

# NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

## プログラムNo.603-1-15

### 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 ローカル水素供給を実現するアンモニア 分解システムに関する国際共同研究開発

発表：2026年7月21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

大友 順一郎

\*（国）東京科学大学、（国研）産業技術総合研究所、（一財）電力中央研究所

問い合わせ先 東京科学大学 大友 順一郎

E-mail: otomo@tse.ens.titech.ac.jp TEL: 03-5734-3971

# 事業概要

## 1. 事業期間

開始：2024年12月1日      終了（予定）：2027年11月30日

## 2. 最終目的

アンモニアを水素エネルギーキャリアとして活用し、**従来必要であった分解・水素分離・昇圧の複数プロセスを一体化**するプロトン伝導セラミック電気化学リアクター（PCER）技術を開発することで、オンサイトでの高効率・低コストな水素供給システムの実現を目的とする。特に、内陸部や分散型需要地における水素供給の課題を解決し、水素利用の拡大とCO<sub>2</sub>削減に貢献する革新的基盤技術の確立を目指す。

## 3. 成果・進捗概要

| 研究開発項目                            | 主な成果                                                                                                                                                                                                                                                                          | 実施担当者                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| A: PCER用NH <sub>3</sub> 分解電極触媒の開発 | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ni基二層電極構造</b>を選定、<b>90%以上のNH<sub>3</sub>転化率</b>達成</li><li>• <b>オーム過電圧低減</b>が効率向上の決定要因</li></ul>                                                                                                                                    | • Science Tokyo           |
| B: PCERセルの開発と実証                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• 水素透過量 <b>12 mL min<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup></b>、<b>50 cm<sup>2</sup>セル</b>、<b>最大ファラデー効率約90%</b>（水素透過）、<b>リーク電流</b>が効率低下要因</li><li>• NH<sub>3</sub>混合ガス下での<b>水素分離・部材安定性</b>を実証、<b>シール材選定・昇圧試験</b>により<b>0.2 MPaまで耐圧性</b>確認</li></ul> | • 産総研<br>• 電中研<br>• EIFER |
| C: システム数値モデル解析手法開発                | <ul style="list-style-type: none"><li>• DETCHEM解析による<b>水素収率95%</b>条件下で最適電極構造の評価</li><li>• <b>HHV効率80%</b>におけるシステム運転条件最適化</li></ul>                                                                                                                                            | • Science Tokyo<br>• KIT  |

# 1. 事業の位置付け・必要性

## 【背景】

アンモニアは輸送・貯蔵性に優れた水素エネルギーキャリア（※海外からの大量輸入が計画）

↳ アンモニアをローリー車で内陸エリアに輸送し、水素利活用域を広げることで、我が国のCO<sub>2</sub>削減に寄与

オンサイトに設置できる小型で低コストなアンモニア-水素変換システムが必要

（※現在のシステムでは触媒、高温アンモニア分解装置、ガス分離装置、圧縮装置が必要）



## 【目的】

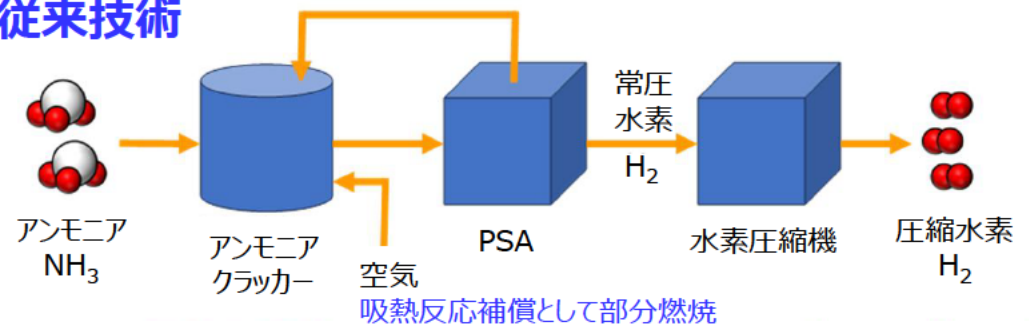
革新的アンモニア分解水素供給システムを実現するための、**プロトン伝導セラミック電気化学リアクター（PCER）**を開発

①アンモニア脱水素反応、②水素分離、③水素昇圧の3プロセスを1ステップで行うことで、「高効率・小型化・低コスト化」

## 【研究開発内容】

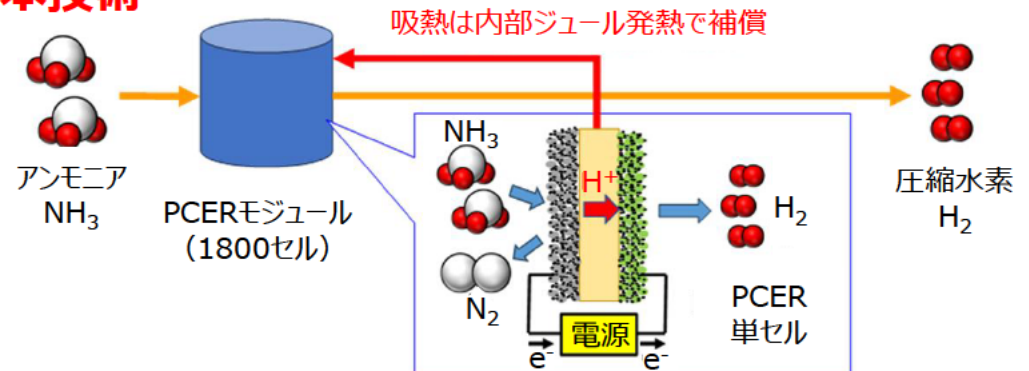
(A)アンモニア分解電極触媒の開発、  
(B)PCERセルの開発と実証、  
(C)アンモニア分解システムの数値モデル解析に取り組む

