

# 固体酸化燃料電池 (SOFC) の発電量を節電により 増加させる小規模 CEMS 構成の提案

藤原孝浩<sup>†</sup> 田中稔彦<sup>†</sup> 高島海<sup>††</sup> 金田重郎<sup>††</sup>

**概要**：近年、高効率の家庭用燃料電池として固体酸化燃料電池 (SOFC) の普及が進んでいる。そこで、SOFC の能力を活用するために、従来研究では小規模 CEMS を提案していたが、発電量を各戸均等に割付けており、「電力を節約した家庭ほど得をする」という要素は持っていない。そこで、エネルギー消費自体を削減させることを狙いとして、「電力消費を抑えた家庭ほど得をする小規模 CEMS」の実現を目指す。そのため、節約をすればするほど、その家の発電量が多くなる制御構成を提案する。具体的には、自家以外の 2 軒の消費電力平均値を発電量として割り付ける。本制御構成により、定数から自家消費電力の半分を減じた値が発電量となる。「半分」という係数は、これ以上大きくすると、発電量が負となる限界値である。また、CEMS と HEMS の設計に際しては、「利用者に節電を促す」をゴールとするゴール指向分析を用いた。上記の設計方針のもとに小規模 CEMS システムを構築し、2 か月間の実家庭での運用を行った結果、非機能仕様である利用者に節電を促す役割を確認できた。

## Proposal of Community Energy Management System that Increases Power Generation Amount of Solid Oxide Fuel Cell depending on Power Saving

TAKAHIRO FUJIWARA<sup>†</sup> TOSHIHIKO TANAKA<sup>†</sup>  
KAI TAKASHIMA<sup>††</sup> SHIGEO KANEDA<sup>††</sup>

### 1. はじめに

近年、高効率の家庭用燃料電池として固体酸化燃料電池 (SOFC) の普及が進んでいる。しかし、SOFC は最大出力が 700W であるのに対し、一般家庭における 1 時間あたりの平均消費電力は 400W 程度にすぎず [1]、SOFC の能力を十分に活用できない。そこで、従来研究では、SOFC を設置した家同士で発電する電力を融通しあうことによって、SOFC の能力を十分活用する小規模な地域エネルギーマネジメントシステム (CEMS) を提案していた [2]。ただし、SOFC の発電能力を活用することに力点を置いたシステムであり、節電を促すという要素は希薄であった。

そこで、本稿では、利用者に節電を促すことを狙いとして、「電力消費を小さく抑えた家庭ほど得をする小規模 CEMS」の実現を目指す。そのため、「節約をすればするほど、その家の発電量が多くなる」制御構成を提案する。また、CEMS 内における省エネルギー化を目指す仕組みは、設計目標が非機能仕様となる。そこで、「利用者に節電を促す」をゴールとするゴール指向分析を用いた。上記の設計方針のもとに小規模 CEMS システムをシミュレーションで構築し、約 2 か月間、実家庭での運用を行った結果、非機能仕様である利用者に節電を促す役割を確認できた。

### 2. 従来研究と課題

#### 2.1 従来研究

従来研究で、燃料電池は発電した電力量とその発電・排熱の際に消費するガス量の関係を線形式で近似できることを明らかにした [2]。1 時間当たりの発電量を  $P_{\text{電力}}$  [kWh]、消費するガス量を  $S_{\text{燃料電池}}$  [kWh] とすると、以下の式が得られる [2]。

$$S_{\text{燃料電池}} = 1.52 \times P_{\text{電力}} + 0.4282 \text{ [kWh]} \quad (1)$$

また、1 時間当たりの発熱量を  $P_{\text{電力}}$  [kWh]、排出される熱量を  $S_{\text{熱量}}$  [kWh] とすると、以下の式が得られる。

$$S_{\text{熱量}} = 0.68 \times P_{\text{電力}} + 0.161 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

なお、式(1)、式(2)は 2016 年 3 月まで販売されていた旧型の SOFC に基づく。新型の SOFC についてのデータが得られなかったため、本研究では式(1)、式(2)を使用する。

以上 2 つの式より、消費電力から燃料電池が消費するガスの量及び排熱の際の熱量を推定できる。さらに、複数の燃料電池を並行して動作させる場合も、それぞれの燃料電池への発電量負荷は、どのように配分しても消費するガスの量は同じで、発電効率に影響がない。

この事実を活かし、SOFC を設置した家同士で SOFC が発電する電力を融通する小規模 CEMS と、それに対応し

<sup>†</sup> 同志社大学 <sup>††</sup> 同志社大学大学院

た HEMS（家庭用エネルギー管理システム）を併せて提案していた。また、SOFC の発電量を活用できていない場合に、HEMS を通じて電力消費をあえて促し、SOFC を最大限活用する仕組みであった。

