

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06527

研究課題名(和文) イオン液体を用いた形態制御を伴う電解析出法による金属回収技術開発

研究課題名(英文) Development of metal recovery technique by electrolytic deposition method with form control using ionic liquid

研究代表者

新井 剛 (Arai, Tsuyoshi)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：60415867

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：イオン液体(IL)に抽出された金属イオンの形態制御を伴う電解析出について検討した。ILにはPd(II)等の抽出に優れる[Cnmim][PF6]を選定し、Pd(II)を抽出した[Cnmim][PF6]の電気化学特性を検討した。その結果、[Cnmim][PF6]の側鎖や温度等により電析物の形態を変化させることができた。しかし、微小流路を有する電極を用いて電析物の形態制御を試みたが困難であった。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was investigated that the electrodeposition accompanied by form control of metal ions which extracted into ionic liquid (IL). It was selected [Cnmim][PF6] as IL which have excellent in extraction characteristics for Pd(II) etc. And then, electrochemical characteristics of [Cnmim][PF6] extracted Pd (II) were examined. From our results, it was found that the form of the electrodeposit can be changed by the temperature and the side chain of [Cnmim][PF6]. However, it was difficult to control the form of the electrodeposit using the electrode with a microchannel.

研究分野：分離科学

キーワード：イオン液体 抽出 電析 形態制御 白金族元素

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の経済成長率の持続には、産業立国として電子機器や自動車産業等の開発において世界のトップランナーであり続ける必要がある。これらの産業の基盤に存在するものは、従来の製品の高度化やこれまでにない材料開発であり、その実現には膨大な金属資源を必要とする。現実として我が国は世界第4位の資源・エネルギー消費国である。しかし、我が国には産業を支えるだけの金属資源の可採埋蔵量は無く、その殆どを輸入に依存している。これらを自国の“都市鉱山”から効率的に分離・回収できれば、我が国の産業基盤を安定化できる可能性がある。都市鉱山に埋蔵する金属資源のリサイクルに求められることは、経済性と持続性である。特に分離・回収に要するコストは製品価格に反映されるため、効率的な分離・回収プロセスの構築は必須である。筆者らは、金属資源の分離と回収を同時に行うことができる技術の検討を重ねており、イオン液体(IL)を用いることで本技術の成立の可能性を見出した。筆者らは、これまでにILが金属イオンに対して抽出能を有することを明らかとしてきた。また、ILに抽出されたPd(II)等は、電解析出法により固体として回収できることも確認しており、その電析物はサブミクロンオーダーのワイヤー状を呈していることが観察されている。そこで本研究では、筆者らのこれまでの研究成果を基にILの金属イオンの抽出特性や電気化学挙動を明らかとすると共に、ILで発現する電析物の特異的な形状に刮目し、それらの形態制御を試み新たな材料創成に取り組むこととした。

## 2. 研究の目的

筆者らのこれまでの研究成果からILとして1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムヘキサフルオリン酸塩([C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>])は、塩酸水溶液中において特定の金属イオンに対して抽出を示すことが確認されており、その抽出挙動は塩酸濃度に依存することが明らかとなった<sup>1)</sup>。ILは不揮発性・難燃性の特徴を有するため、環境負荷の観点からも溶媒抽出剤の代替として期待される<sup>2-4)</sup>。また、ILには高導電性且つ広電位窓という特徴も有する。この特徴を有効利用することで、金属イオンを抽出したILを電気分解することで電極上に直接金属として回収することが可能であり、「分離・分配・精錬」を一括して行う効率的な金属資源分離・回収プロセス成立の可能性がある。そこで筆者らは、ILに抽出された金属イオンの電解析出挙動についても検討を行っている。これまでの研究成果より[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]に抽出されたPd(II)は、電解析出時間の進行に伴い黒色の析出物の出現が観察され、Pd単体であることが明らかとなった。このことからILに抽出された金属イオンは、電位窓の範囲内において金属として電析回収できることが示された。また、同時にILに抽出された金属イオンも電析電位を変化させることで、各々分離・回収できる

