

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11705

研究課題名(和文)ピンサー機能を付与したジフェノールを鍵とする高選択的パラジウム抽出剤の革新的開発

研究課題名(英文) Innovative development of highly selective palladium extractant based on diphenol with pincer functions

研究代表者

山田 学 (Yamada, Manabu)

秋田大学・理工学研究科・講師

研究者番号：90588477

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：チオジチオフェノールを基本構造とした抽出剤は、工業的なパラジウム(Pd(II))抽出剤と比較して、Pd(II)を迅速に且つ効率的に抽出できることを明らかにすることができた。さらに、二次資源である使用済み自動車排ガス浄化触媒を浸出した原液から、Pd(II)をほぼ抽出することが可能であった。また、水の洗浄による抽出相からの鉄(Fe(III))の除去を行い、その後、チオ尿素溶液による逆抽出を行うことで、純度の良くPd(II)を回収できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チオジチオフェノールを基本構造とした硫黄原子3個を有する抽出剤が自動車排ガス浄化触媒の浸出原液から効率的にPd(II)を回収することが可能であり、本研究によりPd(II)を分離・回収する一連のプロセスを構築することができた。本研究で開発された抽出剤は、他のリサイクル資源(使用済みの家電製品やスマートフォンなど)に含まれるPd(II)を効率的に回収できる白金族分離剤としての展開も期待できる。

研究成果の概要(英文)：Our thiodithiophenol-based extractant could extract palladium (Pd(II)) more quickly and efficiently than traditional industrial Pd(II) extractants. Furthermore, it made it possible to extract most of Pd(II) from undiluted leached solution of spent automotive catalysts. Removal of iron (Fe(III)) from the extracted phase by washing with water then back-extraction with thiourea solution led to recovery of Pd(II) at high purity.

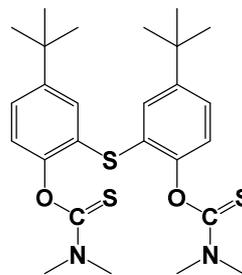
研究分野：超分子化学

キーワード：ピンサー抽出剤 パラジウム 溶媒抽出 白金族分離精製 二次資源

1. 研究開始当初の背景

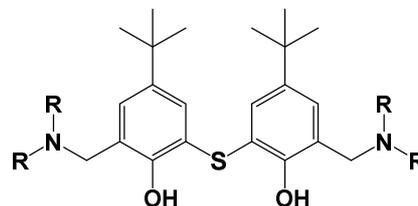
希少元素であるレアメタルは、世界的な需要の急増や資源国の輸出管理政策により安定的な供給が難しい状況となっている。レアメタルの供給を輸入に頼る我が国は、使用済み製品からの有用金属の効果的な回収に関する開発が急務となっている。一方で、日本は世界有数の「都市鉱山（使用済み製品に含まれる有用金属を鉱石に見立てたもの）」を保有している。このような現状から、都市鉱山からの限りある資源の利活用、効率的なリサイクル制度・技術の確立は国家的戦略の一つとなっている。特に、多くのハイテク製品（スマートフォンや燃料電池、自動車排ガス浄化触媒など）に利用されている白金族金属(Platinum group metals: PGM)は、鉱石中に低濃度で存在し、特定の資源国に偏在することが知られており、今後、さらに安定的に確保することは厳しくなることが予想される。現在、都市鉱山等の二次資源からの PGM 分離精製は、湿式法によって金属種の単離精製が行われている。代表的な手法は沈殿晶析やイオン交換法、溶媒抽出法等であり、水溶液中の PGM 濃度等に応じてより効率的な方法が選択される。これら分離法の中でも特に溶媒抽出法が国内外を問わず広く用いられている。しかし、溶媒抽出法による白金族リサイクルにおいて、代表的な工業的 PGM 抽出剤(トリオクチルアミンやジオクチルスルフィド(DOS)など)は、選択性が低い、抽出能力が低い、繰り返し利用したときの抽出能力の低下などの課題が指摘されている。

