

フッ化物全固体電池用固体電解質

三重大大学 大学院工学研究科 応用化学専攻
准教授 森 大輔

2026年7月16日

持続可能社会の実現に向けて

■電気自動車（EV）

EV CO₂排出量ーガソリン車の約1/4

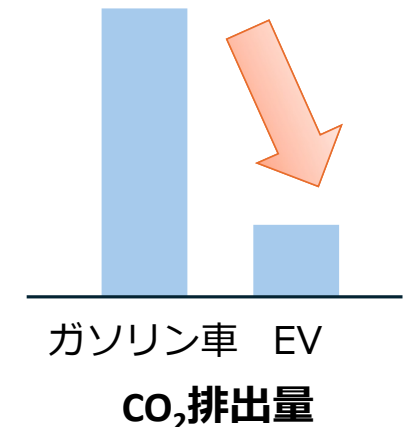
EVの全面的な普及 7-8%のCO₂削減効果

電力を化石燃料以外でまかなった場合

CO₂排出 事実上ゼロ

■スマートグリッド、スマートハウス

系統連携、出力変動の調整 停電時等の電力の確保

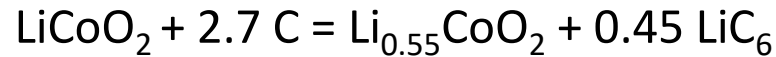


「蓄電池」などの技術開発と普及がカギ

リチウムイオン電池

Lithium-ion batteries

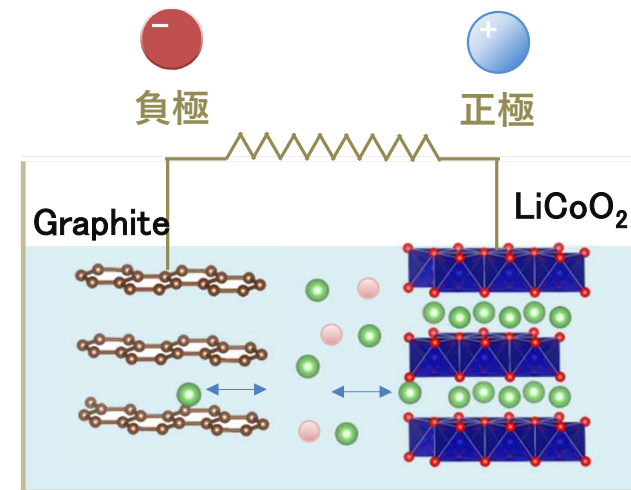
Anode : Graphite



Cathode : LiCoO_2

Theoretical energy density : 361 Wh / kg

優れたサイクル特性
高エネルギー密度
自己放電が小さい



自動車・定置用など大型用途への展開

車載用・大型化への課題

容量

