

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510090

研究課題名(和文) 光とオゾンを利用した高効率な液相系光触媒分解手法の開発とそのシステム化

研究課題名(英文) Development and systematization of the effective photocatalysis method in liquid phase using UV light and ozone

研究代表者

関口 和彦 (SEKIGUCHI, Kazuhiko)

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：50312921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：オゾン(O₃)のマイクロバブル(MB)化導入と不織布担持TiO₂光触媒を用いた流通式反応系を提案し、2-プロパノール(IPA)の分解速度がO₃MBにより向上すること、また、光触媒が無機化の促進に大きく寄与することを確認した。さらにIPAの分解速度、無機化速度を向上すべく、O₃MBと不織布担持TiO₂光触媒にH₂O₂を加えた系について、バッチ式反応系を用いた最適条件の検討を行った。不織布の材質や形状、H₂O₂とO₃のモル比、UV照射の有無などの影響を評価し、生成されるOHラジカル濃度が、IPA分解とその無機化の向上において、各ステップで重要な役割を果たしていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We proposed a flow type reactor for IPA degradation in water phase using ozone microbubbles (O₃MB) and TiO₂ photocatalyst fixed on nonwoven fabric. It was confirmed that decomposition rate of IPA improved by addition of O₃MB and the mineralization rate was promoted by TiO₂ photocatalyst. As the further research, the optimal condition of the IPA decomposition by O₃MB, nonwoven fabric support TiO₂, and H₂O₂ was investigated using a batch type reactor in order to improve the IPA degradation. The influences on IPA degradation, such as the material or shape of nonwoven fabric and molar ratio of H₂O₂/O₃ with or without UV irradiation, were confirmed and the optimal condition was decided in consideration with O₃ concentration because it acts as OH radical scavenger. In this process, it was confirmed that OH radicals were main active species, and contributed to improvement in the decomposition rate of IPA and the mineralization rate of its decomposition intermediates.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：2-プロパノール 不織布担持光触媒 オゾンマイクロバブル 過酸化水素 紫外線 分解速度 無機化速度 分解生成物

1. 研究開始当初の背景

揮発性有機化合物(VOC)は揮発性の高さから塗料、溶剤、接着剤、洗浄等の用途に広く使用されているが、VOCは、シックハウス症候群や化学物質過敏症の原因となるなど、人の健康に影響を与えることが報告されている。2-プロパノール(IPA)はVOCの中でも親水性が高く、半導体工場における洗浄や脱水工程、また医療分野においては消毒用の薬品として使用されている。IPAは高い親水性を有するために、希釈した上で水中に捕集する水スクラバー処理が可能であるが、それにより発生する排水の処理が必要となる。特に半導体工場では大量の排水が発生するため、排水の再利用のための処理が必要とされる。

水中のVOC除去にはUV、オゾン、光触媒、過酸化水素などを組み合わせた促進酸化法(AOP)が利用されている。そのうち光触媒を用いた方法では、光触媒とUVのみで分解を起こせるが、粉末状の光触媒による懸濁系で反応を行った場合、光の透過性が悪くだけでなく、使用後に光触媒の再回収が必要となる。また、オゾンは無声放電や短波長のUVによって簡単に生成可能であるが、難水溶性であるため水中のVOC除去を行うと、大量に廃オゾンが発生する欠点がある。

2. 研究の目的

本研究では、光触媒回収とオゾンの難水溶性の問題を解消すべく、TiO₂光触媒を不織布に担持させる。これにより、光触媒の反応器内での自由な配置も可能となる。しかし、固定化することで触媒の拡散性が乏しくなるため、まずは、水中へのガス溶解度を高めるマイクロバブル(MB)化技術を用いて、難水溶性のオゾン(O₃)をMBとして水中へ導入することを検討し、光触媒との接触確率の向上とOHラジカルの生成促進について流通式反応器を用いて評価する。

流通式反応系の構築に必要な因子を確認後、IPAの完全分解(分解速度ならびに無機化速度)をさらに向上させるべく、反応器内のUVランプを枝状の石英管で覆うことで、光の透過性を向上させたバッチ式反応器の作製を行う。本バッチ式反応器を用い、O₃と不織布担持TiO₂光触媒に過酸化水素(H₂O₂)を加えた系においてIPAの高効率分解を試みる。これは、O₃は、水への溶解やUV照射によってOHラジカルを生成するだけでなく、H₂O₂と併用することで、OHラジカル生成が劇的に促進されるが、MB条件下での詳細な反応条件が明らかにされていないためである。

