

【3K153006】使用済み海水淡水化膜を活用した途上国工業団地での工場排水再利用システムの開発（H27-29 26,680 千円）

研究代表者 山村 寛（中央大学）

## 1. 研究開発目的

表 2.1 にインドの工業団地で実測した工業団地排水処理施設の放流水，ならびに工場で冷却水として利用するにあたって必要となる水質を示す。放流水は有機物，アンモニア，総溶解固形分（TDS）共に遙かに高い値を示しているが，我々の研究グループで開発した「バチルス細菌を活性化した膜分離活性汚泥法」により，25 円/m<sup>3</sup> 程度で BOD，COD，NH<sub>4</sub> をそれぞれ冷却水基準以下にまで低減することに成功している。ただし，膜分離活性汚泥法では，TDS は低減できないため，後段には RO 膜による脱塩処理が必要となる。

これまでの調査で，インドの工業団地では，30 ルピー/m<sup>3</sup>（50 円/m<sup>3</sup> 程度）で冷却水が提供されており，排水再利用を実施する際には，これを下回る価格での提供求められる。新しい RO 膜の造水コストが 113 円/m<sup>3</sup> であることを鑑みると，排水再利用を実用化するためには，従来の RO 膜に係るコストを 1/5 程度にまで低減する必要がある。

そこで本研究では，海水淡水化で使い終わった RO 膜（使用済み RO 膜）を適切に処理したものを，途上国の排水再利用プロセスに利用するシステムを提案する。使用済み RO 膜の利用法として，そのまま排水再利用に供する「カスケード利用」と，付加価値を付与したものを供する「アップグレードリサイクル利用」の 2 種類が考えられる。本研究では，上記の 2 種類の方法によって，使用済み RO 膜を排水再利用プロセスに有効利用するシステムを確立するために，以下の研究課題に順次取り組む。

課題 1：使用済み RO 膜を任意の除去性能を持った膜にまで改変する技術の開発

課題 2：使用済み RO 膜を有効利用するための手法を確立する

課題 2-1：改変した膜のリユース技術を確立

課題 2-2：改変した膜をアップグレードしてリサイクルする技術を確立

課題 3：使用済み RO 膜を利用した排水再利用システムの経済性評価

## 2. 本研究により得られた主な成果

### （1）科学的意義

#### 1. RO 膜の酸化機構を解明

これまで RO 膜が塩素により劣化する機構は様々に提案されてきたが，いつ，どのようにポリアミド構造が破壊されるのかについては本研究によりはじめて明らかとなった。40 時間をかけてオルトン転位反応が進行し，47 時間でポリスルフォン層が露出することを示し，従来から観察されていたオルトン転位反応は，非常にゆっくりと進行する反応であることを明らかにした。この情報を元に，ポリアミドポリマーを改良する

ことで、耐塩素性 RO 膜開発の加速が期待される。

## 2. 酸化された RO 膜の表面官能基と吸着力の定量化に成功

RO 膜の劣化が進行するに伴って膜表面はより親水性が増加する傾向が観察され、ヒドロキシル基が膜構造中の塩素基と水素結合により結合することが明らかになった。多糖類による RO 膜のファウリング機構が明らかになったことから、耐ファウリング機能を持った RO 膜の開発が期待出来る。

## 3. 非破壊で銅ナノ粒子の膜面への固定化に世界で初めて成功

RO 膜表面には、膜面の汚染防止を目的として高い剪断力が常時付加されるため、グラフト重合などの化学的な方法以外では、粒子を膜面に保持することは極めて難しかった。一方で、化学的な方法により膜面を改質するには膜モジュールの解体が不可欠であり、非破壊で膜面に粒子を保持する方法が求められていた。本研究において、膜面の官能基特性を明らかにしたことをきっかけとして、膜面に出現したカルボキシル基に PEI ポリマーを水素結合させることで、膜面へのナノ粒子の固定に成功した。また、固定した粒子は高い剪断力を付加しても剥がれることはなく、世界で初めて、モジュールのまま膜を改質する技術の開発に成功した。

