

# 船用ディーゼル機関向けセラミックス製フィルタ

## -セラレック®システムによるPM(黒煙)除去技術その2\*

○野々川 正巳\*\* 香月 貴雄\*\* 能代 俊亮\*\*

### 1. はじめに

船用ディーゼル機関の排ガス中に含まれる主な有害物質として、窒素酸化物 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx)、粒子状物質 (PM) が挙げられる。既にIMO(国際海事機関)により、これらに対する規制がかけられ (PMについては船舶から排出されるものの多くがSOx由来のものであることから、燃料油中の硫黄分濃度規制でPM規制を実施しているものと見なしている)、今後更に強化されることになっている。

PMは呼吸器系疾患や循環系疾患などの原因になることが報告されており<sup>1)</sup>、近年では中国国内において「PM2.5」による健康被害が報告されるなど、人体に与える悪影響が軽視できない状況である。

また、船舶が輸送する貨物がPM(黒煙)により汚染され、製品価値を失うという経済面での悪影響も存在する。

当社のセラレック®システムは、セラミックス製フィルタを内蔵したPM(黒煙)除去装置である。本装置は、PM(黒煙)による貨物被害を防ぐために補機エンジン(発電機)の排気ラインに納入実績がある。また、陸上用ディーゼル発電機排ガス中のPM(黒煙)除去にも多数採用され、本装置設置前後での煙突からのPM(黒煙)発生状況は、図1に示す通り非常に有効であることが実証されている。

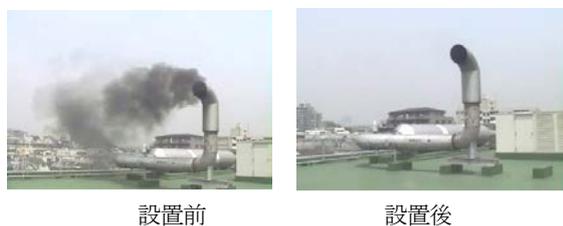


図1 セラレック®システム設置前後のPM排出状況

本稿では、当社のセラレック®システムのPM(黒煙)除去の原理を紹介する。また、航海中の主機エンジン排ガスのPM(黒煙)除去を可能にするよう現在開発を進めているため、その開発状況もあわせて紹介する。

### 2. セラレック®システムの概要

**2.1 装置の構造** 図2に当社のセラレック®システムの基本構造を示す。本装置は、排ガス中のPM(黒煙)を捕集分離するセラミックス製フィルタ、フィルタを内蔵するための本体ケース、フィルタに捕集されたPM(黒煙)を圧縮空気で払い落とす逆洗弁、逆洗空気により払い落とされたPM(黒煙)を貯蔵するダストボックスにより構成される。

セラミックス製フィルタはハニカム形状になっており(図3)、単位容積あたりのろ過面積が大きく、装置をコンパクトに設計することができる。本体ケースやダストボックスのサイズおよび形状は、対象となるディーゼル機関の仕様や設置場所の状況に応じて最適な装置になるよう設計・製作される。

当社のセラレック®システムの特長は以下である。

- (1) セラミックス製フィルタの採用により火災の心配がない (耐熱温度：900℃)
- (2) ハニカム形状フィルタの採用により装置がコンパクト (バグフィルタの1/4～1/2のスペース)
- (3) フィルタはセラミックス製であり長寿命である

