

技術論文

電動式可変バルブタイミングシステム開発

池田 憲治
Kenji Ikeda
久枝 雄介
Yusuke Hisaeda

西垣 篤史
Atsushi Nishigaki
田邊 滋弘
Shigehiro Tanabe

概要

世界的にカーボンニュートラルに向けた機運が高まる中、エンジンには更なる性能向上が求められる。そのため、VVT作動への要求は年々高くなってきており、この要求を達成するために、今回「マツダ CX-60」に採用されたアイシンとして初のVVT電動化に取り組んだ新製品「電動VVT」を開発したので紹介する。

1. はじめに

近年、環境保護の観点から世界的にカーボンニュートラルに向けた機運が高まり、自動車の燃費・排ガス規制の強化が進んでおり、クルマの電動化も加速している。我々の携わる「VVT (Variable Valve Timing : 連続位相可変動弁機構)」は、エンジンの回転数等の運転状況に合わせてバルブ開閉タイミングを調整することで最適なタイミングで吸排気を行い、エンジンの効率を高め、車両の燃費向上や排ガス低減に貢献する。

その作動への要求は年々高くなってきており、アイシンとしては油圧VVTを長く量産してきたが、世の中のニーズを捉え、高機能なVVTの電動化に新たに取り組むこととした。

2. 開発の狙い

現在、世の中で量産化されている電動VVTに対し、優位性を出すため、アイシン製の開発コンセプトを次の3つにおいた。

1つ目は、「高速・高応答で作動でき、極低温でも作動可能なこと」。これは、VVTの電動化のうれしさである、「油圧式では作動が難しかった油温が低い状態やエンジン回転数の低い状態（エンジン停止時やエンジン始動時）においても作動することができる」ことで様々な走行状態での燃費向上、排ガス低減やエンジン再始動時の振動低減に繋がると考えたためである。

2つ目は、「簡単な制御」。エンジン側ECUから位相指示がもらえればVVT側で位相制御を行うことで、電動VVTの後発メーカーとして参入していくため、カーメカへの開発負担を軽減し、採用のハードルを下げることを狙った。

そして3つ目は、「コンパクトな設計」である。前述のシステムをコンパクトに設計することで、搭載制約のあるエンジンルームに対し、様々なエンジンへの搭載を可能にすることを目指した。



図1 アイシン製電動VVT(モータ+変換部)

3. 電動VVTシステム

電動VVTはエンジンのカムシャフト端部に取り付けられ、タイミングチェーンを介してクランクシャフトの回転力をカムシャフトに伝え、同時に回転位相を連続的に可変する機能を持つ。

図3に電動VVTのシステム図を示す。VVT位相変換部（モータの力を減速させカムトルクに対し位相を変換する機構）とVVTの位相を制御するECU一体型のモータから構成される。

ECU一体型のモータは、エンジンECUから運転状況に応じた指示により、適切なモータ回転数になるよう制御し、位相変換部を介しクランクシャフトに対するカムシャフトの位相を下記のように制御する。

位相保持時は、モータの回転速=カムシャフト回転速

度となるように制御し、進角時はモータの回転速度をカムシャフト回転速度より早くする。逆に遅角時はモータ回転速度をカムシャフト回転速度よりも遅くする。

アイシン製の特徴としては、モータ制御ドライバをモータと一体にすることで、別体のVVT制御用ECUハードボックスの搭載が必要なく、エンジンECUから位相指示が来ればそれに合わせてVVTを制御可能なため、エンジンECU側の負担は軽減される。

