

令和 5 年 1 月 13 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03856

研究課題名(和文) 固体触媒を用いた革新的毒物除去プロセスの実現に向けた学術的課題の解決

研究課題名(英文) Academic issues to be solved for designing innovative poison removal process using heterogeneous catalysts

研究代表者

岸田 昌浩 (KISHIDA, MASAHIRO)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：60243903

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,700,000円

研究成果の概要(和文)：工場廃液に含まれる毒性金属イオンの処理工程で課題となっている水中での酸化/還元反応に対して、申請者らは担持貴金属触媒の利用が有効であることを見出した。これにより画期的な処理プロセスの構築が期待されるが、そのためには反応機構の解明と触媒の高性能化が必要で、またプラントの実現可能性も調べる必要があった。本研究ではそれらの課題に対して各種検討を行い、亜ヒ酸酸化の反応機構を解明するとともに、セレン酸還元触媒の飛躍的な長寿命化に成功した。さらに、亜ヒ酸酸化の反応速度が本研究の触媒反応速度でも実用性があり、それを用いたヒ素処理プロセスが現状のプロセスよりもトータルコストが低くなることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体への悪影響が大きい毒性金属イオンの処理法は、今後ますます重要になってくると考えられる。それに対して本研究は、固体触媒を用いた新たな処理法を提案し、またその実用化の可能性を検討したもので社会的意義は大きい。さらに、固体触媒を充填した反応器を用いるプロセスは、初期コストが大きくなるものの、低い運転コストによって比較的短期間の操業でトータルコストが従来プラントよりも低くなることがわかった。学術的意義としては、固体触媒上での水中での金属イオンの酸化・還元反応の反応機構を明らかにした点、およびセレン還元触媒の寿命を飛躍的に向上できた点である。

研究成果の概要(英文)：We found that supported noble metal catalysts are effective for the oxidation / reduction of toxic metal ions in water, which has been a problem in the treatment process of toxic metal ions contained in industrial effluents. The use of the supported catalysts is expected to lead to the development of an innovative treatment process, but this requires not only clarification of the reaction mechanism and improvement of catalyst performance, but also investigation of the feasibility of the plant. In this work, we succeeded in elucidating the reaction mechanism of arsenite oxidation and dramatically extending the life of the selenite reduction catalyst. Furthermore, it was found that the reaction rate of arsenite oxidation in this work is practical, and the total cost of the arsenic treatment process using the catalyst is lower than that of the current process.

研究分野：化学工学，触媒反応工学

キーワード：毒物除去 亜ヒ酸酸化 セレン酸還元 接触液相反応 反応機構解析 プロセス解析 担持貴金属触媒

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

精錬工場などの廃液には、亜ヒ酸、セレン酸などの毒性金属イオンが含まれるため、排出前に除去しなければならない。しかし、亜ヒ酸やセレン酸などは、その特徴的な物性のため吸着法や沈殿法など物理的な手法で除去することは非常に困難である。そのため前処理として水中酸化（亜ヒ酸）あるいは水中還元（セレン酸）を行って、それぞれヒ酸と金属セレンに変えてから物理的に除去している。ところが、その反応は非常に進行しにくい¹⁾²⁾ため、現状ではコストをかけて厳しい条件かつ多量の酸化剤/還元剤を用いて反応を進行させている。したがって、毒性金属イオンの除去プロセスの高効率化は鉱工業課題の一つになっている。

これに対して申請者らは、その水中酸化/還元反応に担持貴金属触媒を適用すると、マイルドな反応条件でも速やかに反応が進行することを世界で初めて見出した³⁾⁴⁾。本研究開始前までに、回分反応器を用いて白金粒子径などの触媒物性が反応速度と触媒寿命に及ぼす影響を明らかにしたが、触媒反応機構は未だ明らかにできていなかった。

毒性金属イオンの前処理プロセスの運転コストと処理能力が問題となっている現状を考慮すると、高価な貴金属触媒を用いても、高い処理能力と低い運転コストを備えた革新的プロセスの構築が期待できる。しかし、固体触媒を用いた排水処理プラントは例がないため、新規プラントの実現可能性を評価しておくことは重要である。そのためにも触媒反応速度を求め、触媒反応機構を解明することが必要不可欠である。同時に、触媒を用いた廃液処理プラントを実現するにはどれほどの触媒性能が必要なのか、また触媒を充填した固定床反応器で良いのかなど、反応器に関する検討が必要と考えられていた。

