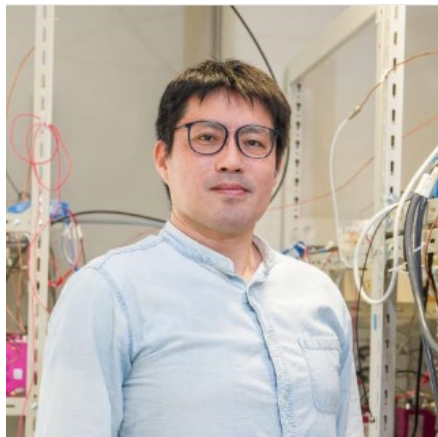
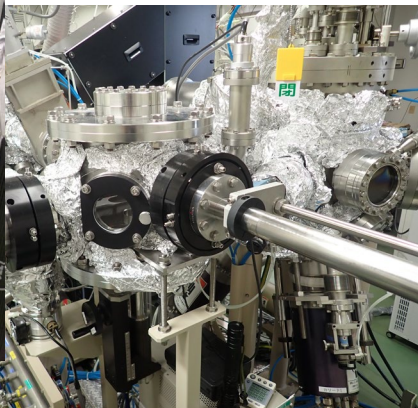
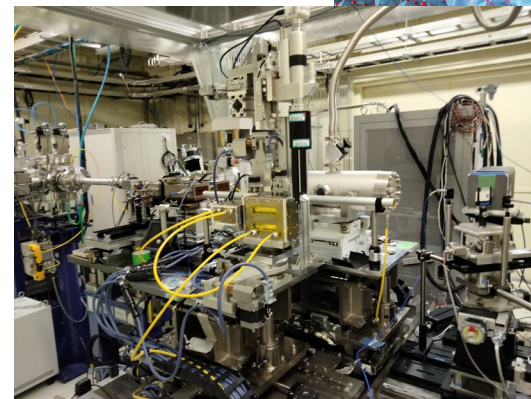
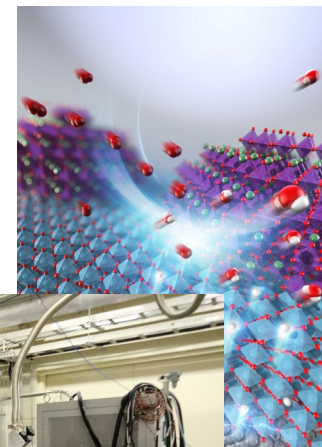


青木芳尚研究室

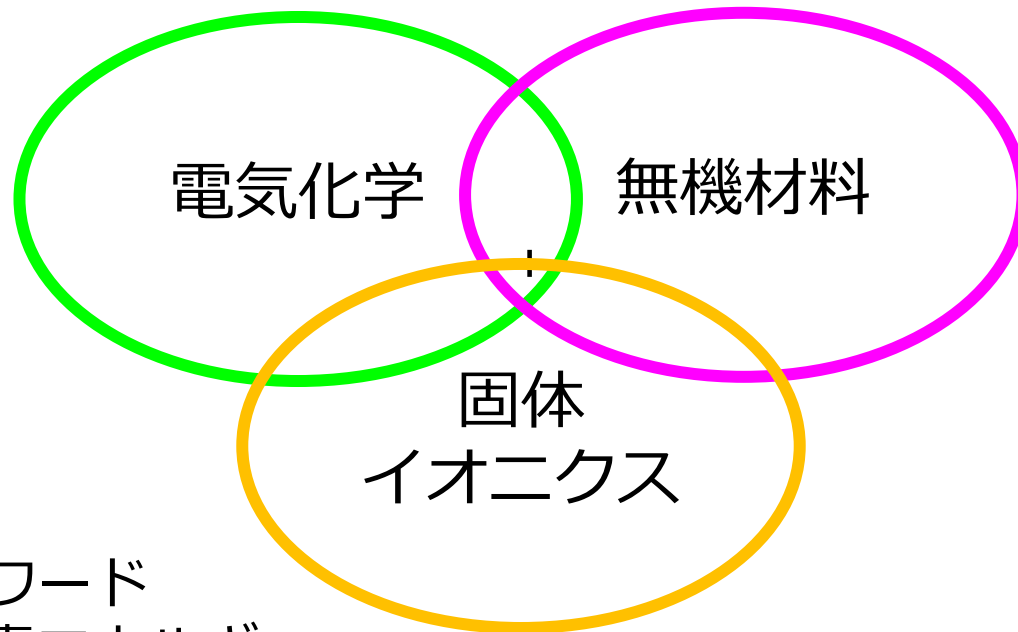


青木 芳尚 教授

2026年4月から
D3×1
D2×1
M2×4
M1×4



水と空気から水素エネルギーキャリア（燃料）を合成するための、エネルギー変換デバイスの開発

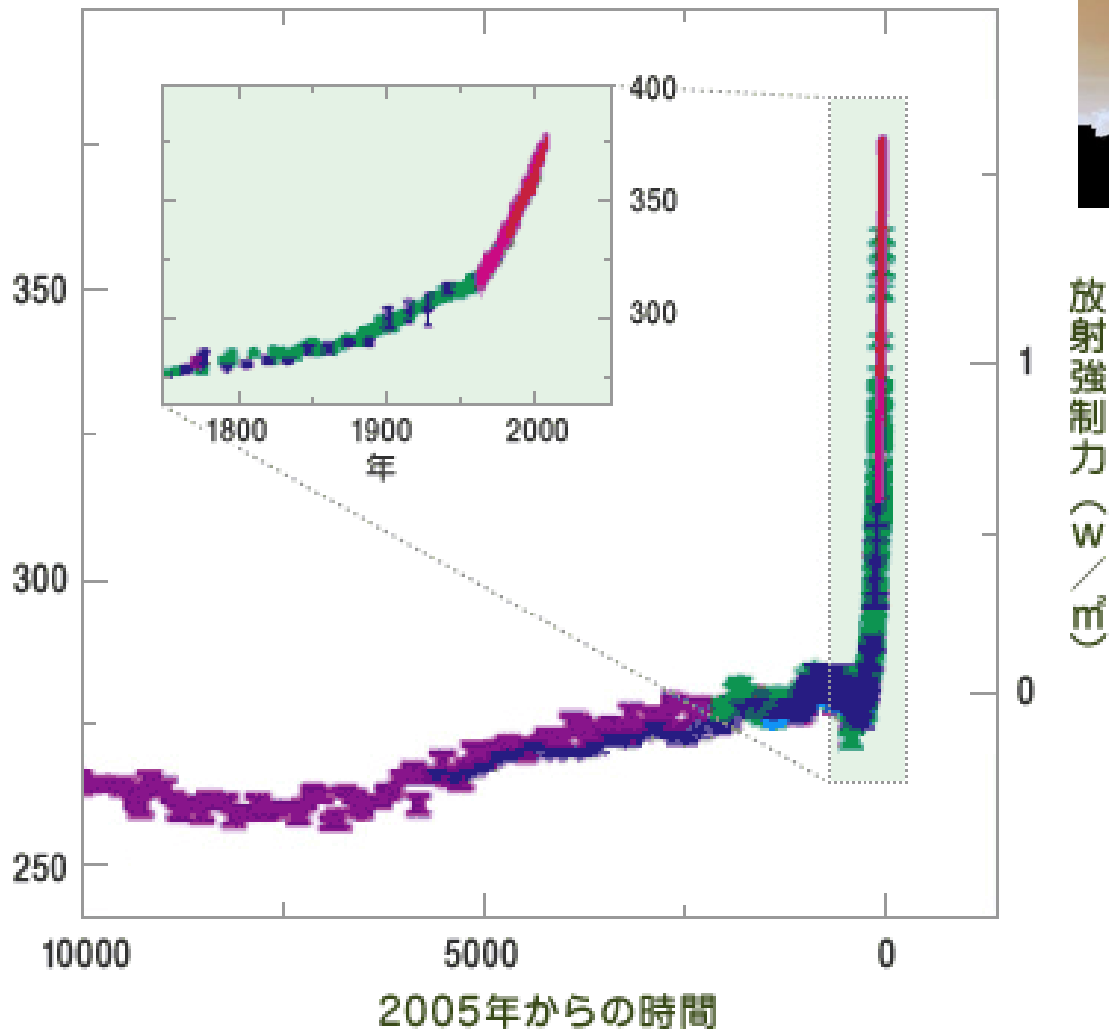


キーワード

- 1.水素エネルギー
- 2.合成燃料
- 3.CO₂再資源化
- 4.無機固体材料（セラミックス）
- 5.固体電気化学デバイス（水蒸気電解セル）

大気中のCO₂濃度の経年変化 (過去1万年)

二酸化炭素濃度 (ppm)



