

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.A1-10

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
／水電解用酸化マンガン系酸素生成（O E R）触媒の運転方法・製造方法
の確立と大型化へ向けた研究開発

発表者名	高光泰之（東ソー株式会社）
団体名	東ソー株式会社 株式会社カーリット 国立研究開発法人理化学研究所
発表日	2025年7月15日

連絡先：	東ソー株式会社	https://www.tosoh.co.jp
	株式会社カーリット	https://www.carlithd.co.jp
	国立研究開発法人理化学研究所	https://www.riken.jp

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年6月

終了 : 2025年3月

2. 最終目標

水素利用等先導研究開発事業で見いだした水電解酸素生成触媒（IrMnOx）の
運転方法・製造方法・大型化の手法を確立する。

数値目標：10×10cmサイズの触媒を1000時間運転する。

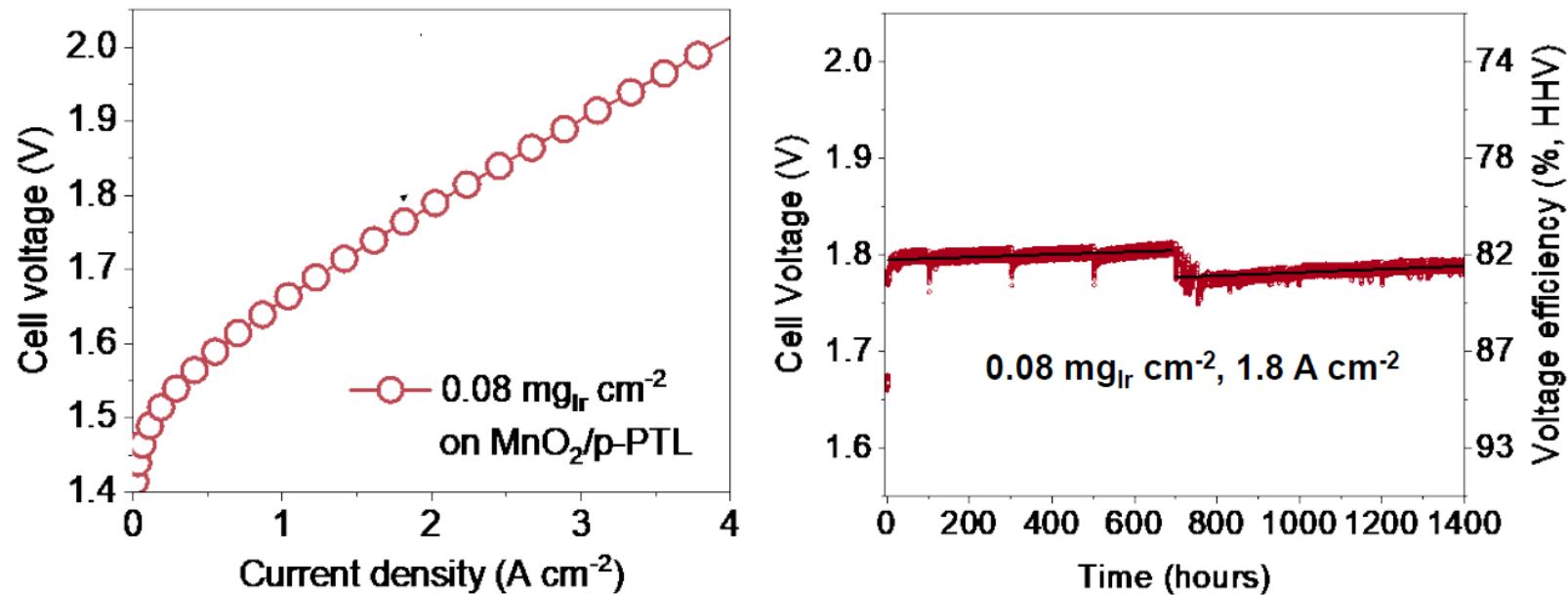
3. 成果・進捗概要

- 10×10cmの作製方法確立、性能確認
- IrMnOxのセル構造、運転方法の確立
- 1000時間の運転確認

1. 事業の位置付け・必要性

1. 事業の背景・目的

- 固体高分子型（PEM型）水電解触媒ではイリジウム（Ir）の使用量削減が課題
- 前NEDO事業で、微量Irでも高活性なIrMnOxを見いだした
(Science 2024, v. 384, i. 6696, pp. 666-670, 理化学研究所 中村龍平)



NEDO成果報告書「非貴金属触媒を利用した固体高分子型水電解の変動電源に対する劣化解析と安定性向上の研究開発」(2023)

2. 事業の位置づけ、必要性

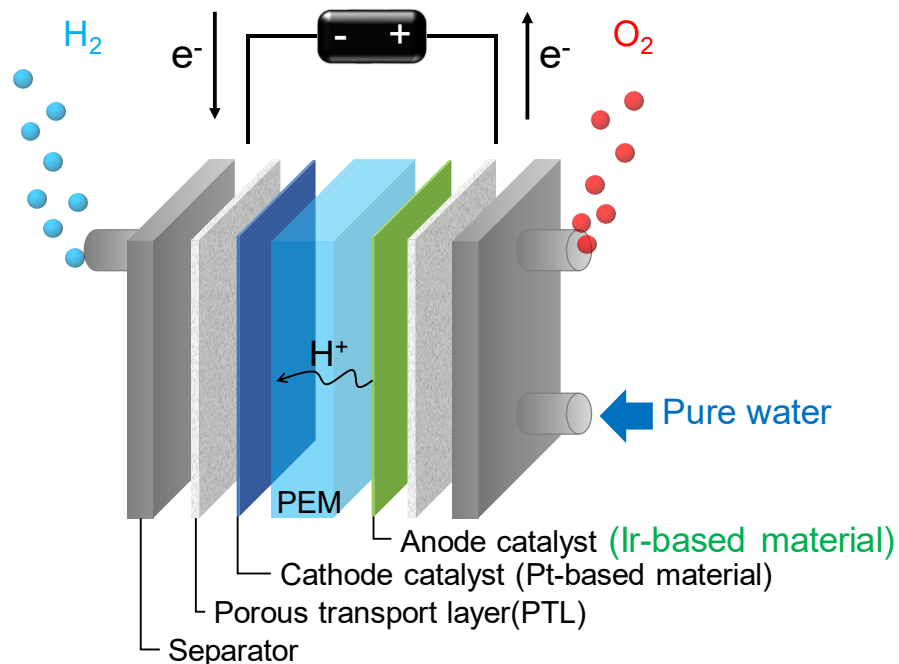
- IrMnOx工業化のための基礎的知見の確立（製法・セル設計・運転方法）

2. 研究開発マネジメントについて

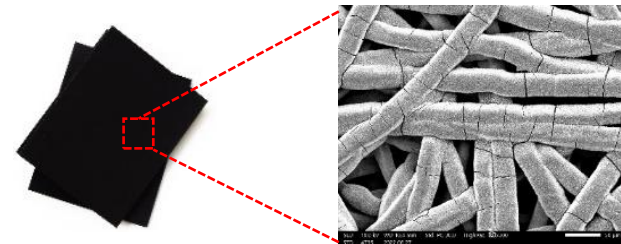
1. 研究開発の目標と目標設定の考え方

目標：10×10cmサイズの触媒を1000時間運転する。（Ir < 0.06g/kW, 1.5A/cm², 初期電圧<2V）

- 一般的なCCM (Catalyst Coated Membrane) 方式ではなく
CCS (Catalyst Coated Substrate) 方式のため、大面積化の技術確立が必要。
- 前NEDO事業では2×2cmで検討。
実用サイズ（25×25cm）との中間点として10×10cmを設定。

