

# 再生可能エネルギーを活用したスマートハウス に関する課題と展望

## 境 新 一

### 1. はじめに

#### 1-1 問題の所在 および 研究の目的

我が国では、2011年3月に発生した東日本大震災と原子力発電所事故を契機に、分散型電源を導入する動きが活発化している<sup>1)</sup>。電力会社から送電される電力を可能な限り使用しない生活スタイルが志向されるようになった。省エネルギー意識の広がりにより、太陽光発電システムと家庭用蓄電池などを組み合わせて家庭の消費電力を抑えるスマートハウスの認知度も向上してきた。これを受けて現在、住宅各社は新製品の開発に注力している。

本稿では、再生可能エネルギーの開発経緯と再生可能エネルギー活用型のエコロジー住宅、特に今日注目されているスマートハウス (smart house) に関して、その普及に関する課題と展望を具体的な企業の取組事例を交えて論じたい<sup>2)</sup>。

特に、積水ハウス(株)が、2011年8月に開発した世界初の3電池(太陽電池・燃料電池・蓄電池)の組み合わせによるスマートハウスである「グリーンファーストハイブリッド」<sup>3)</sup>について、検証することとした。

#### 1-2 基礎的概念の整理

##### 1-2-1 新エネルギー / 再生可能エネルギー開発の背景と動向

再生可能エネルギー (renewable energy) とは、自然環境の中で繰り返し

起こる現象を利用して持続的に利用が可能な非枯渇性のエネルギー源をいう<sup>4)</sup>。

化石エネルギーに対し、太陽光、太陽熱、水力、風力、バイオマス、地熱、波力、温度差などを指し、自然エネルギーともいう。

これを発電に利用すると、太陽光発電、太陽熱発電、太陽熱利用、パッシブソーラー、バイオマス発電・廃棄物発電、バイオマス熱利用・廃棄物熱利用、バイオマス燃料・廃棄物燃料製造、風力発電、水力発電、地熱発電、地熱利用、雪氷、温度差エネルギー、海洋温度差発電、波力発電、潮汐発電、潮流発電となる。

#### 1-2-2 日本のエネルギー関連の法律

ここでは「エネルギーの使用の合理化に関する法律」および「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」について言及する<sup>5)</sup>。

##### (1) 「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)

2度にわたるオイルショックを契機として、省エネルギー問題は世界的な問題として取り上げられるようになった。これを受けて1979年に「エネルギー使用の合理化に関する法律(省エネ法)」が、翌1980年に「省エネルギー基準」が制定された。同法の目的は「内外のエネルギーをめぐる経済的社会的環境に応じた燃料資源の有効な利用の確保」と「工場・事業場、輸送(2005年改正時に導入)、建築物、機械器具についてのエネルギーの使用の合理化を総合的に進めるための必要な措置を講ずる」ことなどを目的に制定された。

一般的に、エネルギーといえは全ての燃料、熱、電気を指して用いられるが、省エネ法におけるエネルギーとは、燃料、熱、電気を対象としている。従って、廃棄物からの回収エネルギーや風力、太陽光等の非化石エネルギーは対象とならない。省エネ法が直接規制する事業分野としては、「工場等」(工場または事務所その他の事業場)、「輸送」、「住宅・建築物」、「機械

器具”の4つであり、その事業者が規制の対象とされる。

(2) 「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(新エネルギー等電気利用法)

我が国の石油依存度の低下傾向が停滞する中、中東依存度は高まっていること、さらに原子力発電所立地におけるリードタイム長期化等の諸情勢の変化を踏まえると、風力、太陽光等の新エネルギーの利用を抜本的に促進し、エネルギー源の多様化を図ることは緊急の課題となっていた。また、地球温暖化対策の計画的な推進・実行が望まれている中、環境負荷の低い新エネルギーの利用促進は、環境保全にも寄与することから制度化が検討されてきた。

当該状況の下、新エネルギー等のさらなる普及のため、電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務付けることにより、新エネルギー等の利用を推進していくため「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(新エネルギー等電気利用法)が2002年6月に公布され2003年4月に施行された。

新エネルギー / 太陽光発電や風力エネルギーなどの利用を促すため、再生可能エネルギー利用割合基準 (PRS: renewables portfolio standard) も設けられた。

### 1-2-3 燃料電池の仕組み

燃料電池の仕組みは、簡単に言えば、水の電気分解の逆反応によって電気を得るものである<sup>6)</sup>。燃料電池は、英国での1839年の発電実験成功に始まり、1965年ゼネラルエレクトリック(米国)によって開発され人工衛星に搭載された1kW級のものが実用化の第1号である。その方式は、固体高分子形燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC)であった。固体高分子形燃料電池は、常温で稼働できることから自動車などの移動体用電源として適しており、1993年に固体高分子形燃料電池搭載のバスがカナダ

の巴拉ードパワーシステムズ社（固体高分子形燃料電池のカナダの世界的企業）により試作され、1995年以降、燃料電池を搭載した自動車の開発が増加し始めた。2002年には、トヨタ自動車、本田技研工業が燃料電池自動車のリース販売を開始した。また、乗用車やバスの他に小型のポータブル燃料電池発電機や携帯電話の電源としての開発が行われている。一方、定置型の分散電源用途として、固体高分子形燃料電池を使用したコージェネレーションシステムが家庭用やホテルなどの施設用に開発が進められている。

#### 1-2-4 太陽光発電の特徴

太陽光電池とは、光を電気信号に変換する光電素子を利用し、太陽光が当たったとき発生する電力をエネルギー源として使用できる電池を指す。モジュール（パネル）に照射された光のエネルギーは直流電気であり、これを家庭用電化製品に使えるようにインバータ（パワーコンディショナ）によって交流電気に変換する。また、バッテリー（蓄電池）によって、昼に太陽光発電によって創られた電気をためて置き、夜に使用することができ、住宅の独立型システムが可能となる。

太陽光発電とは、「光エネルギー」から直接「電力」を生み出す構造となっているため、その流れの中間要素（システム・構造など）が不用となるとともに、今後の研究開発によっては、「エネルギー変換効率」の大幅向上が期待される発電方式といえる<sup>7)</sup>。太陽光発電の長所は以下の通りである。

##### （1）光エネルギーを直接電力に変換

現時点での「エネルギー変換効率」は、他の発電システムなどと比較すると低効率である。ただ、あくまで現時点での「技術的な課題」であって、「発電の仕組み」としては発展の余地がある。他の機械的な発電方式の場合、元のエネルギー（火力など）を一旦別の要素に置換して（蒸気など）



さらにそのエネルギーによって発電機を動かす仕組みを持つものが多く、元のエネルギーが途中で失われていく。

## (2) 廃棄物が不発生

最大の長所が、発電に際して「廃棄物」が発生しない点である。他の発電システムでは、何らかの「廃棄物」や「副産物」が発生する。「火力発電」では、「排気ガスの発生」、「原子力発電」では「核廃棄物」が大きな課題として存在する。また「風力発電」においては、「低周期音」「振動波」が発生する。これに対して、太陽光発電は、発電の結果発生する要素が「無い」ことが最大の長所、特性といえる。

## (3) 枯渇しないエネルギー

「太陽光」は、枯渇することの無いエネルギーとして考えることができる要素である。地球が存在している中で太陽は枯渇しないエネルギーといえる。昼夜が存在し、曇りなどの気象条件によって地上に太陽光が届かない状況は存在するが、基本的には年中「地球」には太陽光が照射されているため、「宇宙空間」での発電などを考えると、常にエネルギー資源が供給されている発電システムといえよう。

## (4) メンテナンスが容易な発電システム

太陽電池自体の耐用年数が約20年と比較的寿命が長いことに加えて、発電構造が非常に単純明快（簡素）なものであることから、他の発電システムと比較して容易にメンテナンスが可能な発電方法となる。

一方、太陽光発電の短所としては以下の通りである。

### (1) 発電効率の変動

太陽光発電の大きな特徴として「発電効率」が変動しやすいという要素がある。“変動”する条件としては大きく3つの要素が存在する。

#### (a) 天候による変動

太陽光発電は「天候」によって、大幅に発電量が変化する。晴天時と比較して「曇り・雨」などのときには発電量が低下する。また、「夜間」や

「積雪状態」では発電ができない。

(b) 設置環境による変動

太陽光発電の場合「太陽光の入射方向」などによって発電効率が異なる。最も発電効率が高くなるのが「真南方向に傾斜角30度」で太陽光パネルを設置した場合である。ゆえに、設置可能な屋根などの方向や傾斜角度などが条件に適しているかどうかで、発電量が大きく異なる。

(c) 「温度」による変動

太陽電池はその性質上、「高温下」では発電効率が低下する特性がある。単純に考えれば同じ太陽光照射時間であれば、「真夏」よりも「冬」のほうに発電量が多くなるとも考えられる。ただ、実際には、「太陽光の照射時間」と「気温」の複合的な組み合わせによって発電量が決まる。

(2) 太陽光発電システムの導入コスト～

一般的に、「太陽光発電システム」の「長所・短所」に関しては基本的には「相対的」な比較で生み出される要素であり、絶対的に判断する要素ではない。そこで「発電システム」を全般的に比較してみると、「火力発電・水力発電・原子力発電・地熱発電・波力発電」などはコスト上、個人や一企業でも導入できるものではない。

