

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13944

研究課題名(和文) 要素試験のための船用燃料から発生する粒子状物質生成装置の開発

研究課題名(英文) Development of Particulate Matter Generator from Marine Fuel Oil for Element Test

研究代表者

中村 真由子 (NAKAMURA, MAYUKO)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10762057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は船用燃料をプール燃焼させて粒子を生成させる装置を作製した。その装置から発生する粒子の成分を調べ、成分分析法の一つである炭素成分分析法(TOA法)の改善を目的とした。引火点が100以上と高い燃料でも燃焼可能にするためヒータを付随させた。生成された粒子は模擬燃料であるヘキサデカン以外は元素上炭素(EC)が約95%であり、有機炭素(OC)は少なかった。一方ヘキサデカンは着火性に優れた燃料である為、ECはほとんど生成されなかった。TOA法は既存のプロトコルと船用サンプル用に改善したものを比較した。誤差の要因となる成分である熱分解炭素の低減が可能であり、プロトコルの改善が出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船用機関から排出される粒子は使用する燃料油によって大きく組成が変化する。船用機関から排出される粒子に関する様々な研究(組成の解明・分析方法や削減方法の検討)が大気環境の観点から求められている。船用機関を用いた実験には大量の燃料油と多くの人員等が必要であり、体系的な実験が難しい。本装置を作製したことで少量の燃料油で大量に粒子を発生させることができるようになった。炭素分析法は、既存の方法は大気環境用であり、大気環境サンプルと大きく組成の異なる船用機関由来の粒子を分析するとプロトコルによって大きな差異が生じていた。改良したプロトコルで更にデータを蓄積すれば、船用プロトコルとして公開することが出来る。

研究成果の概要(英文)：In this research, we made a particulate generator by pool burning marine fuel oil.

The purpose was to investigate the components of PM generated from the generator and to improve the carbon component analysis method (thermal optical method: TOA method), which is one of the component analysis methods. PM generation was accompanied by a heating device to enable combustion even with fuel with a flash point as high as 100 °C or higher. Except for hexadecane, which is a model fuel, the PM produced had an elemental carbon (EC) of about 95% and a small amount of organic carbon (OC). On the other hand, hexadecane is a fuel with excellent ignitability, so almost no EC was generated. The TOA method compared existing protocols with revised for marine samples. It was possible to reduce pyrolytic carbon, which is a component that causes errors, and the protocol was improved.

研究分野：環境分析

キーワード：船用機関 粒子状物質 サーマルオプティカル法

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国際的に船舶からの有害排出物に関する規制は強化されており、粒子状物質にも注目されている。粒子状物質やすすの計測、分析の研究が長年実施されているが、生成過程や削減方法など明らかにされていない点も多い。これらの解明に向けた粒子生成を人工的に行った先行研究では、軽油を用いた燃焼装置を作成し、粒子の生成について検討[1][2]、プロパンのバーナー燃焼によって粒子を発生する mini-CAST を使用し、NO や CO<sub>2</sub> 等を別途添加することで排ガスを模擬し、酸化触媒と DPF の評価が実施されている[3]。先行研究のほとんどが自動車を想定しており、より重質で夾雑物の多い燃料を燃焼させる船用機関から排出される粒子を再現することができない。船用燃料は様々な燃料成分の混合であり、どの成分が粒子生成にどのように影響しているのか、等詳細な分析はなされていない。特に、今後、船用燃料油中の硫黄分へのグローバルキャップを背景として、これまでより着火性の劣る成分を多く含む燃料油が供給される可能性があり、燃料性状と粒子排出の関係を詳細に検討する必要があると考えられる。本研究は船用機関における燃料性状・エンジン運転状態等が粒子の生成に与える影響を明らかにし、その削減を実現したいと考え、そのための一歩として、生成装置を開発することとした。また、粒子状物質の大部分を占める炭素成分の分析法を船用機関起因の粒子計測用に改善することを目指す。

### 2. 研究の目的

船用ディーゼル機関から排出される粒子は様々な成分を含んでおり、機関の種類や燃料によってその組成は大きく変化する。船舶への直接的な規制はないが、自動車への規制は強化されており、船舶の分野でも粒子の計測、分析、削減に関する研究が重要視されている。実験の際、現状ではテスト機関を運転するため、大量の燃料が必要である上に、多くのパラメータ(機関運転条件、気温・湿度、燃料性状等)が付随し、安定した粒子を繰り返し得ることが難しい。粒子の組成をコントロールし、安定して粒子を発生することができれば分析法や削減法の基礎的な試験ができ、研究が発展する。本研究では少量の船用燃料や模擬燃料を燃焼させ、組成の異なる粒子を意図的に生成させる装置を作成して、装置から生成する粒子の特性を明らかにし、粒子成分分析法の一つである炭素成分分析法を改善することを目的とする。

