

## Proposal of Solid Oxide Fuel Cells System Which Uses Renewable Energy

Hirotooshi SHIMIZU\*, Jorge E. LAMAS\*, Shota NAKAMURA\*,  
Eriko MATSUMURA\* and Jiro SENDA\*

(Received June 11, 2013)

In the recent years, the amount of energy consumed by people around the world increases due to the realization of comfortable life. Now, most of consumed energy is originated from fossil fuels. It is necessary for a sustainable society to advance the use of non-fossil fuels because resources of fossil fuels are limited.

A photovoltaic power generation (PV) is being promoted widely in a residential area in Japan. PV is an electric generator which uses renewable energy and exhausts no poisonous emissions. However, a PV output is not synchronized with electricity demand because an electric power generation of PV depends on quantity of solar radiation. Thus, a PV power supply is insufficient for the residential needs when solar radiation is at low level. On the other hand, there are the case that a PV power generation exceeds a demand.

In this study, we propose a PV and Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) combined system (PV-SOFC system) which is applied to a residence. By the way, SOFC is a kind of fuel cells, and has high energy efficiency. A PV-SOFC system uses “surplus power”, which comes from a gap between PV output and electricity demand, to produce hydrogen with an electrolyzer and stores the hydrogen in a storage tank. The SOFC utilize a mixture gas fuel, which is made of the stored hydrogen and city gas, to generate power and hot-water as needed. Surplus power from a PV is able to be stored at the consumption area. Additionally, the system can improve the energy independence of a house because the SOFC supply power and hot-water with hydrogen produced by renewable energy.

In this paper, we purpose that the energy reduction by introducing a PV-SOFC system to a residence is simulated. As a result, the primary energy consumption in the PV-SOFC system is reduced by 53.8 %.

**Key word** : solid oxide fuel cell, Cogeneration, energy saving, photovoltaic power generation, hydrogen

**キーワード** : 固体酸化物形燃料電池, コージェネレーション, 省エネルギー, 太陽光発電, 水素

## 自然エネルギーを利用した固体酸化物形燃料電池システムの提案

清水 宏俊\*, ホルヘ ラマス\*, 中村 彰太\*, 松村 恵理子\*, 千田 二郎\*

### 1. 緒言

科学技術の進歩により人類の生活が豊かとなる一方, 消費されるエネルギー量は急増している<sup>1)</sup>. ここで, 人類により消費される一次エネルギーの大半は, 資源量の有限な化石系資源である<sup>1)</sup>. 今後も文明社

会を持続的に発展させるために, エネルギー源の多様化および非化石系資源の利用拡大が不可欠である.

そうした中, 我が国の状況として, 総エネルギー需要のおよそ 3 割を占める家庭部門において太陽光発電 (以下, PV) が盛んに導入されている<sup>2)</sup>. PV

\*Department of Energy and Mechanical Engineering, Doshisha University, Kyoto  
Telephone/Fax: +81-774-65-6405, E-mail:jsenda@mail.doshisha.ac.jp

は自然エネルギーを利用したエネルギー変換機器であり、発電時に一切の化石燃料を消費しない。また、発電時ゼロエミッションであることからクリーンな発電方法としても注目されている。しかしながら、PV の出力は日射量に依存するため、発電量と家庭内の電力需要が同期しない。そのため日中を中心に、PV で発電されたにも関わらず家庭内で消費しきれない電力（以下、余剰電力）が発生する。現状において、余剰電力は系統電源へ逆潮流されているが、周波数変調など電力品質低下の誘起を懸念されている<sup>3)</sup>。そのため、余剰電力は需要地にて貯蔵されることが望ましい。

そこで本研究では、PV の余剰電力で水素を生成・貯蔵し、固体酸化物型燃料電池（以下、SOFC）の燃料として利用する家庭用エネルギー供給システム（以下、PV-SOFC システム）を提案する。本システムでは、PV の余剰電力で得られた水素を都市ガスと混合して SOFC の燃料に利用する。ここで、SOFC とは燃料電池の一種であり、従来の内燃機関と比較して高い発電効率を有する。さらに、排熱を利用した家庭内への給湯も行ない、総合効率の高いエネルギー供給が可能である。本システムの構築により、PV の余剰電力を水素エネルギーとして家庭で貯蔵可能となる。また、PV の発電量が需要量に満たない時間帯においても、SOFC による自然エネルギー起源の電力供給が可能となり、家庭の低炭素化およびエネルギー自立度向上を見込める。加えて、SOFC では燃料となる水素と都市ガスの比率を変化させることで、出力される電力およびお湯の比（以下：熱電比）を調節できる。そのため、エネルギー需要の

