

電池構造設計により 熱起電力が向上した熱電池の開発

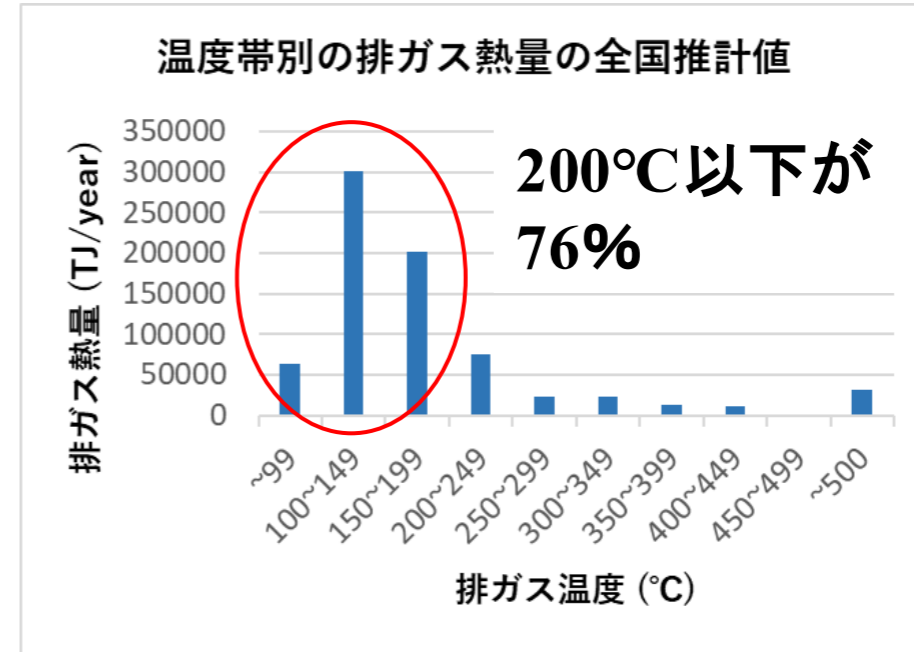
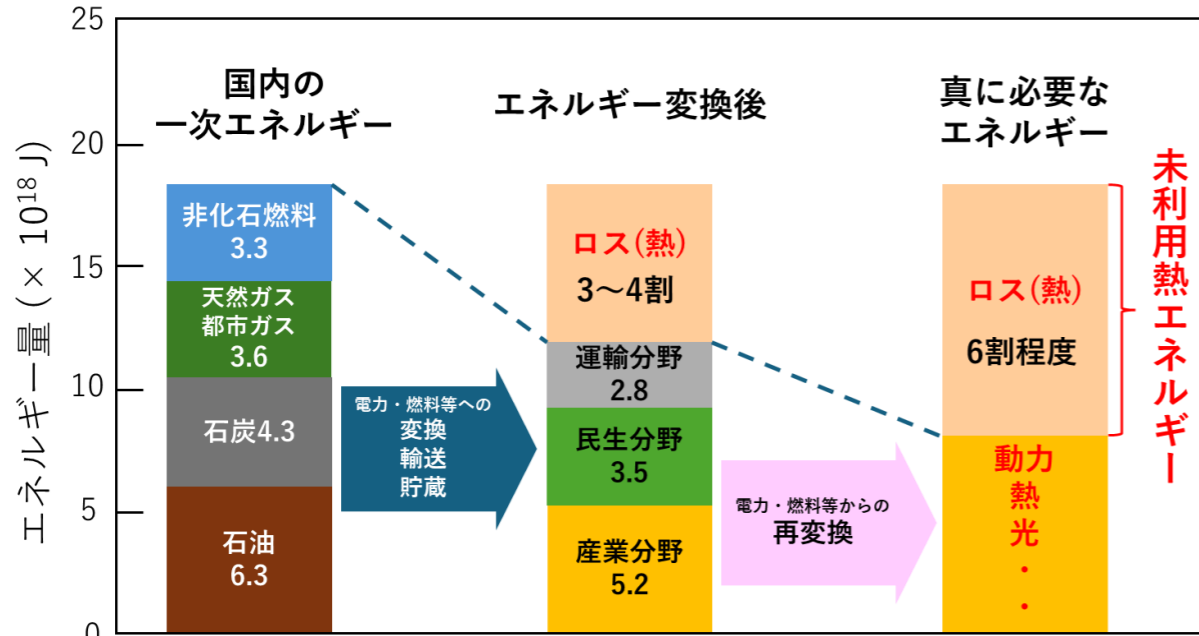
東京海洋大学 学術研究院

海洋電子機械工学部門

助教 柴田 恭幸

2026年2月17日

低温熱利用の重要性



国内の一次エネルギーは最終的に6割程度が「**未利用熱エネルギー**」として排出されている。

未利用熱エネルギーのうち、200°C以下の「**低温熱エネルギー**」を有効活用することが、持続可能社会の鍵と考えられている。

熱電池(三次電池)のコンセプト

三次電池のコンセプト

||

二次電池 × 熱電変換

室温付近の低温熱エネルギーを活用したエネルギーハーベストデバイス



素子の温度変化で充電

低温熱エネルギーの温度変化がエネルギー源に

素子の仕様

- ① 電池を温めたり、冷やしたりすることで充電される。
(素子内の温度差不要)
- ② 何度でも放電可能
- ③ 既存二次電池との互換性が高い
- ④ 材料が安価・無害
- ⑤ 低コスト