最終的には、物性影響の調査として、IPAより高い水溶性を持つエタノール(EtOH)への応用やTiO₂光触媒を担持する不織布の材質や形状についても検討を行い、本系の有用

性と最速の反応速度を示す条件について具体的な提案を行う。

3. 研究の方法

(1) 流通式反応系

実験系の概要を図1に示す。本反応系は、MB化したオゾンを導入する水槽、光触媒を担持した不織布とUVランプを設置した光反応リアクター部からなり、排水は2 L/minで水槽部から光反応リアクター部に送り循環させた。モデル排水として40 ppmのIPA水溶液を40 L使用し、オゾンは酸素から無声放電を利用して発生させた。この時のオゾン濃度は2000 ppmであり、旋回流方式により0.5 L/minの流量でMB化して水槽内へ導入した。リアクター部には、主波長254 nm、出力8 Wの殺菌灯と光触媒を0.43 g担持させたプリーツ型の不織布を設置した。

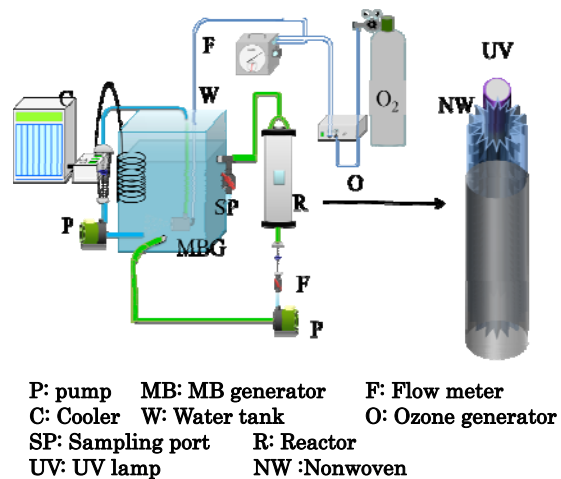
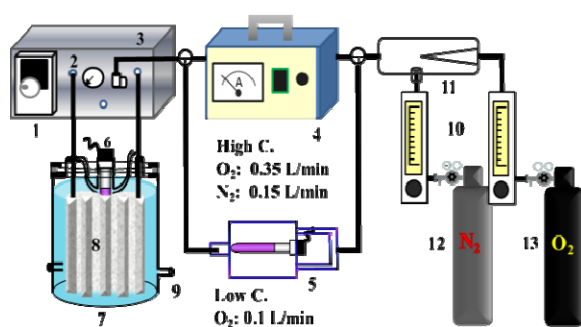


図1 流通式反応系の概要

(2) バッチ式反応系

本研究で用いた実験装置を図2に示す。Pyrex製円筒型反応器内に約40 ppmに調製したIPA溶液を4 L加えた。本反応器は中心にのみUV光源を持つ従来の液相分解用反応器とは異なり、UV₂₅₄ランプを9本の放射状石英枝管で覆った構造となっている。これによりUV光の減衰を抑制し、空気を介して有効に液相全体へUV光を照射できる。光触媒としてTiO₂を粉末で用いる場合は1 g/Lで添加し、TiO₂担持不織布を用いる場合は反応器の内側沿って、あるいは石英管を覆うように設置した。O₃は一定量の酸素と窒素を発生濃度に応じて、放電式O₃発生器またはUV₁₈₅₊₂₅₄ランプを用いて生成した。MBを使用する場合はO₃を加圧溶解型MB発生器に導入し、O₃MBとして反応器内へ供給した。さらにH₂O₂を用いる条件では、H₂O₂水を反応開始前に全量添加した。



1: Microbubble generator, 2: Water inlet, 3: Water outlet, 4: Ozone generator, 5: UV lamp (254+185 nm), 6: UV lamp (254 nm), 7: Reactor (4 L), 8: Nonwoven, 9: Sampling port, 10: Flow meter, 11: Manifold, 12: N₂ cylinder, 13: O₂ cylinder

