# NEDOエネルギー･地球環境分野成果報告会2026
# プログラムNo. 603-3-13

# NEDO先導研究プログラム／エネルギー･環境分野における革新的技術の国際共同研究開発／革新的固体電解質セルを用いる中温水蒸気電解の国際共同研究開発

**発表**: **2026年7月23日**

国立研究開発法人 新エネルギー･産業技術総合開発機構


発表者名　石原達己,松本広重、Kwati Leonard、竹田昌平、高橋洋祐
*団体名（企業･大学名など）　(国)九州大学･ノリタケ(株)
問い合わせ先　国立大学法人九州大学　E-mail:ishihara@cstf.Kyushu-u.ac.jpTEL:092-802-2868

# 事業概要

## 1. 期間

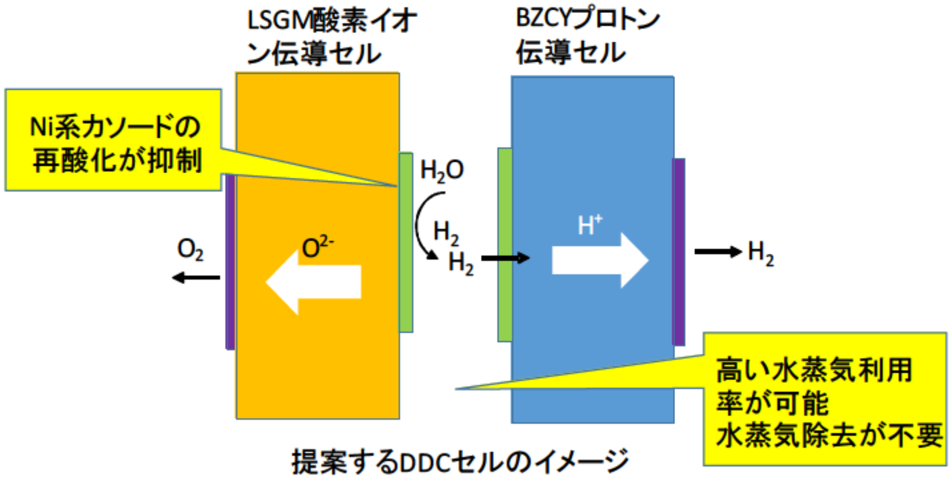
開始　　　:（西暦）2024年9月
終了（予定）:（西暦）2026年 10月（2027年10月）

## 2. 最終目標

作動温度500℃、1.5Vで1A/cm$^2$以上の電解電流の達成、作動時間5000時間を見通せる安定性、劣化率1%/1000時間以下、小型組セルの試作、クーロン効率90%以上。
　とくに大型化を視野に入れた製膜法を用いるセル作製と新概念セルのスタック化に向けた検討。革新的なセル（Double Decker型セル）による高速、高効率の水素製造を実現。

## 3.成果・進捗概要

1）Juelichとの共同研究で改良テープキャスト法で、LSGMおよびBZCYまたはBZCYYbの薄膜セルの作製を行った。
550 °Cおよび500 °C、電圧 1.4 Vの条件で、開始時75%の効率を90.1% および 83.4% のファラデー効率に向上した。1.5A/cm$^2$ @1.4V
代替粒子を用いて厚み約500nmの超薄膜をインクジェット印刷で形成できた。



提案するDDCセルのイメージ

2)Double Decker セルのコンセプト実証
積層型セルで550℃ 1.2A/cm$^2$@1.4Vの達成　200時間の長期安定性の達成
13%/1000hの劣化率（初期劣化を含む）

# 1．事業の位置付け･必要性

水素は電気と同様にクリーンなエネルギーキャリアとして利用の拡大が期待されており、FC車などの普及による$CO_2$の削減が期待。しかし、現在の化石燃料由来の$H_2$では、水素社会を構築できても、$CO_2$排出量の削減はほとんど期待できない。2050年を目指した$CO_2$排出量の削減には、再生可能エネルギーに立脚した社会の構築は必要不可欠である。再生可能エネルギーは、エネルギー密度が低く、かつ変動が大きいので、その普及には平準化と時空シフトを目的に蓄エネする必要がある。

**本研究の目的：再生可能エネルギーを効率よくグリーン水素へ変換可能な革新的な中温電解セルの開発と工業化の検討**

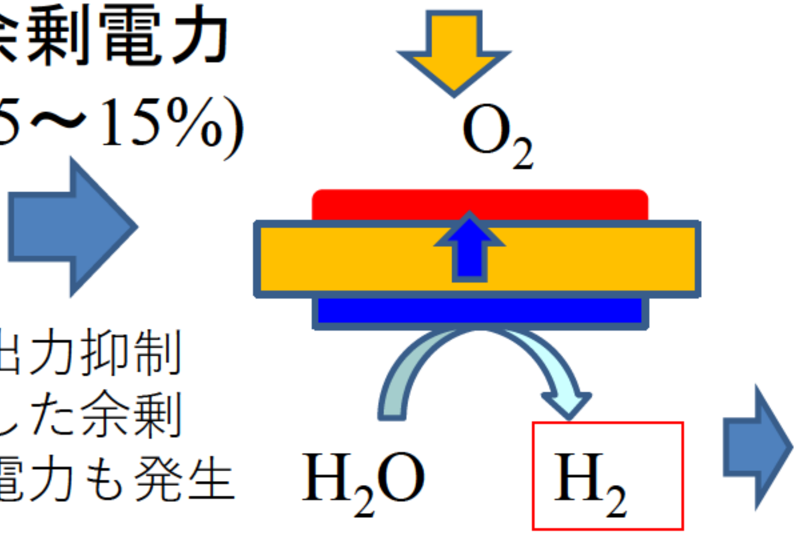
太陽電池

風力発電

余剰電力
（5～15%）

出力抑制
した余剰
電力も発生

未利用熱
（社会排熱、太陽熱など）




平準化・
蓄エネ

水蒸気電解は熱を用いる
高効率な電解技術で、
少ない電力で、水素を発生

従来の水蒸気電解は作動
温度が過度に高い

中温作動による実用化加速

時間と空間を超えて輸送

$CO_2$削減量（余剰電力使用）1300～2000万トン$CO_2$削減

# ２．研究開発マネジメントについて（スケジュール）

| 研究開発項目 | 2024年度（2024/10～2025/3） | 2025年度（2025/4～2026/3） | 2026年度（2026/4～2027/3） | 2027年度（2027/4～2027/9） |
|---|---|---|---|---|
| 国立大学法人九州大学 | | | | |
| A. 酸化物イオン伝導性セルの開発と高性能化（2024/10～2027/9） | | | | |
| B.プロトン伝導体セルの開発と高性能化（2024/10～2027/9） | | | | |
| C.Double Decker型セルの開発と性能向上 | | | | |
| 株式会社ノリタケカンパニーリミテド | | | | |
| A. 酸化物イオン伝導性セルの製膜法の検討（2024/10～2027/9） | | | | |
| B. プロトン伝導体セルの製膜法の検討（2024/10～2027/9） | | | | |
| C. Double Decker型セルの製膜法の検討（2024/10～2027/9） | | | | |

