

feature article

環境対応エンジン制御システム

Engine Control Systems for Environmental Issues

大須賀 稔 Minoru Osuga

黛 拓也 Takuya Mayuzumi

角谷 啓 Hiromu Kakuya

これまで北米、欧州がリードしていた環境規制としての自動車に対するCO₂(燃費)・排気規制は、2010年以降、よりいっそう強化されるとともに、中国などのアジア諸国でも強化される。従来以上に低燃費・低排気の新システムによるエンジンの高効率化が、自動車のCO₂低減には必須となる。エンジン自体をより小型・高出力化してフリクション・重量を低減するダウンサイジングシステムや、動弁系を精密に制御してポンプ損失をゼロに近づけるシステム、さらにはアイドルストップシステムなどがエンジンの高効率化に有効であり、今後進展すると考えられる。日立グループは、これらの新システムに対応する制御システム、機器の開発を推進している。

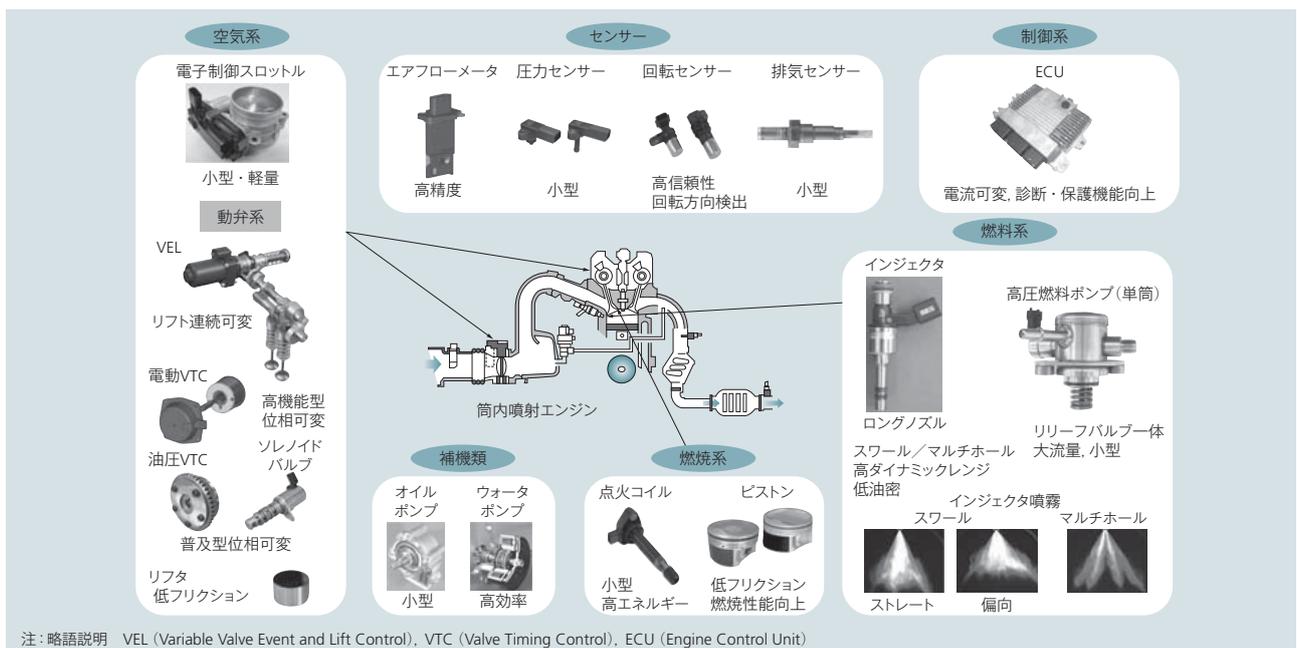
1. はじめに

CO₂、排気規制などの環境規制が強化される中で、日立グループは、今後のニーズに対応するエンジン制御システム、および種々の制御機器を提供している(図1参照)。今後のエンジン制御システムの動向を図2に示す。

排気量1Lクラスの小型エンジンを過給によって高出力化し、車載するダウンサイジング化が進展する。低フリクション・軽量であることから燃費向上が実現できる。

3Lクラスのエンジンでは、ポンプ損失低減を目的とし

た吸気弁リフトで空気量を制御するVEL (Variable Valve Event and Lift Control) システムが進展している。将来的には、低NO_xでリーン燃焼を実現するHCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) も開発中である。これらのエンジンはHEV (Hybrid Electric Vehicle: ハイブリッド電気自動車)への適応性も合わせて検討されている。ここでは、これらの環境対応エンジン制御システムへの日立グループの主な取り組みについて述べる。



