# 主機用スートフィルターに関する研究開発

（日本海事協会共同研究支援事業）

完了報告書

平成２６年２月

第一中央汽船株式会社
独立行政法人　海上技術安全研究所
日本ガイシ株式会社

# 目　次


1. 事業概要
2. 研究の実施スケジュール
3. 陸上実験用設備概要
4. 集塵・逆洗の原理
5. 短時間連続実験（条件確認試験含）
6. C重油焚き2サイクル舶用機関排ガス計測結果（陸上実験排ガス測定含）
7. 長時間連続実験
8. PM測定結果
9. 陸上実験まとめ
10. 実船実験スケジュール
11. 実船実験用設備概要
12. 実船実験運転差圧推移
13. 使用燃料成分比較
14. 排ガス測定結果まとめ
15. 回収ダスト分析まとめ
16. 排ガス処理システム概念設計
17. 総まとめ・今後の課題

# 1. 事業概要

# 事業概要

## 目　的

本研究ではスートフィルタ装置のコンパクト化及び低温排ガスへの適用化並びに、今後のPMに対する基準策定に備えた基礎データの取得を目指し、C重油を使った陸上試験、及びその成果を反映し実船実験を行う。

## 目　標

研究の目標値として、スートフィルタ装置に関わる以下の数値を設定する。

（1）ろ過面積1$m^2$当たりの処理排ガス流量　：　50$m^3$／h以上
陸上実験による、ろ過面積1$m^2$当たりの処理排ガス流量を、50$m^3$／h以上にまで上げる場合の技術的課題の整理

（2）使用可能な排ガス温度の下限値　：　250℃以下
陸上実験による、使用可能な排ガス温度の下限値を、250℃以下まで下げる場合の技術的課題の整理

（3）実船実験による実用化への検証
上記（1）、（2）の陸上実験の成果を反映して製作した主機用スートフィルタ装置の、実船実験による実用化への検証

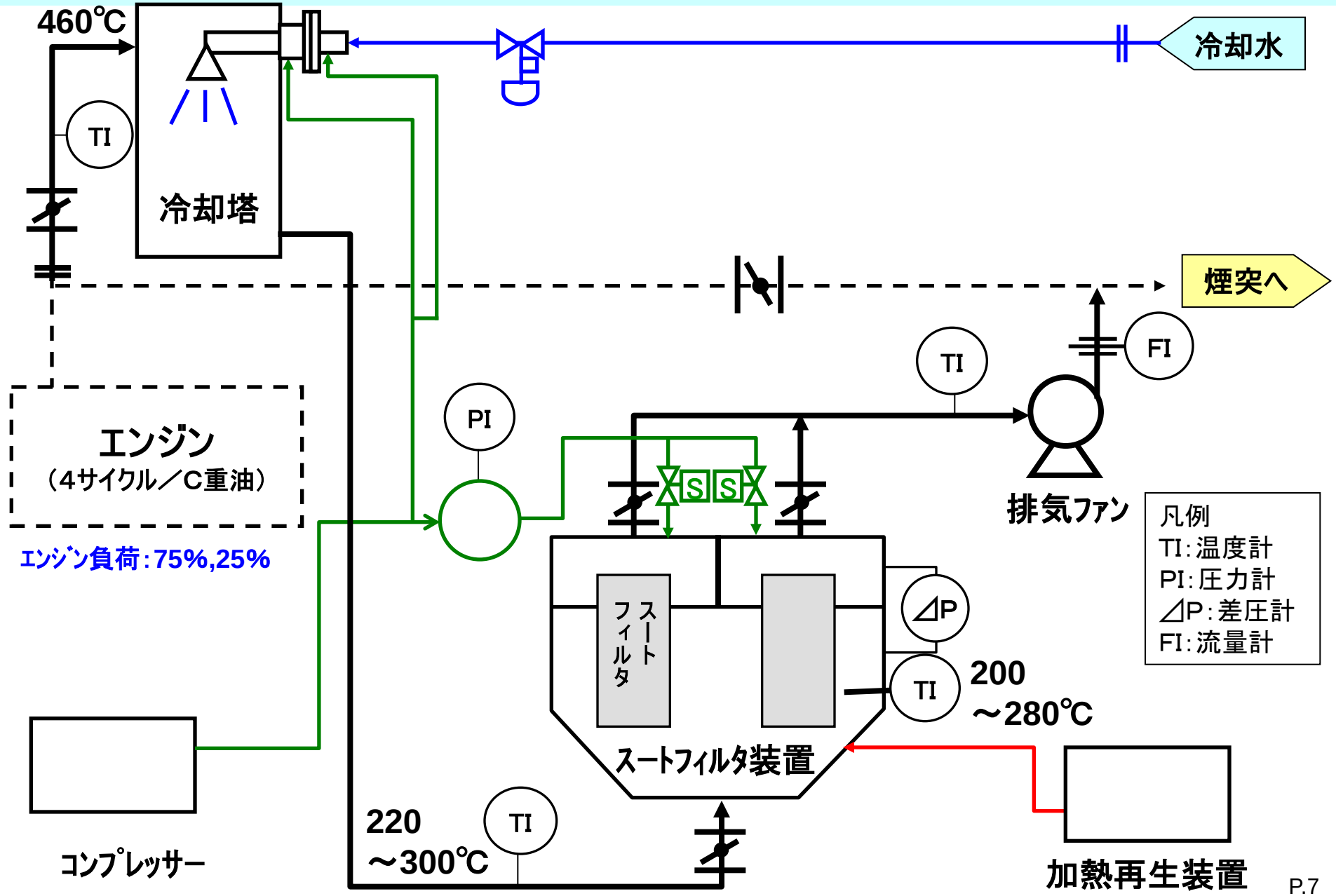
# ２．研究の実施スケジュール

# 研究の実施スケジュール

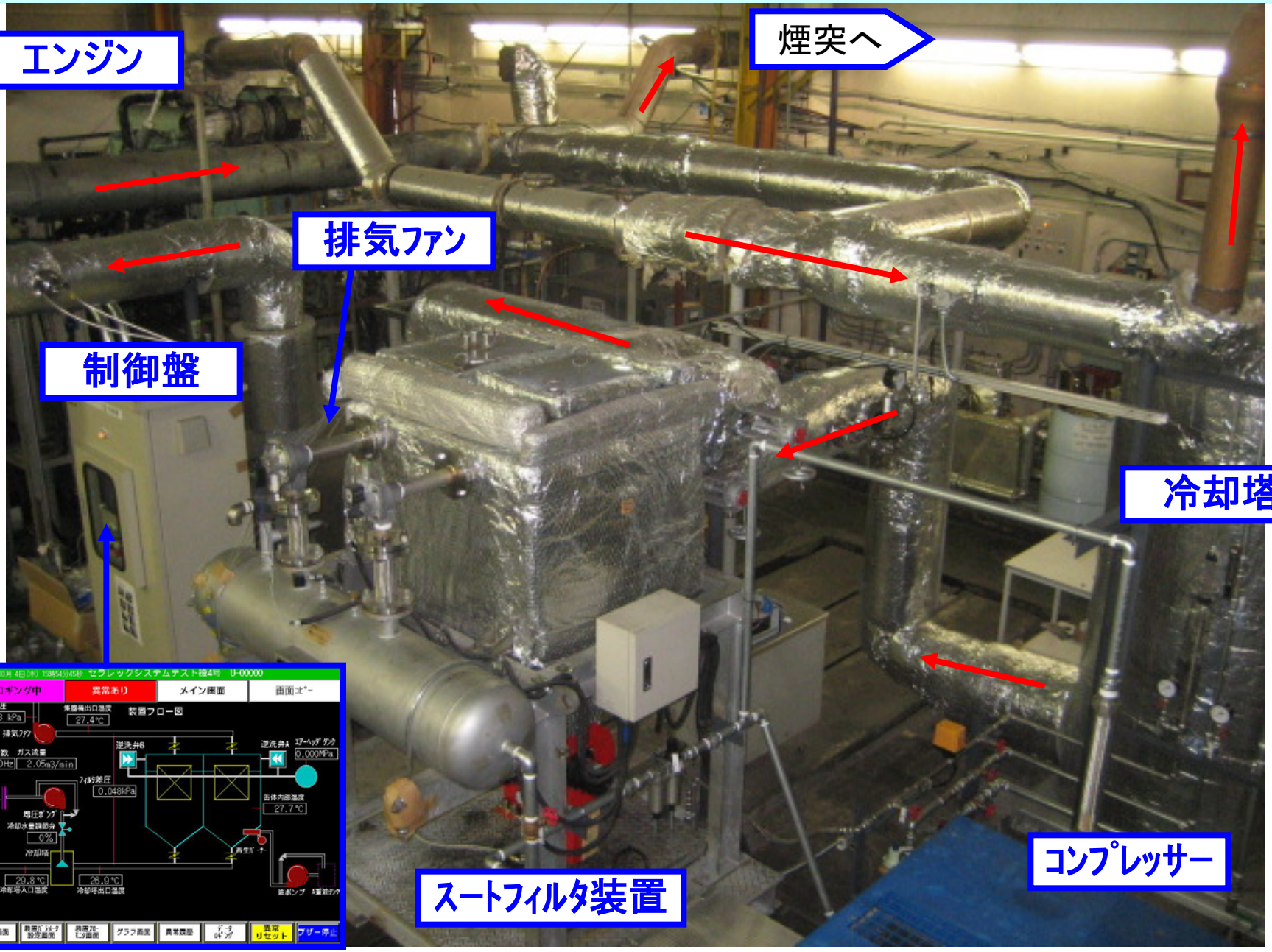
| 実施項目 | 平成24年 8～9月 | 平成24年 10～12月 | 平成25年 1～3月 | 平成25年 4～6月 | 平成25年 7～9月 | 平成25年 10～12月 | 26年 1～3月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **陸上実験** | | | | | | | |
| スートフィルタ装置類の製作 | ←→ | | | | | | |
| 条件見極め試験 | | ←→ | | | | | |
| 加熱再生試験 | | ←→ | | | | | |
| 長時間連続実験 | | | ←→ | | | | |
| C重油焚き2サイクル舶用機関排ガス計測 | ←- - - | - - - | - - -→ | | | | |
| まとめ | | | ←→ | | | | |
| **実船実験** | | | | | | | |
| スートフィルタ装置類の設計・製作・据付 | | | ←– | – – | –→ | | |
| 実船実験 | | | | | ←- - - | - - -→ | |
| まとめ | | | | | | | ←→ |
| 報告書作成 | | | | | | | ←→ |

# ３．陸上実験用設備概要

# 設備フロー図


460℃
TI
冷却塔
冷却水
煙突へ
エンジン
（4サイクル／C重油）
エﾝｼﾞﾝ負荷：75%,25%
PI
S
S
TI
FI
排気ファン
凡例
TI：温度計
PI：圧力計
⊿P：差圧計
FI：流量計
⊿P
スートフィルタ
TI
200
～280℃
スートフィルタ装置
コンプレッサー
220
～300℃
TI
加熱再生装置

