

# 船用ディーゼルエンジンにおける ブラックカーボンゼロシステムの開発

水産大学校 海洋機械工学科 内燃機関研究室

## 研究の背景・目的

1. 国際海事機関 (IMO) において“窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 3次規制”、“硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 規制”に加え、“北極海航路のブラックカーボン (BC) 規制”が検討されています。また、2023年7月に開催された第80回海洋環境保護委員会 (MEPC 80) において「2023 IMO 船舶起源の温室効果ガス (GHG) 削減戦略」が採択され、船舶起源のGHGの低減目標が示されました。
2. 本研究は、水産研究・教育機構が保有する特許“水混合燃料生成装置”を実船に装備することにより、国際海運に求められているNO<sub>x</sub>、BC、GHGの低減に貢献することを目的としています。

## 研究成果

### 1. 新たに開発したBCゼロシステムの概要

図1に、BCゼロシステムの概要を示します。本システムは、水混合燃料生成装置を用いて燃料に水(1)と触媒(2)を添加することによりBCを低減し、さらに残りのBCをディーゼル微粒子捕集フィルタ (DPF) (3)により捕集することで、BC排出量を自動車と同程度にすることができます。しかし、DPFに堆積したBCや灰分によりエンジン性能が悪化するため、これらを取り除く必要があります。このため、バーナー(4)を用いてDPFに堆積したBCを燃焼除去します。DPFに残留した灰分等は、クリーニングシステム(5)の圧縮空気を用いてDPFを逆洗することで、DPFの再生が可能となり、継続してシステムの運用ができます。

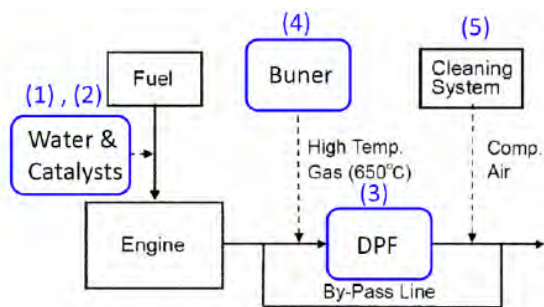


図1. BCゼロシステムの概要

### 2. 水混合燃料によるBCの低減効果

水産大学校の実験室に設置された小型高速ディーゼルエンジン、水混合燃料生成装置、DPFを用いて

行った実験結果について説明します。

図2(a)に、水混合燃料(燃料に対する水の混合割合 W/FO ratio)によるBC(すす(Soot))の低減効果を示し、図2(b)に、排ガス中のBCを捕集したフィルタ表面の写真を示します。水混合割合の増加に伴いBCが低減し、約11%の水を混合した場合、BCが半減します。また、フィルタ表面が黒色から灰色に変化していることから、BCが低減していることがわかります。

これは、燃料の噴射量を一定とした場合、水の混合割合に比例して流体の総噴射量が増加するため噴霧への導入空気量が増加します。これにより、噴射された燃料に対する空気量が増加して燃焼が改善されBCの生成が抑制されたためと考えられます。

これに加え、水混合燃料生成装置を用いて燃料に水を混合することにより、燃費を悪化させることなく、NO<sub>x</sub>を低減することが可能です。

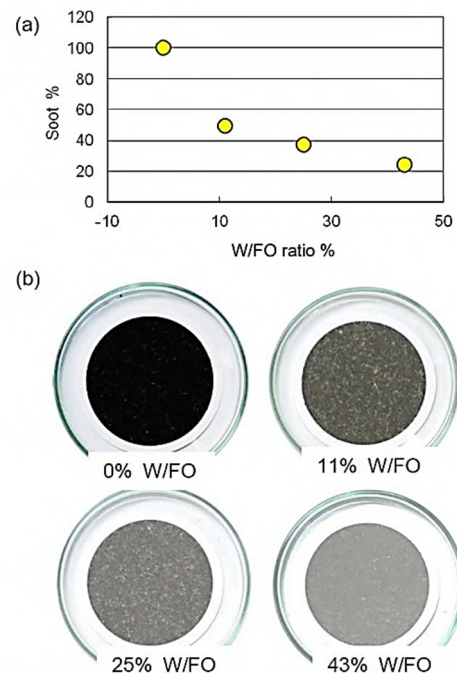


図2. 水混合燃料によるBC(Soot)の低減効果

### 3. 触媒によるBCの低減効果

図3に、軽油 (Gas Oil) と、Gas Oilに触媒 (酸化セリウム:CeO<sub>2</sub>)を添加して行った実験結果の比較を示します。CeO<sub>2</sub>は、酸化触媒としての機能により、排ガスに含まれる一酸化窒素(NO)を酸化させて、

