

グローバル環境規制対応 エンジンマネジメントシステム

Engine Management System for Compliance with Different Environmental Standards

大須賀 稔

Osuga Minoru

市野澤 巖典

Ichinosawa Yoshinori

黛 拓也

Mayuzumi Takuya

自動車の環境規制が2020年に向けてグローバルに強化される。規制測定モードの世界的な統一、ガソリン車へのパーティキュレート規制強化、CO₂インセンティブなど環境は多様化している。

日立オートモティブシステムズ株式会社は、各種のニーズに対応するエンジンマネジメントシステムを開発している。CO₂低減システムとしては、エンジンダウンサイジング、高圧縮比化対応のエンジン制御システム、エンジンストップ時間を拡大するStop & Startシステムなどがある。システムを構成する燃料噴射系、可変動弁、スタータ、制御用コントローラの進化にも目覚ましいものがある。

1. はじめに

自動車のCO₂、排気に関する環境規制が2020年に向け

て強化される。規制値のレベル統一だけでなく規制測定モード、インセンティブなども統一される傾向にある。エンジンマネジメントシステムも新しい規制に対応するため、今までとは異なった条件、視点での開発が必要となる。

ここでは、グローバル環境規制に対応するエンジンマネジメントシステムの進化について述べる。

2. グローバル環境規制と対応システム

自動車のグローバル環境規制の動向とエンジンマネジメントシステム開発の取り組みを図1に示す。CO₂規制に関しては、これまでは欧州が牽（けん）引していたが、今後は北米でも同様に厳しくなる見通しである。日本、米国、

