

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04310

研究課題名（和文）太陽光を活用した畜産環境の完全浄化及び革新的バイオガス変換システムの開拓

研究課題名（英文）Complete purification of livestock environment using sunlight and development of innovative biogas conversion system

研究代表者

楊 英男（Yang, Yingnan）

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：50561007

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：高アンモニア含有畜産廃棄物の持続可能な処理は環境創成学を基盤とする資源循環、再生可能エネルギー・バイオマス利活用など多くの分野に関わる課題である。本研究では、太陽光を活用した持続可能な畜産廃棄物の光触媒浄化及び光メタン発酵システムを開発するための研究基盤を確立することが目的として進め、太陽光を活用した畜産廃棄物からのバイオエネルギー回収、有害物質分解、殺菌処理を同時実施できる持続可能な資源循環システムを構築し、低コスト、高効率、簡便な操作による嫌気性消化プロセスの開発を進め、太陽光利用した嫌気性発酵におけるアンモニア阻害の軽減および資源循環とバイオエネルギー回収の実現は可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽光を利用できる安全で極めて高い浄化・殺菌効果が持つ新規光触媒の開発を成功し、材料工学の発展を誘引できる。本研究の遂行により、低コスト高効率畜産廃棄物の脱臭・殺菌システムの構築ができる。光照射によるメタン生成菌の活性向上のメカニズム解明は、先例がなく生物工学の応用研究へ発展可能な未来の創出を期待できる。材料工学と生物工学の学術分野を融合することで廃棄物処理、エネルギー回収と環境浄化を同時に実現できる一石三鳥の効果を創出する。今後、環境・エネルギー・健康分野に有効な基盤を提供でき、生産や生活に関わる資源循環と環境浄化技術の普及と広範な利用、新市場の創出にも寄与するものと考えている。

研究成果の概要（英文）：Sustainable treatment of ammonia-rich livestock waste is an issue related to many fields such as resource recycling based on environmental creation and utilization of renewable energy and biomass. The purpose of this research is to develop a photocatalytic purification and photo-methane fermentation system for sustainable livestock waste by using solar light. We have established a sustainable resource recycling system that can decompose the harmful substances, sterilize the pathogenic bacteria and carry out bioenergy recovery simultaneously. In addition, the developed anaerobic digestion processes with low cost, high efficiency, and simple operation. It has become possible to reduce ammonia inhibition and realize resource recycling and bioenergy recovery.

研究分野：環境生物工学

キーワード：太陽光利活用 畜産廃棄物 光メタン発酵システム 光触媒浄化 物質循環

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

畜産廃棄物は貴重なバイマス資源であり、適切な処理・回収技術を活用すれば廃棄物処理と同時にバイオエネルギーを得られ、持続可能な資源循環システムの構築が可能になる。これまで、畜舎における悪臭対策としては、畜舎に水を噴霧しアンモニアなど水に吸収される臭気成分を除去する技術などが用いられ、また、紫外線を利用する TiO_2 光触媒を用いた脱臭対策も提案されているが、処理効果、コストや安全面が懸念されており、実用化には至っていない。さらに現在、畜産糞尿を処理するため嫌気性消化技術の開発が注目されている。しかし、窒素含有量が極めて高い畜産廃棄物に含まれるアンモニアが嫌気性消化の最終代謝産物として嫌気性消化プロセスを阻害(アンモニア阻害)することが問題となっている。さらに、発酵システムで発生する廃水の浄化、放流前の殺菌処理の効率化の実現が畜産産業の持続発展に不可欠な技術開発課題である。本研究は、これまでの研究成果を発展させるため、太陽光を光の照射源として利用し、光触媒による脱臭、浄化、殺菌を実現し、また、太陽光を照射光源とした光メタン発酵という革新的なバイオガス変換システムを新規に構築することを着目し、畜産環境の完全浄化と画期的な資源循環を実現と同時に、材料工学と生物工学の学術分野を融合することによる新学術領域の開拓が可能であるとの仮説から本研究を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、太陽光を励起光とする安全で極めて高い浄化・殺菌効果を持つ新規光触媒を用い、畜産廃棄物の脱臭、浄化、殺菌システムを開発し、その機構を解明・確定する。また、太陽光照射によるメタン生成菌に与える影響を考察し、光メタン発酵メカニズムを解明する。さらに太陽光を活用した持続可能な畜産廃棄物の光触媒浄化及び光メタン発酵システムを開発するための研究基盤を確立することが目的である。

3. 研究の方法

太陽光利用できる新規光触媒材料を合成し、その材料とアンモニアの相互作用による活性種を同定することによって、光触媒脱臭処理のメカニズムを解明する。また、脱臭性に優れた脱臭・浄化デバイスの作製を行い、光触媒脱臭システムの最適化を推進する。光メタン発酵において、光照射強度、照射時間、アンモニア濃度、バイオガス濃度、ガス生成量、pH、アンモニア性窒素の濃度変動、TOCの除去率、微生物の活性など各項目を検討し、リアクターにおける微生物叢の解析、補酵素量の測定を行い、光刺激によるメタン変換率の促進と微生物活性化のメカニズムを解明する。さらに、太陽光を活用した畜産環境の浄化、バイオエネルギーの回収、有害物質の分解、殺菌処理の評価を行い、持続可能な畜産廃棄物資源循環システムの構築を行った。