図2 バッチ式反応系の概要

(3) 分析方法

IPA が分解すると中間生成物としてアセトン (ACE)、酢酸、シュウ酸、ギ酸が生成し、最終的に二酸化炭素と水へ無機化が進む。IPA と EtOH、ACE の定量には GC-FID を使い、全有機炭素 (TOC) 濃度の測定には TOC-VCPH を用いた。また、バッチ式反応系では、高濃度 (気相 851 ppm→液相 62 ppm) と低濃度 (気相 79.3 ppm→液相 3 ppm) の 2 条件の O₃ 濃度を用いており、気相、液相ともに O₃ 濃度は KI 滴定法によって測定した。

4. 研究成果

(1) 流通式反応系における評価

図 1 に示した流通式反応系を用い、IPA 分解における流速影響と O₃ ならびに TiO₂ 光触媒の反応性について検討を行った。

O₃ を MB 化して導入することにより、反応系全体に O₃ を均一に供給できることが確認され、IPA の分解にも大きく影響した。O₃ 濃度 2000 ppm において、IPA の分解速度は光触媒の約 10 倍と非常に速くなり、40 ppm の IPA 排水 40 L を 20 時間で完全分解することができた。しかし ACE 分解への O₃ の寄与は見られず、O₃ だけでは完全分解 (無機化) を達成することはできなかった。また、導入オゾン濃度を減少させると、反応速度も減少する傾向が見られた。

一方、光触媒反応では、十分な分解速度を得ることができなかった。これは排水体積に対して光触媒量が少ないことに加え、光触媒がリアクター部分にしか存在しないことによる滞留時間の短さが原因であった。しかし光触媒反応では、IPA に加え ACE も分解できており、完全分解を行える可能性が示唆された。ACE は IPA と比較して分解速度が非常に遅く無機化の進行が難しいことから、光触媒反応の効率化と反応活性種である OH ラ

ジカルの生成促進が重要であることが明らかとなった。

(2) 光透過型バッチ式反応器の作製

バッチ式反応系の構築にあたり、反応器内の UV ランプを 9 本の放射状石英枝管で覆い、反応器内全体に短波長紫外光が照射可能な光透過型バッチ式反応器の作製を行った。作製した反応器の外観を図 3 に示す。

以降は、この光透過型バッチ式反応器を用いたバッチ式反応系において、IPA 分解における分解速度、無機化速度向上のための詳細な反応条件について検討を行った。

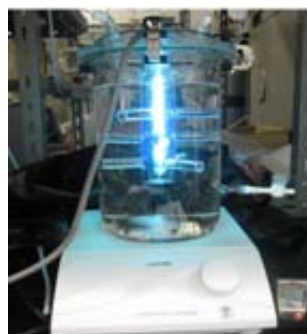


図3 光透過型バッチ式反応器の外観

(3) 異なる O₃ 濃度での IPA 分解速度の比較 (O₃MB/TP-TiO₂/UV 系)

嵩高形状の TP 不織布 (面積 ; 2790 cm²、TiO₂ 担持量 : 1.3 g) を用いて低濃度 O₃ と高濃度 O₃ による IPA の分解比較実験を行った。低濃度 O₃ に比べて高濃度 O₃ を導入しても反応速度の上昇が見られなかった。IPA と中間生成物は反応速度的に O₃ より OH ラジカルに依存しているため、溶存 O₃ が OH ラジカルの捕捉剤となっている可能性が示唆された。さらに、TOC が減少しなかったことは、中間生成物の ACE が O₃ では分解し難いことから説明できる。

(4) H₂O₂/UV 系 (H₂O₂ : 11 mL)

H₂O₂ に UV 照射することで OH ラジカルが生成され、反応速度が向上した。これは H₂O₂ が溶液であることに起因している。液液反応である H₂O₂-UV 反応は OH ラジカルを生成し易く、H₂O₂ の消費が早いいため OH ラジカルの捕捉剤になりにくかったと考えられた。

(5) O₃MB/UV 系 (O₃(g) : 851 ppm)

