

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12399

研究課題名(和文)電子求引性のハロゲンにより酸性度をチューニングしたアミド化合物の開発と貴金属分離

研究課題名(英文)Preparation of acidity-tuned amido compounds with electron-withdrawing halogen atoms and precious metal extraction

研究代表者

大渡 啓介(OHTO, Keisuke)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：70243996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：希少金属アニオンの新たな抽出試薬として、2級アミドの水素原子に着目し、アミド基にハロゲンを導入して水素原子の $\delta^+$ 性を制御することで、アニオン抽出へのアミド水素原子の寄与の可否を検討すると共に、アニオン抽出にどのように影響するかに着いて検討した。ガリウムや白金の抽出について、 $^1\text{H-NMR}$ スペクトルと抽出結果からアミド水素原子がアニオン抽出に寄与していることが明らかとなった。また、ハロゲンの種類や数による抽出についてもアニオン抽出に大きく影響を与えることが分かった。2級のジアミドを用いた結果から、2つの2級アミドの水素原子の距離が目的アニオンの抽出に影響を与えることも分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属資源に乏しく先端産業の盛んな日本にとって金属資源確保は重要であり、都市鉱山に関心が高まっているが、微量かつ数多くの金属資源があり、選択的に個々の金属を回収することは困難である。乾式や湿式の多くの技術が利用されているが容易ではない。本研究は湿式技術のうち、溶媒抽出試薬、特にガリウムや貴金属のようなアニオン種の新たな分離試薬として、2級アミドの水素原子に着目した。弱い相互作用を分子設計概念に組み込むことで、従来法では困難であった分離が見直される。また、有害元素の除去など、他のアニオン種への適用を可能であり、都市鉱山の有効活用利用できる試薬開発となり得るため、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Secondary amido compounds have been focused as new type of extraction reagents for metal anions. New secondary amido compounds with electron-withdrawing halogen atoms have been prepared to control  $\delta^+$  nature of amido hydrogen atom and to investigate whether amido hydrogen atom can contribute to extract anionic species without any participation of protonated carbonyl oxygen atoms. As results of extraction of Ga and Pt in chloride media, the contribution of amido hydrogen atom for anion extraction was confirmed by spectroscopic and extraction studies. The anion extraction was affected with tuned amido compounds by changing a kind and number of halogen atoms. It was also found that distance between two amido hydrogen atoms affected the efficiency of anion extraction.

研究分野：k k

キーワード：金属リサイクル アニオン抽出 抽出試薬開発 ハロゲン化アミド化合物

## 1. 研究開始当初の背景

日本は鉱物資源に乏しく、「都市鉱山」と呼ばれる使用済み小型家電などの廃棄物は、我が国を資源立国として成立させる宝であるが、含まれる元素は多種多様、かつその含有量は微量であるため、個々のレアメタルを資源として回収することは容易ではない。今回対象とする貴金属は典型的希少金属であり、先端産業に不可欠だが、鉱石由来の貴金属の生産量には制限があるため、「都市鉱山」や自動車廃触媒などからの効率的な貴金属の回収が強く望まれている。しかし、含有する貴金属類は類似の化学的性質を有しているため個別分離は著しく困難である。従来市販抽出試薬やイオン交換樹脂では元素回収プロセスの順序の変更はおろか、その効率的な個別分離も困難を窮める。

申請者は25年来、大環状化合物と呼ばれる特殊な環構造を有するカリックスアレーンや非環状の三脚状分子を基体とする多くの誘導体を開発し、これらを金属イオンの相互分離試薬として利用してきた。これらの試薬は特定サイズの配位部位を提供できる基体に、抽出性能と分離性能を向上させる官能基を導入し「構造効果」と「官能基の効果」を相乗させることで従来の抽出試薬では観られない高抽出・分離性能を発揮することが明らかとなった。しかし、これらの誘導体は「金属カチオンのサイズ認識」には長けているものの、金属アニオンの認識にはほとんど適用できていない。化学種が複雑であるため、アニオンはそのサイズや電子密度が分離のためには系統的には議論できず、またアニオンとの相互作用は一般的には「Hofmeister 系列」に従うため、上記の抽出試薬の構造効果を期待することが困難である。