# 設備全景写真



# 陸上実験用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙｴﾝｼﾞﾝ仕様

◆メーカー　：　（株）松井鉄工所

◆形式　：　MU323DGSC
立型4サイクル

◆シリンダー数　：　3

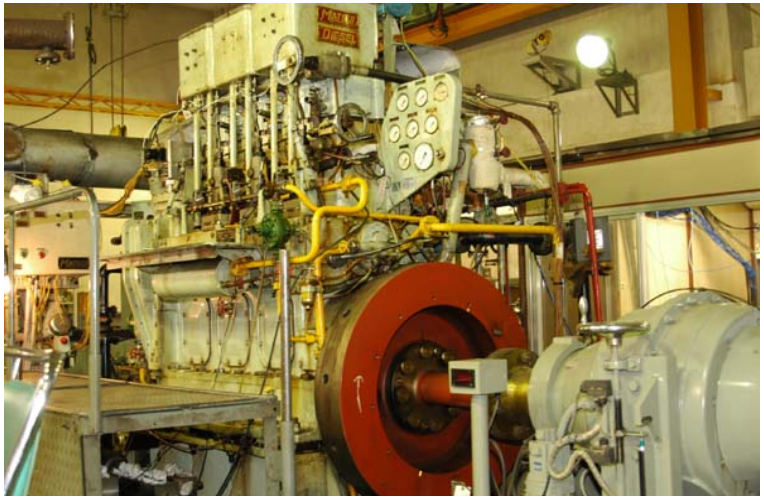
◆シリンダー径　：　230mm

◆ストローク　：　380mm

◆定格出力　：　350PS（257kW）

◆定格回転数　：　420rpm

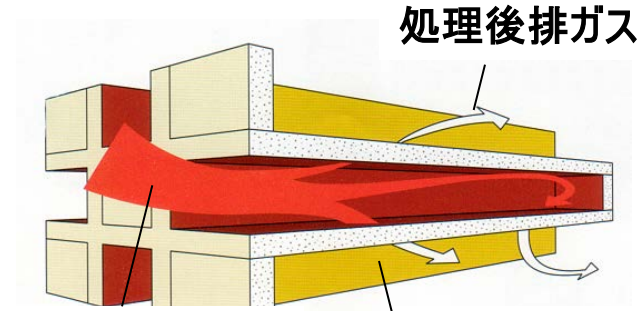
◆使用燃料　：　C重油（始動/停止はA重油）



# ４．集塵・逆洗の原理

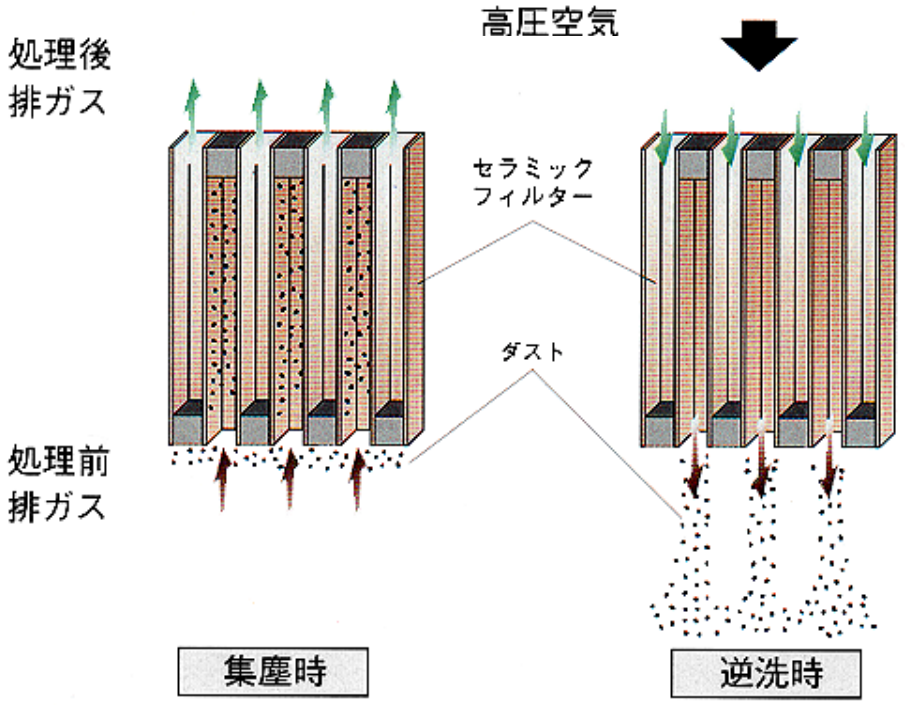
# 集塵・逆洗の原理

スートフィルタにより排ガス中のダストを集塵する。
ダスト付着によるフィルタ差圧上昇を回復させるため、高圧空気の吹付けによる逆洗方式を採用。




ガスフロー

但し、油分の付着に対しては、
本逆洗方式では不十分な可能性有




セラミックフィルターの空気逆洗浄の状況

# ５．短時間連続実験（条件確認試験含）

# 適正フィルタ/運転条件見極め実験

## 使用フィルタ

| 種類 | フィルタA | フィルタB | フィルタC |
|---|---|---|---|
| 目的 | 標準 | 低差圧 | 高ろ過面積 |
| ろ過面積／体積 | 小 | 小 | 大 |
| 初期差圧 | 標準 | 低 | 高 |

## 運転条件

### ＜1＞処理排ガス流量変更試験

エンジン負荷：75%、排ガス温度：250℃　**排ガス測定実施**

| 処理排ガス流量 | フィルタ種類 A×2本 | A×1本 | B×2本 | B×1本 | C×1本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 90m³／h・m² | 条件(1) | － | 条件(2) | － | 条件(3) |
| 120m³／h・m² | － | － | － | － | 条件(5) |
| 180m³／h・m² | － | 条件(4) | － | 条件(6) | － |

### ＜2＞エンジン負荷変更試験

排ガス温度：250℃

| 処理排ガス流量 / エンジン負荷 | フィルタ種類 180m³／h・m² B×1本 | 90m³／h・m² C×1本 |
|---|---|---|
| 25% | 条件(7) | 条件(8) |
| 75% | 条件(6) | 条件(3) |

### ＜3＞排ガス温度変更試験

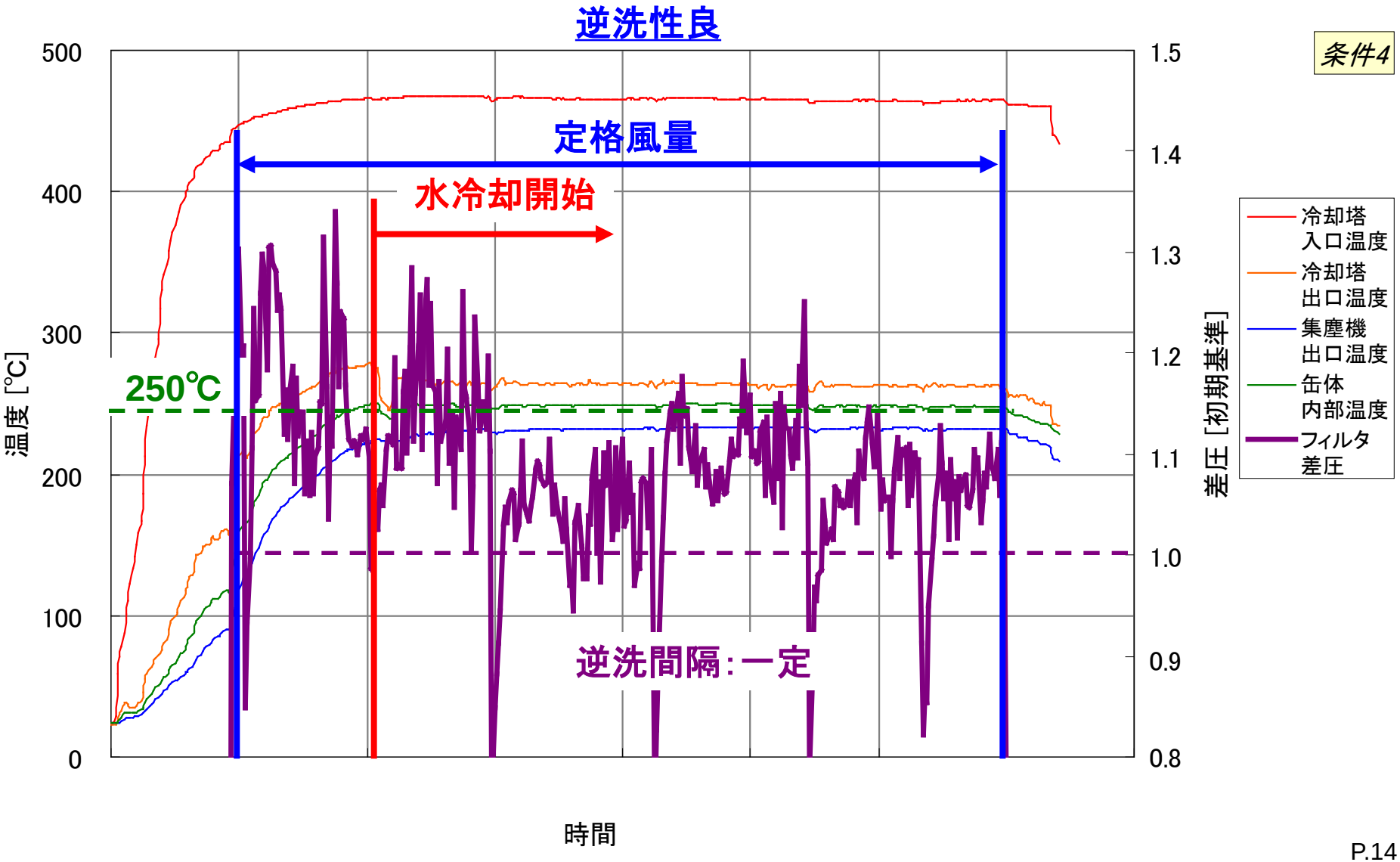
エンジン負荷：75%

| 処理排ガス流量 / 排ガス温度 | フィルタ種類 180m³／h・m² B×1本 | 90m³／h・m² C×1本 |
|---|---|---|
| 200℃ | 条件(9) | 条件(10) |
| 250℃ | 条件(6) | 条件(3) |

