

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

## 固体酸化物形燃料電池システム (Vol.3)

—将来の電源構成における SOFC の役割と技術開発課題—

平成28年3月

“SOFC Systems (vol.3):

Role of SOFC Systems in Future Electricity Mix of Japan and Their Technological Challenges”

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2015-PP-03

## 概要

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) システムの性能予測・コスト評価を基に、将来の電源構成における SOFC の役割と技術開発課題について検討を行った。SOFC システムの発電コストについては、実際の稼働率も考慮した場合において検討を行い、家庭用小型機では 28 円 /kWh から 23 円 /kWh への到達の可能性が示唆され、中・大型機では 14 円 /kWh 程度までのコスト低減の潜在性を有することが示された。国内の電源構成における再生可能エネルギーの割合は今後大きく増加することが予想され、国内の電力システムの様相が変化する中での SOFC の今後の役割と競争力保持に向けた技術開発課題について議論した。すなわち、これまでの家庭用および中・大型機の SOFC システムのコスト削減シナリオに基づき、感度解析による今後の普及拡大に向けた条件と役割 (ベース電源、変動調整、水素製造・貯蔵) について明らかにしたうえで、今後の技術開発課題について検討を行った。

## Summary

The role of solid oxide fuel cell (SOFC) systems in the future electricity mix of Japan and relevant technological challenges were investigated based on the performance and cost analysis of SOFC systems. Considering actual operation conditions such as utilization rate, the electricity costs of the SOFC systems were evaluated. The present analysis suggests that the electricity cost of residential SOFC cogeneration systems can achieve 28-23 JPY/kWh, while middle/large SOFC combined cycle systems have a further cost reduction potential to reduce the electricity cost to ca. 14 JPY/kWh. Since the rate of renewable energy in the future electricity mix of Japan will be increased significantly, the structure of the future electricity mix of Japan will also change drastically. Given the situation, the role of SOFC systems and sharpening of their competitive edge were discussed, i.e., on the basis of the technology scenarios of residential and middle/large SOFC systems, technological issues for developing SOFC systems were considered using a sensitivity analysis with clarifying the conditions of widespread use of SOFC systems and their roles as base load power source, adjustor of the fluctuation of electricity in grids due to a large amount of the induction of renewable energy, and hydrogen production and storage system.

## 目次

### 概要

1. はじめに	1
2. SOFC の発電コスト・性能分析（家庭用および中・大型機）	1
2-1. 家庭用 SOFC および中・大型機用 SOFC の技術シナリオ	1
2-2. 中・大型機用 SOFC の数値モデルシミュレーションと感度解析	2
3. SOFC の今後の役割と技術開発に関する将来展望	3
3-1. SOFC の稼働率と発電コストの関係	3
3-2. SOFC の今後の役割と水素製造コスト評価	5
4. 定置型 SOFC システムの技術開発課題	8
5. まとめ	9
参考文献	9

## 1. はじめに

燃料電池は定置型システムおよび車載型システムを中心に普及が進められている。定置型システムでは、家庭用燃料電池システム（コジェネレーションシステム）の国内出荷台数は 2014 年度末までの累積で 12 万台を超えており、分散電源システムとして着実に浸透しつつある [1]。現状では、固体高分子形燃料電池（以下 PEFC）が 9 割以上の市場を占めており、燃料電池自動車用途での利用も進められている。一方、国内の電源構成における再生可能エネルギーの割合は今後大きく増加することが予想され、国内の電力システムの様相が変化中での燃料電池の今後の役割についての検討が必要である。本稿では、これまで提案してきた家庭用および中・大型機の固体酸化物形燃料電池（以下 SOFC）システムのコスト削減シナリオに基づき [2,3]、今後の SOFC 普及拡大に向けた必要条件について検討し、今後の技術開発課題について述べる。

## 2. SOFC の発電コスト・性能分析（家庭用および中・大型機）

### 2-1. 家庭用 SOFC および中・大型機用 SOFC の技術シナリオ

円筒平板形セルを用いた家庭用燃料電池システムおよび円筒横縞形セルを用いた中・大型機用コンバインドサイクルシステムについて技術シナリオの議論を行ってきた [2-4]。表 1 に 700W 家庭用燃料電池のシステムコスト（製造原価ベース）を再掲する [2]。現状では 3300 円 /W 程度（システム販売価格 230 万円）であるが、年産 10 万台を仮定した場合、製造原価ベースで約 500 円 /W 程度までのコスト削減が可能であることが示されている [2,4]。販管費、開発費および営業利益の合計が製造コストの 4 割程度と仮定すると、ユーザーコストは 700 円 /W 程度になることが予想される。また、新材料開発やセルデザインの改善等により、発電効率について現状の 46.5% (LHV<sup>1)</sup>) から 50 ~ 55% への向上が期待される [2]。

表 1 700W 家庭用 SOFC システムの技術シナリオ [2]

