

7. エンジンシステム部門

7.1 ガソリンエンジンの技術動向

7.1.1 ガソリンエンジン技術のこの 10 年

世界の乗用車の年間販売台数はリーマンショックでの落ち込みはあったものの、この10年で約45%増加した。中国はリーマンショックによる落ち込みもなくこの10年で北米、西欧を抜いて世界最大の自動車市場を形成し、インドや東南アジアでも販売台数が大幅に増加したが、欧州および日本はリーマンショック以前のレベルまで戻っていない⁽¹⁾。図1に、世界主要地域におけるLight Duty Vehicle (LDV)用各パワートレイン生産台数の推移を示す。ハイブリッドの普及が早くから始まるとともに、その比率が年々増加している日本、ディーゼルの普及比率が高い欧州、アルコール燃料対応車比率が高い北米、生産台数が世界一となった中国、経済のリセッションで生産が低迷中の南米、欧州に次いでディーゼル比率が高い南アジア・オセアニアなど世界各地の市場毎のパワートレインの普及状況が分かる⁽²⁾。アルコール自動車もガソリンでも走行できるように設計されており、ハイブリッド車もガソリンエンジンを用いるものがほとんどであるので、世界的に見て欧州以外ではLDVの動力源はガソリンエンジンが大半を占めているといえる。

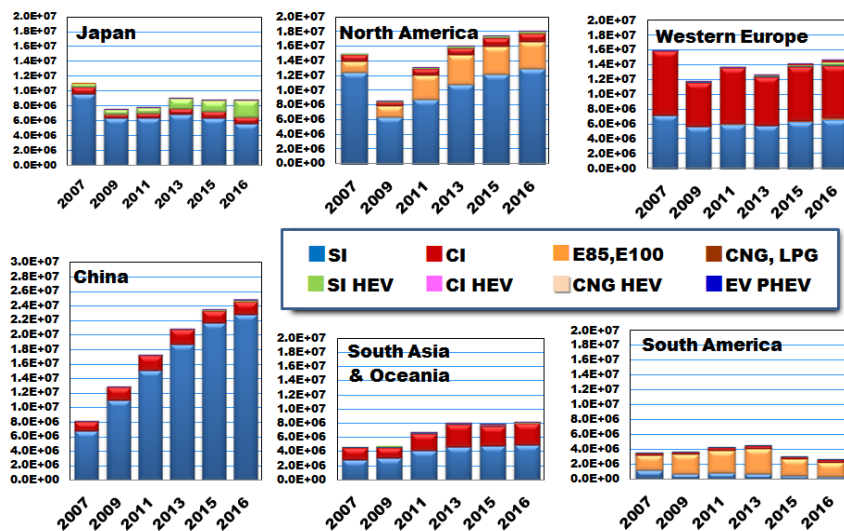


図1 世界主要地域におけるLight Duty Vehicle (LDV)パワートレイン生産量推移⁽²⁾

表1に、この10年間に日米欧の各社から採用・発売されたガソリンエンジン新技術を、図2および図3に、各地域における吸気方式および燃料供給方式別の生産割合の推移を示す。日本では、独自の特徴として軽自動車用の排気量0.66L以下の割合が堅調に増加しており、2013年以前から軽自動車用過給エンジンが一定量生産されているのが特徴的である。さらに、トヨタやホンダの高圧縮比で吸気遅閉じのバルブタイミングを多用する可変位相動弁系を採用したアトキンソンサイクルにクールドEGRなどを併用した高効率ハイブリッド用エンジン、マツダの直噴燃焼技術に特化し残留ガス量を削減させる適合を行った高圧縮比エンジンなどが特筆事項として挙げられる。一方、無過給 (NA) 比率が高いこともあり、欧州、北米に対してガソリン直噴過給エンジンの増加は緩やかであるが、2015年あたりからスバル、日産、トヨタ、ホンダからダウンサイズ過給エンジンが販売され始め⁽³⁾、その後生産台数は増加しているが、その比率は2016年で12%弱である。燃料噴射方式については2011年頃からガソリン直噴の比率がNAエンジンでも増加し2016年で23%弱に達して

いる。

北米では他の地域に比べて大排気量エンジンの比率が高いが、この10年でエンジン排気量が小排気量にシフトして、5Lクラスポート噴射(PFI) V8NAから3Lクラス直噴過給V6、3LクラスPFI V6NAから2Lクラス直噴過給L4、2LクラスNAから1.5Lクラス過給のダウンサイジングの傾向が顕著になってきた。これはガソリン直噴および過給エンジンの増加と一致した傾向で、過給エンジン比率は2016年で23%、ガソリン直噴比率が48%程度になっている。また、日本ほど顕著ではないが、北米でもハイブリッドが普及し始めている。一方、ChryslerおよびGMからはOHV二弁構造へ可変動弁機構やガソリン直噴、過給を採用した6LクラスV8の高出力エンジンが、Fordからは5.2L V8で平面クランクを採用した高回転高出力版エンジンも販売されている⁽³⁾。

