

日本海事協会殿とヤンマーとの共同研究

「SCR脱硝触媒の排気ガス温度特性 と耐久性」に関する研究開発 (フェーズ2)

2013年5月31日

ヤンマー(株)

特機エンジン事業本部・開発部

YANMAR

- 1. 事業の目的等
 - 1.1 事業の目的
 - 1.2 事業の目標・内容
 - 1.3 事業の新規性・公益性
- 2. 事業の内容と成果
 - 2.1 供試機関と供試燃料および試験装置
 - 2.2 試験水準
 - 2.3 最大100時間運転によるパラメータスタディー
 - 2.4 2.3節に基づくクリティカル条件での耐久試験（1000時間）
 - 2.5 硫黄分0.1%含有燃料による再生
- 3. まとめ

1.1 事業の目的

●2011年度の第一フェーズにおいては、排気ガス温度270℃、硫黄分約0.7%A重油、0.04%軽油の試験条件で、触媒3種類について、IMO_D2モードによる実機耐久試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- ① 酸性硫安析出条件内での劣化速度は、触媒種に依存する。但し、酸性硫安の析出条件は触媒種には依存せず、温度と燃料硫黄分によって決まる。
- ② 劣化量においては、酸性硫安とスート付着量との相関が認められる。
- ③ 硫黄分0.04%燃料において、酸性硫安により一旦劣化した触媒が、排気ガス温度270℃にて再生する。

●第二フェーズとして本事業では、ECAと一般海域にて許容される最大硫黄含有量の燃料において、酸性硫安が析出しない限界排気ガス温度レベルの調査、及び硫黄分0.1%燃料での運転において、排気ガス温度270℃での触媒再生効果を確認することを目的とする。

1.2 事業の目標・内容

(1)事業の目標

下記燃料において、酸性硫黄が析出しない限界排気ガス温度レベルの調査を行う。

- 1) 硫黄分:0.09-0.10%
- 2) 硫黄分:0.49-0.50%

(2)事業の内容

耐久試験の実施

- 1) 最大100時間運転によるパラメータスタディー;
排気ガス温度、還元剤濃度の変更
- 2) 1)に基づくクリティカル条件での評価(1000時間運転)

1.3 事業の新規性・公益性

(1) 新規性

実際のディーゼルエンジンを用いて、燃料硫黄分、排気ガス温度および尿素噴射量を変更した運転を行い、酸性硫安による NO_x 浄化性能の劣化状況や、酸性硫安析出状況を確認することにより、より現実的な酸性硫安生成限界を求める。

(2) 公益性

酸性硫安の生成は、アンモニアとサルフェート(SO_3)の熱力学的平衡条件によって決定される。排気ガス中のサルフェートは、エンジンの燃焼過程で生成されるもの(E/O-SO_3 と略す)と、SCR触媒中で生成されるもの(SCR/O-SO_3 と略す)の2種類の起源が考えられるが、酸性硫安の生成が問題となる比較的低温の領域では、SCR触媒の酸化能力は極めて低く、 E/O-SO_3 が主体であると考えられる。

従って、本事業で見出された酸性硫安の生成限界は、触媒種に依存することなく広範囲な条件に適用できるものと考えられ、SCRシステムの開発のみならず、実際の運転における管理項目としても適用できるものであり、公益性は非常に高い。船舶へ搭載後のSCR検査、エンジンメーカーにおける参考データにもなり得るため、幅広い成果展開が可能と推定される。

供試機関とSCR触媒反応器

供試機関: 6EY18AL形



実験場所: マレーシアコタキナバルR & Dセンター (YKRC)

機関名称		6EY18AL
形式		立形・水冷 4サイクル
シリンダ数		6
ボア×ストローク	mm	180×280
総行程容積	Lit	42.75
定格出力	kW/min ⁻¹	550 / 900
燃焼方式		直接噴射式

SCR反応器



(スートブロウ
装備)