	現在 2015	将来ケース (1) 2020	将来ケース (2) 2030
セルタイプ	円筒平板 (標準型)	円筒平板 (薄膜型 1)	円筒平板 (薄膜型 2)
生産スケール (W/年)	< 700 k	70M	700M
生産スケール (台/年)	< 1000	100000	1000000
発電効率 (%、LHV)	46.5*	50	55
システムコスト (円/W)	3300*	510	322

\*文献 [2] の値から 2015 年時点の値に変更 [5]

250kW 中・大型機用コンバインドサイクルシステム（220kW SOFC/30kW マイクロガスタービンのシステム構成）における、220kW 円筒横縞形 SOFC モジュールの製造コスト評価についても昨年度報告しているが [3]、年産 100 台のケースを加え、再評価した結果を表 2 に示す。原材料費の変更により既報値 [3] と若干異なるが、年産 1000 台以上で概ね 100 円 /W 程度まで製造コストの低減を見通すことができる。

<sup>1)</sup> LHV, 低位発電量標準 (Lower Heating Value, LHV)

表 2 250kW SOFC コンバインドサイクルシステムの技術シナリオ [3]

	現在 2015	将来ケース (1) 2020	将来ケース (2) 2030
セルタイプ	円筒横縞	円筒横縞	円筒横縞
生産スケール (W/年)	< 2.5 M	25M	250M
生産スケール (台/年)	< 10	100	1000
発電効率 (% , LHV)	52 <sup>*1</sup>	56	60 <sup>*2</sup>
出力 (W/cell-stack)	80	100	120 <sup>*2</sup>
システムコスト (円/W)	637 <sup>*1</sup>	264	115 <sup>*2</sup>

<sup>\*1</sup> 文献 [3] の値から、2015 年時点の値に変更 [5] <sup>\*2</sup> 現時点における再評価結果に変更

## 2-2. 中・大型機用 SOFC の数値モデルシミュレーションと感度解析

技術シナリオの妥当性を検証する目的で、中・大型機の円筒横縞形セルの発電性能評価について有限要素法による数値モデル計算を行った。SOFC コンバインドサイクルシステム（以下、SOFC コンバインドサイクル）は、現在 250kW のシステムが開発されているが [3,6]、表 2 に示すようにその発電効率の高さから、今後の中・大型発電機としての普及が期待される。文献 [6] の円筒横縞形単セル発電実験のデータ（図 1 の丸印）に基づき、標準セルについて数値モデルのシミュレーションを行い、電流電圧曲線の再現を行うことでモデルの妥当性について検証を行った（図 1 の青色実線（標準））。この検討結果に基づき、現在の実証機に相当する新型機についても電流電圧曲線の再現を行った（図 1 の赤色実線（新型））。さらに、現在報告されている電極、電解質、インターコネクタの物性値（表面反応速度、イオン・電気伝導率）に基づき感度解析を行った。単セル電圧を 0.8V に固定した際の電流密度の改善値を表 3 に示す。これら各部材の改善を反映させた電流電圧曲線の予測値を図 1 に示す（図 1 の緑色実線（改善型））。単セル電圧 0.8V でみると、改善型の電流密度は、新型（現行の実証機）のそれと比較して約 1.5 倍になることが示される。

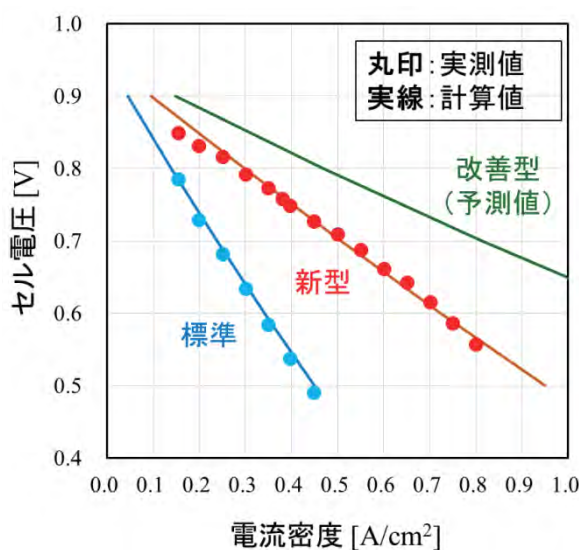


図 1 円筒横縞形単セルの発電性能評価  
 丸印：実測値（文献 [6]）；実線：計算値；発電温度：900°C.

