

令和 3 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02444

研究課題名（和文）イオン液体含浸吸着材を用いた高レベル廃液の核種分離プロセスの開発とその医療応用

研究課題名（英文）Development of Element Partitioning Process for High-level Liquid Waste using Ionic Liquid Impregnated Adsorbents and Its Medical Application

研究代表者

金 聖潤（Kim, Seong-Yun）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50574357

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000円

研究成果の概要（和文）：原子燃料サイクルにおいて最も重要な課題の一つは、高レベル放射性廃液（HLLW）の量とその毒性をいかに軽減するかということである。本研究では使用済み核燃料再処理によって発生する高レベル放射性廃液に対し、初段において発熱性核種（Cs, Sr）、次にガラス固化に不適切な核種（白金族元素等）、加水分解性核種（Zr, Mo等）、マイナーアクチノイド（MA）の分別分離が可能となる新規機能化イオン液体担持吸着材を用いた極めて簡素な核種分離プロセスを開発した。更に、これらの発熱性核種を抽出クロマト分離し、癌の放射線内部照射治療に利用する新規プロセスの実証を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は高レベル放射性廃棄物の減容化及び有害度低減を行うと共に、準国産資源の創出が可能となり、ガラス固化体製造の運転操作性を向上させ、その上、安定した国産RI供給システムが可能である。これらの成果及び開発した手法は、原子力分野のみならず、一般産業やリサイクル産業の発展にも資するものであり、エネルギー資源小国と言われる日本が今日の国際社会の中で更なる発展を遂げるために、ひいては人類の発展のために非常に重要であり、その応用範囲は極めて広く、学術的・社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：One of the most important problems in nuclear fuel cycle is to minimize amount and to reduce radiotoxicity of high-level liquid waste generated from spent fuel reprocessing. In this study, to solve these problems, we focus on nuclide separation by column chromatography method and development of novel macroporous silica-based adsorbents having high selectivity for each nuclide such as Cs, Sr, platinum group metals (PGMs) and minor actinide (MA), which are included in high-level liquid waste generated from spent fuel reprocessing. Moreover, column chromatography method separates these heat-generating nuclides, and the new process can be used for internal irradiation therapy of cancer.

研究分野：放射性廃棄物処理

キーワード：放射線廃棄物 環境安全 保健物理 放射線医学

1. 研究開始当初の背景

原子力発電はその安定した電力供給能力、運転時の CO₂ 排出量がゼロであることなどから今日の世界を支える重要な電力供給源の1つとなっている。特に、使用済み核燃料再処理を要した核燃料サイクルによる準国産エネルギー資源の創成は、資源の乏しい日本にとってエネルギーセキュリティ上非常に重要である。しかし、将来にわたって原子力発電が魅力ある優秀なエネルギー源として受け入れられるためには、処分問題に直面している高レベル放射性廃棄物の発生量の大幅な削減及び有害度の低減を図ることが喫緊の課題となっている。現在、再処理に伴って排出される高レベル廃液(HLLW)は、国際的に有望とされるガラス固化及び地層処分を基本方針としている。しかし、この廃棄物処分に関わる負荷は大きく、特に、発熱性核種(Cs, Sr)による膨大な崩壊熱のためにガラス中 HLLW 濃度を制限させざるを得ず、実効処分容量も大きくできないのが現状である。また、白金族元素(Ru, Rh, Pd)や Mo もガラスの均質性を損なうことから濃度制限や洗浄運転等が必要となり、廃棄物増加の要因となっている。そこで、高度分離技術を用いた核種毎の分離及び合理的処分法の適用によって廃棄物減容化・有害度低減を達成し、ガラス固化及び最終処分の安全性、信頼性、効率性を向上させることが必要であると考えられる。申請者らは、核種選択性の高い化合物を含浸担持させた多孔性シリカ担持型吸着材を用いる抽出クロマト法に着目し、先行研究において HLLW を Cs 群、Sr 群、Pd、Ru-Rh-Mo 群、希土類、マイナーアクチノイド(MA)に分離可能な吸着材充填カラムを主体とするコンパクトなプロセスの可能性を見出している。また、環境調和型溶媒と称されるイオン液体(ILs)の有用性にも着目しており、核種抽出において一般的な有機溶媒の場合よりも高い抽出性能及び特異な抽出挙動を見出している。これらの成果を応用、発展させ、特異的に高い核種選択性及び優れた安定性を有する抽出剤の構造を持つ機能化イオン液体(F-ILs)を新たに創成し、さらに多孔性担体内に固定化することで、これまで以上に優れた性能を有する吸着材の開発が可能になると考えられる。また、この吸着材を用いることで小型カラムによる極めて簡素な HLLW の核種分離プロセスが構築できると期待される。一方、放射性核種は医療分野において、放射性薬剤を用いた病態診断だけでなく、体内に投与し病気を治療する内部放射線療法としても有効利用されている。現在、国内では内部放射線療法核種として承認されている ⁹⁰Y を用いた放射性薬剤がゼヴァリンの名前で販売されている。この薬剤はリンパ腫の細胞表面に存在する抗原である CD20 を認識する抗体に対し、高エネルギーβ線のみを放出する ⁹⁰Y を標識したものであり、リンパ腫の治療において高い抗腫瘍効果を示している。しかし、⁹⁰Y は国内で生産・供給されていないため、ゼヴァリンの入手は海外での受注生産に頼らざるを得ず、国内で一番高価な薬剤となっており、患者は大きな負担を強いられている。そこで、HLLW 中に大量に存在する ⁹⁰Y の親核種である ⁹⁰Sr を回収し、⁹⁰Y 単離精製プロセスを構築することで、国内での薬剤安定供給が可能となり、患者の負担軽減に繋がることが期待される。また、線量付与効率の高い ⁹⁰Y の入手が容易ならば、EPR 効果を利用した新たな腫瘍治療用放射性薬剤の開発が可能であり、固形癌治療にも効果が期待される。申請者らは Sr と Y の分離においても多孔性シリカ担持型吸着材を用いたクロマト分離に成功しており、これらを前述と同様に発展させることでより高効率な ⁹⁰Y 精製プロセスの構築が可能になる。また、研究分担者である船木講師はすでに EPR 効果を利用した新規イメージングプローブの開発に着手しており、その知見を応用することで新規腫瘍治療用放射性薬剤の開発が可能になる。