表1 最近10年の量産ガソリンエンジン採用新技術

年次	2006以前	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
イベント			リーマンショック		東日本大震災					原油価格低下			
エンジン・駆動系技術	日本	新興期				ポスト新興期	A22.8% (vs1995) JC08mode J-08D				Fave:16.8km/L		
	欧州	Euro4				Euro5			CO ₂ < 130g/km		Euro6b	Euro6c NOI	
	米国	Teir2 LEV II, ZEV						Foot Print ⁺ -ス新CAFE規制				35.5mpg	
動弁系技術	日本	ホンダ VTEC カム駆切替 気筒休止 三菱 MIVEC	トヨタ VALVEMATIC 連続可変機構 日産 VVEL 連続可変機構					三菱新 MIVEC SOHC連続可 変機構					
	欧州	BMW Valve Tronic 連続可変機構 MB 気筒休止					FIAT Multi Air油圧 連続可変機構				VW L4気筒休止		
	米国	GM 気筒休止	クライスラー OHV同心 2重カムシャフト						クライスラー Multi Air油圧 連続可変機構				
燃料系・燃費改善技術	日本	トヨタ D4S DI/MPI併用 マツダ L4 直噴 Turbo	スズキ 縦自動車DI				マツダ SKYACTIV-G L4L DI高圧縮比	マツダ SKYACTIV-G 2.0L DI高圧縮比					日産 可変圧縮比 機構
	欧州										MB 2.0L L4 リーンブレンド過給		
	米国		GM V6 3.6L / 2.0L L4 DI										
過給・エンジン冷却技術	日本	マツダ L4 DI過給			トヨタ L4 L4 HEV用700ワット ターボEGR			キャタール L4 HEV用700ワット	キャタール L4 HEV用 DI		SUBARU 1.0L H4 ターボ過給 スズキ 1.0L L3 ターボ過給	日産 1.3L H4 ターボ過給	マツダ 2.5L L4 ターボ過給 スズキ L3 L4 ターボ過給
	欧州	VW, Audi 1.4L L4 ターボ過給 GM Opel 2.0L L4 DI過給	BMW L6 3.0L 2T/O BMW PSA 1.6L DI TC			Ford 1.6L L4 ターボ過給	BMW, MB ターボ過給	Ford 1.0L L3 ターボ過給	GM Opel 1.0L L3 ターボ過給 GM Opel L3 L4 ターボ過給	MB 4.0L V8 ターボ過給 BMW L3, L4 L6 ターボ過給	VW L3 L4 ターボ過給 MB L4 L6 ターボ過給	VW 可変 ターボ過給 TC	
	米国		GM 2.0L L4 DI過給			Ford 3.5L V6 ターボ過給			クライスラー L4 L4 ターボ過給	Ford 2.3L L4 ターボ過給 GM 1.5L L4 ターボ過給	GM 1.5L L4 ターボ過給	GM 1.5L L4 ターボ過給	

欧州では、ダウンサイズ過給のコンセプトを最初に提唱したにもかかわらず、北米地域ほど明確に小排気量へのシフトの傾向は認められない。一方、排ガス規制強化に対応した噴射系、過給系、および排気後処理系における適合作業工数を減らすため、コモンレールディーゼルエンジンの制御パラメータ適合手法をガソリン直噴エンジンへ応用し、同一骨格のガソリン直噴過給エンジンで制御パラメータおよび過給システム構成の変更で複数の出力特性エンジンを設定するような開発が2006年にVWから始まっている。さらに同様の開発方法が拡大し、2016年欧州市場での過給エンジン比率は78%となり、直噴比率も75%に達している。また、エンジンのボア×ストローク、圧縮比等の気筒諸元を変えず気筒数および過給レベルと燃料噴射率の違いで幅広い出力レンジをカバーするモジュラーコンセプトエンジンも増加している。BMWのL3、L4、L6エンジンを同じボアサイズでガソリンディーゼル共通の骨格を採用した例やVW、PSA、Ford、HyundaiからはL4骨格ベースの1L、L3 エンジンが登場した⁽³⁾。さらに、バルブリフトを連続的に可変する動弁系は2000年代の初めにBMWのNAエンジンでポンピング損失を低減する目的から始まった後、ターボ過給エンジンの過渡応答性改善を狙いとして拡大し⁽⁴⁾、欧州および日本からも機械式や油圧式⁽⁵⁾ などさまざまなバルブリフトの連続可変機構が開発されている。最近では、WLTCやRDEの新規制に対応するため以前より高回転・高負荷領域まで排出ガスと燃費の最適化を行うため、極端なダウンサイズよりはむしろ適正な排気量へ増加させる傾向や、高価な超耐熱材を使う排気マニフォールドから、排気マニフォールド一体型のシリンダヘッド構造として、直接ターボ過給器を取り付ける仕様が増加している。

中国では排気量による税制の優遇政策の影響もあり、排気量 1.6L 以下の車両が普及している。欧州のメーカーを中心にダウンサイズ過給エンジンの販売が始まり、中国メーカーも徐々に過給エンジンの販売を増やした結果、2016 年で 31% まで拡大しており、ガソリン直噴エンジンの比率も 31% で日本の普及率を上回っている。南アジア・オセアニア地区の中で、とくに販売台数が増加している南アジア地区では、B カテゴリのクルマの需要が高く、1L~1.5L クラスの比率が増加している。一方、アジア地区の燃料の多様性や市場の受容性の影響で、過給エンジンおよび直噴エンジンの比率は増加していない。南米では市場規模が最も大きいブラジルを中心にバイオエタノールが普及しており、世界で最も FFV (Flexible Fuel Vehicle) の比率が高い地域となっている。排気量のレンジではリーマンショック後は 1L 以下のエンジンが増加したが、その後 1.5L~2.0L の比率が増加している。南米もアジア同様、過給エンジンおよび直噴は 5% 以下に留まっており、現在は原油価格の低迷に伴う経済の後退で販売台数が減少しているが、2015 年頃より一部の欧州メーカーがエタノール燃料専用のチューニングを行った直噴過給エンジンを発売し、今後この傾向は増加すると予想されている。

