

熱効率 45%に続く Post45% Technology は何か？

～フォーラム 2030 年の乗用車用パワートレーンの世界から～

神鋼リサーチ (株) 吉山 秀樹

自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展」は(公益社団法人)自動車技術会の主催により、自動車業界の第一線で活躍する技術者・研究者のための日本最大の自動車技術専門展として 1992 年に始まった。今回で第 26 回を迎えた「人とくるまのテクノロジー展 2017」は 2017 年 5 月 24 日から 26 日にかけてパシフィコ横浜・展示ホール(神奈川県横浜市)において開催された。今回は出展社数: 550 社、来場者数(累計): 90,687 人を記録し、昨年と同様に大盛況であった。多数のブースの出展に加えてフォーラム・ワークショップが開かれ、「最先端の自動車技術の現状と課題」について考える良い機会が提供された。

5 月 24 日に行われたフォーラム「2030 年の乗用車用パワートレーンの世界～熱効率 45%に続く Post45% Technology は何か?～」を聴講し、今後の自動車技術における内燃機関の位置付けとさらなる進化の方向性について情報収集を行った。約 1000 人収容できるメインホールは、ほぼ満員の聴衆で埋め尽くされ、熱気に満ちていた。環境・エネルギー問題を発端とした CO₂ 排出規制の強化に加え、実用上の燃費・排気への関心の高まりなど自動車会社へ求められる要求は厳しさを増している。このような状況において、自動車の電動化が進む中、日本の自動車メーカー 4 社(トヨタ自動車、本田技研工業、日産自動車、マツダ)、ドイツの自動車部品メーカー 1 社(Robert Bosch)、およびオーストリアの自動車パワートレーン開発/コンサルタント企業 1 社(AVL List)の日本/ヨーロッパを代表する自動車メーカー等(6 社)から、今後のパワートレーン開発の方向性に関する講演が行われた。

講演では、自動車内燃機関の熱効率向上の観点から、「ガソリン自動車における内燃機関の熱効率向上に関する包括的取り組み(全 6 社)」および「ハイブリッド車における内燃機関の熱効率最大化に関する動作点利用技術(トヨタ自動車、本田技研工業、日産自動車、Robert Bosch)」が紹介された。CO₂ 排出規制強化の観点から、ヨーロッパを初め各国で導入が検討されている RDE (Real Driving Emission) 試験モードにおいて懸念される CO₂ /NO_x の低減化への取り組みが示された(AVL List)。また、電気自動車用電気および燃料電池車用水素燃料における発電・水素燃料製造時の CO₂ 発生を考慮した Well-to-Wheel CO₂ 低減(燃料製造時から走行時までの CO₂ 排出量低減)の観点から、エネルギー利用効率最大化に関する方向性が示された(マツダ)。

トヨタからは、「電動化時代を迎えたパワートレーン開発の方向性」と題した講演が行われた。同社ではトヨタハイブリッドシステム(THS)による高熱効率領域でのエンジン動作技術、高速燃焼技術など新技術(27 種類)の導入により、高熱効率(41%)と高出力の両立を図ることに成功している。導入された新技術の代表例として、「レーザークラッドバルブシート」、「高圧縮比: 14」、「マルチホール直噴インジェクター」などが挙げられる。

本田技研からは、「Honda の電動化時代に向けたエンジン技術」と題した講演が行われた。ハイブリッド車におけるエンジン動作特有の課題として、停止時のアイドルストップに起因する「冷却水温度上昇遅れによる高効率燃焼への移行遅れ」、エンジン再始動時の「エミッション微粒子の発生」などが挙げられる。これらの課題に対処するためには、ハイブリッド車用エンジン向けに特別なチューニングが必要となる。そこで、同社ではエミッション微粒子の低減を目的に、燃料噴射の高圧力化による燃料微粒化を検討している。また、エンジン熱効率向上を目的に、急速燃焼技術の開発も行っている。1970 年代に同社によって開発された CVCC 技術(複式燃焼室を有する複合渦流調整燃焼技術)を進化させ、副燃

