

アルミニウムのサステナブルリサイクル新技術開発 ～アルミニウムクライシスの克服を目指して～

英科学雑誌 Nature オンライン掲載、2022年4月14日(日本時間)
<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04748-4>

nature

[Explore content](#) ▾ [About the journal](#) ▾ [Publish with us](#) ▾

[nature](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Published: 13 April 2022](#)

A solid-state electrolysis process for upcycling aluminium scrap

[Xin Lu](#), [Zhengyang Zhang](#), [Takehito Hiraki](#), [Osamu Takeda](#), [Hongmin Zhu](#) , [Kazuyo Matsubae](#) & [Tetsuya Nagasaka](#) 

[Nature](#) (2022) | [Cite this article](#)

3752 Accesses | 6 Altmetric | [Metrics](#)

発表者

東北大学大学院工学研究科

盧 鑫

助教

平木岳人

特任准教授

竹田 修

准教授

朱 鴻民

教授

長坂徹也

副学長・教授



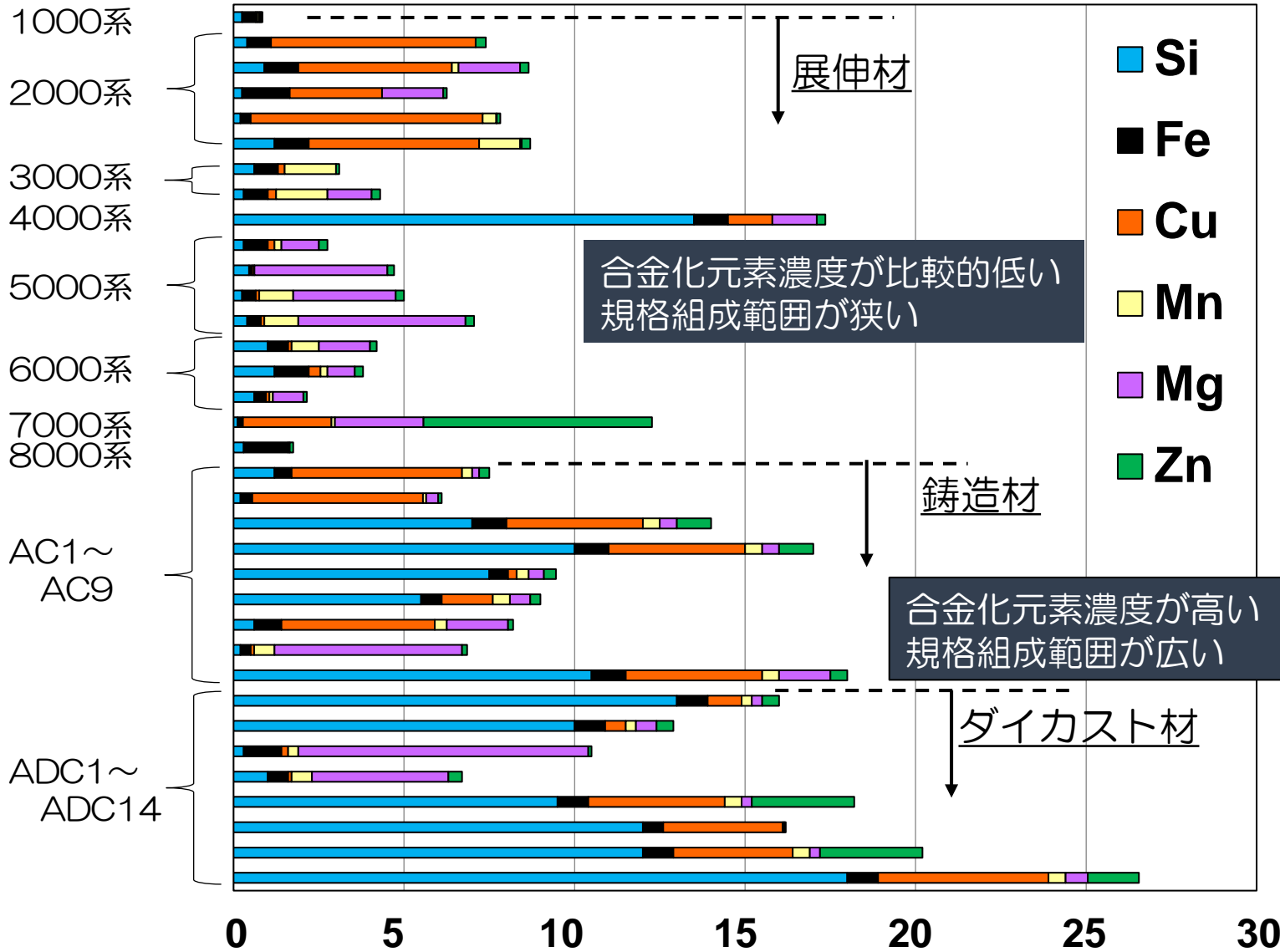
アルミニウムは良くリサイクルされている金属素材であると認識されているが、それは量的な観点であり、質的にはダウングレードリサイクルである。現状で再生アルミニウムの最終用途は、自動車用エンジンブロック等の鋳造・ダイカスト製品がほとんどであるが、電気自動車（EV）シフトが加速するとエンジンの需要が激減し、アルミニウムの循環構造が破綻することが懸念されている。このままでは、やがて使えないアルミニウム（デッドメタル）が大量に発生することになる。この「アルミニウムクライシス」は先進国共通の課題である。しかし精製技術があれば、このアルミニウムクライシスを回避できる。