## 2.2 従来研究の課題

従来研究のシステムは、前項で述べた通り、SOFC を最大限活用することに力点を置いていたため、省エネルギーを促す仕組みになっていなかった。

また、電力を融通する際に、具体的な金銭のやり取りのルールが存在しなかった。そのため、利用者に具体的な料金を示すことができず、CEMS 内の電力売買について具体的な金額で検証を行うことができなかった。

## 3. 提案手法

### 3.1 ゴール指向分析

本研究では、従来研究の課題を踏まえた上で、各家庭に節電を促す CEMS を実現するため、達成すべき要素を明確にするべきと考えた。本研究の目的は非機能仕様であるため、「CEMS 利用者に節電を促す」をゴールとし、D-Case [3] を用いたゴール指向分析を行った。以下の図 1 に D-Case を用いたゴール指向分析の結果を示す。

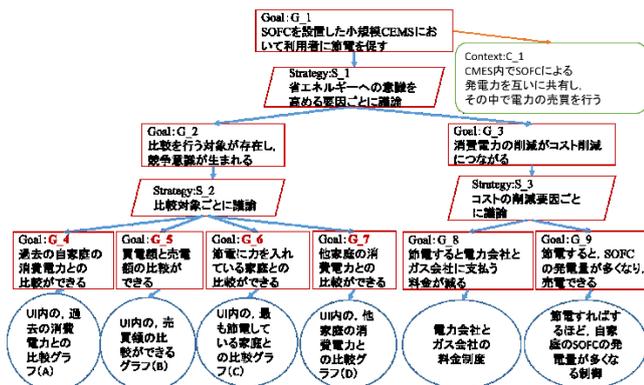


図 1 ゴール指向分析の結果

ゴール指向分析の結果、「各家庭の消費電力削減意識を高める」というゴールは、大きく分けると、「比較を行う対象が存在し、競争意識が生まれる」と、「消費電力の削減がコスト削減につながる仕組みが存在する」というゴールに分割できる。さらに、それぞれゴールを分割し、このゴールに基づいてシステムを提案する。

### 3.2 提案の概要

ゴール指向分析の結果である「消費電力の削減がコスト削減につながる仕組みが存在する」というゴールに基づいて、「節電している家庭の SOFC による発電量が多くなり、より多くの電力を他家庭に売却できる仕組み」を提案する。節電すればするほど、SOFC の発電量が増える仕組みとす

ることで、余剰電力が発生しやすくなり、他家庭に売却できる電力量が増える。つまり、節電している家庭がコストメリットを得る仕組みである。また、その仕組みを利用者に UI で伝えつつ、過去の自宅の消費電力との比較、他家庭の消費電力との比較などをグラフ化して表示する HEMS も併せて提案する。

## 4. 提案システム

### 4.1 CEMS の概要と料金制度

従来研究と同様、各家庭に 1 台ずつ SOFC を設置し、発電量から自宅の消費電力量を差し引いた余剰電力を家庭間で管理したうえで互いに融通しあう CEMS を前提とする。

まず、本研究では、従来研究で不明確になっていた CEMS 内における電力売買の際の料金負担制度を明確に定めた。発電した電力をまず自宅で消費し、余剰電力は他家庭に売却する。電力が不足する場合は他家庭の SOFC で発電した電力を買い取る。なお、すべての家庭の SOFC を最大限稼働させても電力が不足する場合は、不足分を電力会社から購入する。なお、関西電力の電力が 20 円/kWh 前後であるのに対し、SOFC によって 1kWh 発電するために必要なガス料金が約 10 円である。本研究では、中間を取り、家庭間で電力を売買する際の単価を 15 円と定めた。図 2 に CEMS 内での電力共有のイメージを示す。

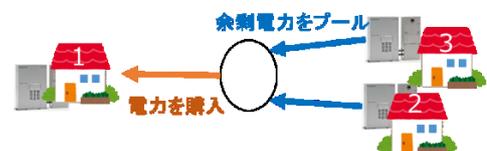


図 2 CEMS 内の電力共有

合計消費電力量に合わせて発電量を調節するため、全家庭の発電余剰電力量と不足する電力量は等しくなる。各家庭の発電余剰電力を各家庭に分配する際は、いったん余剰電力をすべて一カ所に集めてプールし、電力が不足している家庭がそこから電力を購入する。この際、発電量と消費電力量が等しいのでプールに電力量が余ることはない。そのため、すべての家庭の消費電力と SOFC の発電量を記録して発電余剰と不足する電力を求めることにより、他家庭から購入した電力量と、他家庭に売却した電力量を把握できる。その情報を用いて発電余剰を売却した家庭は金銭を受け取り、購入した家庭は金銭を支払う制度とする。プールから電力を購入する際、購入した分の電力量に単価 15 円を乗じた金額をプールに入れ、余剰電力をプールに入れた家庭が、プールに入れた電力量に単価 15 円を乗じた金額をプールから受け取るイメージである。本研究ではこの料金制度を用いてシステムの製作を行う。

