています。

モータ後方にエンコーダなどの検出器が付いているのが一般的で、機械(ワーク、テーブル)の位置は直接検出せず、送りネジ(ボールネジ)などの回転角を検出し、間接的に移動位置を知ってフィードバック制御する方式です。

検出器の取り付け場所によって、特性が変化します。

検出器の取付位置	モータの後ろ	送りネジのモータ側	送りネジのモータ反対側
ギヤのバックラッシュ	補正必要	補正不要	←
ボールネジ・ナットのねじれ	影響あり	←	影響の出ないことが多い
ボールネジの伸縮	影響あり	←	←
ボールネジのピッチ誤差	補正必要	←	←

#### セミクローズドループ方式の構成例



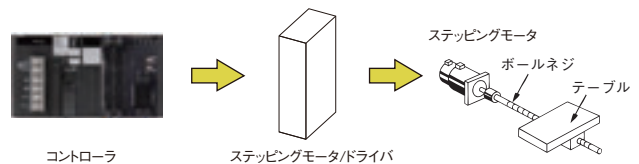
### オープンループ

駆動にサーボモータではなくステッピングモータを使用しています。フィードバックループがありません。

全体の構成は簡単です。低コストで位置決めできますが、ギヤ、ボールネジのバックラッシュ、ピッチ誤差を補正することができません。また、脱調した場合、指令値と実際の移動量との間に差が生じますが、この差を補正し、指令値に合わせることはできません。

要求精度低く、低コスト、低速、負荷変動の少ない用途向きです。

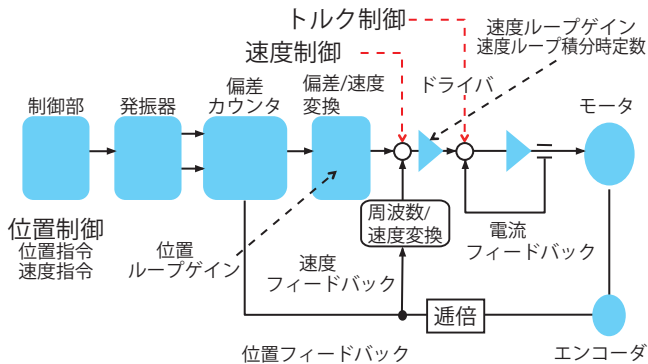
#### オープンループ方式の構成例



## 原理

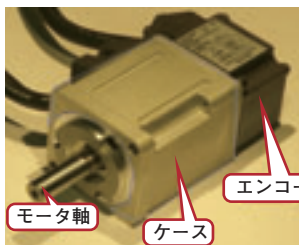
### サーボの動作と構成

サーボドライバとサーボモータを組み合わせるとクローズドループで動作します。フィードバックにより、サーボモータの実際の位置、速度、トルクが元の指令と比較され、両者の間の誤差が検出されます。その後、この誤差情報を使用して、サーボドライバがサーボモータの動作をリアルタイムで修正し、必要とされているパフォーマンスを達成できるようにします。この「フィードバック→誤差検出→修正」というサイクルは「クローズドループ制御」と呼ばれています。制御ループは、必要な制御に応じて、サーボドライバとモーションコントローラのいずれか一方、または両方で処理されます。必要な運動を実現するため、位置、速度、トルクの制御ループがそれぞれ独立して使用されています。すべての用途で3つの制御ループすべてが必要となるわけではありません。一部の用途ではトルク制御のための制御ループのみが必要です。また一部の用途では速度制御のため電流と速度が必要となり、さらに一部の用途では位置制御のため3つの制御ループすべてが必要となります。



### サーボモータ

産業用のサーボモータで最も一般的なものは、ブラシレスモータをもとにした製品です。回転子には強力な永久磁石が備えられています。固定子は独立した複数の導線コイルで構成されていて、所定の順序で通電することにより回転子を回転させます。適切な時点で正しい電流が各固定子コイルに送られている場合、回転子の運動は固定子の周波数、位相、極性、電流に応じて決まります。



### エンコーダ

サーボモータは一般のモータと違い、エンコーダが付いています。そのため与えられた位置・速度の命令に応じて高速・高精度に制御ができます。

エンコーダはサーボシステム構成の中核となるハードウェア構成要素のひとつで、速度と位置のフィードバックを生成します。多くの場合、エンコーダはサーボモータに内蔵されているか、サーボモータに取り付けられています。一部の用途では、エンコーダは独立したユニットで、サーボモータから離れた位置に設置されます。離れた場所に設置すると、サーボモータの動作の制御に必要な用途の他に、関連パラメータとして使用されます。

エンコーダには大きく分けて次の2種類があります。

- ・インクリメンタルエンコーダ
- ・アブソリュート(絶対値)エンコーダ

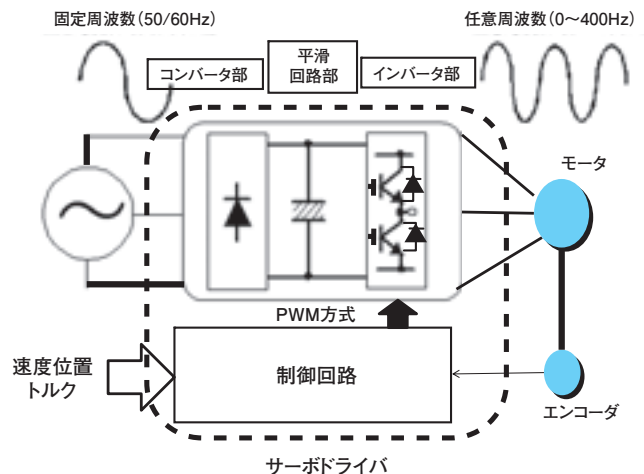
サーボモータのアブソリュートエンコーダは多回転アブソリュートが一般的です。

エンコーダについては、「[ロータリエンコーダ 技術解説](#)」を参照ください。

### サーボドライバ

サーボドライバは、上位コントローラからの指令に追従し、モータの出力トルク・回転速度・位置を制御します。モーションコントローラ、フィードバックエンコーダ、さらにはサーボモータ自体からの入力に応じて位置、速度、トルクを制御するため、サーボドライバは適切な時点で適切な大きさの電力をサーボモータに供給します。

基本的な原理はインバータと同じで、交流を直流に変換し、任意の周波数にすることによりモータを動作させます。



ドライバの機能にはこの他に次のようなものがあります。

- ・モーションコントローラとの通信
- ・エンコーダフィードバックの読み取りとクローズドループ制御のリアルタイム調整
- ・安全装置、モード入力、動作状態出力信号などの各種の入出力の処理

## 用語解説

### 性能仕様

#### ●実効トルク

モータが運転中に発生しているトルクを平均化(2乗平均)したものです。

この値よりも大きな定格トルクをもつモータを選定します。  
単位(N・m)

#### ●トルク定数

モータに電流を流すと、この電流と界磁の磁束とによりトルクが発生します。

この電流と発生トルクとの関係のことです。この値が大きいほど制御のための電流が小さくて済みます。

単位(N・m/A)

#### ●パワーレート

パワーレート=(定格トルク)<sup>2</sup>/ロータ・イナーシャ×10<sup>-3</sup>で表します。

この値が大きいほど応答性の良いモータです。

単位(kW/s)

#### ●ロータイナーシャ

ロータ(回転子)の慣性モーメントを示し、記号(Jm)で表します。

この値が小さいほど応答性が良くなります。

単位記号(kg・m<sup>2</sup>)

#### ●適用負荷イナーシャ

ドライバが制御できる負荷イナーシャの範囲のことです。

これは、ゲインの調整範囲、回生吸収能力により制限されます。単位(kg・m<sup>2</sup>)

