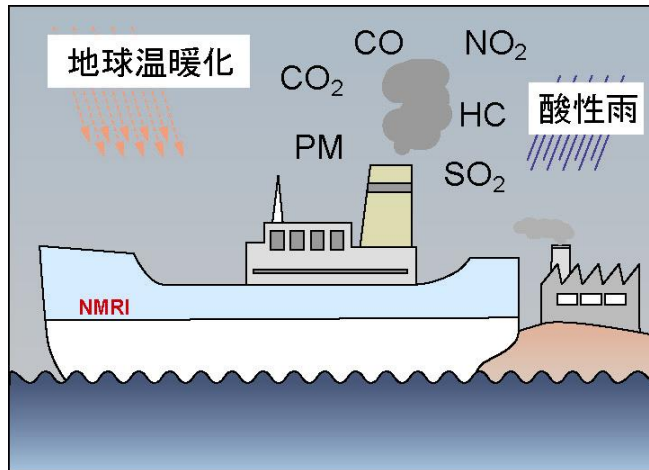


SCRが装備されたエンジンの認証技術の 確立に関する調査研究

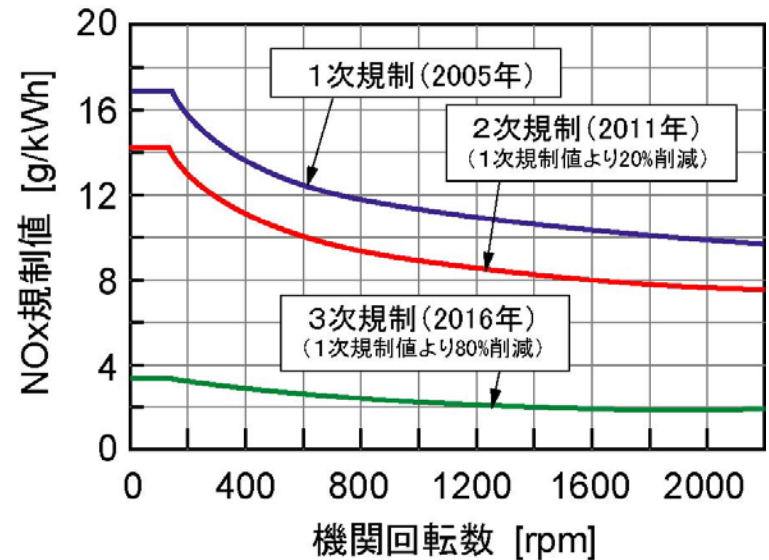
独立行政法人海上技術安全研究所
三菱重工業株式会社
社団法人日本船用工業会
一般財団法人日本海事協会

