

水酸化ニッケルを代替する 亜鉛負極電池用正極材料

公立諏訪東京理科大学 工学部 機械電気工学科
准教授 小川 賢

2026年2月19日

従来技術とその問題点

利用が拡大しているリチウムイオン電池は、故障時や廃棄時に可燃性の有機溶媒に引火する事故が多発している。そこで、不燃性である水溶液系の蓄電池が本質安全の観点から有効であるが、既存水系電池は下記の課題がある。

①鉛蓄電池：

有毒物質の利用制限の懸念

サルフェーション等によるサイクル劣化が課題

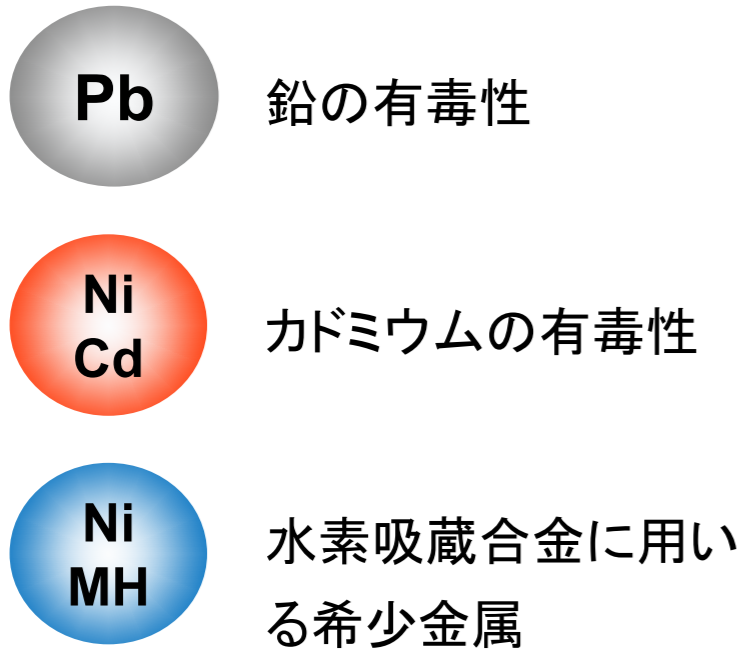
②ニッケル水素電池：

希少金属利用によるコスト高

そこで、新たな水系蓄電池が求められている。

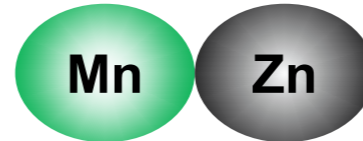
新たな水系蓄電池の検討：亜鉛負極電池

既存の水系蓄電池



既存の乾電池(一次電池)

マンガン乾電池



酸化銀電池



空気亜鉛電池



- ・資源的に豊富
- ・無毒
- ・電池材料としての実績

亜鉛を二次電池利用する技術開発ができれば、
リチウムイオン電池と対を成す高安全な蓄電池になる

亜鉛負極の魅力

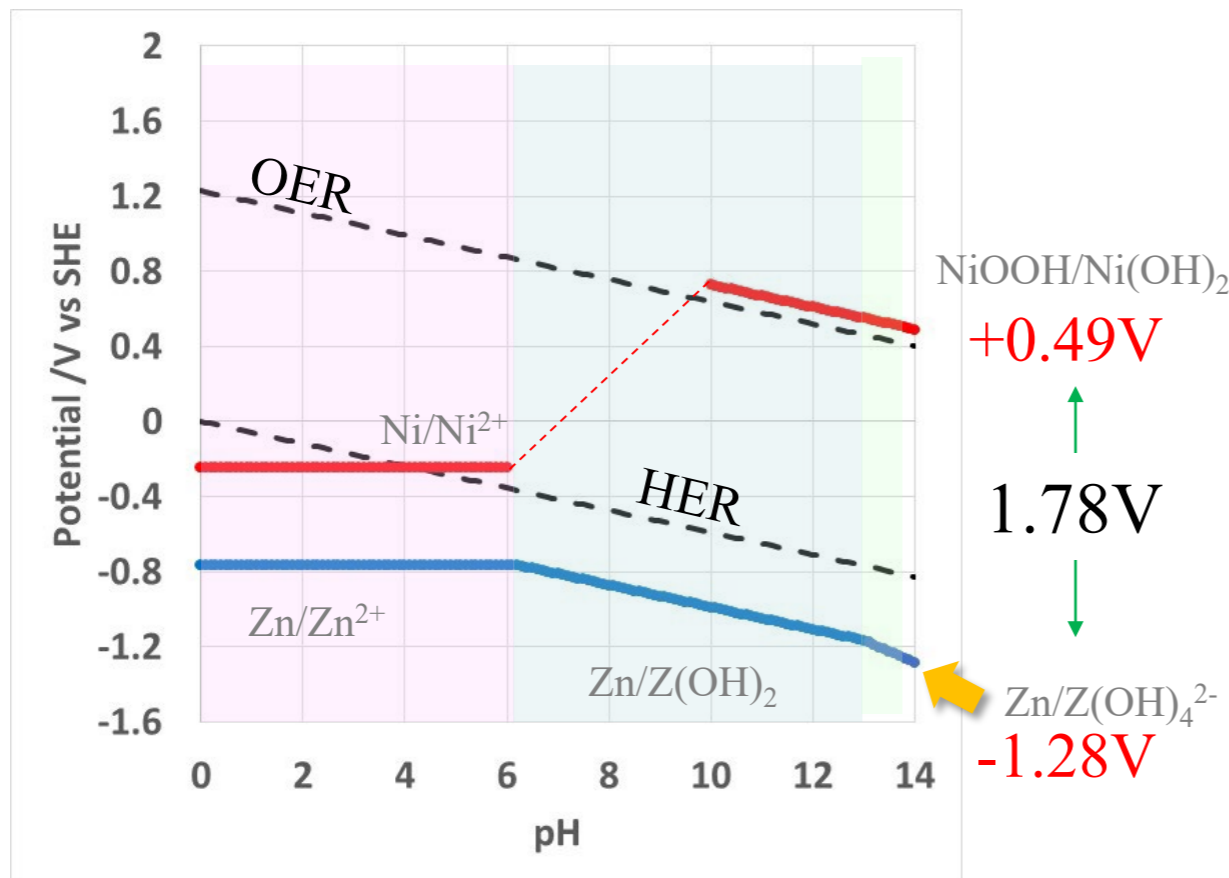
水系で最も卑な電極電位
高い反応性(大きな交換電流)

非常に大きな理論容量

負極の放電反応



約820mAh/gの理論容量



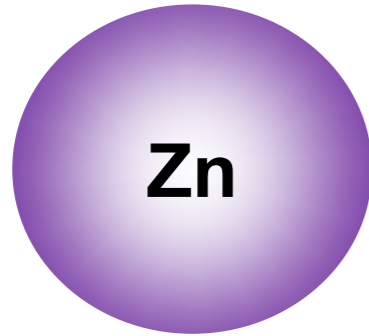
水系電池材料

PbO ₂	224 mAh/g
Ni(OH) ₂	289 mAh/g
Ag ₂ O	231 mAh/g
Cd	477 mAh/g

リチウムイオン電池材料

graphite	370 mAh/g
LCO	274 mAh/g

亜鉛負極と相性のいい正極とは？



酸側の Zn^{2+} をレドックスとして使うか、
アルカリ側の $Zn(OH)_4^{2-}$ をレドックスとして使うかで大きく分類できる
※文献の中には有機溶媒を用いる報告もいくつかある。

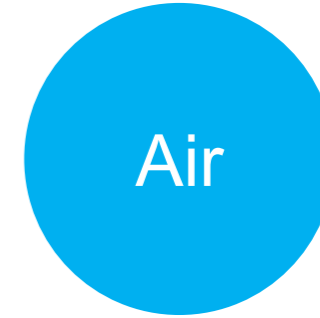
酸～中性電解液
($ZnCl_2$ 、 $ZnSO_4$ など)

亜鉛イオン電池と称されてる場合もある

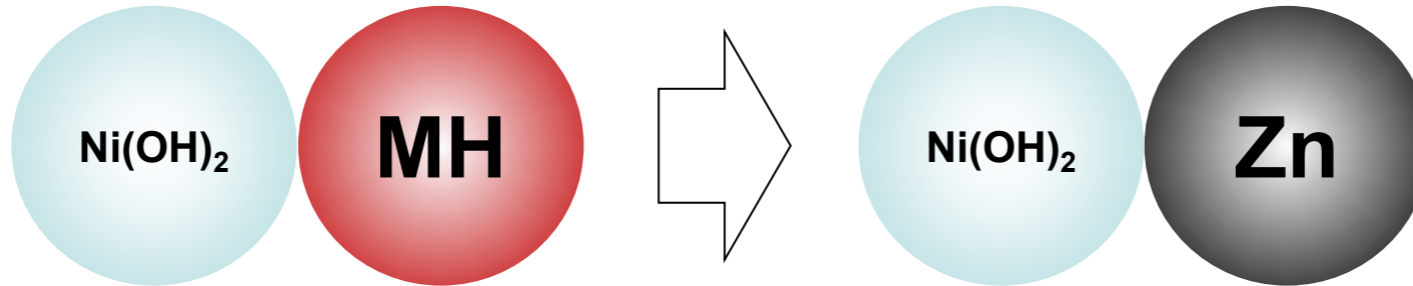


アルカリ電解液(KOH、NaOHなど)