2. 研究の目的

本研究では固体触媒を用いた革新的な廃液処理プラントの構築を目指し、主に次の2点を明らかにすることを当初の目的とした。

- 1) 担持貴金属触媒上での亜ヒ酸 ($\text{As}(\quad)$) の水中酸化およびセレン酸 ($\text{Se}(\quad)$) の水中還元反応機構を解明する。
- 2) 触媒性能が廃液処理プラントの性能に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

3-1) 触媒調製

$\text{As}(\quad)$ 酸化反応には含浸法で調製したシリカ担持白金 (Pt/SiO_2) 触媒を主に用いた。以前の研究より、亜ヒ酸酸化反応には白金が最も高い活性を示したためである。Pt 源と SiO_2 担体にはジニトロジアンミン白金・硝酸塩と富士シリシア製 CARIACT50 (1mm 径) をそれぞれ用い、Pt 担持量は 1.0wt% を基本とした。この粒状触媒を粉砕した粉状触媒も用いた。

セレン酸還元反応には含浸法で調製したチタニア担持ロジウム (Rh/TiO_2) 触媒を主に用いた。セレン酸還元反応に固体触媒を用いると触媒寿命が極めて短い⁵⁾が、検討した中で Rh/TiO_2 触媒が最も長寿命であったためである。Rh 源と TiO_2 担体には塩化ロジウムと日本アエロジル製 P25 をそれぞれ用い、Rh 担持量は 10wt% を基本とした。

3-2) 流通式反応器による亜ヒ酸の水中酸化実験

$\text{As}(\quad)$ 水中酸化の流通反応実験は、 Pt/SiO_2 触媒を充填した内径 8 mm の管型反応器を用いて行った。触媒は、1.0 mm 径の球状触媒と粉状触媒を用いた。反応液は pH=3 に調整した亜ヒ酸ナトリウム (NaAsO_2) 水溶液を用い、体積流量当たりの触媒重量に相当する W/F は約 900 ~ 140,000 $\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ の範囲で行った。

反応溶液中の $\text{As}(\quad)$ 濃度はモリブデンブルー法により決定した。また、反応液中の全 As 濃度を誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP) で調べ、全 As 濃度と $\text{As}(\quad)$ 濃度の差から $\text{As}(\quad)$ 濃度を算出した。また、回分反応実験では同定できなかった溶存酸素濃度を物質収支から算出した。

比較のための回分反応実験ならびに長時間の反応挙動を調べるための静置実験も行った。

3-3) 回分反応器によるセレン酸の水中還元実験

$\text{Se}(\quad)$ 水中還元回分反応実験は、還元器とガス供給口を備えたフラスコ中で行った。セレン酸ナトリウム (Na_2SeO_4) の硫酸溶液 ($[\text{H}_2\text{SO}_4]=1.0 \text{ M}$) に触媒を添加した後、所定温度に保ち、不活性ガスをパージすることで溶存酸素を除去した。そこに還元剤を加えて反応を開始した。還元剤には、主に Se の 40 モル倍量のヒドラジン-水和水 ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) を用い、その他にホルムアルデヒド (HCHO)、メタノール (MeOH) も用いた。

本実験条件では $\text{Se}(\quad)$ が生成せずに、生成物が固体の Se 金属のみであることを確認できたため、溶液中の $\text{Se}(\quad)$ 濃度を ICP 測定により決定した。

また、長時間の反応挙動を確認するための静置実験も行った。

4. 研究成果

4-1) 管型反応器を用いた As(III) 酸化反応

管型反応器を用いた反応試験は、反応機構解明とプロセス化の双方の観点から重要である。

まず、触媒を充填した管型反応器を用いて各種条件を変えて反応実験を行った。その結果、As(III)濃度を実廃液に近い $0.267 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ とした場合でも、有意な As(III)反応率が得られ、 $W/F=140,000 \text{ kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ (空間時間は約 11 分) まで上げると、供給した As(III)を完全に酸化することができた。この結果は、酸素ガスの追加供給を行わずに原料の As(III)水溶液に溶存していた酸素だけで、実廃液濃度の As(III)を排出基準値以下まで酸化できることを示している。研究開始当初には As(III)水溶液の供給と同時に気体状酸素も供給可能な混相流反応器が必要ではないかと予想していたが、一般的な鉱業廃液に対しては、固定床反応器で十分に処理できることがわかった。