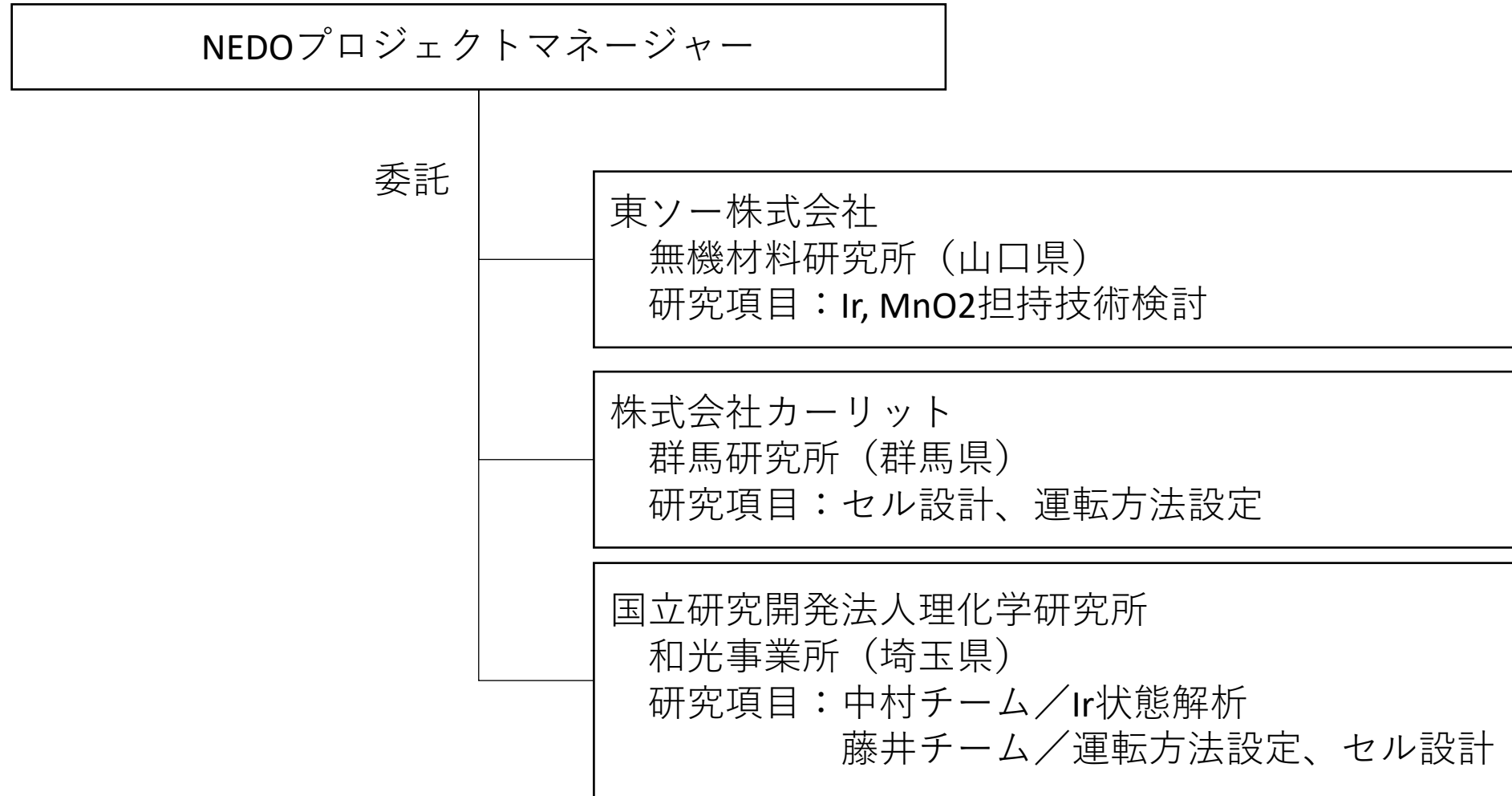


PTL(Pt/Ti mesh)上に触媒を担持



2. 研究開発マネジメントについて

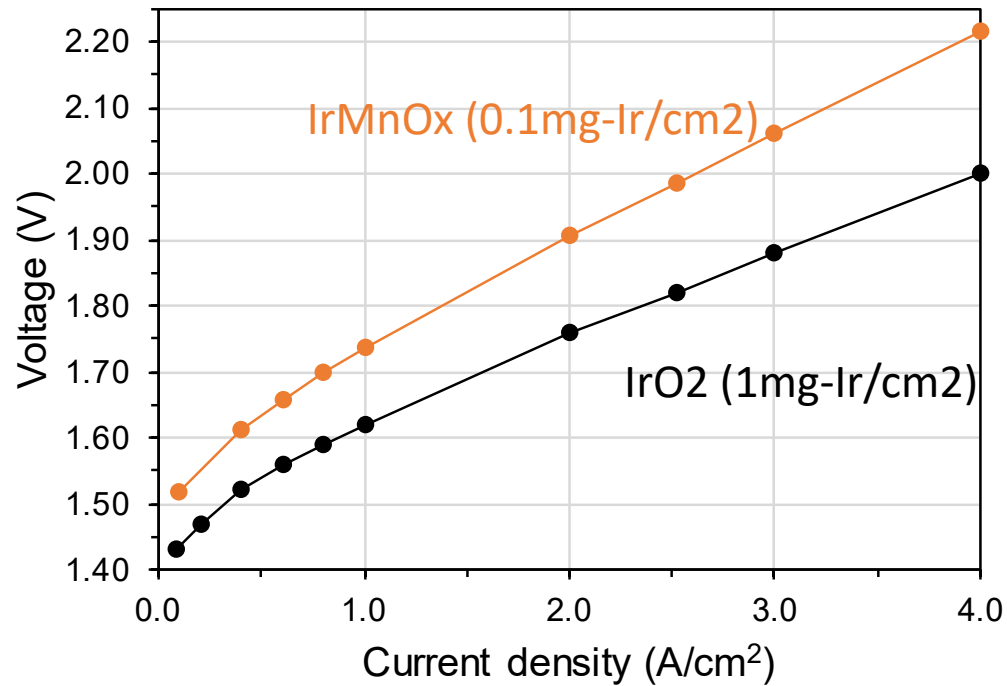
2. 研究開発の実施体制



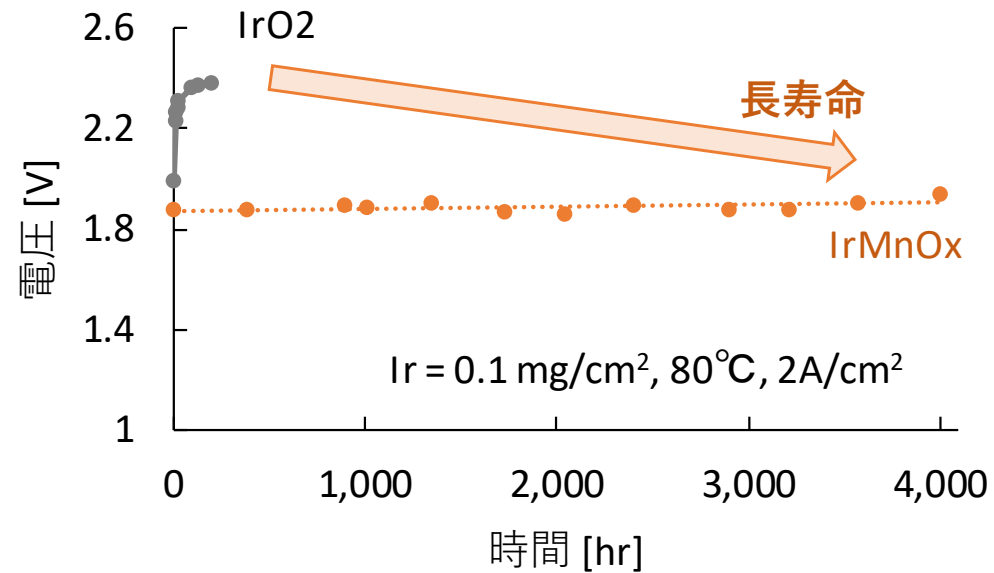
3. 研究開発成果について

1. IrMnOxの性能確認

- IrO₂ (1mg/cm²) には及ばないが、Ir重量あたりではIrO₂より優れた活性
- 低Ir量でも長寿命、4000hr安定して稼働



初期活性



耐久性

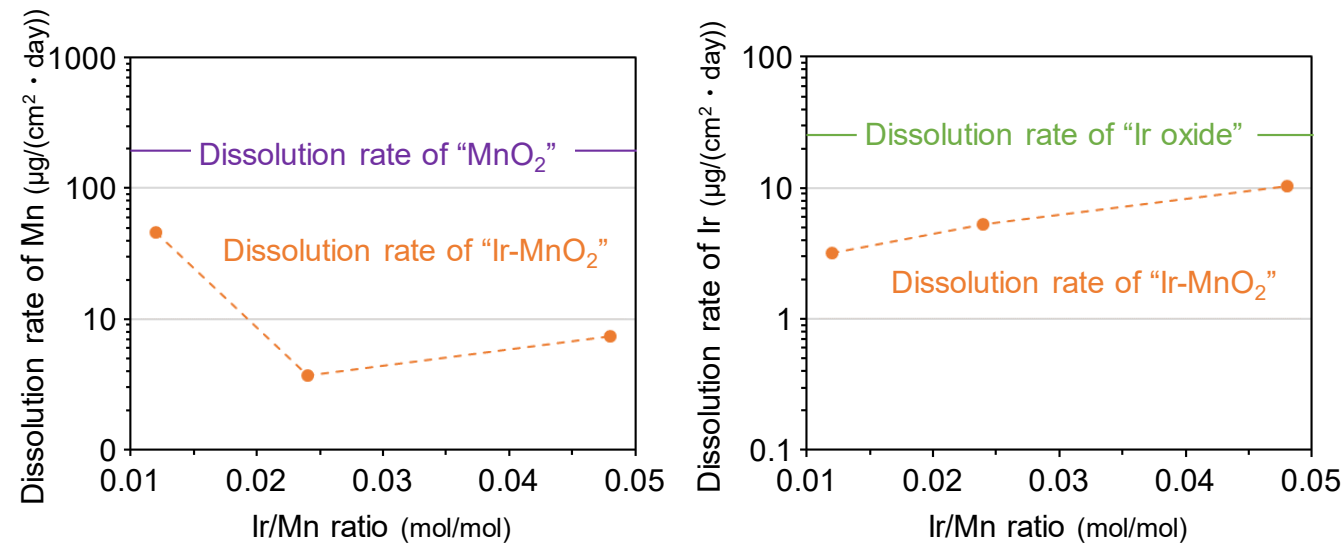
3. 研究開発成果について

1. IrMnOxの性能確認

【溶出挙動=劣化挙動確認】