既存電池の構成に亜鉛を組み
合わせた系



最も実用化に近いニッケル亜鉛電池

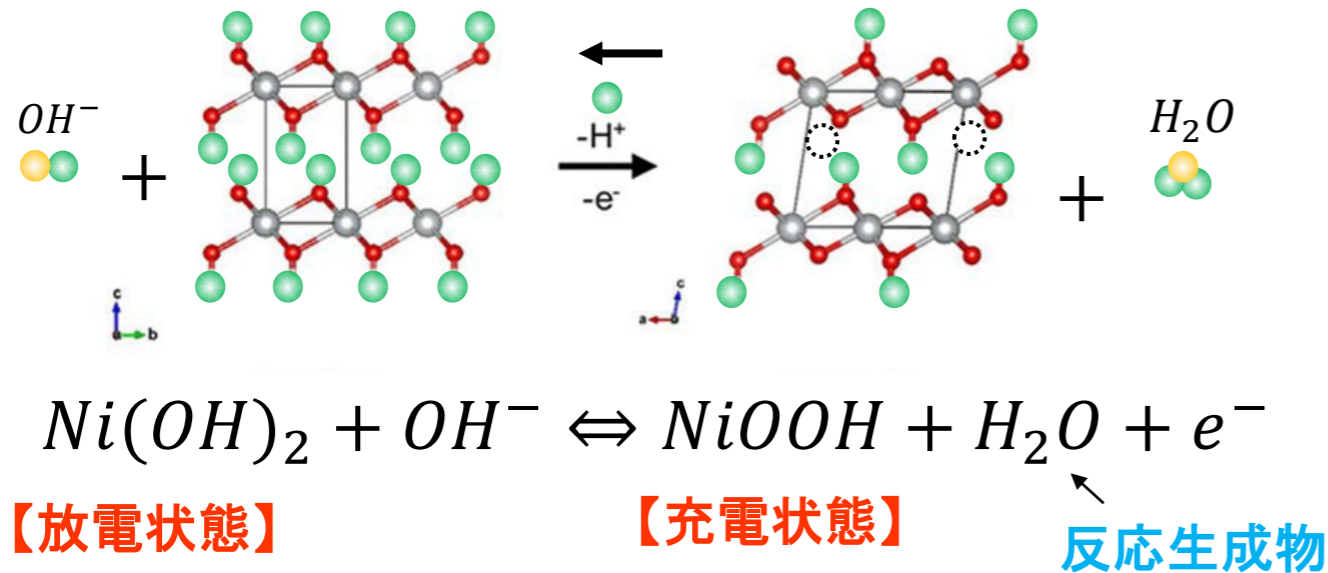


現在、ハイブリッド車等で活用されているニッケル水素電池について、負極の水素吸蔵合金を亜鉛に置き換えることでニッケル亜鉛電池にできる。

正極に用いる水酸化ニッケルは、すでにニッケル水素電池で電池材料として実績があり高いサイクル性能や高出力、低温性能等に優れることが知られている。

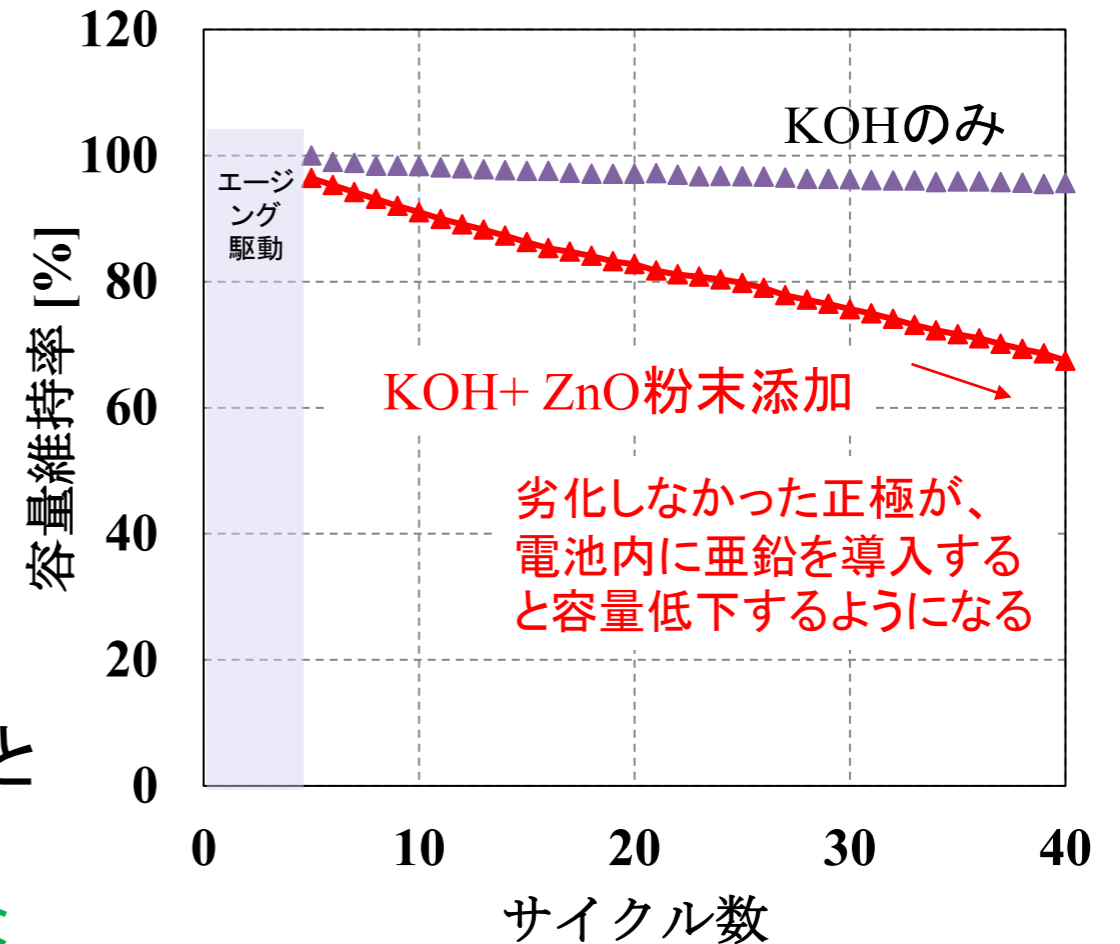
水酸化ニッケルの課題①

Ni-MH電池におけるZnO添加効果

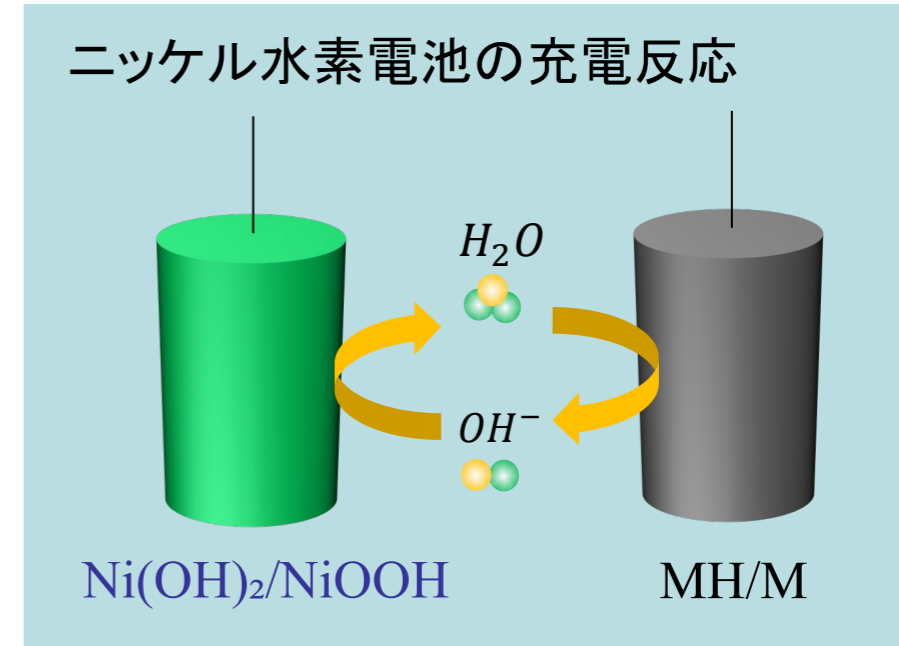
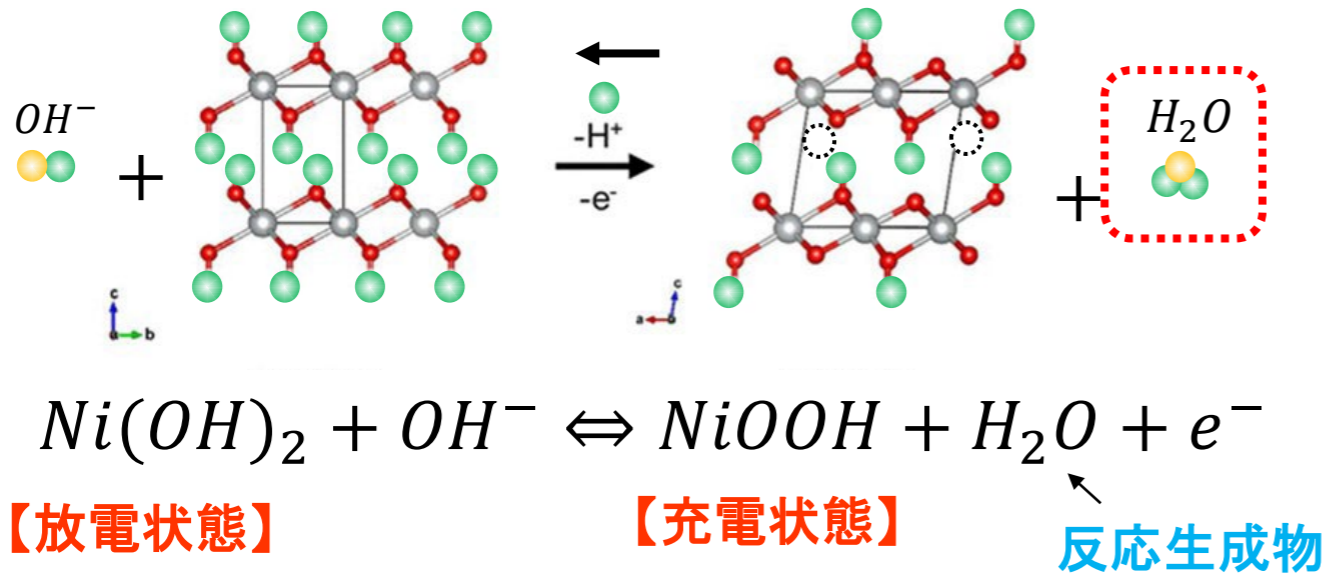


