

技術資料

トルク・モーター

吸排気システムのアクチュエータ用



## トルク・モーター

### 吸気システムのアクチュエータとしてのトルク・モーター

自動車の新しい性能と快適性は常に求められていますが、それに加え、環境適合性の増大と燃料消費削減への需要がこれまでになく高まっており、今日ではそれが自動車産業の発展を決定付けています。その結果、制御機器に対するニーズは増え続けています。制御を精密に実施するには、効率的なアクチュエータが不可欠です。このようなアプリケーション分野に向けて、ソンスボー・グループはトルク・モーターを開発しており、これらのモーターはトルクの特別な高さ、極限的な小型化、および排ガス規制アプリケーション向けの最適な制御性により、際立った存在となっています。

#### 1 はじめに

ソンスボー・グループはメカトロニック・システムに加え、革新的な電磁モーターおよび駆動装置を開発、製造、販売しています。親会社のソンスボーは、毎年2,500万アイテムを超える製品を次々と製造しています。この市場は拡大しており、電氣的調整が可能な自動車のエレメント数は絶えず増加しているのです。

ステッピング・モーターに加え、トルク・モーターがこの数年間で主要な販売アイテムになり、MMT (Moving Magnet Technologies) は、この駆動装置の技術基盤を開発しました。フランスのブサンソンにあるMMTは、ソンスボー・グループの100%子会社です。40名を超える従業員を有するこの研究センターは、主にエンジニアで構成されており、その売上高のほとんどをライセンス・ビジネスから得ています。また、トータルで200件を超える特許を保有しています。

## 2 自動車用電子駆動装置の新しい機能範囲

スイス・フランス語圏発祥のこの企業のマーケットは、自動車業界が排ガス規制分野への取り組みを増大していることを受けて、成長を続けています。規制により、煤煙、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、および炭化水素化合物の排出許容量はますます減少しています。2014年から発効予定のEuro 6基準は、さまざまな制御機構を使用して燃料、空気、排ガスを処理することを、自動車業界に課しています。

さらに、石油価格の一貫した上昇、およびCO<sub>2</sub>排出削減への流れを考慮し、エネルギー消費を最小化しようとする取り組みが増えています。これらの問題をすばやく正確に解決するために、ますます重要性を増している部位が電磁駆動装置です。これらの駆動装置は、快適で安全なソリューションとしても認知されてきました。その結果、今日、プレミアムクラスの自動車では、160を超える電子モーターが使用されています。とはいえ、環境問題に対するソリューションは、あらゆるサイズの自動車で使用されます。

## 3 トルク・モーター

特別な課題として、バルブとフラップの配置、特に給気エリアと排気除去エリアへの配置があります。これらのコンポーネントは通常、非常に過酷な条件で動作しなければならないので、性能、信頼性、力密度、および精度において、高い基準を満たす必要があります。ソンスポーは、このような課題に対応したトルク・モーターを開発し、2000年以降、1,500万ユニット以上を製造、毎年、数百万ユニットを製造していることとなります。

### 3.1 トルク・モーターの利点

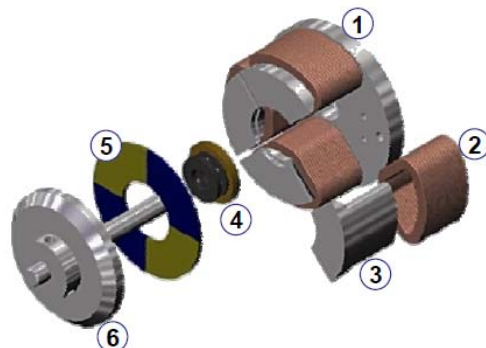
トルク対重量比が高いため、重量とサイズを最適化できます。また、ピーク対定格トルク比が高いため、トルク出力を短期間だけ最大化することができます。トルクは電流に比例して実現するので、従来の単純な手法で調整することができます。