以上の動向を踏まえた本研究は、高レベル放射性廃棄物の「減容及び有害度低減」と「有効利用」を共に達成する観点から行うものであり、HLLW の核種分離プロセスの構築によって高レベル放射性廃棄物の減容化を達成するとともに処分方法の自由度を大幅に増大させるものであり、さらに回収した発熱性核種を処分するだけでなく二次利用することにより、これまで輸入に依存していた放射性核種の国内における生産・供給システムを構築すると共に新規腫瘍治療用放射性薬剤の開発を行う。

2. 研究の目的

本研究は、HLLW のコンパクトな核種分離プロセス開発と回収核種の医療応用を実現することを目的に、分離プロセスのコンパクト化を目指し、FP 及び MA 核種に対し特異的に高い吸着選択性及び優れた安定性を有する候補抽出剤の構造を基本とする新規担持吸着材を合成・創製し、小型カラムによる極めて簡素な HLLW の核種分離プロセス及び ⁹⁰Y 単離精製プロセスを構築する試みである。新規吸着材の基礎的な吸着、分離挙動を取得し、得られた小規模な吸着材充填カラムの試験結果解析を元に、想定される実 HLLW の処理条件下において、確率有限要素法等を用いた分離操作中の熱及び物質移動のシミュレーションを行い、実規模プロセス全体の設計及び設備規模の評価を行う。また、上記プロセスによって分離された ⁹⁰Sr から生じる放射線内部照射療法核種として有用な娘核種の ⁹⁰Y に着目し、高純度 ⁹⁰Y を得るための ⁹⁰Sr / ⁹⁰Y 分離プ

ロセス、得られた ^{90}Y を医療分野へ安定供給するためのシステム構築及び ^{90}Y を用いた新規腫瘍治療薬剤の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 高レベル放射性廃液の高度分離技術に関する研究

HLLW は様々な放射性核種を含む硝酸水溶液である。高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減及び有効利用を実現するためには HLLW の核種或いは核種群毎の分別分離によって処理・処分・利用の技術的自由度を大幅に増大させる必要がある。そこで、本研究では、高い核種選択性及び優れた安定性を持ち合わせる抽出剤を選定し、その構造を有する新規担持吸着材を合成・創製し、性能に関する詳細な評価を行い、HLLW 処理の初段において主要発熱性核種、次にガラス固化に不適切な核種、加水分解性核種、MA 元素を考慮して分離が可能になることを目指す革新的高度分離プロセスを開発する。

(2) 医療応用技術に関する研究

^{90}Y は内部放射線療法核種として有効かつ承認されているものの、海外からの輸入に依存している。そこで、本研究では HLLW から分離した ^{90}Sr と放射平衡にある ^{90}Y を高純度に分離して国内に供給できるプロセスを実現し、さらに得られた ^{90}Y を用いて ^{90}Y 標識ミセル化合物を標識合成し、EPR 効果を利用した新規腫瘍治療薬剤を開発する。

4. 研究成果

(1) 高レベル放射性廃液の高度分離技術に関する研究

5 つのシリカ担持型吸着材について小規模カラムを用いて得られた分離プロファイルに基づき、高レベル放射性廃液の分離プロセスを構築した。提案しているプロセススキームを以下の図 1 に示す。対象としているのは、PUREX 再処理によって発生する硝酸濃度が 2~3M 程度の高レベル放射性廃液である。

