

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00593

研究課題名(和文) 超臨界流体を複合利用したオスmium系廃液・廃固体の新規包括的処理技術の開発

研究課題名(英文) Study on the treatment of osmium-containing waste liquid/solid using supercritical fluids

研究代表者

布浦 鉄兵 (Nunoura, Teppei)

東京大学・環境安全研究センター・准教授

研究者番号：40444070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：高い毒性を有し且つ希少な貴金属であるオスmiumについて、これを含有する廃液・廃固体の処理技術として超臨界流体を複合利用したプロセスを提案し、その要素技術について検討を行った。オスmium化合物及び有機物を共存させた模擬廃液もしくはオスmium含有固体試料について超臨界水酸化実験を行い、各種反応条件や共存物が及ぼす影響を明らかにした。また、四酸化オスmium水溶液に対して超臨界二酸化炭素抽出実験を行い、反応条件や装置条件が四酸化オスmium抽出率・回収率に及ぼす影響を定量的に明らかにした。加えて、超音波照射がオスmium・有機物含有廃液に及ぼす影響について検討し、各物質の酸化挙動を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、オスmium含有廃棄物の処理技術開発を目的に、廃棄物中オスmium物質の諸反応について検討を行いその挙動を明らかにした。超臨界流体中のオスmiumの挙動に関する知見は、これまでに筆者の研究グループ以外に報告例のないものであって、廃棄物処理技術の研究分野のみならず物質合成や反応工学の分野における応用にもつながり得る学術的に非常に意義の大きい成果である。加えて、本研究の成果は、従来は処理困難であったオスmium廃棄物について、適切に無害化・有価物回収を行う処理プロセスの確立につながるものであり、有害廃棄物管理・持続可能な物質循環に大きく資するため、その社会的意義も極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：A novel treatment process of waste liquid/solid containing osmium, which is not only a highly toxic substance but also a precious metal, was studied. This process consists of supercritical water oxidation of osmium-containing waste and supercritical carbon dioxide extraction of osmium tetroxide from water phase. First, supercritical water oxidation of simulated wastewater containing osmium compounds and some coexisting materials and waste solid was studied and the effect of operational conditions and coexisting materials on the behavior of osmium compounds was measured. Behavior of osmium tetroxide in supercritical carbon dioxide extraction as well as its recovery was also investigated quantitatively under various experimental conditions. In addition, effect of ultrasonic irradiation on the wastewater containing osmium compounds and organic substances was investigated to clarify their oxidation behavior.

研究分野：環境工学

キーワード：オスmium 超臨界水酸化 超臨界二酸化炭素抽出 廃棄物処理 四酸化オスmium

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

筆者は、所属する大学内で発生する実験系有害廃棄物全般について管理・処理を行う業務に約15年間従事しているが、長年問題となっている廃棄物の一つがオスミウム含有廃棄物である。

オスミウムは、金や白金などと同様に、地球上に約4ppbしか含まれない希少な貴金属元素であるが、電子顕微鏡試料作成時の固定・染色や、有機合成における酸化剤としてなど、研究用途で広く用いられている。しかしながら、こうした研究用途から発生するオスミウム含有廃液は、オスミウム化合物が不溶化除去できないこと、処理の際に極めて毒性の高い酸化オスミウム(VIII)ガスが揮発する可能性があることなどの理由から、世界的に無害化処理方法が確立されていない。そのため、これを確実に処理できる廃棄物処理業者は存在せず、各研究機関において長期保管されているのが現状である。本学においても合計約1000Lのオスミウム含有廃液が処理されずに長期保管されている状況であり、無害化処理技術の早期確立が求められる。また、近年、顕微鏡観察試料や電極材料などに金属オスミウム薄膜を蒸着させる「オスミウムコーター」の研究現場等への新規導入が進んでおり、今後オスミウム付着固形廃棄物の発生増大が予測されるが、それを如何に無害化処理するかについてはなおざりとなっている。現に、オスミウム廃棄物処理技術に関する検討例は国内・国外ともに非常に僅かである。近年、廃液をオゾン酸化し発生した酸化オスミウムガスを回収する方法が報告されたが、廃液中のオスミウム濃度を500ppm以下に落とすことは不可能であった(開発者への直接聞き取り調査)。一般に重金属の排水基準は数十~数百ppbであり(水銀は更に低い)、処理水濃度が500ppmでは高すぎて到底許容されないレベルである。また、オスミウムは上述の通り希少な金属であるので、可能であれば廃棄物処理後に高純度で回収できるプロセスが望ましい。

