

自動車用火花点火エンジンの高効率化の可能性

Future Potential of Improving Automotive SI Engine Efficiency

早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科 大聖 泰弘

Graduate. School of Environment and Energy Eng., Waseda Univ., Yasuhiro Daisho

E-mail: daisho@waseda.jp

1. はじめに：エンジンは、130 年前の原型をいまだにとどめながら、エネルギー密度の高い石油の特性を利用し、自動車用原動機として主要な座を占め続けている。その間、排出ガスと燃費の規制の強化に対応してきたが、燃焼工学の観点から、排気浄化を前提にどれだけの高効率化が可能かを見定め、中長期的なエンジンの研究開発の目標を明確にする時期が到来したといえよう。

2. 熱力学に基づくエンジンの熱効率の原理：「熱力学」によれば、最も熱効率が高いのはカルノーサイクルであるが、その実現はきわめて困難で、ディーゼルサイクルが実用化されたエンジン中、高い圧縮比による自己着火を行って最も高い熱効率を達成している。しかしながら、圧縮比一定の条件では、火花点火エンジンの理想サイクルである定容サイクル（オットーサイクル）の熱効率の方が高い。それには、実際の燃焼速度は有限なので、定容燃焼に近づけるために燃焼速度を高めて末端の混合気が圧縮着火するノックを避けながら、点火時期を調整して熱発生率の重心をなるべく上死点付近になるよう制御する方法がとられる。

3. 実際の機関における熱効率の改善：機械損失や熱損失の割合が相対的に増える部分負荷では正味熱効率が低下するのがエンジンの弱点といえる。そこでの機械損失を減らし、かつ燃焼を改善すること、あるいは要求出力に対してなるべく高負荷、低回転速度で運転する方法がとられる。エンジンのダウンサイジングは過給を前提としてこの考え方に対応している。実際の火花点火エンジンにおいて、ノックが回避できれば、圧縮比を上げて熱効率を改善することができる。それには高オクタン価燃料を使うことが望ましいが、希薄燃焼（リーンバーン）や燃焼温度を下げて NOx を低減する排気再循環（EGR）も有効で、ノックを抑制し、熱損失の低減にも寄与する。

さらに、火花点火エンジンでは、部分負荷では吸気を絞るため、吸気負圧に起因するポンプ損失が不可避免的に生じて燃費悪化の要因となるが、EGRによって吸気負圧を緩和することでその損失を減らすことができる。この場合、不活性ガスの増加で点火性と燃焼速度が低下するので、点火のエネルギー強化や時期を早める方法、乱流強度を適切に増強して燃焼速度を回復する方法等がとられる。その結果、熱効率が改善するが、過度のEGRは燃焼変動や失火を生じるので均一予混合気の燃焼では限度がある。

4. ガソリンの直接噴射化：その対策としては、ガソリンの直接噴射が最も有力である。具体的には、電子制御による燃料噴射の多段化や時期の制御、噴射ノズルの形態やレイアウトを工夫する必要がある。これによって、確実な点火と初期火炎の発達が可能になるように点火プラグ周りに燃焼噴霧の形成をコントロールし、全体としては理論混合比で燃焼を行う。その際、EGR を適用すれば、さらに耐ノック性が向上し圧縮比が上げられるが、悪化する点火性の回復が必要となる。もちろんこの場合、全体として希薄な燃焼も可能であり、その方が燃費の点では有利であるが、NOx の増加を招く。理論混合比の燃焼条件で超低排出ガスレベルを実現する最も有力な方法として一般化している三元触媒が使えないので、これと同等の浄化性能を持つ NOx 還元触媒の開発が必要とされている。

いずれにしても、圧縮比を上げると同時に点火性を確保して燃焼速度を高めることで、正味熱効率を現状の 35%程度から、45%さらには 50%まで高めることが究極の目標となろう。