東北大学工学研究科のグループが開発した固体アルミニウム溶融塩電解技術（**Solid-state electrolysis, SSE**）は、アルミニウム新地金の製造時の**半分以下**のエネルギー消費でCu、Si等の合金化元素を大量に含むアルミニウムスクラップを**純アルミニウムに再生**できる世界オンリーワンの技術である。

汎用アルミニウム合金の組成



JIS規格



各アルミニウム製品中の合金化元素濃度 (質量%)



現状のアルミニウムリサイクル概観

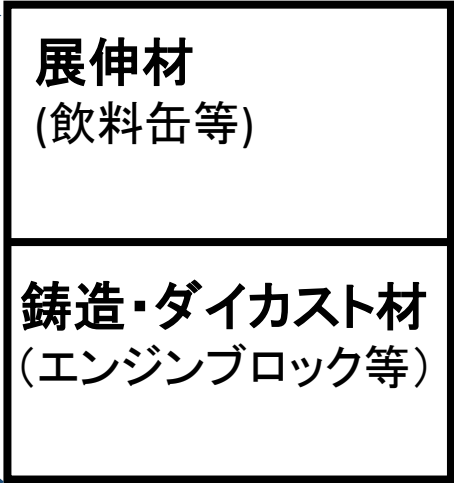
新地金



合金化元素

アルミニウム合金

社会ストック



- 自動車
- 鉄道車両
- 飛行機
- 建築
- ...