約 150-250 Wh / kg
ガソリン車 500 Wh kg⁻¹

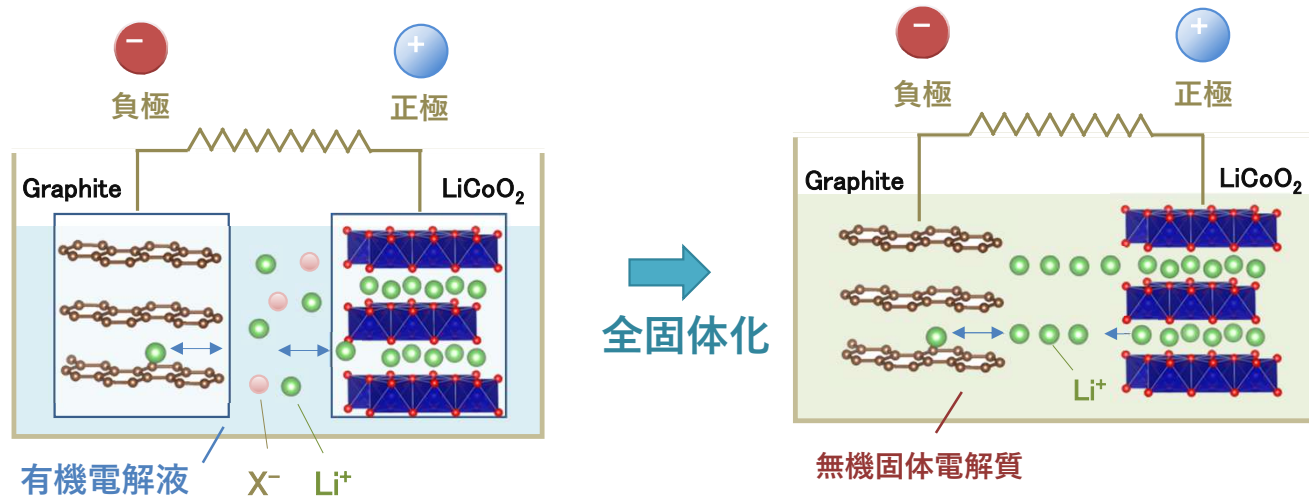
安全性
作動温度

発火・爆発等
低温・高温

高コスト
資源の偏在

リチウム・コバルト等
調達リスク

全固体電池



現行のLIBと全固体電池の模式図

有機電解液（炭酸エステル系）

液漏れ

低安全性（可燃性）

耐酸化性、耐還元性

作動温度範囲が狭い

無機固体電解質

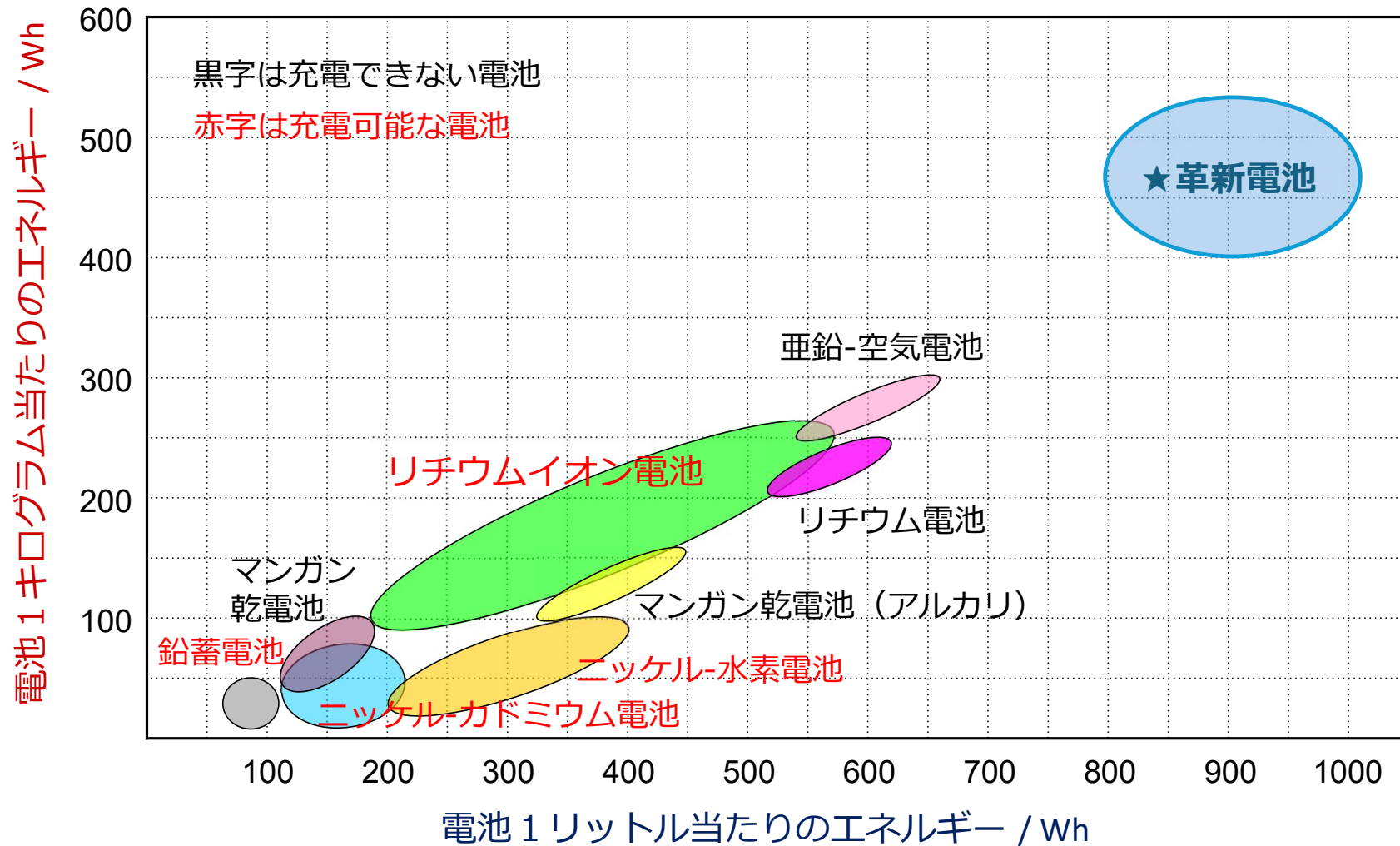
不燃性

電位窓が広い

輸率がほぼ1

作動温度範囲が広い

各電池のエネルギー密度



NEDOの二次電池技術開発ロードマップ 2013を基に作成

導電キャリアとしてのフッ化物イオン



原子番号 9
原子量 19.0

- 電気陰性度が最も大きい
- 酸化還元電位が最も貴である
- 非常に安定な一価イオン
- イオンサイズが比較的小さく軽い
- 安価で豊富（Li対比）

→ 導電キャリアとして優れている

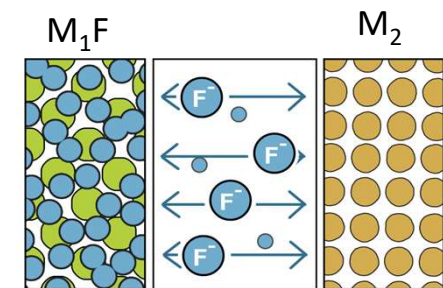
全固体フッ化物電池

- ・ 次世代電池の候補の一つ