申請者は金属アニオンのための抽出試薬の分子設計として、従来用いていた金属カチオン用の基体分子の利用という概念は払拭し、弱い相互作用を示す官能基に着眼し、その官能基を有する抽出試薬を高濃度に用いることで、共存する他イオンに対して排他的に機能するような分子設計を行う。本申請で着眼するのは2級アミドのプロトンであり、従来は金属抽出には着目されなかった官能基(原子)である。この2級アミドプロトンは4級アンモニウム基のようなイオン交換性の官能基やアミン窒素原子のような配位性原子よりも極めて弱いアニオンとの相互作用を示すため、申請者の今回の分子設計概念に合致する。しかし、上述のように、貴金属分離は容易ではなく、この2級アミドプロトンの正電荷密度によって分離性能は決定される可能性が高い。

そこで2級アミド基に隣接するアルキル側鎖にハロゲンを導入する(厳密にはハロゲン化カルボン酸とアミンとの縮合反応で得る。)ことで、このアミドプロトンの<sup>+</sup>性を制御し、結果として抽出性能や分離性能を制御する。導入するハロゲンの種類、数、およびアミド基からの位置によってどの程度、アミドプロトンの<sup>+</sup>性、抽出性能や分離性能を制御できるのか、ということが本申請の核心をなす学術的「問い」である。

## 2. 研究の目的

本研究の長期的な目的は「貴金属の工業的な個別分離回収」である。本申請の目的は、貴金属の中でも特に白金をターゲットとして、開発するアミド化合物の白金に対する抽出性能や他金属と白金との分離性能について検討を行い、長期的な目的達成のために新たな分子設計指針を得ることを目的とする。

金属アニオンのための抽出試薬は金属カチオンの試薬ほど開発が進んでおらず、特に貴金属類の抽出試薬は「HSAB 則」に基づく硫黄系の試薬やアミン系の試薬、ならびに高濃度の酸でプロトン化する試薬など限られている。前者は多くの貴金属に高い抽出能力を示すものの、選択性は低く、逆抽出ができない欠点がある。後者はより試薬のバリエーションに乏しく、抽出性能や分離性能はその官能基の $pK_b$ 値に依存する。このような観点から、上述のように、貴金属アニオンに対して非常に弱い相互作用を示す2級アミドのプロトンを利用することに意義はあるが、この弱い相互作用に着眼する研究者は溶媒抽出分野にはほとんどいない。特に、2級アミド化合物は抽出において酸に弱く加水分解の作用を受けることが報告されているため(実際に、高酸濃度領域で抽出を行うと、数日程度の抽出時間内に試薬の分解が観られることはない)に、非常にシンプルな化合物にもかかわらず、貴金属の抽出のように高濃度の塩酸系への適用はほとんどなされていないため、2級アミドプロトンの金属アニオンへの直接の利用についても報告は皆無である。

有機化学の分野ではフッ素などのハロゲンが高い電気陰性度を有し、電子求引性を示すことはよく知られているが、フッ素原子などの導入により、抽出試薬の塩基性を変化し、抽出性能や分離性能を改善することはジケトン系やカルボン酸系の抽出試薬で行われている。しかし、上述のような2級アミド系にこれを適用した系は報告がない。この点では本申請は唯一無二の独自性を有する。また、申請者は導入するハロゲンの種類、数、およびアミド基からの位置によってアミドプロトンの<sup>+</sup>性、抽出性能や分離性能を制御できるのかについて検討を行うが、このときのアミド合成に利用するカルボン酸の $pK_a$ の値が合成したアミドの抽出性能(抽出平衡定数など)に大きく関与し、相関があると予想している。また、アミド試薬の<sup>+</sup>性を変化させ抽出能力を変えることで、抽出する塩酸領域(塩化物イオン濃度領域)も変わり、結果として貴

