

ステップモータの試験法に関する研究 ——静止トルク特性測定法の検討——

Test Methods of Step Motors
——Measurement of Static Torque——

樋口俊郎*・沢田克秀**・渡辺昭***
Toshiro HIGUCHI, Katsuhide SAWADA and Akira WATANABE

1. はじめに

ステップモータに関する試験方法は、現在のところ標準化されておらず、提供者と利用者との間の正確な情報交換を行ううえでの障害となっている。このためステップモータに関する各種試験方法の標準化を図ることが重要な課題となっている。本報では最も基本的な特性である静止トルク特性の試験法について検討し、測定機器の仕様選定や、測定上の注意事項について得られた所見を報告する。この静止トルク特性はステップ応答の推定、動トルク特性の推定、静止位置精度の検討などを行ううえで重要である。またステップ角を細分化して、微小角回転させるミニステップ駆動を行うための基礎データとして必要なものである。

2. 静止トルク特性試験法

ステップモータのある相（場合によっては複数の相）を一定電流で励磁すると、ロータの回転角 θ によって定まるトルク T を発生する。励磁電流をパラメータとした T - θ 曲線を静止トルク特性曲線と呼ぶ。以下この特性の試験方法について述べる。

2.1 θ と T の検出

回転角 θ の検出にはポテンシオメータや高分解能のロータリーエンコーダを用いるのが一般的である。一方、トルクの検出にはトルクによって弾性体に生じる変形に伴う変位や、歪みの大きさを測定する装置を使用する。この種のトルク検出器を使用する場合、測定器内部の弾性変形が原因となる問題を生じることがある。この点については後に測定の注意事項として述べる。

2.2 試験装置の構成

θ の検出をロータリーエンコーダにより行い、 T の検

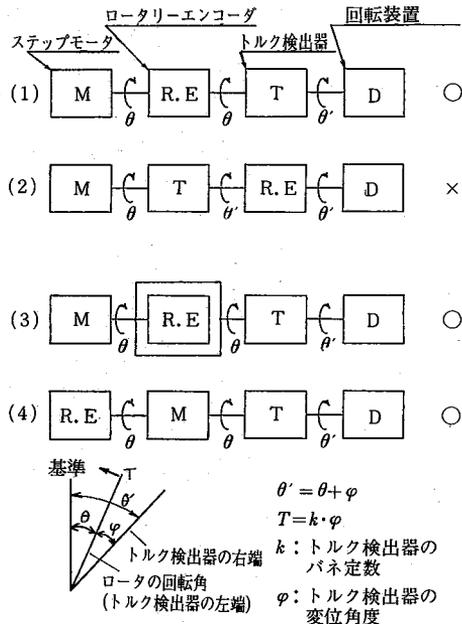


図1 試験装置の構成例

出を前述の原理によるトルク検出器とした場合、片軸のモータに関する試験では図1-(1)の構成にする必要がある。たとえば、(2)の構成ではロータリーエンコーダが θ' を検出することになり、ロータの回転角 θ を正しく検出できない。またロータリーエンコーダが片軸の時は(3)のような構成にする必要がある。両軸モータの試験では、(4)の構成にすることができる。なお、図1の中で回転装置はモータに対して外部からトルクを与え回転させるために使用するものである。