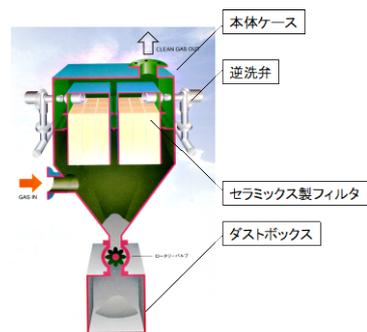


図2 セラレック®システムの基本構造

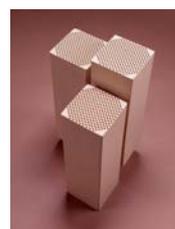


図3 セラミックス製フィルタ

\*原稿受付 平成28年2月24日。

\*\* 日本ガイシ(株) (名古屋市瑞穂区須田町2-56)。

**2. 2 PM(黒煙)除去の原理** 図4にセラレック®システムによるPM(黒煙)除去の原理を示す。セラミックス製フィルタは、無数の比較的大きな細孔が存在する基材層と、小さな細孔が存在するコート層の2層構造をしている(図5)。排ガス中のPM(黒煙)は、コート層の表面で捕集される。PM(黒煙)の捕集を長時間継続した場合、フィルタ表面にPM(黒煙)が厚く堆積し、通ガス時の圧力損失が増加するため、圧縮空気により堆積したPM(黒煙)の払い落とし(逆洗)を定期的かつ自動的に行い、フィルタ表面に堆積したPM(黒煙)を剥がす。これにより、ディーゼル機関の運転中は排ガス中のPM(黒煙)除去を連続的に行うことができる。図6に一般的な逆洗操作時のフィルタ差圧推移を示す。フィルタ差圧の上昇スピードから逆洗間隔を決定し、定期的に逆洗を実施することにより差圧を回復させる。排ガス中のPM濃度が高い場合は、逆洗間隔を短くし、フィルタ差圧を一定に保ち、エンジンへの背圧上昇による悪影響を防止する。

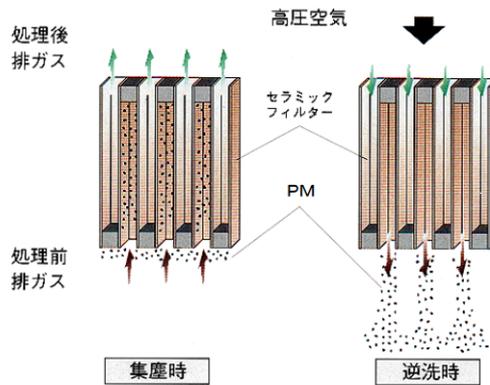


図4 セラレック®システムによるPM除去の原理

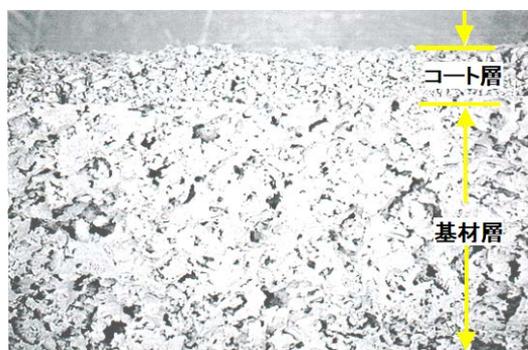


図5 セラミックス製フィルタ断面写真

**3. 補機エンジン用セラレック®システムの概要**

**3. 1 システムフロー** 当社は、2005年以降PCC船補機エンジン向けにセラレック®システムによるPM除去装置を16基納入している。設置の主目的は、港での自動車積み降ろし時に、補機エンジンから排出されるPM(黒煙)による自動車への汚れ付着を防止することである。実際に採用されているセラレック®システムのフローを図7に示す。

本フローは、PM(黒煙)を除去するためのセラレック®システム並びに排ガスファンから構成されている。排ガスファンは、セラレック®システムの圧力損失の影響をエンジンに与えないために設置しており、エンジン許容背圧によっては、設置不要な場合もある。航海中、集塵機を使用しないことを考慮してバイパス管を設置している。圧縮空気は使用量が少ないため、船舶内に設置されている圧縮空気ラインから分岐して使用可能である。

**3. 2 運転状況** 船舶補機エンジンに設置したセラレック®システムの使用条件は、表1に示す通りである。補機エンジン排ガスであるため、排ガス温度は350℃程度と比較的高いことがわかる。

表1に示した事例における除去性能を表2に示す。補機エンジン排ガス中のPM(黒煙)濃度は、セラレック®システムを通過することで30 mg/Nm<sup>3</sup>から1 mg/Nm<sup>3</sup>に低減され、PM(黒煙)除去率は97%と高い性能を有していることがわかる。なお、C重油焚き船用ディーゼル機関起源のPM(黒煙)濃度の正確な測定方法は

