



低温予混合燃焼（MK 燃焼）方式の紹介

河本 桂二（日産自動車株式会社）

1. はじめに

直噴ディーゼルエンジンは熱効率に優れ、CO₂削減の有効な手段として注目されているが、一方で排気中のPM（煤などの微粒子）や、NO_x（窒素酸化物）が大きな問題となっている。そこで、排気クリーン化を目的としてディーゼルエンジンの燃焼形態を抜本的に改良する努力が続けられている。

その中でも、「予混合燃焼方式」はこれまで世界中の多くの研究者によって研究され、様々なコンセプトが提案されている。これらのコンセプトは、NO_xの低減方法によって便宜的に以下の二つに分類できる。第一の分類は、希薄で均質な予混合状態を実現することでNO_xと煤の同時低減を狙うとする「希薄予混合燃焼」であり、HCCI（Homogeneous Charge Compression Ignition）と称されることが多い。第二の分類は、燃焼の低温化によるNO_x低減と予混合燃焼による煤の低減とを同時に実現することを狙う「低温予混合燃焼」である。

本稿では、後者の「低温予混合燃焼」に分類される日産独自の「MK（Modulated Kinetics）燃焼」方式について紹介する。

2. MK 燃焼方式の特質

MK燃焼方式は、「低温燃焼」によるNO_xの低減と、「予混合燃焼」によるPM（煤）の低減とを同時に実現することを目指した燃焼方式である。図1にMK燃焼コンセプトの基本的な概念に関する説明図¹⁾を示す。

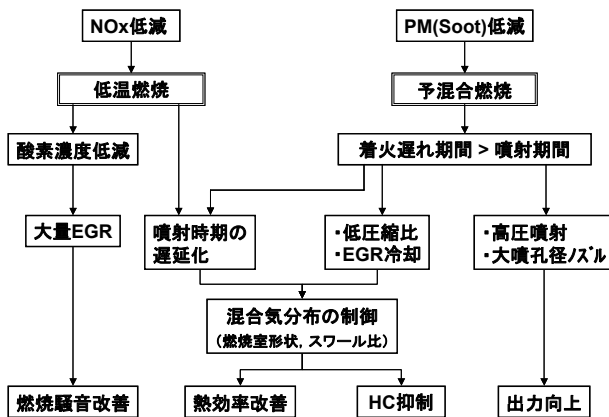


図1. MK 燃焼コンセプトの概要

図2に、MK燃焼によるNO_xとPMの低減効果について、予混合化の指標である「燃料噴射期間と着火遅れ期間の差」との関連から示す²⁾。排気ガス還流(EGR)による酸素濃度低減で燃焼温度は低下し、NO_xが低減される。一方で、酸素濃度の低下はPMの悪化を招く。これに対して、MK燃焼コンセプトでは、高圧噴射化による噴射期間の短縮と、EGR冷却および噴射時期リタードによる着火遅れ期間の長期化とを図り、燃焼を予混合化することでPMの排出を抑制している。

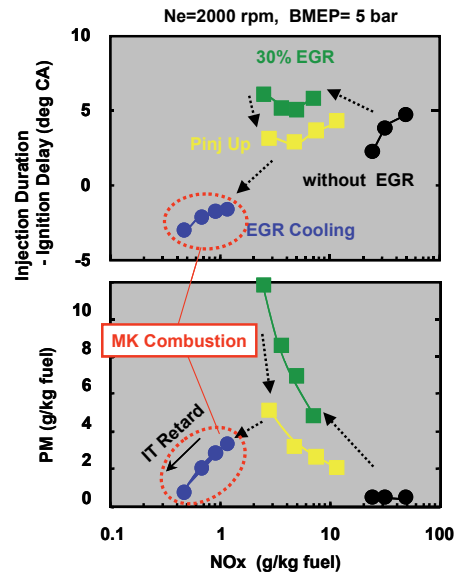


図2. MK 燃焼による排気性能改善

燃焼の低温化および予混合化に伴ってHCの悪化が懸念されるが、MK燃焼方式では燃焼室壁面近傍などの低温のクエンチ領域に燃料が進入しないよう、スワールや燃焼室形状で混合気分布を制御している。一例として、高スワールの効果を図3に示す²⁾。低スワール条件（SR=3）で噴射時期を遅延化していくとHCが大幅に増加するのに対して、高スワール条件（SR=9）ではHCの悪化は見られない。また、図示熱効率（ η_i ）は噴射時期によらず、高スワール条件の方が高い値を示している。燃焼解析の結果、高スワール条件では冷却損失が低減されていることが明らかとなった。

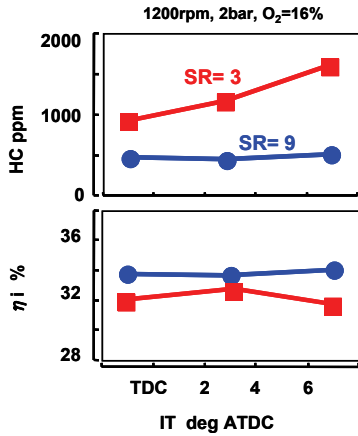


図3. スワール比の影響

図4に示す3次元CFD (Turbo-KIVA)による燃焼室内の当量比分布の計算結果²⁾によると、低スワール条件では燃焼室壁面近傍に高い当量比の混合気が分布しているのに対して、高スワール条件では噴射された燃料の大半が燃焼室の中央付近に分布している。壁面近傍での混合気形成が回避された結果、熱損失の低減による熱効率改善と、クエンチの抑制によるHC改善が得られているものと推察される。