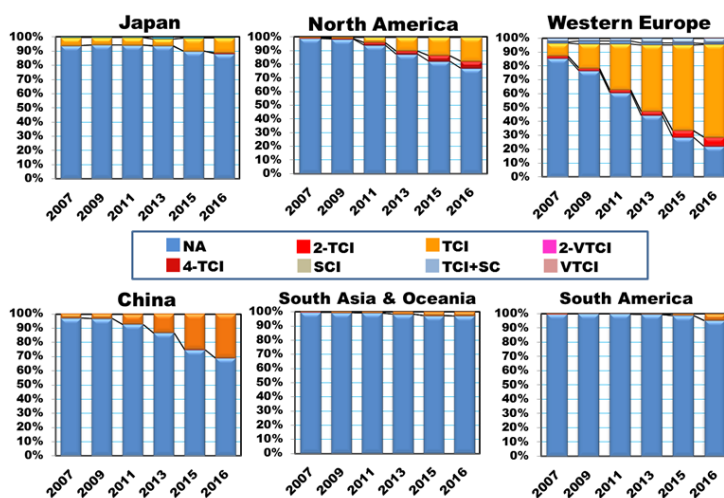


図2 世界主要地域における吸気系別生産割合⁽²⁾

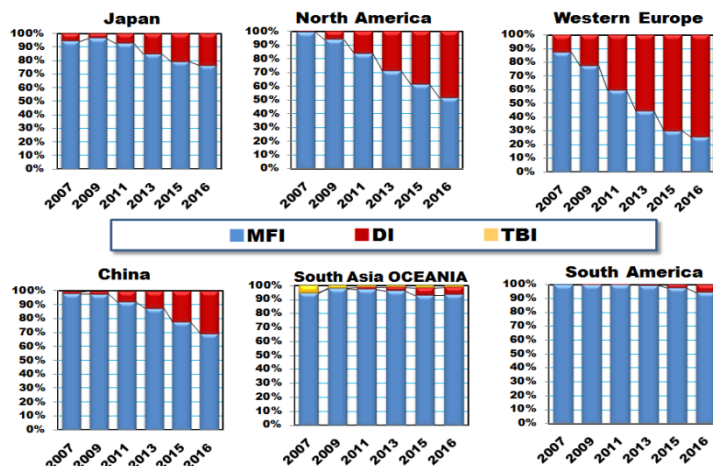


図3 世界主要地域における燃料噴射方式別生産割合⁽²⁾

7.1.2 今後の展望

欧州および中国ではEVの普及政策の影響もあり、都市部での充電インフラへの投資やEV/PHEV普及促進を検討しているが、それ以外の地域ではバイオ燃料の混合割合が増加し、HEVの比率も増加して行くと予想されている。しかし、HEV、PHEVさらにはEVでもレンジエクステンダとしてガソリンエンジンが搭載される状況は今後も続くと考えられ、さらには進出国市場でも都市の大気質の問題も顕在化し先進国同様の排出ガス規制が逐次導入されることが予想される。さらに長期的にはLCA的に見たCO₂削減も求められ、さらな

る熱効率改善，小型軽量化，コスト低減，カーボンフットプリントが少ないエンジン製造方案の検討など今後も対応すべき課題は多い。

[前田 義男 (株)本田技術研究所]

7.2 ディーゼルエンジンの技術動向

7.2.1 はじめに

ディーゼルエンジンはこの10年の間に，厳しくなる排ガス規制への対応，燃費性能のさらなる改善，および出力性能の向上という三方向の課題を果敢な技術の進化によって克服してきた．国内の1990年のディーゼル乗用車シェアは約5%であったが，早くからの厳しいNO_x規制，東京都のネガティブキャンペーンの影響もあり2005年にはシェアはほぼなくなっていた．しかし，2008年にポスト新長期規制への適合車が発売され，さらに2010年の政府の次世代自動戦略⁽⁶⁾で環境問題重視の観点から2020年に5%，2030年に10%という普及目標が掲げられたことも追い風となり，2015年には5%のシェアを回復した．一方，ディーゼルの主要市場である欧州では早くからの高い環境問題意識とNO_xについての緩やかで段階的な排ガス規制強化が敷かれたことから，各規制段階に対応したエンジンが継続的に発売され，ディーゼル乗用車シェアは2005年から2015年にかけて50%が維持されている(図4)．

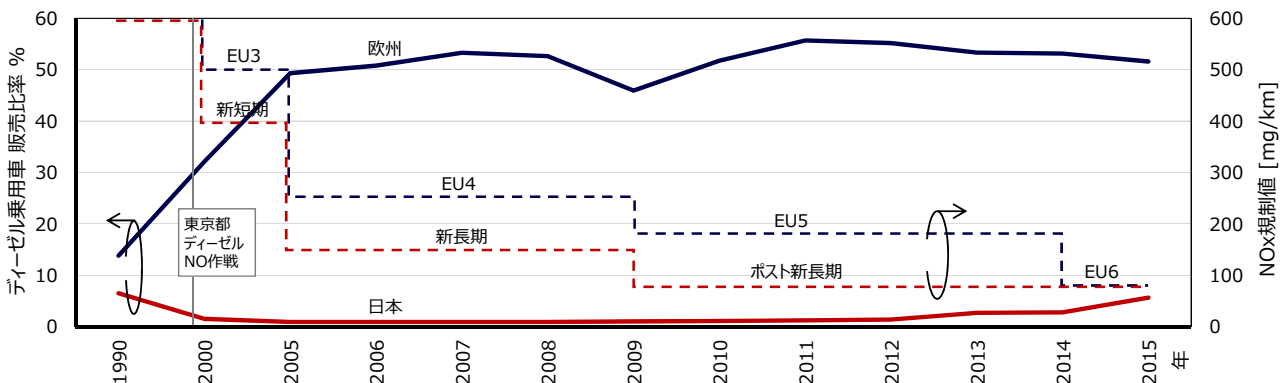


図4 日本と欧州におけるディーゼル乗用車シェアとNO_x規制値の推移⁽⁷⁾ (8)

