

貧栄養耐性細菌を利用した都市鉱山からのパラジウム回収

日大生産工 秋田 紘長

1. 緒言

レアメタルの一種であるパラジウムは反応性と加工性に優れることから、自動車用触媒をはじめ、電子部品や合金材料に利用されている。2020年には、約40トンのパラジウムが国内で消費されたが、パラジウムの産出国はカナダ、ロシア、南アフリカ、米国およびジンバブエの五カ国のみに限られているため、日本へのパラジウムの供給は産出国の採掘量に依存している。資源エネルギー庁によれば、2050年までに現有埋蔵量が枯渇すると試算されており¹⁾、持続・安定的な供給には、都市鉱山からのパラジウム回収法の開発が喫緊の課題となっている。

一般家庭から廃棄される家電製品には様々な電子部品が含まれおり、それら電子部品中にはパラジウムを含むレアメタルが使用されているため、「都市鉱山」と見做されている。上述したように、パラジウムは今後30年以内に枯渇危機を迎える可能性があるため、都市鉱山からのパラジウム回収法の開発は、世界規模で開発に取り組まなければならない技術の一つと整理できる。都市鉱山からのパラジウム回収法の一部は既に社会実装されており、高エネルギー型乾式法が主流となっている。しかしながら、工程が複雑なため回収コストが高く、その普及は限定的である。これら背景を鑑みて、本研究では、発表者が単離・同定した新種の貧栄養耐性細菌 *Enterobacter oligotrophicus* CCA6^T²⁾ を利用した都市鉱山からのパラジウム回収法の基盤技術確立を目指している（図1）。本発表では、パラジウム回収条件の最適化とパソコン廃棄基盤からのパラジウム回収を報告する。

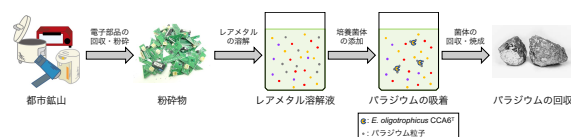


図1 都市鉱山からのパラジウム回収法

2. 実験方法

2.1 パラジウム回収条件の最適化

E. oligotrophicus CCA6^TをLB培地（pH7.2）に加え、培養温度 37℃で 16 時間培養した。遠心分離により培養菌体を回収後、滅菌水を用いて2回洗菌した。次に、滅菌水を利用して懸濁液を調製し、パラジウム回収試験に用いた。

パラジウム回収試験は、攪拌子を含むバイアル瓶（容量：10 mL）を用いて実施した。反応液（100 mM 緩衝液，40 mM 添加剤，40 ppM パラジウム）2 mL に対して、OD₆₀₀ 値が 1.0 になるように懸濁液を加え、所定の温度で緩やかに攪拌した。パラジウム回収法の最適化を図るため、添加剤（フルクトース，ガラクトース，グルコース，マンノース，アラビノース，キシロース，酢酸，クエン酸，乳酸，ギ酸）を選定後、ギ酸濃度（20–100 mM）と反応温度（30–50℃）、反応 pH（pH 4.5–8.0）について検討した。

パラジウム濃度と懸濁液の濁度は、PinAAcle 900Z ゼーマンファーンズ原子吸光分析装置（パーキンエルマー製）を用いて測定した。また、パラジウムの相対回収率は、反応液中の残存パラジウム濃度に基づいて算出した。

2.2 パラジウム溶解液の調製

廃棄パソコンから電子基盤を取得した。次に、ニッパーを用いて電子基盤からパラジウム部分を切断後、切断物を王水に浸して5時間静置し、パラジウムを溶出させた。水酸化ナトリウムを用いてパラジウム溶解液のpHを調製後、パラジウム回収試験に用いた。

3. 実験結果および考察

3.1. 添加剤の選定

E. oligotrophicus CCA6^Tは、基底レベルの栄養源しか含まない貧栄養培地中でも優位に増殖し、複数種のレアメタルの中でパラジウムを選択的に吸着する³⁾。一方、*Shewanella*属細菌を始めとした種々の細菌は、糖や酸等の電子受容体

を利用して、細胞壁内に金属を還元・析出させるバイオミネラリゼーション能を有する。また、金属吸着に比べて、バイオミネラリゼーションは回収効率が低い。そこで、*E. oligotrophicus* CCA6^Tのバイオミネラリゼーション能の有無を確認するため、糖と酸の添加がパラジウム回収に影響を及ぼすか確認した (図2)。

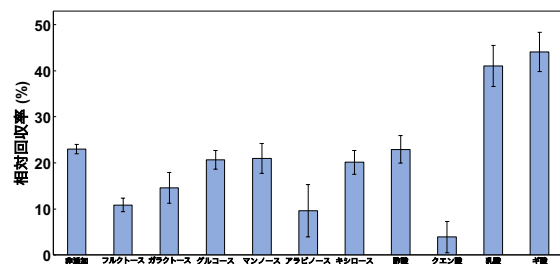


図2 添加剤の選定

添加剤を加えない場合 (金属吸着) と比べて、糖の添加によりパラジウムの相対回収率が減少した。一方、乳酸とギ酸を加えた場合、相対回収率は増大し、ギ酸の添加により相対回収率が最大となった。従って、*E. oligotrophicus* CCA6^Tはバイオミネラリゼーション能を有し、ギ酸添加により効率が増大になることが明らかになった。