と考えられる。さらにこの電析物の性状は、サブミクロンオーダーのワイヤー状を呈していることが観察された。本研究では、これまでの研究成果を基にILの金属イオンの抽出特性や電気化学挙動を明らかとすると共に、電析物の特異的な形状に刮目し、微細流路を有する電極等を用いて電析物の形態制御を試み、新たな材料創成に取り組むことを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 3.1. ILへの金属イオンの抽出機構の検討

#### (1) ILの合成

本研究では自製した[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>](n=4, 6, 8), [C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N](n=2, 4, 6, 8)及び[BMPy][Tf<sub>2</sub>N]を用いた。[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]は、メタセシス法にて合成を行った。一段階目にカチオンとなるイミダゾリウム環にアルキル側鎖としてブチル基、ヘキシル基、オクチル基を導入するアルキル化反応を行い[C<sub>n</sub>mim][Br]を合成した。そして、二段階目にアニオン交換反応により[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]を得た。[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の合成スキームをFig.1に示す。

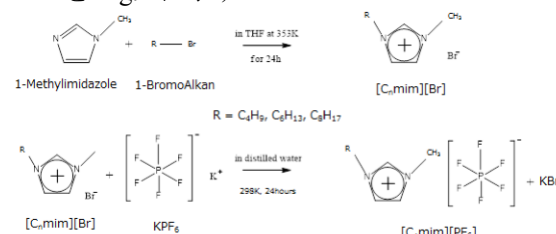


Fig.1 [C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の合成スキーム

[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]イミダゾリウム環にアルキル側鎖としてエチル基、ブチル基、ヘキシル基やオクチル基を導入し、アニオン交換法を用いて合成を行った。Fig.2に[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]の合成スキームを示す。

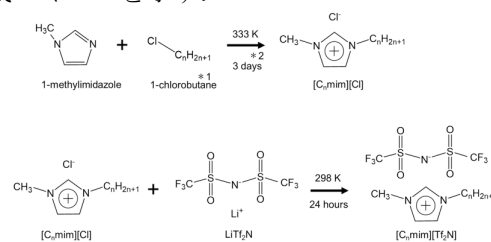


Fig.2 [C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]の合成スキーム

[BMPy][Tf<sub>2</sub>N]は、一段階目にカチオンとなる物質にアルキル基を導入するアルキル化反応、二段階目にアニオン交換法を用いて合成した。Fig.3に[BMPy][Tf<sub>2</sub>N]の合成スキームを示す。

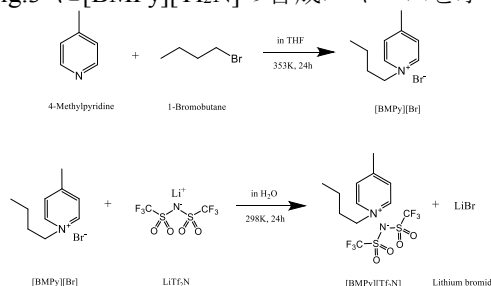


Fig.3 [BMPy][Tf<sub>2</sub>N]の合成スキーム

上記の所定の合成で得られた各 IL は、FT-IR で構造を検討し、何れの合成法及び精製が妥当であることが示された。

## (2) IL の抽出性能の評価

自製した IL への金属イオンの抽出挙動の検討はバッチ式抽出試験で行った。抽出対象元素には、Pd(II), Pt(IV)等を選定した。各塩化物塩は電子天秤を用いて所定量秤量し、 $0.1 \sim 6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  ( $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} = \text{M}$ )の塩酸水溶液に各々溶解することで試験溶液を調製した。バッチ式抽出試験は、各 IL と試験溶液を体積比 1:1 で共栓付き試験管に注入し、振とう器により振とう幅 40 mm, 振とう速度 300 spm で所定時間振とうした。抽出試験後の溶液をマイクロチューブに採取し、遠心分離器によって IL 相と水相を相分離した後、水相のみを採取し金属濃度を測定した。IL へ抽出された金属イオン濃度は、抽出試験前後の金属溶液の濃度差から算出した。さらに、抽出試験前後の水相中の金属イオン濃度から抽出分率を算出し、IL の抽出性能の評価指標とした。抽出分率の算出式を式(1)に示す。