4. 研究の成果

- (1) 太陽光利用できる新規光触媒材料 $\text{Ag/Ag}_2\text{O/BiPO}_4/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ の開発が成功した(図1)。作製した材料の物理化学特性及び表面特徴の分析を行い、高い光活性を持つメカニズムを解明した(図2)。

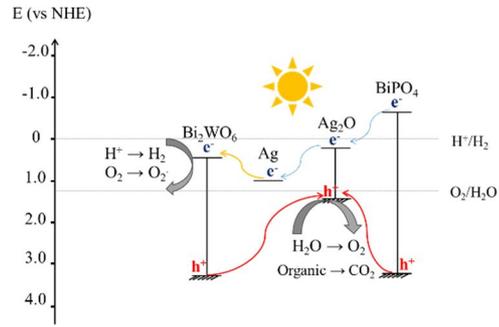
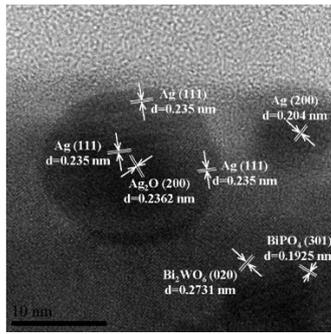


図1 Ag/Ag₂O/BiPO₄/Bi₂WO₆のTEM 図2 Ag/Ag₂O/BiPO₄/Bi₂WO₆のメカニズム

(2) 太陽光を光源とした光メタン発酵におけるの光照射強度と照射時間との関係は RSM 評価モデルを用いて評価し、高濃度アンモニア条件でのメタン発酵における光照射の最適条件を確立した(図3)。

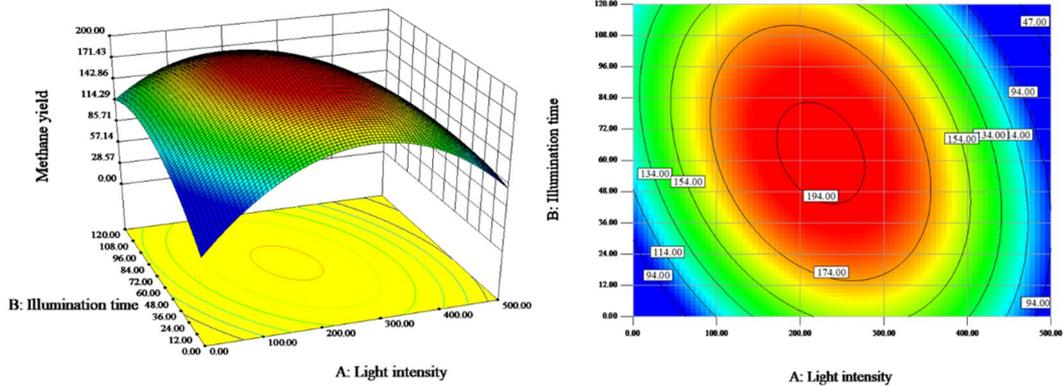


図3 RSM 評価による高濃度アンモニア条件でのメタン発酵における光照射の最適条件

(3) 光メタン発酵メカニズム解明するため、光照射強度、波長範囲、照射時間の変化によるメタン菌に与える影響を検討し、また、ATP やメタン生成菌の持つ重要な補酵素 F420 量の測定による微生物活性変化を把握することによって、光刺激による微生物活性化のメカニズムを解明した。さらに、微生物の菌叢解析より、光メタン発酵における主な関連微生物が明らかになった(図4)。

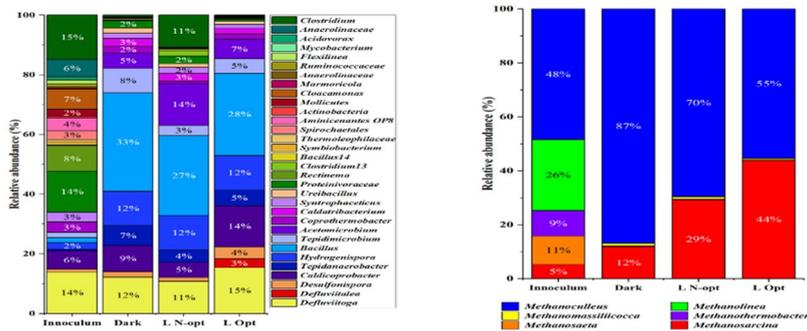


図4 光メタン発酵における主な関連微生物

(4) 太陽光利用できる光触媒を用いて、大腸菌など水環境における微生物の殺菌効果を検討し、通常材料より数百倍高い殺菌効果が得られ、システム処理水の循環利用と環境へ放出する前の浄化・殺菌の有効性が確認できた(図5)。太陽光利用できる環境浄化システムの構築を進めてきた。