注: 略語説明 VEL (Variable Valve Event and Lift Control), VTC (Valve Timing Control), ECU (Engine Control Unit)

図1 環境対応エンジン制御システムの主要製品

日立グループは、今後の環境規制に対応するエンジン制御システム、機器を提供している。主要製品は電子制御スロットル、動弁系から成る空気系、エアフローメータをはじめとするセンサー群、エンジン燃焼を左右する燃料、燃焼系、各種ポンプなどの補機類、そしてこれらの制御機器をコントロールするエンジンコントロールユニット (ECU) である。

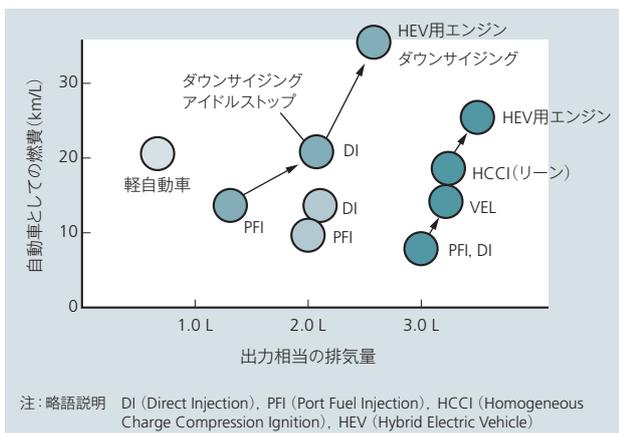


図2 環境対応エンジン制御システムの動向
 エンジンダウンサイジング化、アイドルストップ、VELが進展し、HEVエンジンへの適応も検討される。また、HCCIの新燃焼技術も開発されている。

2. エンジン制御システムの主要コンポーネントと制御

環境対応エンジン制御システムについて、日立グループが提供する主要コンポーネントと制御技術を表1に示す。

ダウンサイジングには高出力化できる過給筒内噴射 (DI: Direct Injection) システムが適している。燃料系として、過給DIの高出力化に対応した高ダイナミックレンジインジェクタ、高圧燃料ポンプとその駆動制御も合わせて提供する。

アイドルストップシステムについては、頻繁なスタート/ストップに対応する高耐久、静音スタータ、およびエンジンの停止/再始動制御が主要技術となる。また、吸気弁リフトと閉開タイミングを連続制御するVELシステムでは、高応答な動弁系と駆動制御を提供する。低NO_xのリーン燃焼を実現する圧縮自己着火によるHCCIシステム

表1 各種システムに対応する主要コンポーネントと制御技術

日立グループは、各種システムに対して主要コンポーネントと高精度制御技術を開発している。

システム	主要コンポーネント	システム制御
ダウンサイジング (過給DIシステム)	・高ダイナミックレンジインジェクタ ・高圧燃料ポンプ ・ECU (DI) ・高速応答エアフローメータ	・燃料圧力可変制御 ・多段噴射制御 ・高脈動吸気量検出 ・トルクベース制御
アイドルストップシステム	・高耐久、静音スタータ ・電動オイルポンプ (AT, CVT用) ・アイドルストップ用鉛バッテリー	・エンジン停止/再始動制御 ・エネルギー回生制御
VELシステム	・VEL ・高応答VTC	・VEL駆動制御 ・トルクベース制御
HCCI (リーン) システム	・DI燃料制御系 ・VEL ・高応答VTC	・運転モード切換制御 ・HCC燃焼制御 ・トルクベース制御

注：略語説明 AT (Automatic Transmission), CVT (Continuously Variable Transmission)

ムでは、自己着火を制御するDI燃料系と燃焼コントロール技術を開発している。さらに、過給、動弁、燃焼系を統合的に制御するため、エンジンをトルクで管理するトルクベース制御を開発した。以下に各システムについて述べ、VELについては本特集の別論文「環境対応のエンジン機器 (可変動弁システム)」で紹介する。

3. 筒内噴射エンジン制御システム

3.1 筒内噴射エンジン用高圧燃料系システム

筒内噴射エンジン用高圧燃料系システムを図3に示す。

主要素は燃料を高圧 (15 MPa) 圧送する高圧燃料ポンプ、燃料を筒内に噴射するインジェクタ、およびこれらを駆動するカスタムIC (Integrated Circuit) を組み込んだエンジンコントロールユニットである。インジェクタ、高圧ポンプの駆動では、特性を最大限に引き出すように駆動電

