

Team HCCI 多段燃焼法による新方式内燃機関の高効率・低エミッション燃焼法の提案研究

担当者

辻村 拓 和田 好充 原口 茂則 沖本 和樹 山口 晃弘

2003 年ゼミ紹介資料

1. 研究背景

ガソリン機関では、燃料としてオクタン価の高いガソリンを使用するため、火花点火によって着火の制御を行う必要がある。また、火花点火によって生じた火炎核からの火炎伝播によって燃焼は進行するため、筒内には均一な可燃混合気が形成されている。しかし、近年、高効率の観点から筒内直接噴射方式によるガソリン機関が実用化されている。この方式では燃料は直接筒内に噴射され、点火プラグ周辺に形成された成層混合気に強制着火することにより燃焼が行われる。

一方、ディーゼル機関では燃料としてセタン価の高い軽油を使用するため、火花点火は必要ない。また、筒内に噴射された燃料は微粒化、蒸発、拡散し、自着火の条件が整った領域から燃焼が開始する。したがって、筒内における燃焼時の混合気濃度は不均一となる。そのため、ディーゼル噴霧燃焼では局所的に過濃な領域が存在するために PM (Particulate Matter) の生成が避けられない。また、理論空燃比付近の領域では燃焼温度が高くなり NOx が生成してしまう。そこで、近年では低エミッションの観点から、HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) による燃焼方式の研究⁽¹⁾⁻⁽³⁾が進んでいる。この方式では燃料と空気が十分に混合された比較的均一かつ希薄な混合気を圧縮着火することで燃焼が行われる。

このように、ガソリン機関の一部において、その混合気形態は均一な予混合気から不均一な成層混合気へと移行しつつある。一方、ディーゼル機関において、その燃焼形態は濃度不均一な拡散燃焼から均一混合気による予混合燃焼へと変わりつつある。つまり、近年のガソリン機関とディーゼル機関では混合気形成、及び燃焼形態における明確な境界は既に存在しない。このことは高効率、低エミッションを同時に実現する新しい燃焼方式を提案する上で非常に重要である。

そこで本研究では、ガソリン系燃料を時間的・空間的に分割して噴射し、不均一混合気を燃焼させる一段目燃焼と、一段目燃焼で予熱された雰囲気中に比較的均一な混合気を形成して燃焼させる二段目燃焼を行う二段燃焼法を提案し、出力と排気性能を同時に向上さ

せることを目的とする。

2. 二段燃焼法の提案

本研究では従来型燃焼における問題点を踏まえ、高出力、高効率、および低エミッションを同時に満たすことを目的に、ガソリン、ディーゼル機関の境界を取り払った新しい燃焼方式である二段燃焼法を提案する。図 1 にこの燃焼法の概略図を示す。この燃焼法は、ガソリン燃料を用いて時間・空間的な二段噴射を行い、不均一混合気を燃焼させる一段目燃焼と、一段目燃焼で予熱された雰囲気中に自着火時期を制御して、比較的均一な混合気を形成し、燃焼させる二段目燃焼によって構成される。

2.1 一段目燃焼

一段目の成層混合気は、上死点前の圧縮行程中に燃料のシリンダ壁面への衝突を回避するように形成される。このように形成された混合気を空間的に制御し配置することによって、燃料消費率は低く抑えられ、熱損失低減による熱効率の向上や、未燃 HC、CO の排出量低減が期待できる。さらに、一段目燃焼によって、内部 EGR による酸素濃度の低下や、二段目着火のための予熱ができ、二段目噴射時の温度、自着火時期、混合期間および排気特性を任意に制御することが可能となる。

2.2 二段目燃焼

二段目の比較的均一な混合気形成を高温雰囲気下において実現させるために、ガソリン系の低着火性燃料を用いて着火遅れ期間を確保し、自着火時期を制御する。この燃焼では、一段目燃焼の内部 EGR による酸素濃度低下や、膨張行程中に燃焼が起こることによって、燃焼温度は低く抑えられ、NOx の生成を抑制することができる。また、比較的均一な混合気を形成するため、過濃な領域が存在せず、すす生成を抑制できる。さらに、二段目燃焼を行うことによって、エンジンの出力は向上し、一段目燃焼で生じた未燃燃料を再燃焼させることができるため、未燃成分の排出低減効果が期待される。

