

# 高純度な過酸化水素等を 製造可能な新型電解反応装置

東京都立大学



都市環境学部



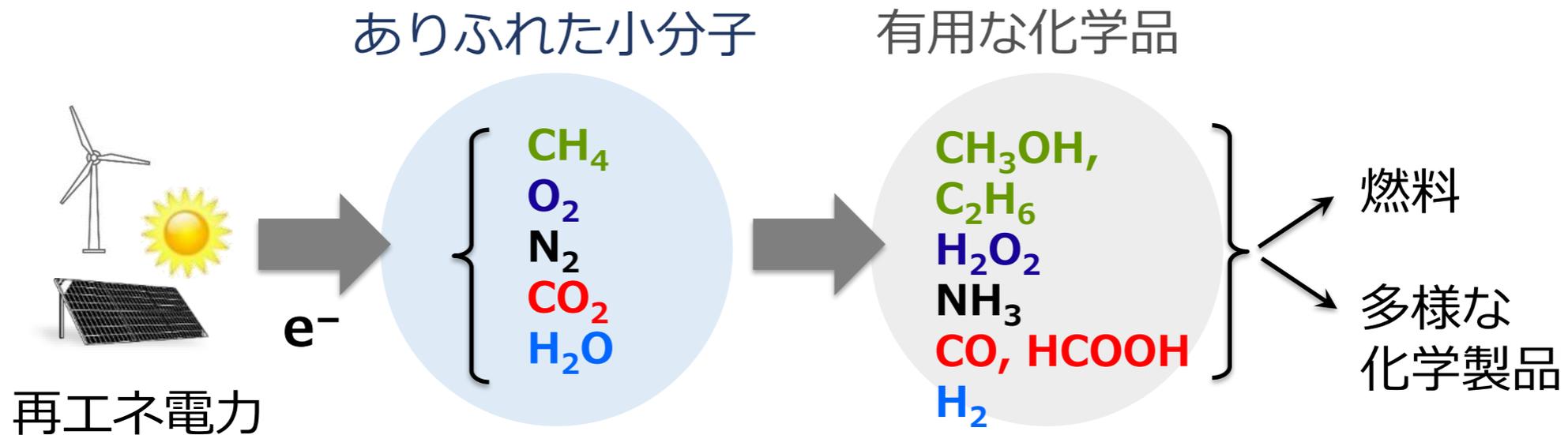
環境応用化学科

教授 天野 史章

2025年11月25日

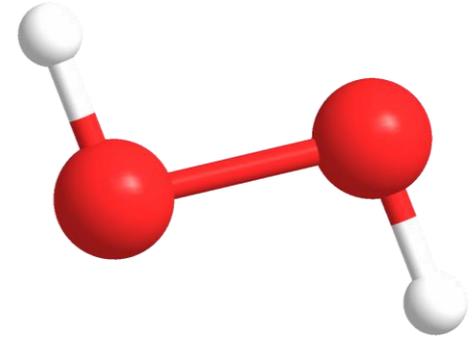
# 再エネ由来の余剰電力の利用

- 過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) やギ酸 ( $\text{HCOOH}$ ) などの化学品やエネルギーキャリアを、再生可能エネルギー由来の電力を使って、高効率に製造する技術が望まれている。



