

Balancing  
**Technology  
& Capability**  
For the best  
**Performance**



Servo Motor

Stepper Motor

ステッパーモータとサーボモータ：  
どちらを使いますか？

ステッパーマータとサーボモータ：どちらを使いますか？

それぞれ独特のテクノロジーがあるステッパーマータとサーボモータをアプリケーションの用途から選択することでシステム設計を成功させることができます。機械設計者はそれぞれのテクノロジー利点と欠点を理解し、最適なモータ駆動システムを選択することが重要になります。

2つのモータテクノロジーをバランスよく利用して、設計段階にて望まれるプロセスの性能を達成し、最終的にメカニズムに求められる性能とコストの要件を満たすことが全てになります。

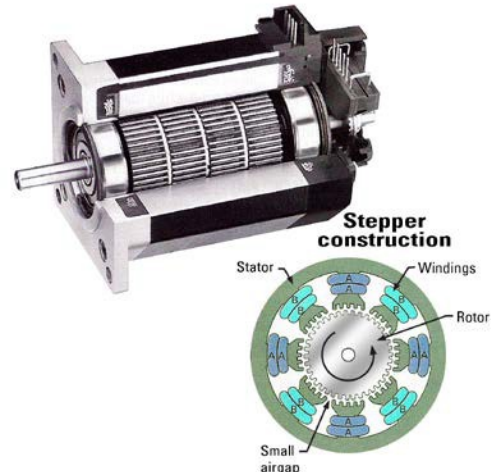
機械設計者は、ステッパーマータやサーボモータを使い勝手などの安易な考え方で選ぶのではなく、実際のメカニズムやプロセスの制御が最も効率よく機能するテクノロジーを持つモータを見極めて選択する必要があります。

この記事では、ステッパーマータとサーボモータを選択する際に必要とされる、さまざまな基本的な機能について説明します。ステッパーマータとサーボモータ双方のテクノロジーを徹底的に理解することで、機械の能力を最大限引き出す効率的な機械設計が可能になります。

現在のステッパーマータドライブは、高度な集積回路を持つデジタル方式により、ドライブ機能、オプション機能、通信プロトコルなどが強化され、また、それらを簡単なプログラミングで使用することができます。サーボモータシステムでも同じことが言え、高いトルク密度、改善された電子回路、アルゴリズムと高いフィードバックの分解能により、システム帯域幅(BW)能力が向上しており、以前モデルと比べ開発費用を含む全体的な運用コストが低くなっています。

### ステッパーマータシステムの概要

ステッパーマータの特徴は、一般的なNEMAマウントが採用され、比較的低トルクのアプリケーションに向き、オープンループのモーション制御が可能で、また、コストの掛かる専用ケーブルが不要で、機器の構成が単純なためサーボシステムと比較して使い勝手が良く低コストで導入できます。



ステッパーマータは、サーボシステムと比較して幾つかの大きな利点があります。ステッパーマータは、一般的なNEMAマウントが採用され、比較的低トルクのアプリケーションに向き、コストのかかる専用ケーブルが不要であることから低価格で導入することが可能です。

### トルクと速度について

ステッパーマータまたはサーボモータ使用の選択については、ほとんどの場合アプリケーションに依存します。ステッパーマータは通常、加減速時に必要とされるトルクやピークトルクの2倍のトルクを持つモータを選定します。