3.2. 最適条件下でのパラジウム回収

パラジウムの回収条件の最適化を図るため、ギ酸濃度がパラジウム回収に及ぼす影響を確認した (図 3A)。ギ酸濃度を変化させた場合、40 mM でパラジウム回収率 (48.6%) が最大となった。次に、ギ酸濃度を 40 mM に固定し、反応温度と反応 pH がパラジウム回収に及ぼす影響についても確認した (図 3BC)。その結果、反応温度は 35°C (64.6%)、反応 pH は 6.5 (57.8%) でパラジウム回収率が最大となった。以上の結果から、パラジウム回収の最適条件をギ酸濃度: 40 mM, 反応温度: 35°C, 反応 pH: 6.5 に定めた。

最適化したバイオミネラリゼーション能の効果を確認するため、パラジウム試薬を用いて回収試験を実施した (図4)。金属吸着とバイオミネラリゼーションによるパラジウムの相対回収率を比較した場合、両法ともに反応4時間後の相対回収率が90%以上に達した。一方、2時間後の相対回収率を比較した場合、金属吸着

(12.0%)とバイオミネラリゼーション (87.8%)で顕著な違いが生じ、反応6時間後の相対回収率は、金属吸着 (94.1%)よりもバイオミネラリゼーション (99.9%)の方が高くなった。この結果は、*E. oligotrophicus* CCA6^Tを用いてパラジウムを回収する場合、バイオミネラリゼーションの方が適しており、微量パラジウムであれば、高い回収率が期待できることを示した。

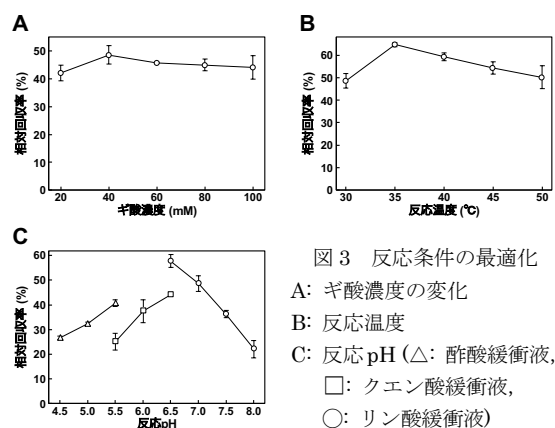


図3 反応条件の最適化

A: ギ酸濃度の変化

B: 反応温度

C: 反応 pH (△: 酢酸緩衝液, □: クエン酸緩衝液, ○: リン酸緩衝液)

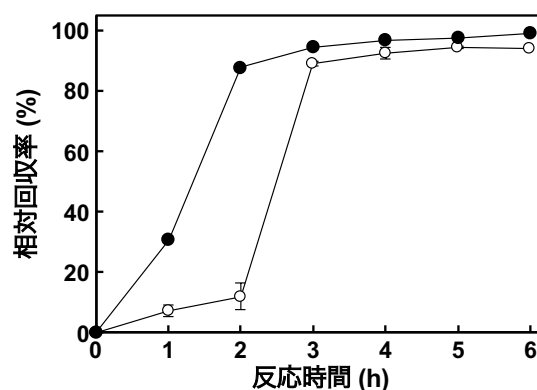


図4 反応溶液からのパラジウム回収

○: 金属吸着 ●: バイオミネラリゼーション

3.3. 都市鉱山からのパラジウムの回収

廃棄パソコン基盤から調製した溶解液のパラジウム濃度は、36.2 μg/Lだった。パラジウム溶解液を用いて、最適条件下でパラジウムを回収したところ、反応2時間後の相対回収率が88.0%以上に達した (図5)。さらに、反応6時間後の相対回収率は94.4%以上に達し、パラジウム回収量は68.4 μgだった。遠心分離によって反応6時間後の菌体を回収し、パラジウム回収量を測定した結果、68.1 μgのパラジウムを回収できた。この結果は、本研究で開発したパラジウム回収法が都市鉱山を対象とした場合も有効であることを

示し、菌体からパラジウムを回収した場合、パラジウム紛失量が極めて少ない。

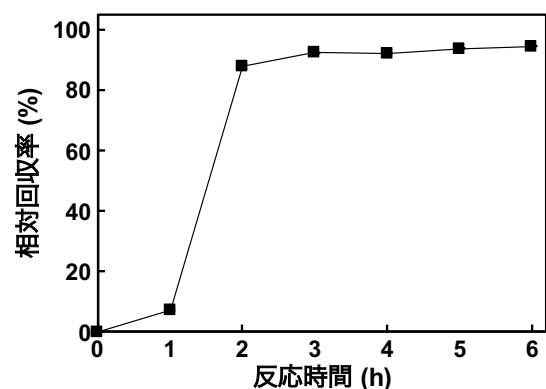


図5 パラジウム溶解溶液からのパラジウム回収

4. 結言

本研究では、*E. oligotrophicus* CCA6^Tを利用したパラジウム回収法の基盤技術を確立できた。本法は、微量のパラジウムを含む反応溶液を対象とした場合、99.9%以上の回収率を示した。また、都市鉱山から調製したパラジウム溶解液を対象とした場合も94.4%以上の回収率を示し、反応後に得られた菌体からパラジウムを回収した場合、パラジウムの紛失率は0.01%以下となった。

5. 謝辞

本研究は、公益財団法人住友財団 環境研究助成（助成番号: 2330205）により実施した。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁報告書 令和3年2月15日版
- 2) H. Akita, A. Matsushika, Z. Kimura, “*Enterobacter oligotrophica* sp. nov., a novel oligotroph isolated from leaf soil”, *MicrobiologyOpen*, (2019) 8:e00843.
- 3) H. Akita, A. Kumagai, “Biosorption of palladium using *Enterobacter oligotrophicus* CCA6^T”, *Salt Seawat. Sci. Technol.*, (2021) 2:19–21.