

高拡散型千鳥噴射ノズルを用いた 拡散燃焼の分割化による NO_x とスモークの同時低減

Simultaneous Reduction of NO_x and Smoke by Divided Diffusion Combustion
Using High Dispersion Staggered Layout Nozzle

安 藤 博 和¹

Hirokazu ANDO

中 津 雅 之¹

Masayuki NAKATSU

青 柳 聡¹

Satoshi AOYAGI

大 矢 直 樹²

Naoki OHYA

要 旨

拡散ディーゼル燃焼において極低エミッション化を実現するため、NO_x 低減に有効な高過給高 EGR 条件下におけるスモーク抑制手法について検討をおこなった。従来燃焼におけるスモークの主な生成元となっていたメイン拡散燃焼リッチ部を低減するため、メイン燃料噴射量の減量と、早期噴射量の増量による予混合燃焼を組み合わせた分割燃焼を採用した。この分割燃焼の採用により従来燃焼音により制限されていた燃料噴射圧力を高めることができ、分割燃焼の効果と合わせてスモーク低減効果が確認された。また、予混合噴射のダイリユーション低減のため、千鳥配置噴霧を採用した。これらの手法を組み合わせることにより、従来燃焼に対し熱効率の低下と燃焼音の増大、スモークの増加をさせることなく NO_x を 40% 低減、拡散ディーゼル燃焼の極低エミッション化を実現した。

ABSTRACT

In order to realize extremely low emissions with diffusive diesel combustion, a study was made of methods for smoke suppression under the high-boost, high-EGR conditions that are effective in reducing NO_x. Divided combustion that combines a reduction in the injected amount of main fuel with premixed combustion in which the amount of fuel injected early is increased was adopted in order to reduce the rich portion of the main diffusion combustion, which was the main generator of smoke in conventional combustion. The adoption of this divided combustion made it possible to raise the fuel injection pressure, which had previously been limited due to combustion noise, and a smoke reduction effect was confirmed together with the effect of divided combustion. In addition, a staggered spray layout was adopted in order to reduce dilution of the premixed injection. Combining these methods achieved diffusive diesel combustion with extremely low emissions, and reduced NO_x by 40% while not causing increases in combustion noise or smoke, or reduction of thermal efficiency relative to conventional combustion.

1. ま え が き

内燃機関における環境規制が益々強化されていく中で、高効率が特徴のディーゼルエンジンは CO₂ 低減への貢献が期待されている。一方で、2030 年前後より欧州各国での内燃機関車両の販売禁止に向けた動きがある中、NO_x、PM といった排ガス成分に対する今後の規制強化への対応が急務である。特に NO_x 後処理能力向上のためのシステム複雑化に伴うコストが課題となっている。後処理システムの簡素化のためには、燃焼室より排出されるフィード

NO_x とスモークの低減が必須である。過去に検討された PCCI 燃焼⁽¹⁾に代表されるディーゼル燃焼改善技術においては、低エミッション化と引き換えに、熱効率低下、燃焼音増加、オイルダイリユーション増加の一つ以上を伴うことから、実用化は容易ではなかった。そこで燃焼形態はすべてを予混合燃焼とせず、予混合燃焼と拡散燃焼を持ち分ける部分予混合型燃焼が考案され、研究が盛んにおこなわれており、双峰型燃焼⁽²⁾、ZPCI-DI⁽³⁾等が挙げられる。ただし、これら研究は筒内燃焼挙動に課題を抱え、未だ低エミッション化には至っていない。

¹ 先進パワーユニット・エネルギー研究所

E-mail: hirokazu_ando@jp.honda

² 先進パワーユニット・エネルギー研究所、博士 (工学)

Table 1 Transitions in emission regulations in Europe

	Euro 6.2 (6d-TEMP)	Euro 6.3 (6d)
Year of enforcement	2017-	2020-
Mode	WLTC and RDE	WLTC and RDE
NOx regulation [mg/km]	80	80
NOx CF	2.1	1.43

WLTC: Worldwide Light-duty Test Cycle

欧州排ガス法規規制の年次推移を Table 1 に示す。欧州排ガス規制は Euro6.2 を皮切りに Real Driving Emissions (RDE) 法規が導入された。また欧州委員会によると、排ガス規制値に対する許容倍数である Conformity factor (CF) を 1.0 へ引き下げる等の規制の厳格化が検討されている⁽⁴⁾。CF1.0 に向けたエミッション法規対応には、NOx 後処理システムの性能向上と共に、燃焼改善そのものによるエミッション低減技術が求められている。

本研究では、拡散ディーゼル燃焼において熱効率低下や燃焼音の増大とスモークの増加を招かずに NOx を低減することを目的とした。

2. 従来燃焼課題

拡散燃焼のエミッションは NOx、スモークとも燃焼火炎部の混合気濃度と燃焼温度によって決まる。混合気濃度は当量比 (Equivalence ratio: Φ) で表され、理論空燃比を実空燃比で除した値となっており、量論比である 1 を境に値が大きければ混合気がリッチ、小さければリーンであることを示す。また、本研究ではすすに関して、 Φ -T マップを用いる場合は炭素粒子状物質としてスートと表記し、実測結果はスモークメータでの計測結果であるためスモークと表記する。NOx に関しては Φ 1 近傍の量論高温部が生成域、スモークに関しては Φ 1.9 以上のリッチ部が生成域となっている。一般的なエミッション対応の方策としては、燃焼温度の低減による NOx の低減、噴霧の均質化に伴うリッチ部低減によるスモーク低減が挙げられる。

以降にて従来燃焼におけるその影響と課題を示す。

2.1. 高過給高 EGR 条件下での課題

NOx 低減のためには燃焼温度低減が有効である。燃焼温度低減は、 Φ 一定となるように過給圧を上げ、空気量を維持しつつ EGR 量を増加することで実現できる。一方、雰囲気圧力増加に伴う噴霧のペネトレーション低下によって、リッチ領域が大きくなり、スモーク増大を招く。このため、従来ディーゼル燃焼に適用した場合においては NOx とスモークのトレードオフは一定の改善に留まる。また、過給圧増加による対応は、多気筒エンジンを考慮した際にターボチャージャー仕事増大によるポンピングロス増加を招くため、このことから、NOx とスモークのトレードオフの