# 実験結果(例1)

**条件(4)**

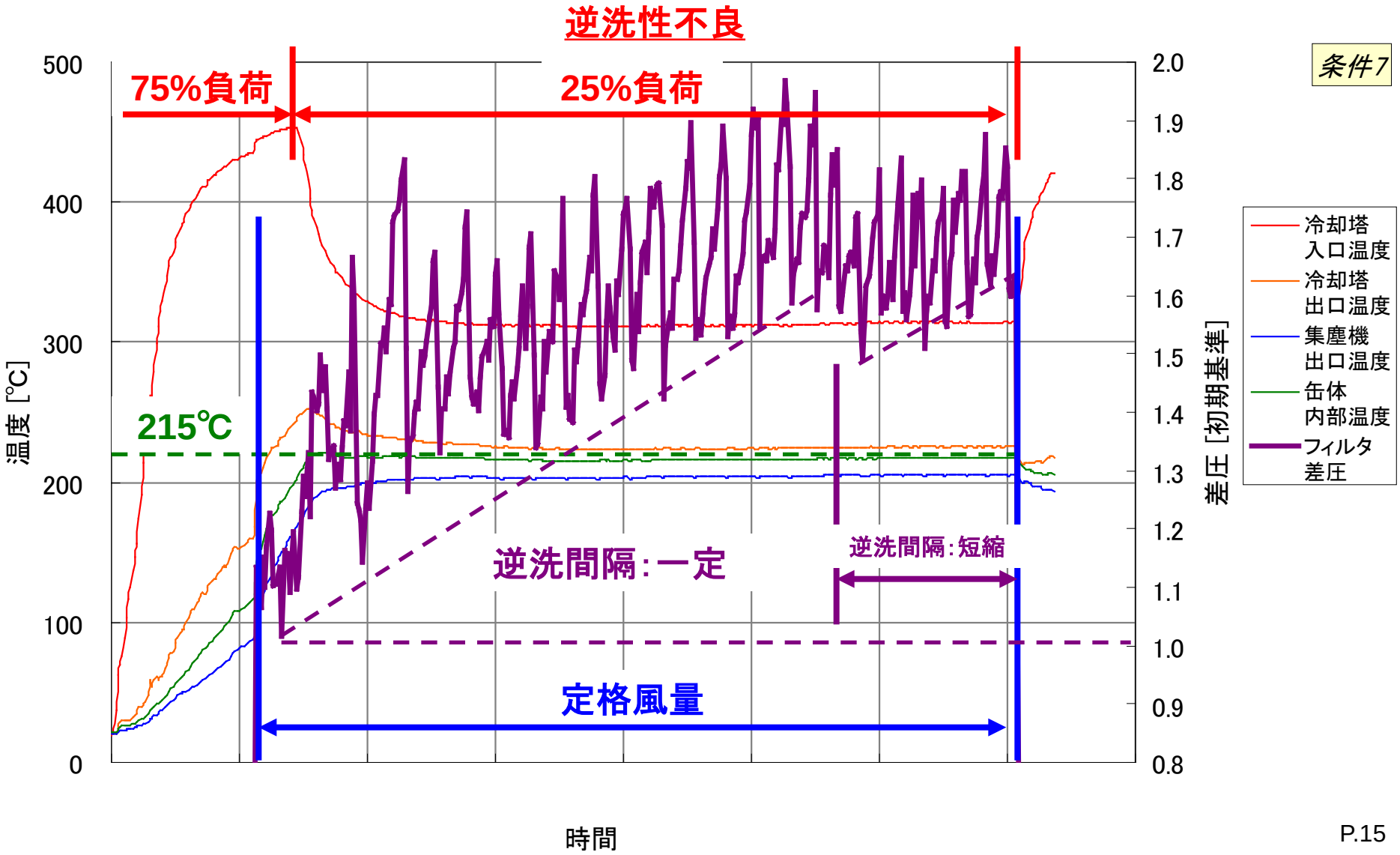
フィルタA×1本　処理排ガス流量:180m³/h·m²　エンジン負荷:75%



# 実験結果(例2)

**条件(7)**

フィルタB×1本　処理排ガス流量:180m³/h·m²　エンジン負荷:25%



# 短時間実験まとめ

## ＜1＞処理排ガス流量変更試験

エンジン負荷：75%、排ガス温度：250℃狙い

| 処理排ガス流量 | フィルタ種類 A×2本 | A×1本 | B×2本 | B×1本 | C×1本 |
|---|---|---|---|---|---|
| 90m³/h·m² | 条件(1)<br>温度：280℃<br>逆洗性：良 | － | 条件(2)<br>温度：270℃<br>逆洗性：良 | － | 条件(3)<br>温度：280℃<br>逆洗性：良 |
| 120m³/h·m² | － | － | － | － | 条件(5)<br>温度：250℃<br>逆洗性：良 |
| 180m³/h·m² | － | 条件(4)<br>温度：250℃<br>逆洗性：良 | － | 条件(6)<br>温度：250℃<br>逆洗性：良 | － |

## ＜2＞エンジン負荷変更試験結果

排ガス温度：250℃狙い

| 処理排ガス流量<br>エンジン負荷 | フィルタ種類 180m³/h·m²<br>B×1本 | 90m³/h·m²<br>C×1本 |
|---|---|---|
| 25% | 条件(7)<br>温度：215℃<br>逆洗性：不良 | 条件(8)<br>温度：215℃<br>逆洗性：不良 |
| 75% | 条件(6)<br>温度：250℃<br>逆洗性：良 | 条件(3)<br>温度：280℃<br>逆洗性：良 |

## ＜3＞排ガス温度変更試験結果

エンジン負荷：75%

| 処理排ガス流量<br>排ガス温度 | フィルタ種類 180m³/h·m²<br>B×1本 | 90m³/h·m²<br>C×1本 |
|---|---|---|
| 200℃ | 条件(9)<br>温度：200℃<br>逆洗性：良 | 条件(10)<br>温度：196℃<br>逆洗性：良 |
| 250℃ | 条件(6)<br>温度：250℃<br>逆洗性：良 | 条件(3)<br>温度：280℃<br>逆洗性：良 |

◆50m³/h·m²以上の処理ガス量でも、最適な逆洗間隔の設定にて安定運転可能
◆フィルタ種別による逆洗性への影響はなく、安定運転可能（75%負荷時）
◆排ガス温度：200～280℃で安定運転可能（75%負荷時）
◆エンジン負荷：25%において差圧が上昇し、逆洗のみでは安定運転不可

# 排ガス測定結果(陸上実験)

| 測定対象 | | 海技研　陸上エンジン | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| エンジン | | 4サイクル | | | | | | | |
| 最大出力 | | 350PS　(257kW) | | | | | | | |
| 使用燃料 | | C重油(成分表参照) | | | | | | | |
| エンジン負荷 | | 75% | | | | | | 25% | |
| 使用エレメント | | A×2本 | | B×2本 | | | C×1本 | C×1本 | |
| 項目 | 単位 | 測定結果 | | | | | | | |
| 測定場所 | | フィルタ入口 | フィルタ出口 | エンジン出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 |
| ダスト濃度 | mg/Nm$^3$ | 43 | **6** | 47 | 48 | **4** | 49 | **5** | 290 | **32** |
| 油分(粒子状) | mg/Nm$^3$ | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 40 | **30** |
| 油分(ガス状) | mg/Nm$^3$ | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 30 | **20** |
| 硫黄酸化物濃度 | vol ppm | - | - | 820 | - | - | - | - | 500 | - |
| 窒素酸化物濃度 | vol ppm | - | - | 1500 | - | - | - | - | 810 | - |

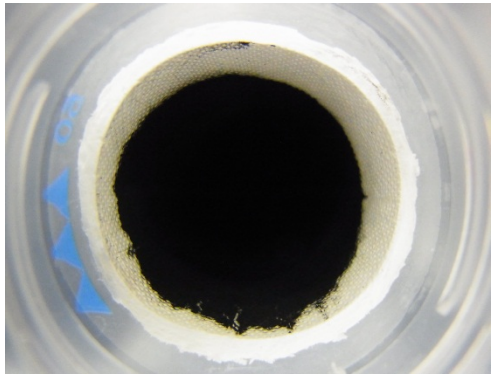
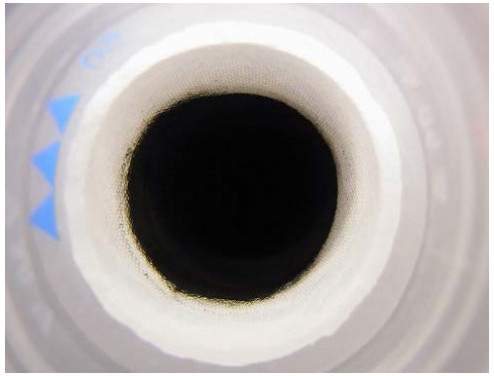
※ﾀﾞｽﾄ濃度測定は、JIS Z 8808　円筒ろ紙採取　重量法
※油分(粒子状)は、ろ紙採取　n-ﾍｷｻﾝ抽出　重量法
※油分(ｶﾞｽ状)は、n-ﾍｷｻﾝ吸収　重量法
※硫黄酸化物濃度は、過酸化水素溶液吸収　ｲｵﾝｸﾛﾏﾄｸﾞﾗﾌ法(JIS K 0103)
※窒素酸化物濃度は、亜鉛還元ﾅﾌﾁﾙｴﾁﾚﾝｼﾞｱﾐﾝ吸光光度法(JIS K 0104)

**＜75%負荷運転時＞**
**◆ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置出口ダスト濃度は、A，B，Cフィルタ共に5mg/Nm$^3$前後で良好**

**＜25%負荷運転時＞**
**◆油分が粒子状・ガス状合わせて50mg/Nm$^3$発生**
**◆出口ﾀﾞｽﾄ濃度が32mg/Nm$^3$と高いが、殆どが油分(粒子状)であることが判明**

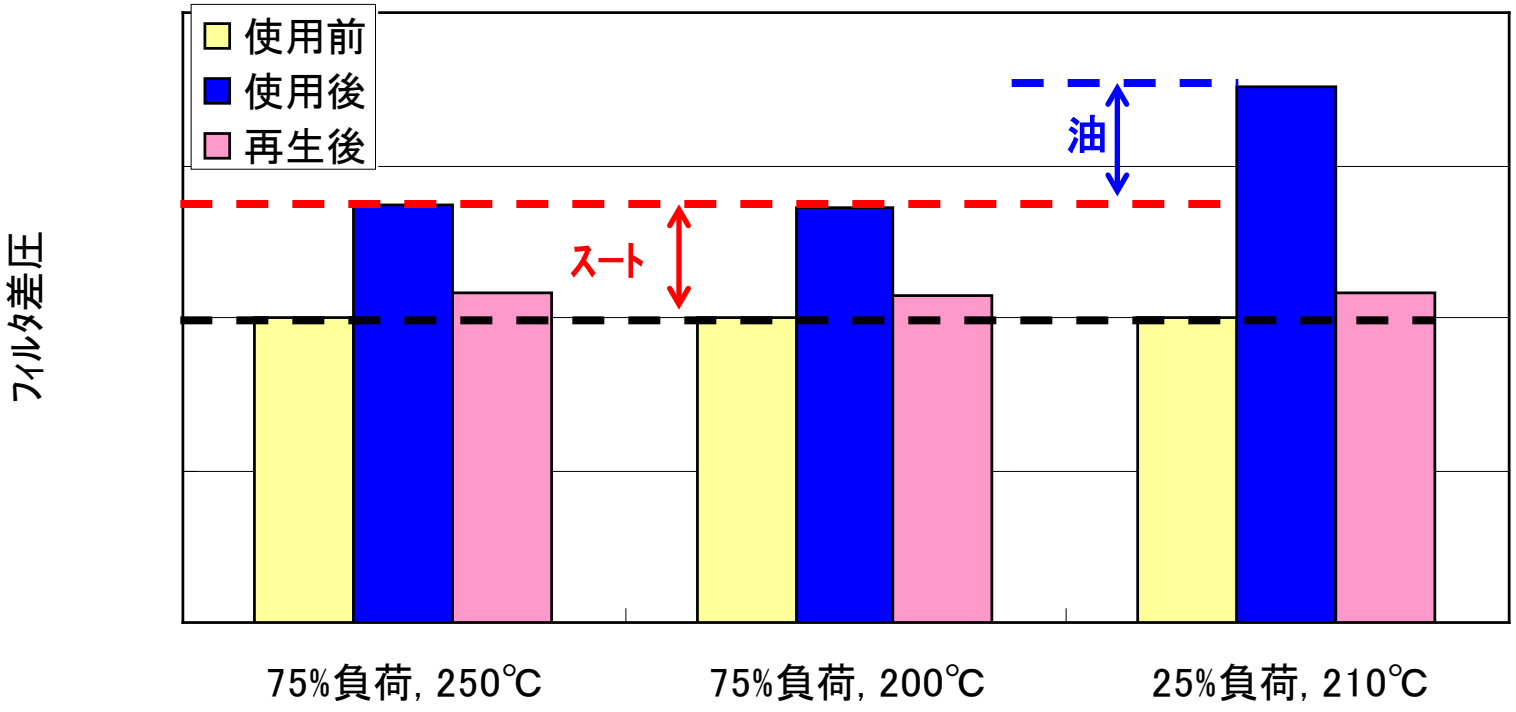
# ﾀﾞｽﾄ回収状況写真

フィルタC　　（円筒ろ紙内撮影）

| 75%負荷 | 25%負荷 |
| --- | --- |
|  |  |
| スートフィルタ装置入口 | スートフィルタ装置入口 |
| | |
| スートフィルタ装置出口 | スートフィルタ装置出口 |