## 4.2 SOFCの発電制御

本研究では、ゴール指向分析の結果を踏まえ、消費電力の削減を促すために、節電している家庭のSOFCがより多くの電力を発電する仕組みを提案する。

まず、各家庭のSOFCの発電量を $G[W]$ 、消費電力を $C[W]$ とし、 $C$ の係数を $L$ 、定数項を $A$ として、消費電力 $C$ が減るほどそれに反比例して発電量 $G$ が増加するという式(3)を仮定した。なお、戸数は $n$ 軒とし、 $k$ は1から $n$ までの整数とする。

$$G_k = -LC_k + A \quad (3)$$

これを $n$ 軒の家庭が存在する場合の合計の発電量 $\sum_{i=1}^n G_i$ について計算し、 $A$ を $n$ 、 $L$ 、 $C_k$ を用いて表す。そのうえで、 $G_k$ を負にならない範囲に制限すると $L$ は式(4)の範囲に限られる。

$$L \leq \frac{1}{n-1} \quad (4)$$

ここで、「節電している家庭のSOFCが多くの電力を発電する」という効果を高めることができるように式(4)の最大値をとり、式(3)に代入すると以下ようになる。

$$G_k = \frac{\sum_{i=1}^n C_i - C_k}{n-1} \quad (5)$$

本研究では、節電している家庭のSOFCがより多くの電力を発電する仕組みとして、式(5)に基づいた発電制御を行う。 $G_k$ から自宅の消費電力 $C_k$ を差し引いた電力 $G_k - C_k$ が他家庭に売却できる電力であり、自宅の消費電力 $C_k$ の値が小さくなれば、他家庭に売却することのできる電力が多くなる。なお、本研究では、この式(5)に基づき、戸数 $n$ を3としてSOFCの発電制御を行う。

なお、SOFCが発電できる電力は最大700Wであるため、式(5)を計算した結果、 $G_k \geq 700$ となる家庭が存在する場合は、発電電力に余剰のある他家庭のSOFCでカバーする。具体的には次のような制御を行う。 $G_k \geq 700$ となる家庭が $m$ 軒ある場合、それらの家庭のSOFCで賄えない電力が合計で以下の式ようになる。

$$\sum_{i=1}^m (G_i - 700) [W] \quad (6)$$

これを、発電電力に余剰のある他家庭のSOFCに均等に割り振る。その場合、発電電力の余剰のある家庭のSOFCの発電量は以下ようになる。

$$G_k = \frac{\sum_{i=1}^n C_i - C_k}{n-1} + \frac{\sum_{i=1}^m (G_i - 700)}{n-m} \quad (7)$$

同様の処理を、全ての $k$ について $G_k < 700W$ となるまで繰り返し行う。以上の発電制御を行うことで、各家庭の合計発電量と合計消費電力量は等しくなる。また、すべての $k$ について $G_k \geq 700W$ となる場合は、すべての家庭で700Wを発電する。

## 4.3 HEMS

本研究では、発電制御と併せて、ゴール指向分析の結果を踏まえ、CEMSの利用者に節電を促すためのHEMSを提案する。CEMSを利用している家庭にタブレット端末を設置して、その画面に節電を促すような情報を表示しておくことで、利用者に節電を促すことを目的とする。以下の図3に、タブレット端末に表示するUIを示す。

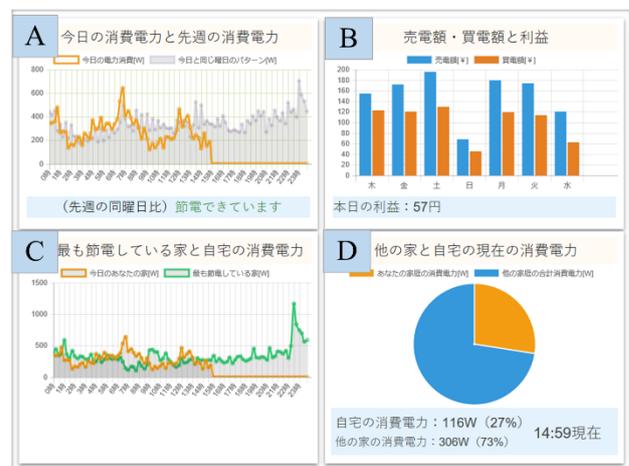


図3 HEMSのUI

次に、図1のゴール指向分析によって分割されたゴールと、図3のUIとの対応を表1に示す。

表1 UIと分割されたゴールの対応表

図1のゴール	図3の記号	表示内容
G_4	A	自宅の1週間前の消費電力との比較グラフ
G_5	B	過去1週間のCEMS内での電力売買額グラフ
G_6	C	1週間前同曜日に最も消費電力の少なかった家庭との消費電力比較グラフ
G_7	D	現在の3軒の消費電力のうち自宅が占める割合を表すグラフ