O₃/UV 系では高濃度 O₃ が OH ラジカルの捕捉剤として働くため、UV による水からの OH ラジカル生成を阻害し、IPA 分解反応への寄与は小さかった。また、O₃ ガスが液相へ溶解した後に UV と反応し OH ラジカルを生成する必要があり、この段階的な気液反応ステップが IPA 分解反応に大きく影響した。

(6) $[H_2O_2(aq)]/[O_3(g)]$ 比率に対する分解速度の比較

O_3 を有効に利用するため、 H_2O_2 を用いた H_2O_2/O_3MB 系（ペロゾン反応）を用いた。このペロゾン反応には $[H_2O_2(aq)]/[O_3(g)]$ の最適なモル濃度比率 (R_M) が各物質によって存在している。これは文献によって異なり、一般的には 0.5 ~ 1.2 等と報告されているが、反応器の形状や対象化合物、プロセスの違いによって最適な比率は異なってくる。ここでは、高濃度 O_3 を供給したときの飽和溶存 O_3 濃度 62 ppm を基準として H_2O_2 水溶液を添加し、IPA の初期分解速度を比較した。その結果を図 4 に示す。 R_M をそれぞれ 0、0.77、1.37、3.1 とした。

図 4 の結果より、 $R_M = 0$ では分解が全く進んでいないが、 H_2O_2 を添加したときの条件 $R_M = 0.74$ または 1.37 のときでは、IPA が 6 時間で 90% 分解した。 $R_M = 0.74$ または 1.37 では、 $R_M = 0$ に比べ分解速度が数倍速いこと示した。また、 $R_M = 3.1$ の条件では、最大値よりも分解速度の減少が見られた。これは H_2O_2 が過剰に存在したことにより、 H_2O_2 がラジカルの捕捉剤となったと考えられる。

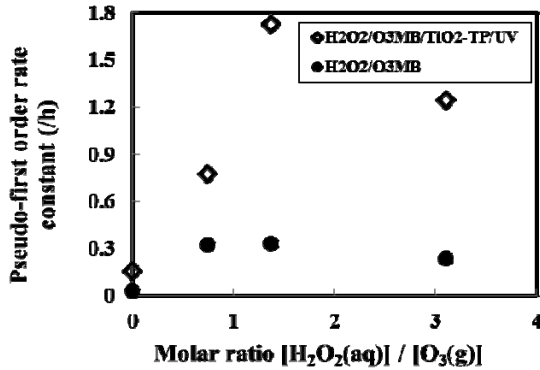


図 4 IPA 分解における擬一次速度定数 (●: ペロゾン反応, ◇: TiO₂-TP/UV 条件におけるペロゾン反応)

(7) $H_2O_2/O_3MB/TiO_2-TP/UV$ 系における R_M 値による影響調査

ペロゾン反応条件に TiO_2-TP/UV を併用すると、 O_3-UV 反応、 H_2O_2-UV 反応、光触媒反応によって複合的に OH ラジカルが生成し、IPA の分解速度が格段に向上した。しかし、最適な R_M 値が分かっていないため、ペロゾン反応と同様に R_M 値を用いて、IPA 分解速度に与える影響を調査した。

図 4 の◇より、いずれの R_M でも $TP-TiO_2/UV$ を併用した条件において、ペロゾン反応単体条件よりも高い反応速度が得られた。全体として擬一次速度定数は約 3~5 倍向上した。また、ペロゾン反応で最適値であった $R_M = 1.37$ が $H_2O_2/O_3MB/TiO_2-TP/UV$ 系でも最適の分解条件であることが分かっ

た。この傾向は、 H_2O_2 濃度が不足や過剰である条件でも同様であった。 H_2O_2 が不足している条件では、OH ラジカルが過剰な O_3 と IPA との間で競争反応を起こしたことに加え、 O_3 による IPA 直接分解の速度は遅いため低い擬一次速度定数の値になったと考えられる。一方、 H_2O_2 が過剰となっている条件では、OH ラジカルが過剰な H_2O_2 と O_3 と IPA の間で競争反応を起こした可能性がある。さらに、OH ラジカル同士の反応でも H_2O_2 が生成するため、より顕著に H_2O_2 が過剰な反応場であったことも分解速度が下がった要因として推察される。

(8) 新規不織布を用いた IPA の分解速度比較 (TiO₂ 担持不織布/UV)

