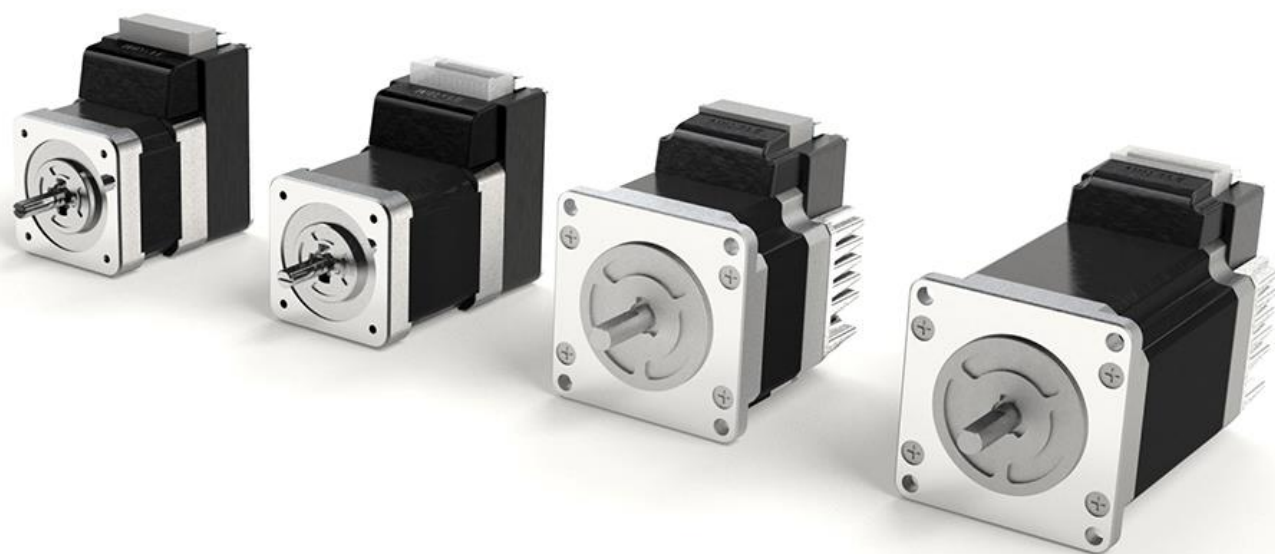


# ステッピングとサーボの 適切な使い分け方

入門編



マッスル株式会社

## 目次

はじめに.....	3		
ステッピングモータ.....	4	サーボモータ.....	7
ステッピングモータの動作原理.....	4	サーボモータの動作原理.....	7
オープンループ制御.....	4	クローズドループ制御.....	8
ステッピングモータの主なメリット.....	5	ベクトル制御.....	8
位置/速度制御.....	5	サーボモータの主なメリット.....	9
価格.....	5	高いエネルギー効率による安定した出力... 9	
低速域での高いトルク.....	5	精密な位置・速度・トルク制御.....	10
高い応答性.....	5	脱調レス.....	10
ステッピングモータの主なデメリット.....	6	大容量.....	10
温度上昇.....	6	低騒音・低発熱.....	10
高速域でのトルク低下・最高回転数の制限	6	サーボモータの主なデメリット.....	11
脱調.....	6	ゲイン調整が難しい.....	11
		価格.....	11
		サーボハンチング（停止時の振動）.....	11
		ステッピングモータ×サーボ制御.....	12

## はじめに

ひと口にモータと言っても、大きさ、構造、用途などによって様々なモータを使い分ける必要があります。今回はその中でもステッピングモータとサーボモータについて記述いたします。これらのモータは産業系アプリケーションの中でも精密な位置決めが可能なモータになりますが、それぞれに得意・不得意があり、特徴に合わせた適切な使い方をすることで、より高い効果を得ることができます。