1. はじめに

本研究では、SCRを装備した船用ディーゼルエンジンの認証を円滑に実施するための課題の整理及び認証技術の確立を目指した調査研究を実施する。



船舶から排出される有毒物質



IMOによるNOx排出規制

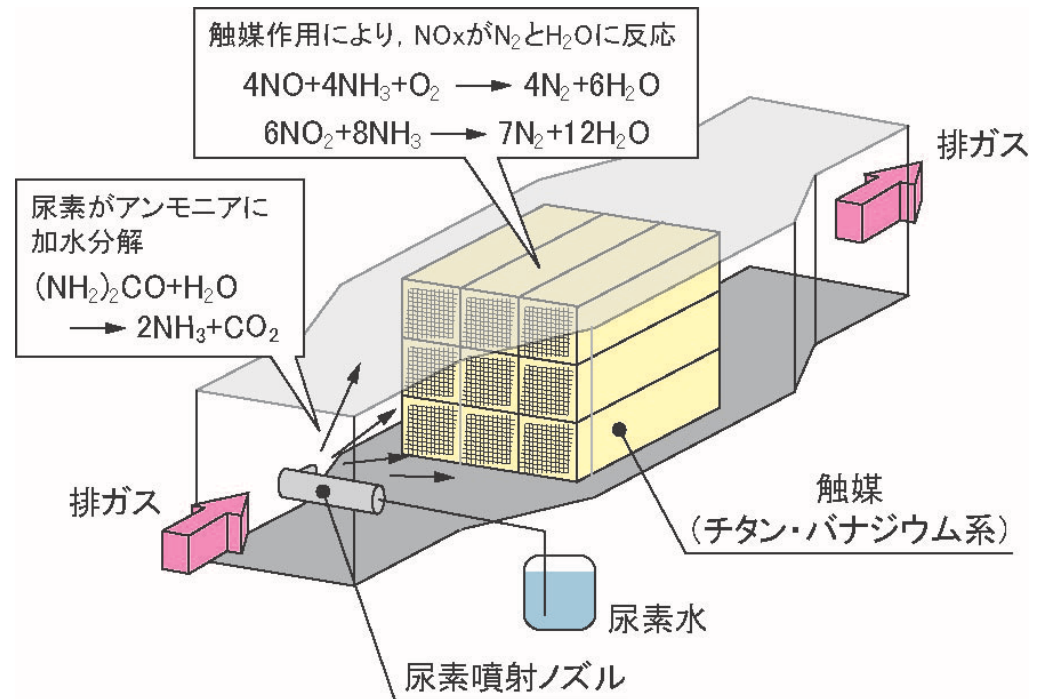
2. SCRシステムの概要

SCRによる脱硝反応

排気管中に触媒を取り付け、その上流から尿素水の噴霧を吹き込む。尿素水は排ガスの熱によって分解され、アンモニアに変化する。



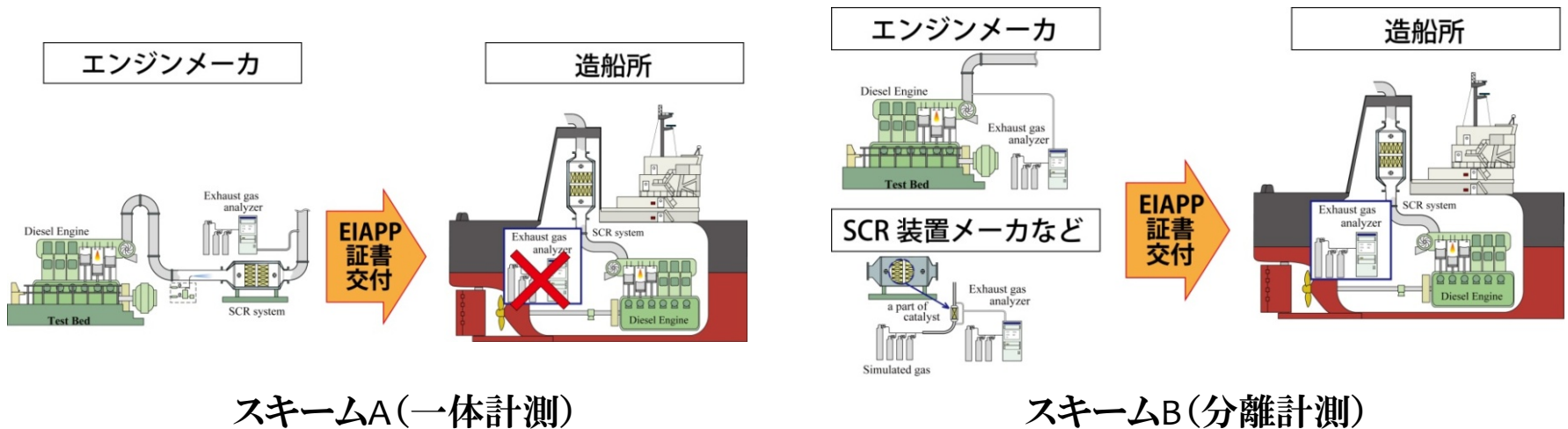
触媒反応によって、NO_xとアンモニアは無害な窒素と水に変換される。



尿素SCRシステムの基本構成

3. 認証方法の概要

SCRを装備したエンジンの認証方法として、エンジンとSCRを一体としてNO_x排出量を計測するスキームA、エンジンとSCRについてそれぞれのNO_x排出量とNO_x低減率(脱硝率)を計測し、全体のNO_x排出量を算出するスキームBと呼ばれる2種類がある。



スキームA (一体計測)

スキームB (分離計測)