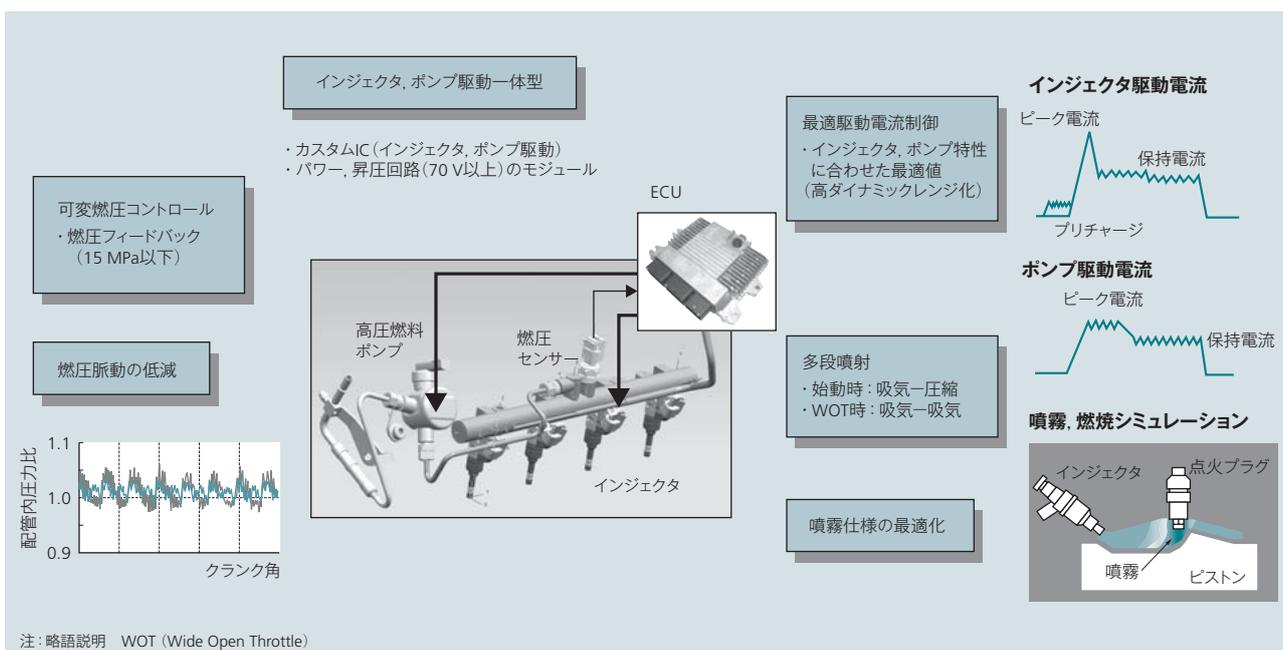


図3 筒内噴射エンジン用高圧燃料系システム

筒内噴射エンジンでは高圧 (15 MPa) の燃料を筒内 (シリンダ内) に直接噴射する。日立グループは、このための高圧燃料の制御機器と、その性能を最大限に引き出す駆動制御および駆動装置を提供している。

流を最適化し、過給DIにも適した高ダイナミックレンジな燃料噴射を実現している。さらに、始動時の低排気、全負荷時(WOT: Wide Open Throttle)の高トルクのため、1サイクルに複数回噴射する多段噴射も可能である。

燃焼系の設計技術も合わせて提供している。筒内に噴射する燃料噴霧の形状や特性を、日立グループ独自の燃焼シミュレーションを用いて決定している。さらに、燃料配管内の燃圧脈動を低減する燃料配管の仕様、高圧ポンプ制御も提供している。

3.2 エンジンコントロールユニット

DI用エンジンコントロールユニットを図4に示す。

インジェクタ、高圧ポンプの駆動波形(ピーク、保持電流)の設定値をマイコンからオンボードで変更可能とすることで、エンジンの運転状態に最適な駆動を実現している。また、駆動回路には高度な自己診断や自己保護機能を有し、駆動回路、インジェクタ、高圧ポンプ、ハーネスを含む筒内噴射システムの安全性を高めた。さらに、駆動回路の温度をモニタすることで、異常な発熱をした場合でも、エンストに至ることはなく、発熱を抑制した制御を行うことでフェイルセーフ性を向上させた。

マイコン負荷を最小にしつつこれらの特徴を実現するた

めに、電流制御、診断、保護機能および昇圧回路制御機能を一体化し、新ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を開発した。

3.3 トルクベース制御

今後のエンジン制御の基本となるトルクベース制御の構成を図5に示す。

トルクリクエスト部とトルクマネジメント部に分かれ、トルクパラメータを引き渡す。トルク決定の主なアクチュエータは電子制御スロットルであるが、このほかに点火コイル、動弁系[VEL, VTC(Valve Timing Control)], 過給機などがある。