マッスル株式会社

TEL: 06-6229-9550

FAX: 06-6229-9560

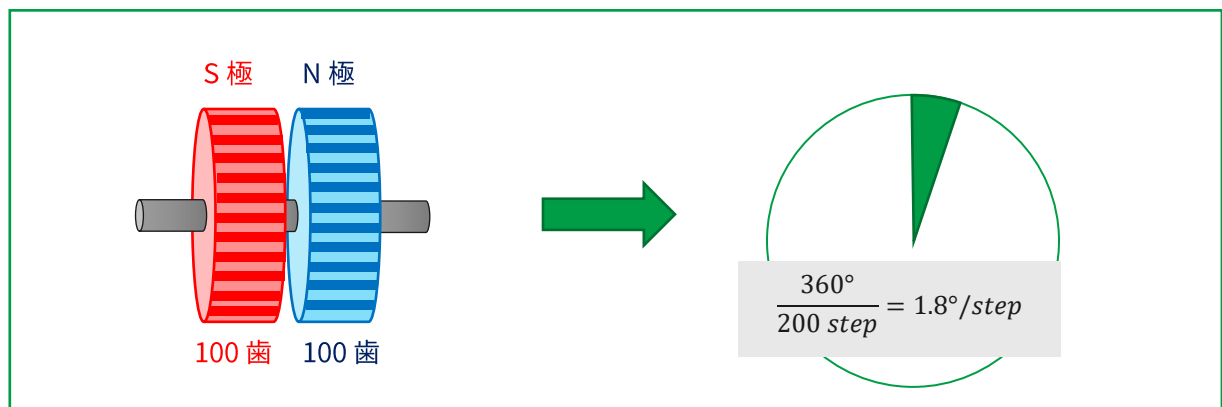
URL: <https://www.musclecorp.com>

Email: [motion@musclecorp.com](mailto:motion@musclecorp.com)

# ステッピングモータ

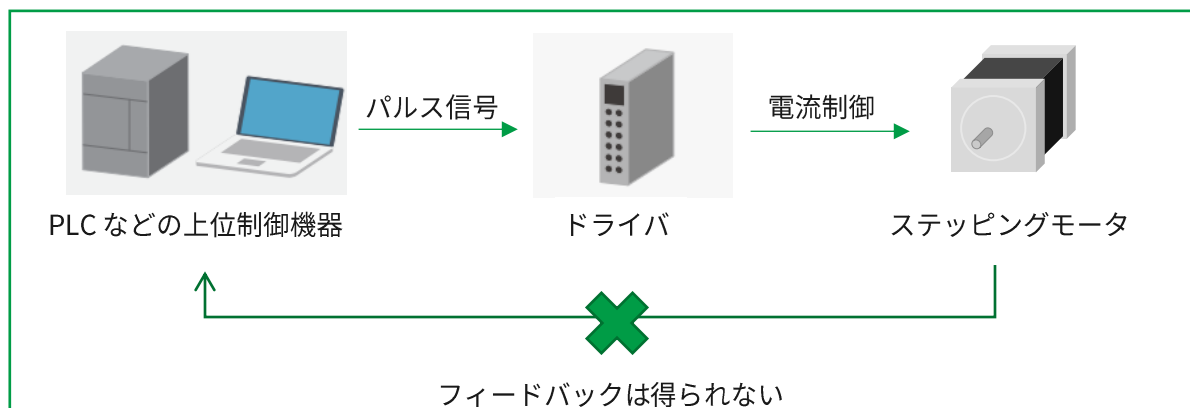
## ステッピングモータの動作原理

ステッピングモータはモータ内に歯車型の永久磁石があり、一歯ごとにステップしながら動作することからステッピングモータと呼ばれています。モータの外側に位置するコイルに流す電流を切り替えることで、ポジションセンサのフィードバックを用いずに位置決めを行うことが可能です。S極とN極の歯車が交互になるように配置されており、360度を200分割（1.8度/ステップ）することができます。



## オープンループ制御

ステッピングモータは上位からの指令に対して同期しながら回転しますが、一般的なステッピングモータにはポジションセンサは搭載されていません。位置が検出できないため、アプリケーションが障害物に当たって動作が阻害された時や、回転が指令に対して追従できなかったときには、実際の位置と指令した位置がことなる、といった現象が発生し、その条件でモータを制御することができなくなります。これを「脱調」と呼びます。