表 1 に示す 5 種類の不織布を用い、材質(ポリエチレンテレフタレート(PET)とポリオレフィン(PO)) や形状、難燃剤の有無、照射面積が反応速度に与える影響を調査した。

表 1 不織布の詳細

	①	②	③	④	⑤
基材組成	PO	PO	PO	PET	PET
難燃剤	○	○	×	○	×
TiO ₂ 担持量 (g/m ²)	5.3	5.1	5.0	5.2	5.0
サイズ (mm×mm)	280×190	460×190	460×190	280×190	460×190

各不織布を用いて測定された IPA 分解における擬一次速度定数を表 2 に示す。結果より、①と②の比較では、②の方が僅かに IPA の擬一次速度定数が高かった。また②と③の比較では、②の方が IPA の擬一次速度定数が高かったが、中間生成物は分解できなかった。これらの結果より、PO 不織布に関しては、不織布の有効照射面積は分解速度に影響を及ぼさないことが示された。また、①~③と④~⑤の比較では、明らかに④~⑤の PET 不織布の方が IPA 分解には優れていた。④と⑤の比較では、IPA と TOC の擬一次速度には大きな差が見られなかったが、分解傾向から⑤の不織布が最も優れていた。

表 2 各種不織布を用いた IPA, ACE, TOC 分解における擬一次速度定数

	①	②	③	④	⑤
IPA *k (h ⁻¹)	0.099	0.125	0.064	0.142	0.145
ACE *k (h ⁻¹)	N.D	N.D	0.009	0.084	0.025
TOC *k (h ⁻¹)	0.0007	N.D	0.0006	0.0104	0.0106
Flame retardant	○	○	×	○	×

*k : pseudo-first order rate constant

(9) $H_2O_2/O_3MB/TiO_2-PET/UV$ 系を用いた IPA の分解実験

各種不織布の評価結果より、⑤不織布が最も優れていたことから、これまでの最適条件 ($R_M = 1.37$) に⑤不織布を組み合わせた IPA

の分解実験を行った。図5にその結果を示す。

図5より、IPAは2時間でACEは20時間で完全分解された。これまでの条件の中でACEが20時間で完全分解できたのは、今回の条件が初である。全条件の中でH₂O₂/O₃MB/TiO₂-PET/UV系が最も優れており、⑤不織布はACE以降の中間生成物の分解に有効に働いていると推察されたが、TOC分解が停滞しており有機物の完全分解ができていないように見られた。そこで、これまでの実験結果について、ACEとTOCの擬一次分解速度定数の関係を確認した(図6)。図6より、TiO₂を用いない条件ではACE濃度の減少に付随してTOC濃度の減少が進んでいたが、TiO₂を用いた条件ではACE濃度に付随してTOC濃度が下がらない傾向の相関関係がとれていた。これは不織布から有機物が溶出している可能性を示すものである。従って、TiO₂を用いた条件ではTOC除去速度を過小評価していた可能性があるが、これについては今後の検討課題と言える。

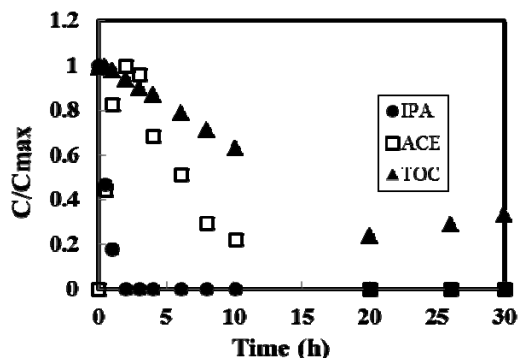


図5 PET不織布担持光触媒を用いたIPA分解におけるIPA, ACE, TOCの濃度変化 (TiO₂: 5.0 g)

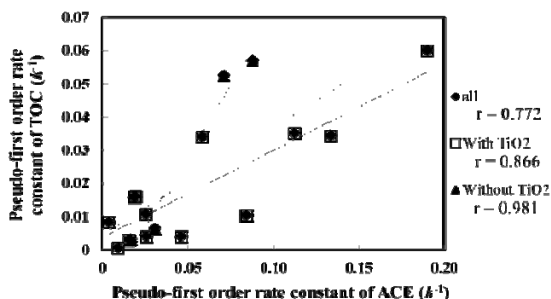


図6 これまでの実験結果におけるACEとTOCの擬一次分解速度定数の関係

以上の結果を踏まえ、これまでの実験条件で得られたすべての擬一次速度定数の結果を表3にまとめる。IPA、ACE、TOCに対する擬一次分解速度定数の結果から、H₂O₂/O₃MB/TiO₂-PET/UV条件が最も優れた最速の反応条件であることが示された。