関係の改善幅は制約される。

2.2. 高燃料噴射圧条件下での課題

噴霧のペネトレーション強化による均質化策としての高燃圧化はスモーク低減が実現できる。ただし、一方では NOx の増加を招き、さらに燃焼期間の短縮による熱発生率の急峻化により、燃焼音が増大する。そのため、従来ディーゼル燃焼における高燃圧化は燃焼音により制約を受ける。

2.3. 予混合噴射条件下での課題

リッチ領域および量論比高温部同時低減策としての早期噴射による予混合燃焼対応は NOx とスモークのトレードオフ改善に有効である。一方、過早着火による熱損失増大と燃焼音の増大、ライナ燃料付着によるオイルダイリューションの増大を招く。オイルダイリューション増大についてはオイルメンテナンス回数増加を招くため、最小限に抑える必要がある。これらのことから、従来拡散燃焼において、NOx とスモークの低減に対する熱効率低下およびユーザーメンテナンス性低下と燃焼音増加といった、背反関係からの成立解を求めることが容易ではないことがわかる。

3. 目標および分割燃焼コンセプトの策定

3.1. 目標

Table 1 に示した通り、CF2.1 である Euro6.2 に対応した 2018 年モデル i-DTEC エンジン⁽⁵⁾のフィード NOx を基準として目標 NOx 低減率を設定する。2018 年モデル NOx Storage Catalyst 後処理システムを踏襲した場合は、将来的な CF1.0 への規制値の厳格化に対応するためにはフィード NOx は 50% 以上の低減が必要になると推定される。よって、2018 年モデル i-DTEC エンジン比でのフィード NOx 低減率目標値を 50% とおいた。また、その際の熱効率、燃焼音、スモークは同等を保つことを目標とした。

3.2. NOx およびスートの同時低減

従来燃焼の課題を解決するため、エミッションを低減する新たなコンセプトについて検討した。

Fig. 1 に、メイン燃焼時の Φ -T マップ質量分布を示す。NOx とスートの同時低減のためには、それぞれのエミッション生成域である、量論部とリッチ部を低減する必要がある。前述の通り、量論部に関しては高過給高 EGR 化による燃焼温度の低減により、NOx 生成域を避けて NOx を低減できる。一方、リッチ部に関してはスートの低減のためにメイン燃焼時に現れる当量比 Φ 1.9 よりリッチな領域の低減が必要であることがわかる。しかしながら高燃圧化はリッチ部が低減するが NOx と燃焼音が増加することから、取り込むことができない。

そこで、メイン燃焼部の Φ を下げスート生成域を減少させるための方策について検討した。Fig. 2(a)に、スート生成域である Φ 1.9 よりリッチな領域のクランク角に対する比率を示す。従来燃焼を点線、分割燃焼コンセプトを実線に示した。Fig. 2(c)に色分布でメイン燃焼時の Φ を示しており、圧縮上死点 (TDC) 付近にて燃焼室空間が限定されるため高拡散性が要求され、同一のメイン噴射燃料量ではリッチ領域を低減することが課題となっている。一方、Fig. 2(b)の TDC 前に目を向けると、未利用の広範な燃焼室内空間が存在することがわかる。そこで、メイン燃焼におけるメイン燃料量を減少することでリッチ領域を削減した。その分の燃料量は広範な空間が存在する TDC 前にパイロット噴射を増量することでリッチ領域を分散させることとした。ただし、増量したパイロット噴射を TDC 近傍にて実施すると、瞬時着火による拡散燃焼化によって NOx とスートの生成増加が懸念される。着火遅れ時間の確保の

目的で、合わせてパイロット噴射時期早期化が必要となると考えた。増量、早期化したパイロット噴射に関してはオイルダイリューションを招くライナ噴霧衝突を避ける観点から、定性的には多段化が有効と考えられる。これらの考え方を基にした分割燃焼コンセプトを今回立案した。

3.3. 予混合化への対応

分割燃焼コンセプトでは、メイン噴射量の低減を目的とした早期噴射による予混合燃焼を実施するため、ライナ燃料付着によるオイルダイリューションを抑制することが必要となる。噴霧のペネトレーションを保ちつつ予混合噴射とメイン噴射を両立するには諸元の異なる 2 本のインジェクタが必要とされるが、今回 1 本のインジェクタのみにて実現を目指した。早期噴射にて露出したライナへの燃料付着を避けるために、八つのインジェクタ噴孔のうち四つの噴孔方向を下向きとした。残り四つの噴孔に関しては従来通りの噴孔方向とし、異なる方向の噴孔を交互に配置した。分割燃焼においてはこのような噴孔方向を孔ごとに持ち分けることでライナ燃料付着を軽減し、あわせて高拡散化効果を得られるインジェクタ噴孔千鳥配置⁽⁶⁾と呼ぶ方策を採用する。

4. 諸元検討

4.1. 供試エンジンおよび評価負荷

量産 1.6 L 直列 4 気筒諸元を基に作成した単気筒エンジンにて検証を実施した。Table 2 に検証に使用したエンジンの主要諸元を示す。

Fig. 3 に想定する車両におけるエミッションモード負荷分布を示す。本研究の評価負荷点は WLTC モードエミッション排出重心点であるエンジン回転数 2000 rpm、エンジントルク 150 Nm、総燃料噴射量 28.3 mg/st に設定した。これ以降のすべての検証はこの評価負荷点でおこなう。