次に、回分反応実験では同定できていなかった溶存酸素濃度についての検討を行った。溶存酸素計による測定では十分な精度が得られず、また溶液中で生じた気泡が触媒に付着する問題も生じたが、反応装置の工夫により解決した。酸素に対して量論比以上の As(III)を供給した場合に W/F を大きくすると、反応液中の溶存酸素が完全に消費されて As(III)反応率が一定値を示した。その値から算出した反応器入口での溶存酸素濃度は大気と接触している水の酸素濃度と一致した。したがって、反応器中に酸素の混入が起こっていないこと、また水中酸素濃度を As(III)反応量から算出できることを確認した。

4-2) As(III) 酸化反応機構

触媒を充填した管型反応器を用いた反応実験法を確立したため、粉末触媒を用いて反応速度解析を行った。図 1 は As(III)反応量の As(III)供給濃度依存性を調べた結果である。As(III)の反応速度は、As(III)供給濃度に対して反応速度が極大値を示した。このように As(III)供給濃度に対して反応速度が極大値を示す挙動は、反応原料である As(III)と酸素がともに触媒表面へ競争的に吸着していることを示している。すなわち、Pt 触媒上での溶存酸素による As(III)酸化反応が Langmuir-Hinshelwood (L-H) 機構に従っていることを明らかにできた。

次に、1mm 径の粒状触媒を用い、As(III)濃度を高くして W/F を変化させた場合の反応速度式を求めた。ここでは反応器が理想的な積分反応器であると見なして、L-H 機構の式で実験結果をフィッティングした。しかし、L-H 機構の式とは異なり、反応速度が酸素濃度に比例する速度式が得られた。この結果は図 1 と全く異なる挙動であり、その反応条件では反応律速になっていないと考えられた。律速段階を確認するために、 W/F を固定して As(III)供給濃度の影響を調べた。その結果、As(III)も酸素も反応器出口で十分に残っているにもかかわらず、反応速度が As(III)供給濃度とは無関係に一定値を示した。これより、この反応条件下では触媒への酸素の供給が律速になっていると考えられた。1mm 径の粒状触媒でも酸素の供給律速になったということは、それだけ触媒表面上での反応速度が大きいということである。また、反応速度式が酸素の供給律速になったということは、反応場が触媒表面であることを示しており、As(III)酸化反応が L-H 機構に従うことを支持する結果である。

溶存酸素が Pt 表面上に吸着し、活性化されることは多くの報告例があるが、As(III)が触媒上で活性化されているかどうかは不明であった。As(III)が触媒上で活性化されているのであれば、弱い酸化剤を用いても As(III)酸化が進行するはずと考え、酸化力の異なる酸化剤を用いて回分反応実験を行った。酸素よりも強い酸化剤を用いた場合には速やかに反応が起こったが、酸素よりも弱い酸化剤を用いた場合には、Fe(III)を除いて As(III)の酸化は全く起こらなかった。したがって、As(III)は Pt 触媒表面に吸着し、触媒上で酸素と反応するが、触媒上で活性化されてはいないと考えられた。したがって、Pt 触媒の反応促進効果は、酸素の活性化と As(III)の表面濃縮効果に起因すると考えられる。

4-3) As(III) の沈殿除去

廃液からの As(III)の除去では、As(III)を As(V)に酸化した後に As(V)を沈殿させる必要がある。As(III)の沈殿剤として Fe(III)が知られているため、As(III)と Fe(III)の沈殿挙動を調べ、さらに酸化反応と沈殿反応を同時に行えるかの検討を行った。図 2

