

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業／  
水素利用等高度化先端技術開発／  
革新的水電解用電極技術の研究開発

団体名：学校法人同志社  
発表日：2024年7月18日

1. 背景

現在のアルカリ水電解(AWE)では陽極材料（触媒、触媒基材、集電体）がニッケル系材料に限定され、下表のような課題がある。  
これを解決できる新たな陽極技術の開発が必要である。

表 1 AWEの課題と本研究開発のアプローチ

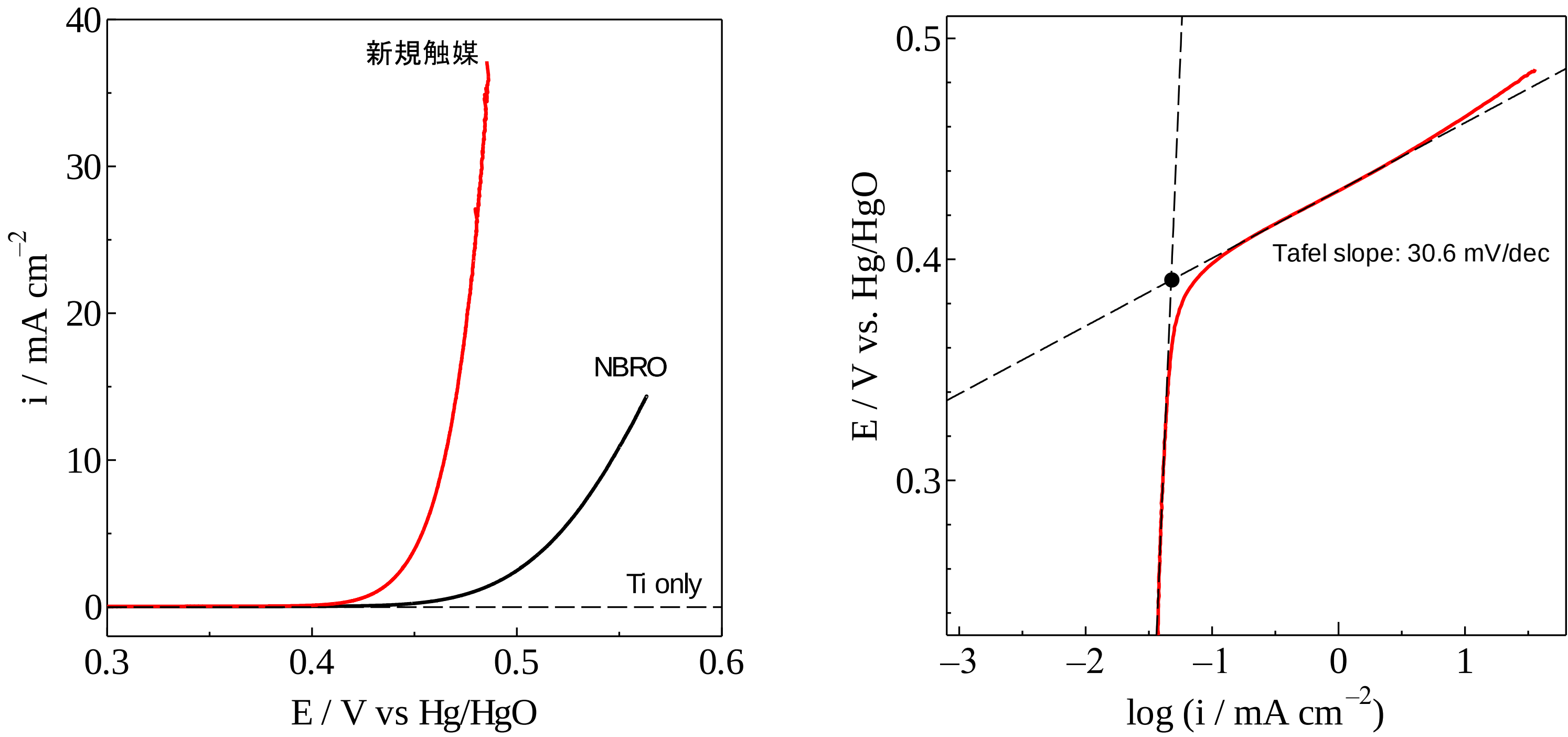
| 項目   | 現状                                    | 課題                                                                    | 本研究開発のアプローチ                                                                             |
|------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 触媒活性 | 陽極<br>導電材：Ni、Ni合金等<br>触媒：NiCoO、NiFeO等 | 材料自体の触媒活性が低い<br>高電流密度化が困難<br>高比表面積化も限界                                | 触媒は超高活性なパイロクロア酸化物<br>高活性、高比表面積で高電密化に対応                                                  |
| 寿命   |                                       | 高電密で寿命低下が大<br>導電材酸化で触媒が剥離・脱落<br>逆電流→Ni価数変化→電極劣化                       | OERに高耐久性<br>OER・ORRサイクルにも高耐性<br>逆電流への高耐性が期待できる                                          |
| コスト  | 実証事業で検討中                              | 導電材・触媒にNiを大量に使用<br>→CAPEX増加要因<br>高電密で消耗大→OPEX増加要因<br>逆電流で劣化大→OPEX増加要因 | 超高活性触媒で、電極面積当たりの触媒量を極めて少なくできる<br>(最終目標 <0.01mg/cm <sup>2</sup> )<br>現状のNi系より大幅なコスト低減も可能 |