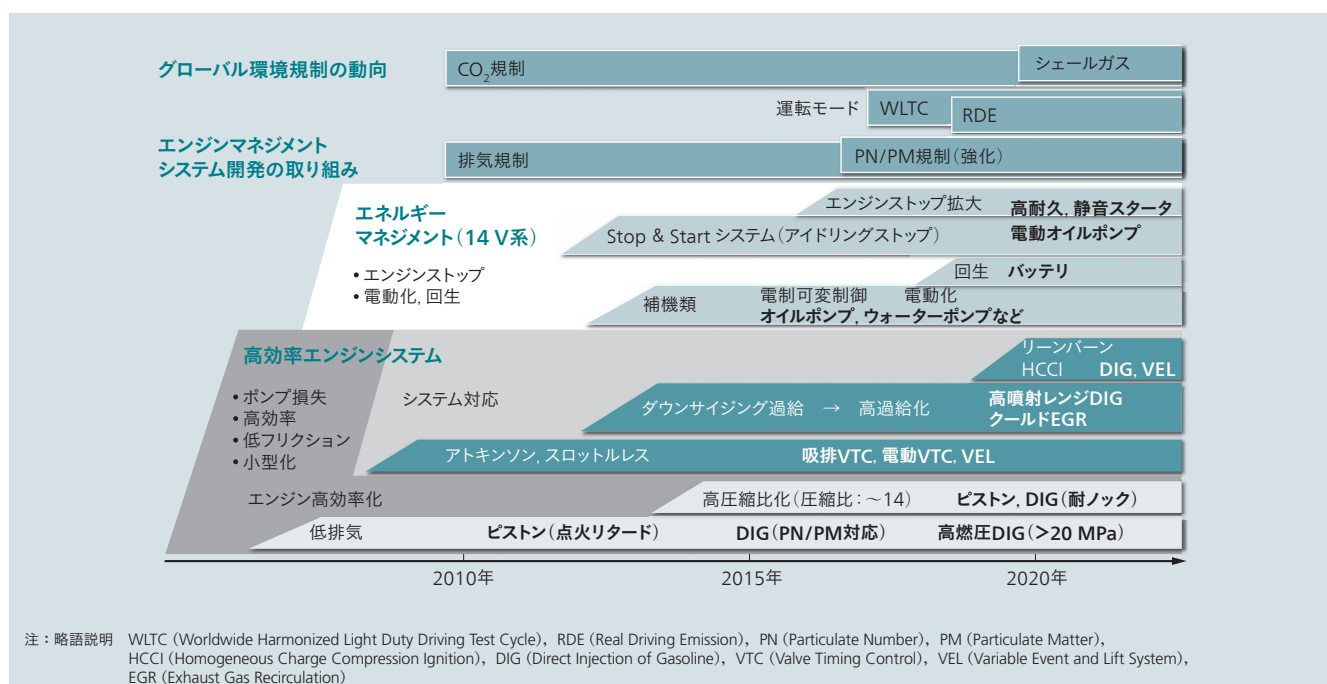


図1 | CO₂低減に向けたエンジンマネジメントシステム開発の取り組み

規制内容に加え、運転モード、インセンティブなどもグローバル化される傾向にある。PN/PM規制が強化され対応システム開発が急務となっている。日立グループは、CO₂低減に関する対応として、エンジン高効率化とエネルギーマネジメントを柱としたシステムの開発を進めている。

欧州で異なっていた規制運転モードの統一 (WLTC : Worldwide Harmonized Light Duty Driving Test Cycle), 実走行を模擬したモード (RDE : Real Driving Emission) も検討されている。さらに、2020年以降は、北米をはじめ世界各地においてシェールガスが産出され、CNG (Compressed Natural Gas) が浸透してくる可能性がある。

排気ではパーティキュレート (PN/PM : Particulate Number /Particulate Matter) 規制が厳しくなる。特に、欧州でのPN規制 (Euro 6c) が厳しく、世界を牽引している。DIG (Direct Injection of Gasoline) エンジンも対象となるため、こうした規制強化への対応が急務である。

エンジンマネジメントシステム開発の取り組みを同図に示す。日立オートモティブシステムズ株式会社は、高効率エンジンシステムとエネルギーマネジメントシステムを開発の柱としている。

このうち排気低減では、前述のとおり高効率DIGエンジンでのPN/PM対策が急務である。日立オートモティブシステムズは、高効率化のための高圧縮比化をピストン、DIGによる耐ノック性向上で実現したり、DIGをベースにしたエンジンダウンサイジングシステムとその高過給化技術の開発を行っている。これには、高過給化に対応した高噴射量レンジDIGや、耐ノックのクールドEGR (Exhaust Gas Recirculation) 制御技術がキーポイントとなるほか、将来のリーンバーン、HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) を見据えた開発も進めている。

一方、エネルギーマネジメントでは、補機フリクションを低減する各種ポンプの可変制御や、電動化を進めている。電動化に対応した減速時エネルギーのバッテリー回生も

併せて開発する。アイドリングストップが拡大しており、今後はエンジンストップ時間の拡大システムへ進展させる。

3. CO₂低減に向けたエンジンシステムの開発

次に、高効率化エンジンとエネルギーマネジメントのシステム開発について述べる。日立オートモティブシステムズは、高過給、高圧縮比化対応のDIGシステムを開発しており、PN/PM低減と耐ノック性向上が特徴である (図2参照)。前者は、1吸気行程中に最大5回燃料噴射する高応答多段噴射により、燃焼室内混合気を均質化することが狙いである。これには、高ダイナミックレンジインジェクタと駆動回路、制御 (ECU : Electronic Control Unit) がキー技術となる。また、低ペネトレーション噴霧、20 MPa (現状15 MPa) の高燃圧化と合わせて規制強化にも対応する。

耐ノック性を向上させるためには、クールドEGR、ピストン冷却システムを適用する。EGR導入による高脈動吸気量の計測を実現するため、逆流検知機能付きのシリコン式高応答エアフローメーターを用い、吸気管圧センサーと合わせてEGR率を高精度に計測する。また、こうしたEGR量の高精度制御は、高応答の電動VTC (Valve Timing Control), 電子スロットルで実現する。

加えて、EGR下での燃焼耐力向上のため、高エネルギーを実現する小型点火コイルを提供する。耐ノック性を向上するピストン冷却については、クーリングチャネル付きピストン、運転状態により冷却を制御する可変容量オイルポンプによって実現する。