表3 全実験条件における擬一次速度定数

Conditions	k (h ⁻¹)		
	IPA	ACE	TOC
TiO ₂ powder/UV	0.206	0.058	0.034
TP-TiO ₂ /UV	0.0704	0.015	0.0029
O ₃ MB / TP-TiO ₂ / UV	0.159	0.019	0.016
H ₂ O ₂ /O ₃ MB	0.335	0.031	0.0063
H ₂ O ₂ /O ₃ MB/UV	1.96	0.088	0.057
H ₂ O ₂ /UV	1.78	0.071	0.052
O ₃ MB/UV	0.125	0.016	0.0031
H ₂ O ₂ /O ₃ MB/TP-TiO ₂ /UV	1.73	0.134	0.0343
H ₂ O ₂ /O ₃ MB/PET-TiO ₂ /UV	1.82	0.19	0.060

(10) IPA とより親水性の高いエタノール (EtOH) との分解速度の比較

IPAおよび、より高い親水性を持つEtOHの分解速度をTiO₂-PET/UVの条件で比較した。その結果を表4に示す。報告されているOHラジカルとの反応速度定数はそれぞれ、IPA: 3.1×10⁹/Ms, EtOH: 1.9×10⁹/Msでありほぼ同程度であるが、親水性の高いEtOHの方がIPAより分解速度が速い傾向を示した。これは光触媒反応において、触媒表面の反応場が親水性状態となるためと考えられ、水になじみやすい親水性の物質であっても、本手法は高い効果を発揮できることが確認された。

表4 IPA, EtOH分解における擬一次速度定数

	IPA	←TOC	EtOH	←TOC
TiO ₂ - PET/UV	0.077	0.006	0.11	0.006

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Kim, K. H., Sekiguchi, K., Yoshida, T., Yasui, F. and Tamura H. (2014). Effective liquid-phase photocatalytic reaction using a newly developed titanium oxide-assisted reactor with ozone microbubble treatment. Sep. Purif. Technol., 査読有, 126, 15-20. DOI: 10.1016/j.seppur.2014.02.010
- ② Chang, K. L., Sekiguchi, K., Wang, Q. and Zhao F. (2013). Removal of ethylene and secondary organic aerosols using UV-C_{254+185 nm} with TiO₂ catalyst. Aerosol Air Qual. Res., 査読有, 13, 618-626. DOI: 10.4209/aaqr.2012.07.0195
- ③ 関口和彦, 清水彩菜 (2013). 超音波霧化技術を応用した水中有機汚染物質の気相分解. ケミカルエンジニアリング, 査読無, 58, 276-281.

[学会発表] (計 15 件)

