

# 分光計測による予混合圧縮着火 (HCCI) 燃焼の研究

## 1. はじめに

地球温暖化やエネルギーセキュリティなど、エネルギー消費と環境に関する問題が世界的にクローズアップされている。運輸部門における最も大きな排出源である自動車においては、全世界での保有台数の増大が見込まれており、その主要な動力源である往復動式内燃機関（以下、内燃機関）の効率向上が強く求められる。

そのような背景のもと、高効率かつ低公害なエンジンの燃焼方式として予混合圧縮着火 (HCCI: Homogeneous Charge Compression Ignition) 燃焼が注目されている。この方式は、ガソリンエンジンのように筒内に予混合気を用意し、ディーゼルエンジンのように圧縮着火させる方式である (図 1)。実用化に向けた大きな課題は着火と燃焼の制御である。とくに、低温酸化反応と呼ばれる着火前の化学反応が着火過程に強く影響を及ぼすため、これら

の特性を詳細に理解することが望まれている。本稿では、分光計測によって当該燃焼特性を解析した例<sup>(1)</sup>を紹介する。

## 2. エンジン熱効率の向上方法と HCCI

内燃機関の熱効率を向上するには、基本的にはオットーサイクルの理論熱効率  $[\eta_{th}=1-(1/\varepsilon^{\kappa-1})]$  に示されるように、圧縮比  $\varepsilon$  と比熱比  $\kappa$  を増加させることである。比熱比を向上することは、作動ガスを空気に近づけることであり、希薄燃焼が有効である。ガソリンエンジンの熱効率がディーゼルエンジンに比べて低いのは、ノッキングが発生するため圧縮比を向上できないことと、失火防止や排気浄化装置 (三元触媒) の浄化性能確保のために、理論空燃比付近での運転が必要なためである。希薄燃焼を行うことは、燃焼温度の低下による冷却損失の低減や、絞り弁開度の増加によるポンピング損失の低減にも寄与する (絞り弁開度が小さいと、吸入行程時に吸気管内の圧力が低下し、吸入仕事が増える)。加えて、実在気体である燃焼ガスの比熱比は温度が上がると低下するため、それを防ぐ効果も加わる。

ディーゼルエンジンは、絞り弁なしで空気を吸入し、十分に高い圧縮比で着火し、筒内全体で見ると希薄燃焼を行うため、高い熱効率を示す。しかし、噴射された燃料が空気と混合しながら (拡散) 燃焼を行うため、局所的に不均一な燃焼を行っており、過濃部から粒子状物質 (PM)、高温部から窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) が生成され、その同時低減が困難である (図 1)。

HCCI エンジンは、ディーゼルエンジンの拡散燃焼を予混合化したもの、あるいは、ガソリンエンジンの理論空燃比での火花点火燃焼を、希薄・圧縮着火にしたものである。よって、吸気絞りなしで予混合気を十分に高い圧縮比で燃焼させることが可能になるため、高効率化とクリーン化の両立が実現しうる。しかし、予混合気を圧縮着火するため、着火時期の制御が困難である。また、燃焼室内で混合気がほぼいっせいに自己着火燃焼するため (図

1)、とくに高負荷域では打音を伴う急峻な燃焼の抑制が必要である。すなわち、自己着火機構を深く理解し、燃焼を制御する必要がある。

## 3. HCCI 燃焼の分光計測

分光計測に用いた燃焼室と測定装置の概略を図 2 に示す。本研究では、燃焼室内ガスの自発光計測と、光の吸収計測の 2 種類の方法を実施した。燃焼室内ガスの発光を、石英窓 A から取り出し、光ファイバによって分光器および検出器 (光電子増倍管) に導くことで、任意の波長の発光強度を測定する。また、石英窓 B から、燃焼室内にキセノン光源の連続スペクトル光を照射し、対向して設けた石英窓 C からその透過光を取り出し、分光器および検出器に導くことで、任意の波長の光の吸収度合いを測定する。これらの測定により、HCCI 燃焼において、どのタイミング (クランク角度) で、どの波長帯に、どの程度の強さの発光や吸収が起きるのか (化学種の生成・消費挙動) が解析できる。解析結果の一例として、吸収スペクトルを図 3 に示す。吸収スペクトルでは、とくに着火前に起こる低温酸化反応の生成物による吸収挙動が測定されている。

これらの解析結果から、ある波長の吸光度と、低温酸化反応の活発さに相関があることなど、HCCI 燃焼機構の解明に資する有用な知見が得られた<sup>(2)</sup>。

## 4. おわりに

内燃機関は、他の動力源に比べて、比出力・コスト・耐久信頼性に長けており、自動車の動力源として、これからも主たる役割を果たしていくものと考えられる。今後は、熱効率向上に向けた研究開発がよりいっそう加速し、さらなる性能向上を果たすものと考えられる。

(原稿受付 2010 年 1 月 28 日)

[飯島晃良 日本大学]

### ●文 献

- (1) 飯島晃良・吉田幸司・庄司秀夫, 予混合圧縮着火機関の着火に関する分光学的研究, 日本機械学会論文集, 74-724, B, (2008), 1433-1442.
- (2) Iijima, A., Yoshida, K. and Shoji, H., A Study of Autoignition in an HCCI Engine by Using Light Absorption and Emission Spectroscopy, COMODIA 2008 (2008-7).

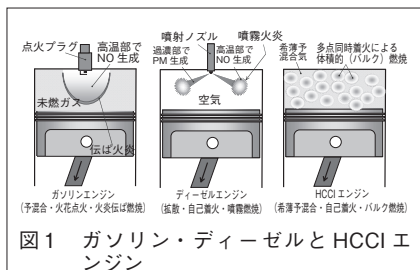


図 1 ガソリン・ディーゼルと HCCI エンジン

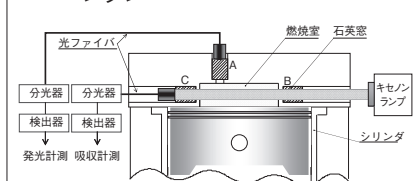


図 2 筒内分光計測装置の概要

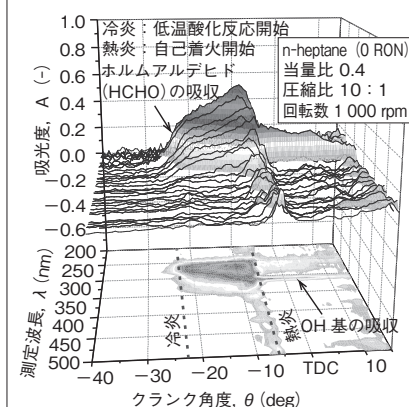


図 3 HCCI 燃焼の吸収スペクトル