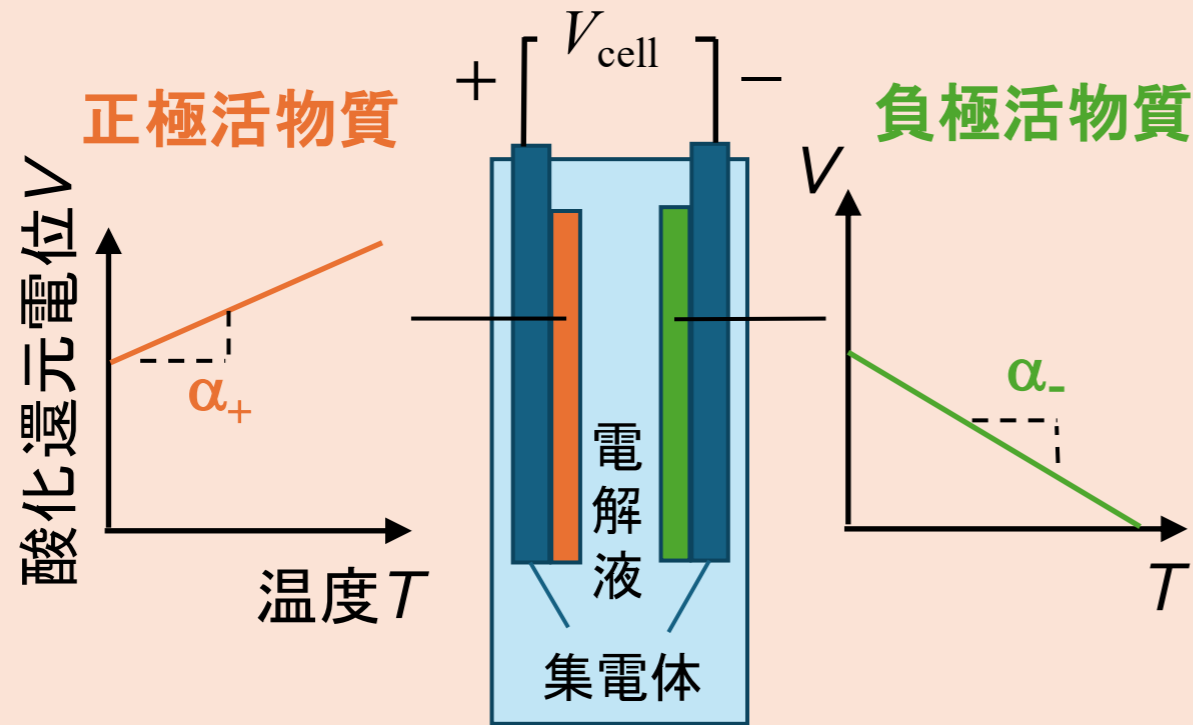
守友 浩、小林航、特許第6908256号「熱発電素子」、筑波大学、2021/7/5登録

