

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14268

研究課題名(和文) 海洋環境保全のためのスクラバー排ガス浄化装置の廃液処理・再利用システムの開発

研究課題名(英文) Development of water treatment and reusing system for waste liquid from scrubber type exhaust emission control system for conservation of marine environment

研究代表者

篠田 岳思 (Shinoda, Takeshi)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：80235548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)： 濾過機構モデルの構築を図り濾過設計に関する以下の知見を得た。
廃液処理方式の実験検討では、廃液中の懸濁成分を削減し廃液処理後の再生水として利用するため、スプリングフィルターと濾過助剤の組合せによる小型実験装置を設計・製作した。濾過精度を確保しながら濾過処理量を増大させる方法を検討した。また、凝集処理法も検討し、凝集剤同士の組合せでは実験でも濁度を再利用レベルまで落とせることが分かった。濾過過程の計算モデルの構築では、フィルタと濾過助剤を用いる濾過処理法で濁質粒子の捕捉のメカニズムを解明するため、個別要素法によるシミュレーションを行った。濾過処理精度の推定の可能性を検討できることが分かった。

研究成果の概要(英文)： Water treatment and reusing system for waste liquid from scrubber type exhaust emission control system for conservation of marine environment are developed through consideration of model of filtering mechanism and design terms of filtration.

Experimentations of filtration for waste liquid were carried out by combination system of spring filter and auxiliary agent for filtration with the aim of high flow rate and high accuracy of filtration. Also agglomeration treatment methodology was applied. Simulation model of this filtration method are created through applying Distinct Element Method (DEM). The created methodology explains the mechanism of filtration method and estimates accuracy of filtration.

研究分野：造船学

キーワード：スクラバー 廃液処理 濾過処理 濾過シミュレーション 個別要素法

1. 研究開始当初の背景

2005年5月にIMOではMARPOL73/78, ANNEX VI (海洋汚染防止条約, 附属書VI) 「船舶からの大気汚染防止のための規則」の改正が2008年10月のMEPC58 (第58回海洋環境保護委員会) で採択されて, 2016年と2020年から実施予定のNO_xやSO_xの規制が段階的に強化されることとなり, この規制強化では主機の僅かな改良では対応が難しく, 排ガス処理装置等の追加技術を導入せざるを得ない状況となった。

特にNO_x, SO_x, PM (粒子状物質) 等の大気汚染物質排出規制されるECA海域は, 環境規制が厳しい北米の太平洋, 大西洋, メキシコ湾沿岸200海里や, 欧州では北海・バルト海沿岸に設定されており, 我が国でもECA導入の検討があり, 今後人口の密集する世界の沿岸各地に展開されていくものと考えられている。

スクラバー等の排ガス浄化装置には大型商船では大凡毎時300トン程度の大量の海水を用い排ガス成分の汚染物質を除去しているが, この廃液には粒子成分である煤塵と燃料由来の重金属が含まれている。一般にはNaOHにより中和されるだけで海洋中に排出されているのが現状であるが, 大気汚染防止の規則強化に伴い, 廃液の排出にも制約がかかるものと造船・海運をはじめとする海事関連業界では憂慮されているところである。さらに, 今後の世界的な環境規制傾向を考えて行くと船舶の環境負荷の最小化は海事関連業界での必須課題と考える。

2. 研究の目的

ここでは, 主に主機の排ガス浄化装置であるスクラバーの廃液浄化装置の開発について検討を行う。研究項目としては, 1) スクラバーの廃液浄化装置の設計では, 廃液を浄化して再生水として用いる廃液浄化システムとして構成し運転シミュレーションから運転方式について検討する。2) 事前調査によると廃液中のSS懸濁成分 (水中懸濁成分の重量による指標) は100mg/Lと極めて高いが, 廃液浄化後の再生水としての目標として5mg/L程度を計画する。また, 廃液には重金属を含むため, 処理残渣水の濃縮率を向上させる必要があるが, 処理残渣水の濃縮率が高いほど効率が良いため濃縮率1/100として計画する。3) 濾過過程の粒子法による計算モデルの構築では, 従来のDarcy則では把握の難しかったが機器設計に必要な濾過抵抗や透過係数について計算モデルにより把握を行う。これらの四つの課題設定から, 濾過処理技術の向上と濾過処理の設備設計のための濾過機構モデルの構築を図り, 濾過設計や制御に関する知見を得る。