燃焼音レベルは、起振源である筒内圧力と機関の構造応答の掛け合わせで表現されると考えられる⁽⁷⁾。燃焼音指標 (Combustion noise index: CNI) はこれまで開発された多くの内燃機関の燃焼音と筒内指圧の相関を基に、独自の構造応答を算出し、計測した筒内圧と構造応答を掛け合わせた値であり、筒内指圧のみで燃焼音レベルを推定する指標である。これにより多気筒エンジンでの燃焼音レベルを単気筒でも評価できる。よって以降では CNI を燃焼音指標として扱う。

4.2. 計算手法

単気筒エンジン試験に加え、燃焼シミュレーションを用いた諸元検討を実施した。使用した CFD は CONVERGE v2.4 であり、Table 3 に計算モデルの概要を示す。燃焼化学反応計算においては Wang らによる n-dodecane

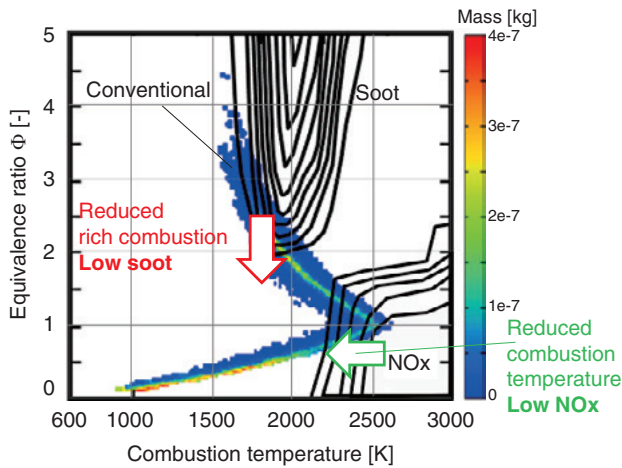
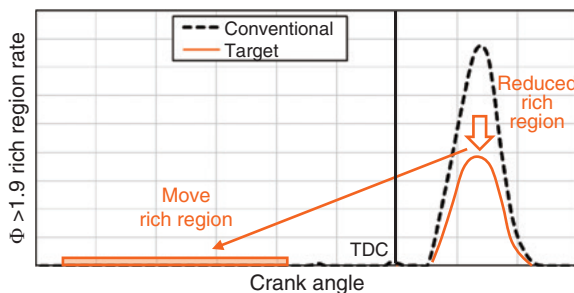
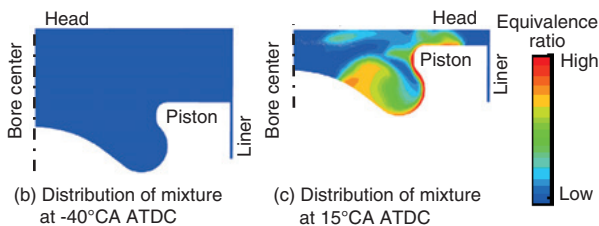


Fig. 1 Φ -T map during main combustion



(a) Transition in ratio of region with equivalence ratio of 1.9 or higher



(c) Distribution of mixture at 15°CA ATDC

Fig. 2 Concept of rich region control

Table 2 Test engine specifications

Number of cylinders	1
Displacement volume [cm ³]	400
Bore [mm]	76
Stroke [mm]	88
Compression ratio	14.6, 16.1 (base)
Fuel injection system	Bosch CRI 2-25 (max. 250 MPa)
Injector	8 holes, 0.114 mm diameter
Fuel	EU spec diesel (sulfur < 10 ppm)
Boost device	Super charger

Table 3 Calculation method

CFD software	CONVERGE v2.4
Turbulence model	RNG k-ε
Spray model	Kelvin-Helmholtz and Rayleigh-Taylor
Combustion model	SAGE detailed chemical reaction
Chemical reaction	100 species and 432 reactions n-dodecane (with NOx reaction)

Mechanism⁽⁸⁾にNOx反応を追加した素反応モデルを使用した。エンジン諸元は供試エンジン同一とした。

4.3. 分割燃焼コンセプトの実証

立案した分割燃焼コンセプトの実証をおこなった。予混合噴射量の影響について実験条件をTable 4に、評価負荷点での実機試験結果をFig. 4に示す。Fig. 4(a)に示す噴射パターンにて、ΦおよびEGR率、過給圧、燃料噴射圧は同一とする。Fig. 4(b)に示す通り、パイロット噴射量の増加に伴い、メイン拡散燃焼が主因となって生成するスモークが低減する。さらに、燃焼分割化により、クランクアングルに対する熱発生形態が1山から2山に変化、圧力振幅が低下することで、Fig. 4(c)に示す通り燃焼音が低減し、燃焼音目標に対して余裕が生まれる。よって従来燃焼音で制限されていた燃料噴射圧力の高圧化が実現できる。また、最適なパイロット噴射量は、スモーク低減、NOx低減、燃焼音低減が同時に達成できる10.5 mg/stとなる。その際は、従来パイロット噴射量設定に対し同一噴射圧にてスモークが37%低減することが確認された。

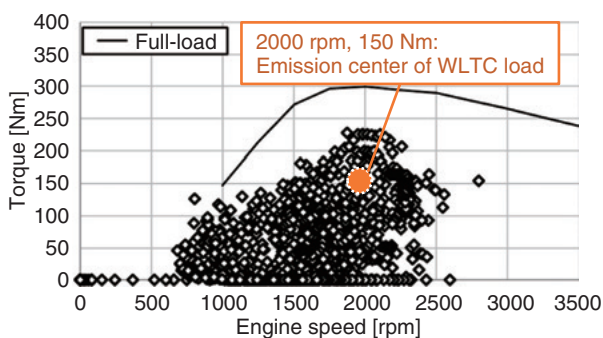
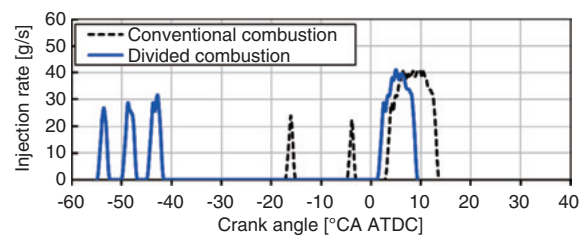


