

令和 3 年 6 月 6 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03846

研究課題名(和文)白金族元素(燃料電池用)の資源循環・金属触媒調製のためのバイオメタラジの創出

研究課題名(英文) Development of sustainable bihydrometallurgy for recycling platinum group metals used for fuel cell electrode

研究代表者

小西 康裕 (Konishi, Yasuhiro)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・客員研究員

研究者番号：90167403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：Pt(IV)イオン還元微生物を用いて細胞表層にPt(白金)ナノ粒子を室温合成し、このPtナノ粒子を炭素粒子に効率よく担持させたPt/C触媒のバイオ調製法を開発した。バイオ調製Pt/C触媒は、市販Pt/C触媒に匹敵する酸素還元反応(ORR)質量活性ならびに耐久性を備えていた。さらに、Pt(IV)イオンのバイオ還元・ナノ粒子化手法を基に、使用済み燃料電池触媒からの白金族元素(燃料電池用)の資源循環・金属触媒調製のための技術的基盤を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、白金族金属(PGMs)の新たなリサイクルチェーン確立を目指し、微生物によるPGMs分離・回収およびナノ粒子合成を兼ね備えた革新的リサイクル技術を開発したものであり、海外依存度が高いPGMs資源の安定供給・低コスト化を実現できるもので、ここに社会的意義がある。また学術的な観点からは、「使用済み燃料電池触媒からのPGMsリサイクル」、「PGMsナノ粒子触媒の調製」、「微生物機能の応用」を融合した学際的研究の先駆けとなるものである。

研究成果の概要(英文)：A new technology using Pt(IV)-reducing microorganism was developed to fabricate an electrode catalyst for a fuel cell through microbial synthesis of Pt nanoparticles at room temperature and pH 7 within 60 min. The biogenic Pt nanoparticles supported on carbon black was almost equal to a commercially available Pt/C electrode catalyst in the oxygen reduction reaction (ORR) mass activity. Our new biotechnology for fabricating an electrode Pt/C catalyst may provide an eco-friendly alternative strategy for Pt recycling from spent electrode catalysts, which will lead to the sustainable use of platinum group metals.

研究分野：資源循環工学

キーワード：バイオメタラジ 白金族元素 燃料電池 電極触媒 資源循環

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) わが国の基幹産業、とくに自動車産業では、レアメタル・貴金属である白金族金属 (PGMs) が排ガス浄化や燃料電池にとって必須の触媒用素材であり、例えば白金の年間国内需要は 39 トン/年 (@400 万円/kg=1560 億円/年) である。しかしながら、わが国のような天然資源小国では、海外依存度が高いうえに高価な PGMs の供給リスクならびに価格リスクは憂慮する所である。経済産業省が 2009 年に公表した「レアメタル確保戦略」では、主な施策として 4 本の柱、すなわち①備蓄、②海外資源確保、③代替材料開発、④リサイクルが提唱されているが、方策①、②、③ともに海外資源に依存する施策であり、“自給自足への取組み”が課題として残されている。

(2) 方策④のリサイクルについては、国内 PGMs リサイクル率 (リサイクル量/国内需要量) は 20~40 %程度りと低レベルであるのが現状であり、現行リサイクル技術の実力不足を端的に示している。具体的には、乾式リサイクル技術では、高温処理に適したスクラップ (PGMs 含有率が比較的高い) だけに、精錬操業に悪影響を与える樹脂成分や重金属成分を含まない金属スクラップだけが処理対象である。一方、湿式リサイクル技術では、樹脂成分の金属スクラップへの混入は問題とならないが、現状では「回収が困難な希薄な濃度レベルで存在する PGMs を高効率かつ低コストでリサイクルできる技術」が欠如している。