変動に対応した効率良い熱電併給が可能と考えられる。

以上を踏まえ、本稿では PV-SOFC システムを家庭へ導入した場合における一次エネルギーの消費量をシミュレーションにより算出し、省エネルギー性の評価および考察を行なった。

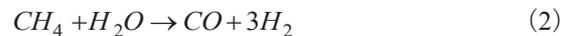
## 2. 熱電比調節型 PV-SOFC システム

### 2.1 SOFC の作動原理<sup>4,5)</sup>

SOFC のシステム概略図を Fig. 1 に示す。SOFC は、投入された空気中の酸素を還元する空気極、燃料を酸化させる燃料極、およびイオンを通過させる電解質より構成される。まず、空気極へ投入された酸素は以下の還元反応により酸素イオンとなる。



酸素イオンは電解質を通過し燃料極へ到達する。一方、燃料極にはメタンを主成分とする都市ガスが投入され、式 (2) に示す水蒸気改質により一酸化炭素および水素が生成される。なお、この改質反応は吸熱を伴い、SOFC の排熱を利用して進行する。



そして、生成された一酸化炭素および水素は燃料極において酸素イオンと以下の酸化反応を起こし、電子を放出する。



このような酸化・還元反応の下で空気極および燃料極を外部の電気回路に接続すると、極間において起電力が発生し電流が流れる。

### 2.2 PV-SOFC システム

本研究で提案する PV-SOFC システムの概略図を Fig. 2 に示す。本システムは PV、SOFC、水電解装置、水素タンクおよびガス混合装置により構成される。PV で発電された電力は家庭内における電力需要を賄うため使用され、余剰分は水電解装置へ送られる。水電解装置で生成された水素は水素タンクに貯蔵された後、都市ガス 13A と適宜混合され SOFC の燃料として利用される。そして、SOFC から熱および電力が出力され、家庭内における給湯および電

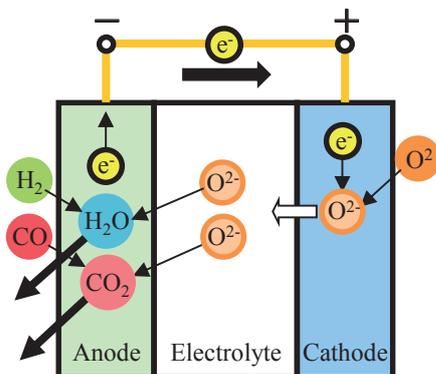


Fig. 1. Operation principle of SOFC.

力需要を満たすために消費される。

以上より、本システムを構築することで PV の余剰電力を水素エネルギーとして貯蔵できる。また、貯水素を利用して SOFC から家庭内へエネルギー供給を行なうことで、PV 出力変動の平滑化およびエネルギー自立度の向上が可能となる。さらに、水素燃料の利用は、次節で述べる SOFC の熱電比調節に有利である。

### 2.3 水素添加による SOFC の熱電比調節

本システムでは SOFC の燃料として、メタンを主成分とする都市ガス 13A に水素を添加した混合ガスを使用する。SOFC の発電時に生じる排熱は回収され家庭内への給湯に利用されるが、一部は式 (2) に示したメタンの水蒸気改質に使用される。ここで、水素を添加することにより燃料ガスに占めるメタンの割合は都市ガス単体と比較して小さくなる。これに伴いメタンの改質が抑制され、反応の進行に利用される吸熱量が減少することから、結果として家庭内へ供給できる熱量は増大する。また式 (2) より、メタン濃度が低下すると生成される一酸化炭素の量も減少する。式 (3) に示すように、一酸化炭素は SOFC の燃料として発電に使用されることから、一酸化炭素の生成量の減少は発電量の低下を招く。以上から、混合燃料の水素割合を増加させるとシステムの排熱回収量は増加する一方、発電量は低下する。つまり、水素添加率が上昇すると SOFC の熱電比は上昇する。以上より、本システムでは都市ガスへの水素混合割合を変えることで SOFC の熱電比を調節できると考えられる。

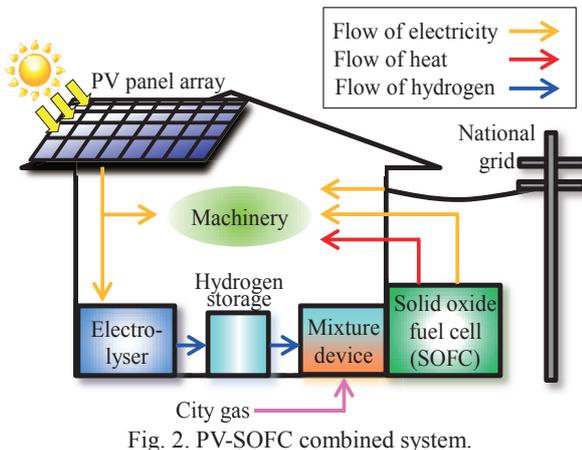


Fig. 2. PV-SOFC combined system.