7.2.2 性能向上と技術動向

2002年から2015年の間に欧州で発売されたマツダのエンジンを例にとると，この期間に約1/3に強化されたNO_x規制値に適合させながらも，出力，トルク，加速，燃費のすべての性能を向上させている．特に0-100km/h加速時間は10.7秒から7.9秒へと約2秒の短縮，モード燃費も6.5L/100kmから4.6L/100kmへと約30%の低減を実現している．表2に，この10年でディーゼル復権を果たした国内において，厳しい規準値を設けたポスト新長期排ガス規制に適合させた車両とエンジンの例を比較して示す．車両のタイプはSUV，コンパクトカー，セダン，ミニバンまで幅広い．性能面では排気量当たりの出力は40~70kW/L，トルクは160~200Nm/Lを達成している．

表2 乗用車ディーゼルエンジンの諸元，性能，および技術の比較⁽⁹⁾

		欧州・排ガス規制各段階への適合エンジン				国内・ポスト新長期規制への適合エンジン					
対応規制		EU4		EU5	EU6/ポスト新長期		ポスト新長期				
発売年		2002年	2005年	2008年	2012年	2015年	2008年	2012年	2013年	2015年	2015年
メーカー		マツダ	マツダ	マツダ	マツダ(6)	マツダ(7)	日産(9)	BMW	三菱	トヨタ(8)	Volvo
車種		Mazda6他			Mazda6, CX-5他	デミオ, CX-3他	エクストレイル	320d, X3	デリカD5	ランドクルーザープラド	S60
排気量		1998cm ³	1998cm ³	2184cm ³	2188cm ³	1498cm ³	1995cm ³	1995cm ³	2267cm ³	2754cm ³	1968cm ³
燃料噴射圧		180MPa	180MPa	200MPa	200MPa	200MPa	160MPa	200MPa	200MPa	250MPa	250MPa
過給機		VGターボ	VGターボ	VGターボ	2stageターボ	VGターボ	VGターボ	VGターボ	VGターボ	VGターボ	2stageターボ
EGR		HPケールド	HPケールド	HPケールド/ホット	HPケールド/ホット	LPケールド/HPホット	HPケールド/ホット	HPケールド/ホット	HPケールド/ホット	HPケールド/ホット	HPケールド/ホット
圧縮比		18.4	16.7	16.3	14.0	14.8	15.6	16.5	14.9	15.6	15.8
PM		なし	DPF	DPF	DPF	DPF	DPF	DPF	DPF	DPF	DPF
NO _x		なし	なし	なし	なし	なし	NSR	NSR	NSR	SCR	NSR
最高出力/排気量		50kW/L	53kW/L	62kW/L	59kW/L	51kW/L	64kW/L	68kW/L	48kW/L	42kW/L	71kW/L
最大トルク/排気量		155Nm/L	180Nm/L	183Nm/L	192Nm/L	167Nm/L	180Nm/L	190Nm/L	159Nm/L	163Nm/L	203Nm/L
0-100km/h加速 ^{**}		10.4s	9.5s	8.5s	7.8s						
欧州モード燃費 ^{**}		6.5L/100km	6.0L/100km	5.6L/100km	4.5L/100km						
		**Mazda6 2WD 6MT									

これらの排ガス低減および性能向上をもたらした技術の進化は、大きくは燃焼改善技術と排気後処理技術に分けられる(表2)。燃焼改善技術としては燃料噴射系、過給&EGR系、および圧縮比低下を含めた燃焼室に関する技術の進化が大きい。これらは排ガス低減に留まらず出力や燃費改善にも寄与している。燃料噴射系技術は2009年以前のEU4規制適合のエンジンでは最高噴射圧力が160~180 MPaだったものが、ポスト新長期およびEU6規制適合の最新のエンジンでは200~250 MPaにまで上昇した⁽⁵⁾。また多段噴射の制御性も向上しており運転条件による排ガス/燃費/騒音の各要求の違いに応じて八種の多段噴射パターンを使い分け、さらにはDPF再生時にはオイルへの燃料混入による希釈を抑制するため最大七段もの噴射を実施している例もある⁽⁶⁾。

過給系技術はVG (Variable Geometry) ターボがスタンダードとなり、高性能モデルには2ステージターボが採用され、前述の燃料噴射圧力の上昇と共に出力性能の改善に大きく寄与している。EGR系技術はターボ高圧側の排気と吸気を繋ぐHP (High Pressure) loop EGRでクーラ有/無の二つの経路を備えたシステムがスタンダードとなった。さらにはターボ低圧側で排気と吸気を繋いで低速域からの高過給高EGRを可能としたLP (Low pressure) loop EGRも実用化され、排ガスの低減に貢献している⁽⁷⁾。

圧縮比は、EU4規制適合時点のエンジンが18程度だったのに対して、低温燃焼による排ガスのクリーン化を狙ってポスト新長期およびEU6規制適合の最新のエンジンでは16~14程度にまで低下した。この中で圧縮比14とした例ではPCI (Premixed Compression Ignition) 燃焼の実施、および卵型の燃焼室構造による燃料と空気の混合促進により大幅な排ガスクリーン化を達成して、NO_x排気後処理技術なしでポスト新長期およびEU6規制へ適合させている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。他にも燃焼室リップ部に段を設けてこの部分の流動を抑えることで熱損失を低減した技術⁽⁷⁾や、燃焼室リップ部をテーパ状にしてさらに遮熱被膜処理を施すことで効果的な熱損失低減を図った技術が実用化された⁽⁸⁾。排気後処理技術では、PM低減に関してはDPF (Diesel Particulate Filter) がこの10年の間に標準的な技術として確立された。NO_xに関しては、ポスト新長期およびEU6規制への適合段階において、軽量車などで軽微な浄化率で間に合う場合にはNSR (NO_x Storage Reduction)⁽⁹⁾が、重量車などでより高い浄化率が必要な場合には尿素SCR (Selective Catalytic Reduction)⁽⁸⁾が各々実用化された。