## ステッピングモータの主なメリット

### 位置/速度制御

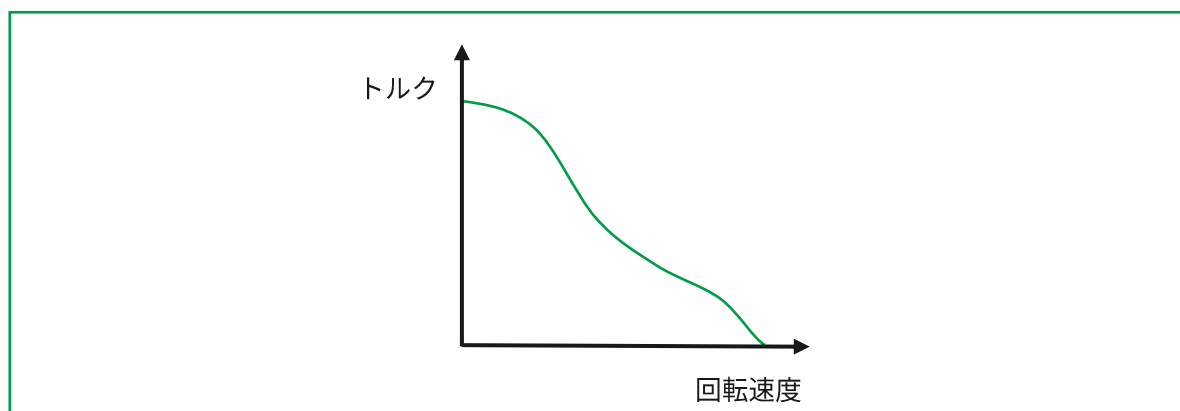
ステッピングモータの特徴の一つとして、高い繰り返し精度が挙げられます。モータ内部の歯車の歯に引き合うため、同じ位置への繰り返し精度は高くなります。誤差は通常数%以内となるため、3D プリンターや XY ステージなどの位置決めといった、必ず同じ位置で停止する必要があるようなアプリケーションに最適です。また、同様に速度の制御も可能です。

### 価格

内部構造がシンプルなため、一般的に製造コストが低く、比較的安価に手に入れることができます。モータを駆動するための回路もシンプルで、トータルで見ても価格を低く抑えることができます。

### 低速域での高いトルク

ステッピングモータは低速域でサーボモータと比較しても高いトルクを出すことができますが、速度が上がると高速で磁界・電流が変化することによりエネルギーが熱となって損失されてしまうため（鉄損と呼ばれます）トルクが下がります。次のグラフは一般的なステッピングモータの回転速度とトルクの関係を描いたものです。



### 高い応答性

ステッピングモータは、モータに対して発せられた指令（パルス）と同期して動作するため、指令に対して高い応答性を発揮します。動作開始時、停止時、および反転時にその特徴は顕著です。

## ステッピングモータの主なデメリット

### 温度上昇

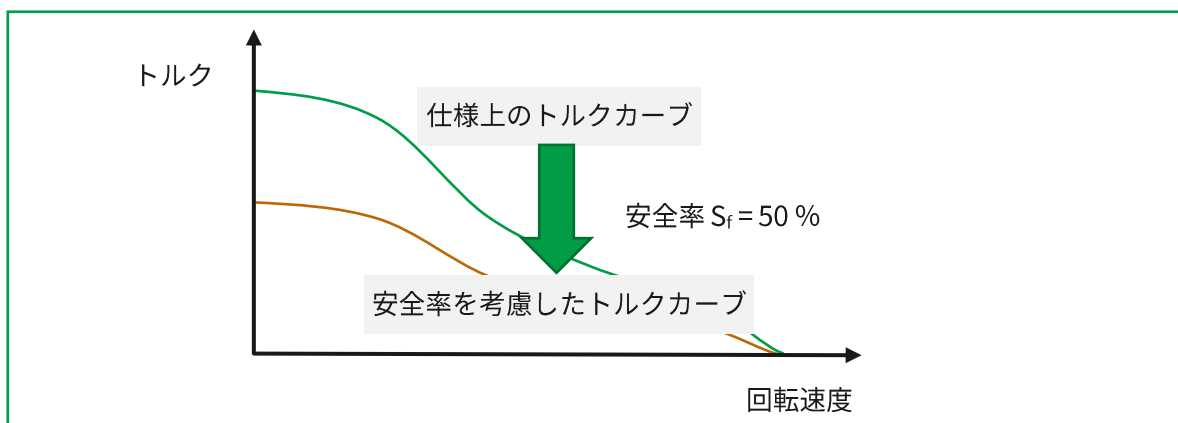
サーボモータとは異なり、ステッピングモータはモータにかかる負荷とは関係なく電力を消費します。常に最大電流を流し続ける必要があるため、停止しているだけでもモータの温度はかなり高くなります。また、高速回転時には鉄損による温度上昇の影響を受けるため、長時間の連続回転や間欠運転には適しません。

### 高速域でのトルク低下・最高回転数の制限

鉄損による効率の低下により、ステッピングモータは高速回転時にエネルギーが熱となって消費されてしまい、トルクが低下します。一般的に、ステッピングモータの最高回転数は2000RPM程度になります。また、温度上昇の影響もあることから、1000RPM程度の中速域が必要になるアプリケーションに適しています。