◆75%負荷時は、ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ出口にｽｽ（黒煙）はみられず
◆25%負荷時は、出口側にも濃褐色の物質を確認
（粒子状油分の影響）

# 加熱再生差圧測定結果




**加熱再生により、付着したスート・油分を燃焼させることにより、再生後の差圧は、初期差圧程度まで回復**

# ６．Ｃ重油焚き２サイクル舶用機関排ガス計測結果
# （陸上実験排ガス測定含）

CONFIDENTIAL

# 実船排ガス測定用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙｴﾝｼﾞﾝ仕様

◆メーカー　：　MAN　B&W

◆形式　：　6L42MC

◆シリンダー数　：　6

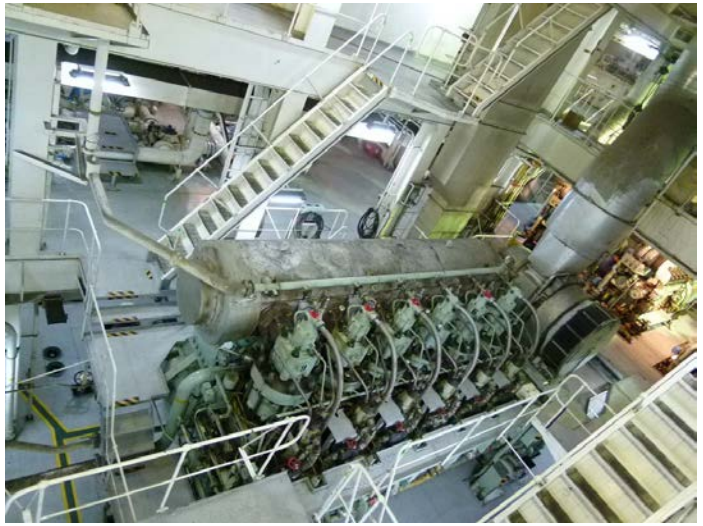
◆シリンダー径　：　420mm

◆ストローク　：　1,360mm

◆定格出力　：　8,130PS（5,980kW）

◆定格回転数　：　176rpm

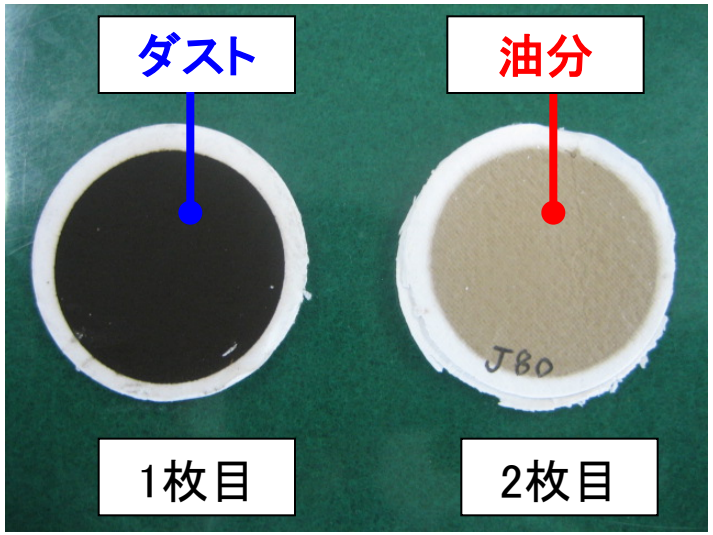
◆使用燃料　：　C重油



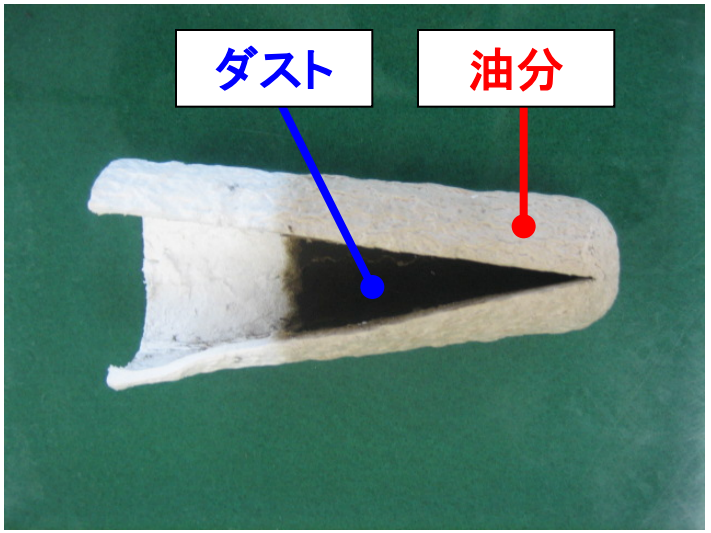
主機エンジン

# 実船排ガス測定写真

排ガス測定孔取付




ﾀﾞｽﾄ採取（円形ろ紙×２重）




ﾀﾞｽﾄ採取（円筒ろ紙）

# 排ガス測定結果(実船含)

| 測定対象 | | 海技研　陸上エンジン | | | | | | | 実船 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| エンジン | | 4サイクル | | | | | | | 2サイクル | |
| 最大出力 | | 350PS　(257kW) | | | | | | | 8,130PS (5,980kW) | |
| 使用燃料 | | C重油(成分表参照) | | | | | | | C重油(成分表参照) | |
| エンジン負荷 | | 75% | | | | | | 25% | 60% | 80% |
| 使用エレメント | | A×2本 | | B×2本 | | C×1本 | | C×1本 | 無 | |
| 項目 | 単位 | 測定結果 | | | | | | | 測定結果 | |
| 測定場所 | | フィルタ入口 | フィルタ出口 | エンジン出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 | フィルタ入口 | フィルタ出口 | エンジン出口 | |
| ダスト濃度 | mg/Nm$^3$ | 43 | 6 | 47 | 48 | 4 | 49 | 5 | 290 | 32 | 55 | 63 |
| 油分(粒子状) | mg/Nm$^3$ | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 40 | 30 | <1 | <1 |
| 油分(ガス状) | mg/Nm$^3$ | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | 30 | 20 | 32 | 26 |
| 硫黄酸化物濃度 | vol ppm | - | - | 820 | - | - | - | - | 500 | - | 510 | - |
| 窒素酸化物濃度 | vol ppm | - | - | 1500 | - | - | - | - | 810 | - | 1100 | - |

測定方法:JIS　Z8808

**＜75%負荷運転時＞**

**◆ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置入口ダスト濃度は、実船での測定結果とほぼ同等の数値**

**＜25%負荷運転時＞**

**◆実船と同程度の油分の発生有(30mg/Nm$^3$程度)**

**◆ﾀﾞｽﾄ濃度は実船と比較し5倍程度発生**

**＜NOx、SOx濃度＞**

**◆実船と同程度の濃度であることを確認**

**陸上エンジン排ガスは、実船排ガスを模擬できていることを確認**

# 回収ﾀﾞｽﾄ成分分析結果(EDX簡易定量分析)

| | 陸上実験 | 実船 | |
|---|---|---|---|
| 回収場所 | ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置 ﾎｯﾊﾟ内 | 主機煙道 | 補機用ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置 ﾎｯﾊﾟ内 |
| エンジン | 4ｻｲｸﾙ | 2ｻｲｸﾙ | 4ｻｲｸﾙ |
| 元素 | (Wt%) | (Wt%) | (Wt%) |
| C | 55.31 | 30.35 | 0.85 |
| O | 16.77 | 33.33 | 32.86 |
| Na | 0.72 | 0.5 | 2.92 |
| Al | 0.4 | 0.21 | 0.74 |
| Si | 1.5 | 0.66 | 0.87 |
| S | 15.61 | 14.62 | 25.44 |
| Ca | 1.63 | 15.58 | 2.73 |
| V | 3.18 | 2.75 | 19.27 |
| Fe | 1.88 | 0.74 | 3.45 |
| Ni | 2.59 | 1.56 | 10.87 |