表 3 構成材料改善による感度解析 (作動温度: 900°C)

	電流密度 [A/cm <sup>2</sup> ] (セル電圧 0.8V)	電流密度向上率 (%)
標準セル	0.14	-
燃料極改善	0.15	8
空気極改善	0.17	23
インターコネクタ導電率改善	0.19	39
電解質薄膜化	0.21	50
新型セル	0.30	113
全最適化 (改善型セル)*	0.44	211

\*新型セル (現行の実証機の性能に相当) に対して改善型セルは 46% 向上

以上の構成部材改良に基づく数値モデル計算の結果、および実機における作動圧力の高圧化 (0.2MPa から 1.5MPa 程度への作動圧力上昇) を考慮すると、表 2 の技術シナリオに示すように、セルスタックの出力密度の向上と発電効率の向上を同時に達成することは十分に可能である。

### 3. SOFC の今後の役割と技術開発に関する将来展望

#### 3-1. SOFC の稼働率と発電コストの関係

##### 3-1-1. 家庭用 SOFC システム

SOFC の既報 [2-4] の議論では、発電コストの試算において稼働率を 80% の理想状態を仮定して試算を行ってきた。一方、家庭用燃料電池 (1kW PEFC コージェネレーションシステム) の稼働率の検討では、稼働率: 夏 36%; 冬 59%; 中間 27%、および年平均稼働率: 37% の結果が得られている [7]。すなわち、家庭用燃料電池の稼働率は概ね 40% 程度である。従って、稼働率が発電コストに与える影響についての検討は、今後の燃料電池の普及の観点からも重要である。図 2 にシステムコストに関する感度解析結果を反映した家庭用燃料電池の発電コストと稼働率の関係を示す。

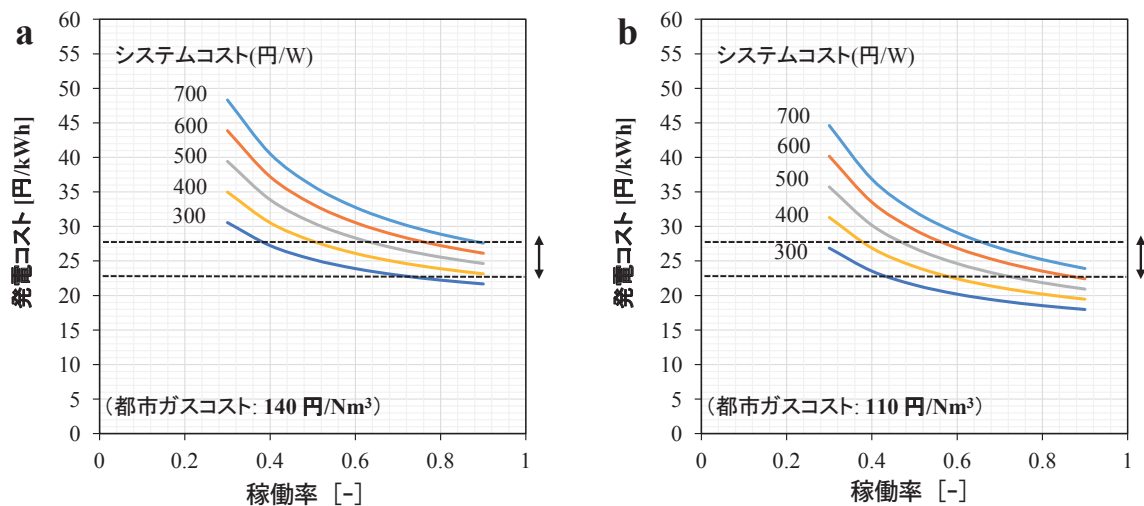


図 2 家庭用 SOFC システムの発電コストの稼働率依存性  
 前提条件: 発電効率 55% (LHV); 寿命 15 年 (将来ケース)  
 発電コストに廃熱利用を含む (熱回収効率: 30%, 総合効率 85% (LHV) を仮定)  
 点線に挟まれた範囲は、小口系統電力コスト 28 ~ 23 円 /kWh を示している。

ここでは、都市ガスコストとして、140 円 /Nm<sup>3</sup> と 110 円 /Nm<sup>3</sup>（後者はガス会社による燃料価格割引を想定）の 2 つのケースについて示している。また、既報 [3] に記載している算出方法（発電コストに廃熱利用を考慮した算出方法）に従って発電コストを算出した。上述したように、家庭用燃料電池の技術シナリオから家庭用 SOFC システムのユーザーコストは 700 円 /W 以下であることが示唆されている。図 2 の結果より、発電コストが小口系統電力コスト（28 ～ 23 円 / kWh）と等価になるための条件がわかる。系統電力コスト到達の条件として、システムコスト 700 円 /W 以下が必要であり、稼働率 40% を考慮すると 500 円 /W が望ましい。寿命は、10 年以上が必要であり 15 年が望まれる。発電効率は 50% 以上が必要であり 55% が目標値となる。以上の目標を考慮しても、燃料コストの低減が必要であり、稼働率向上（50% 以上）についても検討が必要である。まとめると、家庭用 SOFC システムの開発目標として、システムコスト：700 ～ 500 円 /W；発電効率：50 ～ 55%；システム寿命：10 ～ 15 年となり、これまで議論してきた技術シナリオ [2,4] の想定範囲内にある。ただし、稼働率向上や燃料コストの低減が必要であるため、集合住宅での設置など、稼働率向上を考慮した適応範囲を広げるための検討やガス会社による都市ガス価格割引の検討といった、技術と制度の両面からの努力が必要である。