これに対して、「太陽光発電システム」は個人で購入できる範囲のコストとなるため相対的に「導入コストとしては安い発電システム」と位置づけられる。

1-3 日本の省エネルギー基準の現況 - 家電製品および住宅の場合 -

1-3-1 トップランナー制度

家電製品の効率向上の要因のひとつとして、トップランナー制度があげられる。この制度は、省エネ法における機器の省エネルギー基準設定の考え方であり、省エネ法で指定するものの機器の省エネルギー基準を、各々の機器において、エネルギー消費効率が現在商品化されている製品のうち

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

図表 1 トップランナー制度と省エネルギー

機器名	エネルギー消費効率の改善(実績)	内訳
テレビジョン受信機(ブラウン管テレビ)	25.7%(1997→2003年度)	年間消費電力量(140kWh→104kWh)
ビデオテープレコーダー	73.6%(1997→2003年度)	消費電力(4.55W→1.20W)
エアコンディショナー(ルームエアコン)※	67.8%(1997→2004冷凍年度)	COP(3.01→5.05)
電気冷蔵庫	55.2%(1998→2004年度)	年間消費電力量(647.3kWh→290.3kWh)
電気冷凍庫	29.6%(1998→2004年度)	年間消費電力量(524.8kWh→369.7kWh)
ガソリン乗用自動車※	22.8%(1995→2005年度)	燃費(12.3km/l→15.1km/l)
ディーゼル貨物自動車※	21.7%(1995→2005年度)	燃費(13.8km/l→16.8km/l)
自動販売機	37.3%(2000→2005年度)	年間消費電力量(2,617kWh→1,642kWh)
蛍光灯器具※	35.7%(1997→2005年度)	ルーメン/ワット(63.1lm/W→85.6lm/W)
電子計算機	99.1%(1997→2005年度)	ワット/メガ演算(0.17→0.0015)
磁気ディスク装置	98.2%(1997→2005年度)	ワット/ギガバイト(1.4→0.0255)
複写機	72.5%(1997→2006年度)	消費電力量(155Wh→42.7Wh)
電気便座	14.6%(2000→2006年度)	年間消費電力量(281kWh→240kWh)
ガス温水機器(ガス瞬間湯沸器・ガスふろがま)	5.5%(2000→2006年度)	熱効率(77.7%→82.0%)
ガス調理機器(こんろ部)	15.7%(2000→2006年度)	熱効率(48.3%→55.9%)
ガスストーブ	1.9%(2000→2006年度)	熱効率(80.9%→82.4%)
石油ストーブ	5.4%(2000→2006年度)	熱効率(78.5%→82.7%)

※を付した機器については省エネ基準が単位当たりのエネルギー消費効率(例:kWh/l)で定められており、※を付していない機器についてはエネルギー消費量(例:kWh/年)で定められている。上表中の「エネルギー消費効率の改善」は、それぞれの基準で見た改善率を示している(例:10km/lが15km/lになれば50%改善とし、100km走った場合の燃料消費量10リットルが6.7リットルに33%改善という考え方はない)、10kWh/年が5kWh/年となれば50%改善としている。

出典：資源エネルギー庁 『日本のエネルギー 2010』

最も優れている機器の性能以上にするというものである。この方式は、我が国のエネルギー消費機器の効率改善に大きな成果をあげている(図表1)。

### 1-3-2 U値, C値, Q値の定義と役割

住宅の気密度を測る指標としてU値, C値, Q値がある<sup>8)</sup>。これらにつき以下、定義と役割を簡潔に述べたい。

#### (1) U値(旧 K値): 熱貫流率

定義：壁の両側の空気温度に1度の差があるときに、単位時間あたりに壁1m<sup>2</sup>を通過する熱量。

床や壁, 天井, 窓などの部位から, m<sup>2</sup>あたり, 1時間に放出する熱量で, この各部位の数値にそのままその面積をかけると, その部位全体からの熱損失量が求められる。外壁や天井などの各部位の断熱性能を数的に表したものである。

(2) C 値：隙間相当面積係数

定義：気密性能の精度であり，家全体の隙間の量を延べ床面積で割った数値。

この数値と換気量で換気回数を求め，この換気回数に室内容積と空気比熱0.3をかければ，隙間や換気から逃げる熱量が解る。隙間相当面積とは，外界と断熱で遮断された室内空間の全容積（小屋裏・吹抜け・基礎断熱時の床下を含む）を  $h=2.6\text{m}$  で割った値であり，（実質，延床面積）の  $1\text{m}^2$  当たりにある隙間を表す数値。単位は， $\text{cm} / \text{m}^2$ 。値が小さいほど気密性能が高いことを表す。気密測定器を使用して1棟ごとに測定する。

(3) Q 値：熱損失係数

定義：家全体から放出される熱の総熱損失量を延床面積で割った数値。

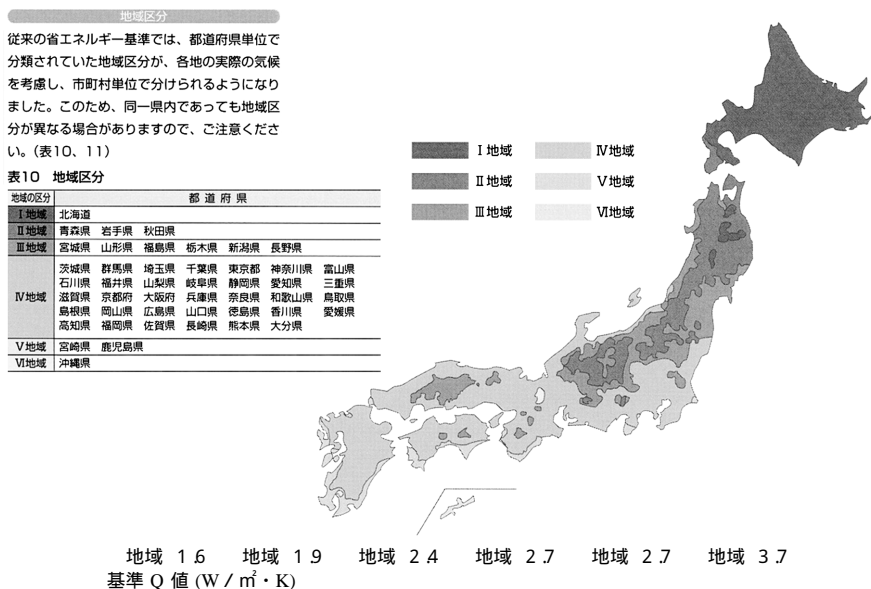
Q 値が解れば，冷暖房に使用する熱量を特定出来る。U 値と C 値を求めることにより，Q 値が計算できる。住宅の断熱性能を数値に表したものであり，値が小さいほど断熱性能が高いことを表す。単位は， $\text{Kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$  または， $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  で表す。単位の違いにより Q 値を小さく見せることが可能なため，注意を要する。

1-3-3 次世代省エネルギー基準と地域区分

2度にわたるオイルショック，省エネ法や省エネルギー基準の制定後も経済の発展と国民の生活水準の向上によってエネルギーの消費量は予想以上に増加し続けた。最後に地球規模の温暖化が世界的な問題として取り上げられるようになった。

1997年12月に京都で開催された「気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)」において，我が国をはじめとする先進諸国における温室効果ガスの排出量の削減目標を盛り込んだ議定書が採択された。これを背景として，我が国においては1999年3月に新たな「住宅の省エネルギー基準」(通称

図表 2 次世代省エネルギーの基準 Q 値と地域区分



出典：東京都港区役所および（財）建築環境・省エネルギー機構（IBEC）の資料による。

「次世代省エネルギー基準」が告示された。

次世代省エネルギー基準は「建築主等及び特定建築物の所有者の判断基準」と「設計、施工及び維持保全の指針」の2つからなっている。「建築主等及び特定建築物の所有者の判断基準」は住宅全体の省エネルギー性能に関する基準値で、「設計、施工及び維持保全の指針」は具体的に外壁、窓などの各部位の基準が定められており、いずれかにのっとって設計されれば、その住宅の省エネルギー性能は基準を満たすものと考えられる<sup>9)</sup>（図表2）。寒冷地になるほど、Q 値（C 値も同様）は小さくなる。

#### 1-4 これまでの検証結果の総括

筆者は、本テーマに関連して、これまでに省エネルギー住宅、エコロジーハウス、水素燃料電池、太陽電池等に関する検証、論考としては以下の

研究・報告を行ってきた。

- (1) 「知財産としての燃料電池システムの価値評価 - 課題と展望 - 」  
『FC EXPO 2009 ~ 第5回 [国際] 水素・燃料電池展 大学・国公立  
研究所による研究成果発表フォーラム』2009年2月
- (2) 「太陽光電池システムの意義と課題 - 自然要因と経済要因による検  
証 - 」  
『PV EXPO 2010 ~ 第3回 [国際] 太陽電池展 大学・国公立研究所  
による研究成果発表フォーラム』2010年3月
- (3) 「省エネルギー住宅の未来 - 太陽光発電システムからみた課題と展  
望 - 」  
『PV EXPO 2011 ~ 第4回 [国際] 太陽電池展 大学・国公立研究所  
による研究成果発表フォーラム』2011年3月
- (4) 「再生可能エネルギーを活用したエコロジー住宅の課題と展望 - 経  
済と環境の視点 - 」  
『FC EXPO 2012 ~ 第8回 [国際] 水素・燃料電池展 大学・国公立  
研究所による研究成果発表フォーラム』2012年3月