実船での回収ダストと比較し、
◆未燃Cの割合が高い
◆Caの含有量が少ない(4ｻｲｸﾙのため、潤滑油の揮発が少ない)
◆その他の成分はほぼ同等の割合

# 7. 長時間連続実験

# 長時間連続実験　実験条件

◆使用フィルタ　　：　フィルタC　１本

◆処理排ガス流量　：　90$m^3$／h　（ろ過面積1$m^2$当り）

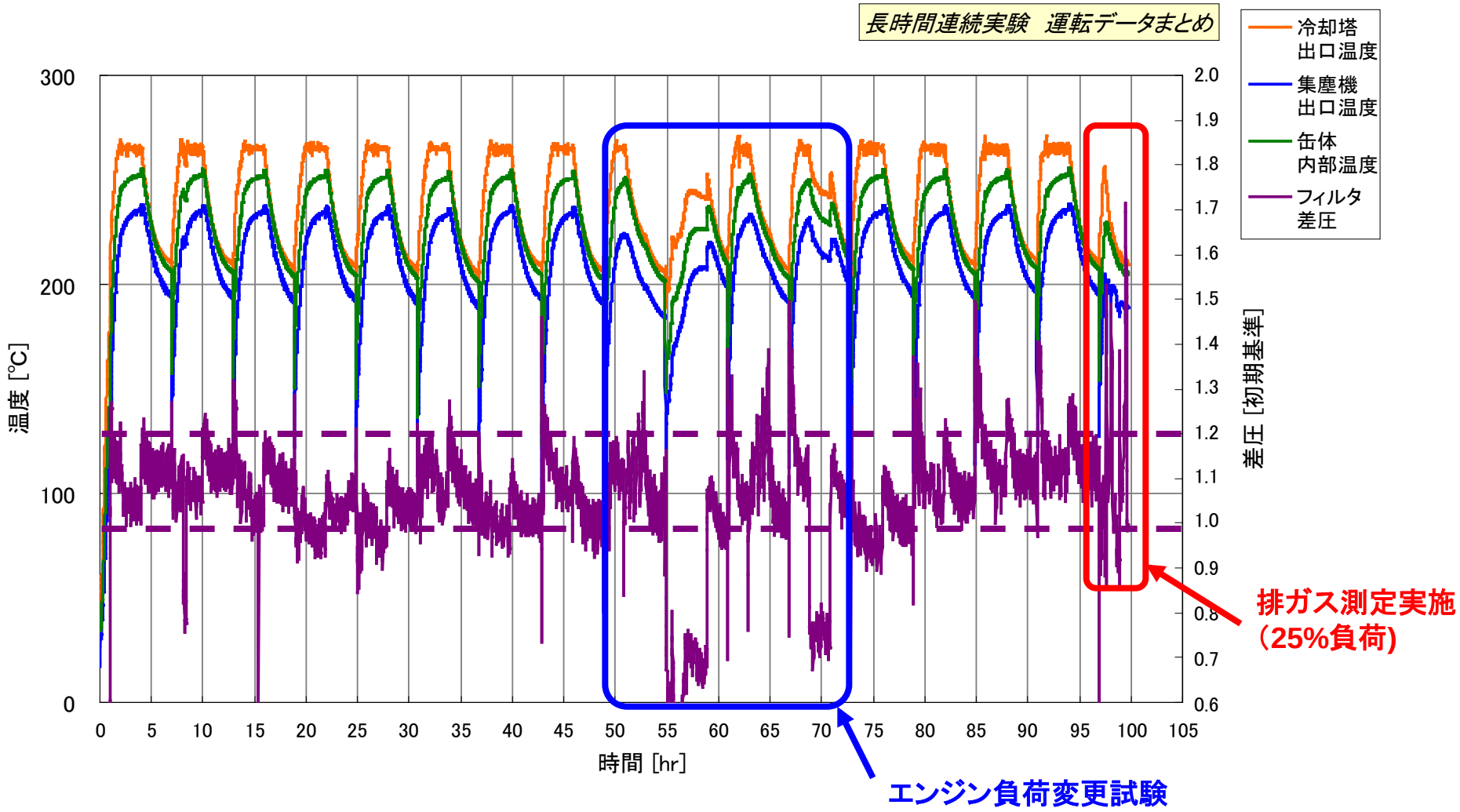
◆運転時間　　：　６時間／日

◆運転日数　　：　１７日

◆延べ運転時間　　：　１０２時間

◆使用燃料　　：　C重油（始動/停止時はA重油）

# 運転差圧推移




**逆洗＋加熱再生を実施することにより、安定運転可能であることを確認**

# 排ガス測定結果

| 測定対象 | | 海技研　陸上エンジン | | | | | | | 実船 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| エンジン | | 4サイクル | | | | | | | 2サイクル | |
| 最大出力 | | 350PS　(257kW) | | | | | | | 8,130PS (5,980kW) | |
| 使用燃料 | | C重油 | | | | | | | C重油 | |
| エンジン負荷 | | 75% | | | 25% | | | | 60% | 80% |
| 使用エレメント | | B×2本 | | | C×1本 | | | | 無 | |
| 項目 | 単位 | 測定結果 | | | | | | | 測定結果 | |
| 実験条件 | | 短時間運転時 | | | | | 長時間連続運転時 | | | |
| 測定場所 | | ｴﾝｼﾞﾝ出口 | ﾌｨﾙﾀ入口 | ﾌｨﾙﾀ出口 | ﾌｨﾙﾀ入口 | ﾌｨﾙﾀ出口 | ﾌｨﾙﾀ入口 | ﾌｨﾙﾀ出口 | ｴﾝｼﾞﾝ出口 | |
| ダスト濃度 | mg/Nm$^3$ | 47 | 48 | 4 | 290 | 32 | 230 | 22 | 55 | 63 |
| 油分(粒子状) | mg/Nm$^3$ | ＜5 | ＜5 | ＜5 | 40 | 30 | 30 | 20 | ＜1 | ＜1 |
| 油分(ガス状) | mg/Nm$^3$ | ＜5 | ＜5 | ＜5 | 30 | 20 | 10 | ＜10 | 32 | 26 |
| 硫黄酸化物濃度 | vol ppm | 820 | － | － | 500 | － | － | 450 | 510 | － |
| 窒素酸化物濃度 | vol ppm | 1500 | － | － | 810 | － | 610 | － | 1100 | － |

測定方法：JIS　Z8808

◆長時間運転後もダスト集塵効率は90%程度と良好
◆フィルタ出口ダストは、大部分が粒子状油分であることが判明
◆ガス状油分の発生量が実船に対して若干低め
（年末にｴﾝｼﾞﾝのｵｰﾊﾞｰﾎｰﾙを実施した影響）

# 8. PM測定結果

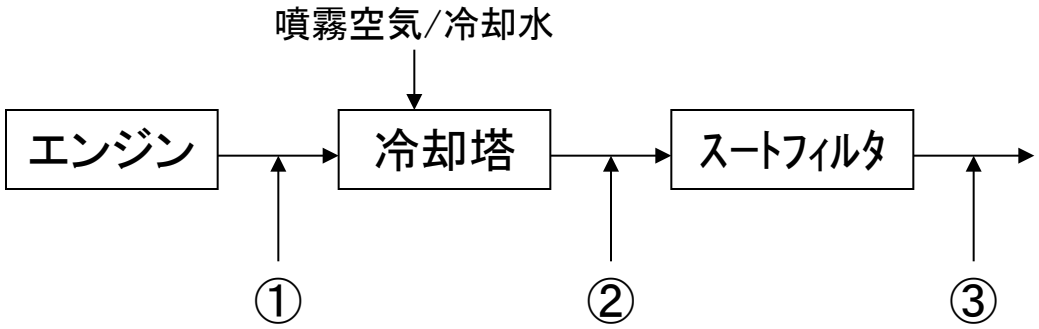
# 陸上実験用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ機関の排ガス性状・PM計測について

## 陸上実験用ディーゼル機関の排ガス性状

| | 過給器前温度 | 過給器後温度 | NOx濃度 dry | $CO_2$濃度 dry | $O_2$濃度 dry | PM濃度 dry |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 75%負荷 | 約550℃ | 約500℃ | 約1800ppm | 約9% | 約9% | 約220mg/$m^3$N |
| 25%負荷 | 約350℃ | 約320℃ | 約900ppm | 約5.5% | 約14% | 約380mg/$m^3$N |

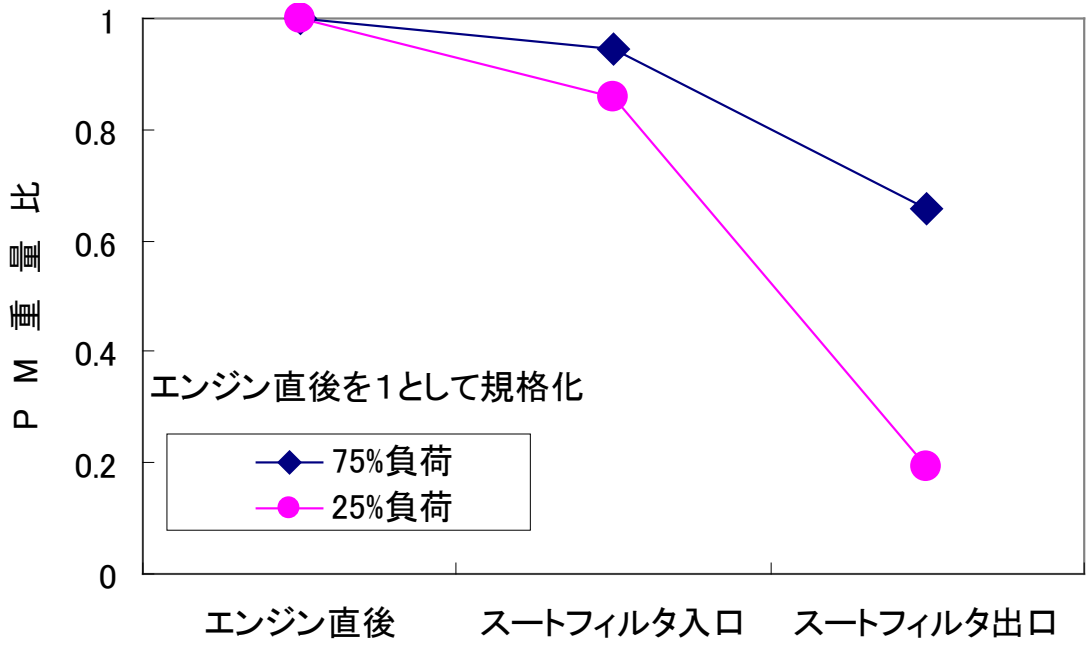
## PM計測について

PM捕集箇所:
①:エンジン直後
②:スートフィルタ入口
③:スートフィルタ出口




◆①の箇所においては，JIS B 8008-1:2000に準拠してPM計測を実施
◆②及び③の箇所においては、冷却塔での噴霧空気/冷却水による排ガスの希釈を考慮し、補正を実施

# PM測定結果




PM捕集フィルタに捕集されたPMの重量比較

75%負荷

25%負荷

PM捕集フィルタ写真
（スートフィルタ出口）

◆エンジン直後からスートフィルタ入口までの減少分は，配管内での損失と考えられる。
◆スートフィルタ出口において，75%負荷の方が25%負荷より，PM重量が大きいにもかかわらず，PM捕集フィルタの色が薄い。これは75%負荷は、排ガス中のサルフェート分が多く，サルフェート分は捕集されてもフィルタに色が付かないためと考えられる。

# ９．陸上実験まとめ

# 陸上実験まとめ(1)

① 3種類のｽｰﾄﾌｨﾙﾀを使用して試験を実施した結果、50m³/h･m²以上の処理ガス流量に対して、どのﾌｨﾙﾀでも集塵性能、逆洗性共に問題無いことを確認。

②油分を含まない条件においては、200～280℃の温度域で安定運転が可能。

③実船主機排ガスと同等のダスト濃度(50mg/Nm³)の場合、適正な間隔で逆洗を実施することにより、安定運転が可能。

④油分を含んだ排ガスの場合、逆洗操作のみでのﾌｨﾙﾀ差圧回復再生は有効ではない。

⑤3種類のｽｰﾄﾌｨﾙﾀ共に、ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置出口ﾀﾞｽﾄ濃度は5mg/Nm³程度で集塵性能は良好。

⑥油分は、ｽｰﾄﾌｨﾙﾀでは除去できない。

⑦ｽｰﾄ並びに油分により差圧上昇したｽｰﾄﾌｨﾙﾀを加熱再生すると、初期差圧程度まで回復可能。

⑧実船での排ガス測定結果と海技研でのｴﾝｼﾞﾝ負荷変更試験での排ガス測定結果を比較したところ、以下であることを確認。
・ダスト濃度　：　ｴﾝｼﾞﾝ負荷75%と類似
・油分濃度　　：　ｴﾝｼﾞﾝ負荷25%と類似

# 陸上実験まとめ(2)

⑨陸上試験で回収したダストと実船で回収したダストの成分を比較したところ、実船回収ダストは、Caの含有量が多いことが判明。
実船は、2ｻｲｸﾙｴﾝｼﾞﾝであり、ｴﾝｼﾞﾝ潤滑油が揮発し潤滑油中のCaがﾀﾞｽﾄ中に混入しているものと推察。