応募者は約20年間にわたり超臨界水中での酸化反応に関する研究を行ってきたが、この超臨界水酸化は、オゾン酸化などのいわゆる促進酸化法に比べて酸化力が非常に高く分解速度が速いことや省エネルギー性、発生するオフガスを閉鎖系でコントロールできることなどの利点を有している。従って、オスミウム含有廃棄物の処理に適用した場合、格段に強い酸化力により廃棄物中のオスミウム化合物を高速かつ完全に酸化できるうえ、生成した酸化オスミウム(VIII)ガスを閉鎖系で安全にコントロールできるという強力なメリットが予測される。また、一般に研究用途で発生するオスミウム廃棄物に共存している生体組織や各種有機化合物も超臨界水酸化系で速やかに二酸化炭素まで完全分解されるため、共存物も同時処理できるというメリットも存在する。

超臨界水酸化によって生成した酸化オスミウムの回収方法としては、超臨界二酸化炭素抽出の利用が有効と考えられる。超臨界二酸化炭素は一般的な有機溶媒と同等以上の高い抽出能力を持つため、これまでに各種有機物質の抽出に関する検討が広く行われており、一部は既に実用化されている。金属化合物の抽出に関する検討例は非常に少ないが、例えば使用済み核燃料から酸化ウランを抽出する溶媒として有効との報告がある。ウランの場合はリン酸トリブチル及び硝酸により有機錯体を形成したうえでの抽出だが、酸化オスミウム(VIII)はそれ自体有機溶媒に可溶であることから、錯体合成せずともダイレクトに抽出できることが期待され、超臨界二酸化炭素抽出プロセスとの相性は極めて良いと予想される。

以上の知見から、「オスミウム含有廃液の超臨界水酸化」と「酸化オスミウムの超臨界二酸化炭素抽出」という二段構えの新規処理技術の開発を着想し、3年間にわたりオスミウム含有廃液に関して新規検討を行ってきた。その結果、オスミウム化合物の超臨界水酸化反応や超臨界二酸化炭素抽出に関する基礎的な特性を明らかにした。しかしながら、オスミウム化合物の超臨界水酸化反応挙動の詳細な解明や、超臨界二酸化炭素抽出に関する速度論的解析など、実プロセスを検討するにあたって解明すべき点が多く残されていた。また、オスミウム含有の固形廃棄物に関する検討は未着手であった。

以上が、研究開始当初の背景状況である。

2. 研究の目的

本研究では、以下の点について明らかにするため実験的検討を行った。

(1) 超臨界水酸化反応によるオスミウム含有廃棄物の反応特性。特に、各種オスミウム化合物の酸化特性と共存有機物質の除去特性に対する諸反応条件の影響を詳細に検討する。

(2) 超臨界水二酸化炭素抽出による酸化オスミウム(VIII)の回収特性。特に、実廃棄物における共存物質の影響を考慮しつつ抽出率・回収率の向上を図りながら反応速度論的を行い、プロセス設計に資する知見を得る。

また、本研究の遂行にあたり、オスミウム化合物含有廃液に超音波を照射したところ酸化挙動が確認され、超臨界水酸化処理の代替として超音波照射処理を適用できる可能性が示されたため、上記の目的に加えて、

(3) 超音波照射による廃液中オスミウム化合物及び共存有機物の酸化反応特性についても検討を行った。

一般に廃棄物処理技術に関する検討は広く行われているが、オスミウム廃棄物に関する検討例は、その必要性の高さにも関わらず非常に少なく、そのために技術確立がされず各所で廃棄物の長期保管を余儀なくされているのが研究開始当時の状況であった。実際、応募者の職務上さまざまな産業廃棄物処理業者と情報交換する機会があるが、処理業の現場で長らく問題になっているのがオスミウム廃棄物であり、処理法確立のための研究開発を求める現場からの声は極め

て切実である。従って、オスミウム廃棄物に関する検討であること自体が本研究の一つの特色である。また、超臨界水酸化・超臨界二酸化炭素抽出については有機物を対象とした研究例がほとんどであり、重金属廃棄物を処理ターゲットとする試みは非常に独創的であり、これも本研究の特色である。