Fig. 3 Engine operation area in WLTC mode and evaluation load point

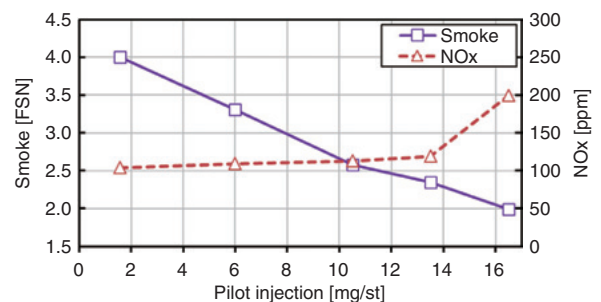
Table 4 Experimental conditions by premixed pilot injection amounts

	Conventional combustion	Divided combustion			
Total injection [mg/st]	28.3	28.3			
Pilot injection [mg/st]	1.58	6.0	10.5	13.5	16.5
Pilot injection start timing [°CA ATDC]	-17.3	-55.0			
Number of pilot injection shots	2 shots	3 shots			

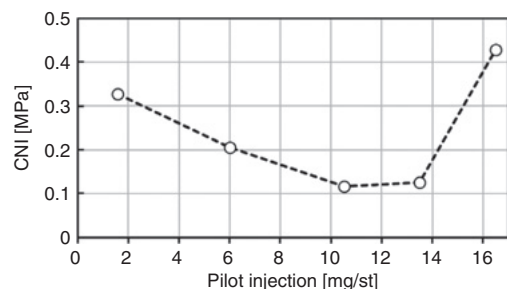
また、予混合噴射時期の影響について、実験条件をTable 5、評価負荷点での実機試験結果をFig. 5に示す。ここでは、Fig. 5(a)に示すパイロット噴射開始時期を変化させた。ΦおよびEGR率、過給圧、燃料噴射圧は同一とする。Fig. 5(b)に示す通り、予混合噴射時期早期化によりパイロット噴射の噴霧拡散時間が確保され、リッチ化が抑制されることでスモークが低減していることがわかる。この際の最適なパイロット噴射時期をスモーク低減、NOx低減、燃焼音低減が同時に達成できる-55°CA ATDCとした。これらにより、燃焼音増大を伴わない高燃圧化が実現できる。結果として高過給高EGR条件下での噴霧ペネトレー



(a) Injection rate



(b) Smoke and NOx



(c) CNI

Fig. 4 Effects of premixed pilot injection amounts

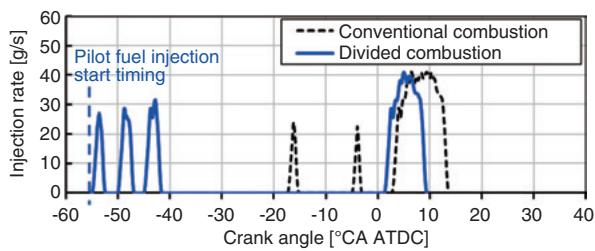
Table 5 Experimental conditions by premixed pilot injection start timings

	Divided combustion				
Total injection [mg/st]	28.3				
Pilot injection [mg/st]	10.5				
Pilot injection start timing [°CA ATDC]	-60.0	-55.0	-50.0	-45.0	-40.0
Number of pilot injection shots	3 shots				

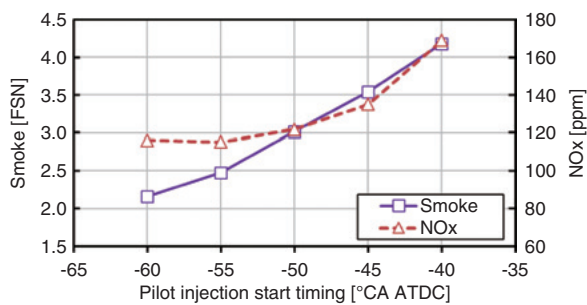
ションを増大させ、リッチ部を減少させることでスモークを低減できるようになった。

4.4. 予混合噴射における対応

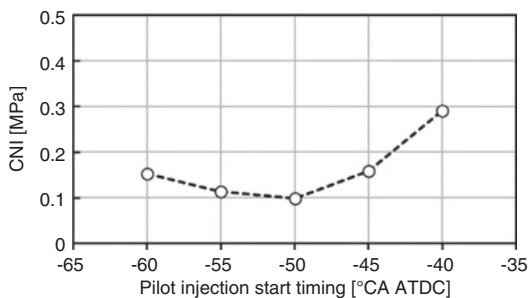
分割燃焼コンセプトでは千鳥配置噴霧を採用するため、予混合噴射におけるその噴霧配置について検討した。従来パイロット噴射と、千鳥配置噴霧における予混合パイロット噴射の筒内噴霧分布のCFDにおける比較をFig. 6に示す。Fig. 6(b)に示す千鳥配置の下向き噴孔の噴霧に関しては、ライナ衝突が抑制されていることがわかる。



(a) Injection rate



(b) Smoke and NOx



(c) CNI

Fig. 5 Effects of premixed pilot injection start timings

また、評価負荷点において、従来インジェクタでの分割燃焼、千鳥配置噴霧での分割燃焼についてダイリューションをCFDにて推定した。インジェクタ噴孔千鳥配置化によって予混合噴射適用時のオイルダイリューションを24%低減させた。

ここで、実機にてパイロット噴射の噴射時期と噴射量を変えてダイリューション量を実測した。従来噴霧での結果をFig. 7に、千鳥配置噴霧での結果をFig. 8に示す。従来噴霧に対し、同一パイロット時期と量における千鳥配置噴霧のダイリューションレベルが低減していることが確認で