1年目　2年目　3年目

## 本研究の検討項目

①平板型LSGMセルの作製と
性能向上

ーテープキャスト法
ーディップコート法

②平板型プロトン伝導性セルの作製と
性能向上　大判化

③Double Decker型セルの作製
ー積層型セル
ー組セル型セル

④出口戦略の作製

ー入手可能な電力の調査

# ２．研究開発マネジメントについて（研究実施体制）

**九州大学、I$^2$CNER**
水蒸気電解セルの試作と
性能向上、スタック化
新概念セルの試作

**酸素イオン伝導セル（石原達己）**
円筒型および平板型セル
の作製とスタック化、性能向上

石原達己

**酸化物プロトン伝導セル（松本広重、L. Kwati）**
平板型セル作成とスタック化

松本広重

**新概念セル（石原＋松本）**
試作と評価、課題抽出

Kwati Leonard

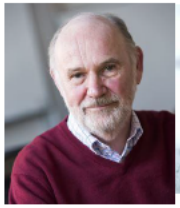
**ノリタケ株式会社**
インクジェット法などの工業的な製法によるセルの大型化

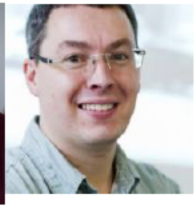
**Juelich国立研究所（IMD-2）**
改良テープキャスト法による酸化物プロトンおよび酸素イオン伝導体薄膜
セルの作製

Dr. Meulenberg
グループリーダー

Dr.Menzler

**Imperial College London（Department of Materials）**
高活性アノードの開発


Prof. Kilner


Prof. Skinner

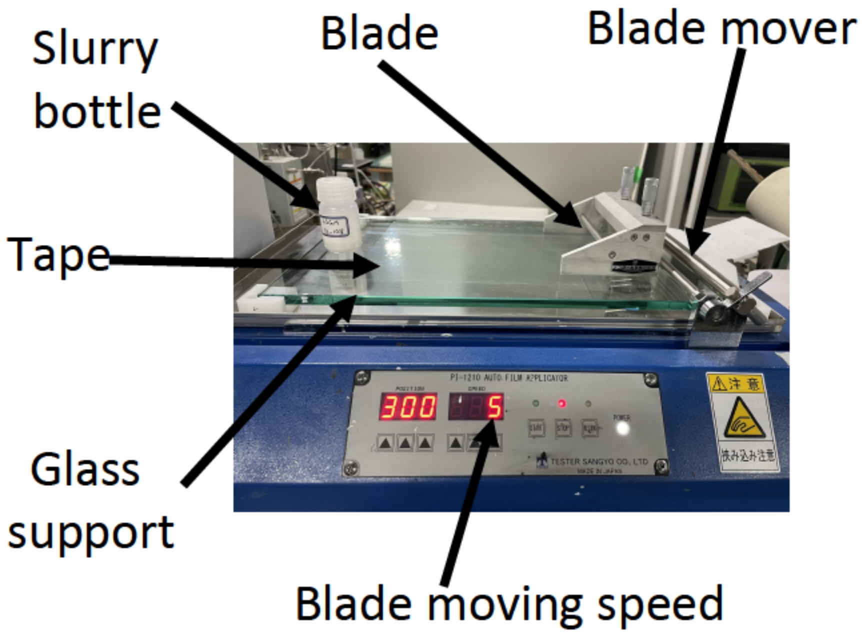
**Paul Scherrer Institute**
PLD成膜によるナノ薄膜の作成

Prof. Lippert

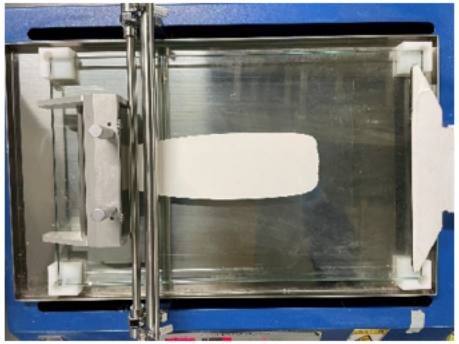
# 3．研究開発成果について

## ①平板型LSGMセルの作製と性能向上

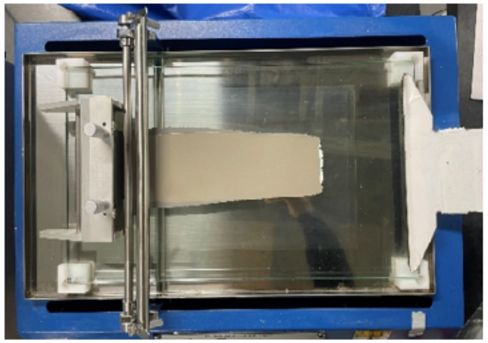
### Tape-casting and co-sintering process




**Tape-casting system**



Layer 1: LSGM



Layer 2, 3: CMF/NiO

**Dry slowly under ambient condition**

Sintering

**1275~1375 ℃**

Juelichとの共同研究でテープキャスト法でLSGMの薄膜セルの作製に成功

# 3．研究開発成果について

## ①平板型LSGMセルの作製と性能向上

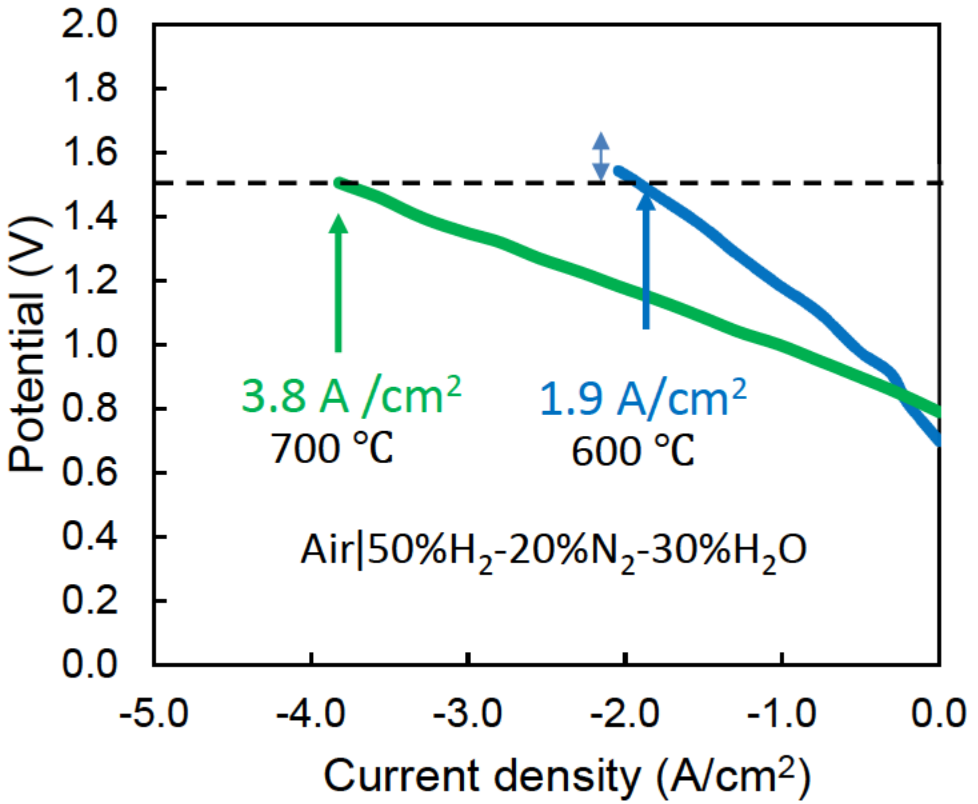
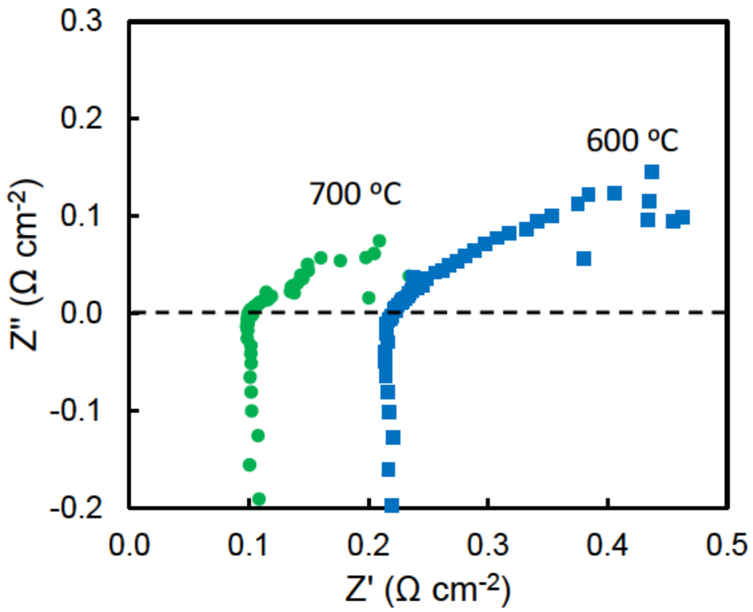
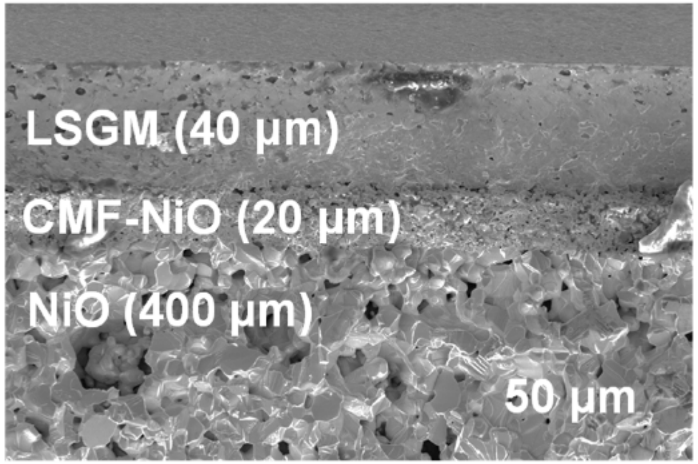



Fig. 作製したセルの電解特性



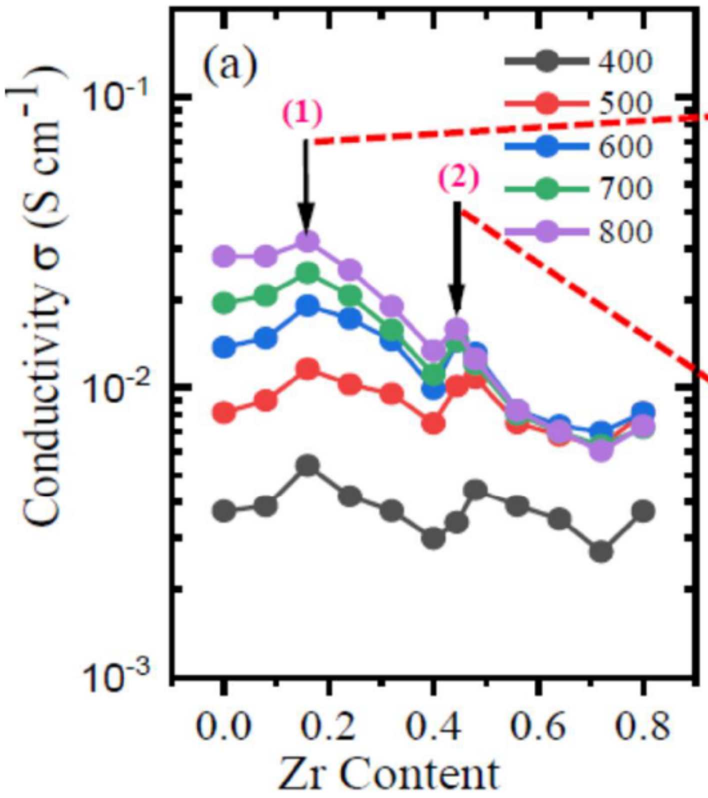

作製したLSGMセルは良好な電解特性を示した。
今後の課題はさらに低温での優れた電解特性の達成

# 3．研究開発成果について

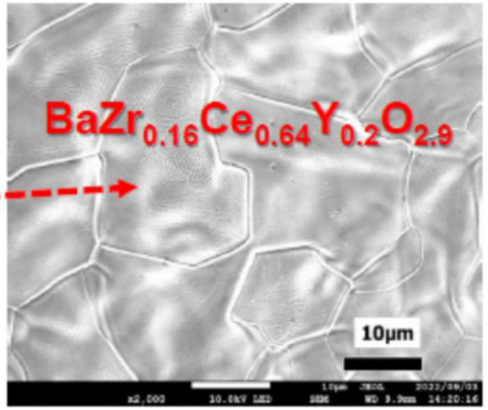
## ②平板型プロトン伝導性セルの作製と性能向上
大判化

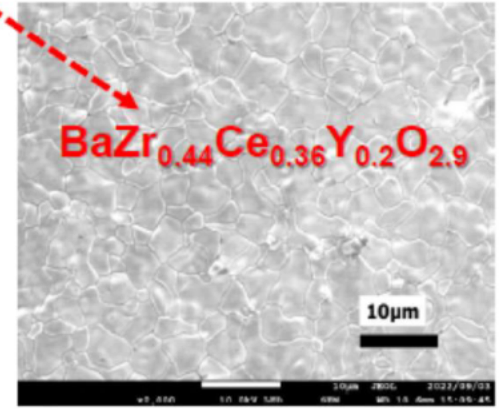
**State-of-the-art electrolyte**

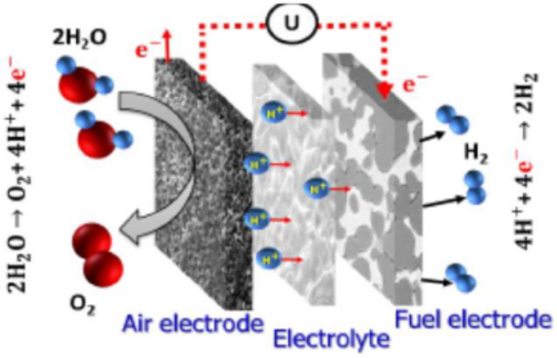
**$Ba(Ce_xZr_{0.9-x})_{0.8}Y_{0.2}O_{3-\delta}$**




**SEM image of surface view**




**We report progress in the following areas**

① Improved fabrication of bottom and large-area cells.