$$E(\%) = \frac{C_o V_o}{C_w V_w + C_o V_o} \times 100 \quad \dots (1)$$

ここで、 $C_w$ は試験後の水相の金属イオン濃度[M],  $V_w$ は金属溶液の体積[ $\text{cm}^3$ ],  $C_o$ は試験後の IL 中の金属濃度[M],  $V_o$ は IL の体積[ $\text{cm}^3$ ]を示す。抽出試験前後の水相中の金属イオン濃度は、ICP 発光分光分析装置発光分光装置 (ICP-OES, 730-ES: アジレントテクノロジー株式会社製)を用いて測定した。

## 3.2. IL 中の金属イオンの電気化学

本試験ではサイクリックボルタンメトリー法(CV)を用いて Pd(II)を抽出した IL の電気化学試験を行った。測定装置はボルタンメトリアナライザ(CV-1000; 株式会社 BAS 製)を用い、Ar ガス環境下で測定した。測定中の電気化学セルの温度調整には、低温恒温水槽を用いた。また、電極による測定誤差を考慮し、電位はイオン液体系で可逆的な電位基準を示す  $\text{Fc}/\text{Fc}^+$ を用いて換算した。

## 3.3. 電解析出による形態制御した金属回収

$[\text{C}_4\text{mim}][\text{PF}_6]$ に抽出した Pd(II)の電解法による金属回収の高効率化を検討するため、電解試験による Pd 析出量から最適な電解電位の検討を行った。さらに、電解試験後の  $[\text{C}_4\text{mim}][\text{PF}_6]$ をシリンジで濾別し、逆抽出試験を行った。逆抽出後の水相中の Pd(II)濃度を測定し、各試験条件での Pd 析出量を算出した。

また、IL で発現する電析物の特異的な形状に刮目し、微小流路を有するくし形電極を用いて電析物の形態制御を試みた。Fig.4 にくし形電極の外観写真を示す。また、本試験では電解中のくし形電極を USB マイクロスコープにて観察し、電析物の形状の確認を行った。

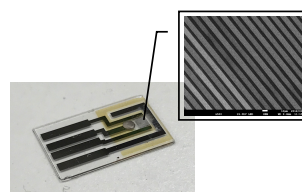


Fig.4 くし形電極の外観写真

## 4. 研究成果

### 4.1 IL への金属イオンの抽出機構の検討

初めに本研究では、IL のカチオン及びアニオンが抽出特性に及ぼす影響を調査するため、自製した  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ ,  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 及び  $[\text{BMPy}][\text{Tf}_2\text{N}]$ に対する塩酸水溶液中における Pd(II), Pt(IV)の抽出挙動について検討した。Fig.5 に  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ に対する Pd(II), Pt(IV)の抽出分率の塩酸濃度依存性を示す。

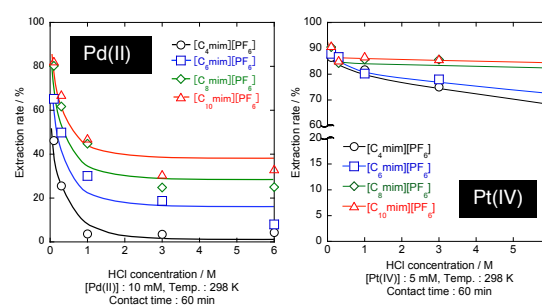


Fig.5  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ に対する Pd(II), Pt(IV)の抽出率の塩酸濃度依存性