5層

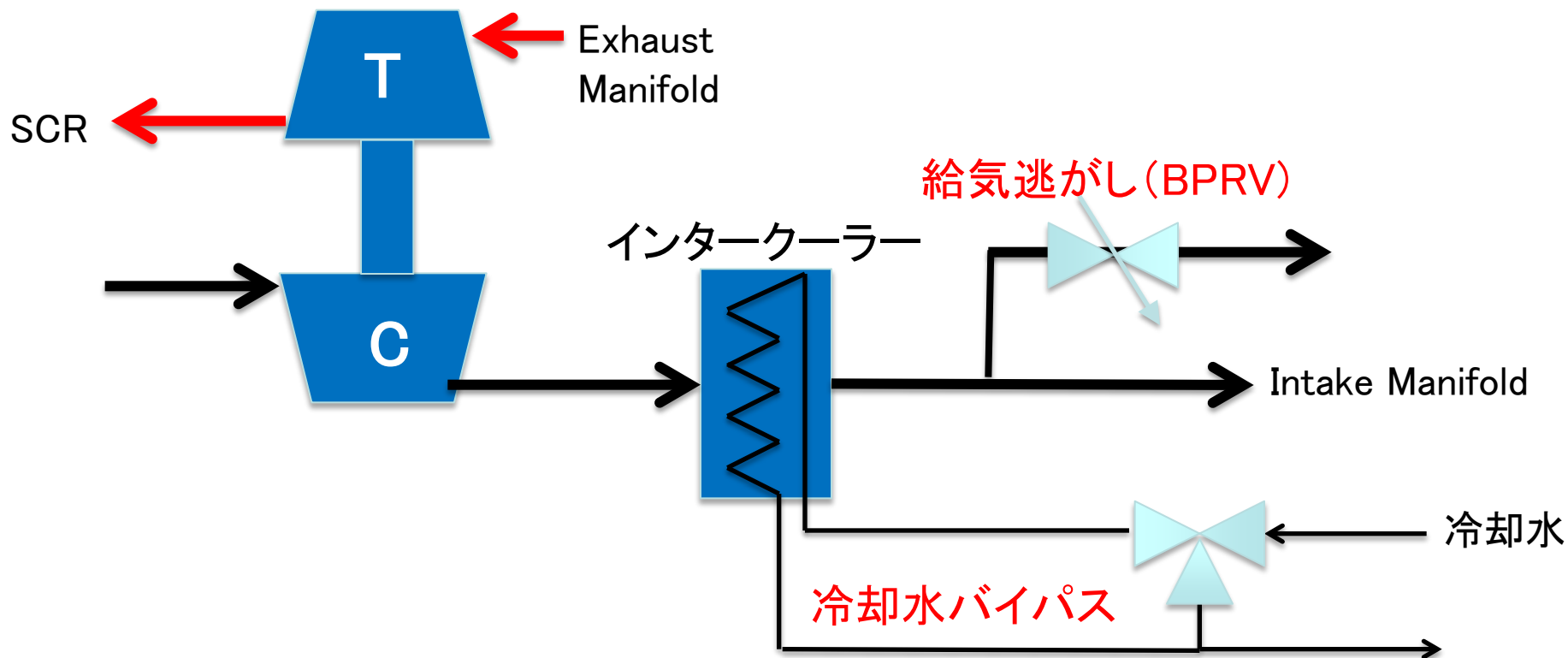
150mm
(触媒高さ)

触媒種	V系
SV値 (h ⁻¹)	11,000
触媒保持部	カセット式
スートブロウ	各段装備
尿素水噴射装置	エアアシスト式

項目	単位	0.1%硫黄MDO	0.5%硫黄MDO
密度(15℃)	g/cm ³	0.8598	0.8773
動粘度(50℃)	mm ² /s	2.037	2.754
硫黄分	mass%	0.10	0.50
水分	vol%	0.01	0.01
灰分	mass%	0.001	0.001
残留炭素分	mass%	≤0.01	0.01
引火点(PM)	℃	62.0	70.0
流動点	℃	-10.0	-2.5
窒素分	mass%	<0.01	0.01
総発熱量	MJ/kg	45.38	44.97
セタン指数(新)	—	42.0	41.4
セタン指数(旧)	—	44	44

試験装置(排気ガス温度コントロール方法)