守友 浩、柴田恭幸、特許第7526483号「熱電池」、筑波大学、2024/7/24登録

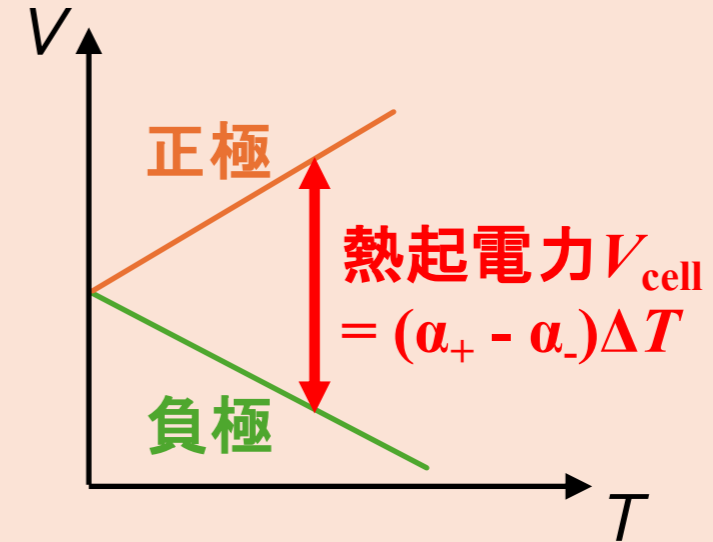
三次電池の発電原理

酸化還元電位の温度係数 α の差を利用して熱的に充電

デバイス模式図

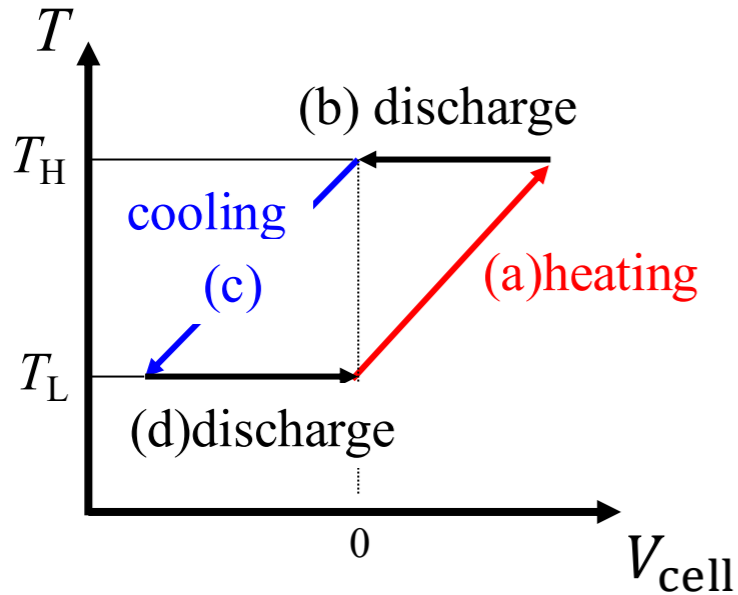


温度変化で
熱起電力が発生



三次電池の動作例

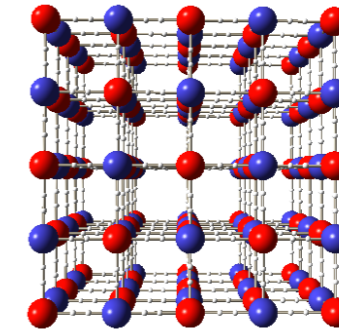
熱サイクルの模式図



- (a) **heating**: 起電力発生(充電)
- (b) discharge: 放電(電力取り出し)
- (c) **cooling**: 起電力発生(充電)
- (d) discharge: 放電(電力取り出し)

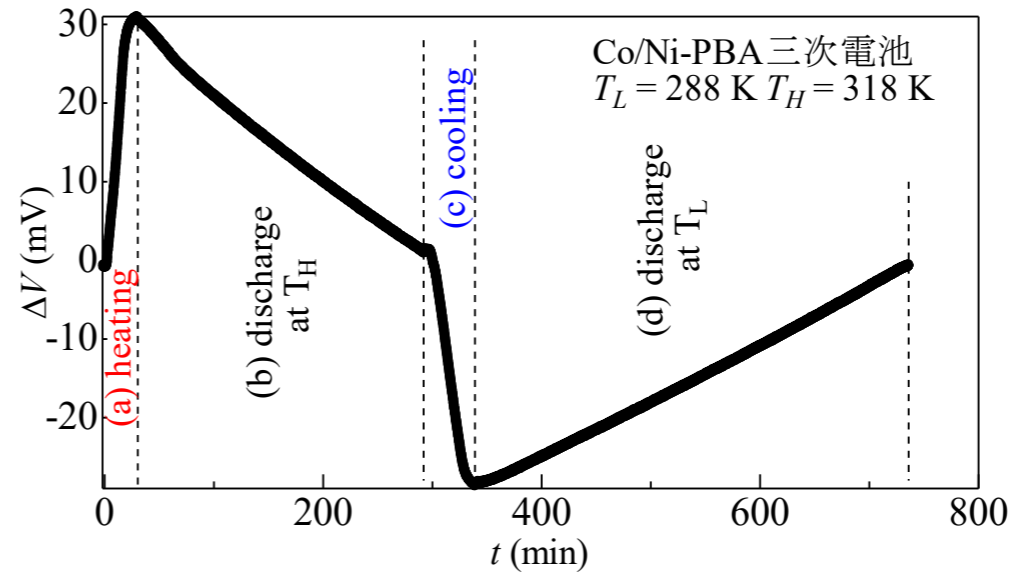
正極: Co-PBA
($\alpha = +0.57$ mV/K)
負極: Ni-PBA
($\alpha = -0.42$ mV/K)

Y.Moritomo et al., JPSJ 90,
063801 (2021)



プルシャンブルー類似体(PBA)

