

発表番号	A-15	学籍番号		氏名	
題目	多段噴射におけるプラズマ支援燃焼用 DF エンジンの燃焼特性の調査				
Research title	Investigation of Combustion Characteristics in Plasma Assisted DF Engine with Multiple Stages Fuel Injection				
指導教員	段 智久教授				

1. はじめに

大型船舶の主機関のほとんどに大出力が出せることから2ストローク低速ディーゼルエンジンが採用されている。しかしこれには窒素酸化物 NO_x や硫黄酸化物 SO_x、微粒子物質 PM といった人体に悪影響を及ぼす物質を排ガス中に多く含むという問題がある。そこで、MARPOL 条約によってこれらの排出の段階的な規制が行われた。この基準を達成するために水エマルジョンや排気再循環のような「燃焼過程の改善」や尿素 SCR、排気スクラバーのような「排ガスの処理」、環境負荷の少ない燃料を使用するといった「燃料の改善」の3つの観点から対策技術の開発が進められている。しかし、これらの技術単体では基準を達成することは難しく、これらを組み合わせる必要がある。

当研究室では DF (Dual Fuel) エンジンへのプラズマ支援燃焼技術の適用を試みている。プラズマ支援燃焼とは、放電によって酸素や燃料分子を活性化することで燃焼反応を促すことが出来る技術である。DF エンジンとは二種類の燃料を使用することが可能なエンジンのことであり、燃料の切り替えによって冗長性を高めることができ、気体燃料として硫黄分を含まない天然ガスを用いることで排ガス中の SO_x を削減することが出来る。先行研究では山名が既製エンジンの DF 化を行い、プラズマ支援燃焼を行った。この実験により、HC 低減効果といった燃焼改善効果が示唆される結果を得た。その一方で、エンジンの DF 化に伴う標準運転時の HC の増大、すなわち天然ガスの燃焼が不十分であることが新たに問題として見つかった。そこで、本実験では DF 運転時の天然ガスの燃焼性向上を目的として、軽油の多段噴射による燃焼特性の調査を行った。

2. 実験装置と実験方法

(1) プラズマ放電用電極

本実験に使用したエンジンに取り付けられているプラズマ放電用電極を以下に示す。



図1. プラズマ放電用電極(正極)



図2. プラズマ放電用電極(陰極)

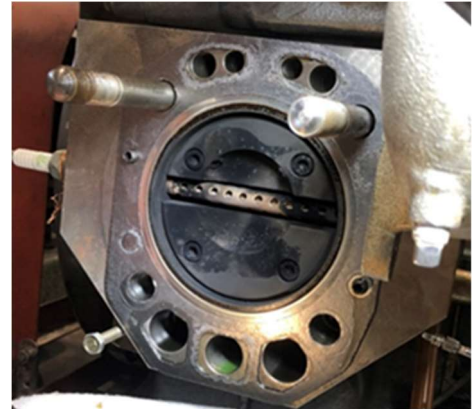


図3. 電極付きシリンダーブロック

図1、図2の電極に電源装置から電流を流すことで、燃焼室内で放電が行われ、プラズマ支援燃焼を行うことが出来る。

(2) 本実験での多段噴射

ディーゼルエンジンの燃料噴射方法として多段噴射というものがある。多段噴射は噴射時期により PM や SO_x の低減、騒音軽減といった様々な効果が得られるが、とりわけ天然ガスを用いた DF エンジンに対しては、天然ガスの着火源としての軽油を事前に燃焼室内に充満させることによって天然ガスの着火性を向上させることが期待されている。本実験では、軽油を圧縮中と圧縮上死点前の二段階で噴射する二段噴射を用いた。