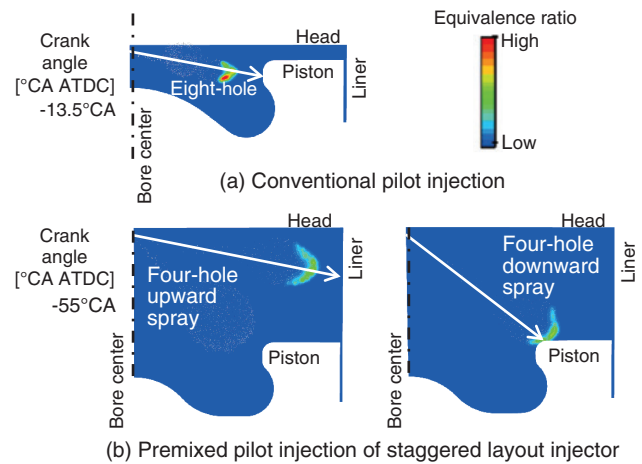


Fig. 6 Comparison of conventional pilot spray and premixed pilot spray with staggered layout injector

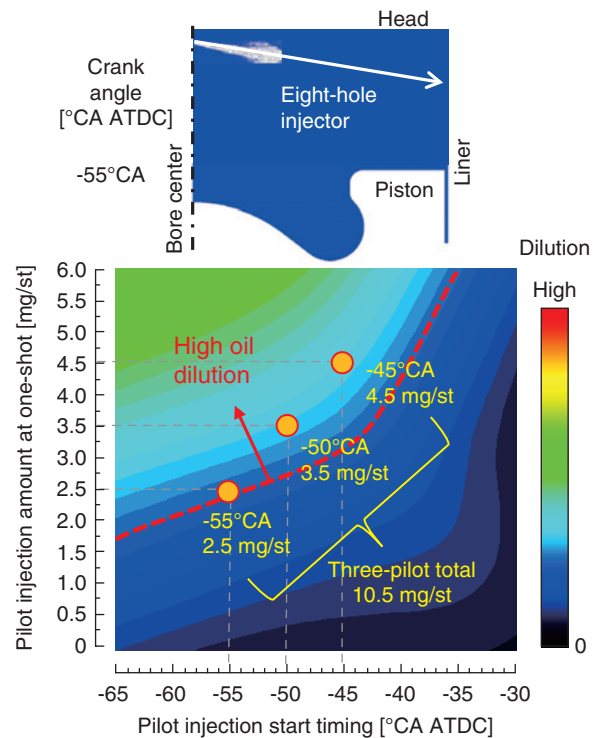


Fig. 7 Oil dilution level of one-shot pilot injection with conventional injector

きる。このため、千鳥配置噴霧に関しては早期かつ多量のパイロット噴射に対する優位性があるといえる。この結果より、千鳥配置噴霧にて噴射分割段数、噴射量、噴射時期を設定した。パイロット噴射段数は3段、パイロット噴射量と時期は2.5 mg/st -55°CA ATDC と 3.5 mg/st -50°CA ATDC と 4.5 mg/st -45°CA ATDC を設定した。

さらに、千鳥配置噴霧にてポスト噴射を実施する後処理燃焼モードの検証を合わせて実施した。後処理燃焼モードは、膨張行程でのポスト噴射によりスリーブへの付着が発生する。千鳥配置噴霧を用いることにより、ポスト噴射時のダイリューションが低減できるため、後処理燃焼モードの場合でも、ダイリューションを低減できることをCFDで確認した。これらによって、分割燃焼コンセプトでのオイルメンテナンス回数増加を防止できた。

4.5. メイン拡散燃焼について

分割噴射を実施したうえで千鳥配置噴霧を採用したことにより、メイン拡散燃焼においては従来と異なる下向きの噴霧流動が加わるため影響を確認する。従来燃焼室形状 ϵ 16.1 に対し、圧縮比が低下するものの千鳥流動に対して燃焼室容積を最大限確保した分割燃焼用燃焼室 ϵ 14.6 を策定し、CFDにて当量比分布推移の検証をおこなった。

従来燃焼に対する、高過給化と燃焼音許容までの高燃圧化と千鳥配置噴霧を適用した分割燃焼についての比較を示す。評価負荷点におけるCFDでの検討条件をTable 6に、 Φ 1.9以上の領域割合推移をFig. 9に、メイン燃焼時の Φ -TマップをFig. 10に示す。分割燃焼 ϵ 14.6仕様において、

Table 6 CFD conditions of divided combustion

	Conventional combustion ϵ 16.1	Divided combustion ϵ 14.6
Fuel injection pressure [MPa]	140	200
Boost pressure [kPa_abs]	172	182
Equivalence ratio	0.81	0.81
EGR rate [%]	28.0	32.0
Pilot injection [mg/st]	1.58	10.5
Pilot injection start timing [°CA ATDC]	-17.3	-55.0
Number of pilot injection shots	2 shots	3 shots