- ・非常に低い保持トルクにより、最小のスプリング・リターンが使用可能となるので、保持電流が削減されます。
- ・直接駆動型の設計により、信頼性と寿命を高めることができます。
- ・ローターに永久磁石を使用し、非接触式センサーを内蔵できるので、完全なブラシレス・ソリューションを実現できます。
- ・駆動装置とコントローラ・エレクトロニクスを統合することにより、コンパクトで高性能な駆動システムを実現できます。

### 3.2 動作原理

図1：モーターの構造

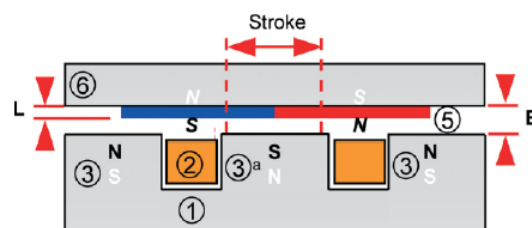
トルク・モーターでは、図1のローター⑤～⑥が75度の扇形上を移動します。ローターの磁石⑤と固定子の電磁石①～③の相互作用によりトルクが生成され、その方向は電磁石に供給される電流極性により決定します。したがって、どのポジションでも電流の調整により制御可能であり、ローター⑤～⑥は駆動装置のトルクと、アプリケーションの抵抗トルク（空気圧やスプリングなど）の合計が相殺される位置で停止します。



#### 3.2.1 リニア・モデルの動作原理

この動作原理は、図2のリニア・モデルで説明できます。このモデルでは、鉄などで作られた強磁性体の固定子が、ベース・プレート①から垂直に突き出ている（Eの形に並んだ3本の歯のような）3本のポール③を持っています。コイル②は、中央のポール③aに巻かれています。

図2：リニア・モデルの機能性



このコイルと強磁性体のポールで構成された複合構造の反対側には、強磁性体のヨーク⑥に固定された永久磁石⑤があり、狭い空隙（E）により分離されています。永久磁石と電磁石により生成されたそれぞれの場の相互作用により、力場が生じます。磁場は常に、両方の場の力線が同じ方向に走るように相互作用します。力線は空隙が最小となる箇所に収束するように、空中の最短経路が物理的に選択されます。このようにして、場は可能な限り強磁性体合金に集中します。この相互作用は、ローターと固定子にある磁石のN極とS極との引き合いに相当しますが、この作用は垂直方向と水平方向の成分で構成されています。垂直方向の力は、空隙を最小化するために固定子とローターが引き合うことから生じます。

この力は、ボールベアリング軸受④（図1）により平衡を保っています。固定子上にコイルを配列したことにより電流をローターに転送する必要はなく、これが2つある駆動装置全体の摩擦ロスの要因の1つになっています。この力により、電磁石の干渉場の消耗と電位が最小化されます。水平方向の力はローターを、永久磁石と電磁石の極が互いに引き合う位置に移動させます。この力が、単純化されたモデルである式（1）の直線力です。

$$\text{式 (1)} \quad F = 2 \cdot m \cdot B_r \cdot \frac{L}{E} \cdot Z \cdot n \cdot I$$

実際の回転アプリケーションでは、トルクは力と永久磁石の平均半径の積になります。

このリニア・モデルの動作範囲は、固定子③aの強磁性体ポールの幅に相当し、ポール幅全体より少し小さくなります。

### 3.2.2 モーターの動作原理

トルク・モーターでは、このリニア・モデルが垂直軸の周りを取り囲んでいます。固定子①-③では、4つの強磁性体ポール③にコイル②が巻かれています（図1と3）。これはリニア方式と類似していますが、各ポールは交互方向に巻かれています。このように交互に巻くことにより、電磁石でN-S-N-Sの極パターンが生成されます（電流極性が逆の場合はS-N-S-N）。ここでは「湾曲幅」が動作角（通常70~75度）を定義します。ローター⑤-⑥には、輪状にN-S-N-Sの順に変化する4つの極を持つ永久磁石ディスク⑤が付いています。この磁石は、機械的な組立てと磁束の誘導を目的としたヨーク⑥に取り付けられています。結果としてトルク・モーターのトルクを定義する式(2)が得られます。

$$\text{式 (2)} \quad T = 8 \cdot B_r \cdot \frac{L}{E} \cdot Z \cdot n \cdot I \cdot R_m$$