#### ●定格出力

定格出力Pは、モータから取り出せる機械的な出力のことです。

定格トルクTと定格回転数Nとの間には次の関係があります。

$P=0.105 \times T \times N$

#### ●電氣的時定数

モータに電源電圧を投入したとき電機子に流れる電流の過渡応答時間のことです。

電氣的時定数=電機子インダクタンス/電機子抵抗で表します。

この値が小さいほど電流波形を速く立ち上げることができるので電氣的な応答が速いです。

#### ●バックラッシュ

機械系には、ほとんどといってよいほど正転(正方向)と逆転(逆方向)との間に、不感帯に類する差を生じます。(たとえばギヤは、正転→逆転時にすき間分余分に一次側を回転させる必要があります。)

これをバックラッシュと呼びます。

単位は「分」、1回転=360度 1度の1/60=1分となります。

したがってバックラッシュの数値が小さいほど、不感帯に類する差(ガタ)が少ないです。

#### ●回生抵抗

回生エネルギー(モータが回転することでモータ自身から発生するエネルギー)を吸収する抵抗のことです。

サーボドライバは、モータ減速時などに発生する回生エネルギーを、ドライバ内部の回生処理回路で吸収して、直流電圧の上昇を防止しています。

しかし、モータからの回生エネルギーが大きくなりすぎると、過電圧異常が発生します。

この場合には、動作パターンを変更するなどの回生エネルギーを小さくする処置、または、外部回生抵抗を外付けすることによる回生処理能力向上の処置が必要となります。

#### ●振動階級

モータが無負荷で定格回転数で回っているときのモータの軸部分の振動を測定したものです。

振動を全振幅で測定し、5階級に分けています。

#### ●位置制御モード

制御モードのうち、コントローラから位置指令を入力して、それを目標とした位置制御を行うモードのことです。

#### ●クローズドループ

コントローラに指示された位置と実際のモータの位置を比較する制御方式です。

エラー信号はコントローラに返され、システムに適切な位置を正確に指示するために使用されます。

位置だけでなく、速度、加速度、トルクにもとづいてクローズドループ制御を行うこともできます。

フィードバックを使用しないモーション制御方式を「オープンループ」と呼びます。

#### ●オープンループ

アクチュエータの指示と移動結果を比較しない制御方式です。

コントローラがモータに移動を指示した場合、要求された移動が完了したものと想定します。

#### ●制御ループ

プロセス制御では、フィードバックと誤り訂正を使って別の変数を調整することにより、目的の変数を調整することを行います。

モーション制御では、速度、加速度、位置、トルクに対して制御ループを設定します。

## 機能仕様

### ●リアルタイムオートチューニング

機械の負荷イナーシャをリアルタイムに推定し、その結果に応じたゲインを自動的に設定して機械を動作させます。同時に適応フィルタを有効にして動作させると、共振や振動を低下させることもできます。

### ●マニュアルチューニング

ゲイン調整方法の1つです。動作パターンや負荷条件などの制約によりオートチューニングできない場合や、個々の負荷に合わせて最高の応答性を確保したい場合などに、マニュアルチューニングを行います。

### ●ノッチフィルタ

特定の周波数の成分をなくすフィルタです。ノッチフィルタで共振ピークを抑制することで、ゲインをより高く設定したり、振動を低減したりすることができます。

### ●外乱オブザーバ機能

外乱トルク推定値を用いることで、外乱トルクによる影響を減らし、振動を低減します。

### ●摩擦トルク補償機能

機械系に存在する摩擦の影響を低減する機能です。

### ●ハイブリッド振動抑制機能

モータと負荷とのねじれ量に起因する振動を抑制する機能です。

### ●フィードフォワード機能

指令値にフィードフォワード値を加算することで制御系の応答性を高める機能です。

### ●瞬時速度オブザーバ機能

負荷モデルを用いてモータ速度を推定することで、速度検出精度を向上させ、高応答性と停止時振動の低減を両立させる機能です。

### ●セーフトルクオフ機能

セーフトルクオフ(STO)機能とは、セーフティコントローラやセーフティセンサなどの安全機器からの入力信号によってモータ電流を遮断し、モータを停止させる機能です。

### ●回生エネルギー吸収

サーボドライバは、モータ減速時などに発生する回生エネルギーを、ドライバ内部のコンデンサにより吸収します。内部コンデンサで吸収しきれない場合は、内部回生抵抗により吸収します。

### ●回生エネルギー

モータが発電機となって電力を発生することです。減速時や外力や重力により加速される時に発生します。サーボドライバの回生吸収能力を超えないよう設計します。

### ●正転側駆動禁止／逆転側駆動禁止

装置の限界入力を接続することにより、装置の稼働領域外にモータを回転させない機能です。正転側駆動禁止、逆転側駆動禁止がOFFしたときにモータの回転を停止させます。

### ●制振制御

剛性の低いメカや装置の先端が振動するようなメカを使用する場合の振動を低減する機能です。

### ●内部設定速度制御

パラメータに指定された速度によって、モータを速度制御する機能です。

### ●電子ギア

指令パルスに電子ギヤ比をかけたパルス数によって、モータを回転させる機能です。同期させたい2つのラインの位置／速度を微調整したいとき、指令パルス周波数が低い位置制御コントローラを使うとき、1パルスあたりの機械の移動量を、たとえば0.01mmのように設定したいときに使います。

### ●トルク制限

モータの出力トルクを制限する機能です。一定の力で機械(可動部)をワークなどに押しつけないとき(曲げ機械など)、機械系に過大な力・トルクを加えないようにして、モータおよび機械系を保護したいときなどに使います。

### ●位置指令フィルタ機能

指令パルスに対して、選択されたフィルタでソフトスタート処理を行い、緩やかに加速減速させる機能です。位置指令フィルタ時定数設定でフィルタの特性を選択します。指令パルス(コントローラ)に加減速機能がないとき、指令パルスの周波数が急激に変化し、機械が加減速時に振動するとき、電子ギヤ比の設定が大きい時に使用します。

### ●位置ループゲイン

位置ループゲインが低いと立ち上がり、立ち下がりがゆるやかで位置決め時間が長くなります。位置ループゲインが高いほどサーボの追従性がよくなり位置決め速度が上がりますが、高くしすぎるとオーバーシュートして乱調となったり、ハンチングを起こしたりします。

### ●インクリメンタル指令

現在いる位置から目標位置の間の移動量を指令します。

### ●絶対値指令

原点を基準とした指令値で移動量を指令します。したがって、原点にいるとき以外は移動量と指令値とが、異なった値となります。

### ●偏差カウンタ

アップ／ダウンの2進カウンタで位置指令パルスと位置フィードバックパルスとの差が偏差カウンタのたまりパルス量となります。このたまりパルス量がD/A(デジタル/アナログ)変換器によりアナログ電圧に変換され速度指令電圧となります。

### ●絶対位置

過去の位置を参照しないで、空間内の位置を完全に記述する位置情報です。



**●絶対位置決め**

過去の位置を参照しないで、空間内の特定の位置に装置や資材を直接移動することです。

**●位置決め完了信号**

位置決めが終了したときに発生する信号のことです。  
偏差量がパラメータであらかじめ設定した偏差範囲内になったときONします。  
主に位置決め後の別の作業を起動するのに使用します。  
インポジション信号(INP)

**●ブレーキ付モータ**

電磁ブレーキが付いたモータのことです。

**●電磁ブレーキ**

サーボオン時、アラーム発生時、サーボオフ時に保持ブレーキを動作させるブレーキインタロック(BKIR)信号の出力タイミングを設定する機能です。  
ブレーキ付モータ使用時に出力タイミングをパラメータで設定します。  
保持ブレーキは垂直軸などのアプリでワークの落下防止に使用します。

**●ダイナミックブレーキ(DB)**

停電時やサーボアンプが故障したとき、サーボモータの端子間を抵抗器を介して短絡し、回転エネルギーを熱消費させて速やかに停止させるブレーキ機能です。  
電磁ブレーキより大きなブレーキトルクが得られます。  
ただし、停止時の保持トルクはないのでメカブレーキをかけて保持させる必要があります。  
メカ保護のために行います。