- ・ 高エネルギー密度が期待
- ・ 高安全性

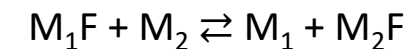
課題

作動温度が高い（150 °C）

固体電解質のイオン導電性向上が鍵



正極 電解質 負極

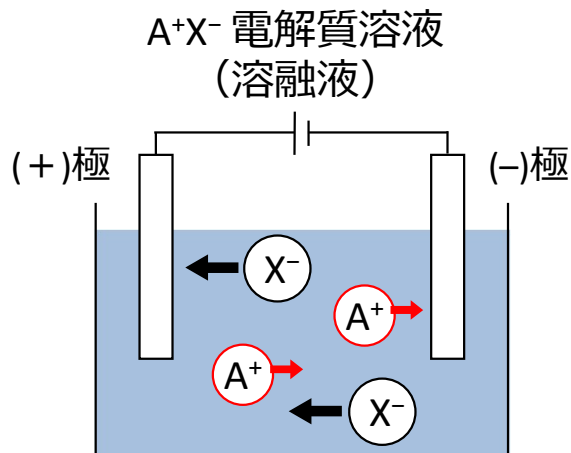


- フッ化物イオン F^-
- 金属イオン M_1
- 金属原子 M_2

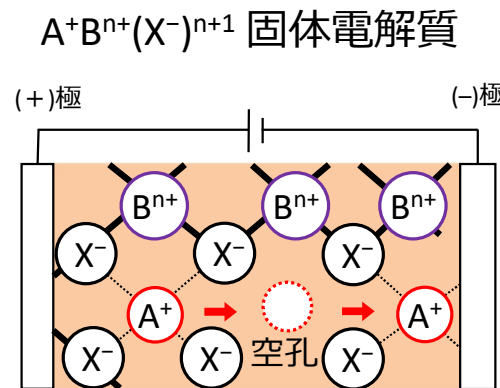
フッ化物電池の模式図

固体電解質 次世代電池開発のキーマテリアル

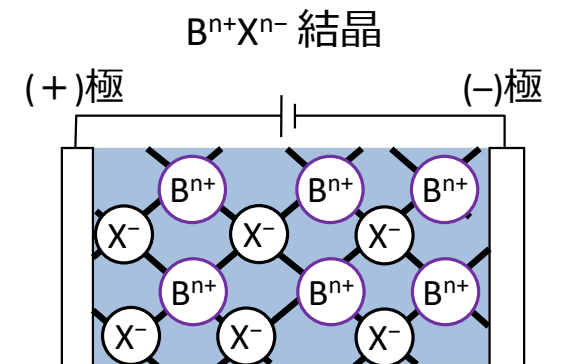
固体の内部を食塩水や熔融塩のようにイオンが動きやすい物質



A^+ 、 X^- が同時に可動



X^- に弱く結合した A^+ のみが可動

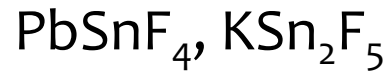


いずれのイオンも固定

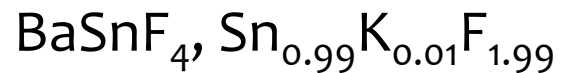
構造は保ち得ないがイオンは可動の電解質溶液と、
イオンが動けない結晶との中間的存在