② Development of sealing materials

③ Steam electrolysis characterization of 5 × 5 cm² cell sizes

Electrolyte: $BaZr_{0.16}Ce_{0.64}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_3$

**Fuel electrode investigated**

1) $NiO\text{-}BaZr_{0.44}Ce_{0.36}Y_{0.2}O_3$

2) $NiO\text{-}SrZr_{0.5}Ce_{0.4}Y_{0.1}O_3$

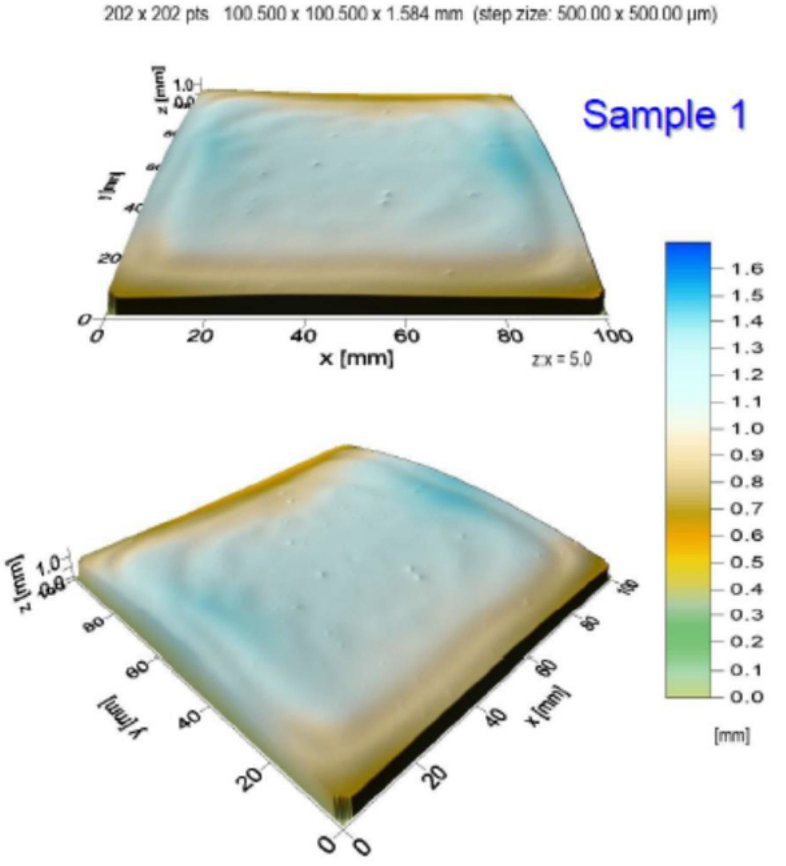
*K. Leonard et al. J. Mat. Chem A, (2018) 6, 19113*　　*K. Leonard et al. Int. J. Hydrog. Energy, (2017) 42, 3726*

# ３．研究開発成果について

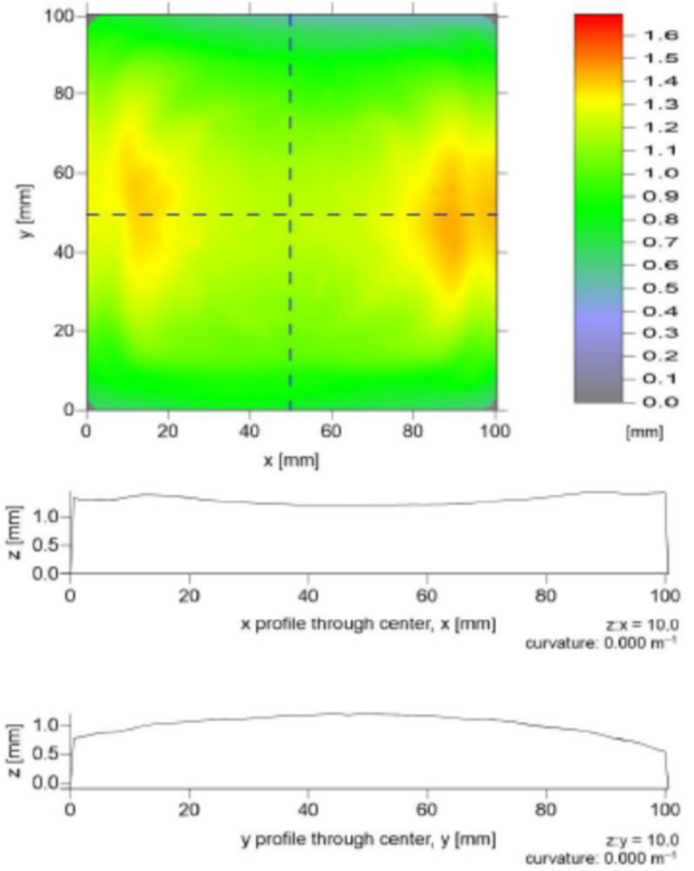
## ②平板型プロトン伝導性セルの作製と性能向上
## 大判化

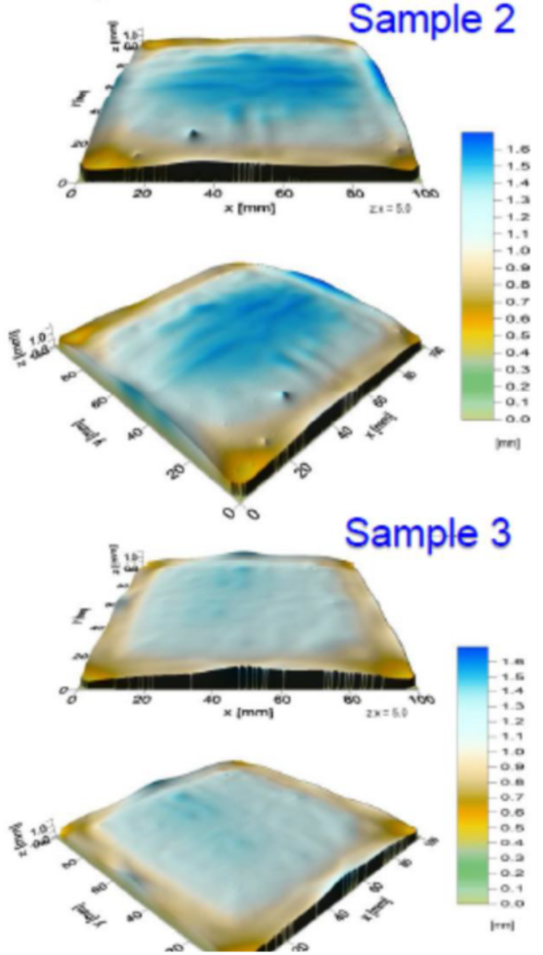
### Helium Leak test and flatness

Sequentially tape-cast $BaZr_{0.16}Ce_{0.64}Y_{0.1}Yb_{0.1}O_3$ based half-cell 10 x 10 cm




Sample flatness (measured by white light topography)



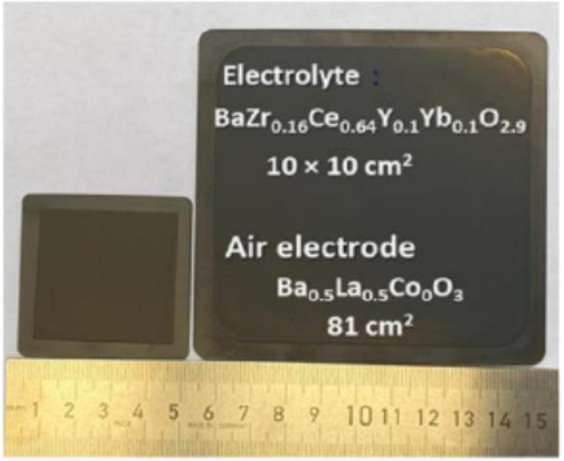
# 3．研究開発成果について

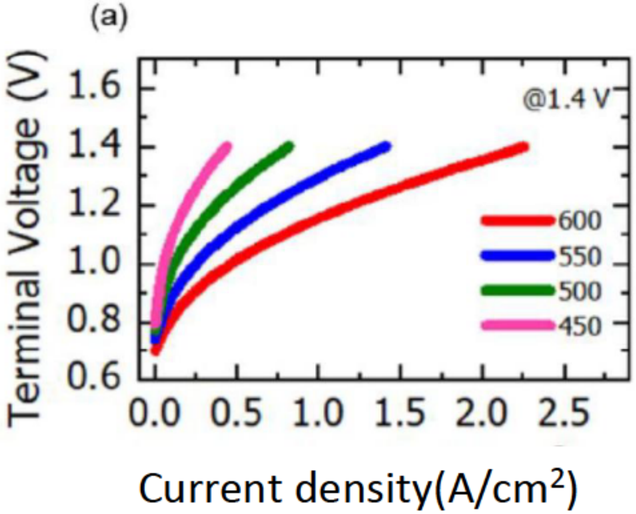
## ②平板型プロトン伝導性セルの作製と性能向、大判化

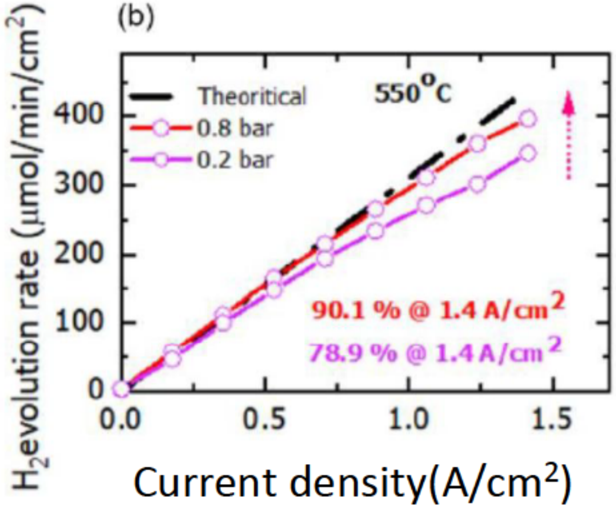
### Proton-conducting electrolysis cell performance.

$Ba_{0.5}La_{0.5}CoO_{3-\delta}$| $BaZr_{0.16}Ce_{0.64}Y_{0.2}Y_{0.1}O_3$ |NiO-$SrZr_{0.5}Ce_{0.4}Y_{0.1}O_3$

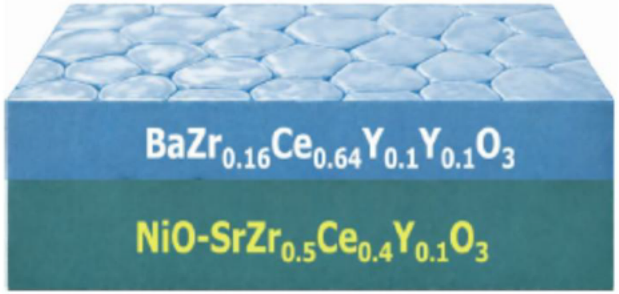
Cell configuration 1




Half-Cell sintered @ 1300/5h




**NiO–SZCY541-supported cells** provide:

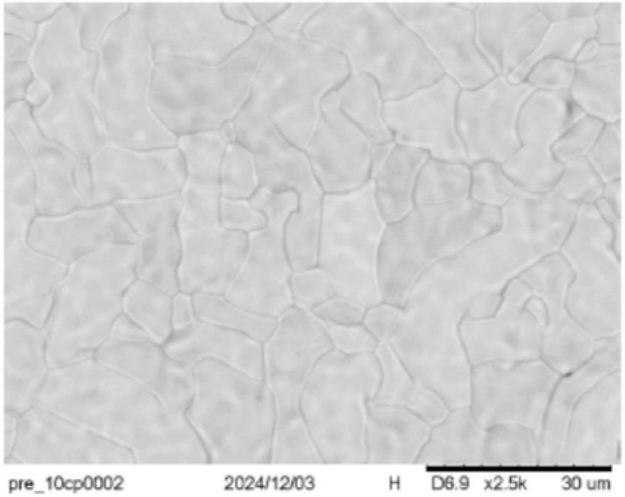
- ✓ Lower sintering temperature (@1300 °C), Sr–Ba A-site modification
- ✓ Better electrolyte densification, Preserves electrolyte stoichiometry
- ✓ High Faradaic efficiency (90.1%) @ 1.4 V and 1.41 A/cm²
- ✓ The applied voltage is efficiently used for productive hydrogen generation

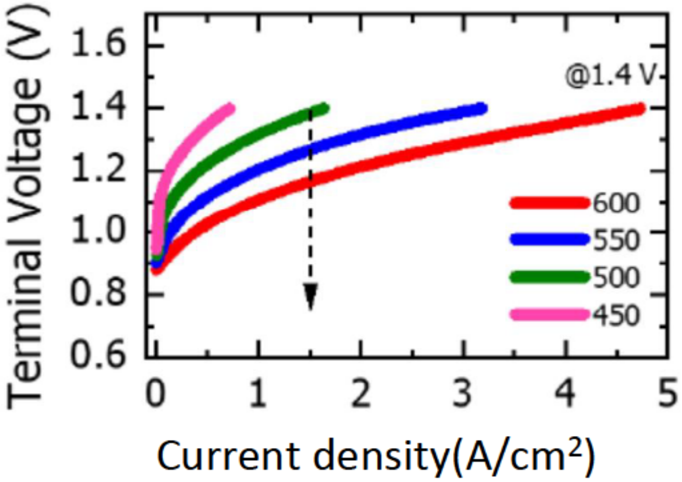
# 3．研究開発成果について

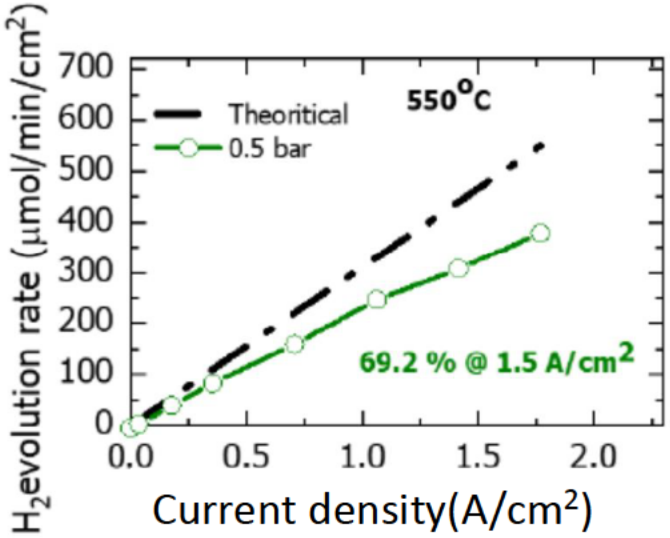
## ②平板型プロトン伝導性セルの作製と性能向上
大判化

$Ba_{0.5}La_{0.5}CoO_{3-\delta}$| $BaZr_{0.16}Ce_{0.64}Y_{0.1}Y_{0.1}O_3$ |NiO-$BaZr_{0.44}Ce_{0.36}Y_{0.2}O_3$ |

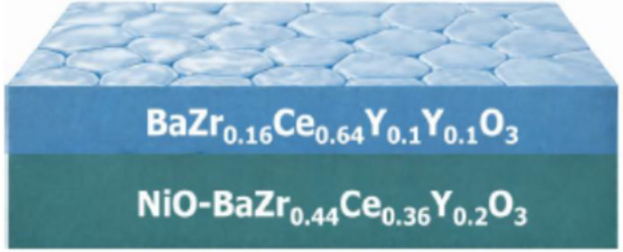
Cell configuration 2



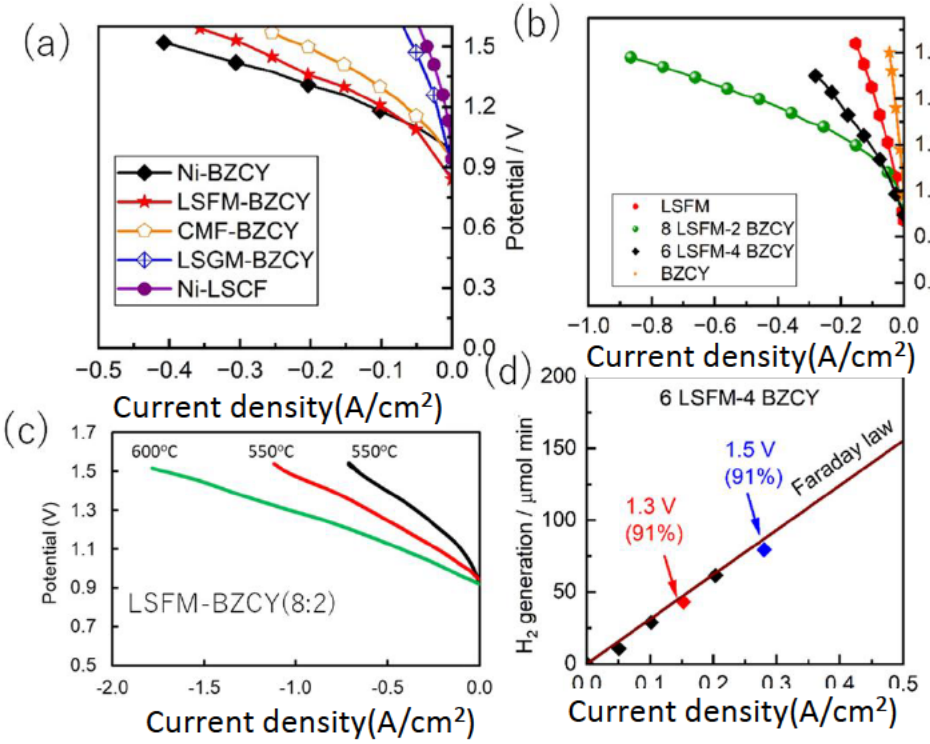

Half-Cell @ 1450/5h **NiO-$BaZr_{0.44}Ce_{0.36}Y_{0.2}O_3$ -supported cells**:



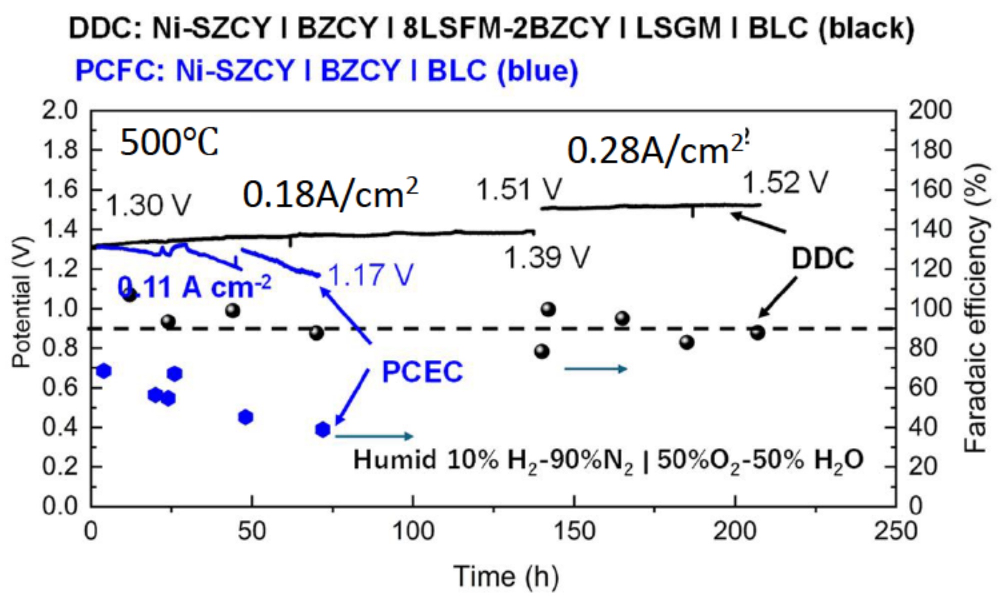

- ✓ Ba evaporation and A-site stoichiometry loss, Lower operating polarization,
- ✓ Reduced Faradaic efficiency (69.2%) @ 1.4 V and 1.5 A/cm$^2$
- ✓ The applied voltage is shared between productive ionic current and wasteful electronic leakage

# 3．研究開発成果について
# ③Double Deckerセルの作製と高性能化

■ 研究成果　積層型Double Decker型セルの成果




図作成した積層型Double Deckerセルの電解特性
a)中間電極の効果 b)LSFM-BZCY比の影響
c)温度依存性　e)ファラデー効率　（500℃）




図作成したDouble Decker型セルとプロトン伝導性セルの長期安定性の比較　（500℃）

**期待したようにDouble Decker型セルは優れたファラデー効率と安定性を有する。**

## ■今後解決すべき課題、問題点

- 大判化と長期安定性の向上
- さらに優れた性能を示す中間電極の探索
- LSFM-BZCYが優れた性能を示す機構解析
- 長期安定性の向上

論文発表; Sovann et al. J. Mat.Chem. A., DOI: 10.1039/D6TA00612D
特許の取得

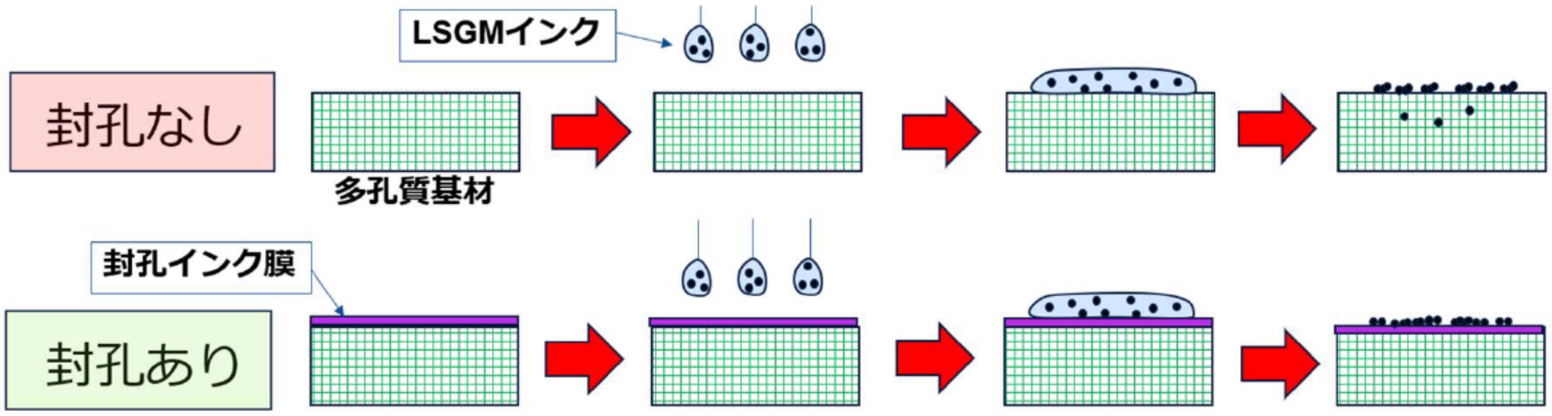
# 3．研究開発成果について
# ③Double Deckerセルの作製と高性能化

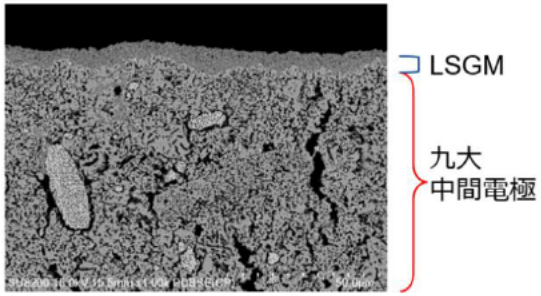
## ■研究開発内容と目標、その達成度

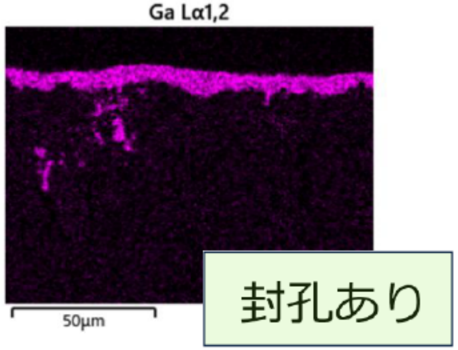
(b) 工業的製膜法の検討;LSGM膜の製膜：膜厚30μm以下、セル面積：φ20mm以上
**（達成度）新たに取り組み、ほぼ目標の性能に到達した。**

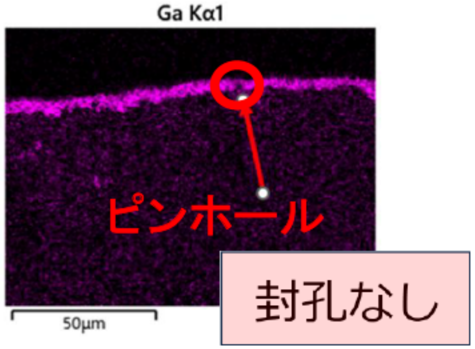
## ■研究成果

・封孔剤とLSGMのインクセットを開発し、多孔質基材でも染み込みによるピンホール発生を防止（特許出願）




## ■今後解決すべき課題、問題点

・中間電極とLSGMの反応抑制（材料選定済、層厚みを適正化して効果確認）
・LSGM膜、反応防止層の積層構造の印刷形成

# 3．研究開発成果について
# ③Double Deckerセルの作製と高性能化

## ■研究開発内容と目標、その達成度

b) 工業的製膜法の検討;製膜法および製膜条件の検討、セル面積: φ20mm以上

**(達成度)インクジェット法で、多孔質電極上への緻密膜の作製に成功し、目的を到達した。**

## ■研究成果

表　空気極インクジェット印刷インク

| | | |
|---|---|---|
| インク品番 | | SS008 |
| セラミック粒子 | 材質 | ＳＳＣ |
| | 真比重 | 6.2 |
| | 濃度 | 20 重量% |
| 有機溶剤 | (詳細は秘) | Z |
| 添加剤 | 濃度 | 1.6 重量% |
| インク特性 | 粘度 | 8mPa・s |
| | DLS 粒子径 | 240nm |
| | 経日安定性 | 60℃ 2 週間以上 (DLS にて) |

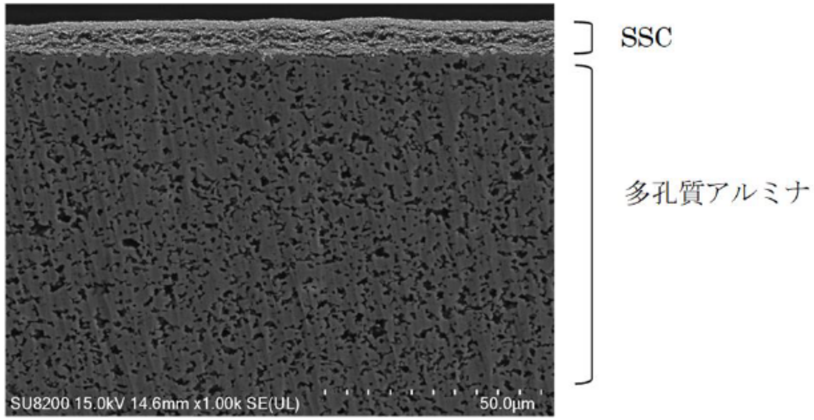



図　多孔質基板上に作成した機密層SSCの観察結果

①出願番号:2026-054703 提出日:2026年03月27日
【発明の名称】静電インクジェット印刷用インクおよび焼成体の製造方法
②出願番号:2026-054704 提出日:2026年03月27日
【発明の名称】インクセット、および、焼成体の製造方法