## 従来技術



300 Nm<sup>3</sup>/h級 水素製造システムの設置面積（推定）：約2m × 約5m = 約10m<sup>2</sup>

## 本技術



300 Nm<sup>3</sup>/h級 水素製造システムの設置面積（推定）：約2m × 約2m = 約4m<sup>2</sup>

## 2. 研究開発マネジメントについて



## 2. 研究開発マネジメントについて

SG審査

| 研究項目                                                                                       | FY 2024 |        | FY2025 |        |     |        | FY2026 |     |     |     | FY2027 |        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|-----|-----|-----|--------|--------|-----|
|                                                                                            | 3 Q     | 4 Q    | 1 Q    | 2 Q    | 3 Q | 4 Q    | 1 Q    | 2 Q | 3 Q | 4 Q | 1 Q    | 2 Q    | 3 Q |
| <u>A: PCER用アンモニア分解電極触媒の開発</u><br>A-1: アンモニア分解電極触媒の材料選定と電極化<br>A-2: PCERの高効率動作にむけたボトルネックの抽出 |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
| <u>B: PCERセルの開発と実証</u><br>B-1: PCERセルの高性能化と大面積化<br>B-2: アンモニア－水素変換の実証                      |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
| <u>C: システムの数値モデル解析手法の開発</u><br>C-1: PCER電極反応速度モデルの構築<br>C-2: PCERシステムモデルの構築                |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
|                                                                                            |         |        |        |        |     |        |        |     |     |     |        |        |     |
| イベント<br>(★: 全体会議、◎: 国際交流)                                                                  |         | ★<br>◎ |        | ★<br>◎ |     | ★<br>◎ | ★<br>◎ | ◎   |     | ★   |        | ★<br>◎ |     |



### 3. 研究開発成果について

#### (A) PCER用アンモニア分解電極触媒の開発（東京科学大学）

##### 研究開発内容と目標

###### 【A-1】

NH<sub>3</sub>転化率99%を達成する  
電極材料の選定とPCERの  
操作条件の明確化

###### 【A-2】

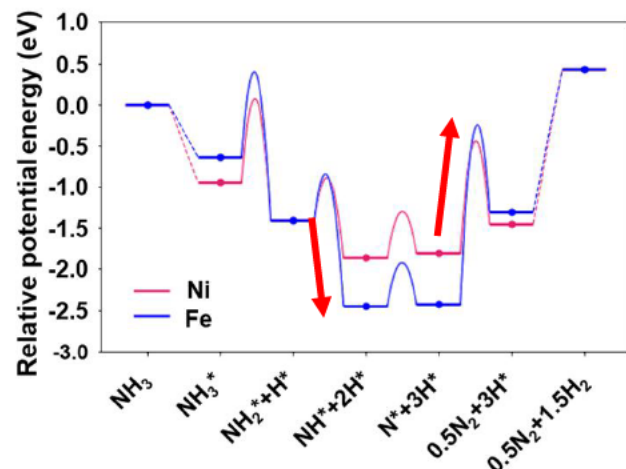
PCERの高効率作動にむけた  
ボトルネックの抽出

##### 研究成果

###### 【A-1成果1】DFT計算

ボトルネック過程:  $\text{N} \rightarrow \text{N}_2$

触媒活性:  $\text{Ni}, \text{Co} > \text{Fe}$



##### 研究成果

###### 【A-1成果2】NH<sub>3</sub>分解実験

- Co元素拡散のため  
Ni・Feを比較

➤ NH<sub>3</sub>転化率  
(材料比較):

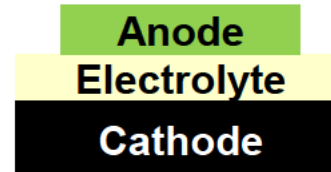
$\text{Ni} > \text{Fe} > \text{Ni-Fe}$

➤ NH<sub>3</sub>転化率  
(構造比較):

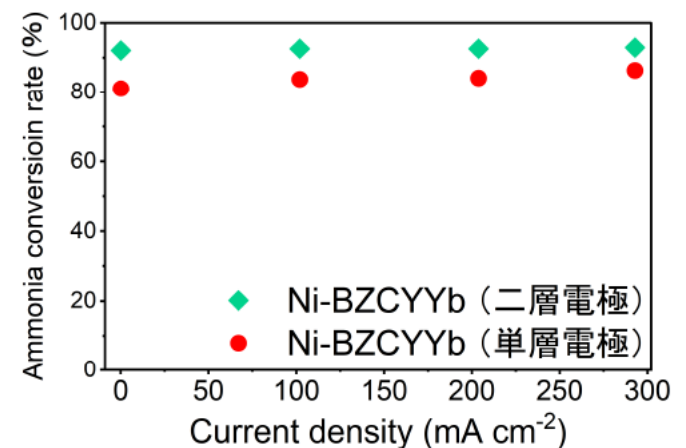
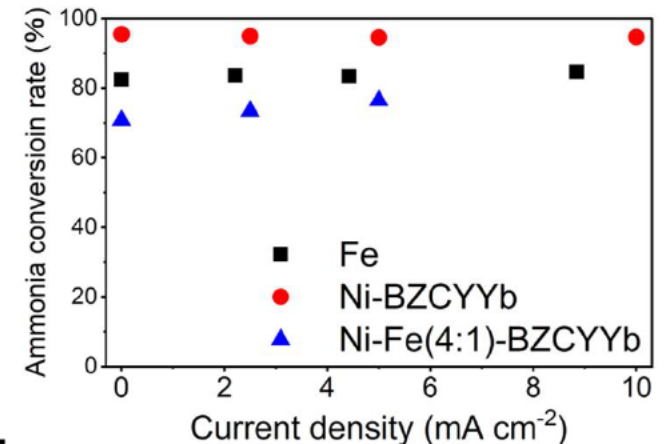
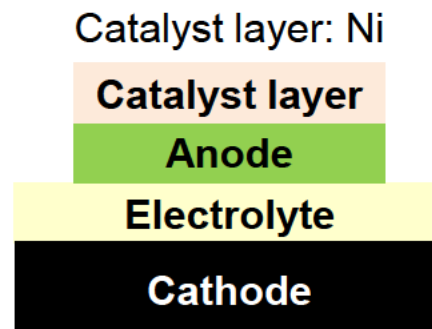
二層電極 > 単層電極

Anode: Ni-BZCYYb1711

単層



二層



### 3. 研究開発成果について

#### (A) PCER用アンモニア分解電極触媒の開発（東京科学大学）

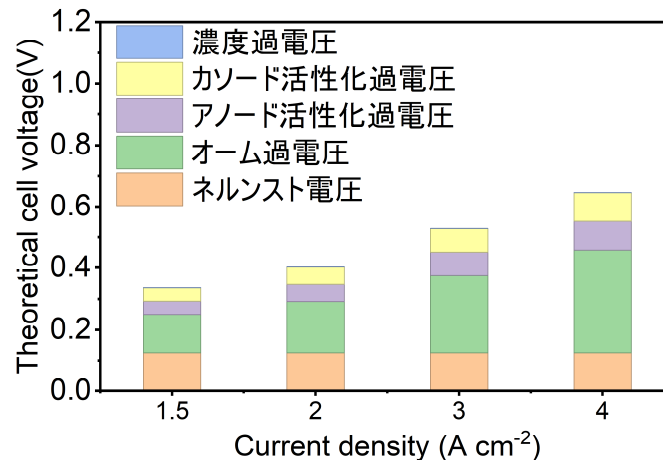
##### 研究成果

【A-2成果1】  
損失要因評価各  
過電圧（活性化・  
オーム・濃度）の  
効率への影響評価

オーム過電圧が  
最大損失要因

【A-2成果2】供給ガス加湿検討（ネルンスト・  
プランク・ポアソンモデル）  
プロトンポンピングに  
おける供給ガス  
水蒸気濃度の  
影響評価

供給ガス加湿  
（3～7%）により  
必要電力低減



##### 国際共同研究の成果

【成果】  
EIFER・KITを含む**全機関が共著**  
となる論文執筆

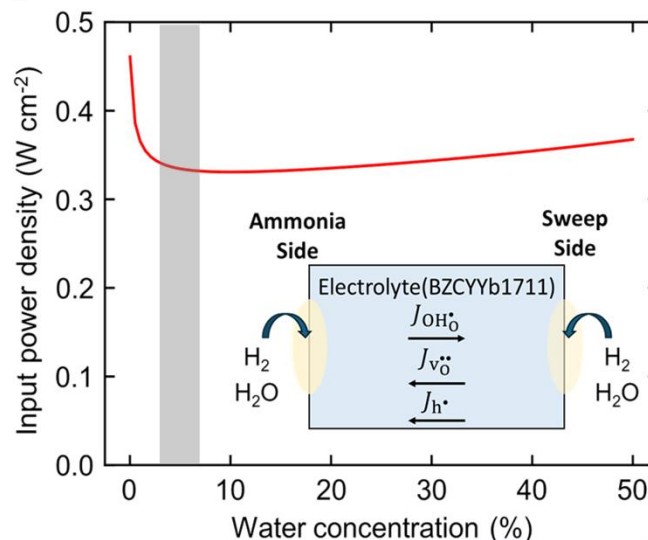
【ポイント】  
**計4回の日独間相互訪問**により、研究  
者間の直接的な議論が活発に実施