## 3. SOFC の性能特性

### 3.1 都市ガスを燃料とした場合の出力特性

都市ガス 13A を燃料に用いて SOFC の運転試験を行なった。運転試験により得られた発電量、排熱回収量および都市ガス流量を基に算出した SOFC の性能特性を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、都市ガスを燃料に使用した場合、SOFC の発電効率は電力負荷の大きさに伴い上昇するのに対し、排熱回収効率は電力負荷に関わらず約 40% でほぼ一定となった。

また、以上の結果を基に、SOFC の発電量および排熱回収量の変化を SOFC へ投入される熱量の関数として近似した。運転試験より得られた近似式を式 (5) および (6) に示す。

$$GP_{FC} = 0.4145 \cdot (IF_{FC})^3 - 1.7036 \cdot (IF_{FC})^2 + 2.7978 \cdot (IF_{FC}) - 1.0943 \quad (5)$$

$$GH_{FC} = 0.4575 \cdot (IF_{FC}) \quad (6)$$

$GP_{FC}$ : SOFC 発電量[kWh]

$GH_{FC}$ : SOFC 排熱回収量[kWh]

$IF_{FC}$ : SOFC への投入熱量[kWh]

### 3.2 シミュレーションより算出した都市ガス-水素混合ガスを燃料とした場合の出力特性

本稿では、都市ガス 13A へ水素を添加させた場合における SOFC の作動特性をシミュレーションにより算出した。水素添加率および発電量を変化させた際における、SOFC の発電効率および排熱回収効率を Fig. 4 に示す。図より、都市ガスへの水素添加率を上昇させることで SOFC の発電効率は低下する一方、排熱回収効率は向上すると想定される。

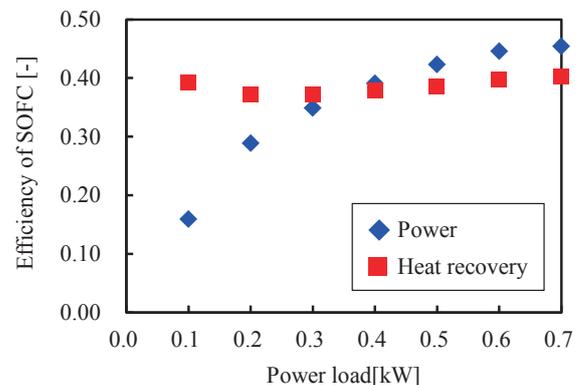


Fig. 3. Performance curve of SOFC.

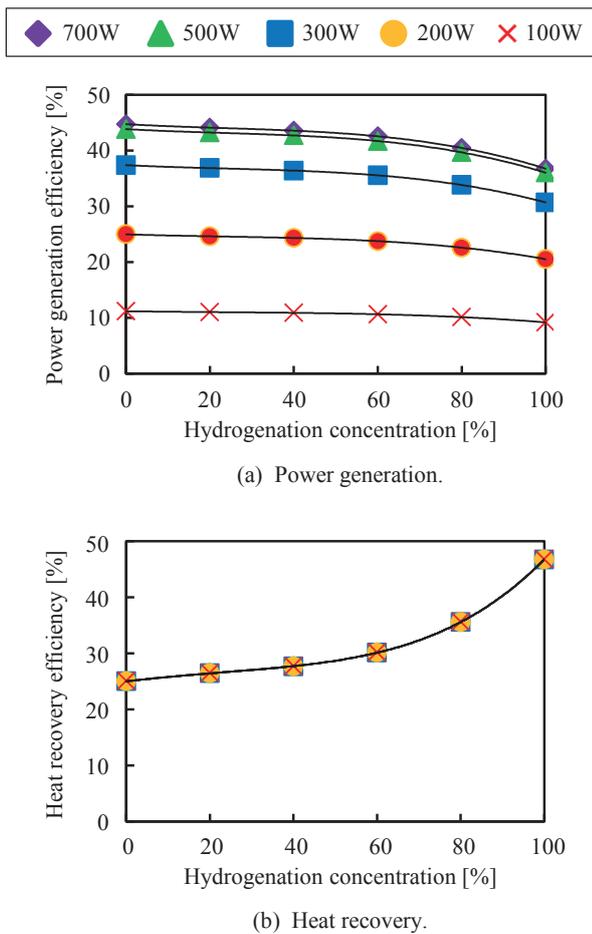


Fig. 4. SOFC efficiency with hydrogenation.

