

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	向群
審査委員	主査 藤原 拓 副査 深堀 秀史 副査 張 浩 副査 治多 伸介 副査 山下 尚之

### 論文名

Energy Saving Technology Development for the Treatment of Reverse Osmosis Concentrate Using a Rotating Advanced Oxidation Contactor (回転円板型促進酸化装置を用いた逆浸透濃縮排水の省エネルギー型処理技術の開発)

### 審査結果の要旨

逆浸透 (RO) は廃水の再利用に広く用いられる技術であり、下水処理水を原水として用いる場合には原水の約 15~20%の水量に相当する RO 濃縮排水が生じることが報告されている。RO 濃縮排水には原水に含まれる医薬品等の微量汚染物質が濃縮されることから、RO 濃縮排水を環境中に直接放流する際のリスクが懸念されている。加えて、地球規模での水需要の増加にともない、ここ数十年の間に RO プラントは大規模化してきている。このため、RO 濃縮排水の適切な処理技術の開発が喫緊の課題となってきた。本論文は都市下水の再生施設に由来する RO 濃縮排水中の有機物、とりわけ医薬品類の処理技術の開発を行ったものである。

第2章では、酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) /高シリカ型ゼオライト (HSZ-385) 粉末複合材料を医薬品クロタミトンの除去に適用している。クロタミトンは HSZ-385 により下水二次処理水から急速に吸着除去され、処理水中の共存物質がクロタミトンの吸着に及ぼす影響は小さかった。複合材料は HSZ-385 と比較すると吸着速度は低かったものの、クロタミトンの吸着容量は同程度であった。クロタミトンの光触媒分解は、初期濃度が低い条件では共存物質により大きく阻害された。複合材料は二次処理水からクロタミトンを急速に吸着し、その後吸着されたクロタミトンは紫外線 (UV) 照射により徐々に分解された。複合材料を用いた場合には、初期クロタミトン濃度が低い条件では、二次処理水中の共存物質はクロタミトンの除去に大きな影響は及ぼさなかった。また、処理中の主要な分解産物も複合材料に吸着されていることが示された。以上の結果より、有害な分解産物による二次汚染を軽減するうえで複合材料が有用であることが示された。

第3章では、TiO<sub>2</sub> と HSZ-385 を複合シートに担持し、RO 濃縮排水からのクロタミトンの除去に適用した。クロタミトンは複合シートにより良好に吸着除去され、RO 濃縮排水中の共存物質による明確な阻害は見られなかった。複合シートに UV 照射を行った結果、クロタミトンは吸着と光触媒分解により除去された。RO 濃縮排水中のクロタミトンの光

触媒分解はクロタミトンの初期濃度が高い場合には共存物質により大きく阻害されたが、初期濃度が低い場合には急速な光触媒分解が生じた。粉末材料の場合と同様に、クロタミトンの主要な分解産物も複合シートによって除去された。

第 4 章では、酸化チタン/ゼオライト複合シートを搭載した回転円板型促進酸化装置 (RAOC) を RO 濃縮排水の処理に適用した。RO 濃縮排水の生分解性の変化に加えて、有機物質の除去特性について検討した。RO 濃縮排水中の 53 の医薬品類の濃度を分析し、48 種が最大 1560 ng/L の濃度で検出された。RO 濃縮排水中ではケトプロフェンの濃度が最大であり、クロタミトンは 670 ng/L と三番目に高濃度であった。RAOC を用いて 12 時間 UV 照射を行うことにより、吸着率が 50%未満と低い 8 種の医薬品類を含めて、大半の医薬品類について 80%以上の除去率を得た。RAOC による吸着は RO 濃縮排水の生分解性に変化を与えなかったが、UV 照射することにより生分解性の向上が見られた。以上より、RAOC に短時間の UV 照射を行うことで、RO 濃縮排水中の有機物が後段の生物処理プロセスで容易に除去されうる可能性が示された。

第 5 章では、RAOC 処理の前処理として凝集沈殿処理を行うことが RO 濃縮排水からのクロタミトン除去に及ぼす影響を検討した。ポリ塩化アルミニウムを用いた RO 濃縮排水の凝集沈殿処理では、pH5 の条件が有機物除去 (全有機炭素、A365、A254) の観点から適切であることが示され、注入率を 0~6 mmol Al/L へと増加させることで除去率は向上した。RAOC に UV 照射を行うことにより、クロタミトンは吸着と光触媒分解により除去され、主要な分解産物が複合シートに補足されることも示された。以上より、凝集沈殿後に RAOC 処理を行うプロセスが RO 濃縮排水の有機物除去に有効であることが示された。

第 6 章では、RO 濃縮排水処理に対して、凝集沈殿後に太陽光を照射する RAOC 処理プロセスを適用し、エネルギー消費量および経済性の観点からプロセス評価を行った。

本論文は、今後世界的に普及が予想される RO を用いた再生水製造プロセスにおいて、ボトルネックとなりうる RO 濃縮排水の新規の処理技術を総合的に検討した論文と高く評価される。学位論文の内容については、生物環境保全学、環境工学、水質学、化学工学等の広範囲の分野に渡っており学際的である。

学位論文の公開審査会は、平成 31 年 2 月 9 日に愛媛大学農学部で開催され、論文発表と質疑応答が行われた。続いて開催された学位論文審査委員会において本論文の内容について慎重に審査を行った結果、審査委員全員一致して博士 (学術) を授与するに値すると判定した。