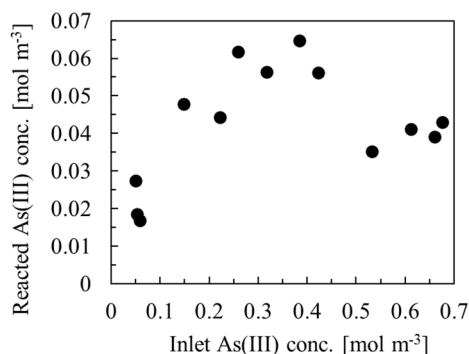


図 1 As(III) 酸化の As(III) 濃度依存性
粉末触媒使用, $W/F=900 \text{ kg s m}^{-3}$

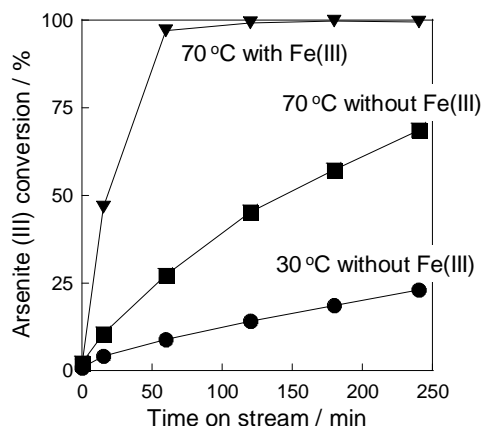


図 2 As(III) 酸化への Fe(III) 共存の影響

に Fe()を用いた As()の沈殿除去実験の結果を示す。用いた反応器は回分反応器である。溶液中に Fe()を含まない Pt/SiO₂ 触媒上での As()反応率は、30 で約 20%、70 で約 70%であった。これに対して、As()に対して 20 倍モルの Fe()を添

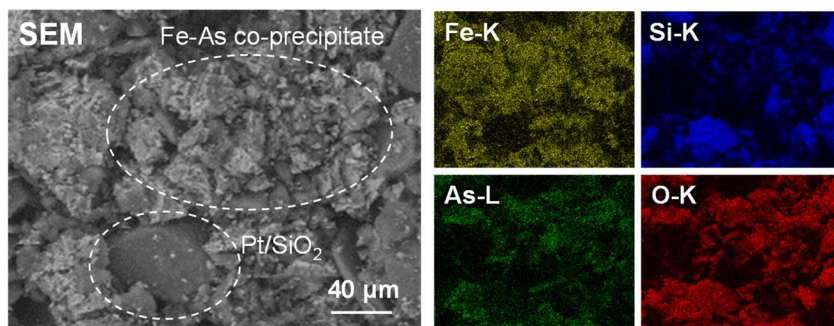


図3 図2の触媒の反応後のTEM像と元素マッピング

加して反応した場合は、わずか1時間で100%に近いAs()転化率が得られた。以前の反応実験においてFe()もAs()に対する酸化剤として機能することを確認しているが、その場合のAs()反応率は反応2時間で約20%と低かった。すなわち、図2の実験では、溶存酸素による酸化とFe()による酸化の和を大幅に上回るAs()反応率が得られたことになり、両者のシナジー効果によりAs()酸化が著しく促進されることがわかった。

さらに、70 でFe()添加の条件では、As()酸化の進行とともにAs()が沈殿し、溶液中からヒ素が完全に除去された。Fe()を共存させることで、As()の酸化とAs()の沈殿を同時に達成できたことになる。図3は反応後の触媒の走査型電子顕微鏡観察像である。元素マッピング図から、ヒ素は単独で沈殿を形成しているのではなく、鉄と共沈している様子が観察された。しかし、マッピング図中におけるFe/Asモル比=10とFeが過剰に含まれており、Fe()とAs(V)の化合物の沈殿ではないと考えられる。70 ではFe()は水酸化鉄として沈殿することが知られており⁵⁾、本条件でもFe()の沈殿に巻き込まれるようにヒ素が除去されたと考えている。以上のように、Pt/SiO₂上でのAs()酸化反応において、沈殿剤であるFe()をあらかじめ共存させることでAs()酸化を促進できAs()の沈殿除去も同時に行えることが明らかとなった。

4-4) Se()還元反応に用いる触媒の長寿命化

As()の酸化では、大気下での溶存酸素だけで酸化を完了することができ、また実験時間内に触媒の劣化も認められなかった。これに対してSe()の還元には2つの大きな問題があった。一つはN₂H₄のような還元剤を必要とすることで、もう一つは触媒が数時間で失活してしまうことであった。特に後者はプロセス化を困難にする極めて重大な問題である。そこで触媒の長寿命化に関する検討を種々行った。

まず触媒劣化の原因を調べるため、反応前後のRh/TiO₂触媒を透過型電子顕微鏡(TEM)で観察した。反応中にRh粒子径が増大していたが、その変化によって触媒活性が完全に失われるとは考えられない。元素マッピングの結果では、反応後のRhとSeの検出位置が類似していた。したがって、生成物であるSe金属がRh表面を被覆することが、触媒劣化の主要因であると考えられた。その析出物は、焼成処理によって除去できることがわかったが、その再生処理コストは極めて大きくなる。