### 3-1-2. 中・大型 SOFC システム

図 3 に 250kW SOFC コンバインドサイクルの発電コストの稼働率依存性を示す。中・大型 SOFC システムの場合、大口利用が前提となるため、家庭用と比較して燃料コストの低減が可能であり、発電コストの面で有利になる。250kW SOFC コンバインドサイクルの都市ガス使用量から都市ガス価格 [8] を算出すると、250kW コンバインドサイクル 1 ～ 4 台可動の条件（0.25 ～ 1MW）では、都市ガスコストは 90 ～ 100 円 /Nm<sup>3</sup> 程度になる。一方、15 台以上の可動条件（約 4MW）の発電規模になると、都市ガスコストは 80 円 /Nm<sup>3</sup> 程度になると見積もられる（図 3 a に

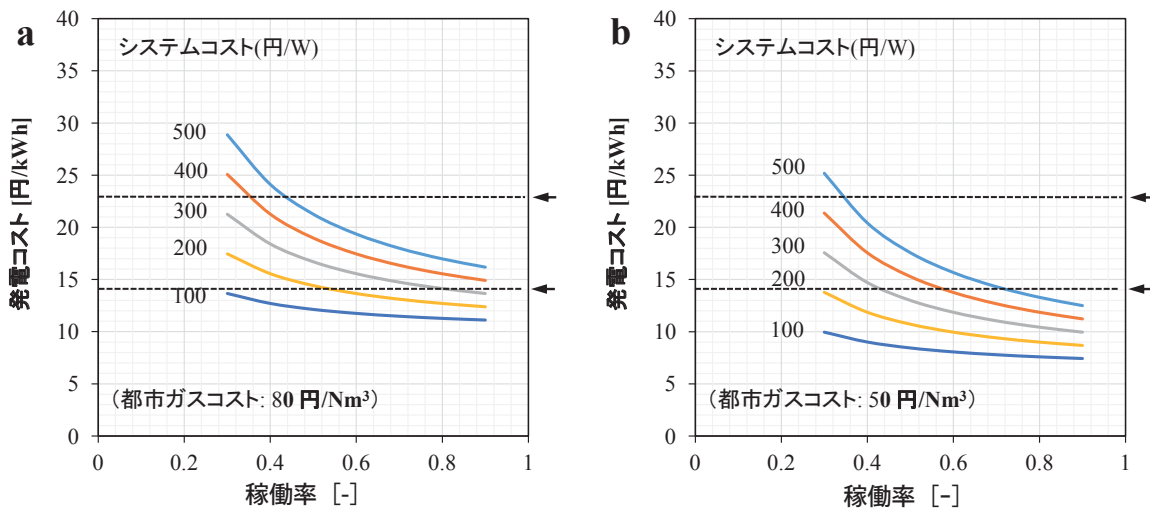


図 3 中・大型燃料電池（250kW SOFC コンバインドサイクルシステム）の発電コストの稼働率依存性

前提条件：発電効率 60%（LHV）；寿命 20 年（将来ケース）

発電コストに廃熱利用を含む（熱回収効率：15%，総合効率 75%（LHV）を仮定）

上の点線は小口系統電力コスト（23 円 /kWh）、下の点線は大口系統電力コスト（14 円 /kWh）を示している。

対応)。表 2 の 250kW SOFC コンバインドサイクルの技術シナリオより、現状での製造原価を概ね 600 円 /W 程度と試算しているが、家庭用のシステムと同様に、販管費、開発費および営業利益の合計が製造コストの 4 割程度と仮定すると、現状でのユーザーコストは 1000 円 /W 程度になることが予想される。

図 3 から分かるように、比較的小規模発電に相当する都市ガスコストが 90 ~ 100 円 /Nm<sup>3</sup> の条件では、小口系統電力コスト (23 円 /kWh) と同等の水準になるには、稼働率が 50% の条件で 500 円 /W のシステムコストが要求されるが、本稿での製造コストの試算に基づくと、その条件は十分に達成が可能であり、将来的には大型の集合住宅やオフィスビルでのコンバインドサイクルシステムの活用が期待できる。

一方、大口系統電力コスト (14 円 /kWh) を達成するためには、都市ガスコストが 80 円 /Nm<sup>3</sup> の場合を想定すると (図 3 a)、稼働率が 60% の条件で 200 円 /W のシステムコストが必要条件になる。この値は、表 2 の技術シナリオの結果から、将来的に達成可能な目標範囲内にあると考えられる。さらに、天然ガスの国内原価が約 50 円 /Nm<sup>3</sup> を想定した場合 (図 3 b)、200 円 /W のシステムコストで 10 円 /kWh 程度の発電コストを十分に達成することができることが示され、SOFC コンバインドサイクルが、大型発電機としての潜在能力を十分に有することが示唆された。

以上をまとめると、SOFC コンバインドサイクルの開発目標について、都市ガスコストを考慮すると、中規模発電 (250kW クラス) では、システムコスト : 500 円 /W ; 発電効率 : 55 ~ 60%; システム寿命 : 15 ~ 20 年が目標達成の必要条件になる。また、大規模発電 (数 MW クラス) では、システムコスト : 200 円 /W が必要である。このように、稼働率や発電規模の制約はあるが、中・大型 SOFC システムは、今後の技術開発の進展により広く普及が期待される発電システムである。

