

2026 年 10 月 22 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

**独自の合金設計でアルミニウム箔負極の
性能トレードオフを打破
—「箔一枚」のシンプルなりチウム二次電池電極の実用化に道—**

【発表のポイント】

- 次世代リチウム二次電池用の負極として有望な「アルミニウム箔負極」において、微量のマンガンを加える独自の合金設計により、「利用可能な容量」と「寿命」の間のトレードオフを打破しました。
- 電池動作中に多数のリチウムの通り道が自発的に構築される仕組みを解明し、電極構造を壊さずに深部までリチウムを出し入れすることに成功しました。
- 複雑な塗工工程を必要としない「箔一枚」の極めてシンプルな電極の実用化に道を拓くものであり、将来的な電池製造の大幅な低コスト化と環境負荷低減への貢献が期待されます。

【概要】

電気自動車等の普及に伴い、より大容量で低コストな次世代リチウム二次電池の開発が急務となっています。「アルミニウム箔負極」は、高エネルギー密度と製造プロセスの簡略化を両立する次世代負極として注目されていますが、電極構造が早期の多孔質化によって劣化し寿命が短くなるか、寿命を延ばす代わりにリチウムが内部に滞留して利用可能な容量が低下してしまうというジレンマを抱えていました。

東北大学金属材料研究所の中田優樹助教、李弘毅助教、市坪哲教授、および株式会社 UACJ をはじめとする研究グループ（以下、「本研究グループ」）は、微量のマンガンを添加する新たな合金設計により、電極構造を緻密に保ったまま奥深くまでリチウムを出し入れすることに成功し、このジレンマを打破しました。本成果は、複雑な塗工工程を必要としない「箔一枚」の極めてシンプルな次世代電極の実用化に道を拓くものであり、蓄電池の大幅な低コスト化と環境負荷低減につながると期待されます。

なお、本研究の成果は、2026 年 10 月 23 日に Nature 系の材料科学専門誌 Communications Materials にオンライン掲載されます。

【詳細な説明】

研究の背景

リチウム二次電池の更なる高エネルギー密度化に向けて、現行の黒鉛負極に代わる大容量な合金系負極の開発が進められています。中でもアルミニウムは、金属箔の状態で「リチウムを蓄える活物質^(注1)」と「電気を流す集電体」の両方の機能を単独で果たすことができるユニークな材料です。この性質を活かせば、従来の重くて高価な銅箔集電体や粉末を固めるバインダー、電気伝導を補助する導電助剤が不要になります（図1）。さらに、スラリー^(注2)の塗工や乾燥といった多大なエネルギーを消費する製造プロセスを省略できるため、圧倒的な低コスト化とカーボンフットプリントの削減が期待されています。

しかし、その実用化に向けては、充電時に取り込んだリチウムを放電時に再び抜き出す「リチウム脱離」の反応を、高効率で繰り返し行うことが極めて困難である、という大きな課題がありました。純アルミニウムを用いた場合、リチウムを抜き出す過程で電極が早期に多孔質化して構造崩壊を起こすと共に、新たに露出した活性な表面で副反応が生じ不動態化^(注3)が進行するため、サイクル寿命が著しく短くなります（本成果との比較をまとめた後述の図4上段を参照）。一方で、構造の多孔質化を防ぐためにシリコンなどを添加する従来のアプローチでは、寿命は改善されるものの、今度は電極の奥深くに大量のリチウムが閉じ込められ不活化してしまい（同図4中段）、電池として利用可能な容量が大きく低下するという深刻なジレンマに直面していました。

今回の取り組み

本研究グループは、この「寿命と容量のトレードオフ」を打破するため、独自の冶金学的な合金設計アプローチを採用しました。シリコンのようにリチウムと親和性が高い元素は、充放電の過程でリチウムと結びついて一箇所に凝集してしまい、合金としての効果が長続きしません。そこで本研究では、あえてリチウムと親和性が低い「マンガン」に着目し、アルミニウムの中に均一に溶け込ませた固溶体^(注4)を作製しました（図2）。

この均一に分散したマンガンは、充電の際にリチウムの移動に局所的なブレーキをかける役割を果たします。これにより、充電中に電極内部の反応組織が自発的に微細化し、「リチウムの通り道」として機能する結晶粒界^(注5)のネットワーク構造が自発的に形成されることを突き止めました（図3）。

このネットワーク構造によって、電極内部の原子がスムーズに移動できるようになります。その結果、純アルミニウムで見られるような早期の多孔質化を大幅に抑制し、密な構造を維持したまま、電極の奥からもスムーズにリチウムが抜けていく、理想的なリチウム脱離現象を実現しました（図4下段）。結果として、長寿命を達成しながら、内部へのリチウム残留を極小化し、利用可能な容量を高く保つことに成功しました。