そこでSe金属の析出場所をコントロールするための検討を種々行った。その結果、N₂H₄よりも弱い還元剤を用いて還元反応速度を遅くすることが有効であることを見出した。特にHCHOを還元剤に用いた場合、反応速度の低下が非常に緩やかになり、N₂H₄では数時間に活性を完全に失っていたのに対し、HCHOでは反応開始300h経過後でも触媒活性を維持できるようになった(図4)。反応後の触媒のTEM観察と元素分析を行ったところ、図5(a)に示すようにHCHO還元では

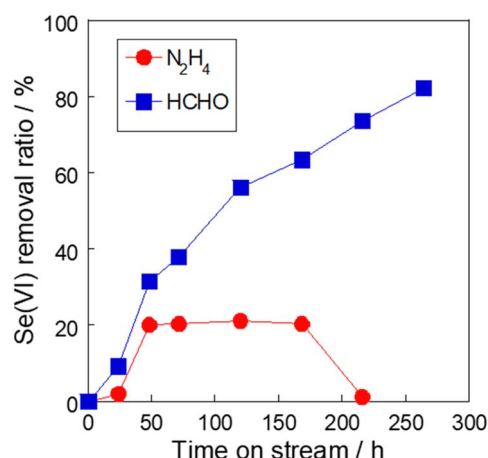


図4 異なる還元剤を用いたSe()還元挙動

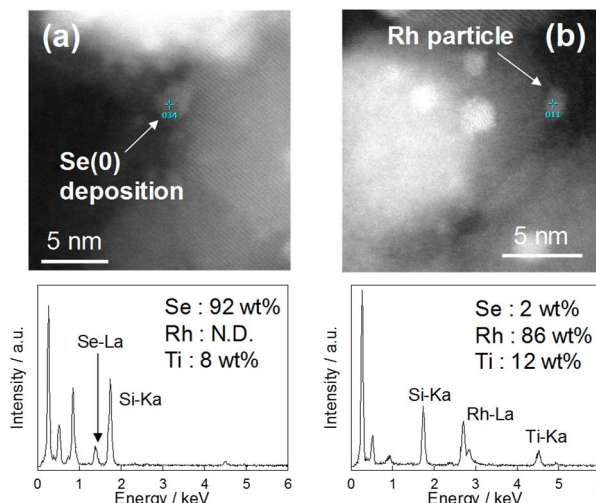


図5 長時間Se()還元反応後のTEM像と元素分析 (a)HCHOによる還元, (b)N₂H₄による還元

Rh 以外の担体表面に Se が析出していた．このように還元反応速度を低下させることで，生成物である Se 金属の析出挙動が変化し，Rh 表面ではなく担体表面に Se 金属が析出するようになり，触媒劣化を著しく抑制できることがわかった．また，この析出挙動から，本反応は還元剤が触媒上で活性化され，その還元剤が近傍に存在する Se()を還元する E-R 機構であると推察された．

以上のように，Rh/TiO₂ 触媒を用いた Se()還元反応の触媒寿命を飛躍的に向上させることに成功し，同時に反応機構についても重要な知見を得た．

4-5) As()除去プラントの検討

4-2)では反応機構解明のための反応速度解析を行ったが，As()供給濃度を実廃液よりも高く設定するなど，反応器設計に利用する条件とは異なっていた．そこで実廃液の処理工程で想定される濃度範囲において，1mm 径の Pt/SiO₂ 触媒を用いて As()酸化実験を行い，反応速度式を求めた．図6に示すようにフィッティング結果は実験結果をよく表している．ただし，L-H 式の分母はほぼ1となり，次の速度式が得られた．

$$-r_{As} = 4.7 \times 10^{-4} [As(III)][O_2] \quad (1)$$

廃水処理プラントにおいては除去困難な As()と Se()が残り，それらを最後に処理することになる．ただし，現在は法規制の緩い Se()の除去プロセスはないため，本研究では As()の除去プロセスのみを検討した．As()の除去は最終工程ではあっても，共存金属は必ず存在するため，共存金属イオンの影響を調べた．その結果，4-3)で述べた Fe()を除くと，共存金属イオンが As()酸化にほとんど影響しないことを確認できた．これは，一般的な金属イオンが触媒金属表面に吸着しないのに対し，As()は金属表面に吸着して反応するためと考えられた．