当グループでは、上記の PGM 抽出剤の課題を克服できるような新たな抽出剤の開発に取り組んできた。最新の研究で、我々は 2 分子の *p-tert*-ブチルフェノールの *o* 位を硫黄で架橋した含硫黄ジフェノールを基本構造とした 2 種の抽出剤 1 と 2 を開発した (*Ind. Eng. Chem. Res.*, **55**, 8914-8921 (2016); *Ind. Eng. Chem. Res.*, **57**, 1361-1369 (2018))。これら抽出剤は、パラジウム (Pd(II)) や白金 (Pt(IV)) を自動車排ガス浄化触媒を浸出した希釈液から効果的に抽出できることが明らかとなった。一方、抽出剤 1 と 2 は Pd(II) や Pt(IV) に高い抽出能を有する反面、金属イオンを捕捉する際、抽出剤の架橋部が効果的に機能しないことが新たな課題として浮上した。



1

チオカルバモイル基を有する含硫黄ジフェノール



2

R = エチル基 ~n-ヘキシル基

ジアルキルアミノ基を有する含硫黄ジフェノール

図 1. チオジフェノールを基本構造とした Pd(II) や Pt(IV) に高い抽出特性を有する抽出剤

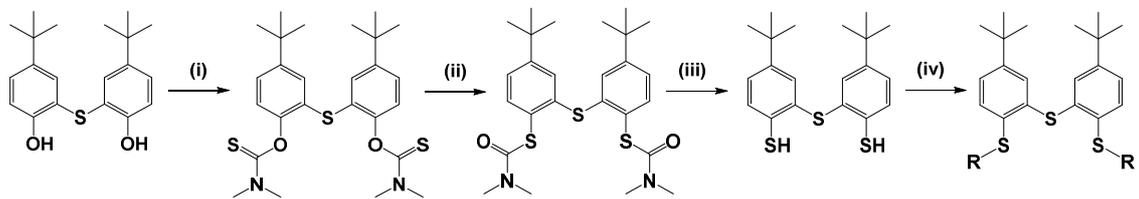
2. 研究の目的

上述の課題を解決する手段として、特定元素に高い選択性と親和性を獲得するため、架橋部の硫黄原子が金属の捕捉に関与できる「ピンサー機能を付与した Pd(II) 抽出剤の開発」と「Pd(II) 抽出特性の評価」を目的に本研究を進展させた。抽出剤の開発では、ターゲットとするソフト性 Pd(II) に親和性の高い硫黄原子を多く含む抽出剤を分子設計し、合成ルートの確立を目指した。また、合成に成功した抽出剤の Pd(II) 抽出能力の評価では、Pd(II) に対する抽出条件の精査をはじめ、二次資源である使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出液をターゲットとした Pd(II) の高効率回収が可能か研究を行った。

3. 研究の方法

ピンサー機能を付与した Pd(II) 抽出剤の開発

抽出剤の合成は、図 2 に示す方法にて合成を行った。1 段階目 (i) の反応は、以前の当グループが報告した手法をもとに実施した (*Ind. Eng. Chem. Res.*, **55**, 8914-8921 (2016))。チオカルバモイル基を導入したチオジフェノール誘導体を熱媒として使用されるジフェニルエーテルに加え、235 °C で反応させることで、チオカルバモイル部位の酸素原子を硫黄原子へと転位させた (収率 69.5%)。熱転位後の化合物を水素化アルミニウムリチウムによって、ヒドリド還元を行うことで、チオール基 (-SH 基) へと変換した (収率 76.6%)。その後、プロモオクタンを用いて塩基触媒下で、抽出剤 3 の合成を行った (収率 64.7%)。本抽出剤 3 を用いて次の Pd(II) の抽出特性を評価した。また、単結晶 X 線構造 (SXRD) 解析や核磁気共鳴スペクトル (NMR) 解析による Pd(II) の抽出メカニズムを解明するため、短いアルキル基であるメチル基を導入した化合物 4 を抽出剤 3 の模倣分子として合成した。



3: R = オクチル

4: R = メチル

図2. 抽出剤3および模倣分子4の合成ルート: 各ステップの合成条件 (i) アセトン, *N,N*-ジメチル(チオカルバモイル)クロリド, 炭酸カリウム, 還流, 5日間; (ii) ジフェニルエーテル, 235 °C, 15時間; (iii) テトラヒドロフラン, 水素化アルミニウムリチウム, 3h; (iv) 3: エタノール, 水酸化カリウム, プロモオクタン, 還流, 2時間; 4: エタノール, 水酸化カリウム, プロモオクタン, 還流, 3時間