水酸化ニッケルは、電解液に亜鉛が溶けていると活量が失活していくことが知られている。

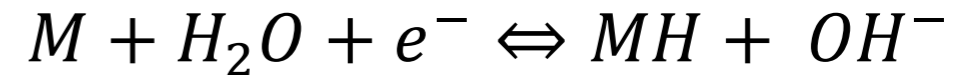
※Ni(OH)₂/NiOOHにおいて、電気化学的に不活性なNi-Zn混合水酸化物相を形成する



水酸化ニッケルの課題②

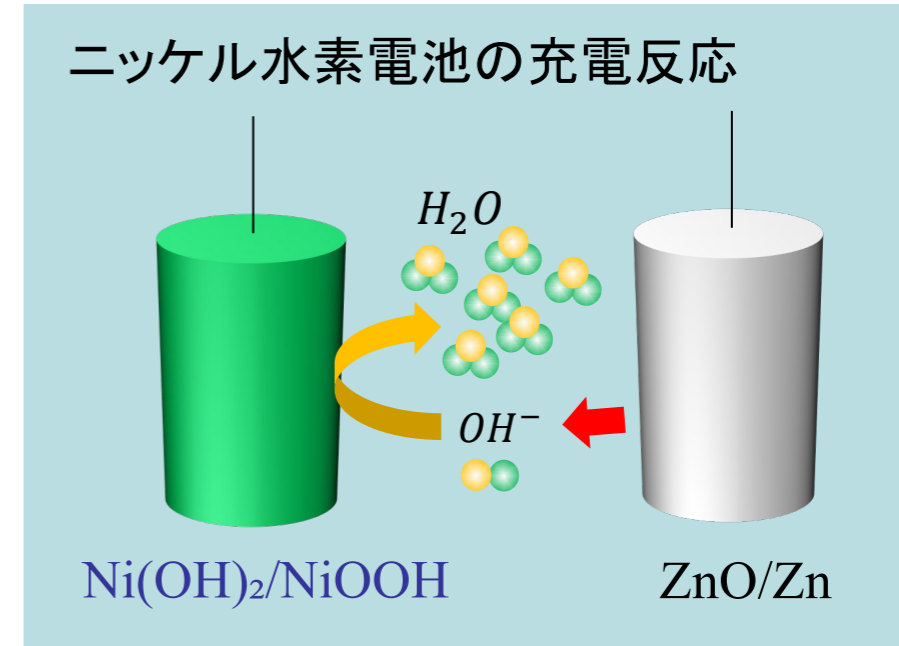
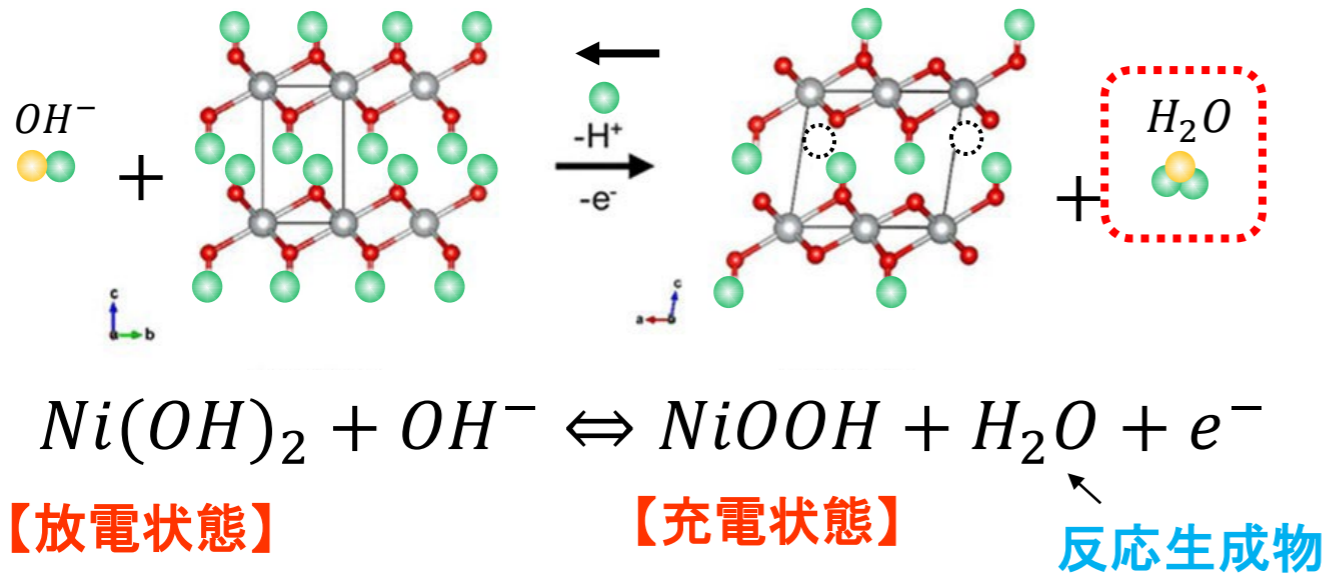