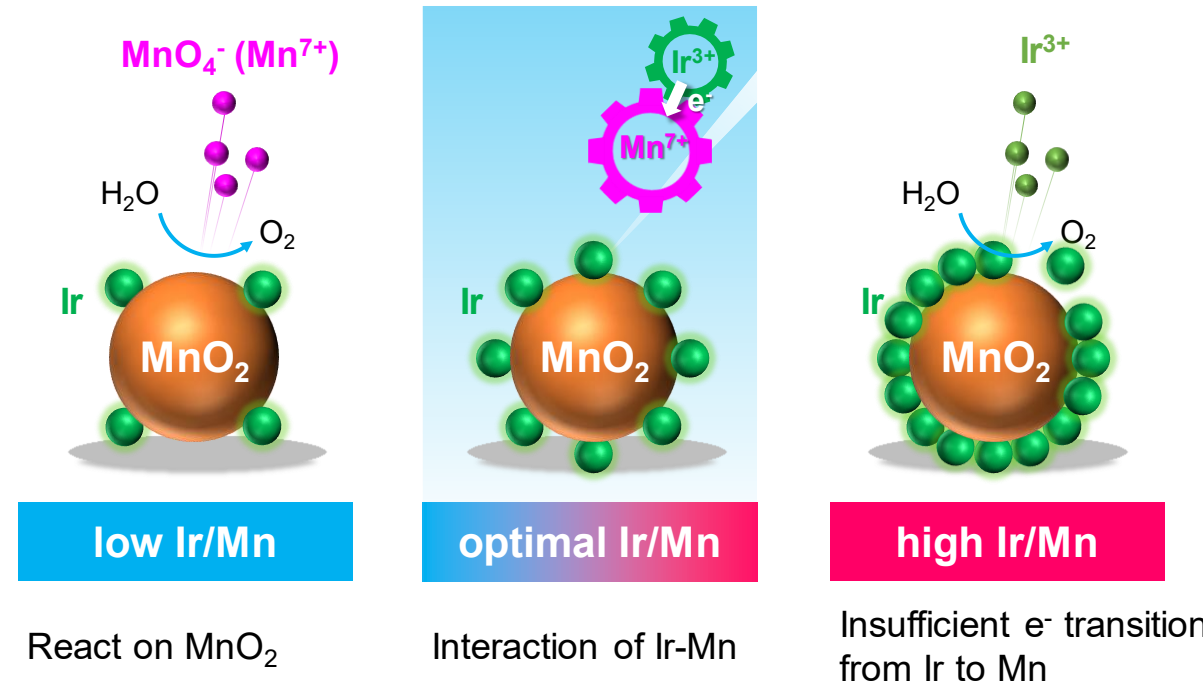
- Irが多いとMn溶出が抑制される
- Mnが多いとIr溶出が抑制される

➤ Ir, Mnがお互いに溶出を抑制している



溶出量とIr/Mnモル比

75th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistryで報告



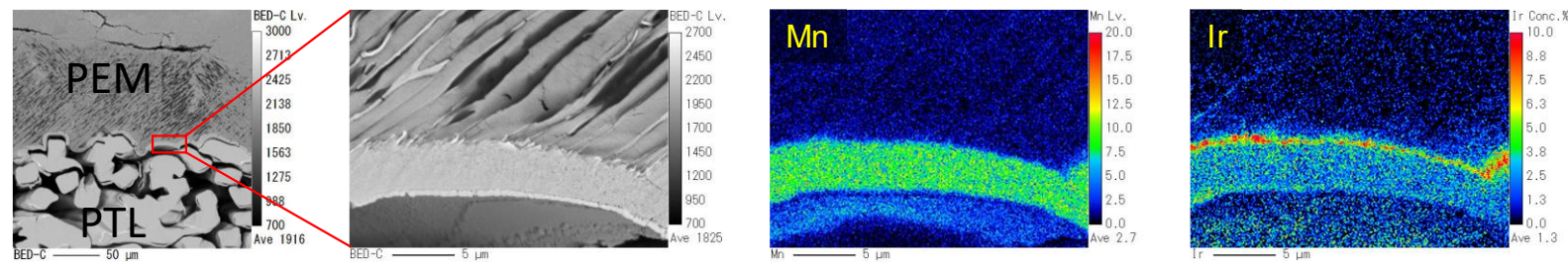
溶出抑制モデル

3. 研究開発成果について

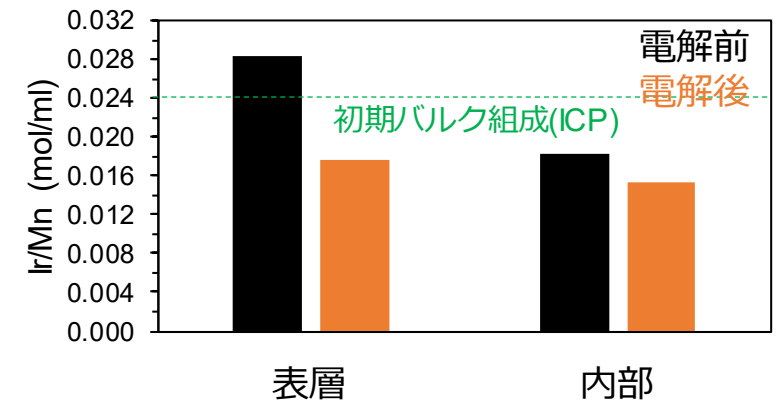
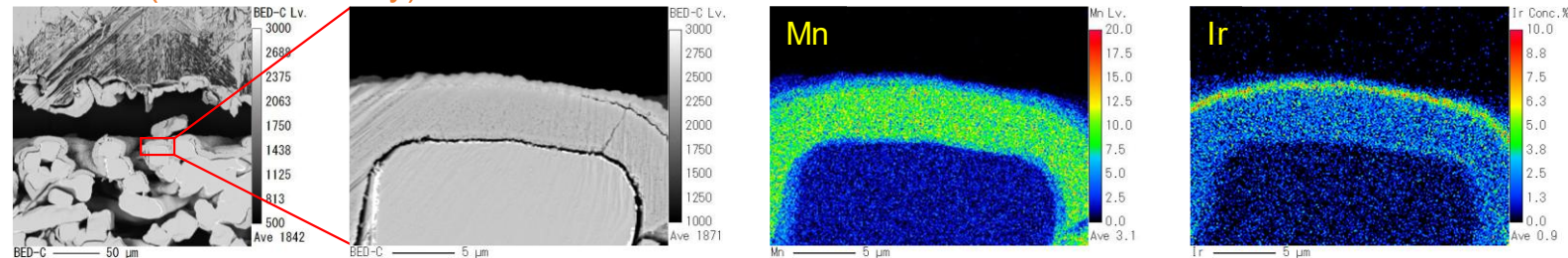
1. IrMnOxの性能確認

- 一週間電解後も触媒層を維持、表面偏析したIrのみ喪失
- 内部組成は電解前後で一定

■ 電解前



■ 電解後(3 A/cm² - 7 day)