それぞれのグラフについて説明する。

グラフ A は 1 週間前の同曜日の消費電力推移と、当日の消費電力推移を表示し、比較することによって、1 週間前の自宅よりも節電しようという意識を高める役割がある。

グラフ B には、本研究で用いる発電制御による発電量  $G_k$  に単価を乗じた額を売電額、自宅の消費電力  $C_k$  に、単価を乗じた額を買電額として表示している。より節電への意識を高めるため、電力量として表示するのではなく、具体的な金額として表示している。また、下部には、売電額から買電額を減じた金額を表示している。これらの表示によって、節電している家庭の発電量が多くなり、多くの電力を売却できる仕組みになっていることを分かりやすくし、節電を促す役割がある。

グラフ C は、1 週間前の同曜日の 1 日間で、最も消費電力の少なかった家庭のグラフを「手本」として表示し、節電を促す役割がある。

グラフ D は、3 軒の家庭のうち自宅の消費電力がどの程度の割合を占めているかを表示することで、現在の自宅の消費電力が他家庭と比べて多いか少ないかを直感的に理解できるようにする役割がある。

## 5. 社会実験

### 5.1 概要

提案システム・UI が省エネルギーにつながるのか、そして省エネルギーへの意識が高まるのかを検証すべく、2017 年 11 月 16 日から翌年 1 月 19 日までの約 2 ヶ月間社会実験を行った。

本稿では、まず小さい規模での確認を行うため、3 軒で実験した。また、被験家庭 3 軒には、2 つのアンケート調査を行った。1 つ目は、実験途中に計 3 回行った UI に関する自由記述式アンケートである。2 つ目は実験終了の直前に行い、本稿のシステムが節電を促すために役立ったのかを調査するアンケートである。

### 5.2 実装システム

被験家庭は燃料電池を導入していなかったため、各家庭の実際の消費電力情報からシミュレーションで燃料電池の稼働状況、売電・買電額の導出を行う。具体的には、家庭の分電盤からリアルタイムの電流値を測定する。そして、サーバ内で線形近似式(1)、(2)を用い、各家庭に SOFC を設置したと仮定した場合の発電量、他家庭と売買する電力量などの算出を行う。また、シミュレーションをもとに被験家庭に設置したタブレット端末に表示する HEMS の UI を 1 分毎に更新する。

各被験家庭の消費電力量の測定は各家庭のブレーカーからクランプオンセンサを用いた。その電流値は被験家庭側の PC に CSV ファイルで保存され、FTP を利用して、サ

ーバに転送する。各家庭から転送されたデータを用いて C 言語のプログラムにより、シミュレーションを行う。そのデータを HTML, CSS, および JavaScript を用いて作成した Web 画面に反映する。被験者はその URL にタブレット端末でアクセスし、図 3 の UI を閲覧可能となる。以下の図 4 に実装システムの概要を示す。図 4-A は電流計測の様子、図 4-B は家庭に設置した HEMS を撮影したものである。

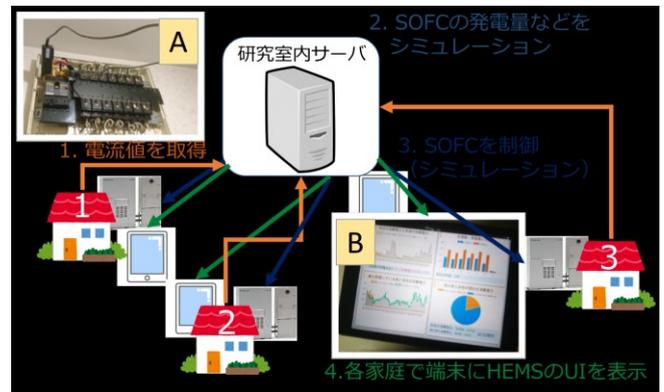


図 4 実装システムの概要図

### 5.3 測定データによる結果

約 2 ヶ月間実施した社会実験の結果を以下に示す。まず、3 軒それぞれの家庭の 1 ヶ月あたりの消費電力を、以下の表 2 に示す。

表 2 各家庭の消費電力量

	家 1	家 2	家 3
消費電力量[kWh]	672	243	338

以下の表に掲載している金額はすべて、2 ヶ月間の支払額の平均から算出した 1 ヶ月あたりの金額である。

表 2 の消費電力データより、どの家庭も SOFC を導入せず、電力会社から電力を購入したと仮定した場合の総支払額を以下の表 3 に示す。なお、関西電力の従量電灯 A の料金単価 [4]に基づいて算出した。また、SOFC を導入した場合と比較するため、ガスの基本料金も考慮する。なお、一般的な家庭のガス使用量を考慮し、大阪ガスの一般 B 料金 [5]を計算に用いている。

表 3 電力会社から電力を購入する場合の料金

	家 1	家 2	家 3
電気料金	18264 円	5628 円	8269 円
ガス基本料	1337 円	1337 円	1337 円
総支払額	19601 円	6965 円	9606 円