##### 今後解決すべき課題、問題点

【A-1課題】**NH<sub>3</sub>転化率向上**  
【対策】実触媒の構造を考慮した解析、  
電極構造（厚さ・気孔率）や流量  
条件の最適化

【A-2課題1】**水蒸気の影響解明**  
【対策1】水蒸気がオーム過電圧に  
与える影響を評価

【A-2課題2】**水素収率向上**  
【対策2】ガスリーク低減プロセス開発

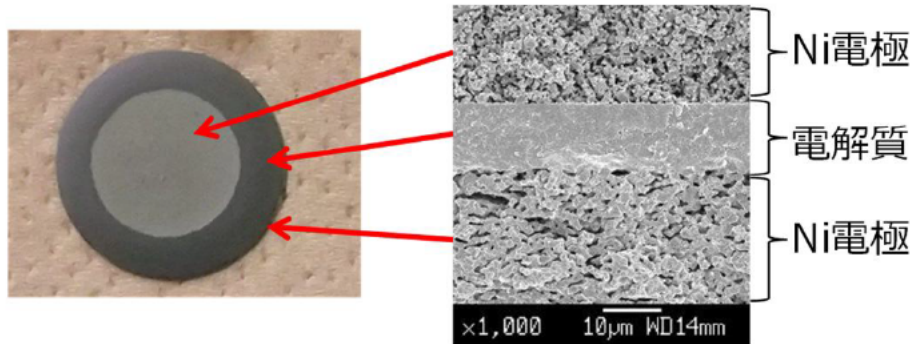


### 3. 研究開発成果について

#### (B-1) PCERセルの高性能化と大面積化（産総研・電中研・EIFER）

##### 研究開発内容と目標

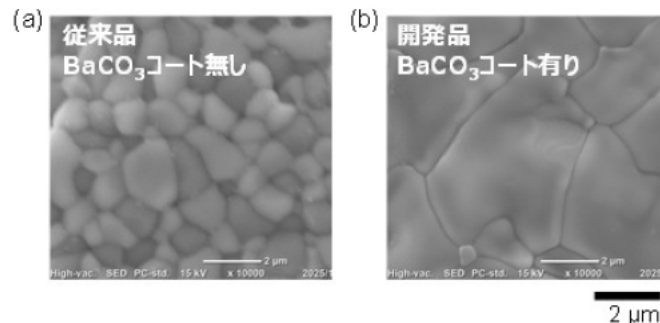
- ・コインサイズのPCERの製造プロセスの確立
- ・水素透過量  $14 \text{ mL min}^{-1}\text{cm}^{-2}$ （電流密度  $2.0 \text{ A cm}^{-2}$ ）以上の達成
- ・大面積化PCERの試作と課題の抽出



事業開始時のコインサイズPCER  
（電極面積：約  $1 \text{ cm}^2$ ，  
水素透過量：約  $3 \text{ mL min}^{-1}\text{cm}^{-2}$ ）

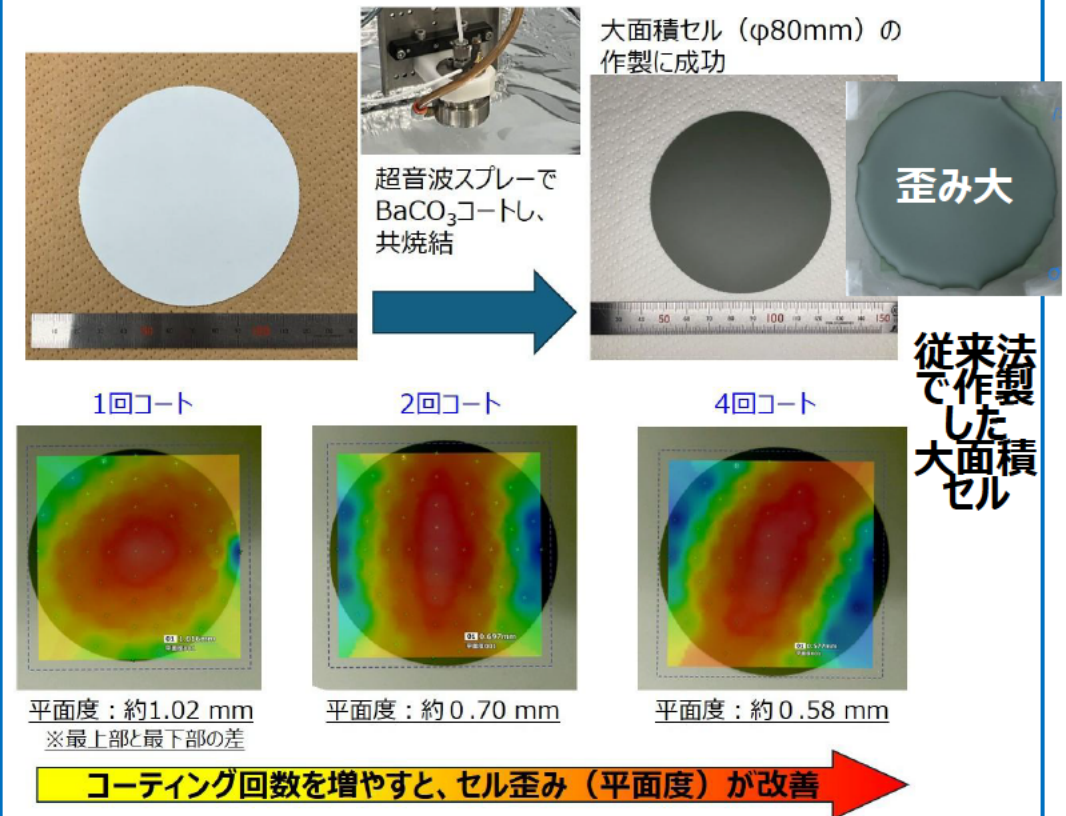
##### 研究成果

【成果1】  
電解質の  
粒成長を促す  
新規プロセス「 $\text{BaCO}_3$ コート焼結法」を開発



##### 研究成果

【成果2】超音波スプレーによる  $\text{BaCO}_3$  コートにより、歪みのない、 **$\phi 80 \text{ mm}$  大面積セル**（ **$50 \text{ cm}^2$** ）の作製に成功



特許出願中

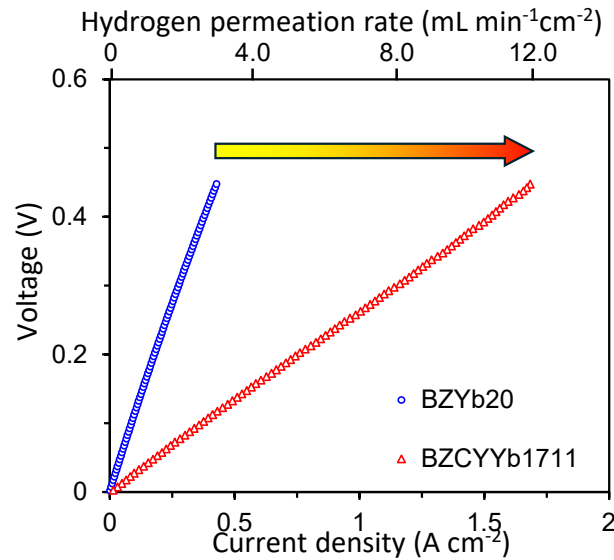


### 3. 研究開発成果について

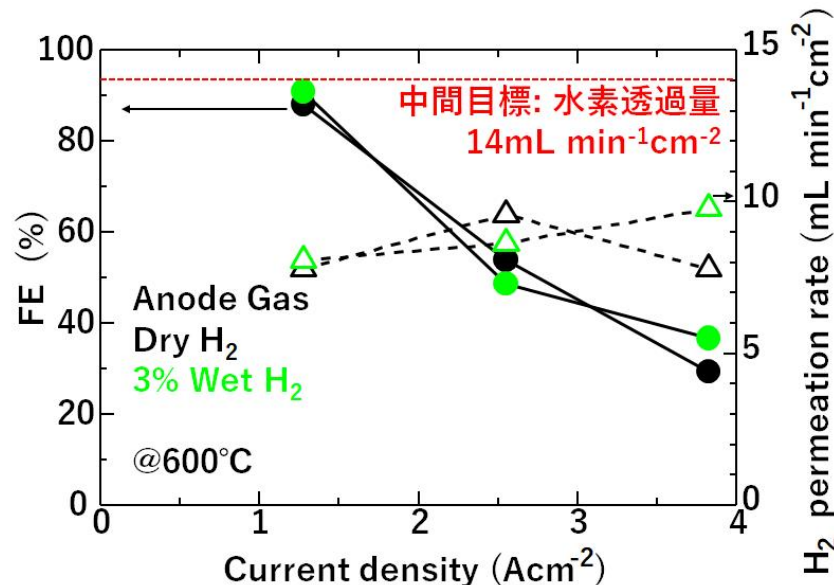
#### (B-1) PCERセルの高性能化と大面積化 (産総研・電中研・EIFER)

##### 研究成果

【成果3】  
水素透過量を  
約12 mL  
 $\text{min}^{-1} \text{cm}^{-2}$   
(事業開始時  
の約4倍) に  
向上



【成果4】約90%の高いファラデー効率  
( $1.27 \text{ A cm}^{-2}$ 時) を達成



##### 国際共同研究の成果

【成果】PCERセル大面積化 ( $\phi 80 \text{ mm}$ )  
を前倒して達成

【ポイント1】EIFERの開発コンセプトに同調、  
アイロニング（焼き直し）を行わない大面積  
化プロセスに開発リソースを集中

【ポイント2】セル歪みの改善方法について、  
EIFERを参考に、超音波スプレーの導入とそ  
の活用法について着想

##### 今後解決すべき課題、問題点

【課題1】水素透過性能のさらなる向上

【対策1】電極微細構造制御と電解質の  
粒成長によりセル総抵抗低減

【課題2】高電流密度でのファラデー効率低下

【対策2】リーク電流および側面ガスリークの  
増大が原因、ガラスシール材改良による  
気密性向上、中間層導入によるリーク抑制、  
高プロトン伝導材料の適用による低電圧化

### 3. 研究開発成果について

#### (B-2) アンモニア－水素変換の実証 (電中研・産総研・EIFER)

##### 研究開発内容と目標

- ・NH<sub>3</sub>混合ガスからのPCERによる高純度水素分離 (水素収率90%・純度99%以上)
- ・PCERセルおよび部材の分析・解析
- ・電気化学ポンプによる昇圧特性評価の設計・製造

##### 研究成果

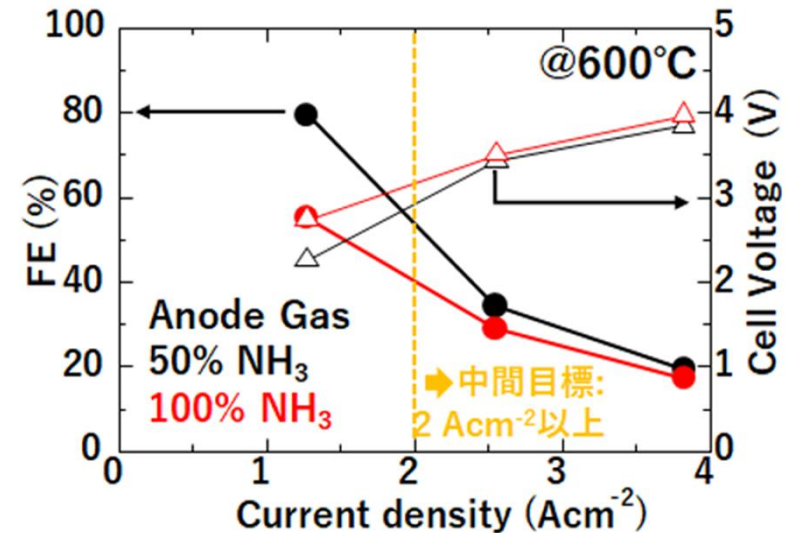
【成果1】NH<sub>3</sub>混合ガスからのPCERによる高純度水素分離



- ・ 腐食性のある**高濃度NH<sub>3</sub>** (**～100%**) を用いて試験が行えるよう、既存の装置をアンモニア対応に改造して水素分離の実証を実施

##### 研究成果

【成果2】NH<sub>3</sub>混合ガス (50%、100%) からの水素分離特性評価



- 50%NH<sub>3</sub>では水素雰囲気と同等のセル性能、100%NH<sub>3</sub>ではセル抵抗・電極抵抗が増大
- **ファラデー効率 (FE) 最大80%程度**を示す条件もあるが、電流密度の増加に伴い低下、高電流密度域ではガス組成による差は小

**NH<sub>3</sub>混合ガスからの水素分離は可能、**  
水素収率90%および水素透過量  
14 mL min<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>以上の達成には  
セル電圧低減とリーク電流抑制が重要

### 3. 研究開発成果について

#### (B-2) アンモニア-水素変換の実証 (電中研・産総研・EIFER)

##### 研究成果

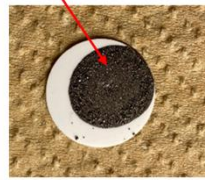
##### 【成果3】電極・電解質・ガラスシール材のNH<sub>3</sub>耐性評価

アルカリ金属元素が黒色化の原因



空气中焼成後

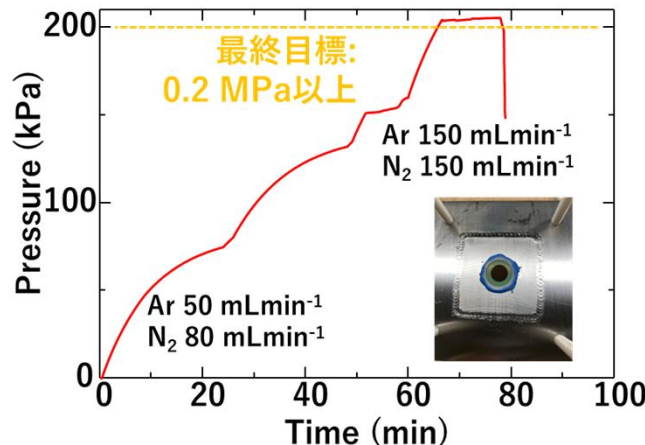
ノリタケ製  
RQ3  
シール材



650°C, 30min NH<sub>3</sub>暴露後

- **Ni電極は高い安定性**、Feは窒化の影響を受けやすい
- BZCYYb系電解質とNi電極の組み合わせは**NH<sub>3</sub>雰囲気下でも安定**
- ガラスシール材は、アルカリ金属を含むと劣化、Ba含有のガラスシール材では、**元素拡散抑制**

##### 【成果4】電気化学ポンプによる昇圧特性評価の設計・製造



##### 研究成果

- 昇圧用セルホルダーを設計・製作、Ba含有ガラスシール材 (NDD236) の加圧試験を実施
- 600°Cにおいて**目標値である0.2 MPaまでのシール材の耐圧**および安定保持が可能、昇圧運転の実現可能性を実証

##### 国際共同研究の成果

【成果】NH<sub>3</sub>混合ガスおよび加圧条件を含む実運用評価を初めて実現

【ポイント】EIFERとの国際共同研究により、アンモニア系評価および材料耐性に関する知見を取り入れ、セル評価の枠組みを構築

##### 今後解決すべき課題、問題点

【課題】**シール材起因の昇圧時ガスリーク**

【対策】焼成温度条件の検討によりガラスの緻密化、気密性向上によって、加圧条件の安定した水素保持が可能となる見通し

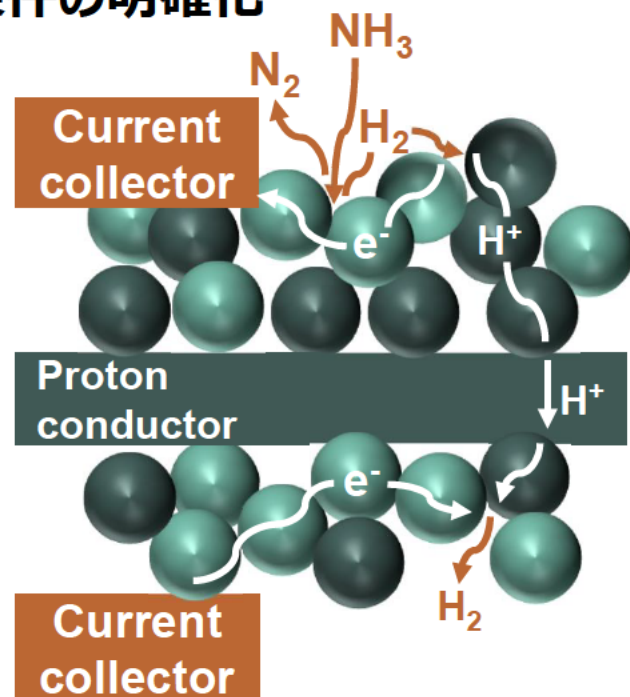
### 3. 研究開発成果について

#### (C) システムの数値モデル解析手法の開発（東京科学大学・KIT）

##### 研究開発内容と目標

###### 【C-1】

PCER電極反応モデルを構築し、 $\text{NH}_3$ 分解効率95%を達成する条件の明確化



###### 【C-2】

PCERシステムモデルを構築し、効率80%（HHV）を達成する条件の明確化

##### 研究成果

###### 【C-1成果】DETCHEMによるモデル構築

運転条件や異なる電極構造が $\text{NH}_3$ 転化率・水素収率に与える影響を評価

- 二層構造で最大の $\text{NH}_3$ 転化率:約95%と水素収率:約95%を達成可能

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| 20 $\mu\text{m}$  | Ni-BZCYYb |
| 5 $\mu\text{m}$   | BZCYYb    |
| 800 $\mu\text{m}$ | Ni-BZCYYb |

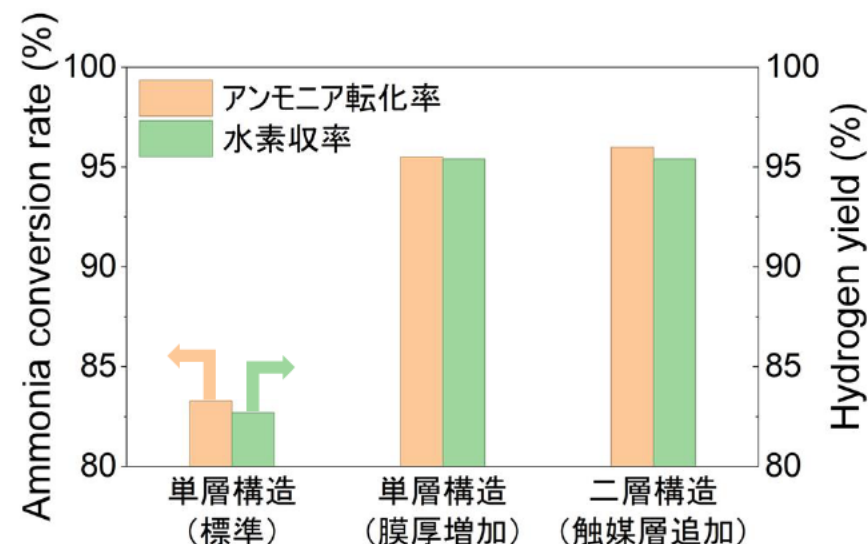
単層構造  
(標準)

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| 20 $\mu\text{m}$  | Ni-BZCYYb |
| 5 $\mu\text{m}$   | BZCYYb    |
| 800 $\mu\text{m}$ | Ni-BZCYYb |

単層構造  
(空隙率増加)

|                  |           |
|------------------|-----------|
| 20 $\mu\text{m}$ | Ni        |
| 20 $\mu\text{m}$ | Ni-BZCYYb |
|                  | BZCYYb    |
|                  | Ni-BZCYYb |

二層構造  
(触媒層追加)





### 3. 研究開発成果について

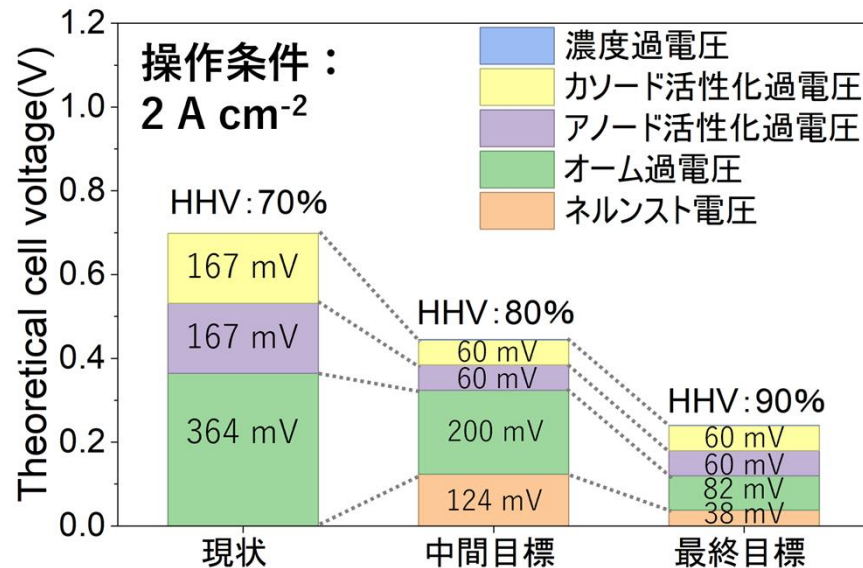
#### (C) システムの数値モデル解析手法の開発（東京科学大学・KIT）

##### 研究成果

##### 【C-2成果】システム計算

- HHV効率80%を達成する操作条件を確認

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2} \text{HHV}_{\text{H}_2}}{\dot{m}_{\text{NH}_3} \text{HHV}_{\text{NH}_3} + IV_{\text{cell}} n}$$



- HHV効率80%を達成するために  
**必要な動作電圧は0.446 V**
- **2.00 A cm<sup>-2</sup>**においてHHV効率と  
NH<sub>3</sub>分解吸熱量を同時に達成