なお、この二段燃焼法では、一段目、二段目の燃焼特性、およびそれらの効果を考慮して、各負荷領域に

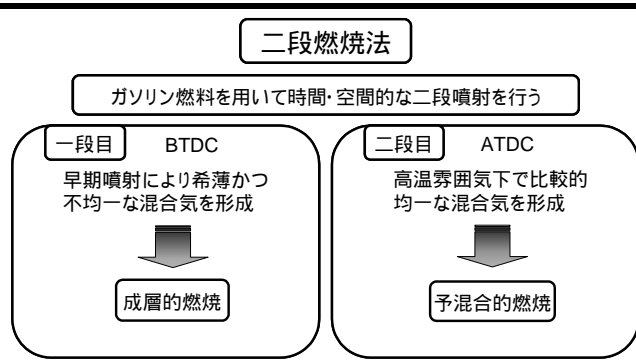


Fig.1 Concept of Multi-Stage Injection & Combustion

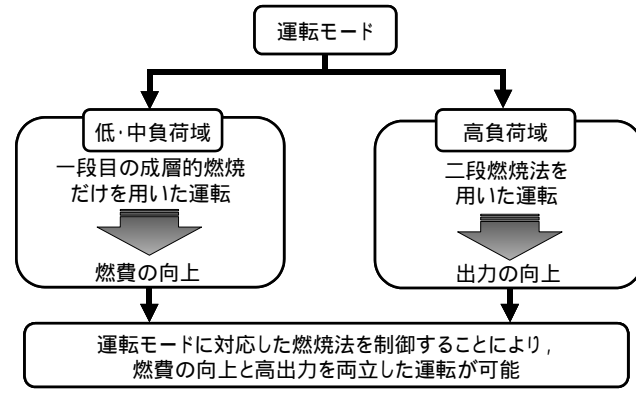


Fig.2 Driving Mode of Multi-Stage Combustion

最適な燃焼方法を採用する。すなわち、図2に示すように、低・中負荷域では一段目の成層的燃焼だけを用いた燃費の良い運転を、高負荷域では二段目の燃焼を加えることで高出力運転を行う。このように、運転モードに対応した燃焼法を制御することによって、燃費の向上と高出力を両立した運転が期待できる。

3. 研究方針

本研究では、時間・空間的に分割された二段の噴射・燃焼を実現させるため、一段目、二段目での混合気形成過程を種々の光学的測定法により把握し、さらに自着火・燃焼過程および排気特性を火炎分光分析法、圧力・熱発生解析、排気計測により把握する。

一段目における混合気形成に関しては、まず着火時期までに形成される混合気の当量比分布を明らかにすることが重要である。このため、多噴孔ノズルの各噴孔から噴出した燃料液滴および蒸気の発達挙動の差異を、瞬時散乱光撮影およびシャドウグラフ撮影により把握する。また、噴霧軸断面を散乱光撮影することにより液相分裂長さを測定し、燃料密度、霧囲気ガス密度・温度、比熱、噴孔径、蒸発温度との相関をもとにさまざまな噴射時期における液相長さを予測できるよう定式化する。さらに噴射終了後に周囲流動、壁面との衝突角度、隣接する噴霧の干渉により変化する当量

比分布についてはレイリー散乱法により定量測定し、噴射時の霧囲気温度・圧力および混合時間の影響を調べる。

一段目における着火・燃焼に関しては、定容容器内に高温高圧場を形成し、ガソリン噴霧の伝播火炎、およびセタン価向上剤を混入したガソリン噴霧火炎を可視化および分光分析し、燃焼速度、活性化学種の自発光領域の時間推移、および燃焼領域を明らかにする。また、実機関を用いて一段目噴射・燃焼における噴射時期、および噴射量が着火時期、熱発生率、燃焼期間、筒内温度履歴、および排気性状に及ぼす影響を把握する。

二段目における噴霧の着火・燃焼に関しては、定容容器内において一段目燃焼後の霧囲気状態を想定した場を形成し、ガソリンを噴霧・自着火させ、着火遅れの霧囲気依存性を明らかにする。また、実機関を用いて二段燃焼させ、熱発生率、燃焼期間、熱効率、排気性状、動力性能を把握し、最適な二段噴射時期を決定する。

4. 本年度の予定

- ・ 実機関の燃焼室形状を模擬した定容燃焼容器の設計・製作
- ・ 多噴孔ノズルを用いた各噴孔における噴射率測定、および非蒸発噴霧の瞬時散乱光撮影
- ・ 多噴孔ノズルから噴射された蒸発噴霧のシャドウグラフ撮影
- ・ 単噴孔ノズルから噴射された蒸発噴霧の先端到達距離をシャドウグラフ撮影により測定し、噴霧先端到達距離を表す運動量理論に基づく半実験式を改良する。

参考文献

(1) 武田 好央 他, 早期燃料噴射による希薄予混合ディーゼル燃焼の排出物特性, 日本機械学会論文集 (B編) 第 62 巻, 第 599 号, No.95 1824 (1996 7), pp347 354

(2) 橋爪 剛 他, 二段燃焼によるディーゼル機関の排気改善, 日本機械学会論文集 (B編) 第 65 巻, 第 631 号, (1999), pp67 73

(3) 松井 幸雄 他, 小形 DI ディーゼル機関の新燃焼コンセプト(第1報:基本燃焼コンセプトの紹介), 自動車技術会論文集, Vol.28, No.1, (1997), pp41 46