(3) 使用済み製品 (燃料電池の電極触媒など) に含まれる PGMs 全量を高効率・低コストで分離・回収できる新規リサイクル技術を開発することができれば、これに誘発されて中間処理業者等は使用済み燃料電池の選別・収集に積極的に参画することが容易に想像でき、使用済み製品を完全に収集できる社会システムの構築に結び付く。そうなれば、「工業用 (燃料電池など) PGMs のリサイクルチェーン (図 1)」が現実のものとなり、将来、燃料電池を使う電気自動車産業にとって、PGMs を廃車の燃料電池などからリサイクルする持続的な自給体制が盤石になる。初期に一度、高価な PGMs (天然鉱石から一次生産) を入手する必要はあるが、その後は使用済み燃料電池からの全量 PGMs リサイクルとなる。この時、再生された PGMs (使用済み触媒から二次生産) のコストはリサイクル費用だけとなる。したがって、リサイクル回数が進むほど、PGMs 価格は初期入手コストから次第にリサイクルコストへと低コスト化が進み、PGMs は自国で調達できる安価かつサステイナブルな素材 (PGMs コスト=リサイクル費用) となる。その結果、リサイクル技術確立と社会システム構築の両面からの総合的アプローチが完成し、地域ごとにリサイクル事業拠点が創出され、PGMs 好循環 (金属元素の保存) が実現する。

2. 研究の目的

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅な削減が求められる状況のなか、低炭素社会に貢献するクリーンエネルギーとして、自動車だけでなく家庭用コジェネシステム等の電源にも最適である。PEFC 電極触媒には PGMs が多量に必要であることから、PGMs 資源の安定供給を確保するために、本研究では燃料電池用 PGMs の供給リスクと価格リスクを同時に払拭できる革新的なリサイクル技術の基盤を構築する。すなわち、研究代表者の技術シーズ<sup>2-6)</sup>「特定の微生物 (*Shewanella* 属細菌) が、常温・常圧下、溶液中の PGMs イオンを高効率で細胞内に分離・還元し、金属ナノ粒子化するバイオミネラルゼーション (図 2)」をベースに、『燃料電池用 PGMs 触媒の革新的バイオ調製とともに PGMs 資源のバイオ循環を実現するためのメタラジール』を創出することを目指す。具体的な研究目的は次のとおりである。

(1) PGMs ナノ粒子のバイオ合成 金属イオン還元微生物 (*Shewanella* 属細菌等) を用いて、原料溶液中の PGMs イオン (Pt(IV)等) の還元・ナノ粒子化実験を常温・常圧下で系統的に行い、

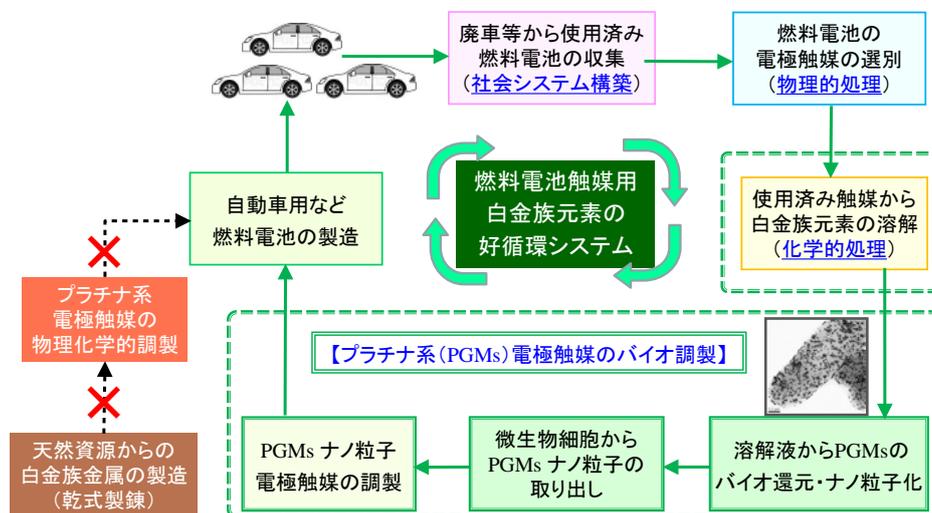


図 1 白金族金属 (燃料電池の電極触媒) の持続的リサイクルチェーン

PGMs ナノ粒子 (Pt 等) が微生物細胞の表面全体に高分散状態で合成できる操作条件 (高収率条件) を確立する。

(2) Pt/C 電極触媒のバイオ調製 微生物細胞を破壊して Pt ナノ粒子を液相に剥離させる方法 (超音波照射処理、薬品による化学的処理) を確立するとともに、液相に懸濁するバイオ合成 Pt ナノ粒子を導電性担体カーボンブラックに高分散・担持した Pt/C 電極触媒を効率的に調製する方法をコロイド科学の学術的基盤を踏まえて確立する。