代表的なフッ化物イオン導電体

■ Layered Fluorite



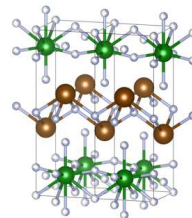
■ Fluorite



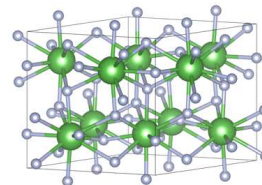
■ Tysonite



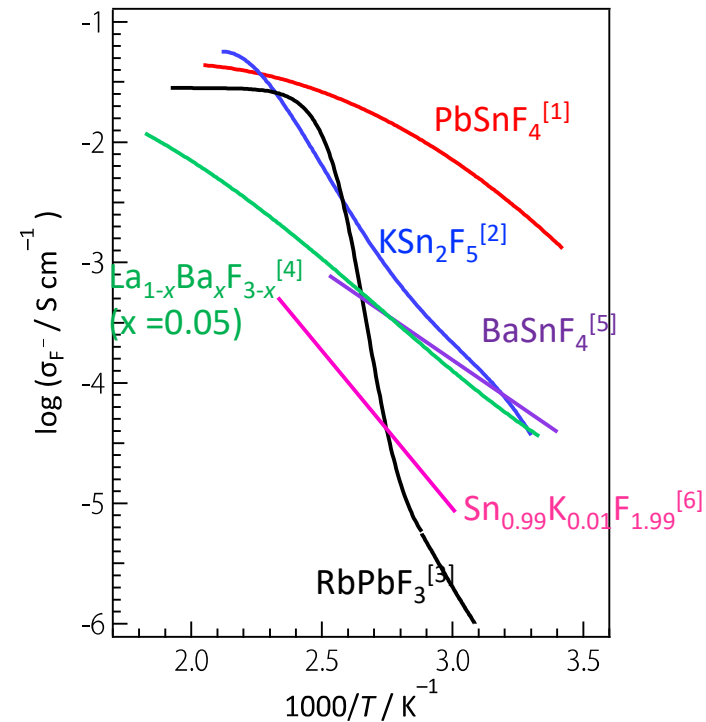
■ Perovskite



PbSnF_4



$\text{La}_{0.95}\text{Ba}_{0.05}\text{F}_{2.95}$



代表的なフッ化物イオン導電体の
イオン導電率

報告されているフッ化物イオン導電体
バリエーションが限られている

[1] N. I. Sorokin et al., *Inorg. Mater.* **37** (2001) 1178. [2] K. Yamada et al., *Solid State Ionics* **167** (2004) 301. [3] L. N. Parto et al., *Mater. Res. Bull.* **46** (2011) 723.
