

ステッピングモーターについて

ステッピングモータの歴史は比較的浅く数十年前に出てきたものであり、この種のモータがマイコン等で簡単に制御出来る事から数多く利用されている。しかしステッピングモータには他の種のモータには無い厄介な問題を抱えているにもかかわらずいずれのモーターメーカーも未だに決定的な問題解決に至っていない。又、このモータを採用しようとしたエンジニア諸兄にもこのモータが持っている特性に付いてモーターメーカーがその対応にはいささか困難を要する為に、十分な説明をしてこなかった事から、その使用方法について少々理解不足があるように思われる。

ステッピングモータの諸問題とは？

問題点としては

- 1) 振動が大きく、装置が騒音を発生する
- 2) 使用可能回転領域が狭く、許容領域から外れると脱調等を起こし、サーボモータ、あるいは多機能機として回転数をいろいろ変えなければならない等の必要性に答える事が出来ず、十分な機能を発揮する事が出来ない

などに絞る事が出来ると思うが、要するにモータが広い範囲にわたって滑らかに回転しないと言う一言に尽きる。

ステッピングモータは単純に言えば固定されたN-S磁極をもったロータに対しステータの磁極を切り替える事によりロータを回転させる訳であるが、ハイブリッド型の場合ではロータは比較的大きな慣性モーメントを有しており、今かりに停止状態からステータの磁極を変え、1ステップ回転しようとした時、ロータは加速度的に角速度を増し、1ステップ角回転した所で最高速度に達する。しかしステータの磁極はそのままなのでロータはそこで停止しようとするがロータは自身の慣性モーメントによりオーバーランし、再び定位置に戻ろうとするが又オーバーランしてしまふ。もちろんこの繰り返しのオーバーランはやがては止まりロータは停止する。従ってロータが持っている固有振動数とステータの(N-S切り替え)周波数が一致した時最大トルクが発生し相反する場合はトルクは失われる。

図1はモータが低速領域(70pps)に於いて理想的な時間経過に対する回転進み角を表した図である。もちろんこのように回転するモータは現在の所存在していないし、又モータ及びモータドライバの特性、結線状況によっても異なって来るのでこの曲線を厳密に数値化は困難であるが、理論的に見てこのような図になるであろうと考えるにはさほど無理ではない。

ところが実際モータがどのように回転しているのか某メーカーの2相モータを定電流型ドライバで低速で駆動した場合を図2に示す。図1の曲線(青線)と重ね合わせてみるとその違いに驚き、そして3ステップ目から4ステップ目で位相がずれてしまっているのが解る。これがいわゆるステッピングモータで言われる脱調現象であり入力パルスに確実に追従して回転しなければならないと言う本来の目的から見れば致命的なもので、位置制御を行った場合再現性が確保出来得ない。