水素吸蔵合金電極の反応式

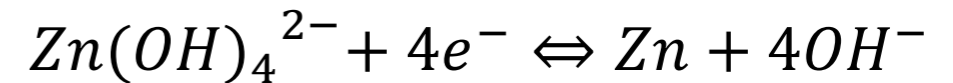


水素吸蔵合金の充電反応では
水酸化ニッケルから排出されたH₂Oが吸収される
⇒ H₂O生成が電解液に影響しない

水酸化ニッケルの課題②



亜鉛負極の反応式



亜鉛負極では、反応にH₂Oが介在しないため水酸化ニッケルから排出されたH₂Oが余ってしまう

⇒ 充電状態と放電状態でpH変化、ある程度余剰に電解液を搭載しておく必要性

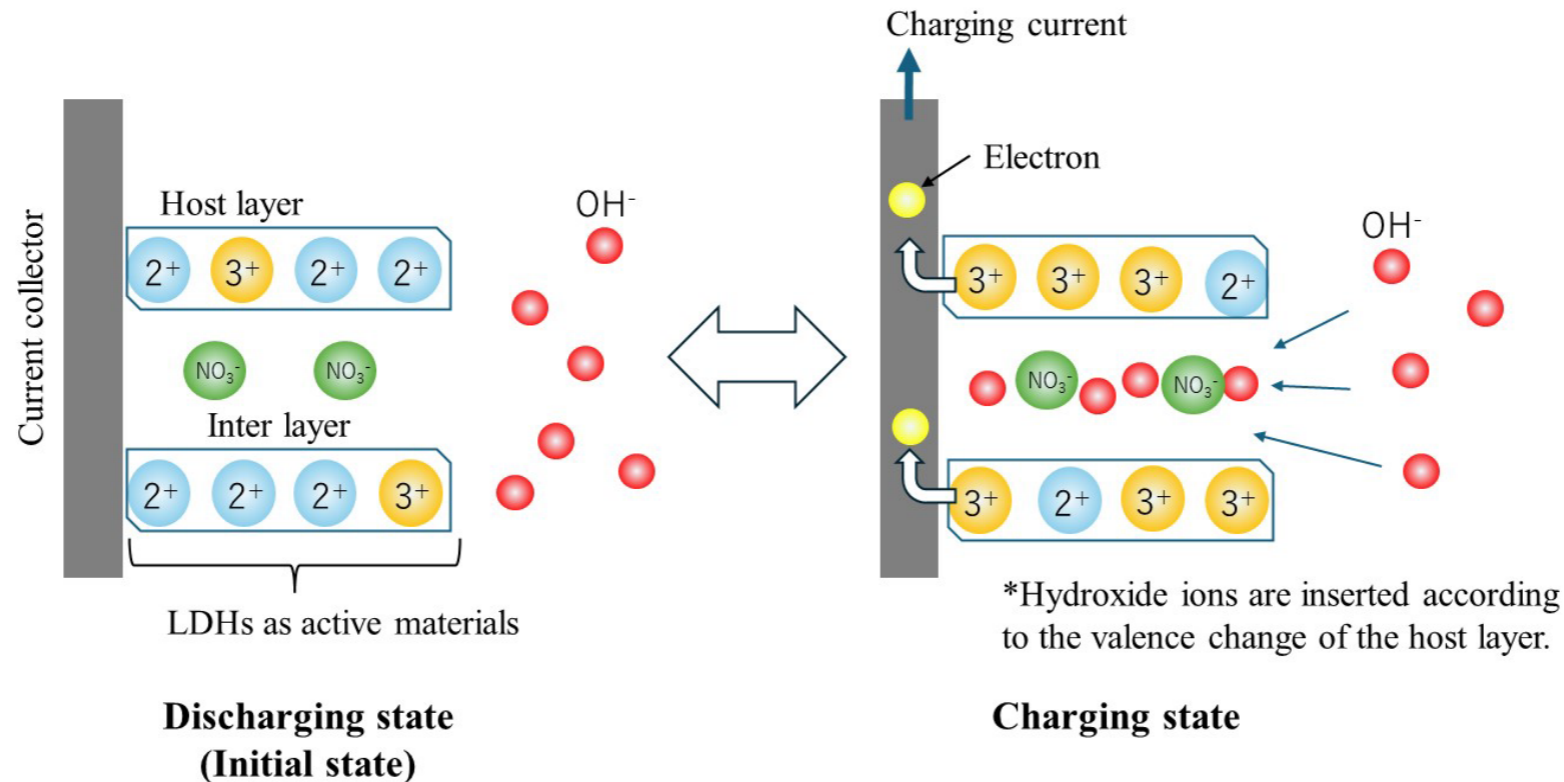
⇒ 亜鉛負極の形態変化等を生じやすくなり、サイクル安定性に影響

新技術の特徴

インターカレーション型水系活物質の提案

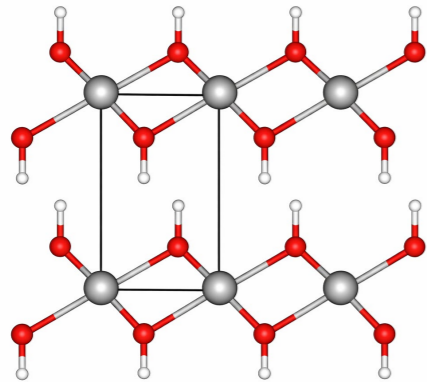
※インターカレーション反応

リチウムイオン電池で主に行われている反応であり、層状化合物の相関にイオンが挿入/脱離することで、電池の充放電を生じる反応。層状化合物は、外部からの電荷供給を受けて価数状態が変化。

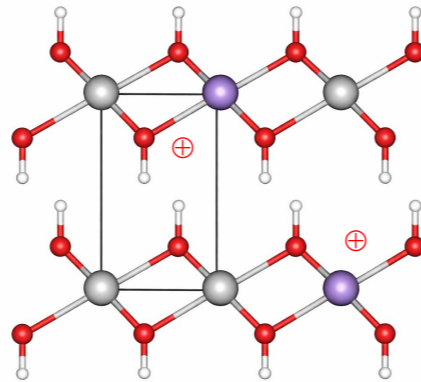


層状複水酸化物(LDH)に着目

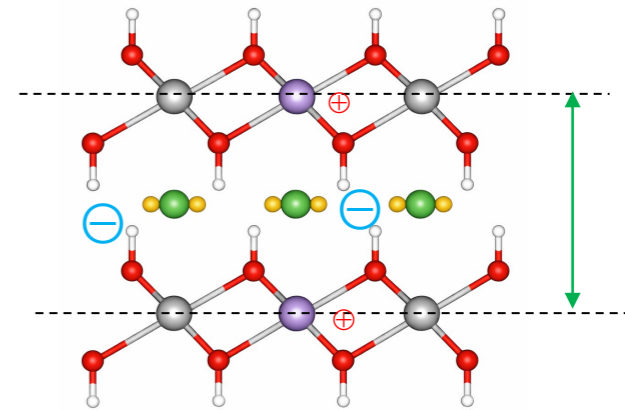
二価金属による層状水酸化合物
(Ni(OH)_2 、 Mg(OH)_2 などが有名)



$\beta\text{-Ni(OH)}_2$
電荷バランスは±0



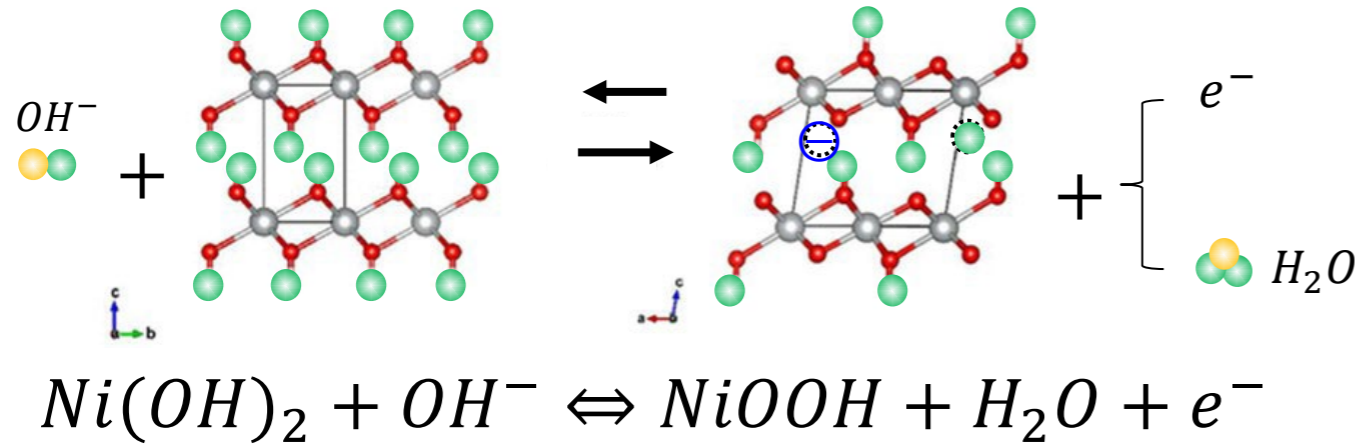
一部の金属元素を3価に置換
電荷的に正帯電を帯びる
⇒層間距離が拡大



層間に陰イオンが挿入され
電荷のバランスが保たれる

層状複水酸化物
LDH: Layered Double Hydroxide

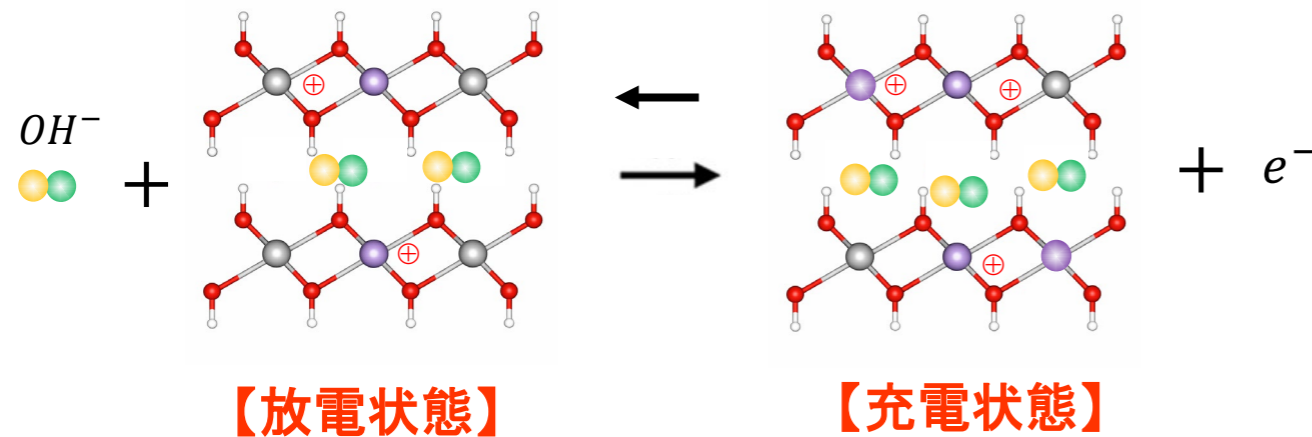
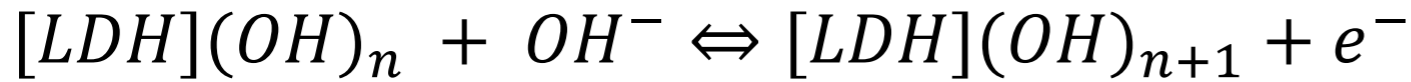
新技術の特徴・従来技術との比較



【水酸化ニッケル】

充放電反応時にH₂Oも反応物として出入りする
また、ニッケル元素近傍ではプロトンの吸着脱離が生じており、

$Ni(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons NiOOH + H_2O (= OH^- + H^+) + e^-$
水が介在してプロトンを運んでいる。



