



超低排出ガス実現のためのディーゼルエンジン制御の最適化

# Less Is More

いすゞ自動車は、有害排気ガスと燃料消費量を同時に削減するエンジンデバイスとして、電子油圧駆動可変動弁システムを開発しています。開発においては、日本国内の排気エミッション規制値を下まわることの1つの目標としています。プロトタイプコントローラは、極めて多数のバルブとアクチュエータに対処できる高い計算能力を有する必要があります。



**エミッション規制よりもさらに厳しい目標**  
 いすゞ自動車は AIST (独立行政法人産業技術総合研究所) とともに、2004～2008 年度にかけて NEDO (独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) が実施した「革新的次世代低公害車総合技術開発」プロジェクトに参画しました。このプロジェクトでは、日本国内のポスト新長期エミッション規制よりもさらに厳しい NO<sub>x</sub> (窒素酸化物) : 0.2 g/kWh と PM (固体粒子状物質) : 0.01 g/kWh を開発目標値とし、同時に燃費を現行基準から 10% 改善するという、非常に厳しい目標が設定されました (図 1)。

#### エンジンコンセプト： 油圧駆動カムレスバルブシステム

このような厳しい目標を達成するために、いすゞ自動車はエミッションと燃料消費量を同時に低減する将来ディーゼル機関コンセプトを開発しました。このコンセプトは、削減目標の達成に向けて最重要課題

となるエミッション (特に NO<sub>x</sub>) と燃費のトレードオフを改善するためのキーテクノロジーの一つとして、油圧駆動可変動弁 (カムレス) システムを採用しています。

#### システム仕様要件

本カムレスシステムでは、高压の作動油を供給することによりバルブを開き、作動油を排出することによりバルブを閉じます。このシステムでは、作動油の供給および排出のタイミングと供給量を制御することにより、吸排気弁を任意のタイミングとリフト量で開閉できます (図 2)。ただし、このようなシステムでは、作動油を供給および排出するために各バルブに 2 個のアクチュエータが必要となります。開発システムは大型の直列 6 気筒ディーゼルエンジンを対象とするため、計 24 個の吸排気弁を駆動するために 48 個のアクチュエータが必要となります。さらに燃料噴射系と空気系の制御を含めると、少なくとも 56 個のアクチュエータを駆動す

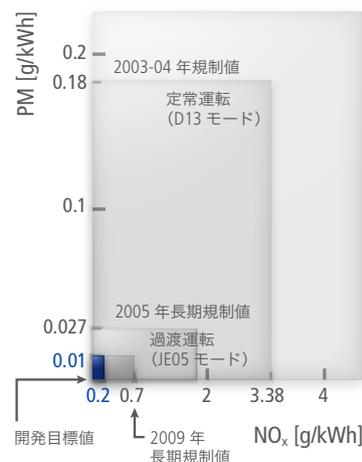
るドライバ能力が必要となり、また、コントローラとドライバには以下のような能力も要求されます。

- クランクアングルに同期して高速かつ精密にパルス出力が可能であること
- ドライブ電流のピーク/ホールド時間と電流値を制御可能であること

#### システム設計概要

計 56 個のアクチュエータを高い信頼性で制御するとともに柔軟なシステム変更を可能にするために、モジュラー方式の dSPACE ハードウェアおよび RapidPro に基づくラピッドコントロールプロトタイプリング (RCP) システムを採用しました。この制御システムは、コントローラとして 1 つのプロセッサボードを使用し、吸排気弁制御および空気系/燃料噴射系の制御に対して、Control Unit の TPU チャンネル数の制約から 3 つの RapidPro ユニットを使用しました (図 3)。

図 1 : 日本国内のエミッション規制



「今後、さらに高精度かつ多岐にわたる制御ロジックシステムを構築するに当たり、システムへの負荷は増加することが予想されますが、dSPACE 製品の拡張性・柔軟性の高さから、これらの課題に対しても問題無いと考えています」