続いて、エネルギーマネジメントシステムとしてのStop & Startシステムと電動化対応技術を図3に示す。CO₂排

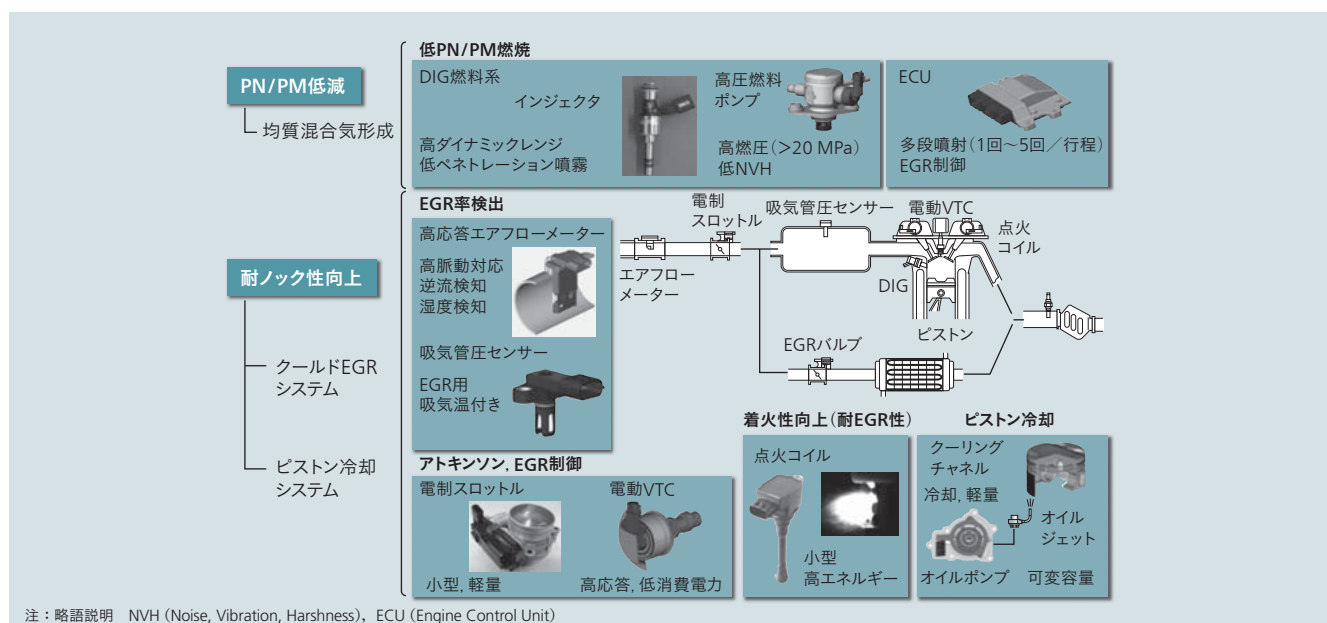


図2 | グローバル環境規制対応DIGシステム

PN/PM低減とダウンサイジングエンジンの高過給化、高圧縮比化対応の耐ノック技術を中心としたDIGシステムの概要を示す。

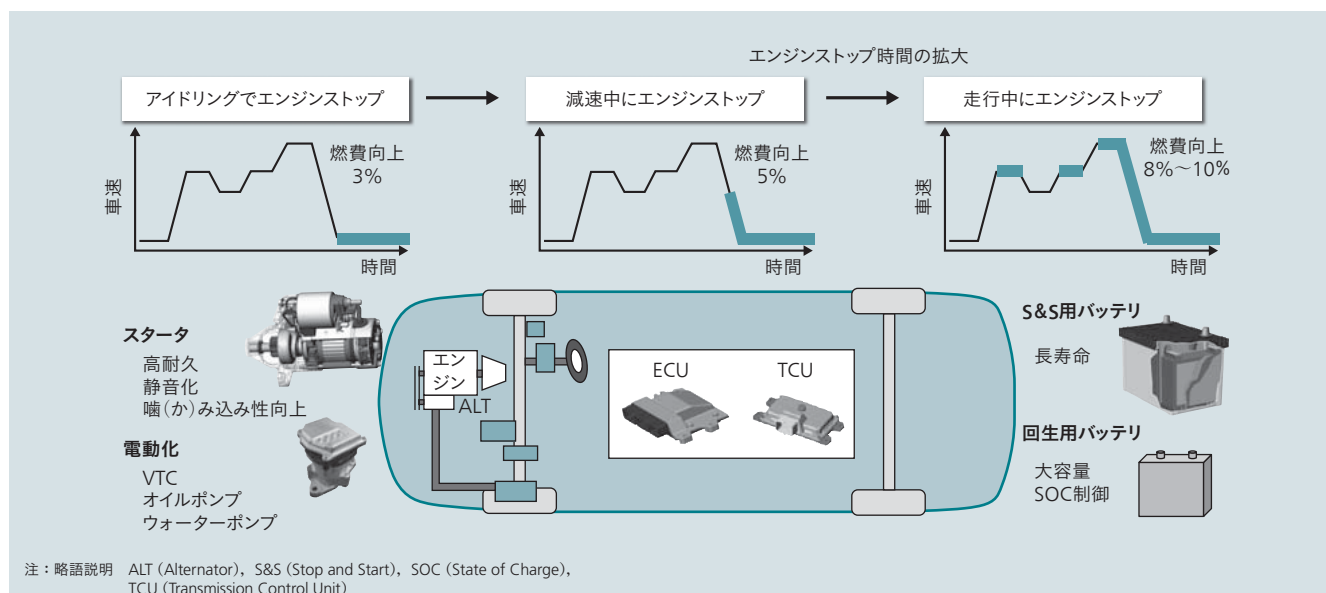


図3 | Stop & Start システムと電動化システム

Stop & Startシステムでは走行中を含めてエンジン停止時間を拡大する。制御機器の電動化、バッテリーマネジメントシステムと組み合わせて実走行でのCO₂も低減する。

出低減などを目的に、エンジンストップ時間を拡大するために、アイドリングストップから、減速中・走行中にエンジンをストップさせるシステムへと進化させる。またストップ後のエンジン再始動を違和感なく実現するために、高耐久、静音化、嚙（か）み込み性を向上したスタータを開発した。エンジンストップ時間の拡大に伴い、バッテリーマネジメントが必要となるが、日立オートモティブシステムズは、この課題に対応し、機器の電動化対応の回生用バッテリーシステムをSOC (State of Charge) 制御とともに開発している。

4. 次世代コンポーネントの開発

4.1 DIGインジェクタと駆動制御

次世代のキーコンポーネントであるDIG燃料系、電動VTC、Stop & Start用スタータについて述べる。

まず、PN/PM規制対応のDIGインジェクタとその効果を図4に示す。PN/PM低減の基本は、混合気の均質化と燃焼室壁面への燃料付着防止である。そこで、日立オートモティブシステムズは、マルチホール噴孔を改良し、噴霧を低ペネトレーション化した。低PN噴霧ではペネトレーションが大幅に低減しており、高均質噴霧が得られている。

次に、4気筒過給DIGエンジンを用いた欧州モードでのPN低減効果を同図に示す。混合気を均質化する高応答多段噴射と低PN噴霧を組み合わせることによって、PN規制 (Euro 6c) に対応することができる。同図中の混合気のシミュレーション結果は低PN噴霧の効果を示し、リッチ混合気が低減し均質となっており、PNを大幅に低減で

