

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2018～2020
課題番号：18H01566
研究課題名(和文) 水処理を目的とした自己再生能力の高いナノカーボン・二酸化チタン複合材料の新規開発

研究課題名(英文) Development of nanocarbon-TiO₂ composite showing high self-regeneration capacity for water treatment

研究代表者
吉村 千洋 (Yoshimura, Chihiro)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：10402091
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,990,000円

研究成果の概要(和文)：難分解性有機化合物や病原微生物の除去を目的として、ナノカーボン材料の簡易生成法の開発、またその金属触媒との複合材料の最適化および反応特性の解明を実施した。さらに、最適化した磁性カーボンナノチューブと酸化チタンの複合材料について、下水の二次処理水での除去特性を調べ、難分解性有機化合物および微生物の吸着・光触媒分解の解明とモデル化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義
帯磁性ナノカーボン材料の簡易製法を示し、また、複合材料を水処理に最適化したことは、複合材料の利点を生かした反応器の設計に有効となる。また、天然溶存有機物が共存する系における複合材料表面での反応特性を、光触媒反応の阻害要因も含めてモデル化する手法を示した。そして、このような複合材料は太陽光照射下でも水処理が可能であり、また再生利用が可能であることから、本研究で得られた知見は今後の関連研究や水処理での活用が期待される。

研究成果の概要(英文)：To remove persistent organic compounds and pathogenic microorganisms from water, we developed simple methods for preparing nanocarbon materials, optimized those composites with metal catalysts, and elucidated their reaction characteristics. The optimized composite material of magnetic carbon nanotubes and titanium dioxide was further investigated on its performance in secondary treated water of sewage, which led to elucidation and modeling of adsorption and photocatalytic degradation of organic pollutants and microbes.

研究分野：土木環境システム

キーワード：ナノカーボン 吸着 光触媒 再生能力 水処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

増加を続ける化学物質による水環境汚染は世界的な問題であり、水道水源への混入、多くの農薬や医薬品などの難分解性物質の環境中での蓄積、またそれによる生態系への影響が懸念されている。このような安全な水の確保と水域生態系の保全是、国連開発計画の持続可能な開発目標 (SDGs) で示されているように世界的に重要な課題である。

この環境問題に対して、近年開発が進んでいるナノカーボン材料のポテンシャルは高い。2000年以降、工業、医療、環境など多くの分野でその活用が進められており、水処理分野でも吸着材としての活用事例が基礎研究として報告されている。その比表面積は粉末活性炭と同程度であるが、活性炭と比較すると一般的に吸着速度が早く、磁性化することで容易に回収でき、表面修飾による反応の選択性を高めることが可能である。よって、微生物を用いた生物処理に比べて制御しやすくシステムをコンパクトにでき、さらに材料の再生が比較的容易にできることから、新たな水処理技術への応用が期待されている。

しかし、現段階では依然として材料自体の特性を示す基礎的な研究報告が多く、既存の活性炭吸着や促進酸化処理などの水処理手法を転換する段階に至っていない。そのために水処理プロセスへの最適化が求められており、具体的には除去能力、再生能力、表面活性の安定性などを高め、コストを下げるのが重要な課題となっている。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、ナノカーボン材料に金属触媒を組み合わせ、吸着と光触媒反応による再生能力の高い複合材料を開発し、維持管理が容易で高効率な促進酸化処理を実現する知見を得ることを目的とした。特に“再生能力”と“表面活性の安定性”の観点から、帯磁性カーボンナノチューブと二酸化チタンの複合材料を中心として新たな複合材料を開発し、難分解性有機化合物や病原微生物の除去効果を解明することで、高度な水処理としての適用性も示した。

3. 研究の方法

難分解性有機化合物や病原微生物の除去効果の観点で、ナノカーボン材料と二酸化チタンの複合材料を対象として、簡易生成法の開発、物性や水処理特性の解明・モデル化、最適化、下水二次処理への適用を、東京工業大学および東北大学の共同研究として実施した。各個別研究の研究方法は以下の通りである。

1) ナノカーボン材料の簡易生成法の開発

帯磁性吸着材ナノカーボン材料を安価に大量合成するプロセスを開発することを目的として、ディーゼルエンジンを用いた鉄・炭素複合微粒子の合成を行った。軽油に鉄源としてフェロセンを溶解させた燃料を用いてディーゼルエンジンを運転し、静電集塵機を用いて排ガス成分に含まれる鉄・炭素複合微粒子を回収し、帯磁性吸着材としてその性能を評価した。