また、都市ガス単一燃料の場合と比較した発電効率および排熱回収効率の増減率を式 (7) および (8) のように近似した。

$$\eta_{PC} = -0.2698 \cdot (\lambda_{H_2})^3 + 0.189 \cdot (\lambda_{H_2})^2 - 0.0977 \cdot (\lambda_{H_2}) + 1 \quad (7)$$

$$\eta_{HC} = 1 / \left\{ -0.2698 \cdot (\lambda_{H_2})^3 + 0.189 \cdot (\lambda_{H_2})^2 - 0.0977 \cdot (\lambda_{H_2}) + 1 \right\} \quad (8)$$

$\eta_{PC}$ : SOFC 発電効率の増減率[-]

$\eta_{HC}$ : SOFC 排熱回収効率の増減率[-]

$\lambda_{H_2}$ : 水素添加率[-]

## 4. 解析および評価手法

### 4.1 3種類のエネルギー供給システム

本稿では、水素添加による熱電比調節が可能な PV-SOFC システムの性能を検証するため、比較対象として 3 種類の家庭用エネルギー供給システムを想定した。Table 1 に想定した各エネルギー供給システムの解析条件を示す。

Table 1. Comparable energy supply systems.

Energy System	PV	SOFC	Battery	System power	Gas boiler
PV-SOFC	○	○	×	○	○
PV-Battery	○	×	○	○	○
Conventional	×	×	×	○	○

#### 4.1.1 PV-SOFC システム

本システムは PV パネルおよび SOFC を家庭に設置し、エネルギー供給を行なうシステムである。家庭内の電力需要は PV および SOFC から発電される電力により賄うが、不足分は大規模集中型発電所から供給される系統電源の電力購入により補うものとした。熱需要は SOFC の発電時に生じる排熱を利用して賄い、不足分はガス式の補助給湯器により補うものとした。なお、PV の余剰電力は水素へ変換され SOFC の燃料として利用される。また、エネルギー需要の変動に応じて水素添加率を変更することにより SOFC の熱電比を適宜調節し、家庭内へ効率良いエネルギー供給を行なう。

#### 4.1.2 PV-Battery システム

PV-Battery システムは PV および充放電可能な蓄電池で構成される。PV で発電された電力は家庭内の電気機器へ供給され、余剰電力は蓄電池に充電される。家庭内の電力需要が PV の出力を上回る時間帯においては、蓄電池からの電力の放電ならびに系統電源からの電力購入により不足分を補うものとした。また、家庭内の熱需要は従来型のガス給湯器により賄うものとした。

#### 4.1.3 従来 (Conventional) システム

上記 2 種類のエネルギー供給システムを家庭へ導入した場合における一次エネルギーの削減量を検証するため、比較対象として省エネルギー機器が導入されていない一般的な住宅におけるエネルギー供給システムを想定した。本システムにおいて、家庭内の電力需要は系統電源からの電力購入により賄うものとした。また、熱需要は従来型のガス給湯器で賄うものとした。

### 4.2 家庭内におけるエネルギー需要線図および各機器の仕様

本稿で使用した各期における家庭内の電力および熱の需要線図を Fig. 5 へ示す。需要線図の作成にあたり、文献<sup>6)</sup>に基づく住宅の需要データを使用した。なお、本稿で扱う熱需要は給湯需要のみとし、空調には暖房時の成績係数（以下、COP）=6.76、冷房時 COP= 6.47 のエアコンディショナを使用するものとした。また、年間のうち夏期を 6-9 月の 122 日間、中間期を 4, 5, 10, 11 月の 121 日間、冬期を 12-3 月の 122 日間とした。住宅の床面積は日本における一般的な 4 人家庭として 120m<sup>2</sup>を想定した<sup>6)</sup>。

Table 2 に、本稿において各システムへの導入を想定した機器の仕様を示す。定格出力時における SOFC の発電効率は 45%、排熱回収効率は 40%とした。なお、SOFC ユニットに付設された貯湯タンク

の保温効率は 90%とした。住宅へ設置する PV パネルの定格発電容量は 3kW とした。SOFC ユニット内のガス式補助給湯器および従来型ガス給湯器の熱効率は 80%とした。水素を製造する水電解装置の効率は 90%、蓄電池の充放電効率は 90%と仮定した。また、PV の余剰電力ならびに家庭内のエネルギー需要を考慮して水電解装置の水素生成能力は 4.5×10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/h、蓄電池の容量を 6kWh と決定した。SOFC は高温で動作し起動停止に長時間を要するため、24 時間連続で運転させるものとした。