3. 試験結果

実験では4相ハイブリッド形ステップモータの両軸タイプを使用し、前述の(4)の構成とした。図2は静止トルク特性試験装置の全体図である。回転角 θ の検出は

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** (株)三豊製作所

*** 富士通(株)

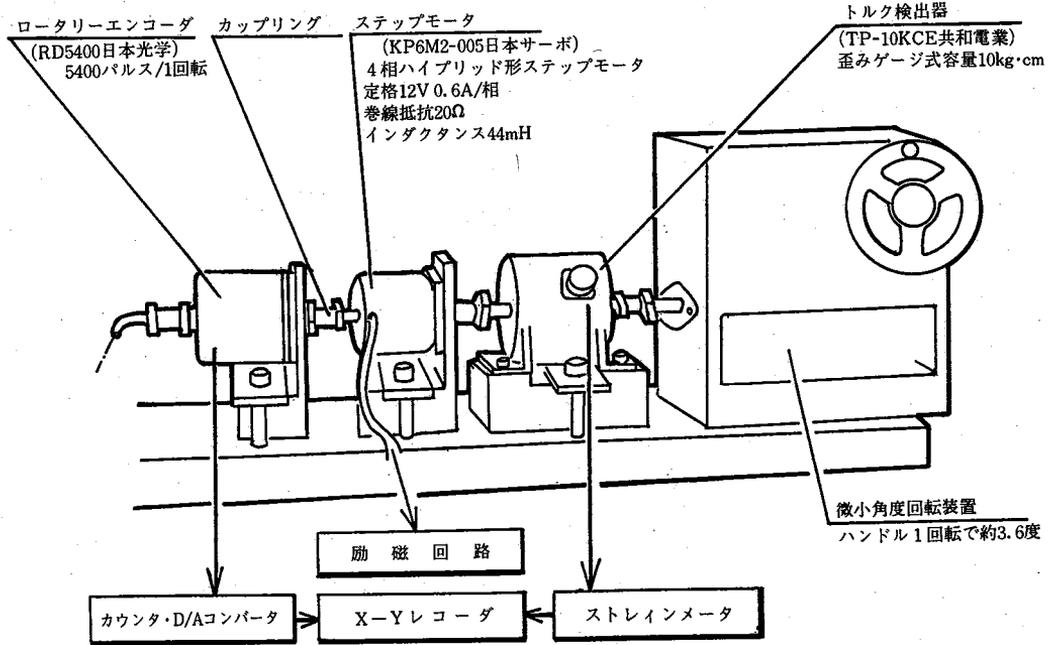


図2 実験に使用した静止トルク特性試験装置

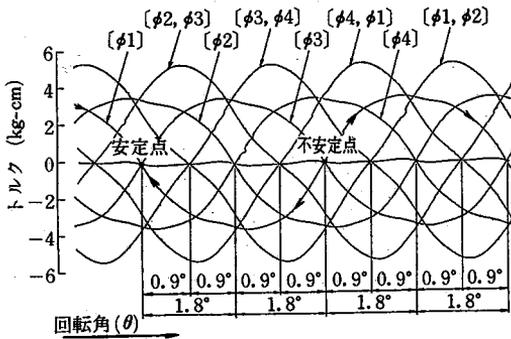


図3 静止トルク特性(1相および2相励磁)

は、1回転5,400パルスのロータリエンコーダを使用し、トルク T の検出には、歪みゲージ式で容量 $10 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ の検出器を使用した。微小角度回転装置はハンドル1回転でロータ軸を約 3.6 度回転させる。 T と θ の出力はXYレコーダにより、 T - θ 曲線として連続的に記録できる。各検出器とモータとの接続は、同軸度に注意して行う必要がある。

図3は図2の試験装置で測定した静止トルク特性の例である。1相励磁および2相励磁状態における全ての場合についての測定結果を示している。 T - θ 曲線で T はモータが発生するトルクであり、回転角 θ が増加する方向に働く場合を“正”とし、反対方向に働くトルクを“負”

としている。このようなトルクの方向の定め方は、モータの運動を解析するのに適している。

図4は1相励磁の場合の励磁電流に対する静止トルク特性の測定結果である。無励磁の場合のトルクは、モータ内部の永久磁石の働きによる無励磁保持トルクである。実験結果からPM形ステップモータの静止トルク特性曲線は、正弦曲線と無励磁保持トルクの和として近似できることがわかる。

4. 静止トルク測定の検討

励磁条件やモータおよびトルク検出器の種類を変えて測定すると、それらの組み合わせ方によっては図5(1相励磁の場合)や図6(2相励磁の場合)に示すように、静止トルク曲線が途中で大きく跳躍してしまい測定が不能となる場合がある。この測定不能範囲は、測定の回転方向に対しそれぞれ一定の位置に存在し再現性がある。この現象の考察結果を中心に、測定の注意事項について述べる。

4.1 トルク検出器のバネ定数について

モータの剛性に対し、トルク検出器のバネ定数 k が大きければ、トルク検出器の一端に回転装置により回転角 θ' を与えたとき、検出器内部でトルク T に対し $T = k\phi$ を満足する ϕ が発生する。したがってトルク検出器のもう一端は、 $\theta = \theta' - \phi$ を満足したロータの回転角 θ となる。図7-(1)に示すように θ は θ' についていくような

