

発煙抑制型燃料添加剤によるディーゼル排煙濃度等の低減に関する実験的研究

1.はじめに

1997 年に採択された MARPOL 73/78 附属書 VI（船舶からの大気汚染防止のための規則）は、2005 年 5 月 19 日に発効することが決定し、船舶からの大気汚染物質の排出規制がいよいよ本格化する。これと前後して幾つかの国および地域においても船舶に対する独自の排気ガス規制が検討あるいは実施されている。また、NO_x、SO_x 以外の大気汚染物質についても、排煙濃度および粒子状物質（PM : Particulate Matter）が特に注目されており、日本、欧州、米国等のいくつかの港湾地域においては既に、排煙の濃度規制が実施されている。

このような状況を背景に、日本油化工業㈱は、軽油および A 重油を燃料とするディーゼルエンジンの排煙濃度の低減および排気ガス中に含まれるダストの低減を目的とした発煙抑制型燃料添加剤エコノフリー A（以下 添加剤）を 2000 年に開発し、販売を開始した。添加剤の作用を確認するため、東京海洋大学において 1 回目のディーゼルエンジン装置実験を 2001 年 12 月に実施し、所期の効果が得られることを定性的に確認した。また数隻の船舶のディーゼルエンジンで試用し、排煙濃度が低減することを目視により確認した。しかし、添加剤の作用をより明確にする必要があるとの判断から、その後更に 4 回にわたりディーゼルエンジン装置を用いた実験を行い、添加剤の作用を定量的に調査した。

本報では、東京海洋大学のディーゼルエンジン装置を用いて実施した、発煙抑制型燃料添加剤の作用に関する実験結果を報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 発煙抑制型燃料添加剤

添加剤の概要を表 1 に示す。本添加剤は、有機金属塩を主成分としており、標準添加率は 1/1000 である。

表 1 発煙抑制型燃料添加剤の概要

項 目	性 状 値
密度(15℃)	900 kg/m ³
動粘度(50℃)	3.1 mm ² /s
引火点	80℃
主成分	有機金属塩

2.2 実験の内容

添加剤を添加した市販の A 重油を用いてディーゼルエンジンを運転し、排気ガスのダスト濃度、ガス成分等を測定し、無添加の場合と比較した。実験日程、実験に用いた 4 ストロークディーゼルエンジンの主要目、実験条件および実験回数を、表 2～4 に示す。

表 2 実験日

1 回目	2001 年 12 月 3、6 日
2 回目	2002 年 8 月 28、30 日
3 回目	2003 年 8 月 4～6 日
4 回目	2003 年 12 月 9、10 日
5 回目	2004 年 1 月 29、30 日

表 3 供試エンジンの主要目

名 称	3L13AHS (新潟鐵工所)
形 式	排気タービン過給機付 4 ストローク直接噴射エンジン
シリンダ径	130 mm
ピストン行程	160 mm
最 大 出 力	73.6 kW
最高回転数	1200 min ⁻¹
正味平均有効圧	1.15 MPa
シリンダ数	3

表 4 実験条件および実験回数

目 的		部分負荷での作用検証	常用負荷での作用検証
エンジン負荷率 (%)		30	75
給気制限		あり	なし
添加剤の 添加率 (v/v)	無添加	12 回	8 回
	1/2000	1 回	1 回
	1/1000	6 回	3 回
	1/500	2 回	1 回
	1/200	2 回	—