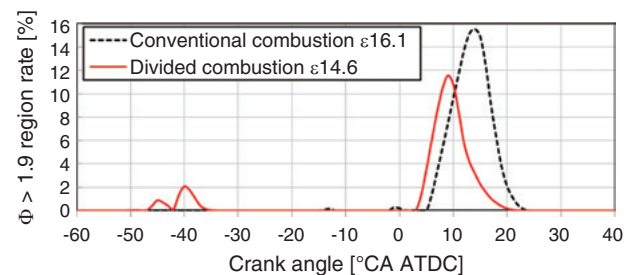


Fig. 9 Transitions in ratio in region with equivalence ratio of 1.9 or higher

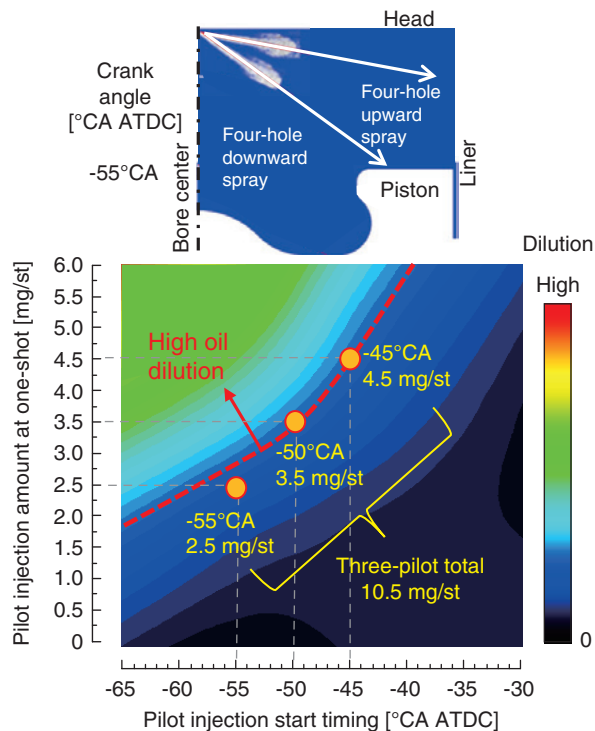
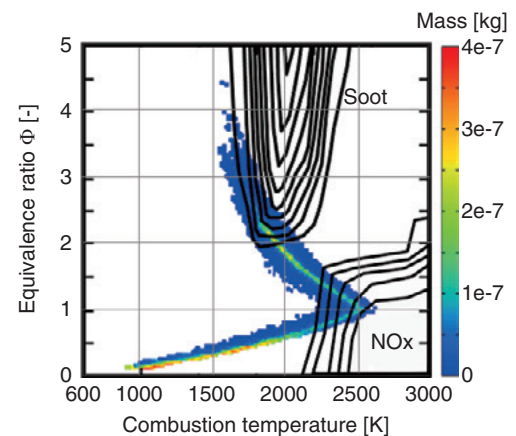
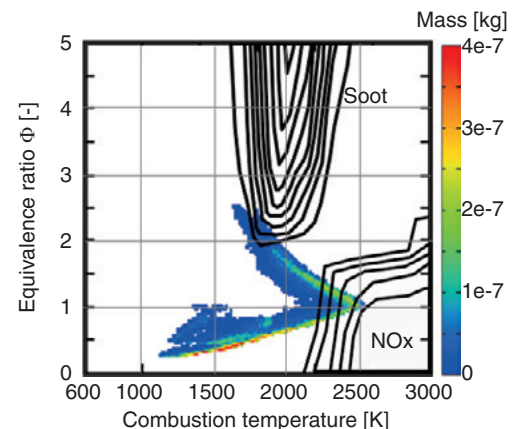


Fig. 8 Oil dilution level of one-shot pilot injection with staggered layout injector



(a) Conventional combustion ϵ 16.1



(b) Divided combustion ϵ 14.6

Fig. 10 Φ -T maps of conventional combustion and divided combustion during main combustion

メイン噴射量低減と高燃圧化ならびに千鳥配置噴霧の効果により、メイン燃焼リッチ部の低減が得られている。よって当初策定した分割燃焼コンセプトのねらい通りにスト生成域を回避できていることが CFD 上にて確認できる。

さらに、スモーク排出に影響が大きいメイン燃焼に着目した。Φ 1.9 以上の領域の当量比分布等値面を Fig. 11 に示す。当量比分布等値面を確認すると、従来燃焼に対し、分割燃焼 ε 14.6 仕様では、分割燃焼化によるメイン噴射量低減及び高燃圧化効果と合わせて、クランクアングル 12°CA ATDC 以降のメイン燃焼後半のリッチ部体積の減少が確認できる。特に千鳥配置噴霧の採用により、隣接する噴霧の燃焼室内における干渉が無くなったことが、リッチ部体積減少に寄与している。

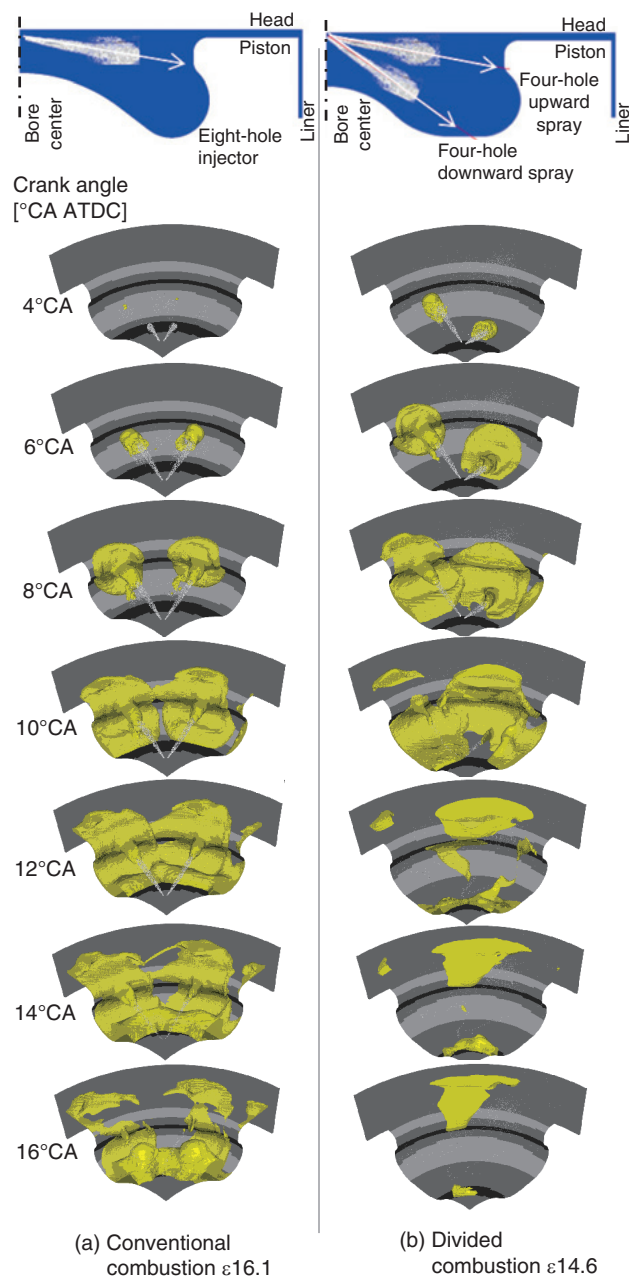


Fig. 11 Isosurfaces for region with equivalence ratio of 1.9 or higher during main combustion

