

第1章 コギングトルクとは？

コギングトルクは永久磁石が鉄芯を引き付ける力により発生する回転角に対するトルクの脈動である。一般にトルク脈動は、コギングトルクとトルクリップルからなり、通電による電磁駆動力をトルクリップルと言い、通電のないものをコギングトルクと言う。コギングトルクをシャフトの回転の抑止力として利用することも考えられるが、一般的には起動電流を増大させ、回転時の振動、騒音の要因となるため、低減することを要求される。特にサーボモータで、は位置決め性能を阻害する大きな要因となる。

1. 1 永久磁石の吸引力

図 1.1(a)に最初の図例を示す。3 か所のティースを有する鉄心の中で、N 極が突出したマグネットが回転自在に装着されている。今 N 極は回転起点に位置するティースに引き付けられている。N 極をシャフト周りに矢印の方向に回そうとすれば、N 極はティースに引き付けられ最初の位置に戻ろうとする戻しトルクが発生する。それに逆らって 60° 回転させると進みトルクが発生し、 120° 隔てた次のティースに引き付けられる。つまり 1 回転範囲では 3 か所のティースに引き付けられる位置がある。その様子を横軸に回転角度、縦軸にトルクで表せば、図 1.1(b)のような 3 つの波形が観測される。この波形をコギングトルク波形と呼び、図示したトルク変動最大値をコギングトルクと呼ぶ。N 極は進みトルクが 0 になり戻しトルクに変化する①、②、③の位置で静止することがわかる。

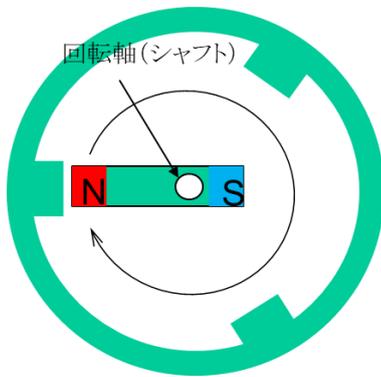


図 1.1(a) 3 山のコギングトルク図例

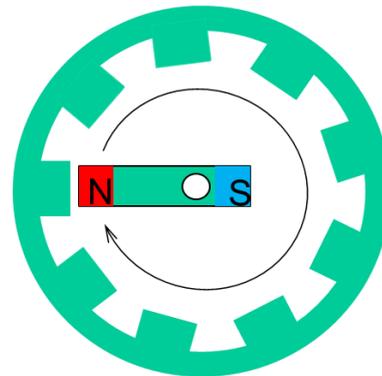


図 1.2(a) 9 山のコギングトルク図例

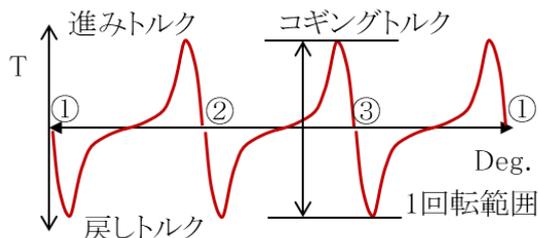


図 1.1(b) 3 山のコギングトルク波形例

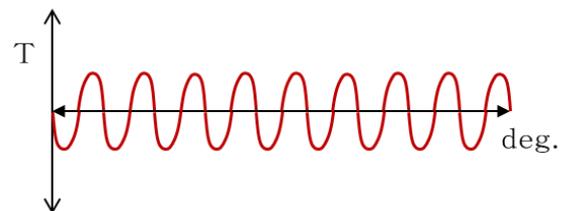


図 1.1(b) 9 山のコギングトルク波形例

同様に図 1.2(a)で示す 9 つのティースを持つ鉄心の場合、1 回転範囲では 9 か所のティースに引き付けられる位置があり、図 1.2(b)のような 9 つの波形が観測される。一般的にコギングの山数が多くなると、コギングトルクは小さくなる傾向がある。

1. 2 磁極の対称性

図 1.3(a)に次の図例を示す。3 か所のティースを有する鉄心の中で、NS 極が突出したマグネットが回転自在に装着されている。今 N 極は回転起点に位置するティースに引き付けられているが、それに逆らって 30° 回転させると、今度は S 極が 30° 先のティースに引き付けられる。磁石が鉄心に引き付けられる力は NS 極に差がないため、図 1.3(b)に示すように磁極を M で表せば理解が容易である。1 回転範囲では一方の磁極が 3 か所のティースに引き付けられる位置を有するとともに、もう一方の磁極も 3 か所のティースに引き付けられる位置を有する。図 1.3(b)に示された状態から発生するトルクの変化と、図 1.3(c)に示された状態から発生するトルクの変化は等しいため、その様子をコギングトルク波形で表せば、図 1.3(d)のような同じ形の 6 つの波形が観測される。つまり、3 つのティースと 2 つの磁極の最小公倍数である 6 山のコギングトルクが発生し、一方の磁極が 1 つのティースに引き付けられた同じ状態は 1 回転のうちに 6 回発生するため、6 山のコギングトルク波形は同じ形状となる。