2.3 測定項目・実験装置

実験装置を図 1 に示し、測定項目を表 5 に示す。なお、本実験の目的である排煙濃度の変化をより明確に把握するため、エンジン負荷率 30%の実験では、給気導入管入口に取付けたオリフィスにより給気量を減少させ、排煙濃度が高くなるように調整した。エンジンは連続運転とし、エンジン負荷の調整は水動力計および回転数により行った。測定項目は、ダスト濃度、スモーク濃度（吸光度）、スモーク濃度（ボッシュ）、ガス成分（CO、NOx、SO₂、O₂、CO₂、N₂）、エンジンの運転諸元等とした。またススを採取し電子顕微鏡により観察した。ダスト濃度の測定は JIS Z8808 に準拠して実施した。ただし、等速吸引は実施せず、サンプリング時間および排気ガスのサンプリング量がほぼ同一となるように調整した。スモーク濃度（吸光度）は、一方の端にハロゲン光源を配置した光路長 800 mm の排気導入管に排気ガスを導き、他端に設けた分光光度計で波長 645 nm の透過光量の変化を測定して求めた。スモーク濃度（ボッシュ）は、濃度の変化をより明確に把握するため、2 回引きおよび 3 回引きにより測定を実施した。

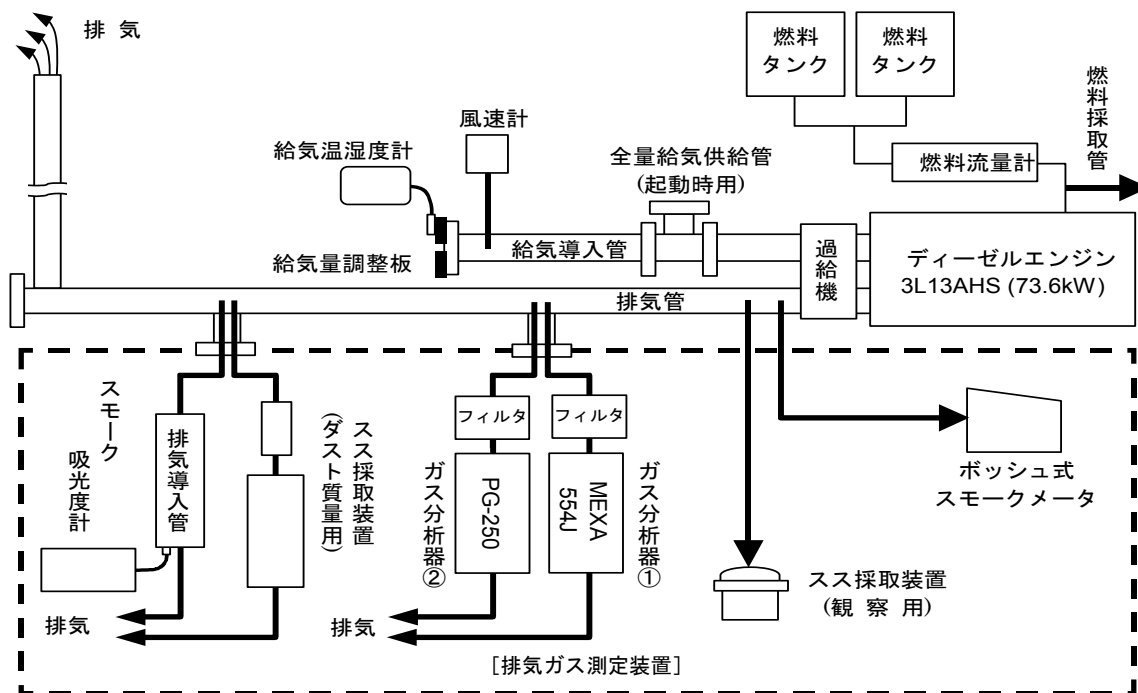


図 1 実験装置

表 5 測定項目

測定項目	測定装置・方法
ダスト濃度	手動，円筒ろ紙を使用 JIS Z8808 準拠 *
スモーク（吸光度）	分光光度計 PMA-11（浜松ホトニクス）
スモーク（ボッシュ）	ボッシュ式スモークメータ
ガス成分	① MEXA-554J（HORIBA） ② PG-250（HORIBA）
温・湿度	温度湿度データロガー
ススの観察	走査型電子顕微鏡 JSM-5800LV（日本電子）