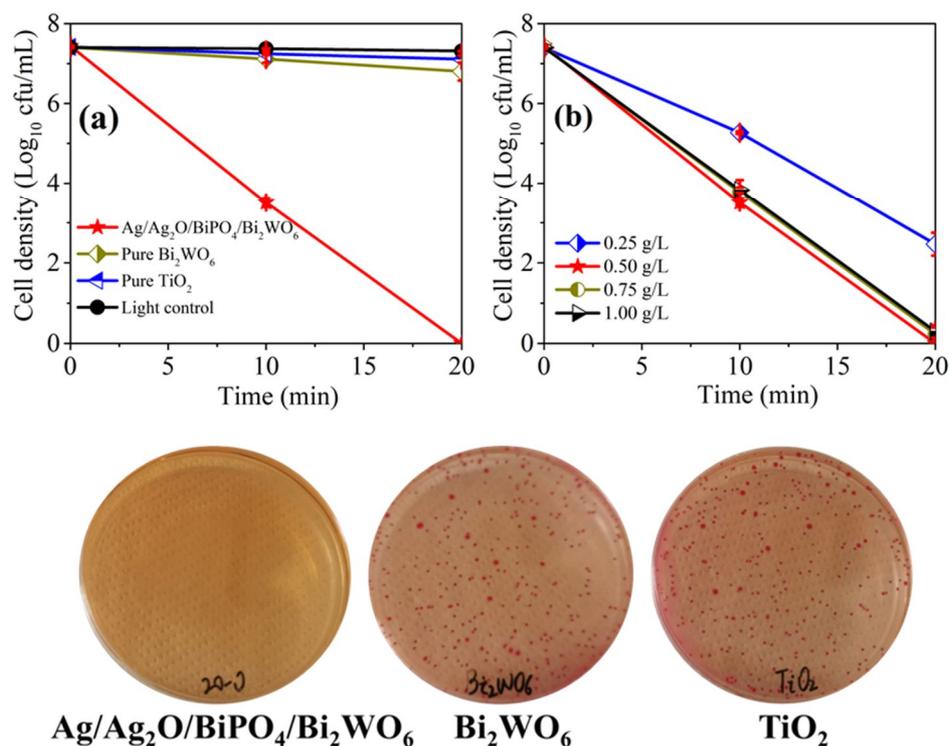


図5 異なった光触媒を用いた大腸菌の殺菌効果

(5) 最適光照射条件を用いて、高濃度アンモニア態窒素含有実際の畜産廃棄物を基質とした光メタン発酵の連続運転を行い、メタン収率と関連ファクターを測定した。また、バイオガス回収した発酵残液は開発した光触媒デバイスを用いて太陽光照射による処理水の環境へ放出する前の光触媒浄化・殺菌効果の評価を行った。これまでの研究結果を統合し、太陽光を活用した畜産廃棄物からのバイオエネルギー回収、有害物質分解、殺菌処理を同時実施できる持続可能な資源循環システムを構築し、トータルシステムのコストとエネルギー収支の総合評価を行い、低コスト、高効率、簡便な操作による嫌気性消化プロセスの開発を進め、太陽光利用した嫌気性発酵におけるアンモニア阻害の軽減および資源循環とバイオエネルギー回収の実現は可能となった。

研究期間中において、研究成果は国際誌 23 報掲載、学会発表 69 件 (うち招待講演 2 件、国際学会 9 件) 発表し、特許 6 件の実績を得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Zhu, Y. X., Zhang, N., Liu, Z. Y., Liu, N., Sharma, Aditya, Chen, G., Yang, Y. N.	4. 巻 238
2. 論文標題 Photon number based anaerobic digestion process for efficient bio-methane conversion from ammonium-rich feedstock: Performance evaluation and practical potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy Conversion and management	6. 最初と最後の頁 114155
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.enconman.2021.114155	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 -
1. 著者名 Zhu, Q., Liu, N., Ma, Q., Sharma, Aditya, Nagai, D., Sun, X., Zhang, C., Yang, Y. N.	4. 巻 20
2. 論文標題 Sol-gel/hydrothermal two-step synthesis strategy for promoting Ag species modified TiO ₂ -based composite activity towards H ₂ evolution under solar light.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Today Energy.	6. 最初と最後の頁 100648
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mtener.2021.100648	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 -
1. 著者名 Zhao, C. Y., Sharma, Aditya, Ma, Q., Zhu, Y. X., Li, D. W., Liu, Z. Y., Yang, Y. N.	4. 巻 758
2. 論文標題 A developed hybrid fixed-bed bioreactor with Fe-modified zeolite to enhance and sustain biohydrogen production.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of the Total Environment.	6. 最初と最後の頁 143658
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2020.143658	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 -
1. 著者名 Liu., N, Zhu Q., Zhang, N., Wang, J., Yang, Y. N.	4. 巻 542
2. 論文標題 Development of Solar-light-driven Photocatalyst for energy and environmental application.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.	6. 最初と最後の頁 12066
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1757-899X/542/1/012066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Negishi Nobuaki, Miyazaki Yukari, Kato Shigekazu, Yang Yingnan	4. 巻 242
2. 論文標題 Effect of HCO ₃ ⁻ concentration in groundwater on TiO ₂ photocatalytic water purification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 449 ~ 459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2018.10.022	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 -