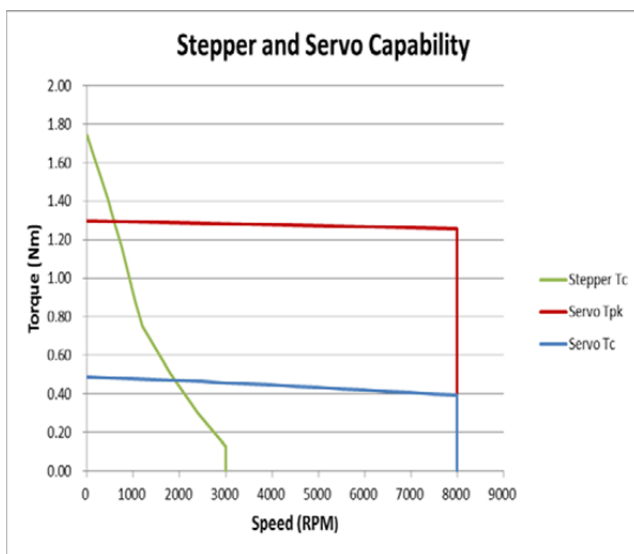
対照的にサーボモータの選定は、最大の間欠加減速、保持トルク（必要とする場合）、および、モーションプロファイルを実現に必要な十分な実効値の要件など、特定のアプリケーションの速度とトルクに合わせたモータを選定します。

一般的に、軸間のコーディネーションの有無にかかわらず、高いスループット、高速で高帯域幅の外乱補正や高い回転速度が必要なアプリケーションには、サーボモータが最適です。ポイントツープointのポジション性能と回転数の要件が（プロセスの負荷と予想される外乱の関数として）適

ステッパーマータとサーボモータ：どちらを使いますか？

度であれば、ステッパーマータがより良い選択肢になるかもしれません。また、負荷を考慮しなければならない場合、ステッパーマータのポジションを保持する能力（動力を伴う保持トルクと動力なしのディテントトルク）が利点となり得ます。

スピード-トルク曲線は、ステッパーマータと同じボリュウムのAC永久磁石(PM)サーボモータとの違いを示してしています(図A)。ステッパーマータは通常、サーボモータよりも低速で高い連続トルクを発生します。しかし、サーボモータはこの同じ低速の範囲でピークトルクを発生させることができ、はるかに高い速度域までピークトルクと連続トルクが継続します。



図A：ほぼ同じボリュウムを持つモータのパフォーマンス曲線による比較

検査を行うビデオ軸や調整とセットアップを行うオートメーションマシンの軸は、ステッパーマータを使用したシステムがマッチするアプリケーションです。[ステッパーマータ](#)を使用したシステムは、制御のシステム設計が簡単で、初期開発コストが掛からない傾向にあり、これらのタイプ軸には特に適し、マシンに組み込み、軸がロックすることが確認できれば操作するコストも掛かりません（例えば、省電力モードのON/OFFのオプションなど）。さらに、クローズドループのフィードバック回路で必要とされるモータとメカニズムのチューニングや巻線とドライブのマッチングなど複雑な要件が不要なオープンループ制御システムのために故障しにくいシステムとなります。

## ステッパードライブ

最新型のステッパーマータドライブのテクノロジーには、ビルトインフィードバック、移動終了のダンピング制御（精度を最大にしながらかセットリング時間を短縮する）、ソフトスタート（起動加速時のジャークを低減する）、反共振モード（トルクを最大限に活かす、安定性確保、音や振動などのノイズ低減）、アイドル電流低減（停止中のモータ加熱低減）、および、フルステップ、ハーフステップ、マイクロステップを簡単に切り替えられる操作モードがあります。

ほとんどのステッパーマータはオープンループで正確に制御が可能です。ドライブのビルトインフィードバック機能を使用すると、コストの掛かる外付けのフィードバックを使用すること無く精度の向上が可能になります。マイクロステップテクノロジーは、フルステップ/ハーフステップからさらにステップサイズを縮小し、低速で滑らかなトルクと動きを実現、さらに高速での分解能を向上させます。