Pd(II)抽出特性の評価

下記の ~ の項目について調査を行った。

Pd(II)抽出能に及ぼす振とう時間の影響

1 mMの抽出剤3のトルエン溶液と1 mMのPd(II)の0.1 M HCl溶液を抽出試験溶液として用意した。Pd(II)の抽出速度を調査するために、0.5から12時間までの範囲における振とう時間にて、抽出実験を行った。

Pd(II)抽出能に及ぼす塩酸(HCl)濃度の影響

Pd(II)抽出能に及ぼすHCl濃度の影響を調べるために、抽出剤3の濃度を1 mMとしたトルエン溶液とPd(II)濃度を1 mMとしたHCl濃度を0.1 Mから10 Mの範囲で変化させたものとの間で6時間の抽出実験を実行した。

自動車排ガス浄化触媒浸出液からのPd(II)抽出選択性

自動車排ガス浄化触媒浸出液は、自動車排ガス触媒を粉砕したものを11.6 M HClと1 vol.%のH₂O₂との混酸を用いて調製した。浸出液には11種の金属イオンが存在し、濃度(mg/L)は次の通りである。[Al(III)] = 4870, [Ca(II)] = 428, [Cr(III)] = 71, [Cu(II)] = 41, [Fe(III)] = 2120, [Mg(II)] = 454, [Ni(II)] = 42, [Pd(II)] = 795, [Rh(III)] = 32, [La(III)] = 1781, [Ce(III)] = 8900。本浸出液に対する抽出剤3の元素選択性を調査した。

模倣分子4を利用したPd(II)抽出メカニズム解析

Pd(II)の抽出メカニズム解析を行うため、抽出剤3の模倣分子である4のPd抽出錯体の調製を行った。4の濃度(1 mM)とPd(II)濃度(1 mM)の量論比は1:1、塩酸濃度0.1 M、希釈剤はトルエン、振とう時間を6時間として抽出実験を行い、Pd(II)の抽出率は99%以上であった。抽出実験後のPd(II)を抽出した有機相を留去し、得られた赤色固体をクロロホルム(CHCl₃)に溶解し、*n*-ヘキサンを貧溶媒とすることで結晶化することができた。本結晶は、SXRD解析および¹H NMR解析によって分析した。

4. 研究成果

Pd(II)抽出能に及ぼす振とう時間の影響

抽出剤3によるPd(II)単独溶液から0.5~12時間の振とう時間における抽出率の変化を図3に示す。振とう時間0.5時間では約60%となり、1時間で抽出率が約100%となった。その後の抽出率は一定となっている。一般的に、工業的Pd(II)抽出剤のジヘキシルスルフィド(DHS)やDOSは抽出速度が遅く、Pd(II)濃度よりも大過剰の濃度のDHSやDOSを使用した場合でも完全に抽出するには、数時間の振とう時間を要する。本研究で開発した抽出剤3は低濃度であっても1時間でPd(II)を殆ど抽出できることから、従来の抽出剤よりも効果的にPd(II)を抽出できることが明らかとなった。

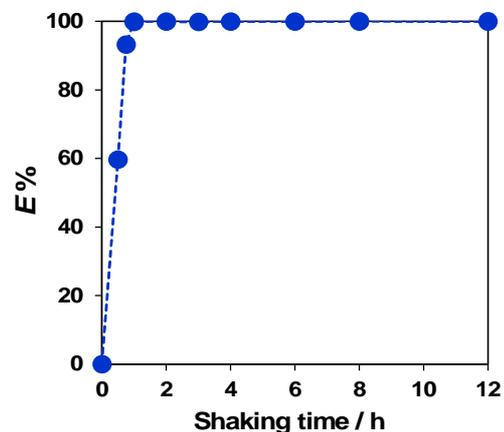


図3 抽出剤3のPd(II)抽出率における振とう時間の影響

Pd(II)抽出能に及ぼすHCl濃度の影響

HCl 濃度 0.5~10 M における抽出剤 3 の Pd(II)抽出率の変化に関する結果を図4に示す。HCl 濃度が0.5~4.0 M へと変化するにつれて、抽出率は劇的に減少し、HCl 濃度が4.0 M では最も抽出率が低い結果となった。対照的に、HCl 濃度が4.0 M 以降は、抽出率が向上し、10 M のHCl では、約97%まで抽出率が上昇した。しかし、振とう時間を24~36時間として、3.0 M と5.0 M HCl の各塩酸濃度でPd(II)の抽出実験を行った際は、90%程度の抽出率の上昇を示した。恐らく、このPd(II)の低抽出速度は、このHCl 濃度領域特有の現象であり、その原因の一つにCl⁻イオンの妨害が原因であると考えられる。