トルクリクエスト部は、アクセル開度、スリップを解消するトラクション制御やクルーズ制御、変速ショック低減要求から総合的に目標トルクを計算する。

トルクマネジメント部は、目標トルクを実現するための各アクチュエータの指令値を演算する。

動的な応答については、電子制御スロットルに加え、点火時期操作などの応答の速いアクチュエータ操作で補い、目標トルクを実現している。

4. アイドルストップシステム

アイドルストップシステムの構成と燃費向上効果を図6に示す。

車両停止時のアイドリング運転を停止するアイドルストップシステムは、確実に燃費が向上し、他の燃費向上ア

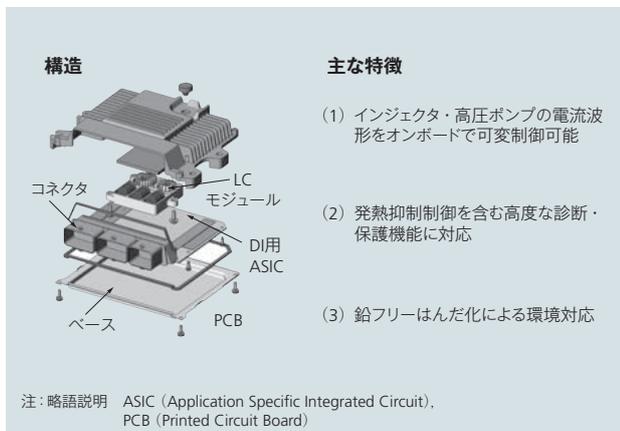


図4 筒内噴射用エンジンコントロールユニット
インジェクタ・高圧ポンプの電流波形をオンボードで可変制御し、運転条件に最適な電流波形を生成可能とした。

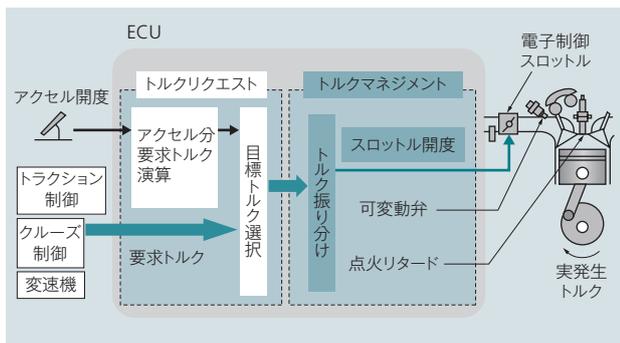


図5 トルクベース制御の基本構成
車両としての各エンジン出力要求を整理統合して、その瞬間の目標エンジン出力をトルクとして求め、目標トルクを実現するように各アクチュエータを駆動制御する。

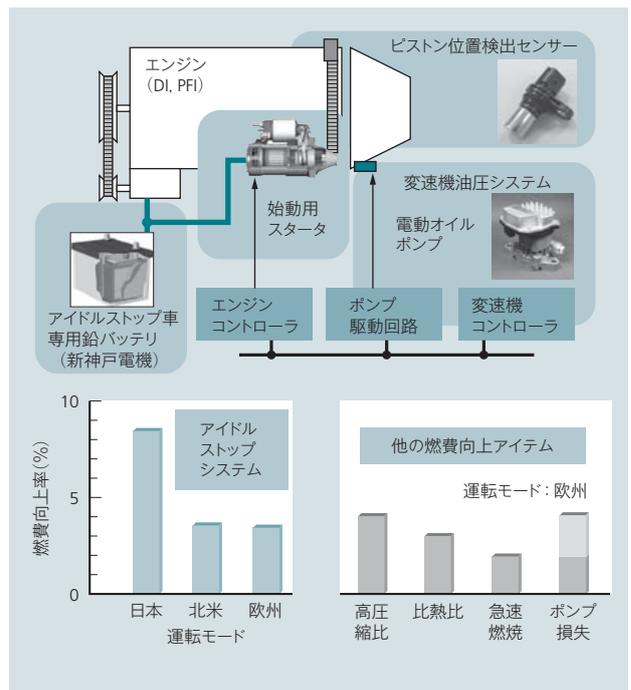


図6 アイドルストップシステム
アイドルストップは他の燃費向上アイテムに比べて効果が大きく、今後普及すると考えられる。

アイテムと同等以上の効果が期待できる。

キーポイントは、エンジンストップ後のスムーズかつ静かな再始動と発進である。エンジンストップ時に、ピストンを再始動しやすい位置に止め、その位置を再始動時に認識して制御することが必要となる。ピストン位置検出センサーとエンジンの負荷制御によって実現している。