1. 著者名 Liu, N., Zhu Q., Zhang, N., Zhang, C., Kawazoe, N., Chen, G., Negishi N., Yang, Y. N.	4. 巻 247
2. 論文標題 Superior disinfection effect of Escherichia coli by hydrothermal synthesized TiO ₂ -based composite photocatalyst under LED irradiation: Influence of environmental factors and disinfection mechanism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental pollution	6. 最初と最後の頁 847-856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envpol.2019.01.082	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 -

1. 著者名 Zhang, N., Zheng, H. Y., Hu, X. H., Zhu, Q., Stanislaus, M.S., Li, S. Y., Zhao, C. Y., Wang, Q. H., Yang, Y. N.	4. 巻 81
2. 論文標題 Enhanced bio-methane production from ammonium-rich waste using eggshell-and lignite-modified zeolite (ELMZ) as a bio-adsorbent during anaerobic digestion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Process Biochemistry	6. 最初と最後の頁 148-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procbio.2019.03.001	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 Zhao, C. Y., Zhang, N., Zheng, H. Y., Zhu, Q., Utsumi, M., Yang, Y. N.	4. 巻 83
2. 論文標題 Effective and long-term continuous bio-hydrogen production by optimizing fixed-bed material in the bioreactor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Process Biochemistry	6. 最初と最後の頁 55-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procbio.2019.04.021	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 -

1. 著者名 Sharma, Aditya, Liu, N., Ma, Q., Zheng, H. Y., Kawazoe, N., Chen, G., Yang, Y. N.	4. 巻 385
2. 論文標題 PEG assisted P/Ag/Ag2O/Ag3PO4/TiO2 photocatalyst with enhanced elimination of emerging organic pollutants in salinity condition under solar light illumination.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal.	6. 最初と最後の頁 123765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2019.123765	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 -

1. 著者名 Ma, Q., Hu, X., Liu, N., Sharma, Aditya, Zhang, C., Kawazoe, N., Chen, G., Yang, Y. N.	4. 巻 569
2. 論文標題 Polyethylene glycol (PEG)-modified Ag/Ag2O/Ag3PO4/Bi2WO6 photocatalyst film with enhanced efficiency and stability under solar light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science.	6. 最初と最後の頁 101-113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcis.2020.02.064	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 -

1. 著者名 Sharma Aditya, Ming Jie, Liu Na, Sun Xiang, Zhu Yunxin, Yano Minami, Chen Guoping, Yang Yingnan	4. 巻 179
2. 論文標題 Sustainable and efficient reduction of pollutants by immobilized PEG-P/Ag/Ag2O/Ag3PO4/TiO2 photocatalyst for purification of saline wastewater	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 113731 ~ 113731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2022.113731	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 -

1. 著者名 Liu Zhiyuan, Zhu Yunxin, Zhao Chenyu, Zhang Cheng, Ming Jie, Sharma Aditya, Chen Guoping, Yang Yingnan	4. 巻 350
2. 論文標題 Light stimulation strategy for promoting bio-hydrogen production: Microbial community, metabolic pathway and long-term application	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioresource Technology	6. 最初と最後の頁 126902 ~ 126902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.biortech.2022.126902	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 -

1. 著者名 Zhang Cheng, Liu Na, Ming Jie, Sharma Aditya, Ma Qiansu, Liu Zhiyuan, Chen Guoping, Yang Yingnan	4. 巻 208
2. 論文標題 Development of a novel solar energy controllable Linear fresnel photoreactor (LFP) for high-efficiency photocatalytic wastewater treatment under actual weather	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Water Research	6. 最初と最後の頁 117880 ~ 117880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.watres.2021.117880	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 -

1. 著者名 Ming Jie, Liu Na, Ma Qiansu, Sharma Aditya, Sun Xiang, Kawazoe Naoki, Chen Guoping, Yang Yingnan	4. 巻 47
2. 論文標題 Bactericidal process and practicability for environmental water sterilization by solar-light-driven Bi ₂ WO ₆ -based photocatalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Water Process Engineering	6. 最初と最後の頁 102713 ~ 102713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jwpe.2022.102713	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 -