### 3. 研究の方法

粒子生成装置の概略図を図 1 に写真を図 2 示す。粒子生成装置はプール火炎を用いた燃焼室を作成し、燃料カップを加熱することで粘度が高く、着火性の悪い船用燃料(A 重油や C 重油)も燃焼できるように作製した。空気量を制御し、整流して供給することで安定して粒子を生成させた。火炎の周りは石英ガラスの円筒で囲い、外乱を防いだ。

試験に用いた燃料は模擬燃料であるヘキサデカン(着火性に優れた燃料油)、軽油、A 重油、C 重油である。それぞれ引火点付近まで燃料カップの温度を上昇させた。燃料カップ内に K 型熱電対を設置し、燃料温度を計測した。燃料温度は、ヘキサデカンは 135、軽油は 70、A 重油は 100、C 重油は 160 に設定した。燃料液面は燃料カップの淵になるように設定した。供給空気の流量は 8 L/min とした。フィルタへのサンプリングは、燃焼ガス全量をポンプで吸引した。フィルタはフッ素樹脂バインダーガラス繊維フィルタ (TX フィルタ, TX40HI20-WW) および石英繊維フィルタ (石英フィルタ, 2500QAT-UP) を用いた。炭素成分の分析はカーボンエアロゾル分析装置 (Sunset Laboratory 社, Model 5) を用いて、TOA 法によって分析した。使用したプロトコルは、大気環境用のサンプルに広く用いられている IMPROVE 法と、船用機関から排出される PM の分析用に筆者が改良したプロトコル (revised protocol) を用いた。プロトコルの昇温条件を表 1 に示す。

表 1 プロトコル条件

雰囲気 (分析対象)	IMPROVE	改良したプロトコル (revised protocol)
He (OC)	120	150
He (OC)	250	200
He (OC)	450	350
He (OC)	550	650
He+O <sub>2</sub> (EC)	550	550
He+O <sub>2</sub> (EC)	700	650
He+O <sub>2</sub> (EC)	800	800

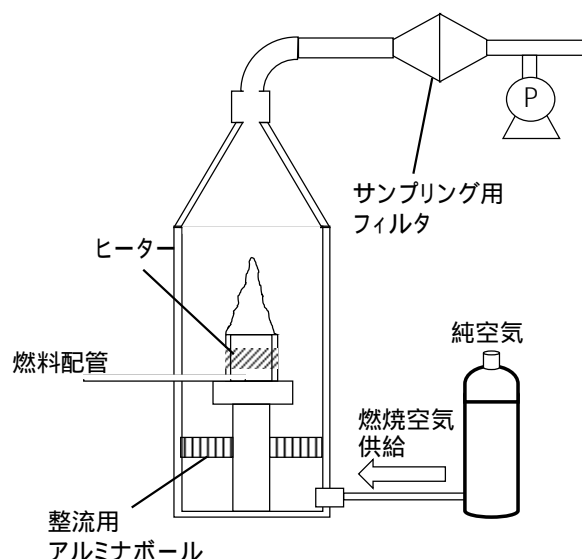


図1 PM生成装置概要図



図2 PM生成装置の写真

#### 4. 研究成果

図3にサーマルオプティカル法で分析した結果を示す。ヘキサデカンを燃焼させた際はECの生成はなくOCのみ生成されていた。ヘキサデカンは着火性が非常に優れていること、単物質であることから完全燃焼し易く、ECの生成がなかったと考えられた。軽油、A重油、C重油はECの割合が高く93-95%がECだった。この結果は、船用4ストローク機関のECOC比と近かった[4]。この結果から、本装置で生成されるPM中のECOCの比は船用4ストローク機関を模擬することが出来ており、炭素成分分析の検証や開発に用いることができると分かった。

次に本装置で生成したPMを用いて、サーマルオプティカル法のプロトコルを検証した。サーマルオプティカル法のプロトコルは大気環境用のものが多く、船用機関のサンプルのようにECが極端に多い4ストローク機関、OCが極端に多い2ストローク機関[4]の分析に適しているか不明であり、筆者は様々な既存のプロトコルの検討をしてきた。その検討の中で、プロトコル間の分析値の差異に大きくかかわる熱分解炭素(PC)の生成を抑制することが重要であると考えた。また高沸点のOCを適切な温度で遊離させることも重要であり、表1に示すプロトコルを作成した。図4にPCの結果を示す。図中の"revised protocol"が改良したプロトコルである。PCの生成が改良したプロトコルでは大幅に抑制されていることがわかる。