株式会社いすゞ中央研究所、宇田川 氏

図 2：従来システム (左) と油圧駆動カムレスシステム (右) の吸排気バルブ機構概略図

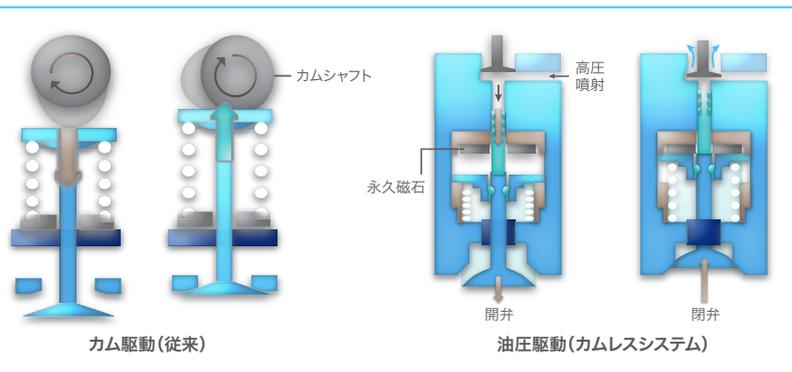
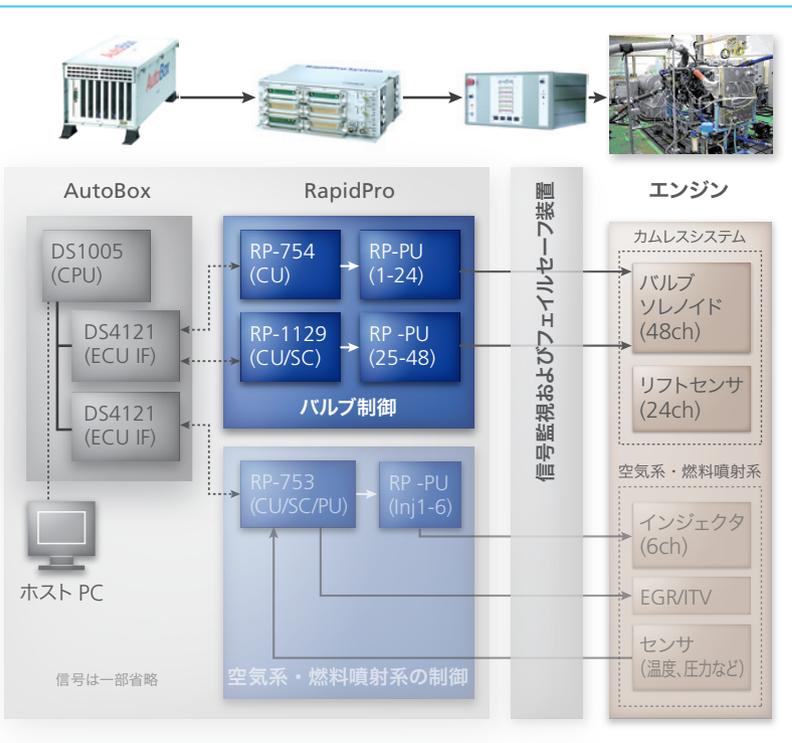


図 3：制御システム概略図



#### フェイルセーフ機構の必要性と対策

カムレスシステムの吸排気弁はピストンの位置に制約されずに動作可能であるため、制御異常や不適切な目標指示によっては吸排気弁とピストンが衝突し、エンジンに深刻なダメージを与える可能性があります。そのためフェイルセーフの観点から、エンジン保護のために制御ソフトウェアの品質を高め、制御異常の発生に備えた保護装置を設けることが絶対不可欠となります。

この結果、開発ツールには下記の基本要件が課せられます。

#### ■ 高精度の信号処理

高いサンプリングレートと I/O 性能をサポートする RCP システムの使用

#### ■ 制御異常時のエンジン保護

ソフトウェアによる異常監視機能とハードウェア的な保護装置の採用。具体的には、フェイルセーフ装置を Control Unit と Power Unit の間に挿入し、異常時に吸排気弁を強制的に閉じることによりエンジンを保護します。

#### ■ 制御ソフトウェアの信頼性の確保

実機エンジンを運転する前に、HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションを使用してカムレスエンジンをシミュレートし、ソフトウェア評価試験を実施します。さらに実機での動作検証を行うために、実機搭載時の制御システムと実際のカムレスシステムを用いて吸排気弁を駆動させ、リグ評価試験も実施します。