* 等速吸引は実施していない。吸引時間が同一となるよう調整した。

2.4 燃料油の性状

実験に使用した市販の A 重油の主な性状を表 6 に示す。

表 6 実験に使用した A 重油の性状

項 目	性 状 値
密度(15℃)	869.6 ～ 884.5 kg/m ³
動粘度(50℃)	2.3 ～ 3.1 mm ² /s
水 分	< 0.03 %m/m
残留炭素（10%残炭）	0.41 ～ 0.54 %m/m
硫 黄 分	0.05 ～ 0.08 %m/m
アスファルテン	< 0.5 %m/m
引火点(PM)	76 ～ 85 °C

3. 実験結果および考察

5 回にわたり実施した実験結果のまとめを表 7（負荷率 30%）、表 8（負荷率 75%）および図 2（負荷率 30%）、図 3（負荷率 75%）に示す。また、スモーク濃度（吸光度）および CO、NOx の実計測例を図 4～7 に示す。

表 7、8 および図 2、3 表は、いずれも無添加の場合を 100%とした百分率で示している。

表 7 添加剤の添加率と測定値の変化（負荷率 30%：全実験結果）

無添加を 100%					
添加剤の添加率	無添加	1/2000	1/1000	1/500	1/200
エンジン出力 (kW)	21.6	21.9	21.7	21.8	21.8
回転数 (min^{-1})	794	799	795	795	790
ダスト濃度	100	76.1	62.4	53.2	43.4
スモーク濃度(吸光度)	100	68.8	68.7	51.3	50.1
スモーク濃度(ボッシュ)	100	91.4	84.0	71.6	51.2
CO	100	85.3	86.8	80.1	83.7
NOx	100	106.2	104.0	106.9	103.6
燃料消費率	100	98.8	98.4	97.1	95.9

表 8 添加剤の添加率と測定値の変化（負荷率 75%：全実験結果）

無添加を 100%				
添加剤の添加率	無添加	1/2000	1/1000	1/500
エンジン出力 (kW)	54.6	55.3	54.8	55.4
回転数 (min^{-1})	1089	1089	1089	1087
ダスト濃度	100	68.1	74.0	68.9
スモーク濃度 (吸光度)	100	78.9	75.3	69.1
スモーク濃度(ボッシュ)	100	93.3	83.2	80.6
CO	100	99.2	98.9	94.9
NOx	100	100.1	100.9	101.4
燃料消費率	100	99.0	99.6	99.6