スムーズな発進のため、停止中に変速機の油圧を確保する電動オイルポンプシステムを開発している。

エンジンのスタート/ストップを繰り返すため、エンジンの始動装置であるスタータの高耐久化、静音化が重要となる。日立グループは、スタータの摩耗部品の耐久性向上と独自の音振動解析技術を駆使した静音化対策も実施している。また、頻繁なスタータ駆動に対応し、電流の入出力が容易なアイドルストップ車専用鉛バッテリーも日立グループ内の新神戸電機株式会社が提供している。

5. ガソリンHCCIシステム

将来のエンジン新燃焼システムとして、燃費効果の大きいガソリンHCCIシステムを日立製作所日立研究所で開発している(図7参照)。

このシステムでは、通常の火花点火(SI: Spark Ignition)による燃焼/運転モードに自己着火(リーン燃焼)モードを組み合わせている。自己着火は燃焼温度が低いため、リーン燃焼で問題となるNO_xを大幅に削減できる。これにより、ポンプ損失の低減とリーン燃焼での高効率化が実現でき、CO₂低減の有力な候補となっている。

システムの主要素は、筒内の温度コントロールと、その最適な温度場に燃料を噴射する筒内噴射技術である。その

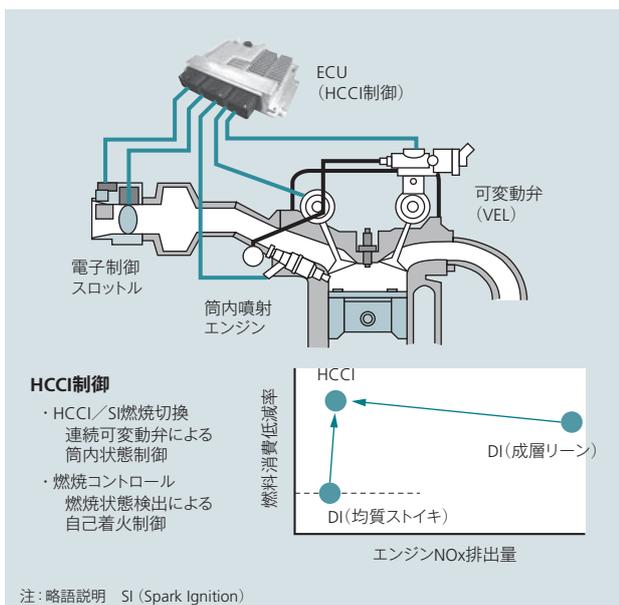


図7 ガソリンHCCIシステム

筒内噴射エンジン、VELをベースとしたガソリンHCCIシステムの概要を示す。低NO_xで燃費が向上できる。

ために、前述した動弁系 (VEL) により、空気と燃焼ガスを筒内に閉じ込めて温度を制御している。

HCCIを実現するには、連続可変動弁 (VEL) による運転モード切替と着火燃焼状態の検出・制御が必要になり、これらの制御と合わせて開発している。

6. おわりに

ここでは、日立グループにおける環境対応エンジン制御システムへの主な取り組みについて述べた。

制御機器の性能およびその制御技術が、燃費や排気に関するエンジン性能の進展に与える影響は大きい。エンジンの変遷、使用条件などを十分把握したうえで、それぞれのシステムに適した製品を提供していく。

参考文献

- 1) 大須賀, 外: 低燃費・低排気の筒内噴射エンジン制御システム, 日立評論, 86, 5, 356~361 (2004.5)
- 2) 石井, 外: 自動車におけるCO₂削減技術, 日立評論, 90, 5, 412~417 (2008.5)
- 3) 角谷, 外: ガソリンHCCI制御システムの開発 (第3報), 自動車技術会春季学術講演会前刷集, 294, 20075134 (2007.5)

執筆者紹介



大須賀 稔

1979年日立製作所入社, 日立オートモティブシステムズ株式会社 パワートレイン&電子事業部 制御システム設計部 所属
現在, 筒内噴射エンジンの制御システム開発に従事
日本機械学会会員, 自動車技術会会員



篠 拓也

1993年日立製作所入社, 日立オートモティブシステムズ株式会社 パワートレイン&電子事業部 ECU第一設計部 所属
現在, 筒内噴射用エンジンコントロールユニットの開発に従事



角谷 啓

2002年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第三研究部 所属
現在, 自動車エンジン制御システムの開発に従事
自動車技術会会員