金属の化学種も変化するので、分離効率の最適化には意義があると考えられる。これらの点で本申請はさらに独創的であり、この 2 級アミドによる白金などの抽出に関連する一連の抽出試薬の分子設計の概念を一般化できる、と考えている。これら長期的な展望を含め本研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

2 級アミドによる白金などの抽出に関連する一連の抽出試薬の分子設計概念を一般化するために、より系統的な研究推進が必要である。そこで、右図に示すような R を 2-エチルヘキシル基に固定し、キーとなるハロゲンの種類・数や位置を変えた数種類の N-2-エチルヘキシルアルキルアミドを考えた。

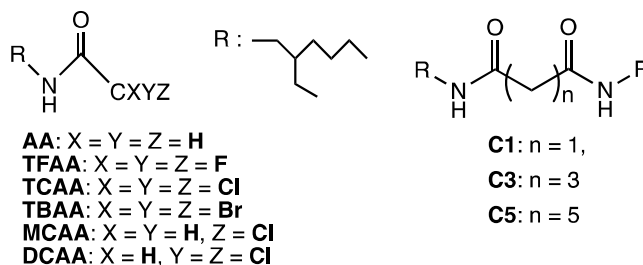


図 1 開発した 2 級アミド化合物の構造式

アミドを合成する際のカルボン酸の  $pK_a$  が抽出性能に大

きく関わりとされるため、この値を大きく変わる化合物の選定が必要であり、2 級アミド化合物の開発戦略が必要である。例えば、ハロゲンの種類を電子求引性のチューニング因子とする場合には、 $n=0$  (スペーサーなし) でメチル基に 3 つのフッ素原子 (または塩素原子) を有するトリフルオロ酢酸からフッ素原子からより電子求引性の低い塩素や臭素原子に換えたトリクロロ酢酸やトリプロモ酢酸などである。ハロゲンの種類を換えることで、電子供与性の相違に伴うカルボニル酸素配位力の向上とアミドプロトン  $^+$  性の向上が期待できる。ハロゲンの数を電子求引性のチューニング因子として、塩素原子の数を調整するで目的を達成している。これらの化合物の原料であるカルボン酸の  $pK_a$  値はよく知られているので、このような一連の 2 級アミド化合物の開発と、これらの化合物を用いた貴金属類、特に白金の抽出を行い、アミドプロトンの関与とその抽出性能に関する情報を得ることで、 $pK_a$  値と抽出性能の相関について検討した。また、アミドプロトンの  $^+$  性は非情に弱い相互作用であるので、1 分子内にアミドプロトンを 2 つ有する抽出試薬についても開発を行った。この際、金属アニオンの大きさによって選択性が変化することを想定し、ジアミド間のスペーサーとしてメチレン基が 1~5 の試薬を合成した。

これらを用いて塩酸系におけるガリウムイオンや貴金属イオンの抽出挙動について検討した。また、2 級アミドはアミドプロトンだけでなくより配位性の高いカルボニル酸素原子も有するため、プロトネーションが起こらない塩酸濃度領域で抽出実験を行う必要がある。各 2 級アミドの塩酸濃度に伴うアミドプロトンの  $^1H$ -NMR スペクトルのシフト位置を確認することで、シフトを起こさない塩酸濃度領域で抽出挙動を検討した。

### 4. 研究成果

図 1 に示す AA と TFAA による塩酸系でのガリウムの抽出について検討した。事前に各濃度での塩酸の抽出に伴うアミドプロトンのピークシフトについて調べた。結果を図 2 に示す。AA では 4 M ( $M = \text{mol dm}^{-3}$ ) 以上の塩酸濃度で顕著なピークシフトが観察され、カルボニル酸素原子へのプロトネーションが起こっていると考えられる。また、TFAA では濃塩酸原液を用いてもピークシフトは観察されなかった。