[4] L. N. Parto et al., *Mater. Res. Bull.* **47** (2012) 2492. [5] J. Chable et al., *J. Alloys Compd.* **629** (2017) 980. [6] Y. Yamane et al., *Solid State Ionics* **179** (2008) 605.

フッ化物イオン導電性の向上に向けて

一般の酸化物、フッ化物 アニオン骨格の形成
→ 大きな力チオンが構造を維持
例) 蛍石類似構造

配位多面体に沿ったイオン拡散
一次元稜共有から三次元構造へ

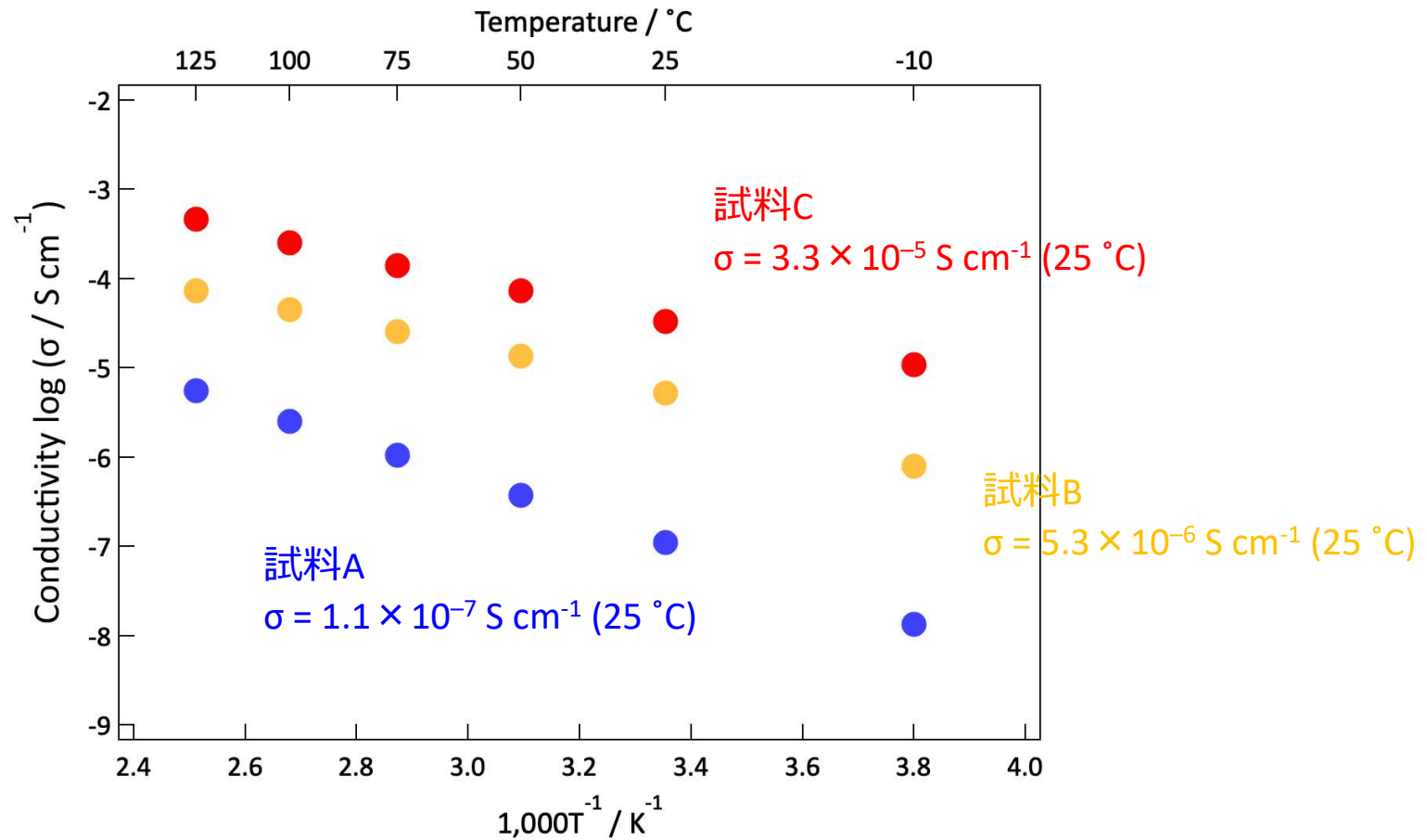
異価元素置換によるアニオン欠損、格子間イオンの導入
導電キャリアの増加
欠陥等の生成を許容しうる構造

