

トピックス

再生可能エネルギーの負荷平準化を目指した 水素電力貯蔵システムの開発

亀田常治・松永健太郎・吉野正人・高木康夫・山田和矢・
笠井重夫・須山章子・山田正彦・伊藤義康

株式会社東芝 電力システム社 電力・社会システム技術開発センター

〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4

1. はじめに

環境負荷低減、およびエネルギーセキュリティの観点から、再生可能エネルギーの導入が世界的に促進されている。日本では、東日本大震災からの復興が急がれる中で、エネルギー政策の再構築について議論が進められている。再構築の議論においても、その目指すところが安定供給と低炭素化であることに変わりはなく、再生可能エネルギー導入の重要性について、一層認識が高まっている[1]。

太陽光・風力など、変動の大きい再生可能エネルギー発電を電力系統に大量導入するためには、出力変動の吸収、余剰電力の貯蔵、電力品質の維持、に対応する電力貯蔵技術が必須になると考えられる。本稿では、水の電気分解による水素の製造・貯蔵で“蓄電”し、水素を燃料とした燃料電池発電で“放電”する「水素電力貯蔵システム」について、概要を紹介する。

2. 水素による電力貯蔵システム

図1に、いくつかの電力貯蔵技術について、典型的に使用される入出力容量・蓄電時間の領域をマッピングした。NaS電池は、数十MW以上までの比較的大規模な電力貯蔵用に適用が進んでいる。運用については、昼夜や、より短時間での充放電が想定されており、効率的な運用となる蓄電時間の範囲が限定される。揚水発電は、さらに大規模な電力貯蔵に対応するが、立地について大きな制約がある。また、図に示していない他の代表的な大規模電力貯蔵技術として圧縮空気エネルギー貯蔵(CAES ; Compressed Air Energy Storage)があるが、同様に立地が限られる。

水素電力貯蔵システムは、立地制約が少なく、比較的

長い蓄電時間の大規模電力貯蔵用途に適すると評価している。具体的には、大規模風力発電(ウインドファーム)に隣接設置し、計画的な発電量を出力するプラントを想定している。水素ガスをエネルギーキャリアとして用いることにより、大電力貯蔵の扱いを容易にしている点が特徴である。

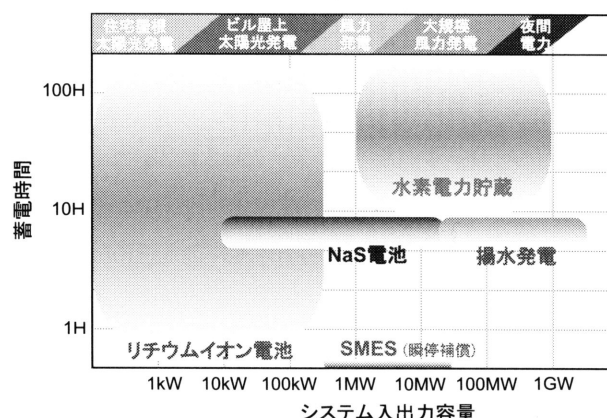


図1. 電力貯蔵技術の入出力容量・蓄電時間マップ

図2に、水素電力貯蔵システムの概念図を示す。再生可能エネルギー発電のピーク余剰分を用いて水の電気分解で水素を製造・貯蔵し、必要な時にこれを燃料とした燃料電池で電気として安定に出力するシステムである。

電力/水素変換装置には、幾つかのタイプが考えられる。それらは、水素製造(水の電気分解=“蓄電”)に、アルカリ水電解、固体高分子形セル、固体酸化物形セルを用い、一方の発電(燃料電池=“放電”)に、固体高分子形セル、固体酸化物形セルを用いる方法の組合せである。

固体酸化物形の電解セル(SOEC ; Solid Oxide Electrolysis Cell)と燃料電池セル(SOFC ; Solid Oxide

Fuel Cell)を組み合わせるシステムでは、発電時の発熱を蓄熱し、電解の吸熱反応時にそれを利用することで、高充放電効率のシステムが達成できる可能性がある。

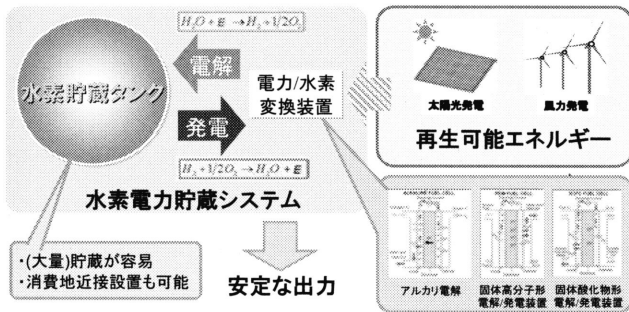


図2. 水素電力貯蔵システムの概念図

図3は、SOEC/SOFCを用いた水素電力貯蔵システムの構成例を示したものである。本システムは、SOEC/SOFCセルスタック、高温蓄熱器および低温蓄熱器（蒸気発生器）、水素貯蔵タンク、および熱交換器から主に構成されている。

