

溶融炭酸塩形燃料電池のスタック寿命予測手法の開発

背景

溶融炭酸塩形燃料電池（MCFC）発電プラントに使用されるMCFCスタックを構成する各セルの電圧は、スタック内電解質が主に腐食によって損耗するため、時間経過とともに徐々に低下する。MCFC発電プラントは長期にわたって運用されるため、スタックの寿命予測ができれば、効率的なスタック改良や最適な運用を行うことが可能となる。MCFCの寿命予測は単セル*では達成されているが、スタックへの適用拡大が待たれている。

目的

MCFCスタックの改良やMCFC発電プラントの最適運用に資するため、スタックの各セル電圧の経時変化を予測可能な寿命予測手法を単セルの手法を基に開発する。

主な成果

- (1) 単セルの寿命予測手法をスタックへ適用拡大するには、表1①の単位面積当たりの電解質量を表す式中の初期電解質量（ e_0 ）と腐食面積係数（Scor）を決定する必要がある。そこで、スタックでの実測最長データである0.4m²および1m²スタックのセル電圧の1万時間にわたる経時変化を基に e_0 およびScorを決定した。 e_0 は0.4m²スタックで2.95～3.3、1m²スタックで2.35～3.3、Scorは両スタックとも6.3と決定でき、スタック寿命予測手法を完成できた（図1、表2）。また、運転終了時電解質量の初期電解質量に対する割合である電解質残存率では、スタック寿命予測手法に基づく予測値は1万時間後の実測値と一致し、手法の精度が検証された（図2）。
- (2) スタックを構成する各セル性能を比較した結果、 e_0 が少ないほどセル電圧が低く、セルの性能差は e_0 の差により生じていることを明らかとした（表2）。また、 e_0 はスタック面積が広いほど少なく、これは電解質含浸時の厚み変化に伴う締め付け圧の不均一が影響していると推察できた。寿命延伸には電解質含浸方法として、厚み変化が生じないプレ含浸法の採用が必要である。さらに、Scorはセパレータの電解質に曝される表面積に比例するため、寿命延伸にはセパレータ設計の最適化により、電解質に曝される表面積の低減も重要である。
- (3) スタック寿命予測手法を用いて4万時間までの寿命を予測した。1m²スタックにおいて e_0 が多いセルでは当面の開発目標である4万時間の寿命を達成できる。また、寿命延伸には、セル性能との兼ね合いを見て、スタック中心温度を低く設定することが有効であることがわかった（図3）。

以上、これまで当所が実施してきたMCFC研究を集大成することにより、他のタイプの燃料電池では達成できていないスタック寿命予測手法を完成することができた。これにより、MCFC発電プラントの最適な運用が可能となった。

主担当者 エネルギー技術研究所 高温発電工学領域 上席研究員 麦倉 良啓

関連報告書 「MCFCスタック寿命予測手法の開発」電力中央研究所報告：W05007（2006年3月）
「MCFC寿命予測手法の開発」電力中央研究所報告：W03029（2004年3月）
「MCFC性能表示式の高精度化—電解質物性に基づくカソード性能予測手法の開発」電力中央研究所報告：W02023（2003年3月）

表1 MCFCスタック寿命予測手法

①電解質量 (e) の算出

$$e = e_0 - \frac{(90.43 + 9.02S_{cor})t^{0.5} + 30.48 + 2.029S_{cor}}{1000} \exp\left(\frac{-10170}{1/T - 1/923}\right)$$

②反応面積 (S_l, S_g) 算出

$$S_l = 0.318e, S_g = 1.75S_l$$

③表示式係数 (A₁, A₂) 算出

$$A_1 = RT\delta / F^2 n^2 K D S_l, A_2 = R^2 T^2 / F^2 n^2 K S_g$$

④反応抵抗 (R_a) 算出

$$R_a = (A_1 + A_2 P^{0.5}) P_{H_2}^{-0.5}$$

⑤セル電圧 (V) 算出

$$V = E - \eta_{NE} - j(R_a - R_c - R_{ir})$$

e₀: 初期電解質量、S_{cor}: 腐食面積係数、t: 時間、T: 温度、S_l: 液相反応面積、S_g: 気相反応面積、R: 気体定数、K: 溶解度、F: ファラデー定数、n: 反応電子数、D: 拡散係数、δ: 拡散距離、P: 圧力、P_{H2}: 水素分圧、E: 開路電圧、η_{NE}: ネルンストロス、j: 電流密度、R_c: カソード反応抵抗、R_{ir}: 内部抵抗

