

SOxスクラバー排水管の損傷について

技術本部 機関部

1. はじめに

MARPOL条約附属書VIの第14規則により船舶で使用される燃料油中の硫黄分濃度の規制が段階的に強化されている。ただし、同条約第4規則にて、規制に適合した低硫黄分濃度の燃料油（規制適合油）使用の同等措置として、旗国政府の承認を取得した排ガス浄化装置（SOxスクラバー）を搭載した場合には、規制値を超える硫黄分濃度の燃料油を使用することが認められている。2020年に一般海域における燃料油中の硫黄分濃度の規制値が3.50%から0.50%に強化されたため、規制適合油の使用やSOxスクラバーの採用が増加した。SOxスクラバー搭載船の増加に伴い、本会船級船において、SOxスクラバー排水系統に取り付けられている船体付きディスタンスピースが腐食し、機関室内に海水の漏洩が発生した例が確認されている。本会では2020年に2つのテクニカルインフォメーション（TEC-1205及び1214）を発行し、本損傷を予防するための対策として、塗装前の処置を確実にを行うことなどをお願いしているが、依然として同様の事例が報告されている。そこで本稿では、これまで推定されていた損傷の要因を統計的手法により評価した結果や対策について紹介する。

2. 損傷の概要

SOxスクラバーは排ガスに洗浄水を噴霧することで排ガス中の硫黄分を除去するシステムとなっている。多く起用されているオープンタイプでは、SOxスクラバータワー内で噴霧した洗浄水は排ガスと反応した後、排水としてそのまま船外に排出されるシステムになっている。

これまでに報告のあった損傷では、図1に示す①ディスタンスピースとフランジとの溶接部（図2参照）や②ディスタンスピースとブラフボディとの溶接部（図3及び図4参照）を起点として塗装が剥離し、腐食が発生して破孔に至り、機関室への海水漏洩が発生したケースが散見される。また、海水漏洩には至っていないものの、ディスタンスピース内の突合せ溶接部近傍で塗装の剥離が確認された事例もある。（図5参照）

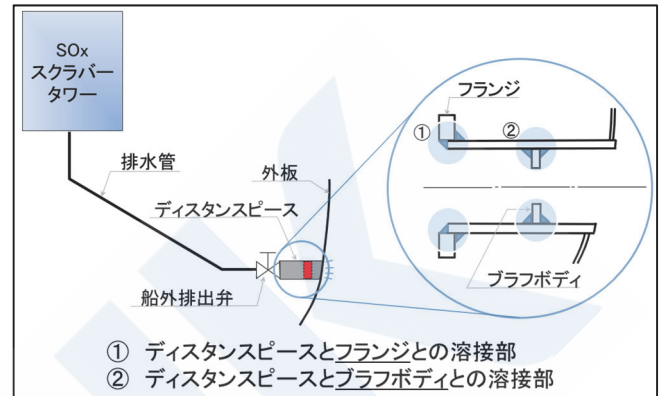


図1 SOxスクラバー排水系統の概略図

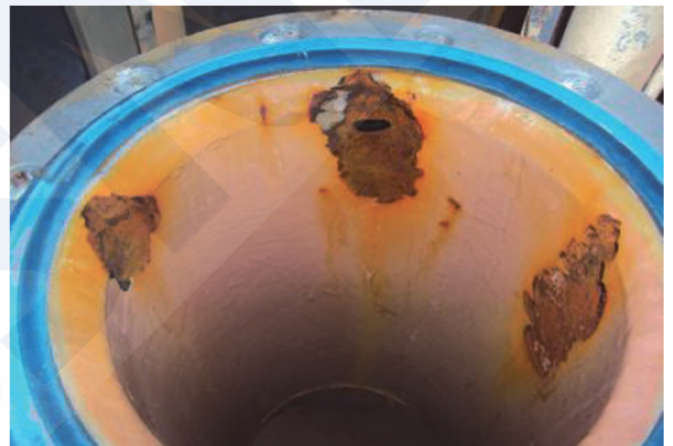


図2 ディスタンスピースとフランジとの溶接部近傍の腐食並びに破孔



図3 ディスタンスピースとブラフボディとの溶接部近傍の腐食



図4 ディスタンスピースとブラフボディとの溶接部近傍の腐食



図5 ディスタンスピース内の突合せ溶接部近傍の塗装の剥離

3. 推定要因

本損傷が顕在化して以降、SO_xスクラバーシステムの性質や、本会に報告された損傷事例の傾向等を基に推定されていた損傷の要因を次に示す。

3.1 排水の酸性度 (pH)