本研究の目的である無害化処理技術の確立が達成されれば、これまで処理不可能であったオスミウム廃棄物の処理が促進され、各所での長期保管という危険な状態を解消でき、なおかつ貴重な貴金属資源の循環有効利用が図れるため、社会的に非常に大きな意義がある。また、研究の過程では必ず反応機構に立ち入って解析を行うので、超臨界流体中でのオスミウムの反応という全く新しい学術情報を提供することができる。

上述のとおり、従来の超臨界水酸化反応に関する研究においては、有機物質が処理対象であって、重金属は共存物質に過ぎなかった。むしろ、重金属は超臨界水中において溶解度の低下により析出し、配管の閉塞や、条件によっては局地的な配管の腐食を引き起こすことから、プロセスの安全面からも処理効率の面からも「邪魔者」として捉えられている。一方で本研究では、酸化オスミウム(VIII)のガス化という特殊な性質を生かして、邪魔者であるはずのオスミウム金属自体を処理ターゲットとして検討するという提案であり、独創的なアイデアであると確信する。

本研究は、「従来は処理障害物質としてのみ捉えられていた廃棄物中の金属成分(オスミウム)を、逆に処理ターゲットに据える」という、超臨界水研究の分野では極めて突飛な着想の提案を行うものである。しかしながら、オスミウムの性質や超臨界水酸化・超臨界二酸化炭素抽出の特性を考慮すれば、原理的には実現可能な着想であり、現にこれまでの検討結果はそれを裏付けている。このプロセスの開発に成功すれば、社会的に処理不可能と認識されていたオスミウム含有廃棄物の処理処分に向けて大きく道が開けることとなる。その影響は、日本国内のみにとどまらない。全世界に対して、全く新規で有用な知見を発信し技術を提供することにつながる。

学術的観点からも、超臨界流体中におけるオスミウム金属の挙動を明らかにすることは大きな意義があり、廃棄物処理技術の分野だけでなく、ナノ微粒子等の物質合成の分野での研究にも資する卓越した成果となることが期待される。

以上が本研究の目的とその意義である。

3. 研究の方法

(1) 各種オスミウム化合物の超臨界水酸化挙動の検討

(実験方法)超臨界水酸化反応の検討には、回分式実験装置と、下図に示す流通式連続実験装置を併用した。

回分式装置は、耐腐食性の強いステンレス SUS316 製配管と熱電対及び圧力計を用いて作製した。装置内に各種オスミウム化合物含有水溶液もしくは含有固体試料と過酸化水素水(酸素発生源)を導入し、密封したのち溶融塩浴により反応温度まで昇温し、所定時間反応させたのち急冷して反応を停止させた。装置内圧を開放したのち残留液を採取してオスミウムの存在態を分析した。なお、固体試料については、酸溶解によるオスミウム除去についても併せて検討した。

連続式装置については、高精度の HPLC 用ポンプ 2 台を使用した。反応器及び予熱部は耐腐食性の SUS316 製配管を採用した。2 台のポンプによって所定の流量で圧送されたオスミウム溶液試料及び過酸化水素水はそれぞれ予熱部にて設定温度まで昇温され、反応器入口部にて混合し超臨界水酸化反応に供される。なお、温度調整には溶融塩浴を使用した。所定の滞留時間で反応後、冷却部で室温まで冷却し、背圧弁を通して大気圧まで減圧し、気相・液相をそれぞれ回収した。連続式装置は反応時間や各種反応条件を正確にコントロールできるため、反応速度論解析など詳細な実験検討に使用した。また、オスミウム含有固体試料に関する検討では、固体試料を充填した反応部に超臨界水及び酸素を流通させる半回分装置を用いた。

(実験条件設定) 圧力は 20 ~ 30 MPa、温度は 300 ~ 500 の範囲で段階的に変化させて検討した。実験に供試するオスミウム水溶液としては、一般的なオスミウム廃液で見られるオスミウム化合物(3 価、4 価、6 価が中心)を用い、初期濃度 0.01 ~ 1% の範囲に調製したものを使用して実験的に検討した。さらに、実際のオスミウム廃液の組成を参考に、オスミウム化合物に加えて代表的な共存物質を添加した模擬廃液を複数種作成して実験検討を行い、各種共存物質がオスミウムの反応挙動に与える影響を定量的に検討した。また、オスミウムを含有する固体試料についても検討を行った。