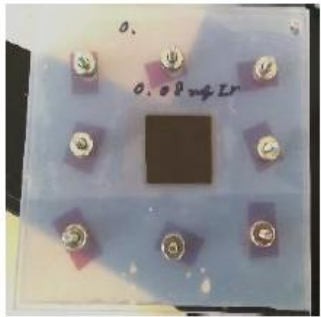
電解前後の組成変化

電解前後の断面

3. 研究開発成果について

2. 大面積作製

- 前NEDO事業の作製方法から、工業化可能な方法に変更
- 場所による性能偏差がないことを確認



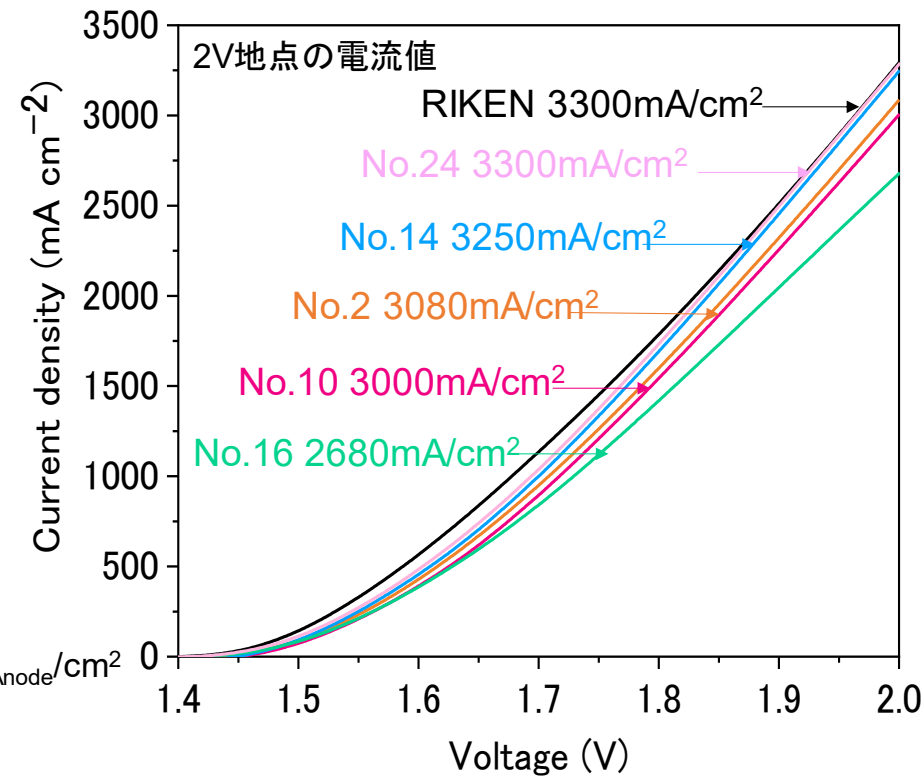
- 液少量($\sim 0.1 \text{ mL/cm}^2$)
- Ir高濃度($1,000 \text{ mg/L}$)
- 密閉系

- 液多量($\sim 5 \text{ mL/cm}^2$)
- Ir低濃度($20\sim 100 \text{ mg/L}$)
- 開放系

○...測定した箇所

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

80°C,
0.4mg_{Pt cathode}/cm²,
1.2mg_{Mn Anode}/cm², 0.1mg_{Ir Anode}/cm²



3. 研究開発成果について

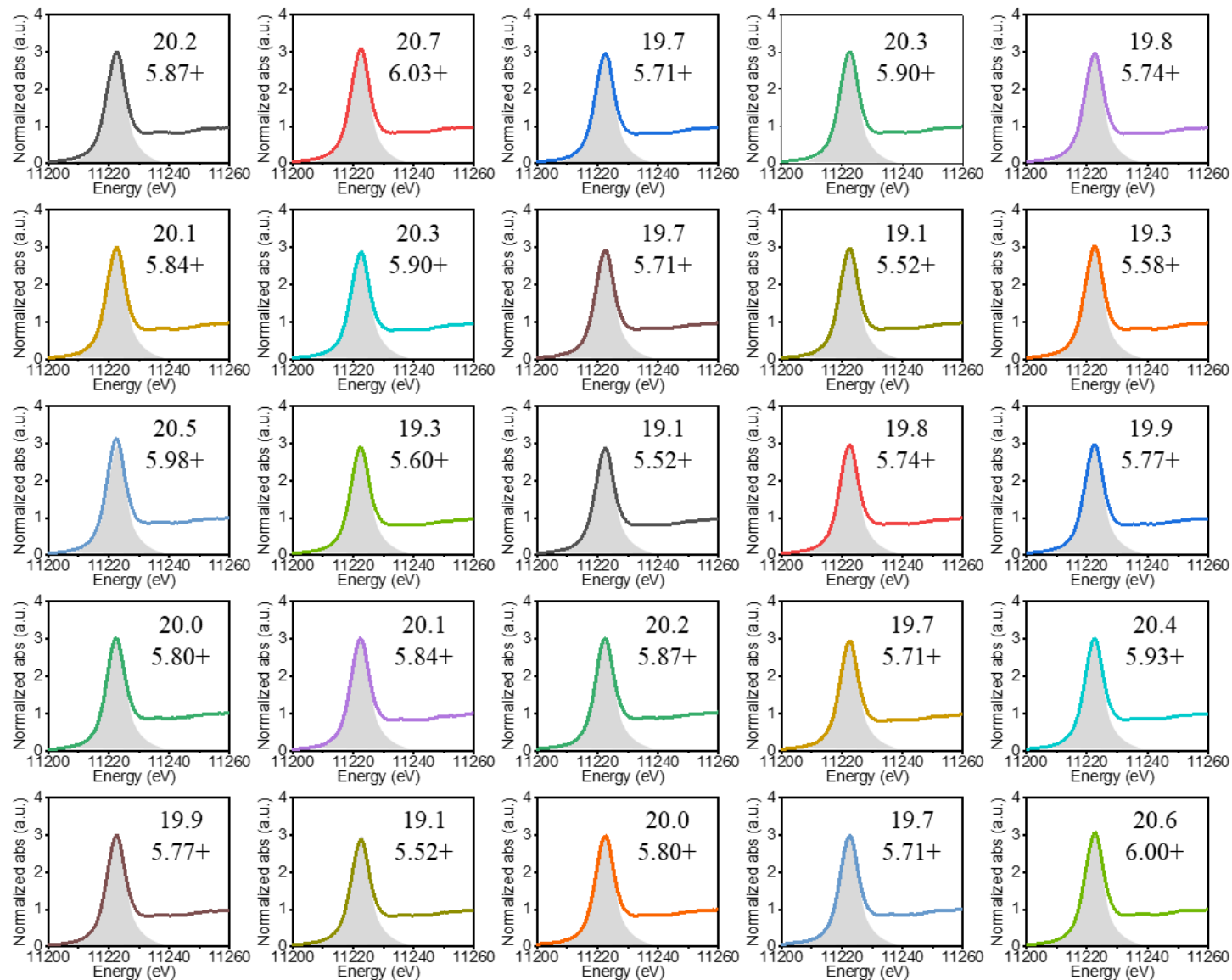
2. 大面積作製

- Ir価数は 5.77 ± 0.26
- MnO₂の作用で高活性な6価イリジウムが生成

Reference sample
Ir³⁺Cl₃ (Area:11.3)
Ir⁴⁺O₂ (Area: 14.4)

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

1×1cm²にカットし、
25サンプルに対して
価数を評価

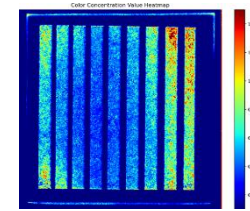
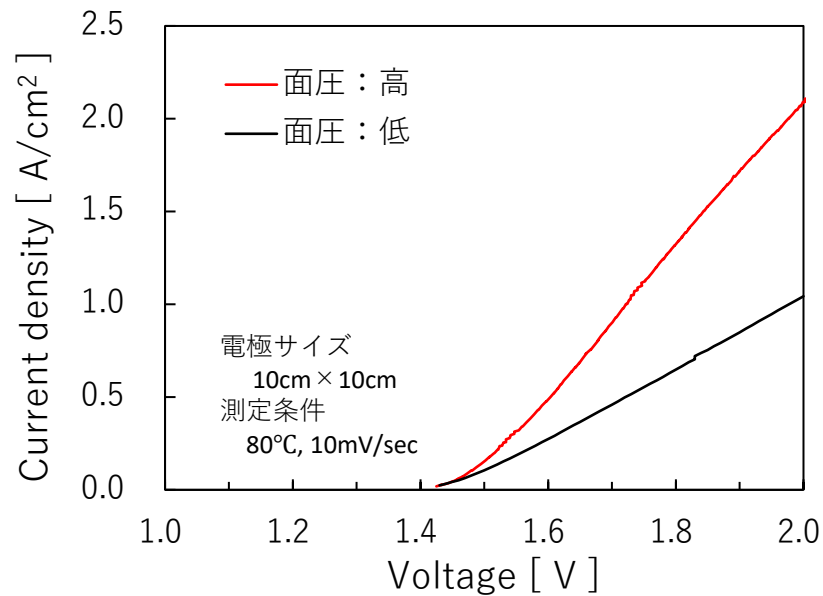


3. 研究開発成果について

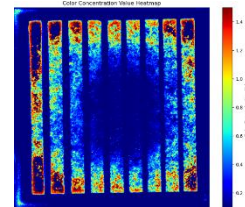
3. セル設計

【面圧】 電流密度向上には、IrOx系よりも高い面圧が必要であることが判明
電解セル内部構造や構成を検討して均一な面圧を達成
CCMではなくCCSタイプであることが影響と推定。