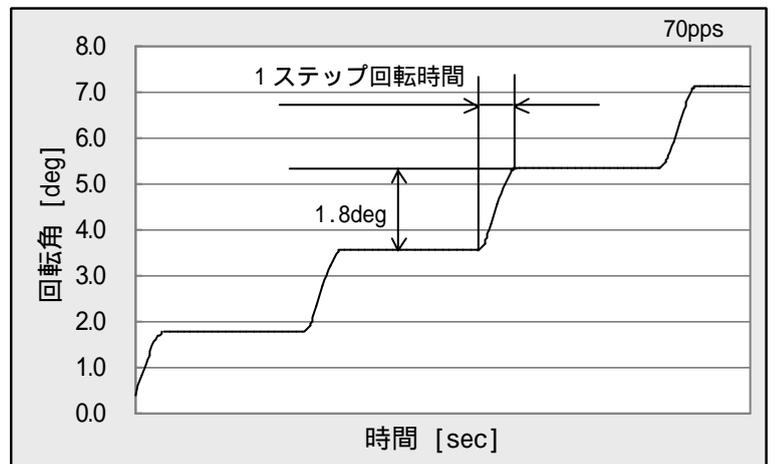


図1 理想とする進み角

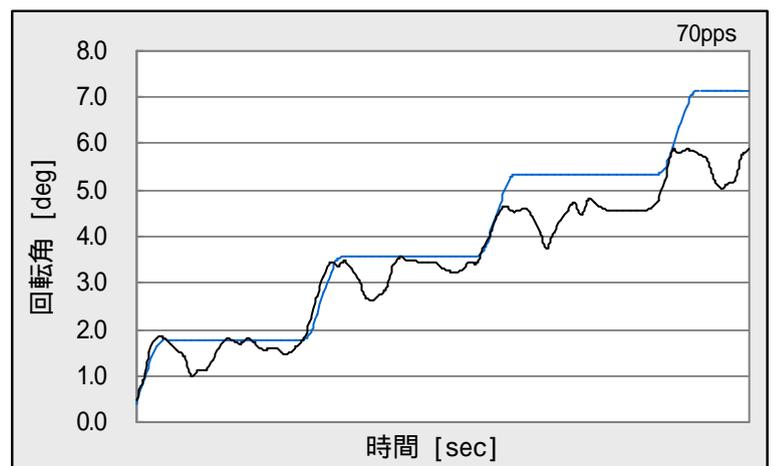


図2 モータ単体での進み角

ではモーターメーカーが量産製品を扱っているユーザに対し少しでも満足してもらう為にどのような対応の仕方をしているのであろうか。

- ・ユーザがどの回転領域を使おうとしているか
- ・ユーザはトルクを重視しているか。それとも滑らかさ、静粛さを重視しているか

などにより、その使用される機械に適用出来る様、巻き線を変えるか、着磁の強さを変える等で問題解決を計ろうとするのが一般的であり、この繰り返しで製品の開発期間はどんどん伸びて行く。従って小ロットのユーザに対しては規格品の中から選択してもらうしかない。

結局オールマイティに使えるモータは見当たらず、例えば各メーカーのカatalogを見ると全く同じ外観で、同じ静止トルクを持ちながら巻き線抵抗(定格電流)が異なっているのが掲載されている。これは簡単に言えば巻き線抵抗が大きいのは低速用、小さいのは高速用として捉えて差し支えないが、しかしそれだけで問題解決になるかと言えばそう簡単には行かないのが実状である。

振動吸収対策は？

何か慣性体を取り付けその慣性力で振動を吸収出来ないかと考えられ、フライホイールを取り付けた時の特性を図3に示すが結果は返って悪化している。しかもフライホイールでは自起動周波数にも影響を及ぼす事となり、結局ステッピングモータはモータ単体では回転振動を無くす事は困難とされ、考えられたのがダンパーロールである。

ダンパーロールの歴史はステッピングモータの歴史とさほど変わらない。つまりステッピングモータが実用化された時点ですでにこれ等の問題が指摘され対策の必要に迫られていた。

当初考えられて来たのがマグネットダンパと粘性ダンパであろう。マグネットダンパはリング状の永久磁石をモータ軸に直結した円盤に吸着させ磁石と円盤との摩擦抵抗で振動を抑えようとするものであり、理論的にその要因を解析したのもあるが実際の効果は思った程ではなく最近ではあまり見られない。

粘性ダンパはゲル状の流体と慣性体をダンパ内に組み込み封入し、粘性抵抗で振動を吸収しようとするものであり、現在でも市販されているが価格はやや高い感があるが、A社製の特性を図4に示す。

そして十数年前から出て来たのが弾性型のダンパであるが、構造が簡単で価格も比較的low価格であり、B社製の特性を図5に示す。

グリテックス製のダンパは弾性型に属するものでその特性を図6に示すが他のいずれのダンパと比較して最も理想とする波形に近く、価格もいずれのダンパと比較しても最も低い。