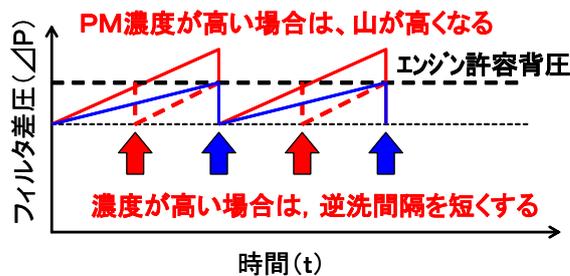


図6 逆洗操作によるフィルタ差圧推移図

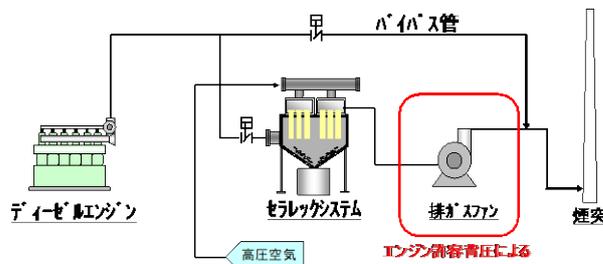


図7 補機エンジン用セラレック®システムフロー

確立されていないのが現状であるが<sup>2)</sup>、当社は、JIS Z 8808-1995「排ガス中のダスト濃度測定方法」に基づき測定したダスト濃度をPM(黒煙)濃度と定義した。

表1に示した本システム搭載船は現在も就航中であり、順調に稼動している。また、本船以外の納入実績においても、セラレック®システムは順調に稼動しており、補機エンジン排ガス中のPM除去という用途においては問題なく使用可能であることを実証済みである。

#### 4. 主機エンジン用セラレック®システムの開発

**4.1 開発の概要** 主機エンジンは補機エンジンに比べて多量の排ガスを排出するため、排出されるPM(黒煙)量も当然多くなる。したがって、海運業界全体のPM排出量を低減させるためには、主機エンジン排ガス中のPM(黒煙)除去が重要となる。当社は補機エンジン用セラレック®システムの実用化を受け、2012年度より主機エンジン用システムの開発を進めてきた。本開発は、第一中央汽船(株)殿、(国研)海上技術安全研究所殿、一般財団法人日本海事協会殿が共同で実施している「主機用スートフィルタに関する研究開発」からの委託を受けて、2カ年の計画で実施した。2012年度は、海技研殿所有の4サイクルディーゼル機関を使用し、セラレック®システムの適用条件を明確にし、2013年度は第一中央汽船(株)殿が所有する実船に小型試験装置を設置して、実排ガスによる性能評価を実施した。

**4.2 システムフロー** 主機エンジン用セラレック®システムのシステムフローを図8に示す。補機エンジン用と異なる点は、排ガス温度が低いため、排ガス中の凝集成分による詰りを解消させるための加熱装置を設けたことである。本フローに基づく実験装置を用いて、セラレック®システムによる主機エンジン排ガス中のPM(黒煙)除去への有効性を検証した。

**4.3 実験方法・条件** 実船実験を実施した主機エンジンの諸仕様を表3に示す。使用燃料はC重油、排ガス温度は260~350℃であった。

実験では、以下の項目を検証・評価した。

- (1) セラレック®システムによるPM除去性能
- (2) 長時間運転による安定運転方法確立

#### 4.4 実験結果

##### (1) セラレック®システムによるPM除去性能

セラレック®システムによるPM(黒煙)除去性能を表4に示す。今回の測定は、JIS Z 8808に則った2種類の方法にて測定を実施した。

その結果、ダスト除去率に大きな違いが確認された。

これは、C重油を用いた船舶主機エンジン排ガス中には、油分・S分が多量に含まれているため、この成分が測定結果に影響を及ぼしているものと思われる。

表1. 補機エンジン用セラレック®システム  
使用条件

エンジン出力	820 ~1280kW 程度
排ガス温度	350 °C前後
セラレック®システムの圧力損失	2.5 kPa 程度

表2. 補機エンジン用セラレック®システム  
排ガス測定結果

単位		システム入口	システム出口
排ガス量	Nm <sup>3</sup> /h	3590	-
排ガス温度	°C	352	-
ダスト濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	30	1
SO <sub>x</sub> 濃度	volppm	730	-
NO <sub>x</sub> 濃度	volppm	730	-

