



令和8年6月18日

各報道機関文教担当記者 様

フレキシブルペロブスカイト太陽電池から 鉛・金・インジウムを分離回収する技術を開発

金沢大学自然科学研究科博士後期課程2年の矢澤兒海、金沢大学ナノマテリアル研究所のシャヒドゥザマン モハマド准教授、當摩哲也教授、ナノ生命科学研究所（WPI-NanoLSI）の前田勝浩教授、理工研究域物質化学系の長谷川浩教授らの研究グループは、フレキシブルペロブスカイト太陽電池に含まれる鉛および有価金属（金やインジウムなど）を、ワンステップで分離回収する技術の開発に成功しました。

ペロブスカイト太陽電池は、軽量・柔軟かつ印刷技術による低コスト製造が可能な次世代型太陽電池として、脱炭素社会実現に向けた重要な技術として注目されています。本研究室では、これまで、社会実装に向けた大面積ペロブスカイトデバイスや大量生産技術の開発に取り組んでいます。しかし、ペロブスカイト太陽電池には、鉛などの高環境負荷材料や、金やインジウムなどの有価金属が用いられているため、社会実装後の大量廃棄による土壤汚染や金属価格高騰による高コスト化が懸念されています。

そこで本研究では、封止されたフレキシブルペロブスカイト太陽電池（PSC）を低濃度の混酸で処理することで、デバイス中の金属を一度に溶出させ、その後、セルロース系吸着材（※1）（DMC-2）およびキレート樹脂（※2）を組み合わせることで、溶液中から金や鉛、インジウムを固相に回収する手法の開発に成功しました。さらに、硫酸を使用することで鉛を沈殿させ、インジウムとの分離にも成功しました。本研究成果は、劣化した実用デバイスにも適用可能であり、今後のペロブスカイト太陽電池の大規模普及に向けた循環型リサイクル技術として期待されます。

本研究成果は、2026年5月20日に国際学術誌『*ACS Sustainable Chemistry & Engineering*』のオンライン版に掲載されました。

【研究の背景】

ペロブスカイト太陽電池は、2008年に桐蔭横浜大学の宮坂力教授によって開発された次世代型の太陽電池です。無機・有機ハイブリッド材料である「ペロブスカイト」を用いることで、従来主流であったシリコン太陽電池と比べ軽量かつ柔軟性に優れ、これまで設置が難しかった耐荷重性の低い屋根や建物の壁面、さらには曲面への設置が可能になる点が特徴です。こうした特徴から、設置場所の制約を受けにくい新たな太陽光発電技術として注目されています（図1）。

現在、日本では2050年カーボンニュートラル実現に向け、再生可能エネルギー導入拡大が進められています。経済産業省は「次世代型太陽電池戦略」を策定し、軽量・フレキシブル性を有するペロブスカイト太陽電池を次世代型太陽電池として位置付け、2040年までに約20GWの導入目標を掲げています。社会実装に向けた研究開発や実証が加速しています。

【研究成果の概要】

本研究グループは、次世代太陽電池として注目されるペロブスカイト太陽電池の実用化に向け、使用後デバイスから有毒金属および有価金属を回収するリサイクル技術の研究を進めています。ペロブスカイト太陽電池は、軽量・高効率でフレキシブル化が可能である一方、ペロブスカイト層に有毒な鉛を含むほか、電極には金やインジウムなどの有価金属が使用されています。そのため、社会実装・普及に向けては、廃棄時の環境負荷低減と資源循環技術の確立が重要な課題となっています。

これまでもペロブスカイト太陽電池のリサイクル技術は報告されており、本研究グループでも、2年前にペロブスカイト太陽電池に含まれる有毒な鉛の処理問題に対し、有機溶媒とイオン交換樹脂を使用することで、デバイスから鉛を回収する技術を開発しています[参考文献1]。しかし、多くの既存研究では、デバイスを各層ごとに分解する必要があるほか、毒性が強く、コストも高い有機溶媒を使用しています。実際のペロブスカイト太陽電池は、樹脂等の封止材によって保護されており、さらに長期使用に伴う劣化によって内部材料が変質・混合する可能性があるため、研究室レベルで用いられる単純なリサイクル方法をそのまま適用することは困難です。