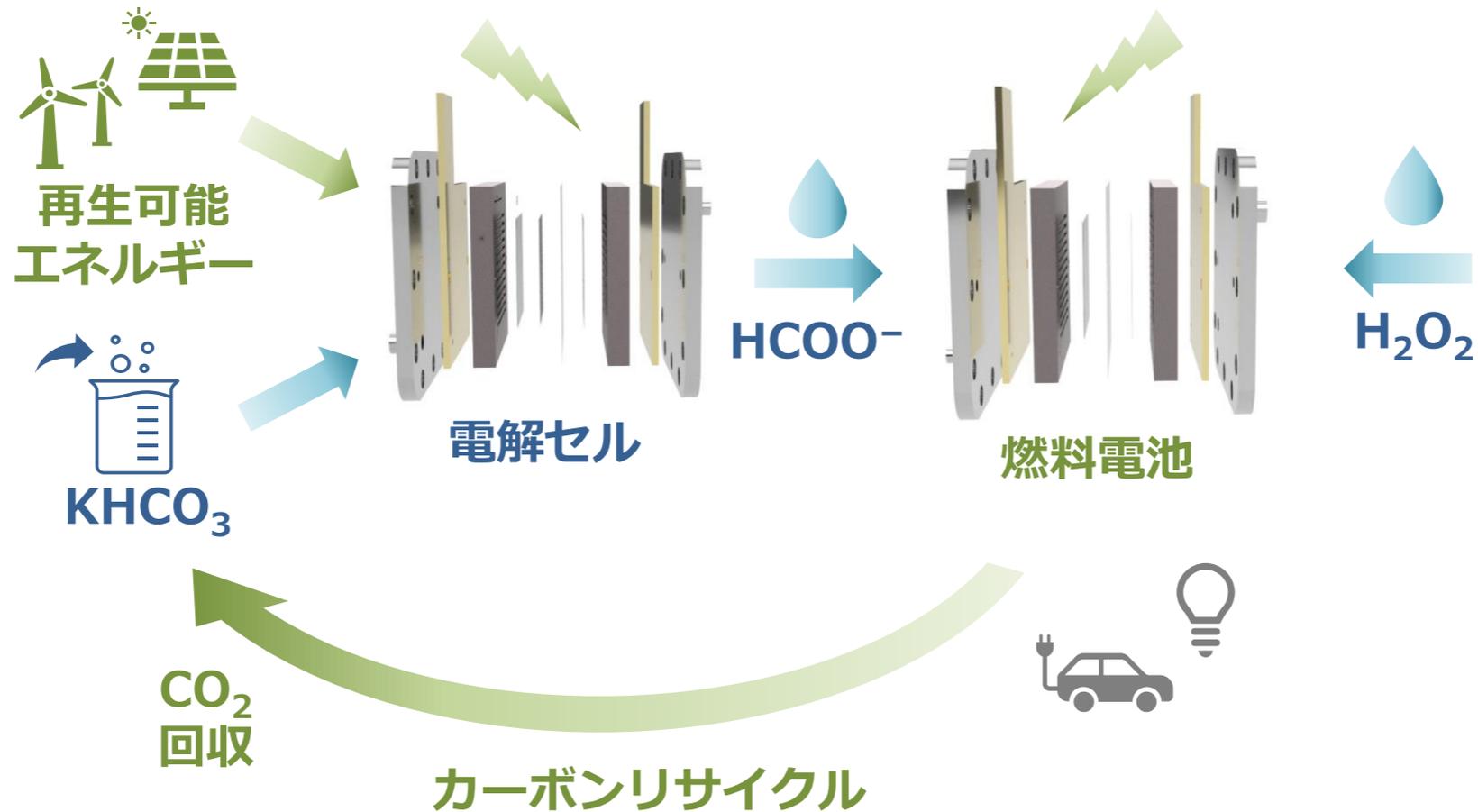
# 過酸化水素 $H_2O_2$

- 最終的に水と酸素に分解する酸化剤
- 濃度 3%の $H_2O_2$ 水溶液
  - ▶ オキシドール（殺菌消毒剤）
- 紙・パルプ・繊維の漂白
- 化学工業の酸化剤
- 水処理、半導体洗浄
- ヘアブリーチ、ホワイトニング、無菌システム…



# エネルギーキャリア

エネルギーを貯蔵・輸送しやすい形に変えた物質



## 従来技術とその問題点

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>は、消毒、漂白、廃水処理など多方面で使用される重要な物質であるが、

- 従来法では、製造時に温室効果ガスを排出するだけでなく、在庫管理や配送の際にもエネルギーを浪費する
- 電解反応による製造方法では電解質（イオンや酸・塩基）などの不純物が混入し、使用用途が制限される

等の問題があった。

# (1) 現行のH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>製法とその問題点

過酸化水素の製法には、化石資源由来の水素を原料とするアントラキノン法があるが、

- 水素製造でCO<sub>2</sub>を排出
- 大型設備による多段階プロセス
- 爆発の危険、冷却貯蔵や輸送

等のエネルギー浪費の問題があり、改善が望まれている。

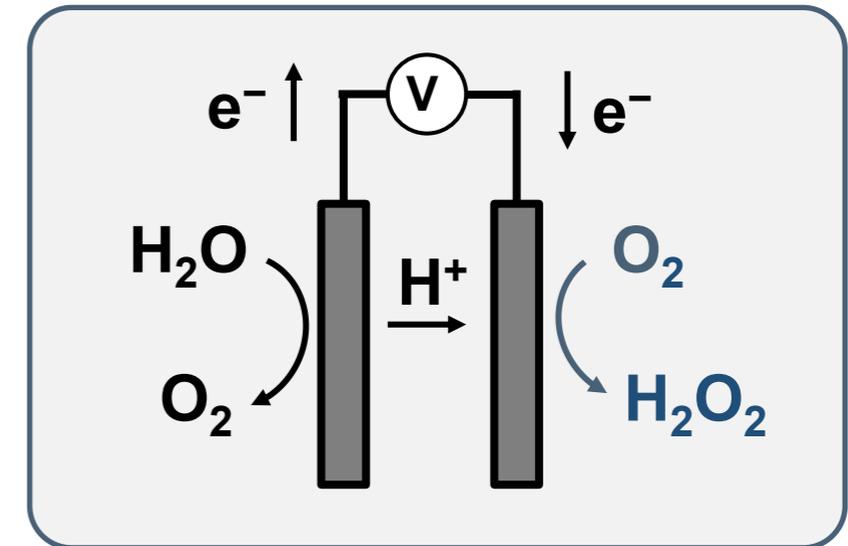


## (2) 従来の電解製法とその問題点

電解技術による $\text{H}_2\text{O}_2$ の製法には、空気中の酸素の二電子還元がある。

- 水と酸素から製造可能
- 大規模な設備は不要
- 再エネ由来の電力利用

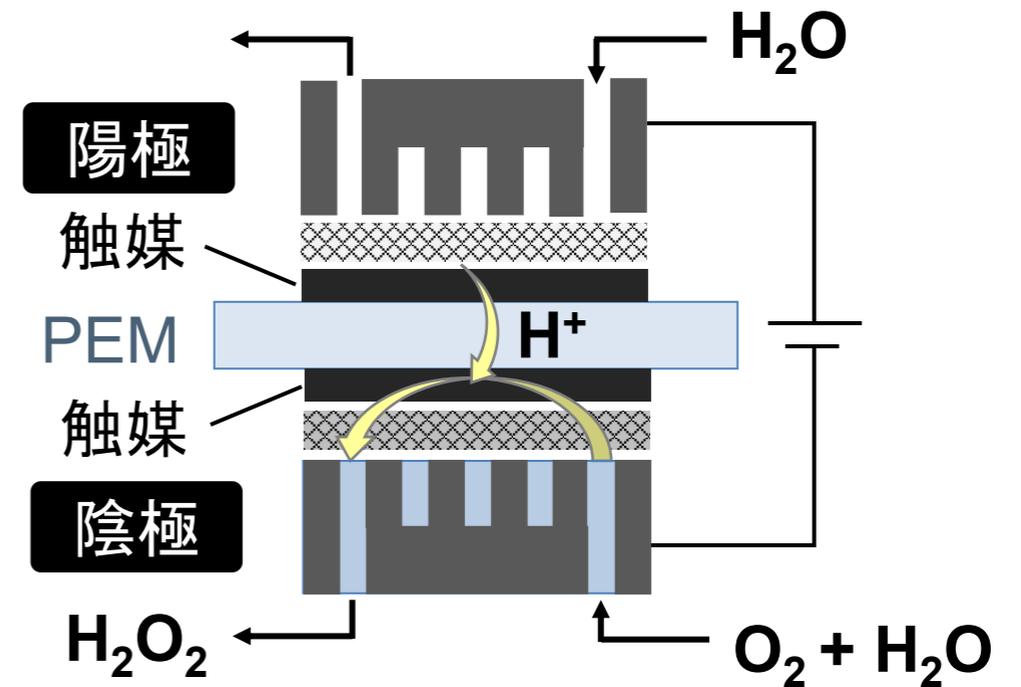
等の利点があるが、溶液には電解質が含まれ、純粋な $\text{H}_2\text{O}_2$ は製造できない。



### (3) 固体電解質を使った電解技術とその問題点

純粋な $\text{H}_2\text{O}_2$ を製造するには、  
固体の電解質（イオン交換膜）  
を使った電解法があるが、

- $\text{H}_2\text{O}_2$ のファラデー効率が低い
  - 高電流密度化できない
- 等の技術的な問題がある。



PEM: プロトン交換膜

## 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、 $\text{H}_2\text{O}_2$ のファラデー効率の向上、および高電流密度化に成功した。
- 電解質（イオンや酸・塩基）などの不純物が混入しない純粋な $\text{H}_2\text{O}_2$ 水を合成することが可能となった。
- 本技術の適用により、 $100 \text{ mA/cm}^2$ の高電流密度において70%以上のファラデー効率を達成できるため、オキシドール相当（濃度3%以上）の純 $\text{H}_2\text{O}_2$ 水を連続的に生産できるようになった。

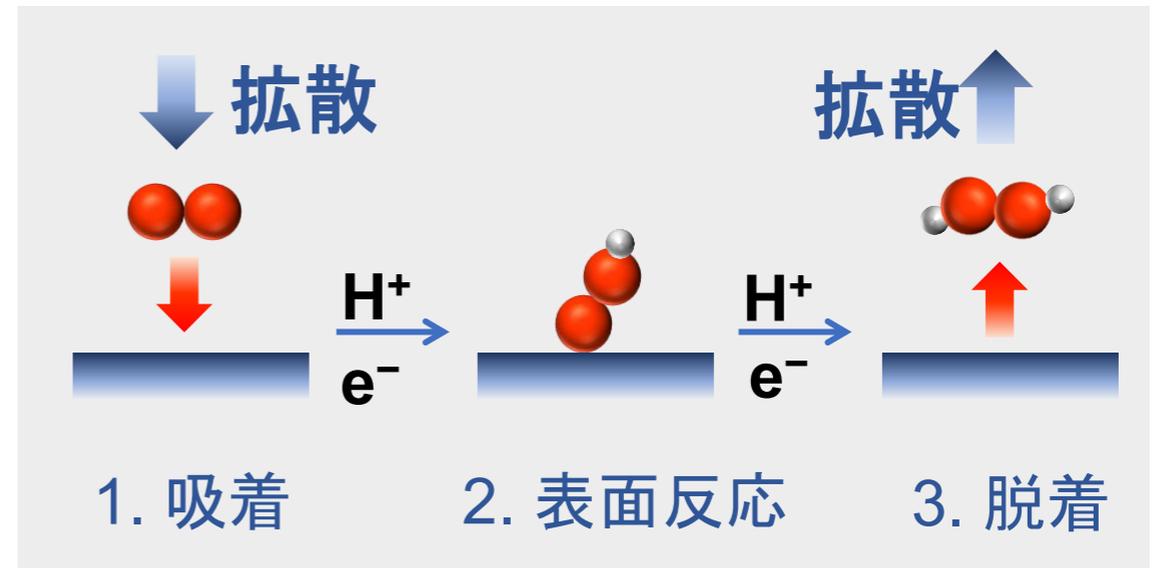
## 新技術の特徴 (1)

