

愛知発明大賞

「二段着火予混合燃焼」 (特許 第5062340号)

葛山 裕史 株式会社豊田自動織機
河合 謹 株式会社豊田自動織機
町田 匡浩 株式会社豊田自動織機
濱松 健仁 株式会社豊田自動織機

1. 応募発明の概要

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(※1)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新たな燃焼制御に関する発明である。

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)(写真1)に採用され、世界125カ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。

これにより自動車用エンジンの世界トップレベルの排気規制をクリアするクリーン燃焼技術の実現に貢献するとともに、カーボンニュートラル時代においても、人々の長距離移動の維持に貢献できる。



写真1 F33A-FTV

2. 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EV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(図1)。

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の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、EV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(※3)されている。

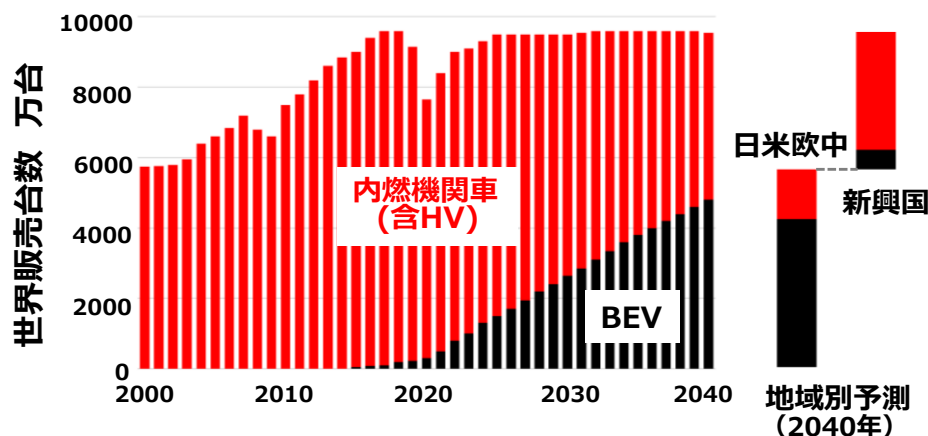


図1 自動車の世界販売台数の内訳(※2)

他方、厳格化が進む世界各国における排気規制（図2）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、更なる市場拡大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。

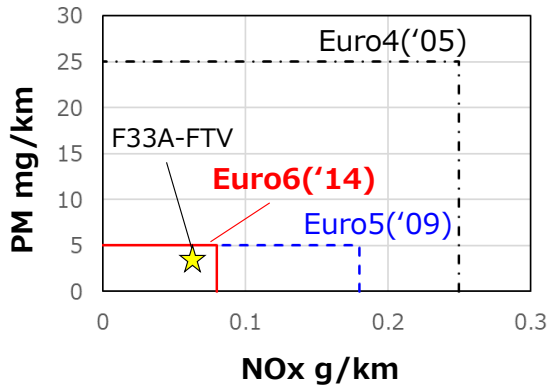


図2 欧州排気規制の推移(ディーゼル車)

3. 従来発明等の課題と開発ニーズ

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 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3（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。しかし燃料が濃いところにおいては、燃料噴霧は高温燃焼となり、高温のガス中で空気の中の窒素Nと酸素Oが結合することでNOxが大量に発生してしまう。

一方、PCCIでは、図3（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、局所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。

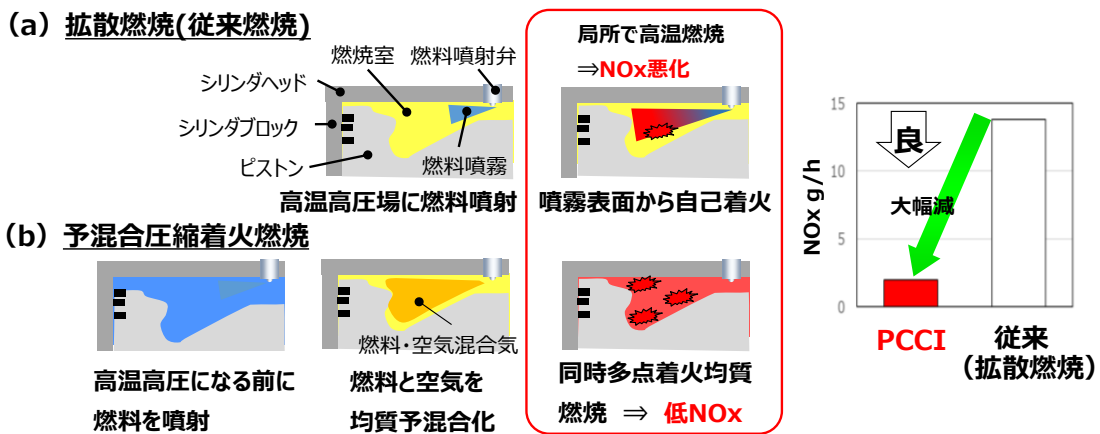


図3 拡散燃焼（従来）と予混合圧縮燃焼

4. 応募発明等の特徴

本発明は、従来の予混合圧縮着火燃焼を進化させた、更なる排気クリーンを達成する新たな燃焼制御である。予混合圧縮着火燃焼は、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。