タービンノズル変更

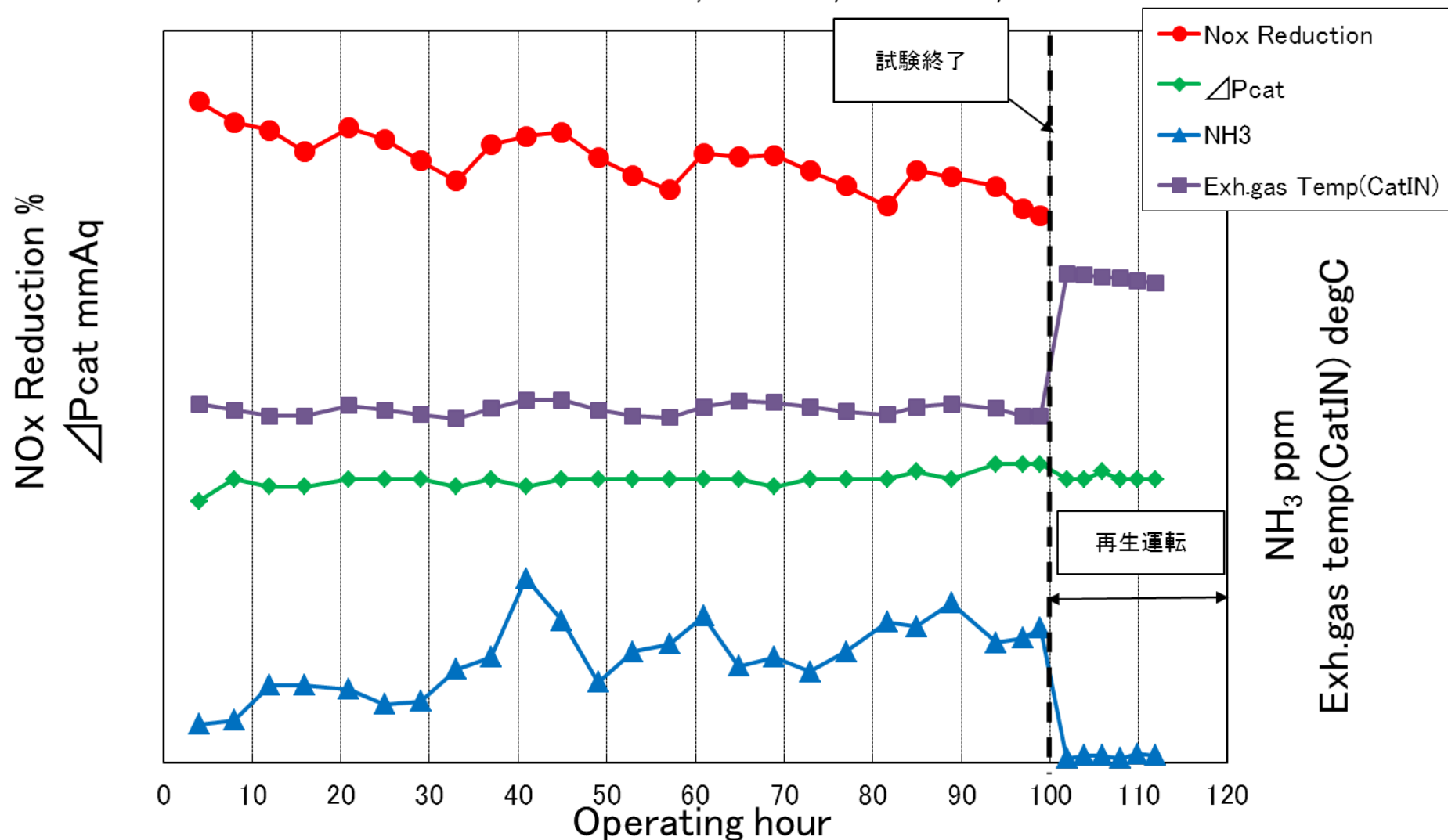


試験水準(燃料硫黄分、排気ガス温度、尿素水噴射量)

試験 No.	供試燃料	燃料 硫黄分 (%)	触媒入口 排気ガス温度 (℃)	NH ₃ /NO _x 比	機関負荷 (%)
1	マレーシア軽油	0.04	246	0.9	75
2	マレーシア軽油	0.04	246	1.5	75
3	MDO	0.1	246	0.9	75
4	MDO	0.1	256	0.9	75
5	MDO	0.1	266	0.9	75
6	MDO	0.1	273	0.9	75
6(再)	MDO	0.1	276	0.9	75
7	MDO	0.1	285	0.9	75
8	MDO	0.1	300	0.9	75
9	MDO	0.5	299	0.9	75
10	MDO	0.5	317	0.9	75
11	MDO	0.5	289	0.5	75
12	MDO	0.5	267	0.5	75
13(再生)	MDO	0.1	270	0.9	D2 サイクル