2) カーボンナノチューブを用いた複合材料開発と水処理への応用

帯磁性カーボンナノチューブと二酸化チタンの複合材料 (MCNT-TiO₂) を、敢えて純度の低い工業グレードのカーボンナノチューブを活用した生成方法を実験的に検証した。その際、両者の配合比を変えた複数の材料を準備して、微量有機汚染物質の除去実験に供し、さらに表面特性の分析および反応プロセスのモデル化を行うことで、吸着機構を解明し、水処理に最適な複合材料を示した。実験で対象とした汚染物質は、代表的な染料および水環境中での検出頻度が高い医薬品 (カルバマゼピンやスルファメトキサゾール) とした。

そして、国際腐植物質学会から入手した3種類の天然有機物 (NOM) を用いて、MCNT-TiO₂ を用いた医薬品の処理プロセスにおける天然有機物の阻害作用を解明した。まず、実験的に天然有機物の阻害作用 (インターフィルター効果、競合吸着、活性酸素捕捉効果) をそれぞれ定量評価し、その上で、分光蛍光光度計を活用して天然有機物中の主要成分ごとに阻害作用の程度を明らかにした。各阻害作用が組み込まれた反応速度モデルを適用することにより、天然有機物存在下では活性酸素捕捉効果が最も重要なメカニズムであることを示した。

さらに、MCNT-TiO₂ を用いた水処理プロセスの有効性を明確にするために、河川水および下水の二次処理水にカルバマゼピンを添加した系で実験を行い、実際の水処理に近い状態で複合材料の有効性および水質マトリックスの影響を確認した。

3) 金属有機構造体の複合材料の開発と水処理への応用

金属有機構造体として UiO-66 を採用し、酸化グラフェン (GO) との複合材料を異なる配合比で生成した。まず GO を N,N-ジメチルホルムアミド (DMF) 溶液中で、超音波処理を施した。各 GO 溶液を塩化ジルコニウム(IV)および H₂BDC を順に添加し、その後、120 °C で 24 時間水熱反応させた後、遠心分離、DMF とメタノールでの洗浄、そして凍結乾燥させることで複合材料 (UiO66_GO) を準備した。そして、UiO66_GO をナノろ過膜上に固定することで新規のナノろ過膜 (UiO66_GO NF Membrane) を開発した。各種複合材料およびナノろ過膜を対象として、官能基、比表面積、多孔度、吸光特性、親水性、表面形状、孔径分布、物理的安定度を分析するこ

とで各材料の物理化学的特性を評価した。その上で、UiO-66_GO の複合材料に関して光触媒としての特性を、下水処理水中に見られる代表的な医薬品としてカルバマゼピンを除去対象とした水中での分解実験を行った。その結果を表面積と多孔性、光吸収特性、バンドギャップと関連付けるとともに、この複合材料の安定性についても検証した。

4) カーボンナノチューブを用いた複合材料開発の微生物処理への応用

MCNT-TiO₂ を使った大腸菌の消毒実験を実施して、太陽光照射における不活化効果を定量評価した。磁性カーボンナノチューブ (MCNT) と二酸化チタン (TiO₂) の複合体は、TiO₂ および MCNT よりも光触媒による殺菌効率や操作性が向上する。しかし、消毒プロセスにおける MCNT の役割やメカニズムはまだ明らかになっていない。そこで、MCNT-TiO₂ 複合体を用いて、様々な条件 (光や活性酸素種消去剤の有無、MCNT-TiO₂ 比の違い) と光触媒による消毒モデルで大腸菌の消毒メカニズムを調べた。さらに、同材料を用いて水中ウイルス除去・不活化効率も評価した。試験ウイルスにはマウスノロウイルスを用いた。マウスノロウイルスを磁性光触媒材料と混合し、一定時間の攪拌後、フィルター (孔径 0.20μm) で濾過することで、磁性光触媒材料に吸着しなかったマウスノロウイルスを回収した。攪拌の際、磁性光触媒材料による活性酸素種の発生を期待して、光照射条件下でも実験を行った。