2. 目標

アルカリ水電解やアニオン交換膜水電解(AEMWE)を対象とした革新的陽極技術として、酸素発生に対して超高活性でありながら、逆電流耐性にも優れるパイロクロア酸化物を形成した電極材料によって、超高活性・高耐久・低コストを同時に実現する陽極技術を開発する。

3. 内容

OERに対して超高活性かつORRへの触媒活性も有するパイロクロア酸化物を開発する。具体的には、パイロクロア酸化物BRO(Bismuth Ruthenium Oxide)をベースとする酸素触媒を用いた電極材料を開発し、連続酸素発生、逆電解耐性の両方に優れ、長寿命で低コストなAWE陽極を提供する。



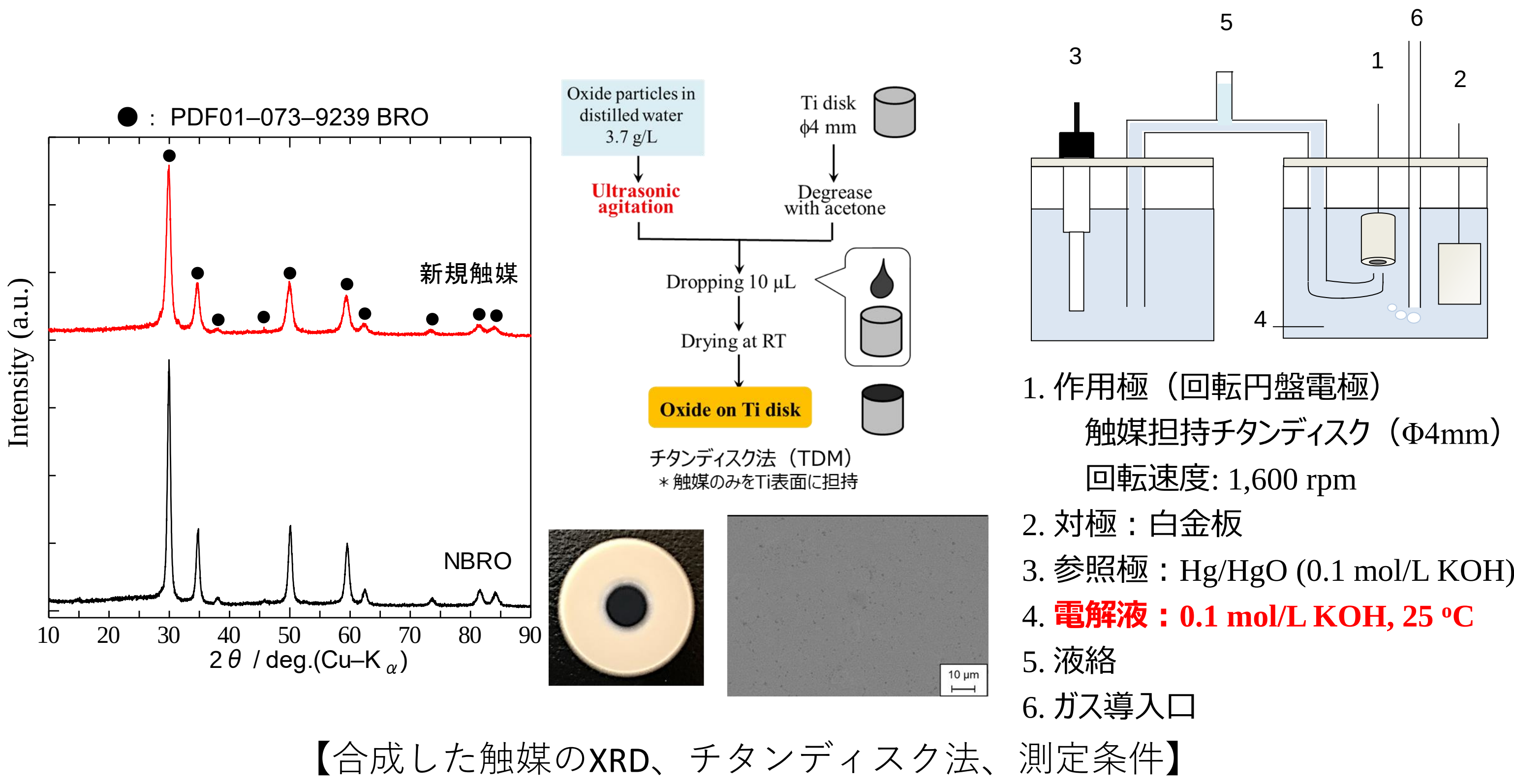
Tafel勾配(mV/dec)の比較

| 新規触媒 | NBRO | CaFeO <sub>3</sub> | CaFe <sub>3</sub> Cu <sub>4</sub> O <sub>12</sub> | NiFeCo | Ir/C | Ni(OH) <sub>2</sub> | NiCo LDH | SrFeO <sub>3</sub> | NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> |
|------|------|--------------------|---------------------------------------------------|--------|------|---------------------|----------|--------------------|----------------------------------|
| 31   | 43   | 47                 | 51                                                | 59     | 60   | 65                  | 60～65    | 63                 | 292                              |