(3) Pt/C 電極触媒の活性評価 バイオ調製

Pt/C 触媒の電気化学的特性や活性・長期間安定性を評価し、市販 Pt/C 電極触媒と比較検討する。また、バイオ調製 Pt/C 触媒を PEFC 空気極において使用し、PEFC 電極触媒としての発電特性を評価する。これらの評価結果に基づいて、バイオ合成 Pt ナノ粒子から Pt/C 電極触媒を調製する操作条件をブラッシュアップする。

(4) 使用済み Pt/C 電極触媒からの Pt リサイクル 使用済み Pt/C 触媒層付き膜 (CCM) からの Pt のバイオ利用リサイクル工程を提案し、薬品等の物質使用量、エネルギー使用量、廃液・廃棄物の排出量を把握する。

### 3. 研究の方法

(1) 実験試料 Pt(IV)イオン還元微生物としては、通性嫌気性細菌 *Shewanella algae* (ATCC 51181) を用いた。通性嫌気性細菌 *S. algae* は、トリプトカゼインソイブロス (TSB) 液体培地 (pH 7) を用いて、温度 30°C で好気培養した。約 15 h の回分培養を行った後、培養液から *S. algae* 細胞を遠心分離し、緩衝液 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/NaOH, pH 7) による洗浄を繰り返して *S. algae* 細胞懸濁液を調製した。また、パン酵母 *Saccharomyces cerevisiae* (NBRC 2044) を Pd(II) イオン還元微生物として用いた。その培養はグルコース-酵母エキス-ペプトン (GYP) 培地を用いて温度 33°C、好気性環境下で行った。約 72 h の回分培養後、集菌・洗浄・再懸濁を行い、緩衝液 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>/NaOH, pH 7) を用いて *S. cerevisiae* 細胞懸濁液を調製した。

(2) PGMs ナノ粒子のバイオ合成 Pt(IV)イオンのバイオ還元・ナノ粒子合成実験は、出発溶液として K<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 水溶液を用いて、嫌気性環境下において温度 25°C、液相攪拌速度 110 rpm で行った。出発溶液の化学組成は Pt(IV)イオン濃度 0.5~2.0 mol/m<sup>3</sup>、ギ酸ナトリウム (電子供与体) 濃度 10~100 mol/m<sup>3</sup>、溶液 pH 7 であり、*S. algae* 細胞濃度 5.0 × 10<sup>15</sup> cells/m<sup>3</sup> である。また、Pd ナノ粒子のバイオ合成実験は、嫌気性環境下において、PdCl<sub>2</sub> 水溶液に酵母 *S. cerevisiae* 休止細胞を接種し、温度 34°C、液相攪拌速度 110 rpm で行った。出発溶液の組成は、Pd(II)イオン濃度 1.0 mol/m<sup>3</sup>、細胞濃度 2.5 × 10<sup>14</sup> cells/m<sup>3</sup>、ギ酸ナトリウム濃度 50 mol/m<sup>3</sup>、溶液 pH 7 である。

PGMs イオンのバイオ還元・ナノ粒子合成実験は回分操作で行い、所定の時間間隔で液試料を採取し、液相 PGMs 濃度を ICP 発光分光分析法で測定した。液相細胞濃度の計測には、ヘマトメーター法を用いた。バイオ合成 PGM 粒子の性状評価には、粉末 X 線回折法、走査透過型電子顕微鏡/エネルギー分散型 X 線分光法を用いた。

(3) バイオ合成 Pt ナノ粒子の分散液調製とカーボンブラックへの担持 *S. algae* 細胞を破壊して Pt ナノ粒子を液相に剥離させるために、Pt ナノ粒子担持細胞の懸濁液に対して NaOH 溶液による化学処理 (90°C、24 h) を行った後、ホモジナイザーを用いる物理処理を行った。この処理液から破碎した *S. algae* 細胞断片を濾過 (フィルター孔径 0.2 μm) によって除去し、Pt ナノ粒子の分散液を調製した。