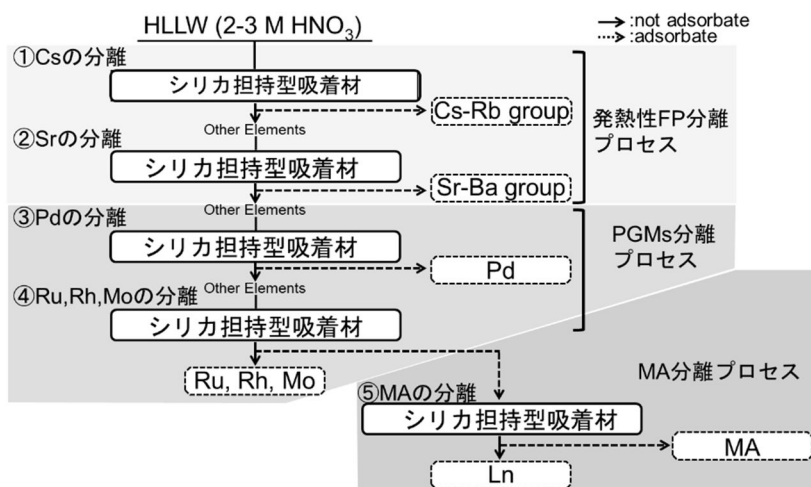


図 1. シリカ担持型吸着材を用いる抽出クロマトのみによる核種分離プロセスのスキーム

まず、発熱性核種分離を行うことで後段の熱的及び放射線的負荷を軽減させることが可能であると考えられる。そこで、1 段目、2 段目に充填カラムを用いて Cs(I)及び Sr(II)の分離を行うこととした。1 段目の充填カラムによる高レベル放射性廃液の分離プロファイルは 3 M 硝酸による洗浄を経て、純水による Cs(I)及び随伴すると考えられる Rb(I)の溶離回収を行う。Cs-Rb 群の選択的分離を行った廃液は次段のカラムに供給し、Sr(II)の吸着分離を行う。この時の分離プロファイルは Ba(II)も随伴するが 3 M 硝酸による洗浄を経て、純水による Sr(II)及び Ba(II)の溶離回収を行う。発熱性核種群である Cs-Rb 及び Sr-Ba の分離を行った廃液は、次に Pd(II)の分離を行うのが妥当であると考えられる。Pd(II)はシリカ担持型吸着材に吸着性を示すため、これらの RE(III)及び MA(III)の吸着性を担保するためにも予め分離するのが好ましいと考えられるからである。そこで、3 段目として充填カラムによる Pd(II)の分離を行うこととした(図 2)。充填カラムによる Cs-Rb 及び Sr-Ba の分離を行った廃液の分離プロファイルは廃液供給後、3 M 硝酸による洗浄を行い、チオ尿素を含む硝酸水溶液によって Pd(II)の選択的溶離を行う。以降はシリカ担持型吸着材を用いた PGMs 分離プロセス及びシリカ担持型吸着材を用いた核種分離プロセスの考え方を組み合わせて用いた。3 段目である充填カラムからのラフィネート (Cs, Rb, Sr, Ba, Pd が除去された高レベル放射性廃液) は、次に 4 段目の充填カラムによって RE-MA 群の吸着を行い、Ru(III), Rh(III)及び Mo(VI)を代表とする非吸着成分を流出させることでこれらの分離を

行う。非吸着成分は 3 M 硝酸によって洗浄可能であり、溶離液である純水及び DTPA 水溶液によって RE(III)の溶離を行う。MA(III)の分離挙動は DTPA 水溶液による溶離フラクション中に含まれると考えられる。MA(III)が含まれる DTPA による溶離フラクションは、5 段目である充填カラムによって MA(III)の吸着を行い、RE(III)及び Zr(IV)との分離を行う。充填カラムに供給する MA(III)フラクションは DTPA の分解と硝酸濃度の調整が必要になると考えられる。

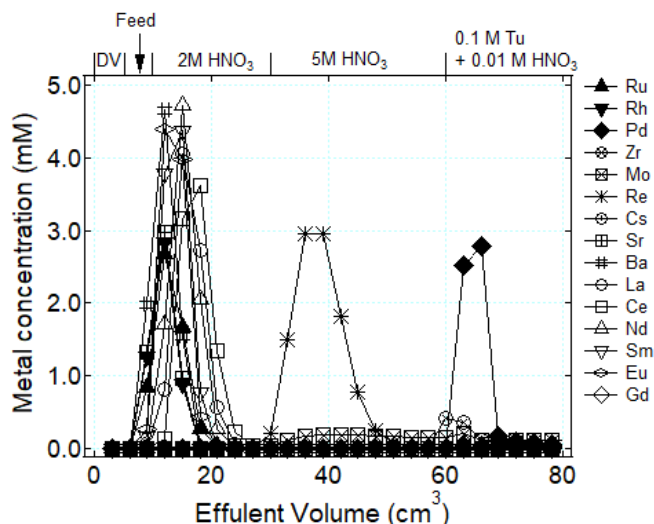


図 2. ([DiOcAPmim][NTf₂]+Crea)/SiO₂-P による模擬廃液の分離プロファイル

(2) 高レベル放射性廃液の核種分離プロセスの設計及び評価

本研究では、プラントスケールでの線量を考慮してプロセスの放射線環境下への適用性検討を行うが、その線量を算出のためにはカラム設計及びプロセス設計の情報が不可欠である。本プロセスの設計及び規模評価は吉田らによって行われており、そのプロセス評価においては、簡便かつ精度よく吸着材充填層の実用的な操作設計を行うための解析手法として提案されているカラムシミュレーションを用いている。プロセス設計に関するシミュレーションと各吸着材カラムの仕様についてまとめを行った。