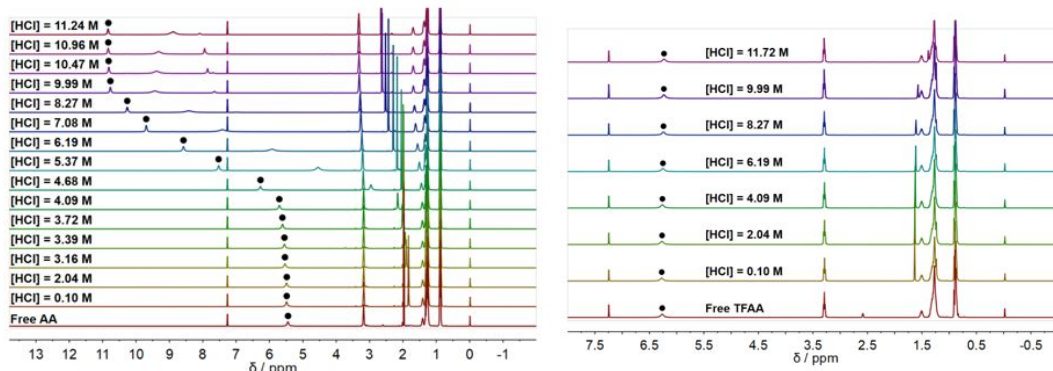


図 2 各濃度での塩酸の抽出に伴う AA(左)と TFAA(右)のアミドプロトン( )のピークシフト

この結果を踏まえ、3 価ガリウムイオンの抽出について検討した。結果を図 3 に示す。ガリウムイオンがアニオンとならない硝酸系では全く抽出が起こらなかった。塩酸系では AA でガリウム

イオンがアニオンとなる 3 M 程度、TFAA で 5 M 程度の塩酸濃度から抽出が観られた。AA では 4 M 程度の塩酸濃度からプロトネーションが起こることが示唆されたが、TFAA でプロトネーションは起こらないので、アミドプロトンの抽出への寄与が強く示唆されている。

また、図 4 に示す抽出試薬濃度依存性の結果から、ガリウム抽出の化学量論は AA で 1 : 1、TFAA で 1 : 2 (試薬 : ガリウム) であることが分かった。図 5 に示すガリウム充填時における TFAA の  $^1\text{H-NMR}$  および  $^{19}\text{F-NMR}$  スペクトル結果からガリウム抽出に伴って、ヒドロニウムイオンが抽出される際にフッ素原子が関与することで、図 6 に示すように 2 つめのガリウムイオンを抽出するアロステリック抽出が起きていることが分かった。