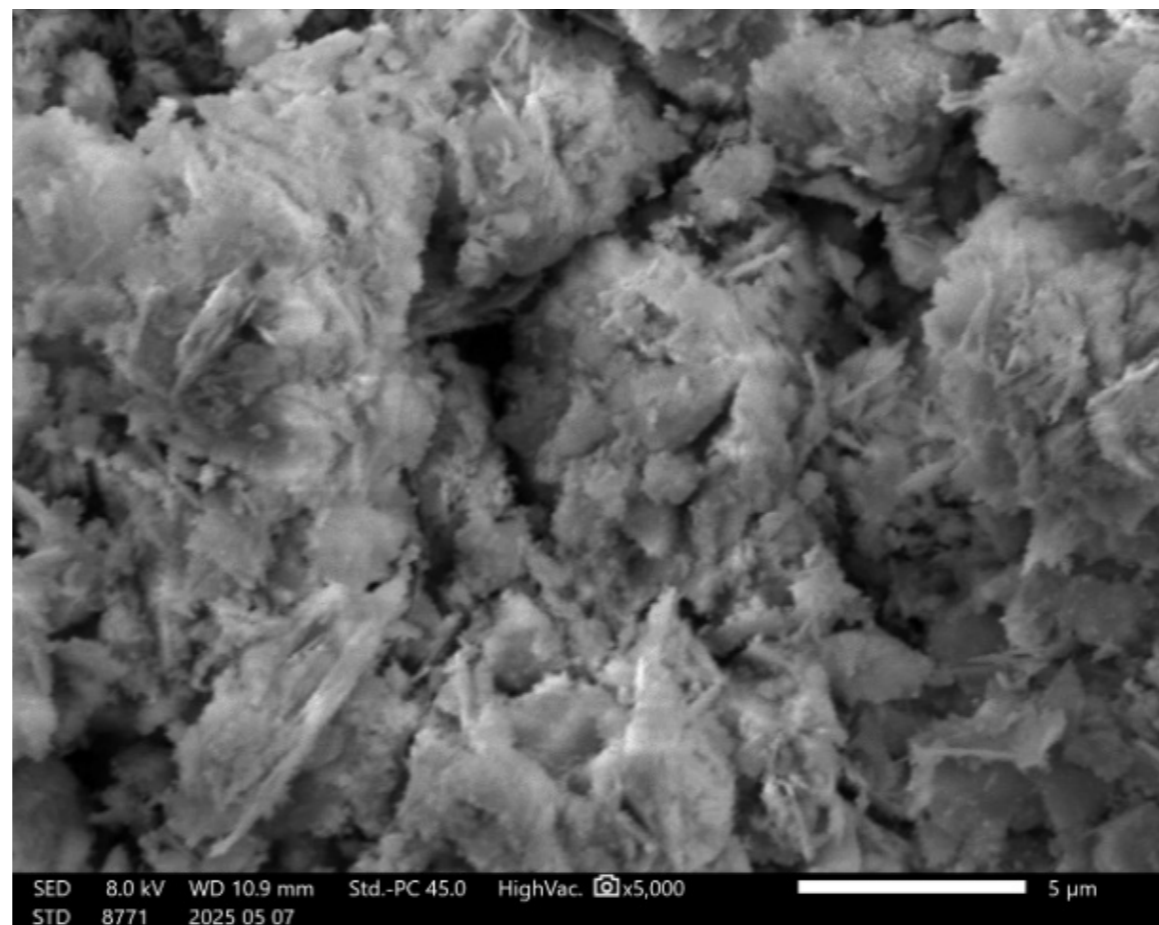
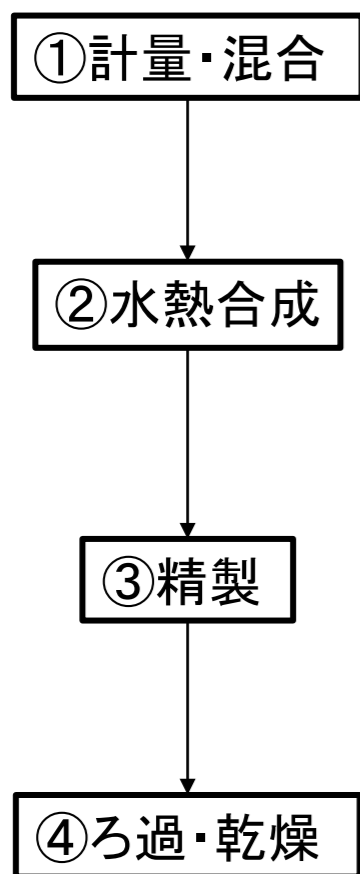
【Ni系LDH】

充放電反応時にNiを含むホスト層の価数が変化し
層間アニオン数が変わり、充放電を行う。
層間アニオンの出入りだけで充放電するため、
高速応答が可能で、安定性も高くできる。

- 電解液量設計が容易
- 高粘度電解液に対応可能
- 構造制約が少ない

合成したNi系LDH

【水熱合成の作業フロー】



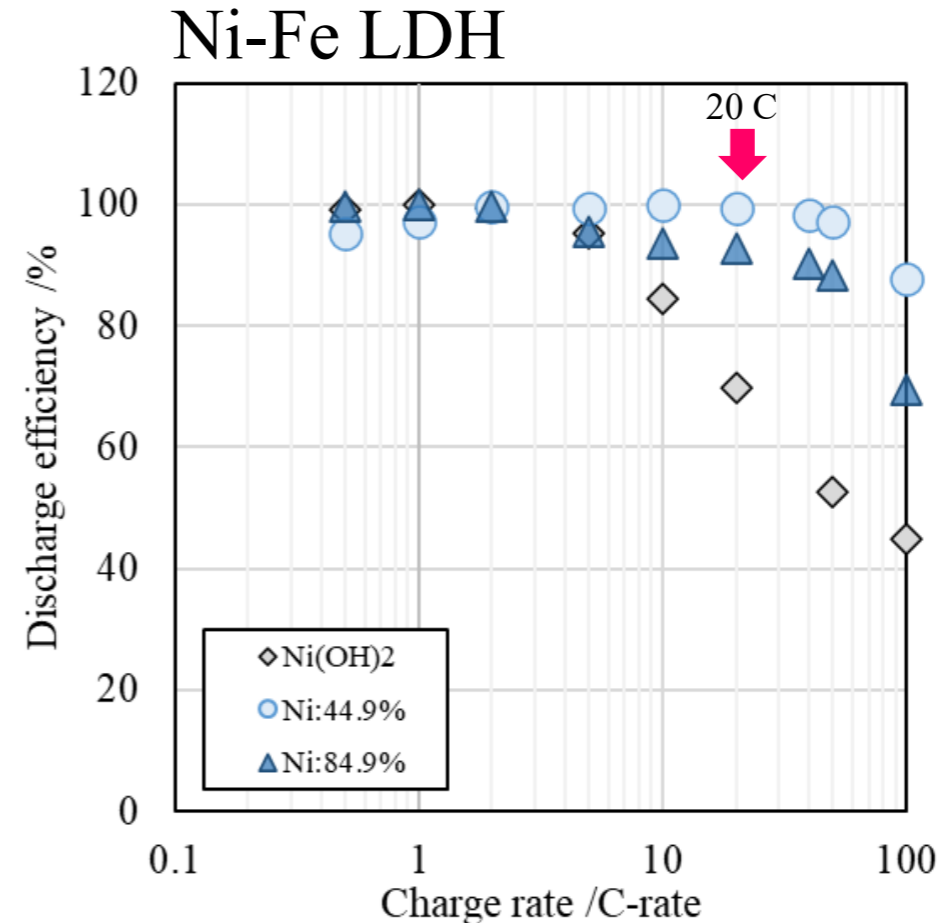
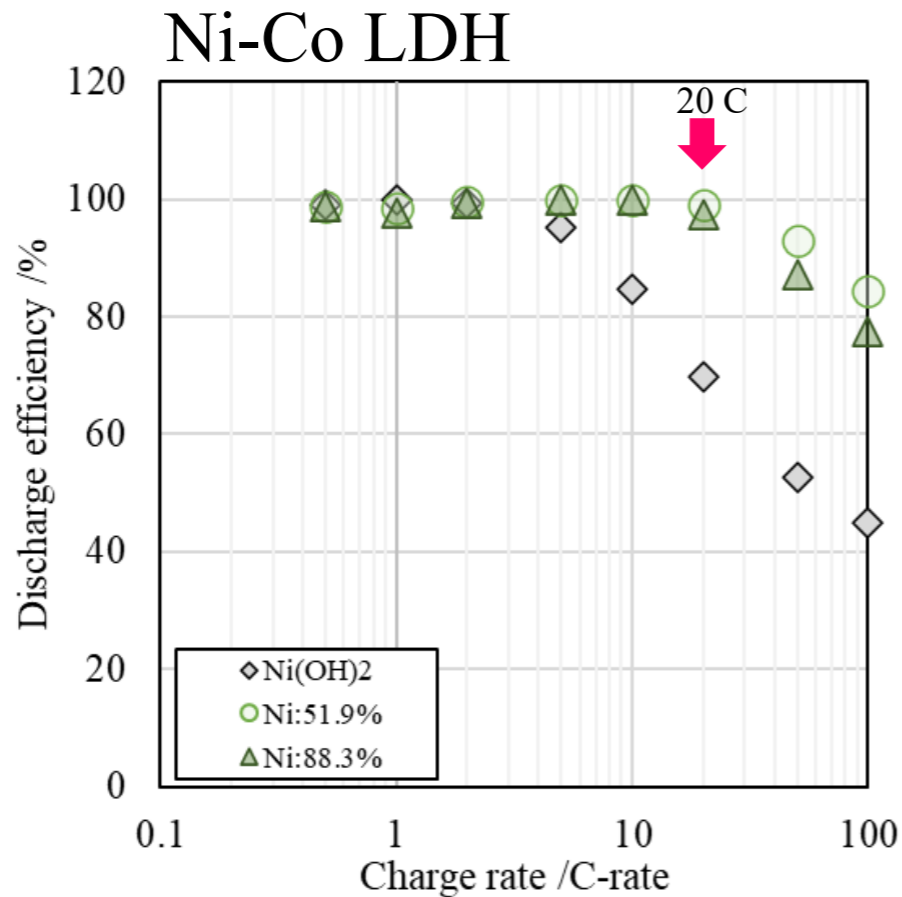
2~3μm程度の薄片状の結晶