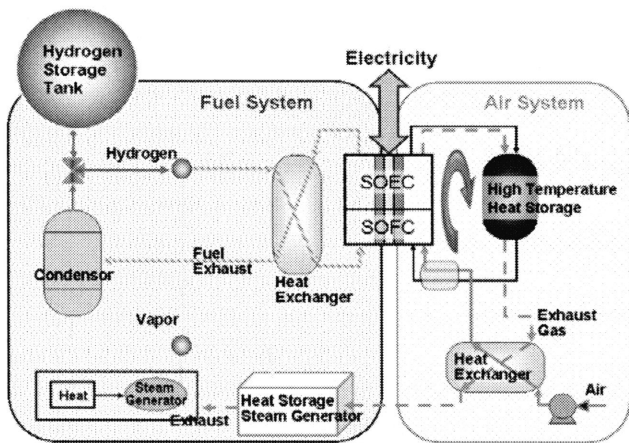
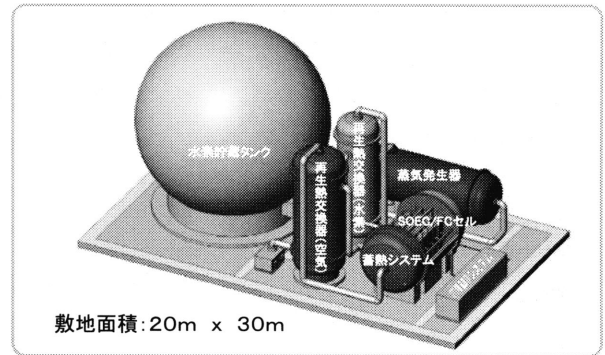


図3. SOEC/SOFCを用いた水素電力貯蔵システム構成例

図4.に、5MWe・8時間の蓄電/8時間での放電を想定したシステムの概念設計例を示す。蓄電量に対する機器寸法、プラント敷地面積は、従来の二次電池と比較して、十分検討に値するものになることを確認した。また、水素貯蔵タンクは、加圧力1MPa未満の単純な球形タンクを想定しており、より高密度充填が可能な水素貯蔵技術の適用で、更にコンパクト化が期待できる。



- 運用想定：夜間-5.0MWe x 8h(水素製造)、昼間+4.1MWe x 8h(発電)
- 水素タンク：直径14.5m (16.2 x 10³Nm³, <1MPa)
- 消費地域規模：10000世帯

図4. 5MWe級水素電力貯蔵プラントの概念設計例

3. 固体酸化物形セルの研究開発状況

東芝が開発した固体酸化物形セルについて、材料仕様を表1.に示す。cell Iおよびcell Aは、水素極材料がNiO-YSZ、電解質材料がYSZであり、cell Bおよびcell Cは、水素極材料をNiO-GDC、電解質材料をScSZとした。

表1. 固体酸化物セルの材料仕様

	cell I	cell A	cell B	cell C
support (thickness:0.5~0.8mm)	NiO-YSZ	NiO-YSZ	NiO-GDC	NiO-GDC
hydrogen electrode (thickness:parameter)	NiO-YSZ (30μm)	NiO-YSZ (30μm)	NiO-GDC (30μm)	NiO-GDC (60μm)
electrolyte (thickness:~15μm)	YSZ	YSZ	ScSZ	ScSZ
barrier layer (thickness:~5μm)	GDC	GDC	GDC	GDC
oxygen electrode (thickness:~40μm)	LSCF-GDC	LSCF	LSCF	LSCF

YSZ : Y stabilized ZrO₂, ScSZ : Sc stabilized ZrO₂
 GDC : Gd doped CeO₂, LSCF : La-Sr-Co-Fe Oxide

初期I-V特性を図5.および図6.に示す。図5.には他の報告例も合わせて示す[2-4]。

図5.から、cell Iについて、比較的良好なI-V特性が、電解および電池の両モードで得られることを確認した。また、図6.から、水素極および電解質材料が異なるセル (cell B, cell C) についても、水素極層の厚みを適正化することで、cell I, cell Aに近い良好な初期特性が得られることが判った。

