

環境に配慮した海水淡水化向け無薬注前処理技術の開発

The Study of Environmentally Friendly Pretreatment Technology for SWRO Desalination Plant



伊藤 嘉晃^{*1}
Yoshiaki Ito

田畑 雅之^{*2}
Masayuki Tabata

松井 克憲^{*3}
Katsunori Matsui

竹内 和久^{*4}
Kazuhisa Takeuchi

近藤 岳^{*5}
Gaku Kondo

岩橋 英夫^{*6}
Hideo Iwahashi

海水淡水化プラントの運転には様々な薬品が使用されている。薬品の使用は廃棄物及びプラント運転費の増加など、環境面、経済面に大きな影響を及ぼす。そのため、薬品消費量の低減あるいは薬品を使用しない無薬注プロセスが望まれている。三菱重工業(株)(以下、当社)では、環境面、経済面に配慮した薬品を一切用いない無薬注前処理技術の開発に取り組んできた。日本の製塩業で用いられる無薬注砂ろ過技術を採用し、国内及びカタールにて実証試験を行った結果、安定した造水性能、膜差圧でのRO膜の運転が可能であり、無薬注砂ろ過がRO膜を用いた海水淡水化に適用可能であることを実証した。

1. はじめに

地球上の水の約97%は海水であり、約3%が淡水である。淡水のうち河川水や地下水などの実際に使用可能な水は僅か0.8%程度とされている⁽¹⁾。今後想定される世界的な経済成長、人口増加に起因する深刻な水不足に対し、貴重な水資源として、海水の淡水化技術の占める役割はますます重要となっている。

海水を淡水化する技術として、蒸発法及び逆浸透法が主流な方法である。RO (Reverse Osmosis: 逆浸透) 膜を用いた逆浸透法は、蒸発法と比較してエネルギー消費量が少なく、運転維持管理が容易であり、近年急速に普及が進んでいる⁽²⁾。

海水淡水化プラントは取水設備により海水を取り入れ、前処理設備で海水中の懸濁物質などRO膜細孔の閉塞を引き起こす物質を除去した後、昇圧設備で加圧し、RO膜に供給する。RO膜で分離された透過水は水質の要求に応じて、低圧RO処理、硬度分添加等の後処理がなされ、工業用水や飲料水などとして利用される。RO膜を用いた海水淡水化プラントでは、運転を円滑に行うために様々な薬品が使用されている。表1に代表的な薬品、図1に処理フローと薬品について示した。プラントでは、通常運転で用いられる薬品に加え、定期的な膜の化学洗浄に用いられる薬品やバイオフィアリング(微生物を起因とする膜の汚染・膜細孔の閉塞)を防ぐための殺菌剤が用いられる場合もある。これらの薬品の使用はランニングコストへ影響を及ぼすだけでなく、濃縮され海洋に戻されることによる環境影響も懸念されている。そのため、薬品消費量の低減あるいは薬品を使用しない無薬注プロセスが望まれる。

*1 総合研究所化学研究部

*2 マーケティング&イノベーション本部 BI&I 部 主席部員 技術士(衛生工学部門)

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)エンジニアリング本部E総括部プラント技術部 主席技師

*4 総合研究所化学研究部 主席チーム統括

*5 エンジニアリング本部プロジェクト総括部

*6 エンジニアリング本部プロジェクト総括部 技監 工学博士 技術士(上下水道部門)

表1 海水淡水化で使用される代表的な薬品及び使用目的

薬品	薬品を注入する目的
次亜塩素酸ナトリウム	取水のスクリーンやパイプが貝などの海洋生物により閉塞することを防ぐ。
亜硫酸水素ナトリウム	還元作用により、RO 膜を劣化させる塩素の流入を防ぐ。
凝集剤(主として、塩化第二鉄)	シルトや懸濁物質、有機物などの RO 膜の汚損の原因となる物質を前処理で取れやすくする。
硫酸	凝集剤による凝集効果を高める。また、RO 膜のスケールを防止する。