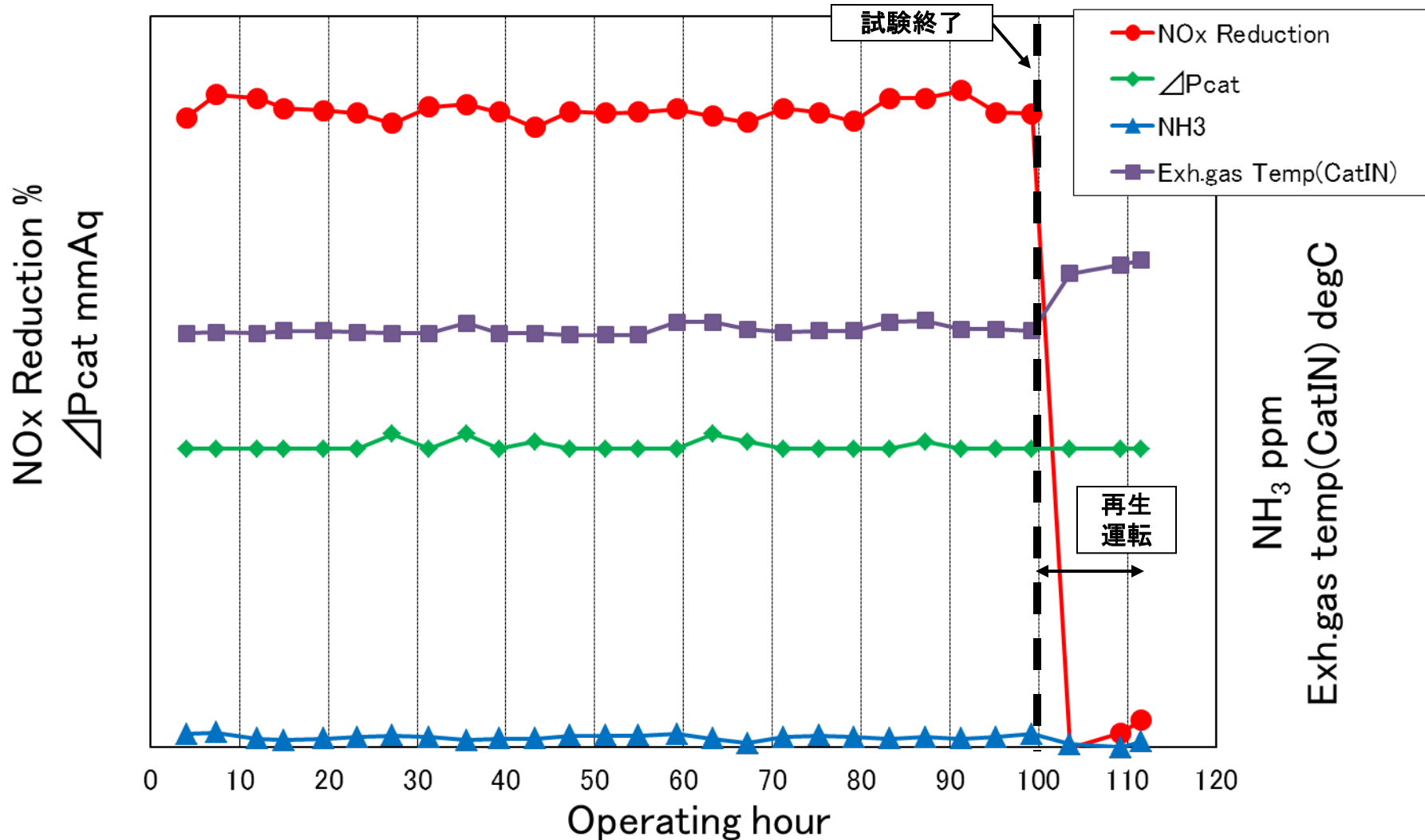
トレンドグラフ（判定NGの例）

Condition 3: Tave=246°C, S=0.1%, ANR0.9, 