## ステッパーマータ開発の現状

最新のステッパーマータは、以前のモデルに比べ大きな定格電力で利用することができます。新しいテクノロジーには、小さいエアギャップ、強い磁石、物理的に大きな磁石と太いロータの採用があります。ロータを太くすると単位体積あたりのトルクが増えますが、ロータが太くなることにより慣性が増します。ステッパーマータの物理的なフレームサイズと巻線に変わりはありません。もちろん、太いロータの慣性は、加減速時間に影響を及ぼす可能性があります。モータ回転子(Jm)の慣性に対する負荷(J\_load)が減少することによって、同じフレームサイズで多くのアプリケーションに対応することができます。また、一般的なステップモータシステムのサイズは、慣性比(J\_load : Jm)が30 : 1未満です。しかし、加減速度は遅くなりますが、高い精度が得られるマイクロステップに切り替えた場合、200:1の慣性比で使用することも可能です。

ステッパーモータとサーボモータ：どちらをしますか？

最新の**ステッパーモータドライブ**では、ストールを電子的に検出し処理されます。オプションのフィードバックデバイスを使用すると、コンポーネントのポジションのずれ、ノイズ、パルス（ポジション）情報の損失などによるポジションの補正が可能になります。フィードバックを備えたステッパーモータは、速度ループのリプルが少な



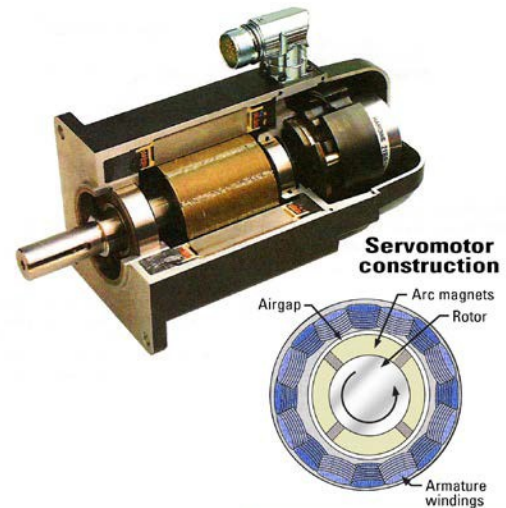
**PMXステッパーモータ**は高性能で、高トルク。システム設計に柔軟に対応します。

く、同等の3相サーボモータよりも低い速度域で高トルクが望めますが、フィードバックを必要とするステッパーモータのアプリケーションは、コスト的にサーボモータを使用した場合に近くなってしまいます。しかし、アプリケーションによってはそれらが運

用上の利点となることがあります。クローズドループのステッパーモータのシステムは、技術的には低価格のサーボモータシステムと競合しませんが、両タイプのシステムの長所と短所をアプリケーションが必要とする条件と比較して慎重に検討する必要があります。

## サーボモータシステムの概要

サーボモータにはステッパーモータと比較していくつかの明確な利点があります。サーボモータは、高トルクを広い速度範囲で利用可能で、高い電圧（最大480 Vac）にも対応し、また、同じ性能のステッパーモータと比較して大きさもコンパクトになっています。サーボモータは連続トルクよりもはるかに大きなピークトルク特性があり、外乱に対して強く素早く応答可能で、電力は指令された動作を達成する分だけ消費されます。



サーボモータにはステッパーモータと比較していくつかの明確な利点があります。サーボモータは、高トルクを広い速度範囲で利用可能で、高い電圧（最大480 Vac）にも対応しています。