ここでは、上記(1)~(3)の内容について総括したい。

- (1) 「知財産としての燃料電池システムの価値評価 - 課題と展望 - 」  
『FC EXPO 2009 ~ 第5回 [国際] 水素・燃料電池展』2009年2月<sup>10)</sup>  
地球環境がおかれている現状をみると、今日、燃料電池は次世代の省エ  
ネルギー型自動車の動力源や家庭向けコージェネレーション用途に実用化  
が期待され、1998年以降、特許出願が急激に増加しているといえる。  
当該報告では次世代エネルギー、燃料電池システムの知的財産の側面に  
注目し、その価値評価に関わる課題整理と今後を展望することを目指した。  
具体的には、次の通りである。

燃料電池の技術面および経済面での価値評価

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

燃料電池の本体および補機を含めた燃料電池システムの効率性，耐久性，低コストを測定する意義を理解し，技術と経済の両面から価値評価を行い，燃料電池システムの評価に関する課題の解明を試みた。

燃料電池に関する研究については，2008年の日本公益学会（第9回全国大会，早稲田大学），国際戦略経営研究学会（第1回全国大会，中央大学）にてとりあげる機会を得た。燃料電池システム，その知的財産としての価値を技術と経済の両面から検証することによって，より客観的かつ明確な価値評価および燃料電池の早期普及に資することを目指した。

### 燃料電池開発の進展が社会に与える影響

燃料電池の進展が社会における影響，今後の展開を検討し，最終的には燃料電池を活用したライフデザインのモデルを提示することを試みた。

本報告では，燃料電池の技術的側面での価値評価，および，経済的側面での価値評価について，文献・データ（公開情報ならびに独自収集情報）により検証した。

特に，経済的側面での価値評価については，具体的には，首都圏のいくつかの家庭の光熱費データを収集し，可能な範囲で試算を行い，家庭での光熱費の調査および試算をもとに，従来通り燃料電池を使用しない家庭の場合（電力会社の供給する電気のみ使用）および燃熱費等の試算を比較した。

考察および結論は以下の通りであった。すなわち，燃料電池の技術評価および経済評価の双方での評価が高まることにより，消費者が利益を享受する。家庭での燃料電池の使用は，設置の際に必要なハードの費用，初期費用を考慮すると，国からの補助金があっても，未だ赤字である。これが今後5～7年後に黒字化することになれば，燃料電池の普及は加速すると見込まれる。

## (2) 「太陽光電池システムの意義と課題 - 自然要因と経済要因による検証 - 」

『PV EXPO 2010 ～第3回 [国際] 太陽電池展』2010年3月<sup>11)</sup>

当該発表では、今日急がれる新エネルギー開発のうち、太陽光発電システムについて自然要因と経済要因の両方から意義と課題を整理し、併せてメーカー商品事例の検証も試みた。

太陽光発電の長所・短所を総括した上で、太陽光発電の留意点としては以下の項目があげられる<sup>12)</sup>。

- (1) 太陽光発電システムは設置環境により発電量が異なる。太陽電池モジュール設置場所は同一面、同一勾配の屋根への設置が理想とされている。屋根形状により分割設置する場合、発電量の低下が生じる。
- (2) 太陽光発電モジュールを設置する屋根の方位は真南が理想である。傾斜角 30°の場合、南に設置した場合を 100% の発電量とすると、東・西それぞれが約 87%、東南・西南それぞれが約 96% の発電量になる。北は約 40% にとどまり、設置は避けるべきである。
- (3) 太陽光発電を設置する屋根の勾配の理想角度は 30°前後である。太陽光発電モジュールを設置するなら、屋根の勾配は 30°前後が望ましい。また、地域によっても太陽光の角度が変わるため、北海道は 40°前後、沖縄では 10°前後が最適な勾配となる。
- (4) 太陽光発電システムが影の影響を受けない環境が最適である。木や電柱などが周辺にある場合、方角によっては影の影響を受け、発電量が低下することがある。
- (5) 月間予測発電量は季節によって変化する。季節に応じて太陽光からの発電量も変化する。気候・立地、設置条件などにより、実際の発電電力とは異なる。また、気温の違いにより、発電電力損失は 10～20% 程度の変動がある。
- (6) 朝・昼・夕方太陽光の発電量が異なる。一日のうちの太陽光発電量は昼の 12 時頃が最大となる。
- (7) 全国各地、各地区によって日射量は異なり、最大で約 17% の差と



なる。

- (8) システム自体の発電ロスがある。電気配線、太陽電池ガラス表面の汚れ、逆流防止ダイオードの損失により、約5%の太陽光発電が低下する。また、パワーコンディショナ(接続箱を含む)による損失で約10%の太陽光発電が低下する。モジュールの温度上昇による損失として、約10~20%の太陽光発電の低下が見られる。

考察および結論としては、太陽光発電市場の拡大を図る要素は3つ存在することがあげられる。

第一に、コスト削減である。生産から設置に関わる必要なコストを相乗効果によって抑える。太陽電池(モジュール)メーカーと住宅メーカーの連携も重要となる。これは、経済産業省「ソーラー住宅普及促進懇談会報告書」に同様の示唆がある<sup>13)</sup>。

また、モジュールサイズの標準化により、モジュール交換や施工が容易になる反面、モジュールメーカー各社は他社製品との差別化が難しくなり、自社の事業戦略に大きな影響を与えかねない。しかし、各メーカーの仕様の違いが、架台など部材の種類が増加、周辺機器やシステム全体の価格を押し上げていると指摘する意見もある。システム標準化によるコスト削減は、今後の普及拡大に大きく影響する。

第二に、システム・インテグレータの事業開発である。他の機能や機器、サービスに太陽光発電の機能やメリットを内在化させることにより、ユーザーの導入しやすい条件を創出することも有効である。例えば、太陽光発電で得られた電力に基づくグリーン電力証書取引がある。

第三に、太陽電池の技術革新に伴う用途開拓である。住宅用や大規模施設用以外に、中小型の太陽電池がすでに街路灯や交通標識などの電源として用いられ、LEDの普及拡大による相乗効果で導入が進んでいる。今後、フィルム状に加工された薄膜太陽電池は、場所や形状を選ばずに設置可能

であり、カラーデザインなどの意匠性を活かした用途も開拓できる点で注目されよう。

### （3）「省エネルギー住宅の未来 - 太陽光発電システムからみた課題と展望 - 」

『PV EXPO 2011 ~ 第4回 [国際] 太陽電池展』2011年3月<sup>14)</sup>

本報告は、2010年に続き、我が国で開発が急がれる太陽光発電システムからみた省エネルギー住宅の未来を、日本および海外の住宅産業の開発事例から検証しその課題と展望を試みた。

省エネルギー性と快適性を両立する住宅とは何か。世界ではより高断熱・高気密を追求した住宅づくりが試みられている。その中でも、究極のエコ住宅として最近、良く聞くのがスウェーデンを発祥とする「無暖房住宅」である。断熱性能・気密性能を限りなく高めることで、冬でも暖房器具がなくても生活できる住宅が実現可能だといわれている。

例えば、私たち人間は80Wの電球と同じ熱量を発散するため、熱ロスがほとんど無い住宅でなら部屋の中に何人かいればそれだけで暖かく、家電製品も熱を発散させているので冬でも暖房せずに生活できる。

夏も一度冷やすと熱が逃げないため、エアコンの消費電力も抑えられる。これからのエコ住宅は高気密・高断熱を基本の性能にする事で省エネルギーと快適さを両立していかなければならない。ただ、気候風土の異なる北欧の高気密・高断熱性能の優れた建物を私たちの住む高温多湿の気候風土でもある日本にもちこむだけでは様々な弊害が起こりうる可能性が考えられる。単に高気密・高断熱住宅をセールスポイントにしている住宅会社には、上記の点に配慮した高気密・高断熱住宅を検討される事が望ましい。

上記の(1)～(3)のいずれも具体的な事例、データにもとづき検証することを試みた。全体のフレームワークとしては、自然要因と経済要因などの複数の要因、要素の視点から対比して検証を試みた。

## 1-5 本研究の概要とフレームワーク

本研究においては、日本での深刻な電力・エネルギー危機や、地球温暖化問題などを背景に、ICT(情報通信技術)と電力システムを連携させ、「経済的で、信頼性の高い電力供給」や「省エネルギー/節電」などを実現する次世代電力網「スマートグリッド」への関心が国際的に高まり<sup>15)</sup>、各国で取り組みが展開されていることを前提として展開する。

スマートハウスは、ICT を活用して住宅を取り巻くアプリケーションを統合的に制御する取り組みであり、米国では、スマートメーターの設置や監視制御機器に関する標準化も進められており、日本でもその動向が注目される。住宅とエネルギーに関わりから、以下の3点が重要となる。

「省エネルギー」(エネルギー消費の削減)

「創エネルギー」(再生可能エネルギーなどによるエネルギー生産)

「蓄エネルギー」(蓄電池や電気自動車のバッテリーなどを利用したエネルギー貯蔵)

図表3 本研究におけるフレームワーク



本稿のフレームワークとしては、上記の「省エネルギー」、「創エネルギー」、「蓄エネルギー」の項目に着目し、経済・経営、環境、快適などの視点から検証するものである（図表3）。

## 2. エコロジー住宅と省エネルギー住宅

### 2-1 エコロジー住宅の特徴

エコロジー住宅とは、太陽熱や太陽光、自然の風や地熱などを活用し、室内を快適にする住宅を指す<sup>16)</sup>。光熱費を削減できるだけでなく、自然を活用して、快適性が得られる場合もある。総合的に地球環境に配慮した省エネルギー住宅、省資源住宅といえる。