各時刻における PV の発電量は、新エネルギー・産業技術総合研究所（NEDO）のデータベースを用いて、京都府京田辺市における各月の平均日射量を使用し以下の式より算出した。

$$GP_{PV_i} = \frac{SR_i \cdot K \cdot RP_{PV}}{RSR} \quad (i=0, 1, \dots, 23) \quad (9)$$

$$K = (1 - \alpha_1) \cdot (1 - \alpha_2) \cdot (1 - \alpha_3) \quad (10)$$

$GP_{PV_i}$ : 各時刻の PV 発電量[kWh]

$SR_i$ : 各時刻の日射量[kWh/m<sup>2</sup>]

$RP_{PV}$ : PV 定格出力[kW]

$RSR$ : 日射強度[kW/m<sup>2</sup>]

$K$ : 設計係数[-]

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ : 諸損失[-]

ここで日本における平均的な値として、日射強度  $RSR = 1.0 \text{ kW/m}^2$  と設定した。また、設計係数  $K$  において、 $\alpha_1 = 0.055$  をパワーコンディショナによる損失とした。PV パネル表面の温度上昇による損失として、夏期における損失を  $\alpha_2 = 0.20$ 、中間期において  $\alpha_2 = 0.15$ 、冬期において  $\alpha_2 = 0.10$  とした。その他、諸損失として  $\alpha_3 = 0.05$  を定義した。

### 4.3 評価手法

本稿では、各エネルギー供給システムを評価する指標として一次エネルギー消費量を使用した。各システムにおける一次エネルギー消費量は、系統電源の発電時から家庭で使用されるまでの過程において消費されるエネルギー消費量ならびに都市ガス消費量の和と定義した。定義を式 (11) へ示す。

$$EC_{PE} = \frac{EC_{SP}}{\eta_{SP}} + EC_{CG} \quad (11)$$

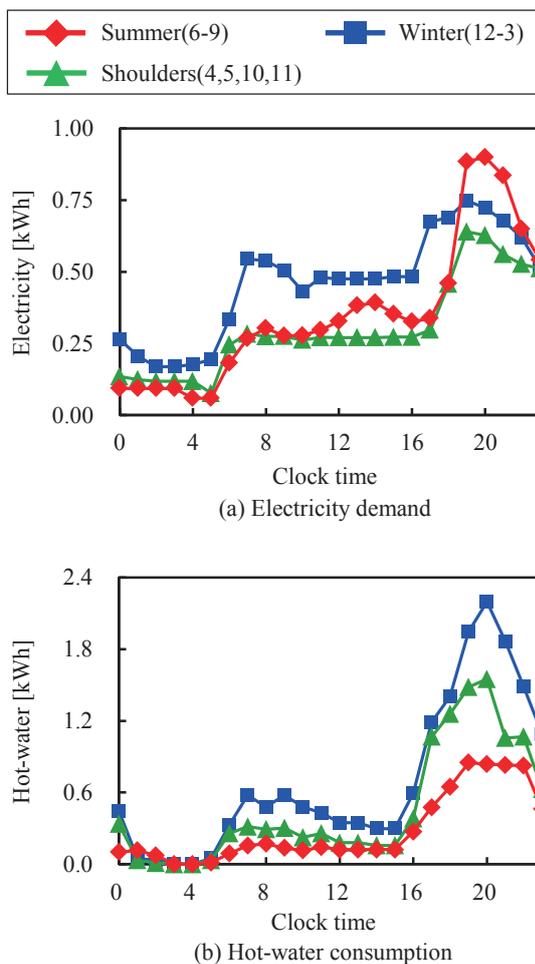


Fig. 5. Hourly energy demand in a residence.

$EC_{PE}$ : 一次エネルギー消費量[kWh]

$EC_{SP}$ : 系統電源からの電力購入量[kWh]

$\eta_{SP}$ : 受電端効率[-]

$EC_{CG}$ : 都市ガス消費量[kWh]

ここで、受電端効率は $\eta_{SP} = 0.37^7)$ とした。

また、PV-SOFC および PV-Battery システムの導入によるエネルギー削減効果を表す指標として、省エネルギー率を式 (12) のように定義した。

$$ESR = \frac{CEC_{PE} - PEC_{PE}}{CEC_{PE}} \quad (12)$$

$ESR$ : 省エネルギー率[-]

$CEC_{PE}$ : 従来型の一次エネルギー消費量[kWh]

$PEC_{PE}$ : PV-SOFC/PV-Battery システムにおける一次エネルギー消費量[kWh]

