

# 電気モーター バルブ駆動装置

電気モーター式の  
連続可変バルブ  
アクチュエータの開発

Institut für  
Automatisierung  
und Informatik  
Wernigerode が  
ハルツ大学と協力

dSPACE のプロトタイ  
ピングシステム

ドイツの Institut für Automatisierung und Informatik Wernigerode (Institute of Automation and Informatics, IAI) は、数年にわたってハルツ大学と共に燃焼エンジンの吸排気バルブを操作するリニアアクチュエータの実用化について研究を行ってきました。この研究の結果、機械式可変バルブ駆動装置と電気機械式バルブ駆動装置のそれぞれの長所を兼ね備えた電気モーター式バルブ駆動装置が誕生しました。研究室での試験には dSPACE のプロトタイピングシステムが使用されました。

長年にわたって、自動車メーカーは吸排気バルブにおける可変制御タイミングと可変リフトの設計に取り組んできました。機械式の完全可変バルブ駆動装置を導入すると、バルブ制御のタイミングを調整することによってエンジンの燃焼効率が大幅に向上することが明らかになりました。燃費を低減して汚染物質の排出を抑制するだけでなく、給気量の変化により低速域でのエンジントルクを増大させることも可能です。マルチシリンダエンジンで完全可変バルブ制御を使用すると、個別のシリンダをオフにして、アクティブなシリンダを高い動作点で作動させることができるため、燃焼効率が向上します。パーシャルロード条件でのシリンダのスイッチオフと、バルブ制御タイミングとバルブリフトの変化を組み合わせることで、燃費を最大 16% まで削減できます。

## IAI のプロジェクト

IAI では、ハルツ大学と協力して、さまざまなリニアモーターコンセプトの実用化について研究しました。この研究には、連邦教育研究省が運営する InnoRegio プログラムの助成金が給付されました。その結果が可動磁石の原理に基づいたリニアアクチュエータであり、これは、高い動力性能、低い移動質量、低い電力要件、および小さい設置容積という特長を持ちます。このコンセプトによって、パーシャルバルブリフトとバルブクリアランスの電子的補正を両方とも実装することが可能になります。リニアアクチュエータは、機械式完全可変バルブ駆動装置と電気機械式バルブ駆動装置のそれぞれの長所を兼ね備えています。

- パーシャルバルブリフトによって、バルブギャップがシリンダ内の混合気の状態に良い影響を与えるよう制御されます（機械式の連続可変バルブ駆動装置）。
- 可変バルブのオーバーラップによって、高温の残留排気ガスを使用して混合気の温度を最適に保つことができます（電気機械式バルブ駆動装置）。

機械式の連続可変バルブ駆動装置に必要とされる精度と、現在普及している油圧式バルブクリアランスの補正は、現在ではいずれも電子制御によって実現されています。吸気バルブを可変式にすることにより、吸入される混合気の流量を制御することができます。言い換えれば、吸気バルブがスロットルバルブの役割を果たすということです。各バルブのオン/オフを個別に切り替えることができるため、パーシャルロード条件での給気量の変化によりエネルギー消費が削減され、シリンダの温度低下を防止することができます。

## アクチュエータ

バルブアクチュエータは、永久磁石が固定コイルの間を移動する特徴を持ちます。固定コイルに電流が流れると、鉄心に磁力線が形成されます。この磁力線は、永久磁石の一方の磁極を通る磁力線の方向と同じで、もう一方の磁極とは方向が反対になります。結果として生じる可変磁束が永久磁石に鉛直力を作用させます。電流の方向が逆転すると、力の方向も逆転します。バルブリフトは、アーマチュアに取り付けられた 2 つのスプリングと従来のバルブスプリングによって支持されます。有限要素計算で得られる力の曲線は強度の非線形性を示し、これがバルブ駆動装置に高い動力性能をもたらします。第一近似では、制御に関連する範囲の力の作用は、正弦曲線と線形の構成要素を加えることで表現することができます。これは基本要素をスタックすることによりプロセス条件に合わせて調整されます。アク