SO_xスクラバータワー内の脱硫過程において、噴霧した洗浄水には排ガス中の硫黄分が溶け込み、排水として船外に排出されるため、排水システムのディスタンスピース付近においては、洗浄水量やSO_xスクラバーの脱硫性能によっては、pH3から4程度の酸性度が高い排水が流れることがある。ディスタンスピースの内面には、一般的に耐腐食性の塗装を施工する等の措置が施されているが、塗装が剥離した部分ではディスタンスピースが酸性度の高い排水に直接曝されることにより腐食が発生すると考えられる。

3.2 排水流速

排ガス中の硫黄分濃度の規制値を満足するためには、SO_xスクラバータワー内で排ガスに大量の洗浄水を噴霧することによって、排ガス中の硫黄分を十分に除去する必要がある。洗浄水を多く噴霧する場合には、排ガスを洗浄した後の排水の酸性度が低下

するという観点では、排水システムのディスタンスピースが腐食しにくい環境になると推察される。一方で、洗浄水量が増加することで、洗浄後の排水量も増加するため、排水流速は上昇する。排水流速の上昇は、塗装が剥離しやすくなる環境因子になると考えられる。

3.3 ブラフボディ

IMOが策定したEGCSガイドライン（決議MEPC.340(77)）に基づき、排ガス洗浄後に船外に排出される排水のpHは排出口から4m先の海水中で6.5以上に回復する必要がある。この基準を満足するために、SO_xスクラバーメーカーによっては、排水システムのディスタンスピースにブラフボディと呼ばれる邪魔板を設けることで排水を拡散させ、船外の海水で希釈されやすくすることにより、排出口から4m先の海水中での排水のpHを上昇させる設計としている。ブラフボディを設置した場合には、ディスタンスピースとブラフボディとの接続部分が狭小となるため、空間的に作業性が悪化すると考えられる。そのため溶接や塗装の施工品質が低下し、塗装が剥離しやすくなると考えられる。また、ブラフボディを設置した箇所では、排水の通過断面積が減少することから排水流速が急激に上昇し、乱流が発生することも影響し、ディスタンスピースの塗装が剥離しやすくなると想定される。

3.4 施工環境

就航後にレトロフィットでSO_xスクラバーを搭載した場合は、新造時に搭載した場合と比較して、施工に費やすことができる時間が限られるため、ディスタンスピースの腐食対策として塗料メーカーの指定する施工要領を十分に遵守できないことが想定される。

また、レトロフィットの設備環境においては、作業スペースが狭いことや足場が不安定な状態であることから、施工者が十分な品質で施工することが容易ではないこともあり得る。

最近では、レトロフィットの際に、多くの場合で現場監督や施工の専門技師を派遣する等の対応が講じられ、施工品質が十分確保されているが、SO_xスクラバーが採用され始めた当初は、当該箇所への塗装の重要度が認識されていない場合や、コロナ禍により、現場監督が派遣できない事情から塗装施工品質が十分でなかった可能性も大いに考えられる。

塗装面端部で線状に塗布する箇所や、仕上げとしてタッチペンのように点状で塗布する箇所では塗装の定着力が低下することも考えられ、当該箇所の塗装施工には細心の注意が必要である。

3.5 固形物の発生

SOxスクラバータワーで噴霧される洗浄水には一般的に海水が使用されるが、噴霧された海水の塩分がSOxスクラバータワー内や排ガス管内で堆積することにより、固形物が発生した事例が報告されている。固形物が発生した場合には、最終的に船外に排出されるため、排水系統を通過する過程でディスタンスピース内面に対して物理的なダメージを与える可能性がある。

4. 排水の流速とpHに関するデータ

図6は本会船級船のSOxスクラバー搭載船における排水流速及びpHに関するデータと損傷発生有無との関係を示している。本データは本会に報告された損傷事例と損傷が発生していない事例を母集団として、その母集団からSOxスクラバーメーカーの偏りが無いように抽出したものである。

流速範囲毎の損傷有の割合から、流速が速くなるにつれて損傷有の割合が高くなっていることがわかる(24%→67%)。ただし、流速が遅くても損傷が発生している事例や、反対に流速が速くても損傷が発生していない事例も存在していることから(pHについても同様)、損傷は1つの要因だけが影響して発生しているのではなく、いくつかの要因が複合的に影響していると考えられる。