3. 燃焼撮影による燃焼特性の把握

図5¹⁾にMK燃焼の熱発生率と燃焼撮影結果を示す。

標準的な直噴ディーゼルの熱発生率が初期燃焼（予混合燃焼）と主燃焼（拡散燃焼）の2段に区別される形態を取るのに対して、MK燃焼では熱発生が単段であり、全体が予混合的な燃焼を呈していると推察される。また、MK燃焼では明瞭な輝炎がほとんど観察されない。火炎の透明度の高さから類推して、燃焼温度が低いために発光強度が弱いばかりではなく、火炎内の煤濃度が低いことの証左であると考えられ、予混合化が進展していることが確認されたと推察される。

4. MK燃焼による排気改善効果

図6に通常燃焼とMK燃焼のNO_xの低減率を示す¹¹⁾。通常燃焼の場合、90%程度の低減が限界であるのに対して、MK燃焼ではPMの悪化がほとんど無いまま、NO_xを約98%まで低減できている。これは「希薄予混合燃焼」方式による低減効果と遜色の無いレベルといえる。

6. おわりに

近年、ディーゼルエンジンにおいても排気後処理技術や制御技術の進展には目覚ましいものがあるが、リーズナブルなコストで排気浄化を実現するためには、やはり燃焼による排気低減技術の実用化が不可欠である。「予混合燃焼」の研究が活発化して10数年経過したが、これまでの研究成果と周囲環境の変化を踏まえつつ、早期実用化に向けた新たな研究を加速する必要性を感じている。

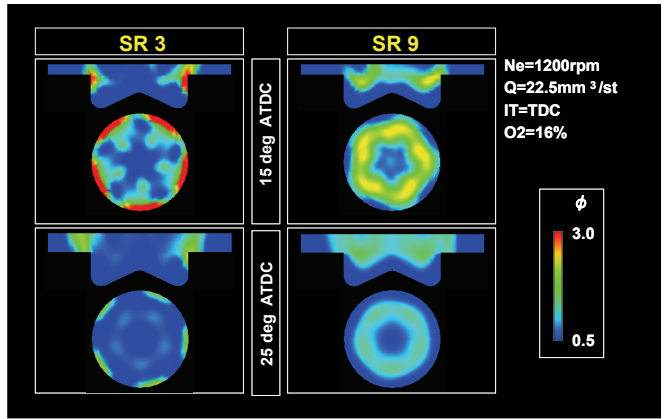


図4. 当量比分布の比較

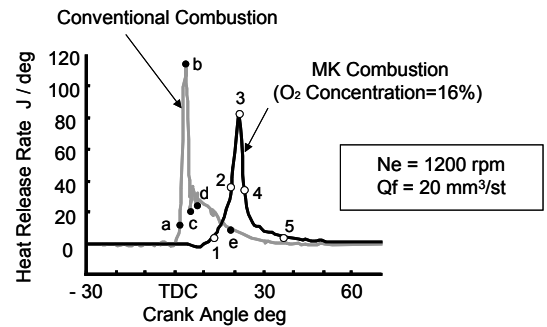
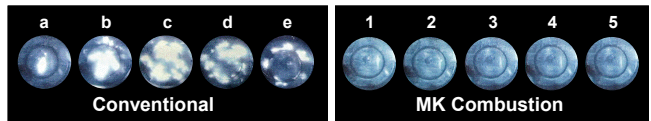


図5. MK燃焼の熱発生率と燃焼写真

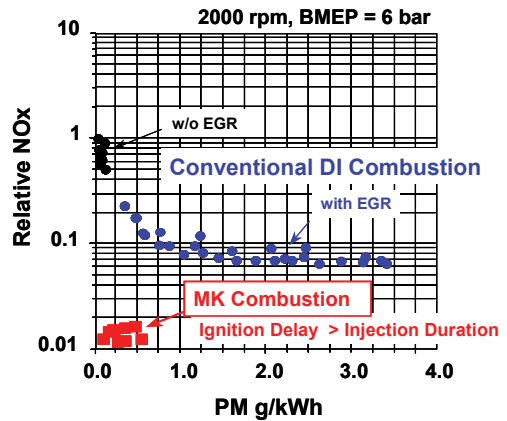


図6. MK燃焼のNO_x低減効果

参考文献

- (1) 木村修二：ディーゼル新燃焼技術の歩みと今後の展望，エンジンテクノロジー，Vol.07，No.02，p.15，April 2005
- (2) S. Kimura, H. Ogawa, Y. Matsui, and Y. Enomoto：An experimental analysis of low-temperature and premixed combustion for simultaneous reduction of NO_x and particulate emissions in direct injection diesel engines, Int J Engine Research, Vol.3, No.4, p.249, 2002