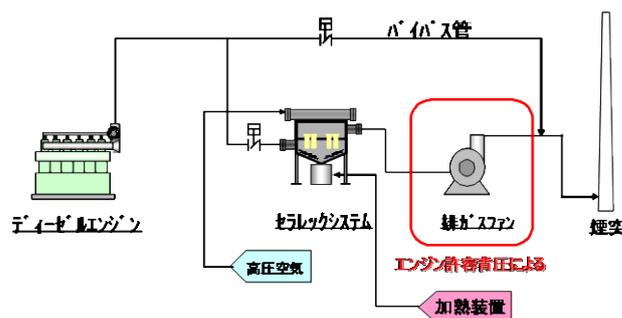


図8 主機エンジン用セラレック®システムフロー

表3. 主機エンジン用セラレック®システム  
実船実験用主機エンジンの諸仕様

メーカー	三菱重工業(株)
形式	立型2サイクル
定格出力	16,227 PS
定格回転数	127 rpm
使用燃料	C重油 (S分: 2.9%)

表4. 主機エンジン用開発実験のPM除去性能

項目	単位	1型円形	2型円筒
入口ダスト濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	42	110
出口ダスト濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	2	54
総ダスト除去率	%	95	50.9
入口凝集成分濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	-	35
出口凝集成分濃度	mg/Nm <sup>3</sup>	-	17
凝集成分除去率	%	-	51.4

測定方法: JIS Z8808-1995

(2) 長時間運転による安定運転方法確立

陸上実験で確認した最適運転条件にて、主機エンジン排ガスによる長期安定性を実証するため、1100時間の通ガス実験を実施した。

運転時のセラミックス製フィルタの差圧推移を図9に示す。定期的な逆洗並びに加熱再生を実施することにより差圧が安定した状態で運転が可能であった。

また、試験終了後に加熱再生を停止し、逆洗のみによる差圧回復の可否を確認したところ、差圧は急上昇し安定運転はできなかった。

PAHを吸着する効果があるためと推測される。

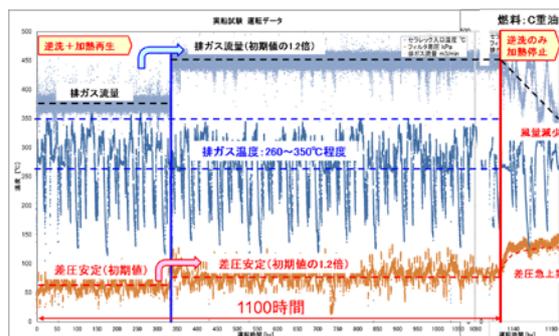


図9 長時間運転差圧推移

5. セラレック®システムを用いた排ガス処理システムの開発

5.1 開発の概要

2012~13年度に実施した「主機用ストフィルタに関する研究開発」において、セラレック®システムの安定運転並びに高いPM(黒煙)除去性能が確認されたため、2015年度よりセラレック®システム、選択触媒還元法脱硝装置(SCRシステム)およびスクラバを組合わせた排ガス処理システムを海技研殿所有の4サイクルディーゼル機関の後段に設置し、フィルタ効果によるSCRシステムおよびスクラバへの負荷低減効果を検証する開発を開始している。また、当社製品であるゾルエア式NOx計を用いた触媒劣化診断システムの開発やセラミックス製ろ過膜によるスクラバ排水処理技術の開発も合わせて実施している。

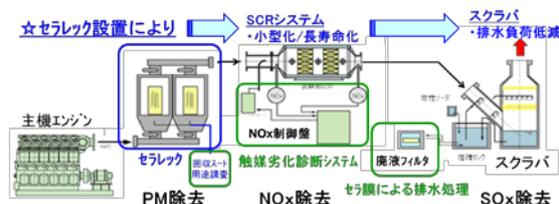


図10 排ガス処理システムフロー

5.2 システムフロー

排ガス処理システムフローを図10に示す。セラレック®システムによる高いPM(黒煙)除去効果により、SCRシステムの小型化、触媒の長寿命化、スクラバ循環水の不純物低減効果を検証した。