次に、バイオ合成 Pt ナノ粒子および導電性担体カーボンブラック (ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ製) のゼータ電位と溶液 pH の関係をゼータ電位測定法によって定量的に把握した。この実験データに基づいて Pt ナノ粒子をカーボンブラックに担持させるための操作条件を確立したうえで、バイオ調製 Pt/C 触媒の調製方法について検討した。

(4) バイオ調製 Pt/C 触媒の活性評価と PEFC 用 Pt/C 電極触媒としての応用 バイオ調製 Pt/C 触媒の電気化学的特性および活性・長期間安定性 (耐久性) を評価し、市販 Pt/C 電極触媒 (田中貴金属工業社製) と比較した。電気化学的測定では、サイクリックボルタンメトリー (CV) における H<sub>2</sub> 吸脱着特性から電気化学有効表面積 (ECSA)、回転ディスク電極法による酸素還元反応 (ORR) の質量活性を測定した。また、Pt/C 触媒の耐久性は、電位サイクル試験 (電位 0.6~0.9 V、掃引速度 100 mV/s、10,000 サイクル) によって評価した。さらに、PEFC の電極触媒としての活性を評価した。すなわち、空気極にバイオ調製 Pt/C 触媒を、燃料極に燃料電池用 Pt 触媒 (市販品) を塗布した電極を使用し、PEFC キットを用いて電気特性を測定した。

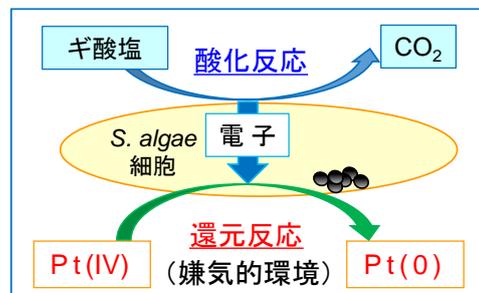


図 2 金属イオン還元細菌 *S. algae* による白金のバイオミネラル化

#### 4. 研究成果

(1) *S. algae* 休止細胞による Pt(IV)イオン還元・ナノ粒子合成実験の結果の一例を図 3 に示す。*S. algae* 細胞とギ酸ナトリウム（電子供与体）が共存する場合（図中の実線）、*S. algae* 細胞を接種して 30 min 以降に、液相 Pt 濃度が急速に減少するとともに、細胞懸濁液は  $K_2PtCl_6$  水溶液の黄色から Pt ナノ粒子の存在を示唆する黒褐色へと変化した。ただし、*S. algae* 細胞の接種後に液相 Pt 濃度が急変するまでの操作時間（誘導期）は、実験によって 30～45 min の範囲で違いが生じた。一方、*S. algae* 細胞を接種しない化学対照（図中の破線）では、ギ酸塩による Pt(IV)イオンの化学還元が起こらずに、液相 Pt 濃度が減少しないことを確認した。

*S. algae* 休止細胞を利用する Pt ナノ粒子の室温合成（原料溶液の初期 Pt(IV)濃度  $2.0 \text{ mol/m}^3$ 、pH 7.0、電子供与体ギ酸ナトリウム初期濃度  $50 \text{ mol/m}^3$ 、細胞濃度  $5.0 \times 10^{15} \text{ cells/m}^3$ ）において、60 min の回分操作における Pt 粒子収率は 90 % 以上となり、Pt 粒子の生成量は乾燥細胞 1 g あたり 0.21 g-Pt であった。また、*S. algae* 細胞表面に室温合成した Pt 粒子（1 次粒子）が、市販 Pt/C 電極触媒と同程度のシングルナノサイズであることを、高分解能電子顕微鏡による観察（図 4）に加えて、粉末 X 線回折法による結晶子サイズ測定によって明らかにした。

また、パン酵母 *S. cerevisiae* を用いて、Pd(II)イオンを還元することにより Pd ナノ粒子を細胞表面に室温合成できることを見出した（図 5）。*S. cerevisiae* 休止細胞による Pd(II)イオンの還元・析出実験の結果を図 6 に示す。液相 Pd(II)イオン濃度が急速に減少し、30 min 後のバイオ還元・粒子化率は 90 % 以上であった。