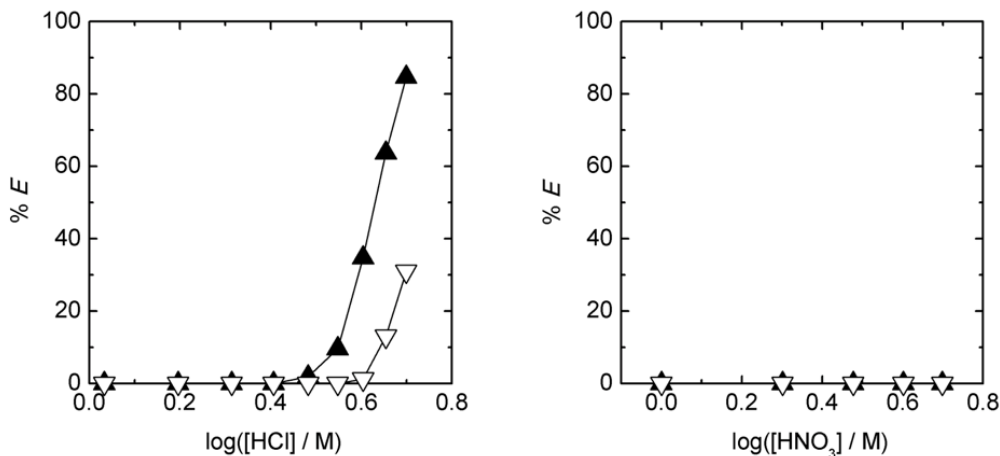


図 3 各濃度での塩酸(左)と硝酸(右)系における AA (▲) と TFAA (△) によるガリウムイオンの抽出率

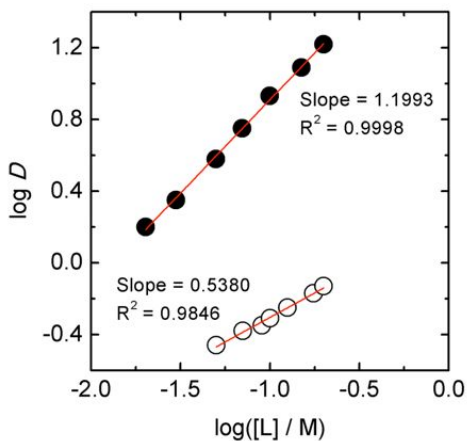


図 4 AA (●) と TFAA (○) によるガリウム抽出の試薬濃度依存性

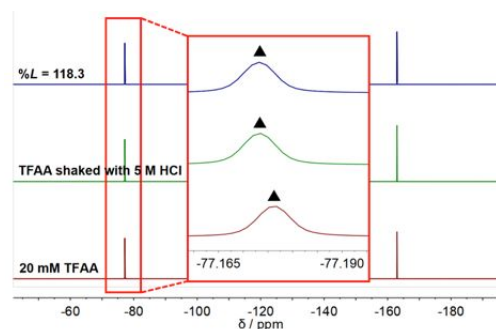
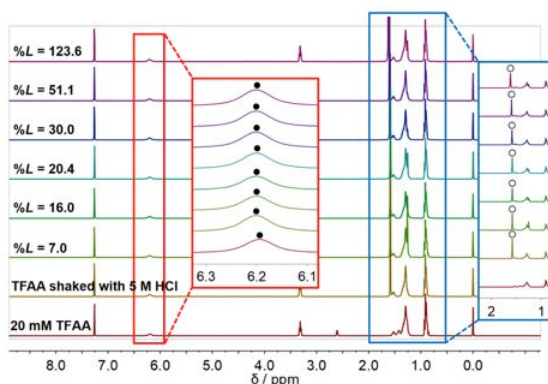


図 5 ガリウム充填に伴う TFAA のアミド水素(上)とフッ素原子(下)のピークシフト

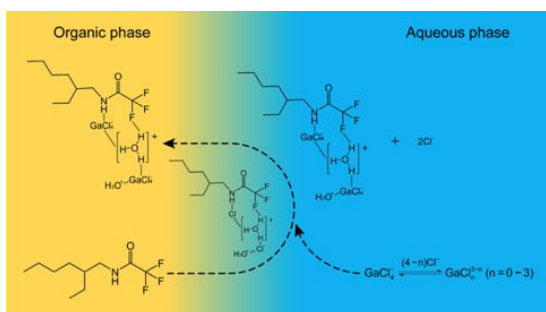


図 6 TFAA によるガリウムの抽出機構

アミド化合物による白金の抽出についても検討を行った。結果を図 7 に示す。この結果から、低塩酸濃度領域ではプロトネーションしていないことが分かった。また、ピーク位置と塩酸濃度の関係を見掛けの  $\text{p}K_a$  を算出