(3) 実験条件

使用したエンジンの概略図を以下に示す。

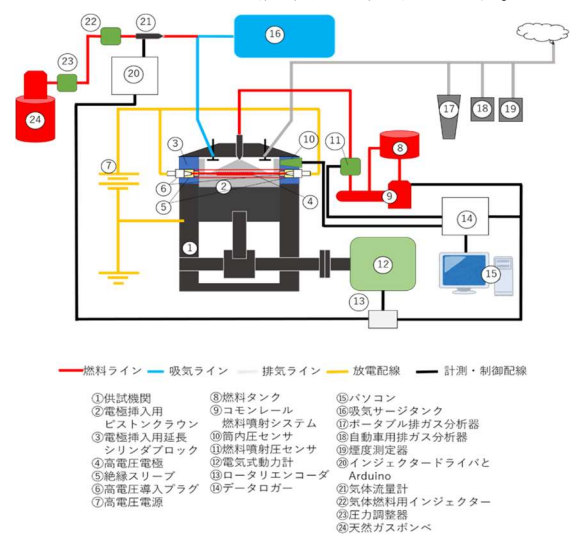


図4. 実験用エンジンの構成図

実験に使用したエンジンは単気筒 4 サイクルディーゼルエンジンで、運転時の負荷は 1.5[kW]、回転数 2000[rpm]で全条件を通して一定とした。天然ガスは吸気行程上死点後 38.5° で吸気管内に噴射

圧力 0.1 [MPa]、噴射時間 3 [ms] 一定で噴射した。軽油は二段階に分けて燃焼室内に噴射し、噴射時間は単段噴射時の時間を二分割し、調整は二段目の噴射で行った。噴射時期はそれぞれ以下のように変化させて実験を行った。

- ① 一段目噴射時期変化実験
一段目噴射時期 48~52 [BTDC. deg] で変化させたものをそれぞれ二段目噴射時期 18~20 [BTDC. deg] の条件で行った。
- ② 二段目噴射時期変化実験
一段目噴射時期 50 [BTDC. deg] 固定で二段目噴射時期を 18~22 [BTDC. deg] で変化させた。
- ③ 単段噴射・多段噴射比較実験
多段噴射: 一段目軽油噴射時期 50 [BTDC. deg]、二段目軽油噴射時期 20 [BTDC. deg]、単段噴射: 17 [BTDC. deg]

3. 実験結果と考察

① 一段目噴射時期変化実験
一段目軽油噴射時期が二段目軽油噴射時期から離れすぎると軽油の希薄化が進むため、多段噴射の効果は減少し、二段目の天然ガス着火時に必要な軽油の量が増加した。HC も進角化しすぎると増加傾向にあり、燃焼性は悪化したと考えられる。一方で、一段目軽油噴射時期を二段目軽油噴射時期に近づけすぎると今度は燃焼室内への軽油の拡散が十分に行われず天然ガスの燃焼性が悪化した。

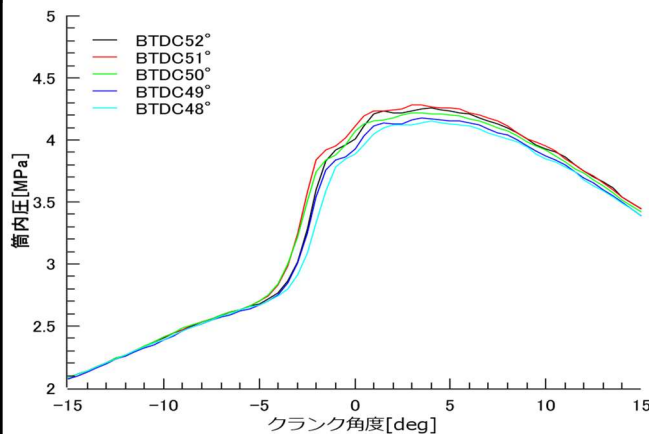


図5. 筒内圧力(二段目噴射時期 20 [BTDC. deg])