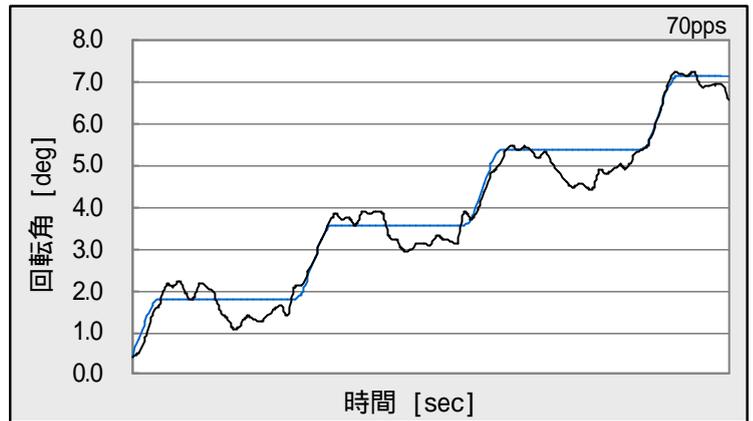


図3 フライホイールでの進み角

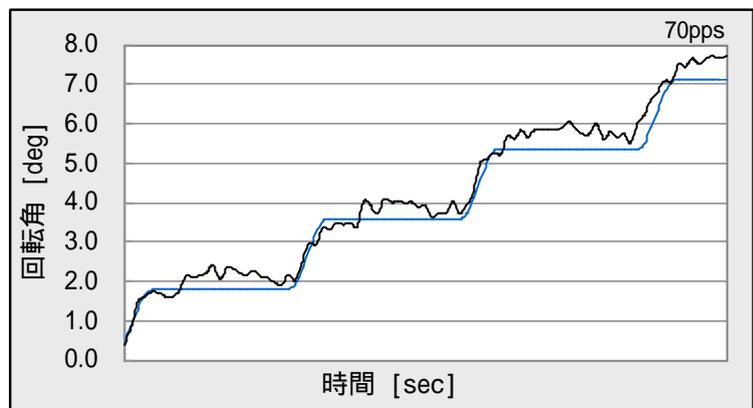


図4 A社(粘性形)の進み角

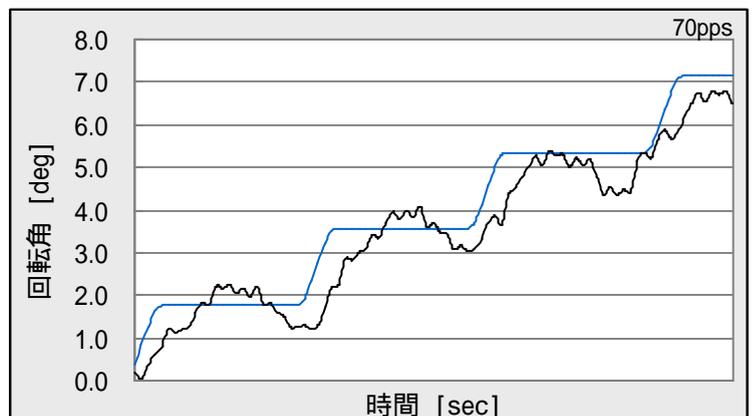


図5 B社(弾性形)の進み角

自起動周波数はどうなるのか？

ステッピングモータの性能を示す要素として自起動周波数が上げられる。これはモータが無負荷で何ppsから回転を始める事が出来るかを言うもので一般的に高いほど性能が良いとされる。つまりステッピングモータに於いてはいきなり数百ppsと言う速度で回転させる事が出来る。高速回転を加速せずに定速で回転可能であり、これはDCモータでは厳しい。又、反面、低速では脱調しやすいので起動周波数を高く設定しなければならない場合もある。

それではダンパーロールを付けると慣性負荷が大きくなり、自起動周波数は下がってしまうのではないか。答えは否である。これはダンパが付いていないモータでは図2の如く回転ムラが大きく結果としてトルク損失を招いているが、ダンパ付きではその効果により損失が小さく、又慣性体は弾性体に保持されており起動時、慣性体の慣性モーメントがそのまま負荷としてモータにかかってくる訳ではない。従って逆にダンパを付ける事により自起動周波数を逆に上げる事が可能となる。