⑩長時間連続実験の結果、最適な間隔での逆洗＋加熱再生にて安定運転が可能。

⑪長時間連続実験後の排ガス測定の結果、集塵効率は90%程度で良好。

⑫PM測定の結果、エンジンの負荷によりPM性状に違いがあることが判明。

⑬JIS Z 8808に則ったダスト濃度測定結果とPM測定結果には、大きな差があるため、測定方法により違いが発生することが判明。

⑭実船実験では、長時間連続実験で良好な結果が得られたフィルタCを使用する。

# １０．実船実験スケジュール

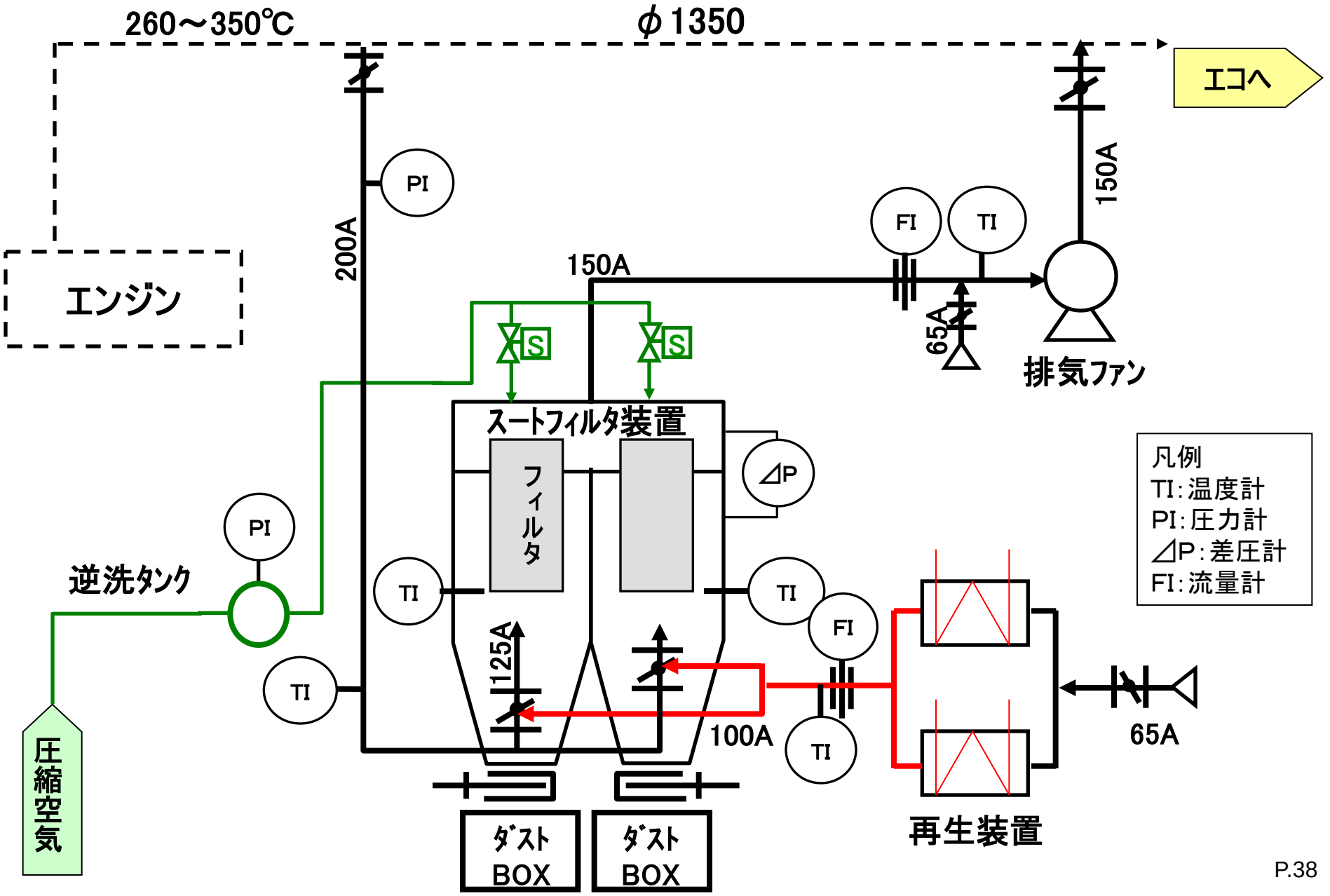
# 実船実験スケジュール

陸上実験での最適フィルタ種・運転条件を基に、実船排ガスラインに小型スートフィルタ装置を設置し、安定運転の可否並びに、実船特有の問題点の抽出を行う。

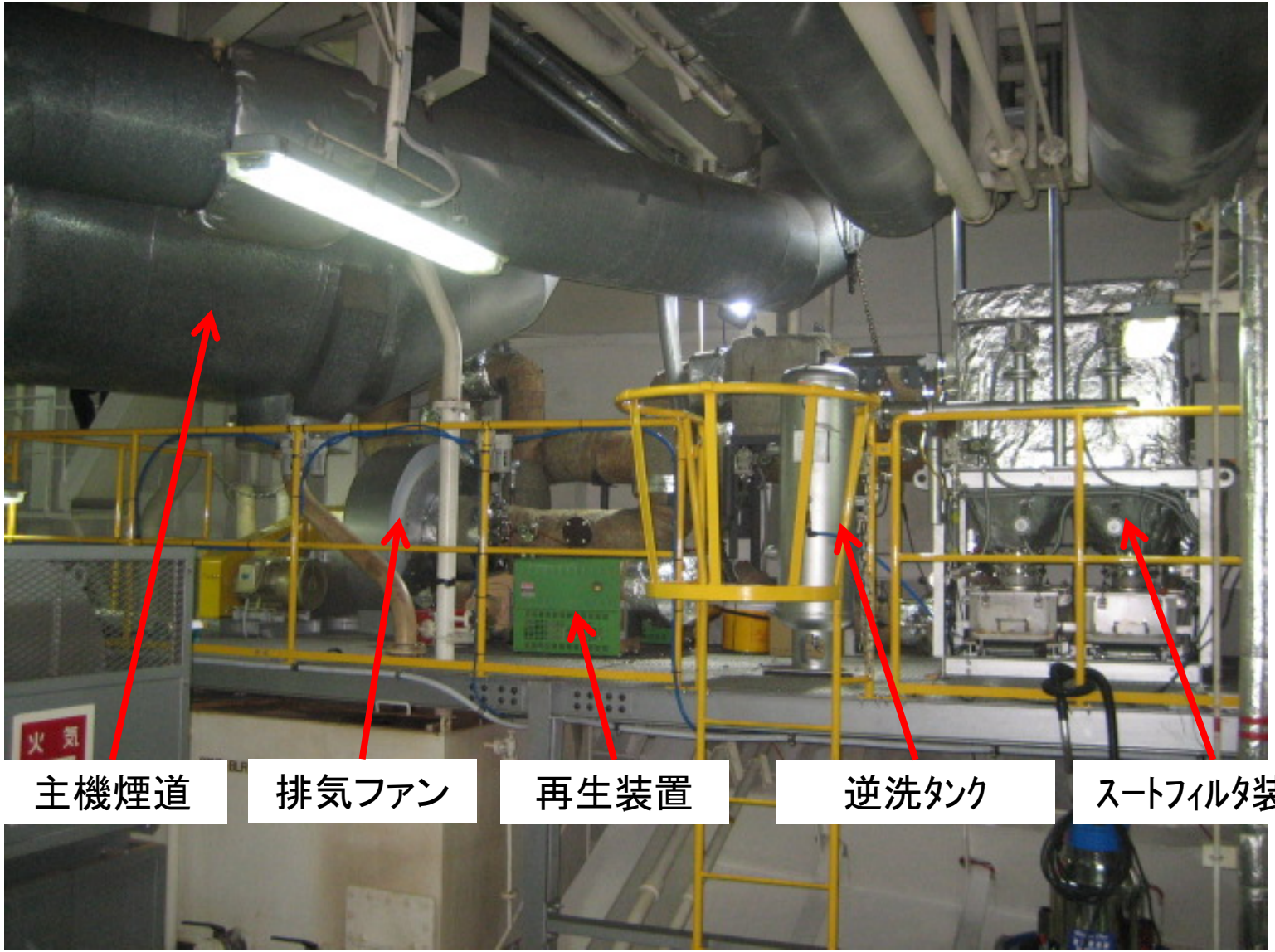
| 実施項目 | 平成25年 1～3月 | 4～6月 | 7～9月 | 10～12月 | 26年 1～3月 |
|---|---|---|---|---|---|
| **実船実験** | | | | | |
| スートフィルタ装置類の設計・製作・据付 | ← | ― | → | | |
| 実船実験 | | | ← | - - - → | |
| まとめ | | | | | ↔ |
| 報告書作成 | | | | | ― → |

# 11. 実船実験用設備概要

# 設備フロー図


260～350℃
φ1350
エコへ
エンジン
PI
200A
150A
FI
TI
150A
65A
排気ファン
S
S
スートフィルタ装置
フィルタ
⊿P
PI
逆洗タンク
TI
TI
TI
FI
125A
100A
TI
65A
圧縮空気
ダストBOX
ダストBOX
再生装置
凡例
TI：温度計
PI：圧力計
⊿P：差圧計
FI：流量計

# 実船実験装置写真



# 実船実験用ﾃﾞｨｰｾﾞﾙｴﾝｼﾞﾝ仕様

◆メーカー　：　三菱重工業

◆形式　：　7UEC－52LSE

◆シリンダー数　：　7

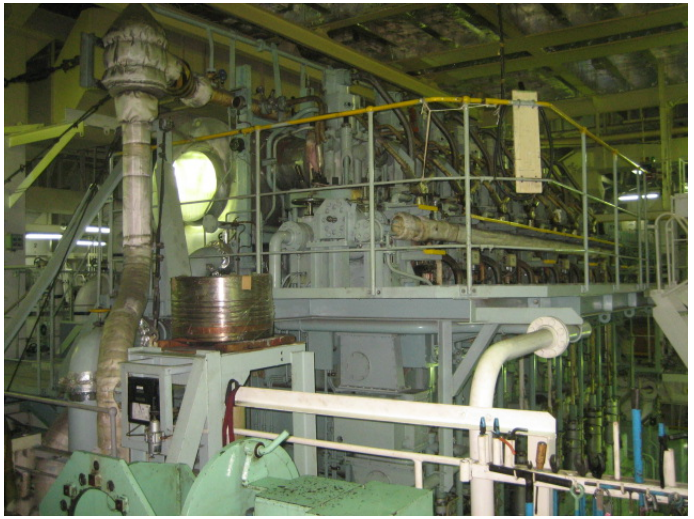
◆シリンダー径　：　520　mm

◆ストローク　：　2000　mm

◆定格出力　：　16，227　PS（11，935kW）

◆定格回転数　：　127　rpm

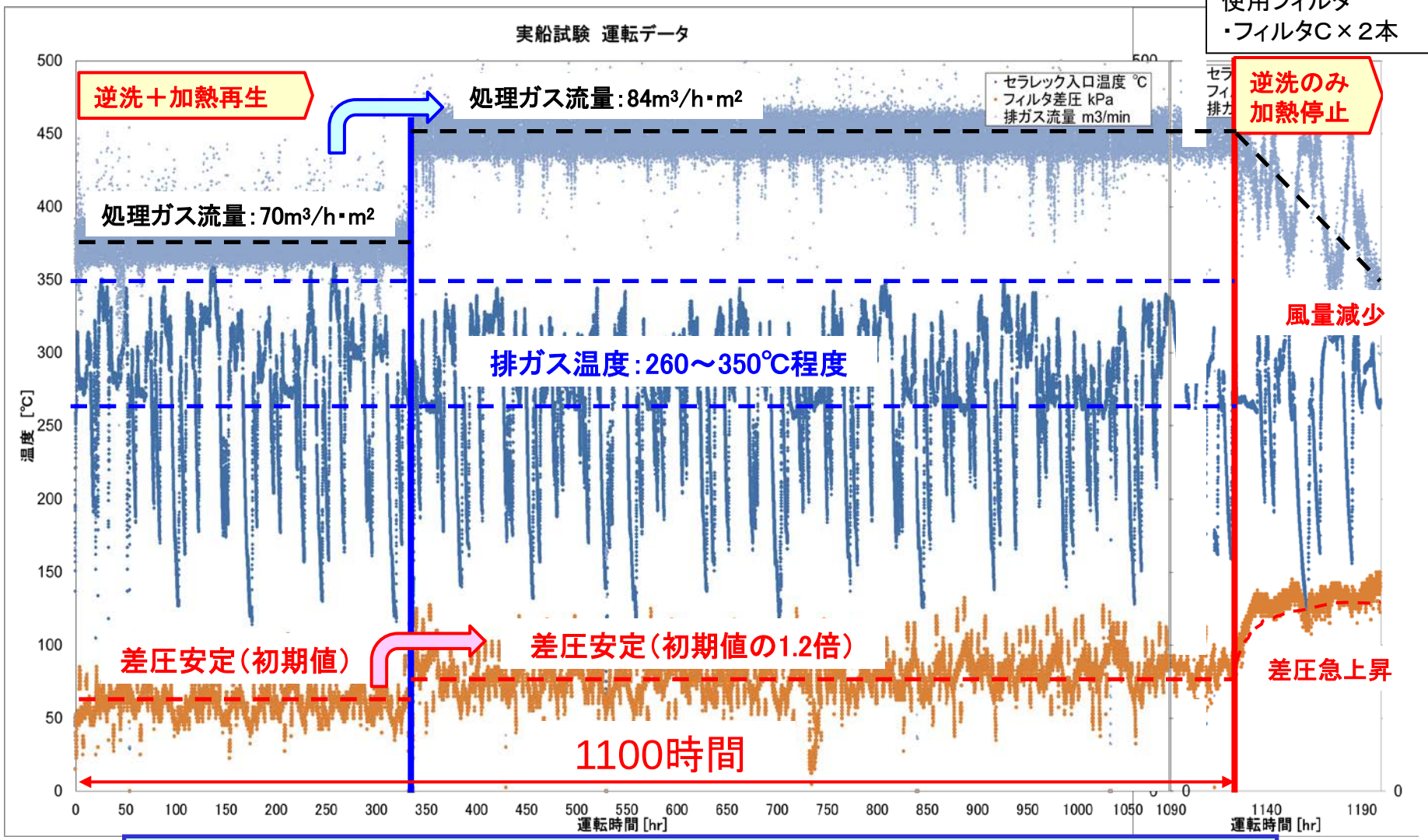
◆使用燃料　：　C重油



主機エンジン

# １２．実船実験運転差圧推移

# 実船実験運転差圧推移




・処理ガス流量：70m³/h・m²以上にて1100時間の安定運転達成
・逆洗＋加熱再生方式は差圧回復に有効であることを実証
・主機排ガス温度は、260～350℃の範囲で推移