#### 4.4 解析手法

##### 4.4.1 最適化および目的関数

本稿では、PV-SOFC システム運用時における一次エネルギー消費量を最小化するため、最適化計算を行なった。なお、この最適化計算は非線形問題であり、計算ソフトウェア MAPLE を用いてシミュレーションを行なった。最適化計算の目的関数は、式 (11) に示した一次エネルギー消費量である。また、目的関数の変数である系統電源からの電力購入量、および都市ガス消費量を以下のように定式化した。

$$EC_{SP} = \sum_{i=0}^{23} EC_{SPi} \quad (13)$$

$$EC_{CG} = \sum_{i=0}^{23} (1 - \lambda_{H2}) \cdot IF_{FCi} + \sum_{i=0}^{23} IF_{ABi} \quad (14)$$

$EC_{SP}$ : 一日の電力購入量[kWh]

$EC_{SPi}$ : 各時刻の電力購入量[kWh]

$EC_{CG}$ : 一日の都市ガス消費量[kWh]

$IF_{FCi}$ : 各時刻の SOFC への投入熱量[kWh]

$IF_{ABi}$ : 各時刻の補助給湯器への投入熱量[kWh]

$\lambda_{H2}$ : 水素添加率[-]

##### 4.4.2 各システム運用時におけるエネルギー収支

###### 4.4.2.1 PV-SOFC システムのエネルギー収支

PV-SOFC システム運用時のシミュレーションにおけるエネルギー収支の制約条件を、以下のように定式化する。

$$ED_i = GP_{PV_i} + GP_{FCi} - IP_{ELi} + EC_{SPi} \quad (15)$$

$$HD_i \leq GH_{FCi} + GH_{ABi} - IH_{HTi} + GH_{HTi} \quad (16)$$

$$V_{HTi} = \eta_{HT} \cdot V_{HTi-1} + IH_{HTi} - GH_{HTi} \quad (17)$$

$$V_{HSi} = V_{HSi-1} + \eta_{EL} \cdot IP_{ELi} - \lambda_{H2} \cdot IF_{FCi} \geq 0 \quad (18)$$

$ED_i$ : 各時刻の電力需要[kWh]

$GP_{PV_i}$ : 各時刻の PV 発電量[kWh]

$GP_{FCi}$ : 各時刻の SOFC 発電量[kWh]

$IP_{ELi}$ : 各時刻の水電解装置の入力[kWh]

$EC_{SPi}$ : 各時刻の電力購入量[kWh]

$HD_i$ : 各時刻における熱需要[kWh]

$GH_{FCi}$ : 各時刻の SOFC 排熱回収量[kWh]

$GH_{ABi}$ : 各時刻の補助給湯器出力[kWh]

$IH_{HTi}$ : 各時刻の貯湯タンク入力[kWh]

$GH_{HTi}$ : 各時刻の貯湯タンク出力[kWh]

$V_{HTi}$ : 各時刻のタンク内貯湯量[kWh]

Table 2. Performance of machinery.

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	Fuel cell unit	Power generation [kW]	0.70
		Generating efficiency [%]	45(LHV)
		Heat generation [kW]	0.62
		Heat recovery efficiency [%]	40(LHV)
	Hot water tank	Capacity [m <sup>3</sup> ]	0.20
Photovoltaics (PV)		Solar power capacity [kW]	3
Gas Water Heater		Heat generation [kW]	43.2
		Hourly heat-relation efficiency [%]	80.0
Water Electrolyser		Hydrogen formation [m <sup>3</sup> /h]	4.5 × 10 <sup>-4</sup>
		Electrolysis efficiency [%]	90.0
Battery		Capacity [kWh]	6
		Charge / Discharge efficiency [%]	90.0

- $\eta_{HT}$ : 貯湯タンク保温効率[-]
- $V_{HS_i}$ : 各時刻のタンク内水素量[kWh]
- $\eta_{EL}$ : 水電解装置の電解効率[-]
- $IF_{FC_i}$ : 各時刻の SOFC への投入熱量[kWh]
- $\lambda_{H2}$ : 水素添加率[-]

式 (15) は電力の制約条件であり, 各時刻の需要量と供給量は等しいものとする. 式 (16) は給湯の制約条件を示し, 各時刻において需要量以上の給湯があるとす. また, 式 (17), (18) はそれぞれ貯湯タンクおよび水素の収支に関する制約条件を表す.