予混合圧縮着火燃焼には、図4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。

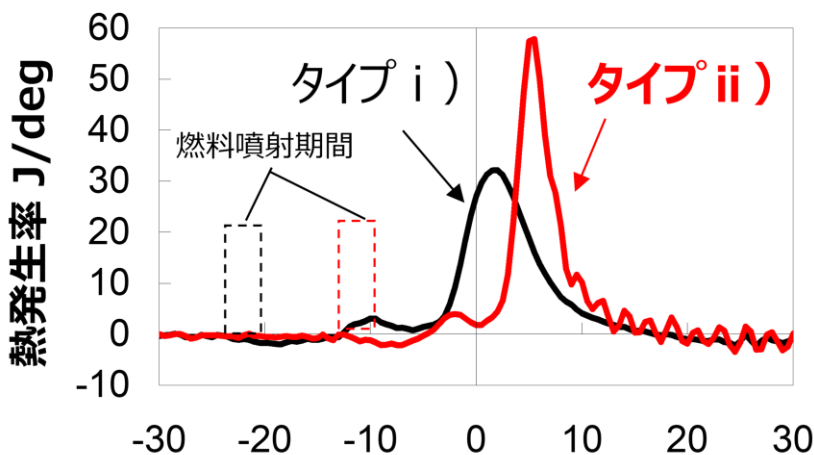


図4 予混合圧縮燃焼の2つの種類

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5)。

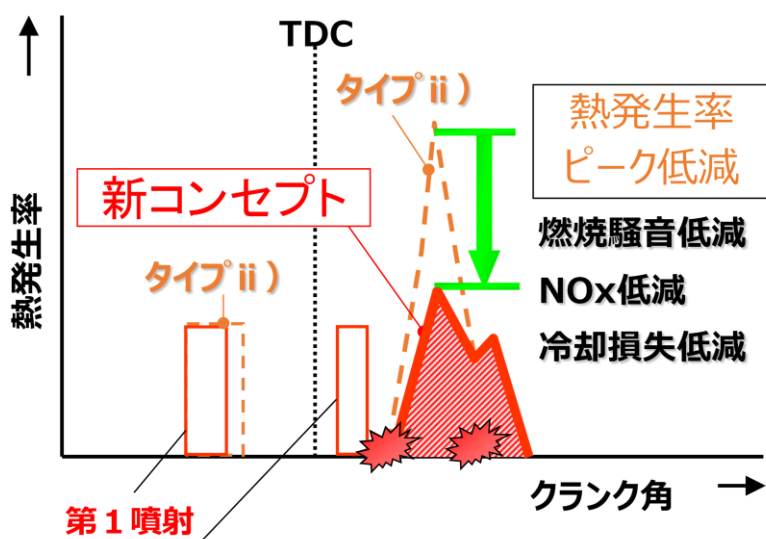


図5 本発明のコンセプト

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6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。

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（※4）。

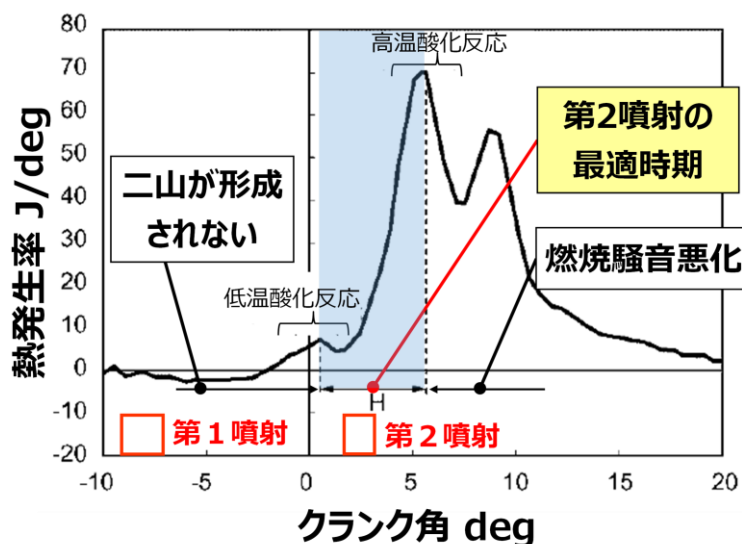


図6 第2噴射の最適時期

（注釈）

（※1）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

（※2）日経BP「自動車産業2040」より

（※3）IMARC Services Private Limited（出版日：2023/1/31）より

（※4）当社調べ