Co-PBA/Ni-PBA三次電池



- 水系電解液で動作
- 良好な熱サイクル特性
- **約1 mV/K**の大きな熱起電力

従来技術とその問題点

既存の三次電池(熱電池)は、

- 約1 mV/Kの熱起電力を有する
- 室温付近の温度変化を活用可能

等の特徴を持つが、

- 構成要素の一つである電解液の特性を活用することができていない

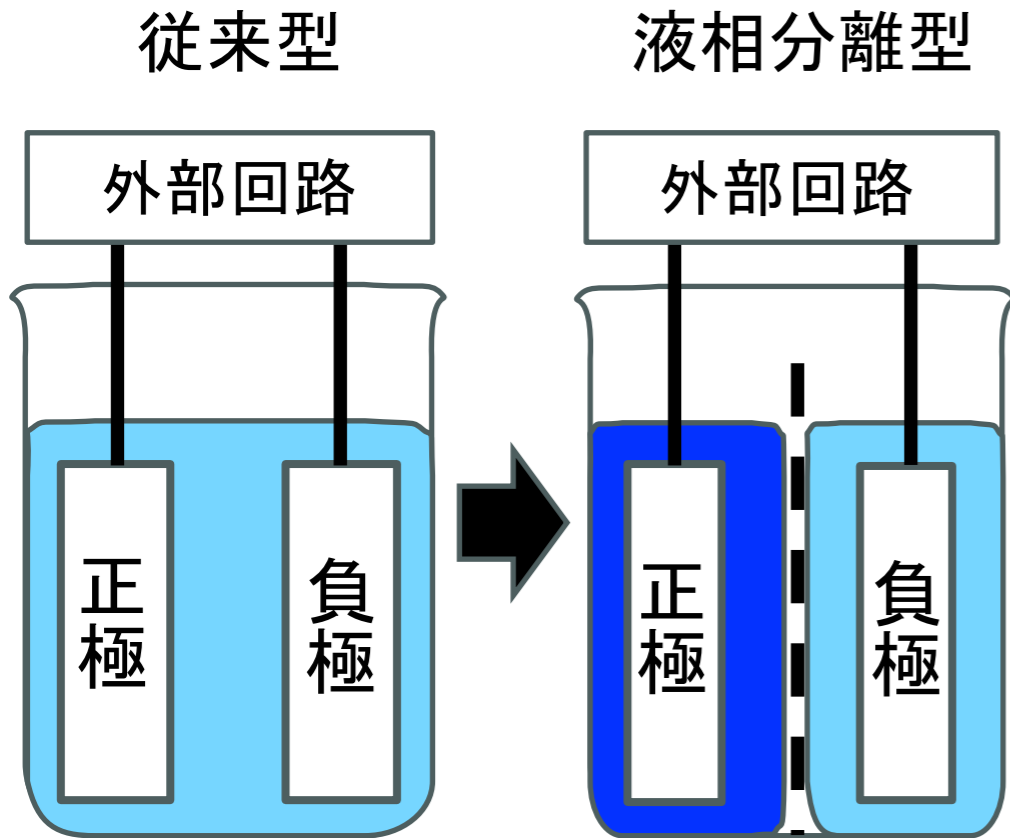
という問題があり、更なる開発要素を要する。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術では、電解液の要素を活用できなかったが、本技術により活用可能とすることに成功した。
- 従来は正極、負極を同じ電解液に挿入した構造をとるため、電解液の要素を考慮することができなかったが、電解液の要素を活用することで、熱起電力が1.5~2倍まで向上できた。
- 本技術の適用により、三次電池(熱電池)を使用する場所の温度変化が小さくても、大きな起電力を得ることが可能となることが期待される。

液相分離型三次電池のコンセプト

酸化還元電位の温度係数 α の考え方



これまで評価されてきた α

$$\alpha = \alpha_{\text{活物質}} + \alpha_{\text{電解液}}$$

同じ電解液では、 $\alpha_{\text{電解液}}$ が共通なので相殺され、熱起電力として取り出せない。

$$\begin{aligned} V_{\text{cell}} &= (\alpha_+ - \alpha_-) \Delta T \\ &= \{(\alpha_{\text{活物質A}} + \alpha_{\text{電解液A}}) - (\alpha_{\text{活物質B}} + \alpha_{\text{電解液A}})\} \Delta T \end{aligned}$$

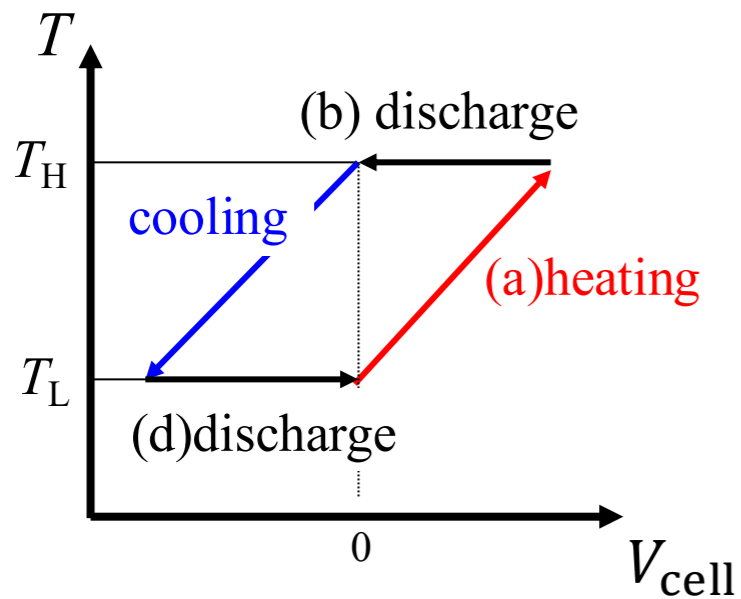
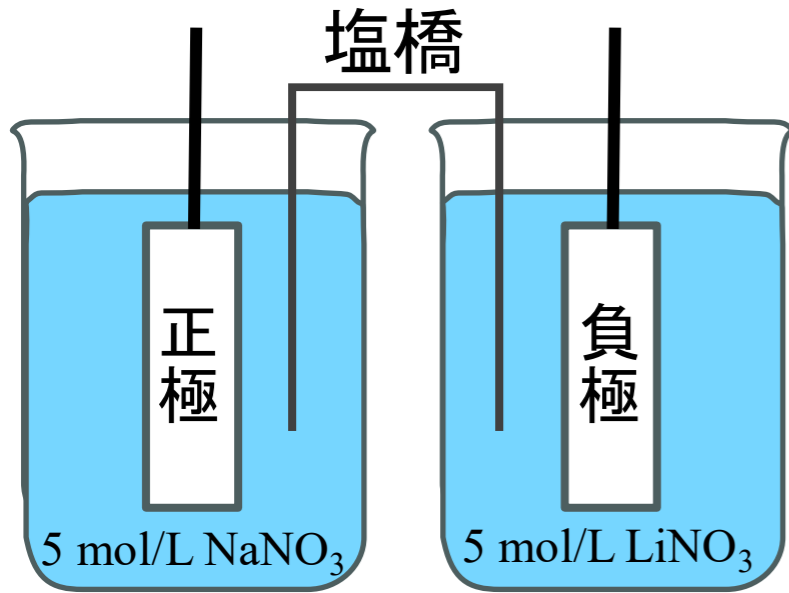
電解液を分離すると、

$$\begin{aligned} V_{\text{cell}} &= (\alpha_+ - \alpha_-) \Delta T \\ &= \{(\alpha_{\text{活物質A}} + \alpha_{\text{電解液A}}) - (\alpha_{\text{活物質B}} + \alpha_{\text{電解液B}})\} \Delta T \end{aligned}$$