5. 統計的検定

本会におけるこれまでの調査及び検討から、ディスタンスピース損傷の要因として(1)排水の酸性度(pH)、(2)排水流速、(3)ブラフボディ、(4)施工環境(新造船/就航船)、(5)固形物の発生が推測され、一律に特定の要因に拠るものではないことは判明していたが、それらは感覚的な推定要因に留まっていた。

今般、本会船級船のデータを対象に、統計的検定(有意差検定)により、損傷有と損傷無のグループ間で次の(1)から(4)の要因を比較し、統計上の有意差の有無を検証することで、各要因と損傷との関係性の有無を調査した。その結果、以下に示す通り、これらの要因と損傷との間に統計上の関係性があるとの結果が得られた。

- (1) 排水の酸性度 (pH) *
有意差が認められる。
pHが低いほど損傷が多く発生している。
- (2) 排水流速 *
有意差が認められる。
流速が速いほど損傷が多く発生している。
- (3) ブラフボディの有無 **
有意差が認められる。
ブラフボディがある場合はブラフボディが無い場合に比べて損傷が多く発生している。

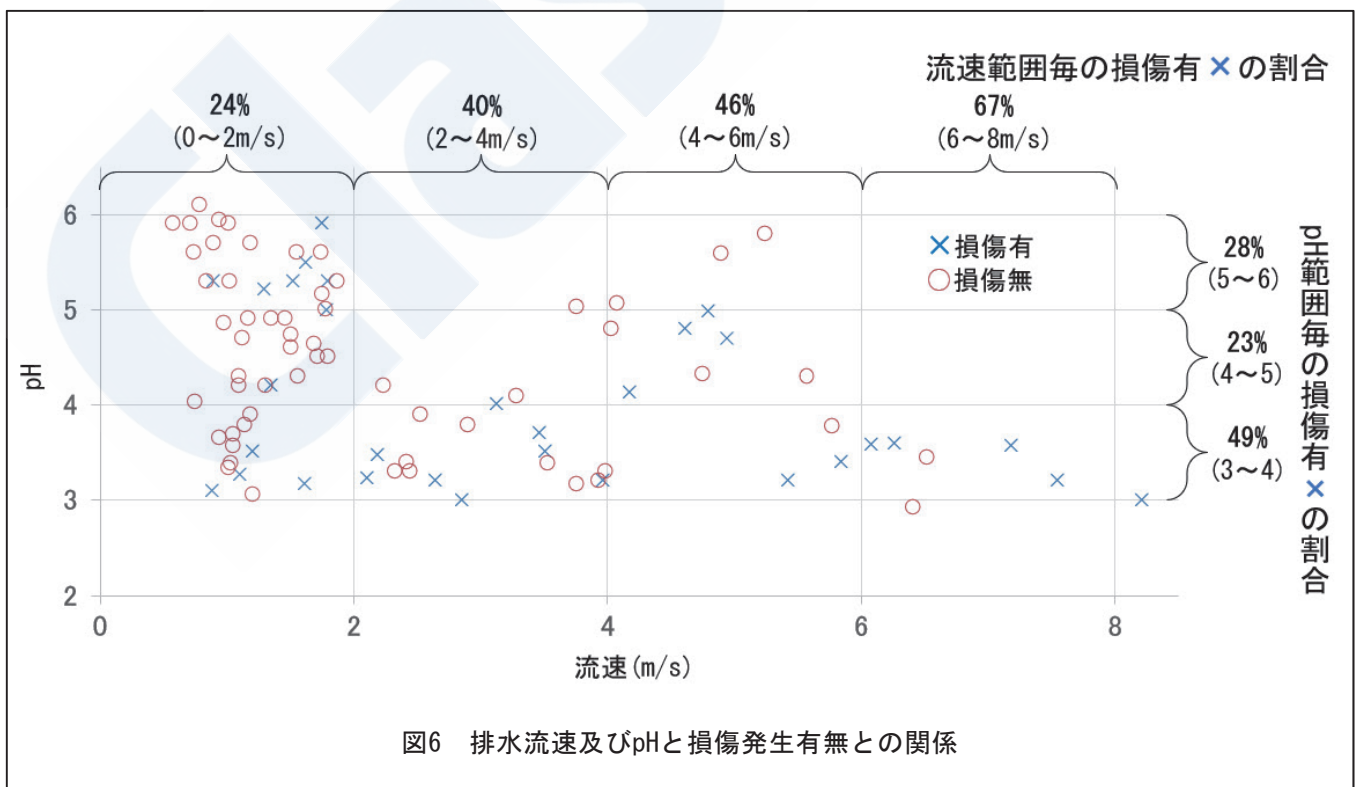


図6 排水流速及びpHと損傷発生有無との関係

(4) 施工環境（新造船／就航船）**

有意差が認められる。

就航後にSO_xスクラバーを搭載（レトロフィット）した船舶は、新造時に搭載した船舶に比べて損傷が多く発生している。

* *t*検定による。各母集団の当該項目に有意差があるか判定する検定手法

** χ^2 （カイ二乗）検定による。観測値と期待値に有意差があるか判定する検定手法

(補足)

一般的に判定基準値 $p=0.05$ を下回れば統計的に有意差があるとみなされるところ、それぞれ以下の値であった。なお、今般の調査では、塗装の状態や塗装の種類、ブラフボディの形状などの影響を考慮していない。

- (1) $p=0.0110$
- (2) $p=0.0027$
- (3) $p=0.0300$
- (4) $p=0.0008$

6. 対策

前節の結果は、これらの要因を考慮した対策を行うことにより損傷発生リスクを低減できる可能性があることを示唆している。現時点で有効と考えられる対策についてメリット及びデメリット並びに注意点等を次に示す。なお、これらの対策は個船毎にその効果を保証されるものではなく、実際に対策を施す場合には関係者と十分な検討を行う必要がある。

6.1 塗装