①電解質量eを求める、②eから反応面積Sを求める、③Sと物性値から係数Aを求める、④Aと分圧Pから反応抵抗R_aを求める、⑤Rと開路電圧E、ネルンストロスη、電流密度jからセル電圧Vを求める

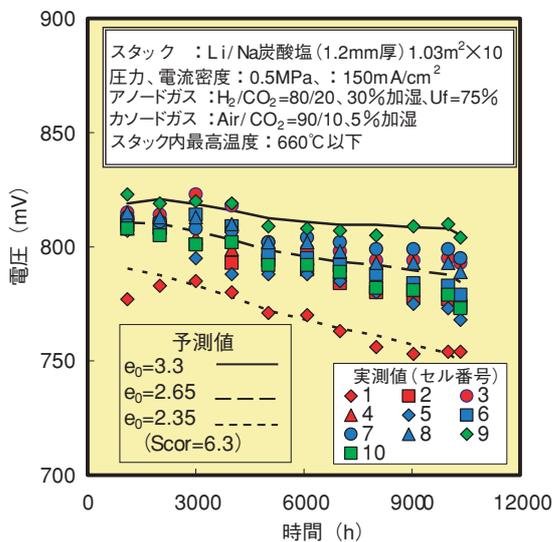


図1 0.4m²スタックでの実測値と予測値の比較

e₀とScorrは各セル電圧から決定できる

表2 初期電解質量と腐食面積係数の一覧

面積	セル電圧	e ₀	Scorr
0.4m ²	高	3.3	6.3 (0.4m ² と1m ² スタックはセパレータ構造が同一なため)
	平均	3.15	
	低	2.95	
1m ²	高	3.3	
	平均	2.65	
	低	2.35	

e₀の多少でセル電圧が決定される

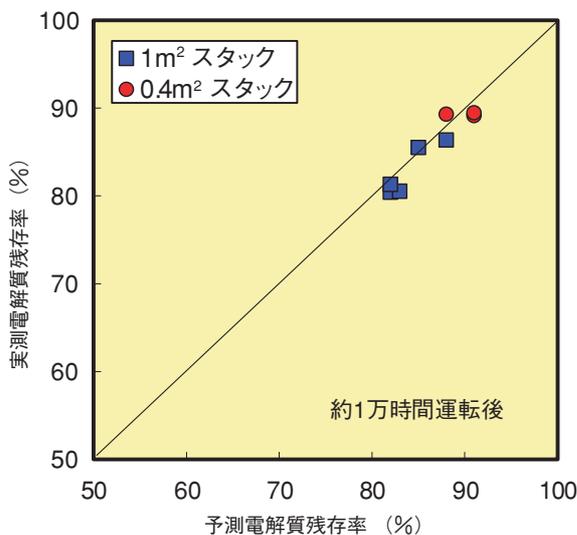


図2 電解質残存率の比較

予測電解質残存率は実測値と一致した

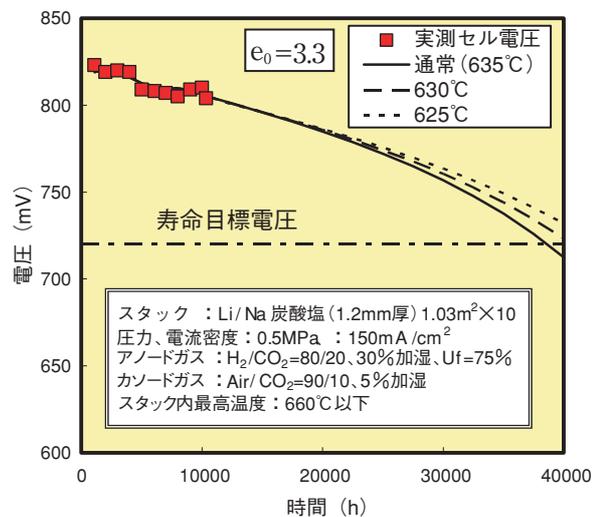


図3 寿命予測結果の一例

当面の寿命目標4万時間を達成可能である