図7.に、電解での連続運転試験の結果を示す。cell Aでは、試験開始直後から急激に電解電圧が上昇する特性劣化が顕著であった。一方、cell Bおよびcell Cでは、安定

した電解特性が得られた。水素極の材料組成、構造適正化の効果と考えている。現在、電極の構造評価などから、こうした特性が得られるメカニズムの解析、および更に長時間の特性評価を進めている。

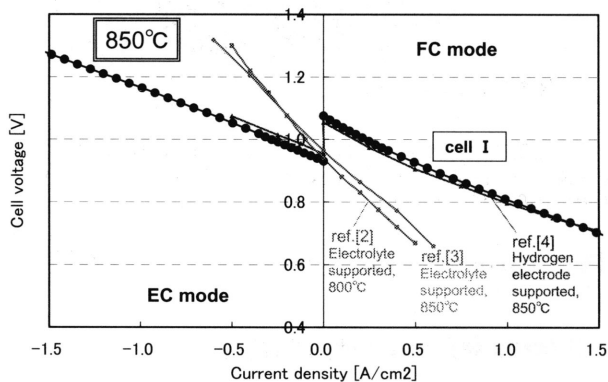


図5. cell I の初期I-V特性 (電解/電池モード)

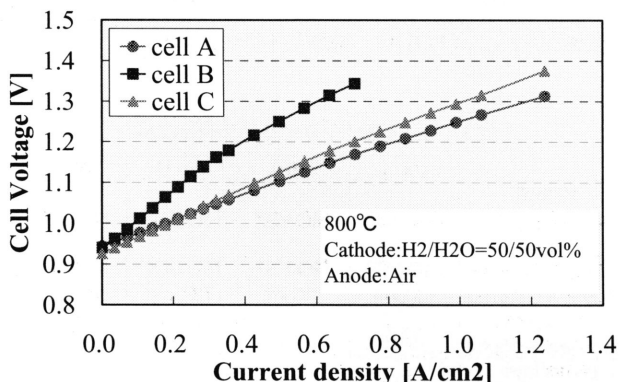


図6. cell A,B,C の初期I-V特性 (電解モード)

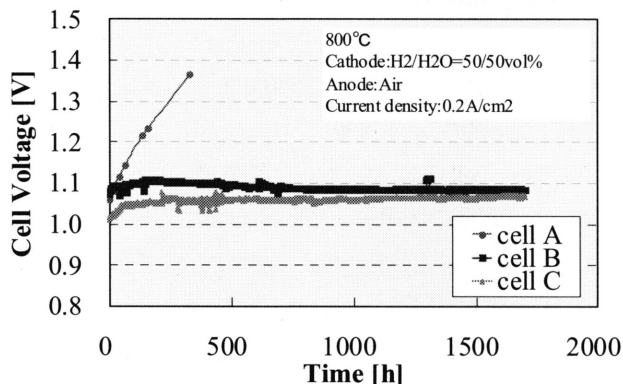


図7. cell A,B,C の連続運転特性 (電解モード)

4. まとめ

「水素電力貯蔵システム」について概要を述べ、キーとなる固体酸化物形セルの開発状況を説明した。

開発した固体酸化物形セルの特性、およびシステム概念設計をベースにした試算では、従来の大型二次電池に近い高い充放電効率が得られる可能性が示され、特に、大規模・長時間の蓄電ニーズに対して、経済的にも有望なシステムと評価している。

本年4月に、環境省は、日本の再生可能エネルギー導入ポテンシャルについての調査結果を報告した[5]。我が国の自然資源ポテンシャルを最大限に活用していくことで、再生可能エネルギーを中長期的に基幹エネルギーの一つとして加えていくことが期待されている。太陽光・風力など変動の大きい再生可能エネルギーによる発電を、基幹電源として電力システムに大量導入していく際には、安定性の要求に対応することが必須となる。本システムは、出力変動の吸収、余剰電力の貯蔵、等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る。

参考文献

1. 例えば、経済産業大臣 海江田万里, 「エネルギー政策見直しの基本的視点」, 2011年6月7日、など
2. S. Elangovan et al, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, **4**[2], 109-118 (2007)
3. K.R. Sridhar et al, *Electrochemical Society Proceedings*, Volume 2005-07, 295-305.
4. A. Hauch et al, *Proceedings of the 26th Risoe International Symposium on Materials Science*, 2005
5. 環境省地球環境局地球温暖化対策課, 「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」, 2011年4月21日