適切な耐腐食性の塗装を施工し、かつ塗装施工の品質が適切である場合には、腐食対策として十分有効であると考えられる。塗装により腐食を防止するためには、溶接箇所の塗装の性能が適切に発揮されるよう、塗装前の処置や塗装施工に特に注意を払い、塗料メーカーが指定または推奨する手順に従い確実に行うことが重要となる。

6.2 GREライニング

耐腐食性に優れるGRE（Glass fiber Reinforced Epoxy）またはGRVE（Glass fiber Reinforced Vinyl Ester）製のライニングを施工した場合にはピンホールレスが期待できる一方で、繰り返し塗布する塗料を乾燥させるために工期を要する。また、塗装施工の場合と同様に、施工現場における品質管理に十分注意を払う必要がある。

乾燥時間や施工品質の問題を解消するために、船

上での工事に先立ち、予め製造工場でGREをスリーブ状に成形し、船上では当該スリーブをディスタンスピースの内側に差し込み、特殊塗料により接着するという方法も採用されている。

6.3 ステンレス鋼管

ディスタンスピースの材質としてステンレス鋼を採用した場合には、配管自体に高い耐腐食性があるため、腐食発生リスクが施工品質に左右されにくいと考えられる。

ただし、その場合、船体外板はディスタンスピースと異なる材質となるため、電蝕防止のための適切な塗装を施す等の措置が必要となる。また、ステンレス鋼を採用する場合には、ステンレス鋼の溶接施工法承認を要することに留意が必要である。

6.4 ブラフボディの形状変更

排水管のディスタンスピースに設けられる邪魔板の形状をブラフボディからオリフィスタイプに変更した場合には、取付箇所周辺における施工作業性が改善し、溶接及び塗装の施工品質向上が期待でき、当該箇所周辺で発生する腐食のリスクを低減できると考えられる。ただし、ブラフボディの形状を変更した場合には、3.3節に示す排水pHの基準を満足していることを確認するためにCFD等の再計算が必要となる。

7. おわりに

本情報は、船主殿や船舶管理会社殿などの関係各位に広く共有することで、損傷予防対策ご検討の一助になるものと考え、参考として提供するものである。

SO_xスクラバーを搭載した船舶を運航、管理する船主殿及び船舶管理会社殿においては、引き続き、本事例を認識の上、乗組員にも周知し、機関室側から当該ディスタンスピースを中心に排水管系統の日常点検を強化することが必要である。また、船体清掃等でダイバーを入れる機会があれば、可能な限りディスタンスピース内面の当該箇所を確認することも推奨したい。

本会はこれからも積極的に情報を収集の上、関係者に発信することにより、船舶の安全な運航や海洋環境保全に貢献していく所存である。