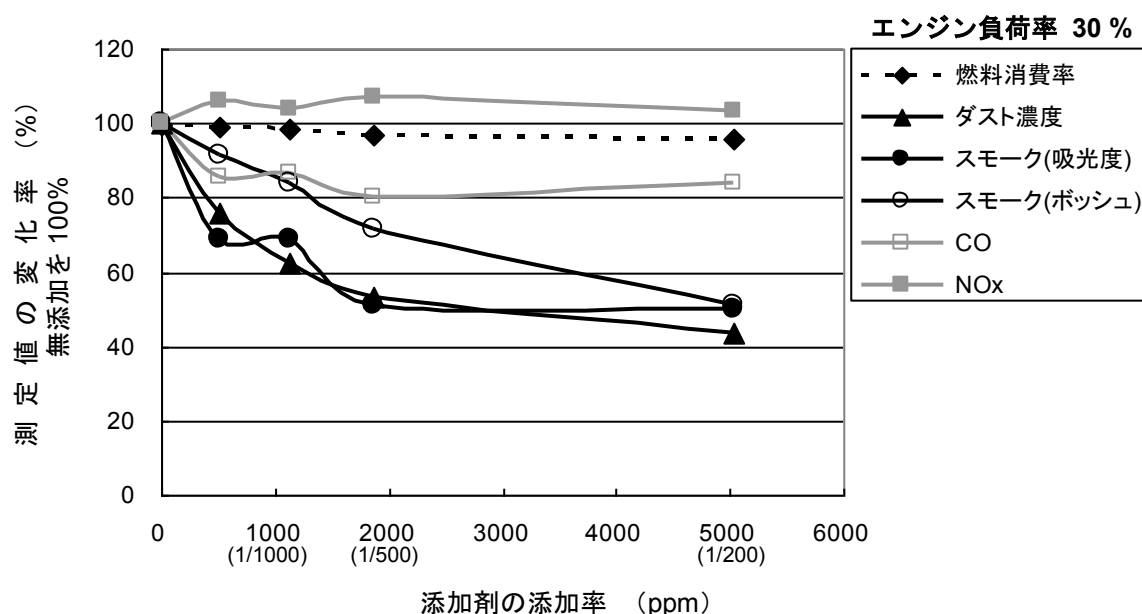


図 2 添加剤の添加率と測定値の変化（負荷率 30%：全実験結果）

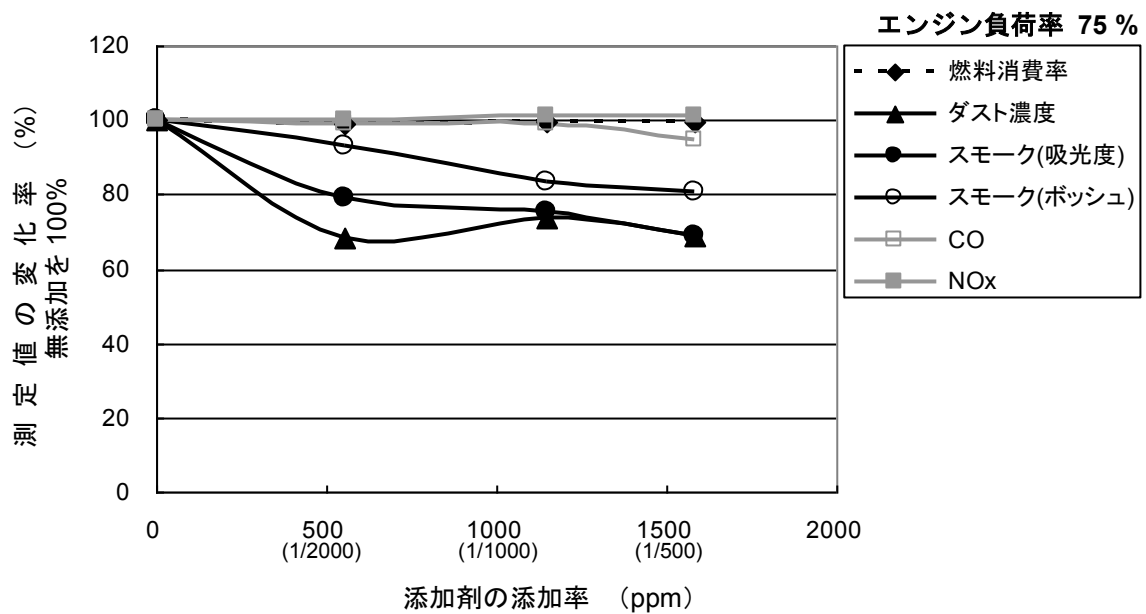


図3 添加剤の添加率と測定値の変化(負荷率75%:全実験結果)