ただし、エコロジー住宅として留意すべき点は、設備に大きく依存して行なう場合は、真のエコロジー住宅とはいえないことである。特に、深夜電力を利用する場合、費用は安価になるものの、蓄熱（蓄冷）部分でのロスが大きいため、エネルギー効率が悪い。さらに設備が大型化するため、その製造にもエネルギー負荷が掛かり、エコロジーとはよべない。

この他に、地域の特性を考慮しないエコロジー住宅は、地域によってはエコロジーに反する場合もある。光熱費ではエコロジーにはなっても、結露などにより住宅の耐久性が悪くなる場合も少なくない。実際のエコロジー住宅を考える場合、地域の特性とバランスが不可欠である。例えば、夏季または冬季のみに効果を発揮するエコロジー住宅は、逆の時期には反エコロジーともなりかねない。

### 2-2 省エネルギー住宅の定義と要件

省エネルギー住宅とは、使用するエネルギーを削減することにより CO<sub>2</sub> 排出量の削減および家庭の温暖化対策を図り、省エネルギー性と快適性の両立を果たす住宅を指す<sup>17)</sup>。省エネルギー住宅の要件としては以下の項目があげられる。

### (1) 建物の断熱化

建物の断熱化とは、高气密、高断熱、高耐震構造をさす。開口部といわれる窓、天井・屋根、壁、床、ドアについて以下の断熱、遮熱が考えられる。

窓： 窓はガラスとサッシの組み合わせで断熱性が向上する。材質としては、

- ・アルミサッシをアルミ熱遮断構造、樹脂サッシに代替する。
- ・単ガラスを複層ガラス、高断熱複層ガラスに代替する。

天井・屋根： 天井裏や屋根裏に断熱材を入れ、熱移動を遮断する。屋根裏から外壁基礎を併せて断熱材で包む（外断熱）ことにより断熱性が向上する。

壁： 充填断熱と外断熱がある。断熱性は後者の方が高い。

窓（遮熱）： ブラインドで日差しを遮断する。窓の外に取り付ける方が効果的である。

床： 外気に接する床に断熱材を入れる方法、基礎のまわりに断熱材を貼り付ける方法がある。

ドア： 断熱タイプのドアにすると、冬期にドア付近が冷たくならない。

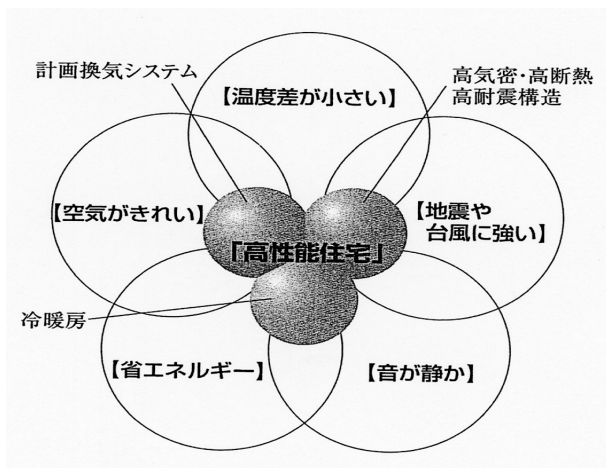
### (2) 機器の省エネルギー化

計画換気システムに関しては、機器としては、冷暖房、給湯、冷蔵庫、照明、電気/太陽電池 など電気機器、ガス機器 があげられる。

#### 2-3 高性能住宅の構成要素

5つの項目から構成される高性能住宅を考えると<sup>18)</sup>、省エネルギーはその1つであるといえる（図表4）。

図表4 高性能住宅の要素



出典：高橋幹雄『家づくりの極意』2008年

### 3. スマートハウス

#### 3-1 スマートハウスの概要

スマートハウス (smart house) とは、住宅と ICT を融合してエネルギーの需給量をコントロールし、入居者が無理なく省エネルギー・節電を可能にし、より快適な暮らしを実現できる住宅である<sup>19)</sup>。

家庭内におけるエネルギーの「見える化」を図ることにより、入居者自身による効率的な省エネルギー、および、蓄電によるエネルギーの有効活用が可能になる。環境性と経済性を両立し快適に暮らせる次世代型住宅といえる。スマートハウスでは、HEMS (後述) と住宅向け蓄電システムが重要な役割を担う<sup>20)</sup>。HEMS を設置したスマートハウスは、各部屋の消費電力量・CO<sub>2</sub> 排出量を「見える化」することにより、エネルギーの消費を抑えながら快適な生活を提供する。

### 3-2 スマートハウスの起源と構成要素

スマートハウスとは、1980年代に米国で提唱された住宅の概念であり、家電や設備機器を情報化配線等で接続し最適制御を行うことにより、生活者のニーズに応じた様々なサービスを提供しようとするものである。

日本では、トロン電腦住宅が話題となった1990年代のホームオートメーションブーム、パナソニックによるHIIハウスが話題となった情報家電ブームに続き、2010年代には米国のスマートグリッドへの取り組みを契機に、地域や家庭内のエネルギーを最適制御する住宅として再注目されている。

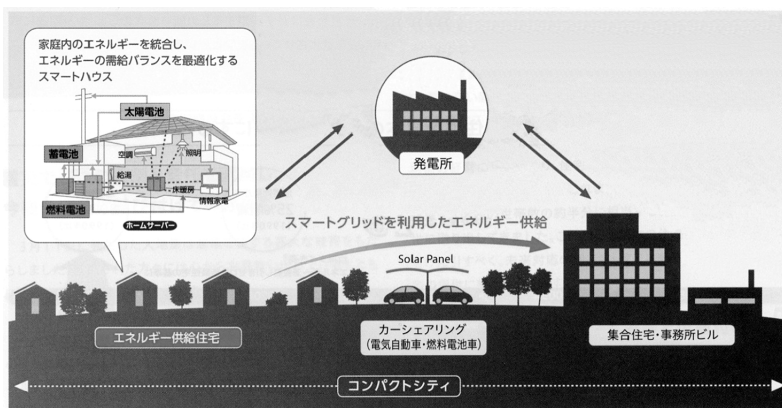
スマートハウスは、各年代における社会ニーズ、参入する企業のモチベーション、中核となる情報技術の変化などにより、様々な解釈がされている。また名称も、1990年代のインテリジェントハウス (IH)、マルチメディア住宅、2000年代のIT住宅、ユビキタス住宅などと変化している。

2010年代における解釈は、HEMSと呼ばれる家庭のエネルギー管理システムにより家電、太陽光発電、蓄電池、電気自動車等を一元的に管理する住宅である。世界が環境問題に取り組むなかで、エネルギー消費を抑えるスマートハウスは注目され、様々な企業が参入している。

### 3-3 スマートハウスとコンパクトシティ構想

2010年11月、住宅やオフィスビル、電気自動車 (EV)、充電器のエネルギーの情報をネットワーク化し、通信規格の標準化を目指すスマート・ネットワークプロジェクトが始まった。スマート・グリッドの要素が円滑に通信することにより、エネルギーの配分を最適化しCO<sub>2</sub>排出量の削減を図る。幹事は、NTTドコモ、NEC、積水ハウス、バンダイナムコゲームスの4社、および、日産自動車 (EVベンダー) が参加している。現在、神奈川県みなとみらい21地区に実証実験のフィールドがある。今日、スマートハウスを基盤としたコンパクトシティが新たに構想されている (図表5)。

図表5 スマートハウスを基盤とするコンパクトシティ



地域単位でエネルギー需給のバランスを最適化するスマートグリッド

出典：積水ハウス『サステナビリティレポート2011年 持続可能性報告書』

コンパクトシティ (compact city) とは、都市的土地利用の郊外への拡大を抑制すると同時に中心市街地の活性化が図られた、生活に必要な諸機能が近接した効率的で持続可能な都市、もしくはそれを目指した都市政策を指す<sup>21)</sup>。

日本の都市は高度成長期を経て拡大を続け、政策的にも郊外の住宅地開発が進められてきたが、大店法の改正などもあり1990年代より中心市街地の空洞化現象が各地で顕著になった。特に鉄道網の不十分な地方都市においては自動車中心社会(車社会)に転換し、巨大ショッピングセンターが造られ、幹線道路沿線には全国チェーンを中心としてロードサイド型店舗やファミリーレストラン、ファーストフード店などの飲食店が出店し、競争を繰り広げるようになった。また商業施設のみならず公共施設や大病院も広い敷地を求めて郊外に移転する傾向が見られる。

一方、旧来からの市街地は街路の整備が不十分で車社会への対応が十分でない場合が多い。昔から身近な存在であった商店街は、道路が狭く渋滞している、駐車場が不足している、活気がなく魅力ある店舗がないなどの



理由で敬遠されて衰退し、いわゆるシャッター通りが生まれている。古い市街地は権利関係が錯綜しており、再開発が進まなかったことも一因である。郊外化の進展は、既存の市街地の衰退以外にも多くの課題を抱えている。

1. 移動手段のない高齢者など「交通弱者」にとって不便である。
2. 無秩序な郊外開発、際限のない郊外化は持続可能性、自然保護、環境保護の点から課題が多く、公共投資の効率を悪化させ、膨大な維持コストが発生する。