75%Load

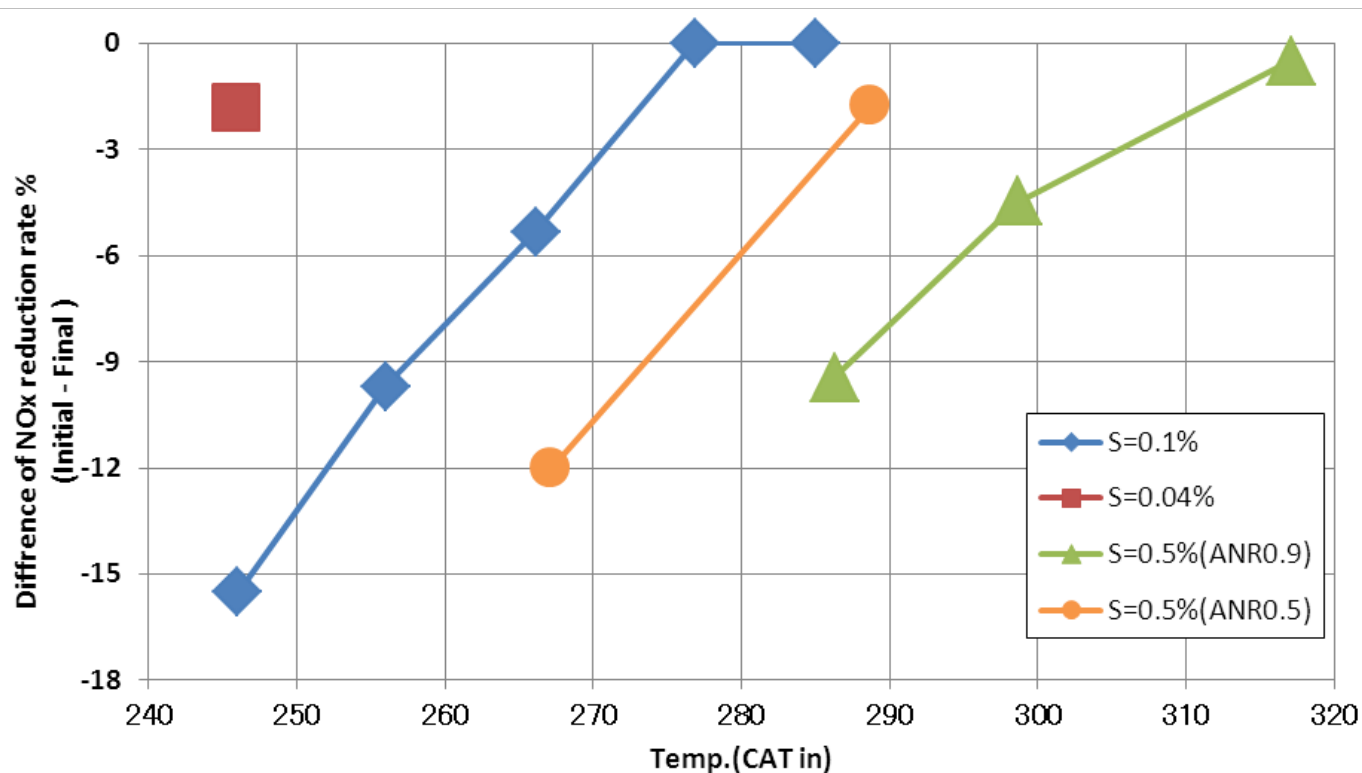


トレンドグラフ（判定OKの例）