次に、SOFC のみを 3 軒に導入して、常時、SOFC で最大発電量の 700W を発電し、余剰電力を大阪ガスが約 8.6 円

/kWh で買い取る制度を利用したと仮定した場合の料金を以下の表 4 に示す。表 3 と同様に、表 2 の消費電力データに基づいて算出した。また、ガス料金については大阪ガスのガス得プラン マイホーム発電料金 [6] の 11 月、12 月、1 月料金に基づき、線形近似式(1)を利用して算出している。なお、基本料金と単価は家庭ごとに該当する料金プランを用いている。さらに、SOFC が発電する際に発生する副生成熱を活用できることを考慮し、ガス料金のうち、お湯を生成するために使用したコストは差し引いて掲載している。そして、表における実質支払額とは、支払額から大阪ガスへの買電によって受け取ることでできる金額を減じたものである。

表 4 SOFC のみを導入した場合の料金

	家 1	家 2	家 3
大阪ガスへ売電	867 円	2281 円	1887 円
電気料金	5417 円	117 円	1104 円
ガス料金	7766 円	7766 円	7766 円
実質支払額	12315 円	5601 円	6983 円

次に、SOFC に加えて本研究の CEMS を導入し、余剰電力の共有を行った場合の支払額を以下の表 5 に示す。計算方法は表 4 と同様である。なお、表 5 における売電額とは、発電した電力を他家庭に売却することで得られた金額から、他家庭から購入した電力の金額を減じた金額である。他家庭から購入した電力の方が多い場合は、売電額を負として示している。

表 5 SOFC と CEMS を導入した場合の料金

	家 1	家 2	家 3
売電額	-3367 円	2363 円	1004 円
電気料金	2300 円	69 円	518 円
ガス料金	6509 円	6974 円	6838 円
実質支払額	12175 円	4681 円	6352 円

次に、各家庭の消費電力と、大阪市の平均気温の推移を示したグラフを以下の図 5 に示す。

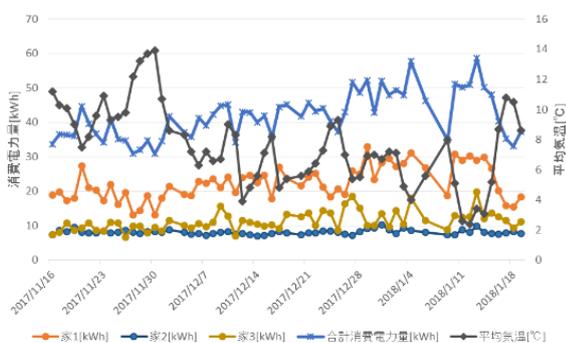


図 5 消費電力と気温の推移

## 5.4 計測データの考察

まず、表 3 の SOFC を導入していない場合比べて、表 4 の SOFC のみを導入した場合、各家庭でどの程度コスト削減効果があるのかを以下の表 6 に示す。

表 6 SOFC のみを導入した後のコスト削減効果

	家 1	家 2	家 3
コスト削減効果	7286 円	1364 円	2623 円

いずれの家庭でもコスト削減効果が認められるものの、コスト削減効果は消費電力の多い家庭ほど大きく、消費電力の少ない家庭では SOFC を導入することによるコストメリットが少ない。また、消費電力が多いほどコスト削減効果が高いため、節電に対する意識を低下させることも考えられる。

次に、表 3 の SOFC を導入していない場合比べ、表 5 の SOFC と CEMS の両方を導入した場合、各家庭でどの程度コスト削減効果があるのかを以下の表 7 に示す。

表 7 SOFC と CEMS 両方を導入した後のコスト削減効果

	家 1	家 2	家 3
コスト削減効果	7426 円	2284 円	3254 円

本研究の CEMS を導入することで、消費電力が最も少なかった家 2 のコスト削減効果が 1 ヶ月あたり 920 円、次に消費電力の少なかった家 3 のコスト削減効果が 631 円大きくなった。節電している家庭のコストメリットが大きくなることが確認できる。なお、消費電力の最も多かった家 1 についても、140 円コストの削減効果が大きくなっており、全体としても SOFC のみを導入する場合と比べてコストの削減効果が高まっている。よって、本研究の「節電している家庭の SOFC 発電量を増加させる構成」に効果があった。

次に、実験開始後の消費電力の推移について述べる。気温の変化が激しい季節であるため、平均気温の推移とともに消費電力の推移をグラフ化して掲載した。実験開始後の消費電力推移を示した図 5 から、本研究の CEMS と HEMS を導入したことによる消費電力の削減効果は認められず、むしろ消費電力が増加している。ただし、実験開始の 11 月から実験終了の 1 月にかけて平均気温が低下し、暖房器具の使用頻度が増加したことが影響したと考えられる。