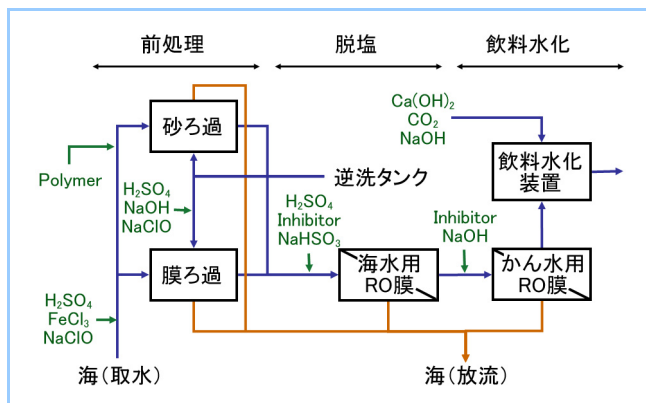


図1 RO 膜海水淡水化プラントフロー図

2. 無薬注前処理技術のメリット

海水淡水化プラントに無薬注前処理技術を導入することで、様々なメリットが得られる。

[環境]

- ・産業廃棄物を一切出さない。
- ・海洋の生態系に化学薬品による影響を与えない。

[安全]

- ・強酸などの危険な薬品を扱う必要がない。

[運転]

- ・薬品の管理の必要がなく運転が容易になる。

[建設費]

- ・薬品保管施設や薬品注入設備が不要になる。
- ・スラッジ処理設備が不要となる。

[運転費]

- ・薬品代が削減できる。
- ・薬品調整のための分析費が削減できる。
- ・薬品注入や攪拌用の電力費が削減できる。

当社では、海水淡水化プラント向けの無薬注前処理技術の開発を進めてきており、現在はカタルのお客様と共同で検討を行い、初号機の受注を目指している。

3. 無薬注前処理技術の開発

日本の製塩業では古くから電気透析法を利用して食用塩を製造しており、この方法に使用される海水の前処理法は凝集剤などの薬品を使用せず、また、取水設備にも塩素を注入しない全くの無薬注で30年以上安定運転を続けている企業がある。食塩製造に用いられる電気透析も膜を利用する技術であり、海水淡水化プラントの前処理技術への適用可能性がある⁽³⁾。

3.1 ナイカイ塩業(株)での実証試験

当社は食用塩の製造を行うナイカイ塩業(株)と共同で無薬注前処理技術の調査・研究を実施した。ナイカイ塩業(株)では前処理に二段の単層砂ろ過装置を用いており、ろ過速度は通常の急速ろ過の範囲で運用されている。

図2に調査期間中のろ過水のSDI(Silt Density Index)の経時変化を示す。SDIは水質指標の一つであり、懸濁質が多く含まれるほど値が高くなる。装置停止後の立ち上げ時にSDIが高い値を示した後SDIが低下し、立ち上げ後1週間でほぼ停止前の水質に戻ることがわかる。また、図3には、同時期の砂から採取したサンプルの変性剤濃度勾配電気泳動法(DGGE:Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)のプロファイルを示した⁽⁴⁾。バンドの位置は菌の種類を示すので、異なる位置にバンドが見られるサンプルでは異なる菌が存在すると考えられる。運転再開直後の8/16のサンプルでは停止前の8/11には見られないバンドが観察され、微生物相が変化していることが確認できる。運転開始後時間が経過するにつれ類似のバンドパターンとなり、運転停止前の微生物相に近づくことから、砂ろ過の性能に微生物が関与しているを推定した。更に、図4に示した砂の観察結果からも砂に付着物が観察された。これらの結果から、除濁のメカニズムとして、⁽⁵⁾図5に示すとおり、微生物がろ材上に生成するバイオフィームが海水中の懸濁物質を捕捉しているのではないかと推定している。⁽⁶⁾。