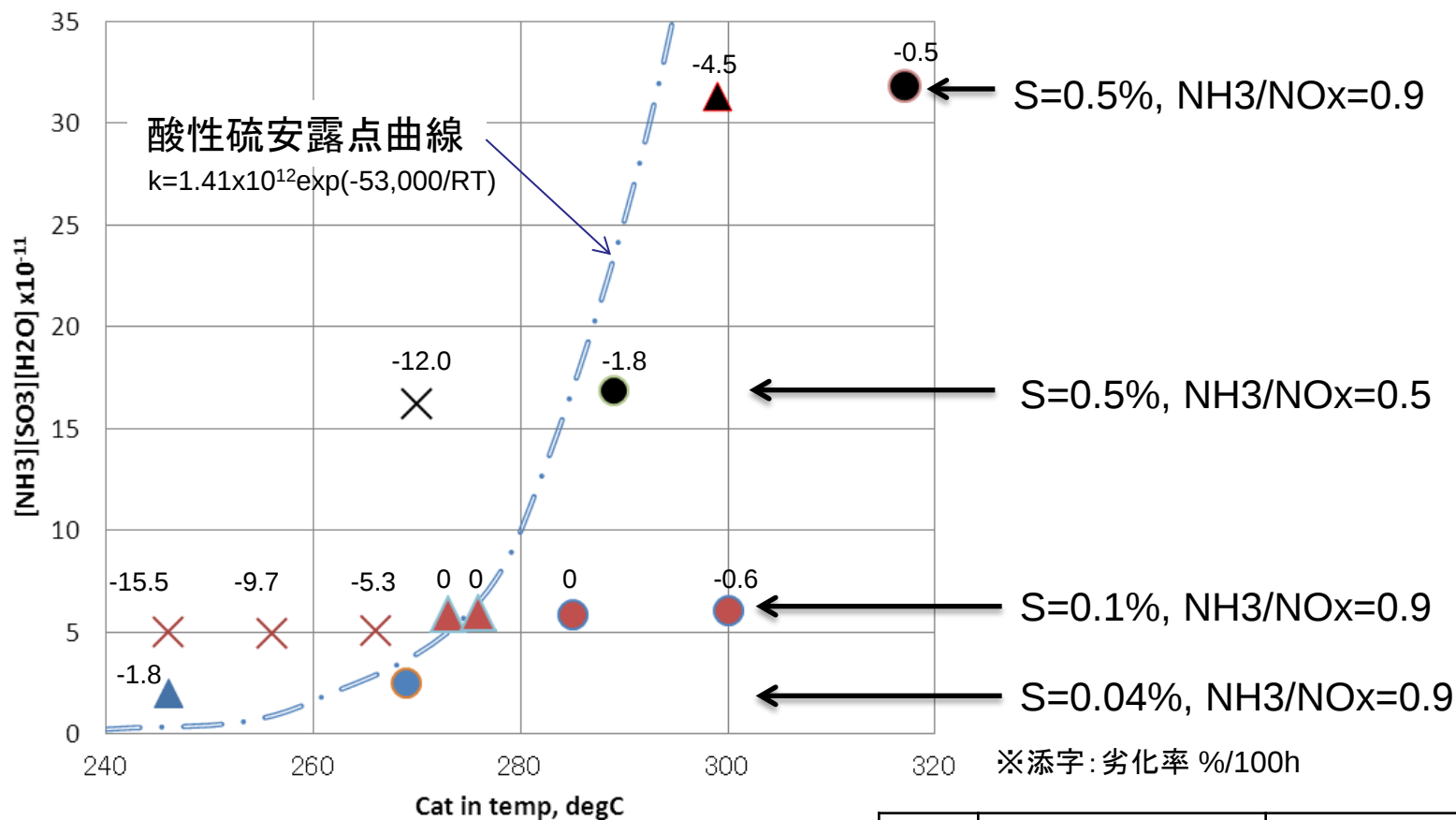
Condition 7: Tave=285°C, S=0.1%, ANR=0.9, 75%Load