２件の特許の取得

**厚み約10μm程度であるが、多孔質基板上でも平滑膜を印刷できることが分かった。**

## ■今後解決すべき課題、問題点

・提供される実際の半セル上へのLSGMのインクジェットによる製膜、焼結
・φ30mm以上の大きさのセルの作製の可能性の検討
・高性能のDouble Decker型セル構造の高性能電解セルの実現

# 4．今後の見通しについて

## 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

### ①LSGM酸素イオン伝導性セル(upper cell)

・電解特性の向上、作動温度の500℃への低下
・劣化機構の明確化と長期安定性の向上
・インクジェット製膜による大判化への対応
　中間電極とLSGMの反応抑制（材料選定済、層厚みを適正化して　効果確認）
・LSGM膜、反応防止層の積層構造の印刷形成

### ②BZCY系プロトン伝導性セル(bottom cell)

・セル処理および水蒸気電解特性の改善
・ BZCY電解質と適合する熱膨張特性を有する活性な複合電極材料の開発
・劣化機構の明確化と長期安定性の向上

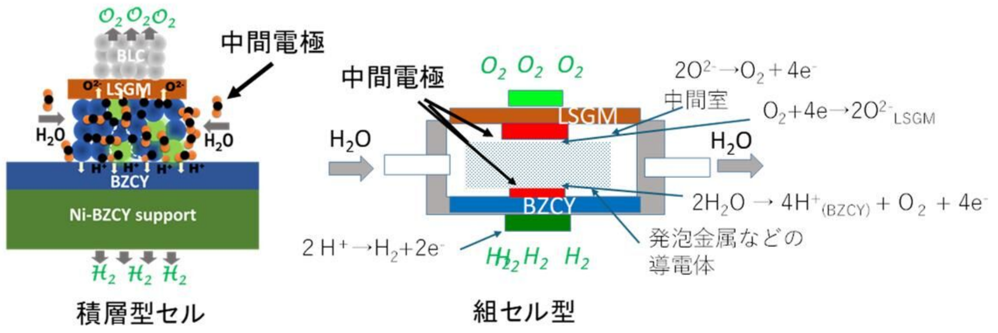
### ③Double Decker型セル

#### 積層型セル

・大判化と長期安定性の向上
・さらに優れた性能を示す中間電極の探索
・さらに活性な空気極触媒の開発

#### 組セル型セル

・用いるセルの信頼性の向上とガスシール性の向上
・中間電極内でのセルの直列時の接触抵抗の低減
・運転条件の最適化
・長期安定性の評価と安定性の向上




Double Decker型セル

# ４．今後の見通しについて

実用化・事業化に向けた具体的な取り組み（計画や戦略等）

・安価な電源の調査・確保と事業イメージの確立
・スタックメーカー、システムメーカーとの連携
・セル単体での市販も視野に入れて社会実装に取り組む

| | | |
|---|---|---|
| 2024～2027（本研究） | 単セルの最適化と性能向上、長期安定性確保 | |
| 2027～2030 | セルの大型化と組セル化<br>長期安定性の向上 | 3.5kWh/$Nm^3H_2$程度の電解セルの開発。 |
| 2030～2035 | システムとしてのSOEC/SOFCの開発 | |
| 2035～2040 | フィールド試験と課題の明確化・解決 | |

社会実装

革新的な概念のDouble Decker型セルの開発で、高性能・長期安定な中温電解セルを実用化し、再生可能エネルギーを水素として時間と空間を超えての運搬を実現する。

再生可能エネルギーに立脚するカーボンニュートラルな社会の実現を可能とし、持続性のある社会の実現に寄与。

# ■国際共同研究の必要性･重要性

Tape casting

Tape casted film

Electrolyte surface

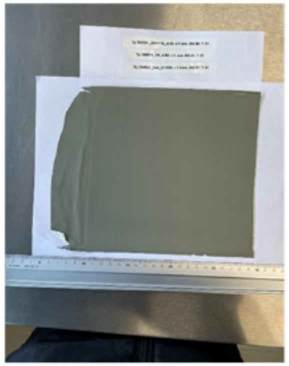
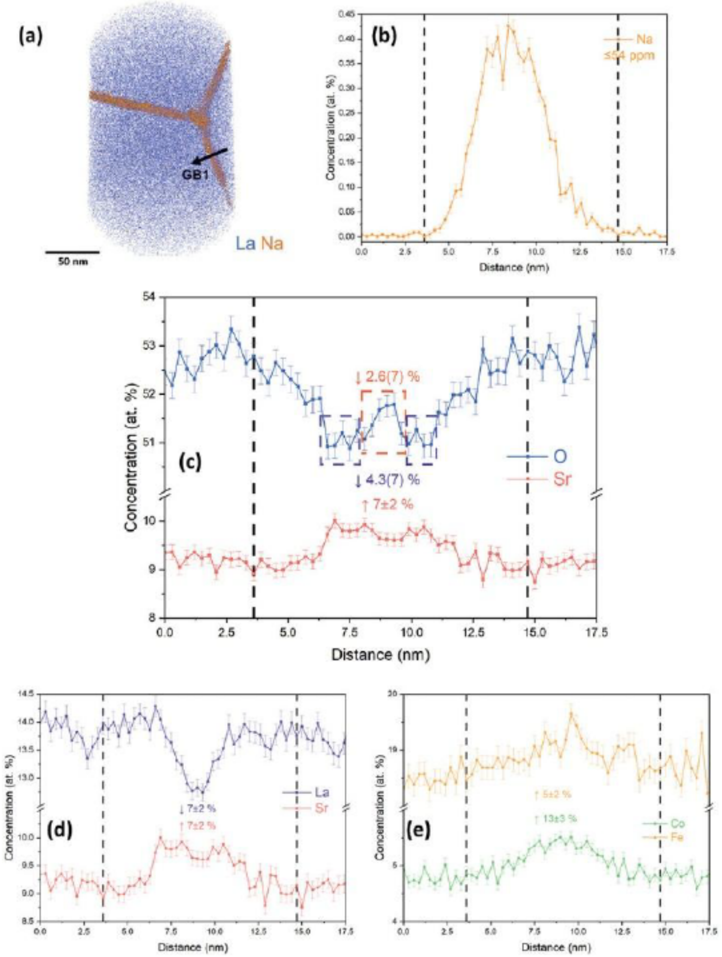

Substrate surface

図　Juelichでテープキャストでセルを作成する様子




図Imperial College Londonで中間電極をAPT法で分析した結果

テープキャスト法での製膜には多くのノウハウや知見が必要であり、一般には、長い研究期間にわたる研究が必要になる。今回は、このようなテープキャスト法で大型のセルの作製とスタック化に多くの知見を有するJuelich国立研究所の知見と装置を用いて、LSGM, BZCYの薄膜セルの作製を行ったことで、比較的、短い期間での薄膜セルの作製を行うことができた。

中間電極の設計と析出する微粒子の分析はImperial College Londonと共同で行った。

中間電極上へのLSGMの緻密膜の析出はPaul Scherrer Instituteとの共同で行った。

国際共同により知見とノウハウの提供を受けて従来になく革新的なDouble Decker型セルの開発を加速できている。

国際共著での論文発表　3件
口頭発表 2件
特許　3件