#### 4.4.2.2 PV-Battery システムのエネルギー収支

PV-Battery システム運用時において想定するエネルギー収支の制約条件を下記に示す.

$$ED_i = GP_{PV_i} + GP_{RB_i} - IP_{RB_i} \quad (19)$$

$$HD_i = GH_{GB_i} \quad (20)$$

$$V_{RB_i} = V_{RB_{i-1}} + \eta_{Rbc} \cdot IP_{RB_i} - \frac{1}{\eta_{RBd}} \cdot GP_{RB_i} \geq 0 \quad (21)$$

- $ED_i$ : 各時刻の電力需要[kWh]
- $GP_{PV_i}$ : 各時刻の PV 発電量[kWh]
- $GP_{RB_i}$ : 各時刻の蓄電池出力[kWh]
- $IP_{RB_i}$ : 各時刻の蓄電池入力[kWh]
- $HD_i$ : 各時刻の熱需要[kWh]
- $GH_{GB_i}$ : 各時刻のガス給湯器出力[kWh]
- $V_{RB_i}$ : 各時刻の蓄電量[kWh]
- $IP_{RB_i}$ : 各時刻の蓄電池入力[kWh]
- $\eta_{Rbc}$ : 蓄電池充電効率[-]
- $GP_{RB_i}$ : 各時刻の蓄電池出力[kWh]
- $\eta_{RBd}$ : 蓄電池放電効率[kWh]

式 (19), (20) はそれぞれ電力および熱需給に関する制約条件を示す. また, 式 (21) は蓄電池の充放電量に関する制約条件を表す.

### 5. 解析結果および考察

#### 5.1 各システムにおける年間一次エネルギー消費量

最適化計算により算出された, 3 種類のエネルギー供給システムにおける年間の一次エネルギー消費量を Fig. 6 に示す. なお, 図中の数字は各システムにおいて得られた省エネルギー率を表す.

結果より, PV-Battery システムおよび PV-SOFC システム両者ともに系統電源の使用量が低減した. まず PV-Battery システムにおいて, PV の余剰電力を蓄電池に充電し, 需要の増加時に放電することで PV の発電時以外にも系統電源の使用量を削減することが可能となる. これにより, システムの省エネルギー率は 43.4% となった. 次に, PV-SOFC システムに注目すると, SOFC の燃料として都市ガスが利用されるためガスの使用量は 3 種のシステムで最も多い. しかしながら, PV-SOFC システムの省エネルギー率は PV-Battery システムをさらに上回り, 一次エネルギー消費量はより低減されている. これは SOFC から熱電併給を行なうことで, 混合ガス燃料の有するエネルギーを無駄なく家庭内へ供給できたためと考えられる.

以上より, PV-SOFC システムを導入することで効率的なエネルギー供給が可能となり, 従来型住宅と比較して家庭内における一次エネルギー消費量を 53.8% 低減可能である.

#### 5.2 季節毎の一次エネルギー消費量の比較

季節の変遷による家庭内エネルギー需要の変化に対する PV-SOFC システムの有効性を検証するため, 各期における一次エネルギー消費量および省エネルギー率を算出した. 結果を Fig. 7 へ示す.

まず, 冬期および中間期に注目すると, PV-SOFC システムの省エネルギー率は PV-Battery システムよ

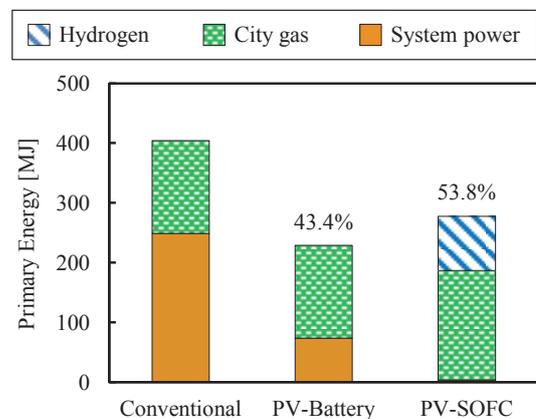


Fig. 6. Primary energy consumption for a year in each comparable system.

り大きい値を示していることがわかる。この理由として、中間期および冬期における熱需要量の増大が挙げられる。熱需要が増加すると、SOFC から出力されるエネルギーの熱電比を上昇させるため、多くの水素が投入される。これにより、家庭内における熱電需要の多くを自然エネルギー起源の水素で賄うこ

とができた。また、同時に熱電比の調節を行なうことで、エネルギーをより有効に利用することが可能となった。以上の結果として、中間期・冬期における一次エネルギー使用量が低減されたと考えられる。特に、中間期においては PV 発電量が多いことから、SOFC へ投入できる水素量も増加するため、冬期よりも高い省エネルギー率を得ることができた。一方、夏期における PV-SOFC システムの一次エネルギー消費量は PV-Battery システムを上回っている。夏期において家庭内の熱需要は少なく、水素を使用しても熱が余剰となり廃棄される。そのため、貯蔵された水素を有効に利用できず、結果として省エネルギー率が向上しなかったと考えられる。

以上より、PV-SOFC システムは熱需要が増大する中間期および冬期において各システム中で最も高い省エネルギー率を得られた。しかし、熱需要の少ない夏期においては水素の利用が促進されないため、システムの省エネルギー率は PV-Battery システムを下回った。