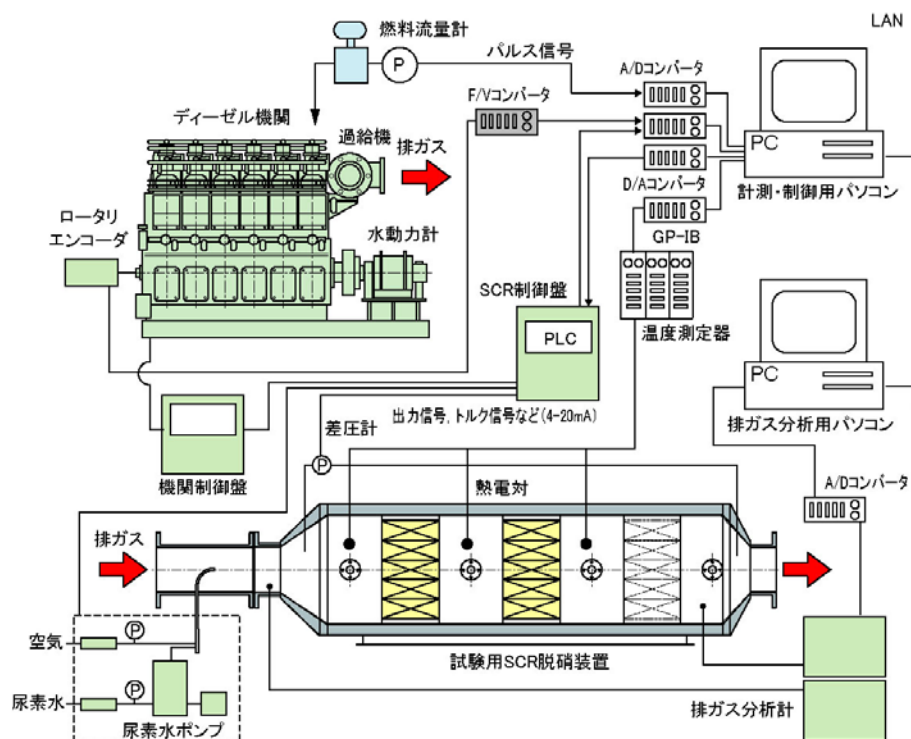
現在までに、エンジンとSCR装置とが組み合わされて船舶に搭載された例が少なく、認証技術の確立を目指した調査研究が必要である。

4. NO_xテクニカルコードに基づく実機計測

海上技術安全研究所内に設置された実験用エンジンと、それに設置されているSCRを用いて、スキームAを想定した試験を実施した。



SCRシステムの外観

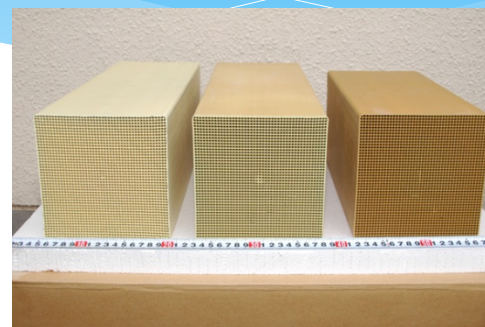


SCRシステム性能評価設備の構成

4.1 供試機関及び試験装置

供試機関の仕様

形式	6気筒4ストローク
シリンダ径	190 mm
ストローク	260 mm
連続最大出力	750 kW
定格回転数	1000 min ⁻¹



供試機関の外観

SCRシステムの仕様

触媒形式	モノリス型セラミックハニカム
反応器寸法	915 × 950 × 3110 mm
触媒本数	25本 (5 × 5)
触媒寸法	□150mm × 450 mm × 1段
セル数	45 (150 mm 当たり)
触媒体積	約253,000 cm ³
SV値 (空間速度)	約16000 h ⁻¹
AP値 (比表面積)	約1056 m ² /m ³
還元剤種類	尿素水 (濃度40 wt%)
還元剤ノズル	2流体式