(2) Pt ナノ粒子を含有する *S. algae* 細胞に対して化学的処理（NaOH 添加・加熱）および物理的処理（超音波照射）を行って微生物細胞を破碎し、バイオ合成 Pt ナノ粒子を液相に単離する手法とその操作条件を確立した。バイオ合成 Pt 粒子分散液において、Pt ナノ粒子は液相で凝集することなく、安定に均一分散して存在することがわかった。これは、*S. algae* 細菌の破碎によって、Pt ナノ粒子の保護剤として使用する生体物質が液相に溶出し、ナノ粒子の凝集が抑制されたためと推測される。

次に、バイオ合成 Pt 粒子とカーボンブラック担体粒子のゼータ電位に及ぼす溶液 pH の影響を定量的に把握した。その結果、溶液 pH 6.0 付近において、カーボンブラック担体はプラス帯電（+40 mV）、バイオ合成 Pt 粒子はマイナス帯電（-30 mV）となり、同種粒子の凝集が抑制されて異種粒子間（カーボンブラック担体-バイオ合成 Pt 粒子）の静電気引力による付着が促進されることが明らかになった。図 6 は、バイオ合成 Pt 粒子をカーボンブラック粒子に効率よく担持させる Pt/C 電極触媒を調製するフローチャートである。

(3) バイオ調製 Pt/C 触媒（Pt 含有率 < 50 %）に対して回転ディスク電極法による酸素還元反応（ORR）活性ならびにサイクリックボルタンメトリー（CV 法）による電気化学有効表面積（ECSA）を測定し、その電気化学的特性を市販 Pt/C 電極触媒（TEC10E50E）と比較した。その結果、バイオ調製 Pt/C 触媒は、市販 Pt/C 触媒にほぼ匹敵する ORR 質量活性ならびに 10,000 サイクル耐久性（電位 +0.60V → +0.90V → +0.60V）を備えていることが明らかになった。さらに、固体高分子形燃料電池（PEFC）キットを用いて発電特性を評価した結果、バイオ調製 Pt/C 触媒と市販 Pt/C 触媒は同レベルの発電性能を示すことがわかった。

(4) 使用済み Pt/C 触媒層付き膜（CCM）からの Pt（地金）のバイオ利用リサイクル工程（図 7）を提案し、薬品等の物質使用量、エネルギー使用量、廃液・廃棄物の排出量を把握したうえで、

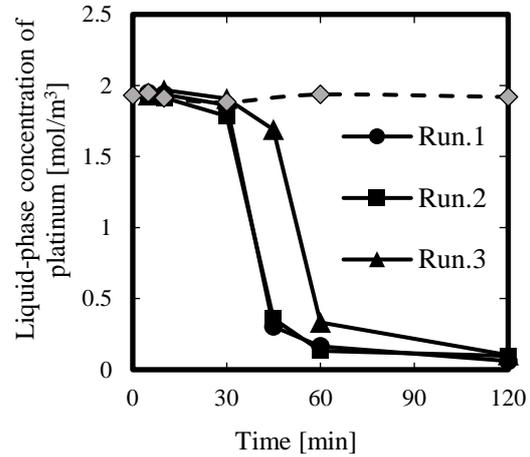


図 3 *S. algae* による Pt(IV)イオン還元・析出（細胞濃度  $5.0 \times 10^{15} \text{ cells/m}^3$ 、ギ酸塩濃度  $50 \text{ mol/m}^3$ 、pH 7、25 °C）

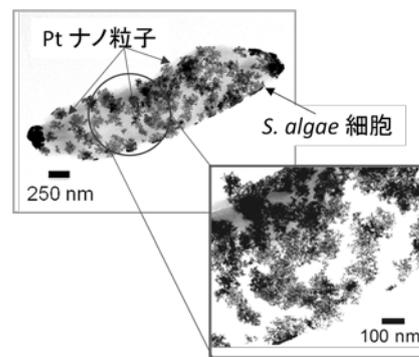


図 4 金属イオン還元細菌 *S. algae* 細胞に合成された Pt ナノ粒子

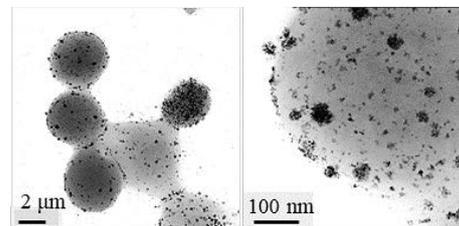


図 5 パン酵母 *S. cerevisiae* 細胞に合成された Pd ナノ粒子

そのランニングコストを試算した。その結果、使用済み CCM から Pt 地金のバイオ回収コストは、回収できる Pt 地金価格の 1/30 程度に収まることわかった (Pt 回収率 100% を仮定)。