触媒層への物質供給を改善するには、

- 反応物である $O_2$ の拡散と吸着
- 生成物である $H_2O_2$ の脱離と拡散

を促進する必要がある。

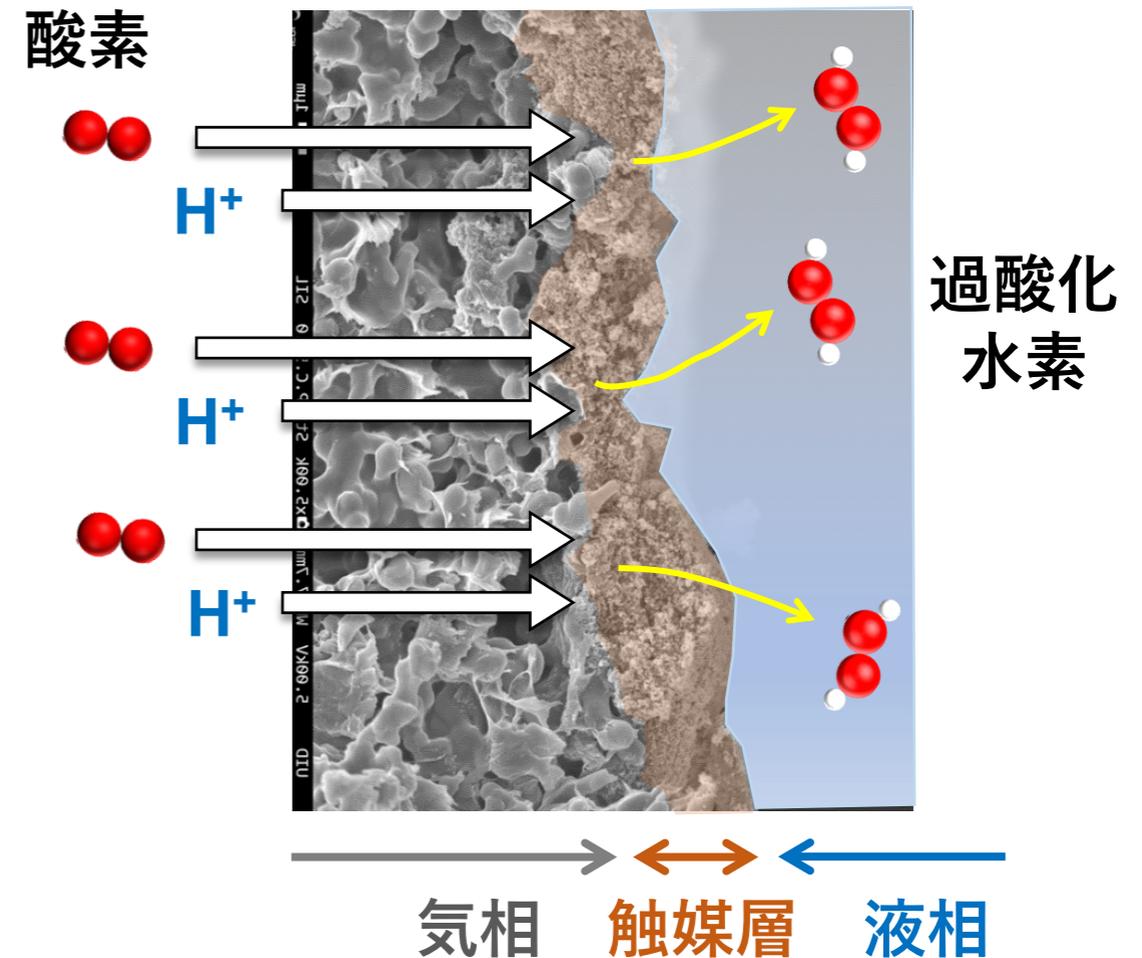
そのために、「液相への $O_2$ の拡散は遅く、気相への $H_2O_2$ の脱離は遅い」とうジレンマを解決した。



## 新技術の特徴 (2)

前述した物質供給の  
ジレンマを解決するために、

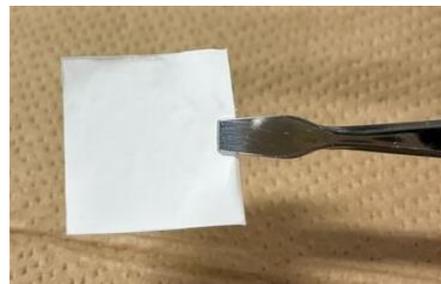
- 触媒層の裏側から  
 $O_2$ を供給
- 触媒層の表側に  
純水を供給して $H_2O_2$ を回収  
する電解セルを開発した。



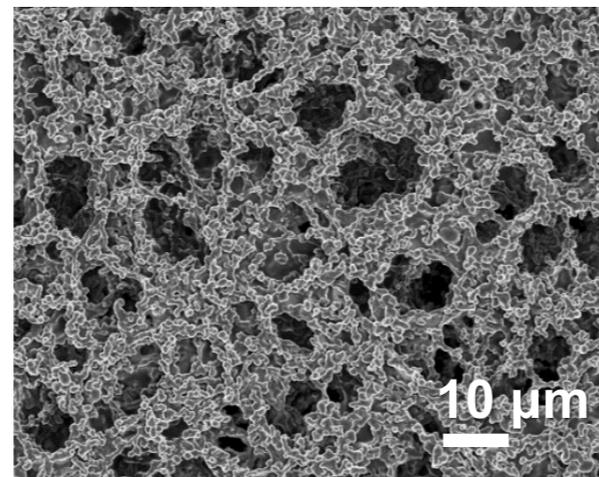
## 新技術の特徴 (3)

通常のイオン交換膜は、特定のイオンを選択的に透過させるものであり、気体は通過できない。

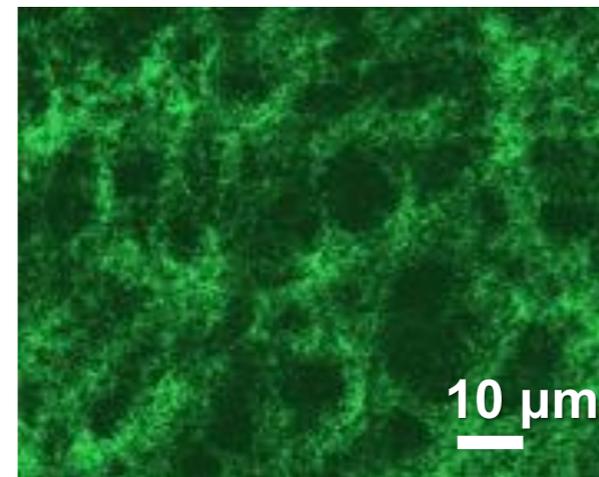
この常識に反し、気体が通過できる「多孔質なプロトン交換膜（多孔質PEM）」を開発した。



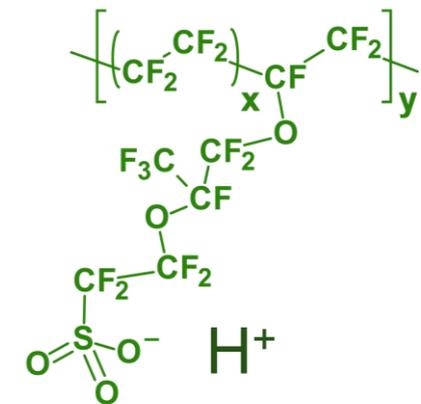
多孔質PEM



電子顕微鏡像

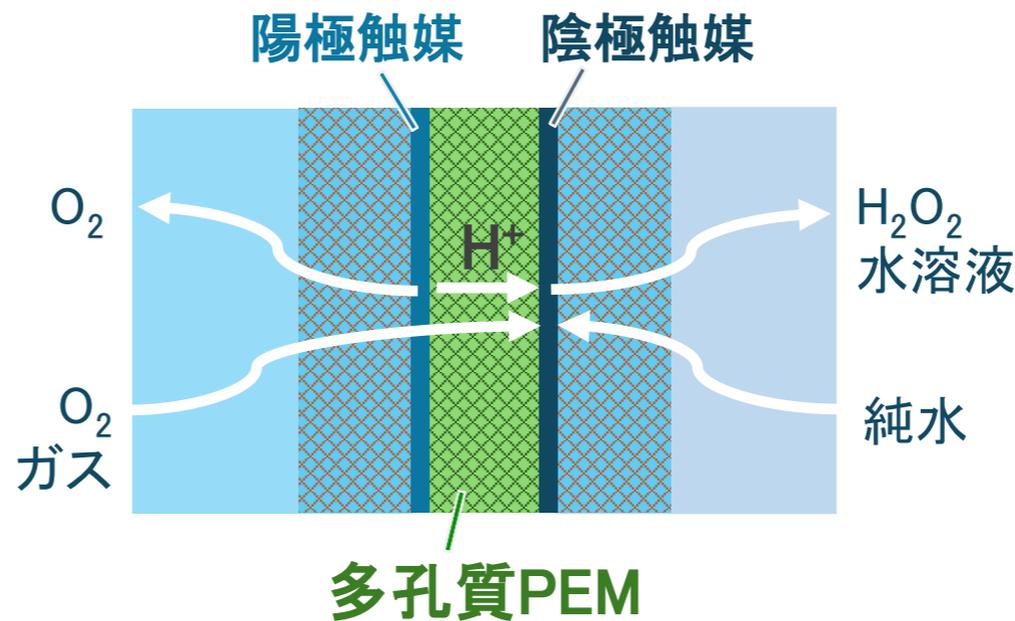
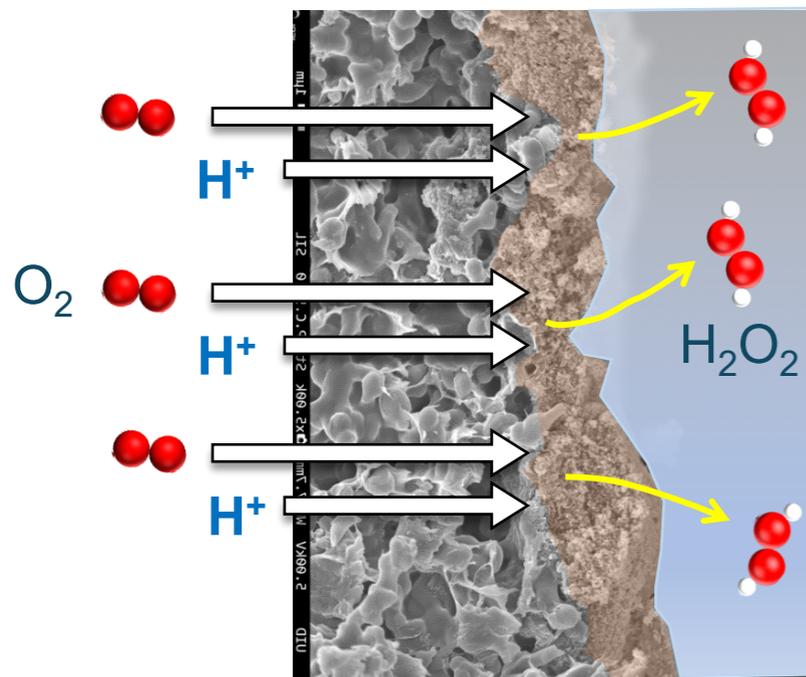


フッ素の分布



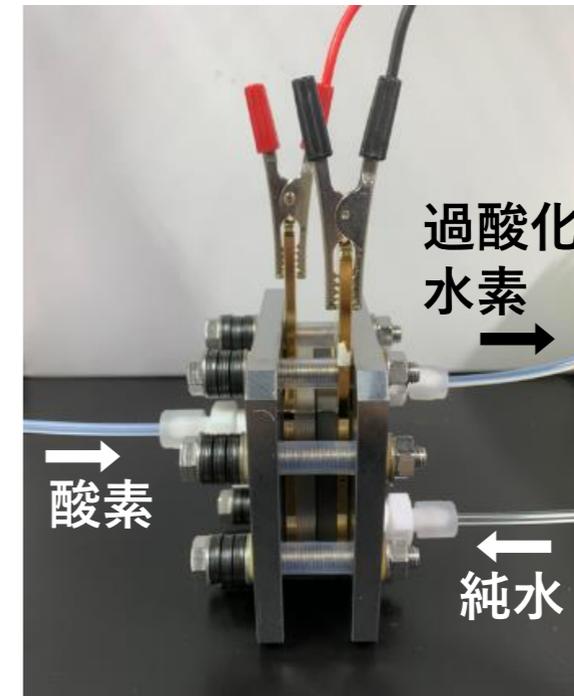
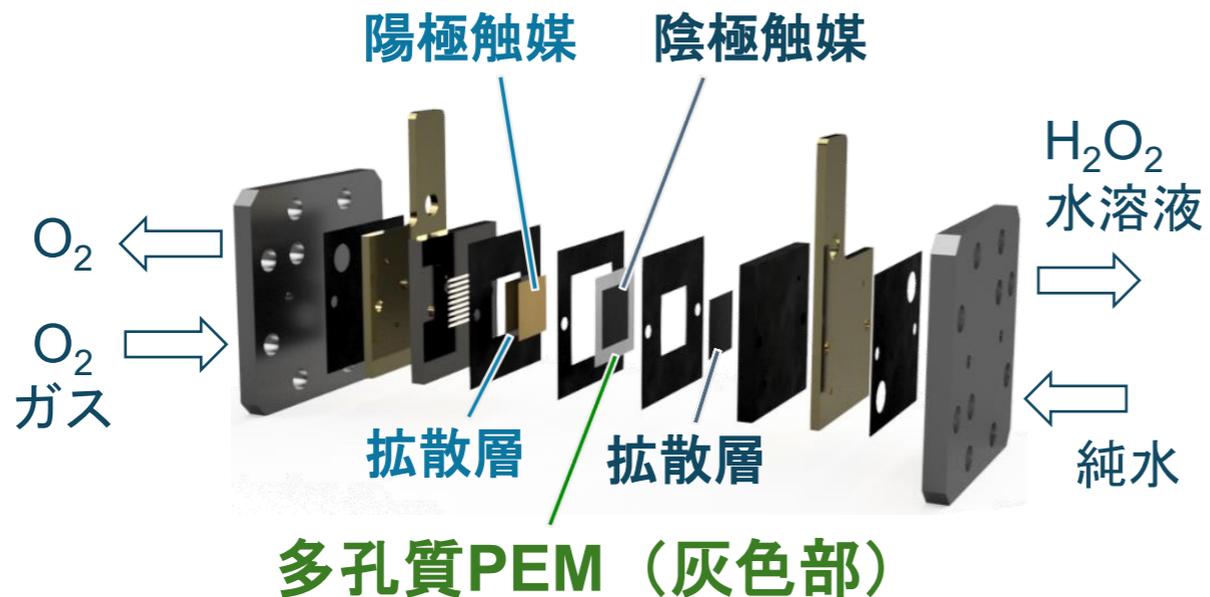
## 新技術の特徴 (4)

- 陽極側から多孔質PEMを介した陰極触媒への $O_2$ 供給
- 陰極触媒への純水供給と $H_2O_2$ 回収



## 新技術の特徴 (5)

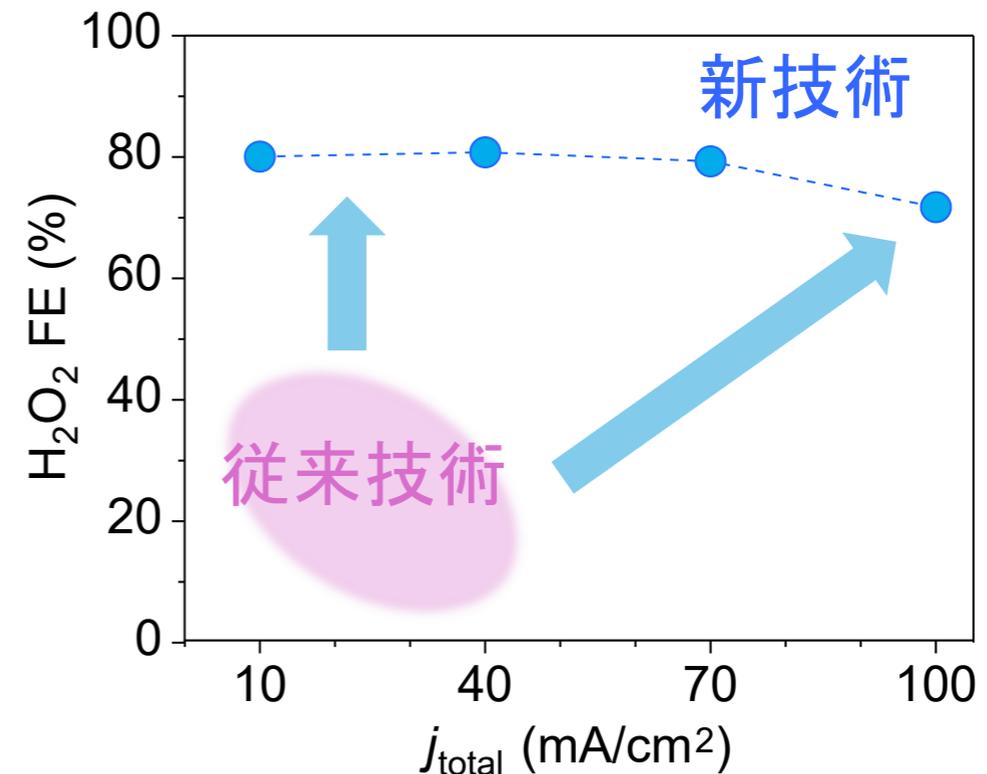
- 触媒層と多孔質電解質膜とを積層したゼロギャップ構造
- 反応装置内のセル抵抗を小さくできる



## 従来技術との比較 (1)

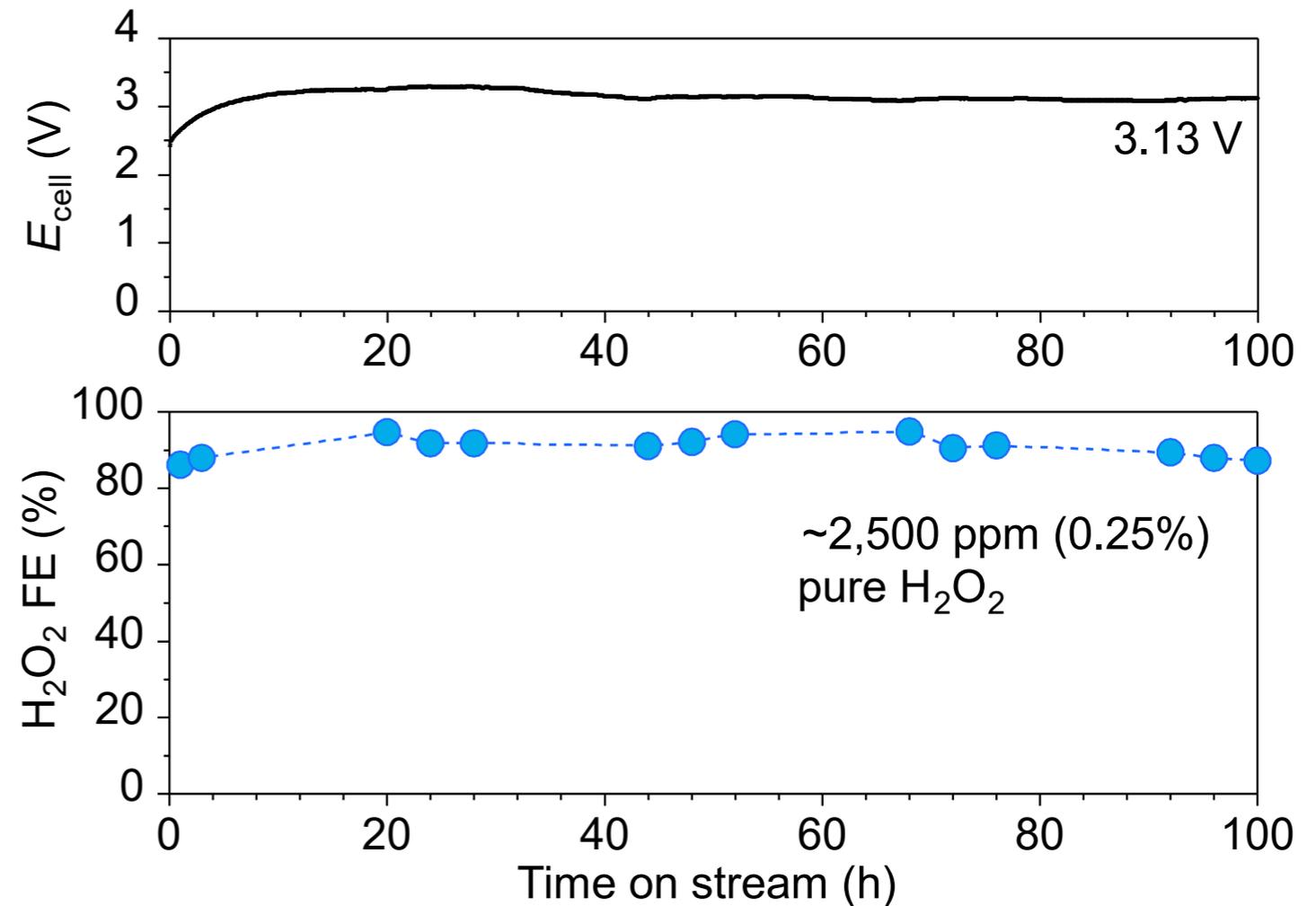
固体電解質を使った電解技術の課題であった、高電流密度化およびファラデー効率の改良に成功した。

- 純 $\text{H}_2\text{O}_2$ 水の製造に成功
- 80% @ 10–70  $\text{mA}/\text{cm}^2$
- 72% @ 100  $\text{mA}/\text{cm}^2$



