

令和元年6月28日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02372

研究課題名(和文) 逆浸透濃縮排水処理の省エネルギー化を実現する回転円板型促進酸化装置の開発

研究課題名(英文) Development of a rotating advanced oxidation contactor realizing energy saving reverse osmosis concentrate treatment

研究代表者

藤原 拓 (Fujiwara, Taku)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・教授

研究者番号：10314981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：逆浸透(RO)による下水処理水の再生利用では、標準的な下水処理過程で完全に除去することが困難な有機物や微量化学物質がRO濃縮排水に濃縮される。本研究では、酸化チタンと高シリカ型ゼオライトを複合したシートを円板に搭載し、半水没の条件で回転する回転円板型促進酸化装置(RAOC)によるRO濃縮排水の省エネルギー処理技術の開発を行った。前処理としての凝集沈殿の有効性を示すとともに、RAOCによる医薬品処理の性能評価と機構解明を行った。また、パイロットスケール装置を製作し処理特性の評価を行うとともに、シートの耐久性および消費エネルギーの評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界各地で顕在化している淡水資源不足への対応として、逆浸透(RO)の研究が活発に行われているが、RO濃縮排水処理がROシステムの総消費エネルギー削減の上で課題となっている。RO濃縮排水に含まれる有機物や微量化学物質の処理に必要なエネルギーを大幅に削減可能な、革新的な技術の開発が求められている。本研究では、酸化チタンと高シリカ型ゼオライトを複合したシートを円板に搭載し、半水没条件で回転する「回転円板型促進酸化装置」による逆浸透濃縮排水処理技術の開発を行った。光触媒の水処理への適用において課題であった実排水への適用、透過光減衰によるスケールアップの困難さ等を克服した点で学術的意義は高い。

研究成果の概要(英文)：Wastewater reclamation process using reverse osmosis (RO) produces both purified water and RO concentrate in which hardly biodegradable organics and micro contaminants in the source water are concentrated. This study aims at developing energy saving treatment technology for RO concentrate by a rotating advanced oxidation contactor (RAOC) equipped with titanium dioxide and high silica zeolite composite sheets. The RAOC is operated under submerged condition, and hydrophobic contaminants in water are selectively adsorbed to the zeolite in the sheet. After rotation, the adsorbed contaminants are decomposed by photocatalysis in the air. The authors presented the effectiveness of pre-coagulation and subsequent RAOC treatment. They also clarified the treatment performance and removal mechanisms by the RAOC. Further, they produced pilot-scale RAOC and evaluated treatment performance of pharmaceuticals, durability of the composite sheets, and energy consumption for the treatment.

研究分野：水環境工学

キーワード：用排水システム 逆浸透濃縮排水 回転円板型促進酸化装置 省エネルギー 微量化学物質

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界各地で顕在化している淡水資源不足への対応として、逆浸透 (RO) の研究が活発に行われ、海水淡水化時の消費エネルギーは 3~4 kWh/m³まで低下するとともに、100 万 m³/d 規模の RO システムが開発されている。RO により高品質な処理水が得られる一方で、原水量の 15~20%程度の RO 濃縮排水が同時に生成される。RO の原水として下水処理水を用いた場合には、標準的な下水処理過程で完全に除去することが困難な微量化学物質が濃縮されることから、RO 濃縮排水を多量に放流することによる健康・環境リスクが懸念される。このため、再生水利用の盛んな海外を中心に、RO 濃縮排水の処理技術の開発が近年活発に行われてきた。下水二次処理水レベルの処理水質を目標として、RO 濃縮排水処理の省エネルギー化に関する各種の検討が行われてきたが、現在でもなお RO 濃縮排水処理が RO システムの総消費エネルギー削減の上で大きな課題となっている。RO 濃縮排水に含まれる有機物や微量化学物質の処理に必要なエネルギーを大幅に削減可能な、革新的な技術の開発が求められている。