また、CCM 溶解液の液相 Pt 濃度を考慮して、本バイオ分離法と既存の湿式分離法とを各種項目 (液相 Pt 濃度の適応範囲、回収時間、回収率、Pt 選択性、環境負荷、コスト等) について比較検討した結果、本バイオ分離法の有効性が明らかになった。

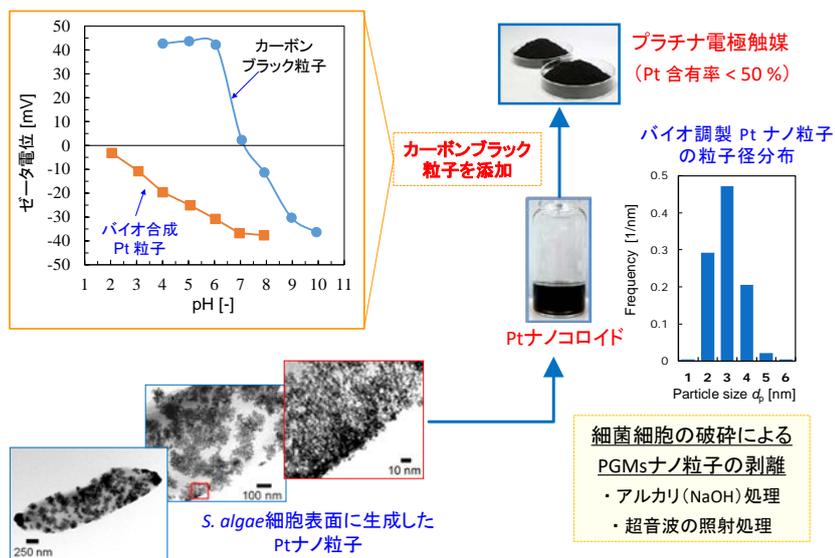


図 6 バイオ合成 Pt 粒子から Pt/C 電極触媒調製のフローチャート

<引用文献>

- (1) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 鉱物資源マテリアルフロー2016: 電子ブック <http://mric.jogmec.go.jp/wp-content/ebook/201701/mateflo2016/index.html?from=m>
- (2) Y. Konishi, K. Ohno, N. Saitoh, T. Nomura, S. Nagamine, H. Hishida, Y. Takahashi, T. Uruga, Bioreductive deposition of platinum nanoparticles on the bacterium *Shewanella algae*, *J. Biotechnol.*, Vol. 128, pp.648-653 (2007)
- (3) Y. Konishi, T. Tsukiyama, T. Tachimi, N. Saitoh, T. Nomura, S. Nagamine, Microbial deposition of gold nanoparticles by the metal-reducing bacterium *Shewanella algae*, *Electrochim. Acta*, Vol.53, pp.186-192 (2007)
- (4) T. Ogi, R. Honda, K. Tamaoki, N. Saitoh, Y. Konishi, Direct room- temperature synthesis of a highly dispersed Pd nanoparticle catalyst and its electrical properties in a fuel cell, *Powder Technol.*, Vol.205, pp.143-148 (2010)
- (5) 玉置洗司郎, 齋藤範三, 荻 崇, 野村俊之, 小西康裕, 金属イオン還元細菌 *Shewanella algae* によるパラジウムの還元・回収, 化学工学論文集, Vol.36, pp.288-292 (2010)
- (6) K. Tamaoki, N. Saito, T. Nomura, Y. Konishi, Microbial recovery of rhodium from dilute solutions by the metal ion-reducing bacterium *Shewanella algae*, *Hydrometallurgy*, Vol.139, pp.26-29 (2013)