7.2.3 研究の動向と今後

2014年度から5年計画で進められているSIP革新的燃焼技術の研究では、熱効率50%達成を最終目標に掲げて、後燃え低減や予混合化による燃焼改善、機械摩擦損失の低減、過給機効率改善、さらには燃焼の制御やCAEのモデル化が進められており、2016年12月時点の研究進捗で熱効率44%が達成されている⁽¹⁰⁾。

この10年間でディーゼルエンジンの技術は大きく進化した。しかしながら欧州ではより幅広い走行シーンでの排ガス低減を求めたRDE規制が2017年から段階的に導入され、またCO₂の排出規制も2015年の130g/kmから2021年には95g/kmへと大幅に強化される予定である。コストの増加を抑えながらこれらの規制に対応していくため、この先10年においてもディーゼルエンジンにはこれまで以上の技術革新が求められている。

[志茂 大輔 マツダ株式会社]

7.3 エンジンシステム電動化の技術動向

7.3.1 ハイブリッド車の歴史と現状

地球環境保護のためCO₂排出量削減がグローバルな課題となり、自動車に対しても燃費向上が強く求められている。一方、都市部では局地的な大気汚染が問題となっており、自動車の排気エミッション規制の強化が行われている。こうした中ハイブリッド車は燃費向上とエミッション低減を両立できるシステムとして注目を集めている。ハイブリッド車の第一号車は1900年代に欧州で発表された。当時はエンジンの低性能を補う目的で開発されたが、エンジンの性能向上とともに衰退した(図5)。1970年代にはマスキー法や石油危機に対応するため、各種のハイブリッド車が世界中で開発されたが、エンジンの技術革新や石油危機の緩和に伴い開発はスローダウンした。

近年になり、1997年に世界初の量産ハイブリッド車が発売された。それ以来、各社からさまざまなタイプのハイブリッド車が発売され市場シェアを伸ばしている。さらに2007年にはプラグインハイブリッド車が国土交通省から大臣認定を受けて公道走行を開始し、実用化が進むとともに次世代の環境車として各社で開発

が加速している。日本国内におけるハイブリッド車/プラグインハイブリッド車の保有台数は2016年度に558万台を超え次世代環境車の中核をなしている（図6）。



図5 世界初のハイブリッド車⁽¹⁶⁾

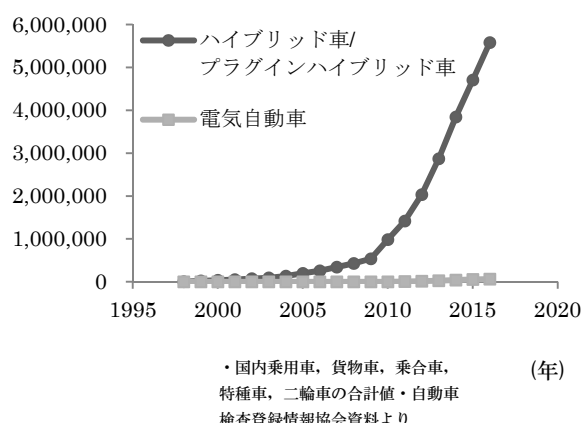


図6 電動車の国内保有台数推移⁽¹⁷⁾

7.3.2 ハイブリッド車用エンジンの採用技術

ハイブリッド車用エンジンに求められる機能として高効率化がある。軽負荷域を使用しないハイブリッド車用エンジンでは最高効率の向上が求められるため高膨張比サイクルを採用する例が多い。理論熱効率率は圧縮比を高めることで向上するが、ガソリン機関の場合、圧縮比を高めると圧縮端温度が上昇しノッキングが発生する。ハイブリッド車用エンジンではノッキングを回避するために、吸気弁の閉じ時期を大幅に遅らせて実圧縮比を下げることで、実質的に熱効率を支配する膨張比を高める高膨張比サイクルを採用している。背反となる低速トルクの低下はモータによるトルクアシストにより必要な動力性能を確保している。EGRの導入による冷却損失やポンプ損失の低減も高効率化に有効な手段である。ハイブリッド車用エンジンでは高負荷域でのノッキングの抑制を図る目的でEGRガスを冷却するクールEGRシステムを採用することが多い。同時に、クールEGRと高膨張比サイクルにより排気温度を低減し、全域量論比燃焼を実現することにより高負荷走行時の燃費向上やエミッション低減に貢献しているエンジンもある。