【給電位置】 給電位置はシミュレーションから決定
給電位置は対角上1か所ずつから流したほうが電流が均一

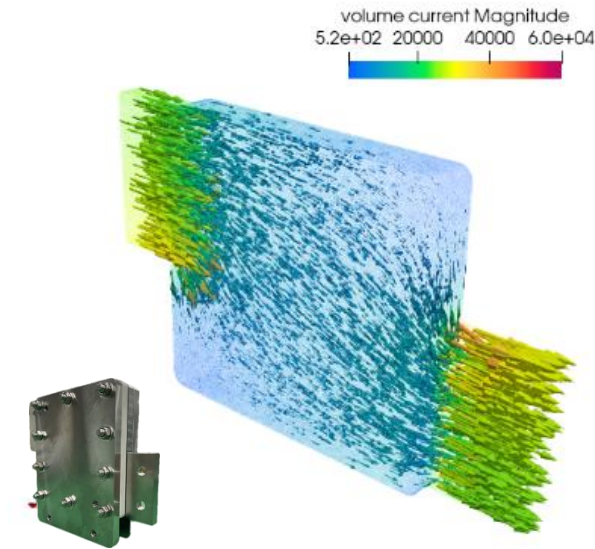


均一、高面圧



不均一、低面圧

面圧がLSV曲線に耐える影響と面圧ヒートマップ



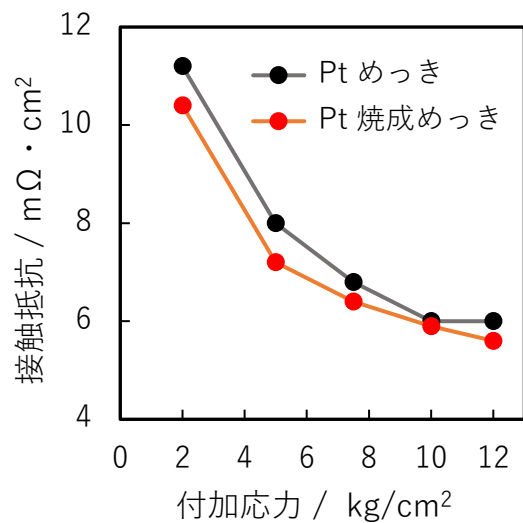
電流線分布シミュレーション (10x10cm)

3. 研究開発成果について

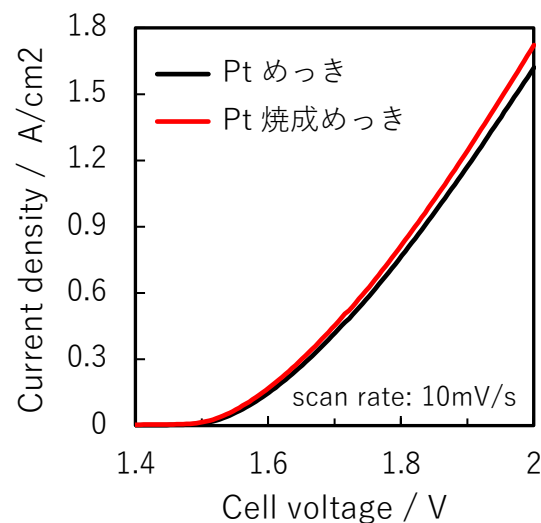
3. セル設計

【Ptの焼成めっき】 Ti基材との密着性に優れるPt焼成めっき法を検討。
OER性能・導電性・耐食性ともめっき法と同等。

【PTL空隙率】 PTL空隙率を検討、低空隙率で電流出力が高い。
(空隙率が低いほうが PTL 表面の繊維が緻密になっているため、その繊維上に形成した IrMnOxの実効表面積が大きいいためか)

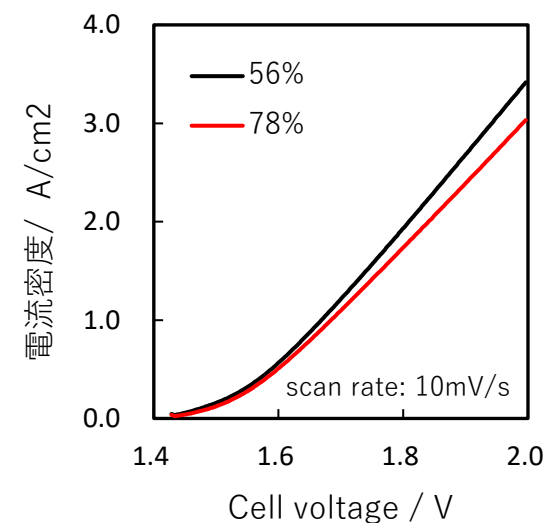


(a) 接触抵抗

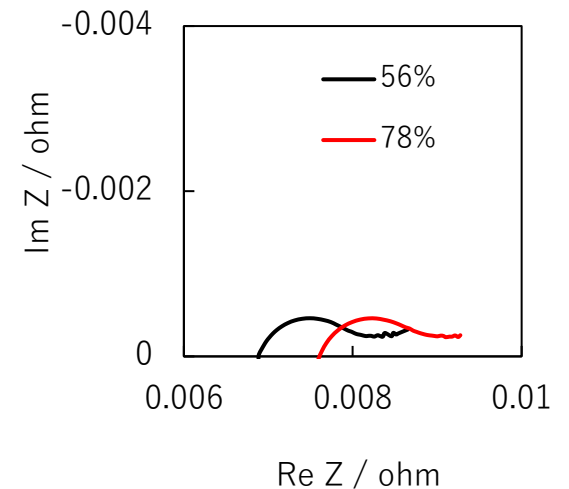


(b) セル組み込み評価

焼成めっき法の性能評価



(a) LSV 曲線



(b) EIS プロット (1.8V)

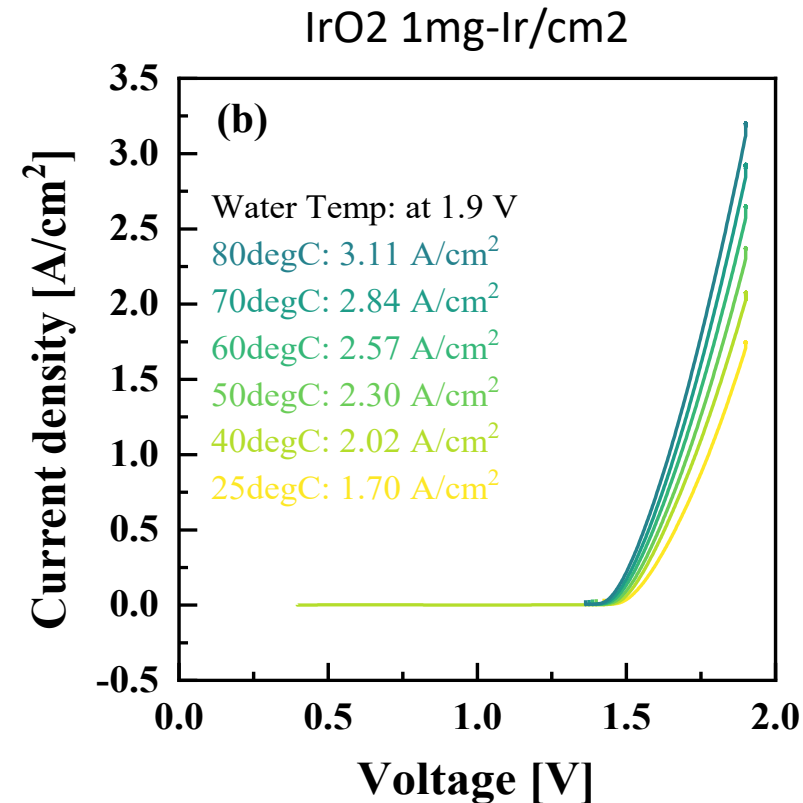
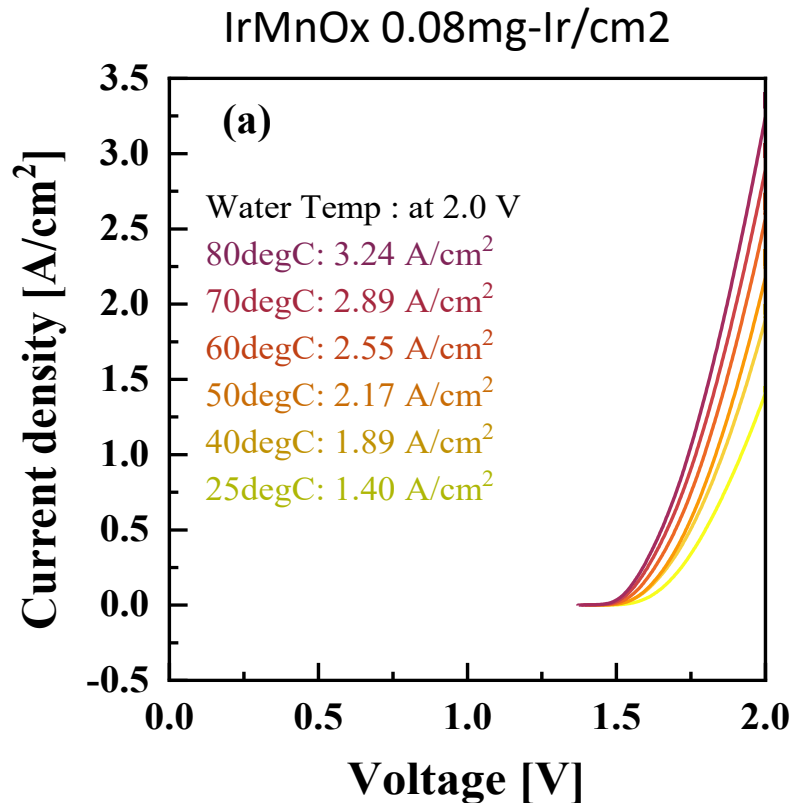
アノードPTL空隙率の影響 (4x4cm)

3. 研究開発成果について

4. 運転方法

- 電流密度の立ち上がり角度はIrMnOxもIrO2も同等。
- 温度依存性も同等
(IrMnOxの電流密度は、IrO2に対して65% (RT), 72% (80°C))

➡ IrO2と類似の EMS 制御で電極の劣化なく水電解が可能



3. 研究開発成果について

4. 運転方法【初期活性化方法】

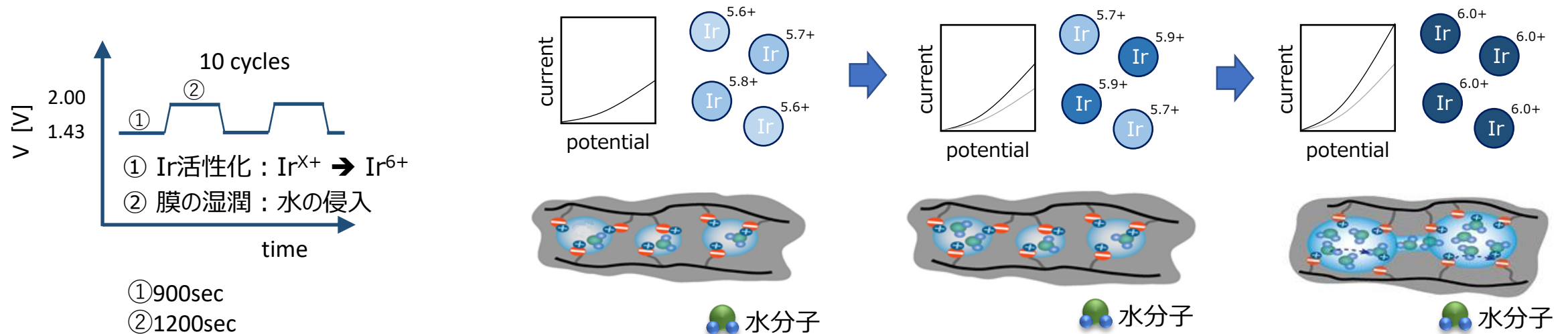
ポテンシオスタットではなく一般電源を用いた活性化

① IrMnO_2 電極触媒の活性化

絶対数が少ない Ir を OER 触媒として機能を発揮させるための電気化学的なトリートメント

② イオン交換膜内への水分子侵入

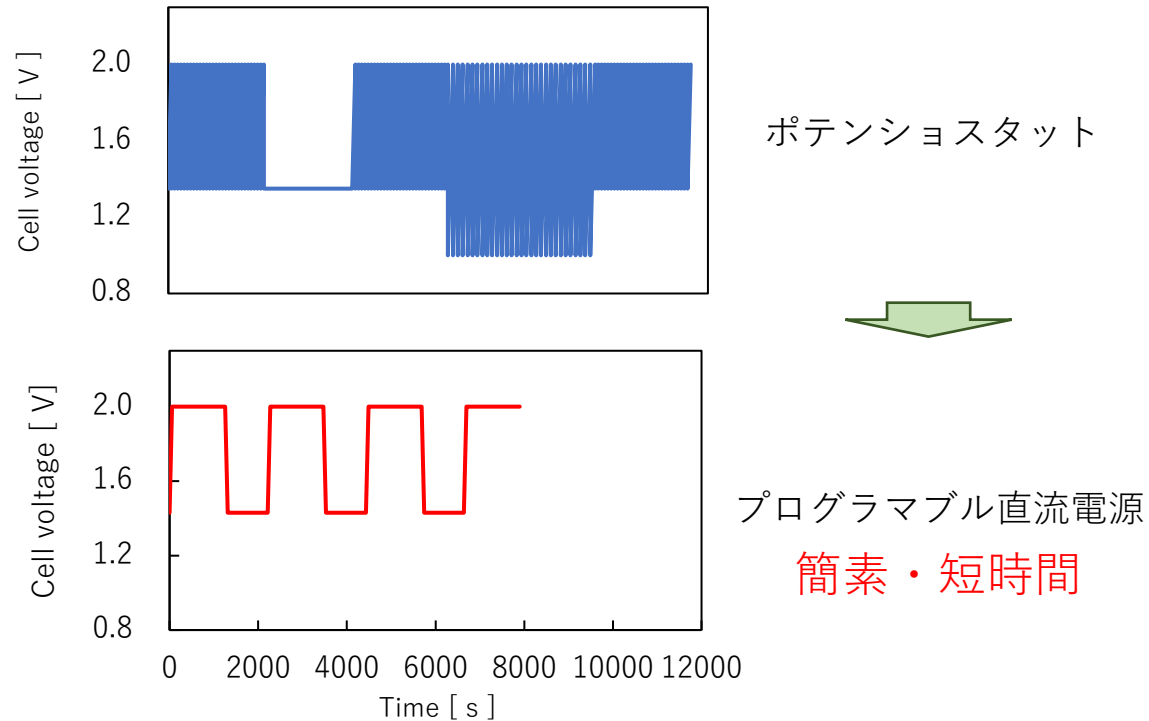
水分子をイオン交換膜内に侵入させて伝導度向上させるための電気化学的なトリートメント