# 13. 使用燃料成分比較

# 燃料（A・C重油）成分

| | | 陸上試験時 | | 実船 | 実船実験 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | A重油 | C重油 | （排ガス測定時） | （今回） |
| 項目 | 単位 | | | | |
| 密度（@15℃） | g/cm$^3$ | 0.8623 | 0.9825 | 0.9838 | 0.9745 |
| 動粘度（@50℃） | cSt | 2.196 | 150.8 | 105.8 | 167 |
| 引火点 | ℃ | 72 | 92 | 87 | 102.5 |
| 流動点 | ℃ | −27.5 | −22.5 | 30 | −15 |
| 残留炭素分 | 質量% | 0.05 | 12 | 11.6 | 11.2 |
| 灰分 | 質量% | 0 | 0.01 | 0.01 | 0.017 |
| 水分 | 容積% | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 硫黄分 | 質量% | 0.047 | 2.38 | 2.31 | 2.88 |
| 窒素分 | 質量% | 0.01 | 0.18 | 0.18 | 0.20 |
| 無機成分 | 単位 | | 測定値 | | 文献値 |
| Al＋Si | mg/kg | − | 6 | − | 25～60 |
| V | mg/kg | − | 34 | − | 50～350 |
| Na | mg/kg | − | 6 | − | 20 |
| Ca | mg/kg | − | 1 | − | 10～30 |
| Fe | mg/kg | − | 12 | − | 15～20 |
| Ni | mg/kg | − | 20 | − | 30～70 |

◆燃料中のS分濃度は、2～3%程度

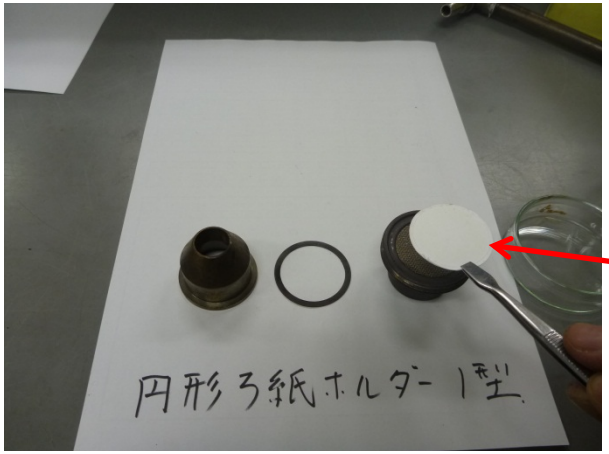
（今回の実船実験では、2.88%でありS分規制の上限側に近い燃料を使用）

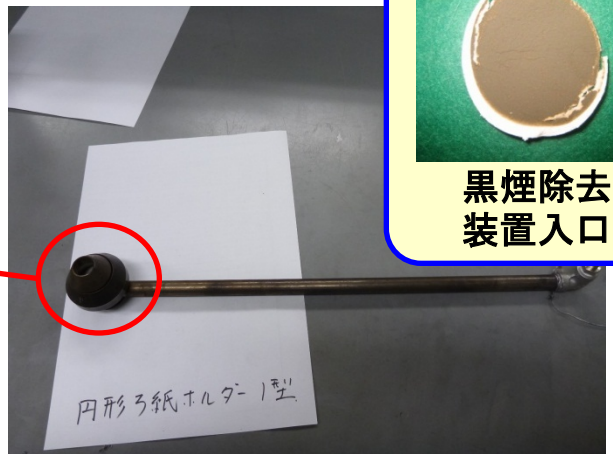
◆無機成分にはV、Niといった希少金属が多く含まれる

# １４．排ガス測定結果まとめ

# 排ガス測定結果(1)

◆測定方法:1型円形ろ紙法(JIS Z 8808)

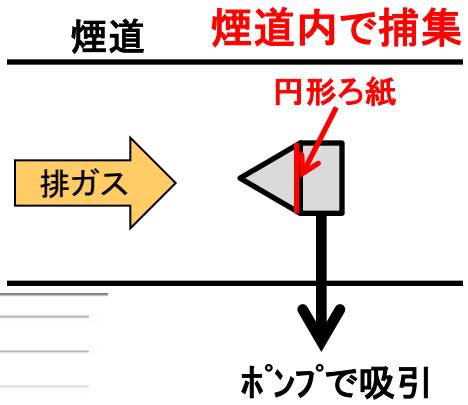



使用後円形ろ紙

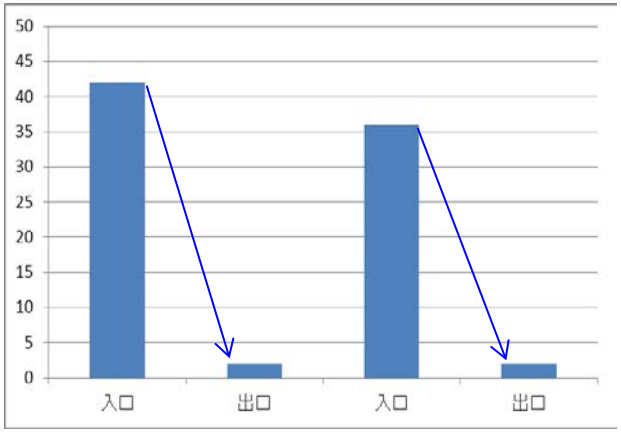
黒煙除去
装置入口

黒煙除去
装置出口




◆測定結果

| | 1回目 | | |
|---|---|---|---|
| | 入口 | 出口 | 除去率 |
| 単位 | mg/Nm3 | mg/Nm3 | % |
| ダスト濃度 | 42 | <2 | >95 |
| ダスト濃度 | 2回目 | | |
| | 36 | <2 | >94 |

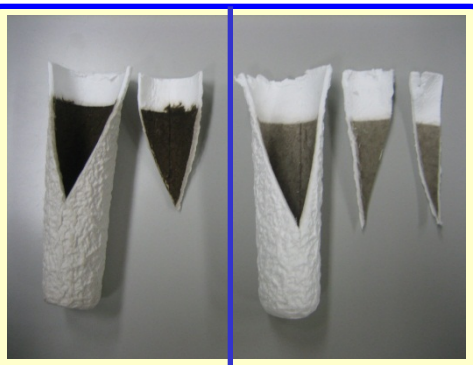



**排ガス中の90%以上のダスト(粒子状物質)を除去可能**

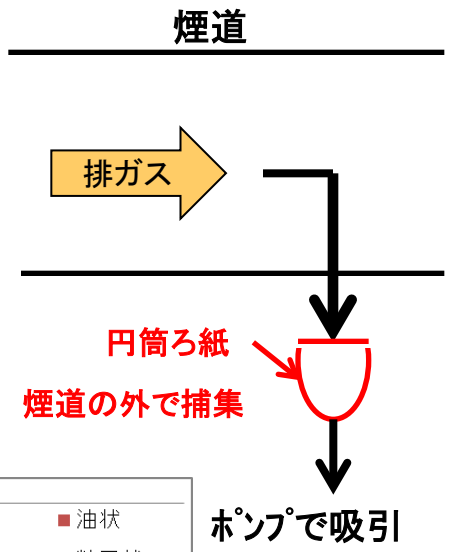
# 排ガス測定結果(2)

◆測定方法:2型円筒ろ紙法(JIS Z 8808)

使用後円筒ろ紙

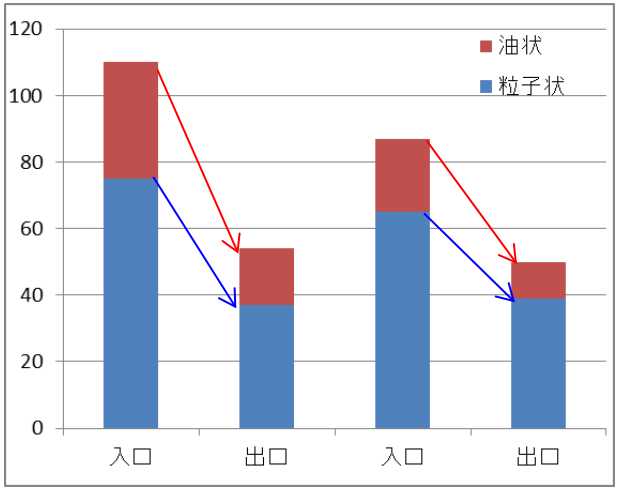


黒煙除去装置入口　　黒煙除去装置出口




◆測定結果

| | | 1回目 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 入口 | 出口 | 除去率 |
| 単位 | | mg/Nm3 | mg/Nm3 | % |
| ﾀﾞｽﾄ濃度 | | 110 | 54 | 50.9 |
| 内 | 粒子状 | 75 | 37 | 50.7 |
| | 油状 | 35 | 17 | 51.4 |
| | | 2回目 | | |
| ﾀﾞｽﾄ濃度 | | 87 | 50 | 42.5 |
| 内 | 粒子状 | 65 | 39 | 40 |
| | 油状 | 22 | 11 | 50 |




**排ガス中の50%前後のダストを除去(1型の測定方法より低い)**
**排ガスが冷えることにより、油分が粒子化し、ﾌｨﾙﾀを通過**

# 排ガス測定結果まとめ

| 測定対象 | | 実船主機エンジン | | | | 実船主機 | 海技研　陸上エンジン | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| エンジン | | 2サイクル | | | | 2サイクル | 4サイクル | | | |
| 最大出力 | | 16,227PS(11,935kW) | | | | 8,130PS(5,980kW) | 350PS(257kW) | | | |
| 使用燃料 | | C重油 | | | | C重油 | C重油 | | | |
| エンジン負荷 | | 85% | | | | 60% | 75% | | 25% | |
| 項目 | 単位 | 測定結果 | | | | 測定結果 | 測定結果 | | | |
| 測定方法 | － | 2型円筒ろ紙法 | | 1型円形ろ紙法 | | 2型円筒ろ紙法 | 2型円筒ろ紙法 | | | |
| 測定場所 | フィルタ | 入口 | 出口 | 入口 | 出口 | エンジン出口 | 入口 | 出口 | 入口 | 出口 |
| ダスト濃度 | mg/Nm3 | 110 | 54 | 42 | ＜2 | 55 | 48 | 4 | 290 | 32 |
| 油分 | mg/Nm3 | 35 | 17 | － | － | 32 | ＜5 | ＜5 | 40 | 30 |
| 硫黄酸化物 | vol ppm | 590 | － | － | － | 510 | 820 | － | 500 | － |
| 窒素酸化物 | vol ppm | 1400 | － | － | － | 1100 | 1500 | － | 810 | － |