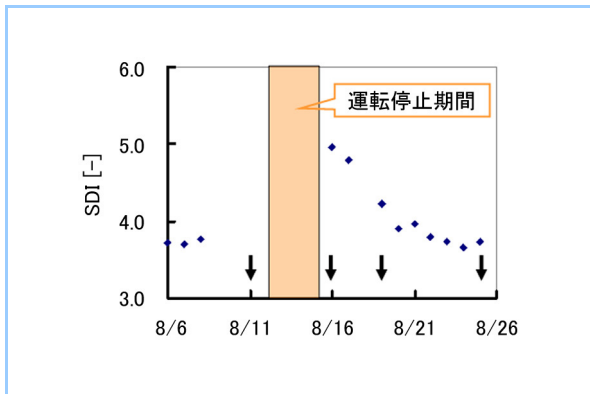


図2 無薬前処理装置ろ過水のSDIの経時変化

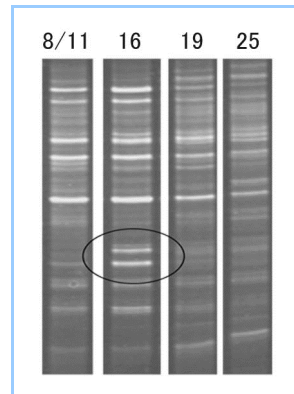


図3 DGGE プロファイル

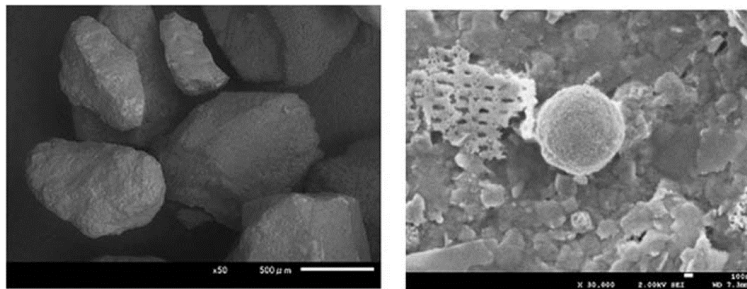


図4 ろ過砂のSEM画像

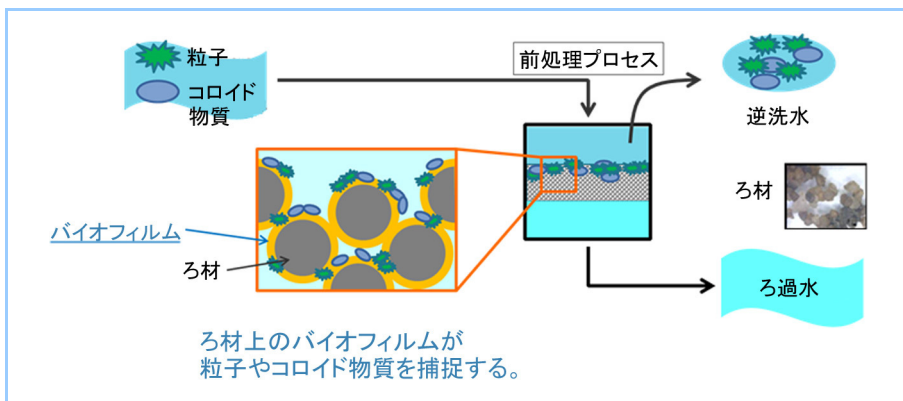


図5 無薬注砂ろ過推定メカニズム

図5の推定メカニズムを検証するために、ラボスケール試験を実施した。ナイカイ塩業で使用されているろ材の砂をカオリン溶液(模擬懸濁物質)に添加し、2分間攪拌し、6分の静置後、懸濁液の吸光度(660nm)を測定し、4系の比較を行った。図6にラボスケール試験概要及び結果を示した。無薬注前処理に用いた砂を入れたカオリン溶液の吸光度は攪拌開始直後に減少した(図中赤線)。一方、無薬注前処理に用いた砂に塩素処理を実施した系(図中緑線)と超音波処理を実施した系(図中青線)においては、吸光度の減少が緩やかであった。塩素処理及び超音波処理は砂の表面に形成されるバイオフィームを剥離する目的で実施し、これらバイオフィームを剥離した砂が、前処理に用いていない砂(図中茶線)と同様の傾向を示すことを確認した。この結果は、前処理時に砂の表面に形成されるバイオフィームによって水中の懸濁物質が除去されるという仮説を裏付けるものであった。

