

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2025 年 10 月 9 日

大阪公立大学

硫酸基の働きで性能アップ！ 狙ったレアアースを効率よく吸着する酵母を開発

<ポイント>

- ◇パン酵母の細胞に硫酸基を導入した硫酸基修飾酵母（S-yeast）を作成し、金属吸着量を測定したところ、従来の吸着材料よりも高い吸着量を示した。
- ◇S-yeast は金属の吸着・脱離を繰り返し行うことが可能。
- ◇塩酸の濃度を調整することにより希土類元素（レアアース）の選択的な吸着が可能。

<概要>

レアアースは光ファイバーや超伝導材料などに使用されており、電子廃棄物からのリサイクルが進められています。金属回収にはさまざまな手法がありますが、環境への負荷が少なくコストの低い技術が求められています。

大阪公立大学大学院工学研究科の東 雅之教授、尾島 由紘准教授らの研究グループは、これまでに、リン酸基を付加したパン酵母（P-yeast）を用い、金属の選択的な回収に成功しています。本研究では、パン酵母に硫酸基を導入した S-yeast を作成し、銅（Cu）を用いて金属吸着量を調べたところ、過去に作成した P-yeast より約 2.3 倍多く吸着できることがわかりました。また、吸着した Cu は塩酸によって脱離でき、脱離後の S-yeast は再度 Cu を吸着することが可能です。そして、Cu 以外の亜鉛（Zn）、カドミウム（Cd）、鉛（Pb）や希土類元素についても S-yeast は P-yeast より多く吸着することが判明しました。さらに、塩酸の濃度を調整することによりレアアースを選択的に吸着することができます。本研究結果により、環境にやさしく機能的なレアアース回収技術への応用が期待されます。

本研究成果は、国際学術誌「Environmental Research」に、2025 年 9 月 1 日にオンライン掲載されました。

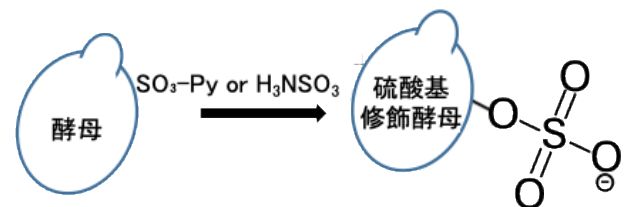


図 1 硫酸基修飾酵母（S-yeast）の模式図

本研究は、当時、大学院生だった山田 こころさんと、天野 萌奈さん（博士前期課程 2 年）が中心となり、化学バイオ工学科の先生方の協力のもと実施され、前回開発した材料（P-yeast）より一段と優れた性能を持つ材料（S-yeast）の開発に成功しました。国内特許と、JST の協力により PCT 出願も終えており、今後はフィールド試験などのハードルを越えて、実用化へとステップアップすることを期待しながら研究を継続していきます。



東 雅之教授

<研究の背景>

社会の進歩と共に金属資源の需要はますます増加しています。中でも希土類元素は、15のランタノイド元素を含む17元素の総称で、先端技術製品などに使用され、今後も需要増加が見込まれています。しかし、産出地域が偏っている、採掘時に環境負荷がかかるなどの問題があり、電子廃棄物からの希土類元素リサイクルが進められています。金属回収にはさまざまな手法がありますが、環境負荷やコストに課題があるため、代替の技術が求められています。また、有価金属の回収だけでなく、環境中から有害重金属の除去にも利用される重要な技術です。本研究グループは、廃糖蜜を原料に培養して得られる酵母や醸造由来の廃棄酵母を、均質で再生可能な生物資源として捉え、高性能で低環境負荷な金属吸着剤の開発に活用してきました。具体的には、多糖類の化学修飾を参考にして、パン酵母の細胞壁成分をリン酸基修飾し、金属吸着可能な官能基の数を増加させました。結果として、顕著に金属吸着能が向上し、塩酸濃度の調整により選択的なレアアース吸着が可能であることが分かりました。さらに、人工海水や温泉水からレアアースを選択的に回収できることも明らかになり、このような材料の性能をさらに高めるために研究を進めています。