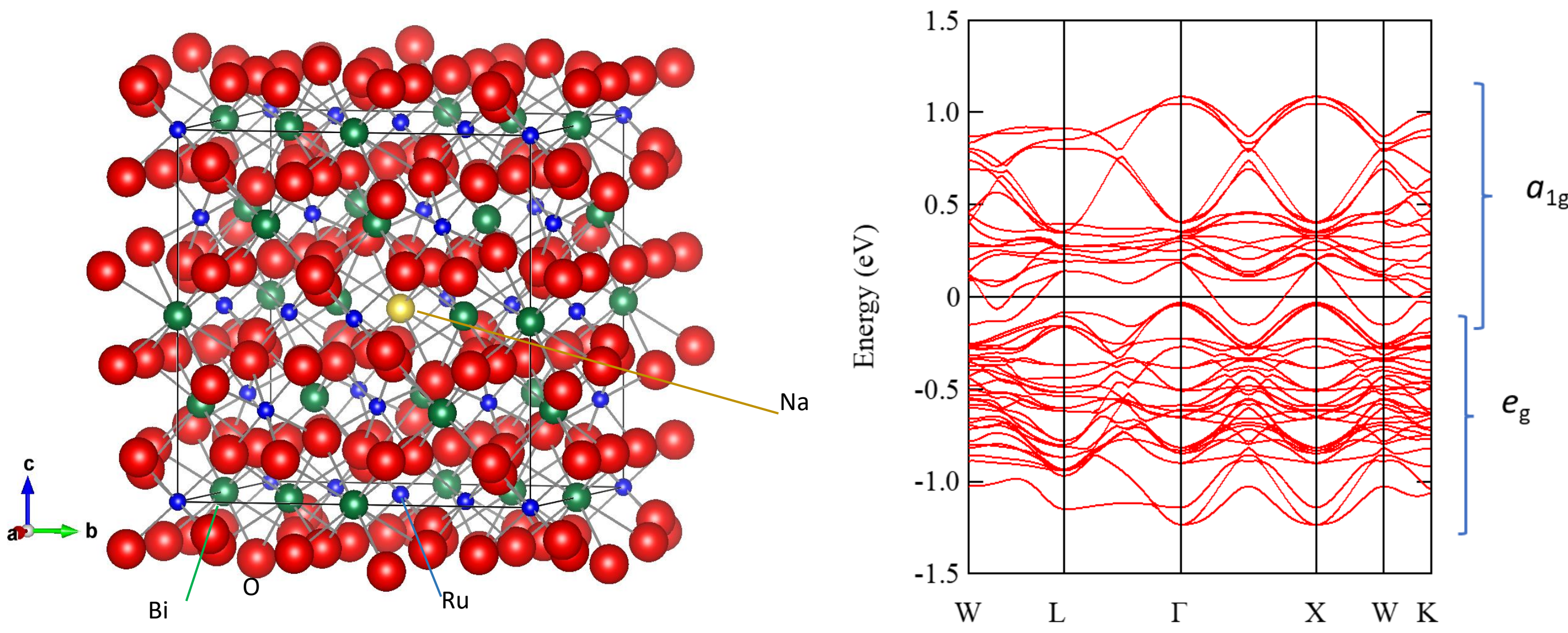
引用データ：Scientific Reports, Vol. 5, Article No.13801 (2015);  
Nature Communications, Vol. 6, Article No. 8249 (2015)