## 3-2. SOFC の今後の役割と水素製造コスト評価

### 3-2-1. SOFC の電力変動抑制への活用

政府の 2030 年の電源構成の見通しにおいて、再生可能エネルギーの占める割合の目標値は 22 ~ 24% である [9]。再生可能エネルギーの導入が大規模に進むに従い、その変動抑制が重要な技術課題となる。例えばドイツでは、再生可能エネルギーを電源構成の中心に据えて、その変動抑制 (平準化) を火力でまかなう案が検討されている [10]。国内においても、スマートグリッドによる電力供給において、太陽・風力といった再生可能エネルギーとの共存が必要であり、その変動抑制が重要な技術課題となる。表 4 に太陽電池と蓄電池の複合システムコストの参考値を以下に示す。表 4 の太陽電池・蓄電池に関するコストの試算 [11-13] に基づき、複合システムのコストを考えると、太陽電池の発電量を 20 時間分蓄電するシステムを想定した場合、発電コストは 100 円 /kWh ~ 15 円 /kWh の値が得られた。また、3 時間分の短時間の蓄電を想定した場合では 32 円 /kWh ~ 7 円 /kWh と試算された。一方、上述の燃料電池の発電コストの議論 (図 2, 3) から、SOFC の発電コストは、小型機で 28 円 /kWh ~ 23 円 /kWh 程度になることが予想され、中・大型機では、14 円 /kWh ~ 10 円 /kWh 程度と予想される。従って、SOFC システムの将来的な活用方法として、発電コストが十分に低減されることで、稼働率向上の観点からもスマートグリッド内のベース電源 (特に中・大型機) としての活用 (SOFC システムで発電した電力を系統に戻す所謂「逆潮」を含む) が考えられる。さらに、蓄電システムを併用した太陽電池などの再生可能エネルギーとの共存が可能であり、かつ系統電力の変動抑制としての利用が期待される。ただし、電力変動の時定数毎に最適な対応策の検討が必要であり、比較的短時間の変動抑制についてはガスタービンや蓄電池の利用が考えられ、燃料電池は比較的長時間の変動抑制での活用が期待される。



表 4 太陽電池・蓄電池複合システムコスト

	基準ケース 2013	改善型 2020	革新型 2030
太陽電池モジュールコスト (円/W) * <sup>1</sup>	100	50	40
効率 (%) * <sup>1</sup>	17	20	35
設置コスト (円/W) * <sup>1</sup>	100	50	20
寿命 (年) * <sup>1</sup>	20	20	30
発電コスト (円/kWh) * <sup>1</sup>	20	10	5
Liイオン電池コスト (円/Wh <sub>st</sub> ) * <sup>2</sup>	20	8	5
寿命 (年) * <sup>2</sup>	5	5	10
コスト 20h分 (円/kWh <sub>st</sub> ) * <sup>2</sup>	80	32	10
3h分 (円/kWh <sub>st</sub> ) * <sup>2</sup>	12	5	2
合計 (PV+LIB 20h分, 円/kWh)	100	42	15
合計 (PV+LIB 3h分, 円/kWh)	32	15	7

\*<sup>1</sup> 文献 [11,12] に基づき引用および試算 \*<sup>2</sup> 文献 [13] に基づき引用および試算

### 3-2-2. SOFC の水素製造・貯蔵システムへの応用：再生可能エネルギーによる水素製造コスト試算

再生可能エネルギーの導入が大規模に進むに従い、余剰エネルギーの貯蔵技術の検討が必要になる。燃料電池では、水電解による水素製造が考えられる。本稿では、再生型（可逆型）SOFC システムによる水素製造コストについて検討を行った。水素製造コストの前提条件を表 5 に示す。また、図 4 にその試算結果を示す。

表 5 水素製造コスト試算の前提条件

水電解効率（水素製造効率 LHV）	80	%	Ref. [14]
水素製造電力原単位	3.7	kWh/Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>	
システム寿命	15	年	
年経費率	12	%	
システム稼働率	100 または 12	%	
再生可能エネルギー電力コスト	0-25	円/kWh	Ref. [11,12]
水素圧縮電力原単位：70MPa	0.4	kWh/Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>	Ref. [15]

表 5 の前提条件は、文献値 [11,12,14,15] を参照することで決定した。水電解効率（水素製造効率）を 80% に仮定し [14]、水素製造電力原単位を算出した（3.7 kWh/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>）。表 2 の中・大型機（250kW）の結果を参考にすると、燃料電池の製造コストについては 100 円/W 程度までの低減の可能性が示唆されている。一方、水素製造を前提とした再生型（可逆型）SOFC システムの場合、水素ポンプ等の貯蔵設備が必要であるが [15]、それらを考慮したシステムコストについて、200 円/W 程度までのコスト低減は可能であると考えられる。また、太陽電池の現在の発電コストは、国内においてもグリッドパリティ（系統電力コスト 23 円/kWh と等価）に到達しつつあり [16]、将来的には 10 円/kWh から 5 円/kWh 程度への発電コストの低減が可能であることが示されている（表 4 および文献 [11,12] 参照）。また、将来大量導入が予想される太陽電池の余剰電力を捨てる場合を想定すると、余剰電力コストを 0 円/kWh に想定することも考えられる。以上の想定に基づき、図 4 の再生可能エネルギーの電力コストについて、25 円/kWh から 0 円/kWh の範囲で水素製造コストの感度解析を行った。NEDO のロードマップに基づく水素製造コスト目標