プロセス設計にあたって、六ヶ所再処理工場を想定し、年間 200 日稼働で再処理を行った 800 t の使用済み燃料から排出される高レベル放射性廃液を、同様に年間 200 日稼働で処理すると仮定した。この時、燃料 1 t からの高レベル放射性廃液発生量を 0.5 m³ とすると、年間 400 m³ の高レベル放射性廃液処理を行うことになり、稼働日 1 日当たりの処理量は 2 m³ となる。さらに、1 日 1 サイクル、初期の液温を 50 °C、吸着が十分に行うことが可能かつ現実的な流速、洗浄操作後にも吸着対象の流出がないという条件を満たさなければならないとした。任意寸法の各吸着材充填カラムについて破過シミュレーションを行い、動的吸着容量及び破過時間を求め、実験で得られた分離プロファイルから見積もった洗浄液及び溶離液の通液時間を加味した上で条件を満たす廃液の供給時間、ベッド高さを決定した。これにより要求されている廃液処理量を満たす吸着材充填層の総断面積が求められる。破過シミュレーションと同時に温度シミュレーションも行い、カラム中心部における温度上昇が十分に低くなるカラム内径の範囲においてカラム基数を設定した。2 段目以降のカラムについては洗浄操作によって次段に供給する廃液が希釈され、体積が増加する。このとき、洗浄液全てを次段の処理液にすると膨大な体積になってしまうため、非吸着成分の挙動を計算し、完全に液相中濃度が 0 にならなくてもある程度まで低下したところまでを次段供給液とした。以降の洗浄液は回収し、次サイクルの洗浄液に使用することとした。施設規模評価においては、カラム 1 基について内径に恒温ジャケットや配管などの付帯設備の設置余白として 2 m を加えて設置面積を求めた。また、カラム高さは充填層高さ + 0.5 m 程度とし、天井高さはカラム高さの 3 倍として設備容積を求めた。

なお、Pd 分離カラムについては十分な吸着を得るために線速度を遅く設定する必要があり、1 サイクル 24 h での運用が困難であることから 1 サイクル処理用のカラム群を 2 ユニット用いることで擬似的に 1 日 1 サイクルとした。また、破過曲線が得られていない 3, 4 段目についてはバッチ試験の結果から吸着容量の推定を行って用いた。5 段目の設計に当たっては DTPA 分解処理を行うものと考え、その際に MA の濃度調整を行い、Am によって分離プロファイルが得られている 1 mM とすることとした。

設計された各吸着材カラムを核種分離プロセススキームに従ってまとめ、以下の図 3 に示す。なお、1 サイクルの運用によって得られる回収対象元素の最大回収量を加えて示す。

以上のように、全てのカラム設置面積は約 1000 m² であると見積もられた。

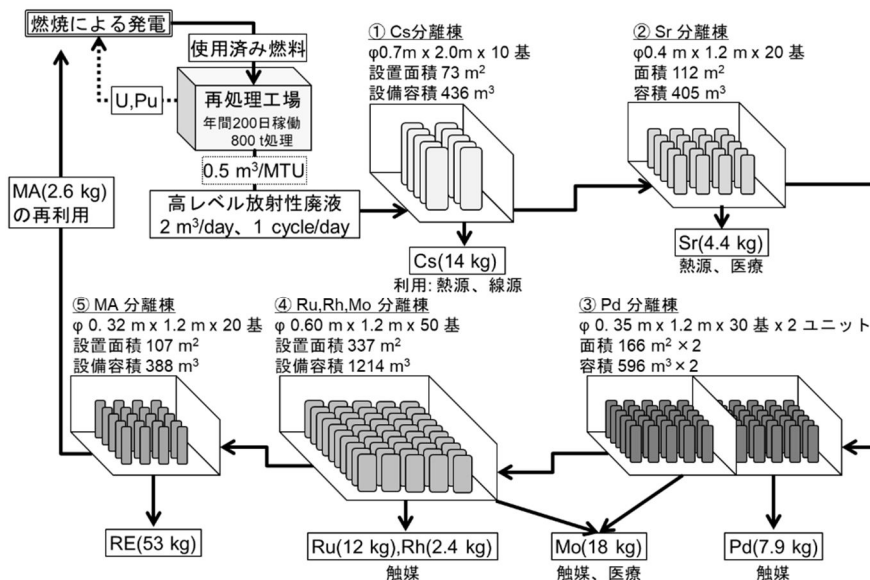


図 3. 吸着材を用いる抽出クロマトのみによる多段階核種分離プロセスのフロー

(3) ⁹⁰Y の高純度供給システムの開発

実用的な Y(III) の供給法開発では、HLLW から分離された Sr フラクション中から、⁹⁰Sr の娘核種である ⁹⁰Y を分離するために含浸吸着材をそれぞれ作製し、Sr(II)-Y(III) 混合溶液を用いて Sr(II) と Y(III) の相互分離性を検討した。DGAA-Si 樹脂 (図 4)、(TODGA+Dodecyl)/SiO₂-P 及び (HDEHP+Dodecyl)/SiO₂-P 吸着材を用いることにより、Sr(II)-Y(III) 混合溶液からどちらか一方を選択的に吸着することで Sr(II) と Y(III) の相互分離性が確認できた。この結果から、上述した吸着材により HLLW から Sr を除去でき、また、⁹⁰Sr の娘核種である ⁹⁰Y もミルクングを明瞭にとらえることができた。