8という係数は、永久磁石極間の4回の磁気転移（ $m=4$ ）、つまりこの一次方程式で定義された力が4回作動することから導かれています。

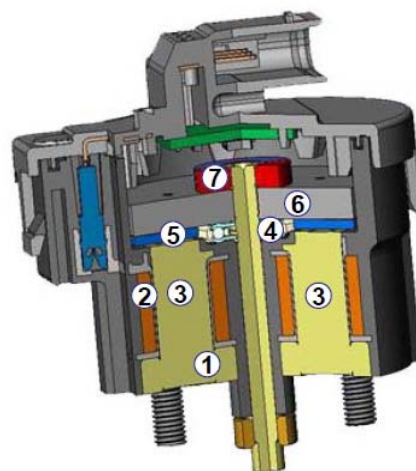


図3：モーターの断面図

図4：トルク・モーターの一般的なトルク対角度曲線式(2)は、制御電流とトルク間の直接的な比例関係を示しています。ここでは、永久磁石⑤の残留磁気が特に重要となります。希土類磁石、つまり磁気エネルギー密度の高い合金を用いることで、所定の製品寸法と重量に対してトルク・モーターの性能を最大化することができます。この内容が正しいのは、磁気飽和に達していない場合であり、これについては強磁性体の部品と磁気特性に依存します。磁気飽和は、トルクが電流に従ってこれ以上直線的に増加しない範囲を定義します。定格動作では、動作角に渡ってトルクは一定です（図4）。

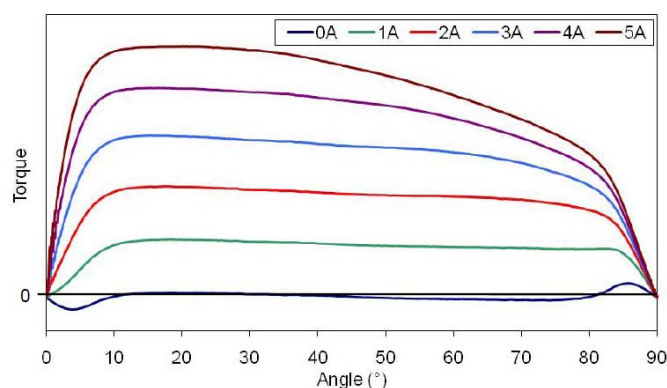


図4：トルク・モーターの一般的なトルク対角度曲線

ピーク対定格トルク比が大きければ、駆動装置の性能が高まります。また、各ストローク終端で電流のない残留トルクが発生するように特定の磁気回路パラメータを調整すれば、双安定動作を行う駆動装置を作成することも可能です。しかし、通常の設計では、電流のない状態では非常に低い残留トルクしか発生しないので、特にスプリング・リタールの力が最小化される結果となります。90度ごと、つまり動作範囲の外側に、安定位置と不安定位置が存在します。これらの位置が不安定な場合は、トルク勾配が正であり、永久磁石と電磁石の場が反対の方向に向いています。一方、安定している場合は、トルク勾配が負であり、それぞれの磁場は同じ方向に向いています。

### 3.3 アプリケーション特有の構造

トルクと電流が直線関係にあることにより、単純で正確な調整機構を設計することができます。実際の課題は、モーターをアプリケーションに特化して設計することであり、すでに述べた永久磁石⑤に加えて、ヨーク⑥、コイル②、磁気ポール③、ベース・プレート①、および空隙 (E) でモーターは構成されます。その結果として、トルク、形状、重量などの仕様を考慮に入れることができます。MMTは最適化された磁気設計により、アクチュエータを設計する基盤を築きました。基本的な物理原理に基づいて体系的に最適化することにより、残留磁気が特に重要な役割を果たす高いトルク密度を実現することができます。