5. 実機単気筒検証結果

実機単気筒にて、分割噴射ならびに千鳥配置噴霧を適用した分割燃焼コンセプト ε 14.6 仕様における高過給高 EGR 条件下での検証をおこなった。高過給化量に関しては、多気筒エンジンを考慮した際にターボチャージャー仕事増大によるポンピングロス増加が起きないように、過給圧 10 kPa 増加を上限とした。

評価負荷点における従来燃焼および分割燃焼 ε 14.6 仕様での試験条件を Fig. 12 に、噴射率と熱発生率を Fig. 13 に示す。Fig. 13(a) に示す噴射パターンでの分割燃焼 ε 14.6 仕様にて、Fig. 13(b) に示す熱発生率から観測される通り、予混合と拡散からなる分割燃焼を適用することで圧

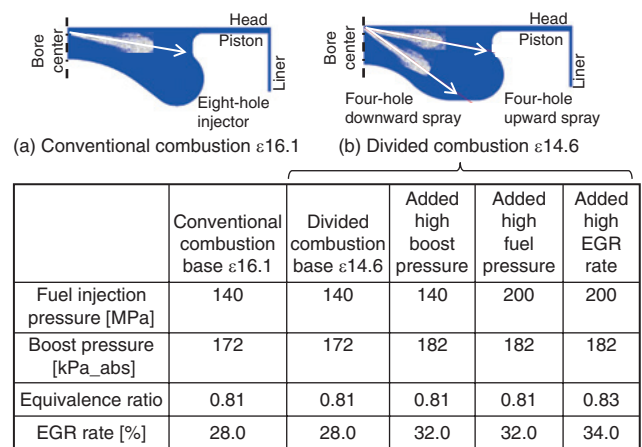


Fig. 12 Experimental conditions of conventional combustion and divided combustion

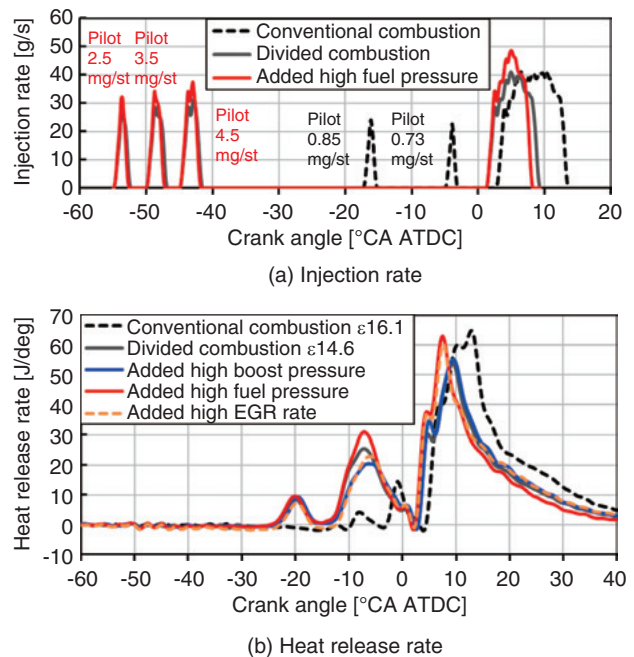


Fig. 13 Injection strategy and heat release rate of conventional combustion and divided combustion

力振幅が2分割される。

CNIをFig. 14に示す。圧力振幅の分割により、分割燃焼はCNIが0.16 MPaから0.11 MPaまで低下する。従来燃焼においては燃焼音目標に対する余裕がないが、分割燃焼においては高過給化、高燃圧化、および高EGR化をおこなっても燃焼音目標値内に抑えることができる。

従来燃焼および分割燃焼 ϵ 14.6仕様でのスモークとNO_x、熱効率をFig. 15に示す。Fig. 15(a)に示すスモークとNO_x排出量から、従来燃焼と比較すると分割燃焼に関しては、高過給化、高燃圧化によってスモークが47%低減、さらに高EGR化を組み合わせることで、同等スモークにて目標エミッションに近接するNO_x排出量40%低減ができるようになった。これは当初策定した分割燃焼コンセプトのねらい通り、メイン噴射量低減と高燃圧化ならびに千鳥配置噴霧の効果により、メイン燃焼リッチ部の低減が得られたと考えられる。熱効率に関しても、Fig. 15(b)に示す通り予混合燃焼を採用したことにより壁面熱損失が増加する一方、分割燃焼における高過給高EGR化の燃焼温度低減効果によって壁面熱損失が改善するため、図示熱効率