4. 研究成果

1) ナノカーボン材料の簡易生成法の開発

ベース燃料である軽油に鉄源としてフェロセンを溶解させてディーゼルエンジンを運転させたところフェロセン濃度が 0~10,000ppm 範囲では長時間に渡って安定的にエンジンを運転可能であった。排ガス中から静電集塵機を用いて回収した鉄・炭素複合粒子を用いてメチレンブルーを用いた有機物の吸着実験を行ったところ、図 1 に示すようにメチレンブルーに対して最大で 14mg/g の吸着量が得られた。また、回収した複合微粒子の表面から SOF (soluble organic fraction) 分を除去することで吸着容量が増加するという知見が得られた。合成された複合微粒子を磁力回収することが可能かを調べるために、内径 19mm のガラス製バイアル瓶 (肉厚 1.5mm) に複合微粒子 2500ppm を含む溶液 5mL を充填し、ガラス瓶の外側に置いたネオジム磁石を用いて磁力回収を行ったところ、約 5min でほぼ全量の複合微粒子がガラス壁表面に凝集し、磁力回収が可能であることが示された。

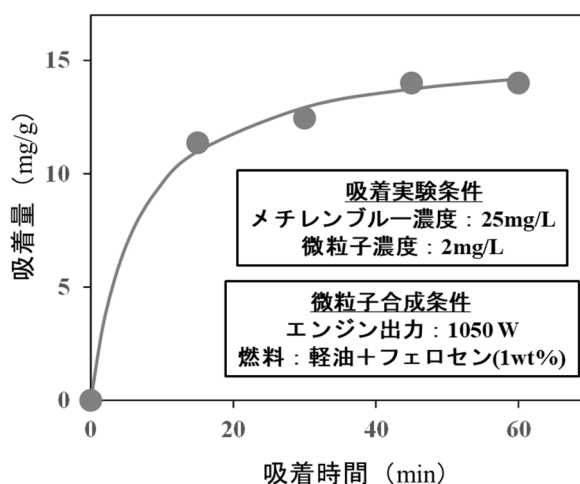


図 1. ディーゼルエンジンで合成した鉄・炭素複合微粒子を用いた吸着実験結果の例

2) カーボンナノチューブを用いた複合材料開発と水処理への応用

医薬品除去のための帯磁性カーボンナノチューブ-TiO₂ の作成では、工業グレードのカーボンナノチューブを活用した CNT-TiO₂ の合成方法を提案し、その方法で生成した複合材料の表面特性を解明した。また、純水中での PPCPs の吸着速度・容量と光触媒酸化速度 (紫外線および疑似太陽光照射下) を実験的に測定した結果、MCNT-TiO₂ の配合比を変えた実験の結果、両者の重量比が 1:5 の場合に医薬品に対する除去性能が最大になることが示された。

水環境には医薬品や農薬のような難分解性有機化合物が低濃度で存在するので、それらの汚染物を除去するために MCNT の適切さを検討した。低濃度において、活性炭と比べて MCNT がより高い吸着容量を示したので、MCNT が残留医薬品や農薬の除去には最適だと考えられる。また、メチレンブルーおよびメチルオレンジの吸着実験結果から、両者に対する吸着容量はほぼ同等のため、MCNT の吸着の主となる機構は極性官能基によらない π-π 相互作用によるものと考えられる。医薬品および農薬の構造には芳香族基がほとんど存在して π 電子を有するため、MCNT がそれらの汚染物に高い親和性を示すと考えられる。さらに、拡張ラングミュア式を用

いる解析から、MCNT 上の吸着が多層吸着ということがわかった (図 2)。 π - π 相互作用吸着によってベンゼン環の積み重ねが可能であるため、この結果は π - π 相互作用による吸着が MCNT の主となる吸着機構ということを示唆した。

そして、複合材料の継続的な利用を想定した再生能力に関する実験の結果、自己再生能力により約 6 割程度の除去率が維持できるが、定期的な紫外線および可視光による再生プロセスにより、有機微量汚染物質の除去性能が 8 割程度で維持できることも示された (図 3)。