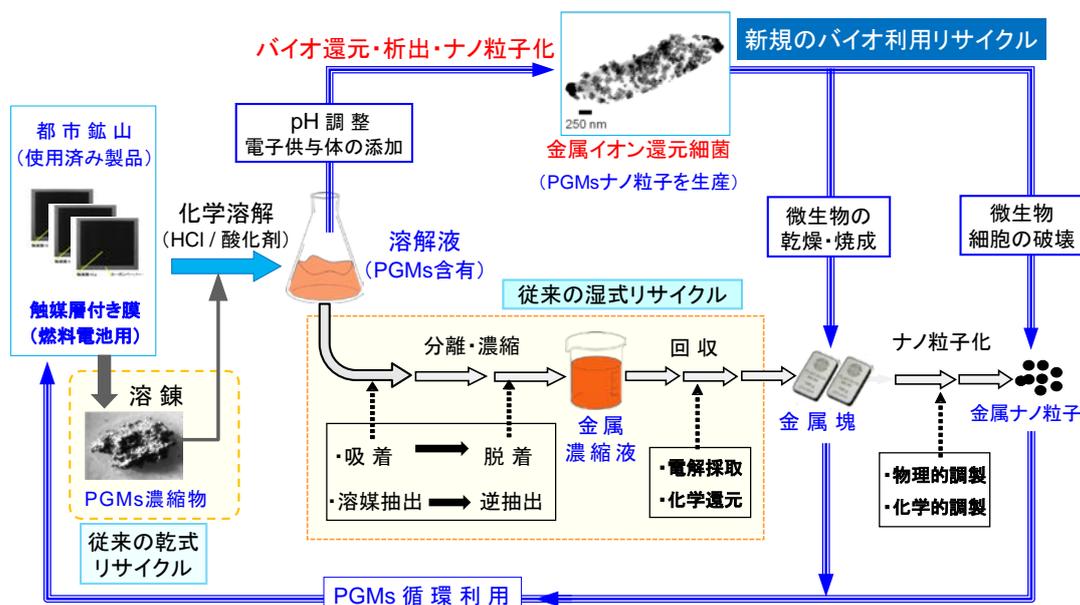


図 7 新規なバイオベース白金族金属 (PGMs) 循環プロセス (低エネルギー/低炭素/低コスト (工程数の削減) /アップサイクル)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 N. Saitoh, R. Fujimori, H. Tanaka, A. Kondoh, T. Nomura, Y. Konishi	4. 巻 196
2. 論文標題 Microbial recovery of palladium by baker's yeast through bioreductive deposition and biosorption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 105413
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hydromet.2020.105413	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 T. Matsumoto, M. Kamino R. Yamada, Y. Konishi, H. Ogino	4. 巻 324
2. 論文標題 Identification of genes responsible for reducing palladium ion in Escherichia coli	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Biotechnol.	6. 最初と最後の頁 7-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jbiotec.2020.09.15	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 小西康裕	4. 巻 55
2. 論文標題 パン酵母を分離剤として活用する貴金属・レアメタル（金、パラジウム、白金）のバイオ回収	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 環境管理	6. 最初と最後の頁 29-33
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 N. Saitoh, R. Fujimori, M. Nakatani, D. Yoshihara, T. Nomura, Y. Konishi	4. 巻 181
2. 論文標題 Microbial recovery of gold from neutral and acidic solutions by the baker's yeast <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hydrometallurgy	6. 最初と最後の頁 29-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.hydromet.2018.08.011	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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 仁熊 圭、斎藤範三、野村俊之、小西康裕
2. 発表標題 バイオミネラリゼーションに基づくPt燃料電池触媒の調製とその電気化学的特性
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂東和弥、斎藤範三、野村俊之、小西康裕
2. 発表標題 金属イオン還元細菌によるPdナノ粒子の室温合成と不均一触媒への応用
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 花市祐介、斎藤範三、野村俊之、小西康裕
2. 発表標題 パン酵母 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> によるパラジウムの回収
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2. 発表標題 Green and sustainable synthesis of platinum group metal nanoparticles using metal-reducing microorganisms and their environmental applications
3. 学会等名 4th Green & Sustainable Chemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Konishi
2 . 発表標題 Sustainable biosynthesis of platinum group metal nanoparticles using metal ion-reducing microorganisms and their environmental applications
3 . 学会等名 2nd Nucleation & Growth Research Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Niguma, N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Green synthesis of platinum nanoparticles using metal ion-reducing bacterium Shewanella algae and their electrical properties in a fuel cel
3 . 学会等名 2nd Nucleation & Growth Research Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Hanaichi, N. Saitoh, T. Nomura
2 . 発表標題 Green synthesis of palladium nanoparticles using baker's yeast and their catalytic properties
3 . 学会等名 2nd Nucleation & Growth Research Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Bandoh, N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Microbial deposition and characterization of platinum group metal nanoparticles using metal ion-reducing bacterium Shewanella algae