そこで本研究では、封止されたフレキシブルペロブスカイト太陽電池を対象に、低濃度の酸溶媒を用いた「ワンステップの分解プロセス」と、金属吸着材を使用した「選択的金属回収技術」を開発しました（図2）。希塩酸と希硝酸の混合溶媒は、加熱することでニトロシルイオンを生じ、王水と同等の酸化力を示すことが報告されています。本研究ではこの酸溶媒を使用して、ペロブスカイト太陽電池に含まれる金属を溶液中に溶出させました。得られた金属溶液に硫黄官能基を有するセルロース系吸着材（DMC-2）を用いることで、これまでの吸着材では回収できないほどの強酸性の条件下でも、金を選択的に吸着・回収することに成功しました。このセルロース系吸着材は、前田教授、長谷川教授と株式会社ダイセルとの共同研究により開発された金沢大学オリジナルの材料です[参考文献2]。さらに、溶液のpH調整後にキレート樹脂を用いることで、鉛およびインジウムを回収しました。その結果、溶液から固相へ金91.6%、鉛99.7%、イン

ジウム 100 %という高い回収率を達成しました。また、キレート樹脂に吸着した鉛およびインジウムを硝酸によって溶離した後、硫酸を添加することで硫酸鉛を沈殿させ、インジウムと鉛を分離しました（図 3）。

本手法は、劣化・破損したデバイスや封止されたデバイス、フレキシブルデバイスにおいても適用可能であり、実使用環境を想定したペロブスカイト太陽電池リサイクル技術として有効であることを示しました。また、有害な鉛の回収と有価金属の再資源化を同時に実現できることから、ペロブスカイト太陽電池の社会実装に向けた環境負荷低減および資源循環技術として期待されます。

【今後の展開】

本研究で開発した金属回収技術は、ペロブスカイト太陽電池に含まれる有害金属および有価金属を高効率に回収できることから、将来的なペロブスカイト太陽電池の大量普及に向けた資源循環技術として期待されます。

今後は、大面積モジュールや実使用后デバイスへの適用を進めるとともに、連続処理プロセスやカラム分離技術への展開を行うことで、工業レベルでのリサイクルシステム構築を目指します。また、ライフサイクル評価や回収コスト評価を進めることで、環境負荷低減と資源循環を両立した持続可能な次世代太陽電池リサイクル技術への発展が期待されます。

本研究は、文部科学省の金沢大学ナノ精密医学・理工学卓越大学院プログラムの支援を受けて実施されました。また、本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金（助成番号：26K08501）から一部助成を受けたものです。