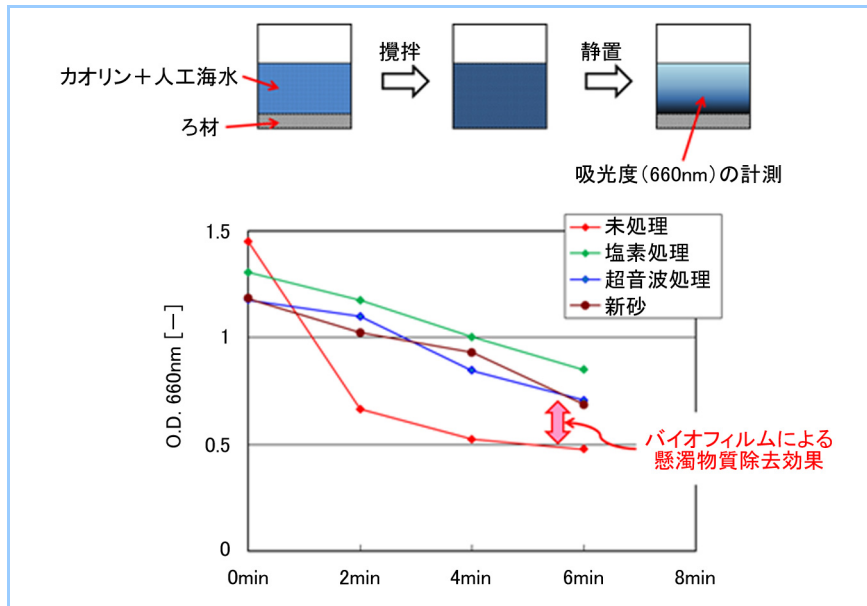


図6 ラボスケール試験概要及び吸光度測定結果

更に、図7に示した4インチ RO 膜ユニットに無薬注前処理水を供給し、各種運転データを取得した。図8に供給圧と膜差圧及び水温の継時変化、図9にA値(RO膜水透過係数:水の通りやすさの指標)およびB値(RO膜塩透過係数:塩の通りやすさの指標)について示した。A値およびB値はそれぞれRO膜供給水の溶液および溶質の透過性を表す係数である。試験では膜差圧、A値およびB値は安定しており、運転結果は良好であった。これより、無薬注砂ろ過がRO膜を用いた海水淡水化プラントの前処理技術として適用可能なことを確認した⁽⁷⁾。