3. 研究の方法

以下の研究課題を設定して, 濾過処理技術の向上と濾過処理の設備設計のための濾過機構モデルの構築を図り, 濾過設計に関す

る知見を得る。

1) 廃液処理方式の実験による検討

廃液中のSS懸濁成分は100mg/Lを超えて極めて高いが, 廃液処理後の再生水としての目標は10mg/L程度として計画し, 濾過処理方法について検討を小型実験機を製作して検討する。実験では, 濾過精度を確保しながら濾過処理量を増大させる方法を検討する。検討では有効性の高い濾過助剤を検討して, 併せて助剤の再利用回数の向上について検討を行う。なお, 廃液原水を直接用いることは重金属を含み扱いが難しいため, ここでは模擬粒子を煤塵として代用して用い濁度を調整して実験を行う。また, 凝集処理についても実験的検討を行う。

2) 濾過過程の個別要素法による計算モデルの構築

従来ではDarcy則による濾過抵抗, 透過係数による推定式を求め濾過状態を仮定して濾過量を求め濾過処理量を設備設計していたが, 濾過抵抗や透過係数に大きな幅があることや, 濾過過程においてもこれらが大きく変動し, さらに実際の海水のような濾過原水には水中成分に大きな変動値があるために, 実験係数が定め難く, 濾過処理量の推定に幅が大きく, 装置規模等の設計が困難であることから, 濾過過程の粒子モデルにより検討を行う。

4. 研究成果

濾過機構モデルの構築を図り濾過設計に関する以下の知見を得た。

(1) 廃液処理方式の実験による検討

廃液中のSS懸濁成分は繰り返し濾過処理されることから100mg/Lを超えることになるが, 廃液処理後の再生水としての目標は10mg/L程度が必要であり, これを目標とした濾過処理方法について検討を行う。実験では高濃度の懸濁成分を含むと極端な目詰まりが予測されるため, 原水濁度を50mg/Lとして設定して進める。処理装置は狭い船内を考慮して設計する必要があることから, 小型化装置化した実験装置を設計した。この装置は処理量が2ton/h程度として, スプリングフィルターと濾過助剤の組合せから濾過精度を確保しながら濾過処理量を増大させる方法を検討した。濾過助剤の検討では有効性の高いと考えられる珪藻土, パーライト (ガラス発泡体), 珪砂, を用いた。併せて助剤の再利用回数の向上について検討した。なお, 廃液原水を直接用いることは重金属を含み扱いが難しいため, ここでは工業材料として提供される煤を主成分にしたカーボンブラック, 黒鉛, 海底泥土をスクラバーの煤塵として代用して用い, 濁度を調整して実験を行った。

原水に海底泥土を用いた実験では, 濾過助剤として珪藻土, パーライト (ガラス発泡体), 珪砂を用いた実験を行った。原水濁度を50mg/Lとした場合には, 藻土, パーライト

は処理後の濁度を 6mg/L とすることができたが、濾過の過程で助剤が変形することから、再生回数に限りがあることが分かった。そこで、粒子に強度がある濾過助剤として珪砂を用いて実験を行うこととした。実験では、電動ふるいを用いて粒径を整えて実験を行い、濾過精度の向上を図ることと、粒子によるモデルとの整合性を検討することとした。検討によると濾過助剤には 45 μm 程度の粒径の粒子を用いて実験を実施した場合には、濾過精度を 8mg/L まで向上させることができることや、2パス濾過することによりさらなる向上が図れることが分かった。また、濾過助剤の再利用も実施可能であることが実験でも確認された。

原水に黒鉛を用い代表粒径が 20 μm 程度の粒子を用い、濾過助剤として 90 μm 程度の粒子を用いた場合には、濾過精度、濾過流量とも向上できることが分かった。凝集とは水中に分散している懸濁質を集塊させて沈降を促すことである。自然界の水中の粒子はマイナス電荷を帯びてお互いに分散状態である。