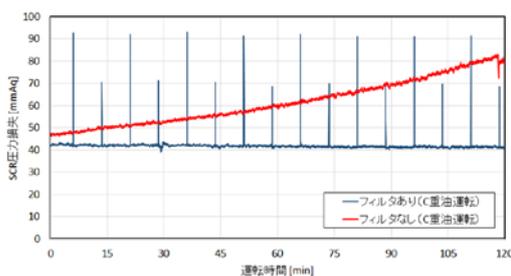
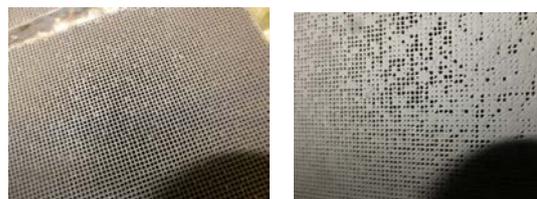


図11 SCRの圧力損失の変化

5.3 実験結果

(1) SCRの目詰まりに及ぼす影響 セラレック®システムによる高いPM(黒煙)除去効果を考慮し、85セルの高密度品を使用して実験を実施した。(通常: 45セル)

図11に示すとおり、SCRの差圧上昇はほとんど見られなかった。また、取り出した触媒表面には、PM(黒煙)による詰りは確認されなかった。(図12)



セラレック使用時      セラレック未使用時  
図12 運転後触媒表面写真

(2) スクラバ循環水に及ぼす影響 セラレック®システムによる高いPM(黒煙)除去効果を考慮し、スクラバ循環水中の不純物への影響を調査した。図13に示すとおり濁度は著しく低下し、IMOのガイドラインである25NTUを大きく下回る結果となった。しかし、PAH(多環芳香族炭化水素)濃度はセラレックがある場合は、上昇する結果となった。これは、循環水中のPM(黒煙)に

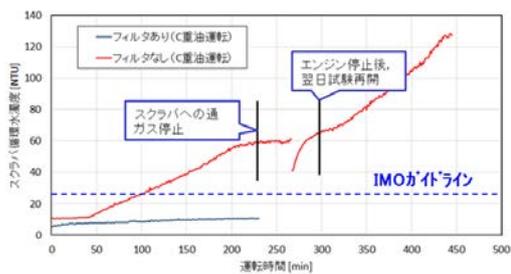


図13 スクラバ循環水の濁度変化

**5. 4 今後の進め方** 2016年からのNOx 3次規制に対応するため、各エンジンメーカーは選択式触媒還元脱硝装置（SCRシステム）の開発をおこなっている。現在行っている海技研での陸上試験において、SCRシステムの前段に当社のセラレック®システムを設置することにより、SCRシステムの小型化並びに触媒の長寿命化、更にはスクラバ周辺機器の簡素化の可能性が明らかになった。

今後は、実船の主機エンジン排ガスラインに同様の排ガス処理システムを設置し、実排ガスでの性能見極め並びに長期安定性評価を実施していく予定である。

また、船舶主機排ガス中のPM(黒煙)測定方法の動向を確認し、決められた測定方法で再度セラレック®システムのPM(黒煙)除去性能の評価を実施していく予定である。

## 5. おわりに

当社のセラレック®システムは、船用ディーゼル機関のPM(黒煙)低減技術として有効である。特に、補機用エンジンでは既に16基の納入実績があり、問題なく使用可能であることが実証済みである。

今後は、実船主機エンジン排ガスによる長期安定性を評価し、実船搭載に向けた排ガス処理システムの試設計に取り組んでいく。

なお、2012～16年度の研究開発は、一般財団法人日本海事協会殿の「業界要望による共同研究」スキームによる支援を受け、第一中央汽船(株)殿ならびに(国研)海上技術安全研究所殿のご協力により実施した。関係各位のご指導ご協力を深く感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 海洋政策研究財団, 船舶起源の粒子状物質 (PM) の環境影響に関する調査研究報告書, p. 7-16.
- 2) 前田, フィルタ方式DPFによる船舶起源PMの低減, 日本マリン学会誌, 46-6 (2011-11), p. 38-45.
- 3) 船用ディーゼル機関向けセラミックス製フィルターセラレック®システムによるPM除去技術  
日本マリン学会誌, 48-4 (2013-7), p. 82~86.