2. 研究の目的

申請者は、酸化チタン (TiO₂) と高シリカ型ゼオライト (Ze) を複合したシートを円板に搭載し、半水没条件で回転する「回転円板型促進酸化装置: Rotating Advanced Oxidation Contactor (RAOC)」の研究を行ってきた。RAOC は、水中部で Ze が疎水性微量化学物質を選択的に吸着し、回転後に気相部で吸着物質を光触媒分解する。また、気相部における円板上の水膜は極めて薄いため、水中での光触媒処理で課題となる透過光減衰の課題も解決できる。RAOC は共存物質が多量に存在する廃水に適用可能であることから、塩分および有機物濃度が高い RO 濃縮排水中の微量化学物質除去に有効と考えた。また、本装置は太陽光を活用した光触媒処理が可能であり、その場合に必要なエネルギーは回転動力のみであることから、凝集沈殿処理や生物処理との組み合わせにより、RO 濃縮排水の処理に要するエネルギーを大幅に削減可能な、革新的な技術になりうるとの着想を得た。そこで本研究では、下水処理水再生利用に伴う逆浸透濃縮排水を対象として、目標水質 (DOC: 15mg/L, 微量化学物質: 90%除去) を単位消費エネルギー 1 kWh/m³ で達成する技術を開発することを目指し、研究を行った。

3. 研究の方法

1) RO 濃縮排水の性状と基本処理特性の評価

RO 濃縮排水処理に向けた事前検討として、TiO₂/Ze 粉末複合材料による鎮痒剤クロタミトン (CTM) の処理特性評価を行った。高シリカ型ゼオライト HSZ-385 (比表面積 600 m²/g, SiO₂/Al₂O₃ 比 100) は東ソー (株) より購入し、TiO₂/Ze 複合材料はゾルゲル法により合成した。次に、下水二次処理水を原水とする限外ろ過 + RO パイロットプラントから RO 濃縮排水を採取して性状を明らかにするとともに、抄紙技術により作成した TiO₂/Ze 複合シート (雑誌論文 4 参照) を用いて、排水に添加した抗菌剤スルファメタジン (SMT) および CTM の処理を行った。

2) RAOC に適用するシートの最適化

RAOC に適用するシートの最適化検討では、凝集剤・バインダー使用量やシート作成条件を調整し、シートの細孔構造を制御することで、活性低下を抑えたシート調整条件を検討した。また、抄紙・紙加工設備での生産を想定し、有機繊維・バインダーを使用したシートを試作した。PET を主成分とする主体繊維と熱融着繊維を併用し、シート成型後に加熱によるバインダー処理を施すことで、フレキシブルで水中での使用に適した複合シートを調製した。ラボスケールで検討したシート調製条件を基に、スケールアップを見据えて短網型抄紙機を用いた TiO₂/Ze 複合シートの連続生産を試みた。

3) ラボスケール装置による RO 濃縮排水の処理特性評価と処理メカニズムの解明

TiO₂/Ze 複合シートを搭載した RAOC (長さ 25cm, 幅 7cm, 高さ 14.5cm, 有効容積 2L のステンレス製リアクター, 円板直径 24.0cm, 円板水没率 45%, 回転速度 10 rpm) を RO 濃縮排水の処理に適用した (写真 1)。基本条件は水温 25 °C, 紫外線 (UVA) 強度 1 mW/cm² とした。RAOC による処理メカニズムの検討では、純水中 SMT (初期濃度 10 mg/L) の処理を行った。RO 濃縮排水の処理特性評価では、生分解性の変化に加えて有機物質および医薬品類の除去特性について網羅的に検討した。また、RAOC 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 CTM 除去に及ぼす影響を検討した。ポリ塩化アルミニウム (PAC) を用いた RO 濃縮排水の凝集沈殿処理では、pH および凝集剤注入率を変化させ、これらが有機物除去に及ぼす影響を検討した。また、水温 (10-40 °C) および UVA 強度 (0.1-2 mW/cm²) が純水中 CTM (初期濃度 100 µg/L) の除去に及ぼす影響を評価した。水温影響評価実験では、Ze による CTM 吸着速度への影響、TiO₂ による CTM 分解速度への影響、CTM 分解に対する協奏効果への影響を個別に評価した。RO 濃縮排水中 CTM の除去に加え、TiO₂/Ze 複合シートを搭載した RAOC による淡水中養殖廃水 (FAWW) 中のサルファメトキシ (SMM) およびその分解生成物の除去性能を調査するとともに、共存物質による阻害影響を評価した。さらに、活性炭/TiO₂ 複合シートを搭載した RAOC による廃棄処分場浸出水生物処理水 (BTLL) 中の 1,4-ジオキサンの除去を検討した。