以上より、節電により SOFC の発電量を増加させる CEMS 構成は、節電している家庭に対して SOFC を導入することのコストメリットを大きくする効果があった。しかし、気温の変化に勝って消費電力が減少するほどの大きな効果は認められなかった。

## 5.5 アンケート調査

本研究の CEMS と HEMS によって、被験者に節電を促すことができているかを確認するため、実験期間中に複数回アンケートをとり、A～D の画面について、感じたことをそれぞれ自由記述方式で調査した。さらに、実験終了時に各被験家庭から3名、計9名に対してアンケート調査を行った。あらかじめ、1つ目はA、2つ目はB、3つ目はC、4つ目はDのみが節電を促す表示になっている画面を作成し、これら全4通りの画面パターンを被験者に見せる。そして、被験者が4パターンそれぞれ、A～Dのどの画面によって最も節電を促されていると感じたかを調査し、どのような要因でその選択肢を選んだのかを併せて調査する。要因については、人間が行動を引き起こす要因とされる以下の表8の①～④までの4つ [7][8]のうち、最も強く感じたことを1つ選択する方法で調査した。

表8 人間が行動を引き起こす要因

行動要因	内容
①主観的規範	他の家庭の消費電力が自宅と比べて多いか少ないかを意識した
②行動制御感	与えられた情報から、自宅はまだ節電する余地があると感じた
③態度	電気料金の負担など経済的要因を意識した
④道徳的規範	二酸化炭素の削減の必要性など、社会的責任を意識した

さらに、A～Dそれぞれを単独で被験者に見せ、それぞれ節電を促すような表示になっている場合、表9のうち被験者がどのように感じるのかを調査した。

表9 アンケートの選択肢

選択肢	内容
I	強く節電しようと感じた
II	少し節電しようと感じた
III	あまり節電しようと感じなかった
IV	まったく節電しようと感じなかった

また、それぞれの結果についての考察は次章で述べる。

## 5.6 アンケートの結果

### 5.6.1 画面A (先週の同曜日より消費電力が多い時)

画面Aの表示が、図6のように、先週の同曜日よりも明らかに消費電力が大きくなっている場合、被験者がどのように感じているかを調査した。図6のようにAのみが節電を促すような表示になっている際、Aによって最も強く節電を促されていると回答した人数は4名、約44%であっ

た。以下にアンケート調査に使用した1つ目の画面パターン(Aのみが節電を促す表示になっている場合)を図6に示す。

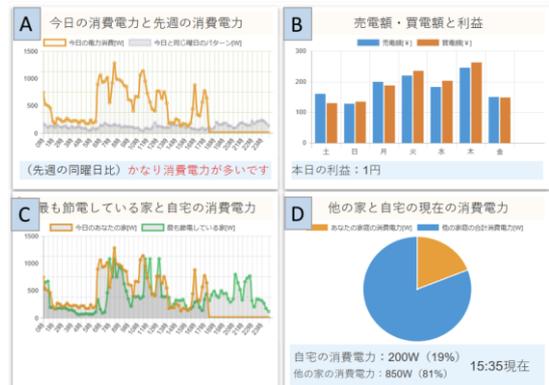


図6 画面パターン(1)

また、Aと答えた人に行動要因(①～④)を選んでもらった結果を図7に示す。さらに、A単独での表示を見て、表9のうち、どれを選択したかを、図8に示す。

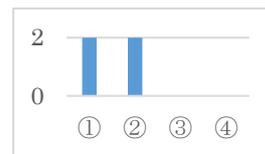


図7 行動要因

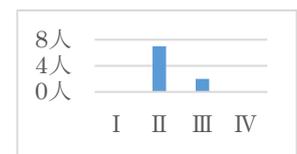


図8 A単独での節電意識

次に、実験中の自由記述アンケートから、Aについて得られたコメントを抜粋し以下に示す。

- 先週と比べ赤字で「かなり消費電力が多いです」とあるが寒くなったから仕方ない。圧力を感じる。
- 時間毎の消費電力から何が電力を多く消費しているか考えることができている。

### 5.6.2 画面B (買電額が売電額を上回っている時)

同様に、画面Bの表示について、買電額が売電額を大きく上回っている場合を調査した。Bのみが節電を促すような表示になっている際、Bによって最も強く節電を促されていると回答した人数は5名、約56%であった。同様に結果を図9、図10に示す。

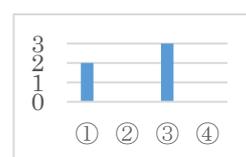


図9 行動要因

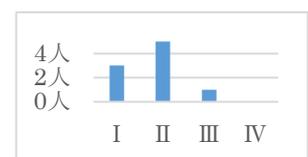


図10 B単独での節電意識

次に、実験中の自由記述アンケートから、Bについて得られたコメントを抜粋し以下に示す。

- 具体的金額で示されると心中穏やかでいられない。圧力を感じる
- 電気を売電したことがないので少し実感が湧きにくい。価格まで表示されているので数値的にはよくわかった。

