

# 高効率と長寿命を実現した水素製造用 SOEC

Solid Oxide Electrolysis Cell for Hydrogen Production Realizing High Efficiency and Long Life

## SOECの劣化要因を解明し、高性能化と長寿命化を両立

再生可能エネルギーの普及拡大に向け、大規模な電力貯蔵システムの導入が必要になります。水素をエネルギー媒体に用いた水素電力貯蔵システムは、再生可能エネルギーとの相性が良く、実用化が期待されています。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、大規模な水素電力貯蔵システム用の水素製造装置として、高温水蒸気電解方式の開発を進めており、そのキーデバイスである固体酸化物形電解セル(SOEC)の高性能化・長寿命化に取り組んでいます。今回、セルの劣化要因を解明し、これに基づく改良で、SOECの高性能化と劣化率低下を同時に図ることが可能になりました。

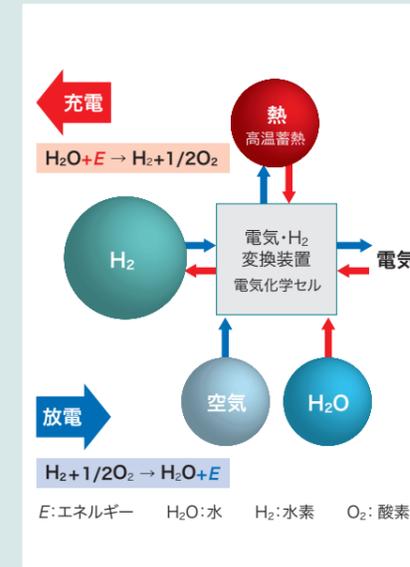


図1. 水素電力貯蔵システムの概念

水素をエネルギー媒体に用い、熱を有効利用することで、大規模で高効率なシステムが成立する可能性があります。

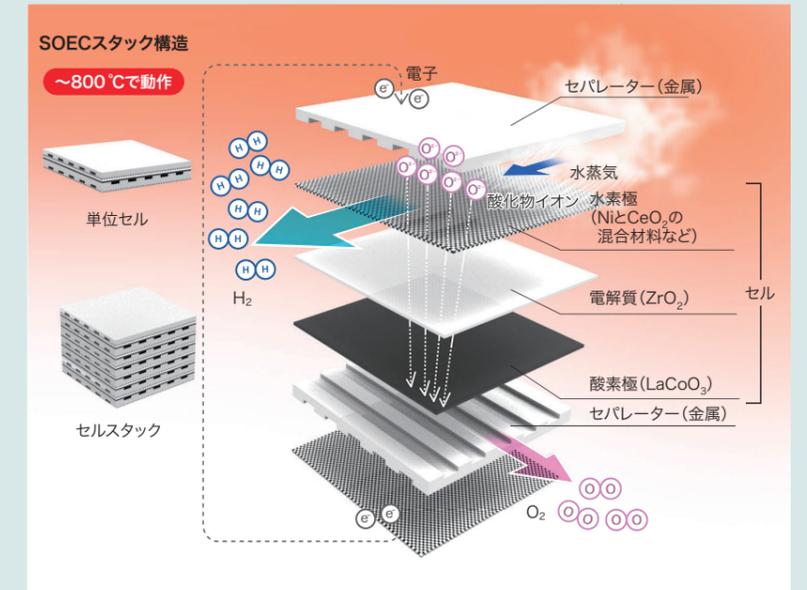


図2. SOECの模式図

水素極で水蒸気から水素が製造され、生じた酸化物イオンは電解質中を通り、酸素極から酸素が発生します。

## 背景

エネルギーセキュリティや地球環境問題への対応の観点から、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーを用いた発電設備の導入が世界規模で拡大しています。我が国でも、2015年7月に経済産業省が発表した「長期エネルギー需給見通し」<sup>(1)</sup>で、再生可能エネルギーの導入を最大限進め、2030年の全エネルギーの22～24%を再生可能エネルギーで賄うとの方針が示されています。しかし、天候などで大きく変動する再生可能エネルギーの発電を電力系統に大量導入し、主要電力源の一つとして活用するには、出力安定化システムや電力系統の強化が不可欠であるとともに、出力変動や需給調整用の電力貯蔵システムの導入が必要になります。

水素をエネルギー媒体に用いた蓄電・発電システムである水素電力貯蔵システムは、再生可能エネルギーの出力が変動して余剰電力が生じた場合に、これを用いた水電解で製造した水素を貯蔵し、必要なときに燃料電池で発電を行うものであり、大規模な電力を長時間貯蔵することに適しています(図1)。したがって、出力変動の吸収や余剰電力の貯蔵などに対応するシステムとして、重要な選択肢の一つになると考えられ、災害発生時の事業継続計画(BCP)対応システムとしても期待されています。