100時間後のNOx浄化率低下量

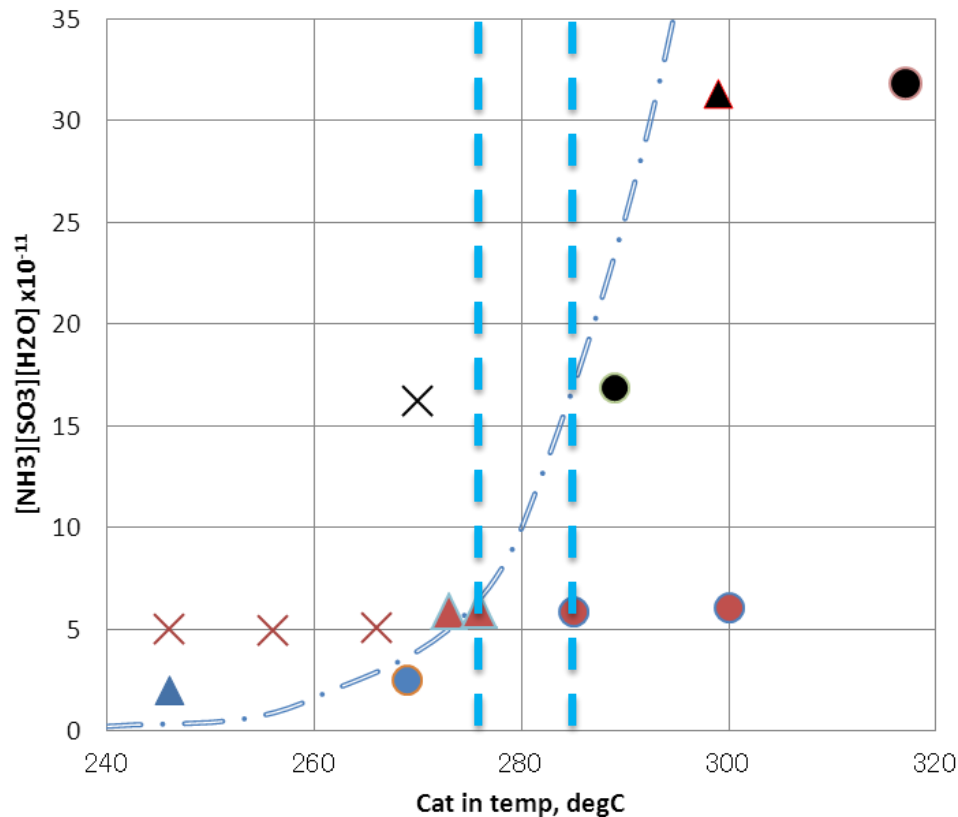


パラメータ試験結果(酸性硫安劣化判定結果)

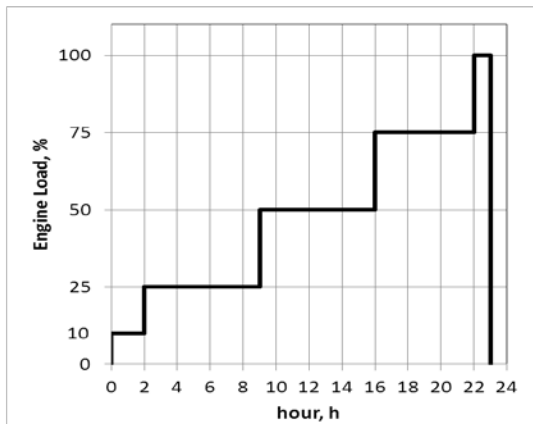
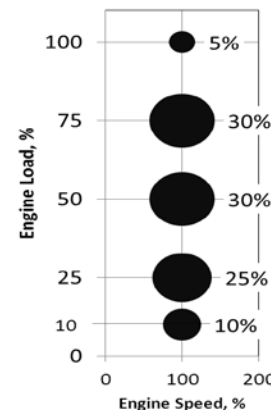


記号	NOx浄化率の低下率	酸性硫安の存在
●	2%未満	なし
▲	2%以上	なし
	2%未満	あり
×	2%以上	あり

耐久試験条件と結果



運転時間: 1055時間
運転モード: D2サイクル
供試燃料: 0.1%硫黄MDO
 NH_3/NO_x 比: 0.9



パラメータスタディーの結果から、**硫黄分0.1%燃料**でのクリティカル条件として、**触媒入口排気ガス温度=275~285℃**の機関条件にて、1055時間の耐久試験を実施した。その結果、 **NO_x 浄化率の低下は見られなかった。**