したが、いずれのジアミド化合物も1つの  $pK_a$  しか観察されなかった。また、図8に示されるように、3つのジアミド化合物の抽出挙動は大きく異なっており、スペーサー長の影響が顕著に表れ、白金アニオンに対してはプロピレン鎖を有するC3の抽出能力が最も高いことも明らかとなった。ジアミド化合物による金属アニオンの抽出では、共存するアニオンの影響を大きく受ける傾向が観られ、さらなる調査が必要である。それらの影響を明らかにすることで、目的アニオンに対する分離や選択性の向上に寄与できると考えられる。

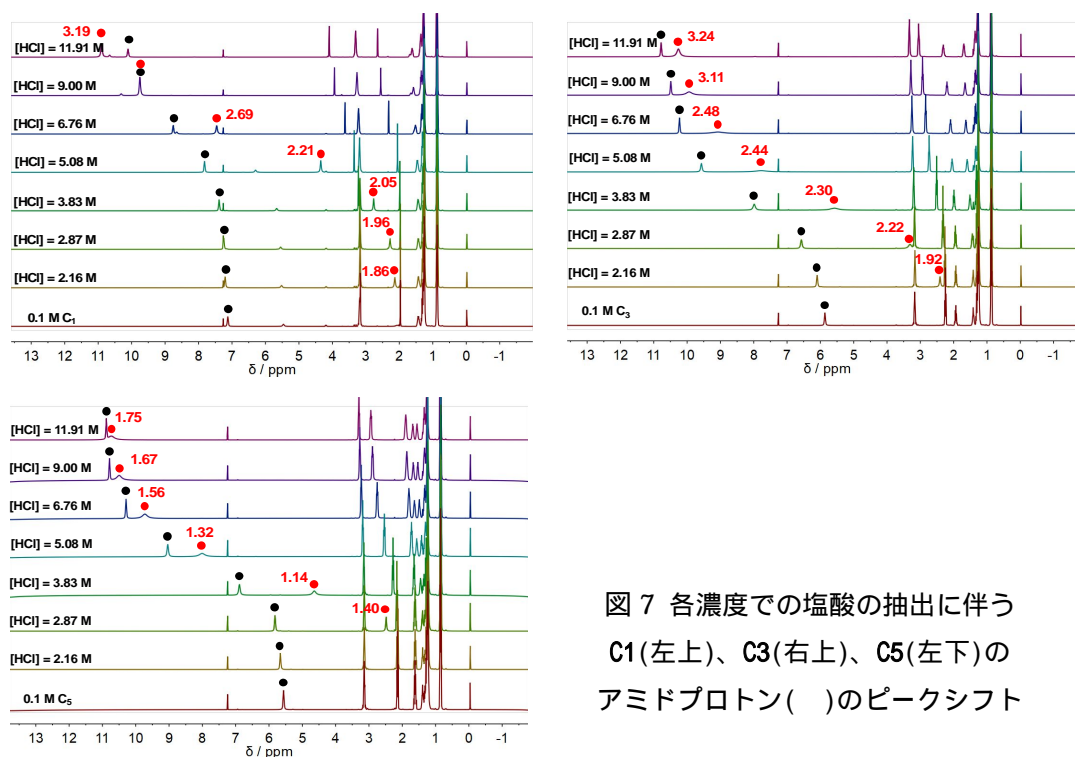


図7 各濃度での塩酸の抽出に伴うC1(左上)、C3(右上)、C5(左下)のアミドプロトン( )のピークシフト

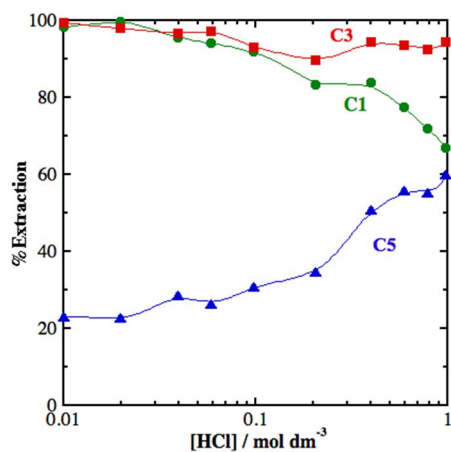


図8 各塩酸濃度における白金アニオンの抽出率

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yu Dan, Morisada Shintaro, Kawakita Hidetaka, Sakaguchi Koichi, Osada Satoshi, Ohto Keisuke, Inoue Katsutoshi, Song Xi-Ming, Zhang Guolin, Sathuluri Ramachandra Rao	4. 巻 9
2. 論文標題 Gold recovery from precious metals in acidic media by using human hair waste as a new pretreatment-free green material	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 104724 ~ 104724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2020.104724	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 Ohto Keisuke, Furugou Hiroaki, Morisada Shintaro, Kawakita Hidetaka, Isono Ken-ichi, Inoue Katsutoshi	4. 巻 39
2. 論文標題 Stepwise Recovery of Molybdenum, Vanadium, and Tungsten with Amino-Type "Trident" Molecule by Stripping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solvent Extraction and Ion Exchange	6. 最初と最後の頁 1 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/07366299.2021.1876370	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 Ohto Keisuke	4. 巻 99
2. 論文標題 Review of adsorbents incorporating calixarene derivatives used for metals recovery and hazardous ions removal: the concept of adsorbent design and classification of adsorbents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10847-021-01053-x	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 Ohto Keisuke, Nakashima Shimpei, Tanaka Yudai, Morisada Shintaro, Kawakita Hidetaka, Oshima Tatsuya	4. 巻 884
2. 論文標題 Extraction behavior of trivalent rare earth metal ions with diphosphonic acid type extraction reagent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 133-139
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 -

1. 著者名 Yoga Priastomo, S. Morisada, H. Kawakita, K. Ohto, Jumina	4. 巻 43