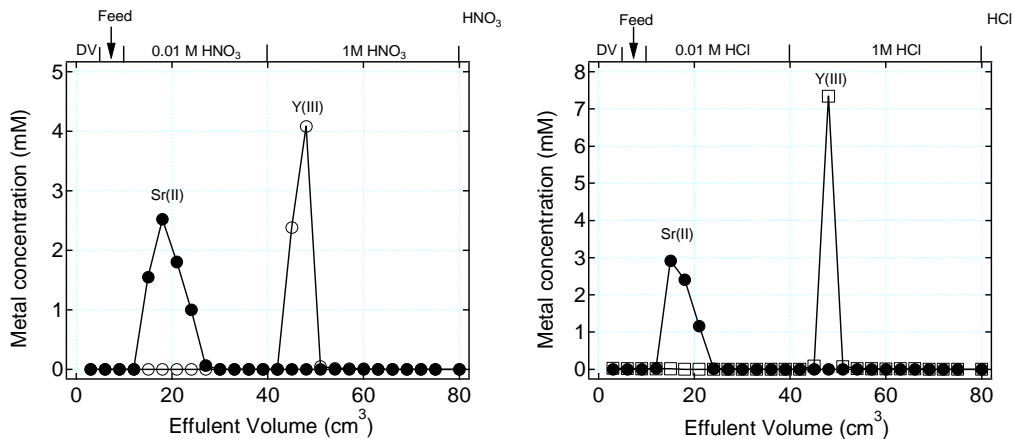


図 4. Sr(II)-Y(III) 混合溶液からの単離試験

更に、後段の Y(III) のミセル中への展開に有利となる溶液系での Y(III) 溶離条件の検討及び分離クロマトカラム設計を行うとともに、含浸吸着材の耐放射線性の評価も行った。これらの結果、非放射性 Sr(II) 及び Y(III) の分離特性を明らかにし、相互のクロマト分離に成功した。

Y(III) ラクトソームを用いた腫瘍集積評価では、癌の放射線内部照射治療に利用する新規プロセスの実証するため、上記の方法で得られた Y(III) を用い、Y(III) 内包ラクトソームを作製し、Y(III) 内包ラクトソームの分離、精製条件の検討を行った。この結果、Y(III) 内包ラクトソームを作製と Y(III) 内包ラクトソームの分離、精製を明瞭にすることができた。