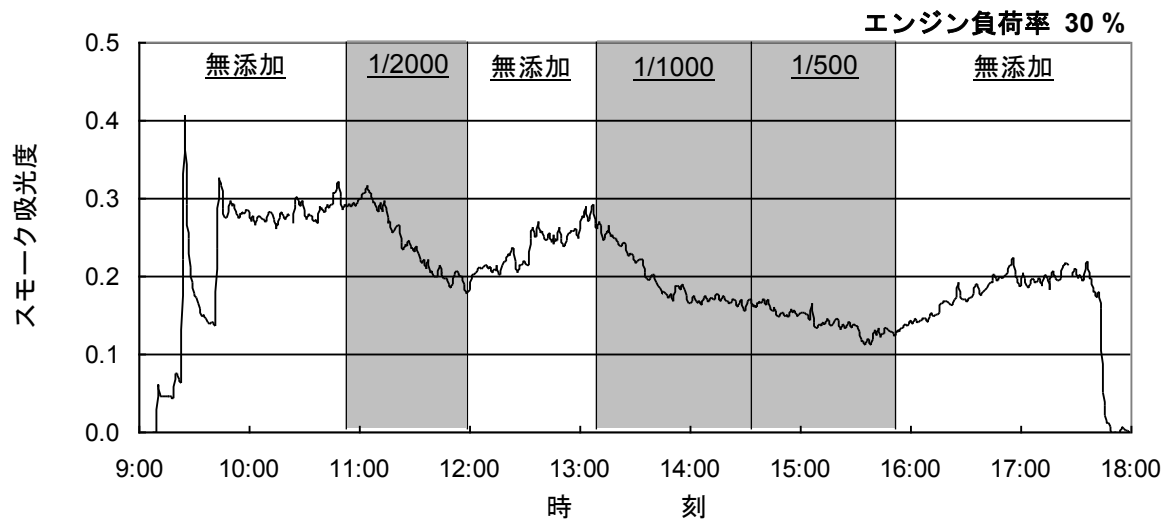


図4 スモーク濃度(吸光度)の実計測例(負荷率30%) -2002年8月-

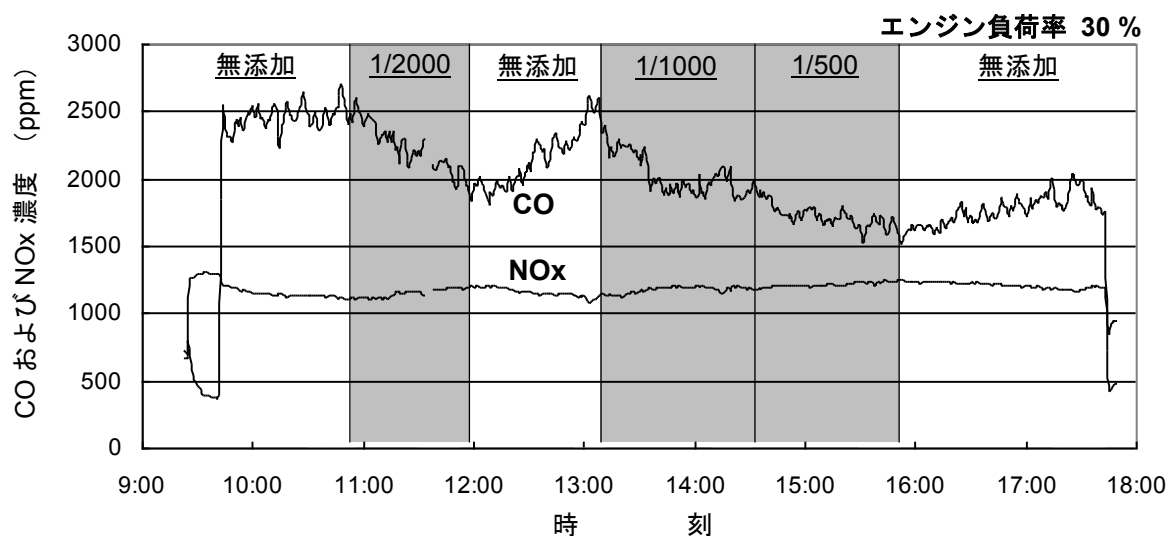


図5 CO、NOxの実計測例(負荷率30%) -2002年8月-

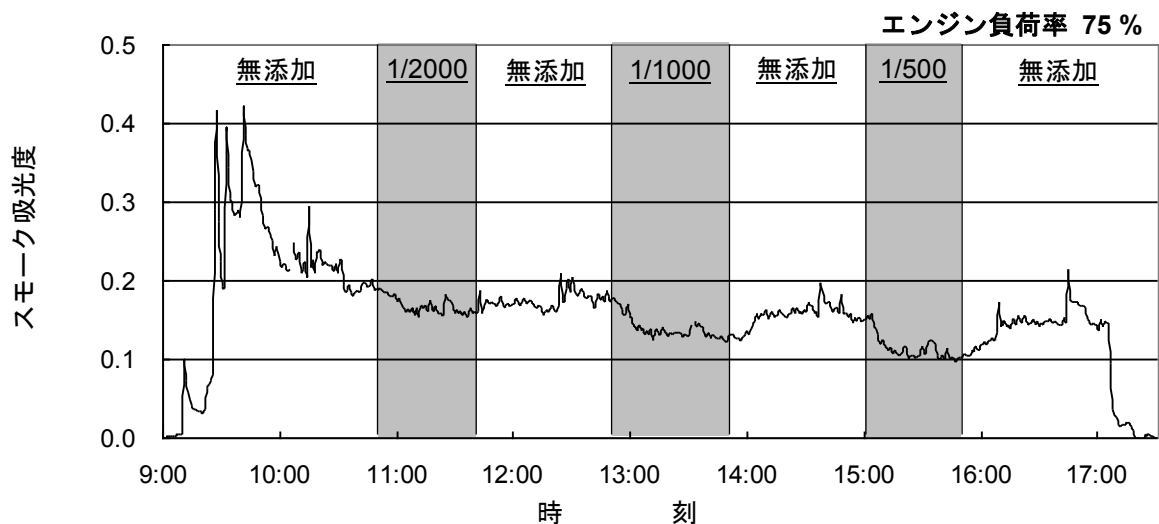


図 6 スモーク濃度（吸光度）の実計測例（負荷率 75%）-2002 年 8 月-

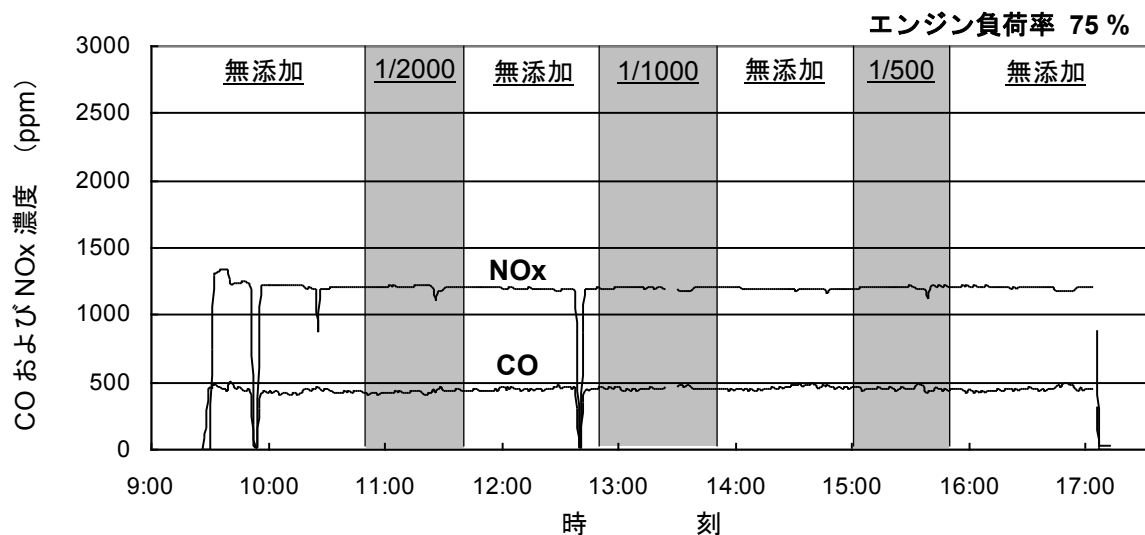


図 7 CO、NOx の実計測例（負荷率 75%）-2002 年 8 月-

3.1 ダスト濃度、スモーク濃度（吸光度）、スモーク濃度（ボッシュ）

エンジン負荷率 30%および 75%において、ダスト濃度、スモーク濃度（吸光度）およびスモーク濃度（ボッシュ）ともに、添加剤の添加率の増加に伴い減少した。また、ダスト濃度とスモーク濃度（吸光度）は極めて類似した傾向を示した。