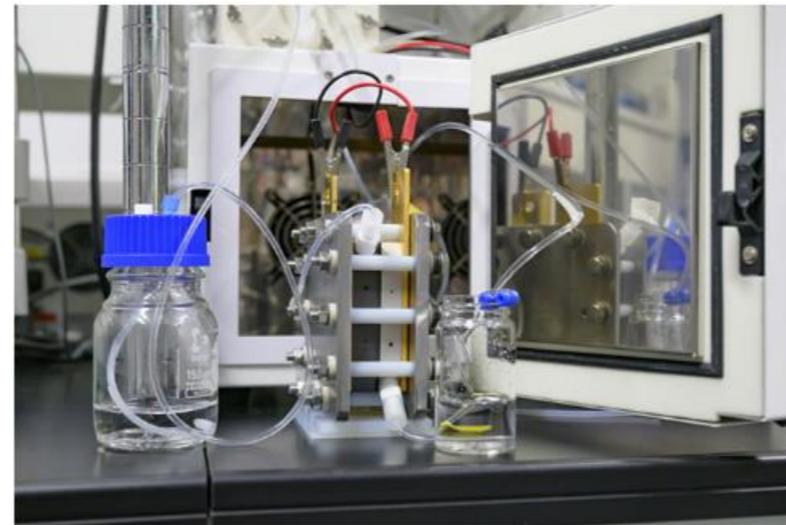
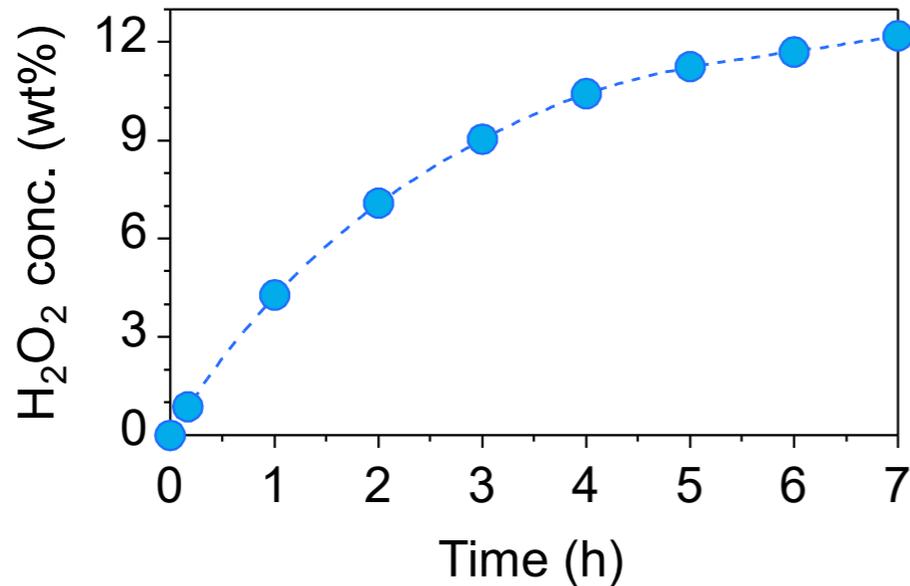
## 従来技術との比較 (2)

- 長時間の安定性  
@100 mA/cm<sup>2</sup>
- 低いセル電圧  
2.2–3.2 V
- 小さなセル抵抗  
0.22 Ω
- *iR*損  
~0.5 V @2.5 A



## 従来技術との比較 (3)

- 高濃度の純 $\text{H}_2\text{O}_2$ の蓄積： 12 wt% (3.6 mol/L)
- シングルパスにてオキシドール相当の純 $\text{H}_2\text{O}_2$ を連続生産： 6 wt% (1.8 mol/L)



## 想定される用途

- 不純物を含まない高純度 $\text{H}_2\text{O}_2$ 水の製造
- 既存の精密機器製造ラインや衛生設備への組み込み
- 余剰電力の活用、小規模分散型の $\text{H}_2\text{O}_2$ の連続製造
- 上記以外の  $\text{H}_2\text{O}_2$ の有効活用
- $\text{CO}_2$ 還元によるギ酸 ( $\text{HCOOH}$ ) 合成
- 他の化学物質やエネルギーキャリアの製造用途への展開も、今後の開発に期待

## 実用化に向けた課題

- 現在、電流密度100 mA/cm<sup>2</sup>で70%以上のファラデー効率まで開発済みであるが、さらなる高電流密度化やファラデー効率の向上が必要。
- 実用化に向けて、多孔質膜や膜電極接合体の量産技術を確認する必要がある。
- 連続生産に向けては、長時間耐久性の試験が必要。

# 社会実装への道筋

時期	課題	社会実装へ取り組み
現在	<ul style="list-style-type: none"><li>概念実証の基礎研究</li></ul>	
1年後	<ul style="list-style-type: none"><li>さらなる高電流密度化 や高ファラデー効率化</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>JST等の産学連携事業</li><li>応用研究の資金獲得</li></ul>
3年後	<ul style="list-style-type: none"><li>技術移転</li><li>スケールアップ</li><li>長期安定性試験</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>NEDO等の産学連携事業</li><li>実用化研究の資金獲得</li></ul>
5年後	<ul style="list-style-type: none"><li>社会実装</li></ul>	

## 企業への期待

- 本技術は萌芽的であり、産学共同研究を通じて応用開発を進めることを希望
- 電解質膜や電極触媒を開発中の企業、膜電極接合体や電解セルの技術を持つ企業との共同研究を希望
- 半導体洗浄、無菌化、水処理分野等、過酸化水素の活用や展開を考えている企業の要望をお聞きしたい
- 本技術を生かすビジネスアイデアの提案をお聞きしたい

## 企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、電気エネルギーを利用して小規模な設備で純 $\text{H}_2\text{O}_2$ を製造できるため、導入シナリオによっては経済的合理性を示せると考える
- 本技術の導入検討にあたって技術指導や技術移転を行う用意あり
- 共同研究を通じて実用化研究を支援

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 反応装置及びそれを用いた化合物の製造方法
- 出願番号 : 特願2024-022913
- 出願人 : 東京都公立大学法人
- 発明者 : 天野 史章、岡崎 琢也、榎本 和真

# 産学連携の経歴

別テーマにて、

- 2022年 – 2023年 A社と共同研究実施
- 2023年 – 2024年 B社の技術相談・技術指導
- 2025年 – C社と共同研究実施
- 2025年 – 2027年 NEDO先導研究プログラム  
未踏チャレンジ事業に採択

# お問い合わせ先

東京都立大学

産学公連携センター URAライン

T E L 042-677-2202

e-mail [sangaku-ura@jmj.tmu.ac.jp](mailto:sangaku-ura@jmj.tmu.ac.jp)