4) パイロットスケール装置の製作と処理特性の評価

積水アキュシステム株式会社および廣瀬製紙株式会社に所属する研究協力者の協力を得て、有効容積 100 L, 円板枚数 12 枚のパイロットスケール装置を製作した。円板の水没率は 29%, 回転数は 10 rpm とし、実験時の UVA の平均強度は 0.216 mW/cm² とした。純水中 CTM (初期濃度 100 µg/L) の処理特性を評価した。

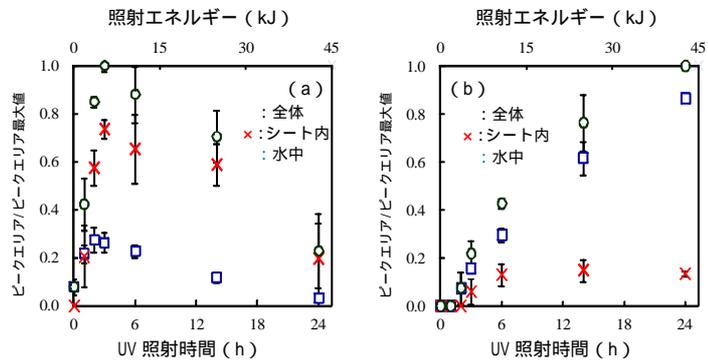
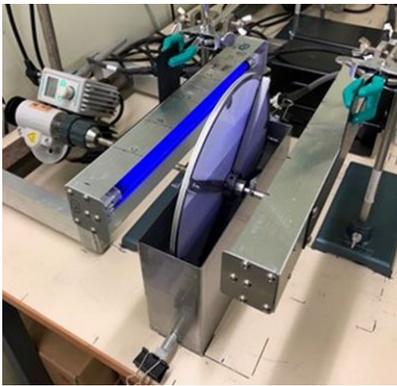


写真1 回転円板型促進酸化装置 図1 SMT主要分解産物の挙動(a: pH-OH, b: ADMP-20H) 雑誌論文2)

5) RO濃縮排水処理のモデル化と設計・操作因子の提示

TiO₂/Ze 複合触媒による SMT およびその分解生成物の除去機構のモデル化を行った。また、RAOCリアクター内の流動モデル作成に向けたPIV流体解析を行った。流体解析では長さ25cm、幅7cm、高さ14.5cmのガラス製リアクター(有効容積2L)内に、直径24.0cmの円板を水没率45%で取り付け、円板の回転速度を5rpm、10rpm、30rpmと50rpmの4段階に設定した。PIV用レーザー光源は高出力可能なDPGL-2W((株)日本レーザー)を使い、粒子追跡トレーサーとして比重1.02、粒径4μmのナイロンパウダー(日本カノマックス(株))を用いた。動画撮影では高解像度かつ高速度で撮影可能なFASTCAM Mini UX50((株)フォトロン)を用い、PIV流体解析ソフトウェアFlow Expert 2D(カトウ光研(株))を用いて流れの可視化と流速解析を行った。また、流れの3次元性を考慮し、円板と平行なXY断面や円板に垂直なXZ断面・YZ断面の中から代表的な断面15個を選定し、レーザー照射とPIV解析を行った。

6) 耐久性評価・単位消費エネルギー評価

合成繊維を利用して調製した複合シートをRAOCに搭載し、3ヶ月間の水中での連続運転を行うことにより、耐久性評価を行った。繊維/機能性材料の配合比やバインダー処理温度の異なるシートを湿潤環境下で紫外線(UV-C, 3mW/cm²)に暴露し、耐久性評価を行った。評価項目は湿潤紙力、IRスペクトル(NICOLET 6700, Thermo Fisher Scientific)、サルファメタジンの吸着/分解性能とした。太陽光照射下での純水中CTM(初期濃度100μg/L)のRAOC処理を実施した。また、太陽光照射下でのRAOCによるRO濃縮排水の長期処理性能を評価する目的で、CTM(初期濃度10mg/L)を添加したRO濃縮排水を処理時間7日ごとに交換し、計4Batch実施した。さらに、パイロットスケールのRAOCを用いて、UVA照射および円板の回転に要する消費エネルギーを個別に評価することで、スケールアップ時の消費エネルギーを評価した。