- ① 関口和彦, 清水彩菜, 王青躍 (2013). 超音波霧化技術を応用した水中有機汚染物質の気相分解, 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013 年 8 月 27 日, 京都大学 (京都)
- ② 関口和彦, 並木孝招, 王青躍, 並木則和, 東賢一, 田村一, 諏訪好英, 鍵直樹, 藤井修二 (2013). 促進酸化手法を用いた超音波ミストの活性化による VOC ガスの分解処理, 第 30 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2013 年 8 月 27 日, 京都大学 (京都)
- ③ 関口和彦, 早野量人, 王青躍, 安井文男, 田村一 (2013). 性状の異なるオゾン分解触媒を用いたガス状 VOC に対する分解傾向の比較, 第 22 回日本オゾン協会年次研究講演会, 2013 年 8 月 8 日, お茶の水女子大学 (東京)
- ④ 関口和彦, 並木孝招, 横山慶, 王青躍, 並木則和 (2013). 促進酸化手法を用いた超音波ミストの活性化と VOC ガスとの反応性評価, 第 30 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 2013 年 4 月 24 日, 早稲田大学 (東京)
- ⑤ 関口和彦, 吉田剛, 王青躍, 安井文男, 田村一, 川崎達也, 松林康子 (2013). 促進酸化法および TiO₂ 担持不織布とオゾンマイクロバブルを用いた 2-propanol の完全分解, 第 30 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 2013 年 4 月 24 日, 早稲田大学 (東京)
- ⑥ 関口和彦, 清水彩菜, 王青躍 (2012). 超音波霧化技術を応用した水中有機汚染物質の気相分解処理に関する研究, 第 21 回ソノケミストリー討論会, 2012 年 11 月 10 日, 明治大学 (川崎)
- ⑦ 関口和彦, 並木孝招, 横山慶, 王青躍, 並木則和 (2012). 促進酸化手法の違いによる超音波ミストと VOC ガスの反応性評価, 第 21 回ソノケミストリー討論会, 2012 年 11 月 10 日, 明治大学 (川崎)
- ⑧ Sekiguchi, K., Yoshida, T., Wang, Q., Kim, K. H., Yasui, F., Tamura, H., Kawasaki, T. and Matsubayashi, Y. (2012). Complete decomposition of water-soluble VOC using ozone microbubbles and TiO₂ photocatalyst immobilized on a nonwoven fabric, Proceedings of the 21th International Symposium on Contamination Control, 2012 年 9 月 5 日, チューリッヒ (スイス)
- ⑨ 関口和彦, 清水彩菜, 横山慶, 並木孝招, 王青躍, 並木則和 (2012). 超音波ミストを用いた気液相有機汚染物質の分解, 第 29 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2012 年 8 月 28 日, 北九州学術研究都市会議場 (北九州)
- ⑩ 関口和彦, 吉田剛, 王青躍, 安井文男, 田村一, 川崎達也, 松林康子 (2012). オゾンマイクロバブルと光触媒不織布を用いた水中 2-プロパノールの無機化処理, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, 2012 年 8 月 10 日, 東京大学 (柏)
- ⑪ 安井文男, 田村一, 関口和彦, 吉田剛, 松林康子, 川崎達也 (2012). オゾンマイクロバブルと光触媒を用いた液相中有機物質分解に関する研究(3)ーリアクター性能への流量変化および不織布形状の影響ー, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, 2012 年 8 月 10 日, 東京大学 (柏)
- ⑫ 関口和彦, 吉田剛, 王青躍, 金庚煥, 安井文男, 田村一, 川崎達也, 松林康子 (2012). 二酸化チタン光触媒とオゾンマイクロバブルを用いた 2-プロパノールの完全分解, 第 29 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, 2012 年 6 月 5 日, 早稲田大学 (東京)
- ⑬ 金庚煥, 関口和彦, 吉田剛, 安井文男, 田村一 (2011). 新規 TiO₂ 固定化反応器とオゾンマイクロバブルを用いた有機成分の高効率液相光触媒分解, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, 2011 年 8 月 8 日, 京都工芸繊維大学 (京都)
- ⑭ 関口和彦, 北代哲也, 金庚煥, 田村一, 安井文男 (2011). オゾンマイクロバブルと光触媒を用いた液相中有機物質分解に関する研究(2)ー除去率に与える諸因子の影響と分解生成物評価ー, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, 2011 年 8 月 8 日, 京都工芸繊維大学 (京都)
- ⑮ 安井文男, 田村一, 関口和彦, 金庚煥, 北代哲也 (2011). オゾンマイクロバブルと光触媒を用いた液相中有機物質分解に関する研究(1)ーMB 発生器の違いによる影響ー, 日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, 2011 年 8 月 8 日, 京都工芸繊維大学 (京都)

[図書] (計 2 件)

- ① 関口和彦, NTS, 超音波霧化技術を応用した水中有機汚染物質の気相分解技術, 排水・汚水処理技術集成 Vol. 2, 2013, 397
- ② K. Sekiguchi, K. H. Kim, Nova Science Publishers, Degradation of VOC gases using air-water interface reaction with TiO₂ photocatalyst considering treatment of the decomposition intermediates, Advances in Chemistry Research. Volume 13, 2012, 355

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 和彦 (SEKIGUCHI, Kazuhiko)
埼玉大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 50312921