そして、下水処理への適用可能性を明確にするために、天然有機物共存下における有機化合物の除去プロセス (吸着、光触媒) の解明も進めた。3 種類の天然有機物および複合材料 (MCNT-TiO₂) を用いた実験から、それらが医薬品の分解課程における各阻害作用 (インターフィルター効果、競合吸着、活性酸素捕捉効果) を、それぞれ反応モデルのパラメータに組み込むことで、各阻害作用の相対的重要度を評価した。つまり、各阻害作用が組み込まれた反応速度モデルを適用し、それらの相対的重要度を Point Elasticity により比較したところ、活性酸素捕捉効果、インターフィルター効果、競合吸着の順で影響が強いことが示された。つまり、天然有機物存在下では活性酸素捕捉効果が最も重要なメカニズムであり、さらに天然有機物の構造特性次第でその影響が変化することも示唆された。

また、水質マトリックスの効果が光触媒分解に与える影響を、河川水および下水の二次処理水にカルバマゼピンを添加した系で実験を行った。その結果、河川水では陸域由来の有機物が阻害作用を示す一方、下水処理水中では微生物由来の有機物が重要となること、また、その効率を電気エネルギー効率で比較しており、天然有機物を含む水質特性に応じて効率が変化することを解明した。

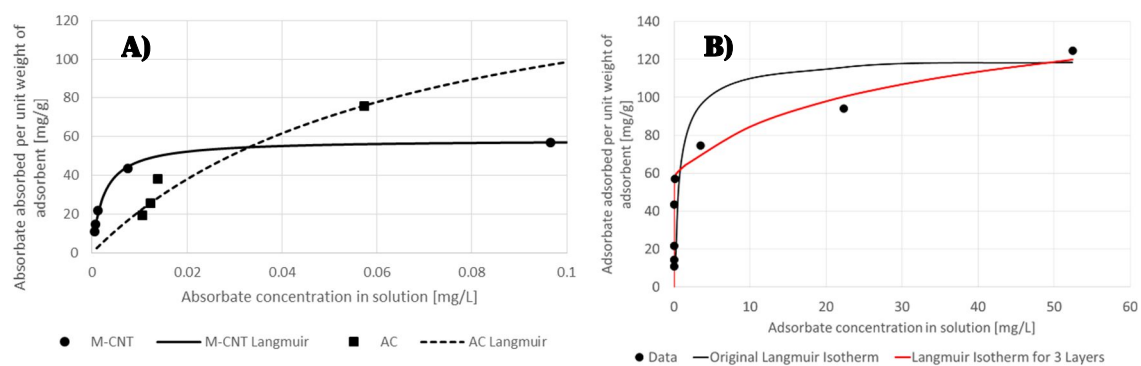


図 2 . A) 活性炭と m-CNT の低濃度の吸着挙動の比較、B) ラングミュア式および拡張ラングミュア式の適用結果

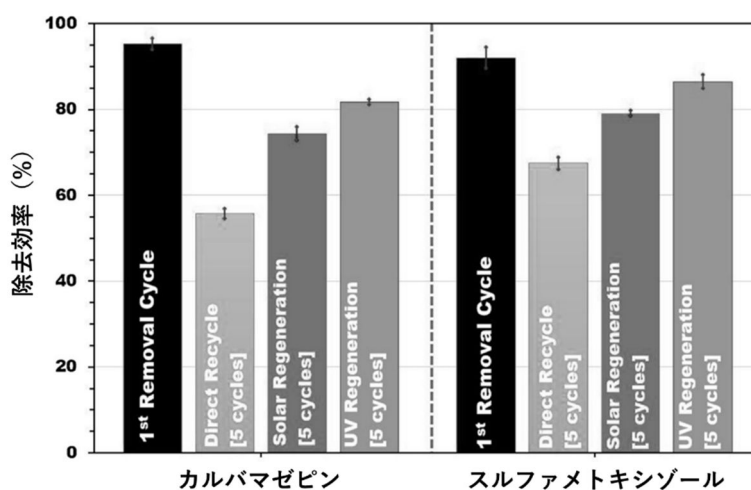


図 3 . 複合材料 MCNT-TiO₂ (1:5) を用いたカルバマゼピンとスルファメトキサゾールの光分解の繰返し実験の結果および再生処理方法の影響。初期濃度 150 μ g/L、触媒量 = 0.1g/L、pH = 7 \pm 0.2、温度 = 26 \pm 3 $^{\circ}$ C で行った実験結果。データとエラーバーは平均値と標準偏差を示す。