4. 研究成果

1) RO濃縮排水の性状と基本処理特性の評価

下水二次処理水からのCTMおよびその分解産物の除去特性について検討した結果、CTMはZeに急速に吸着され、二次処理水中での吸着性能は純水中での性能に極めて近かった。TiO₂/Ze複合材料を用いた場合、吸着速度はZeを単独で使用する場合より低下したが、吸着容量はほぼ同等であった。TiO₂によるCTMの光触媒分解は、CTM初期濃度が低い場合に二次処理水に共存する物質により大きく阻害された。一方、TiO₂/Ze複合材料を用いることにより、CTM初期濃度が低い場合には共存物質によるCTM除去の阻害が緩和されること、光触媒反応による分解産物も複合材料に吸着されることなどが明らかになった(データ省略:雑誌論文3参照)。下水二次処理水再生プラントで採取したRO濃縮排水(pH:7.8, TOC:10.1mgC/L, COD_{Cr}:22mg/L, 電気伝導率:170mS/m)を用いて、TiO₂/Ze複合シートによるRO濃縮排水からのCTMの除去特性を検討した。複合シートは、RO濃縮排水中のCTMを共存物質による明確な阻害なく吸着除去でき、UVA照射条件下ではCTMの吸着・光触媒分解が同時に進行した。CTM初期濃度が120μg/Lと低い条件では吸着・光触媒分解が速やかに進行した。主要な分解産物もシートに吸着されたことから、複合シートは促進酸化処理における分解産物による二次汚染も緩和しうることが明らかになった。

2) RAOCに適用するシートの最適化

RAOCに適用するシートの最適化に向けて、目標の歩留まり90%を達成できるカチオン性凝集剤およびアニオン性の凝集剤量をそれぞれ対固形分重量0.24、0.09%と決定し、この時のシート強度は回転円板への装着および運転に充分であることが示された。また、シート中の機能性材料の配合割合は70wt%まで高めることが可能であり、機能性材料の配合割合と要求される強度に応じて、バインダー繊維の配合量と乾燥温度を調整する必要が示された。合成繊維を利用して調製した複合シートをRAOCに搭載し、初期濃度10mg/LのSMT水溶液をラボスケールのRAOCにて処理した結果、6時間で約96%のSMTが水中から除去された。一方、シート中のSMT量は増加後に紫外線の照射によって減少したことから、吸着後に光触媒反応により分解されたと考えられた。スケールアップを見据えて短網型抄紙機を用いたTiO₂/Ze複合シートの連続生産を試みた結果、ラボスケールと同様の坪量218g/m²のシートを製造した際の機能性材料の歩留まりは98%以上であり、目標となる90%を上回る機能性材料の歩留まりを達成した。シート強

度に関して、引張強度はシートの流れ方向で 19.7 N であり、取り扱いに十分な強度を発現していた。また、RAOC に搭載して CTM の除去試験に供した際、ラボスケールで作製したシートと同程度の除去性能を示し、TiO₂/Ze 複合シートの連続生産の可能性が示された。