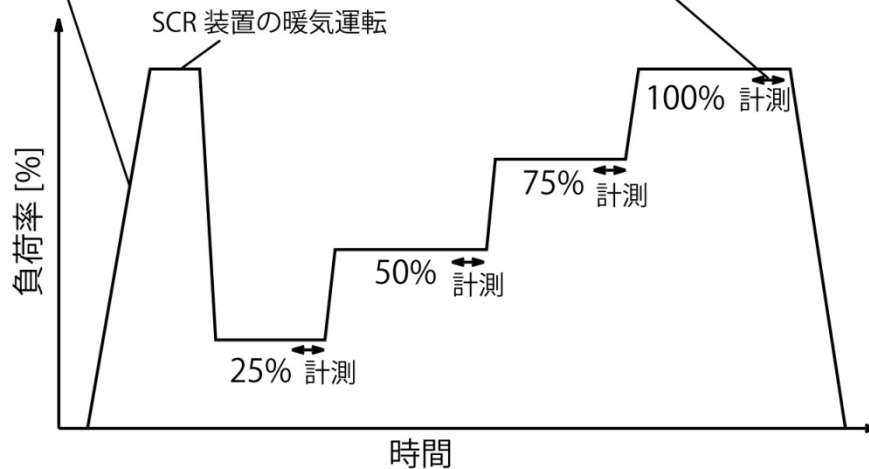
4.2 試験方法



機関始動及び負荷率変更



排気温度静定後の計測



試験スケジュール

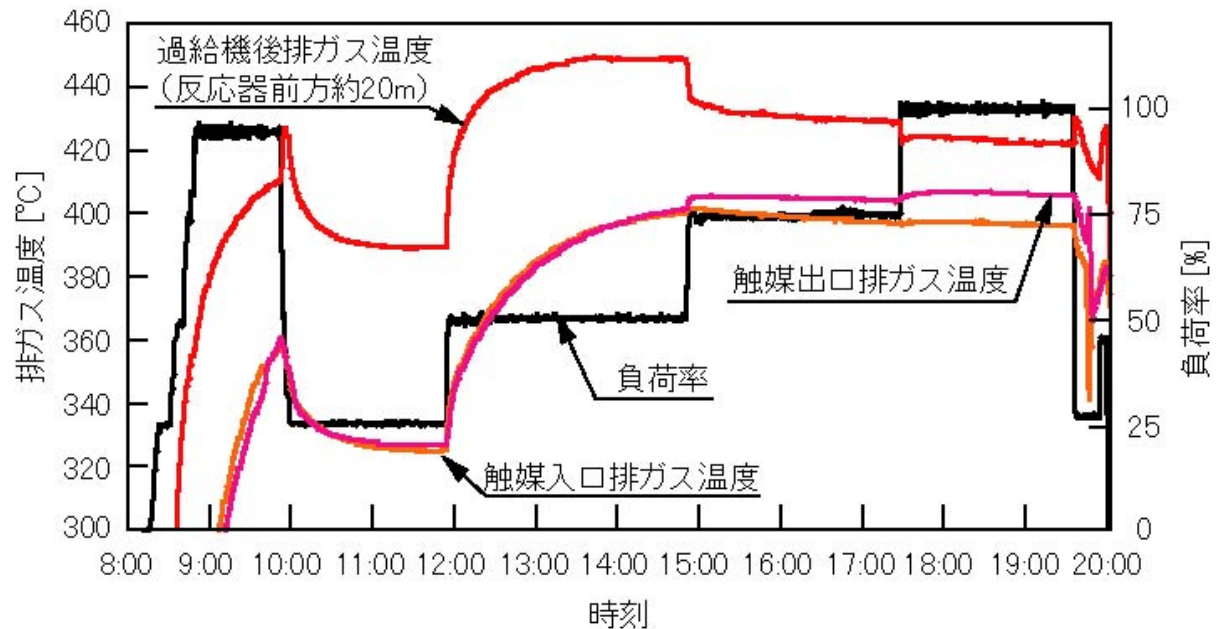
試験方法の概要

- NTC 2008を参考にして、試験スケジュールを定めている。
- エンジン始動及び暖機運転の後、段階的に負荷率を上げる。
- SCR装置の反応器出口の排気温度が静定した後、10分間の排ガス分析データを計測する。
- 計測データの最終120秒間のデータを平均して計測値とする。
- 燃料油にはLSA重油(硫黄分濃度約0.05%)を用いる。

4.3 試験結果

試験結果の概要

- 各負荷率における排ガス温度の静定に概ね2~3時間を要している。
- 現在のNTC 2008の計測方法によって、SCR後流のNO_x濃度を計測し、NO_x排出量を算出できる。
- 本試験に用いたSCRを装備したエンジンのNO_x排出率は1.70 g/kWhと計算される。これはNO_x 3次規制を十分に満足する。