また、ECU含むモータと位相変換部のシステムを社内にて開発/生産しているのもアイシンの特徴である。

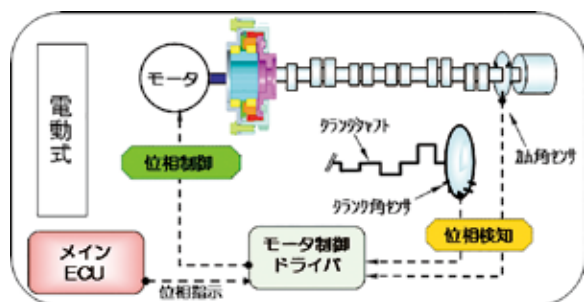


図2 電動VVTシステム構成

が出来、その結果開発目標であった温間での応答速度500℃A/s以上（エンジン回転数:1000rpm 油温:100℃）を達成することが可能となった。

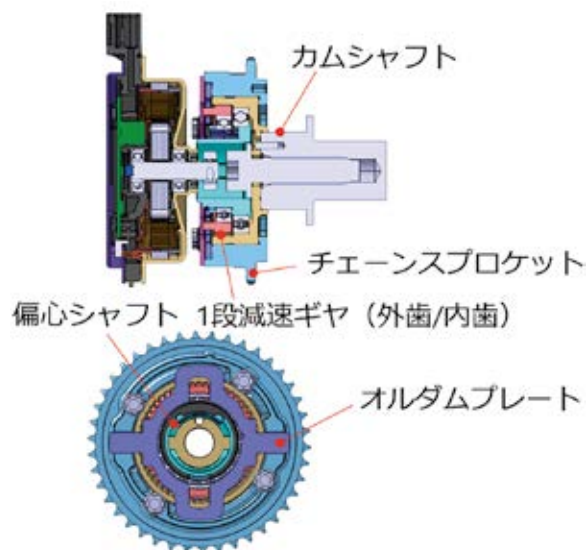


図3 電動VVT位相変換部

4. 電動VVTの本体(位相変換)機構

4.1 位相変換部

位相変換部は、モータの回転数に応じてカム位相を進角・遅角する役割を持つ。

減速機構にオルダム継手構造を採用することで小型・軽量を実現している一方、低減速な1段減速ギヤを採用することで高速化、搭載性と高応答性能を両立させている。

4.2 位相変換部の作動原理

VVTの基本性能である位相変換を行う機構である減速機の構成としては図3で示すように、モータの回転入力を位相変換部の中心にある、偏心シャフトに伝達し、その回転により外歯ギヤを内歯ギヤに対し偏心回転させることでモータのトルクを減速させ、カムシャフトのトルクに対し位相変換が可能となる。その際、外歯ギヤの自転運動を制限し、公転運動のみにすることでカムシャフト(内歯ギヤ一体)とチェーンプロケット(ハウジング一体)の相対位相動きに変換するのがオルダムプレートの役割である。

高速・高応答な作動の実現と、コンパクトな体格にするため、ギヤはハイポトロコイドギヤを選定し、設計の自由度を持たせることとした。また、出来るだけ低減速かつ低温でも作動可能なトルクの保持のため、減速比を53に設定した。

アイシン製の特徴であるオルダムプレートと1段減速ギヤの採用により、低減速/高効率なギヤ構成とすること

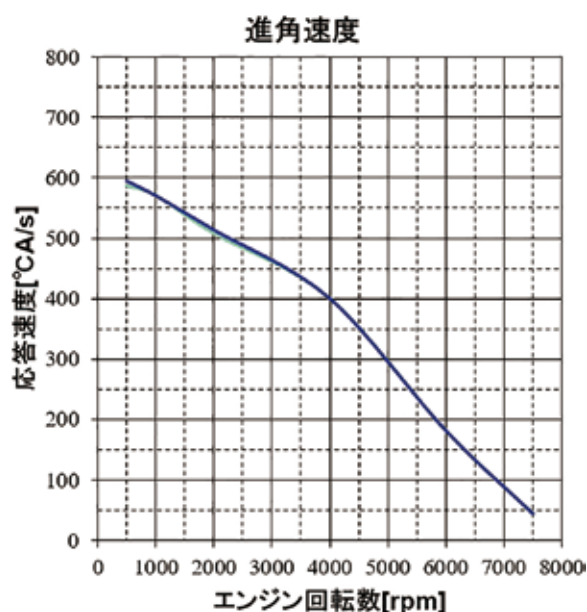


図4 温間応答速度

5. エンジン性能への影響

電動化のうれしさの1つは、エンジン停止時または極冷間時オイルの粘度が高い場合でも作動出来ることにあり、これによりエンジンの環境に左右されず、最適なバルブタイミングを選択することが出来る。

5.1 デコンプ位相での始動

始動時のVVT位相をレイトIVC下死点後90℃A以上にする事で、減圧始動が出来る。エンジンは空気と燃料を圧縮して混合気を作り、点火することで出力を得ている。IVCを遅角側にすることで、一度吸った空気を吐き出し、あえて空気の圧縮を抑える減圧を行っている。そうす

ること始動時のクランキング中の空気圧縮損失を減らすことが出来、EV走行中のエンジン再始動時、起動ショックを低減出来る。また、スタータおよびハイブリッドモータのクランキングによる必要トルクを減らすことも可能である。