## サーボモータドライブ

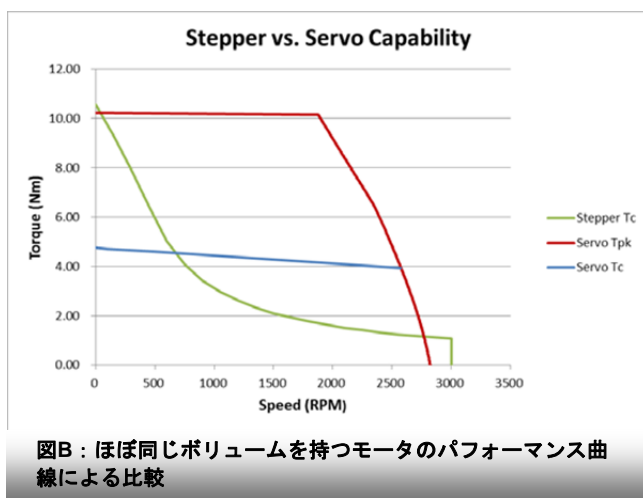
かつてサーボモータのユーザを悩ませていたチューニングやコンプライアンスと呼ばれるサーボモータドライブ補償に関するプロセスは、ほとんどの場合において過去の遺物となっています。**最新式デジタルサーボドライブ**のテクノロジーは、ソフトウェアとハードウェアの機能が強化され、今までユーザの経験則に頼っていたことがドライブで実現可能で、既に一部のサーボモータのシステムでは、サーボモータドライブによって自動的にモータ、ドライブ、フィードバックが構成され、全ての調整も自動的に行われ、性能を低下させることなく、制御ループをさらに微調整する必要もなく、駆動するメカニズムに適応することが可能となっています。

## トルクと速度について

サーボモータは高速で動作するように設計されていますが、適切にチューニングされていれば、非常に精密な制御も可能で、1rpm以下の低速域においても正確に動作します。ステッパーモータも適切に利用されている場合に正確で、特に低速用途（1,000rpm未満）に対してはコスト的に優位な選択肢であると言えます。しかし、1,000rpmを超えると、磁気回路の時定数の影響からコア損失が発生し、ステッパーモータのトルクが低下し始めてしまいます。

ステッパーマータとサーボモータ：どちらを使いますか？

ステッパーマータと同等のトルクを持つサーボモータは、約2,000~4,000 rpm以上でもそのトルクが落ち始めません（図B）。しかし、高い慣性負荷のあるアプリケーションをドライブするダイレクトドライブサーボモータは、1000rpm以下の速度でその価値が見出されます。このようにドライブトレインには機械的さまざまな条件があり、その条件とアプリケーションに最適な機能と動作速度を満たすサーボモータを選択する必要があります。アプリケーションによって要求される速度範囲が1,000~3,000rpmの場合、使用すべきモータは、馬力、ピークトルクと発生する速度範囲、連続トルク（実効値）、繰返し精度などによって決定されます。



ステッパーマータは径の太いロータを使用すると、同サイズのフレームを持つサーボモータと比較して、ストール時（50ステップ/秒または15rpm以下の低速時）や停止時に負荷をホールドする場合に大きなトルクを発生させることができます

（新しいデザインのサーボモータでは、このテクノロジーが採用されています）。ステッパーマータはこのトルク特性により、ギアボックスやその他の減速機を使用すること無く、非常に正確で剛性ある低速のモーションを実現しています。高い磁極数と高分解能フィードバックを持つダイレクトドライブサーボモータも同様にギアヘッドなどの減速機が不要で、速度が1,000rpm未満のアプリケーションに向き、産業機器などに利用されています。

ステッパーマータは、静止時においても電力を消費しており、過負荷の場合を除き、絶対に軸が動くことはありません。また、動力が供給されていない場合においてもディテントトルクによりポジションをホールドすることができます。

対照的に、サーボモータは、サーボがONの時にクローズドループのエラーを補正するため決して静止しておらず、現在のポジションを維持するために必要な電力を消費しつつ、サーボ出力軸のポジションループエラーが最小になるよう常に動いています（ただし、この動作は目立たないようにすべきです）。この連続的に往復する運動は、別の用語で「ディザ」と呼ばれ、意図的に誘発された往復運動（例えば、スティクションの問題を連続的に克服するためのバルブ）と同じく「ハンチング」と呼ばれています。このハンチングの物理的な変位は、一般的には解像度に比べてわずかなフィードバックカウントで、ほとんどのアプリケーションでは目立たないものでありますが、中には受け入れられないアプリケーションもあります（高解像度のフィードバックデバイスは標準のハンチングデルタを低減します）。