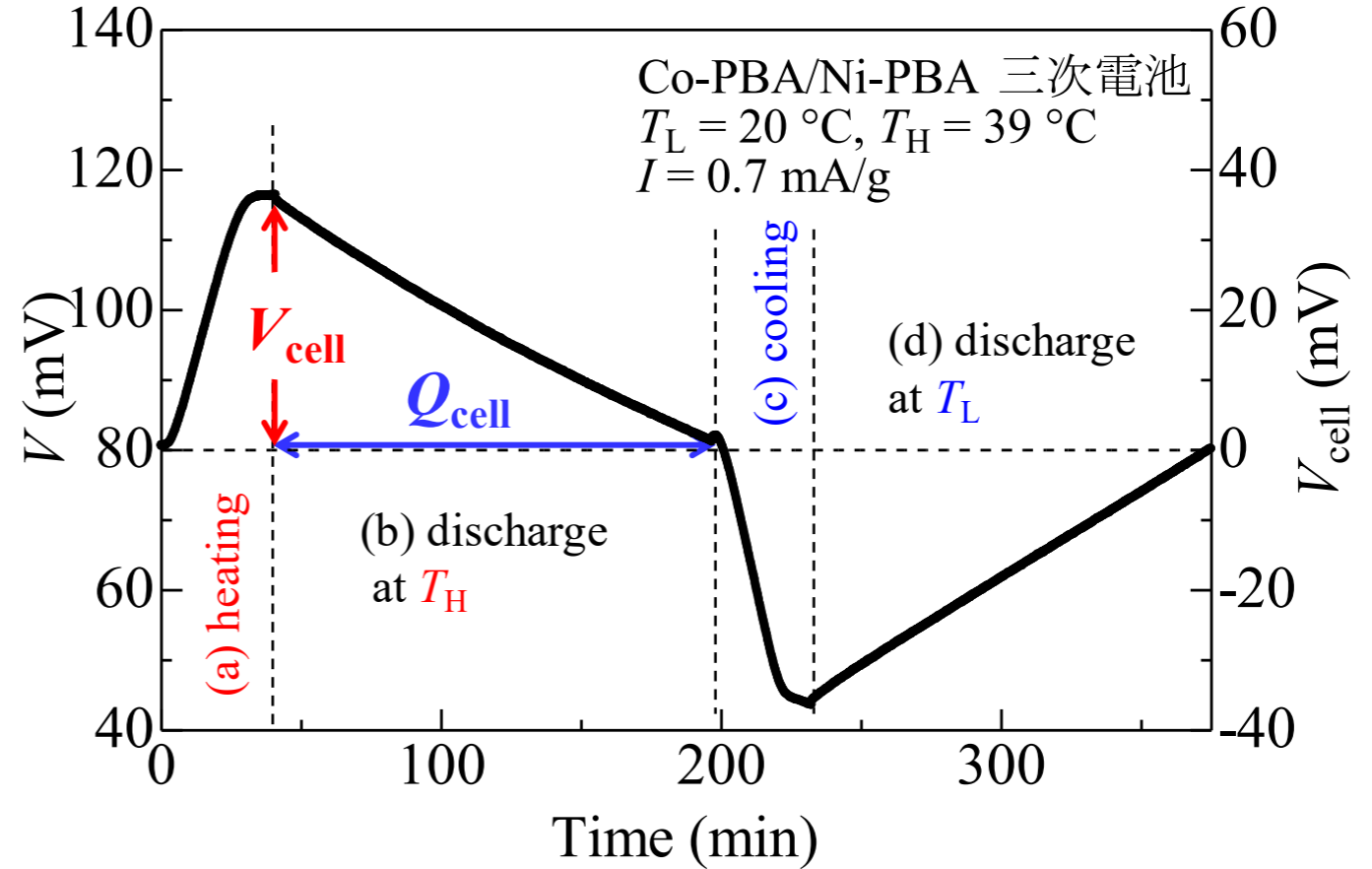
となり、電解液の要素を起電力として取り出せる。

液相分離型三次電池の動作例

測定セルの模式図



熱サイクル

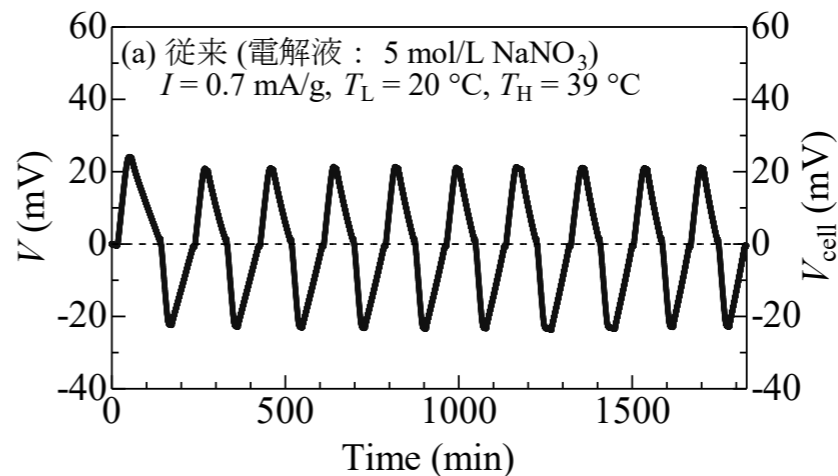
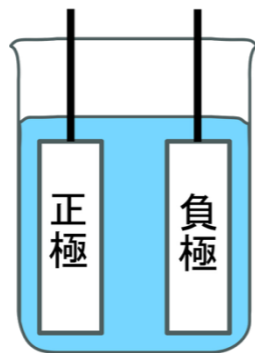


Co-PBA@5 mol/L NaNO₃ : $\alpha = 0.51\text{ mV/K}$