Fig.5 より Pd(II), Pt(IV)共に  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ のアルキル側鎖長の増大に伴い抽出分率の増加が確認された。既往の研究成果からアルキル側鎖長の増加により疎水性が向上することが明らかとなっている。 $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ の疎水性が向上することにより、振とう中の  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ のプロトン化が抑制されるため、アルキル側鎖長の増加に伴い Pd(II)に対する抽出能が阻害されなかったと考えられる。また、Pd(II)は塩酸濃度の増加に伴い抽出分率の減少が確認された。剣持らの報告によれば  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ に対する Pd(II)の抽出は、高次のアニオンクロロ錯体とのアニオン交換に起因すると示唆されている。Pd(II)は塩酸濃度が 0.1 M においてアニオンクロロ錯体である  $\text{PdCl}_3^-$ ,  $\text{PdCl}_4^{2-}$ が共存しているが、1 M 以上の高濃度塩酸領域では  $\text{PdCl}_4^{2-}$ が支配的であるため、本試験結果から  $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ に対する Pd(II)の抽出反応は  $\text{PdCl}_3^-$ が優先的に抽出される可能性が示唆された。さらに本研究では、 $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ と  $\text{PdCl}_3^-$ がアニオン交換反応によって抽出する可能性を検討するため、試験溶液中の  $\text{PF}_6^-$ の濃度を変化させて抽出挙動の変化を確認した。Fig.6 に  $\text{PF}_6^-$ 濃度変化による Pd(II)の抽出挙動を示す。Fig.6 より、試験溶液中の  $\text{PF}_6^-$ 濃度の上昇に伴い抽出分率の減少が確認された。これは水相中の  $\text{PF}_6^-$ 濃度が上昇することで、Pd(II)とのアニオン交換反応が誘起されにくくなり、 $[\text{C}_n\text{mim}][\text{PF}_6]$ に抽出される Pd(II)が減

少したためと考えられる。この結果より、 $[C_n\text{mim}][PF_6]$ によるPd(II)の抽出反応は、アニオン交換反応に起因するものと考えられる。

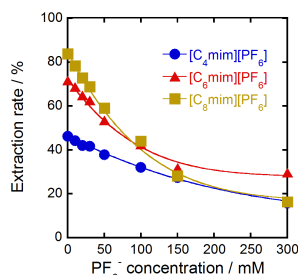


Fig. 6  $PF_6^-$ 濃度変化によるPd(II)の抽出挙動

次いで $[C_n\text{mim}][PF_6]$ のアニオンを変化させた $[C_n\text{mim}][Tf_2N]$ に対する塩酸水溶液中におけるPd(II), Pt(IV)の抽出挙動について検討した。Fig. 7に $[C_n\text{mim}][Tf_2N]$ に対するPd(II), Pt(IV)の抽出分率の塩酸濃度依存性を示す。