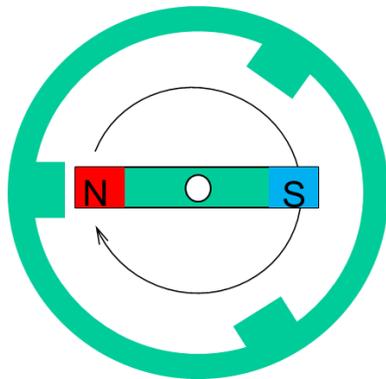


図 1.3(a) 6 山のコギングトルク図例

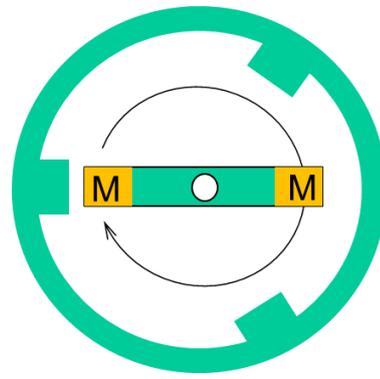


図 1.3(b) 6 山のコギングトルク図例

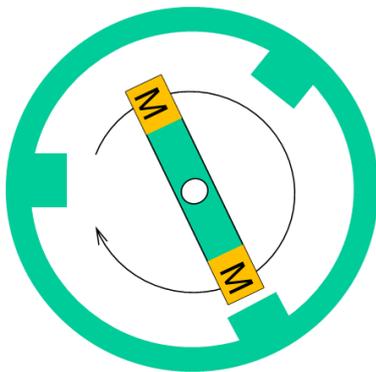


図 1.3(c) 6 山のコギングトルク図例

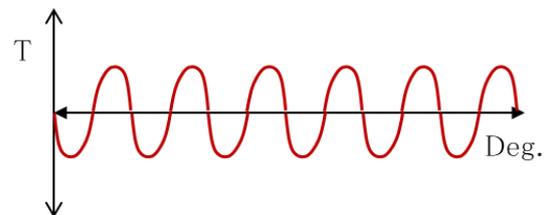


図 1.3(d) 6 山のコギントルク波形例

同様に図 1.4(a)で示す 9 つのティースを持つ鉄心の場合、1 回転範囲では一方の磁極が 9 か所のティースに引き付けられる位置を有するとともに、もう一方の磁極も 9 か所のティースに引き付けられる位置を有する。1 回転範囲では 18 か所のティースに引き付けられる位置があり、図 1.4(b)に示された状態から発生するトルクの変化と、図 1.4(c)に示された状態から発生するトルクの変化は等しいため、図 1.4(d)のような同じ形の 18 つの波形が観測される。つまり、9 つのティースと 2 つの磁極の最小公倍数である 18 山のCoggingトルクが発生し、いずれかの磁極が 1 つのティースに引き付けられた同じ状態は 1 回転のうちに 18 回発生するため、18 山のCoggingトルク波形は同じ形状となる。

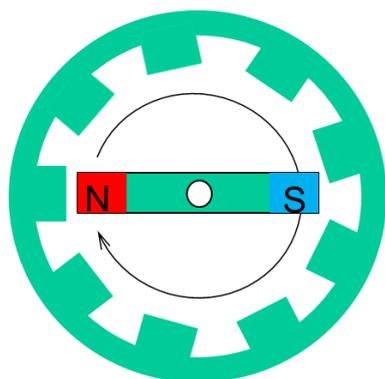


図 1.4(a) 18 山のCoggingトルク図例

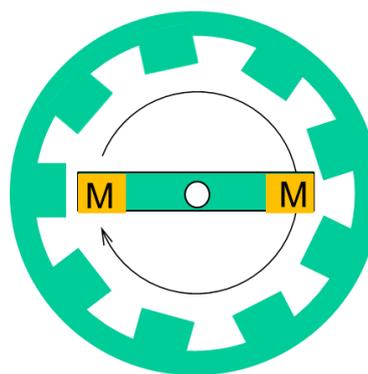


図 1.4(b) 18 山のCoggingトルク図例

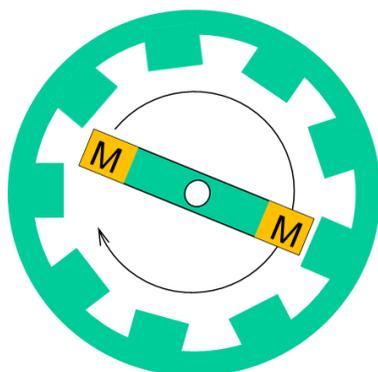


図 1.4(c) 18 山のCoggingトルク図例

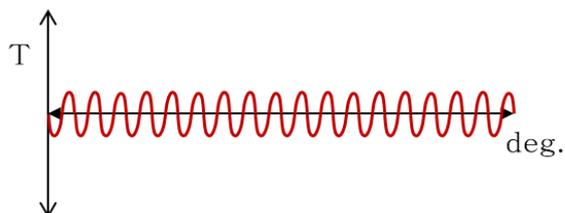


図 1.4(d) 18 山のCoggingトルク波形例

1. 3 最小公倍数の山数

同様に、図 1.5(a)で示す 9 つのティースを持つ鉄心の中で 8 つの磁極が装着された場合は、1 つの磁極が 9 か所のティースに引き付けられる位置を有するとともに、8 つの磁極が 9 か所のティースに引き付けられる位置を有する。図 1.5(a)に示された状態から 5° 回転した図 1.5(b)に示された状態には、それぞれ隣のティースと磁極とが引き付けられ、両者は同じ状態となる。この図例でも 8 と 9 の最小公倍数である 72 山のCoggingトルクが発生する。