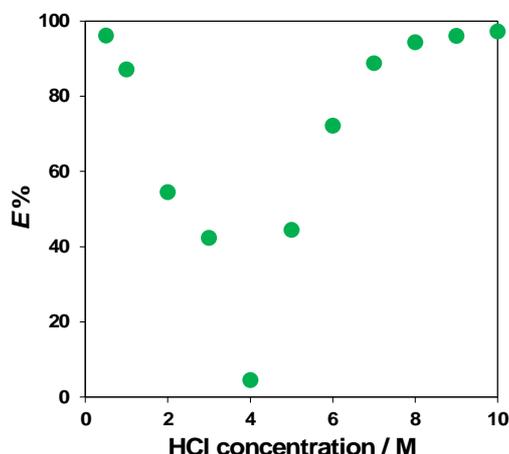


図4 抽出剤 3 の Pd(II)抽出率における HCl 濃度の影響

自動車排ガス浄化触媒浸出液からの Pd(II)抽出選択性

今回、調製した使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液には、795 ppm (7.50 mM) の Pd(II)が含有していることがわかった(他の金属種の含有量は研究の方法を参照)。本抽出実験では、抽出剤 3 の濃度が2、4、6、および8 mM となるように調製した4種の有機相を準備し、使用済み自動車排ガス触媒の浸出原液からの Pd(II)抽出特性について検討を行った。図5a)は2 mM の抽出剤 3 を使用して抽出実験を行った結果である。この結果から、Pd(II)に対して高い選択性が観察された (Pd(II) E% = 60.3%)。次いで、抽出率が高い金属種として Fe(III)や Cr(III)が挙げられ、各 E%は約 15.4%と 11.6%であった。次に、抽出剤 3 の濃度を4 mM として抽出実験を行った結果を図5b)に示す。先の抽出結果と似通った傾向が観測された。Pd(II)が最も効果的に抽出され、Fe(III)や Cr(III)も同様に抽出された。抽出率の大きな変化はなく、各金属種の E%はそれぞれ68.3%、16.6%、11.6%であった。さらに、図5c)に示すように、抽出剤 3 の濃度6 mM を使用した場合、Pd(II)の E%が最大値を示し、99.9%以上であった。また、Fe(III)の E%も上昇し、24.0%となった。一方、図5d)に示すように、抽出剤 3 の濃度を8 mM とした際は、Pd(II)以外にも他の金属種が抽出されており、Pd(II)に対する選択性が低下する結果となった。本結果が得られた理由として、過剰量の抽出剤 3 が存在することにより、Pd(II)以外の金属種との競合抽出の発生と、金属種の有機相への拡散が原因である可能性が考えられる。上記の結果を踏まえると、本研究で調製した使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液から Pd(II)を効果的に抽出するには、Pd(II)の含有量と同程度の濃度の抽出剤 3 を使用する必要があると推測される。次に、有機相中に抽出された Fe(III)の除去について検討を行った。使用した Fe(III)を含有した抽出相は、抽出剤 3 の濃度6 mM を用いて、使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液から抽出実験したものを使用した。水による抽出相からの Fe(III)の除去操作を行った結果、最大で59.0%の Fe(III)を除去できることがわかった。続いて、0.1 M チオ尿素溶液を Pd(II)のストリッピング剤として逆抽出を行った際、Pd(II)の逆抽出率(%)は約100%を示し、わずかな Fe(III)の剥離が観測されるのみであり (Fe(III)の S% = 約1.8%)、他の金属種の逆抽出は観測されなかった。