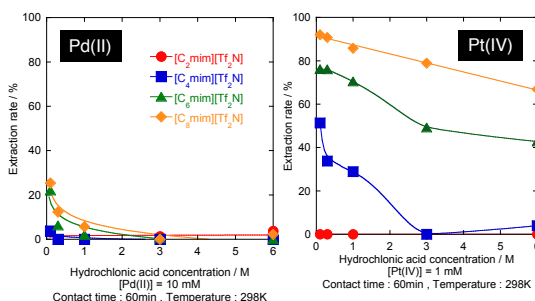


Fig. 7  $[C_n\text{mim}][Tf_2N]$ に対するPd(II), Pt(IV)の抽出率の塩酸濃度依存性

Fig. 7より、Pd(II)はアルキル側鎖長が短い $[C_n\text{mim}][Tf_2N]$  ( $n=2, 4$ )には抽出されなかったが、 $[C_6\text{mim}][Tf_2N]$ 及び $[C_8\text{mim}][Tf_2N]$ は0.3 M以下の低塩酸濃度域において約20%の抽出分率が示された。Pt(IV)は、 $[C_2\text{mim}][Tf_2N]$ 以外のILに対し抽出され塩酸濃度の増加に伴い抽出分率が低下する傾向が示された。また、ILのアルキル側鎖長の増大に伴い、抽出分率が増加する傾向が示された。Pt(IV)のクロロ錯体分布図より本試験条件である0.1~6 Mの塩酸濃度域において、Pt(IV)はアニオンクロロ錯体が支配的に存在することから、Pt(IV)の抽出種は $PtCl_5$ 及び $PtCl_6^{2-}$ であると考えられる。また、ILのカチオン部のアルキル側鎖長の増大に伴い、抽出分率の増加が確認されたのはPd(II)と同様に各ILの静電的相互作用の強弱やプロトンネーション抑制によるものと推察された。これらからPt(IV)の抽出は、陰イオン交換反応が支配的であると考えられる。

次いで $[C_n\text{mim}][Tf_2N]$ のカチオンを変化させた $[BMy][Tf_2N]$ に対する塩酸水溶液中におけるPd(II), Pt(IV)の抽出挙動について検討した。Fig. 8に $[BMy][Tf_2N]$ に対するPd(II), Pt(IV)の抽出分率の塩酸濃度依存性を示す。Fig. 8より、Pd(II)は塩酸濃度0.1 Mにおいて約40%の抽出分率を示し、塩酸濃度の増加に伴い抽出分率が減少することが確認された。また、Pt(IV)は何れの塩酸濃度においても約60%であった。

本試験の塩酸濃度領域では、錯体分布図より求めた $PdCl_5$ 及び $PtCl_6^{2-}$ の存在比率が抽出挙動と類似していることが示された。このことから、Pd(II)及びPt(IV)の抽出種は、 $PdCl_5$ 、 $PtCl_6^{2-}$ であると推察される。

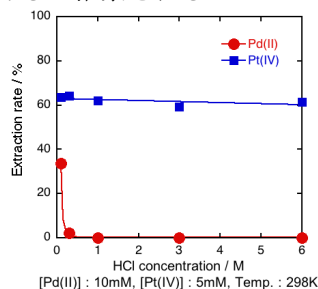


Fig. 8  $[BMy][Tf_2N]$ に対するPd(II), Pt(IV)の抽出率の塩酸濃度依存性

これらの試験結果より、ILのアニオンとカチオンの違いにより金属イオンの抽出挙動は大きく異なることが示された。特にILのアニオンに $[PF_6]$ を有するILの方がPd(II), Pt(IV)の抽出能に優れることが示された。また、何れのILにおいても側鎖長の増大に伴い金属イオンの抽出分率は増大する傾向が確認された。本研究で用いたILのPd(II)及びPt(IV)の抽出能は、 $[C_n\text{mim}][PF_6] > [C_n\text{mim}][Tf_2N] > [BMy][Tf_2N]$ であったため、以降の電気化学試験には $[C_n\text{mim}][PF_6]$ を選定し試験を行った。

#### 4.2. IL中の金属イオンの電気化学挙動の検討

温度変化による $[C_n\text{mim}][PF_6]$ の粘性挙動を検討することは、Walden則による電気化学挙動の検討を行うために必須である。そこで本試験では、各温度におけるPd(II)を抽出した $[C_n\text{mim}][PF_6]$ の電気化学挙動を検討した。Fig. 9~Fig. 11にPd(II)を抽出した $[C_n\text{mim}][PF_6]$  ( $n=4, 6, 8$ )における各温度のサイクリックボルタモグラム(CVG)を示す。