**●フリーラン**

モータをサーボオフ状態にし、慣性回転させることです。

**●非常停止トルク**

異常検出時にパラメータで設定したトルクで停止します。

## その他

### ●絶対値エンコーダ付サーボモータ

電源投入時に自分が1回転内のどの位置にいるかを判定できる回転板をエンコーダの中に持っています。産業用ロボットや多軸の搬送機などでは、電源投入時に自分がどの位置にいるか管理し、停電時の迅速な復旧対応やオペレータの誤動作が防げるなどの効果が期待できます。

なおこのモータを使用時には、電池などでバックアップが必要です。

### ●インクリメンタルエンコーダ付サーボモータ

インクリメンタルエンコーダ付モータは、絶対値エンコーダ付モータと違い、電源投入時には自分がどの位置にいるかは分かりません。

したがって、位置決めする際には必ず、原点サーチが必要になります。

### ●エンコーダ分周機能

ドライバから出力するエンコーダ信号のパルス数を任意に設定できる機能です。

応答周波数が低いコントローラを使うときやパルスレートをわかりやすい値に設定したいときに使います。

### ●サーボモータ

サーボドライバとセットで使用し、サーボシステムを構成します。

負荷を駆動するモータ部と、位置検出器(エンコーダなど)を有します。

### ●サーボドライバ

サーボモータとセットで使用し、サーボシステムを構成します。

PLCなどからの指令に従い、モータを駆動し、エンコーダなどの信号を受けてフィードバック制御を行います。

### ●減速機

モータの回転速度を落とし、トルクを増やす動力伝達機構  
減速比： $1/R$  ・減速機効率： $\eta$  とすると、  
・速度： $1/R$ 倍 ・トルク： $R \times \eta$ 倍 ・負荷イナーシャ： $1/R^2$ 倍  
となります。

### ●巻線抵抗

コイルの線抵抗のことです。

### ●アクチュエータ

空気圧、水圧、電気のいずれかを使って機械的なモーションを生成するデバイスのことです。

工業用の多くのアクチュエータは電気モータで駆動されています。

### ●ボールねじ

リードねじの1種。ねじ部分のスレッドをキャリッジ部分のボールベアリングで引っ張ります。

機械効率がよく、運動時の消費動力が少ないので、高い剛性・高い信頼性を有しています。

主に高速・高精度の機械に使用されています。

### ●ラック アンド ピニオン

回転動作を直線動作に変換する装置です。

通常、外側に歯が刻まれた回転歯のピニオンと、内側に歯が刻まれた直線歯のラックで構成されます。

### ●軸受

回転や往復運動する軸を支える部品のことです。

### ●カップリング

軸と軸をつなぐために使われる部品のことです。

### ●タイミングベルト

プーリと組み合わせることにより、回転運動を直線運動に変換する動力伝達機構です。

プーリの直径をDとすると、1回転当たりの移動量は $\pi D$ となります。

タイミングベルトは、プーリとベルトの間で滑りが生じないように、歯形が付いていて、互いに噛み合って回転します。

### ●プーリ

滑車、ベルトに回転を伝える部分(回転体)のことです。

### ●ベアリング

機械などで、固定部と回転部の間にあって、回転部を支える機械部品のことです。

### ●同期モータ、誘導モータ

同期モータ：

回転子(ロータ)に磁極を持ち、磁界の動きに同期して動きません。

誘導モータ：

磁界の動きに遅れて動きます。

回転子はアルミ、銅などの非磁性体で、固定子(ステータ)の回転磁界によって、回転子に誘導電流が生じて、それが磁極を作り回転する仕組みとなります。

### ●剛性(スティフネス)

物体の外力がかかると元の形を維持しようとする性質のことです。

剛性が高いほど、元の形を維持する能力が高いです。

剛性が低いほど、外力に対して伸びたり縮んだりします。

### ●慣性(イナーシャ)

物体の現在の運動状態を保とうとする性質のことです。

物体の質量、形状、移動軸に依存します。

## 参考資料

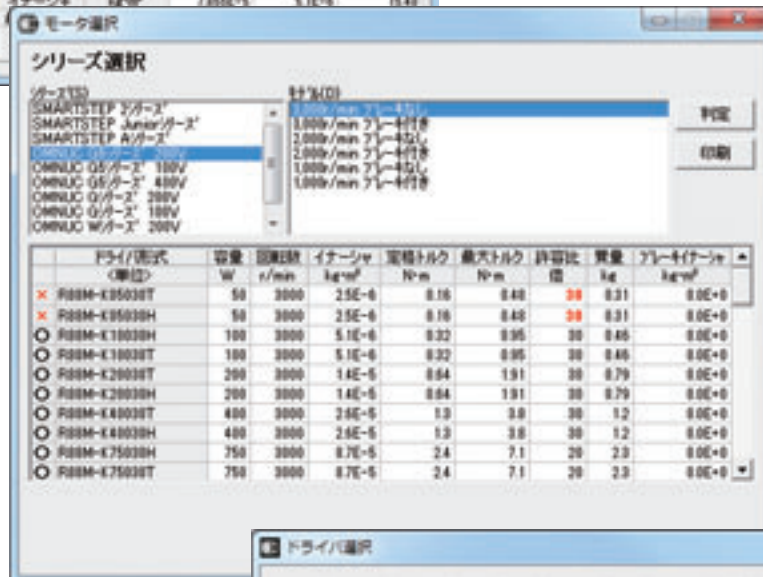
### サーボモータ選定ソフト

#### サーボモータの選定をパソコンで行える 「モータ選定プログラム for Windows版」

- ・「サーボモータの選定は計算が複雑で難しい」と、いつもお悩みではないですか？
- ・手計算の方法は、12～18ページの「計算式」と、19～20ページの「計算例」にあります。このソフトを使えば誰でも簡単にモータ選定が可能になります。



動作パターン設定画面



モータ選択・判定画面



ドライバ選択画面



## 特長

- ・モータを使用する機械系の構造が標準で用意されています。  
標準機械組み合わせ例：ボールネジ、ラック&ピニオン、台車など
- ・また、個別に機械要素を1つずつ組み合わせる方法もあります。  
要素例：減速機、ギヤ、ベルト、ローラ、直動負荷、偏心円板負荷、外力など
- ・動作パターンが簡単に設定可能です。  
また、モータ選択後、回転数やトルクのグラフ表示も可能です。
- ・サーボモータ/ドライバの機種データをデータベースとして組み込んでいますので、機種毎のデータを入力することなく、最適なモータを自動的に選定できます。
- ・選定したモータに組み合わせ可能なドライバを自動的に一覧表示し、ドライバの回生能力の判定も自動的に行えます。

## 動作環境

項目	システム要件	
オペレーティングシステム (OS)	Microsoft Windows2000(Service Pack 4以降)/XP	Microsoft Windows Vista(32ビット/64ビット) Microsoft Windows 7(32ビット/64ビット)
必須ソフトウェア等	Visual Basic 5.0 ランタイムライブラリ	.NET Framework 3.5 SP1 .NET Framework Language Pack SP1
CPU	Pentium II 333MHz以上のプロセッサを搭載した、DOS/V(IBM AT互換機)パーソナルコンピュータ Pentium III 1GHz以上を推奨	Microsoftが推奨するプロセッサを搭載した、DOS/V(IBM AT互換機)パーソナルコンピュータ 1GHz以上を推奨
メモリ	256MB以上を推奨	1GB以上を推奨
ハードディスク	インストール時に10MB以上の空き容量が必要	
ディスプレイ	SVGA(800×600)以上の高解像度ディスプレイ、256色以上の表示が必要	