### 脱調

モータの制御にポジションセンサを使用していないオープンループ制御のため、モータのスペック以上のトルク、速度を出そうとすると、モータへの指令と実動作との差異が生じることにより制御不能となり、モータを回転させることができなくなります。これを脱調と呼びます。脱調を避けるために、モータが出せるトルクに対して2倍の安全率を考慮してモータを選定します。言い換えると、ステッピングモータのスペックシートに記載されている出力トルクの半分しか実際には使用できないということになります。

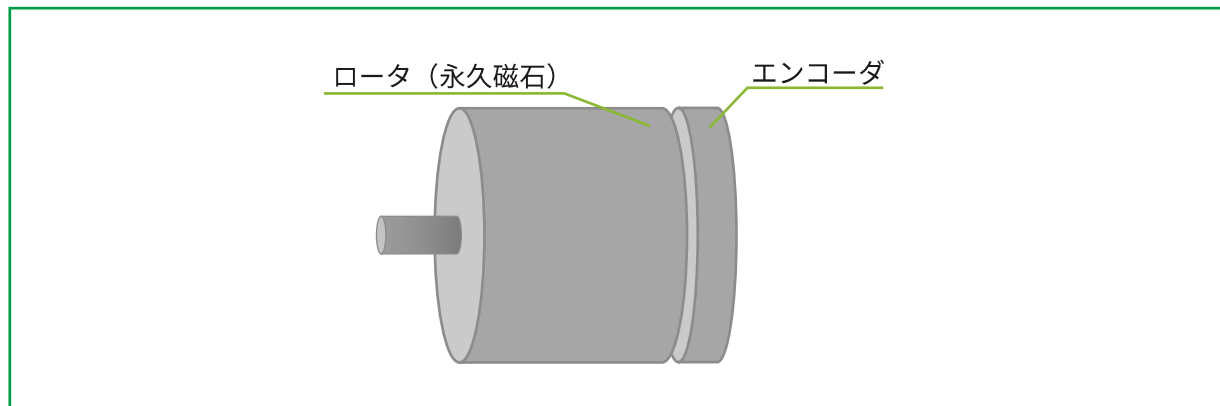


# サーボモータ

## サーボモータの動作原理

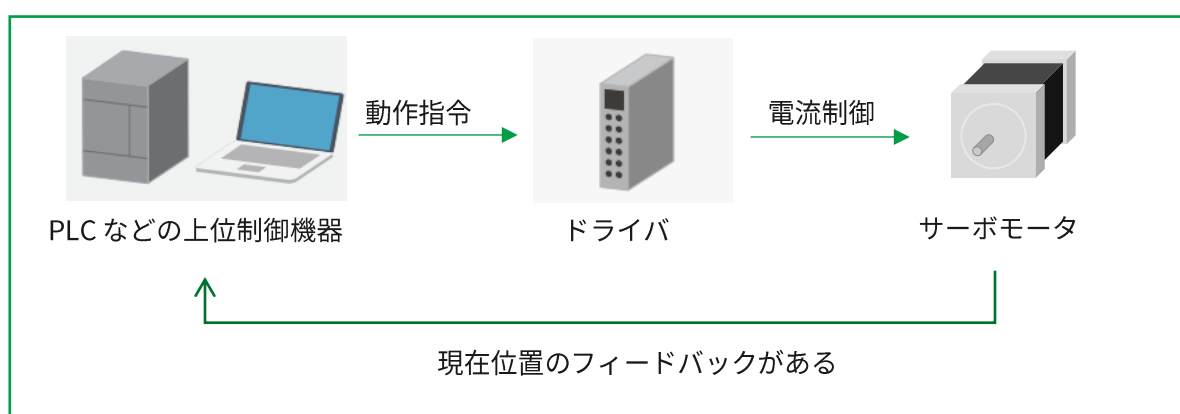
広義ではサーボモータとは位置センサ（エンコーダ）と組み合わさったモータのことで、エンコーダから位置や速度のフィードバックを受けて、指令値と実動作の違いを常に監視し、ゼロにするような制御を行っているのがサーボモータとなります。ホビー用途として安価なモータを使用したサーボモータも存在しますが、産業系の分野では、容量の大きなものはACインダクションモータ、比較的容量の小さなものはDC ブラシレスモータが一般的に使用されます。