表: トルク・モーター・シリーズの主要パラメータ

モーターの種類		4236	4246	4256	4276
ストローク角	度	75	75	75	75
応答時間	ms	100未満	100未満	100未満	100未満
センサー出力信号	V	0.5~4.5	0.5~4.5	0.5~4.5	0.5~4.5
動作温度	°C	-40~+150	-40~+150	-40~+150	-40~+150
トルク定数	mNm/A	80	120	220	100
抵抗	Ω	2.6	2.4	2.1	2.1
13.5V時のピーク・トルク	mNm	360	600	1400	560
重量	g	320	430	640	330

この最適化により、ギアなしのコンパクトな設計を可能とする、高いトルク密度のモーターを実現できます。この結果は、4種類の基本的なモーター・シリーズのデータとして表に示されています。

図5：センサーの構造

#### 4 センサーの統合

構造をできるだけコンパクトにするため、モーターには非接触磁気原理に基づいた内蔵型位置センサーが採用されています。実際の構造では、センサー（図5）は、ローターのヨーク⑥に取り付けられた永久磁石ディスク⑦に組み込まれています（図1と3）。



ホール効果ASIC⑨が、センサー・カバー内のプリント回路基盤に搭載されます。センサーの磁石に生じる磁気誘導（磁場）の方向が、ASICの水平面に位置するように設計されています。ASICはローターと共に回転し、両方の平面コンポーネントがホール効果ASICにより検知され、位置角が計算されます。その結果、センサーは磁気誘導により位置を電圧に変換します。電圧信号は、コントローラ内のA/Dコンバータによりサンプリングされます。コントローラは継続的に信号を規定の位置と比較し、パワーHブリッジによりトルク・モーターのコイルを駆動します。コントローラと駆動装置は12Vで動作し、センサーには5Vの電圧が必要となります。

#### 5 アプリケーション

コンパクトな非接触型設計による、センサーを内蔵したトルク・モーターは、排ガス制御システムなどに非常に適しています。この場合、過酷な環境に対する高度な耐久性に加え、熱と振動に対して極めて優れた耐久性が求められます。さらに、モーター全体をプラスチックで密閉することも可能です。この成型によるケーシングはコイルを封入し、熱の放散に役立ちます。また、過酷な環境から保護し、ローターのシャフトを支える機能も持っています。製造工程は完全に自動化された製造ラインで実施されるので、高い品質と費用対効果が保証されます。

製造のための特別なツールと工程の大部分は、ソンスポー自身が設計しました。この工程の最後には、完全に密閉された個々のモーターが組立てラインから出てくると、その機能が自動的にテストされます。こうして、ソンスポーの工場で製造されたトルク・モーターの数は、100万倍になっています。これらは排ガスの再循環バルブ、スロットル・フラップ、および可変ターボチャージャーなどを制御するために使用されます（写真6～9）。ソンスポーは、トルク・モーターには体系的な利点があり、自動車およびオートメーション・エンジニアリングにおいて電子駆動装置の数がかつてなく増加していることから、その数量と市場シェアが将来に渡って増え続けることを確信しています。



← 写真6：二重ポペット弁を備えた  
トルク・モーター（中量車両用）

→写真7：EGRバルブを備えた  
トルク・モーター（中量・重量車両用）



←写真8：ディーゼル・スロットル  
を備えたトルク・モーター（乗用車用）

→写真9：可変ターボチャージャ  
を備えたトルク・モーター（乗用車用）



著者

Dr. Marc-Olivier André  
Business Unit Manager Engine Controls  
marc-olivier.andre@sonceboz.com

人とくるまのテクノロジー展  
コンタクト

Dr. Richard ARLOT  
Asia Marketing Manager  
rarlot@movingmagnet.com