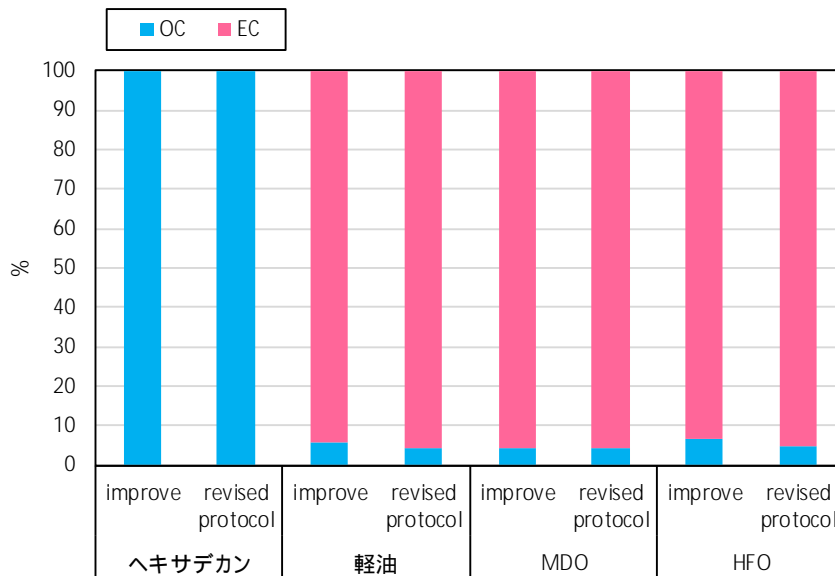


図3 粒子生成装置からサンプリングした粒子のOCおよびECの分析結果

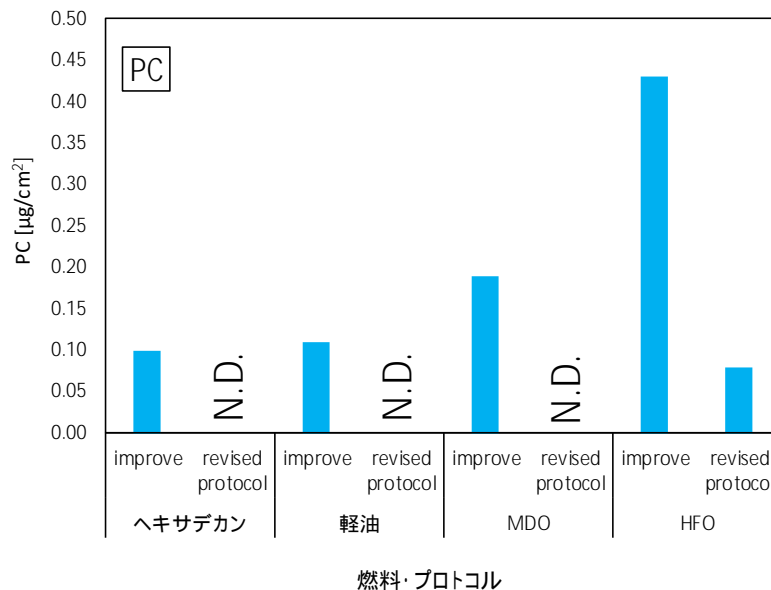


図4 各燃料油およびプロトコルの熱分解炭素生成量の比較

- [1] 座間淑夫, 山本知恵美, 古畑明彦, 新井雅隆 「擬似軽油のプール火炎により排出されるPMの特性」 日本機械学会論文集B編, 77巻, 779号 (2011)
- [2] 小林佳弘, 河原塚史裕, 田中里美, 新井雅隆 「ベンゼン層流拡散火炎中に金属メッシュを挿入した場合に生成されるPMの特性」 日本燃焼学会誌, 59巻, 187号 (2017)
- [3] Leonardo Lizarraga, Stamatios Souentie, Antoinette Boreave, Christian George, Barbara D' Anna and Philippe Vernoux 「Effect of Diesel Oxidation Catalysts on the Diesel Particle Filter Regeneration Process」 Environmental Science and Technology, Vol.45, No.24, pp 10591-10597 (2011)
- [4] Mayuko Nakamura, Atsuto Ohashi, Akiko Masuda, Chiori Takahashi, Sumito Nishio, Hidetsugu Sasaki, Yoshisada Ohashi, Tatsuro Tsukamoto, 「Influences of Engine Type and Fuel Grade on Compositional Characteristics of Particulate Matter Emission from Marine Diesel Engines」, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------