Ni-Co LDHの外観



※粉末の色は含有元素
によって変わります

既存水系正極では困難な急速充電特性

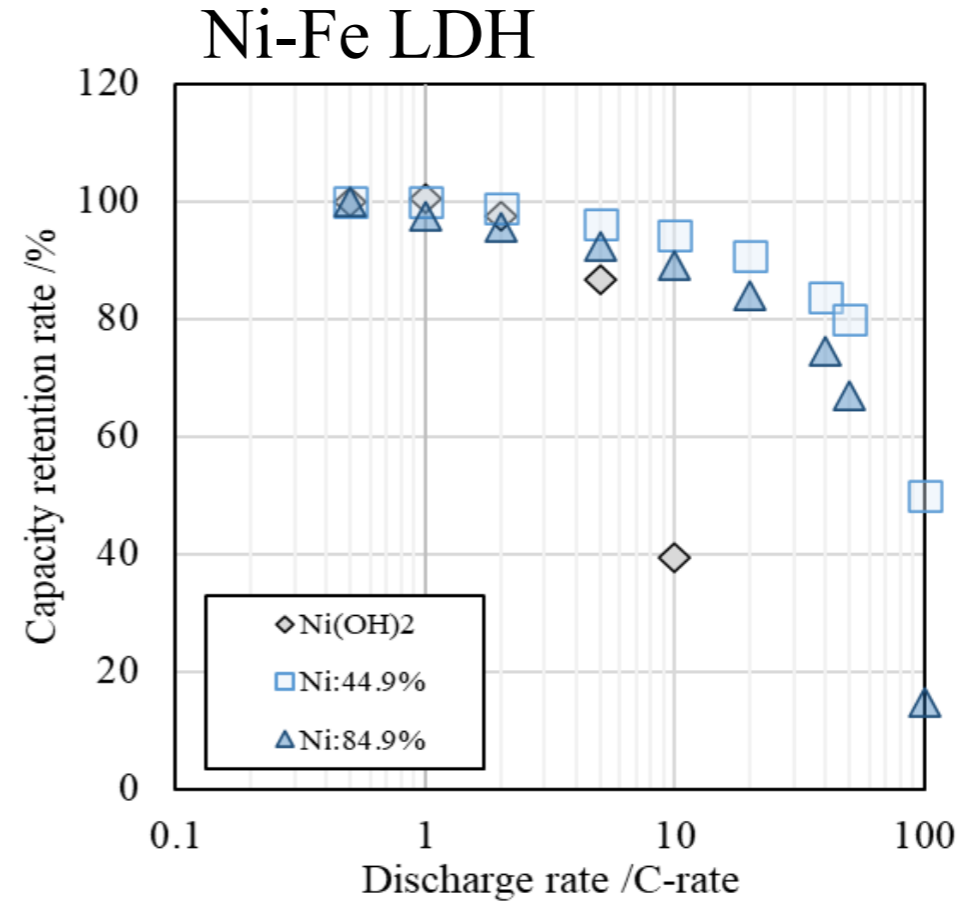
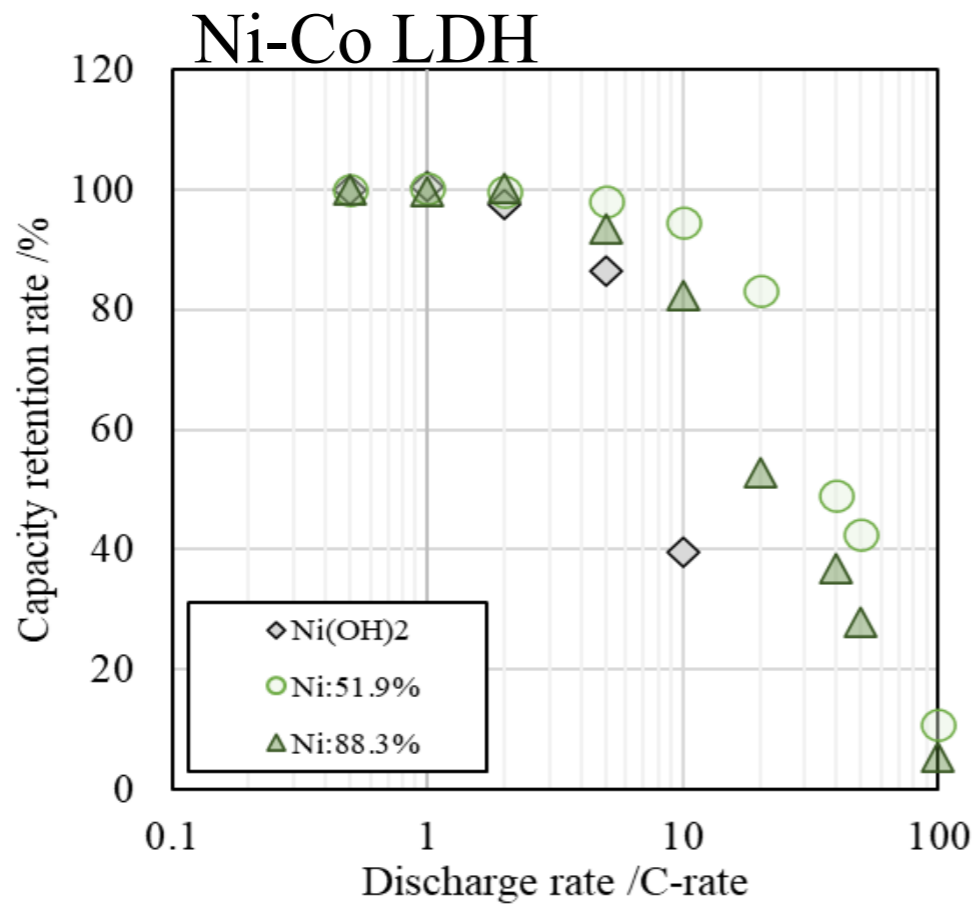


従来品と比べて10倍以上の急速充電が可能

(1C:1時間かけて充電するレート ⇒ 20C:3分で満充電可能)

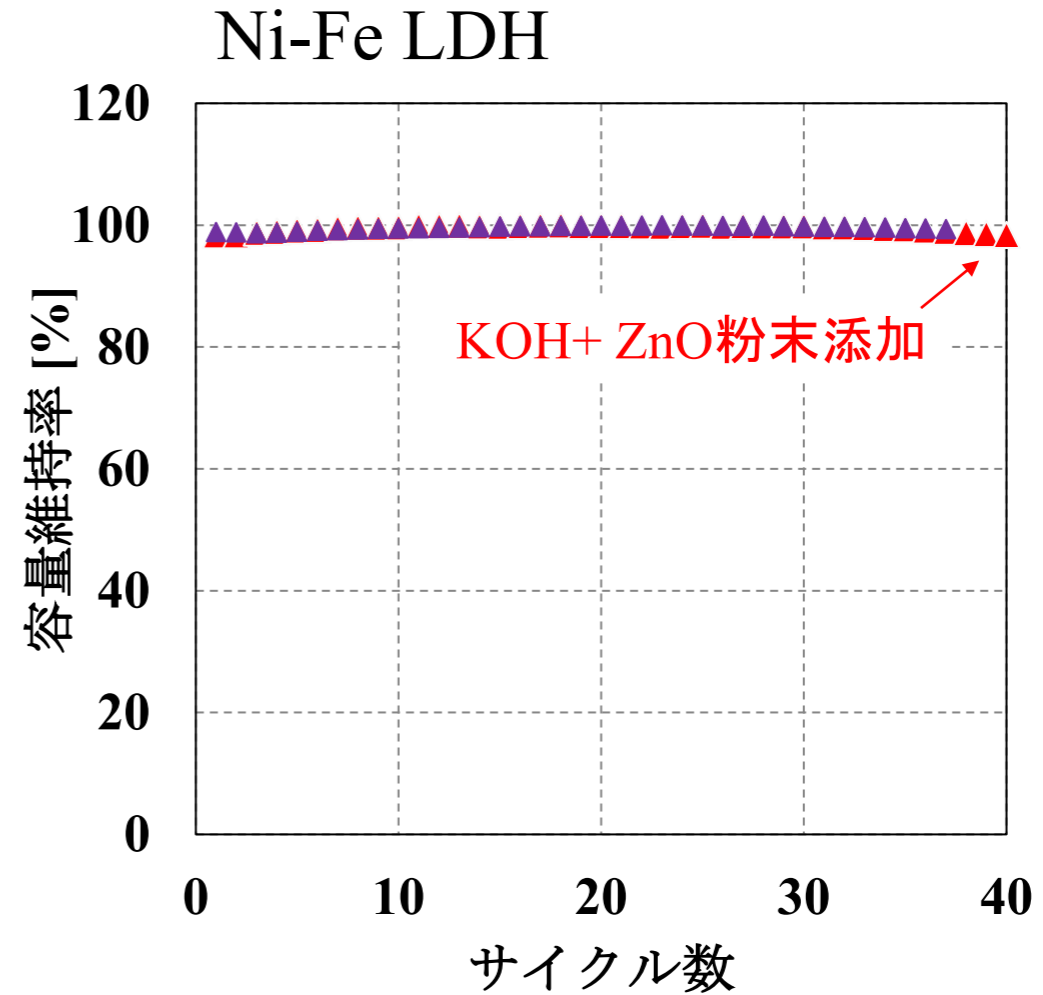
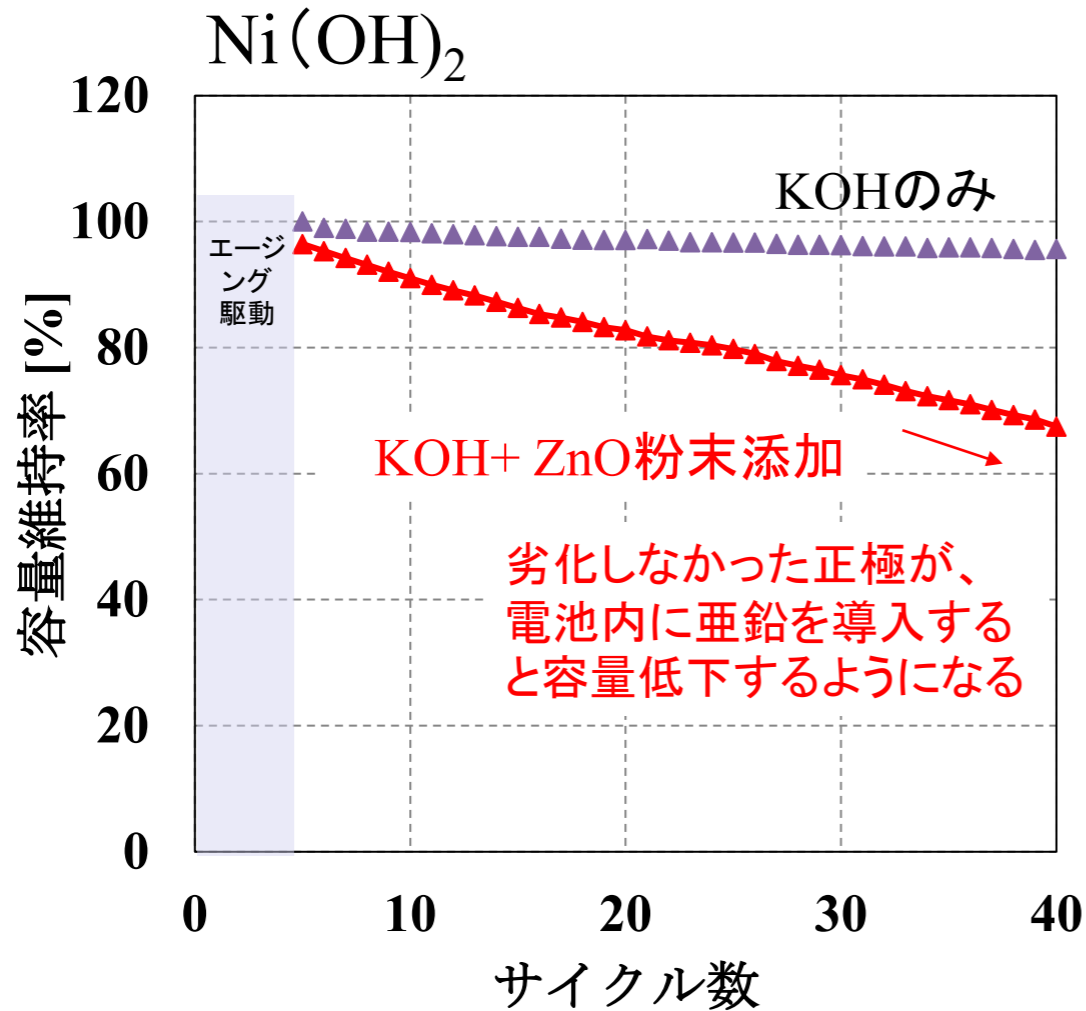
回生吸収・短時間充電用途に適合