今後の展開

本成果は、銅集電体やバインダーを用いず、煩雑なスラリー塗工工程も必要としない「箔一枚」の次世代電極の実用化を力強く後押しするものです。電極部材と製造プロセスの抜本的な簡略化により、将来の蓄電池製造におけるコスト削減と、カーボンフットプリントの大幅な低減への貢献が期待されます。

さらに、本研究は蓄電池の電極材料開発に対しても重要なアプローチを提示しました。これまで高容量負極の開発では、人工的かつ複雑なナノ構造を事前に作り込む手法に頼りがちでした。これに対し本研究は、「リチウムと親和性の低い元素を微量に固溶させる」というシンプルな冶金学的手法のみで、電池作動中の金属組織を自発的に最適化（自己組織化）できることを実証しました。過度な事前加工に頼らず、材料自身の特性を引き出すこのアプローチは、実用的で低コストな次世代電極設計の先駆的なモデルケースとなります。

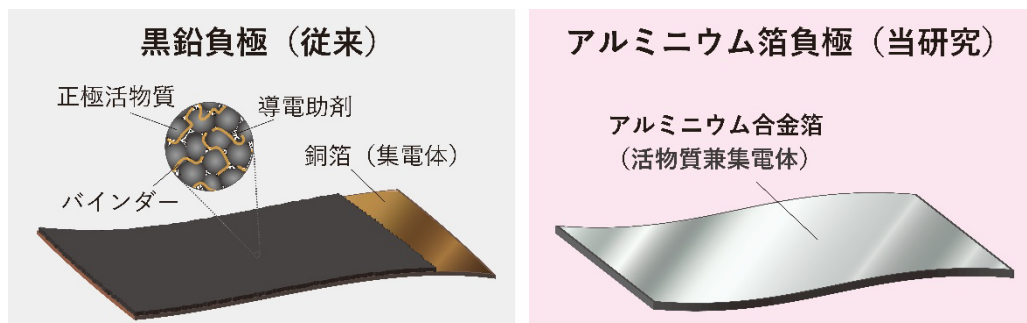


図 1. 従来の黒鉛負極とアルミニウム箔負極の比較。従来型の黒鉛負極（左）とは異なり、アルミニウム箔負極（右）では部材の塗工が一切不要であり、「箔一枚」で電極として機能する。