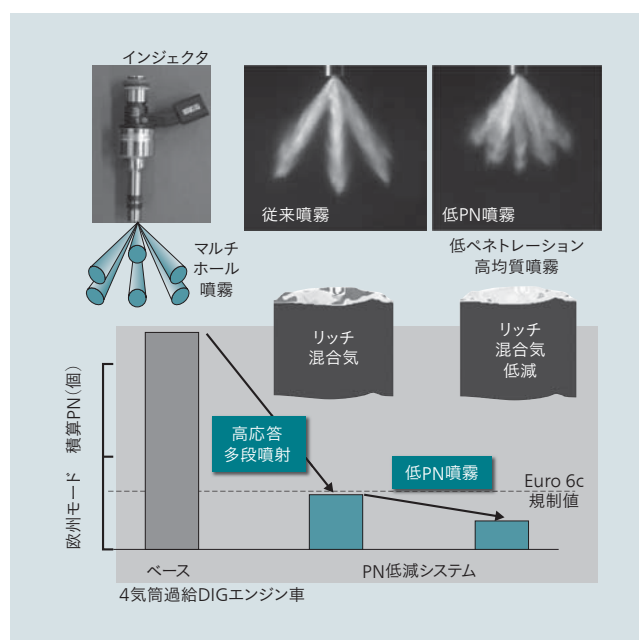


図4 | PN/PM規制対応DIGインジェクタとその効果

高応答多段噴射と低PN噴霧によるEuro 6c規制対応DIGシステムの概要を示す。

きる。

4.2 電動VTCの構造と動作特性

電動VTCは、ECUによる位相角制御指令により、駆動ユニットがモータを最適駆動する (図5参照)。DC (Direct Current) モータと減速機を一体化してカム軸に固定した構造になっており、モータ部分はカム軸と一緒に回転するため、カム軸回転追従動作が不要となる。VTC位相角変換時にだけモータ駆動するので、低消費電力、高応答が実現できる。この駆動負荷低減によって、低コストなブラッシュ付きモータの採用を可能にした。減速機構成部品は径方向配置とし、全長を短縮している。また、ローラを介し

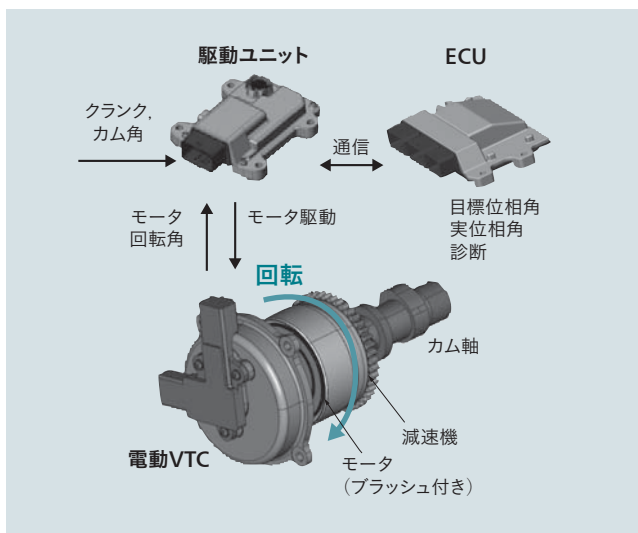


図5 | 電動VTCシステムの構成

モータ、減速機を一体化した小型電動VTCシステムの構成を示す。

てトルク伝達しており、高トルク低フリクション駆動を実現している。

この電動VTCの動作特性を、他方式と比較した結果を図6に示す。他方式では、モータはチェーンケースマウントに固定されているため、モータは位相変換駆動に加えてエンジン回転に同期する回転動作が必要となる。しかし、日立オートモティブシステムズの方式では、モータがカム軸に固定されているため、駆動は位相変換時だけになることで、低消費電力を実現できる。