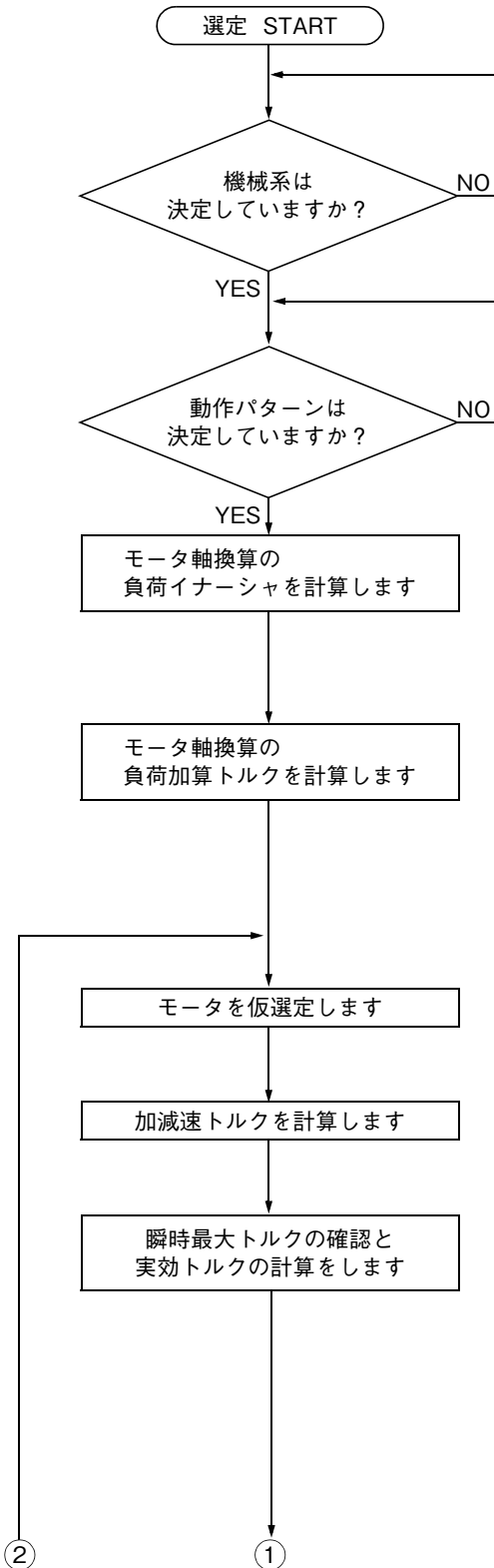
## 入手方法

モータ選定に便利な「モータ選定プログラム」をご用意しています。ぜひご利用ください。

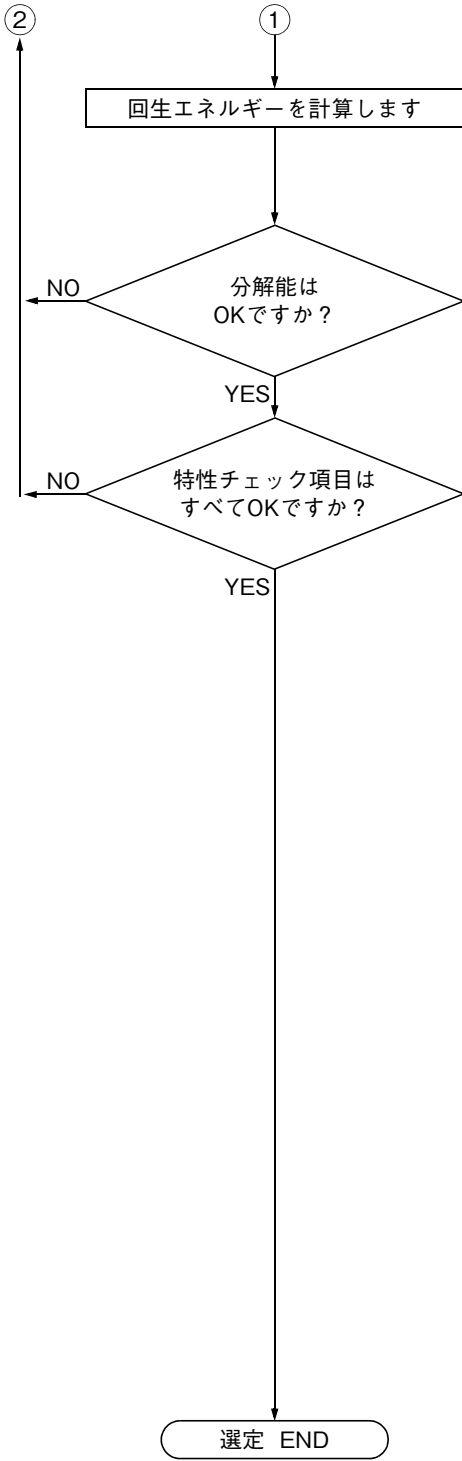
以下のURLよりアクセスしてください。

[www.fa.omron.co.jp](http://www.fa.omron.co.jp)

## サーボモータ選定のフローチャート



説明	参照項目
<ul style="list-style-type: none"> <li>サーボモータが回転することによって動くすべての部分の寸法、質量、摩擦係数、および外力などを決定する。</li> </ul>	—
<ul style="list-style-type: none"> <li>制御の対象となる部分の動作パターン(時間と速度の関係)を決定する。</li> <li>制御対象の動作パターンを、モータ軸での動作パターンに換算する。</li> </ul>	・動作パターンの計算式
<ul style="list-style-type: none"> <li>サーボモータが回転することによって動くすべての部分について、イナーシャ計算ができるように機械系を要素分割する。</li> <li>各要素についてイナーシャを計算し、モータ軸換算の全負荷イナーシャを計算する。</li> </ul>	・イナーシャの計算式
<ul style="list-style-type: none"> <li>摩擦トルクの計算 各要素について必要であれば摩擦力を計算し、モータ軸での摩擦トルクに換算する。</li> <li>外力トルクの計算 各要素について必要であれば外力を計算し、モータ軸での外力トルクに換算する。</li> <li>モータ軸換算の、全負荷トルクを計算する。</li> </ul>	・負荷トルクの計算式
<ul style="list-style-type: none"> <li>モータ軸換算の負荷イナーシャ、摩擦トルク、外力トルクおよび回転数を元にモータの仮選定を行う。</li> </ul>	—
<ul style="list-style-type: none"> <li>負荷イナーシャおよび動作パターンから加減速トルクを計算する。</li> </ul>	・加減速トルクの計算式
<ul style="list-style-type: none"> <li>摩擦トルク、外力トルクおよび加減速トルクから、動作パターンの各区分毎の必要トルクを計算する。</li> <li>動作区分毎のトルクの最大値(瞬時最大トルク)が、モータの瞬時最大トルク以下であることを確認する。</li> <li>動作区分毎のトルクから実効トルクを計算し、それがモータの定格トルク以下であることを確認する。</li> </ul>	・瞬時最大トルク、実効トルクの計算式



説明	参照項目
・動作区間毎のトルクから回生エネルギーを計算する。	・回生エネルギーの計算は各商品の取扱説明書を参照ください。
・エンコーダのパルス数がシステム要求仕様の分解能を満足することを確認する。	・位置決め精度
・計算結果が仮選定したモータの仕様に合うことを確認する。 仕様に合わない場合は、仮選定のモータを変更して再計算する。	・下表

特性チェック項目	チェック内容
負荷イナーシャ	負荷イナーシャ ≤ モータのロータイナーシャ × 適用イナーシャ比
実効トルク	実効トルク < モータの定格トルク ・約20%の余裕をとってください。*
瞬時最大トルク	瞬時最大トルク < モータの瞬時最大トルク ・約20%の余裕をとってください。* ・モータの瞬時最大トルクは、モータ単体の値ではなく、ドライバと組合せた時の値を使用してください。
最大回転数	最大回転数 ≤ モータの定格回転数 ・できるだけモータの定格回転数に近くなるようにしてください。モータの使用効率が高くなります。 ・計算式は、18ページの「 <b>直線運動体の速度とモータの回転数</b> 」を参照ください。
回生エネルギー	回生エネルギー ≤ ドライバの回生吸収能力 ・回生エネルギーが大きい場合には、回生吸収抵抗を接続してドライバの吸収能力を上げてください。
エンコーダ分解能	エンコーダの分解能が、システムの要求仕様を満たすこと。
ポジションナ特性	パルス周波数が、ポジションナの最大応答周波数や最大指令周波数を超えないことを確認する。
使用環境	使用周囲温度・湿度、使用周囲雰囲気および振動衝撃などの項目が商品仕様を満たすこと。