より酸化力が大きい二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) を生成します。この  $\text{NO}_2$  が燃焼室、排ガス系統、及びDPFにおいてBCの酸化を促進することにより、BCの生成量を低減するとともに、DPFに堆積したBCを酸化除去します。エンジンから排出される粒子状物質は、主にBCと可溶性有機成分(SOF)で構成されています。CeO<sub>2</sub>を添加することにより、BCが約20%低減できることが分かります。

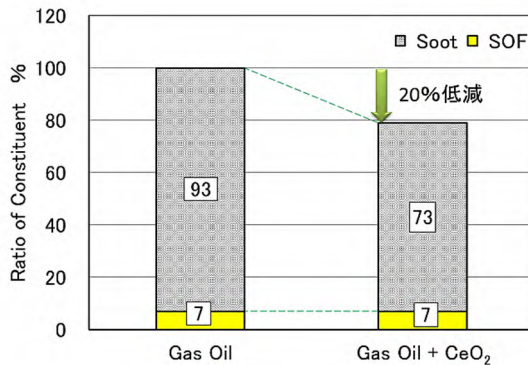


図3. 触媒によるBC(Soot)の低減効果

#### 4. 水混合燃料と触媒によるBC低減の相乗効果

図4に、Gas Oil と、Gas Oil に水と CeO<sub>2</sub> を添加したときのBCの低減効果を示します。図2と図3に示した水混合燃料によるBCの低減と、CeO<sub>2</sub>の添加によるBCの低減の相乗効果により、BCを約70%低減できます。

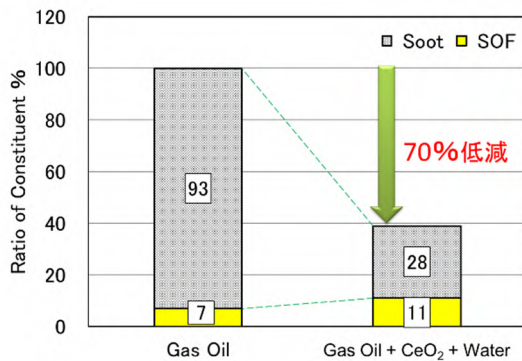


図4. 水混合燃料と触媒によるBC(Soot)の低減の相乗効果

#### 5. 燃焼式再生器付DPFによるBC低減とDPFの再生

図5に、企業との共同研究により開発した燃焼式再生器付DPFの写真を示し、図6に、燃焼式再生器付DPFを用いた場合のBC低減効果を示します。燃焼式再生器付DPFによりほとんどのBCが除去されるため、フィルタ表面の色は黒色から白色(フィルタの素地の色)に変化しています。

図7に、燃焼式再生器付DPFを再生した後のフィルタエレメント表面の写真を示します。フィルタエレメント表面に堆積したBCは燃焼によって除去されており、DPFが再生されていることが分かります。



図5. 燃焼式再生器付DPFの写真

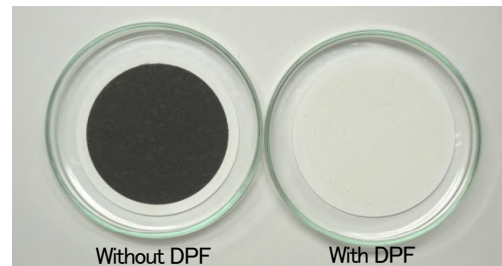


図6. 燃焼式再生器付DPFのBC低減効果

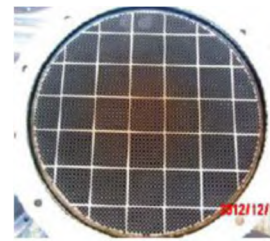


図7. 再生後のフィルタエレメント表面の写真

#### アウトカム

1. “水混合燃料生成装置”は、本校の練習船に搭載され、BCの低減効果を国内外において発表しています。
2. 水産大学の「内燃機関」、「機関システム学」等の講義へ反映しています。

#### 本成果に関する論文

1. Minoru Tsuda, et al., Development of Black Carbon Zero System for Marine Diesel Engines. 30th CIMAC, Paper No.124, 1-9(2023)

#### 今後、期待される成果

1. 船舶から排出されるBCが北極圏の氷雪を融解させる環境影響が懸念され、国際的な排出規制について検討されている中、新たに開発したBCゼロシステムを用いることにより、BC排出を大幅に削減できます。

2. アンモニアが水に溶解しやすいという性質を利用して、BCゼロシステムに組み込まれている“水混合燃料生成装置”の水をアンモニア水に置き換えることにより、ゼロエミッション燃料であるアンモニアを既存のエンジンで燃焼させることが可能です。