当該課題に対して、都市郊外化・スプロール化を抑制し、市街地のスケールを徒歩の生活圏に保ち、コミュニティの再生や住みやすいまちづくりを目指そうとするのがコンパクトシティの発想である。再開発や再生などの事業を通し、ヒューマンスケールな職住近接型まちづくりを目指すものである。

交通体系では自動車より公共交通のほか、従来都市交通政策において無視に近い状態であった自転車にスポットを当てているのが特徴である。

自治体がコンパクトシティを進める目的には、地方税増収の意図もある。同じ自治体内の郊外から中心部に市民が住み替えることにより地方税の増収に繋がり、経済停滞や人口減少が予想される自治体にとってコンパクトシティ化が有効な財源確保策と見なされているのである。札幌市、稚内市、青森市、仙台市、富山市、豊橋市、神戸市、北九州市などの都市は、コンパクトシティを政策として公式に取り入れている。コンパクトシティを推進しやすい都市の条件としては、

1. 公共交通網が充実していること
  2. 中心市街地で文化活動が盛んであること
  3. コミュニティが存在していること
  4. 観光地としても成立する資源を有し人々が流入する要素があること
- などが考えられる。

一方、比較的規模の大きい地方都市では近年、中心市街地の地価の下落や工場の移転等に伴う都心部へのマンション建設による人口の都心回帰という変化も見られる。

国土交通省も、コンパクトシティを目指すべく政策転換を進めている。1998年制定のまちづくり3法（改正都市計画法、大規模小売店舗立地法、中心市街地活性化法）が十分に機能しておらず、中心市街地の衰退に歯止めがかかっていないとの問題認識から、見直しが行われ、そのうち都市計画法、中心市街地活性化法が改正された（2006年施行）。

### 3-4 スマートハウスの課題

現在、スマートハウスに関わる最大の課題は、規格が統一されておらず、通常よりコストが高い問題である。住宅の設備や家電を一括して制御することは難しい。機器を接続する際の通信プロトコルやインターフェースの情報がメーカーごとに異なるためである。通信方式が不統一では、開発コストや時間がかかる。住宅メーカーでも、規格が統一されれば開発も進む。課題の早期対応が必要である。

2011年7月に電機メーカーなど10社が、HEMS普及の環境整備を共同で推進する「HEMS アライアンス」を立ち上げた<sup>22)</sup>。東芝、NEC、パナソニック、日立製作所、三菱電機、シャープ、ダイキン工業、KDDI、三菱自動車、東京電力の10社が参加する共同検討体制である。当該課題を解決するため関連省庁や民間団体における動きも活発化した。

経済産業省は産官共同でスマートハウスの普及を目指し、HEMSと家庭用機器とのインターフェイス標準化、「スマートメーター」導入加速化を検討するために「スマートハウス標準化検討会」を設置した。2012年2月、同検討会では、HEMSの標準インターフェースとして、エコネットコンソーシアムにおいて策定された、ECHONET Lite が発表され推奨されている。

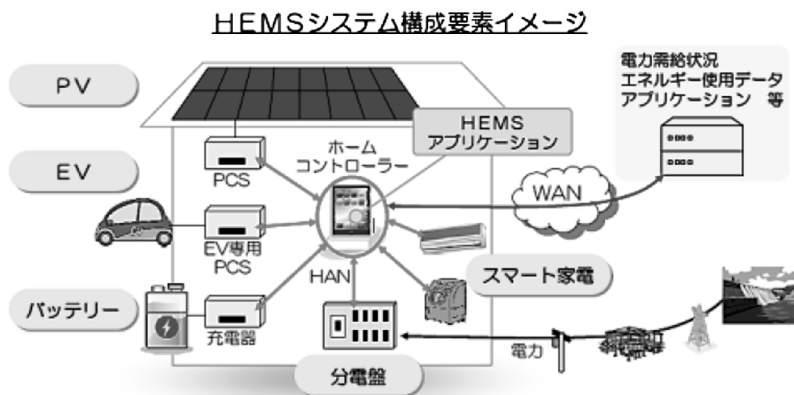
## 4. HEMS

### 4-1 機能

HEMS (home energy management system) は「ホームエネルギーマネジメントシステム」を指す<sup>23)</sup>。次世代型省エネルギー住宅「スマートハウス」の「頭脳」である IT (情報技術) を駆使して家庭内の電力供給・消費と蓄電機能を管理する省エネルギー住宅の「頭脳」といえる (図表 6・7)。

積水ハウスによれば、HEMS は太陽電池、燃料電池と蓄電池の 3 電池の放電と蓄電を管理する。

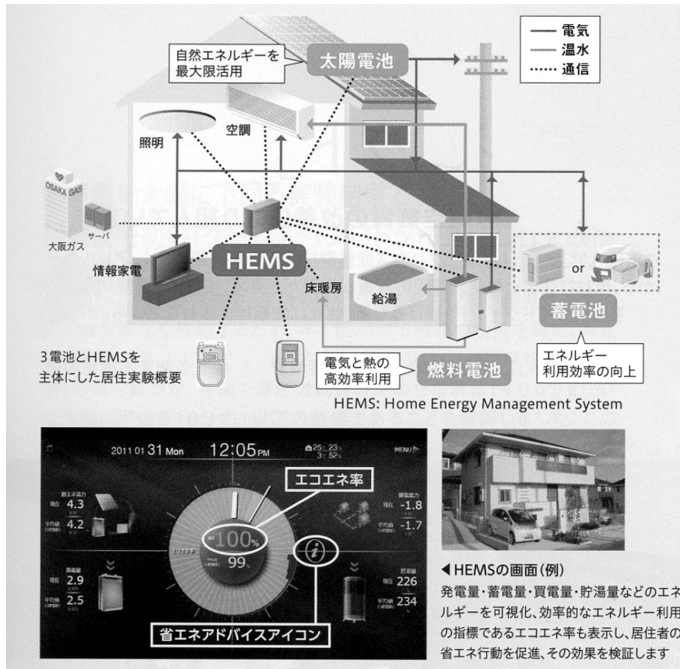
図表 6 HEMS の構成要素 1



注 PV: 太陽光発電 EV: 電気自動車 PCS: パワーコンディショナー

出典: パナソニック・プレスリリース「HEMS アライアンスの立ち上げについて」2011年7月

図表7 HEMSの構成要素2



出典：積水ハウス『サステナビリティレポート2011年 持続可能性報告書』

#### 4-2 HEMSの位置づけ

次世代電力網「スマートグリッド」の核心は、EMS（エネルギー管理システム）であり、スマートハウス、スマートビル、スマートコミュニティの技術となる<sup>24)</sup>。HEMSはこのEMSの1つであり、これ以外には、BEMS（ビルエネルギー管理システム）、CEMS（地域エネルギー管理システム）などもある。さらに、これらを実現するためにネットワーク技術、通信プロトコル、プラットフォーム、ミドルウェア、半導体などの要素技術が必要となる。スマートハウスは、ICT（情報通信技術）を活用して、住宅を取り巻く様々なアプリケーションを統合的に制御する取り組みであり、これを構成

するスマートメーター，HEMS，エネルギー端末が重要な役割を担うものである。

#### 4-3 HEMS の開発状況

##### (1) 積水ハウス，大和ハウスの事例

積水ハウスは現状，住宅に搭載する HEMS が電力消費量などを把握する機能が付いていないため，放電と蓄電の状況を一目で分かるように「見える化」する HEMS を開発し，標準装備することに着手した<sup>25)</sup>。

一方，大和ハウスは蓄電池製造ベンチャーのエリーパワー（東京・品川）の 100 億円規模の増資の一部を引き受けた。大和ハウスは 2006 年 11 月に設立直後のエリーパワーに出資し，その後も事業拡張に伴う増資を引き受け，30% 超を出資する筆頭株主となっている。スマートハウス「スマ・エコ オリジナル」にはエリーパワー製のリチウムイオン蓄電池を搭載した。

エリーパワーは増資による調達資金などを元手に 2012 年春にも川崎市に新工場を建設する予定である。蓄電池の生産能力を大幅に引き上げる。大和ハウスは，リチウムイオン電池が同業他社の採用する鉛蓄電池よりも充放電効率が高い点に着目している。量産効果により割高感のあるエリーパワー製蓄電池の生産コストを抑制し，家庭用の需要開拓につなげる。

##### (2) 積水化学，トヨタホームの事例

積水化学工業は太陽光発電システムを備えた住宅に NEC と共同開発した HEMS「スマートハイム・ナビ」を搭載する省エネルギー住宅を販売している<sup>26)</sup>。

トヨタホームは HEMS を通じて，プラグインハイブリッド車 (PHV) や電気自動車 (EV) の充電を管理し，非常時には車に搭載した蓄電池の電力を利用できる住宅の開発を進めている。

#### 4-4 HEMS とライフサイクル・カーボンマイナス (LCCM)

ライフサイクル・カーボンマイナス (life cycle carbon minus) とは、住宅の建築時、居住時、改修時、解体時の全体で排出 CO<sub>2</sub> をマイナスにする新しい概念である<sup>27)</sup>。

建築時+改修時+解体時 の排出 CO<sub>2</sub> を居住時の売電などによる創エネルギーの差し引により、マイナスにするという意欲的な取り組みである。

最も先進的なイギリスでは、2016年までに全ての新築建築物をゼロエミッションにすることを法律で目指しているが、居住時に限る。これに対して、建物のライフサイクルを通してマイナスという概念は世界でも類がない。重要な構造材別にみると、排出 CO<sub>2</sub> は