これらのシステムの実用化には、高効率な水素製造システ

ムが不可欠であり、固体酸化物形電解質を用いた高温水蒸気電解方式は、電解エネルギーの一部に熱エネルギーを利用可能であるため、アルカリ形や固体高分子形などの低温作動の電解方式に比べ、原理的に電解電圧を低く抑えることができ、高効率な水素製造が可能です。東芝エネルギーシステムズ(株)は、2003年からこの高温水蒸気電解方式による水素製造に関する研究開発を進めています。

しかし、この方式は、システムのキーデバイスであるSOECの劣化が大きく、実用化には、SOECの劣化要因及び劣化機構を解明し、寿命を向上させる必要があります<sup>(2)~(4)</sup>。

## SOEC劣化機構の解明

SOECは、ガスを遮断しイオンを通す電解質の両面に、水蒸気から水素を発生する水素極と、酸素を発生する酸素極を形成した構造になっています(図2)。電極材料には、電子(e<sup>-</sup>)と酸化物イオン(O<sup>2-</sup>)の伝導性が求められます。このため、一般に、高温還元雰囲気条件下になる水素極にはニッケル(Ni)などの金属と酸化セリウム(CeO<sub>2</sub>)系酸化物の混合材料が、また、高温酸化雰囲気になる酸素極にはペロプスカイト型のランタンコバルト酸化物(LaCoO<sub>3</sub>)系の材料が用いられます。更に、酸素極は安定化ジルコニア(ZrO<sub>2</sub>)系の電解質材料と反応してしまうことから、両者の間には直接的な接触を避けるための反応防止層を設けています。

今回、セルの劣化要因の解明では、電極/電解質界面

に注目し、長時間の連続電解運転前後での構造変化を分析しました。その結果、酸素極/反応防止層/電解質界面では、反応防止層/電解質間で両構成元素の微量な相互拡散が起こり、反応防止層中に拡散した微量な電解質元素と酸素極材料元素が反応して高抵抗相を形成し、これが酸素極の性能低下を引き起こしていることが判明しました。

また、水素極側では、水素極/電解質界面で水素極のCeO<sub>2</sub>系酸化物中のセリウム(Ce)が電解質中に拡散し、水素極/電解質界面に空隙が発生して水素極の性能低下を引き起こしていることが判明しました。

これらの劣化要因に改善策を施し、酸素極側で起こる酸素極/反応防止層/電解質界面の相互拡散と高抵抗相形成を抑制することで、劣化率を従来タイプのセルの1/3(1,000h当たり0.3%以下)に低減できました。また、同時に、水素極/電解質間の構成成分の拡散も抑制し、セルの初期性能を約20%向上させることに成功しました。

## 今後の展望

当社は、再生可能エネルギーを利用したCO<sub>2</sub>(二酸化炭素)フリーの水素電力貯蔵システムを中心として、持続的で安心・安全・快適な水素社会を目指し、ソリューションの提供を検討しています。ここでは、水素電力貯蔵システムの要素技術の一つとして、SOECの開発状況について報告しましたが、セルの材料やスタック化技術からシステム全体まで、

一貫して研究開発を行うことで、水素をエネルギー媒体に用いた電力貯蔵システムの高効率化を目指していきます。

## 謝辞

この研究の一部は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託事業「水素利用等先導研究開発事業/高効率水素製造技術の研究/高温水蒸気電解システムの研究」(2014～2017年度)及び「水素利用等先導研究開発事業/水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発/高温水蒸気電解技術の研究開発」(2018年度～)で実施しました。関係各位に感謝の意を表します。

## 文献

- 経済産業省、長期エネルギー需給見通し、2015、12p。<[http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10950796/www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004\\_2.pdf](http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10950796/www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf)>。(参照2019-08-30)。
- 松永健太郎、ほか、固体酸化物形電解セルを用いた水素製造システム及び電力貯蔵システム、東芝レビュー、2016、71、5、p.41-45。<[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71\\_05pdf/h04.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71_05pdf/h04.pdf)>。(参照2019-08-30)。
- 吉野正人、ほか、高効率な水素電力貯蔵システム、東芝レビュー、2015、70、5、p.8-11。
- 吉野正人、高効率高温水蒸気電解システムの開発、セラミックス、2018、53、8、p.557-561。

## 長田 憲和

東芝エネルギーシステムズ(株)  
エネルギーシステム技術開発センター エネルギーソリューション開発部  
博士(工学) 電気化学会・日本セラミックス協会会員