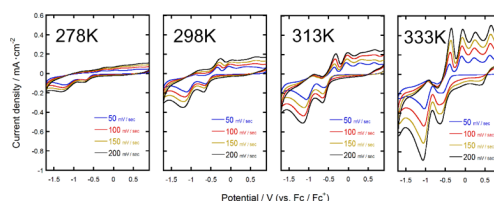


Fig. 9 Pd(II)- $[C_4\text{mim}][PF_6]$ の各温度のCVG

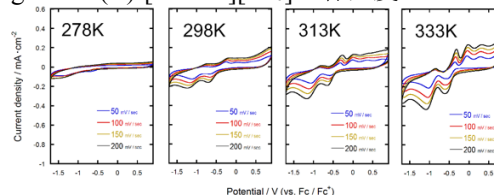


Fig. 10 Pd(II)- $[C_6\text{mim}][PF_6]$ の各温度のCVG

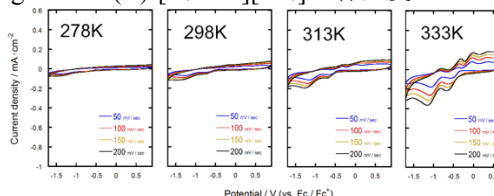


Fig. 11 Pd(II)- $[C_8\text{mim}][PF_6]$ の各温度のCVG

Fig. 9～Fig. 11 より Pd(II)の還元波と考えられるピークが-0.6 V(vs. Fc/Fc<sup>+</sup>)近傍および1.0 V近傍に確認された。作用電極表面では式(2)、式(3)の反応が進行していると考えられる。



式(2)、(3)より、[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の電位窓範囲内においてPd(II)の原子価変化が確認された。このことより、[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]に抽出されたPd(II)は電解法によって析出回収できる可能性が示された。また、温度上昇に伴い、-0.6 V近傍および1.0 V(vs. Fc/Fc<sup>+</sup>)近傍の酸化・還元ピークが増大していることが確認された。さらに、同じ試験温度においては[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]のアルキル側鎖長の増加に伴いピーク電流が減少していることが確認された。これはWalden則に起因すると考えられる。また、本試験結果より各温度および各側鎖の[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]において掃引速度の増加に伴う還元波の掃引方向へのシフトが確認された。このことより、[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]に抽出されたPd(II)の還元反応は拡散律速であると考えられ、[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の温度を増加させても拡散律速が保たれることが推察された。

#### 4.3. 電解析出による形態制御した金属回収

##### (1) Pd(II)を抽出した[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の定電位電解試験における最適電解電位の検討

[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]に抽出したPd(II)の電解法による金属回収の高効率化を検討するため、電解試験によるPd析出量から最適な電解電位の検討を行った。電解電位を-0.5 V～-2.5 Vに設定し、定電流電解試験を実施した。本試験より、電解電位の上昇に伴い抽出されたPd(II)の濃度が減少していることが観察された。また、各電解電位における電析物濾別後の[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]から、エチレンジアミン(EDA)を用いてPd(II)を逆抽出し、各電解電位における電析物の析出量を求めた。Fig.12 に各電解電位におけるPdの析出回収率を示す。Fig.12より、電解電位の卑方向へのシフトに伴い、Pdの電解析出量が増加することが明らかとなった。これは、定電位電解試験において電位を上昇させることにより、電解浴にかかる電流値も増加し、電解効率が上がったためだと考えられる。また、本試験は試験時間を120 minで固定したため、電位の上昇と共に[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]に対しての電気量も増加したことがPdの析出量の増加に起因していると考えられる。

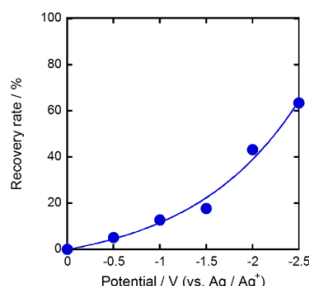


Fig.12 各電位によるPdの析出回収率

また、本試験において卑方向に-2.5 V以上の電位では[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の電位窓範囲を超えるため、[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の分解反応が生じることが示唆された。即ち、[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の電位窓範囲内においてPd(II)の電解電位として最適とされる電位は-2.5 V付近であり、この電位によって電解試験を行うことにより最も効率的に電解析出できることが示唆された。

##### (2) Pd(II)を抽出した[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の温度を変化させた電解試験の検討

本試験では、電極 / 電解液界面への供給を促進させるため、電解試験温度を変化させて電解試験を行った。Fig. 13 に298 K, 353 Kにおける[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>](n=4, 6, 8)のPd(II)電析物のSEM像を示す。