再現性と分解能が問題となる場合においても伝統的にサーボモータに代わるステッパーマータが検討されることがあります。しかし、ステッパーマータの場合、負荷は予測可能でなければならず、軸間の緊密な調整が必要でない場合に小さな外力や外乱の影響を受けやすいという条件があります。オープンループを実行するステッパーマータは、同等のサーボモータを使用したソリューションよりも20-30%以上マシンの初期コストを節約できます。

### トルク特性

モータを選ぶ場合、設計者は速度対トルク曲線から要求される速度でより高いトルクがあるモータを選択し、また、同じ価格帯であればほとんどの設計者がサーボモータを使用することを好みます。サーボシステムでは、一定または可変の負荷に関わらず、ステッパースystemでは不可能な過負荷状態からの回復も可能です。ステッパーマータは、1,000 rpm未満で大きなトルクがありますが、対照的に、サーボモータは、ステッパーマータをはるかに上回る速度域でさらに大きなトルクを発生、要件を処理することができます。

### 慣性マッチング

システムにおける負荷の慣性を知ることは、モータを技術面から選択する場合に役立ちます。ステッパーマータは、通常、モータの慣性対負荷の慣性の比( $J_{load}:J_m$ )が30:1を超えることはありません。対照的に、高分解能フィードバックが搭載され、コンプライアンス(ドリブンスチールを除く)の

ステッパーマータとサーボモータ：どちらを使いますか？

無いシステムのダイレクトドライブサーボモータは、旧式のフィードバックテクノロジーが搭載されたモータと比べて応答時間が速くなっていることから、慣性の比が200-300:1( $J_{load}:J_m$ )以上でもドライブできます。

以前は、応答性が良く、高い加減速を必要とするサーボモータシステムにおいては、負荷対ロータの慣性比で1:1~5:1の範囲が必要でしたが、その後のシステムでは1:1~8-10:1の範囲が必要とされていました。

現在、フィードバックの分解能は極めて高くなっており、多くのアプリケーションにおけるコンプライアンスやバックラッシュが最小のサーボモータシステムでは、慣性比が1~15:1以上となっており、さらなるリスクを伴わずに最高の運用効率を実現しています。高い慣性比は、要求される機械



AKM™サーボモータは、共同エンジニアリングにより、アプリケーションに合わせたカスタマイズを可能とするなどの柔軟性を提供しています。(標準品は、8フレームサイズ、5万通りを超える構成から選択頂けます)

的な仕様、機構のコンプライアンスやバックラッシュに関連して、サーボモータの用途にますます依存するようになって来ています。ダイレクトドライブモータシステムの場合、要求される剛性として大きなシャフトとベアリング、モータを機械に固定する金具/スタンドのコンプライアンスなども慣性比の向上に有効となります。

## 軸のコーディネーション

軸間でコーディネーションを必要とするアプリケーションは、サーボ制御システムによる緻密な同期と高いBW能力を実現することが可能で、信号の乱れやコマンドの変化に対して素早い応答が可能になります。システムにマッチしたオープンループのステッパーマータシステムは、確認用のフィードバック無しでも同期を取る事ができますが、指令された軸間の逐次的または擬似的なコーディネーションが可能だけで、実際はポイントツーポイントの移動に制限されます。

## ケーブル配線とモータドライブの調整

サーボモータの信頼性とメンテナンス性を向上させる1つの鍵は、電源とフィードバックデバイス間に必要な配線数を減らすことにあります。

製造業者は、システムがメンテナンスを必要とする時期をクローズドループシステムのサーボチューニング（サーボモータ-ドライブ-メカニズムの補償）から推測し決定しています。ユーザは、この計算されたチューニングテクニックと内蔵の診断プログラムによりメンテナンスの手間を省くことができます。さらに、ほとんどのサーボドライブは、長年にわたってステッパーマータのインターフェースに使用されてきた伝統的なステップ入力とディレクション入力を使用することもできます。サーボモータドライブのこの機能はポジションモードと呼ばれ、ステッパーマータにあるステップ損失などがありません。

