

5. HCCIエンジン

小川英之

1. まえがき

「予混合圧縮着火エンジンとは？」という問いに対する端的な回答は、「着火までにすべての燃料を空気と分子レベルまで十分に混合した上で圧縮着火により燃焼を行うエンジン」ということになる。ディーゼルエンジンは同様に圧縮着火を行うが、通常は着火した時点で多くの燃料がまだ液滴噴霧の状態で存在しており、着火時までにすべての燃料が空気と分子レベルまで混合しているとは言いがたい。一方、ガソリンエンジンは気化器あるいはインジェクターによって吸気マニホールドに霧状液滴で導入された燃料が吸気行程から圧縮行程で蒸発して空気と分子レベルまで混合した上で点火を行うが、圧縮着火ではなく火花点火であるところが決定的に異なる。しかし、別な見方をするると予混合圧縮着火エンジンはディーゼルエンジンやガソリンエンジンと同様にピストンなどで圧縮した空気と燃料により間欠的な燃焼を行わせてその膨張により出力を得る容積型内燃機関の一種であり、相違点は燃焼形態が予混合圧縮着火燃焼であるということに過ぎない。例えばロータリーエンジンは容積型内燃機関であるから、予混合圧縮着火ロータリーエンジンというのも考えられる。さらに、ディーゼルエンジンで燃料噴射を早期に行い、その後十分に混合してから圧縮着火させれば予混合圧縮着火燃焼を実現できるし、ガソリンエンジンで残留ガスを増加させるなどによりシリンダ内ガス温度を上昇させ、電気火花によらずに圧縮着火させれば、それも予混合圧縮着火燃焼となる。

表 1 混合気の均一性と点火方法からみたエンジンの分類

混合気 点火方法	ほぼ均一	不均一
火花点火	火花点火機関	層状給気機関
圧縮着火	予混合圧縮着火機関	ディーゼル機関

混合気と点火方法の観点からエンジン（容積型内燃機関）を分類すると表 1 のようになる。この分類は一見すっきりしているが、すべての運転条件で予混合圧縮着火燃焼を行う「予混合圧縮着火エンジン」の実現は困難である一方、ディーゼルエンジンやガソリンエンジンにおける一部の運転条件で「予混合圧縮着火燃焼」を適用しようという考え方が主流になりつつあることから、将来はこのような分類が難しくなるかもしれない。

それでは、予混合圧縮着火燃焼を理解するために通常のカソリンエンジンにおける火花点火燃焼と比較してみよう。図 1 は透過光による撮影が可能なようにシリンダの上部に透明なガラス窓を装着した可視化用エンジンで高速シャドウグラフ撮影を行ったもので、左側が予混合圧縮着火燃焼、右側が火花点火燃焼である。右側の火花点火燃焼に注目すると、燃焼室中心のスパークプラグから火炎が伝播して行く様子がよく分かる。③あるいは④の写真に観られるように燃焼室内は中心付近のすでに燃え終わった（もやもやとした陰影が観察されている）高温既燃焼部分と、これから燃焼が行われる（陰影がない）低温未燃焼部分にはっきりと分かれる。そして陰影部分が徐々に拡大して⑤の燃焼終了時には全体を覆っている。この燃焼開始から終了までの間、右の熱発生率（ $dQ/d\theta$ 、単位クランク角度当たりの発生熱量）が示すようにクランク角度で上死点前後の 20 度近くを要しており、熱が時間をかけて穏やかに発生していることが分かる。これは、燃焼（反応）がこの既燃焼部分と未燃焼部分の界面、すなわち火炎面付近に限定されていて、その進行とともに熱が発生するためである。

一方、左側の予混合圧縮着火燃焼に注目すると、上死点前 10 度を過ぎたあたり（②）で弱い陰影が瞬間的に燃焼室全体に観察され、左の熱発生率を見