再生アルミニウム



合金化元素

アルミニウムスクラップ

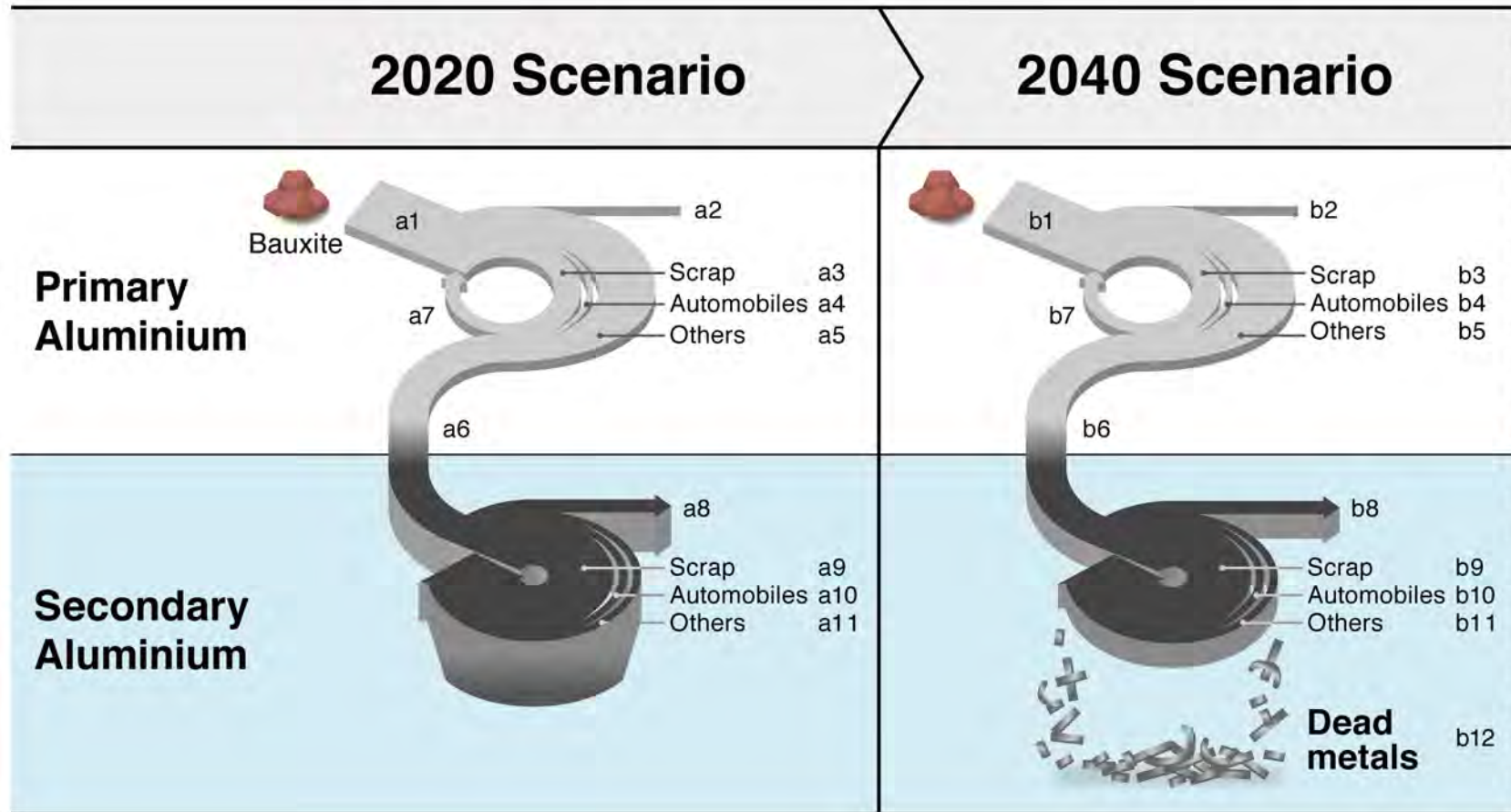
再溶解



ダウングレード
リサイクル

合金化元素の分離はできず、再生アルミニウムに濃縮する。

世界のアルミニウム需給フォアキャスト



本研究計算結果：

**2040年 360万トン
デッドメタル（使えないアルミニウム）
が発生する**

Xin Lu, et al. Nature, 2022,
<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04748-4>

