

特許発明「二段着火予混合燃焼」が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞 The Patented Invention of "Two-Stage Premixed Ignition Combustion" Won the Grand Prize in Aichi Prefecture Commendation for Invention at the Aichi Invention Award

小笠原 雅人^{*1}

Masato Ogasawara

*1 知的財産部

要 旨

特許発明「二段着火予混合燃焼」(特許第5062340号)が愛知発明表彰にて愛知発明大賞を受賞した。本発明は、ディーゼルエンジンにおける燃焼制御に関するものであって、熱発生率波形を最適化することで、コストの増加を抑制しつつ画期的な排気クリーンを実現したもので、本発明の技術は2021年に発売された新型トヨタ・ランドクルーザー300用ディーゼルエンジン(F33A-FTV)に採用されている。特許発明の内容について紹介する。

キーワード: 愛知発明表彰、予混合燃焼、二段着火

Abstract

The patented invention of "Two-Stage Premixed Ignition Combustion" (Japanese Patent No. 5062340) won the grand prize in Aichi prefecture commendation for invention at the Aichi invention award. The invention relates to combustion control in a diesel engine. By optimizing the heat release rate waveform, it is possible to achieve revolutionary clean exhaust gas while suppressing cost increases. The technology of the invention is used in the diesel engine (F33A-FTV) for the new Toyota Land Cruiser 300 released in 2021. The content of the patented invention are introduced.

Keywords: Aichi Invention Award, Premixed Ignition Combustion, Two-Stage Ignition

1 はじめに

愛知発明表彰は、愛知県内において優秀な発明をされた方々を表彰し、当該地域の発明奨励・振興を図ることを目的に、昭和55年から公益社団法人愛知協会によって毎年開催されている。知的財産部ではこの愛知発明表彰に毎年社内発明を応募して、技術者のモチベーション向上および製品のPRを図っている。

2023年6月13日に令和5年度愛知発明表彰の表彰式が開催され、当社の発明である特許「二段着火予混合燃焼」(特許第5062340号)が栄えある愛知発明大賞を受賞した。当社としては3年連続の大賞の受賞である。

今回受賞した特許発明「二段着火予混合燃焼」は、既存技術の改良により、ディーゼルエンジンの燃費向上や騒音削減などを実現できる点をはじめ、汎用性が高く、環境問題への効果も期待できる点などが評価された。

今回受賞した特許発明は、エンジン事業部の葛山裕史さん、河合謹さん、町田匡浩さん、濱松健仁さんらによって発明されたものであり、記念の賞状並びに盾が贈られた(写真1)。



写真1 愛知発明表彰授賞式(左から愛知県発明協会副会長の佐々木さん、発明者の河合さん)

Photo1 Awarded Winners at Ceremony of Aichi Invention Award (From left; Aichi institute of Invention Vice President Sasaki, the inventor Mr. Tsutomu Kawai)

2 発明の内容

2.1 発明の背景

地球温暖化や化石燃料の枯渇といった環境問題に直面していることから全世界で排気規制の厳格化が進み、年々 BEV(電気自動車)化が加速してきているが、主に新興国において内燃機関に根強いニーズがある。

また2023年3月には欧州委員会から再生可能エネルギー由来の燃料e-fuelを使用した内燃機関搭載車に限り継続を認める発表がなされた。

内燃機関の一種であるディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンに比べて燃費が良く、商用車や

大型SUV^{*1}に広く採用され、高効率化の技術も年々進化しており、全世界における市場についても、BEV化の加速に関わらず、今後しばらくは緩やかな成長を示すと予想^{*2}されている。

他方、厳格化が進む世界各国における排気規制(図1)に対応するためには、排気クリーン技術においても大幅な進化が求められている。

排気規制に対応する排気クリーン技術として、後処理装置(触媒等)の追加などコストの大幅な増加に繋がる技術が一般的に知られている。しかし、ディーゼルエンジンはガソリンエンジンと比較して高強度が必要な分コストが高く、このような追加構造によるコストの増加は、更なる市場拡販を阻む要因となり得る。