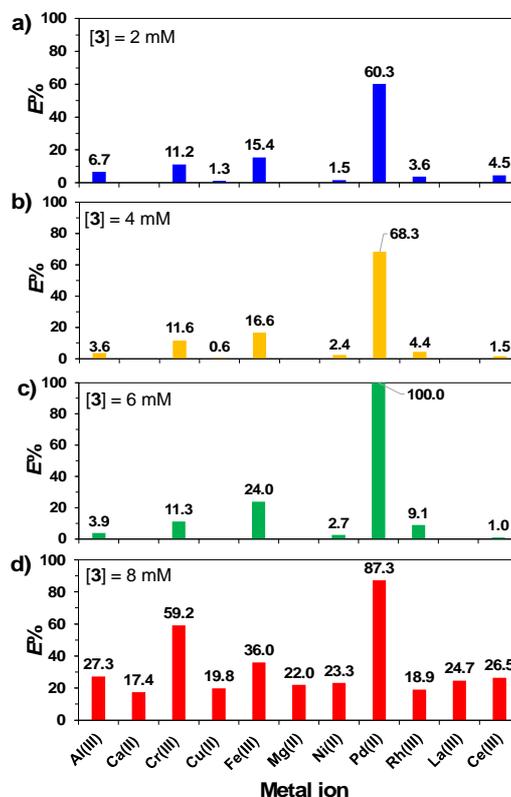


図5 抽出剤 3 による使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液からの抽出実験；有機相：[抽出剤 3] = 2~8 mM、水相：使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液、希釈剤 = トルエン、振とう時間 = 6時間

以上の結果から、二次資源である使用済み自動車排ガス浄化触媒の浸出原液から効果的に Pd(II)を回収するためには、Pd(II)含有量と同程度の濃度の抽出剤 3 を使用し、抽出後の金属抽出相を水で洗浄して Fe(III)をできる限り除去し、チオ尿素溶液をストリッピング剤として使用することで達成できることが明らかとなった。

模倣分子 4 を利用した Pd(II) 抽出メカニズム解析

Pd(II)-配位子錯体の構造を理解することは、抽出剤としての機能性の解明のほかに、新しい化学概念を取得し、工業的用途を開発するために非常に重要である。抽出剤 3 の Pd(II) 抽出メカニズム解析は、結晶状態と溶液状態の錯体構造から解明を試みようとしたが、抽出剤 3-Pd(II) 錯体の単結晶化が上手くできず、別法を選定することとした。恐らく、抽出剤 3 のオクチル部分の運動性が抽出剤 3-Pd(II) 錯体の周期的配置に影響を与えた可能性がある。そこで、Pd(II) の抽出メカニズム解析では、短鎖のメチル基を有する化合物 4 を抽出剤 3 の模倣分子として合成することで、側鎖の運動性を抑制し、錯体分子の周期的配列が可能になると推測した。実際に、化合物 4 による Pd(II) 抽出実験を行い、ここで得られた抽出相を濃縮し、CHCl₃/*n*-ヘキサンの混合溶媒から結晶化を試みたところ、結晶を得ることができた。この 4-Pd(II) 錯体の SXRD 解析の結果を図 6 に示す。Pd(II) は、2 つの硫黄原子 (1 つは架橋部から、もう 1 つはメチルチオエーテル部分から) によって捕捉され (S2-Pd1 距離 = 2.258(1) Å; S3-Pd1 距離 = 2.255(1) Å)、2 つの Cl⁻ イオンが Pd(II) に金属中心と配位した環境にあった (Cl1-Pd1 距離 = 2.334(1) Å; Cl2-Pd1 距離 = 2.314(1) Å)。このように、結晶構造から観測された錯体は、Pd(II) の配位環境からも明らかのように、非対称構造を示していることがわかった。一方、4-Pd(II) 錯体を CDCl₃ に溶解し、¹H NMR 解析を行った結果、図 7 に示すように、芳香族領域 (7.4 ~ 7.6 ppm) のケミカルシフトから、溶液中で非常に対称性の高い構造を有していることが明らかとなった。つまり、高対称性な構造を選定するには、金属がチオエーテル部分の 2 つの硫黄原子と配位結合を形成していることを意味する。さらには、架橋部の硫黄原子との配位結合も存在する可能性も考えられた。