以上のことから、高レベル放射性廃棄物の環境負荷を大幅に低減し、更に 21 世紀の人類が直面している重篤疾患を克服する為の安定した RI 供給・利用システムを構築するために、HLLW 中の発熱性核種の分離技術と医療応用技術の両面にわたる総合的なシステムの構築が可能であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Taiga KAWAMURA, Tatsuya ITO, Seong-Yun Kim	4. 巻 320
2. 論文標題 Adsorption and Separation Behavior of Strontium and Yttrium Using a Silica-based CMPO Adsorbent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-019-06446-4	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 Seong-Yun Kim, Taiga Kawamura, Tatsuya Ito	4. 巻 1
2. 論文標題 Adsorption and Separation of Sr(II) and Y(III) by Extraction Chromatography using DtBuCH18C6-impregnated Adsorbent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Global 2019, International Nuclear Fuel Cycle Conference	6. 最初と最後の頁 481-488
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 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 Tatsuya Ito, Naoki Osawa, Haruka Oosugi, Seong-Yun Kim	4. 巻 1
2. 論文標題 Studies on Separation of Platinum Group Metals from High-level Liquid Waste Using Sulfur-containing Amide Compounds Fixed Adsorbents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Global 2019, International Nuclear Fuel Cycle Conference	6. 最初と最後の頁 474-480
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 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 Tatsuya Ito, Seong-Yun Kim	4. 巻 316
2. 論文標題 Adsorption and Separation Behavior of Molybdenum from High-level Liquid Waste Using a Silica-based Hydroxyoxime Impregnated Adsorbent	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1165-1172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-018-5838-9	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 Tadayuki TAKAHASHI, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM	4. 巻 316
2. 論文標題 Selective extraction of Cs(I) using 1,3-[(2,4-diethylheptylethoxy)oxy]-2,4-crown-6-calix[4]arene in ionic liquid solvents and its application to the treatment of high-level liquid waste	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1067-1073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-018-5876-3	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 Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM	4. 巻 29(3)
2. 論文標題 Study on Separation of Platinum Group Metals from High-level Liquid Waste Using Sulfur-containing Amic Acid-functionalized Silica	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Ion Exchange	6. 最初と最後の頁 97-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5182/jaie.29.97	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 Seong-Yun KIM, Tatsuya ITO	4. 巻 29(3)
2. 論文標題 Adsorption and Separation of Sr(II) and Y(III) by Extraction Chromatography using HDEHP-impregnated Adsorbent	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Ion Exchange	6. 最初と最後の頁 110-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5182/jaie.29.110	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 Seong-Yun KIM, Tatsuya ITO	4. 巻 5
2. 論文標題 Separation Behavior of Y(III) and Sr(II) from Acid Solutions by Extraction Chromatography using HDEHP impregnated Resin and Its Medical Application	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 78-81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15669/pnst.5.78	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 Tadayuki TAKAHASHI, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM	4. 巻 131
2. 論文標題 Extraction Behavior of Sr (II) from High-Level Liquid Waste using Ionic Liquid Extraction System with DtBuCH18C6	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Procedia	6. 最初と最後の頁 170-177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.egypro.2017.09.462	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 Tatsuya KUDO, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM	4. 巻 131
2. 論文標題 Adsorption Behavior of Sr(II) from High-level Liquid Waste using Crown Ether with Ionic Liquid Impregnated Silica Adsorbent	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Procedia	6. 最初と最後の頁 189-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.egypro.2017.09.426	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 Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM, Nobumichi NAGANO, Keitaro HITOMI	4. 巻 131
2. 論文標題 Effects of γ -ray Irradiation on Thiodiglycolamide-type Extractant-impregnated Adsorbents for Separation of Platinum Group Metals from High-level Liquid Waste	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Procedia	6. 最初と最後の頁 195-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.egypro.2017.09.427	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 Seong-Yun Kim, Tadayuki TAKAHASHI, Tatsuya Ito	4. 巻 1
2. 論文標題 Extraction Behavior of Sr(II) from Nitric Acid Solution using DtBuCH18C6 Containing Ionic Liquid Extraction System and Its Medical Application	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of ISEC 2017	6. 最初と最後の頁 202-209
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 Seong-Yun Kim, Tatsuya Kudo, Tatsuya Ito, Nobumichi Nagano, Keitaro Hitomi	4. 巻 1
2. 論文標題 Cs(I) and Sr(II) Separation from High-level Liquid Waste using Extractant with Ionic Liquid Impregnated on SiO ₂ -P Adsorbents and Its Kinetic, Equilibrium and Adsorption studies	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of GLOBAL 2017	6. 最初と最後の頁 1-4
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 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 Yoshihito Funaki, Seong-Yun Kim, Tatsuya Ito	4. 巻 1
2. 論文標題 Separation of Y(III) and Sr(II) from Acid Solutions using a Silica-based HDEHP Adsorbent and Its Medical Application	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of GLOBAL 2017	6. 最初と最後の頁 1-4
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 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 Hao Wu, Masahiko Kubota, Naoki Osawa, Seong-Yun Kim	4. 巻 326
2. 論文標題 Adsorption and separation behavior of palladium(II) on a silica-based hybrid donor adsorbent from simulated high-level liquid waste	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 1323-1331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-020-07414-z	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 Hao WU, Naoki OSAWA, Masahiko KUBOTA, Seong-Yun KIM	4. 巻 36
2. 論文標題 Adsorption Behaviors of Palladium Ion from Nitric Acid Solution by a Silica-based Hybrid Donor Adsorbent	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1541-1546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20P253	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 Hao Wu, Seong-Yun Kim, Tadayuki Takahashi, Haruka Oosugi, Tatsuya Ito, Kiyoshi Kanie	4. 巻 53