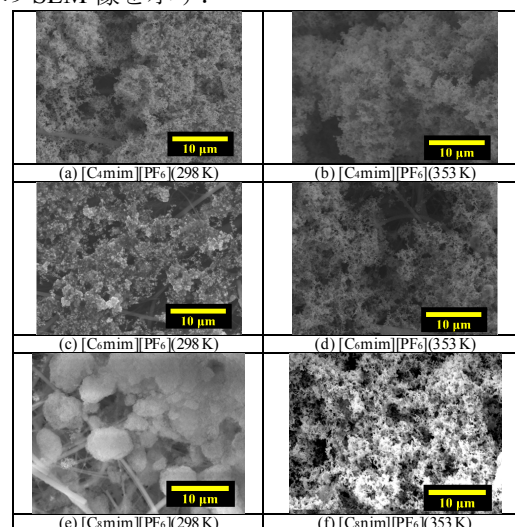


Fig.13 各電位によるPdの析出回収率

Fig. 13 (a) (b)より、試験温度353 Kの[C<sub>4</sub>mim][PF<sub>6</sub>]での電析物は粒状のものが確認され、298 Kの電析物と形状に類似性が確認された。また、Fig. 13 (c) (d)より298 Kにおける[C<sub>6</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の電析物は粒が固まった塊状を呈したのに対し、353 Kの電析物はスポンジ状を呈した。また、結晶粒径は温度の上昇に伴い微細化することが確認された。これは、高温での粘度減少によりモル伝導率が良好となるため、結晶粒径が微細化したと考えられる。さらに、Fig. 13 (e) (f)より[C<sub>8</sub>mim][PF<sub>6</sub>]の電析物は温度上昇に伴い形態が大きく変化し、結晶粒径の微細化が確認された。

##### (3) 微小流路を有するくし形電極を用いた電解析出挙動の検討

本研究より、[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]で発現する電析物の特異的な形状に刮目し、微小流路を有するくし形電極を用いて電析物の形態制御を試みた。本試験の電解中のくし形電極をUSBマイクロスコープにて観察した。観察時ごとに撮影した写真をFig. 14に示す。Fig.14より、微小流路内にPdと考えられる黒色の析出物を確認した。また、経時変化により、電析物は作用極から対極方向に移動することが確認された。また、IL中でPdの電析反応が進行しIL

相に拡散することが観察された。本試験は電析流路を制御することにより、電析物の析出方向制御及び形態制御を目的としたが、くし型電極の流路は 10  $\mu\text{m}$  と比較的大きく、これらの制御は困難であった。

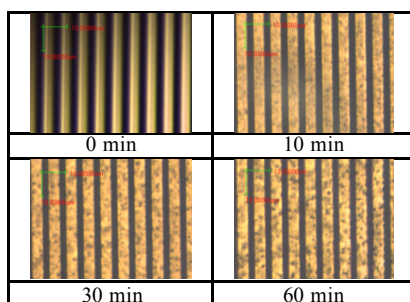


Fig.14 くし形電極による電析状態の外観

本研究の成果から IL に抽出された Pd(II) の電析反応は IL 相内で進行するため、IL 相を固定化し温度、粘性等を変化させることで様々な形態に制御できることが示唆された。

#### <参考文献>

- 1) 新井剛ら“イオン液体を用いた都市鉱山からの有用金属の分離・回収技術の開発”化学工業, Vol.64, No.1 (2013), p.148-156
- 2) 池田泰之ら“ピリジン系イオン液体を用いた Pd(II) の吸着挙動”, 日本イオン交換学会誌, Vol.21, No.2 (2010), p.103-107
- 3) T.Ogura, et al., “Spectroelectrochemical Identification of a Pentavalent Uranyl Tetrachloro Complex in Room-Temperature Ionic Liquid” Inorganic Chemistry, ACS Publications, Vol.50, p.10525 – 10527, 2011
- 4) K.Sasaki, et al., “Extraction of Pd(II), Rh(III) and Ru(III) from HNO<sub>3</sub> aqueous solution to betainium-bis(trifluoromethylsulfonyl) imide ionic liquid” Dalton Transactions. Issue 15, p.5648-5651 (2014)
- 5) 矢田祐士ら “Tributyl phosphate-[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]を用いた塩酸溶液からの希土類元素の抽出および逆抽出” Journal of MMIJ, Vol.132, No.5, pp.89-95 (2016)