そこで、溶液中の錯体構造を推定するため、図 8 に示すように、量子化学計算 (ソフトウェア: Spartan '16) により、対称性の高い 2 種の錯体構造 A および B をモデリングし、それぞれの錯体のエネルギーを求めた。エネルギー計算では、DFT/ B97X-V 法を用い、基底関数 6-311+G(2df, 2d) にて行った。図 8 に示すように、モデリングにより得られた高対称の錯体構造は A および B である。Pd(II) が 2 つチオエーテル部位の硫黄原子に捕捉された錯体構造 A と、2 つチオエーテル部位の硫黄原子と架橋部の硫黄原子に捕捉された錯体構造 B である。錯体構造 A と B の熱力学的エネルギー差 E は 48.76 kJ/mol であった。したがって、錯体構造 A は錯体構造 B よりも安定であり、溶液中では錯体構造 A が優先的に存在すると推測される。このことから、抽出剤 3 は上記解析の通り、錯体構造 A の配位環境で Pd(II) を抽出していると考えられる。

以上の結果から、チオジチオフェノールを基本構造とした硫黄原子 3 個を有する抽出剤は、Pd(II) を効率良く抽出できることを明らかにした。また、自動車排ガス浄化触媒の浸出原液から Pd(II) を効果的に抽出し、抽出相の水による洗浄を加え、その後、チオ尿素溶液による逆抽出を行うことで、効率的に Pd(II) を回収することが可能であることを見出した。本研究で開発した抽出剤は、リサイクル資源 (排ガス浄化触媒や家電製品等) に含まれる Pd(II) を対象にした高性能の PGM 抽出剤としての展開が期待できる。

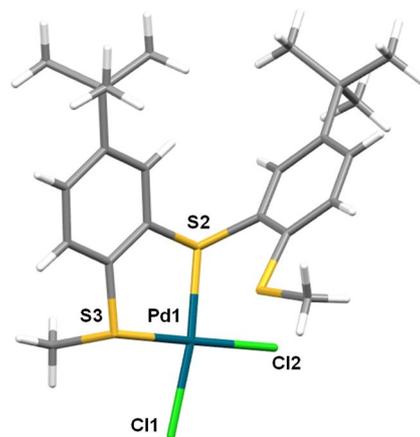


図 6 4-Pd(II) 錯体の単結晶 X 線構造
Monoclinic, Space group $P2_1/c$,
 $a = 10.2117(2)$ Å, $b = 16.3533(3)$ Å,
 $c = 17.2170(3)$ Å, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$,
 $\alpha = 96.7885(16)^\circ$, $V = 2855.00(9)$
Å³, $Z = 4$, $R1 = 0.0489$, $wR2 = 0.1100$