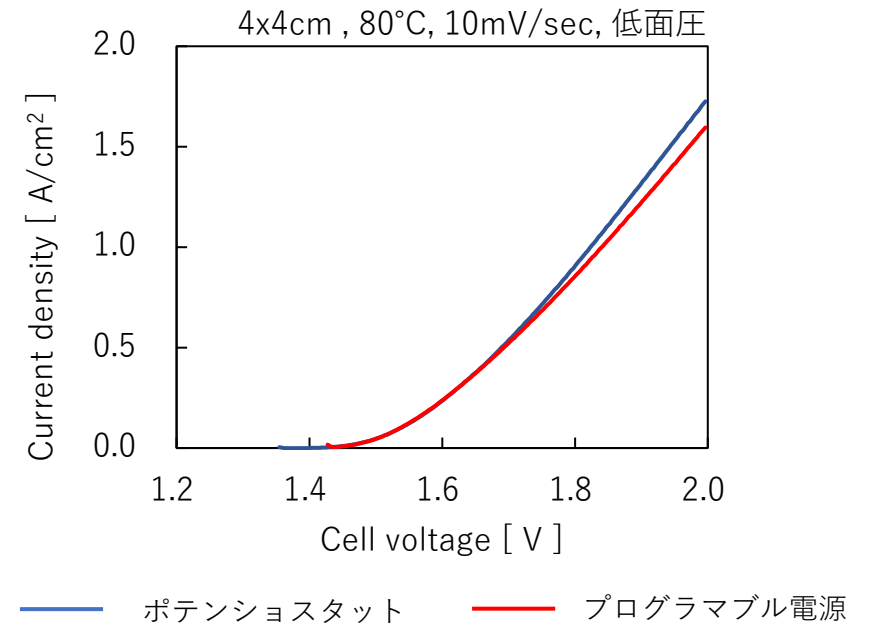
3. 研究開発成果について

4. 運転方法

- 電解セルのスケールアップ、社会実装を想定した IrMnOx の活性化方法を確認
 - 電圧制御パターンの簡素化、処理時間の短縮が可能



IrMnOx 初期各活性化電圧制御パターンの概略図



初期活性化処理後の LSV 曲線

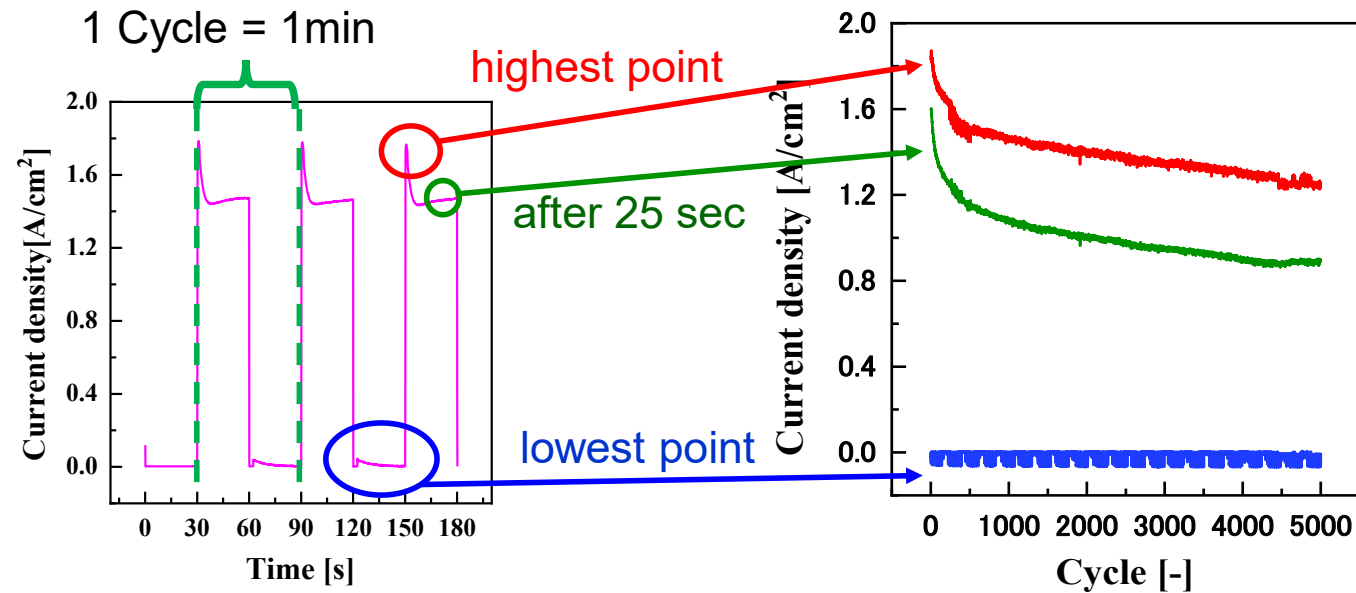
3. 研究開発成果について

4. 運転方法【変動電圧下での耐久性】
- 電圧矩形制御下での電流密度変化を観察

High / low voltage applied evaluation

High 30 sec + Low 30 sec = 1min / cycle 5000 cycles

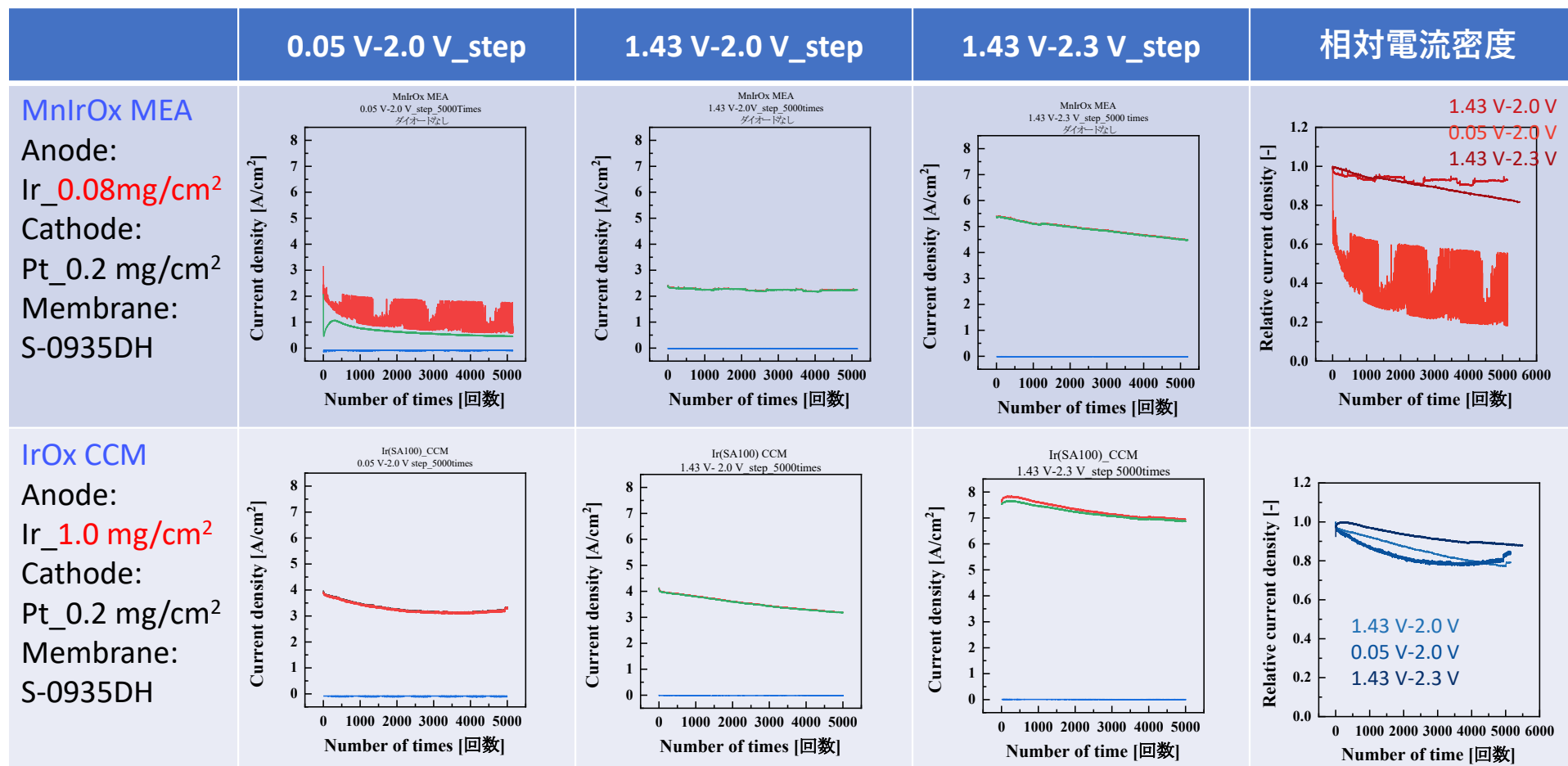
Sampling rate: 0.1 sec/point



3. 研究開発成果について

4. 運転方法【変動電圧下での耐久性】

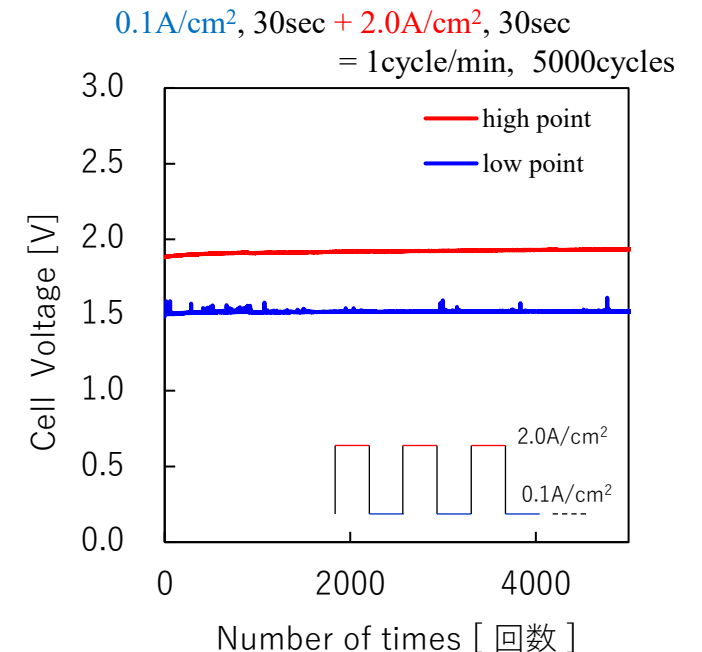
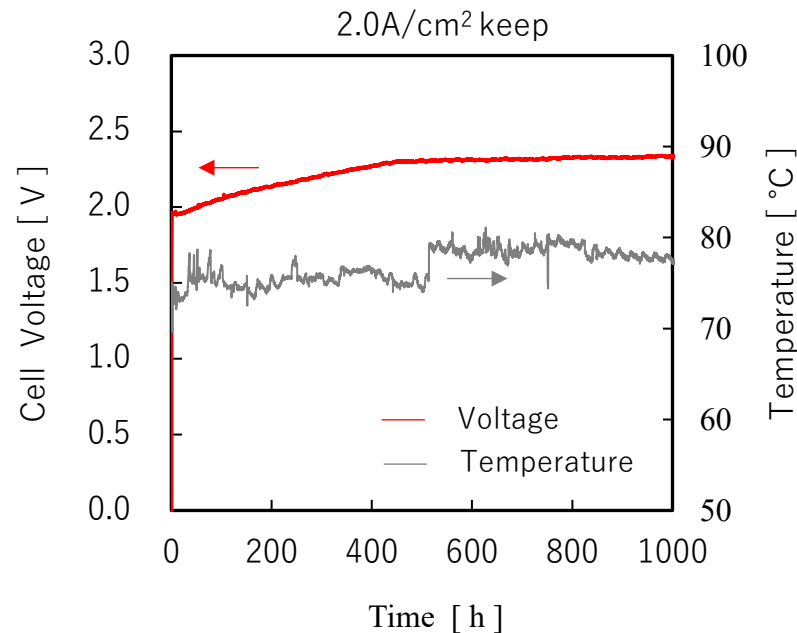
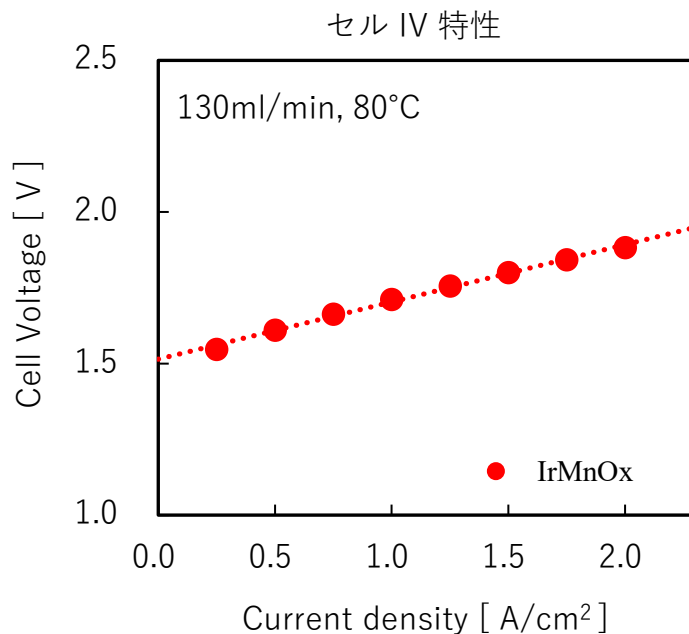
- 電圧矩形制御下での電流密度変化を観察
- IrMnOx...0.05-2V：劣化(逆電流起因か)、**1.43-2V：劣化なし**(この範囲なら電圧変動に耐性あり)
- IrOx...どの条件でも劣化を観察



3. 研究開発成果について

4. 運転方法

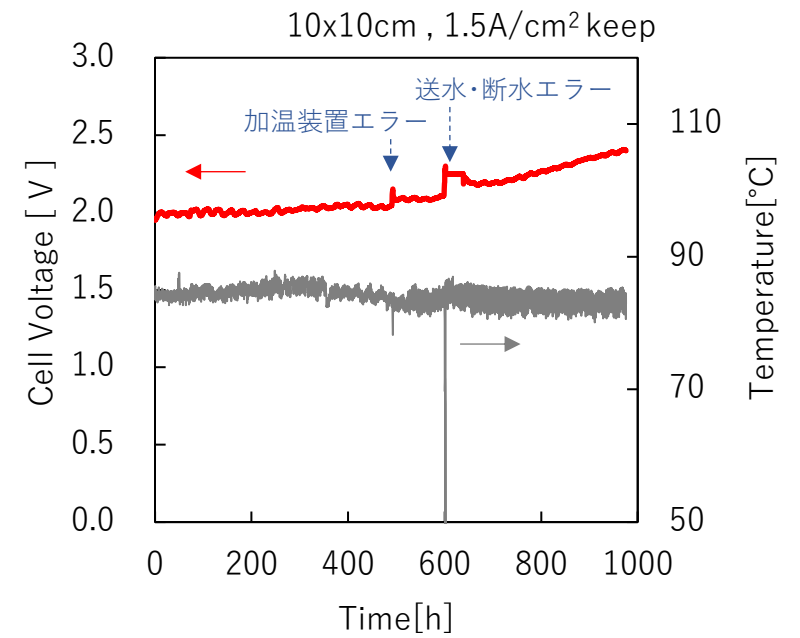