負荷率及び排ガス温度の計測結果

4.4 認証における計測上の課題

SCR認証における課題

(1) 排ガス温度

SCRの脱硝性能は排ガス温度に大きく影響されるため、排ガス温度の静定は極めて重要である。上記のSCRを装備したエンジンの認証試験においては、今までに行われてきたSCRを取り付けない状態の認証試験と比べて、2倍程度の時間を要している。

(2) 触媒へのアンモニア吸着

触媒では、触媒表面へのアンモニアの吸着・脱離現象が生じるため、尿素水の供給を止めても、しばらくの間、脱硝反応が続くことがある。したがって、触媒へのアンモニアの吸着・脱離現象を踏まえて、モル比と脱硝率の関係を正確に評価することが重要である。

(3) システム構成

SCRの脱硝性能は、排ガス温度やSV値の他、触媒と尿素水噴射ノズルとの距離や尿素水と排ガスとの混合を促進するスタティックミキサの有無等に大きく影響を受ける。すなわち、認証試験においては、船舶搭載時の装置構成や還元剤噴射量制御方法に対する適切な対応が重要となる。

5. 各スキームの認証精度確認試験

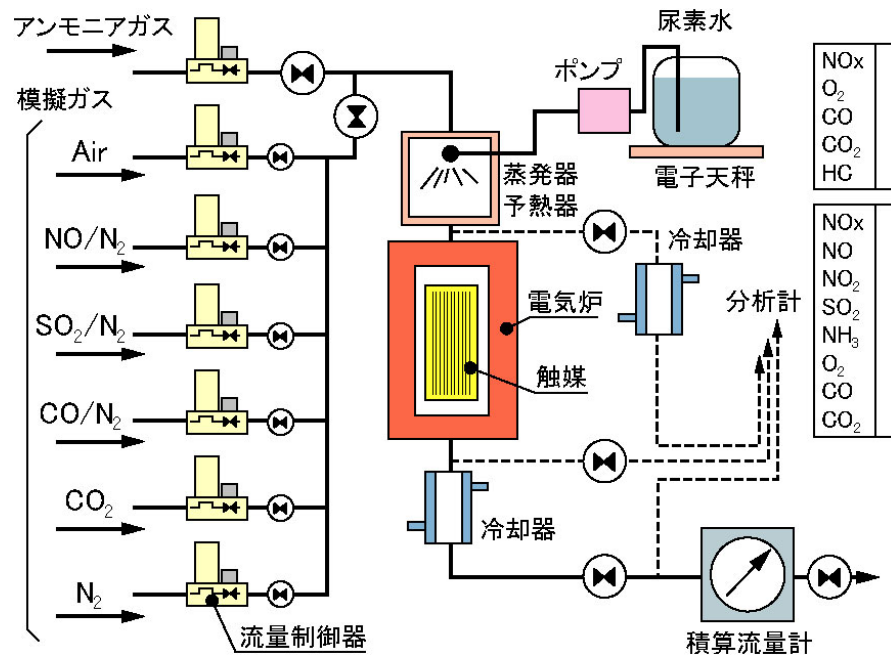
試験方法の概要

(1) スキームAを想定した試験

前述の中速船用4ストロークディーゼルエンジン及びSCRを用いる。試験方法は、NO_xテクニカルコード2008に規定されたE₃モードのテストサイクルに従う。

(2) スキームBを想定した試験

スキームAを想定した実機試験において得られた触媒前の排ガス温度並びに各ガス成分濃度等の排ガス特性データに基づき、マイクロリアクタを用いてスキームBを想定した触媒単体試験を行う。