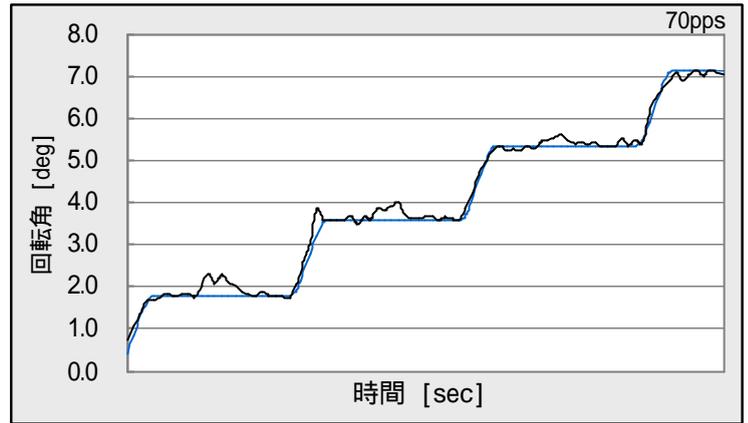


図6 グリテックス製ダンパ付の進み角

図7に回転数に対する軸トルクを示す。青線は某メーカーの2相モータのトルク曲線であり、黒線はそれにグリテックスのダンパを取り付けた場合のトルク曲線である。

トルクはどうなるのか？

モータ単体では回転を上げていくと、ある回転領域の間で急激にトルクが下がり停止してしまう。これはモータ単体では回転を上げて行くと、振動は収まらず、ロータの固有振動数と入力周波数がマッチした所で最大トルクを発生するが、それがずれてくると共振を起こしトルクが無くなり停止してしまうことを意味している。

しかしダンパを付けると振動は完全にとは行かないがかなりの部分吸収されるのでトルクは維持されモータは回り続ける事が出来る。

この事からダンパ付きモータは振動が減少すると共に許容回転領域が大幅に広がり、その結果として静かで、速度変化に対応出来るサーボモータとして使用可能となり得る。

ではモータ内部にダンパを内蔵すれば良いのではないかと思われるがメーカーとしては各社厳しい価格競争の中であって、部品点数を増す事でコストアップとなる事は今まで経過して来た実績から見ても難しい状況にあるのではないだろうか。従って、メーカーでは巻き線を変える以外にロータ、ステータの歯形を変えたり、またそのギャップを変えたりさらにはマグネットを変えたり、そして又モータドライバを変えたりと、使用対象に対応すべく様々な苦勞をされているようである。