3) 金属有機構造体の複合材料の開発と水処理への応用

金属有機構造体の複合材料 (UiO66_GO) として、その複合材料を固定したナノろ過膜に関して、物性や水処理特性を実験的に解明した。官能基、比表面積、多孔度、吸光特性、親水性、表面形状、孔径分布、物理的安定度などに関して、UiO-66 に対する酸化グラフェンの重量比が 0% ~ 5% の範囲でその物性を評価した結果、複合材料 (UiO66_GO) のナノろ過膜に対する適切な重

量比が 5% ~ 15%であることを示している。さらに、ナノろ過膜の安定性の観点でもこの重量比が適切であった。

複合材料 (UiO-66_GO) に関して光触媒としての特性を実験的に調べた結果、下水処理水中に見られる代表的な医薬品としてカルバマゼピンを除去対象とした場合、光触媒分解の反応速度定数は最大 0.014 min^{-1} (酸化グラフェンの重量比 0.5% の場合) となり、UiO-66 単体での反応速度定数と比較すると 1.7 倍であった。酸化グラフェンによる反応速度の増加は、表面積と多孔性の増加、光吸収特性の向上、バンドギャップの狭小化によることと推測しており、この複合材料の安定性についても検証した。

複合材料とナノろ過膜を異なる重量比で組み合わせ、それらのろ過性能を調べた結果、複合材料はナノろ過膜のろ過流速を最大で 87% 増加させ、また、不可逆的なファウリング比を 20.7% から 2.4% に減少させた。膜洗浄を伴う繰り返し過実験の結果では、複合材料の重量比 10% 以下で比較的高い物理的安定性が示された。そして、ろ過流速、ファウリング特性、物理的安定性を総合評価した結果として、複合材料の重量比 10% が最適重量比であった。

以上のように、金属有機構造体の複合材料 (Zr-MOF/GO) を組み合わせることで、光触媒活性を示しかつ濾過効率の高いナノろ過膜の開発に成功した。この複合材料によるナノろ過膜のろ過流速が増加し、不可逆的なファウリング比は減少したことから、この複合材料がナノろ過膜の流速と抗ファウリング特性を大きく向上させることが示された。本研究は酸化グラフェンと金属有機構造体を組み合わせた複合材料が、ナノろ過膜による水処理特性を流速と抗ファウリング特性の点で大きく向上させることを実証しており、今後、水処理技術に貢献することが期待される。

4) カーボンナノチューブを用いた複合材料開発の微生物処理への応用

複合材料 MCNT-TiO₂ を用いて、様々な条件で光触媒による消毒モデルで大腸菌の消毒メカニズムを調べた結果、MCNT およびその複合材料は、TiO₂ よりも高い殺菌効率を示し、物理的な細菌の捕捉が主な殺菌メカニズムであることが示された。また、対象とした実験条件では、最適な MCNT と TiO₂ の比率が 5:1 のときに高い殺菌率が得られたこと、MCNT-TiO₂ を用いた光触媒による殺菌に影響を与える活性酸素種はヒドロキシルラジカルであること、そして、実験パラメータ (すなわち、炭素含有量、表面積、表面張力など) の間には明確な相関関係があることが示された。また、実験パラメータ (炭素含有量、表面積、MCNT-TiO₂ 濃度) と物理反応および光触媒反応の寄与率との間にも有意な相関関係があることも示された。

そして、マウスノロウイルスを対象とした実験の結果、本実験の条件下においては、疑似太陽光照射 (及び活性酸素種の発生) による消毒効果は有意でなかったが、磁性光触媒材料への吸着がマウスノロウイルスの水中からの除去に貢献可能であることが示された (図 4)。また、磁性光触媒材料とマウスノロウイルスの吸着動力学プロファイルは Pseudo second order モデルで説明できることが明らかとなった。