図7 4インチ RO 膜ユニット外観写真

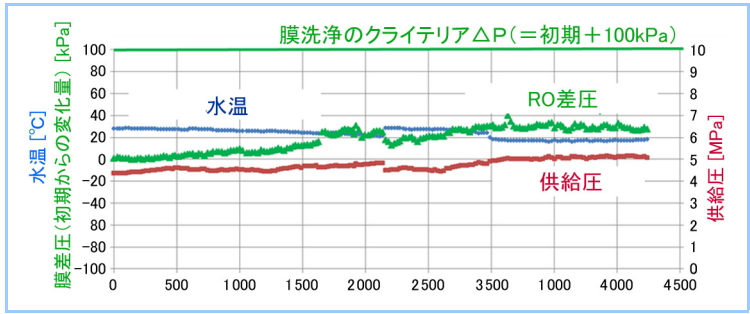


図8 供給圧力, 膜差圧, 水温の継時変化

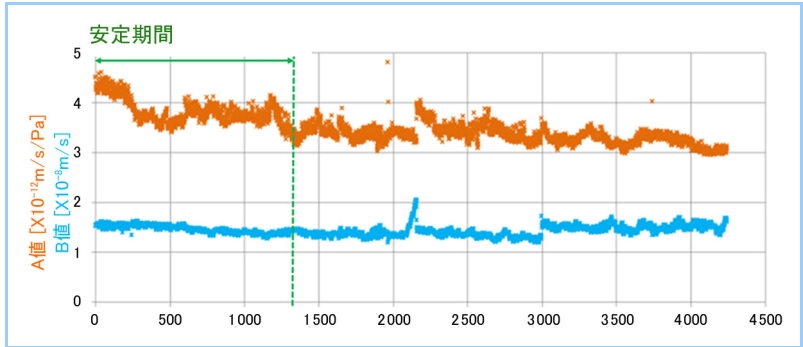


図9 A値及びB値の継時変化

3.2 カタールでの実証試験

当社は、2012年よりカタール国家食糧安全保障機関(Qatar National Food Security Programme; QNFSP)と連携し、ラスラファン工業都市(Ras Laffan Industrial City/RLIC)の協力のもと、実証試験を実施した。実証試験のコンセプトを図10に示す。工業地帯には企業が冷却水として使用する海水を取水するための共通海水取水設備、及び使用済み海水を放流する共通放水路がある。カタールで主流である蒸発法及び既存のRO膜法による海水淡水化プラントは、取排水設備建設のための海洋工事が発生する。これに対し、当社が想定する方法では、原海水として工業地帯の各企業の発電設備などで使用された冷却用海水(高温排海水:最高45°C程度、通常海水は最高35~40°C)を既存の共通放水路から取水して再利用することを考えており、新たな海洋工事が不要になる。このため、取水設備の場所の選定作業や設備自体を削減でき、プラント建設コストの低減が可能になる。また、取水工事を実施する必要がなく、海洋環境保全に貢献可能となる。脱塩で発生する濃縮排水についても、既存の共通放水路へ戻すことにより排水設備のための海洋工事も不要になる。なお、使用済みの高温排海水からの生産水は灌漑用水に用いることを想定している。

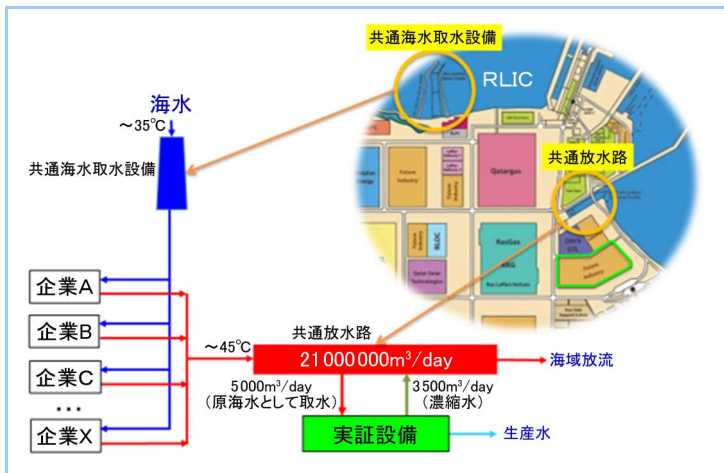


図10 実証試験コンセプト

実証試験においては、共通放水路から海水を取水し、これを原海水として無薬注前処理と4インチ RO 膜を用いた試験を行った。実証試験にて、高濁度・高有機物濃度であるアラビア湾の海水でも安定的に無薬注前処理が可能であることを確認した。また、RO 膜の運転に関して、造水性能、膜差圧とも安定した挙動が確認され、無薬注砂ろ過が RO 膜の前処理として適用可能なことを確認した⁽⁷⁾。

4. まとめ

当社では、環境面・経済面に配慮した海水淡水化向け無薬注前処理技術の開発に取り組んできた。国内及びカタールにて、日本の製塩業で用いられる無薬注砂ろ過を採用した実証試験を行い、安定した造水性能、膜差圧での運転を確認し、無薬注砂ろ過が RO 膜を用いた海水淡水化の前処理技術に適用可能であることを実証した。今後は、運転データの蓄積を進め、当技術の適用可能範囲を拡大する。

参考文献

- (1) 一般財団法人造水促進センター, 事業のご案内淡水化(2016)
<http://www.wrpc.jp/annai/an04.htm>
- (2) International Water Association, Desalination-Past, present, future(2016)
<http://www.iwa-network.org/desalination-past-present-future/>
- (3) 松井克憲ほか, 海水用圧力ろ過器の性能について, 海水学会誌, 66号, 3巻 124(2012)
- (4) Takeuchi, K. et al., Chemical free seawater pretreatment, Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn. 67(5), 279-282(2013)
- (5) Goda, Y, Present state of sea water filtration process in salt manufacturing plant, Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn. 63(6) (2009)
- (6) Tabata, M. et al., Bench-scale test for the study for the chemical-free pretreatment system of SWRO desalination plant, Proceedings of IDA World Congress, TIAN13-344
- (7) Takeuchi, K. et al., The study of environmentally friendly pretreatment system, Desalination and Water Treatment 364, 1-7(2012)