エンジン負荷率 30%におけるダスト濃度およびスモーク濃度（吸光度）の低減率は、添加率 1/1000 では 31～38%、また同 1/500 では 47～49%であり、およそ半減した。エンジン負荷率 75%におけるダスト濃度およびスモーク濃度（吸光度）の低減率は、添加率 1/1000 では約 25%、同 1/500 では約 31%であり、エンジン負荷率 30%の場合と比較すると低減率は 15～20%低くなった。

エンジン負荷率 30%では給気を絞り排煙濃度を増加させている。これはディーゼルエンジンの起動・アイドリング時や負荷変動時等における給気量が不足気味となる状態下での燃焼状況に近づけるための条件設定であるが、この様な運転状態において、添加剤は、ダスト濃度およびスモーク濃度をより顕著に減少させることがわかった。

3.2 排気ガス中の CO および NOx

エンジン負荷率 30 %の場合、添加剤の添加により排気ガス中の CO 濃度は 15～20%減少し、NOx 濃度は 4～7%増加した。しかし、1/2000 以上の添加率では、CO 濃度の減少率および NOx 濃度の増加率ともに添加率との相関は低い。エンジン負荷率 75%では、添加剤の添加により、CO 濃度が僅かな減少傾向を示したが、NOx 濃度は殆ど変化しない。

CO 濃度が減少し NOx 濃度が増加していることから、添加剤には燃焼を向上させる作用があることが推測される。これは、ダスト濃度およびスモーク濃度の実験結果と一致する。

3.3 燃料消費率

エンジン負荷率 30 %の場合、燃料消費率は添加剤の添加率の増加に伴い減少した。燃料消費率の減少率は 1/2000 で 1.2%、1/1000 で 1.6%、1/500 で 2.9%、1/200 で 4.1%となった。エンジン負荷率 75 %では、添加剤の添加により若干減少する傾向が認められた。減少率は 0.4～1.0%であった。

3.4 ススの観察

写真 1 に走査型電子顕微鏡で観察したススの外観を示す。サブミクロン以下の粒径の粒子が、数珠状あるいは塊状に結合し、集合体としてのススを形成している。ススは、添加剤の添加の有無および添加率に関わらず、いずれも同様の外観を示している。従って、添加剤にはススの大きさや形状を変化させる作用は無いと考えることができ、ダスト濃度等の低減から推測されるように、ススの発生自体を低減させる作用を持つと考えられる。