3) ラボスケール装置による RO 濃縮排水の処理特性評価と処理メカニズムの解明

RAOC による処理メカニズムを検討した結果、シート内の Ze による吸着と TiO₂ による光触媒分解により、水中の SMT が除去されることが示された。また、シート内の Ze との疎水的相互作用により、比較的疎水的な分解産物はシート内に保持されたのに対して、親水的な分解産物は水中に分配されることも明らかになった(図 1)。また、NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度の経時変化より SMT の無機化を評価した結果、RAOC による処理と粉末 TiO₂ による処理では無機化挙動が異なり、RAOC による処理では SMT のアミノ基の解離、スルホンアミド基の開裂とそれに引き続いてのアミノ基の解離がシート内で優先的に生じていることが強く示唆された。2018 年 9 月に採取した RO 濃縮排水 (pH: 7.8, TOC: 10.0 mgC/L, COD_{Cr}: 31 mg/L, 電気伝導率: 166 mS/m) に含まれる 53 種の医薬品類を分析し、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、CTM は 670 ng/L と三番目に高濃度となり、対象医薬品としての妥当性が確認された。RAOC を用いて 12 時間 UVA 照射を行うことにより、吸着率が 50% 未満の 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。また、2018 年 3 月に採取した RO 濃縮排水 (pH: 7.8, TOC: 10.5 mgC/L, COD_{Cr}: 28 mg/L, 電気伝導率: 156 mS/m) について、RAOC による吸着は生分解性に変化を与えなかったが、UVA 照射することで生分解性の向上が見られた。以上より、RAOC に短時間の UVA 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。PAC 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 UVA 照射を行うことにより、CTM 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捕捉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 濃縮排水の有機物および CTM 除去に有効であることが示された。RAOC による純水中の CTM 処理への水温影響評価実験では、温度上昇にともない吸着速度および分解速度が上昇するとともに、CTM 分解に対する協奏効果の増大が確認された。CTM の吸着処理、分解処理、吸着・分解処理における活性化エネルギーは、各々 30.4 kJ/mol, 48.7 kJ/mol, 44.9 kJ/mol であった。温度上昇により、CTM の分解生成物も速やかに除去された。また、実験条件の範囲では UVA 強度の上昇により CTM 分解速度定数は直線的に増加することが確認された。以上より、水温および UVA 強度が RAOC 処理における重要な影響因子であることが示された。TiO₂/Ze 複合シートを搭載した RAOC による淡水中養殖廃水 (FAWW) 中のサルファメトキシシ (SMM) およびその分解生成物の除去性能を調査した結果、共存物質による SMM の吸着および光触媒分解への阻害はみられず、FAWW 中でも SMM および分解生成物は速やかに除去された。RAOC を用いて FAWW 中 SMM の処理を連続で 5 Batch 実施した結果、SMM 除去性能は一定であり、RAOC は SMM および分解生成物の除去に有効であることが示された。さらに、抄紙技術により活性炭/TiO₂ 複合シートを搭載した RAOC による廃棄処分場浸出水生物処理水 (BTLL) 中の 1,4-ジオキサンの除去を検討した。粉末 TiO₂ を用いた場合、BTLL 中の共存物質の阻害により 1,4-ジオキサンはほとんど分解しなかった。一方、66 時間の RAOC 処理を行うことで、液相中 1,4-ジオキサンの 89% が除去され、また系内 1,4-ジオキサンの 81% が分解された。以上より、様々な廃水に含まれる微量有機化学物質の除去に RAOC を適用可能であることが示された。

4) パイロットスケール装置の製作と処理特性の評価

パイロットスケールの RAOC (P-RAOC) による純水中 CTM 除去性能を調査するとともに、ラボスケールの RAOC (L-RAOC) による CTM 除去性能と比較した。ラボスケール用の複合シート (LS) を搭載した P-RAOC (LS-P-RAOC) を用いた場合、UV 非照射下で 3 時間の吸着処理を行うことで、93% の CTM が吸着除去され、ラボスケール RAOC と同等の吸着性能を示した。吸着処理中における系内 CTM 量 (液相中 + シート中) は一定であり、CTM 吸着量は 0.2-0.3 mg/cm² であった。吸着平衡に達した後、装置上部から UVA を照射した結果、シート中 CTM が徐々に分解され、6 時間の UVA 照射により 34% の CTM が分解された。短網式型抄紙機により作製したシート (PS) を搭載した P-RAOC (PS-P-RAOC) を用いて CTM 除去を検討し、LS-L-RAOC と同様に、純水中 CTM の吸着・分解が可能であることを確認した。

5) RO 濃縮排水処理のモデル化と設計・操作因子の提示

TiO₂/Ze 複合触媒によるサルファメタジンおよび分解生成物の除去機構のモデル化を行った。吸脱着および光触媒分解について反応速度論に立脚したプロトタイプモデルを作成するとともに、実験操作上で定義される分画成分 (疎水性親物質 (P: SMT) 疎水性分解生成物群 (I₁, HSZ-385 に吸着される分解生成物) 親水性分解生成物群 (I₂, HSZ-385 に吸着されない分解生成物) 最終産物 (CO₂)) を仮定し、物質の変換に関しても検討を行った。サルファメタジンおよび定義される分解生成物の物質変換を再現可能とするとともに、物質画分の定義等、実験手法の高度化の提言に資するモデルとして提案できた。