4.3 Stop & Startシステムの再始動制御とスタータ

Stop & Startシステムの進化を図7に示す。従来のシス

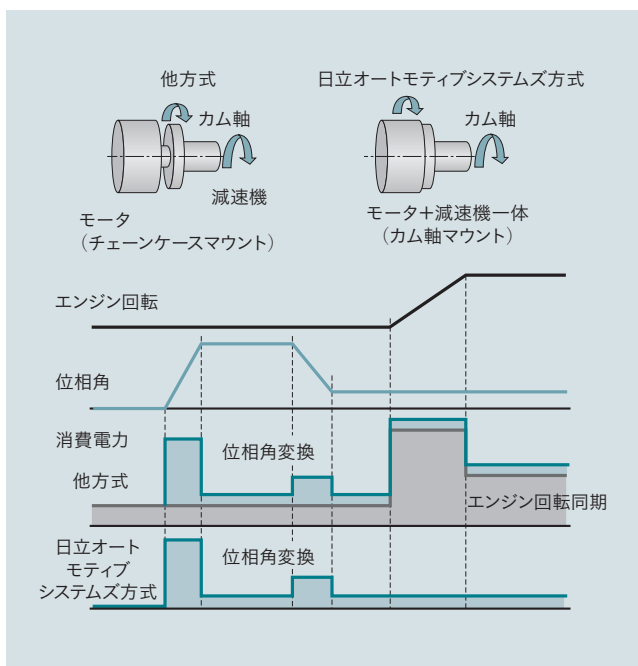


図6 | VTC駆動時の消費電力

他方式に比べVTC制御時の消費電力が低減できる。

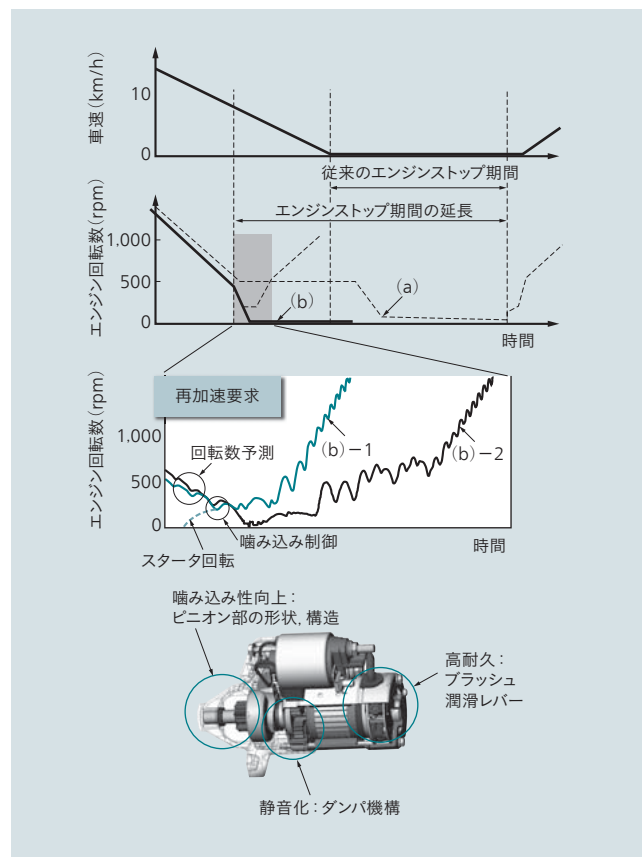


図7 | チェンジオブマインド対応のスタータと制御

エンジン回転予測、スタータ噛み込み制御とスタータ自体の改良により、スムーズなチェンジオブマインド対応を実現する。

テムでは、同図 (a) のように自動車が停車してからエンジンをストップさせていた。新しいシステムでは、同図 (b) のように、自動車の走行中にエンジンをストップさせる。ただし、走行中であることから、エンジンストップ直後のエンジン減速回転中に、運転者が再加速をしようとする場合がある（チェンジオブマインド）。このようなときでもエンジンを速やかに再始動するために、減速中のエンジン回転速度を予測し、スタータを素早く噛み込み制御するようにした。また、エンジンの燃料噴射、点火も、噛み込み後の1回目の爆発行程で確実に燃焼するように制御することで、同図 (b) -1 の特性のように、素早いエンジン回転数上昇が得られ、自動車はスムーズに再加速する。

スタータでは、ピニオン部の形状や構造を改良することで噛み込み性を向上させ、ブラッシュ改良、潤滑レバー採用によって駆動回数増加に対応し、耐久性を向上させた。このほか、内部の振動部分にダンパ機構を設け、エンジン始動時のスタータ音（クランキング音）を大幅に低減している。