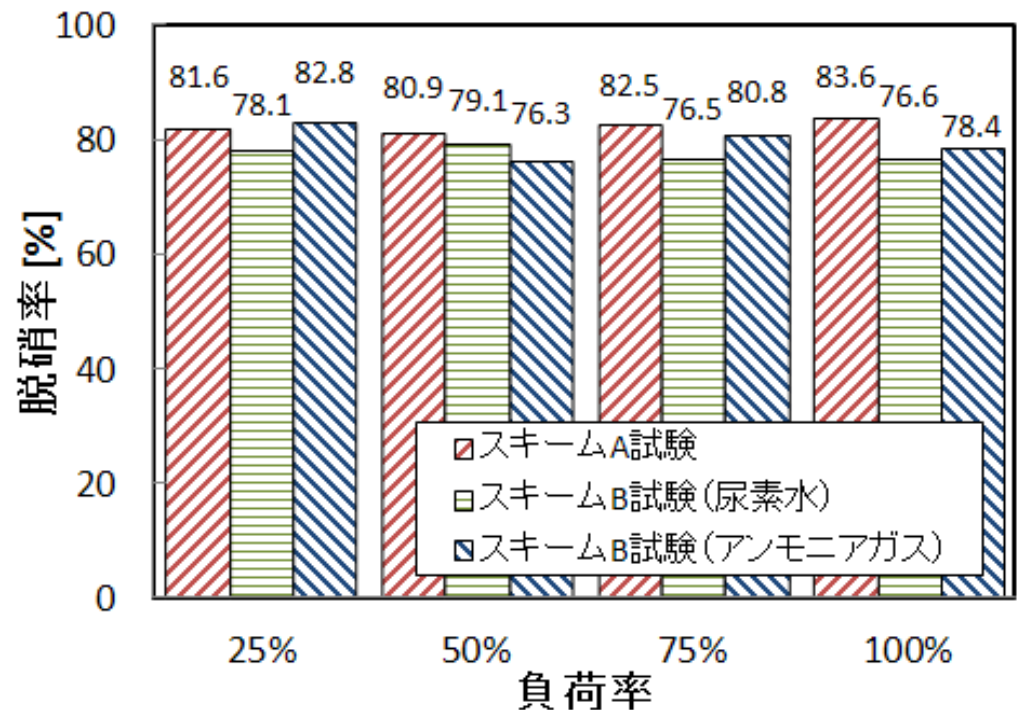


マイクロリアクタの構造

5.1 各スキームの試験結果

試験結果の概要

- 使用したマイクロリアクタの特性から、還元剤が尿素水の場合、全ての負荷条件において、スキームBの脱硝率は、スキームAよりも低い値となった。
- アンモニアガスを還元剤として用いた場合、尿素水を用いた場合に比べて、安定した脱硝率が得られた。
- 本調査研究では、国内エンジンメーカー6社の協力により、同様の試験を実施している。



各スキームの試験結果の一例

5.2 認証試験における課題

認証試験における課題

(1) マイクロリアクタ

尿素水を還元剤として用いる場合、加水分解が安定かつ確実に行われる必要がある。

(2) 一次反応速度定数による評価

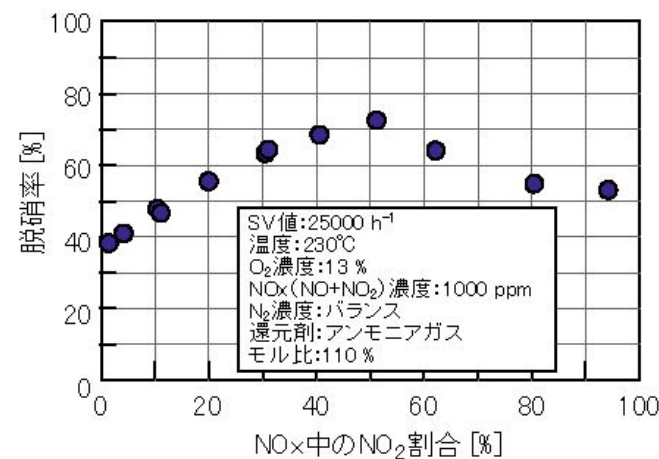
触媒の脱硝性能を推測・評価する場合、触媒の反応速度定数を適切に活用することは極めて有効であるが、触媒単体試験において、反応速度定数値の計算方法によっては、実機の触媒性能に適合しないことがある。