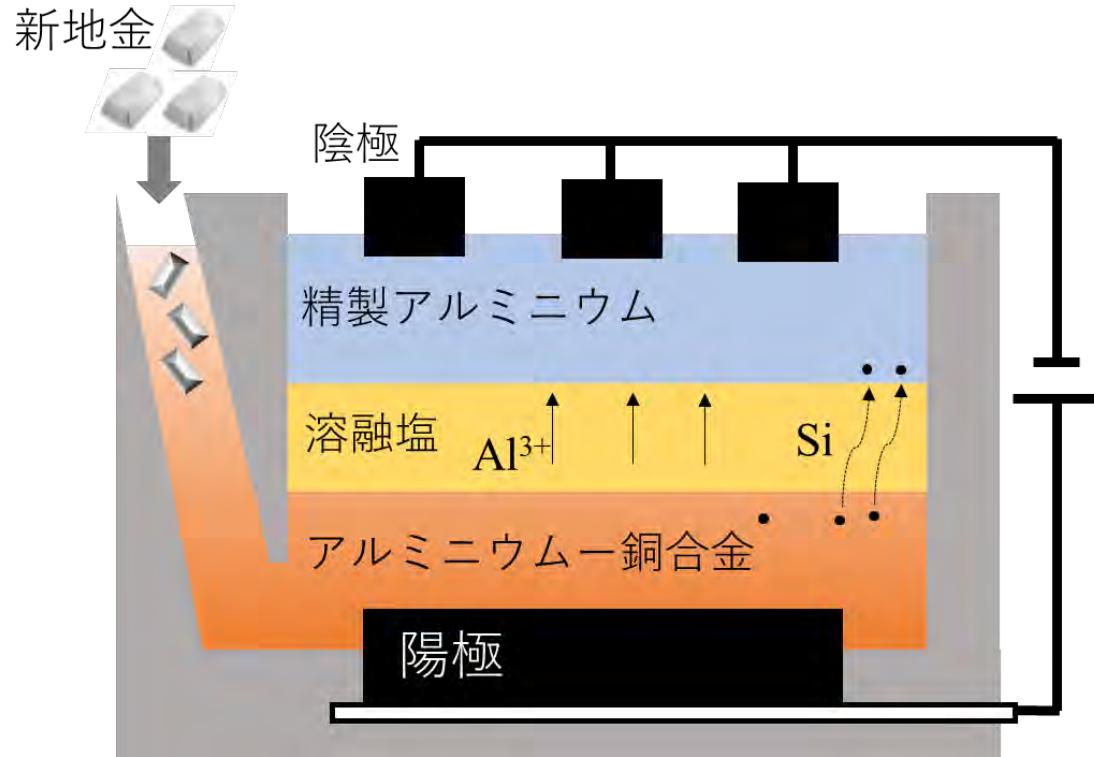
アルミニウム需給現状及びフォアキャスト

電気自動車の発展に伴って、再生アルミニウムの需要は減少する。⇒⇒⇒

従来のダウングレードリサイクルが破綻し、「**アルミニウムクライシス**」が発生する恐れがある。

不純物を分離するアルミニウムスクラップ精製技術が必要

従来のアルミニウム精製技術



密度:

アルミニウム-銅合金 ($3.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

> 熔融塩 ($BaF_2-NaF-AlF_3$) ($2.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

> 精製アルミニウム ($2.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

原料: Al新地金 (99.5~99.7%)

製品: 精製アルミニウム (>99.99%)