木造 < 鉄骨 < コンクリート (RC) となる。

2011年12月から、住宅のライフサイクル全体を通して CO<sub>2</sub> 排出量を低減する先導的な住宅の開発と普及の促進を目的に、LCCM 住宅認定制度が開始された<sup>28)</sup>。これは建築環境総合性能評価システム (CASBEE, 5-4 で言及) に基づき評価・認定される。

審査主体は (財) 建築環境・省エネルギー機構・認定委員会、認定基準は環境効率ランクが S または A、ライフサイクル CO<sub>2</sub> ランクが緑

または緑 であることである。特に後者のランク獲得には、建物・設備の省エネルギー、高耐久等の取り組み、太陽光発電の導入・設置が不可欠となる。

### 5. 住宅エネルギーのシミュレーションおよび評価

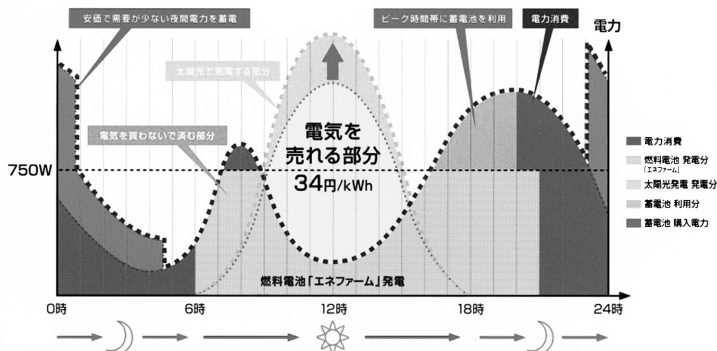
#### 5-1 1日の創エネルギー/蓄エネルギーの循環

住宅エネルギー効率を評価するにはシミュレーションは不可欠である。以下は、標準的な住宅が一日に創造・蓄積する住宅エネルギーの流れである (図表8)。

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

図表 8 1日の住宅エネルギーの創造と蓄積 シミュレーション結果

■グリーンファースト ハイブリッドの「創エネ」「蓄エネ」パターンの概念



3つの電池を利用して電力需要の多い日中には太陽電池の余剰電力を売電し、光熱費を削減。近隣に電力を分けることで、社会にも貢献。また、自家利用の多い夜間は燃料電池「エネファーム」と蓄電池利用により、節電と光熱費の低減を実現します。

出典：積水ハウス『サステナビリティレポート2011年 持続可能性報告書』

### 5 - 2 光熱費削減 / 電力収支のシミュレーションの前提

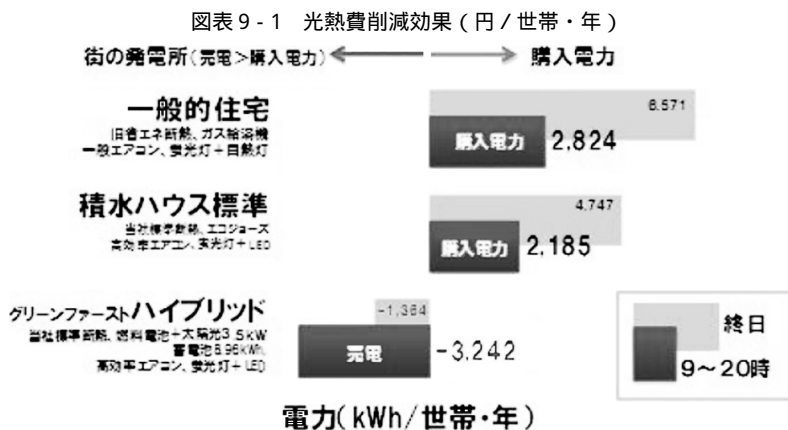
ここでは、シミュレーションを以下の条件を前提として行った事例を紹介する<sup>29)</sup>。

- (1) 「東京都に建つ 135m<sup>2</sup>、4人家族、専業主婦、東京電力、東京ガス」
- (2) 一般的住宅：1990年に建設された旧省エネルギー断熱相当の木造住宅である。ガス給湯器、一般エアコン、蛍光灯 + 白熱灯 で構成される。
- (3) 積水ハウス標準：積水ハウスの標準断熱、エコジョーズ、高効率エアコン、蛍光灯 + LED 照明、断熱浴槽 で構成される。

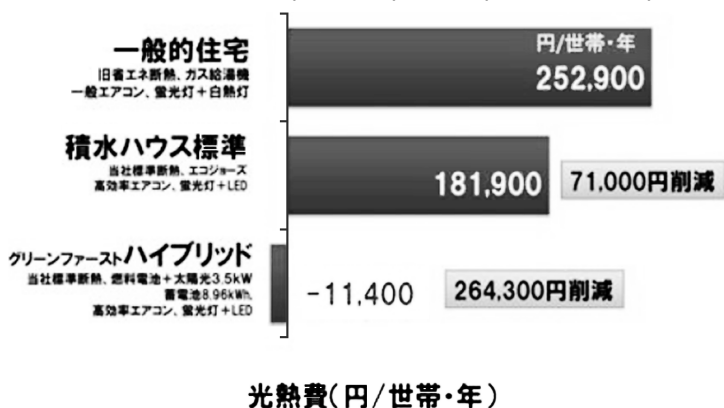
ただし、公開データ & 数値の評価については、これが一般的であるとは証明しがたいが、通常みられる住宅の一例としては、特殊なものではない。

### 5-3 光熱費削減/電力収支のシミュレーションの結果

シミュレーションの前提条件のもとでシミュレーションした結果は以下の通りである(図表9-1, 9-2)。



図表9-2 電力収支(購入電力) - 売電 (Kwh / 世帯・年)



出典：積水ハウス『サステナビリティレポート2011年 持続可能性報告書』



#### 5 - 4 欧米および日本の住宅エネルギー評価

ここでは、最近の EU、米国および日本における住宅エネルギー評価について簡潔に整理したい<sup>30)</sup>。

##### (1) EU

EU (欧州) では、既に各国が、「ビルディング・エネルギー・レーティング」(住宅エネルギーの評価) 制度を導入し、住宅そのものを「超大型家電」としてとらえ、家電と同じように消費エネルギー表示が義務付けされる。床面積 1m<sup>2</sup>当たり年間の 1 次エネルギー消費量を算出し、証書としてラベル表示されるシステムである。元来、エネルギー効率表示制度は、家の省エネルギー性能を総合的に捉え、年間の CO<sub>2</sub> の排出量を算出可能にすることにある。

##### (2) 米国 Energy Star

1992 年に米国の環境保護庁 (EPA) が始めた省エネルギー性能ラベリング制度であり、家電製品・オフィス機器・照明などに加え、後に住宅や業務用ビルにも導入された。

Energy Star が提供する ESPM: Energy Star Portfolio Manager はエネルギー使用量の管理ツールで、建物用途・運用特性・エネルギーデータをもとに評価し (評価結果は 1~100 で表される)、米国全体の上位 25% (EnergyStar75 以上) に入るとラベルが与えられる。地図や建物プロフィール、ラベルイヤーやレーティングが表示される。

この Energy Star のベンチ マークに用いられているのが、米国エネルギー省 (DOE) が 1979 年から定期的 (4 年程度毎) に収集している非住宅建築物のエネルギー消費関連データ (CBECs: Commercial Buildings Energy Consumption Survey)。14 種類の建物用途について、床面積・建築年・階数・営業時間・従業員数・建築用途 (主用途)・気候区分・空調機の種類・省エネルギー機器の保有状況 (断熱、高効率照明他)・コンピュータの保有台

数・エネルギー消費機器の燃料種別・屋上と外壁構造の詳細・エネルギー使用量(電気,都市ガス,燃料,地域冷暖房)などが蓄積され,Web上で公開されている。

カリフォルニア州では,2010年から建築物の売買・賃貸借に際して,ビルオーナーが買主・借主・金融機関に対し,Energy Starの評価結果を提示することを義務化したこともあり,急速な普及を見せている。

### (3) 日本

#### (a) CASBEE

CASBEE(キャスピー:Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)は,国交省の主導のもと,(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置した委員会で,環境に配慮した建築物の普及を目的として2001年から開発が行われる。

事業段階に応じた企画・新築・既存・改修の4つのツールからなり,建築物のライフサイクルを通じた評価ができること 「建物の環境品質(Q)」と「建築物の環境負荷(L)」の両側面から評価すること 評価指標「建築物の環境効率(BEE:Building Environmental Efficiency)」で評価することを理念としている。

CASBEEは,2002年から運用が始まったものの,評価を得るための資料を揃えるのに多くの労力を要し,一方で認証取得のメリットが少ないと見なされているためか,2010年9月末時点での認証件数は,100件未満にとどまっている。

#### (b) 東京都省エネルギー性能評価書

東京都は「自治体CASBEE」を用いず,2002年から独自の基準を設け「建築物環境計画書制度」を始めている。2010年からは延床面積5,000㎡超が対象となり,新築・増築時に環境配慮の取り組みを示した届出を提出

することを義務づけた。

届出内容は Web 上で一般に公開され、各建物の詳細情報に加え太陽光発電など再生可能エネルギーの導入検討状況の公開義務も盛り込まれている。これにより、今後東京都で建設される 5,000㎡以上の建築物の省エネルギー性能情報が、全て公開される。