凝集処理法による検討も実施した。凝集処理法では、プラス電荷を持つ無機凝集剤を加え電位を中和し、反発力を小さくした後に高分子凝集剤を加えて架橋凝集を促し、粗大フロックとすることができ、凝集剤は無機凝集剤が PAC(液体)と水澄まいる(粉体)、高分子凝集剤が PG 21Ca(粉体)を用い、凝集剤の最適添加濃度を探るためにジャーテスターを用いた。ジャーテストは 1) 所定濁度、所定量(1L)の処理対象濁水のピーカーを複数用意して、2) 凝集剤濃度の調整を行い、3) 攪拌時間と攪拌周波数の設定を行い、4) ピーカーを同時攪拌し、5) 所定時間の放置をし、6) フロックの様子観察と濁度計測を行い、7) 凝集剤濃度を変更して繰り返し、実験を行った。3種の凝集剤は全てが濁水濁度の削減効果が有るが、特に PAC と水澄まいるは濁度削減効果が大きく、凝集剤同士の組合せでは PAC と PG 21Ca の組み合わせ実験でも濁度を 5 mg/L 程度まで落とせることが分かった。

(2) 濾過過程の個別要素法による計算モデルの構築

個別要素法を用いた濾過シミュレーションについて検討を行った。フィルタと濾過助剤を用いる濾過処理法で濁質粒子の捕捉のメカニズムを解明するため、DEM(個別要素法)シミュレーションを行った。シミュレーションには STAR-CCM+(CD-adapco 社)を画像処理には ImageJ, Gwyddion を用いた。濾過シミュレーションの解析手順として、1) フィルタモデルの作成、2) フィルタおよび解析範囲の流体のメッシュ分割、3) プリコート粒子モデルの充填、4) プリコート粒子のジオメトリ化および境界条件の設定、5) 解析範囲の空間のメッシュ分割、6) 物理モデルの設定して、シミュレーションを

実行した。

9号珪砂を分粒して得られた中位径 33 μm を持つ粒子を濾過助剤をプリコートし、濁質粒子として 4, 7, 10, 15 μm 単一径を濾過処理したものとシミュレーションを実施し、補足される粒子の様子の観察や、濾過助剤に捕捉される数と通過する数から通過率を計算した。計算によると差し渡し 100 μm の空隙に対し 33 μm 粒子までは容易に架橋し補足できるが、それ以下は不安定な架橋となることから、空隙径の 1/3 以下の径の粒子は濾過助剤を通過する可能性を推定できた。これらの検討から濾過処理精度の推定の可能性が検討できることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計3件)

1) Takeshi SHINODA, Tetsuro NOZAKI, Yuki SAKATA, Makoto ABE: Development of Filtration Methodology for Water Suspended Solid and its Simulation, Proceeding of National Seminar of Marine Technology and Application (SENTA 2015), pp.129-135, 2015

2) Takeshi SHINODA, Tetsuro NOZAKI, Yuki SAKATA, Makoto ABE: Development of Filtration Methodology for Suspended Particulate in Seawater, IEEE Conference Publications of Oceans 2016 Shanghai, pp.1-5, 2016

3) Makoto Abe, Takeshi SHINODA, Yuki Sakata, Yuichiro Tanaka: Research on Filtration Methodology for Suspended Particulate in Marine Construction, IEEE Conference Publications of Techno Ocean 2016, pp.350~353, 2016

(学会発表)(計3件)

1) Takeshi SHINODA: Development of Filtration Methodology for Water Suspended Solid and its Simulation, SENTA 2016, 2015年12月3日, スラバヤ工科大学 (Institute Teknologi Sepuluh Nopember), Surabaya, Indonesia

2) Yuki SAKATA: Development of Filtration Methodology for Suspended Particulate in Seawater Oceans '16 Shanghai, 2016年4月10-13日, Shanghai International Convention Center, 上海, 中国

3) Machete Abe: Research on Filtration Methodology for Suspended Particulate in Marine Construction: Techno Ocean 2016, 2016年10月6-8日, 神戸コンベンションセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者：篠田岳思 (SHINODA,
Takeshi)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：80235548