 Ni-PBA@5 mol/L LiNO₃ : $\alpha = -1.12\text{ mV/K}$

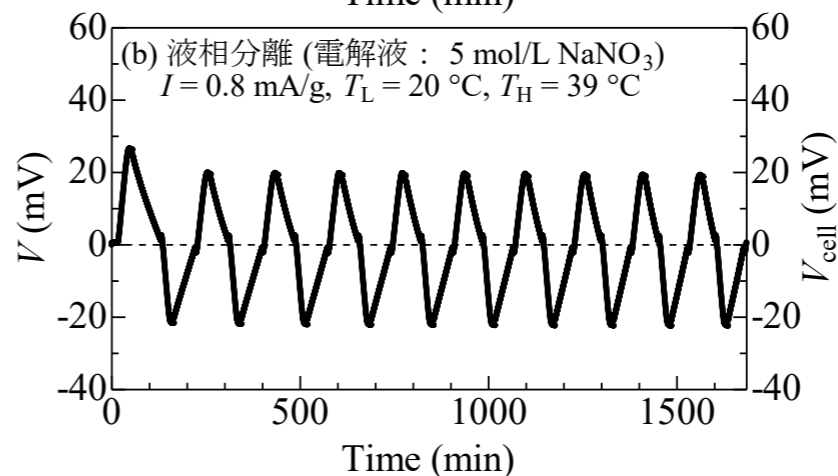
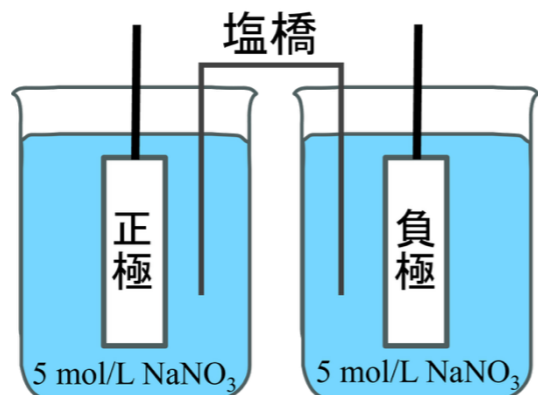
※重量は正負極の全活物質重量

熱サイクル特性

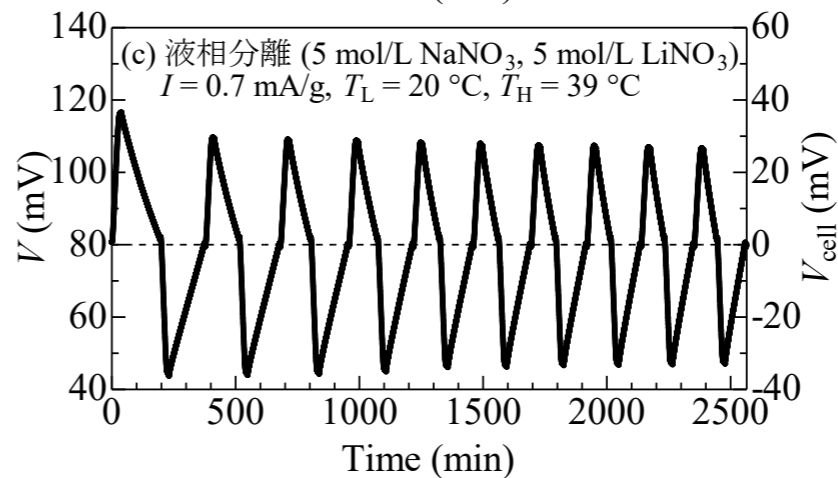
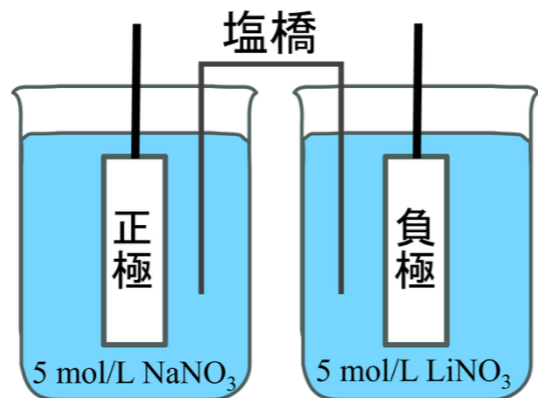
(a) 従来技術