図 1.6 に次の図例を示す。12 か所のティースを有する鉄心の中で、2 つの磁極が装着された場合には、1 つの磁極が 12 か所のティースに引き付けられる位置を有す

るとともに、他方の磁極も 12 か所のティースに引き付けられるものの、それが同じ位置で発生するため、コギングトルクは 12 山となる。図 1.7 に示す 12 か所のティースを有する鉄心の中で、4 つの磁極が装着された場合も同様であり、4 つの磁極が同じ位置でティースに引き付けられるため、コギングトルクは 12 山となる。12 山は図 1.6、図 1.7 の両者においても、ティースと磁極数の最小公倍数となっている。

以上、インナーロータの構造をもって説明してきたが、アウターロータやアキシヤルギャップモータにおいても同様に、ティースと磁極の最小公倍数の山数のコギングトルクが発生する。

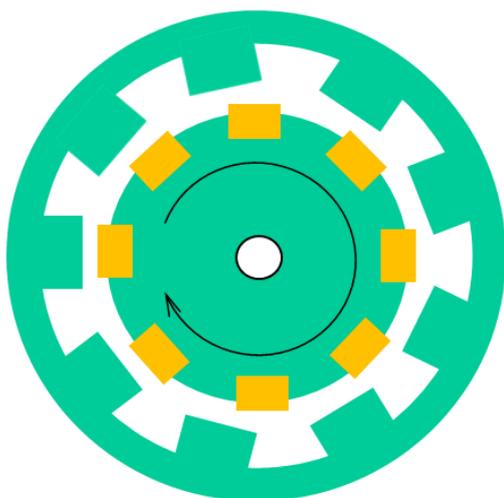


図 1.5(a) 72 山のコギングトルク図例

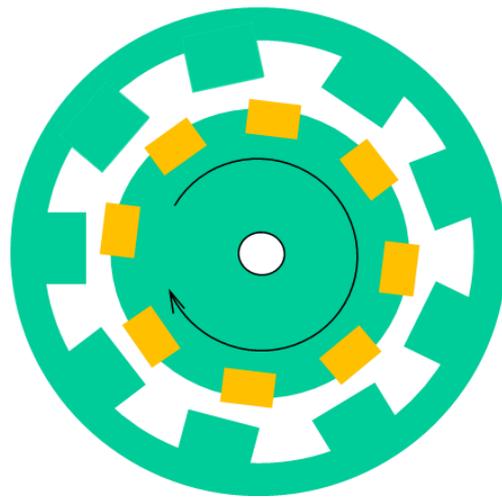


図 1.5(b) 72 山のコギングトルク図例

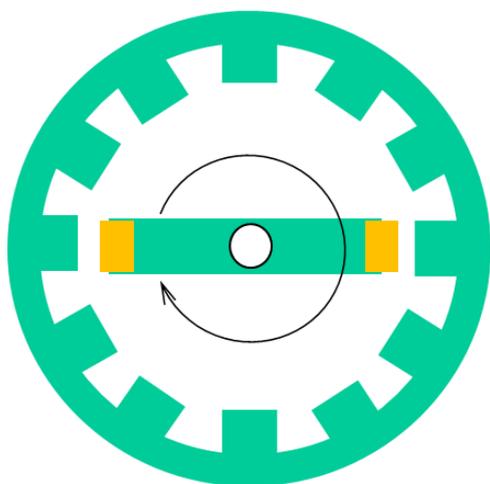


図 1.6 12 山のコギングトルク図例

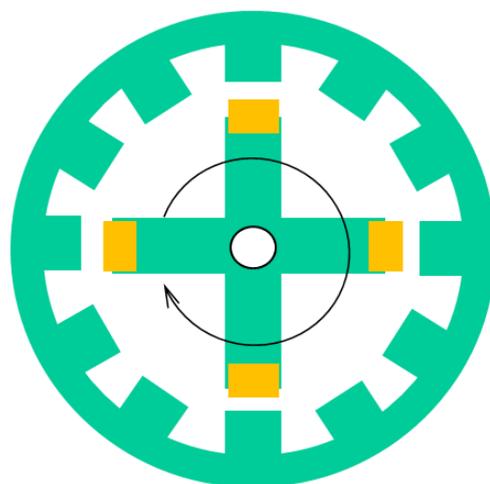


図 1.7 12 山のコギングトルク図例