2. 論文標題 Synthesis of macrocyclic polyphenol resin by methylene crosslinked calix[4]arene (MC-[4]H) for the adsorption of palladium and platinum ions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New J. Chem.	6. 最初と最後の頁 8015-8023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NJ00435A	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 大渡啓介	4. 巻 30
2. 論文標題 カリックスアレーン誘導体による金属イオンの抽出分離挙動に及ぼすさまざまな構造効果に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本イオン交換学会誌	6. 最初と最後の頁 17-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5182/jaie.30.17	査読の有無 無
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 K. Ohto, N. Fuchiwaki, S. Morisada, H. Kawakita, J.J. Weigand, W. Marco	4. 巻 8(11)
2. 論文標題 Comparative Extraction of Aluminum Group Metals Using Acetic Acid Derivatives with Three Different-Sized Frameworks for Coordination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Separations	6. 最初と最後の頁 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/separations8110211	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 Y. Ueda, S. Morisada, H. Kawakita, K. Ohto	4. 巻 8(9)
2. 論文標題 Selective Extraction of Platinum(IV) from the Simulated Secondary Resources Using Simple Secondary Amide and Urea Extractants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Separations	6. 最初と最後の頁 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/separations8090139	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 K Ohto, T. Sato, G. Pang, T. Umecky, S. Morisada, H. Kawakita	4. 巻 51(4)
2. 論文標題 Extraction of platinum hexachloride anion using two amido hydrogen atoms of secondary diamides with different spacer length	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 399-401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210827	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 Gehui Pang, Shintaro Morisada, Hidetaka Kawakita, Takeshi Hanamoto, Tatsuya Umecky, Keisuke Ohto, Xi-Ming Song	4. 巻 278(1)
2. 論文標題 Allosteric extraction of the second gallium anion assisted by the first gallium-loaded fluorinated secondary amide reagent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sep. Purif. Technol.	6. 最初と最後の頁 119036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2021.119036	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