1. 著者名 Liu Na, Ming Jie, Sharma Aditya, Sun Xiang, Kawazoe Naoki, Chen Guoping, Yang Yingnan	4. 巻 426
2. 論文標題 Sustainable photocatalytic disinfection of four representative pathogenic bacteria isolated from real water environment by immobilized TiO ₂ -based composite and its mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 131217 ~ 131217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2021.131217	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 -

1. 著者名 Negishi Nobuaki, Inaba Tomohiro, Miyazaki Yukari, Ishii Genki, Yang Yingnan, Koura Setsuko	4. 巻 11
2. 論文標題 Aqueous mechano-bactericidal action of acicular aragonite crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-98797-w	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 -

1. 著者名 Zheng Hanying、Sharma Aditya、Ma Qiansu、Zhang Cheng、Hiranuma Takanori、Chen Yazhou、Chen Guoping、Yang Yingnan	4. 巻 398
2. 論文標題 Development of an oyster shell and lignite modified zeolite (OLMZ) fixed bioreactor coupled with intermittent light stimulation for high efficient ammonium-rich anaerobic digestion process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 125637 ~ 125637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2020.125637	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 -

1. 著者名 Hu Xiaohong、Ma Qiansu、Wang Xinlong、Yang Yingjun、Liu Na、Zhang Cheng、Kawazoe Naoki、Chen Guoping、Yang Yingnan	4. 巻 387
2. 論文標題 Layered Ag/Ag ₂ O/BiPO ₄ /Bi ₂ WO ₆ heterostructures by two-step method for enhanced photocatalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Catalysis	6. 最初と最後の頁 28 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcat.2020.04.002	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 -

1. 著者名 Negishi Nobuaki、Chawengkijwanich Chamorn、Pimpha Nuttaporin、Larpiattaworn Siriporn、Charinpanitkul Tawatchai	4. 巻 31
2. 論文標題 Performance verification of the photocatalytic solar water purification system for sterilization using actual drinking water in Thailand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Water Process Engineering	6. 最初と最後の頁 100835 ~ 100835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jwpe.2019.100835	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 -

1. 著者名 根岸信彰	4. 巻 62巻3号
2. 論文標題 実環境を想定した光触媒による水浄化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 157 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Kato Shigekazu, Hattori Koichiro, Tanaka Yukimi, Miyazaki Yukari, Ishii Genki, Koura Setsuko, Negishi Nobuaki	4. 巻 46
2. 論文標題 Development of monolithic titanium dioxide ceramic photocatalysts with high physical rigidity and photocatalytic activity for underwater use	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 19285 ~ 19292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2020.04.268	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 -

1. 著者名 Hirakawa Tsutomu, Nishimoto Chifumi K., Komano Asuka, Otsuka Mai, Negishi Nobuaki, Miyaguchi Hajime, Seto Yasuo, Takeuchi Koji	4. 巻 47
2. 論文標題 Experimental study for adsorption and photocatalytic reaction of ethyl methylphosphonate molecule as organophosphorus compound adsorbed at surface of titanium dioxide under UV irradiation in ambient condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Research on Chemical Intermediates	6. 最初と最後の頁 1563 ~ 1579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11164-020-04389-0	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 -

1. 著者名 Bui Van Hoi, Vu Toan Khanh, To Hai Tung, Negishi Nobuaki	4. 巻 26
2. 論文標題 Application of TiO ₂ -ceramic/UVA photocatalyst for the photodegradation of sulfamethoxazole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainable Chemistry and Pharmacy	6. 最初と最後の頁 100617 ~ 100617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scp.2022.100617	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