【本事業で開発した新規触媒のIV曲線およびNBROや他のOER触媒のTafel勾配との比較】

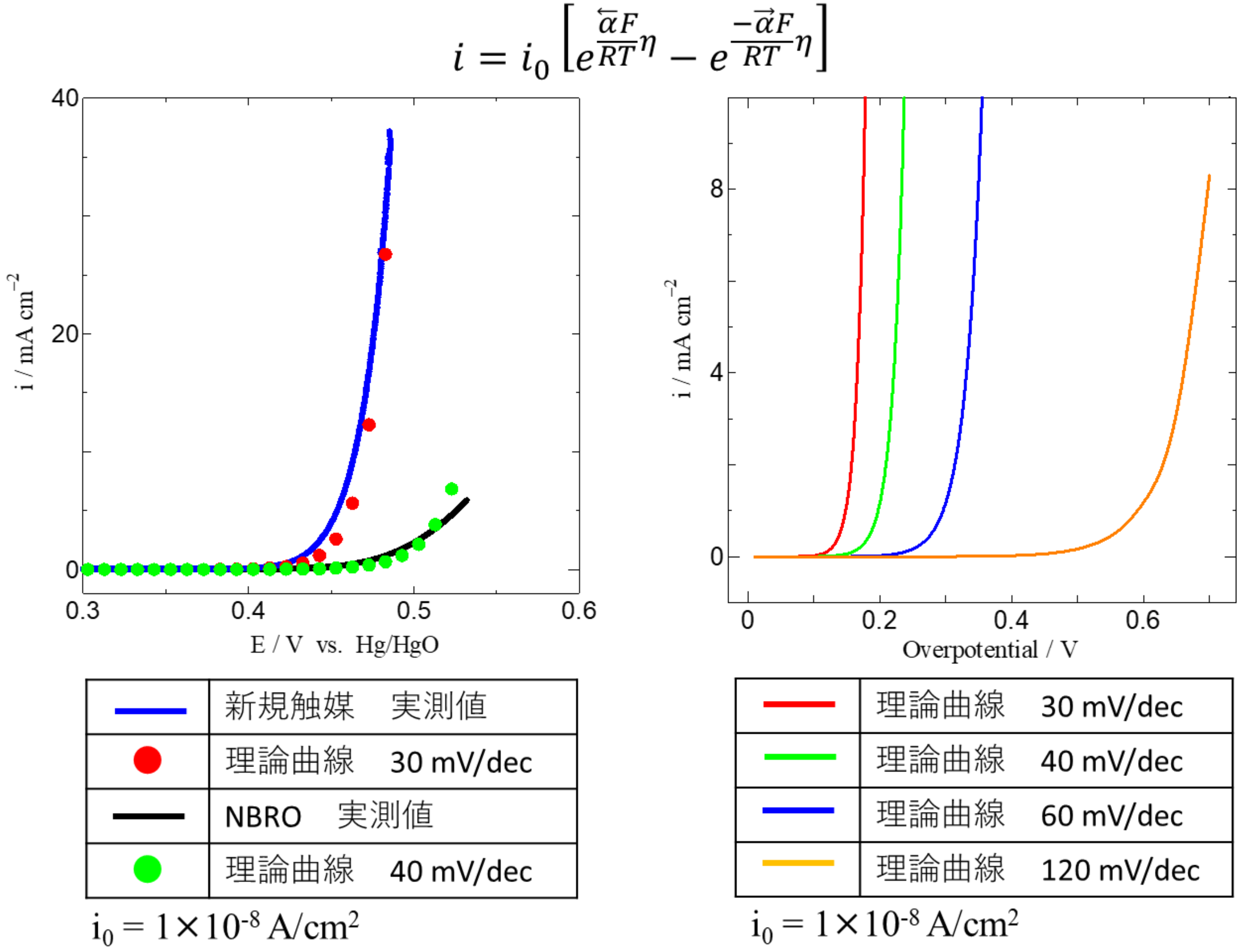
4. 成果



【合成した触媒のXRD、チタンディスク法、測定条件】



【NBROの最適構造とバンド分散の計算結果】



|   |      |           |
|---|------|-----------|
| — | 新規触媒 | 実測値       |
| ● | 理論曲線 | 30 mV/dec |
| — | NBRO | 実測値       |
| ● | 理論曲線 | 40 mV/dec |

$i_0 = 1 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$

|   |      |            |
|---|------|------------|
| — | 理論曲線 | 30 mV/dec  |
| — | 理論曲線 | 40 mV/dec  |
| — | 理論曲線 | 60 mV/dec  |
| — | 理論曲線 | 120 mV/dec |

$i_0 = 1 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$

【新規触媒およびNBROのIV曲線（測定値）とTafel勾配が異なるIV理論曲線の比較】