高出力特性により電池設計自由度が向上



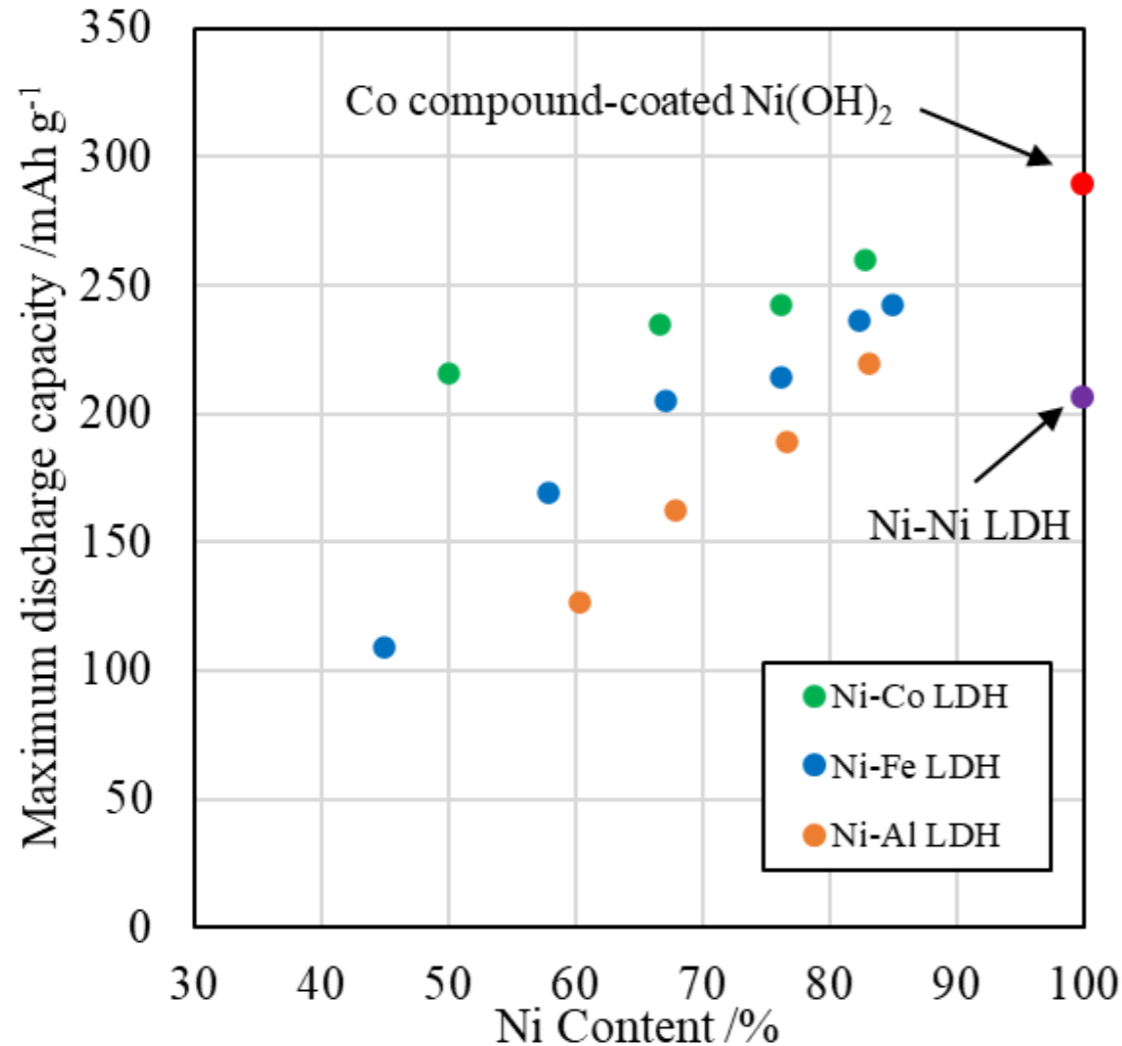
出力性能においてもNi系LDHは従来品を凌駕
反応機構のシンプルさが効果的に寄与していると示唆

亜鉛酸イオンへの耐性



短期的なサイクル試験においては、亜鉛存在下においても劣化が見られない
⇒ 水酸化ニッケルよりも亜鉛酸イオンへの耐性があると推測

容量ではなく“実用性能”で優位な正極材料



従来：水酸化ニッケル 289 mAh/g

新技術：Ni系LDH ~250 mAh/g 程度

容量：△(やや低い)

入力性能：◎(10倍)

出力性能：◎(2倍～)