アイドルストップやEV走行により燃費を向上させているハイブリッド車にとって、室内暖房のためにエンジン停止ができないことによる冬季の燃費悪化は大きな課題となる。この解決策としてエンジン排気熱回収システムを採用しエンジンの暖気を早め燃費を向上させている（図8）。同時にハイブリッド車用エンジンには電動ウォーターポンプが採用されることが多い。これはエンジン停止中も暖房用の温水を循環させる必要があることと、必要最小限の冷却水流量をエンジン回転数に依存せずに制御できるようになり、ウォーターポンプの仕事を最小化できるためである。また、ハイブリッド車ではエアコンやパワーステアリングといったベルト駆動の補機も同時に電動化されることが多いため、補機ベルトレスエンジンが実現でき、低フリクションやメンテナンスフリーにも貢献している（図9）。一方で、ハイブリッド車に求められる機能として低エミッションがある。ハイブリッド車ではエンジン以外にモータとバッテリーという駆動手段を持っているため、エンジンの冷間始動後は点火時期の大幅遅角など触媒暖気を優先させたエンジン運転が可能である。また、エンジン暖気後も高負荷域での負荷をモータ+バッテリー駆動と分散させることにより低エミッション化にも優位性を持つ。このようにハイブリッド車の特徴をうまく利用することによって、エンジンの高効率化や低エミッションなどのポテンシャルを高める技術が織り込まれている（図7）。



図7 ハイブリッド車用エンジン



図8 排気熱回収器(18)



図9 電動ウォーターポンプと
補機ベルトレスエンジン(18)

7.3.3 今後の展望

ハイブリッド車は次世代環境車として確固たる地位を築いた。今後もハイブリッド車用エンジンは使用域の限定や、レスポンス要求の緩和などの優位性を活用し、従来エンジンでは成し得なかった効率向上やエミッションの低減が可能であると思われる。一方で、車両のエネルギー源として電気を利用することがゼロエミッション、低CO₂の解決策として期待され、エンジンを持たない電気自動車は電池の性能向上により普及の拡大期に入っている。しかしながら依然として航続距離や充電インフラの普及が課題として残るため、今後の大量普及には時間がかかるとの考え方があられる。この課題を解決するために電気自動車とハイブリッド車の優位点を両立できるプラグインハイブリッド車の普及も拡大している。プラグインハイブリッド車はエンジン始動を予測し準備できるため始動直後からニアゼロエミッションが実現できるなど、エンジンに対して新たな開発の方向性を示すことになる。このようなエンジンの改良を推進することによりプラグインハイブリッド車の方がエンジンを持たない電気自動車よりむしろ電気利用への近道となる可能性が考えられる。

今後、車両のパワートレインは大変革期を迎えようとしている。エンジンを動力源として持つハイブリッド車/プラグインハイブリッド車、電気自動車、さらには水素を燃料としたフューエルセル車などの棲み分けが地域や車種によって進むであろう。こうした中、車両の電動化はエンジンが本来持つポテンシャルを100%引き出す良い道具となり、最適化されたエンジンとの組み合わせにより、低CO₂、低エミッションを高次元で両立できる車両として今後も社会に貢献できると思われる。

[高岡 俊文 トヨタ自動車(株)]

7.4 ディーゼルエンジン燃料噴射システムの技術動向

ここ10年の燃料噴射システム (FIS) の技術変革トピックスとして (1) 高圧化と (2) 噴射のフィードバック制御の二つを挙げることができる。以下それぞれについて詳細に説明する。

7.4.1 高圧化

ディーゼル車の主な市場である欧州においてはこの10年でNO_xを70%、PMを80%削減という厳しいエミッション規制が施行されている。特にPM低減のためには燃料の微粒化が、また燃費改善および出力向上のためには短時間での燃焼が効果的であるが、いずれの場合にも燃料噴射圧力を高圧にすることが有効である。このためそれぞれのエミッション規制に先行して、第二世代180 MPa、第三世代200 MPa、さらに第四世代250 MPaの噴射が可能なコモンレールシステム (CRS) が市場に投入されてきた (図10)。

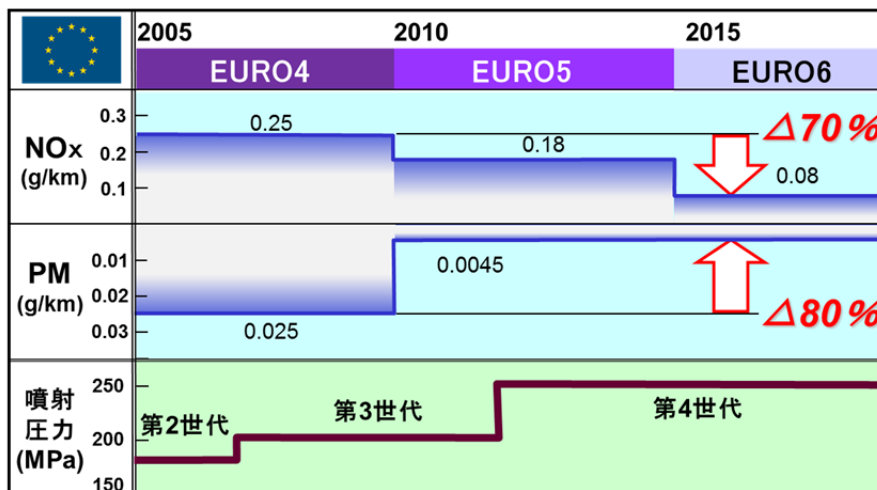


図10 排気規制と噴射圧力の変遷

高圧化を実現する上での課題は、高圧に耐え得るコンポーネントを設計することの他に、摺動部等で発生し、配管を介して燃料タンクに戻るリーク燃料をいかに抑えるかが重要なアイテムとなる。つまり、エンジンの駆動力の一部を使って圧力を上げた燃料が噴射に有効に使われることがなくリークという形で無駄に捨てられることになる。このため、その分ポンプを駆動するのに余分なエネルギーが必要となって車両の燃費悪化に繋がってしまう。さらにリークが発生すると燃料の持つ圧力エネルギーが熱エネルギーに変換されるために、圧力が高いほどリーク燃料は高温となる。これによってインジェクタやリーク配管に用いられたコネクタ等の樹脂部品に熱害が生じる場合がある。これらの問題を解決するために第四世代CRSでは、静的リーク（噴射していない時に生じるリーク）をゼロにし、かつ動的リーク（噴射期間中に生じるリーク）を最小とすることが可能なインジェクタが市場投入されることで前述の問題を解決できている。