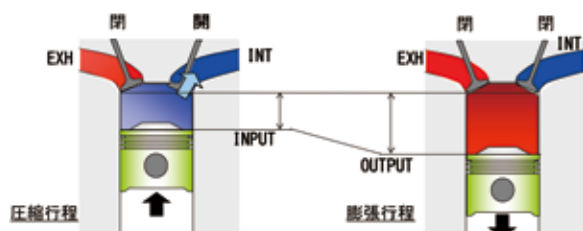


図5 吸気/排気行程

しかしながら、エンジン始動時および温間時においては有効だが、極冷間での着火時に減圧してしまうと筒内圧縮が高まらず燃料の霧化が促進されないため、失火してしまう恐れがある。

そのため、理想的な始動1圧縮目と着火時の最適なバルブタイミング位相は異なる。

図6に示すように従来の油圧式においては、着火性を重視し最遅角位置を着火位相に設定するか、もしくは中間ロックVVTのように最遅角位相はレイトIVCに置くが、始動時のロック位相を着火バルブタイミングに設定するという対応がとられてきた。

これに対し、電動VVTではエンジン停止時および極冷間始動時に作動可能なためロック機構を持たず、極冷間においても起動トルクが必要な1圧縮目はデコンプ位相に設定し、クランキング中にVVTの位相を進角させ、着火時には適切な圧縮の位相へ変更することが出来、双方のうれしさを両立することが可能となる。

	出力向上				冷間始動時HC低減				アイドル安定				燃費向上 起動ショック低減			
IVC (ABDC° CA)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
電動VVT																
中間ロックVVT																
コンベンショナル油圧VVT																

図6 ロック位相の違いと狙い

5.2 効果

図7に、アイシンにて実施した高応答を活かした使い方の実施例を示す。エンジン始動時、①VVTを最遅角に設定し、デコンプ位相にて負荷の高い1圧縮目を減圧しクランキング開始。②クランキング1圧縮目を過ぎた時点で電動VVTは初爆のタイミングまでに進角作動させることで圧縮圧を高め、燃焼温度を上昇させることで、燃焼中のHCを低減することが出来る。

従来の油圧VVTは低温での作動が困難なため、始動時から初爆までの間は着火性を優先しアイドル安定の位相にロックされている。

この動きの差により、油圧VVTに対しWLTCで約9.5%のHC低減が可能となる。

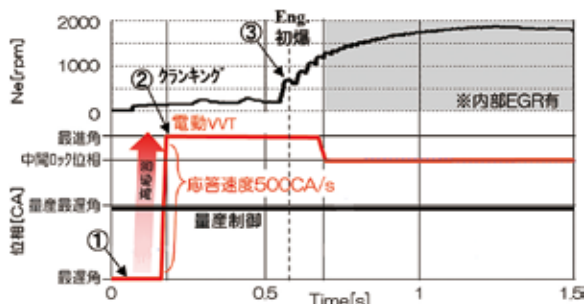


図7 電動VVT評価

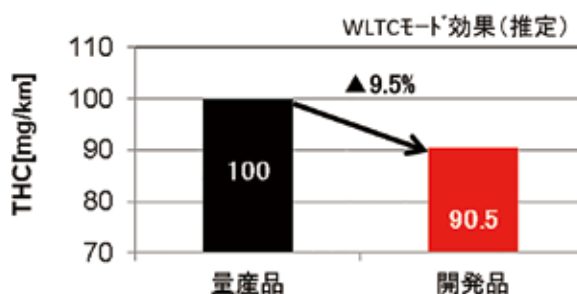


図8 HC低減効果

6. おわりに

アイシン初となる電動VVTを開発し、量産が開始され、次第に機種展開されている。

アイシン製の電動VVTの特徴としては、「高速・高応答」、「簡単な制御」、「コンパクトな設計」を目指し開発を行い、狙った性能により、従来の油圧VVTでは達成出来ない冷間始動時のデコンプ要求と燃焼要求を両立することが出来た。

これからも市場ニーズに応えるべく、品質を確保した製品の開発を進めていきたい。

最後に、いち早くアイシン電動VVTに興味を持って頂き、製品化に導いて頂きましたマツダ株式会社の皆様には深く感謝致します。

参考文献

- 1) 小林 昌樹 他: AISIN TECHNICAL REVIEW VOL.18 2014 P.9-13

筆 者



池田 憲治

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



西垣 篤史

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



久枝 雄介

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事



田邊 滋弘

PT電動アクチュエータ技術部
電動VVT開発に従事