\*垂直負荷および外力トルクで動く場合は、約30%の余裕をとってください。

センサ  
スイッチ  
セリフ  
リレー  
コントローラ  
FAシステム機器  
モーション/ドライブ  
省エネ支援 環境対策機器  
電源/周辺機器  
その他  
共通事項

# 計算式

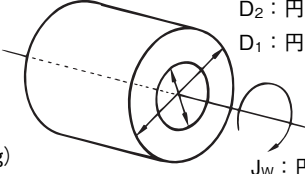
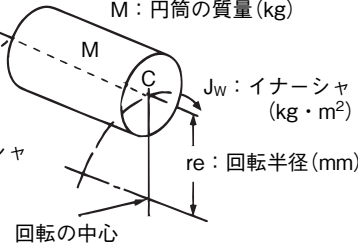
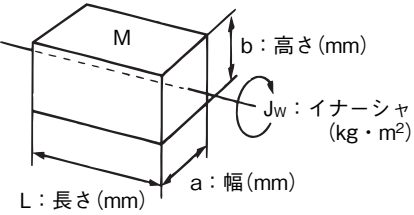
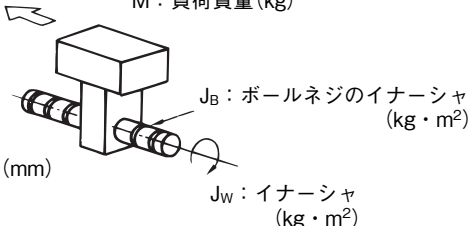
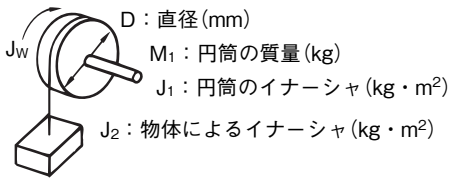
## 動作パターンの計算式

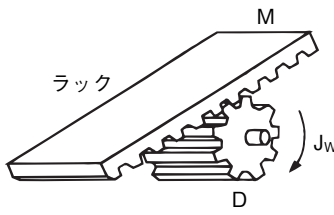
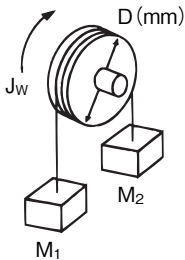
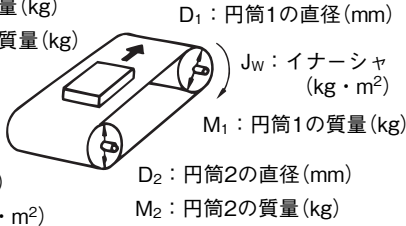
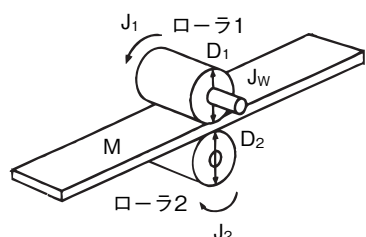
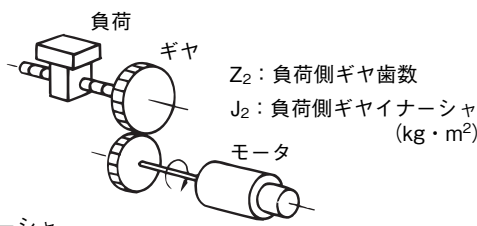
<p>三角形</p>		<p>最高速度 <math>v_0 = \frac{X_0}{t_A}</math> <math>X_0</math>: 時間 <math>t_0</math> に移動する距離 (mm)  <math>v_0</math>: 最高速度 (mm/s)</p> <p>加減速時間 <math>t_A = \frac{X_0}{v_0}</math> <math>t_0</math>: 位置決め時間 (s)  <math>t_A</math>: 加減速時間 (s)</p> <p>移動距離 <math>X_0 = v_0 \cdot t_A</math></p>
<p>台形</p>		<p>最高速度 <math>v_0 = \frac{X_0}{t_0 - t_A}</math></p> <p>加減速時間 <math>t_A = t_0 - \frac{X_0}{v_0}</math></p> <p>全移動時間 <math>t_0 = t_A + \frac{X_0}{v_0}</math></p> <p>等速部移動時間 <math>t_B = t_0 - 2 \cdot t_A = 2 \cdot \frac{X_0}{v_0} - t_0 = \frac{X_0}{v_0} - t_A</math></p> <p>全移動距離 <math>X_0 = v_0 (t_0 - t_A)</math></p> <p>加減速部移動距離 <math>X_A = \frac{v_0 \cdot t_A}{2} = \frac{v_0 \cdot t_0 - X_0}{2}</math></p> <p>等速部移動距離 <math>X_B = v_0 \cdot t_B = 2 \cdot X_0 - v_0 \cdot t_0</math></p>
<p>速度勾配指定時の立上り時</p>	<p>速度勾配 <math>\alpha = \frac{v_g}{t_g}</math></p>	<p>立上り時間 <math>t_A = \frac{v_0 - v_1}{\alpha}</math></p> <p>立上り時間 (<math>t_A</math>) 中に動く距離</p> $X_A = \frac{1}{2} \alpha \cdot t_A^2 + v_1 \cdot t_A$ $= \frac{1}{2} \frac{(v_0 - v_1)^2}{\alpha} + v_1 \cdot t_A$ <p>立上り後の速度 <math>v_0 = v_1 + \alpha \cdot t_A</math></p>

<p>速度勾配指定時の台形パターン</p>		<p>台形動作パターンになる条件</p> $X_0 < \frac{t_0^2 \cdot \alpha}{4}$ <p>最高速度</p> $v_0 = \frac{t_0 \cdot \alpha}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4X_0}{t_0 \cdot \alpha}}\right)$ <p>立上り時間</p> $t_A = \frac{v_0}{\alpha} = \frac{t_0}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4X_0}{t_0 \cdot \alpha}}\right)$ <p><math>X_0</math> : 位置決め距離 (mm)  <math>t_0</math> : 位置決め時間 (s)  <math>t_A</math> : 加減速時間 (s)  <math>v_0</math> : 最高速度 (mm/s)  <math>\alpha</math> : 速度勾配</p>						
<p>速度勾配指定時の三角形パターン</p>		<p>三角形動作パターンになる条件</p> $X_0 \geq \frac{t_0^2 \cdot \alpha}{4}$ <p>最高速度</p> $v_0 = \sqrt{\alpha \cdot X_0}$ <p>立上り時間</p> $t_A = \sqrt{\frac{X_0}{\alpha}}$						
<p>回転体のとき</p>		<p>次のように単位変換を行う</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>直線運動</th> <th>回転運動</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X : 距離 (mm)</td> <td><math>\theta</math> : 角度 (rad)</td> </tr> <tr> <td>v : 速度 (mm/s)</td> <td><math>\omega</math> : 角速度 (rad/s)</td> </tr> </tbody> </table> $\left( \omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \right)$ <p>N : 回転数 (r/min)</p>	直線運動	回転運動	X : 距離 (mm)	$\theta$ : 角度 (rad)	v : 速度 (mm/s)	$\omega$ : 角速度 (rad/s)
直線運動	回転運動							
X : 距離 (mm)	$\theta$ : 角度 (rad)							
v : 速度 (mm/s)	$\omega$ : 角速度 (rad/s)							

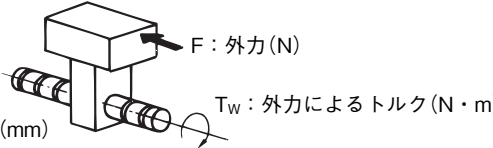
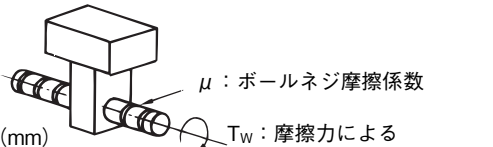
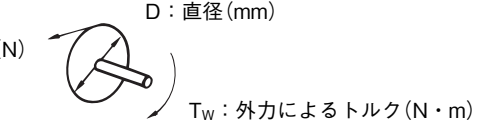