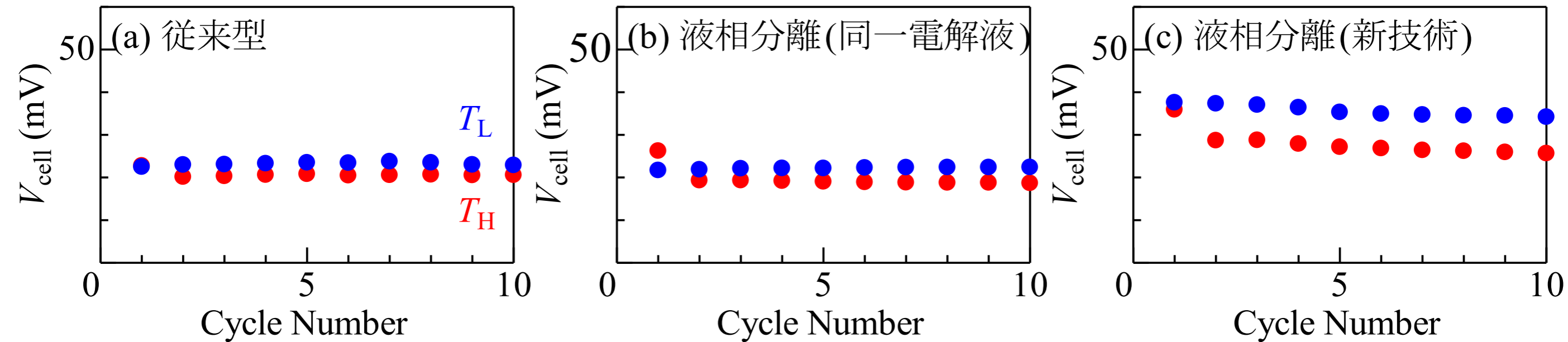
(b) 液相分離
同一電解液



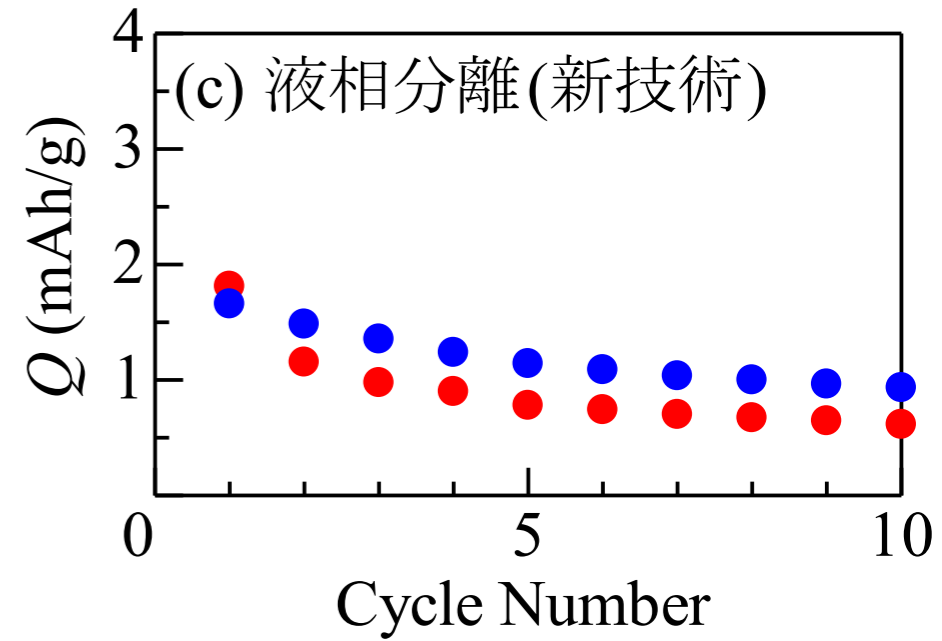
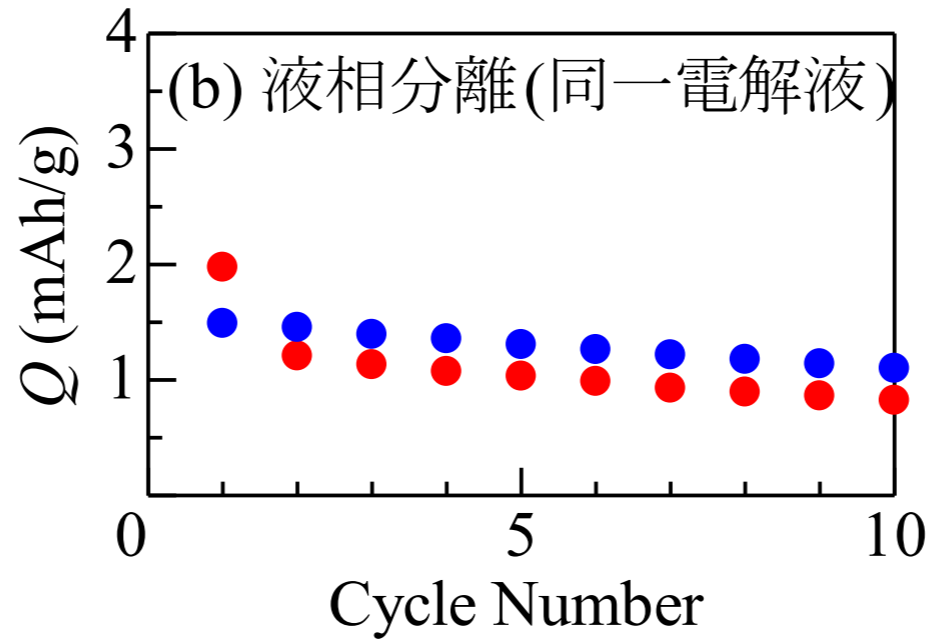
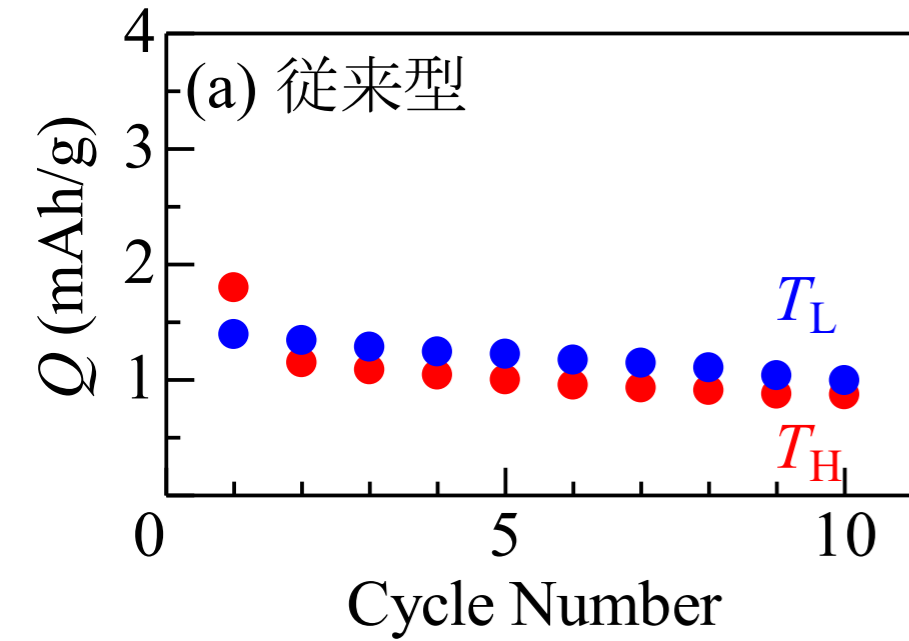
(c) 液相分離
異種電解液
新技術