材料合成

- 基本的な固相法をベースにした技術により合成が可能
- 300-400[°]Cの比較的低温で合成が可能
- 特殊な装置は不要 **量産化に有利**
- 合成に関する技術指導可能

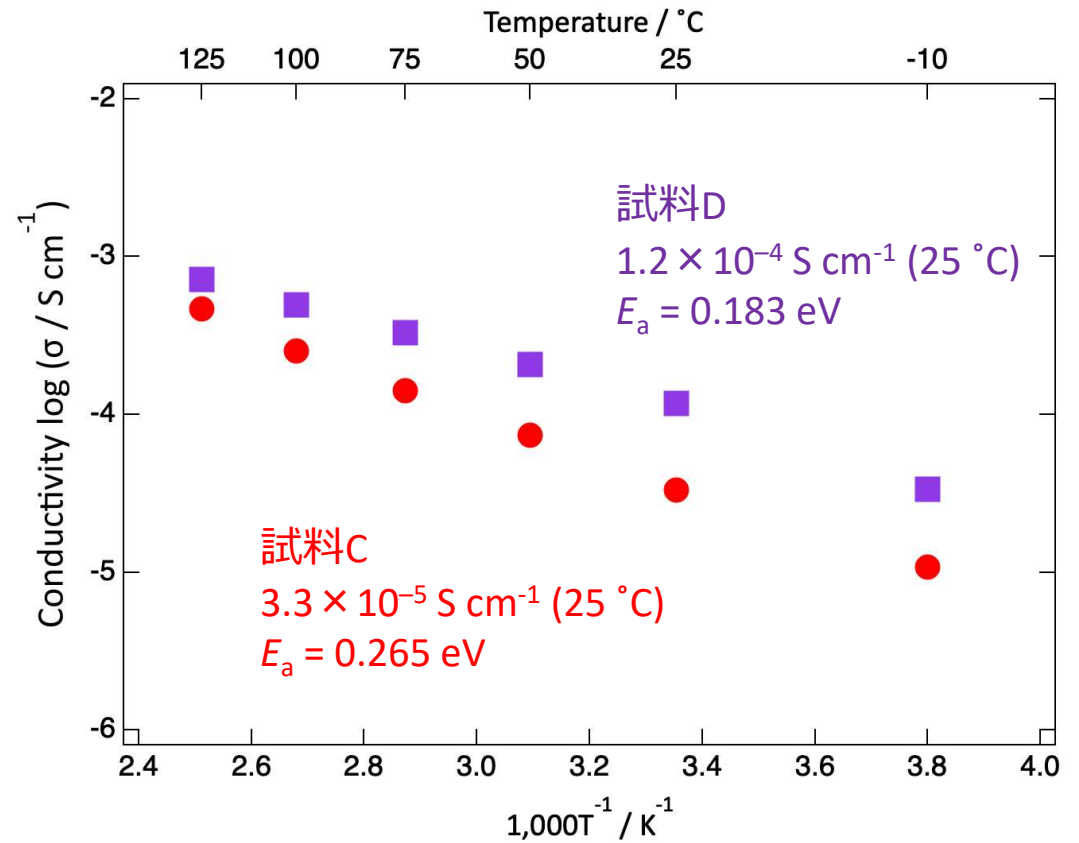
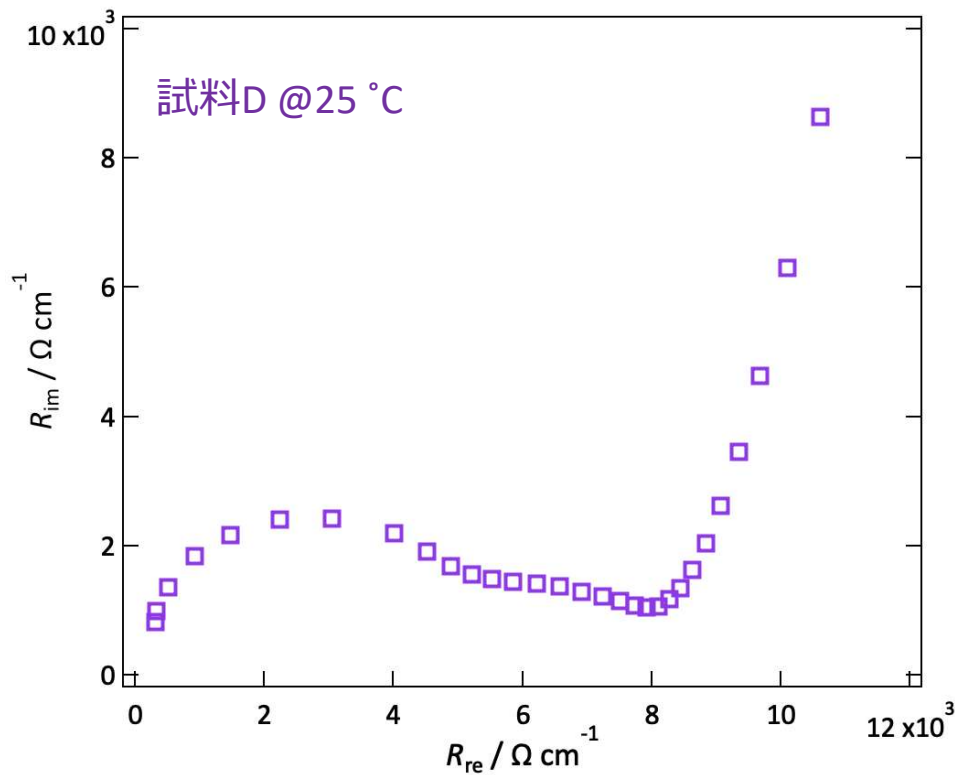
イオン導電性（全イオン導電率）