7.4.2 噴射のフィードバック制御

燃料噴射の分野においては1892年にディーゼルエンジンが誕生して以来、100年以上にわたってオープン制御の時代が続いたが、2000年の初めに噴射量の学習制御が導入された。さらに燃料の噴射時に生じる圧力変化が噴射特性と強い相関があることを用いて、インジェクタの高圧部に圧力センサを搭載したシステム（i-ARTシステム）が2012年に世界で初めて製品化されている（図11）。これは燃料を噴射することによってインジェクタ内に発生する燃料の圧力変動を圧力センサによって検出することで、噴射時期、噴射量等の噴射特性を推定し、この噴射特性を常にECU内にある目標値となるようフィードバック制御するものである。このようなシステムでは噴射時期、噴射量の自律制御が可能となり、噴射精度の向上、およびインジェクタ等の個体バラツキや経時変化を抑制できるために、多様な燃料性状等によらずエミッション、燃費やドライバビリティを生産にわたって初期の状態に維持することが可能となる。なお、このようなシステムを成立させるためには、エンジンルーム内に搭載されて振動や熱など劣悪な環境に晒されるインジェクタの、しかも狭く限られたスペースに、繊細かつ精密な電子部品を搭載しなければならない。このためには圧力センサの小型化・集積度向上などの「センサ技術」、噴射率のモデル化やフィードバックなどの「噴射制御技術」、毎回の噴射においてフィードバック量を瞬時に解析する必要があるためECUの高速処理における「電子技術」および狭いスペースにセンサおよびメモリICを搭載するための「生産技術」という四つの分野において極めて高度な機電一体の技術を結集する必要がある。

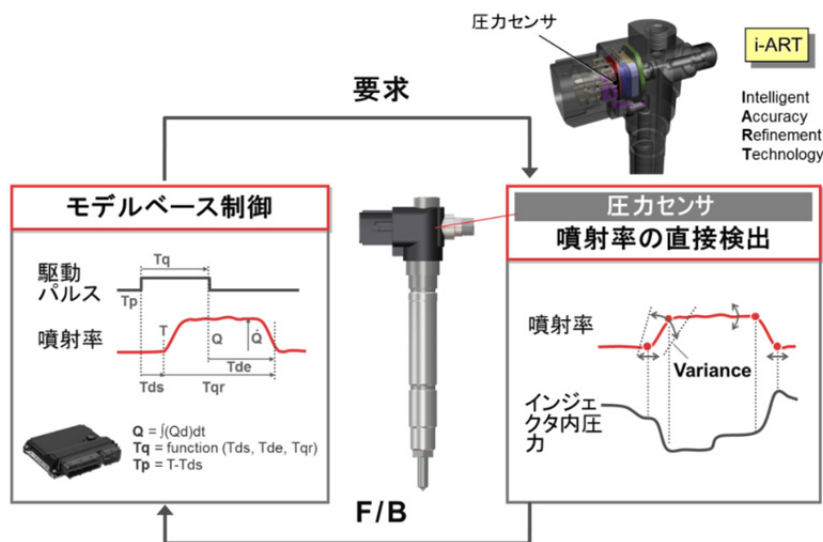


図11 噴射特性フィードバックシステム⁽¹⁹⁾

[小島 昭和 (株)デンソー]

7.5 エンジンシステム部門のこの10年

以上に述べられているように、エンジンシステムでは自動車分野に限ってもこの10年でさまざまな技術革新が進んでいるが、当部門がその礎を支えるとともに産学の連携の要となるなど、少なからぬ貢献があったと思われる。表3は当部門のこの10年の年表である。この中で特筆すべき事項としては、従来COMODIAなどの国際学会が開催された年には開催されなかった内燃機関シンポジウムを国際学会の開催の有無にかかわらず毎年開催するようになったことが挙げられる。それが実って現在の内燃機関シンポジウムは国内で開催される内燃機関に関する学会の最高峰と認識され、毎年100件前後の講演が行われており、最近では参加者が400名を超えるなど大変盛会になっている。一方、スターリングサイクルシンポジウムは毎年首都圏で開催されているのに加えて、2007年には13th International Stirling Engine Conference (ISEC2007)が東京で開催されており、堅調な活動が展開されている。

昨今では、2014年にSIP革新的燃焼技術が開始されるとともに、自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)が設立されるなど、産学連携の動きが急加速しているが、その端緒となったのは、2009年の第12回内燃機関シンポジウムにおけるパネルディスカッション「エンジン基礎研究と産学連携」であり、その後の内燃機関シンポジウムでも議論を重ねてきた。直近の内燃機関シンポジウムではこの産学連携による成果が報告され始めてきている。当部門が主催する国際学会であるCOMODIAは、自動車技術会とSAEが共同開催のJSAE/SAE International Powertrains, Fuels & Lubricants Meetingとともに世界的に高い評価を受けており、この両者を合わせるとほぼ2年おきに日本国内で開催されている。エンジンシステム部門は自動車のみならず、船舶や陸用など幅広く展開しているエンジンシステムの発展に貢献しており、今後もその役割を果たしていくことが期待されている。