〔学会発表〕 計69件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 矢野 南珠、楊 英男
2. 発表標題 排水処理の実用化へ向けた太陽光利用できる光触媒担持ビーズの開発
3. 学会等名 2020年度日本化学工学会 学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ming, J., Liu, N., Ma Q., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Photocatalytic disinfection of novel composites Ag/Ag ₂ O/BiPO ₄ /Bi ₂ WO ₆ under solar light irradiation.
3. 学会等名 第9回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhu, Y.X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Efficient biomethane conversion from ammonium-rich anaerobic digestion under optimal illumination condition
3. 学会等名 第9回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen Y.J., Zhu Y.X., Sun, M., Liu, Z.Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effect of Homogeneous Operation on Methane Production from Illuminated Anaerobic Reactor with Ammonium-rich Waste.
3. 学会等名 第9回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhu, Y., Liu, Z. Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effect of intermittent illumination on bio-hydrogen production under ammonium rich condition
3. 学会等名 日本生物工学会若手会第三回オンラインセミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsuyuki, E., Liu, Z. Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effect of trace metals in hybrid bioreactor for enhancing bio-hydrogen production
3. 学会等名 日本生物工学会若手会第三回オンラインセミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhu, Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Improved Ammonium-rich waste-to-energy conversion efficiency from anaerobic digestion using photon number as monitoring factor
3. 学会等名 日本生物工学会東日本支部 第15回 学生発表討論会 オンライン版
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu, Z. Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Continuous bio-hydrogen production by Fe-modified zeolite supplement in hybrid fixed-bed reactor
3. 学会等名 日本生物工学会東日本支部 第15回 学生発表討論会 オンライン版
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhu, Y., Liu Z. Y., Liu, N., Yang, Y. N.
2. 発表標題 A Light-assisted Bioprocess with Optimized Illumination Condition for Efficient Methane Production from Ammonium-rich Waste
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Liu, Z. Y., Tsuyuki, E., Zhu, Y., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Promotion of Bio-Hydrogen Production by Adding Trace Metal Modified Zeolite in Hybrid Bioreactor
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Chen, Y., Sun, M., Zhu, Y., Liu, Z. Y., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Efficient Illuminated Anaerobic Digestion System via Optimal Homogeneous Operation for Ammonium-rich Waste
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Liu, N., Ma, Q., Sharma, A., Ming, J., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Highly Efficient Inactivation of Harmful Pathogenic Bacteria by a Stable Visible-light-driven TiO ₂ -based Photocatalyst
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ma, Q., Liu, N., Sharma, A., Ming, J., Zhang, C., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Polyethylene glycol (PEG)-modified Ag/Ag ₂ O/Ag ₃ PO ₄ /Bi ₂ WO ₆ Photocatalytic Film for Wastewater Treatment with Enhanced Efficiency and Stability under Solar Light
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ming, J., Liu, N., Ma, Q., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Photocatalytic Inactivation of Escherichia coli by Ag/Ag ₂ O/BiPO ₄ /Bi ₂ WO ₆ under Solar Light Irradiation: Effect of Environmental Factors and Disinfection Mechanism
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Zhang, C., Liu, N., Ma, Q., Ming, J., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Development of an Adjustable Solar Light Tracking Reactor for Superior Photocatalytic Wastewater Treatment
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Sharma, A., Liu, N., Ma, Q., Yano, M., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Effective Elimination of Seawater pollutants Using Surfactant Modified TiO ₂ -based Composite Under Solar Light Illumination
3 . 学会等名 Water and Environment Technology Conference (WET2020-online)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Liu, N., Ma Q., Zhang, C., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Super-effective visible-light-induced photocatalytic water disinfection by a novel P/Ag/Ag ₂ O/Ag ₃ PO ₄ /TiO ₂ composite and its mechanism.
3 . 学会等名 International Conference on Environmental Protection and Climate Change (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Liu, N., Nagai, D., Qi, R., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Green Route for Hydrogen Evolution from Pure Water Splitting Induced by A Solar Light Responsive Photocatalyst
3 . 学会等名 The 2019 International Postgraduate Academic Forum (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Zhang, C., Liu, N., Yagi, A., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Effective Wastewater Treatment with the Developed Liner Fresnel Photocatalytic reactor (LFP) Under Real Solar Light.
3 . 学会等名 The 2019 International Postgraduate Academic Forum
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sharma, A., Liu, N., Ma, Q., Zheng, H., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Characterization and Application of PEG modified TiO ₂ Based Photocatalyst for Improving Degradation of Organic Pollutant in Seawater.
3 . 学会等名 The 2019 International Postgraduate Academic Forum (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yagi, A., Liu, N., Ma, Q., Zhang, C., Yang, Y. N.
2 . 発表標題 Development of Hydrothermal Synthesized Polyethylene Glycol Modified P/Ag/Ag ₂ O/Ag ₃ PO ₄ /TiO ₂ Photocatalyst with Enhanced Photocatalytic Activity for Wastewater Treatment Under Visible Light Irradiation.
3 . 学会等名 The 2019 International Postgraduate Academic Forum,
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhu, Y., Zheng, H., Zhang, N., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Improved Biomethane Conversion from Nitrogen-rich Waste by Optimizing Illumination Condition of Anaerobic Bioreactor