(3) NO_xの主成分と脱硝性能

排ガス中に含まれるNO_xの主成分はNOとNO₂であり、それぞれの割合を正確に考慮しなければ、正確なモル比の設定や脱硝率の評価は難しい。

(4) SO₂が脱硝性能に及ぼす影響

排ガス中に含まれるSO₂は、触媒の性能低下をもたらす。長期の安定した脱硝性能維持のためには、触媒劣化や再生方法についての適切な評価が必要である。



NO₂の割合が脱硝率に及ぼす影響

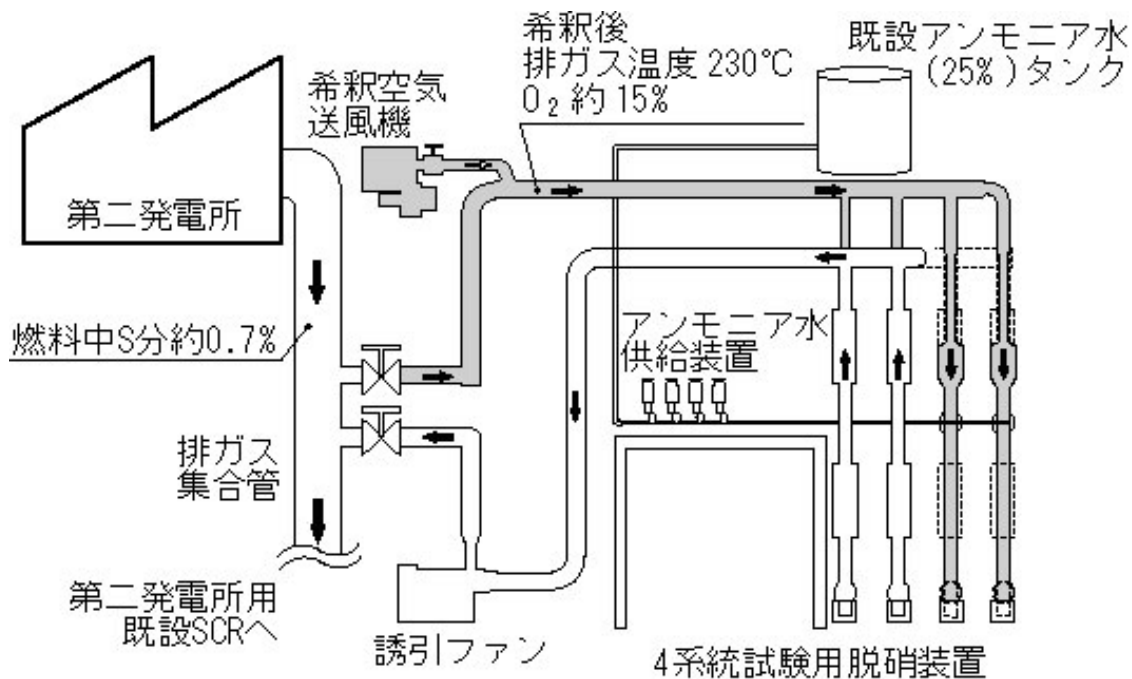
6. SCRシステムの就航後検査

就航後検査に向けて

SCRの長期間運転時の性能低下についての知見を得て、就航後の中間・定期検査の方法について考察する。



SCRシステムの就航後検査に向けて、高効率な2ストローク船用低速ディーゼル機関を念頭に置いて、排ガス温度 250°C レベルの低温脱硝における耐久性能試験を行い、長期間運転時の性能低下について明確化を行う。