#### 課題に対する dSPACE 製品の役割、期待した内容

これまで説明したように、カムレスシステムのコントローラには高い性能と信頼性が求められます。その一方、このシステムは開発段階にあるため、頻繁なモデル変更やエンジン本体と補機類の仕様変更が発生し、それに応じてアクチュエータやセンサを追加してコントローラとドライバのハードウェア構成を変更する必要が生じます。このようなモデルおよびコントローラハードウェアの構成変更にも柔軟に対応するには、社内製のコントローラとドライバよりも、dSPACE 製品の柔軟性に期待をしました。

### 開発後の dSPACE 製品に対する評価

ハードウェア (DS1005、RapidPro) は信頼性が高く、演算性能の向上、I/O 仕様変更時に柔軟に対応することができます。また、ControlDesk などの開発ツールは、変数の可視化などを視覚的・感覚的に操作でき、初めて触る担当者でも違和感なく使い始められます。これらの開発ツールは、信頼性、操作性、柔軟性の点で高い次元でバランスしていると感じました。今回のカムレスエンジンの制御という、非常に多数のアクチュエータを高速・高精度に制御するという難しい課題に対して、dSPACE 製品は十分に答えてくれました。

### まとめと展望

多気筒エンジンによる定常運転試験により、同等の NO<sub>x</sub> 排出条件における燃費の改善効果が確認されました。さらに、過渡運転試験からは、安定したバルブ制御を実現するために次世代制御システムに向けた提案が得られました。次世代エンジンマネジメントには、これらのアイデアを採り入れつつあります。制御システムはマルチプロセッサ構成とし、モデルベース制御用に DS1005 および DS1006 プロセッサボードを採用しています。2 つのプロセッサは互いに Gigalink で接続され、拡張されたコントローラソフトウェアの開発に要求されるさらに強力な処理能力を提供します。■

株式会社いすゞ中央研究所  
北島 亮  
宇田川 菊太郎

「dSPACE RapidPro を使用することにより、ほとんどの信号の入出力に対応ができ、外付けのインターフェイス回路を設計、製作する時間と手間を省くことができました」

株式会社いすゞ中央研究所、北島 氏

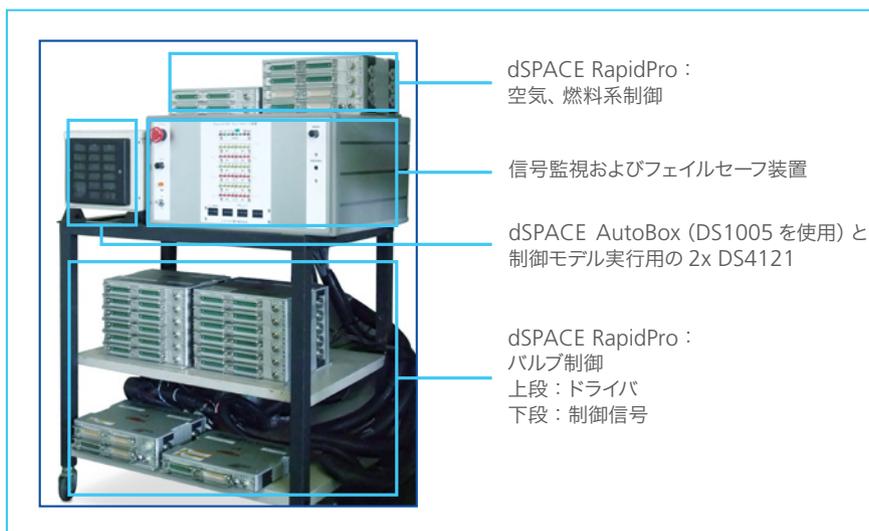


図 4：試験設備に設置された dSPACE ハードウェア。撮影のため、ハーネスを一部はずしています。

宇田川 菊太郎 氏  
株式会社いすゞ中央研究所  
エンジン研究第三部  
主任研究員



北島 亮 氏  
株式会社いすゞ中央研究所  
エンジン研究第一部  
主任研究員