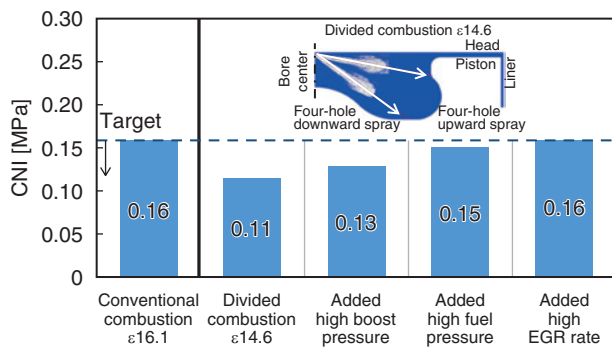
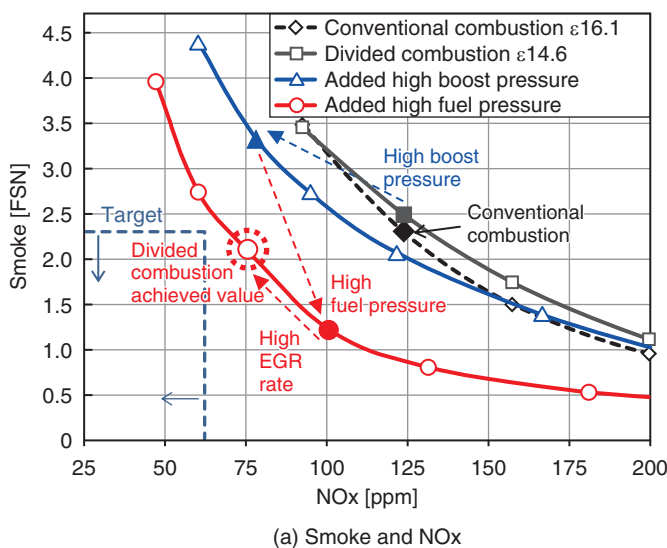
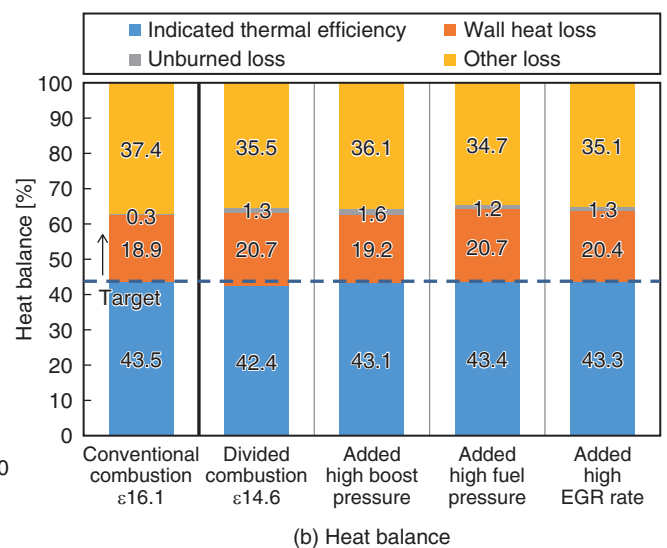


Fig. 14 CNIs of conventional combustion and divided combustion



(a) Smoke and NOx



(b) Heat balance

Fig. 15 Smoke and NO_x and thermal efficiency of conventional combustion and divided combustion

目標が43.5%に対し43.3%まで回復、目標同等とすることができた。

これらの実機検証結果より、従来燃焼に対し、分割燃焼 ϵ 14.6仕様にて図示熱効率、スモーク、燃焼音を同等に保ちつつ、目標エミッションに近接するNO_x排出量40%の低減を実現した。

6. まとめ

従来諸元に対し、高拡散化効果が得られる千鳥配置噴霧を適用した分割燃焼コンセプトを導入することで、評価負荷点であるエンジン回転数2000 rpm、エンジントルク150 Nm、総燃料噴射量28.3 mg/stにて図示熱効率、スモーク、燃焼音を同等に保ちつつ、NO_x排出量について40%の低減を実現した。以降に得られた知見を記す。

- (1) 高過給高EGR条件下にて、従来燃焼におけるスモークの主な生成元となっていたメイン拡散燃焼の燃料噴射量低減をねらい、早期噴射による予混合燃焼を組み合わせた分割燃焼を考案した。従来パイロット噴射設定に対し同一燃料噴射圧力にてスモークが37%低減することを確認した。
- (2) 分割燃焼採用により燃焼音を30%低減できたため、従来燃焼音により制限されていた燃料噴射圧力の60 MPa増加が実現できた。分割燃焼の効果ならびに千鳥配置噴霧の高拡散化効果と合わせて、スモークが47%低減することを確認した。さらに高EGR化を組み合わせることで、同等スモークにてNO_xの40%低減を実現した。
- (3) 千鳥配置噴霧の適用により、予混合噴射におけるダイリレーションを24%低減した。これにより、オイルメンテナンス回数の増加を防止できた。

今後、分割燃焼に適した燃焼室形状変更と高 EGR 化等をおこなうことにより、さらなる NOx 排出量低減の可能性があると考えている。

参考文献

- (1) 畑野潤一, 原田丈也, 松井一博, 小林広樹, 松井竜太: 予混合圧縮着火ディーゼル燃焼の適用領域拡大, Honda R&D Technical Review, Vol. 22, No. 2, p. 119-125
- (2) 稲葉一輝, 張焰赫, 桑衛輝, Bianco Del Lucia, 小橋好充, 柴田元, 小川英之: 後期噴霧に対する前期予混合化燃焼の干渉抑制による双峰形部分予混合化ディーゼル燃焼の特性改善, 自動車技術会 2020 年秋季大会学術講演会講演予稿集, No. 113-20, (2020)
- (3) Pan, W., Yokoyama, T., Bao, Z., Horibe, N., Kawanabe, H., Ishiyama, T.: Effects of Fuel Properties on Combined PCCI and Conventional Diesel Combustion, 自動車技術会 2019 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 65-19, (2019)
- (4) European Parliament: Amendments on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EC) No 715/2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information, (2020)
- (5) 小松伸裕, 矢野洋樹, 北山由人, 山谷幸久, 首藤康裕, 高原亮策: RDE 対応 1.6L ディーゼルエンジンの開発, 自動車技術会 2018 年秋季大会学術講演会講演予稿集, No. 120-18, (2018)
- (6) 古東文哉, 森一広, 久保憲太郎, 千田二郎, 藤本元: 高拡散型燃料噴射ノズル (千鳥噴射ノズル) における噴霧特性の基礎的解明, 微粒化, Vol. 13, No. 44, p. 1-7, (2004)
- (7) 鳥居建史: 重回帰分析を用いた時系列エンジン放射音寄与分離法, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No. 4, p. 1051-1057, (2013)
- (8) Wang, H., Ra, Y., Jia, M., Reitz, R. D.: Development of a reduced n-dodecane-PAH mechanism and its application for n-dodecane soot predictions, Fuel, Vol. 136, p. 25-36, DOI 10.1016/j.fuel.2014.07.028, (2014)

■著 者■



安藤 博和



青柳 聡



中津 雅之



大矢 直樹