値 (2030 年) は、ガソリン販売価格 (4.2 円 /MJ) と同水準の 40 円 /Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> への到達が目標となっている [15]。以下、この値を基準に議論を進める。まずは、水素輸送と水素ステーションを含まない場合における試算結果を示す。図4 a にシステム稼働率が 100% の理想的な仮定に基づく試算結果を示すが、40 円 /Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> を達成するには、再生可能エネルギーの電力コスト 10 円 /kWh 以下かつシステムコストが 200 円 /W 以下の必要条件を満たす必要がある。一方、太陽電池の稼働率 (国内平均 12%) を考慮し、システム稼働率を 12% に設定した場合の水素製造コストを図4 b に示す。この場合、余剰電力 0 円 /kWh を仮定した上で、システムコスト 100 円 /W が必要条件であることが示唆された。従って、再生可能エネルギーの余剰電力を水素に変換・貯蔵するシステムは、今後の格段の技術開発とコスト低減が必要であることがわかる。

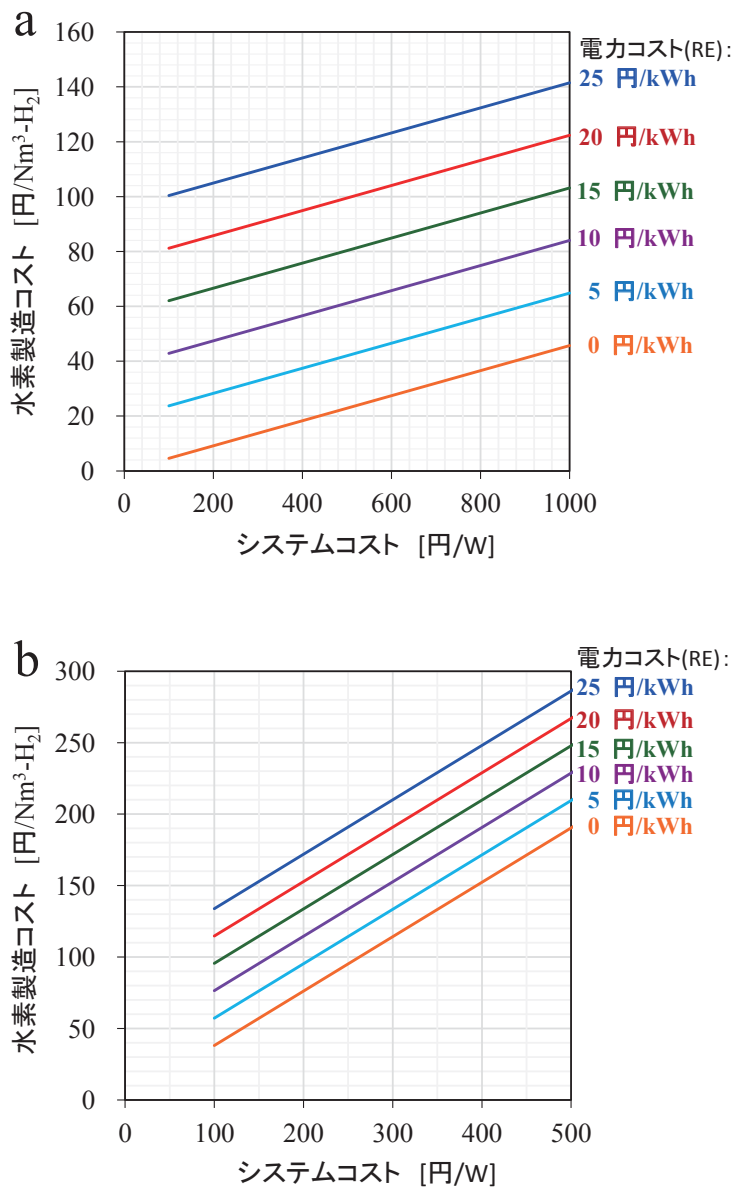


図 4 SOFC システムの水蒸気電解による水素製造コスト評価

a: システム稼働率 100% b: システム稼働率 12%

以上は、水素の製造と貯蔵のシステムを仮定した試算結果であるが、水素輸送および水素ステーションを仮定した場合の水素製造コストの算出も行った。表 6 にその前提条件と水素製造コスト試算の結果を示す。水素輸送および水素ステーションを仮定した場合、水素製造コストは 77 円/kWh 以上の値が得られた。従って、水素輸送と水素ステーションを前提とする場合、輸送やインフラコストの低減も非常に重要になることがわかる。