### 5.6.3 画面 C (最も節電している家より消費電力多い時)

同様に、画面 C の表示について、最も節電している家庭と自宅の消費電力に大きな差がある場合を調査した。C によって最も強く節電を促されていると回答した人数は 8 名、約 89%であった。同様に結果を図 11、図 12 に示す。

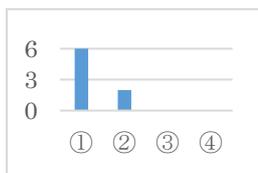


図 11 行動要因

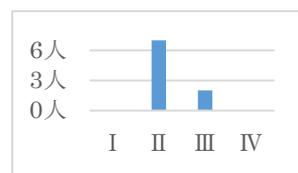


図 12 C 単独での節電意識

次に、実験中の自由記述アンケートから、C について得られたコメントを抜粋し以下に示す。

- 最も節電している家がどのような生活をしているか疑問。
- 意識しなくても他家と比較しているところが気になってしまうから効果的だと思う。負けていたら悔しい。

### 5.6.4 画面 D (現在の自宅の消費電力量が多い時)

画面 D について、他家庭よりも現在の消費電力が多い場合を想定して、調査した。D によって最も強く節電を促されていると回答した人数は 6 名、約 67%であった。同様に結果を図 13、図 14 に示す。

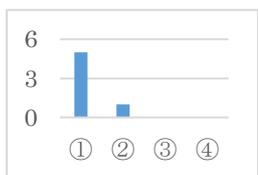


図 13 行動要因

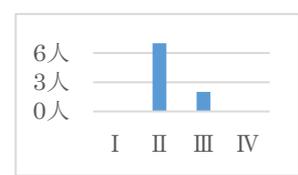


図 14 D 単独での節電意識

次に、実験中の自由記述アンケートから、D について得られたコメントを抜粋し以下に示す。

- 円グラフは一目で勝負が判明する。勝った、負けたの変化が面白い。暖房止めようと決心するきっかけが起る。
- 一番、目が行く。訴える力が大きい。
- 一番比較しやすくわかりやすい

### 5.6.5 画面全体について

最後に、実験中の自由記述アンケートから、画面全体について得られたコメントを抜粋し以下に示す。

- 自宅の消費電力と向き合うことができた。
- A と C において一週間前のデータと比較をしているが比較対象の環境（気温など）が揃っていない。
- 三週間経て見ることに飽きた。

### 5.7 アンケート結果の考察

まず、最も強く「節電しなければならない」と感じた UI に対する問いで、画面パターン (1) で「A」、画面パターン (2) で「B」、画面パターン (3) で「C」、画面パターン (4) で「D」を選んだ割合を図 15 にまとめる。

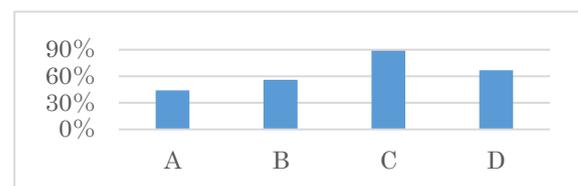


図 15 最も強く「節電しなければならない」と感じた UI に対する問いへの回答

#### 5.7.1 画面 A

A 画面単独では図 8 の通り、「少し節電しようと感じた」という回答が最も多かった。しかし、図 15 より、A のみが節電を促す表示をしているにも関わらず、A~D の 4 つを同時に見せ、最も強く「節電しなければならない」と感じた UI で「A」と回答した割合が約 44%と最も低かった。自由記述のアンケート調査から、先週とは気温などの条件が異なるうえ、先週の消費電力が当時と比べて極端に低いと、先週は留守であった、などと感じ、比較対象として適切ではないという意識が被験者に働いたと考えられる。

また、行動要因については、自家庭との比較によって節電の余地を意識すると想定していたが、図 7 の通り、主観的規範、「行動制御感」が同スコアであり、利用者は、A に表示されていないにも関わらず他家庭を意識している。以上より、画面 A については、利用者に対して明確に節電を促すことができているとは言えない。

#### 5.7.2 画面 B

B 画面単独では、図 10 の通り、「I」または「II」と回答したのは 9 名中 8 名である。また、図 15 より、最も強く「節電しなければならない」と感じた UI で「B」と回答した割合が約 56%と半数を超えた。

そして、行動要因については、「態度」のスコアが最も高く、次いで「主観的規範」のスコアが高かった。これは、自由記述のアンケートにもあるように、UI に具体的な金額を表示していることと、節電している家庭のコストメリッ

トがより大きくなることを意識しているため、経済的要因と、他家庭の消費電力を意識したと考えられる。以上より、画面 B が被験者にコストなどの経済的な要因と、他家庭の消費電力を意識させ、節電を促している。

### 5.7.3 画面 C

C 画面単独では、図 12 の通り、「II」の選択肢に 9 名中 7 名が回答した。また、図 15 より、最も強く「節電しなければならない」と感じた UI で「C」と回答した割合が約 89% であった。