また、PAL・ERR 値をもとにした AAA～C の五段階の格付けがなされ公開されている。評価のレベルは、B・C も省エネルギー法等の法令が求める水準を上回る取組であること、A・AA は一段高い水準、AAA は最も優れた取組であることを求める。

2010 年 1 月以降に建築物環境計画書を提出した延床面積 10,000㎡超の大規模特定建築物で、2,000㎡以上の面積の売却・賃貸・信託受益権譲渡の取引をする場合は、取引の相手方に一定期間「省エネルギー性能評価書」交付が義務付けられることとなった。評価書には 断熱性の評価 設備システムの省エネルギー性評価 省エネルギー設備等の採用状況が記載される。

### (c) 日本版 Energy Star

経産省は省エネルギー性能を評価するラベリング制度の検討を開始した。建物運用段階の性能評価に重点を置いた「日本版 Energy Star」制度といえる。2010 年度内に評価方法を決め、2011 年度から認証を開始する予定である。

## 6. スマートハウスに関するケーススタディ

### 6-1 大阪ガス&積水ハウス「スマートエネルギーハウス」

大阪ガスと積水ハウスは、電気と熱を効率的にマネジメントすることで、居住者の快適な暮らしと省エネルギーを両立する「スマートエネルギーハウス」の実現を目指した共同の居住実験を開始した<sup>31)</sup>。

「スマートエネルギーハウス」とは、天然ガスを利用して発電し、同時に発生する熱も有効利用できる家庭用コージェネレーションシステムと太陽電池を組み合わせた「W(ダブル)発電」に、蓄電池を組み合わせ、情報技術を駆使して、電気と熱を賢く(スマートに)「創る・貯める・使う」ことにより、快適で環境にやさしい暮らしを実現する住宅である。

2009年度に、両社は共同で経済産業省委託事業である「スマートハウス実証プロジェクト」に参加し、3電池(燃料電池・太陽電池・蓄電池)を最適制御し、居住者の省エネルギー行動を促進する省エネルギーシステムの実現性を確認した。

実験を実施する住宅は、固体酸化物形の燃料電池(SOFC)・太陽電池・リチウムイオン蓄電池を搭載し、3電池を用いている。2015年以降の主流になると予想される断熱性能の住宅を想定しており、テレビ・エアコンなどの家電機器についても現在のトップランナー機器を設置している。さらに電気自動車充電設備・LED照明などの省CO<sub>2</sub>・省エネルギー設備の他、自動制御の電動シャッターやカーテン・通風ファンなどの居住者の利便性・快適性の向上を図りながら省エネルギー効果も期待できる自動制御設備を導入した。

実際、2012年8月に「スマートエネルギーハウス」の居住実験の結果が発表された<sup>32)</sup>。今回の居住実験においては、燃料電池のさらなる高効率な利用を可能とする独自の蓄電池の制御方法を導入し、居住者の快適性を損なわずに省エネ効果や節電効果を最大化するための検証を重ねてきた。その結果、1年間を通して住宅における購入電力やCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減することに成功した。具体的には、3電池を導入しない場合と比較し、年間を通じて、購入電力を4,830kWhから584kWhへと約88%削減したことに加え、CO<sub>2</sub>排出量については4,770kg-CO<sub>2</sub>から137kg-CO<sub>2</sub>へと約103%の削減を実現した。また、経済性(ランニングコスト)についても、電気代とガス代を合わせた光熱費については約21万円の支出から約10万

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

円の収入へと約 31 万円の削減を達成した。

今後は、3 電池最適制御方法のさらなる改善や、電気自動車を含めた 3 電池の組み合わせ運用に関する検討を進めると共に、実証用 HEMS の開発、さらに快適な住空間創造へ向けた検証などに取り組む予定であるという。両社は、この実験を通じて、2015 年までに実用レベルまでの技術開発を完了させ、「スマートエネルギーハウス」の早期市場導入を目指すところである。

### < 算出条件 >

- ・データ対象期間：2011 年 7 月 1 日～2012 年 6 月 30 日
- ・節電量の定義：年間購入電力量の削減量
- ・CO<sub>2</sub> 排出量原単位：0.69kg-CO<sub>2</sub>/kWh (電気), 2.29kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (ガス)
- ・太陽電池売電メリット単価：48 円/kWh (住宅建設時の単価相当, ダブル発電プレミアムポイント適用)
- ・電気料金メニュー (3 電池なし): 従量電灯 A (関西電力)
- ・ガス料金メニュー (3 電池なし): 床暖料金 (オプション割引 9%) (大阪ガス)
- ・使用機器 (3 電池なし): ガス給湯暖房機, ガス温水床暖房 (LDK), ミストサウナ機能付きガス温水浴室暖房乾燥機, ガスコンロ, 電気エアコン (各居室)
- ・電気料金メニュー (3 電池あり): 従量電灯 A (関西電力)
- ・ガス料金メニュー (3 電池あり): マイホーム発電料金 (オプション割引 9%) (大阪ガス)
- ・使用機器 (3 電池あり): 固体酸化物形燃料電池 SOFC (0.7kW), 太陽電池 (5.08kW), リチウムイオン蓄電池 (3.5kWh), ガス温水床暖房 (LDK), ミストサウナ機能付きガス温水浴室暖房乾燥機, ガスコンロ, 電気エア

コン(各居室)

<実績データ>

- ・住宅内消費エネルギー量：4,830kWh/年(電力), 6,211kWh/年(熱)
- ・太陽電池発電電力量：5,283kWh/年
- ・燃料電池発電電力量：4,078kWh/年

【スマートエネルギーハウス 居住実験の概要】

外観

写真1 スマートエネルギーハウス



場所

奈良県北葛城郡王寺町(写真1)

建物概要

- ・積水ハウス 環境配慮型住宅「グリーンファースト」
- ・軽量鉄骨造2階建・4LDK(延床面積138.8m<sup>2</sup>)

設備概要

- ・燃料電池 固体酸化物形燃料電池(SOFC)(発電能力700W)
- ・太陽電池 多結晶型(発電能力5.08kW)
- ・蓄電池 リチウムイオン蓄電池(蓄電容量3.5kWh)
- ・その他設備 実証用HEMS,床暖房,デシカント換気システム,LED照明,電動シャッター/カーテン,通風ファン,自動扉,キーレスエントリー,自動水栓など

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

LCCM 住宅 取得

CASBEE 戸建 新築 2010 年度版 すまいの環境効率 (S  
ランク) 取得

設計者 積水ハウス株式会社

施工者 積水ハウス株式会社

竣工日 平成 22 年 12 月竣工

居住家族人数 3 人

実験期間 2011 年 2 月～2014 年 3 月(予定)

### 6-2 積水ハウス「グリーンファーストハイブリッド」

#### (1) 概要

積水ハウス㈱は、2009 年に安全・安心で高品質な住宅に太陽電池や燃料電池を組み合わせ、快適性、経済性を確保し、CO<sub>2</sub> や電力消費を大幅に削減できる環境配慮型住宅「グリーンファースト」を発売した<sup>33)</sup>。

今回、2011 年 8 月に「快適性」「経済性」「環境性」にすぐれた「グリーンファースト」の進化形として、世界初の 3 電池(太陽電池・燃料電池・蓄電池)の組み合わせによる「グリーンファーストハイブリッド」の発売を開始した。

創エネルギー技術と蓄エネルギー技術を組み合わせることにより、快適に暮らしながら、居住時に排出される CO<sub>2</sub> や電力消費(光熱費)を抑え、さらに停電時などの非常時でも電力を確保できる住宅を積極的に販売することにより、安心して環境負荷の少ない持続可能な社会づくりに貢献する。

「グリーンファーストハイブリッド」の電池構成は以下の通りである。

燃料電池： ガスで電気とお湯を生成。700～750W

太陽電池： 太陽光で電気を生成。5kW～

蓄電池： 電気を蓄積。8.96kW

(2) 「グリーンファーストハイブリッド」の特徴

「グリーンファーストハイブリッド」の特徴としては次の4つがあげられる<sup>34)</sup>。

3電池を組み合わせた電力供給システムを備えた商品の市販化は世界初である。

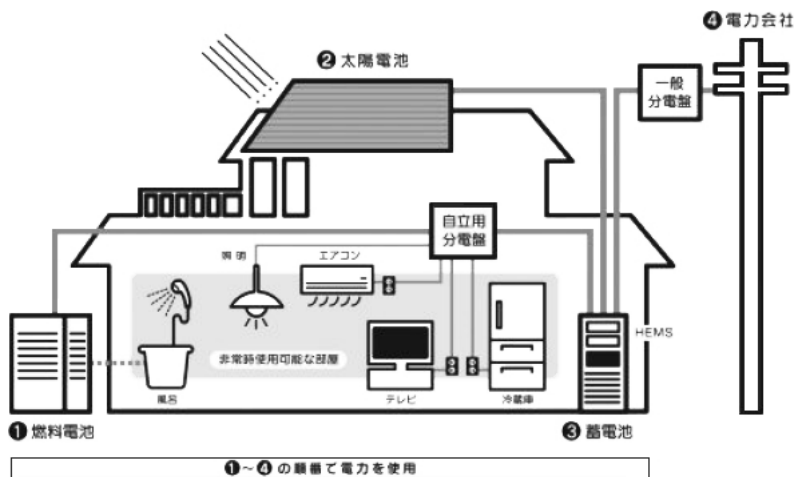
太陽電池、燃料電池、蓄電池を組み合わせることにより、安定的な電力を供給する。3つの電池の制御はすべて自動切り替えで、非常時でも住宅設計時に予め設定したコンセントや照明などがそのまま使用できる（図表10-1）。