表 6 水素輸送と水素ステーションを含む水素製造コスト試算の前提条件

水電解・圧縮	40	円 /Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>
輸送* <sup>1</sup>	17	円 /Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>
水素ステーション* <sup>2</sup>	20 ~ 50	円 /Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>
合計	77 ~ 107	円 /Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>

\*<sup>1</sup> JST LCS 試算に基づく

\*<sup>2</sup> 文献 [15]

#### 4. 定置型 SOFC システムの技術開発課題

以上の議論から、技術開発の必要項目を以下にまとめる。なお、小型機および中・大型機 SOFC システムの要素技術開発課題（性能、寿命、コスト低減等）については、既に既報の提案書 [2,3] で検討しているため、本稿では、SOFC システムの今後の役割に関連する部分を中心に述べる。

##### 1) SOFC システムの稼働率を考慮した性能・コストの目標値

- ・家庭用 SOFC システム：系統電力コスト（28 ~ 23 円 /kWh）到達の条件として、システムコスト：700 ~ 500 円 /W；発電効率：50 ~ 55%；システム寿命：10 ~ 15 年が開発目標となる。
- ・中・大型 SOFC コンバインドシステム  
 中規模発電（250kW クラス）：系統電力コスト（23 円 /kWh）到達の条件として、システムコスト：500 円 /W；発電効率：55 ~ 60%；システム寿命：15 ~ 20 年が開発目標になる。  
 大規模発電（数 MW クラス）：系統電力コスト（14 円 /kWh）到達の条件として、システムコスト：200 円 /W；発電効率：55 ~ 60%；システム寿命：15 ~ 20 年が開発目標になる。

##### 2) SOFC システムの運用に関する改善項目について

家庭用については、以上の開発目標を燃料コストの低減と並行して稼働率向上（50%以上）についても検討が必要である。すなわち、集合住宅での設置や系統電力への逆潮の検討など、稼働率向上を考慮した適応範囲を広げるための検討が必要である。すなわち、ガス会社による都市ガス価格割引および系統電力への逆潮によるユーザーに対する経済的な優遇の検討など、技術と制度の両面からの検討が必要である。また、家庭用においては、出力変動により柔軟に対応できるように、非常運転を前提としたセルの耐久性向上に関する技術開発が必要である。

中・大型機についても、通常の発電システムとしての普及に加え、将来的にはスマートグリッド内のベース電源としての活用（変動調整・逆潮）が考えられ、系統電力への連携に関する研究開発が必要である。

##### 3) 水素製造・貯蔵プロセスを含む SOFC システムの活用

再生可能エネルギーの余剰電力を前提とした水蒸気電化による水素製造プロセスは、上述したように、経済的に成立させるためには、今後の格段の技術革新とコスト低減が必要不可欠である。

再生型燃料電池システムの実現と普及に向けては、水蒸気電解用電極の性能・耐久性向上や水素貯蔵タンクの安全性向上と低コスト化の技術開発が重要である。

## 5. まとめ

低炭素技術の構造化手法による SOFC の性能予測・コスト評価を実施した。SOFC システムの発電コストについては、実際の稼働率も考慮した場合において、家庭用小型機 (SOFC CHP) では 28 円 /kWh から 23 円 /kWh への到達の可能性が示唆され、中・大型機 (SOFC-MGT) では 14 円 /kWh 程度までのコスト低減の潜在性を有することが示された。他の低炭素技術と比較しても、社会導入に対する大きな潜在能力を有するが、発電効率、生産技術、および稼働率向上に向けた取り組みが必須である。一方、太陽電池等再生可能エネルギーの発電コストは、将来的に 10 ~ 5 円 /kWh に到達することが予想されており、社会導入に対する大きな潜在能力を有する。従って、再生可能エネルギーによる出力変動や余剰電力の問題解決の観点から、次世代の電力系統内での SOFC の活用 (ベース電源・出力変動調整、および水素製造等によるエネルギー貯蔵システム) についても今後の研究開発の活性化が必要である。本検討では、SOFC のベース電源としての活用 (逆潮を含む) による出力変動の抑制について、今後の技術革新によって経済的に成立する可能性が示唆された。一方、再生可能エネルギーの余剰電力を前提とした水蒸気電化による水素製造プロセスの実現については、今後の格段の技術革新とコスト低減が必要であることが示された。これらの議論を基に、定置型 SOFC システムの技術開発項目をまとめた。

- 1) 稼働率を考慮したシステム性能・コスト低減の目標値の提示
- 2) システムの運用面に関する改善点の提示 (家庭用: 燃料コストの低減、稼働率向上; 中・大型機: 通常の発電システムとしての普及に加え、スマートグリッド内のベース電源としての変動調整・逆潮による活用)
- 3) 水素製造・貯蔵プロセスを含むシステムの活用と課題 (電極の性能・耐久性向上と格段のコスト低減)