(分析方法)採取した液体試料について、誘導結合プラズマ-質量分析計(ICP/MS)にて全オスミウム濃度を測定した。また、イオンクロマトグラフ及びケルセチンを用いた分光分析法により、各酸化態のオスミウム濃度を測定した。また、有機物が共存する条件での検討においては、気相中の二酸化炭素及び一酸化炭素濃度(ガスクロマトグラフ)及び液相中の有機物濃度(全有機炭素計)を分析して共存物質の分解率も同時に測定し、廃液無害化処理としての総括的な検討を行った。

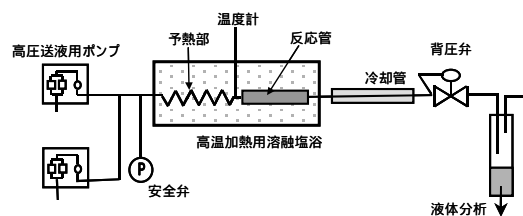


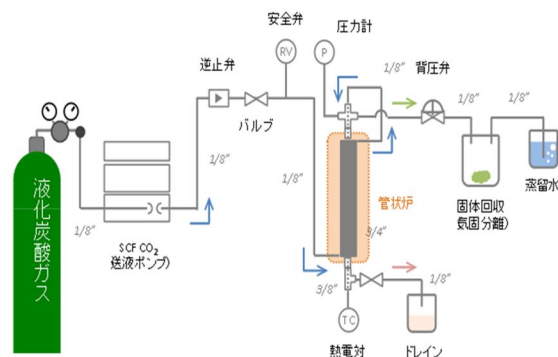
図: 高温高圧用流通式管型反応器
(予熱部、反応管に関しては耐腐食性のもの)

(2) 四酸化オスミウムの超臨界二酸化炭素抽出挙動の検討

(実験方法) 実験には、下図に示す連続式抽出装置を使用した。ステンレス SUS316 製配管で作成した抽出器に所定濃度の四酸化オスミウム水溶液を封入し、管状炉及び背圧弁にて内部を所定の反応温度及び反応圧力まで上昇させた。そこに送液ポンプにて超臨界二酸化炭素を所定流量で流通させ、抽出工程を開始した。抽出器から流出する超臨界二酸化炭素は、減圧しながらスクラバーを通過させ、抽出されたオスミウムを捕捉した。抽出工程中及び工程終了後、抽出器内及び各スクラバー内のオスミウム量を分析し、回収率等を測定した。

(実験条件設定) 抽出温度は 40~90、圧力は 7~13 MPa の範囲で段階的に変化させて検討した。抽出器内の初期酸化オスミウム濃度は 0.01~4% の範囲とし、pH の影響も併せて検討した。また、回収率向上の検討のため、回収部(スクラバー)の諸条件(温度、回収液種等)についても検討を行った。回収液としては、図中の蒸留水のほか、硫酸・チオ尿素混合溶液及び亜硫酸水素ナトリウム水溶液についても検討した。

(分析方法) 液体中の酸化オスミウム濃度については、ICP/MS 及びケルセチンを用いた分光分析法により測定した。また、固体回収部に析出した酸化オスミウム固体については、酸溶解の後 ICP/MS によって定量した。

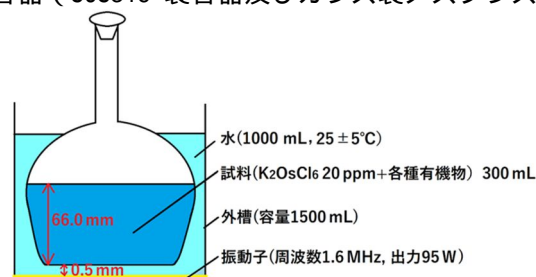


図：超臨界二酸化炭素抽出実験装置

(3) 超音波照射による廃液中オスミウム化合物及び共存有機物の酸化に関する検討

(実験方法及び条件設定) 右図に示す通り、密閉容器（SUS316 製容器及びガラス製メスフラスコ）にヘキサクロオスミウム酸カリウムと各種有機物（1-ブタノール、エタノール、アセトン）の混合水溶液を 300 mL 導入し、空気雰囲気下で密閉し 1.6 MHz の超音波を照射することで、ヘキサクロオスミウム酸カリウムと各種有機物の同時酸化分解を検討した。

(分析方法) 液中のオスミウム化合物濃度は紫外可視分光光度法及び ICP/MS を用いて測定し、有機物濃度は TOC 分析系にて測定した。



4. 研究成果

(1) 各種オスミウム化合物の超臨界水酸化挙動の検討

回分式・流通式、双方の超臨界水酸化実験装置により、各種オスミウム化合物の酸化特性について詳細に検討を行った。以下にはヘキサクロオスミウム酸カリウムに関する各種検討結果を示す。