よって、コストの増加を抑制しつつ、排気クリーンを実現できる対策が求められていた。

※1 Sport Utility Vehicle
 ※2 IMARC Services Private Limited (出版日:2023/1/31)より

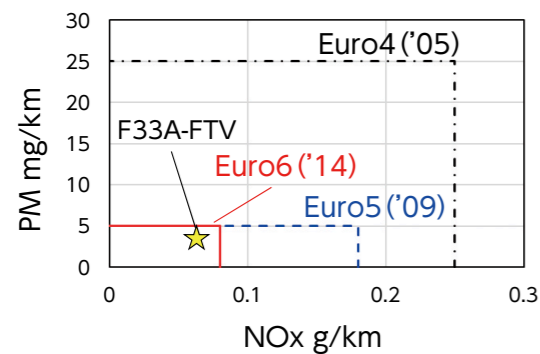


図1 欧州排気規制の推移(ディーゼル車)
 Fig.1 Trends in European exhaust regulations (diesel vehicles)

2.2 発明が解決しようとする課題

コストの増加を抑制しつつ、排気クリーンを実現するにはエンジン本体での燃焼の改善が必要となる。そこで着目したのが、NOx(窒素酸化物)を大幅に低減できる次世代のディーゼル燃焼である予混合圧縮着火燃焼(PCCI: Premixed Charge Compression Ignition)である。

従来のディーゼルエンジンの燃焼は、拡散燃焼と呼ばれ、図2(a)に示すように、ピストンによって圧縮された高温高压の空気に燃料を噴射し、燃料噴霧表面から自己着火した後、自己拡散により燃焼が広がる。しかし燃料噴霧は燃料が濃いため高温燃焼となり、高温のガス中で空気中のN(窒素)とO(酸素)が結合することでNOx(窒素酸化物)が大量に発生してしまう。

一方、PCCIでは、図2(b)に示すように、シリンダ内が高温高压になる前に燃料を噴射することで

燃料と空気を均質予混合化してから着火させ、局部的に燃料の濃いところを減らして燃焼温度を抑えられるためNOxを大幅に低減することが可能である。

このようにPCCIは燃料の噴射方式を変えるだけで、デバイスの追加無しでNOxを大幅低減可能である。

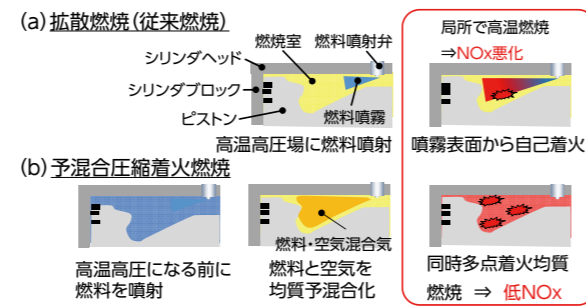


図2 拡散燃焼(従来)と予混合圧縮着火燃焼
 Fig.2 Diffusion combustion (conventional) and Premixed Charge Compression Ignition

2.3 発明の特徴

本発明は、従来のPCCIを進化させた、更なる排気クリーンを達成する新たな燃焼制御である。

PCCIは、排気クリーンにできる一方、適用できる運転領域の狭さに課題があり、中負荷領域以上では熱発生率^{*3}ピークの高さに起因して燃焼騒音が大きいため、低負荷領域での使用に限られていた。

PCCIには、図3に示すように、噴射時期が早く熱発生率波形が圧縮上死点付近にあるタイプI(燃焼騒音は小さいが燃費が悪い)と噴射時期が比較して遅く熱発生率波形が圧縮上死点より遅角側にあるタイプII(燃焼騒音は大きいが燃費が良い)の2種類があるが、ここでは、敢えて燃焼騒音が大きいタイプIIを選択し、ディーゼルエンジンのメリットである燃費の良さを維持したまま燃焼騒音の低減を行った。