三層電解精製技術の概略図

しかし、アルミニウムスクラップリサイクルに使用できない。

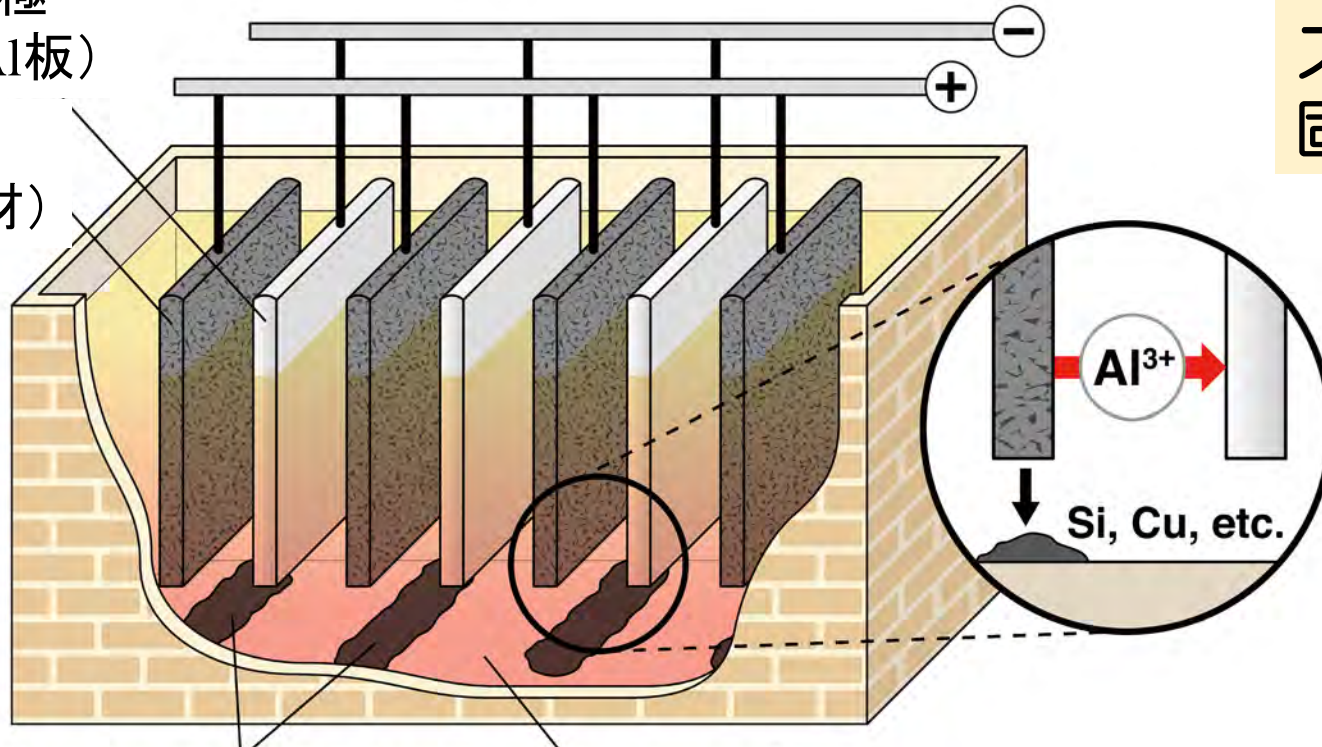
- アルミニウムスクラップ中の不純物濃度 (6~27%) が高すぎる
——> 陽極組成は維持できない
- 典型合金化元素シリコンの密度 ($2.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) はアルミニウムと近く、
使用した熔融塩より軽い
——> シリコンの分離は困難である

アルミニウムの固体電解精製技術



陰極
(純Al板)

陽極
(Al casting material)