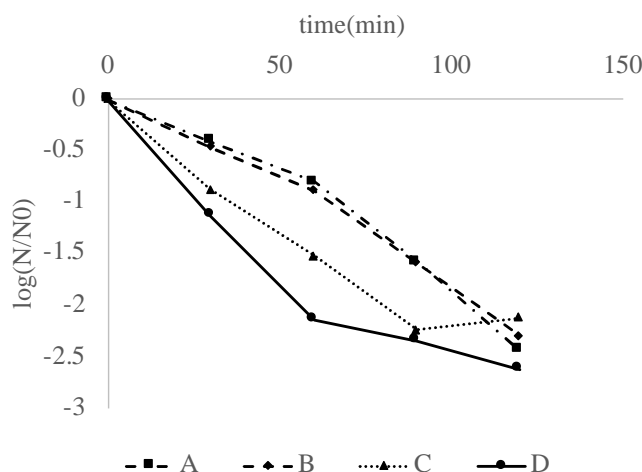


図 4 . 複合材料 MCNT-TiO₂ によるマウスノロウイルスを除去。条件 A は磁性光触媒材料添加無し・光照射 (疑似太陽光) 有り、条件 B は磁性光触媒材料添加無し・光照射無し、条件 C は磁性光触媒材料添加有り・光照射有り、条件 D は磁性光触媒材料添加有り・光照射無しである。