ステップ損失などの問題は、ステッパーマータシステムがその能力端で実行された場合に発生する問題の1つで、命令されたステップの数に対して動作ステップが不足または増加してしまう現象です。ステップの不足は、加減速中に最も顕著に現れ、一般的には、加減速に影響を及ぼす慣性が大きすぎる場合や想定する摩擦よりも大きいことに起因します。また、ステップの増加は、通常、ノイズまたは加減速に影響を及ぼす過大な慣性から生じます。これらは、増加分(+)と不足分(-)のモーションステップが徐々に蓄積されるため、製造公差を超えるまでに時間が掛かる場合があります。

それにもかかわらず、ステッパーマータは、システムを稼働させるために必要となるモータの調整が少なく、配線量も最小限で済むことから簡単に使用できる魅力があります。

## 精度と解像度

ステッパーマータは、理論的分解能と実際の分解能との間に差異があります。例えば、2相フルステップ方式でステップ角1.8°のステッパーマータは、1回転(360°/1.8°)で200分割されたポジションで運用できますが、それが確実に運用できるかは、ステッパーマータのサイズがアプリケーションに対してどの様に設定されているかに依存します。また、ハーフステップとマイクロステップ方式によるステッパーマータの駆動モードについても同様です。フルステップ1.8°ごとに10マイクロステップがあると規定されている場合、マイクロステップ角は0.18°になりますが、アプリケーションによっては必ずしもこのポジションを見つけることができない可能性があります。

さらに、摩擦と負荷の慣性に対する十分なトルクを発生する迄に、いくつか指令されたマイクロステップが必要となることがあります。実際には、

ステッパーマータとサーボモータ：どちらをしますか？

ステッパーマータは1つ以上のマイクロステップを指令された数を超えて容易にジャンプさせ安定させることができますが、位置決め分解能の要求が1回転につき200ステップを超える必要がある場合、ステッパーマータはフィードバックエンコーダを使用することにより1000 step/rev以上を達成することができます。5相モータとマイクロステップモータ（注意が必要になります）も回転速度 (step/rev) を上げることができます。

サーボモータの分解能は理論的に無限ですが、クローズドループ動作では、システムの位置決め精度は、主にサインエンコーダ、レゾルバ、デジタル(TTL)タイプのエンコーダが搭載されたフィードバックデバイスの分解能に依存します。昨今の高分解能フィードバックデバイスは、モータ回転1回あたりのカウント数が $2^{21}$ (2,097,152)~ $2^{28}$ (268,435,456)に加え、オプションのマルチターン機能により回転数(通常は最大4096ターン)も識別可能です。マルチターン対応のフィードバックデバイスは、マシンのパワーアップ時に現在位置を軸の絶対位置として利用することが可能で、軸を初期化するための原点復帰を行う必要がありません。

## 再現性

サーボモータは、クローズドループ制御により非常に高い再現性（繰り返し性能）があります。ステッパーマータは、多くのアプリケーションにて単一経路を同じ条件で繰り返す動作に向いています。しかし、アイドル電流低減(ICR)モードが利用されている場合や例えば方向反転中に負荷が増加する場合などにおいて、ステッパーマータの能力を超えると状況が変化します。ギアボックスのバックラッシュ問題とよく似ており、ステッパーマータが指令されたポジションに到達できないことがあります。ステッパーマータは、新しい方向へ最初に向かう場合でステッパーマータの負荷による慣性と摩擦の影響が考慮されている場合においても、モータの精度による影響を受けることがあり、これが発生すると、指令されたポジションに対して実際のステップ数を失う、または、多くカウントしてしまう可能性があります。