環境白書2015から



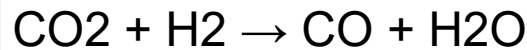
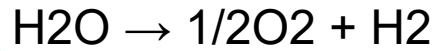
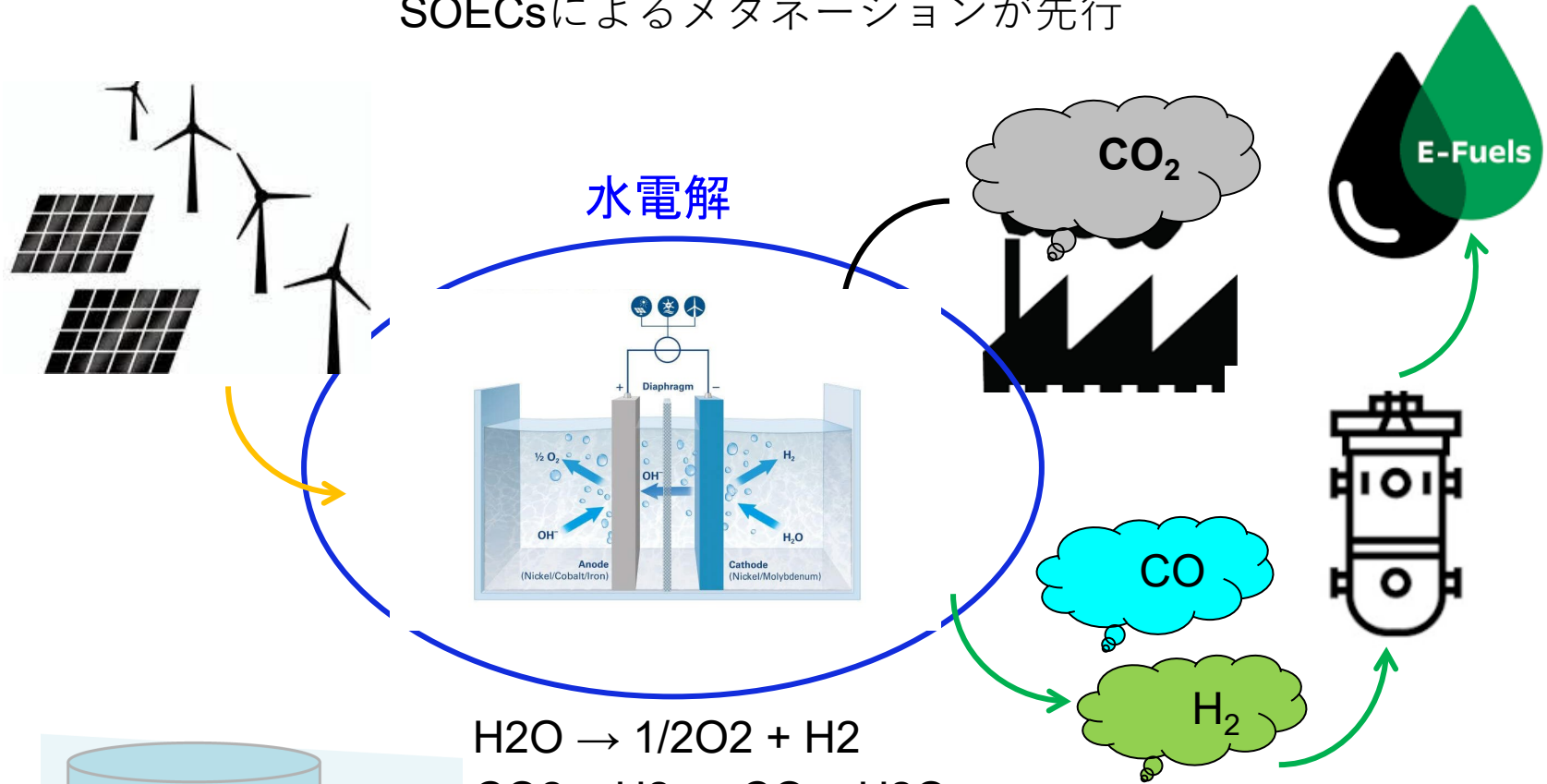
CO₂排出増加による
気候変動の顕在化、生態
系への影響甚大から、CO₂
排出抑制は急務！



化学産業の大転換期
・化石燃料からの脱却
・水を水素減としたグリーン
ケミストリー

エネルギーキャリアの電解合成

SOECsによるメタネーションが先行



30円/Nm³

2,000円台/t-CO₂

(DAC : 10,000円/t-CO₂)

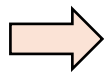
経済合理性から、直接より高付加価値
(アルコール、ギ酸)の物質を電解合成

NEDOカーボンリサイクルロードマップ

水から高還元Hを生成できる特徴を生かし、水とCO₂からエネルギーキャリア創成

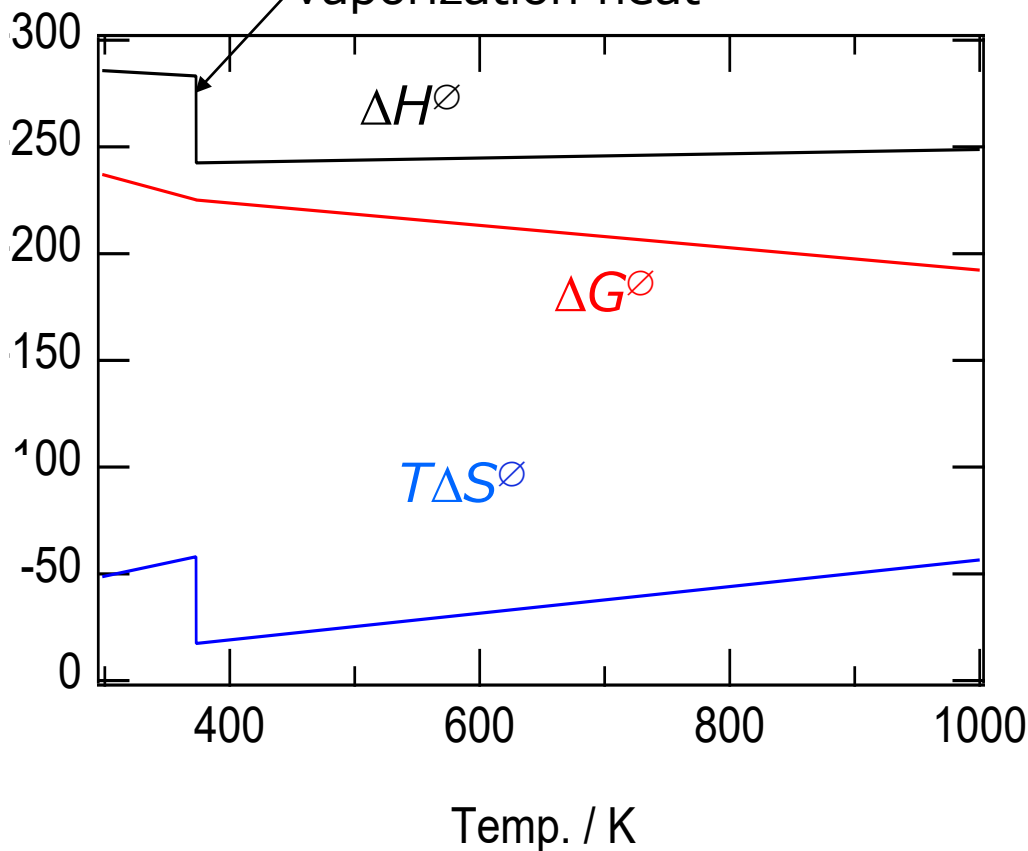
水蒸気電解とは？

Waste heat

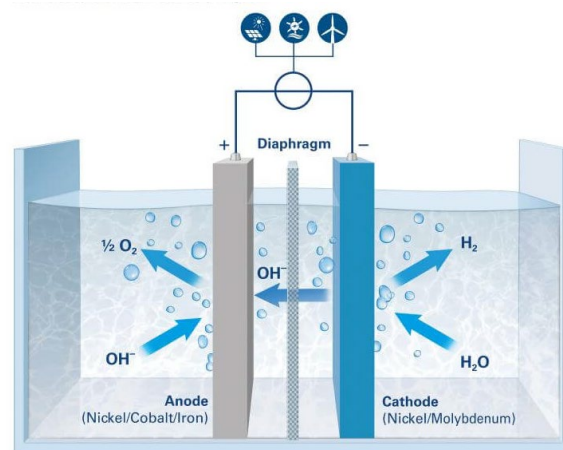
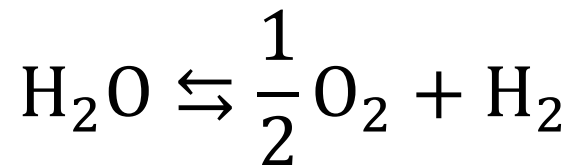


H₂O

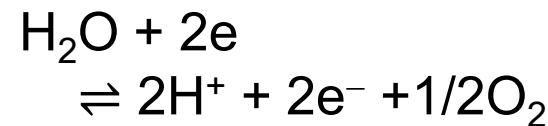
Vaporization heat



Water electrolysis



Anode:



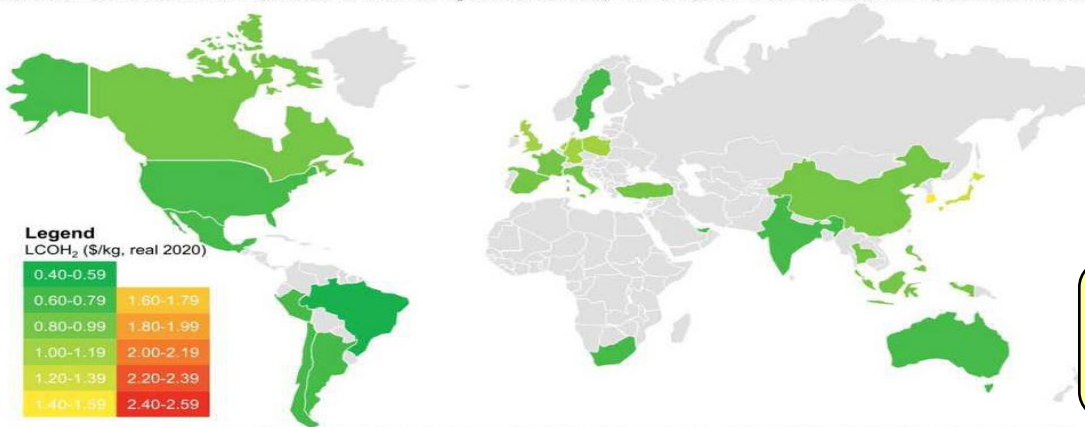
Cathode:



- ✓ $\Delta G^\ominus > 0$ at $T < 10^5$ K \Rightarrow 熱のみで水分解はほぼ不可能!
- ✓ 電気又は光Eの投入が必須

✓ 水蒸気電解のほうが理論電解電圧が小さい: 1.55 V vs 1.3 V

水蒸気電解とは？



Source: BloombergNEF. Assumes our optimistic alkaline electrolyzer cost scenario published in Hydrogen: The Economics of Production From Renewables ([web](#) | [terminal](#)). We selected the renewable electricity source that provides the lowest LCOH₂ for each country.

NEDO水素ロードマップ2024

グリーン水素の普及には

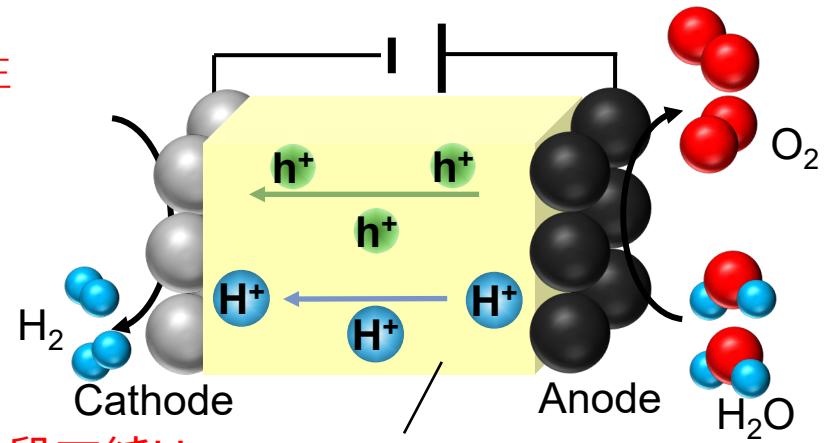
価格: 30 ¥/Nm³



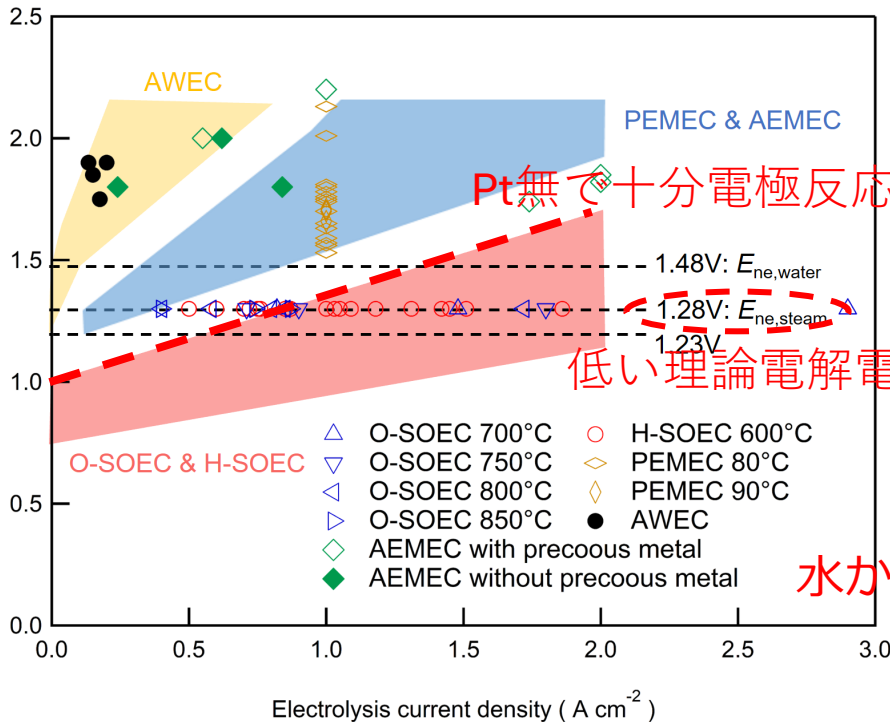
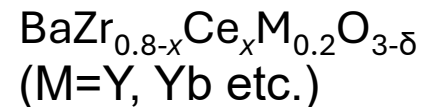
2.5¥/kWとすると

固体酸化物水蒸気電解(SOEC)では 2 A cm⁻²@1.3 V

プロトン固体酸化物水蒸気電解セル(H⁺-SOEC)

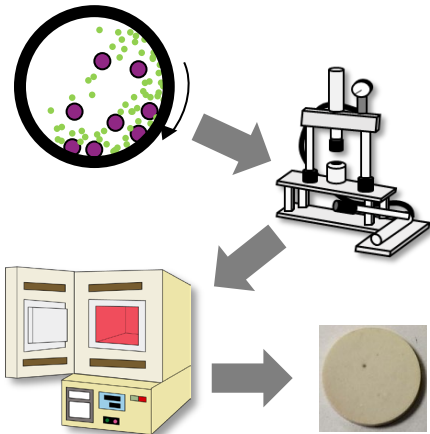
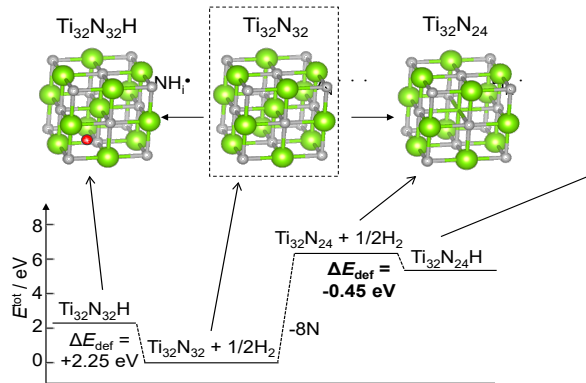


水から一段で純H₂ H⁺固体酸化物電解質



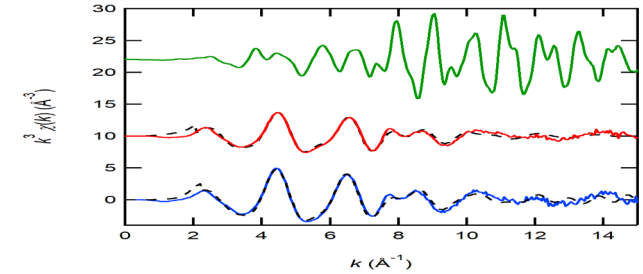
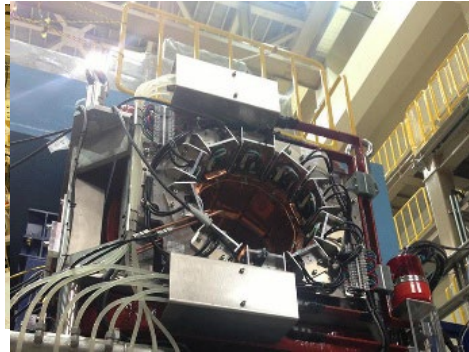
研究方法1—無機材料(H⁺&H⁻イオン伝導体)の合成—

無機合成

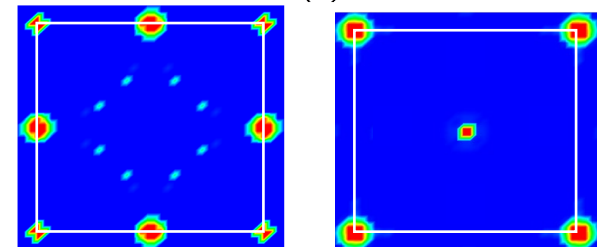
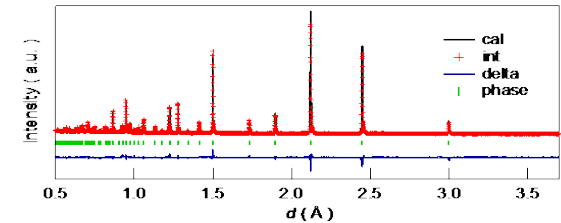
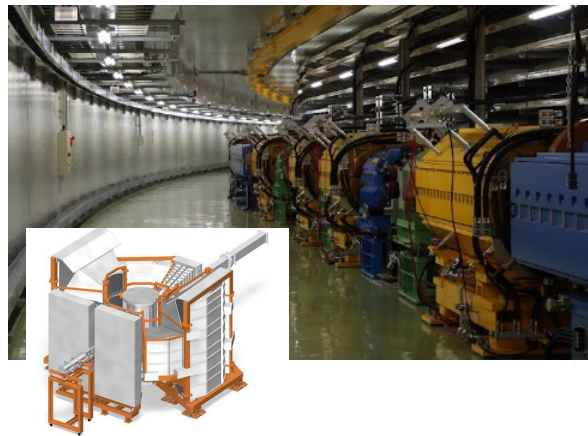


構造・電子状態分析

J-Parc BLS1 μ SRS

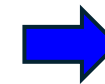


J-Parc SPICA中性子回折



固体中水素を見るのは大変

X線は基本NG, 中性子・ミュオン(素粒子)を使うしかない



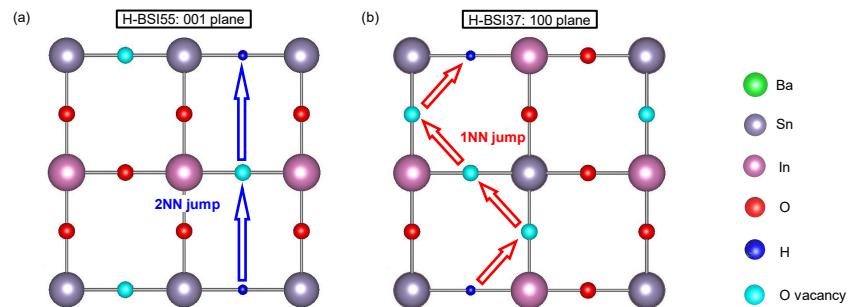
大規模共同利用実験施設へ行って測定旅行

研究方法2—H⁺&H⁻の動きやすさを測る

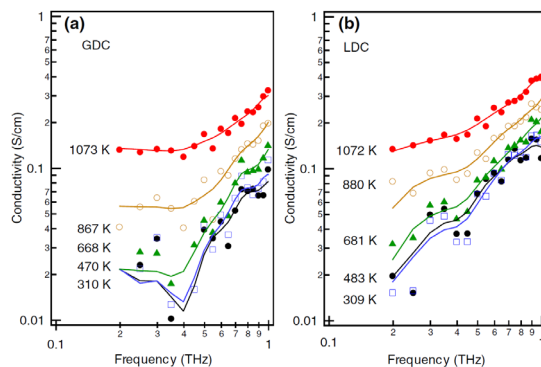
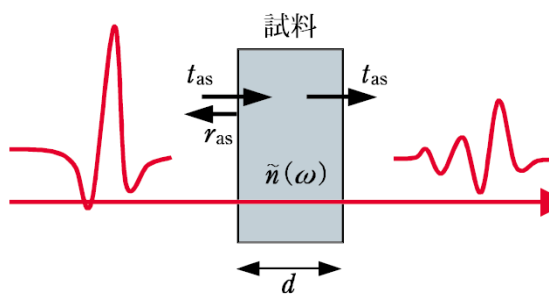
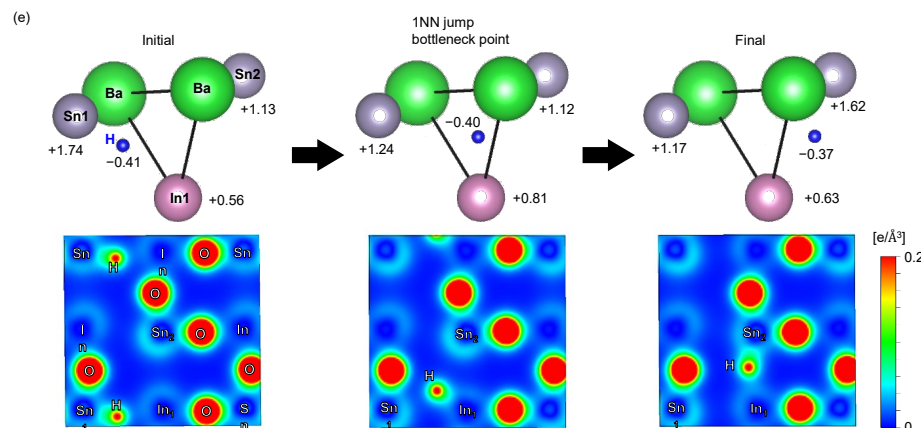
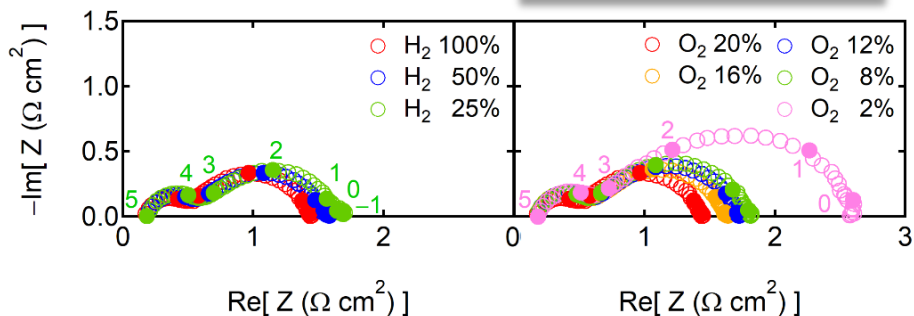
電気化学測定



第一原理計算

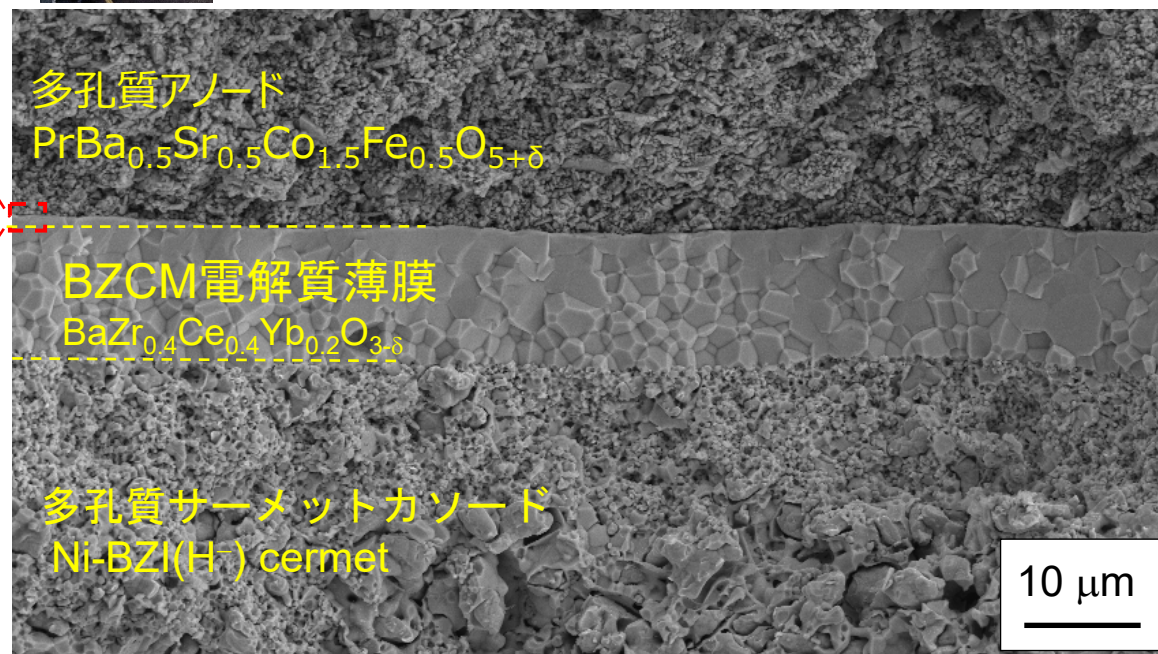
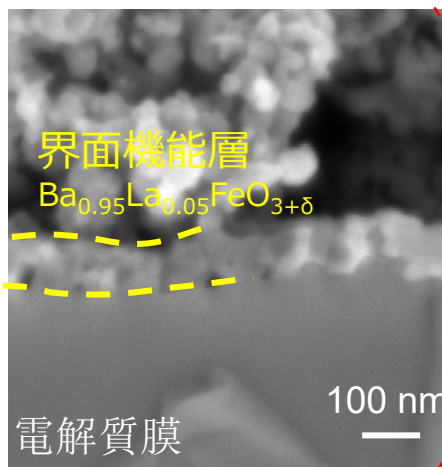
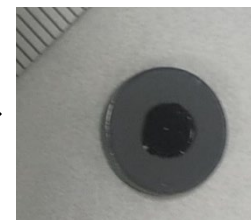
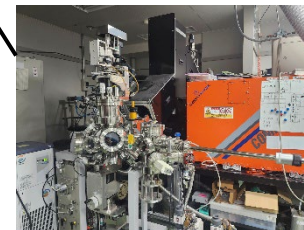
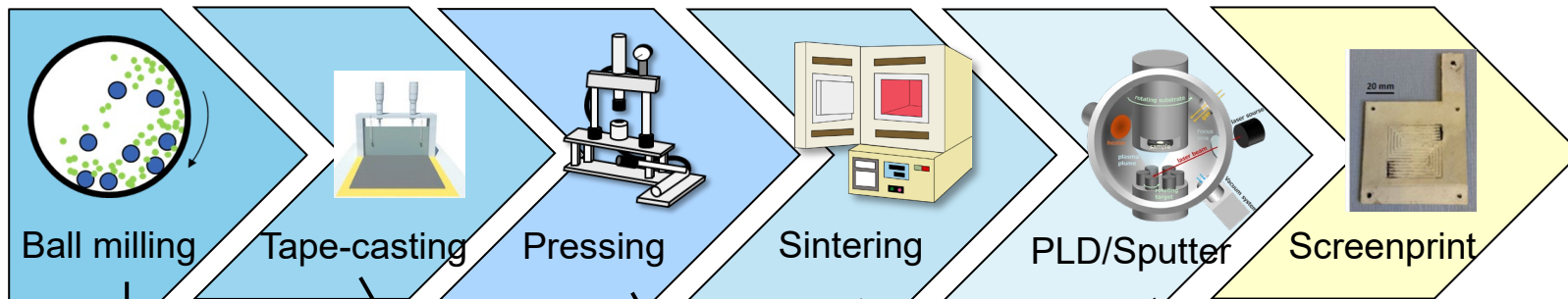


インピーダンス分光



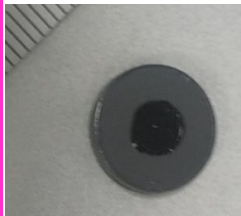
1と2を繰り返し、
H⁺&H⁻の両方を高速に
動かす無機材料を創成

研究方法3—H⁺&H⁻固体電解質セルを作る



多段プロセスにより薄膜セルを作製

研究方法4—固体電解質セルの性能を調べる

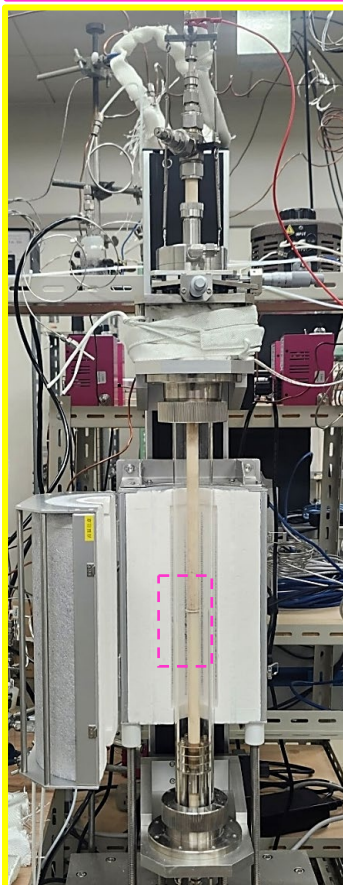


水蒸気タンク

FRA/ポテンシオ・ガルバノスタット

μGCガス分析機

MFC



セラミック
ワッシャー

Anode Gas

Cathode Gas

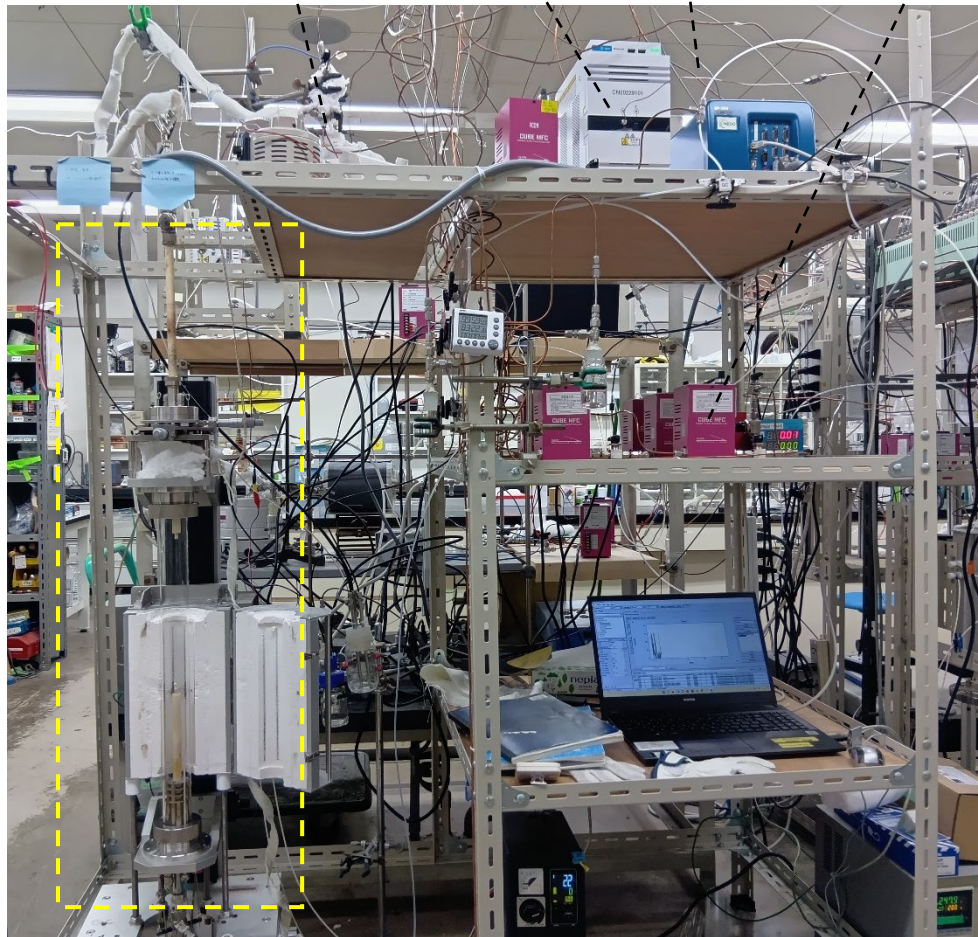
ガラスシール

試料セル

Au線

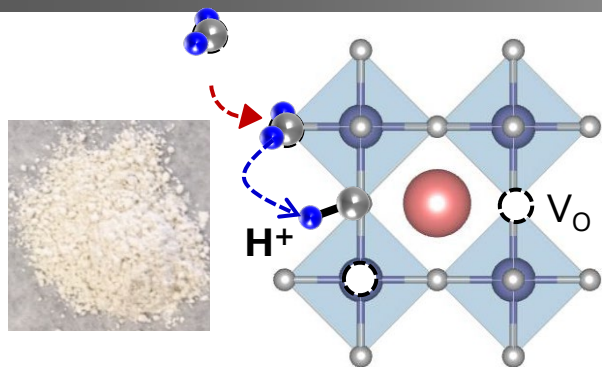
カソード
ガス
供給管

カソード
排気管

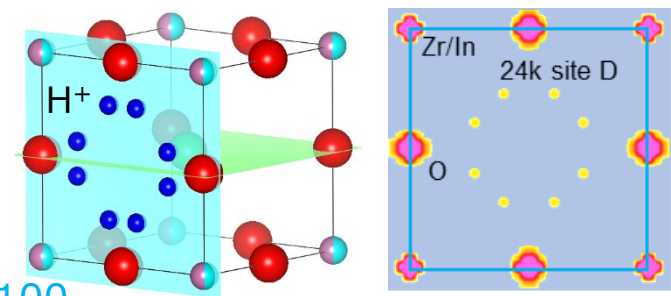
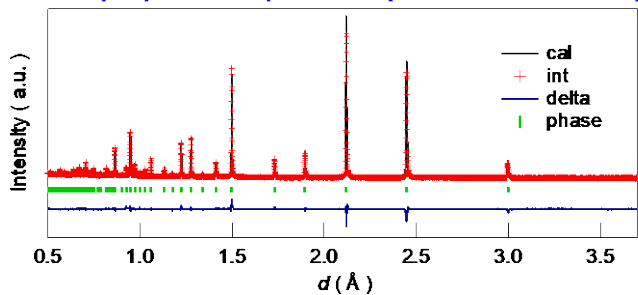


H⁺-SOEC電気化学ステーション

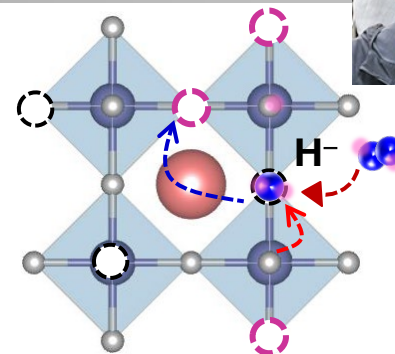
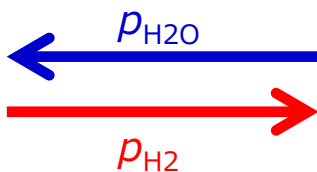
H⁻/H⁺-バイポーラー伝導体の開発



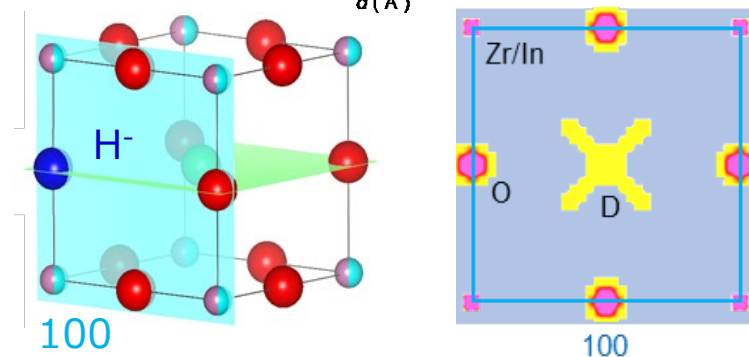
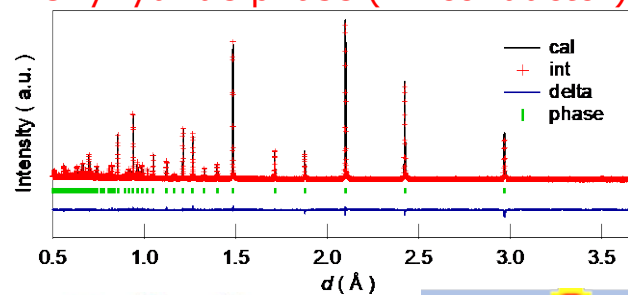
$\text{BaZr}_{0.5}\text{In}^{\text{III}}_{0.5}\text{O}_{2.5}(\text{OH})_{0.5}$
Oxyhydrate phase (H^+ -conductor)



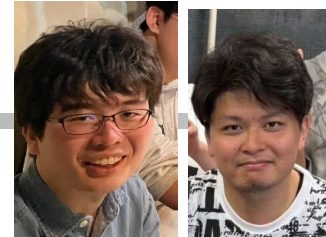
MEM mapping by ND



$\text{BaZr}_{0.5}\text{In}^{\text{I,III}}_{0.5}\text{O}_{2.25}(\text{H})_{0.5}$
Oxyhydride phase (H^- -conductor)

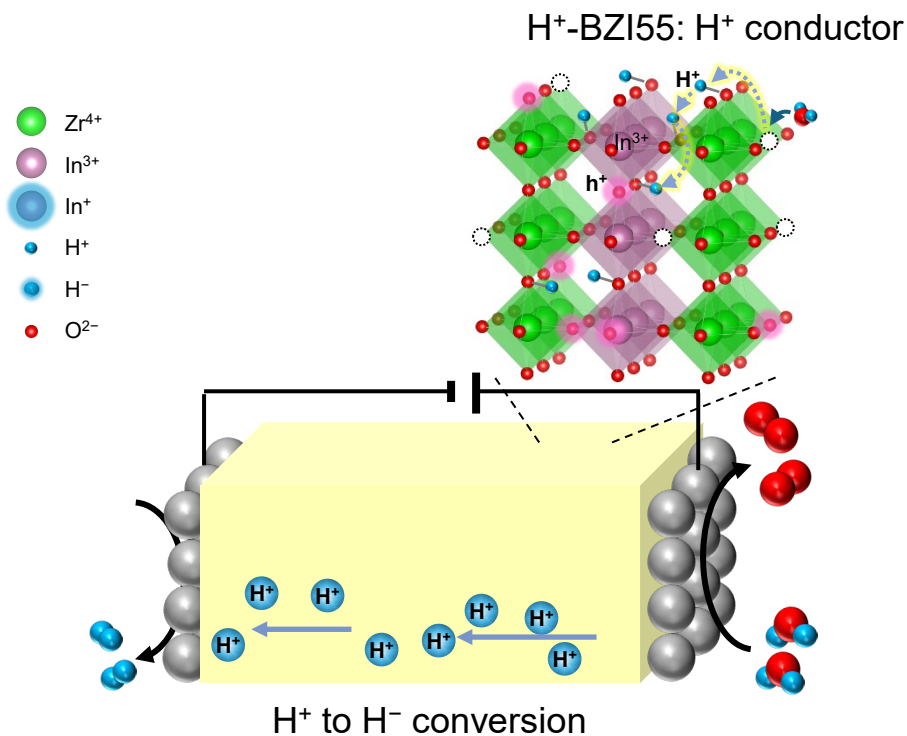


1気圧水蒸気－水素雰囲気の切り替え
によって、水和物(H^+) \rightleftharpoons 水素化物(H^-)
トポケミカル相転移を発見



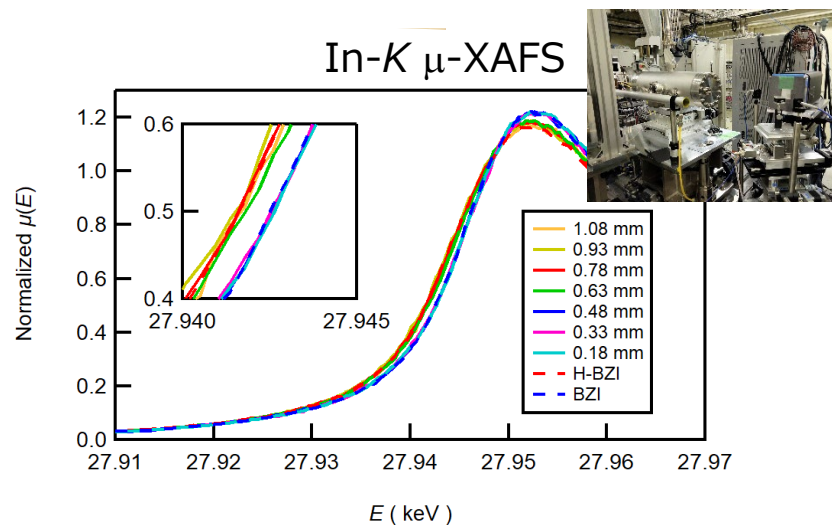
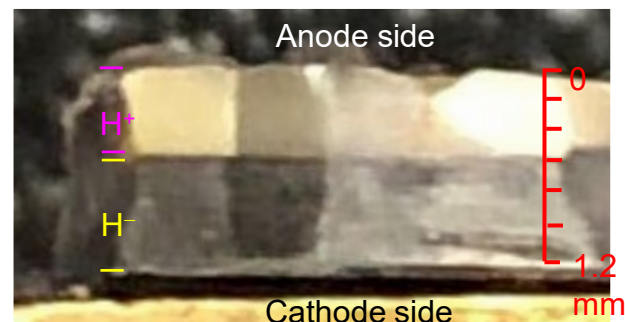
高橋拓也(D) 前田凌佑(D)

H⁻/H⁺ bipolar electrolysis cells

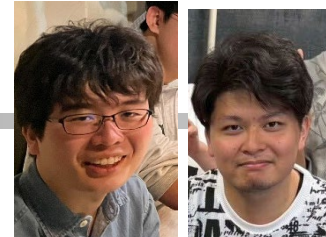


R. Maeda et al *Cell Rep. Phys. Sci.*, 6, 102839 (2025)

R. Maeda et al, Submitted (2025)



水と一水素化平衡の競合によって、熱力学的にH⁺-BZI/H⁻-BZIイオンニックヘテロ接合が自発形成

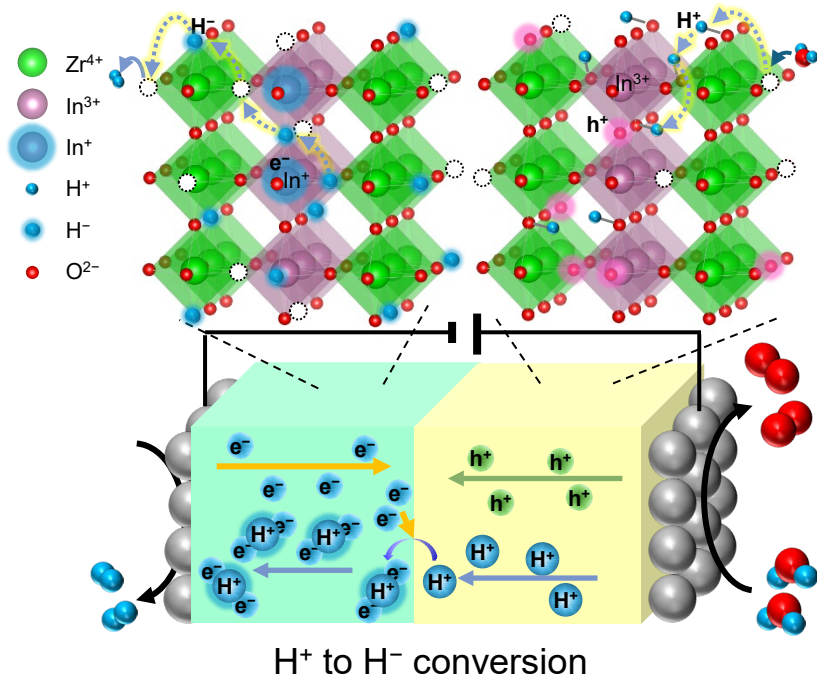


高橋拓也(D) 前田凌佑(D)

H⁻/H⁺ bipolar electrolysis cells

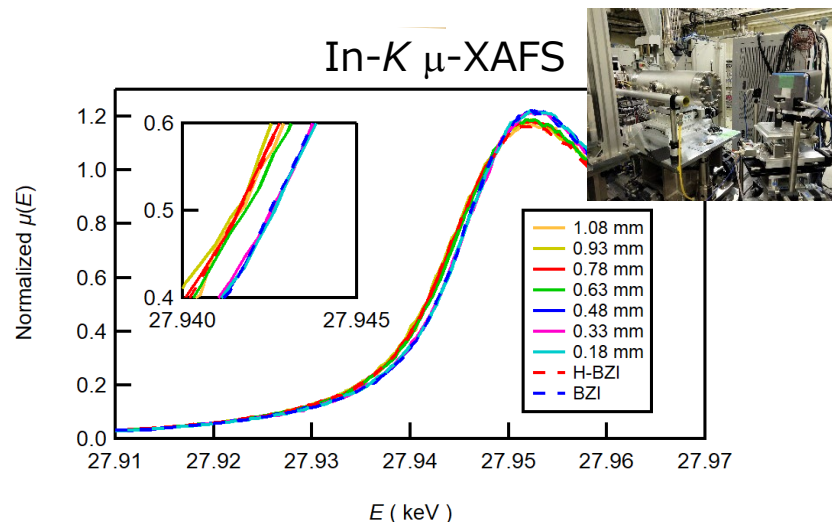
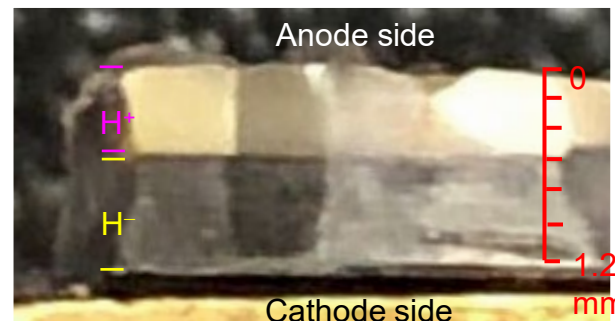
H⁻-BZI55: H⁻ conductor

H⁺-BZI55: H⁺ conductor

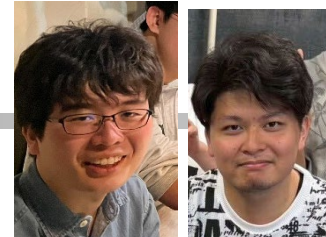


R. Maeda et al *Cell Rep. Phys. Sci.*, 6, 102839 (2025)

R. Maeda et al, Submitted (2025)



水と水素化平衡の競合によって、熱力学的にH⁺-BZI/H⁻-BZIイオンニックヘテロ接合が自発形成

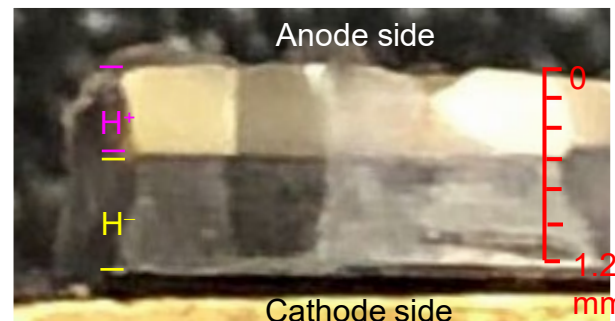
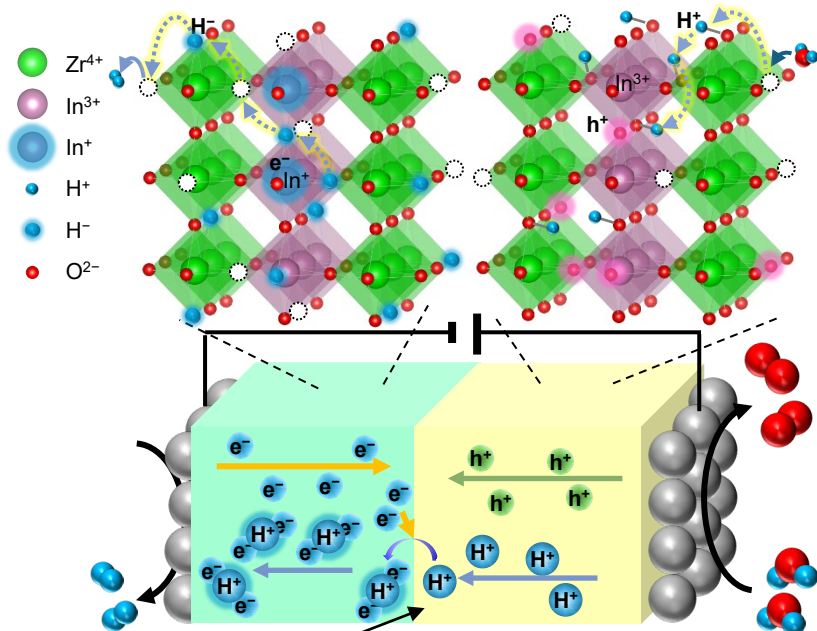


高橋拓也(D) 前田凌佑(D)

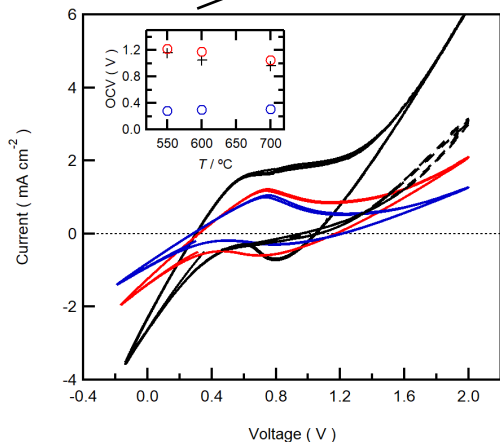
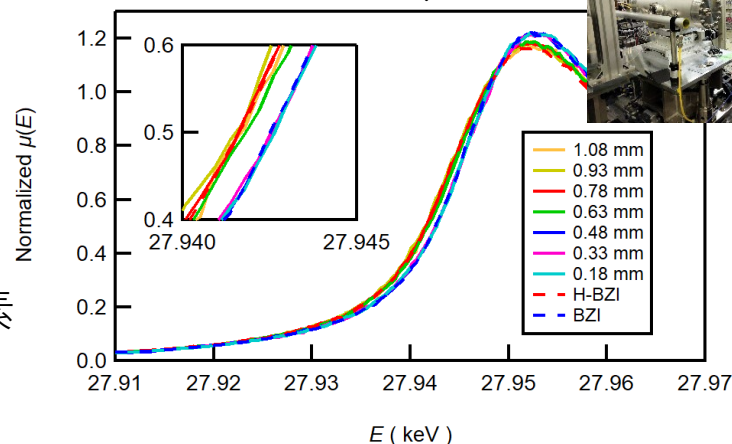
H⁻/H⁺ bipolar electrolysis cells

H⁻-BZI55: H⁻ conductor

H⁺-BZI55: H⁺ conductor



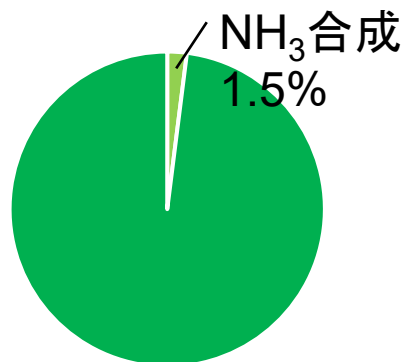
In-K μ-XAFS



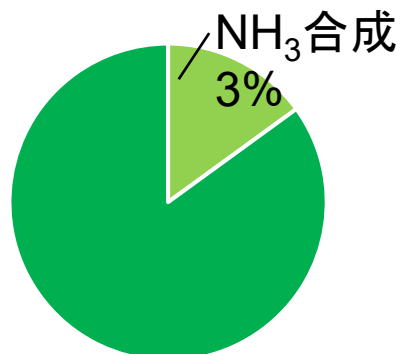
ヘテロ界面で水素
レドックス
 $H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H^-$

競合によって、熱力学的にH⁺-BZI/H⁻-BZIイオン
ックヘテロ接合が自発形成

エネルギーキャリアの電解合成



全世界エネルギー消費量に対する割合（8割がシフト反応による水素製造）
(620 EJ: 2023)

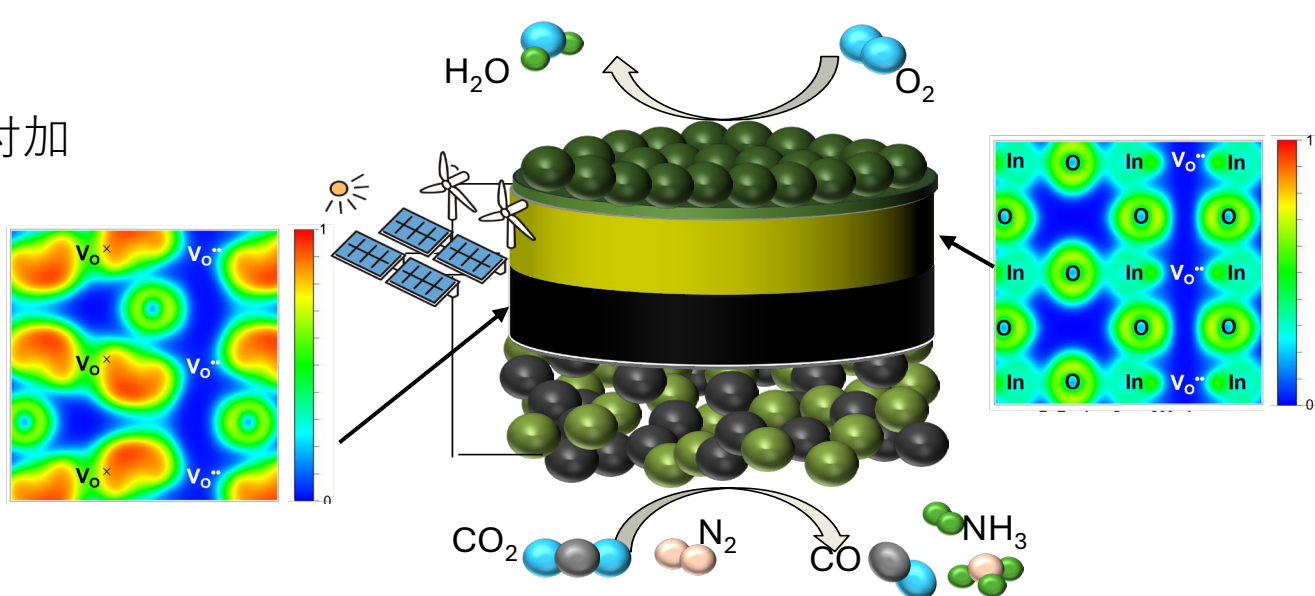
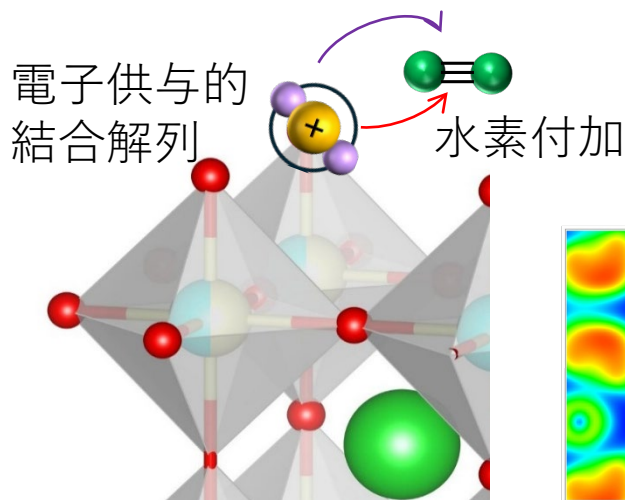


全世界天然ガス消費量に対する割合（CO₂排出量換算4.5億トン、年間総排出量の約3%）
(1323MMcf: 2023)

過剰なCO₂排出を伴わない、持続可能な食糧生産にはN₂+H₂O + 再生可能エネルギー



概念実証に向け、某企業と引き続き共同研究



H₂O-CO₂共電解： 水から高還元H⁻を生成できる特徴を生かし、水とCO₂から合成燃料

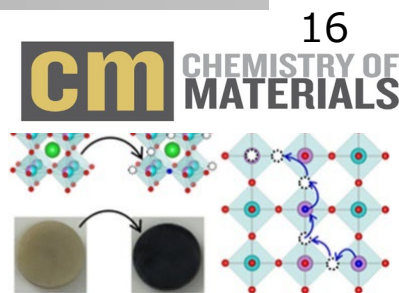
低炭素社会の実現に向け、一緒に考えましょう！

興味のある方は、研究室見学にもぜひ来てください

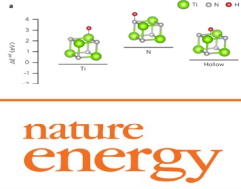
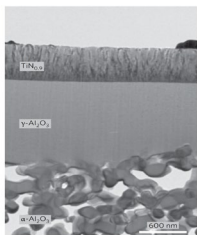
青木芳尚研究室： 東京科学大横浜キャンパス G1棟812
aoki.y@mct.isct.ac.jp

1. H-イオン伝導体

1. H. Toriumi, G. Kobayashi, T. Saito, T. Kamiya, T. Sakai, T. Nomura, S. Kitano, H. Habazaki and Y. Aoki*, “Hydrogen permeable ceramics of barium indate–zirconate perovskite oxyhydride with enhanced hydride ion/electron mixed conductivity” Chemistry of Materials, Vol. 34, No. 16, pp. 7389 - 7401 (2022). **IF = 10.5.**

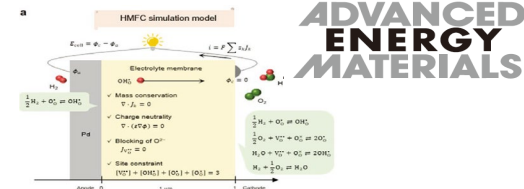


2. C. Kura, Y. Kunisada, E. Tsuji, S. Zhu, H. Habazaki, S. Nagata, T. P. Michael, R. A. de Souza and Y. Aoki* “Room temperature hydrogen separation by titanium nitride membranes with high hydride ion conductivity” Nature Energy, Vol. 2, pp. 786-794 (2017). **IF = 60.9.**

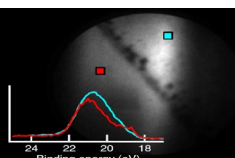


2. 燃料電池

3. S. W. Jeong, N. Wang, S. Kitano, H. Habazaki, M. Nagayama and Y. Aoki* “Metal/Oxide Heterojunction Boosts Fuel Cell Cathode Reaction at Low Temperature” Advanced Energy Materials, Vol. 11, pp. 2102015/1 - 11 (2021). **IF = 29.7.**

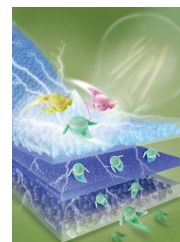
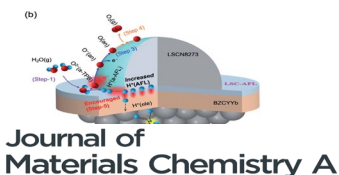


4. Y. Aoki, C. Wiemann, V. Feyer, H.-S. Kim, M. Schneider, H. Ill-Yoo and M. Martin “Bulk mixed ion electron conduction in amorphous gallium oxide causes memristive behaviour” Nature Communications, Vol. 4, No. 3, pp. 3473/1-9 (2014). **IF**



3. 固体電解セル

5. C. Tang, N. Wang, R. Zhu, S. Kitano, H. Habazaki and Y. Aoki*, “Design of anode functional layers for protonic solid oxide electrolysis cells” Journal of Materials Chemistry A, Vol. 10, No. 29, pp. 15719 – 15730 (2022). **IF = 15.4**



6. C. Tang, K. Akimoto, N. Wang, L. Fadillah, S. Kitano, H. Habazaki, Y. Aoki*, “The effect of an anode functional layer on the steam electrolysis performances of protonic solid oxide cells” Advanced Energy Materials, Vol. 12, pp. 2201882/1 - 29 (2022). **IF = 29.7**