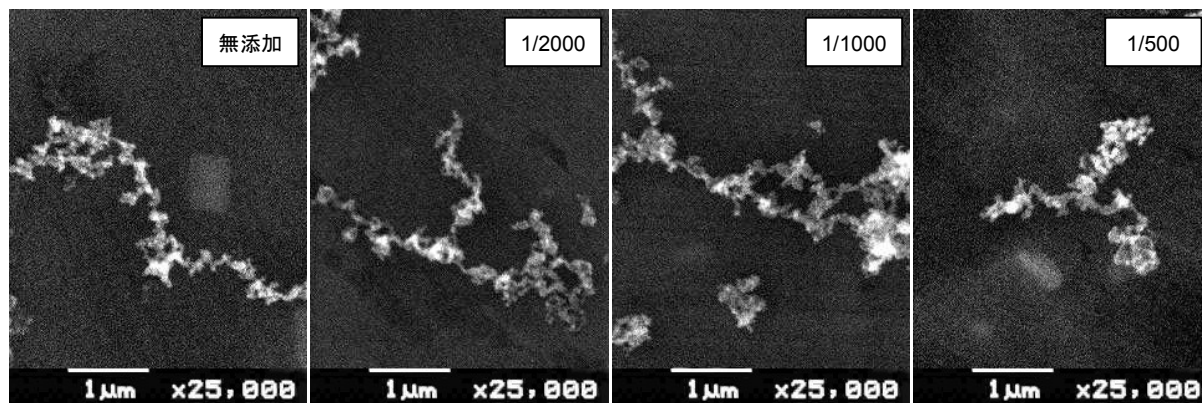
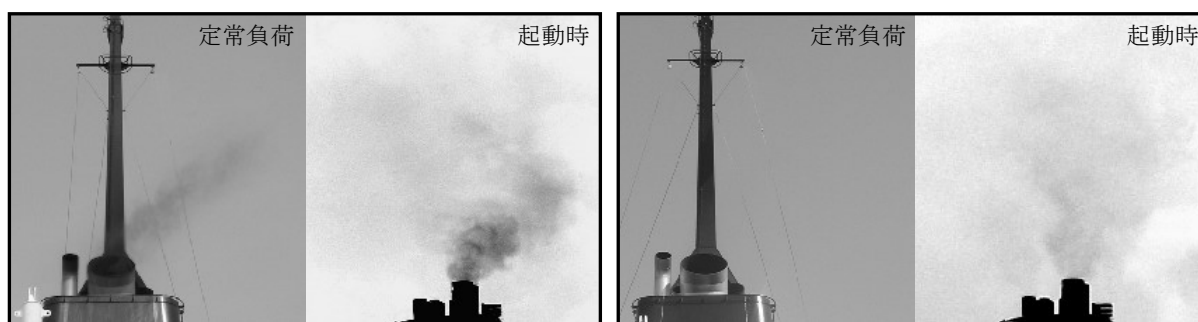


写真 1 ススの外観 ×25000 (走査電顕)



無 添 加

添 加

写真 2 実船での使用例

4. まとめ

発煙抑制型燃料添加剤を添加した A 重油を使用してディーゼルエンジン装置実験を行い、次の結果を得た。

- 1) 添加剤の添加率の増加に伴い、ダスト濃度およびスモーク濃度が減少した。ダスト濃度およびスモーク濃度（吸光度）の減少率は、添加率が $1/2000 \sim 1/200$ の範囲において、 $20 \sim 55\%$ であった。これらの変化は給気量が少ない場合に顕著であった。
- 2) 添加剤の添加により、CO 濃度が減少し、NOx 濃度がやや増加した。CO 濃度の減少率は、添加率が $1/2000 \sim 1/200$ の範囲において、 $1 \sim 20\%$ であり、NOx 濃度の増加率は、同範囲において $0 \sim 7\%$ であった。これらの変化は給気量が少ない場合に顕著であるが、添加率の影響は受けにくい。
- 3) 添加剤の添加率の増加に伴い、燃料消費率が減少した。燃料消費率の減少率は、添加率が $1/2000 \sim 1/200$ の範囲において $0.4 \sim 4.1\%$ であった。これらの変化は給気量が少ない場合に顕著である。

発煙抑制型燃料添加剤を燃料油（A 重油）に添加して、ディーゼルエンジンに用いると、排気ガス中のダスト濃度、スモーク濃度、CO 濃度および燃料消費率が低下し、NOx 濃度が増加することから、添加剤にはディーゼル噴霧の燃焼過程で燃焼を向上させる作用があることが推測できる。また起動・アイドリング時や負荷変動時等の給気量が不足する運転状況において排煙濃度を低減する作用に加え、常用負荷範囲においても低減作用を有する特性があることがわかった。またこれらの結果は、本添加剤を試用した船舶においても目視により確認されており、排煙濃度の低減を裏付けるものである。（写真 2）

現在いくつかのディーゼルエンジンメーカーあるいは団体で排煙濃度の低減に関する技術の導入が進められている。しかし、これらの新しい技術が導入できない旧式のエンジンや、更なる低減が求められるディーゼルエンジンあるいは発停や負荷変動の大きなエンジンにおいては、本添加剤を使用することによって、排煙濃度の低減に大きな効果を得ることが期待できる。