## 入力電力

ステッパーマータは抵抗と直列のインダクタが等価であり、その結果、電流によりトルクを発生さ

せるには時間が必要となります。この時、与えられる電圧により速度が制限されるため、アプリケーションでモータの速度を上げる場合に高い電圧が必要になることがあります。

サーボモータのシステムも同様に機能しますが、常にその機能の範囲内で動作します。サーボドライブは、制御ループの指令値とフィードバック値との偏差分サーボモータに対して必要となる電圧と電流を供給します。サーボモータのシステムが何らかの理由で動作範囲内から逸脱した場合、その時間がミリ秒間であったとしても制御を失ってしまいます。

詳細な結論については、  
次のページへ



ステッパーマータとサーボモータ：どちらを使いますか？

## 結論

サーボモータとステッパーマータシステム、どちらのテクノロジーも進化し続け、使い勝手が格段に向上しています。機器設計を行う場合、それぞれの長所と短所を理解し、実行されるプロセスや動作に要求される用途に最適な選択を行うことが大変重要と言えます。

現在または将来的に要求される仕様に対して、再現性、精度と柔軟性を兼ね備えるステッパーマータやサーボモータのいずれかを使用し、その仕様を達成することができるとした場合、残りの懸案事項は、[環境対策](#)、製品寿命、動作ノイズ対策、消費エネルギーなどになります。

求められる仕様に対してどのテクノロジーを採用するかは、その要求される作業プロセスや実行されるジョブ、将来の可能性などを考慮し、また、装置設計者の経験などによる知識、識別する力や先見性などを活用する必要があります。

ステッパーマータとサーボモータの比較					
要求される仕様	ステッパ	サーボ	要求される仕様	ステッパ	サーボ
最高トルク密度	✓		ディテントトルク	✓	
最大トルクを発生する速度範囲が広い		✓	負荷慣性比が最大30:1(J_load:Jm)	✓	可
オープンループ制御(標準)	✓		負荷慣性比が最大200:1(J_load:Jm)	可	DD+(R/L)*
1000 rpm以下の低速に利点がある	✓	✓	外乱やコマンドに対する修正が早い		✓
中間の速度が1000~3000rpm	可	✓	ピークトルクが連続トルクを上回っている		✓
最高速度が3000 rpm以上		✓	高い分解能		✓
1000 rpm以下の低速で高いトルク	✓	✓	高い入力電圧に対応		✓
高帯域幅(BW)による高い応答性		✓	取り扱いが簡単	✓	
簡単なポイントツーポイントモーションが可能	✓	✓	負荷が一定の場合に最適	✓	
軸間のコーディネーションが可能	擬似的に可	✓	製品スループットに優れている		✓
加減速性能が高い		✓	効率が低い		✓
「ハンチング」が無いポジションホールドが可能	✓				

\* R= ロータリモータ、L= リニアモータ



著者：Hurley Gill氏は、バージニア州ラドフォードにあるKollmorgenのシニアアプリケーション/システムエンジニアです。1978年にバージニア工科大学の工学博士号を取得し、1980年からモーションコントロール業界に従事しています。電子メール：[hurley.gill@kollmorgen.com](mailto:hurley.gill@kollmorgen.com)

## コルモーゲンについて

Kollmorgenは、世界中のお客様にオートメーション機器やドライブシステムを供給するメーカーです。100年以上の歴史を数え、モーションコントロールの設計やアプリケーションの構築などにその経験を活かしたソリューションの提供と性能、品質、信頼性、使いやすさを追求した各種製品の販売を行っています。

Kollmorgenの製品の詳しい情報につきましては、[ia-info@kollmorgen-japan.jp](mailto:ia-info@kollmorgen-japan.jp)にお問い合わせいただくか、Kollmorgenのウェブサイト[www.kollmorgen-japan.jp](http://www.kollmorgen-japan.jp)をご覧ください。