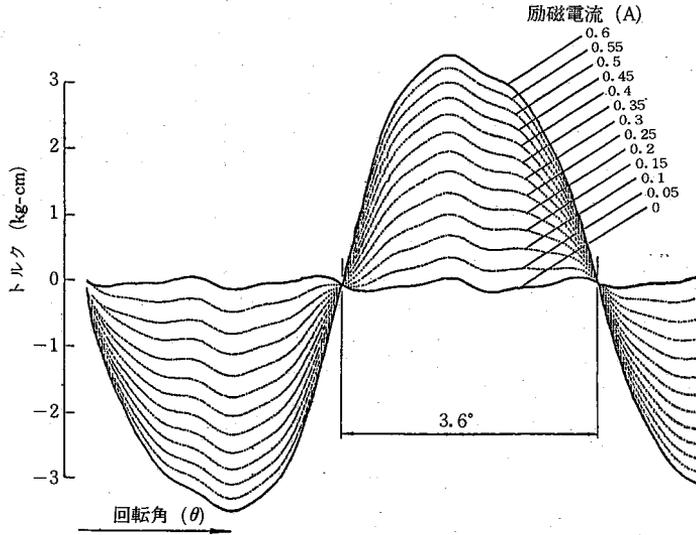


図4 励磁電流に対する静止トルク特性

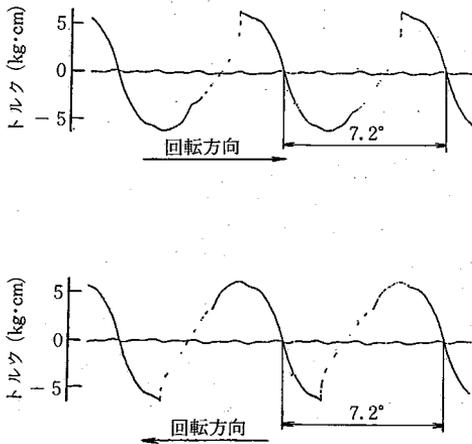


図5 1相励磁での跳躍例

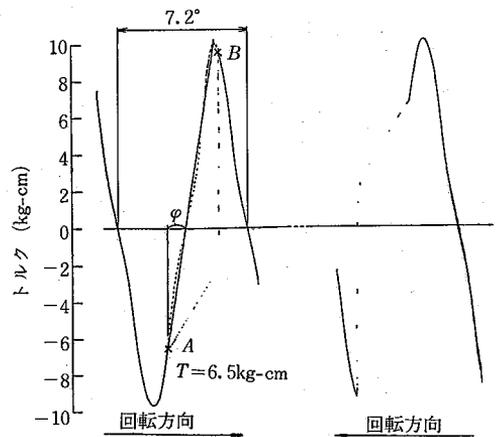


図6 2相励磁での跳躍例

位置関係が進み、不安定点ではトルクがゼロのため ϕ もゼロとなり、 $\theta = \theta'$ となる。不安定を過ぎると今までとは逆に θ は θ' に先行した状態で進む。この場合正確な静止トルク曲線が得られる。

しかし、バネ定数 k が小さいときは、(2)に示すように ϕ の変位量が大きくなる。c点では、つり合いの状態がくずれて不安定な状態になり、ロータはバネ定数を傾きとする直線とトルク曲線との交点、Dへと大きく跳躍してしまう。したがってこの範囲は測定不能領域となる。同様な考え方で、回転方向を逆にすると(3)に示すようにCからAへと跳躍する。両方向で測定すればA-B、C-D間の線図は一応得られるが、B-C間の測定はできない。

4.2 カップリングのバネ定数について

ステップモータとトルク検出器および回転装置との接続をするカップリングのバネ定数を k' とすると

$$T = (k \cdot k' / (k + k')) \cdot \phi$$

となるので、トルク検出器の実質的なバネ定数が低下する。4.1で述べた跳躍を起こさないためには十分に大きな剛性をもったカップリングを使用する必要がある。

4.3 微小角度回転装置のバックラッシュ

回転方向に対してトルクの働く向きは、不安定点、不安定点で反転する。微小角度回転装置にバックラッシュのある場合、図8に示すように、不安定点を通過したのちに小さな跳躍を起こし、この部分での測定結果は不正確となる。図9は2相励磁での小さな跳躍例である。測定