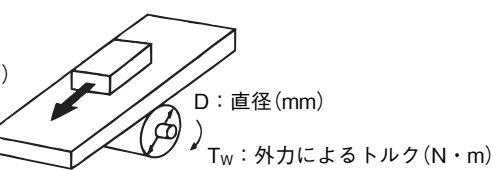

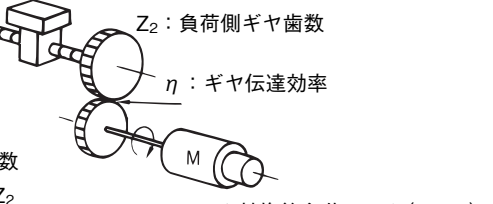


イナーシャの計算式

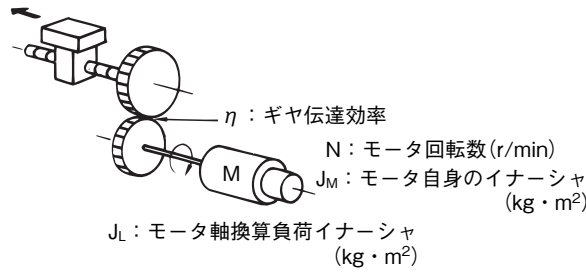
<p>円筒のイナーシャ</p>	 <p> <math>D_2</math> : 円筒内径 (mm)  <math>D_1</math> : 円筒外径 (mm)  <math>M</math> : 円筒の質量 (kg)  <math>J_w</math> : 円筒のイナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)                 </p>	$J_w = \frac{M(D_1^2 + D_2^2)}{8} \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>偏心円板のイナーシャ (回転の中心がずれた場合の円筒)</p>	 <p> <math>M</math> : 円筒の質量 (kg)  <math>J_c</math> : 円柱の中心Cまわりのイナーシャ  <math>J_w</math> : イナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)  <math>re</math> : 回転半径 (mm)                      回転の中心                 </p>	$J_w = J_c + M \cdot re^2 \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>回転角柱のイナーシャ</p>	 <p> <math>M</math> : 角柱の質量 (kg)  <math>L</math> : 長さ (mm)  <math>a</math> : 幅 (mm)  <math>b</math> : 高さ (mm)  <math>J_w</math> : イナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)                 </p>	$J_w = \frac{M(a^2 + b^2)}{12} \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>直線運動する物体のイナーシャ</p>	 <p> <math>M</math> : 負荷質量 (kg)  <math>J_B</math> : ボールネジのイナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)  <math>J_w</math> : イナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)  <math>P</math> : ボールネジピッチ (mm)                 </p>	$J_w = M \left( \frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>物体をプーリで巻き上げる時のイナーシャ</p>	 <p> <math>D</math> : 直径 (mm)  <math>M_1</math> : 円筒の質量 (kg)  <math>J_1</math> : 円筒のイナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)  <math>J_2</math> : 物体によるイナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)  <math>M_2</math> : 物体の質量 (kg)  <math>J_w</math> : イナーシャ (kg · m<sup>2</sup>)                 </p>	$J_w = J_1 + J_2 = \left( \frac{M_1 \cdot D^2}{8} + \frac{M_2 \cdot D^2}{4} \right) \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$

<p>ピニオン/ラックで動かすときのイナーシャ</p>	 <p> <math>J_w</math> : イナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>M</math> : 質量 (kg)  <math>D</math> : ピニオン直径 (mm)         </p>	$J_w = \frac{M \cdot D^2}{4} \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>カウンタバランスがついているときのイナーシャ</p>	 <p> <math>J_w</math> : イナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>M_1</math> : 質量 (kg)  <math>M_2</math> : 質量 (kg)         </p>	$J_w = \frac{D^2 (M_1 + M_2)}{4} \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>ベルトコンベアで物体を運ぶときのイナーシャ</p>	 <p> <math>M_3</math> : 物体の質量 (kg)  <math>M_4</math> : ベルトの質量 (kg)  <math>J_w</math> : イナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>M_1</math> : 円筒1の質量 (kg)  <math>D_1</math> : 円筒1の直径 (mm)  <math>D_2</math> : 円筒2の直径 (mm)  <math>M_2</math> : 円筒2の質量 (kg)         </p>	$J_w = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$ $= \left( \frac{M_1 \cdot D_1^2}{8} + \frac{M_2 \cdot D_2^2}{8} \cdot \frac{D_1^2}{D_2^2} + \frac{M_3 \cdot D_1^2}{4} + \frac{M_4 \cdot D_1^2}{4} \right) \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>ワークがローラに挟み込まれた状態のイナーシャ</p>	 <p> <math>J_w</math> : 系全体のイナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>J_1</math> : ローラ1のイナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>J_2</math> : ローラ2のイナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>D_1</math> : ローラ1の径 (mm)  <math>D_2</math> : ローラ2の径 (mm)  <math>M</math> : ワークの等価質量 (kg)         </p>	$J_w = J_1 + \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 J_2 + \frac{M \cdot D_1^2}{4} \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
<p>モータ軸換算負荷イナーシャ</p>	 <p> <math>J_w</math> : 負荷イナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>Z_1</math> : モータ側ギヤ歯数  <math>J_1</math> : モータ側ギヤイナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>Z_2</math> : 負荷側ギヤ歯数  <math>J_2</math> : 負荷側ギヤイナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)  <math>J_L</math> : モータ軸換算負荷イナーシャ (<math>\text{kg} \cdot \text{m}^2</math>)            ギヤ比 <math>G = Z_1 / Z_2</math> </p>	$J_L = J_1 + G^2 (J_2 + J_w) \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$

負荷トルクの計算式

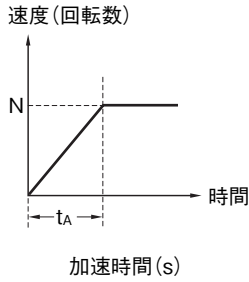
<p>外力に対するトルク</p>	 <p>F: 外力(N) P: ボールネジピッチ(mm) <math>T_w</math>: 外力によるトルク(N・m)</p>	$T_w = \frac{F \cdot P}{2\pi} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>摩擦力に対するトルク</p>	 <p>M: 負荷質量(kg) <math>\mu</math>: ボールネジ摩擦係数 P: ボールネジピッチ(mm) g: 重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>) <math>T_w</math>: 摩擦力によるトルク(N・m)</p>	$T_w = \mu Mg \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>回転体に外力付加の時のトルク</p>	 <p>D: 直径(mm) F: 外力(N) <math>T_w</math>: 外力によるトルク(N・m)</p>	$T_w = F \cdot \frac{D}{2} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>ベルトコンベア上の物体に外力付加の時のトルク</p>	 <p>D: 直径(mm) F: 外力(N) <math>T_w</math>: 外力によるトルク(N・m)</p>	$T_w = F \cdot \frac{D}{2} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>ピニオン/ラックで物体に外力付加の時のトルク</p>	 <p>F: 外力(N) D: 直径(mm) <math>T_w</math>: 外力によるトルク(N・m)</p>	$T_w = F \cdot \frac{D}{2} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>ななめにワークを上げる時のトルク</p>	 <p><math>T_w</math>: 外力によるトルク(N・m) M: 質量(kg) g: 重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>) D: 直径(mm) 鉛直線 <math>\theta</math></p>	$T_w = Mg \cdot \cos \theta \cdot \frac{D}{2} \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
<p>モータ軸換算負荷トルク</p>	 <p><math>T_w</math>: 負荷トルク(N・m) <math>Z_2</math>: 負荷側ギヤ歯数 <math>\eta</math>: ギヤ伝達効率 <math>Z_1</math>: モータ側ギヤ歯数 ギヤ(減速)比<math>G=Z_1/Z_2</math> M: 質量(kg) <math>T_L</math>: モータ軸換算負荷トルク(N・m)</p>	$T_L = T_w \cdot \frac{G}{\eta} \text{ (N} \cdot \text{m)}$