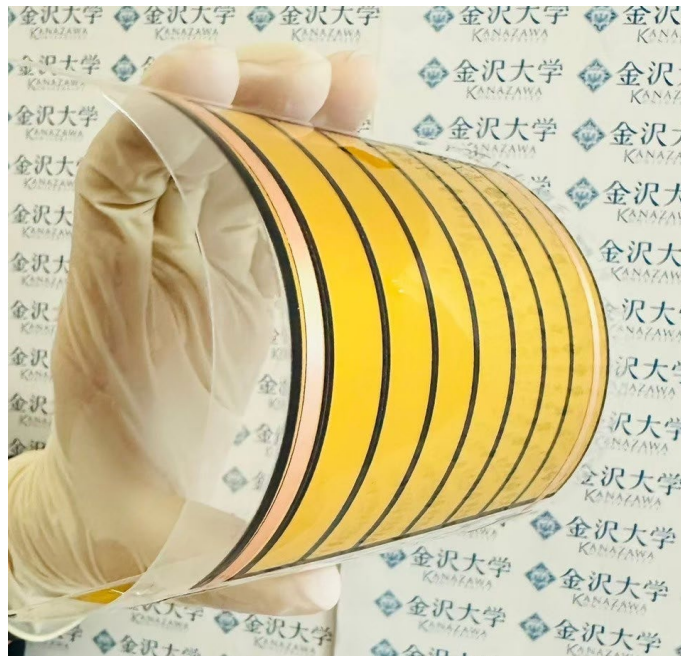


図 1. フレキシブルペロブスカイト太陽電池モジュール

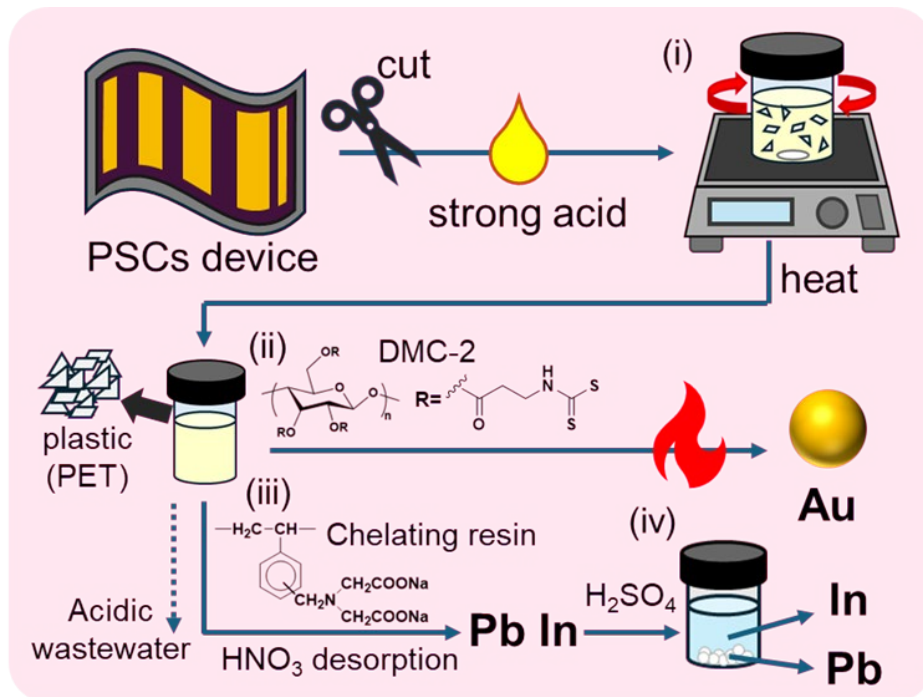


図 2. ペロブスカイト太陽電池の分解・金属回収フロー

(原図: R. Yazawa ら, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (2026), CC BY-NC-ND 4.0)