モータの内部には円筒形の永久磁石が入っており、その周囲にはコイルが配置されています。永久磁石の角度によって、どのコイルにどれぐらい電流を流すかが決まるため、角度を検知するエンコーダの性能が重要になります。一般的にエンコーダの性能が高いほど動作の安定性や精度は向上します。



## クローズドループ制御

サーボモータはモータの出力軸の逆側の軸にエンコーダと呼ばれる位置検出センサを持っています。このセンサからのフィードバックにより、サーボモータは自分が今どの位置にいるか、現在位置を知ることができます。例えば現在の位置からある位置まで回転するような指令を受け取ると、現在位置と目標位置の間に偏差が生じます。この偏差を常に 0 にするように電流を制御し、モータの位置、速度、トルクを制御します。これをステッピングモータのオープンループ制御に対して、クローズドループ制御と呼びます。クローズドループ制御は常にエンコーダからのフィードバックを受けるため、速度、位置の制御においてステッピングモータよりも高い精度でコントロールすることができます。



## ベクトル制御

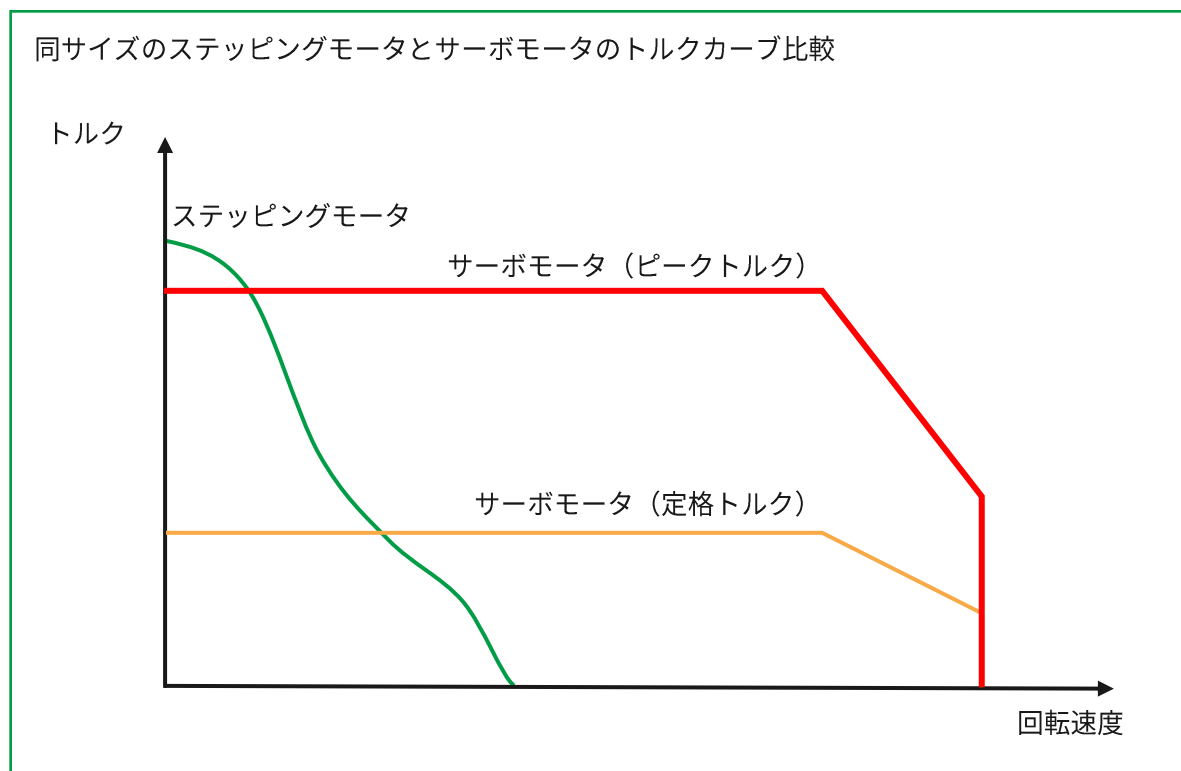
モータを制御するにはモータに流す電流を制御する必要があります。ベクトル制御とは、サーボモータの電流制御に用いられる制御方法のひとつです。ベクトル制御では電流をトルク成分と時速生成成分に分離させ、それぞれの電流成分を独立して制御します。ベクトル制御によってモータに必要なだけ効率よく電流を流すことができるため、無駄な発熱やノイズ音を抑え、スムーズな回転を実現することができます。