加減速トルクの計算式



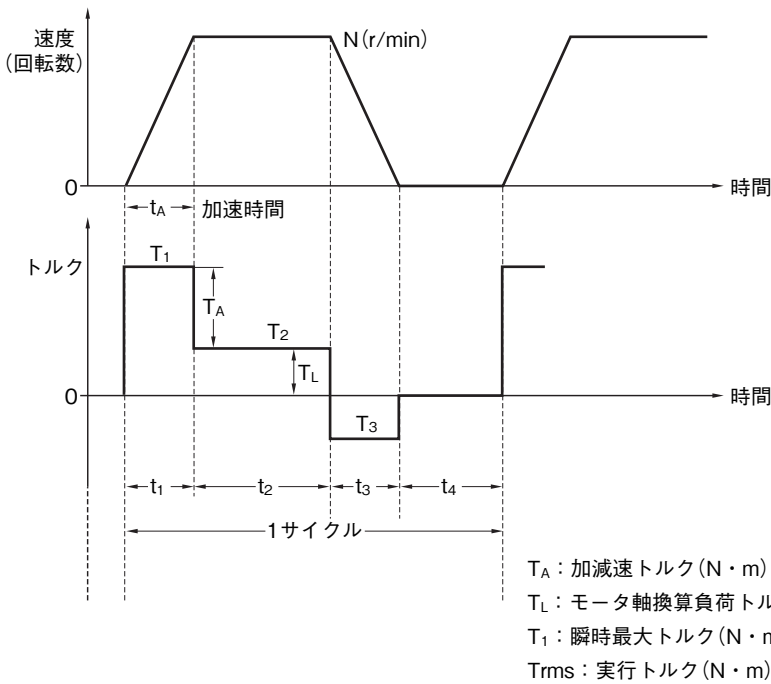
加減速トルク (TA)

$$T_A = \frac{2\pi N}{60t_A} \left( J_M + \frac{J_L}{\eta} \right) \text{ (N} \cdot \text{m)}$$



N : 回転数 (r/min)  
TA : 加減速トルク (N・m)

瞬時最大トルク、実効トルクの計算式



瞬時最大トルク (T1)

$$T_1 = T_A + T_L \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

実効トルク (Trms)

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + T_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

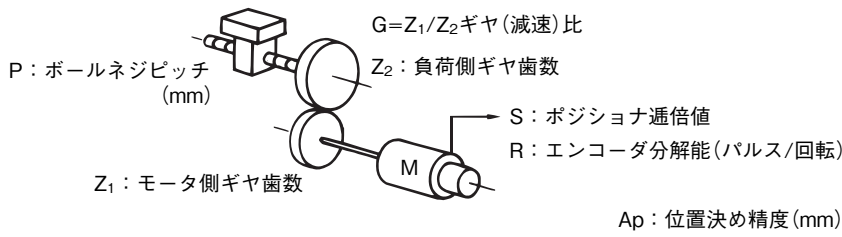
$$T_2 = T_L \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

$$T_3 = T_L - T_A \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

$$t_1 = t_A \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

TA : 加減速トルク (N・m)  
TL : モータ軸換算負荷トルク (N・m)  
T1 : 瞬時最大トルク (N・m)  
Trms : 実行トルク (N・m)

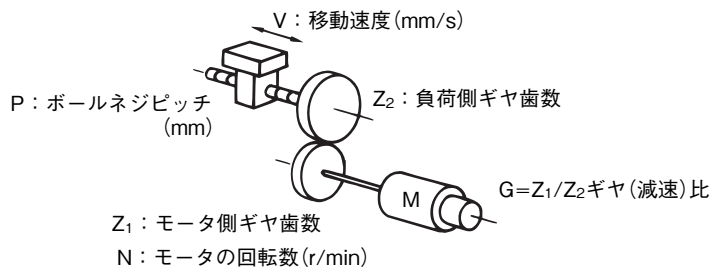
位置決め精度



位置決め精度 ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{P \cdot G}{R \cdot S} \text{ (mm)}$$

直線運動体の速度とモータの回転数



モータの回転数

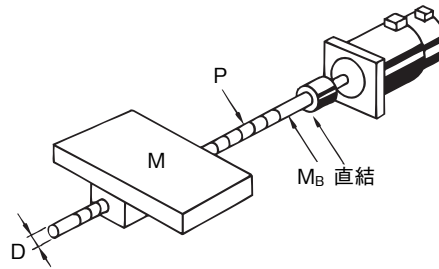
$$N = \frac{60V}{P \cdot G} \text{ (r/min)}$$



## 計算例

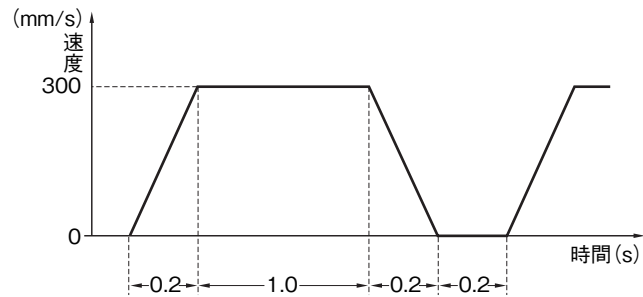
### ①機械系の決定

- ・ 負荷質量  $M=5$  (kg)
- ・ ボールネジピッチ  $P=10$  (mm)
- ・ ボールネジ直径  $D=20$  (mm)
- ・ ボールネジ質量  $M_B=3$  (kg)
- ・ ボールネジ摩擦係数  $\mu=0.1$
- ・ 減速機がないので  $G=1$ 、 $\eta=1$



### ②動作パターンの決定

- ・ 1段変則
- ・ 負荷移動速度  $V=300$  (mm/s)
- ・ ストローク  $L=360$  (mm)
- ・ ストローク移動時間  $t_S=1.4$  (s)
- ・ 加減速時間  $t_A=0.2$  (s)
- ・ 位置決め精度  $AP=0.01$  (mm)



### ③モータ軸換算負荷イナーシャの計算

ボールネジのイナーシャ $J_B$	$J_B = \frac{M_B D^2}{8} \times 10^{-6}$	$J_B = \frac{3 \times 20^2}{8} \times 10^{-6} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
負荷のイナーシャ $J_W$	$J_W = M \left( \frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B$	$J_W = 5 \times \left( \frac{10}{2 \times 3.14} \right)^2 \times 10^{-6} + 1.5 \times 10^{-4} = 1.63 \times 10^{-4} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$
モータ軸換算負荷イナーシャ $J_L$	$J_L = G^2 \times (J_W + J_2) + J_1$	$J_L = J_W = 1.63 \times 10^{-4} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$

### ④負荷トルクの計算

摩擦力に対するトルク $T_W$	$T_W = \mu M g \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$	$T_W = 0.1 \times 5 \times 9.8 \times \frac{10}{2 \times 3.14} \times 10^{-3} = 7.8 \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$
モータ軸換算負荷トルク $T_L$	$T_L = \frac{G}{\eta} \cdot T_W$	$T_L = T_W = 7.8 \times 10^{-3} \text{ (N} \cdot \text{m)}$

### ⑤回転数の計算

回転数 $N$	$N = \frac{60V}{P \cdot G}$	$N = \frac{60 \times 300}{10 \times 1} = 1800 \text{ (r/min)}$
---------	-----------------------------	--

### ⑥モータの仮選定 [OMNUC Uシリーズからの仮選定例]

モータのロータ・イナーシャを負荷の1/30*以上とするモータの選定	$J_M \geq \frac{J_L}{30}$	$\frac{J_L}{30} = \frac{1.63 \times 10^{-4}}{30} = 5.43 \times 10^{-6} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$ 形R88M-U20030 ( $J_M=1.23 \times 10^{-5}$ ) を仮選定する。
モータの定格トルク×0.8がモータ軸換算負荷トルクより大とするモータの選定	$T_M \times 0.8 > T_L$	形R88M-U20030の定格トルク $T_M=0.637$ (N・m) より $T_M=0.637$ (N・m) $\times 0.8 > T_L=7.8 \times 10^{-3}$ (N・m)