比較のために，触媒を使わない As()酸化除去プロセスとして，過酸化水素を酸化剤に用いたプロセスを取り上げた．As()の酸化反応は高 pH になるほど平衡が有利になるため，既往の速度式は pH 7での報告しかない本研究では pH が変化しない条件での反応速度式を得るため，速度的に不利な pH=3 で反応速度式を得ているが，そのまま比較を行った．

まず，鉱業廃液中の As()濃度の多くは 4-1)の実験で用いた As 濃度よりも低いと報告されていた⁶⁾．このことは，特別に酸素を供給せずとも，触媒を充填した管型反応器に廃液を流通するだけで，規制濃度以下まで As()濃度を低減できることを示している．そこで，1.0wt%の Pt 触媒を充填した管型反応器を想定し，廃液処理量を 10000 m³・day⁻¹ として式(1)を用いてシミュレーションを行った．ここで，プラントの建設コストと運転コストに関しては文献⁷⁾の推算式を用いた．本研究の As()酸化実験では触媒劣化が全く観測されなかったため，触媒劣化関数を明らかにできなかったが，1 年で触媒活性が半減するという厳しめの設定でシミュレートした．その結果，Pt 触媒を用いるプロセスは従来プロセスの約 2.5 倍の初期コストがかかるが，管型反応器の建設コストが Pt 触媒コストの約 2 倍にもなり，高価な白金を使用しても実用化を阻むほどの影響はないと推察された．一方，犠牲剤を用いる従来型反応に対して触媒反応では運転コストが劇的に低くなり，およそ半年間の操業で従来プロセス以下のトータルコストになると推算された．

さらに，室温で大気暴露した As()水溶液に Pt 触媒を加え，触媒が沈降した状態でも溶存酸素だけで As()を十分な速度で酸化できることもわかった．よって，処理スペースが充分にある環境であれば，大気暴露した貯水槽で As()を除去することも可能と考えられる．

以上のように，As()酸化に限定した検討ではあるが，貴金属触媒を用いた廃水からの As()除去プラントが従来プラントよりも有利であることが示された．また，Pt 触媒の触媒性能は現時点でも実廃液に対して十分な触媒性能を有している上に，触媒への酸素の供給が律速になりやすいこともあり，これ以上の活性向上はあまり必要でないこともわかった．一方，本実験では触媒劣化が観測されなかったものの，実廃液では Pt 触媒も劣化する可能性があるため，触媒の長寿命化が今後の課題と考えられる．

【参考文献】

- 1) M.J. Kim *et al.*, *Sci. Total Environ.*, **247** (2000) 71.
- 2) I.H. Yoon *et al.* *App. Cata. B: Environ.* **104** (2011) 185.
- 3) J. Zhao *et. al.*, *Chem Eng J.*, **325** (2017) 270.
- 4) J. Zhao *et. al.*, *Chem Eng J.*, **308** (2017) 963.
- 5) L. Hao *et. al.*, *RSC Adv.*, **8** (2018) 39545.
- 6) 富岡ら，*環境資源工学*，**52** (2005) 145.
- 7) G.D. Ulrich and P.T. Vasudevan, *Chemical Engineering Process Design and Economics a Practical Guide 2nd edition* (2004).