以上より、本研究は難分解性有機化合物や病原微生物の除去を対象として、ナノカーボン材料の簡易生成法の開発、そしてその金属触媒との複合材料 (主に MCNT-TiO₂、Zr-MOF/GO) の反応特性を解明し、複合材料の水処理への活用や更なる材料の改良に有効となる知見を得た。NOM による反応阻害や微生物との接触効率などについては、さらなる効率の向上が求められるが、太陽光が利用可能である点、また維持管理が容易となる点など、ナノカーボン材料と金属触媒の複合材料の利点を生かした反応器の設計に有効となる成果を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Awfa Dion, Ateia Mohamed, Fujii Manabu, Yoshimura Chihiro	4. 巻 174
2. 論文標題 Photocatalytic degradation of organic micropollutants: Inhibition mechanisms by different fractions of natural organic matter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water Research	6. 最初と最後の頁 115643 ~ 115643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.watres.2020.115643	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Awfa Dion, Ateia Mohamed, Fujii Manabu, Yoshimura Chihiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Novel Magnetic Carbon Nanotube-TiO ₂ Composites for Solar Light Photocatalytic Degradation of Pharmaceuticals in the Presence of Natural Organic Matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Water Process Engineering	6. 最初と最後の頁 100836 ~ 100836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jwpe.2019.100836	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ateia Mohamed, Alalm Mohamed Gar, Awfa Dion, Johnson Matthew S., Yoshimura Chihiro	4. 巻 698
2. 論文標題 Modeling the degradation and disinfection of water pollutants by photocatalysts and composites: A critical review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 134197 ~ 134197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2019.134197	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shimizu Yuta, Ateia Mohamed, Wang Manna, Awfa Dion, Yoshimura Chihiro	4. 巻 235
2. 論文標題 Disinfection mechanism of E.coli by CNT-TiO ₂ composites: Photocatalytic inactivation vs. physical separation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 1041 ~ 1049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2019.07.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Awfa Dion, Ateia Mohamed, Fujii Manabu, Yoshimura Chihiro	4. 巻 31
2. 論文標題 Novel Magnetic Carbon Nanotube-TiO ₂ Composites for Solar Light Photocatalytic Degradation of Pharmaceuticals in the Presence of Natural Organic Matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Water Process Engineering	6. 最初と最後の頁 100836 ~ 100836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jwpe.2019.100836	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Awfa Dion, Ateia Mohamed, Fujii Manabu, Johnson Matthew S., Yoshimura Chihiro	4. 巻 142
2. 論文標題 Photodegradation of pharmaceuticals and personal care products in water treatment using carbonaceous-TiO ₂ composites: A critical review of recent literature	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water Research	6. 最初と最後の頁 26 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.watres.2018.05.036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimizu Yuta, Ateia Mohamed, Yoshimura Chihiro	4. 巻 203
2. 論文標題 Natural organic matter undergoes different molecular sieving by adsorption on activated carbon and carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 345 ~ 352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2018.03.197	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saipetch Kornravee, Khanal Rajendra, Yamazaki Masaki, Fu Qing-Long, Yoshimura Chihiro, Jin Xin Kai	4. 巻 未定
2. 論文標題 Exploring the fluorescence quenching interaction of amino acids and protein with natural organic matter by a multi-spectroscopic method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water Supply	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2166/ws.2021.103	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saipetch Kornravee, Khanal Rajendra, Yoshimura Chihiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Empirical equation for the correction of fluorescence quenching of proteinaceous substance by Suwannee river natural organic matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water Practice and Technology	6. 最初と最後の頁 344 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2166/wpt.2021.001	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Awfa Dion, Ateia Mohamed, Mendoza David, Yoshimura Chihiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Quantitative Structure - Property Relationship Predictive Models to Water Treatment: A Critical Review	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS ES&T Water	6. 最初と最後の頁 498 ~ 517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsestwater.0c00206	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Manna, Ateia Mohamed, Awfa Dion, Yoshimura Chihiro	4. 巻 268
2. 論文標題 Regrowth of bacteria after light-based disinfection - What we know and where we go from here	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 128850 ~ 128850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2020.128850	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Heu Rina, Ateia Mohamed, Yoshimura Chihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Photocatalytic Nanofiltration Membrane Using Zr-MOF/GO Nanocomposite with High-Flux and Anti-Fouling Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 711 ~ 711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal10060711	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Heu Rina, Ateia Mohamed, Awfa Dion, Punyapalaku Patiparn, Yoshimura Chihiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Photocatalytic Degradation of Organic Micropollutants in Water by Zr-MOF/GO Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 54 ~ 54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs4020054	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sano Daisuke, Watanabe Ryosuke, Oishi Wakana, Amarasiri Mohan, Kitajima Masaaki, Okabe Satoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Viral Interference as a Factor of False-Negative in the Infectious Adenovirus Detection Using Integrated Cell Culture-PCR with a BGM Cell Line	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food and Environmental Virology	6. 最初と最後の頁 84 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12560-020-09453-x	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhu Yifan, Kawai Hiroki, Hashiba Satoshi, Amarasiri Mohan, Kitajima Masaaki, Okabe Satoshi, Sano Daisuke	4. 巻 25
2. 論文標題 The Effect of GD1a Ganglioside-Expressing Bacterial Strains on Murine Norovirus Infectivity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 4084 ~ 4084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules25184084	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Shin NISHIDA, Nasrin Hossein Nedjad, Shinsuke MORI, Chihiro YOSHIMURA
2. 発表標題 Synthesis of magnetic particle using diesel engine and its application to water purification process
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nasrin HOSSEIN NEDJAD, Shinsuke MORI
2. 発表標題 Decomposition of Methylene Blue in Aqueous Solution by Pulsed DC Discharge on Liquid Surface
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinsuke Mori
2. 発表標題 Nano-structural control of carbon-based thin films by PECVD and their surface modification
3. 学会等名 16th International Conference on Plasma Surface Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinsuke Mori, Ryo Suzuki, Yusei Matsumura, Youhei Anekawa
2. 発表標題 Synthesis of Parallelized Carbon Nanowalls by ECR Plasma
3. 学会等名 The 7th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dion Awfa, Mohamed Ateia, Manabu Fujii, Chihiro Yoshimura
2. 発表標題 Simple Fabrication of Economically-Viable Magnetic Carbon Nanotubes-TiO ₂ Composite for Degradation of Organic Pollutants
3. 学会等名 IWA World Water Congress & Exhibition 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chihiro Yoshimura, Yuta Shimizu, Dion Awfa
2. 発表標題 Potential of Nano-carbon Materials for Treating Organic Compound in Effluent Water
3. 学会等名 the 1st International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISICChem) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dion Awfa, Yuta Shimizu, Mohamed Ateia, Manabu Fujii, and Chihiro Yoshimura
2. 発表標題 A simple fabrication to prepare magnetic carbon nanotube-TiO2 composite for carbamazepine photodegradation in water
3. 学会等名 7th EuCheMS Chemistry Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Li Cui, Chihiro Yoshimura.
2. 発表標題 Meta-analysis of photocatalytic degradation of pharmaceuticals and personal care products in water
3. 学会等名 The 13th AUN/SEED-Net Regional Conference on Chemical Engineering 2020 (RCChE-2020) jointly held with the 5th International Symposium on Conservation and Management of Tropical Lakes (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	森 伸介 (Mori Shinsuke) (80345389)	東京工業大学・物質理工学院・准教授 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐野 大輔 (Sano Daisuke) (80550368)	東北大学・環境科学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	クルニアワン ウィナルト (Kurniawan Winarto) (60719558)	東京工業大学・環境・社会理工学院・助教 (12608)	
研究分担者	日野出 洋文 (Hinode Hirofumi) (50165130)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関