※3 内燃機関内の燃焼によって発生した単位時間当たりの熱量のこと

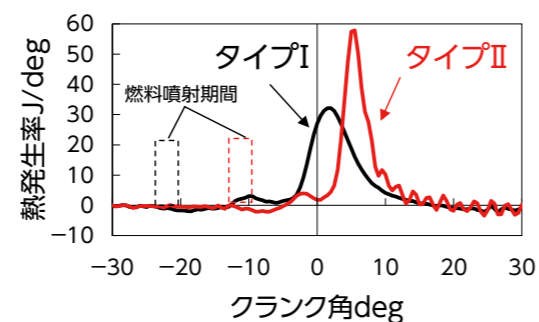


図3 予混合圧縮燃焼の2つの種類
 Fig.3 Two types of Premixed Charge Compression Ignition

本発明では、燃焼騒音を小さくするために、燃料噴射を2回に分割し、熱発生率波形を二山形状(即ち、二段着火)として熱発生率ピークの低減を行った(図4)。

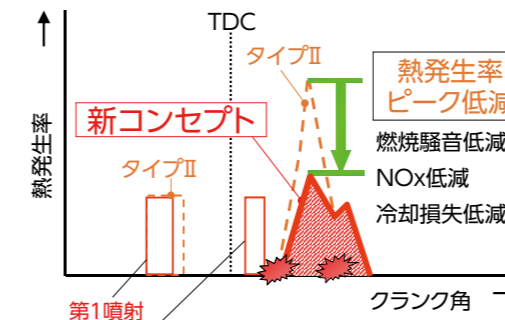


図4 本発明のコンセプト
 Fig.4 Concept of the present invention

二山形状の熱発生率波形を形成する上で第2噴射時期が重要な役割を果たす。第2噴射時期を第1噴射の低温酸化反応のピークから高温酸化反応のピークの間(図5の「H」の期間)に実施することで二山形状の熱発生率波形を形成することができた。

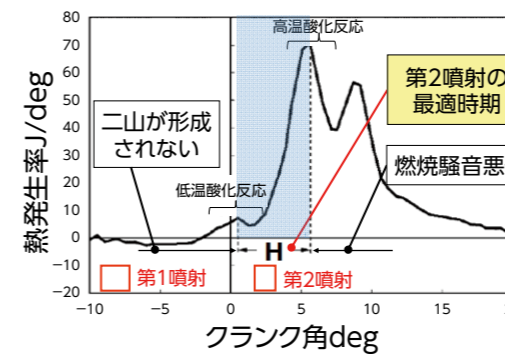


図5 第2噴射の最適時期
 Fig.5 Optimal timing for second injection

結果、燃焼騒音を小さくすることができ、中負荷領域を含めた広い運転領域にPCCIを適用することで排気クリーンを実現することができた。

本発明により、従来比^{*4}で7%の燃費向上および65%のNOxを低減しつつ、燃焼騒音も6dBA低減することができた(当社調べ)。

※4 Euro5規制に適合された量産エンジンと比較

3 まとめ

今回受賞した特許発明「二段着火予混合燃焼」は、2021年に発売された新型トヨタ・ランドクルーザー300用ディーゼルエンジン(F33A-FTV)に採用され、世界125か国に導入されている。また、他のディーゼルエンジン車にも順次採用拡大を目指している

知的財産部では、発明の益々の促進を図り、当社の技術者が多くの技術課題に取り組んだ成果を漏れなく特許出願して権利化することにより、当社製品に対するより強固な特許網を構築するとともに、今回のような名誉ある賞に値するような優れた発明を創出できるよう、今後も開発部署と一丸となって努めていきたい。

■ 著者紹介 ■



小笠原 雅人

受賞者(河合謹さん)の思い

本発明は排ガス浄化装置の追加なく世界最高レベルの排気規制を達成するという非常に高い目標をもって開発が行われた中で生み出されたものです。

予混合圧縮着火燃焼のポテンシャルの高さは広く知られていましたが、一方で排気・燃費・燃焼騒音を高い次元でバランスさせることが非常に難しいことも知られていました。当初は予混合圧縮燃焼に合ったハード諸元への変更などの検討も行いました。しかし本発明の発見により従来のハード諸元でも予混合圧縮着火燃焼が実現できることが分かり実用化へ大きく前進し、またこの汎用性の高さが評価され受賞に至ったと思っています。

本発明を搭載したランドクルーザー300用ディーゼルエンジンF33A-FTVとして製品化するにあたり、豊田中央研究所はじめ社内外の多くの方々にご尽力賜りましたこと深く感謝します。

本受賞を励みに今後も人と社会、地球環境のためになるエンジンを創っていきたく思います。