環境耐性：◎

反応安定性：◎

新技術に関する性能まとめ

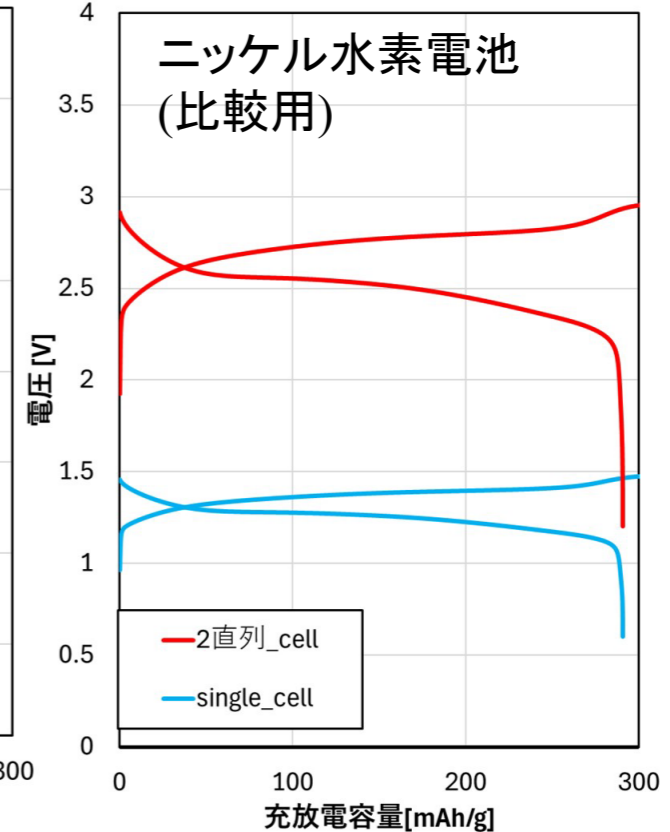
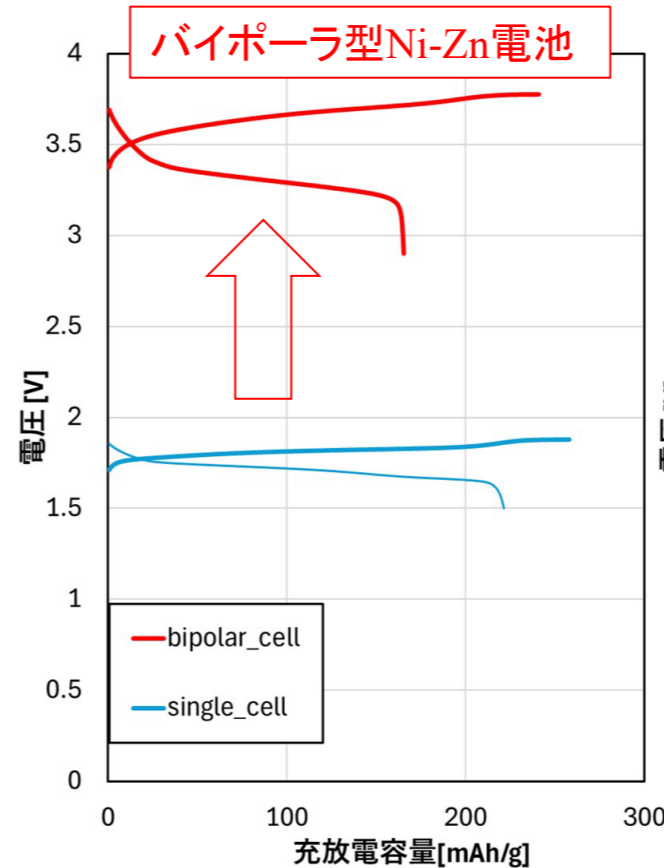
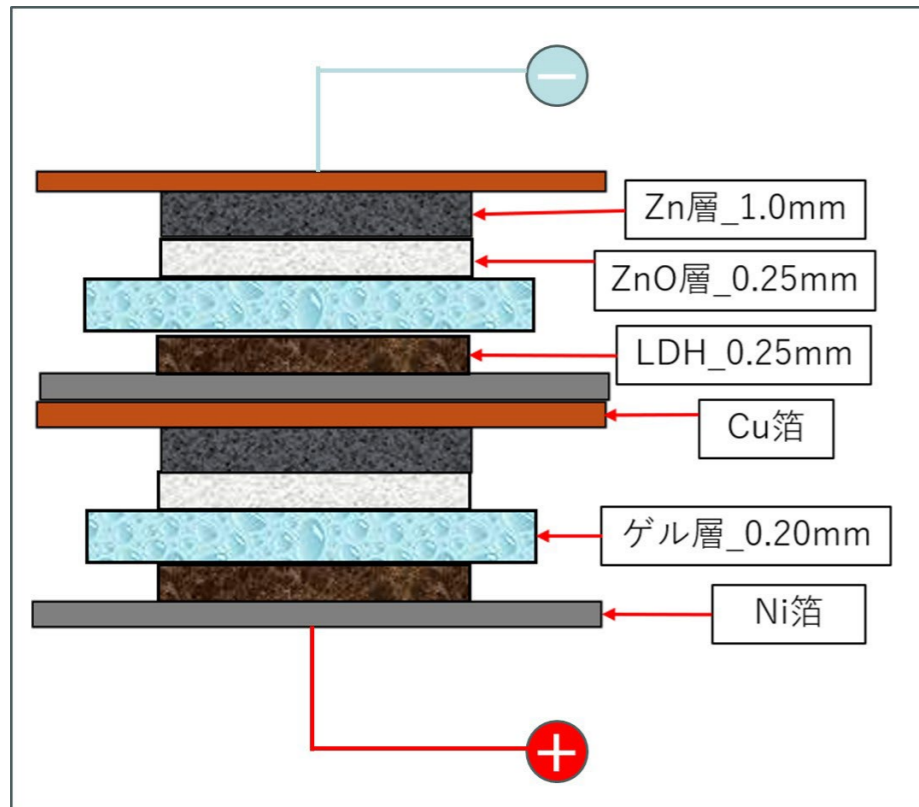
	Ni(OH) ₂	Ni-Co LDH		Ni-Fe LDH		Ni-Al LDH	
	従来品	新技術(Ni系LDH ※元素の選択により特徴が変わる)					
	/	Ni:51.9%	Ni:88.3%	Ni:44.9%	Ni:84.9%	Ni:60.4%	Ni:83.2%
Capacity (mAh g ⁻¹)	289	216	260	109	242	126	220
Input	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
Output	○	◎	◎	◎	◎	◎	○
The necessity of oxygen absorption	Necessary	Not necessary	Not necessary	Necessary	Necessary	Necessary	Necessary

さらなる活用方法の検討

本材料は“既存電池の置き換え”と“新構造電池”の両方に対応可能

バイポーラ型ニッケル亜鉛電池への展開

⇒ 水酸化ニッケルと異なり、反応による電解液の増減がないことから、電解液の高粘度化に対応できると推測し、現在開発中



想定される用途

- Ni-Zn電池用正極活物質
 - ※ 亜鉛酸イオンによる劣化が少なく、亜鉛負極電池向けとして展開可能
 - 鉛蓄電池の代替としての蓄電池
 - ✓ バックアップ電源用
 - ✓ フォークリフト・小型車両向け
 - ✓ 電気自動車用補機バッテリー
 - ✓ 途上国向けオフグリッド電源用バッテリー など
- Ni-MH電池用正極活物質
 - ハイブリッド自動車用バッテリー
 - ※ 高入力性能を活かした回生エネルギーの吸収

実用化に向けた課題

- 量産化技術
 - Labでの試作は1バッチ数 g が限界であり、電池としての性能を議論するためには、試作用サンプルにも対応ができない。
- 電池性能としての実証試験の拡充
 - Labでの小さな電池でしか試験されていないため、実用レベルの電池でどのような課題が発生するかはまだ未評価。

社会実装への道筋

- 量産化技術
 - 「ZUKU.tec合同会社」の設立
諏訪地域の企業(大和電機工業株式会社)と連携し、電池メーカーで試験できるだけの試作を実施し、サンプルワークを進めている。
※但し、現行ではあくまで試作品の有償販売に留まっており、量産技術開発については、資金調達でき次第検討を開始する

ZUKU.tec

諏訪圏の企業と公立大学がタッグを組み、新産業創出に挑戦するために、新会社 ZUKU.tec合同会社 を創設しました。

大学で考案された新材料の製造を地元企業が担い、新しいビジネスに向けて一緒に歩みます。

社会実装への道筋

本技術は、大学・スタートアップ・企業がそれぞれの強みを持ち寄ることで社会実装を目指す。

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ・Ni系LDHが正極活物質として利用なことを実証 ⇒新規出願&論文発表 	
現在	<ul style="list-style-type: none"> ・「ZUKU.tec合同会社」設立。 電池メーカー等へサンプルワーク開始 	
1年後	<ul style="list-style-type: none"> ・1バッチ150gから数kgレベルへのスケールアップ 電池メーカーにおいて、Lab用セルから実用電池へ展開 ・長期耐久性試験の実施と課題抽出 ・「ZUKU.tec合同会社」製の電池試作&オフグリッド電源製作 	Go tech事業へ応募し、資金獲得
3年後	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久性試験等に対する課題対応 ・電池メーカーでの実用電池での性能実証及び用途開発 ・災害対応及び途上国向けオフグリッド電源の実地試験 	
5～10年後	<ul style="list-style-type: none"> ・Ni系LDHの事業化 ・オフグリッド電源システムの事業化 	

企業に期待する役割

本技術の位置づけ

- 本技術は **電池完成品の開発ではなく「正極材料技術」**
 - ✓ 高エネルギー密度型 (Li-ion) とは競合しない
 - ✓ 高安全・高入力・水系という別軸の価値を提供

大学・発明者側の役割

- LDH組成・反応機構設計
- 材料設計指針の提供
- Labスケールでの性能実証
- 知財の保有・管理

① 材料・プロセス系企業様

- 【初期】既存設備での合成可否評価
- 【中期】連続合成・スケールアップ検討
- 【後期】コスト・品質の最適化

② 電池・部材系企業様

- 【初期】小型セルでの適合性評価
- 【中期】用途別セル設計
- 【後期】信頼性・寿命評価

③ 新規事業探索企業様

- 【初期】用途・市場仮説の検討
- 【中期】実証フィールドの選定
- 【後期】事業スキーム構築

本技術にご関心を持たれた企業様とは、
まずは少量試作・小型セル評価から共同検討を進めたいと考えています。

本技術に関する知的財産及び公開論文

- 発明の名称：正極前駆体、正極及びアルカリ蓄電池
 - 出願番号：特願2024-174579
 - 出願人：公立大学法人公立諏訪東京理科大学
 - 発明者：小川 賢
-
- Hikaru SUGIHARA and Satoshi OGAWA, *Electrochemistry*, 93(7), 073001 (2025)
Charge and Discharge Properties of a Ni-Co-based Layered Double Hydroxide Positive Electrode for Aqueous Zinc Batteries.
[<https://doi.org/10.5796/electrochemistry.25-71057>]
 - Katsuya Hatakeyama† and Satoshi Ogawa, *Japanese Journal of Applied Physics* 64, 10SP03 (2025)
Electrochemical activation of Ni-based layered double hydroxides via host layer oxidation-induced conductivity enhancement.
[DOI 10.35848/1347-4065/ae07ed]

お問い合わせ先

公立諏訪東京理科大学
産学連携センター

TEL : 0266-73-1345

e-mail : sangaku@admin.sus.ac.jp