5. 成果のまとめと意義

- 超高活性な新規パイロクロア酸化物触媒を開発し、反応開始過電圧0.1V以下を達成→0.1V以下は他のOER触媒では報告例がない「革新的技術」
- 超高活性電極材料を開発→Ni系触媒よりも200mV以上も過電圧を低減→Ni系触媒に対して15%程度までの電解電圧削減の可能性
- BROおよびNBROの構造最適化に成功し、構造パラメータ・DOS・電子分布を解析→Naドーピングで構造歪を生じ、E<sub>F</sub>付近の電子密度が変化

6. 成果の活用・AWEへの展開

- 新規パイロクロア酸化物触媒を用いたAWE電極の技術は触媒合成・電極・電解槽の各企業へ展開
- 超高活性なOER触媒の開発手法をHER触媒にも展開し、アノードとカソードの両面から電解電圧のさらなる削減を検討
- 非常に高いOER触媒活性が室温で得られたことで、AWEの運転温度を現状（60℃～80℃）よりも低下できる可能性  
→過電圧低減や運転温度低下により電極やセルの長寿命化に対してプラス効果を期待  
→濃厚アルカリ環境における腐食性を低減することでBOPを含めた材料の選択肢が広がる可能性
- 電圧効率向上と長寿命化で、再エネ電力消費やCAPEX・OPEXを抑制し、20円/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>の目標に向けて水素製造の低コスト化に貢献