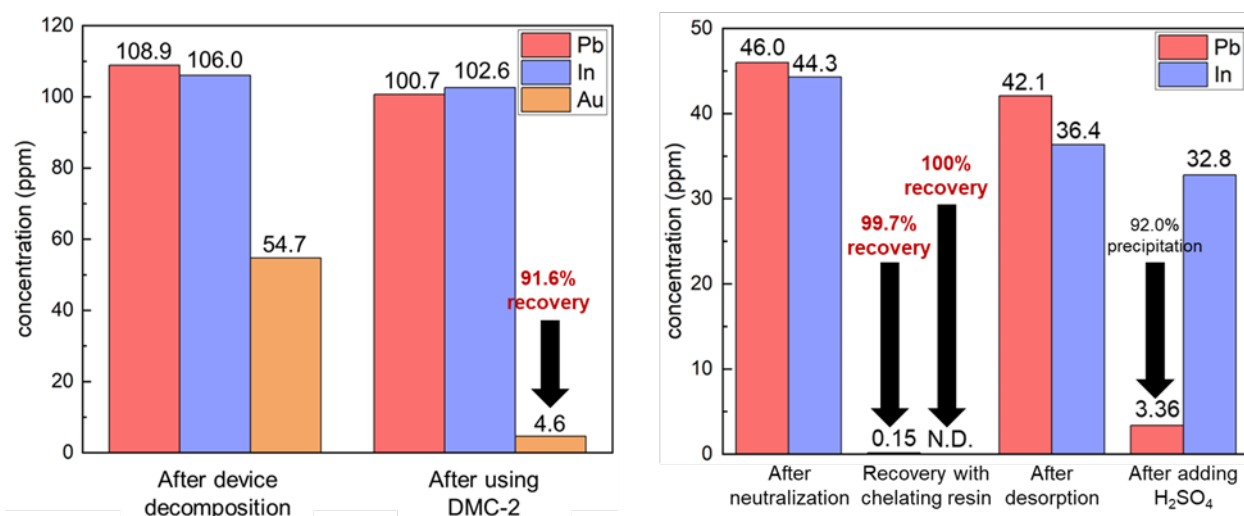


図 3. デバイス分解および金回収後の溶液中金属濃度（左）と、鉛およびインジウムの回収・分離後の溶液中金属濃度（右）

（原図：R. Yazawa ら, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (2026), CC BY-NC-ND 4.0）

【参考文献】

[1] Ruka Yazawa, Md. Shahiduzzaman, Yugo Nakahara, Minami Imaizumi, Masahiro Nakano, Makoto Karakawa, Jean-michel Nunzi, Hiroshi Hasegawa, Tetsuya Taima, “Recovery of lead from perovskite solar cells using ion-exchange resin” *Japanese Journal of Applied Physics* **63** 11SP15 (2024).

[2] 「産業廃棄物から貴金属を選択的に回収する手法を開発」2021年1月5日 金沢大学プレスリリース

【掲載論文】

雑誌名：*ACS Sustainable Chemistry & Engineering*

論文名：Selective Adsorption-Assisted Recovery of Lead and Metals from Acidic Leachates of Flexible Perovskite Solar Cells

（フレキシブルペロブスカイト太陽電池の酸性浸出液からの鉛および金属の選択的吸着回収法の開発）

著者名：R. Yazawa, P. Sarker, Y. Nakahara, K. Suzuki, S. Yoshioka, W. K. Hong, A. S. Mashio, M. Nakano, T. Nishimura, M. Karakawa, M. Akhtaruzzaman, H. Yamada, J. M. Nunzi, K. Maeda, H. Hasegawa, T. Taima, M. Shahiduzzaman

（矢澤兒海、サーカー プランタ、中原悠吾、鈴木海斗、吉岡翔司、黄国宏、眞塩麻彩実、中野正浩、西村達也、辛川誠、アクタルザマン モハマド、山田秀尚、ヌンジ ジャーンミッシェル、前多勝浩、長谷川浩、當摩哲也、シャヒドゥザマン モハマド）

掲載日時：2026年5月20日にオンライン版に掲載

DOI：10.1021/acssuschemeng.6c02566

URL：<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6c02566>

【用語解説】

※1 セルロース系吸着材

植物繊維の主成分であるセルロースが持つヒドロキシ基を、別の置換基へと化学的に置き換えることで、金属を吸着する機能を付加した吸着材のこと。本研究では、金 (Au) を効率よく回収するために、硫黄を含むジチオカルバメート基を導入した吸着材を使用しました。

※2 キレート樹脂

金属と強力なキレート結合を形成する官能基を有し、溶液中から金属イオンを選択的に吸着する機能を持った高分子材料のこと。本研究では、イミノ二酢酸基を持つキレート樹脂を使用し、溶液中から鉛 (Pb)、インジウム (In) を回収しました。

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学ナノマテリアル研究所 准教授

Shahiduzzaman Md. (しゃひどうざまん もはまど)

TEL：076-234-4937 (直通)

E-mail：shahiduzzaman@se.kanazawa-u.ac.jp

金沢大学ナノマテリアル研究所 教授

當摩 哲也 (たいま てつや)

TEL：076-264-6279 (直通)

E-mail：taima@se.kanazawa-u.ac.jp

■広報に関すること

金沢大学理工系事務部総務課総務係

割出 智美 (わりだし ともみ)

TEL：076-234-6957

E-mail：s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp