

## 固体酸化物形燃料電池スタックの高度評価・解析技術の研究開発

産業技術総合研究所、電力中央研究所、東京大学、京都大学、九州大学、東北大学、イムラ・ジャパン株式会社

団体名：(共同実施先)京セラ(株)、森村SOFCテクノロジー(株)、(株)デンソー、大阪ガスマーケティング(株)、東京瓦斯(株)、日産自動車(株) (再委託)千葉工業大学、慶應義塾大学

**発表日：2024年7月18日**

**目標：**固体酸化物形燃料電池（SOFC）の普及・適用性拡大に必要な、高度なスタック評価・解析技術を確立する。

先進スタックの13 万時間超の長期寿命・運用、65%を超える高効率運転、再エネ調整力応用としての負荷変動や急速起動など、スタック運用限界に近い状態を的確に評価し、長期寿命や運用性限界を予測する高度な評価・解析技術を開発・提供する。

**成果概要**：スタックの長期耐久予測や運用性拡大評価に資する各種の先進的な評価・解析法を複数開発し、一部は完成しつつある。

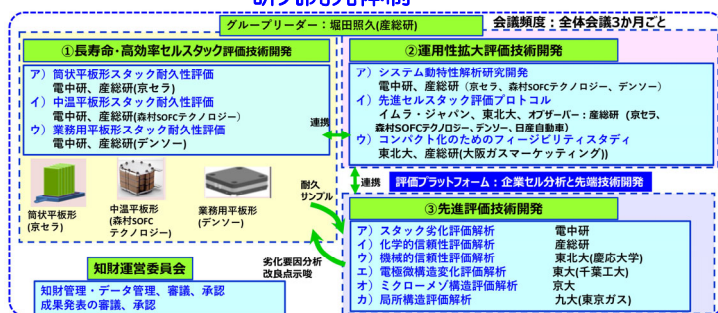
1) スタック性能表示式法の改良と寿命予測：SOFCスタックの高効率運転下(燃料利用率85%)、2万時間の長期耐久試験を複数スタックで

達成、主たる抵抗増大成分がオーム損と空気極過電圧であることを解明。燃料極劣化も観測。時間項入り性能表示式から、劣化予測を可能に  
**2) スタック劣化複合効果・長期寿命予測シミュレーション開発**：各部材や材料の劣化メカニズムの時間依存性や複合効果を整理、総合的評価のための基礎データ集積し、スタック劣化を表示するためのマルチスケールシミュレーション技術を進め、その基本コードは完成した。

**3) 急速起動・負荷変動、加速劣化評価法：**急速起動や負荷変動に対応するためのセル評価装置完成、基礎データ収集し、評価プロトコルのデータ提供。SOFCシステム動特性評価を進めるためのスタックレベルデータを集積。矩形波の電流変化を与え、サイクルで劣化加速を確認。

4) 革新評価・解析法：電極微構造画像解析に機械学習を適用、その教師データを集積し、機械学習による燃料極微構造変化、寿命予測が可能に。電池性能曲線も機械学習させることで、性能劣化予測可能に。

## 研究開発体制

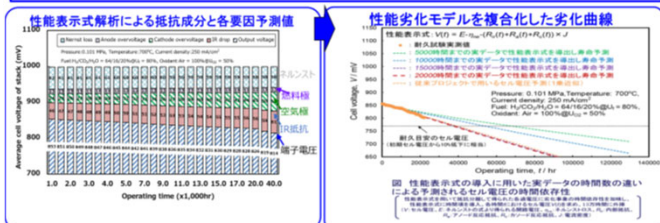


## 成果1：長寿命・高効率セルスタック評価技術開発

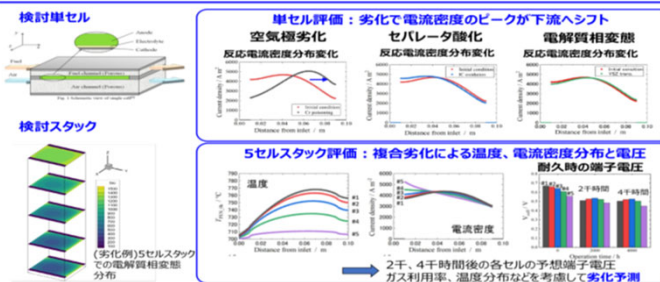
- 先進スタック長期試験 : 燃料利用率 $U_f=85\%$ (効率65%以上)で2万時間の耐久試験達成
- 先進スタック劣化機構解明 : 大学・研究機関と連携して高 $U_f$ での評価法開発とその劣化機構解明
- 判明劣化状況 : 高 $U_f$ での燃料極過電圧増、IRと空気極が主要因。複合的な劣化機構を解明・提唱