以上、今後の技術革新の進捗によるが、太陽・風力等の再生可能エネルギーと SOFC システムとの共生が可能であることが示唆された。

## 参考文献

- [1] 日本電機工業会 (2015) Topics: 2014 年度定置用燃料電池発電システム出荷量統計調査報告 電機 2015 年 6 月号 777: 68-71, <https://jema-net.or.jp/Japanese/res/fuel/images/chousakekka.pdf>.
- [2] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書: 技術開発編 固体酸化物形燃料電池システム—要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ—」LCS-FY2013-PP-04 (pp.1-14), 2014 年 3 月.  
<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2013-pp-04.pdf>
- [3] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書: 技術開発編 固体酸化物形燃料電池システム (Vol.2) —中・大型機 SOFC 製造コスト評価と技術開発課題—」LCS-FY2014-PP-05(pp.1-13), 2015 年 3 月.  
<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2014-pp-05.pdf>
- [4] J. Otomo, J. Oishi, T. Mitsumori, H. Iwasaki and K. Yamada, “Evaluation of Cost Reduction Potential for 1kW Class SOFC stack production: Implications for SOFC Technology Scenario”, Int. J. Hydrogen Energy, 38 (33), 14337-14347 (2013).

- [ 5 ] SOFC 販売価格・発電効率 [http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr\\_2014/1209206\\_10899.html](http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2014/1209206_10899.html)
- [ 6 ] K. Tomida, N. Hisatome, T. Kabata, H. Tsukuda, and Y. Yamazaki, “Structural modification of segmented-in-series tubular SOFCs using performance simulation and the effect of (Sm, Ce)O<sub>2</sub> cathode interlayer on the generation characteristics under pressurization”, *Electrochemistry*, 77 (10) 865-875 (2009).
- [ 7 ] Y. Yoshida, T. Kohno, M. Enokibori, and R. Matsuhashi, “CO<sub>2</sub> Emission Characteristics of Residential Energy Supply Systems in Consideration of the Variation of Personal Pattern of Life” 「生活者の行動のばらつきを考慮した住宅用エネルギー供給システムの CO<sub>2</sub> 排出特性の分析」 *J. Jpn. Inst. Energy*, 87, 1010-1018 (2008).
- [ 8 ] 都市ガス価格 (大口供給料金：東京ガス) <http://eee.tokyo-gas.co.jp/ryokin/about/list/r-oguchi.html>
- [ 9 ] 経済産業省 長期需給見通し (2015 年 7 月).  
[http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004\\_2.pdf](http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf)
- [10] 12 Insights on Germany's Energiewende (2013 年 2 月).  
[http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2012/12-Thesen/Agora\\_12\\_Insights\\_on\\_Germanys\\_Energiewende\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2012/12-Thesen/Agora_12_Insights_on_Germanys_Energiewende_web.pdf)
- [11] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書：技術開発編 太陽光発電システム－要素技術の構造化に基づく定量的技術シナリオと科学・技術ロードマップ－」 LCS-FY2013-PP-02(pp. 1-11), 2013 年 3 月.  
<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2013-pp-02.pdf>
- [12] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書：技術開発編 太陽光発電システム (Vol.2)－定量的技術シナリオを活用した高効率シリコン系太陽電池の経済性評価－」 LCS-FY2014-PP-03(pp. 1-11), 2014 年 3 月.  
<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2014-pp-03.pdf>
- [13] 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 「低炭素社会実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書：技術開発編 蓄電池システム (Vol.2)－高容量化活物質を用いた蓄電池のコスト試算と将来展望－」 LCS-FY2014-PP-04 (pp. 1-10), 2014 年 3 月.  
<http://www.jst.go.jp/lcs/documents/publishes/item/fy2014-pp-04.pdf>
- [14] 王 臻偉、森昌史、荒木拓人 電力中央研究所レポート「固体酸化物形電解セルを用いた水蒸気電解特性－300 Nm<sup>3</sup>/h の水素製造システムの効率－」 研究報告：Q09008 (平成 22 年 5 月).
- [15] 圏分裕一 「高圧水素の輸送にかかわるコストとエネルギー効率」 *水素エネルギーシステム* 34(4) 24-30 (2009).
- [16] J. Chase, “Breakthroughs in Solar Powers”, *Bloomberg New Energy Finance (BNEF)*, March 2012.  
[http://about.bnef.com/summit/content/uploads/sites/3/2013/11/BNEF\\_2012\\_03\\_19\\_\\_University\\_Solar\\_Power.pdf](http://about.bnef.com/summit/content/uploads/sites/3/2013/11/BNEF_2012_03_19__University_Solar_Power.pdf)

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

**固体酸化物形燃料電池システム (Vol.3)**  
— 将来の電源構成における SOFC の役割と技術開発課題 —

平成 28 年 3 月

“SOFC Systems (vol.3):

Role of SOFC Systems in Future Electricity Mix of Japan and Their Technological Challenges”

Strategy for Technology Development,  
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2016.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

**本提案書に関するお問い合わせ先**

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 特任研究員 大友 順一郎 (Junichiro OTOMO)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<http://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2016 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---

---