ヘキサクロオスミウム酸カリウムの酸化挙動の検討においては、酸化剤無添加の条件においても、高い四酸化オスミウム収率が得られた。また、ヘキサクロオスミウム酸カリウム水溶液の脱ガス処理を行い、溶存酸素濃度を 1 ppm に低減した条件においては、酸化が抑制され四酸化オスミウム収率が大きく低下したが、塩素の挙動は溶存酸素濃度に依らないことが示された。よって、ヘキサクロオスミウム酸カリウムは熱によって迅速に分解され、その後、オスミウムが超臨界水中の溶存酸素により容易に四酸化オスミウムに酸化されたと考えられる。一方、酸化剤が不足した条件においては固体のオスミウム酸化物が生成することが示された。また、ヘキサクロオスミウム酸カリウムの酸化に最も影響を与えるパラメーターは酸化剤の濃度及びリン酸緩衝液の有無であった。リン酸緩衝液が共存する場合、四酸化オスミウムの生成が抑制されることを確認した。

続いてヘキサクロオスミウム酸カリウムとメタノールの同時酸化を行い、ヘキサクロオスミウム酸カリウムの酸化にメタノールが及ぼす影響を検討した。ヘキサクロオスミウム酸カリウムとメタノールの同時酸化においては、ヘキサクロオスミウム酸カリウムとメタノールそれぞれを単独で酸化させた場合よりも、四酸化オスミウム収率が大きく低下し、TOC 転化率が大幅に向上した。このことから、メタノールが共存する場合、四酸化オスミウムが生成後、メタノールの酸化を促進し、自身は還元され固体オスミウム化合物となったと考えられる。また、過酸化水素濃度及びヘキサクロオスミウム酸カリウムの濃度を増加させると四酸化オスミウム収率及び TOC 転化率はそれぞれ 100% 程度、90% 程度まで増加することを確認した。よって、酸化剤濃度及び Os/C 比の調整によりオスミウム化合物及び共存有機化合物双方の高効率酸化を達成可能であることが示された。一方で、リン酸緩衝液が共存すると四酸化オスミウムの生成が抑制される一方でメタノールの分解が促進されることが示された。

以上の結果からオスミウム化合物は超臨界水酸化により迅速に四酸化オスミウムまで酸化されること、酸化剤濃度と Os/C 比を調整することでオスミウムを四酸化オスミウムとして回収で

き、共存有機化合物の高効率酸化も達成可能だと考えられる。よって、オスミウム含有廃棄物の処理方法として超臨界水酸化は有効と考えられる。ただしリン酸緩衝液が共存する条件での処理については詳細な検討が必要である。

(2) 四酸化オスミウムの超臨界二酸化炭素抽出挙動の検討

本研究では超臨界二酸化炭素抽出による四酸化オスミウムの回収を検討し、抽出率は温度条件に強く依存すること、なおかつ密度及び誘電率の影響を受けることを確認した。また、回収率は回収液温度、液種及び気液接触の時間と面積の影響を受けることを確認した。

本研究開始当初においては回収率の最大値は 93.1%であったが、回収部のノズルの形状・配管素材等を改良することで、回収率を抽出時間 40 分において最大 98.7%にまで向上させることに成功した。さらに、抽出速度及び回収速度についての解析を行うことで、抽出時間の延長とともに四酸化オスミウム回収率が低下する原因が、CO₂ ガスの流れによって回収部から四酸化オスミウムが揮散することであることを確認した。そこで、回収液中で四酸化オスミウムを固定するため、回収液として強い還元剤である亜硫酸水素ナトリウム水溶液を用い、抽出 120 分後においても回収率最大 99%を保持することに成功した。

超臨界二酸化炭素抽出における共存物の影響に関しては、オスミウム廃液に最も多い共存物であるリン酸緩衝液を共存させた状態で超臨界二酸化炭素抽出の検討を行ったが、抽出速度・回収速度とともに、リン酸緩衝液無添加の場合とほぼ同様の結果を得た。また、UV-vis 分析、ICP-MS 分析により、被抽出液にはリン酸緩衝液が残存し、回収液中には四酸化オスミウムのみが得られ、有意に廃液からの四酸化オスミウムの分離ができていることを確認した。