2. 論文標題 Extraction behaviors of platinum group metals in simulated high-level liquid waste by a hydrophobic ionic liquid bearing an amino moiety	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 1218-1223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.net.2020.09.031	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 Hao Wu, Masahiko Kubota, Naoki Osawa, Seong-Yun Kim	4. 巻 31
2. 論文標題 Adsorption Behaviors of Palladium(II) in Simulated High-Level Liquid Waste Using 2,2' -[(2-ethylhexyl)imino]bis[N,N-bis(2-ethylhexyl)acetamide]-impregnated Adsorbent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Ion Exchange	6. 最初と最後の頁 8-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5182/jaie.32.8	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 Seong-Yun Kim, Tadayuki Takahashi, Hao Wu	4. 巻 28
2. 論文標題 Selective Separation of Trivalent Europium (III) from Americium (III) using N,N -Dimethyl-N,N -di-2-phenylethyl-diglycol Amide (MPEDGA) Extractant in Ionic Liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solvent Extraction Research and Development, Japan	6. 最初と最後の頁 49-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15261/serdj.28.49	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48件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Seong-Yun KIM, Taiga KAWAMURA Tatsuya ITO
2. 発表標題 ADSORPTION AND SEPARATION OF SR(II) AND Y(III) BY EXTRATION CHROMATOGRAPHY USING DtBuCh18C6-IMPREGNATED ADSORBENT
3. 学会等名 LOBAL 2019, International Nuclear Fuel Cycle Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuya Ito, Naoki Osawa, Haruka Oosugi, Seong-Yun Kim
2. 発表標題 Studies on Separation of Platinum Group Metals from High-level Liquid Waste Using Sulfur-containing Amide Compounds Fixed Adsorbents
3. 学会等名 GLOBAL 2019, International Nuclear Fuel Cycle Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田 真彦、伊藤 辰也、金 聖潤
2. 発表標題 含浸吸着材を用いた高レベル放射性廃液中からの簡素化分離プロセスの開発
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年秋の大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大杉 遥、伊藤 辰也、金 聖潤
2. 発表標題 イオン液体による高レベル放射性廃液からの白金族元素の選択的分離法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年秋の大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大沢 直樹、伊藤 辰也、金 聖潤
2. 発表標題 高レベル放射性廃液中からの白金族元素の選択的吸着・分離法の開発
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年秋の大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 辰也、川村 太冴、大杉 遥、金 聖潤
2. 発表標題 硫黄含有抽出剤を用いた含浸吸着材による Sr(II)とBa(II)の分離に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年秋の大会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 辰也、川村 太冴、大杉 遥、金聖潤
2. 発表標題 高レベル放射性廃液を原料とする90Y製造プロセスの構築に向けた含浸型吸着材の吸着・分離特性
3. 学会等名 第34回日本イオン交換研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seong-Yun Kim, Tatsuya Ito
2. 発表標題 Adsorption and Separation of Sr(II) and Y(III) by Extraction Chromatography using HDEHP-impregnated Adsorbent
3. 学会等名 ICIE 2018-SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ION EXCHANGE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuya Ito, Seong-Yun Kim
2. 発表標題 Study on Platinum Group Metals from High-level Liquid Waste Using Sulfur-containing Amino Acid-functionalized Silica
3. 学会等名 ICIE 2018-SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ION EXCHANGE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大杉遥、高橋正幸、伊藤辰也、蟹江澄志、村松淳司、金聖潤
2. 発表標題 機能性イオン液体を用いた模擬高レベル放射性廃液からの白金族元素の抽出特性
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年秋の大会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金聖潤、川村太冴、伊藤辰也
2. 発表標題 含浸吸着材を用いたSr(II)とY(III)の吸着・分離挙動に関する研究
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金聖潤、高橋正幸、伊藤辰也
2. 発表標題 ジグリコールアミド型抽出剤含有イオン液体抽出系を用いた高レベル放射性廃液からのLn(III)/Am(III)の抽出特性
3. 学会等名 日本溶媒抽出学会「第37回溶媒抽出討論会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤辰也、大杉遥、高橋正幸、金聖潤
2. 発表標題 チオグリコール酸構造を有するイオン液体を用いた硝酸水溶液中からの白金族元素の抽出特性
3. 学会等名 日本溶媒抽出学会「第37回溶媒抽出討論会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大杉遥、高橋正幸、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 TDGA型抽出剤含有イオン液体を用いた硝酸溶液からの白金族元素の分離
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年春の年会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤辰也、大杉遥、高橋正幸、金聖潤
2. 発表標題 硫黄含有アミド酸構造を有する機能性イオン液体を用いた硝酸溶液からの白金族元素の分離
3. 学会等名 日本原子力学会「2019年春の年会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seong-Yun KIM, Tatsuya ITO
2. 発表標題 Separation Behavior of Y(III) and Sr(II) from Acid Solutions by Extraction Chromatography using HDEHP impregnated Resin and Its Medical Application
3. 学会等名 ACTINIDES 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seong-Yun KIM, Tatsuya ITO, Nobumichi NAGANO, Keitaro HITOMI
2. 発表標題 Adsorption and Separation Behavior of Sr(II) and Y(III) by Extraction Chromatography using a Silica-based DtBuCH18C6 Adsorbent and Its Medical Application
3. 学会等名 APSORC 17 : 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, September (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Tatsuya ITO, Seong-Yun Kim, Nobumichi NAGANO, Keitaro HITOMI
2 . 発表標題 Adsorption and Separation Behavior of Molybdenum from High-level Liquid Waste Using a Silica-based Hydroxyoxime Impregnated Adsorbent
3 . 学会等名 APSORC 17 : 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, September (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Taiga KAWAMURA, Tatsuya ITO, Seong-Yun Kim
2 . 発表標題 Adsorption and Separation Behavior of Strontium and Yttrium Using a Silica-based CMPO Adsorbent
3 . 学会等名 APSORC 17 : 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, September (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Tadayuki TAKAHASHI, Tatsuya ITO, Seong-Yun Kim
2 . 発表標題 Selective Extraction of Cs(I) using Ionic Liquid Extraction System with Calix[4]arene-R14 and its application to separation for HLLW
3 . 学会等名 APSORC 17 : 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, September (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Seong-Yun Kim, Tatsuya Kudo, Tatsuya Ito, Nobumichi Nagano, Keitaro Hitomi
2 . 発表標題 Cs(I) and Sr(II) Separation from High-level Liquid Waste using Extractant with Ionic Liquid Impregnated on SiO ₂ -P Adsorbents and Its Kinetic, Equilibrium and Adsorption studies
3 . 学会等名 GLOBAL 2017 : International Nuclear Fuel Cycle Conference (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihito Funaki, Seong-Yun Kim, Tatsuya Ito
2. 発表標題 Separation of Y(III) and Sr(II) from Acid Solutions using a Silica-based HDEHP Adsorbent and Its Medical Application