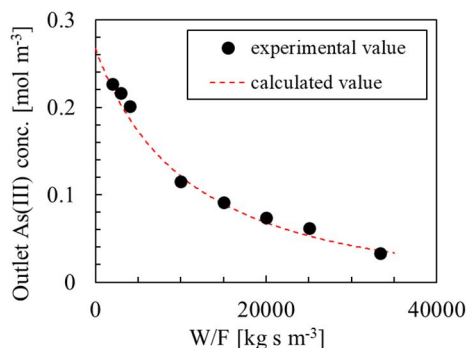


図6 反応器設計のための速度解析結果
粒状触媒使用，[As()]=0.27 mol m⁻³

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Kazumasa Oshima, Hiromichi Kondo, Eriko Konishi, Tsuyoshi Yamamoto, Yoshifumi Tsuge, Takayuki Watanabe, Masahiro Kishida | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 As(III) removal through catalytic oxidation and Fe(III) precipitation | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 RSC Advances | 6. 最初と最後の頁 16843-16846 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2RA02537J | 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 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Kazumasa Oshima, Kyogo Ito, Eriko Konishi, Tsuyoshi Yamamoto, Jun Fukai, Toshihisa Kajiwara, Masahiro Kishida | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Reductive removal of selenate (VI) in aqueous solution using rhodium metal particles supported on TiO ₂ | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 RSC Advances | 6. 最初と最後の頁 17655-17660 |
| 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 浦田誉幸, 居藤恭吾, 山本剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 亜ヒ酸の水中酸化反応における担持貴金属触媒の役割 |
| 3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 居藤恭吾, 浦田誉幸, 山本剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 セレン酸の水中還元反応における担持貴金属触媒の役割 |
| 3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岸田昌浩, 浦田誉幸, 居藤恭吾, 近藤弘偉, 山本剛 |
| 2. 発表標題 担持貴金属触媒上での亜ヒ酸の水中酸化機構の検討 |
| 3. 学会等名 化学工学会第86年会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 浦田誉幸, 松根英樹, 山本 剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 白金触媒による酸素供給下でのAs()の水中酸化に対する反応速度論的解析 |
| 3. 学会等名 石油学会第62回年会 (P09) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 居藤恭吾, 松根英樹, 山本 剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 貴金属触媒によるセレン酸の水中ヒドラジン還元 |
| 3. 学会等名 石油学会第62回年会 (P22) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masahiro KISHIDA, Takayuki URATA, Hideki MATSUNE, Tsuyoshi YAMAMOTO |
| 2. 発表標題 Catalytic oxidation of arsenite to arsenate over supported Pt catalysts for wastewater treatment |
| 3. 学会等名 Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering 2019 (APCChE2019)(H223) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 居藤恭吾, 松根英樹, 山本 剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 担持貴金属触媒上でのヒドラジンによるセレン酸の水中還元 |
| 3. 学会等名 石油学会第49回石油・石油化学討論会 (1G18) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 浦田誉幸, 松根英樹, 山本 剛, 岸田昌浩 |
| 2. 発表標題 担持白金触媒上での亜ヒ酸水中酸化反応の速度解析 |
| 3. 学会等名 石油学会第49回石油・石油化学討論会 (1G19) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岸田昌浩, 趙 金仙, 居藤恭吾, 松根英樹, 山本 剛 |
| 2. 発表標題 白金触媒上でのセレン酸のヒドラジン還元反応 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第50回秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大賀誠志, 大野聡一郎, 弘中秀至, 深井 潤 |
| 2. 発表標題 工場排熱で加熱した環境空気によるゼオライト粒子再生の可能性 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第50回秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H.Matsune, J.Zhao, S.Takenaka, M.Kishida |
| 2. 発表標題 Efficient catalytic oxidation of As(III) with oxygen over Pt catalysts |
| 3. 学会等名 6th International Workshop on Process Intensification (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 岸田昌浩, 居藤恭吾, 松根英樹, 山本 剛 |
| 2. 発表標題 担持貴金属触媒を用いたセレン酸の水中還元 |
| 3. 学会等名 化学工学会 第84年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|--------------------------------------|--|---------------|
| 産業財産権の名称 セレン(VI)化合物の還元方法、セレンの回収方法 | 発明者 岸田昌浩, 山本剛, 居藤恭吾, 浦田誉 幸, 浅野聡 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-136749 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔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 | 山本 剛 (Yamamoto Tsuyoshi) (20321979) | 九州大学・工学研究院・准教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 大島 一真 (Oshima Kazumasa) (60734275) | 九州大学・工学研究院・助教 (17102) | |

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 | 深井 潤 (Fukai Jun) (20189905) | 九州大学・工学研究院・教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 渡辺 隆行 (Watanabe Takayuki) (40191770) | 九州大学・工学研究院・教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 梶原 稔尚 (Kajiwara Toshihisa) (10194747) | 九州大学・工学研究院・教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 柘植 義文 (Tsuge Yoshifumi) (00179988) | 九州大学・工学研究院・教授 (17102) | |
| 研究分担者 | 松根 英樹 (Matsune Hideki) (10380586) | 九州大学・工学研究院・助教 (17102) | 2018年度～2020年度 |

| | 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 |
|-------|-----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 浅野 聡 (Asano Satoshi) | 住友金属鉱山株式会社 | |

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 |
|---------|---------|