熱起電力のサイクル特性



放電容量のサイクル特性



想定される用途

- 省電力で動作するシステム(センサー等)の電源
- 得られる起電力が向上するため、省電力デバイス用以外の電源への応用の可能性
- より温度変化が小さい環境での利用可能性

実用化に向けた課題

- 現在、電解液を分離することで、熱起電力を向上させる方法論まで開発済み。しかし、実デバイス化には塩橋ではない方法で動作させることが重要となる。
- また、放電容量の観点では、既存技術と同程度なため放電容量の改善も必要。
- 今後、イオン交換膜を用いたデバイスの最適化の実験を行うとともに、最適材料の選定を行っていく。
- 実用化に向けて、容量のサイクル特性の向上および、高温・低温での熱起電力を安定化させ技術を確立する必要もあり。

社会実装への道筋

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	・PBAを用いた三次電池(熱電池)の基礎原理の抽出が完了。	
現在	・熱起電力を向上させる方法論の確立に成功。	
1年後	・イオン交換膜を用いて電解液を分離した三次電池の動作実証 ・適用すべき電解液の種類検討	・デモンストレーション実施 ・JSTのA-STEP事業へ応募し研究資金獲得
2～3年後	・熱起電力、放電容量の安定の実現化手法の実現 ・PBA以外の材料探索も実施し、3~5mV/K程度の熱起電力を持つ三次電池の実現	デモ用デバイスの提供の実現
3～5年後	・本技術と全固体三次電池(2025/2/27新技術説明会で紹介した内容)を組み合わせた新しい熱電技術の確立	実環境における三次電池の動作実証を開始

企業への期待

- 本技術を用いたデバイス構造の最適化は、イオン交換膜を用いることで解決可能と考えている。
- イオン交換膜を開発している企業との共同研究を希望。
- また、エネルギーハーベストや低温排熱の有効利用を検討、省電力で動作するシステムのための新電源を検討している企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- 本技術に限らず、三次電池全般の市場展開の検討。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は低温排熱を効率よく電気エネルギーに変換可能な三次電池の得られる熱起電力を向上させる技術を提供できるため、持続可能な低炭素社会実現への貢献ができると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 三次電池導入にあたっての技術指導等。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 液相分離型三次電池
- 出願番号 : 特願2025-037994
- 出願人 : 東京海洋大学
- 発明者 : 柴田恭幸、大貫 等、
長井一郎、縄野 稜

産学連携の経歴

- 2023年-2025年 JST可能性検証[企業等連携]に採択
- 2022年-2025年 自動車関連企業との共同研究

お問い合わせ先

東京海洋大学 海の研究戦略マネジメント機構

T E L 03-5463-0859

e-mail mss-soudan@m.kaiyodai.ac.jp