表3 エンジンシステム部門のこの10年

年度	部門長	内燃機関シンポジウム ()内は講演件数	スターリングサイク ルシンポジウム	国内で開催された主な国際会議、特記事項、動向
2007	角田 敏一 大阪府立大学	第19回 東京工業大学(92) 世界をリードするエンジンシステム 技術を求めて	第10回 神奈川大学 (横浜)	2007 JSAE/SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting (京都) 13th International Stirling Engine Conference (ISEC2007) (東京) 2007 SAE Small Engine Technology Conference (新潟)
2008	青柳 友三 新エーシー イー	非開催	第11回 国士館大学 (東京)	7th International Conference Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMIDA 2008) (札幌) 排気低減から熱効率向上へ
2009	飯田 訓正 慶応義塾大学	第20回 早稲田大学(85) エコ社会に向けたエンジンシステ ムの未来を拓く	第12回 大田区産業プラザ (東京)	エンジンテクノロジーレビュー(ETR)誌発刊 パネルディスカッション「エンジン基礎研究と産学連携」(内燃シンポ) 内燃機関シンポジウムの毎年開催が決議される
2010	堀 政彦 日本自動車 研究所	第21回 岡山大学(102) 低酸素社会に向けたエンジンシ技 術	第13回 大田区産業プラザ (東京)	内燃機関シンポジウムが初めて東京地区以外(岡山)で開催 電動化がクローズアップ 産学連携機運の高まり
2011	村瀬 英一 九州大学	第22回 東京工業大学(98) エンジンテクノロジーの高度化とそ の伝承	第14回 日本科学未来館 (東京)	2011 JSAE/SAE International Powertrain, Fuels and Lubricants Meeting (京都) 17th SAE Small Engine Technology Conference (札幌) 討論会「内燃機関共同研究の可能性」(内燃シンポ)
2012	富田 栄二 岡山大学	第23回 北海道大学(86) 世代を超えたエンジンシステムへ の再挑戦	第15回 明星大学 (東京)	8th International Conference Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA 2012)(福岡) パネル討論会「内燃機関共同研究の第一歩(現状と今後の課題)」(内燃シンポ)
2013	後藤 新一 産業技術総合 研究所	第24回 神戸大学(96) 熱効率向上を支えるエンジンシス テム技術	第16回 日本科学未来館 (東京)	産学連携フォーラム「HCCI燃焼の現状と将来展望」(内燃シンポ)
2014	石山 拓二 京都大学	第25回 産総研(100) エンジンシステムを支える基礎技 術	第17回 神奈川大学 (横浜)	SIP革新的燃焼技術開始(~2019), 自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)設立 フォーラム「エンジン研究, 今, 起死回生に向けて, 日本の産学官は何に取り組みべき か?」(内燃シンポ)
2015	畔津 昭彦 東海大学	第26回 京都テルサ(95) 挑戦を続けるエンジンシステム技 術	第18回 東京農工大学 (東京)	2015 JSAE/SAE International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting (京都) フォーラム「動き出した内燃機関の産学連携研究(AICE共同研究の現場から)」(内燃シ ンポ)
2016	小川 英之 北海道大学	第27回 東京工業大学(113) エンジンシステムのイノベーション を目指して	第19回 宇都宮大学 (宇都宮)	基調講演「SIP革新的燃焼技術の研究進捗と持続的な産産学学連携について(講師 杉山雅則)」(内燃シンポ)
2017	千田 二郎 同志社大学	第28回 福岡リーセントホテル 磨き上げられるエンジンシステム 技術	第20回 明星大学 (東京)	9th International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA2017) (岡山)

[小川 英之 北海道大学]

参考文献

- (1) OICA Sales Statistics: World Motor Vehicle Sales By Country and Types 2005-2016,
<http://www.oica.net/category/sales-statistics/> (参照日 2017年3月2日)
- (2) HIS Light Vehicle Powertrain Forecast, 2016 April
- (3) 各社広報資料及びWEB サイト情報より
- (4) ATZ Automotive Technology 05/Oct. 2009 Vol. 9
- (5) ATZ Automotive Technology 06/Dec. 2009 Vol. 9
- (6) 次世代自動車戦略 2010, 経済産業, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004630/pdf/20100412002-3.pdf>
(参照日 2017年2月12日)
- (7) 欧州自動車工業会, <http://www.acea.be/> (参照日2017年2月12日)
- (8) 一般社団法人 日本自動車販売協会連合会, 新車登録台数年報, 自動車登録統計情報 ほか
- (9) 各社カタログ値
- (10) 植木充ほか, ディーゼル燃料噴射技術最前線, 日本機械学会2015 年度年次大会講演論文集 (2015)
- (11) 森永真一ほか, SKYACTIV-D エンジンの紹介, マツダ技報, No. 30 (2012), pp. 9-13
- (12) 志茂大輔ほか, 乗用車ディーゼルエンジン技術最前線, 日本機械学会2015 年度年次大会講演論文集 (2015)
- (13) 岸本岳ほか, 新型2.8L直列4気筒ESTEC ディーゼルエンジンの開発, トヨタテクニカルレビュー-Vol. 62
No. 232 (2016), pp. 123-127
- (14) 田岸則彦ほか, クリーンディーゼルエンジン (M9R) の開発, 日産技報, No. 68 (2011), pp. 50-55
- (15) 杉山雅則, SIP革新的燃焼技術の研究進捗と持続的な産産学学連携について, 第27回内燃機関シンポジウム(2016)
- (16) Wikipedia ホームページより <https://ja.wikipedia.org> (参照日2017年3月1日)
- (17) 一般財団法人 自動車検査登録情報協会資料より
- (18) トヨタ自動車ホームページより <https://toyota.jp/> (参照日2017年3月1日)
- (19) 宮木正彦, コモンレールシステムの開発と進化, 第22回内燃機関シンポジウム(2011), 基調講演II, K-4