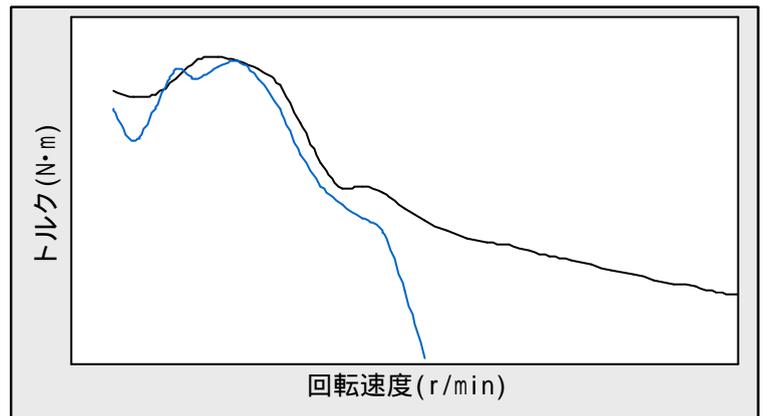


図7 軸トルク

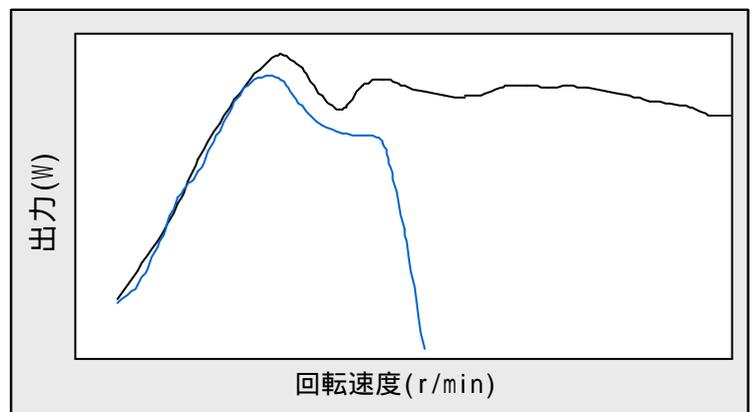


図8 軸出力

ではモータ内部にダンパを内蔵すれば良いのではないかと思われるがメーカーとしては各社厳しい価格競争の中であって、部品点数を増す事でコストアップとなる事は今まで経過して来た実績から見ても難しい状況にあるのではないだろうか。従って、メーカーでは巻き線を変える以外にロータ、ステータの歯形を変えたり、またそのギャップを変えたりさらにはマグネットを変えたり、そして又モータドライバを変えたりと、使用対象に対応すべく様々な苦勞をされているようである。

軸出力はどうなるのか？

図8にその出力図を示す。軸出力はトルクと回転数から算出出来るが、図の青線はトルク曲線と同様にモータ単体の場合であり、黒線はダンパ付きの場合を表している。

単体ではモータが停止すれば当然出力は“0”となってしまうが、ダンパ付きの場合では高速領域でも比較的フラットになっている。低速領域で出力が低下しているのはモータとモータドライバの特性からモータに流れる電流を減らしている為であり、実効率が下がっている訳ではない。

ダンパーロールの意味

今まで述べて来た様にステッピングモータに於けるダンパーロールはロータの振動を抑える事で機器の騒音を抑え、さらに与えられた周波数に対し、なにも付けなかった場合に比較し、はるかに広い周波数帯域で追従し易くなり得る点等で、ステッピングモータに於けるダンパーロールの必要性は御理解頂けたのではないかと思われる。従ってこれ等の事から、DCサーボモータを使用している場合はダンパ付きの5相モータに、5相モータを使用している場合にあっては、同様に2相モータに置き換える等の対策を持ってして、コストセービングに貢献し、又騒音や脱調に悩まされている場合等、ダンパーロールにより多くの問題解決の糸口を見出せる可能性を持っている。

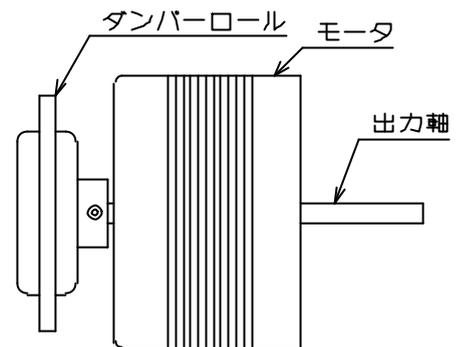


図9 通常の取付方法

ダンパーロールの取付方法

標準仕様のダンパーの取付方法は通常は図9のごとく両軸のモータを使用し片側にダンパーを取り付ける。グリテックスではカップリングとダンパーを一体化しているハイブリッドカップリングも用意しているが、その他の例として図10に示すように特注品としてプーリ等との一体化も可能としている。

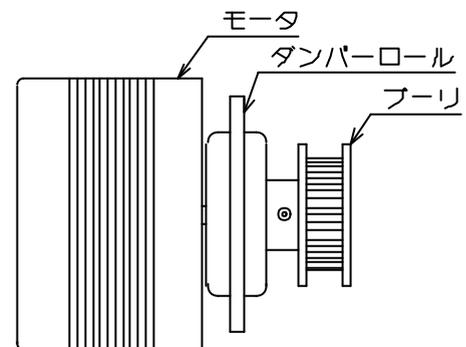


図10 特注品の取付方法