組成の検討 試料A-C

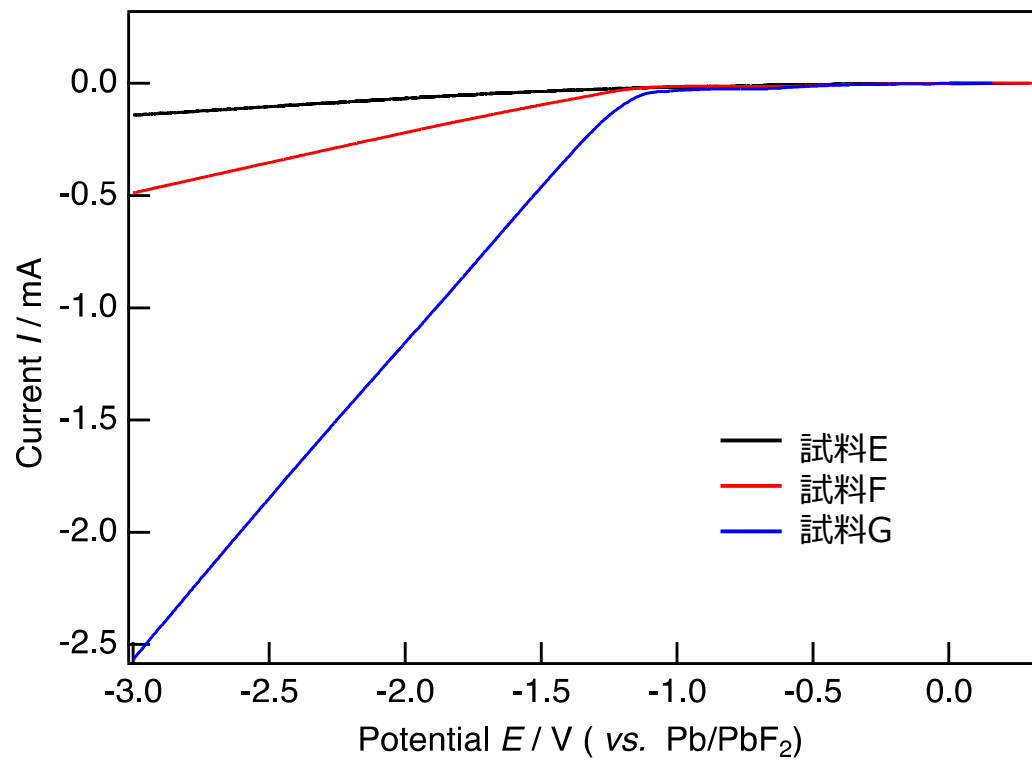


イオン導電性（全イオン導電率）

焼成条件の検討 試料D



電気化学安定性



還元電位は -1.08 V (vs Pb/PbF_2)

従来技術とその問題点

固体電解質の候補として、 PbSnF_4 が室温で $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ 以上の高いイオン導電率を示すことが知られているが、

電位窓が0.5 V程度

環境負荷が高い

等の問題があり、全固体電池用の固体電解質としての実用化には大きな障壁がある。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、耐還元性を1V程度向上させることに成功した。（ PbSnF_4 約0.2 V vs Pb/Pb^{2+} ）
- 従来は環境負荷の大きい鉛（Pb）を使用している点で、量産化には高いハードルがあったが、本材料ではPbを使用していないため、量産化が可能となった。

想定される用途

全固体電池
固体電解質
センサー等

実用化に向けた課題

- 現在、固体電解質単体としては開発済み。しかし、電極との複合化の点が未解決である。
- 特性向上については検討中。
(NEDOプロジェクトにより実施)
- 実用化に向けて、電極材料の選定も含めた電池の基礎構成を絞り込む必要がある。

企業への期待

- 革新電池であるフッ化物全固体電池の実用化に向け、**電池開発、電解質材料の量産など**について、**我々と課題を共有し、互いに協力して**課題解決に取り組める企業様との共同研究を希望いたします。
- 新物質開発や特性の向上については、NEDOの支援を受けて研究を実施中です。
(重複する内容での共同研究はできません)

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は基本的な**セラミックス合成技術のみ**で構成されている。
- リチウム系と比べて、国内外を見ても**研究者が限られる**。
- **フッ化物 × 固体電解質**という独自性が高い点で、企業の差別化に貢献できる
- 学術技術指導・コンサルティング等も対応可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : フッ化物イオン伝導体、フッ化物イオン伝導体の製造方法及びフッ化物イオン電池
- 出願番号 : 特願2025-130856
- 出願人 : 三重大学
ファインセラミックスセンター
- 発明者 : 森 大輔、丹羽 栄貴、森分 博紀

お問い合わせ先

【本技術に関して】

株式会社三重ティーエルオー

e-mail mie-tlo@mie-tlo.co.jp

【三重大学の知財全般に関して】

三重大学

研究・社会連携統括本部

e-mail chizai-mip@crc.mie-u.ac.jp