▲ バルブのテストベンチの基部は、量産用シリンダヘッドの一部です。バルブに作用する気体の力は、気圧によってシミュレートされます。

チュエータの外形寸法は設置スペースに適合します。結果として、設置した高さはカムシャフトベースのシステムよりも低くなります。

**制御**

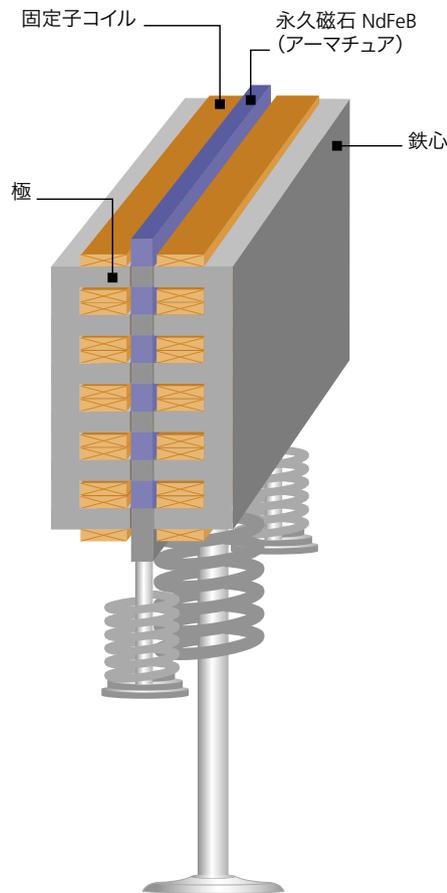
バルブ駆動装置の制御には、アナログ電流制御装置とデジタル位置制御装置で構成されるカスケード構造を選択しました。位置制御装置は、最初に MATLAB®/Simulink® に基づいて実装され、その後 dSPACE ハードウェアに移植されました。実際の制御装置に加えて、DS1103 PPC コントローラボードを使用して、さまざまなプロセス変数を測定し、さらに ControlDesk を使用してこれを視覚化しました。DS1103 はまた、バルブリフトの基準曲線を生成し、非線形分力を補正して、さらに高度な監視機能を実行します。20 kS/s (サンプル/秒) のサンプリングレートでは、6,000 rpm のエンジン回転数で約 2 度のクランクシャフト分解能をもち、すべての機能の計算に 50 μs が割り当てられます。したがって、移植するアルゴリズムの効率が非常に重要になります。現在、代替制御コンセプトを試験中です。以前にシミュレートした制御アルゴリズムを移植して、最初の実験用のサンプルを動作させただけで高い柔軟性が得られたため、これが時間を大幅に短縮できる手法であることが実証されました。DS1103 によるプロセスデータのキャプチャと、CalDesk を使った視覚化によって、すばやくデータを評価し、以前にシミュレートした構造と直接比較することができました。DS1103 の圧倒的な演算処理能力によって、複雑な制御アルゴリズムでさえも高いサンプリングレートでリアルタイムで処理することができます。

「DS1103 の圧倒的な演算処理能力のおかげで、複雑な制御アルゴリズムでも高いサンプリングレートでリアルタイムで処理することができます。」

Steffen Braune

12V の車両電気システムでのアクチュエータ操作の研究だけではなく、現在、バルブ当たりのハードウェア要件を半減するための研究も行っています。燃焼動作時のエンジンでの試験はまだ実行していません。

Steffen Braune  
Institut für Automatisierung und Informatik  
Wernigerode  
ドイツ



▲ 可動磁石の原理によって、小さな設置容積で大きな力が得られます。6 個の磁極を持つアクチュエータは、20 A/mm<sup>2</sup> の電流密度で 600 N 以上の力を発生します。

**用語解説**

**有限要素計算 -**

微分方程式の近似解を求める数値演算

**バルブ駆動装置 -**

燃焼エンジンの吸排気サイクルを制御します。

**バルブクリアランス -**

カムシャフトとバルブとの隙間を指します。これにより、温間時にバルブが膨張しても完全に閉じることができます。

**可動磁石の原理 -**

固定コイルによって永久磁石が移動します。