また、行動要因については、「主観的規範」、つまり「他の家庭の消費電力が自宅と比べて多いか少ないかを意識した」が最も高いスコアとなった。自由記述アンケートにもあるように、具体的に他家庭の消費電力を把握できることから、他家庭を強く意識し、競争心を生み出すのだと考えられる。以上より、画面 C は他家庭との競争意識を生み出し節電を促している。

### 5.7.4 画面 D

D 画面単独では、図 14 の通り、「II」の選択肢に 9 名中 7 名が回答した。また、図 15 より、最も強く「節電しなければならない」と感じた UI で D と回答した割合は約 67% であった。

また、行動要因については、「主観的規範」、つまり「他の家庭の消費電力が自宅と比べて多いか少ないかを意識した」という回答が最も高いスコアとなった。画面 C と同様、自由記述アンケートから、競争心が芽生えていることが読み取れる。リアルタイムの消費電力で比較を行い、円グラフという視覚的にわかりやすい表示を行うことでそのような意識を生み出す効果があると考えられる。以上より、自家と他家庭の円グラフでの割合の表示は、節電を促している。

### 5.7.5 アンケート結果全体について

以上の考察により、図 1 のゴール指向分析に基づく図 3 の UI のうち B, C, D は利用者に節電を促すために役立っているといえる。ただし、A については気温や、在宅か留守かなどの条件の違いを全く考慮できておらず、比較対象が適切でないことから、節電を促すことができなかった。さらに、自由記述アンケートで HEMS への「飽き」を指摘する意見があった。この「飽き」に対してどのような対策を行うかも今後の課題である。

## 6. 考察総括

本稿では、SOFC 未導入の場合、SOFC のみを導入した場合、SOFC に加えて本研究の CEMS を導入した場合の各家庭の支払いコスト比較を行った。その結果、本研究の CEMS

を導入することによって、消費電力の少ない家庭のコスト削減効果が、CEMS を導入しない場合と比較して大きくなることを確認できた。

実験中と実験終了直前のアンケート調査、その考察を通じ、本研究の UI が利用者に対して節電を促していることを確認できた。しかし、HEMS の UI では、先週同曜日や、他家庭との比較において、気温や在宅かどうかなどの条件を考慮できていない。そのため、同じ条件下での比較ができず、節電を促せていないという課題がある。

## 7. まとめ

本研究では、節電を促すことを目的として、ゴール指向分析を用い CEMS の設計を行った。具体的には、節電するほど SOFC の発電量を増加させる構成を、数式を定めて構築した。さらに、余剰電力の大きさに応じて収入を得られる料金制度も定めた。その上で、実際に社会実験を行った。社会実験の結果から、本研究の CEMS を導入することによって節電している家庭のコストメリットがより大きくなることを確認できた。さらに、アンケート調査の結果、本研究のシステムが、利用者に節電を促していることを確認できた。

一方、HEMS は、気温などの条件を考慮した表示になっていないという課題がある。この課題を改善することで、より節電を促すことのできるシステムを提案できる可能性がある。

## 参考文献

- [1] 電気事業連合会, “日本の電力消費,” .  
<http://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyoku/japan/>, [参照: 2017-06-02].
- [2] 金田重郎, 井上裕, 柴野直人, “家庭用燃料電池 (SOFC) 導入効果に関する近似分析,” ,  
<https://doors.doshisha.ac.jp/duar/repository/ir/16252/019015020003.pdf>. [参照: 2017-06-02].
- [3] D-Case 委員会, “D-Case の必要性,” .  
<http://www.dcase.jp/p/jintro2.html>. [参照:2017-10-16].
- [4] 関西電力, “従量電灯 A,” ,[https://kepc.co.jp/ryokin/menu/dento\\_a](https://kepc.co.jp/ryokin/menu/dento_a). [参照:2017-09-04].
- [5] 大阪ガス,  
<https://www5.osakagas.co.jp/custserv/ryokinhyo1001.html>. [参照:2017-11-12].
- [6] 大阪ガス, “GAS 得プラン マイホーム発電料金,” ,[http://home.osakagas.co.jp/price/menu/profitable/p\\_01.html](http://home.osakagas.co.jp/price/menu/profitable/p_01.html). [参照: 2017-09-04].
- [7] I. Ajzen, “Behavioral Interventions Based on the Theory of Planned Behavior,”  
<https://people.umass.edu/ajzen/pdf/tpb.intervention.pdf>. [参照: 2018-01-18].
- [8] 環境省, “CO<sub>2</sub>削減行動を促進するインセンティブ付与の仕組みの検討について,”  
[https://www.env.go.jp/earth/house/conf/hems\\_h25\\_01/mat03.pdf](https://www.env.go.jp/earth/house/conf/hems_h25_01/mat03.pdf). [参照: 2018-01-18].