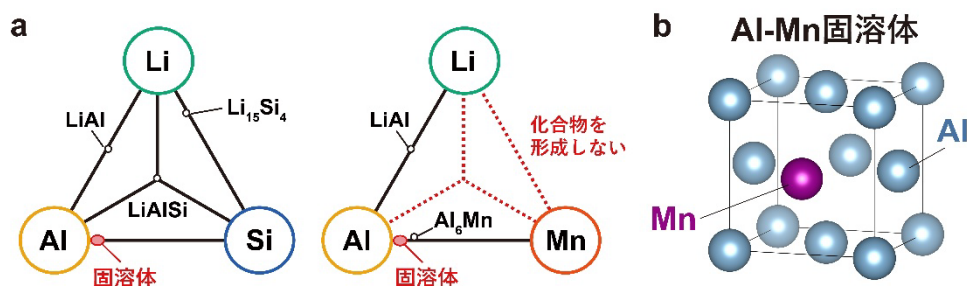


図 2. 本研究における合金設計指針。リチウムと化合物を形成しないマンガンを選択し（a）、アルミニウム中に均一に溶け込ませた固溶体（b）を作製しました。

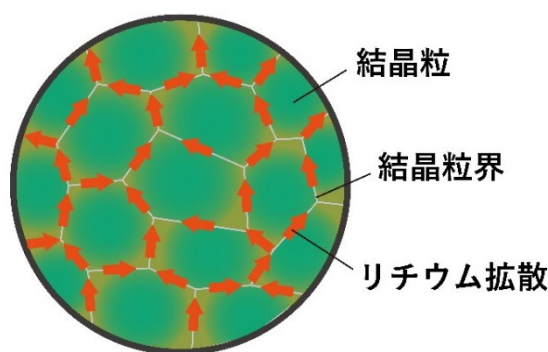


図 3. 反応組織における「リチウムの通り道」。マンガンの働きによって組織が自発的に細くなり、リチウムの通り道となる結晶粒界ネットワーク構造が形成されます。

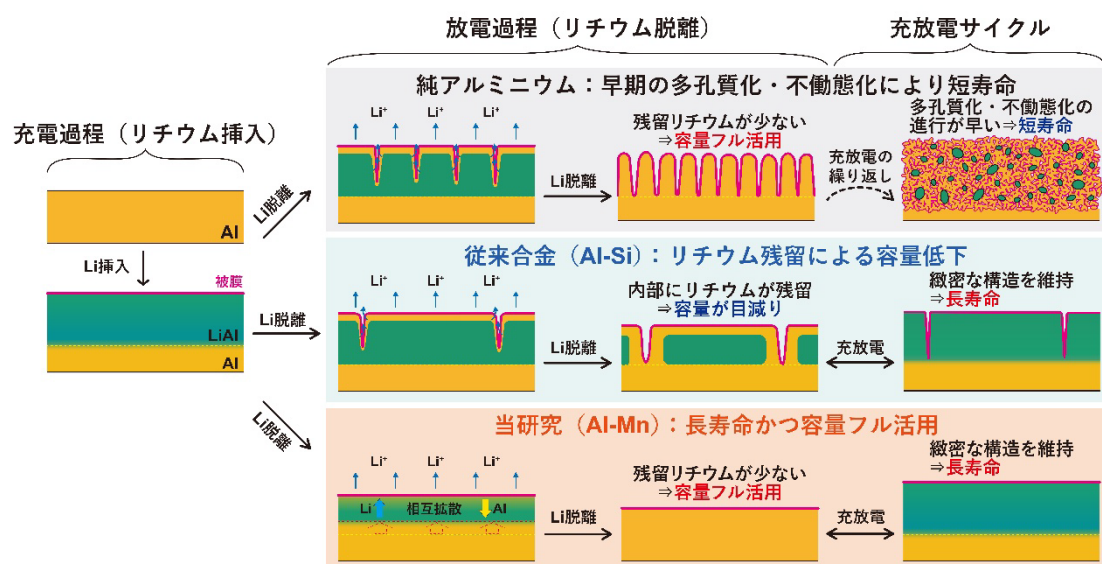


図 4. 従来技術と本研究におけるリチウム脱離過程の比較。早期の多孔質化・不働態化（上段）やリチウム残留（中段）という従来の課題に対し、本研究（下段）では緻密な構造を維持したまま電極の奥からもスムーズにリチウムを抜き出せるため、「長寿命かつ高容量」が実現。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業（課題番号：JP23H05452、JP26K17659）、および公益財団法人東洋アルミ軽金属みらい財団の研究補助金による助成を受けて行われました。また、本論文の出版にあたり、『東北大学 2026 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業』の支援を受けました。

【用語説明】

- 注1. 活物質：電池の中で実際に電気（リチウム）を蓄えたり放出したりする、反応の主役となる物質のこと。
- 注2. スラリー：粉末状の材料を液体に混ぜ合わせて、ペースト状にしたもの。従来の電池電極は、このスラリーを金属箔の表面に塗布・乾燥させて製造される。
- 注3. 不働態化：表面に反応を妨げる被膜（バリア）が形成され、本来の化学反応が起こらなくなってしまう現象。本研究では、電解液との副反応によってアルミニウムの表面に被膜が形成され、リチウムを出し入れする機能が失われることを指す。
- 注4. 固溶体：2種類以上の元素が、互いに均一に混ざり合って1つの結晶構造を作っている状態。本研究では、アルミニウムの結晶格子の一部がマンガンに置き換わった状態を指す。
- 注5. 結晶粒界：金属などの多結晶体において、結晶の粒と粒の境目のこと。本研究では、この境目がリチウムの移動経路として機能する。

【論文情報】

タイトル：Breaking the delithiation bottleneck in aluminum-foil anodes for rechargeable lithium batteries by Mn alloying

著者：Yuki Nakata*, Hongyi Li, Weiqi Liu, Shingo Matsumoto, Tomohiro Hayashi, Takafumi Yoshinaga, Yoshiaki Honda, Toshiaki Kumagai, Hiroaki Hoshikawa, Takitaro Yamaguchi, Tetsu Ichitsubo

*責任著者：東北大学金属材料研究所 助教 中田優樹

掲載誌：Communications Materials

DOI：10.1038/s43246-026-01377-6

URL：https://doi.org/10.1038/s43246-026-01377-6

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学金属材料研究所

構造制御機能材料学研究部門

助教 中田 優樹

TEL: 022-215-2372

Email: yuki.nakata.b8@tohoku.ac.jp

教授 市坪 哲

TEL: 022-215-2372

Email: tichi@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学金属材料研究所

情報企画室広報班

TEL: 022-215-2144

Email: press.imr@grp.tohoku.ac.jp