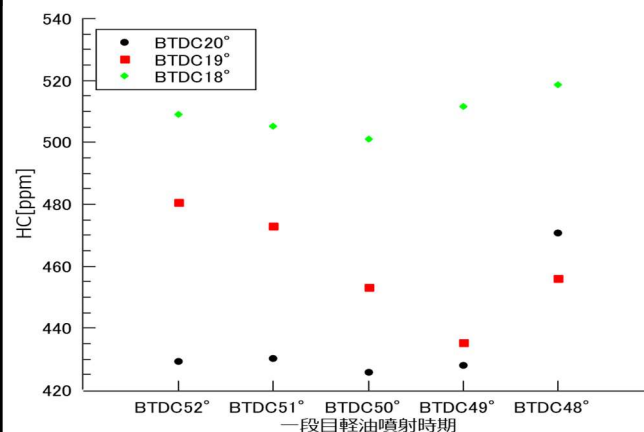


図6. 一段目噴射時期の変化時の HC 量

② 二段目噴射時期変化実験
二段目の軽油噴射時期を進角化すると筒内圧力は上昇、HC は低下していき天然ガスの燃焼性は向上

していったと考えられる。しかし、進角化を進めすぎると、筒内圧の上昇幅は緩やかになりやがて低下してしまっ。これは天然ガス着火時期が上死点から離れすぎてしまい、圧縮が十分にされていない状態で天然ガスが着火されてしまい、火炎伝播がうまく進まなかったためであると考えられる。また、二段目軽油噴射時期を上死点に近づけすぎると多段噴射による燃焼改善効果はほとんど得られなかった。これは軽油の拡散から天然ガスの着火までの時間が開いてしまったことにより軽油の希薄化が進んだためであると考えられる。

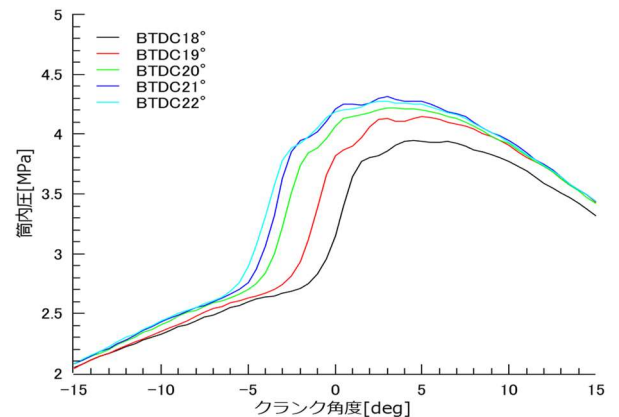


図7. 二段目軽油噴射時期変化時の筒内圧力

③ 単段噴射・多段噴射比較実験

単段噴射時と比べて多段噴射では HC が約 18% 削減され、天然ガスの燃焼性向上が確認された。また、多段噴射では、単段噴射時では安定して運転が出来ない噴射時期まで着火目的である二段目噴射時期を進角化することが出来た。これにより燃焼重心を上死点付近に近づけることが可能となったため、天然ガスの燃焼がより活発に行われたのだと考えられる。その一方で、運転時に必要とした総軽油噴射時間は約 1.4 倍と大幅に増加してしまっ。これはプラズマ支援燃焼用電極の取り付けに伴う圧縮比の低下により、天然ガスの着火に必要な軽油量をあまり減らすことが出来なかったことが原因であると考えられる。

4. まとめ

以上より、本実験でプラズマ支援燃焼用 DF エンジンにおける多段噴射の燃焼特性を調査した結果、多段噴射により天然ガスの燃焼が促進されることが分かった。その一方で、消費燃料の大幅な増加が問題として見つかった。そこで、今後の方針として以下のことを行いたい。

① プラズマ放電用電極の構造見直し

天然ガスの着火に必要な軽油の量を減らすため、電極取り付け部分の構造を見直す必要がある。

② 天然ガスと空気の前混合

天然ガスの着火性を上げるため、天然ガスをステティックミキサーで予め空気と混合させた状態で燃焼室内に流入させる。

③ 一段目、二段目軽油噴射量による影響の調査
今実験では制御を簡易化するために一段目の軽油噴射時期を固定としたが、一段目と二段目の軽油噴射量の違いによる影響も調べる必要がある。