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① 山中拓実, 松本佑美, 矢田祐士, 新井剛 “Triphenylphosphine sulfide-[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]を用いた塩酸水溶液中における白金族元素の分配挙動”, 査読有, Journal of MMIJ, Vol.133, No.5, pp.84-91 (2017)

DOI : <https://doi.org/10.2473/journalofmmij.133.84>

〔学会発表〕 (計 12 件)

- ① 山中拓実, 新井剛ら “Triphenylphosphine sulfide-[C<sub>4</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]を用いた塩酸水溶液中における Pd(II) と Pt(IV) の分配挙動”, 平成 29 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(2017)
- ② 菊池健吾, 新井剛ら “Tributyl Phosphate-[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]を用いた塩酸水溶液からの白金

族元素の分離プロセスの開発”, 平成 29 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 (2017)

③ 杉崎祐真, 新井剛ら “[C<sub>6</sub>mim][NfO]を用いた塩酸水溶液からの白金族元素の抽出分離”, 平成 29 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 (2017)

④ 大胡貴仁, 新井剛ら “[P<sub>4444</sub>][CF<sub>3</sub>COO]を用いた多元素混合溶液からのパラジウム分離法の基礎研究”, 第 35 回溶媒抽出討論会 (2016)

⑤ 河野壮馬, 新井剛ら “[BMPy][Tf<sub>2</sub>N]を抽出相とした塩酸水溶液中における金属イオンの抽出及び電気化学特性”, EcoDePS 2016 (2016)

⑥ 大胡貴仁, 新井剛ら “LCST 型イオン液体 [P<sub>4444</sub>][CF<sub>3</sub>COO]による塩酸水溶液中の金属イオンの分配挙動に関する研究”, EcoDePS 2016 (2016)

⑦ 北義弘, 新井剛ら “[C<sub>n</sub>mim][PF<sub>6</sub>]による複合反応系を用いた都市鉱山からの希少金属回収技術開発”, 2015 年日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 (2015)

⑧ 大胡貴仁, 新井剛ら “LCST 型イオン液体を用いた金属イオンの抽出挙動の基礎研究”, 2015 年日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 (2015)

⑨ 松本佑美, 新井剛ら “イオン液体を溶媒とした白金族元素回収の新規分離回収技術開発”, 2015 年日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 (2015)

⑩ 矢田祐士, 新井剛ら “[C<sub>n</sub>mim][Tf<sub>2</sub>N]-Tributyl phosphate 混合抽出相からのギ酸アンモニウムによる希土類元素の逆抽出”, 2015 年日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会 (2015)

⑪ 北義弘, 新井剛ら “イオン液体を用いた複合反応系による都市鉱山からの有用金属の直接回収技術開発”, 平成 27 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 (2015)

⑫ 大胡貴仁, 新井剛ら “イミダゾリウム系イオン液体の抽出挙動に及ぼすアニオン構造変化の影響”, 平成 27 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 (2015)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

新井 剛 (ARAI TSUYOSHI)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号 : 60415867

##### (2) 研究協力者

松本 佑美 (MATSUMOTO YUMI)

北 義弘 (KITA YOSHIHIRO)

矢田 祐士 (YADA YUJI)

大胡 貴仁 (OGO TAKAHITO)

河野 壮馬 (KONO SOMA)

山中 拓実 (YAMANAKA TAKUMI)

杉崎 祐真 (SUGISAKI YUMA)

菊池 健吾 (KIKUCHI KENGO)

大山 稜生 (OYAMA RYOSEI)