##### 国際共同研究の成果

##### 【成果】

DETCHEM（KITのOlaf教授らが開発したソフトウェア）を用いた**高精度電極反応モデル構築・論文執筆**

##### 【ポイント】

登録研究員の**KITへの研究留学**において、  
現地でのモデル構築指導により達成

##### 今後解決すべき課題、問題点

【C-1課題】**水素収率90%に向けた最適化**

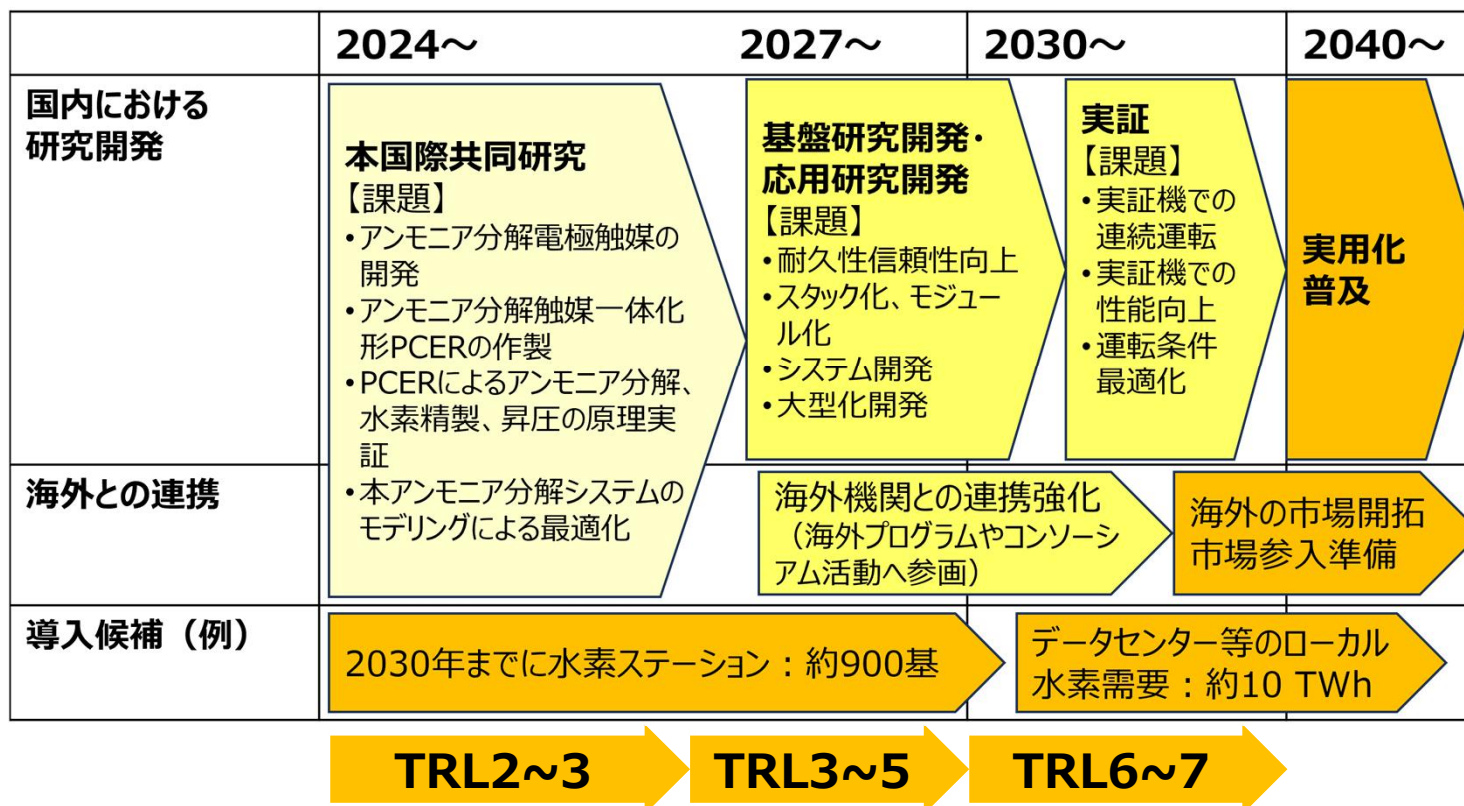
【対策】電極条件・操作パラメータの検討、  
ガス流量・圧力制御による滞留時間・電極  
構造の最適化

【C-2課題】**水蒸気が効率に与える影響**

【対策】水蒸気濃度・NH<sub>3</sub>分解に伴う吸熱量  
を考慮、動作条件（電流密度・電圧・セル  
数）の最適化、数値解析によりシステム効率  
への影響を定量的に評価

## 4. 今後の見通しについて

### ■ 実用化に至るまでのシナリオ・CO<sub>2</sub>削減効果等



- ・ データセンターの電力需要：現状の成長率を考慮すると2030年以降は約100 TWh/年の見込（国内のみ、インプレス総合研究所調査：現状で19 TWh/年）
- 100 TWhの需要に相当する市場を想定：**PCERの市場規模（設備コスト）は約2700億円/年、水素の潜在需要は約1兆円/年と予想**
- ・ CO<sub>2</sub>回収・貯留技術（CCS）付きNH<sub>3</sub>の**CO<sub>2</sub>削減の原単位は290 g/kWh**であると見積（出典：JST調査に基づく）
- 100 TWhの電力需要に対する**CO<sub>2</sub>年間削減量は2900万トン**と試算
- エネルギーストレージ（**災害時レジリエンス向上・エネルギーセキュリティ対策**）の観点でも効果的