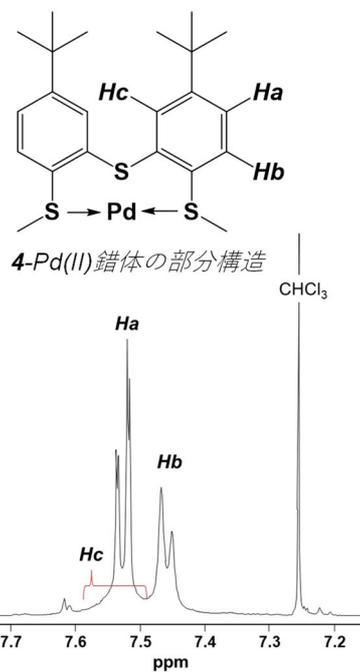


図 7 溶液中の 4-Pd(II) 錯体の ¹H NMR スペクトル

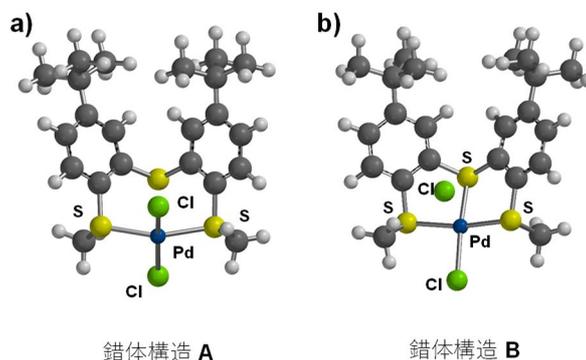


図 8 溶液中の 4-Pd(II) 錯体構造のモデリング

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamada Manabu, Kimura Shun, Rajiv Gandhi Muniyappan, Shibayama Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Environmentally friendly Pd(II) recovery from spent automotive catalysts using resins impregnated with a pincer-type extractant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-79614-2	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 Yamada Manabu, Rajiv Gandhi Muniyappan, Kunda Uma Maheswara Rao, Mori Tomoki, Haga Kazutoshi, Shibayama Atsushi	4. 巻 191
2. 論文標題 Recovery of Pd(II) from leach solutions of automotive catalysts by solvent extraction with new thiophosphate extractants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105221 ~ 105221
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hydromet.2019.105221	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 Yamada Manabu, Rajiv Gandhi Muniyappan, Shibayama Atsushi	4. 巻 8
2. 論文標題 Rapid and selective recovery of palladium from platinum group metals and base metals using a thioamide-modified calix[4]arene extractant in environmentally friendly hydrocarbon fluids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16909
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-35026-x	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 Yamada Manabu, Kaneta Yu, Rajiv Gandhi Muniyappan, Kunda Uma, Shibayama Atsushi	4. 巻 8
2. 論文標題 Calix[4]arene-Based Amino Extractants Containing n-Alkyl Moieties for Separation of Pd(II) and Pt(IV) from Leach Liquors of Automotive Catalysts	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 517 ~ 517
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/met8070517	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 柴山 敦, 山田 学, 川村 茂, 芳賀一寿	4. 巻 91
2. 論文標題 鉍物処理の研究から展開した過熱水蒸気による基板リサイクルと溶媒抽出用「抽出剤」に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 金属	6. 最初と最後の頁 863 ~ 866
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 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 山田 学, 木村 駿, 寺境光俊, 柴山 敦
2. 発表標題 パラジウムの効果的な回収を目指したピンサー抽出剤担持樹脂の開発
3. 学会等名 資源・素材2020 (仙台)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田 学
2. 発表標題 ピンサー配位子の構造的特徴を利用したパラジウム抽出剤の開発
3. 学会等名 資源素材学会東北支部 若手の会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Manabu Yamada, Muniyappan Rajiv Gandhi, Kunda Uma Maheswara Rao, Haga Kazutoshi, Atsushi Shibayama
2. 発表標題 Development of Pincer-Type Extractant for Separation of Palladium from Leach Liquors of Automotive Catalysts
3. 学会等名 World Summit on Advances in Science, Engineering and Technology (Indiana Summit 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊菜央, 山田 学, 芳賀一寿, 柴山 敦
2. 発表標題 ピンサー機能を有する新規抽出剤の合成とPd(II)に対する抽出特性評価
3. 学会等名 一般社団法人資源・素材学会 平成31(2019)年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muniyappan Rajiv Gandhi, Manabu Yamada, Atsushi Shibayama
2. 発表標題 Rapid and Selective Recovery of Pd(II) from Automobile Exhaust Catalysts Using SCS type Pincer Extractant : An Alternative Approach to Current Extraction Process
3. 学会等名 Indian Analytical Congress 2019 (IAC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴山 敦, 山田 学, 芳賀一寿
2. 発表標題 貴金属等の回収を目的とする高効率抽出剤の開発
3. 学会等名 一般社団法人資源・素材学会 平成31(2019)年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴山 敦, 山田 学, 川村 茂, 芳賀一寿
2. 発表標題 鉍物処理の研究から展開した過熱水蒸気による基板リサイクルと溶媒抽出用「抽出剤」に関する研究
3. 学会等名 2021年度多元物質科学研究所 金属資源プロセス研究センターシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴山 敦, 山田 学, 芳賀 一寿
2. 発表標題 Pincer型抽出剤等の開発と浮選用捕収剤に向けたマルチコレクターへの研究挑戦
3. 学会等名 化学工学会 第52回秋季大会(岡山)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu Yamada, Toshiaki Ohira, Nao Watanabe, Atsushi Shibayama
2. 発表標題 Effective Palladium(II) Separation from a Leachate of Automotive Catalysts Using a Pincer-Type Extractant
3. 学会等名 The Ninth International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021)(国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 パラジウム抽出剤およびパラジウムの分離方法	発明者 山田 学, 渡邊 菜 央, 大平 俊明, 柴 山 敦	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-023455	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

秋田大学大学院理工学研究科附属革新材料研究センター 山田研究室 ホームページ https://www.gipc.akita-u.ac.jp/~supramolchemlab/

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
連携研究者	柴山 敦 (Shibayama Atsushi) (30323132)	秋田大学・国際資源学研究所・教授 (11401)	

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