3 . 学会等名 2nd Nucleation & Growth Research Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Konishi, N. Saitoh, T. Nomura
2. 発表標題 Biotechnological recycling of platinum group metals and gold from post-consumer products
3. 学会等名 The 12th European Congress of Chemical Engineering/the 5th European Congress of Applied Biotechnology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Konishi
2. 発表標題 Sustainable use of precious metals through biohydrometallurgical recycling
3. 学会等名 23rd International Biohydrometallurgy Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小西 康裕
2. 発表標題 バイオテクノロジーに基づく白金族金属の持続可能な利用
3. 学会等名 資源・素材2018 - 平成30年度資源・素材関係学協会合同秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2. 発表標題 Sustainable use of critical raw materials through biotechnological recycling
3. 学会等名 3rd Green & Sustainable Chemistry (Berlin, Germany) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Sustainable use of precious metals through biotechnological recycling
3 . 学会等名 4th International Conference on Green Chemistry and Sustainable Engineering (Madrid, Spain) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Microbial biomineralization and the catalytic activity of platinum group metal nanoparticles obtained with metal-reducing microorganism
3 . 学会等名 6th International Meeting on Magnetotactic Bacteria (MTB 2018) (Kanazawa, Japan) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Wenting, N. Saito, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Green Synthesis and Fabrication of Palladium Nanoparticle Catalysts Using the Baker's Yeast <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
3 . 学会等名 The 7th ECUST-TKU-KIST-OPU Joint Symposium (Shanghai, China) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Saito, T. Nomura, Y. Konishi
2 . 発表標題 Sustainable Use of Precious and Rare Metals through Biotechnological Recycling
3 . 学会等名 TMS 2019 Annual Meeting & Exhibition (San Antonio, USA) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤範三, 河口拓也, 野村俊之, 小西康裕
2. 発表標題 パン酵母を利用するPdナノ粒子のバイオ調製とその触媒性能評価
3. 学会等名 資源・素材2018 - 平成30年度資源・素材関係学協会合同秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤範三, 中谷昌揮, 野村俊之, 小西康裕
2. 発表標題 パン酵母を利用する都市鉱山からの貴金属・レアメタル分離・回収
3. 学会等名 化学工学会 第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤範三, 田中里依, 野村俊之, 小西康裕
2. 発表標題 微生物機能を活用する白金族金属の資源循環・金属触媒調製
3. 学会等名 化学工学会 第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤範三, 井上和俊, 野村俊之, 小西康裕
2. 発表標題 白金ナノ粒子のバイオ合成と燃料電池電極触媒への応用
3. 学会等名 触媒学会・燃料電池関連触媒研究会・第11回新電極触媒シンポジウム
4. 発表年 2018年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 小西康裕 (分担執筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 664
3. 書名 鉱物・宝石の科学事典	

1. 著者名 N. Saitoh, T. Nomura, Y. Konishi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 454 (分担執筆 pp.107-114)
3. 書名 REWAS 2019 -Manufacturing the Circular Materials Economy-	

## 〔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
研究 分担者	野村 俊之  (Nomura Toshiyuki)  (00285305)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (24403)	
研究 分担者	荻 崇  (Ogi Takashi)  (30508809)	広島大学・工学研究科・准教授   (15401)	
研究 分担者	荻野 博康  (Ogino Hiroyasu)  (80233443)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (24403)	

## 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
---------	---------