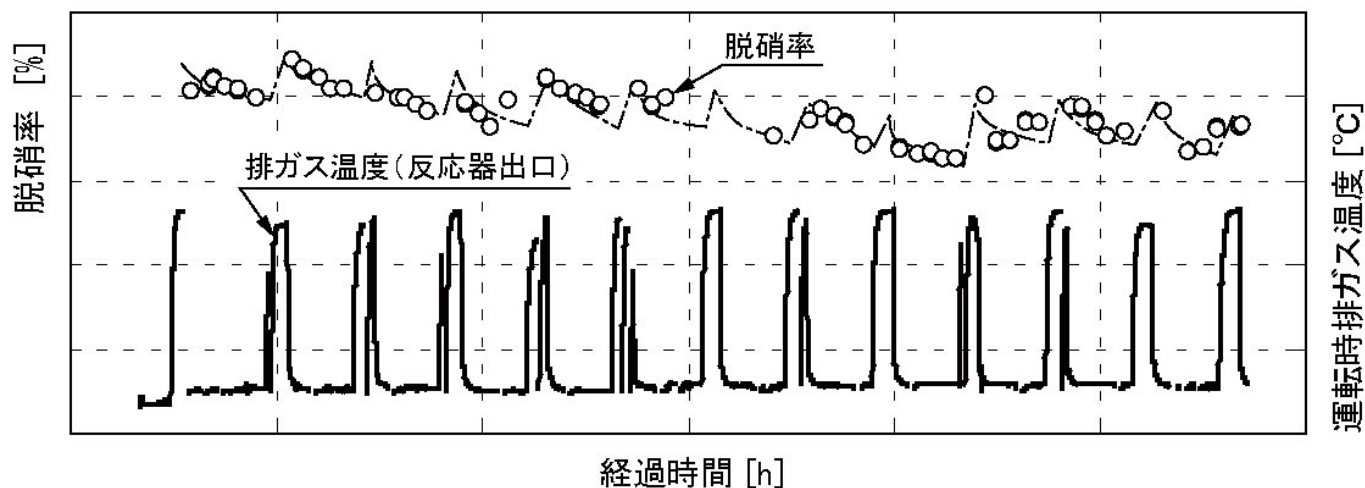


耐久性能試験に用いたSCR試験装置の概要

6.1 試験結果の概要

試験結果の概要

- 排ガス温度を250°Cレベルとし、数百時間の触媒の耐久性能試験を行った。
- 触媒の一定運転毎に排ガス温度を上昇させて加熱再生を行った結果、低温排ガスによるSCRの脱硝率低下の度合や加熱再生による脱硝率の回復、さらに長期間運転によるSCRの性能低下の様子を確認することができた。



耐久性能試験結果の一例

6.2 就航後の検査に対する検討

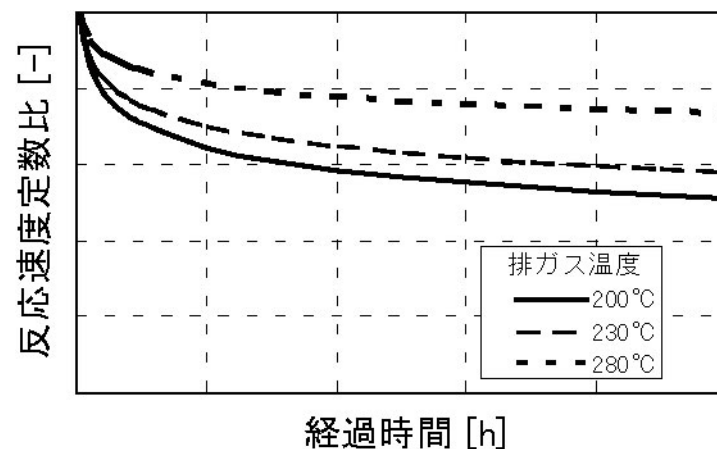
就航後検査の検討

(1) 触媒耐久性能の予測

耐久性能試験より、運転条件を明確にすることで、触媒の耐久性能をある程度の精度で計算できることが確認された。加熱再生を繰り返す運転の場合、あるいは加熱再生を行わず単純に一定温度で運転する場合であっても、使用する触媒と排ガス条件が決まれば性能劣化をあらかじめ推定することができる。

(2) 外観チェックの有効性

SCRシステムの動作状況を確認するためには、船上において目視により外観を確認することが有効である。例えば、触媒の外観(割れ、汚れ、詰まり、変色)の確認、尿素水噴射ノズル周辺のシアヌル酸等の尿素由来固形物の堆積の有無、尿素水噴射ノズルからの噴霧の状況を目視によって確認すること等が有効である。



排ガス温度が劣化特性に及ぼす影響

7. まとめ

- 当初、実船舶への搭載を想定したスキームAは、触媒単体試験のスキームBと比べて、脱硝性能に劣ることが懸念されていた。しかし、本調査研究の結果、多くの計測値においてスキームBによる認証が実船搭載のために安全サイドであることが確認された。
- スキームBにおいては、試験に使用する機器の安定した加水分解が重要であること、計測時の空気希釈が計測誤差増大の要因となり得ること、計測精度を向上させるためには、還元剤供給方法や排ガス圧力条件等がスキームAの実システムに適合した試験装置を構築し、評価することが望ましいこと等、多くの知見が得られた。
- 低温脱硝における耐久性能について、加熱により再生可能な劣化と再生しない劣化に分けて解析を実施し、触媒交換までの時間や加熱・再生サイクルの運転パターンを導くことができた。
- 各運転データから性能及び劣化に関する一般式を構築することは今回の試験のみでは困難であったが、運転条件を明確にすることで性能予測精度向上につながる事がわかった。
- 就航後の検査方法に関して、パラメータチェックの必要性及びSCR装置や還元剤噴射ノズルなどの外観・作動確認等の有効性を把握した。