粒子画像流速測定法による RAOC リアクターの流動特性の検討を行った結果、RAOC リアクター内の流れ構造は空間的に大きく変化しており、様々な渦を伴う複雑な 3 次元流れであることが明らかになった。円板の回転方向や円板から離れていく方向において、流速の大きな変化が見られ、速度勾配に起因する複雑な渦が存在する。円板周辺には、円板に向かう流れや円板か

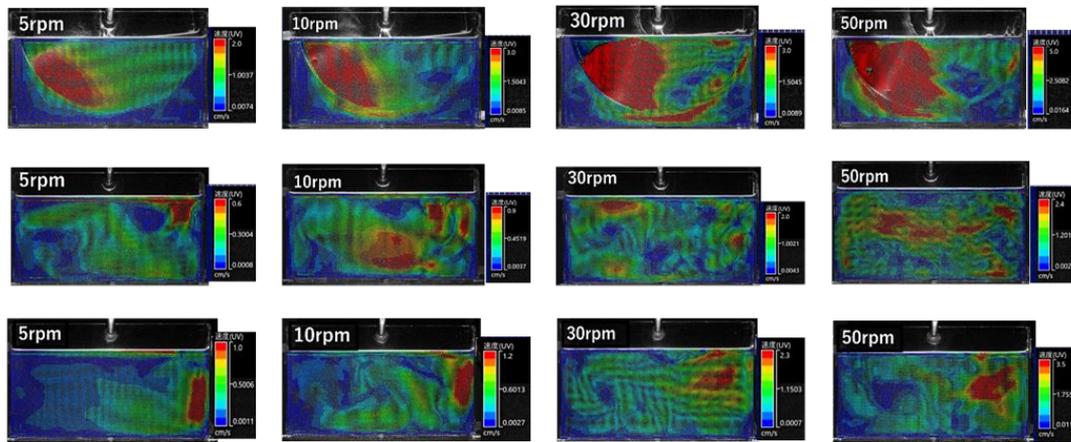


図 2 代表断面における流れ構造の変化（上：円板近傍；中：壁面と円板の間；下：壁面近傍）
 ら離れる流れが明確に現れ、活発な物質交換が行われる一方、リアクター壁面近傍では安定した渦が存在し、円板への物質供給が期待できない。また、回転速度の増加に伴い、リアクター内では流速の増加が見られるものの、流れ構造に大きな影響が見られない。一例として、回転速度の異なる各ケースにおいて、円板と平行する代表的断面における流速分布を図 2 に示す。