3. 学会等名 The 2019 International Postgraduate Academic Forum
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根岸 信彰・宮崎 ゆかり・石井 元揮・小浦 節子・楊 英男
2. 発表標題 実環境水の光触媒による浄化
3. 学会等名 日本化学会第100回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu, N., Ma, Q. S., Ming, J., Negishi, N., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Solar-light-driven Water Splitting for Hydrogen Evolution by A Novel TiO ₂ Based Photocatalyst
3. 学会等名 85th SCEJ Annual Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sun, X., Xu, S., Liu, N., Qi, R., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Synergistic Effect of 3D Hierarchical Microsphere TiO ₂ by Carbon Doping for The Photocatalytic Antibiotic Degradation
3. 学会等名 85th SCEJ Annual Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ma, Q. S., Ming, J., Liu, N., Zhang, C., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of High Performance Graphene Oxide Modified Bi ₂ WO ₆ Based Photocatalyst for Wastewater Treatment
3. 学会等名 85th SCEJ Annual Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sharma, A., Ma, Q. S., Liu, N., Zheng, H., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Characterization and Application of Non-ionic Surfactant Assisted TiO ₂ Based Composite for Enhanced Degradation of Organic Pollutant in Seawater
3. 学会等名 85th SCEJ Annual Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhu, Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Optimization of Intermittent-illuminated Anaerobic Bioreactor for Efficient Bio-methane Conversion from Ammonium-rich Wastes Using Response Surface Methodology (RSM)
3. 学会等名 第8回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhang, C., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of a Novel Photoreactor for Solar Light and Thermal Energy Concentration: A New Strategy to Promote Photocatalytic Water Purification Efficiency.
3. 学会等名 第8回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu, N., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Efficient destruction of different pathogenic microorganisms by a novel visible-light-driven TiO ₂ -based photocatalyst
3. 学会等名 第8回日本生物工学会東支部コロキウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhu, Y., Zheng. H., Zhang, N., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Efficient Biomethane Production from Anaerobically Digested Ammonium-rich Waste Under Optimal Illumination Condition
3. 学会等名 71st Society for Biotechnology Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhang, C., Liu, N., Ma, Q., Yagi, A., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Investigation of Solar Driven Linear Fresnel Photocatalytic Reactor (LFP) for Wastewater Treatment
3. 学会等名 71st Society for Biotechnology Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liu, N., Zhang, C., Nobuaki, N., Yang, Y. N.,
2. 発表標題 Different Inactivation Behaviors of Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria in TiO ₂ Based Photocatalytic Disinfection.
3. 学会等名 71st Society for Biotechnology Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊英男
2. 発表標題 太陽光を活用した畜産環境の浄化及び革新的バイオガス変換システムの開拓
3. 学会等名 RE2022オンラインフォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sun, X., Ming, J., Zhang, C., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Regulating the amount of oxygen vacancy in P/Ag/Ag ₂ O/Ag ₃ PO ₄ /TiO ₂ composite for improved hydrogen evolution under solar light.
3. 学会等名 87th SCEJ Annual Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sun X., Ming J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effect of oxygen vacancy and its quantity on H ₂ evolution by using P/Ag/Ag ₂ O/Ag ₃ PO ₄ /TiO ₂ under solar light.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ming J., Sun X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effective photocatalytic inactivation of novel Ag/Ag ₂ O/BiPO ₄ /Bi ₂ WO ₆ composites for Escherichia coli: Mechanism and Applicability.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhu Y. X., Liu Z. Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Light-induced biomethane conversion from ammonium-rich feedstock: Optimization and applicability.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhang H.J., Sun X., Ming, J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Fabrication of Ag/Ag ₂ O/BiPO ₄ /Bi ₂ WO ₆ /g-C ₃ N ₄ Z-scheme photocatalyst.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhang C., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of a solar-controllable reactor for high-efficiency photocatalytic wastewater treatment under real sunlight.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sun M.Y., Liu Z.Y., Zhu Y.X., Chen Y.J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Enhanced bio-methane production via illuminated iron modified OLMZ fixed bioreactor during ammonium-rich anaerobic digestion.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Z.Y., Zhu Y.X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Light stimulation strategy for promoting bio-hydrogen production in a hybrid-Fe bioreactor.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chen Y.J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Impact of Homogeneous Operation on Biomethane Production in Illuminated Anaerobic Reactor.
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢野 南珠、Sharma Aditya、楊 英男
2. 発表標題 シリコン固定型光触媒担持ビーズの開発
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022,
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森長 熙、劉 知遠、楊 英男
2. 発表標題 光刺激で微生物を活発化しバイオ水素生成促進の検討
3. 学会等名 つくば医工連携フォーラム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sun, M.Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of iron modified zeolite fixed bioreactor combined with intermittent light stimulation for highly efficient ammonium-rich anaerobic digestion,
3. 学会等名 日本生物工学会東日本支部 第16回 学生発表討論会 オンライン版
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森長 熙, 楊英男