\*この値はシリーズにより異なりますのでご注意ください。

⑦加減速トルクの計算

加減速トルク $T_A$	$T_A = \frac{2\pi \cdot N}{60t_A} \left( J_M + \frac{J_L}{\eta} \right)$	$T_A = \frac{2\pi \times 1800}{60 \times 0.2} \times \left( 1.23 \times 10^{-5} + \frac{1.63 \times 10^{-4}}{1.0} \right) = 0.165 \text{ (N} \cdot \text{m)}$
--------------	--	---

⑧瞬時最大トルク、実効トルクの計算

必要な瞬時最大トルク  $T_1$  は

$$T_1 = T_A + T_L = 0.165 + 0.0078 = 0.173 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

$$T_2 = T_L = 0.0078 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

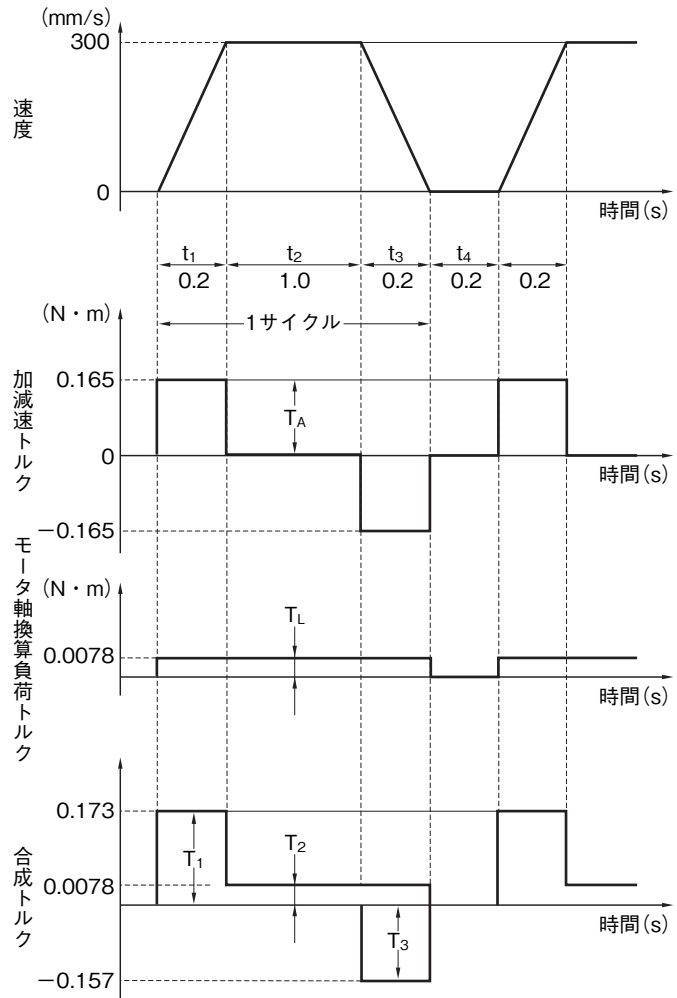
$$T_3 = T_L - T_A = 0.0078 - 0.165 = -0.157 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

実効トルク  $T_{rms}$  は

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + T_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.173^2 \times 0.2 + 0.0078^2 \times 1.0 + 0.157^2 \times 0.2}{0.2 + 1.0 + 0.2 + 0.2}}$$

$$= 0.0828 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$



⑨検討

負荷イナーシャ	[負荷イナーシャ $J_L = 1.63 \times 10^{-4} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$ ] $\leq$ [モータのロータイナーシャ $J_M = 1.23 \times 10^{-5}$ ] $\times$ [適用イナーシャ比=30]	条件満足
実効トルク	[実効トルク $T_{rms} = 0.0828 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ ] $<$ [モータの定格トルク $0.637 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ ] $\times 0.8$	条件満足
瞬時最大トルク	[瞬時最大トルク $T_1 = 0.173 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ ] $<$ [モータの瞬時最大トルク $1.91 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ ] $\times 0.8$	条件満足
最大回転数	[必要な最大回転数 $N = 1800 \text{ (r/min)}$ ] $\leq$ [モータの定格回転数 $3000 \text{ (r/min)}$ ]	条件満足
エンコーダ分解能	ポジションの通信値を1としたときの要求されるエンコーダ分解能は $R = \frac{P \cdot G}{Ap \cdot S} = \frac{10 \times 1}{0.01 \times 1} = 1000 \text{ (パルス/回転)}$ Uシリーズのエンコーダ仕様2048(パルス/回転)をエンコーダ分周比設定にて1000(パルス/回転)で使用する。	条件満足

注. 本例では、再生エネルギー、使用環境、ポジション特性の検討は省略しています。

## 保守について

サーボモータ、サーボドライバは多数の部品より構成されており、これらの部品が正常に動作することによって本来の機能を発揮しています。

機械部品、電子部品の中には使用条件により保守を必要とするものがあります。長期間にわたってサーボモータ、サーボドライバを正常に動作させるためにはこれらの部品の耐用年数に合わせた定期点検、部品交換が必要となってきます。(JEMA発行『汎用インバータ定期点検のお勧め』引用)

定期保守の期間の目安は、ユニットの設置環境、使用状況により大きく変わります。

下記に各々のユニットの保守期間を記載しますので、定期保守の参考としてください。

サーボモータ/ドライバの保守については、各シリーズの「ユーザズマニュアル(定期保守の章)」にてご確認ください。

### サーボドライバ (電源ユニット、回生ユニットを含みます)

サーボドライバに使用している部品で特に定期保守が必要となる部品は、アルミ電解コンデンサと軸流ファンです。アルミ電解コンデンサの耐用年数は、使用周囲温度、モータ運転負荷状態により大きく変化します。

一般的には、使用周囲温度が10℃上がると耐用年数は約1/2になります。

各シリーズの定期保守の目安は下記のとおりです。

#### ・OMNUC G5シリーズ

アルミ電解コンデンサ……28000時間  
(使用周囲温度55℃、定格運転[定格トルク]出力)  
軸流ファン……10000~30000時間(使用周囲温度40℃以下)

#### ・スマートステップ2シリーズ

アルミ電解コンデンサ……50000時間  
(使用周囲温度40℃、定格運転[定格トルク]の80%出力)  
軸流ファン……30000時間  
(使用周囲温度40℃、周囲湿度65%RH)

#### ・OMNUC Gシリーズ

アルミ電解コンデンサ……28000時間  
(使用周囲温度55℃、定格運転[定格トルク]出力)  
軸流ファン……10000~30000時間(使用周囲温度40℃以下)

取付け状態は、取扱説明書記載のとおりです。

ユニットの保守期間延長のため、周囲温度を低くすること、通電時間を極力短くすることをお勧めします。

長期間使用されていない場合や、上記の記載条件以上の悪条件でご使用の際は、5年を目安に定期調査をお勧めします。当社へ相談して頂ければ調査の上、部品交換の要否を決定させて頂きます。

### サーボモータ

サーボモータに使用している部品で特に定期保守が必要となる部品は、軸受けとオイルシールとブラシです。これらの耐用年数は、使用回転数、温度、軸受けへの印加荷重により変わります。

各シリーズの定期保守の目安は下記のとおりです。

#### ・OMNUC G5シリーズ

軸受け …………… 20000時間  
オイルシール …………… 5000時間

#### ・スマートステップ2シリーズ

軸受け …………… 20000時間  
オイルシール …………… 5000時間

#### ・OMNUC Gシリーズ

軸受け …………… 20000時間  
オイルシール …………… 5000時間

使用条件は、使用周囲温度40℃、許容軸荷重内、定格運転(定格トルク、定格回転数)、取扱説明書記載取付け状態です。