四酸化オスミウム抽出速度は抽出初期において高く、抽出温度 75 °C、圧力 10 MPa の条件において、抽出 60 分でほぼ 100%が抽出されていることが示された。回収速度に関する解析から、回収液量を増やすほど四酸化オスミウムとの接触時間が長くなり回収率が向上することが示された。しかし、有害廃液の処理という観点からは、回収液量を過剰にすることは望ましくない。一方、回収液として亜硫酸水素ナトリウムを用いた場合、少ない液量 (100 mL) においても四酸化オスミウムをほぼ 100%回収することに成功した。抽出部のアップスケールを行い、被抽出液量を増やした場合や、高濃度の四酸化オスミウム水溶液を被抽出液として用いた場合においても、抽出率は 99%を超える高い値を取った。

以上の検討により、共存物質 (リン酸緩衝液) を含有する高濃度四酸化オスミウム廃液についても、超臨界二酸化炭素抽出の適用及び適切な回収部設計を行うことにより、有効に四酸化オスミウムの分離及び高効率回収を達成可能であることが示された。

(3) 超音波照射による廃液中オスミウム化合物及び共存有機物の酸化に関する検討

ヘキサクロロオスミウム酸カリウムと各種有機物の超音波分解についての検討を行った。超音波化学作用によって、ヘキサクロロオスミウム酸カリウムは 5~7 価の化合物にまで酸化できることを確認したが、今回の検討条件の範囲では 8 価の四酸化オスミウムへの酸化は確認されなかった。ヘキサクロロオスミウム酸カリウムと各種有機物との同時酸化の検討においては、それぞれの物質の酸化が同時に進行することを確認し、速度論的検討からヘキサクロロオスミウム酸カリウムと、アセトン、エタノール、1-ブタノールの酸化反応速度定数を導いた。以上の結果から、密閉容器内の廃液について、外部からの超音波照射によりオスミウム化合物及び共存有機物の酸化分解ができることが示された。

超音波処理は分解速度に課題はあるものの、高毒性の四酸化オスミウム蒸気が揮発しない密閉系において処理可能である点は非常に重要である。照射条件の最適化により更に分解効率を高められれば、超臨界水酸化処理の代替として利用できる可能性が示唆された。

本研究では、オスミウム含有廃棄物の処理技術開発を目的に、廃棄物中オスミウム物質の諸反応について検討を行った。まず各種オスミウム化合物の超臨界水酸化反応特性を検討し、超臨界水酸化により廃棄物中の有機物質を除去すると同時にオスミウム化合物を四酸化オスミウムに酸化することが可能であることを示した。同時に、超臨界二酸化炭素抽出に関する検討を行い、回収効率の課題を解決するとともに、水溶液中からの四酸化オスミウム抽出特性・回収特性を速度論的解析を通じて明らかにした。以上の知見から、オスミウムを含有する廃棄物について、超臨界水酸化及び超臨界二酸化炭素抽出を併用することにより、廃棄物中のオスミウム濃度を十分に低減し、かつ、有価物である四酸化オスミウムを効率的に回収することが可能であることが示唆され、従来は処理困難であったオスミウム廃棄物について新規処理プロセスの確立につながる有益な知見を得ることができた。加えて、超音波照射処理についてもオスミウム廃棄物処理への適用の可能性につながる有用かつ前例の無い知見が本研究にて示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Teppei Nunoura
2. 発表標題 Treatment of osmium wastewater using supercritical fluids
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Persistent Toxic Substances (ISPTS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruna Hirai, Osamu Sawai, and Teppei Nunoura
2. 発表標題 Supercritical water oxidation of osmium-containing wastewater
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Persistent Toxic Substances (ISPTS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Retsu Miyoshi, Osamu Sawai, and Teppei Nunoura
2. 発表標題 Extraction and recovery of osmium tetroxide from aqueous solution using supercritical CO ₂
3. 学会等名 The 14th International Symposium on Persistent Toxic Substances (ISPTS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平井晴菜、澤井理、布浦鉄兵
2. 発表標題 超臨界水中におけるK ₂ O ₂ Cl ₆ 及びO ₂ の挙動
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三好列、澤井理、布浦鉄兵
2. 発表標題 超臨界二酸化炭素抽出を用いた四酸化オスミウムの回収
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宣村剛志、澤井理、布浦鉄兵
2. 発表標題 超音波と超臨界二酸化炭素を併用したオスミウム含有廃液処理の検討
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020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