測定方法：JIS　Z8808

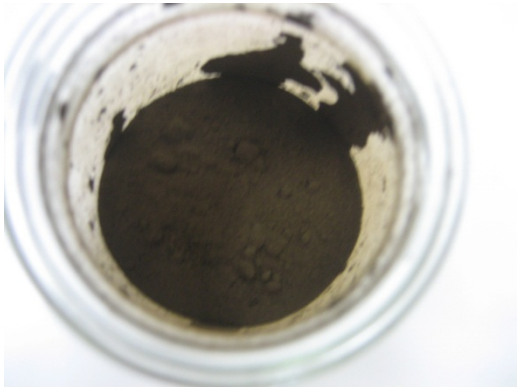
実船主機エンジン排ガス中には、
①硫黄酸化物濃度は、500～600ppm程度
②窒素酸化物濃度は、1100～1400ppm程度
③総ダスト濃度は、50～100mg／$Nm^3$程度
　内油分は、30mg／$Nm^3$程度

# １５．回収ダスト分析まとめ

# 回収ダスト成分分析結果

| | 実船主機 | | 陸上実験 |
|---|---|---|---|
| 回収場所 | 主機煙道 | ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置 ﾎｯﾊﾟ内 | ｽｰﾄﾌｨﾙﾀ装置 ﾎｯﾊﾟ内 |
| エンジン | 2サイクル | 2サイクル | 4サイクル |
| 燃料 | C重油 | C重油 | C重油 |
| 元素 | (wt%) | (wt%) | (wt%) |
| C | 30.35 | 27.00 | 55.31 |
| O | 33.33 | 26.51 | 16.77 |
| Na | 0.5 | 1.45 | 0.72 |
| Al | 0.21 | - | 0.4 |
| Si | 0.66 | - | 1.5 |
| S | 14.62 | 14.19 | 15.61 |
| Ca | 15.58 | 15.51 | 1.63 |
| V | 2.75 | 9.72 | 3.18 |
| Fe | 0.74 | 1.27 | 1.88 |
| Ni | 1.56 | 3.26 | 2.59 |

陸上実験回収ダスト

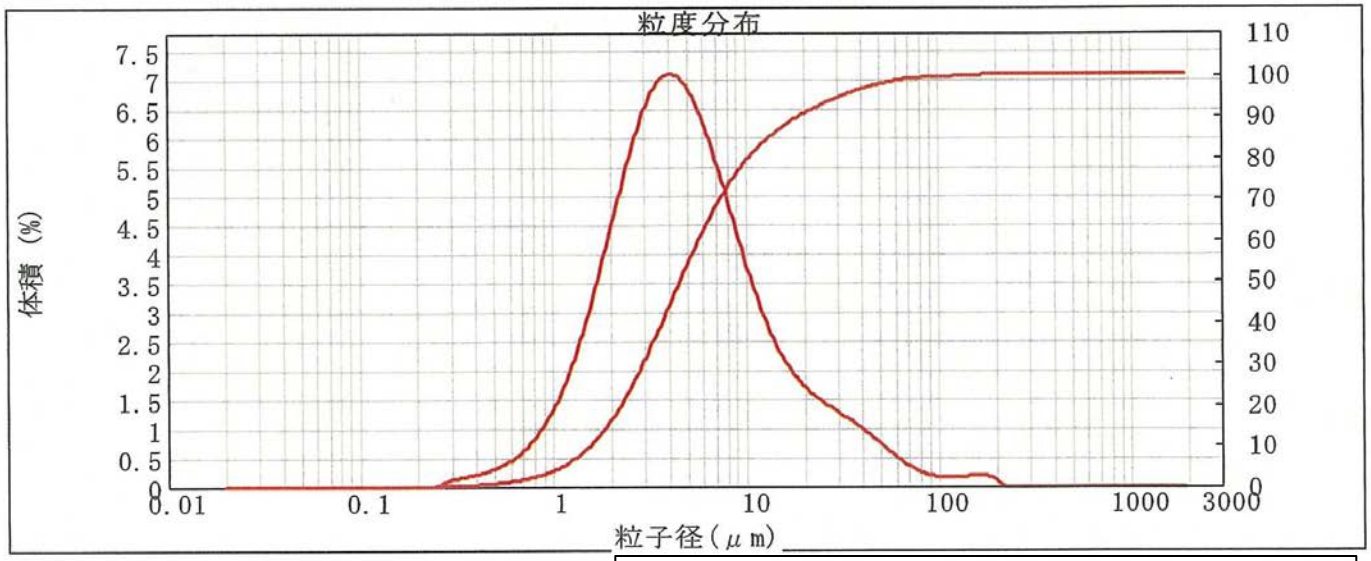


実船実験回収ダスト

◆4ｽﾄﾛｰｸと比較し、C量が少ない
（写真に示す通り、実船回収ﾀﾞｽﾄは色が薄い）
◆4ｽﾄﾛｰｸと比較し、Ca量が多い（エンジン潤滑油由来）
◆C重油使用により、S・V・Ni量が多い

# 回収ダスト粒度分布測定結果

d(0.1): 1.574 μm　　d(0.5): 4.617 μm　　d(0.9): 19.578 μm　　スパン 3.900



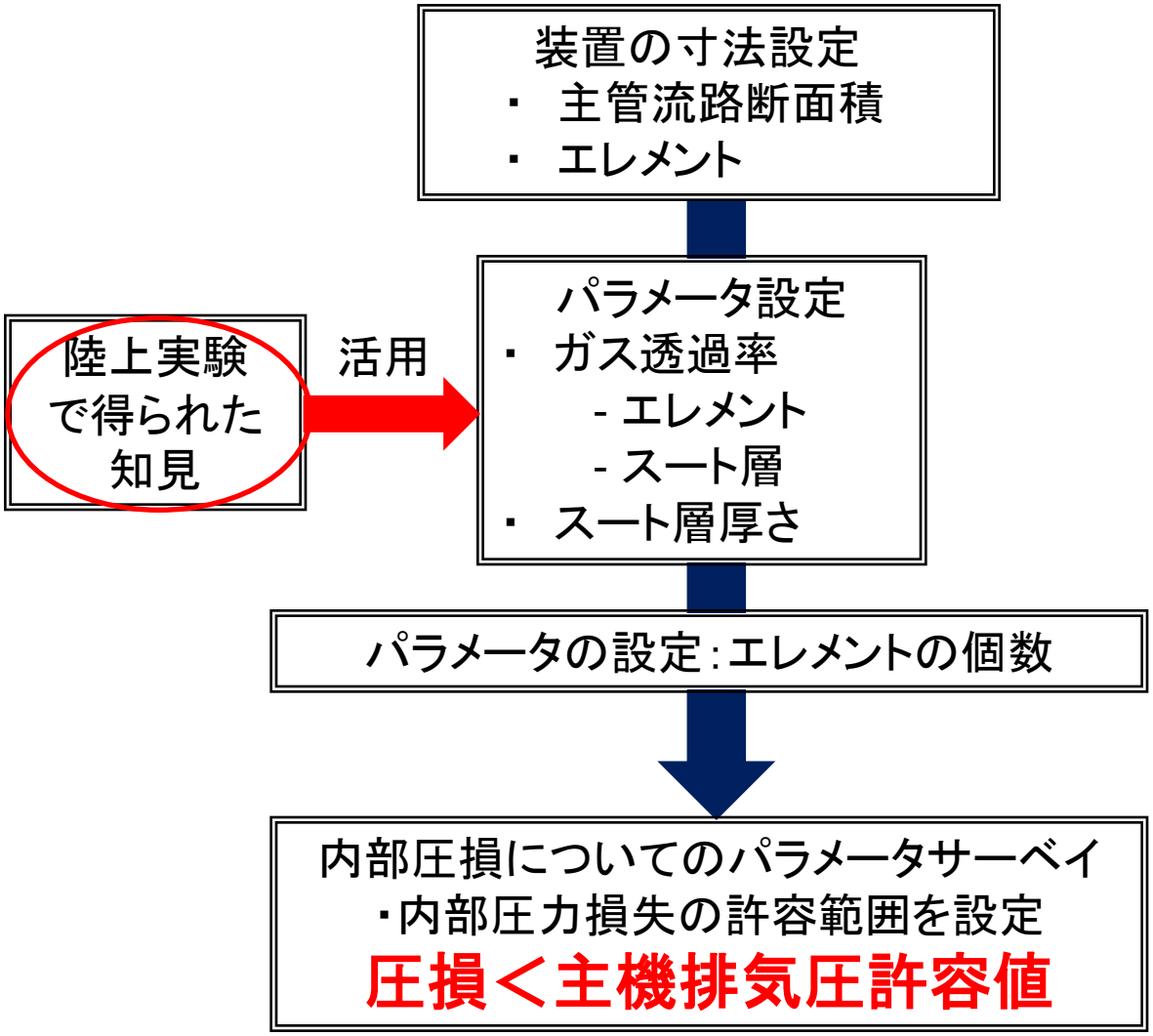

| | |
|---|---|
| 装置名 | :レーザー回折散乱式粒度分布測定装置<br>セイシン企業製　LMS-2000e |
| 粒径範囲 | :0.020～2000.000μm |
| 分散媒 | :エタノール |

◆回収されたダストの平均粒子径は、4．6μm程度
◆最小粒子径は、0．3μm程度まで捕集可能

# 16. 排ガス処理システム概念設計

# 排ガス処理システムの概念設計

フィルタ装置の大きさは，とりわけ設計時において重要となる．そのため，
陸上実験で得られた知見を用いての，フィルタ装置の設計プロセスを検討した．



# 17. 総まとめ・今後の課題

# 総まとめ

①陸上試験の結果を基に、主機エンジン排ガス用スートフィルタ装置を製作し、実証試験を実施。処理排ガス流量：70$m^3/h \cdot m^2$以上にて、１１００時間程度の安定運転を達成し、実用化に繋がるデータを取得。

②今回の実証試験に使用した主機エンジン排ガス温度は、２６０～３５０℃の範囲で推移。

③セラミックス製スートフィルタにより、排ガス中の粒子状ダストは９０％以上捕集可能。

④但し、排ガス中でガス状油分の捕集は難しい。

⑤JIS Z 8808に則ってダスト測定を実施したが、測定方法により測定値が異なることが判明。

⑥セラミックス製スートフィルタにより、０．３μｍ以上の粒子状ダストの捕集は可能。

⑦主機エンジン排ガスから回収したダストには、V、Niといった希少金属が多く含有。

⑧フィルタ装置の大きさは，とりわけ設計時において重要となる．そのため，本陸上実験で得られた知見を用いて，フィルタ装置の設計プロセス検討を実施。

# 今後の課題

①除去対象物並びに測定方法の明確化

②将来的な排ガス規制を念頭に置いた、排ガス処理システムの構築。

③排ガス処理システムにおけるスートフィルタ装置の設計仕様明確化。

④回収したダストの処理方法検討。

⑤作成した設計プロセスを検証するために、スートフィルタとSCRを組合せた試験の実施。

本研究は、第一中央汽殿、海上技術安全研究所殿、日本海事協会殿との共同研究体制により研究を実施するとともに、日本海事協会殿の「業界要望による共同研究」のスキームにより同協会の研究支援を受けて実施させて頂きました。