焼室と主燃焼室をそれぞれリーン混合気 (Air/Fuel 比=27)、スーパーリーン混合気 (Air/Fuel 比=35) を使用した i-CVCC 技術 (Intelligent CVCC) により、最大熱効率向上 (47%)、燃焼安定性改善、NO_x 低減の全てにおいて優れた特性を得ることに成功している。

日産からは、「内燃機関の次の進化に向けた第一歩」と題した講演が行われた。ハイブリッド車においてエンジンの高熱効率領域を最大限有効に活用するために、発電機能に特化したエンジン仕様として、内燃機関を利用したシリーズハイブリッド (e-Power) を開発している。また、内燃機関の最大熱効率の向上を目的に、高圧縮比化と安定燃焼化の実現を図るべく、マルチリンク機構可変圧縮技術の開発を進めている。ロングストローク化を無理なく実現し、可変圧縮比：8~14、最大熱効率：約 40% を達成することに成功している。

マツダからは、「まだまだ頑張る内燃機関」と題した講演が行われた。Well-to-Wheel CO₂ 排出量低減の視点から、内燃機関の熱効率：50% を達成できれば、自動車は石油・石炭火力発電全廃までは EV 化 (電気自動車化) へ移行せずに、高効率内燃機関を使用することが合理的であるとしている。また、SKYACTIV-G における熱効率改善として、伝熱モデルおよび燃焼/伝熱連成解析を進めており、伝熱面積低減、熱伝達率低減、ガス温度低温化、壁温度高温化等、包括的な取り組みによって図示熱効率：56% が得られるとしている。

Robert Bosch からは、「Pushing the Limits of ICE in the World of Connected, Autonomous and Electrified」と題した講演が行われた。直噴・リーン燃焼によって熱効率向上と NO_x 低減化を図り、48 V ブースト回生技術によって直噴・リーン燃焼による燃焼不安定性を解消するための技術開発が進められている。48 V ブースト回生技術では、減速時のエネルギー回生機能、トルクアシスト機能 (加速時のトルク押し上げ)、ストップ/スタート機能 (エンジン始動時・低速走行時のエンジンアシスト機能) を有し、直噴リーン燃焼の安定動作点領域を拡大することができる。これらの取り組みにより、最大熱効率：43% が達成できるとしている。

AVL List からは、「Enhanced Thermal Efficiency of SI Engines within Aggravated Emission Requirements」と題した講演が行われた。排出ガス規制の不正回避を防止するため、実走行に近い条件での燃費、排ガス測定方法 (RDE) の導入がヨーロッパ、アジアで進められようとしている。RDE 試験モードは全てのエンジン動作点領域をカバーしているため、高負荷領域での NO_x 排出量増加、低排気ガス温度 (20℃以下) でのエンジン動作点領域での高 PN (Particulate Number) エミッションなどに対する対策が必要となる。CO₂ 低減/NO_x 低減の両立を図るために、過給ライトサイジング (適正サイジング) が求められる。また、高熱効率化と高負荷領域でのノッキング低減化を両立させるために、リーン燃焼技術、ミラーサイクル/アトキンソンサイクルによる可変圧縮比、冷却機能付き直列 2 段過給システム (Series Compressor Turbo Charger)、クールド EGR (Exhaust Gas Recirculation)、燃焼室内水噴射技術など、包括的な取り組みを提案している。特に、水噴射導入によるノッキング抑制/過給圧増大化と可変圧縮比技術が熱効率 50% 以上を目指すための鍵となる。

自動車用パワートレインにおける最大熱効率は現在 40~47% に到達している。高熱効率内燃機関をハイブリッド車に搭載することにより、電気自動車並みの Well-to-Wheel CO₂ 排出量まで低減できる可能性がでていいる。今後、自動車の電動化が加速していく中で、引き続き内燃機関の熱効率向上への取り組みが求められる。

以上