6) 耐久性評価・単位消費エネルギー評価

合成繊維を利用して調製した複合シートを湿潤環境下で UV に暴露して強制劣化試験を行った。UV 暴露後もシート強度は一定（約 15 N）であり、市販の紙と同等の強度であった。IR 分析より PET 繊維の化学構造に変化はなく、UV による劣化をほぼ受けけないことが示された。また、合成繊維を利用して調製した複合シートを RAOC に搭載し、3 ヶ月間の水中での連続運転を行った結果、複合シートは十分な強度を有することが示された。太陽光照射下での純水中 CTM(初期濃度 100 µg/L) の RAOC 処理を実施した結果、晴天時では、処理時間 60 分で 88% の CTM が分解されたとともに、分解生成物も除去されたことから、RAOC 処理に太陽光が有効であることが示された。さらに、CTM(初期濃度 10 mg/L) を RO 濃縮排水に添加し、RAOC 処理時間 7 日ごとに RO 濃縮排水を交換する計 4 Batch の太陽光照射実験を行った。Batch-1 および 2 では CTM は液相から完全に除去された一方、Batch-3 以降 CTM の残存が見られた。各 Batch でシート中 CTM の減少が確認されたことから、太陽光照射下でも RO 濃縮排水中 CTM を分解可能であることが示された。Batch2 以降、シート上にバイオフィームが形成され、CTM の除去量が低下した。太陽光照射下での RAOC による長期的 RO 濃縮排水の処理が可能であるものの、シート表面へのバイオフィーム形成が確認されたため、今後実用化に向けてシート洗浄方法の検討が必要となることが示唆された。また、パイロットスケールの RAOC による消費エネルギー評価を行った結果、光源を太陽光とすることにより水理学的滞留時間 3.5 h であれば目標値 1 kWh/m³ を達成可能なこと、また純水中 CTM(初期濃度 100 µg/L) の吸着処理では、処理時間 3 h でのクロタミトン除去率は 93% であり、微量化学物質 90% 除去の目標水質を達成可能なことが示された。なお、吸着された CTM は UVA 平均強度 0.216 mW/cm² の条件では 3h で完全に分解せず、太陽光照射方法の検討が今後の課題となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. Xiang Qun, Youhei Nomura, Shuji Fukahori, Tadao Mizuno, Hiroaki Tanaka, Taku Fujiwara: Innovative Treatment of Organic Contaminants in Reverse Osmosis Concentrate from Water Reuse: A Mini-Review, *Current Pollution Reports*, 査読有, accepted.
2. Shuji Fukahori, Misaki Ito, Taku Fujiwara: Removal mechanism of sulfamethazine and its intermediates from water by a rotating advanced oxidation contactor equipped with TiO₂/high-silica zeolite composite sheets, *Environmental Science and Pollution Research*, 査読有, 25, 29017-29025, 2018.
3. Qun Xiang, Shuji Fukahori, Youhei Nomura, Taku Fujiwara: Removal of Crotamiton and Its Degradation Intermediates from Secondary Effluent Using TiO₂-Zeolite Composites, *Water Science and Technology*, 査読有, 77, 788-799, 2018
4. Qun Xiang, Shuji Fukahori, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka and Taku Fujiwara: Removal of Crotamiton from Reverse Osmosis Concentrate by a TiO₂/Zeolite Composite Sheet, *Applied Sciences*, 査読有, 7, 778-793, 2017

〔学会発表〕(計 16 件) 以下に主要な 2 件を表示する。

1. Taku Fujiwara: Removal of contaminants of emerging concern from wastewater by a rotating Advanced oxidation contactor, 10th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries (Keynote Speech), 2019.

2. Taku Fujiwara: Development of a Rotating Advanced Oxidation Contactor with Composite TiO₂-Zeolite Sheet for Removal of Contaminants of Emerging Concern, the 4th International Water Congress: Water Management in Smart Cities (Keynote Speech), 2017.

〔図書〕(計1件)

1. 藤原 拓, 深堀 秀史: 酸化チタン・ゼオライト複合シートを活用した回転円板型促進酸化装置による水中の医薬品除去, 「機能紙最前線」~次世代機能紙とその垂直連携に向けて~, p.292, (株)加工技術研究会

〔産業財産権〕(計0件)

〔その他〕(計0件)

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 田中 宏明

ローマ字氏名: Hiroaki Tanaka

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 工学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 70344017

研究分担者氏名: 山下 尚之

ローマ字氏名: Naoyuki Yamashita

所属研究機関名: 愛媛大学

部局名: 農学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 90391614

研究分担者氏名: 李 善太

ローマ字氏名: Suntae Lee

所属研究機関名: 京都大学(当時)

部局名: 工学研究科(当時)

職名: 特定研究員

研究者番号(8桁): 60771962

研究分担者氏名: 深堀 秀史

ローマ字氏名: Shuji Fukahori

所属研究機関名: 愛媛大学

部局名: 紙産業イノベーションセンター

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 70617894

研究分担者氏名: 水野 忠雄

ローマ字氏名: Tadao Mizuno

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 工学研究科

職名: 講師

研究者番号(8桁): 00422981

研究分担者氏名: 張 浩

ローマ字氏名: Hao Zhang

所属研究機関名: 高知大学

部局名: 教育研究部自然科学系農学部門

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 90452325

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 黒住 悟(連携研究者)

ローマ字氏名: Satoru Kurozumi

研究協力者氏名: 岡田 祥司(連携研究者)

ローマ字氏名: Shoji Okada

研究協力者氏名: 野村 洋平

ローマ字氏名: Youhei Nomura

研究協力者氏名: 向 群

ローマ字氏名: Xiang Qun

科研費による研究は,研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため,研究の実施や研究成果の公表等については,国の要請等に基づくものではなく,その研究成果に関する見解や責任は,研究者個人に帰属されます。