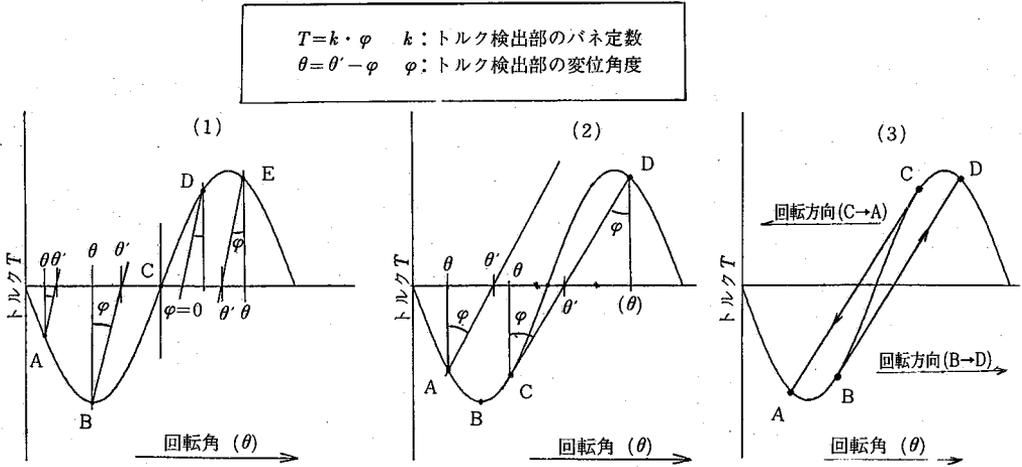


図7 トルク検出部のバネ定数の影響

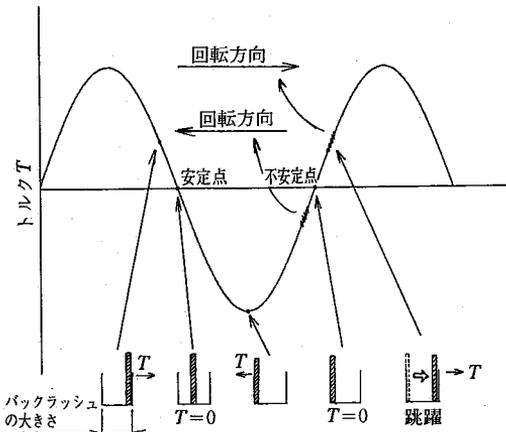


図8 回転装置のバックラッシュの影響

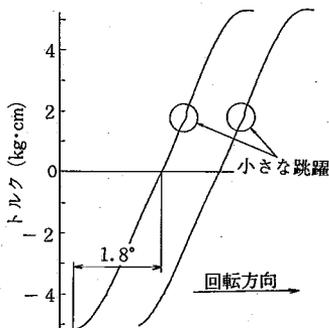


図9 2相励磁での小さな跳躍例

の回転方向を逆にするとはやり、不安定点を通過したのちに小さな跳躍を起こす。両方向の測定結果を重ねることによって全体の特性を得ることは可能であるが、回転装置のガタは極力小さくする必要がある。

4.4 測定回転方向の影響について

図10に示すように測定の回転方向と反対の向きにほ

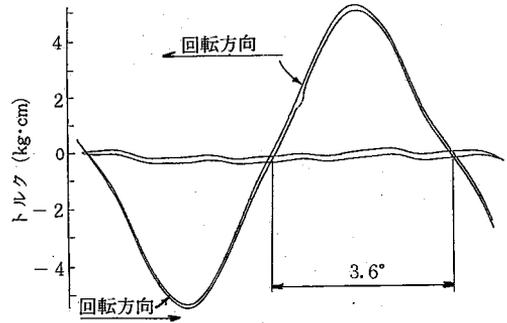


図10 回転方向によるヒステリシス例

ば一定の微小なトルクが観測された。この現象は着磁されていないモータの場合には起こらないことが確認されており、測定装置の機械的な摩擦はないことがわかる。したがって、ロータの永久磁石の影響によるヒステリシスによるものと推測できる。

5. ま と め

ステップモータの静止トルク特性を測定する場合の注意事項は、

- (1)トルク検出器の剛性は、測定対象の発生する剛性の大きさの最大値よりも大きくすること。
- (2)測定器の配置、特に回転角の検出器の位置に注意すること。
- (3)各ユニットの接続には十分に大きな剛性のあるカップリングを使用すること。
- (4)回転装置のバックラッシュは極力小さくすること。

などがあげられる。以上のことは、回転形のステップモータのみならず、リアステップモータでの静推力測定においても適用できる。(1983年11月19日受理)