## **(2) 環境政策への貢献**

### 1. リユース技術の確立

これまで廃棄されていた使用済み RO 膜の価値が認識され、他の水処理工程においてその価値を有効に利用できる可能性が示された。特に、廃棄される RO 膜はカスケード利用先でも、十分に必要性能を満たすことを確認した。この結果は、廃棄される RO 膜には産業的な価値があることを示すものであり、今後は、カスケード利用の推進を目的とした事業展開も期待出来る。

### 2. リサイクル技術の確立

カスケード利用では、上位の商品価格よりも下位の商品価格の方が低くなる 경우가多く、商業的に継続することが困難な場合も想定しうる。しかしながら、本研究で開発した、使用済み膜に機能性ナノ粒子を固定する手法を適用することで、使用済み RO 膜の商品価格を下げず、さらには機能付加によってより高い価格で市場に投入出来る可能性が示された。今後、益々使用済み RO 膜を中心とした国際マーケットを構築出来るものとして期待する。

### 3. 実用化

インド工業団地の下水処理施設から排出される汚水に対して、冷却水レベルにまで浄化する技術を確立した。経済的にも合理性が高いことから、今後は日本のエンジニアリング企業と協働で本システムの導入を進めると共に、他のアジア地域にも横展開を進めたい。

## ＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない。

## ＜行政が活用することが見込まれる成果＞

### 1. インフラ海外展開の促進による国内企業の活性化

将来的に国内需要が頭打ちになる中、これまで培ってきた我が国の優れたインフラを海外に輸出・展開することが、成長戦略の一つとして打ち出されている。本研究は、日本が世界的に高いシェアを有する海水淡水化膜の静脈部分を検討したものであり、今後、顕在化する廃棄物に対する課題を解決することで、動脈としての海水淡水化膜の流通も促進されるものとする。国内企業の活性化への寄与は大きいと予想する。

### 2. 新たな産業の創出

これまで廃棄されていた使用済み RO 膜の価値が認められ、さらにはその価値を向上する手法の開発に成功した。この結果は、使用済み RO 膜の流通ならびに再生にかかる、新たな産業の創出に繋がるものと期待する。特に、産業廃棄物処理の末端である埋立処分施設の管理を担う法人数社から、本技術に関する問い合わせを頂いている。今後は、廃棄物産業とも連携しながら、新たな産業を創出に向けて、技術移転を進めていきたい。

### 3. 国内企業の海外展開支援

多くの国内企業は、海外での工場建設にあたって、水に対するリスクを危惧している。特に水不足による工場の停止は、多大な損失につながるため、安定した水源、水質の確保が必要とされている。背景で述べた様に、アジア地区では、ほとんどの地域において、水資源不足が日本企業の海外進出にあたって足枷となっており、安価かつ高品質な排水再利用システムの構築は、国内企業の海外展開を支援する上でも、極めて重要な施策といえる。今後は、本研究を協働してきたエンジニアリング会社と協力することで、アジア地域での工場排水再生システムを普及させ、国内企業の海外移転の支援に繋げたい。

## 3. 委員の指摘及び提言概要

使用済み RO 膜の改編技術の基礎を確立しカスケード利用した点、さらに Cu ナノ粒子の担持に成功しアップグレードリサイクルを実現した技術は非常に有効である。応用として提案されている排水処理システムについては、バチルス菌膜分離活性汚泥法を採用する利点が十分説明されていないものの、新規技術に対する理論的裏付けができており、学術的にも高く評価でき、研究は十分な成果をあげている。早急に学術論文として発表すべきであろう。次への展開として、技術の長期安定性など耐久性を検証するとともに、実用の有効性を示し、実用化・社会実装化することが望まれる。

## 4. 評点

総合評点：A