[学会発表] 計14件(うち招待講演 4件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Keisuke Ohto
2. 発表標題 Rare earth metals extraction with diphosphonic acid reagent
3. 学会等名 6th International Conference on Science and Technology (ICST 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大渡啓介、淵脇菜子、森貞真太郎、川喜田英孝
2. 発表標題 3種の異なる基体から成る抽出試薬による金属イオンの抽出挙動
3. 学会等名 化学工学会第 52回秋季大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 川喜田英孝、山本真土、森貞真太郎、大渡啓介
2. 発表標題 新規ジホスホン酸系抽出試薬の開発と希土類金属イオンの抽出
3. 学会等名 化学工学会第 52回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 PANG Gehui、森貞真太郎、川喜田英孝、大渡啓介
2. 発表標題 Synthesis of secondary amide compounds and their extraction properties towards Ga( ) in hydrochloric acid system
3. 学会等名 化学工学会第 52回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大渡啓介、淵脇菜子、森貞真太郎、川喜田英孝
2. 発表標題 3種の骨格の異なるカルボン酸誘導体による金属の抽出挙動
3. 学会等名 第39回溶媒抽出討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Ohto
2. 発表標題 Preparation of Separating Reagents for Metal Recovery and Removal
3. 学会等名 Guest Lecture Series on Sustainable Development Goals at Institut Teknologi Sepuluh Nopember (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gehui Pang, Taisuke Sato, Yuki Ueda, Shintaro Morisada, Hidetaka Kawakita, Keisuke Ohto
2. 発表標題 Advanced technique of base metals recovery with amide extractants
3. 学会等名 The 10th Saga University - Liaoning University Joint Seminar, -New Trends in Chemistry and Materials Science- (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大渡啓介
2. 発表標題 レアメタル資源とこれまでの分離回収技術
3. 学会等名 北九州化学工学懇話会 (KACE) 第66回講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大渡啓介、Pang, Gehui、森貞真太郎、川喜田 英孝
2. 発表標題 2種の2級アミド化合物を用いたガリウムの選択的抽出と抽出機構の解明
3. 学会等名 日本分析化学会 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大渡啓介、Pang Gehui、森貞真太郎、川喜田英孝
2. 発表標題 フッ素非含有・含有の2級アミド抽出試薬を用いたガリウムの抽出挙動
3. 学会等名 化学工学会第 52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大渡 啓介, 佐藤太亮, Pang Gehui, 森貞真太郎, 川喜田英孝
2. 発表標題 白金の抽出に及ぼす2級ジアミド化合物のスペーサー長の影響
3. 学会等名 連合年会2021 (第40回溶媒抽出討論会・第35回日本イオン交換研究発表会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pang Gehui, 森貞真太郎, 川喜田英孝, 大渡啓介
2. 発表標題 フッ素を含むおよび含まない2級アミド化合物による塩酸媒体からのガリウムの抽出
3. 学会等名 連合年会2021 (第40回溶媒抽出討論会・第35回日本イオン交換研究発表会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田龍生, 本田大貴, 佐藤太亮, 森貞真太郎, 川喜田英孝, 大渡啓介, 岩崎渉
2. 発表標題 マイクロリアクターを用いた2級アミド化合物による貴金属抽出
3. 学会等名 連合年会2021 (第40回溶媒抽出討論会・第35回日本イオン交換研究発表会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ohto
2. 発表標題 Preparation of extraction reagents with specific coordination structures for metal separation and advanced research
3. 学会等名 日米希少金属ミーティング (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y. S. Kurniawan, R. R. Sathuluri, K. Ohto	4. 発行年 2020年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 168
3. 書名 Advances in Microfluidic Technologies for Energy and Environmental Applications	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://chemeng.chem.saga-u.ac.jp/index.html">http://chemeng.chem.saga-u.ac.jp/index.html</a> <a href="http://www.mirai-kougaku.jp/eco/pages/150115.php">http://www.mirai-kougaku.jp/eco/pages/150115.php</a>
--

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

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