3. 学会等名 GLOBAL 2017 : International Nuclear Fuel Cycle Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seong-Yun Kim, Tadayuki TAKAHASHI, Tatsuya Ito
2. 発表標題 Extraction Behavior of Sr(II) from Nitric Acid Solution using DtBuCH18C6 Containing Ionic Liquid Extraction System and Its Medical Application
3. 学会等名 ISEC 2017 : The 21st International Solvent Extraction Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川村 太冴、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 CMPO 含浸吸着材を用いたストロンチウムとイットリウムの分離に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会「2017年秋の大会」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金聖潤、伊藤辰也
2. 発表標題 含浸吸着材を用いた高レベル放射性廃液からの核種分離とその有効利用
3. 学会等名 第33回日本イオン交換研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金聖潤、伊藤辰也
2. 発表標題 含浸吸着材を用いた高レベル放射性廃液からの発熱性核種Cs(I)分離プロセスの構築
3. 学会等名 第31回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三輪美沙子, 伊藤辰也, 金聖潤, 松山成男, 植木裕, 及川 紘奈
2. 発表標題 含浸吸着材の吸着挙動解析に向けたマイクロPIXE分析の適用
3. 学会等名 第31回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 硫黄含有アミド酸型抽出剤担持吸着材を用いた高レベル放射性廃液中からの白金族元素の分離
3. 学会等名 日本原子力学会・東北支部「第41回研究交流会」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三輪美沙子、伊藤辰也、金聖潤、松山成男、北山佳治、高井雄大、沼尾和弥
2. 発表標題 マイクロPIXE分析を用いた含浸吸着材の吸着挙動に関する解析
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年春の年会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤達矢、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 高レベル放射性廃液中からの発熱性元素の高選択分離法の開発 (3) Cs選択吸着材を用いたカラム分離法の有限要素解析
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年春の年会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋正幸、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 イオン液体を用いた高レベル放射性廃液の分離プロセスの開発 (7)ジグリコールアミド酸型抽出剤を用いた硝酸溶液からの希土類元素の抽出特性
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年春の年会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤辰也、金聖潤、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 高レベル廃液中からの白金族元素の分離・回収に向けた硫黄含有アミド酸修飾シリカ吸着剤の吸着特性
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年春の年会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤辰也、金聖潤、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 高レベル放射性廃液中からの白金族元素及びモリブデンの選択的分離
3. 学会等名 日本原子力学会「2016年秋の大会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 工藤達矢、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 高レベル放射性廃液中からの発熱性元素の高選択分離法の開発 (2) DtBuCH18C6含有イオン液体吸着材による吸着・分離法
3. 学会等名 日本原子力学会「2016年秋の大会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋正幸、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 イオン液体を用いた高レベル放射性廃液の分離プロセスの開発 (5) オキシム系抽出剤を用いた硝酸溶液からのMo(VI)及びZr(IV)の選択的抽出
3. 学会等名 日本原子力学会「2016年秋の大会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田村知也、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 HDEHP含浸吸着材を用いたストロンチウムとイットリウムの分離に関する研究 (2)
3. 学会等名 日本原子力学会「2016年秋の大会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuya KUDO, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM
2. 発表標題 Development of Selective Separation Method of Cs(I) using Calixcrown with Ionic Liquid Immobilized Silica-based Absorbent
3. 学会等名 Asian Nuclear Prospects 2016(ANUP2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 Tadayuki TAKAHASHI , Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM
2 . 発表標題 Development of Separation Process of High-level Liquid Waste using Extractant in Ionic Liquid Extraction System
3 . 学会等名 Asian Nuclear Prospects 2016(ANUP2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Tatsuya KUDO, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM
2 . 発表標題 Adsorption Behavior of Sr(II) from High-level Liquid Waste using Crown Ether with Ionic Liquid Impregnated Silica Absorbent
3 . 学会等名 The Fifth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems (INES-5) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Tadayuki TAKAHASHI , Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM
2 . 発表標題 Extraction Behavior of Sr (II) from High-Level Liquid Waste using Ionic Liquid Extraction System with DtBuCH18C6
3 . 学会等名 The Fifth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems (INES-5) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Tomonari TAMURA, Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM
2 . 発表標題 Study on the Selective Separation of Y(III) from Sr(II) by Extraction Chromatography using a Macroporous Silica-based Absorbent
3 . 学会等名 The Fifth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems (INES-5) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Tatsuya ITO, Seong-Yun KIM, Nobumichi NAGANO, Keitaro HITOMI
2. 発表標題 Study on Effects of γ -ray Irradiation on Thiodiglycolamide Type Extractant Impregnated Adsorbent for separation of Platinum Group Metals from High Level Liquid Waste
3. 学会等名 The Fifth International Symposium on Innovative Nuclear Energy Systems (INES-5) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金聖潤、伊藤辰也、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 含浸吸着材を用いた高レベル放射性廃液からの発熱性核種(Sr)の選択分離の開発とその医療応用
3. 学会等名 日本吸着学会「第30回日本吸着学会研究発表会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金聖潤、高橋正幸、伊藤辰也
2. 発表標題 クラウンエーテル含有イオン液体抽出系を用いた高レベル放射性廃液からのSr(II)の抽出特性とその医療応用
3. 学会等名 日本溶媒抽出学会「第35回溶媒抽出討論会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊藤辰也、金聖潤、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 含浸吸着材を用いた高レベル放射性廃液中からの白金族元素の分離・回収とその利用
3. 学会等名 日本原子力学会・東北支部「第40回研究交流会」
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川村太冴、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 CMPO含浸吸着材を用いたSr(II)とY(III)の吸着・分離挙動に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会「2017年春の年会」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋正幸、伊藤辰也、金聖潤
2. 発表標題 イオン液体を用いた高レベル放射性廃液の分離プロセスの開発 (6) 機能性イオン液体[C4mim][NfO]を用いた硝酸溶液からの白金属元素の選択抽出
3. 学会等名 日本原子力学会「2017年春の年会」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤辰也、金聖潤、長野宣道、人見啓太郎
2. 発表標題 高レベル放射性廃液中からのルテニウムの選択的分離・回収及びその利用(2) 硫黄含有アミド酸型抽出剤担持吸着材の吸着特性
3. 学会等名 日本原子力学会「2017年春の年会」
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

核燃料科学分野
<http://www.qse.tohoku.ac.jp/lab/nfs/>

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	松山 成男 (MATSUYAMA Shigeo) (70219525)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	寺川 貴樹 (TERAKAWA Atsuki) (10250854)	東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・教授 (11301)	
研究分担者	船木 善仁 (FUNAKI Yoshihito) (50261491)	東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・講師 (11301)	
研究分担者	伊藤 辰也 (ITO Tatsuya) (20757653)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター・任期付研究員 (82110)	

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