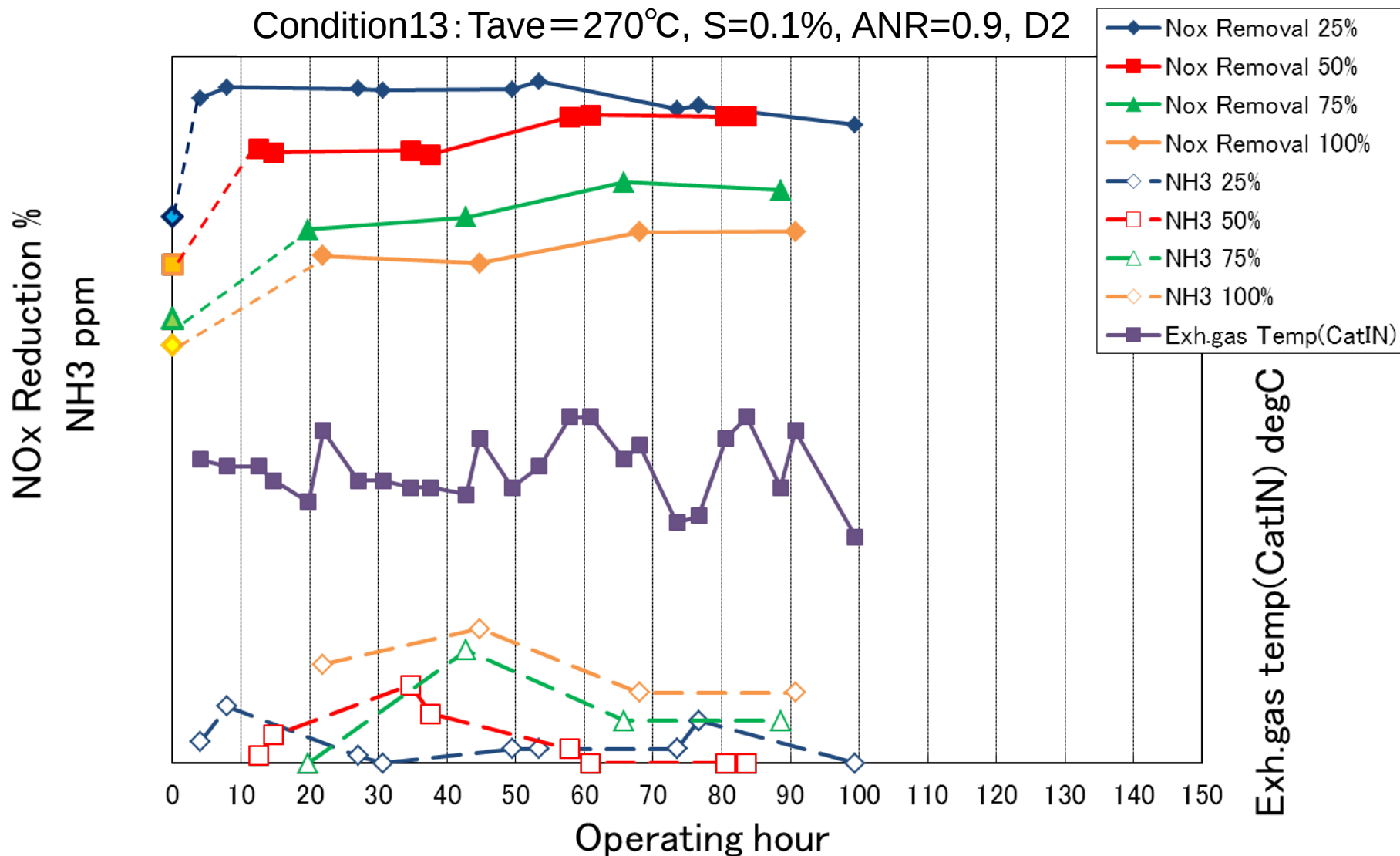
硫黄分0.1%含有燃料による再生

条件12(267°C/0.5%硫黄MDO/ANR=0.5)での劣化運転を行った後、燃料を切り替え、下記条件にて再生運転を実施した。

	供試燃料	触媒入口 排気ガス温度	NH ₃ /NO _x 比	機関負荷
再生運転前	0.5%硫黄MDO	267°C	0.5	75%一定
再生運転	0.1%硫黄MDO	270°C	0.9	D2サイクル

触媒再生試験結果(100時間運転)

Condition13: Tave=270°C, S=0.1%, ANR=0.9, D2



3. まとめ

事業目標に対するまとめとしては、以下のとおり。

1. 各燃料硫黄分での酸性硫安生成温度(熱力学的平衡温度)
⇒硫黄分:0.1%・・・271℃、0.5%・・・287℃
2. 硫黄分0.1%燃料による1000時間の実機耐久試験を行った結果、排気ガス温度:275～285℃での酸性硫安による劣化は生じなかった。
3. 以下のことから、硫黄分0.1%燃料、排気ガス温度270℃による触媒再生が可能であることが分かった。
 - ・硫黄分0.5%含有燃料にて劣化させた触媒の比活性は、約0.35(Fresh状態に比べ反応速度が35%に低下)であると推定される。
 - ・NOx浄化率について、いずれの負荷においても緩やかに回復した後、Fresh触媒の約95%まで再生可能であることが確認された。

本研究により、酸性硫安の生成に関する燃料中の硫黄分と限界排気ガス温度との関係が明確となり、今後のSCR設計に関する有効な指針が得られた。

以上

YANMAR