## サーボモータの主なメリット

### 高いエネルギー効率による安定した出力

サーボモータはその構造から鉄損によるエネルギーの損失がなく、回転速度が上がってもトルクが減衰しません。ステッピングモータの最高速度は 2000~3000 RPM が一般的ですが、サーボモータの最高回転数は 8000 RPM まで達します。サーボモータにはピークトルクと定格トルクという概念があります。定格トルクは一定速で回転時に連続して出すことができるトルクです。ピークトルクは瞬発的に出力することのできるトルクのことです。主に加減速時や静止摩擦力から抜け出す時に使われます。ピークトルクは定格トルクの 3 倍程度です。以上のことから、高速での安定したトルク・速度が必要なアプリケーションにはサーボモータが適しています。



## 精密な位置・速度・トルク制御

サーボモータは歯車の歯数といった制限を受けずエンコーダによって位置の検知を行います。2相ステッピングモータの分解能は200分解能（1回転を200分割）が基本ですが、サーボモータは1回転の分割数が、22bit（ $2^{22} \approx 419$ 万）や24bit（ $2^{24} \approx 1677$ 万）といった、超高精度な位置の制御が可能です。エンコーダの性能が高いと、位置のみでなく、速度やトルクの制御もより正確になります。

## 脱調レス

常にエンコーダから位置のフィードバックを受けているクローズドループ制御のため、ステッピングモータにありがちな脱調の問題がありません。

## 大容量

構造上の理由から、大容量化が可能です。小さいものは50W程度のものから、大きいものでは200kW以上のものまで、幅広い容量を同じサーボモータで統一することができます。

## 低騒音・低発熱

ベクトル制御により、必要なときに必要な分だけしか電流を流さないため、騒音や発熱を抑えることができます。



## サーボモータの主なデメリット

### ゲイン調整が難しい

現在位置と目標位置の偏差に対してどのように電流を流してトルクを出すかを決定する制御を PID 制御といいます。モータの回転速度や負荷トルク、アプリケーションの慣性モーメントや剛性などの条件にあわせて、PID 制御上のパラメータを調整することを、ゲイン調整といいます。近年のサーボモータはこのチューニングを自動で行ってくれるオートチューニング機能があるものが多いですが、調整を追い込んで最適な動作を実現するには、このゲイン調整が必須になります。

### 価格

近年はサーボモータの価格も下降傾向にあります。サーボモータの価格は、性能が高い分、ステッピングと比較して一般的に高くなりやすい傾向があります。また、PLC やサーボアンプなどの制御機器も別途必要になります。

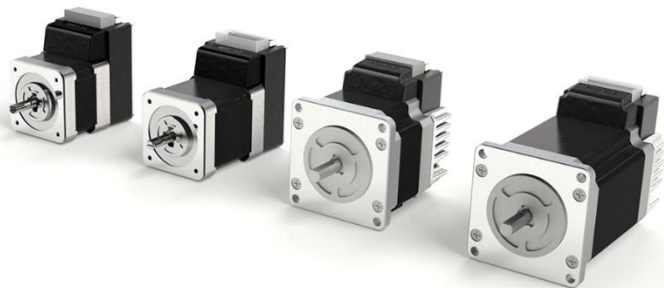
### サーボハンチング（停止時の振動）

サーボモータは停止中も、その位置に留まろうとして、ごく僅かに行ったり来たりの動作を繰り返しており、この振動をサーボハンチングといいます。振動を嫌うようなアプリケーションにはサーボモータはあまり向きません。ただし、エンコーダ性能の劇的な向上により、この振動も減少傾向にあります。

## ステッピングモータ×サーボ制御

では、ステッピングモータにエンコーダを搭載させるとどのようになるでしょうか。広義ではエンコーダからのフィードバック制御（クローズドループ制御）をかけているものをサーボモータと呼びますので、エンコーダを載せたステッピングモータもサーボモータと呼ばれます。ステッピングモータを採用することで価格を低く抑えることができ、エンコーダを搭載してクローズドループ制御、ベクトル制御を行うことで、ステッピングモータの特徴である停止時の安定性や高い応答性は維持したまま、サーボモータと同等の性能を比較的安価に実現することができます。

参考：COOL MUSCLE3



### 特長

- ステッピングモータのトルクカーブをフルに使用できる
- 最大 100 W のサーボモータ相当のトルクを実現
- クローズドループ制御により脱調がない
- ベクトル制御によるスムーズな動作
- 低騒音
- 低発熱
- 最高速度 5000 RPM
- 独自のチューニングレス制御

URL : <https://musclecorp.com/motion/cm3-top/>