スタック形状 (企業名)	劣化主要原因 (劣化現象)と 最大運転時間	推定劣化現象	劣化時 間依存性	評価プラットフォーム → 高炉・メタンガス → 高炉+高炉の取り組み	前期した高UFCでの 劣化率 → 前回のと相違
筒状形板形 (京セラ) 	-1R抵抗 -空気格過電圧 (通常運転と同じ)  UF=80% 20,000h UF=85% 20,000h (各2週間程度)	-電気解劣化導度低下 -空気格/燃料界面絶縁層生成 -電極内部/電機構造変化 -酸化物質(C)の溶解/析出	直線 +々乗 逆指数関数	直線+高炉+燃料格過電圧変化小(不純物結晶) → 高炉+高炉は影響小(不純物結晶) → IC中の酸素濃度減少(小産物) → 製造会社より実用化法開発(東北北)	UF=80%で0.32%/kh UF=85%で0.37%/kh 通常運転比より劣化率上昇
中温平板形 (森村SOFテクノロジ) 	-1R抵抗 -空気格過電圧 (通常運転と同じ)  UF=80% 20,000h UF=85% 20,000h	-電気解劣化導度低下 -空気格/燃料界面絶縁層生成 -電極内部/電機構造変化 -金属(I)の抵抗増大 -温度分布、変形・シール	直線 +々乗 逆指数関数	UF=80%での28%/kh UF=85%での35%/kh → 燃料格過電圧(京大) → 不純物結晶・S・Si増量影響小(産研研)	UF=80%で0.28%/kh UF=85%で0.35%/kh 通常運転比と同レベル
業務用平板形 (デンソー) 	-1R抵抗 -燃料格過電圧  UF=80% 数1,000h UF=85%	-電気解劣化導度低下 -電極/燃料界面絶縁層形成 -電極内部/電機構造変化 -セリの変形・シール化 → IC中の酸素濃度	直線 +々乗 逆指数関数	-ボランタ電極劣化評価: → 高炉+高炉劣化率(東北北) → 燃料格過電圧(金沢) IC中の酸化、抵抗増加、九	燃料格過電圧で劣化率増大 UF=80%で0.63%/kh

- 性能表示式による約2万時間までの解析結果を基に、部位毎の過電圧の性能劣化モデルを考慮した時間依存項を導入した近似式で耐久予測に成功(電中研、京セラ、森村SOFC、デンソー他)
- 13万時間までのセル電圧を外挿し、高効率運転での劣化予測：10%/4万時間の劣化予測
- スタック予測法を各社の長期耐久予測法として適用：劣化寿命予測がで生産コスト低減などに寄与



- 擬三次元SOFCスタックシミュレーションコード開発に成功 (担当：京大、九大、産総研ほか)
- 複数の劣化要因を複合化・適用し、セルスタックの長時間運転劣化予測に成功
- 今後 実スタックの耐久データとの比較も行い、セルスタック企業にも提供、高耐久化に寄与予定



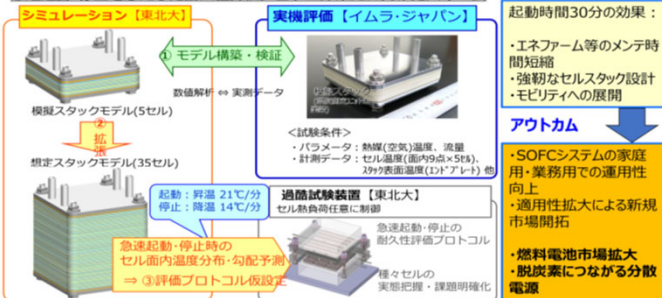
## 評価法開発のイメージ



## 成果2：運用性拡大評価技術開発

- 急速起動・停止評価法の開発：SOFCスタックの運用性を格段に向上させる
- 評価法をスタック開発企業が用いて、その運用性が向上し、市場拡大に寄与する可能性大

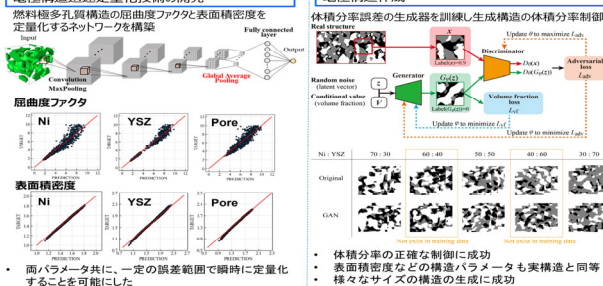
急速起動・停止を想定した耐久性評価プロトコル策定に向けたスキーム



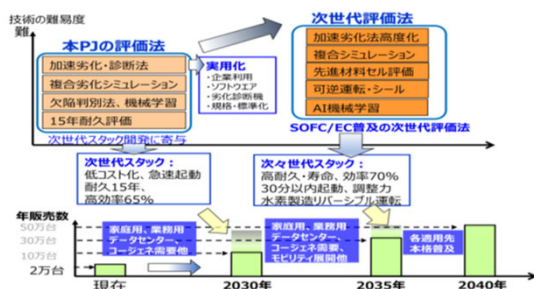
### 成果3：先進評価技術開発

## 機械学習の劣化解析への適用

- 畳み込みニューラルネットワーク (CNN)を用いた電極構造迅速定量化技術の開発
- 敵対的生成ネットワーク (GAN)を用いた模擬電極構造作成



## 今後の展開：開発した評価法の応用



**連絡先：国立研究開発法人産業技術総合研究所**

省エネルギー研究部門 堀田照久