5. 制御用コントローラの進化

次世代エンジンマネジメントシステム（DIG）に対応するECUの進化技術と、Euro 6c規制対応のDIG多段噴射

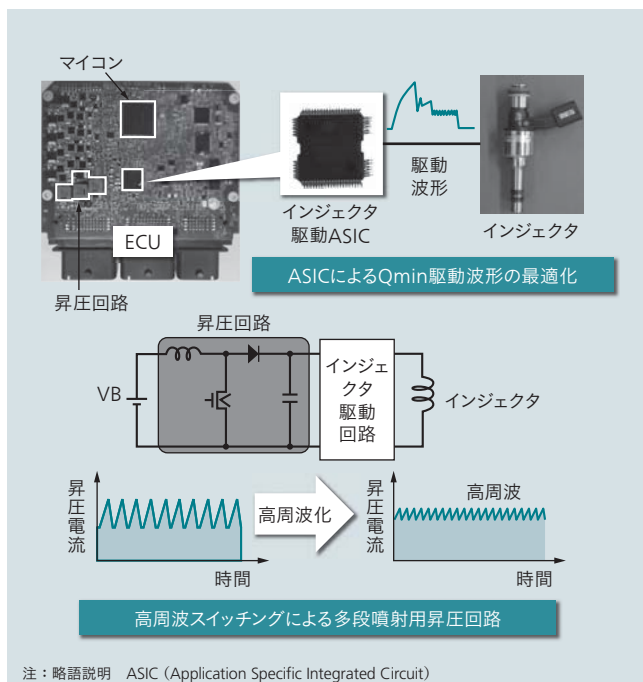


図8 | インジェクタ駆動，多段噴射制御対応

新ASICによって最小噴射量（Qmin）を低減し，高効率昇圧回路によって高応答多段噴射を実現する。

機能を図8に示す。多段噴射ではインジェクタを高速，短パルスで駆動する必要がある，新開発の駆動ASIC（Application Specific Integrated Circuit）により，駆動波形を精密制御している。この短パルス多段噴射を実現するために，噴射回数，燃料圧力に応じてインジェクタ弁のリフト挙動を制御している〔低Qmin（最小噴射量）駆動〕。これにより，インジェクタ自体の応答性向上と合わせて，高応答多段噴射が可能となる。

一方，DIGインジェクタでは，駆動電圧を昇圧（60 V）しているが，多段噴射ではこの昇圧時間の短縮が必要となる。そこで次世代ECUでは，高周波スイッチングにより，高応答，高効率の小型昇圧回路を実現した。このようなECU技術によって，1吸気行程に最大5回の高応答多段噴射が可能になった。

エンジンシステムの高度化には，高機能センシング対応の信号処理技術が求められる。イオン電流，ノックセンサー（ノイズ対応），将来的には筒内圧センサーなどの信号も高度処理する必要があるため，日立グループは，高速アナログ信号処理回路によるマルチ信号処理技術を開発した（図9参照）。新マイコンでは，CPU（Central Processing Unit）負荷を増大することなく複数の信号処理を実現するため，高速A/D（Analog/Digital）変換とデジタルフィルタ機能を追加し，A/D変換速度を高速化した。デジタルフィルタではウィンドウ，タイミングの設定自由度が向上し，所望の信号処理が可能となった。

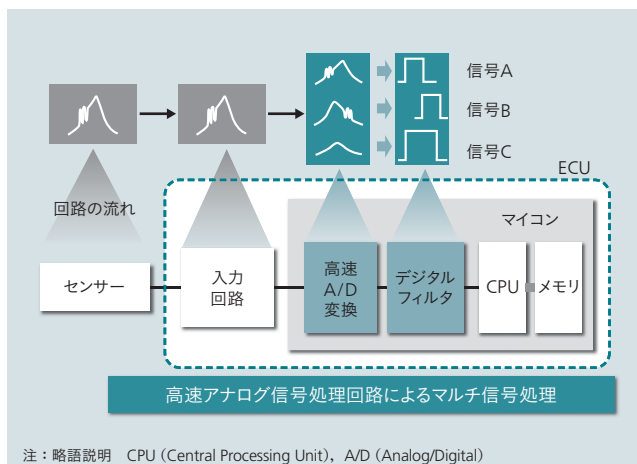


図9 | 高機能センシング対応のマルチ信号処理

次世代エンジンマネジメントシステムでのセンシング高度化に対応するマルチ信号処理を実現する。

こうしたECUの進化により，アクチュエータ高速駆動，センシング高機能化が可能となり，エンジンシステムの高性能化が実現できる。

6. おわりに

今後のグローバル環境規制に対応する，次世代エンジンマネジメントシステム開発について述べた。

日立オートモティブシステムズは，コンポーネント，制御技術を併せて進化させることにより，高度な環境対応システムを提供する。

参考文献など

- 1) 大須賀，外：環境対応エンジン制御システム，日立評論，91，10，760～763（2009.10）
- 2) 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）

執筆者紹介



大須賀 稔

1997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 電子設計本部 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



市野澤 巖典

1985年厚木自動車部品株式会社入社，日立オートモティブシステムズ株式会社 エンジン機構事業部 設計本部 エンジン機構設計部 所属
現在，可変動弁システムの開発に従事
自動車技術会会員



黨 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 電子設計本部 ECU設計部 所属
現在，筒内噴射用エンジンコントローラ開発に従事
自動車技術会会員