スクラップを溶融させず、
固体のままで電解することがミソ

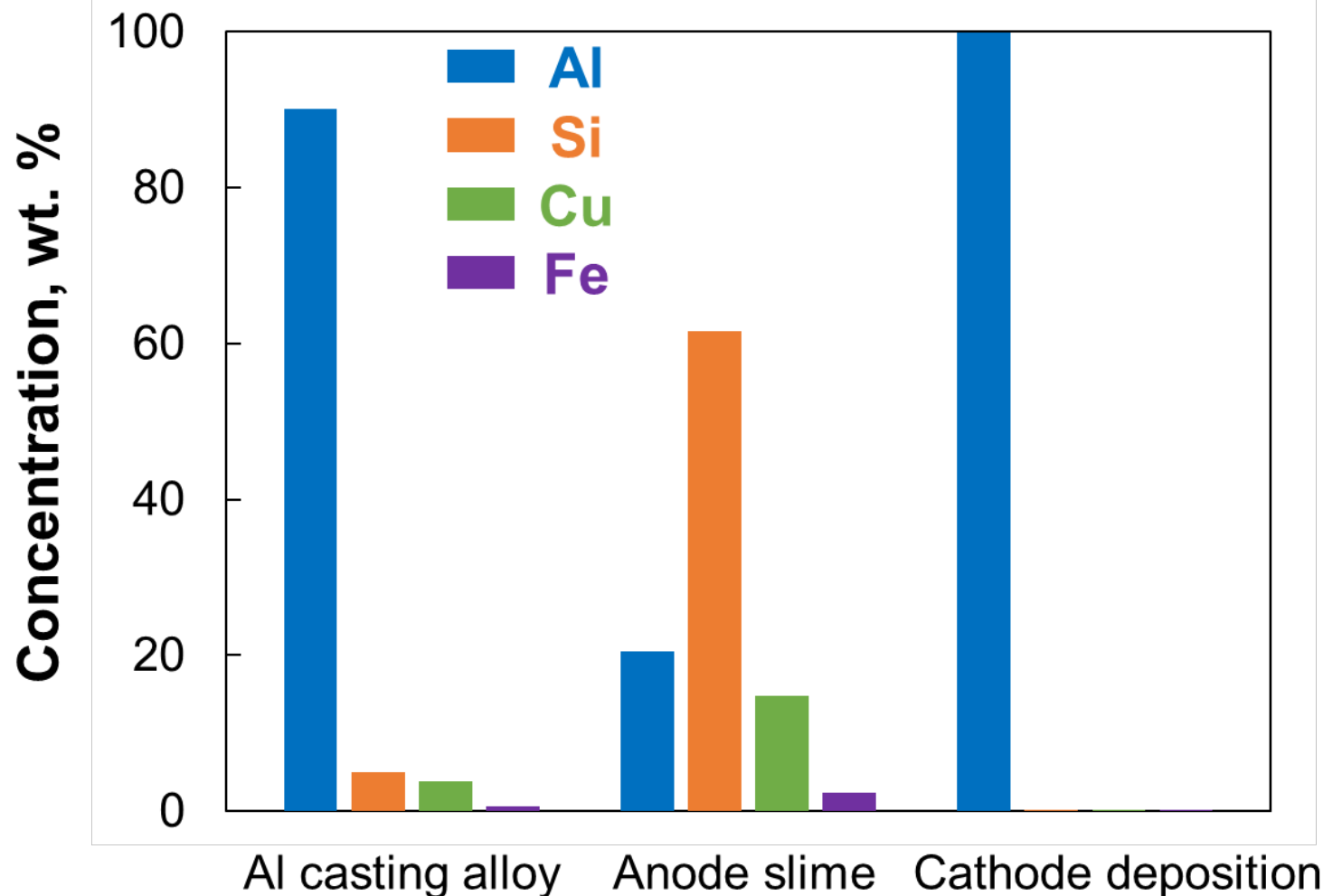
固体電解 (Solid-state electrolysis: SSE) 概略図

Xin Lu, et al. Nature, 2022,
<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04748-4>

陽極泥 (電解残留物): Si, Cu等 溶融塩 (アルカリ塩化物等)

縦式の固体電解をすることによって

- アルミニウムスクラップ中の不純物が陽極泥として分離できる。
- 典型合金化元素のシリコンは溶解しないため、分離できる。
- 電解温度が低く、エネルギー消費低減につながる。



アルミニウムのアップグレード
リサイクルが実現できた。

電解後: Al純度99.9%



電解前: Al純度90.2%

アルミニウム合金、陽極泥及びアルミニウム電解析出物の組成

まとめ

アルミニウムは、現状では全体的にダウングレードの方向ではあるものの、一定の循環構造は構築されている。しかしながら、EVシフトが加速すると循環構造が破綻する恐れがある。この「アルミニウムクライシス」は先進国共通の課題である。

東北大学で開発された固体アルミニウム電解法は、**アルミニウム新地金の製造時の半分以上のエネルギー消費**でCu、Si等の合金化元素を大量に含むアルミニウムスクラップを**純アルミニウム**に再生できる世界オンリーワンの技術であり、**アルミニウムクライシス回避**に貢献できる可能性について説明した。本プロセスによって全てのアルミニウムスクラップを精製する必要はなく、アルミニウムの再生時における質の低下を防ぎ、展伸材に再利用出来る最低限の処理量で十分である。



太陽光発電の余剰電力の有効活用にも期待

メガソーラー



本研究の遂行にあたって、下記の共同研究者にご協力を頂いたことを感謝申し上げます。

東北大学

山口一良	大学院工学研究科 学術研究員
松八重一代	大学院環境科学研究科 教授
張 政陽	大学院環境科学研究科 助教

株式会社豊栄商会	(2次アルミニウムサプライヤー)
樹神康之	代表取締役社長
水野 等	開発研究室部長

また、本研究の一部は、JSPS科研費20H02492, 20K15069, 21H04610, 21K17918の支援を頂いた。記して感謝申し上げます。