<研究の内容>

本研究では、リン酸基と同様に酵母の細胞に負電荷を付与できる硫酸基の修飾を試み、三酸化硫黄ピリジン錯体 ($\text{SO}_3\text{-Py}$) またはアミド硫酸 (H_3NSO_3) を用いて2種類の反応で硫酸基を導入しました。元素分析の結果から、酵母の硫黄 (S) 含有量は前者の反応で10.3%、後者の反応で12.5%に達し、どちらの反応においても硫酸基修飾によりS含有量が大幅に増加することを確認しました。次に、硫酸基修飾酵母 (S-yeast) の金属吸着量についてCuを用いて調べました。S-yeast はこれまでに開発してきたリン酸基修飾酵母 (P-yeast) と同様に瞬時にCuを吸着し、酵母の乾燥重量あたりの吸着量は $\text{SO}_3\text{-Py}$ 法で1.46 mmol/g、 H_3NSO_3 法で2.49 mmol/gに達し、P-yeast の1.08 mmol/gに比べ大幅に吸着量が増加することがわかりました。また、吸着したCuは塩酸に懸濁すると脱離し、脱離後のS-yeast は再度Cuを吸着することができます。さらに、 H_3NSO_3 法で調製したS-yeast を用いたところ、Cu以外のZn、Cd、Pbでは2 mmol/g前後、希土類元素では1 mmol/gを超える高い吸着量を示し、いずれの元素もP-yeast より高い吸着量であることを確認しました。次に、4種類の2価金属Zn、Cu、Cd、Pbと希土類元素ジスプロシウム (Dy) を含む0.3Mという強い酸性の塩酸にS-yeast を添加し吸着試験を行なった結果、Dyに高い吸着を示したのに対して、その他の金属はほとんど吸着しませんでした。この傾向はDyを他の希土類元素イッテルビウム (Yb) やネオジム (Nd) に変更しても同様に、塩酸濃度を調整することにより希土類元素の選択的吸着が可能であることが判明しました。

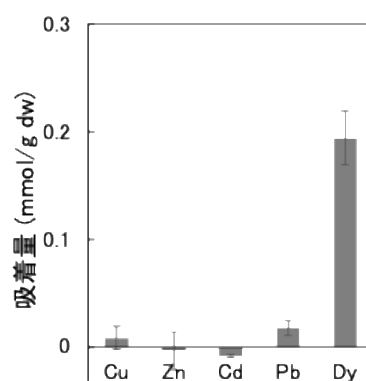


図2 希土類元素 (Dy) に対する選択的吸着

<期待される効果・今後の展開>

本研究では優れた特性を持つバイオマスであるパン酵母を主原料にし、簡単な化学修飾を加えた金属吸着材料を開発しました。死菌を使用するため環境への影響がなく、硫酸基修飾により吸着性能はイオン交換樹脂と同等のレベルにまで向上し、再利用も可能です。また、

塩酸濃度の調整によりレアアースに対する選択吸着ができ、酸性溶液中での吸着が可能であることから、種々の廃棄電子機器から酸性溶液を使用して金属を溶出した液にも使用できることが期待されます。すでに国内の特許申請、PCT 出願を終えており、今後は、実用化に向けて材料作製のスケールアップや実廃液を用いた評価などを進める予定です。ここで示した技術は、酵母以外のバイオマス材料への適用も考えられ、さまざまな金属吸着材料の開発にも役立つことが期待されます。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Environmental Research

【論文名】 Excellent adsorption performance of sulfated yeast for heavy metal ions:
High capacity and selectivity for rare earth elements

【著者】 Kokoro Yamada, Moena Amano, Yoshihiro Ojima, Hideki Azuma, Koichi
Igarashi, Masayuki Azuma

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122743>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院工学研究科

教授 東 雅之（あずま まさゆき）

TEL : 06-6605-3092

E-mail : azuma@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課

担当：谷

TEL : 06-6967-1834

E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp