

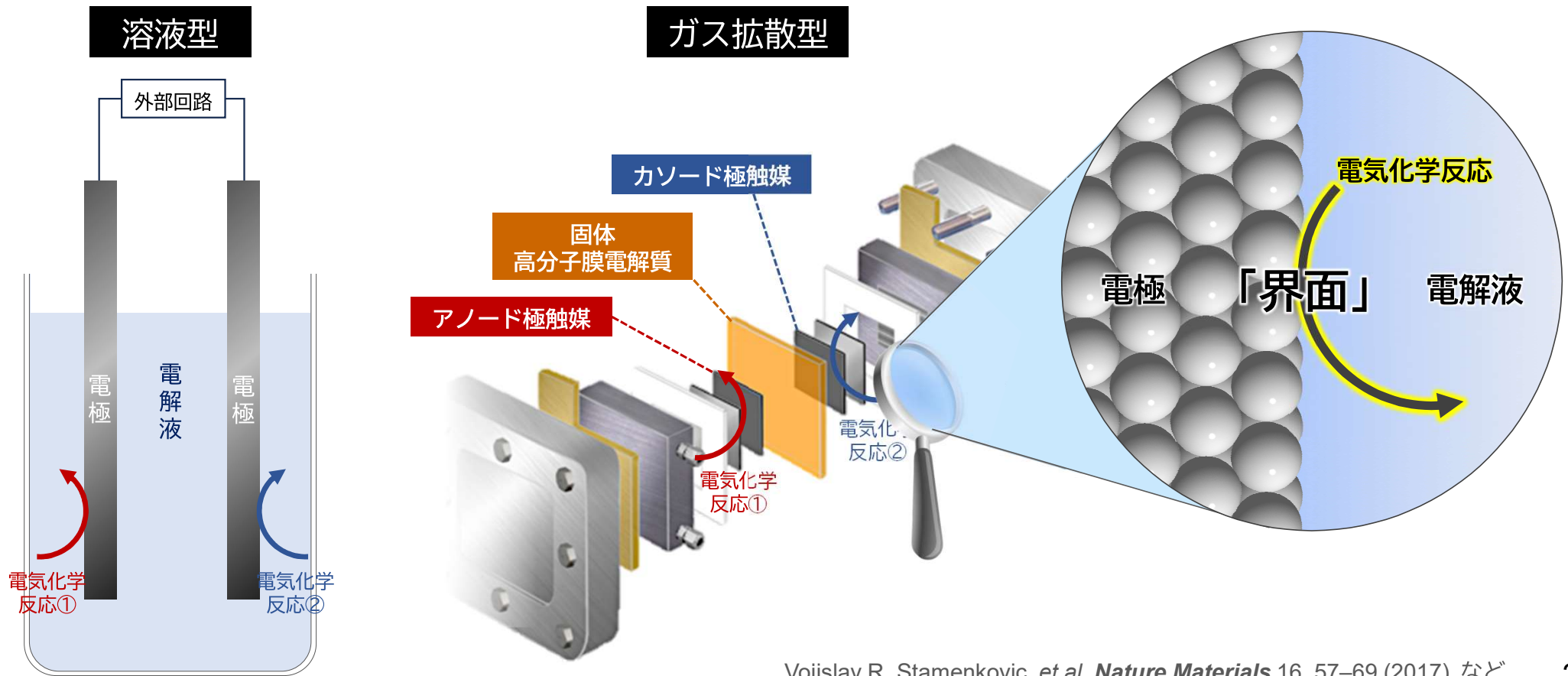
電気化学的資源化反応特性を向上する 電極—電解液の統合設計

大阪大学 産業科学研究所
准教授 片山 祐

2025年1月15日

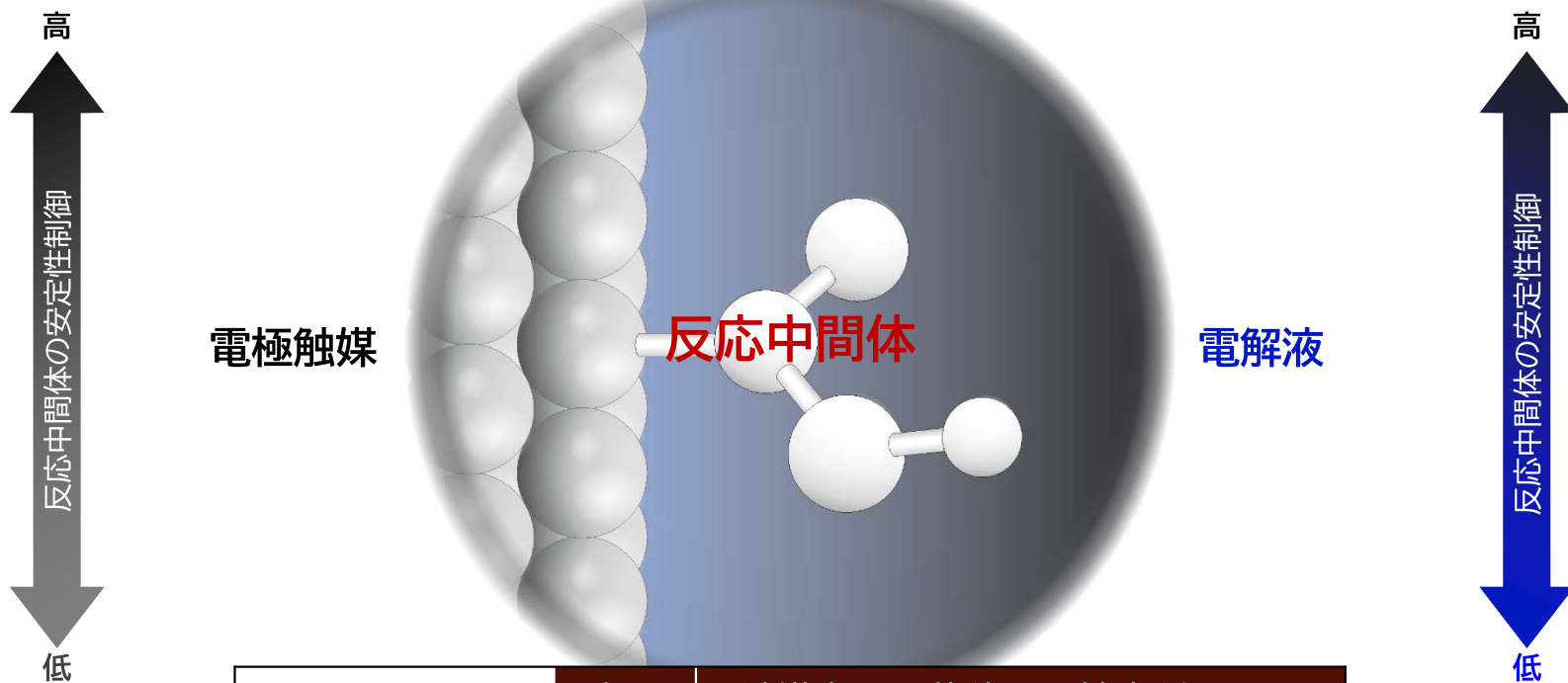
背景

あらゆる(電極)触媒反応の肝=電極-電解液の「界面」



背景

(電極)触媒反応の特性向上の鍵
= 「界面」に生じる**反応中間体**をいかに制御するか

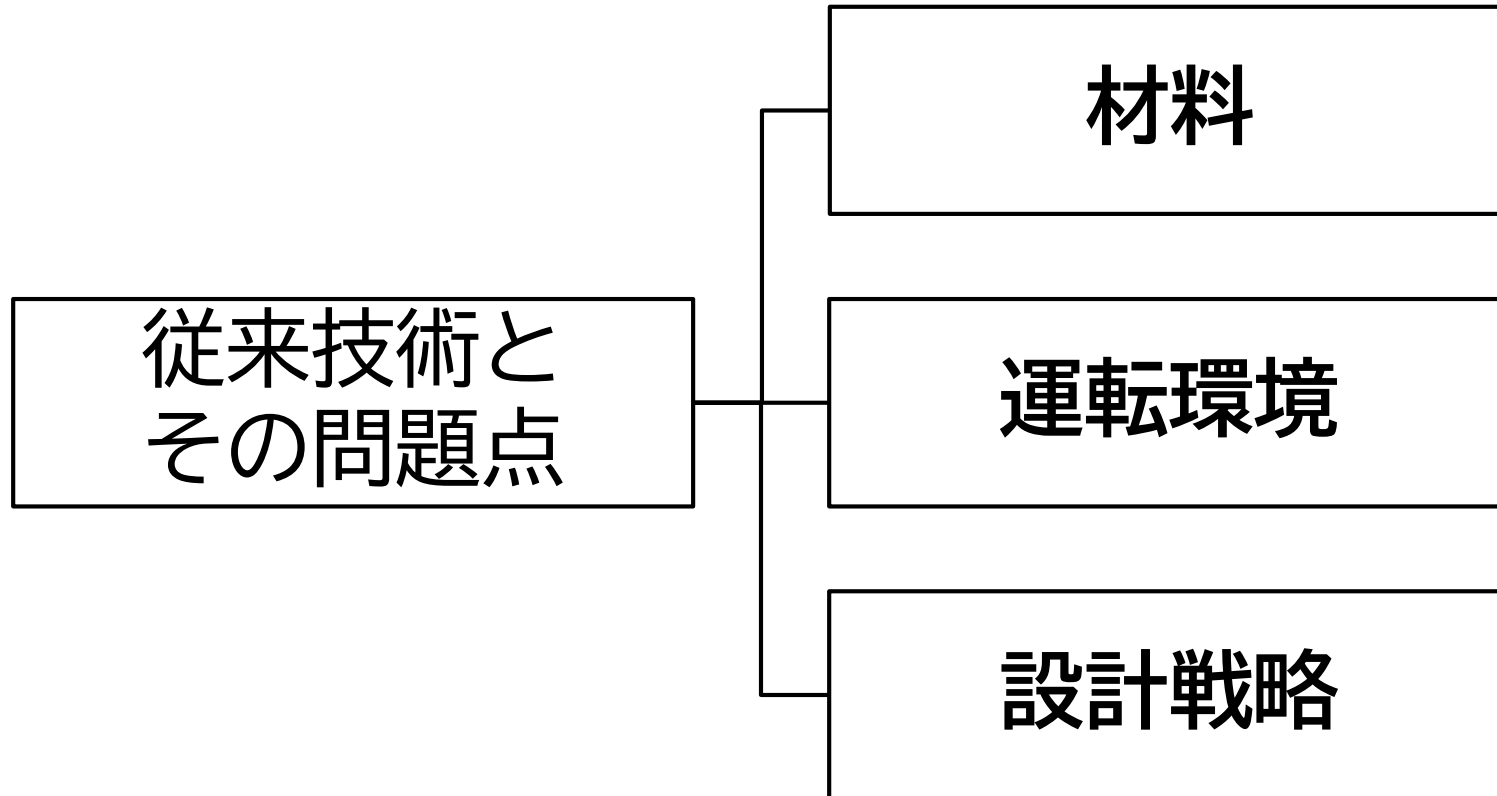


反応中間体の 表面安定性	高い	触媒表面に蓄積し、被毒種となる
	適度	反応がスムーズに進行
	低い	そもそも反応が開始しにくい

Z.W. Seh, et al. *Science* 355, eaad4998 (2017) など

従来技術とその問題点

3つの問題カテゴリ：「材料」・「運転環境」・「設計戦略」
3つの問題カテゴリに横串を刺せる新技術が必要



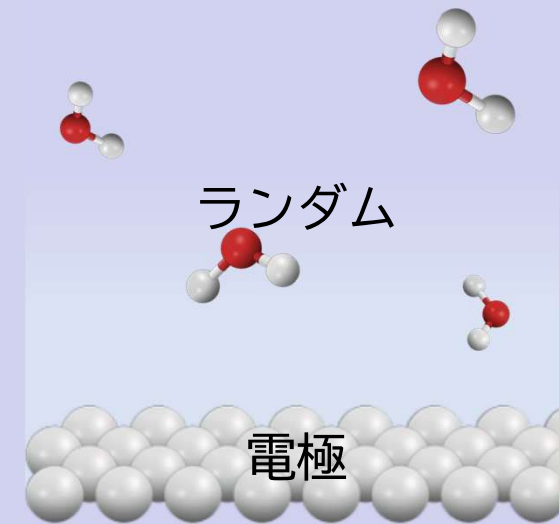
従来技術とその問題点-材料-

電極材料
極度に高度化・合成が複雑



大量合成の障壁が高く
社会実装に至りにくい

電解液材料
能動的な制御が困難



性能向上への効果を
最大化できていない

従来技術とその問題点-運転環境-

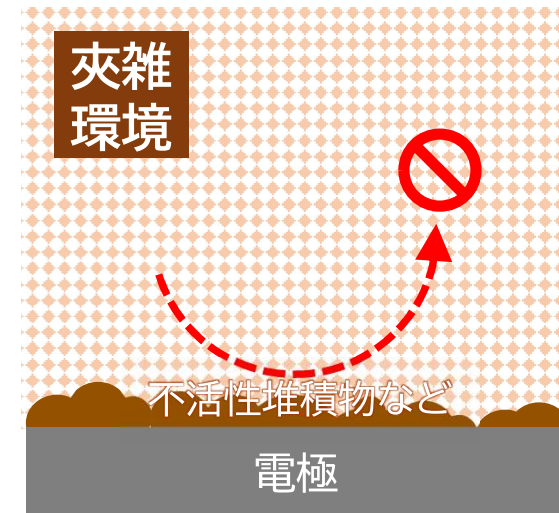
運転環境に極めて敏感で、不純物混入への耐性が低い

理想的な運転環境



コンタミなど

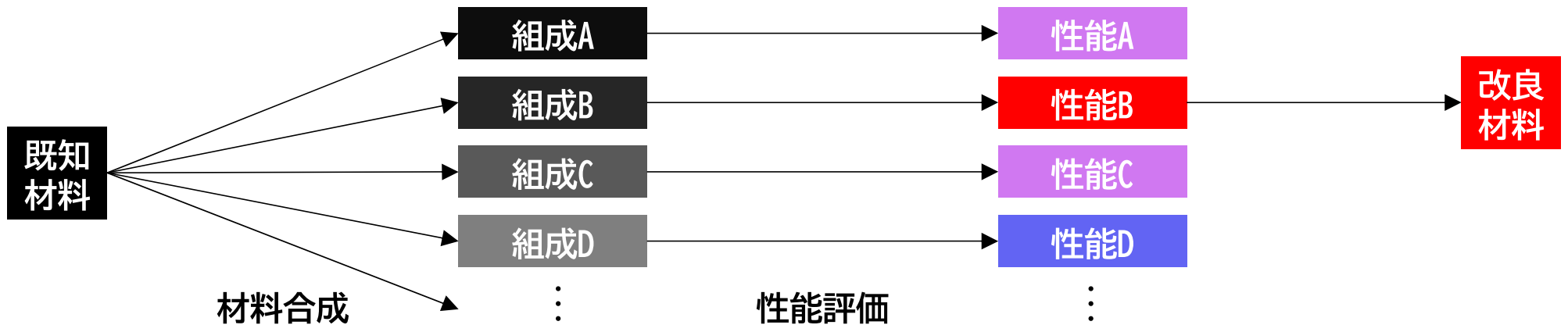
A dark red arrow pointing right, labeled 'コンタミなど' (Contamination, etc.), indicating the transition from the ideal to the problematic environment.



夾雑な自然環境下で運転するには清浄化など高度な前処理が必要

従来技術とその問題点-設計戦略-

材料が複雑化し、材料設計がトライ & エラーに依存

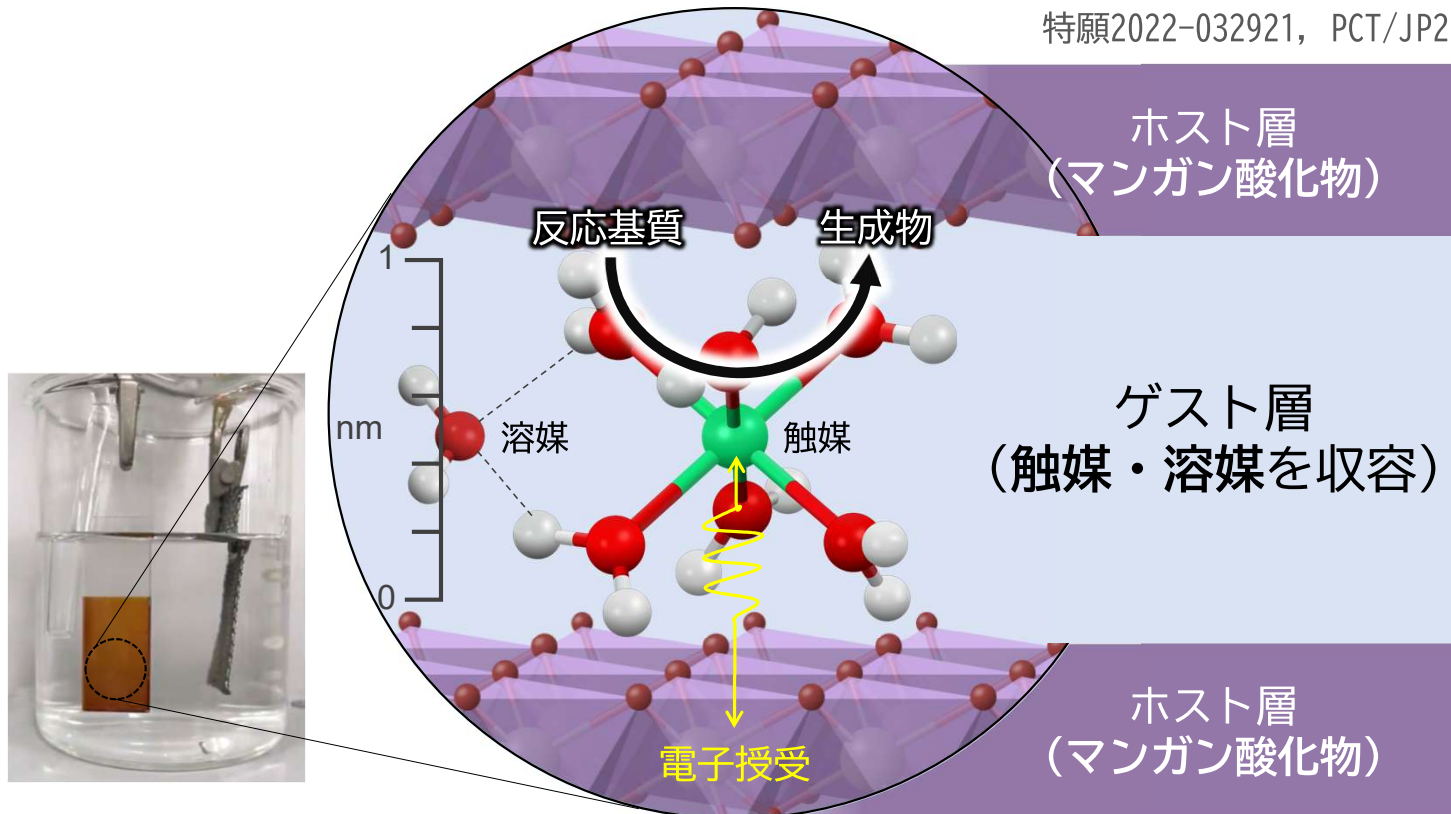


- 性能向上のペースは試行回数に依存
- 次の材料開発・設計指針の構築に貢献しにくい

新技術の特徴・従来技術との比較-材料-

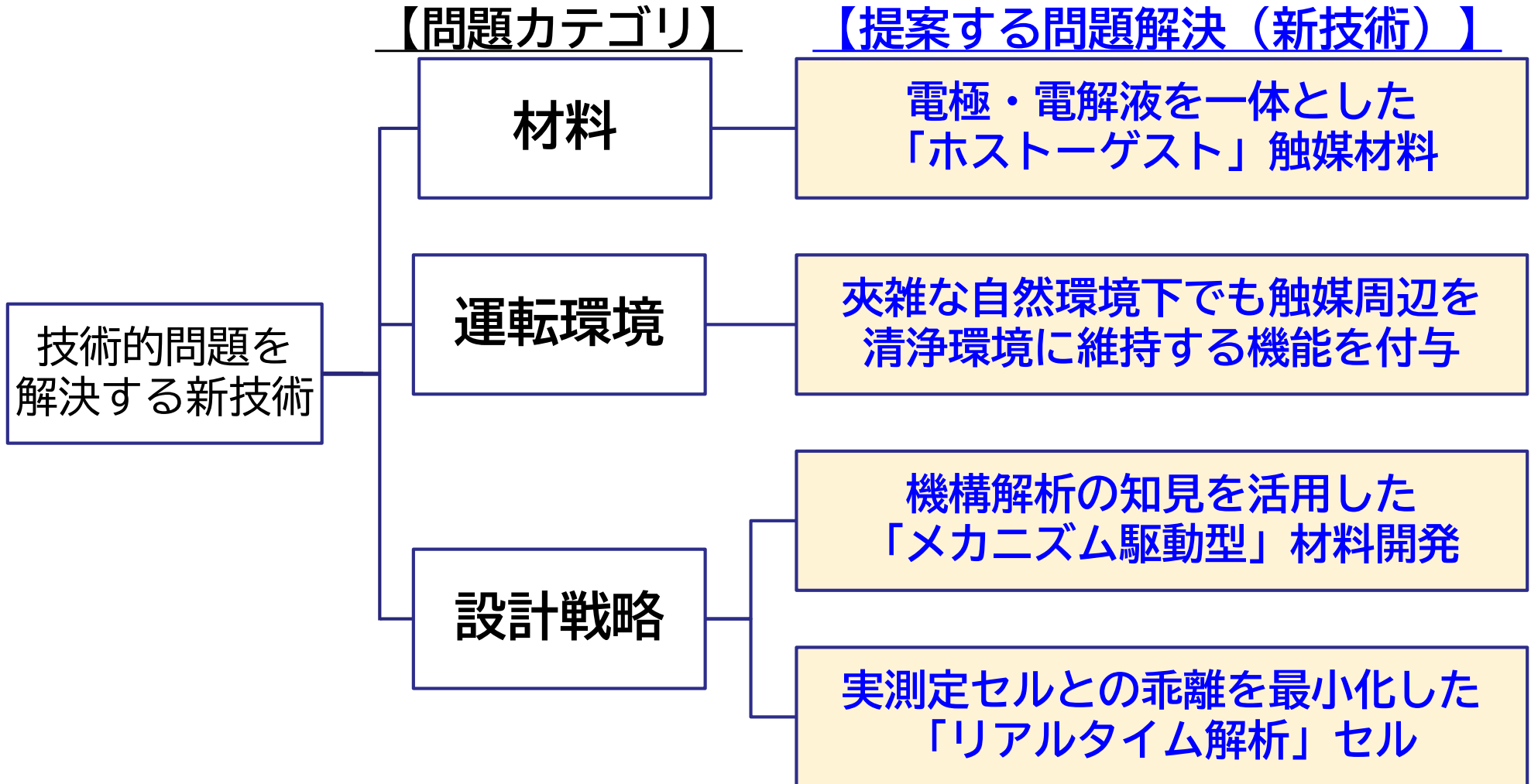
電極・電解液を一体とした「ホスト-ゲスト」触媒材料

特願2022-032921, PCT/JP2022/011337, 18/548359



安価な層状 MnO_2 化合物の層間を触媒・溶媒を収容した「反応場」として利用

提案する新技術の概要



新技術の特徴・従来技術との比較-材料-

電極・電解液を一体とした「ホスト-ゲスト」触媒材料

電極材料

常温・常圧・2ステッププロセス

ステップ①
電気メッキ
~20 min

ステップ②
イオン交換
~1 h

裸の電極基板



この時点で基板
上に電極形成



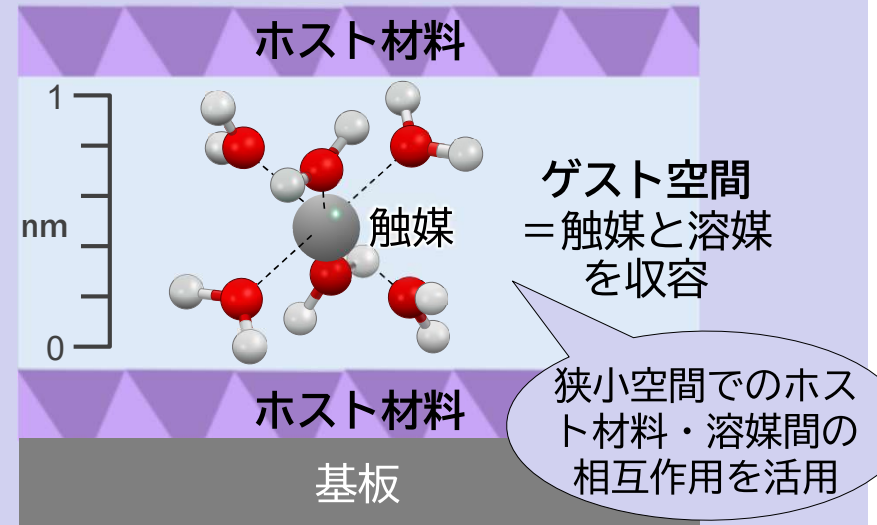
電極への機能
付与が完了

完成

既存の電気メッキ工程の延長
であり大量合成の障壁が低い

電解液材料

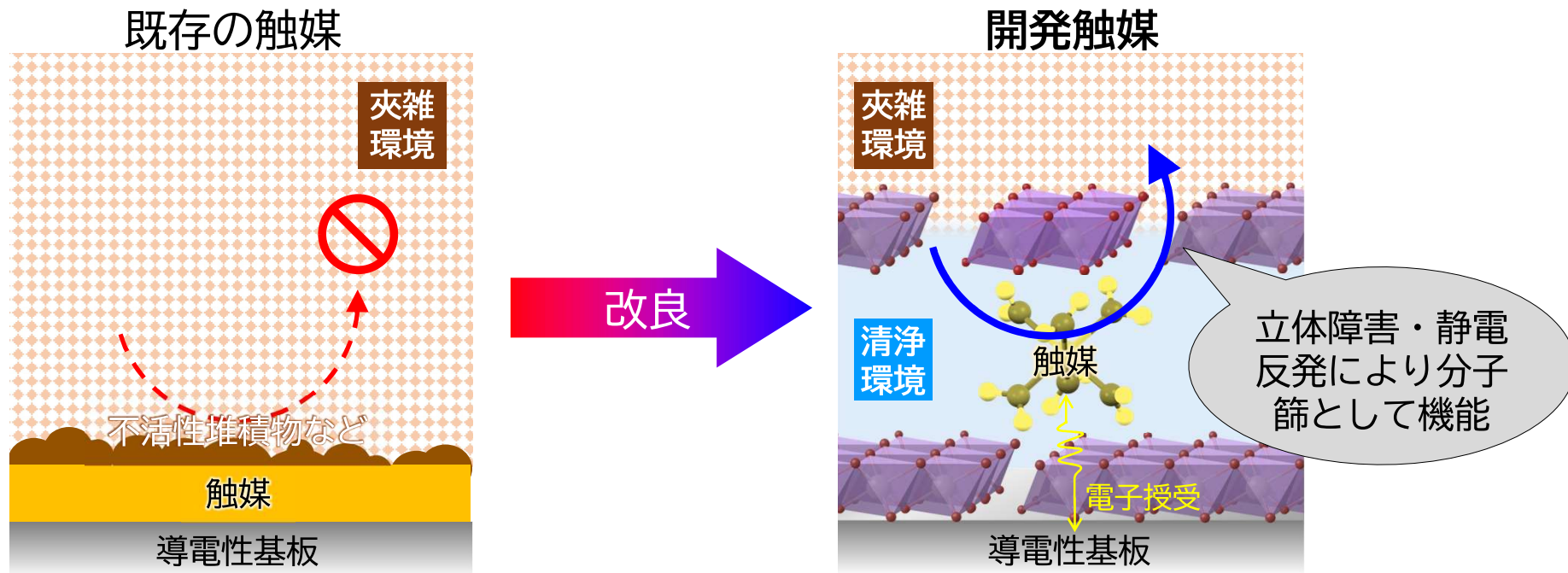
空間を制限し能動的に制御



電解液という新たな設計因子
による特性向上を実現

新技術の特徴・従来技術との比較-運転環境-

夾雑な自然環境下でも触媒周辺を清浄環境に維持する機能を付与

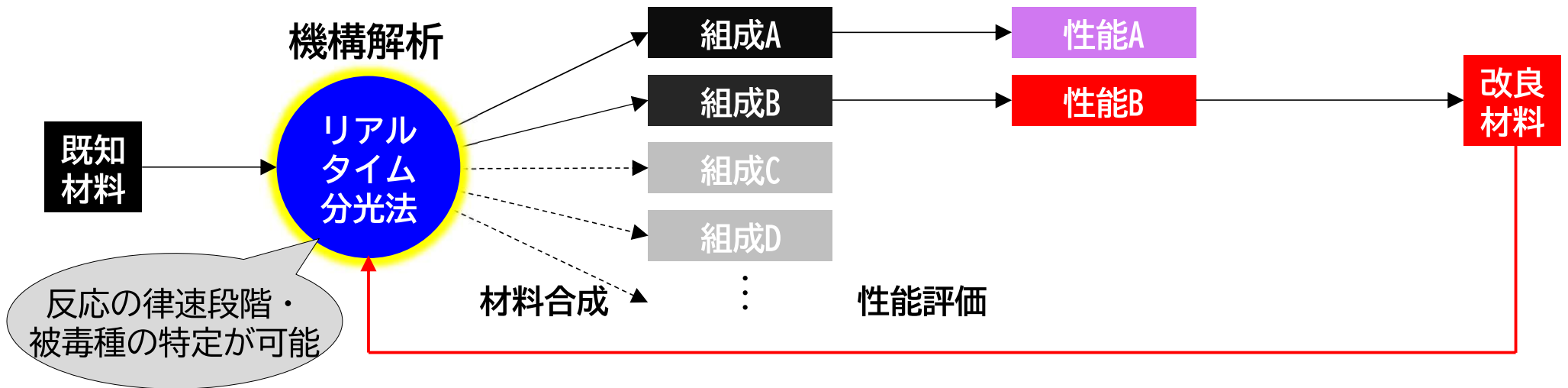


宿主材料を「分子篩」として活用し、コンタミ耐性を向上

新技術の特徴・従来技術との比較-設計戦略-

機構解析の知見を活用した「メカニズム駆動型」材料開発

Yu Katayama*, *Electrochemistry*, 91, 101004 (2023).



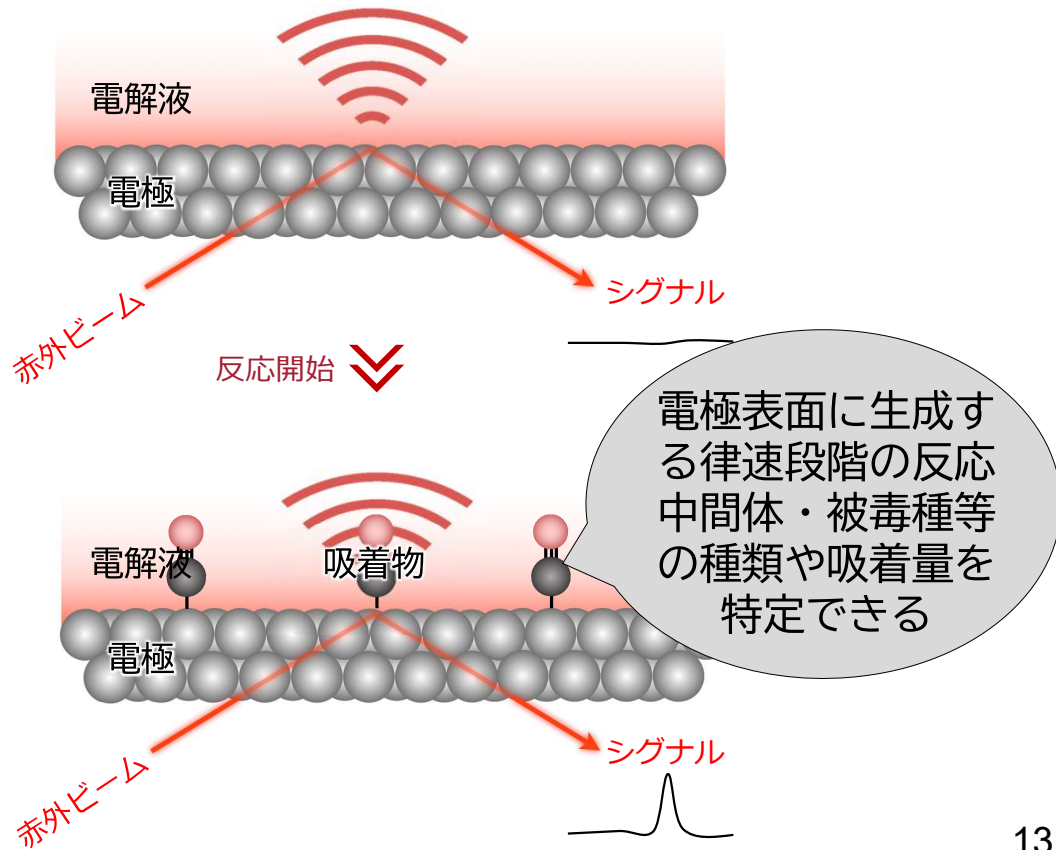
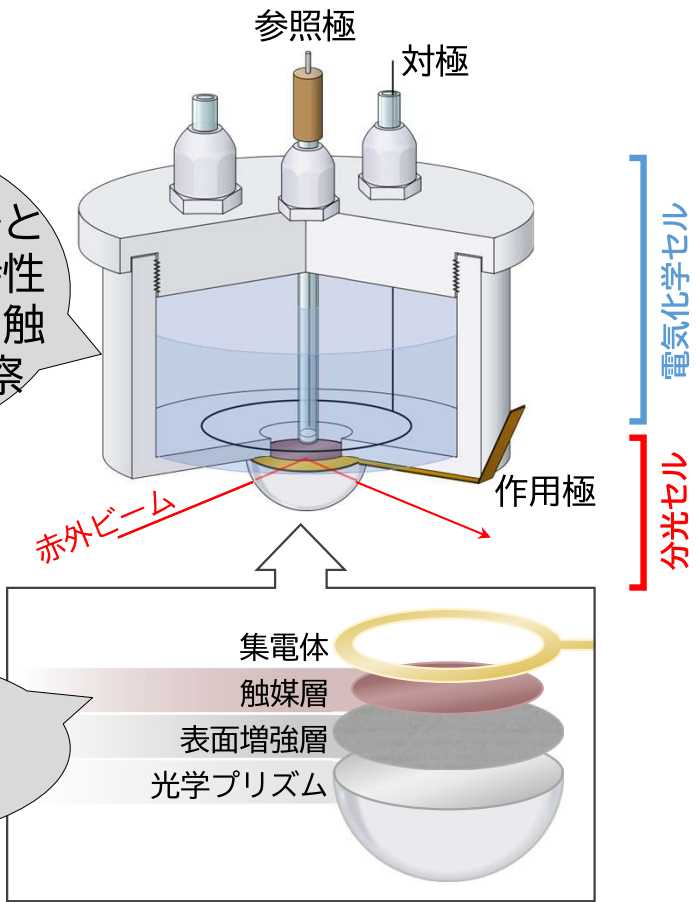
- 作用機序に基づく「狙った」材料合成が可能
- 材料開発・設計指針の構築に貢献

新技術の特徴・従来技術との比較-設計戦略-

実際の測定セルとの乖離を最小化した「リアルタイム解析」セル

標準的な測定セルと同等の電気化学特性により「実際の」触媒作動環境を観察

スラリー・薄膜など各種形態の触媒に対応



想定される用途

「ホストターゲット」 触媒材料

- ✓ 普遍的な分子（水・窒素・二酸化炭素など）の電解反応（水素製造・アンモニア製造・炭化水素製造）の触媒に活用できる
- ✓ さらに成熟すれば、普遍的な出発物（海水/排水・大気・排ガスなど）の資源化にも活用が期待できる
- ✓ また、電気化学セルは補器類が少なく軽量であるため、宇宙でのオンサイト資源製造などに展開することも可能と思われる

リアルタイム 解析技術

- ✓ 高度化した電極触媒・電解液材料の設計に指針を与え、トライ＆エラーからの脱却・材料開発の高速化/高効率化に貢献する
- ✓ 既存の電極触媒での想定外の現象（性能の未達・早期の劣化など）の要因を分子レベルで特定し、その解決指針を提案できる

実用化に向けた課題

「ホスホーゲスト」 触媒材料

- 広範な電解反応に利用される水の酸化反応への優位性を確認済。実用化に向けては**電流密度の向上**にむけた検討（高比表面積化など）が必要。
- 海水中での触媒作動が可能であることを実証済。実用化に向けては**耐久性の向上**にむけた検討が必要。
- 電気メッキ法による合成手法は確立済。実用化に向けては**プロセスのさら**る**高速化・大面積化・バッチ式製造からの脱却**を目指した検討が必要。

リアルタイム 解析技術

- 原理・動作実証は完了しており、電気化学系での測定実績多数。さらに有用な技術とするため、**実機とのギャップ**（実機運転条件での測定や適用可能な触媒形態のさらなる拡大など）をさらに小さくする取組みを進める。

企業への期待

本材料を社会実装までフェーズアップするためには産学連携が不可欠

「ホスト-ゲスト」
触媒材料

- 開発触媒のフルセル・実機搭載にむけた評価検討を産学連携で推進したい
→ (連携の例) 企業との共同研究・産学連携体制でのプロジェクトへの応募
- 開発触媒の大量合成にむけたプロセス開発を産学連携で推進したい
→ (連携の例) 企業との共同研究・産学連携体制でのプロジェクトへの応募

リアルタイム
解析技術

- 触媒・電解液材料を開発しており、その作用メカニズムや劣化メカニズムなどの知見を得たい企業には、本技術の導入が有効と思われる
→ (連携の例) 企業との共同研究(ただし単なる委託測定のような形は難しい)

企業への貢献、PRポイント

「ホスティング」
触媒材料

- ✓ 本材料は安価で合成が容易、かつ目的反応に応じてテーラーメイドが可能
なため、各企業の持つ既存インフラ・顧客等の強みに合わせた電解デバイ
スの実現に貢献できると考えている。

リアルタイム
解析技術

- ✓ 本技術はリアルタイム測定にありがちな「実機とのギャップ」を極力排除
しているため、企業の有する独自材料の作用メカニズム・劣化メカニズム
等を特定し、次の材料開発の「最善手」の提案に貢献できると考えている。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 層状マンガン酸化物及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2022-032921, PCT/JP2022/011337, 18/548359(米国)
- 出願人 : 大阪大学
- 発明者 : 片山 祐、森永 明日香、肥後 友哉、小野 隆太郎、内山 駿作

本技術に関する関連論文(一例)

- ✓ (総説) Yu Katayama* *Electrochemistry*, 91, 101004 (2023).
- ✓ (H₂O資源化) Haesol Kim, ...Yu Katayama* *et al. J. Am. Chem. Soc.* 147, 5, 4667 (2025).
- ✓ (N₂資源化) Matthew Spry, ...Yu Katayama* *et al. Energy & Environmental Science* 18, 8414 (2025).
- ✓ (CO₂資源化) Y. Katayama*, *et al. J. Phys. Chem. C*, 123, 5951-5963 (2019).

産学連携の経歴

- 2025年-現在 JST 大学発新産業創出基金事業スタートアップ創出プログラムに採択
- 2022年-現在 NEDOグリーンイノベーション基金に採択
- 2022年-現在 NEDO官民による若手研究者発掘支援事業（共同研究）に採択
- 2021年 NEDO官民による若手研究者発掘支援事業（マッチングサポート）に採択
- 2020年 JST 研究成果展開事業 A-STEPトライアウトに採択
- 2019年 JST 研究成果展開事業 A-STEP機能検証フェーズに採択

2018年-現在 延べ26件の企業共同研究を実施

お問い合わせ先

大阪大学産業科学研究所 戦略室

TEL 06-6879-8448

e-mail air-office@sanken.osaka-u.ac.jp