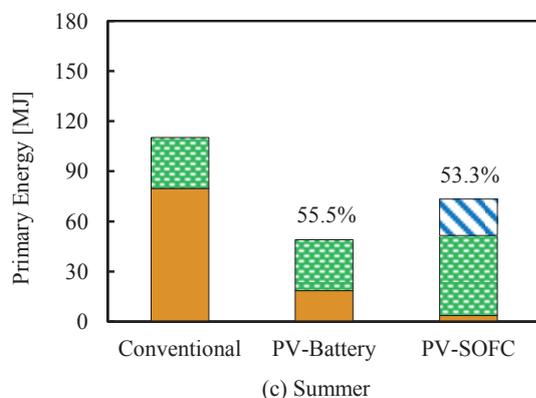
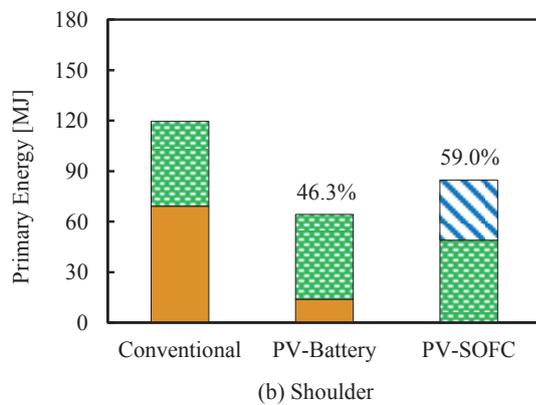
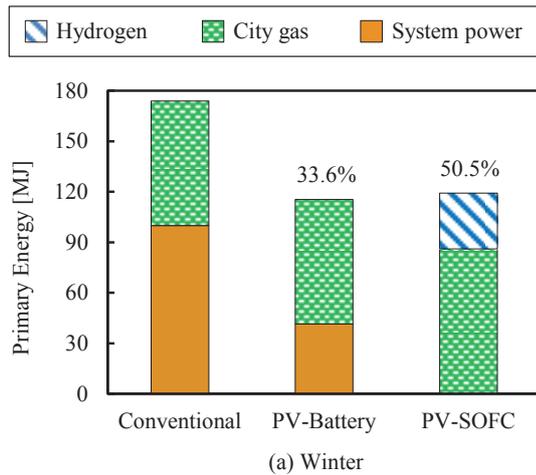


Fig. 7. Seasonal primary energy consumption in each comparable system.

## 6. 結言

本稿では、水素添加による熱電比調節が可能な PV-SOFC システムを家庭へ導入することを想定し、家庭内における一次エネルギー消費量をシミュレーションにより算出した。また、PV-Battery および従来型住宅システムと比較することで PV-SOFC システムの省エネルギー性を評価した。

- 1) PV-SOFC, PV-Battery システムの両者とも、従来と比較し家庭において消費される一次エネルギー消費量を低減することが可能となる。
- 2) PV-SOFC システムを家庭へ導入することで、年間の一次エネルギー消費量を従来型住宅と比較して 53.8%低減可能である。
- 3) 家庭内の熱需要が増大する冬期および中間期において、PV の余剰電力を利用したコージェネレーションが可能な PV-SOFC システムは高い省エネルギー性を示す。
- 4) 熱需要の少ない夏期は、貯蔵された水素を有効に活用したエネルギー供給を行わず、PV-SOFC システムの省エネルギー性は低下する。

中野康治氏（大阪ガスエンジニアリング株式会社）  
および目堅智久氏（大阪瓦斯株式会社）から本研究  
の遂行にあたり多大なご指導を頂いた。また、本研  
究で使用した装置の製作にあたり、大阪ガスエンジ  
ニアリング株式会社、大阪瓦斯株式会社および京セ  
ラ株式会社様に御協力を頂いた。ここに記して謝意  
を表する。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人 日本エネルギー経済研究所, “アジア/世界エネルギーアウトック 2012”, 11-54 (2012).
- 2) 山家公雄, ソーラー・ウォーズ, (エネルギーフォーラム, 東京, 2009), pp. 20-23, 114-123.
- 3) 経済産業省九州経済産業局, “地域 EMS 課題調査報告書”, 12-17 (2011).
- 4) 堤敦 司, 榎屋治紀, 燃料電池 実用化への挑戦, (工業調査会, 東京, 2007), pp.26-29.
- 5) 田辺 茂, 燃料電池の基礎マスター, (電気書院, 東京, 2009), pp.81-84.
- 6) 柏木孝夫, 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル, (日本エネルギー学会, 東京, 2008), pp.64-69.
- 7) 刑部真弘, 地域分散型エネルギー技術, (海文堂出版, 東京, 2004), pp.3-16.