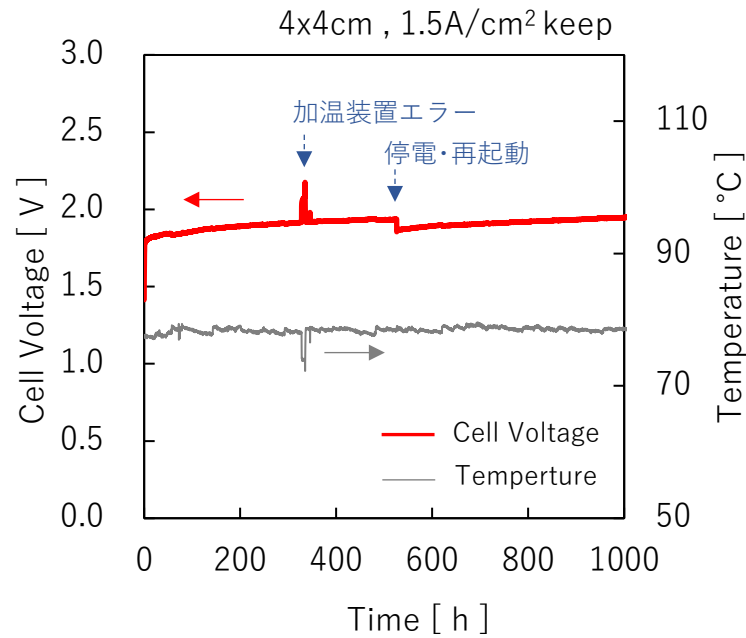
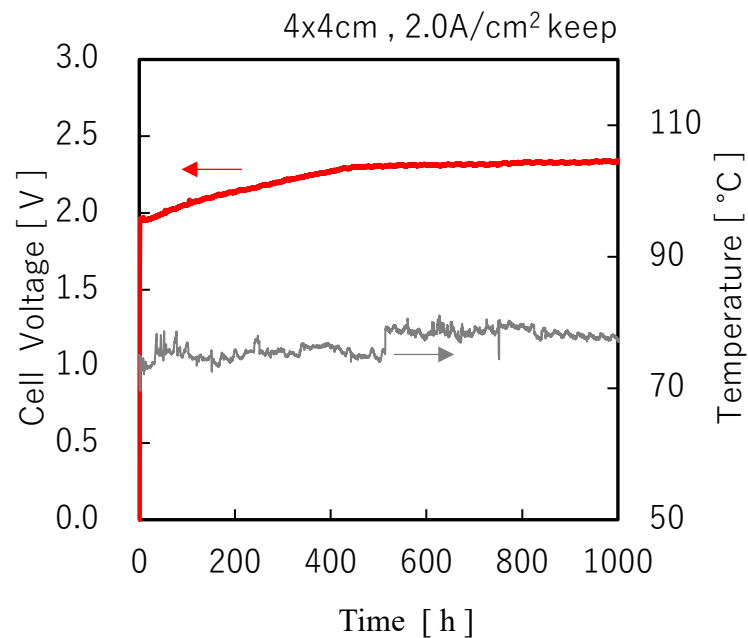
- 定電流運転による水電解セル特性を調査
- 4x4cmでのセル IV 特性、定電流制御下での電圧変化、電流矩形制御下での電圧変化を調査
- IrOx系と同等性能のセル IV 特性
- 電圧が1.9 (2.0) Vを超えるような定電流運転ではセル電圧上昇傾向を確認
- 同じような条件でも、変動電流運転では定電流運転よりも耐久性に優れている可能性あり (初期のセル電圧上昇傾向が見られない)



3. 研究開発成果について

4. 運転方法

- 4x4cm, 10x10cmnの電極で 1000hr 定電流運転を実施
- 電圧が1.9 (2.0) Vを超えないように制御すれば安定して稼働
- 10x10cmは装置エラーに伴う電極劣化・電圧上昇



3. 研究開発成果について

5. まとめ

- IrMnO_xの性能をIrO₂と比較、低Ir量での活性・耐久性に優れる。
- 10×10cmの作製方法を確立した。Ir価数、活性とも面内偏差なし。
- セル構造を検討。面圧の制御が重要であることを見出した。
- 運転方法を確立。Mnが溶出しない電圧範囲であればIrO₂より安定。
- 10x10cm電極を用いて1000時間の運転を確認。

➤ IrMnO_x工業化に向けた基礎技術を確立した

6. 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み

- 特許 1 1 件
- 学会発表・講演 7 件

4. 今後の見通しについて

東ソー株式会社

IrMnOx触媒の事業化を検討中

株式会社カーリット

水電解セル、MEA、PTLへのPtコーティングの開発を継続