2. 発表標題 適切な光刺激によるバイオ水素生成促進の検討
3. 学会等名 日本生物工学会東日本支部 第16回 学生発表討論会 オンライン版
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sharma, A., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Enhanced Stability and Durability of Solar-light-driven TiO ₂ -based Composite Immobilized on Silicone for Saline Wastewater Treatment.
3. 学会等名 the Water and Environment Technology (WET) Conference 2021-online
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhu, Y., Liu, Z. Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Efficient biomethane recovery from ammonium-rich feedstock via optimized light-assisted bioprocess.
3. 学会等名 日本生物工学会2021若手会オンラインセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ming J, Liu N, Ma Q, Sun X, Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effective inactivation of Escherichia coli by Bi2WO6 based solar-light-driven photocatalyst.
3. 学会等名 日本生物工学会2021若手会オンラインセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sun M. Y., Liu Z. Y., Chen, Y.J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Promotion of Bio-methane Production from Iron Modified Zeolite Fixed Bioreactor with Light Stimulation Strategy under Ammonium-rich Condition.
3. 学会等名 日本生物工学会2021若手会オンラインセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根岸信彰、楊英男
2. 発表標題 途上国の飲料水浄化に最適化した光触媒材料の開発に関する調査研究
3. 学会等名 第3回TIAかけはし成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根岸信彰
2. 発表標題 光を活用したエコな防災技術
3. 学会等名 2019年エコ・カレッジ（一般社団法人茨城県環境管理協会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根岸信彰
2. 発表標題 光触媒による海水中細菌の安全な滅菌技術
3. 学会等名 、「知」の集積と活用 の場 産学官連携協議会 会員活動出展（農林水産省水産技術会議）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Negishi, Y. Miyazaki, K. Hattori, Y. Tanaka, G. Ishii, S. Koura, S. Kato
2. 発表標題 Ceramic TiO ₂ photocatalyst for aqueous phase use,
3. 学会等名 Photocatalysis 3
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根岸信彰
2. 発表標題 途上国における光触媒飲料水浄化の可能性
3. 学会等名 2019年度JFCC研究成果発表会（一般社団法人ファインセラミックスセンター）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根岸信彰、宮崎ゆかり、石井元揮、小浦節子、楊英男
2. 発表標題 実環境水の光触媒による浄化
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井元揮、根岸信彰、宮崎ゆかり、小浦節子
2. 発表標題 水中無機含有物が光触媒水処理に与える影響
3. 学会等名 第54回水環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 G. Ishii, N. Negishi, T. Inaba, Z. Wang, Y. Miyazaki, S. Koura
2. 発表標題 Increasing Photocatalytic Bactericidal Efficiency of Bacteria in Water by Acicular Aragonite Crystals on TiO ₂ Surface
3. 学会等名 Water and Environmental Technology Conference, Online, 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢野睦実、根岸信彰、宮崎ゆかり、小浦節子
2. 発表標題 発展途上国での水中殺菌を目的としたメカノ殺菌効果の検討
3. 学会等名 International Student Symposium 2021, Online
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山野凌、根岸信彰、小浦節子
2. 発表標題 光触媒を用いたバイオエアロゾル処理装置の設計
3. 学会等名 2021年度材料技術研究会討論会、オンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根岸信彰、宮崎ゆかり、白坂知也、矢野睦実、小浦節子、楊英男
2. 発表標題 アラゴナイト針状晶癖を担持したTiO ₂ セラミック光触媒による水中細菌のメカノ殺菌処理
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会、Online
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ming, J., Ma, Q., Sun, X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effective disinfection of Bi ₂ WO ₆ based photocatalysts for Escherichia coli under solar light irradiation.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhu, Y. X., Zhang, N., Liu, Z.Y., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Efficient bio-methane production via an innovative photon number-based illuminated anaerobic digestion process under ammonium-rich condition.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhang, C., Ming, J., Yang, Y. N.
2. 発表標題 A novel solar energy controllable photoreactor for high efficiency wastewater treatment under real weather condition.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu, Z.Y., Zhao, C., Zhu, Y. X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Hybrid fixed-bed bioreactor with Fe-modified zeolite for long term bio-hydrogen production.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen, Y. J., Liu, Z.Y., Zhu, Y. X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Effect of Homogeneous Operation on the Methane Production in Illuminated Anaerobic Reactor.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sun, M.Y., Liu, Z.Y., Zhu, Y. X., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of high efficient illuminated oyster shell and lignite modified zeolite (OLMZ) fixed-bed process for the anaerobic digestion of ammonia-rich waste.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yano, M., Sharma, A., Yang, Y. N.
2. 発表標題 Development of Efficient and Stable Photocatalytic Beads for Practical Wastewater Treatment.
3. 学会等名 The 13th Japan-China-Korea International Postgraduate Academic Forum (online Conference) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計6件

産業財産権の名称 光触媒粒子及びその製造方法、当該粒子を含む材料、並びに当該材料を含む製品	発明者 楊英男	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-520667	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 殺菌作用を有する水質浄化機能を有する構造体	発明者 根岸信彰	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/045644	取得年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 空気清浄装置、光触媒ユニット及び空気清浄方法	発明者 根岸信彰、佐藤太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-013928	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 空気清浄装置、空気清浄方法、微生物除去装置、微生物除去方法及び流路体	発明者 根岸信彰、佐藤太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-013929	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 空気清浄機用ダクト	発明者 根岸信彰、佐藤太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 意匠、KMD3-001-006	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 空気清浄装置、空気清浄方法、微生物除去装置、微生物除去方法及び流路体	発明者 根岸信彰、佐藤太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/003466	取得年 2022年	国内・外国の別 外国

〔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	内海 真生 (utsumi motoo) (60323250)	筑波大学・生命環境系・教授 (12102)	
研究分担者	根岸 信彰 (negishi nobuaki) (90270694)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・上級主任研究員 (82626)	

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
---------	---------