電力使用の優先順位は、

1. 燃料電池 2. 太陽電池 3. 蓄電池 4. 商用電力（電力会社から購入）の順番となる。太陽電池発電分の余剰電力は売電が可能である。

容量8.96kWhの大型蓄電池を搭載しており、常時、電気がある生活が実現する。

図表 10 - 1 通常時の電力供給システム





## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

大容量の蓄電池が、常に電気がある安心の暮らしを実現する。蓄電池の容量が8.96kWh(大型蓄電池)であるため、停電時でも蓄電池だけで一日中、冷蔵庫が使える、テレビや照明も比較的自由に使える。例えば、冷蔵庫と液晶テレビ、照明を継続して使用しても約17時間使用できることになる。

日常は快適に暮らしながら光熱費を年間26万円削減でき、日中は“街の発電所”になる。

家庭の電力消費のピークは朝と夕方から夜にかけてである。これに対し日中の電力消費は、出来る限り燃料電池の発電で賄い、太陽電池の発電の売電量を増やす。電力消費の多い夕方から夜は、太陽電池は発電しないため、蓄電池からの電力供給で購入電力を減らす。これによりピーク時間帯の購入電力は最小限に抑えられる。蓄電池には、電力会社の電力供給に余裕があり電力が安価な深夜に充電し、光熱費を削減する。

非常時も自動的に電力供給システムが稼働し、安定した電力を継続的に供給できる。

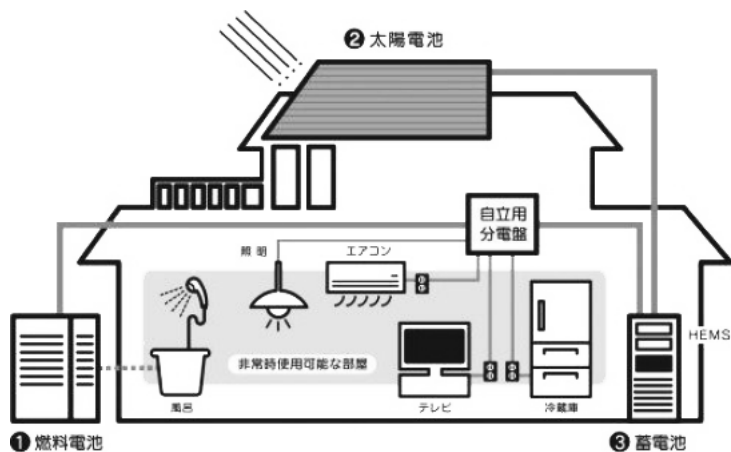
停電等で電力供給が止まっても、生活に不可欠な冷蔵庫やエアコンなどが使用でき、安心の暮らしを継続できる。さらに、情報を得るためのテレビやパソコン、携帯電話の充電用の電源、照明用の電源などがあれば、夜も安心である。

### (3)「グリーンファーストハイブリッド」の機能

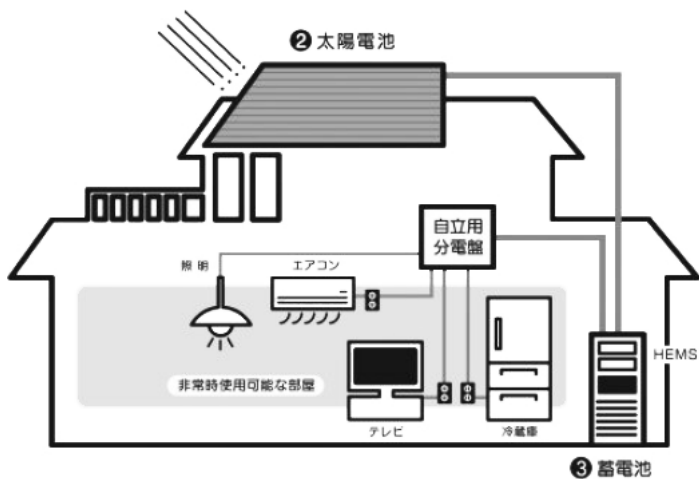
停電時(ガス・水道の供給がある場合)

停電時には、自動的に3電池による電力供給システムに切り替わる。住宅設計時に予め設定したコンセントや照明などではプラグを差し替えずに、そのまま電気を使用できる。停電時にも電力供給の優先順位は同様である

図表 10-2 停電時(ガス・水道の供給がある場合)の電力供給システム



図表 10-3 非常時(電気・ガス・水道の供給が止まった場合)の電力供給システム



出典：図表 10-1, 10-2, 10-3 はいずれも, 積水ハウス・ニュースリリース  
「グリーンファースト ハイブリッド」2011年8月

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

が、太陽電池の発電の余剰分は蓄電する。太陽電池と蓄電池の組み合わせでは、曇天日が続き充電・電力供給ができない場合は、燃料電池を組み合わせることにより、天候にかかわらず電力とお湯の供給が可能になる。従って、創エネルギー + 蓄エネルギー により電気のある安心の暮らしを継続できる（図表 10 - 2）。

非常時（電気・ガス・水道の供給が止まった場合）

非常時には、日中の太陽電池の発電で充電し、夜間は蓄電池から電力を供給する（図表 10 - 3）。

### 6 - 3 スマートハウスの進化と展望

2010 年 11 月、神奈川県横浜市みなとみらい 21 地区（みなとみらい線・新高島駅周辺）にて、総務省主体で積水ハウスなどが開発したスマート・ネットワークプロジェクトの実証実験住宅「観環居」が設置された<sup>35)</sup>。今日、日産自動車のリーフなどと連携し実証実験を継続している。

下は積水ハウスの「観環居」（横浜市みなとみらい）の外観と内部の写真である（写真 2、撮影はいずれも筆者）。

写真 2 スマートハウス観環居の外観と屋内



(a) 外観



(b) 屋内 1 階・電気自動車 (EV)



(c) 屋内 2 階・採光窓

2011 年 5 月、神奈川県藤沢市辻堂元町のパナソニック関連工場跡地での再開発計画において、太陽光発電や家庭用蓄電池、家電総合管理システム（スマートエナジーゲートウェイ）を大規模に配備するなど街全体をスマ

ート化した「スマートタウン構想」が発表された。

HEMSは、次世代電力メーターである「スマートメーター」と連携し、「スマートグリッド」や「スマートタウン」へ発展する未来の低炭素社会を目指すために、より進化が必要である。進化したHEMSとは、全てのメーカーの電気製品までもコントロールし、家庭内の電力を最適な状態に制御することである。

## 7. 結び： スマートハウスの課題と展望

スマートハウスは、CO<sub>2</sub>排出量を抑え地球環境に配慮した省エネルギー住宅、省資源住宅である。しかし、留意すべきは多くの装備をしていれば省エネルギー住宅となるわけではない。快適性、経済性、環境性が満たされねばならない。

住宅その全体を1個の製品と考えるならば、今後、住宅のエネルギー評価、言い換えれば、基本的な住宅指標を数値化することを通じた、住宅の性能評価が重要となる。その結果「見える化」が実現したのである。

東日本大震災を契機に、電力会社から送電される電力を可能な限り使用しない生活スタイルが求められている。HEMSにより家電、太陽光発電、蓄電池、電気自動車等を一元的に管理するスマートハウスは環境問題、エネルギー消費抑制の観点から、その普及が期待される。ただし、現在、スマートハウスの最大の課題は、規格が統一されておらず、通常よりコストが高い問題である。住宅の設備や家電を一括して制御することは難しい。機器を接続する際の通信プロトコルやインターフェースの情報がメーカーごとに異なるためである。通信方式が不統一では、開発コストや時間がかかる。規格の統一と関係企業の連携、普及のためのコストダウンおよび国の助成などが一層求められる。

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

### [注・参考文献]

- 1) 「電気事業講座」『電気事業事典』別巻, エネルギーフォーラム, 2008年
- 2) 境新一『現代企業論 - 経営と法律の視点 - 』第4版, 文眞堂, 2010年, 大阪ガス(積水ハウス)・プレスリリース「スマートエネルギーハウス」3電池住宅として国内初の長期居住実験を実施」, 2012年8月2日, [http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr\\_2012/1198387\\_5712.html](http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2012/1198387_5712.html)
- 3) 境新一「再生可能エネルギーを活用したエコロジー住宅の課題と展望 - 経済と環境の視点 - 」『FC EXPO 2012 ~第8回[国際]水素・燃料電池展 ~大学・国公立研究所による研究成果発表フォーラム』2012年3月2日, 東京ビッグサイト, 同『再生可能エネルギーを活用したエコロジー住宅の課題と展望 - スマートハウスの構築に向けて - 』2012年4月20日, エスタシオン・デ・神戸
- 4) 飯田哲也編『自然エネルギー市場 新しいエネルギー社会のすがた』築地書館, 2005年, エコビジネスネットワーク編『新・地球環境ビジネス 2009-2011』産学社, 2009年
- 5) 経済産業省・資源エネルギー庁「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」の義務履行に係る申請・届出方法の説明について」説明資料, 2000年, 同(監修)『省エネ法の解説工場・事業場編 平成20年度改正』省エネルギーセンター, 2011年
- 6) 『燃料電池 2005』日経 BP 社刊, 2005年, 「特集 普及前夜の燃料電池」『日経エコロジー』2008年6号, 本間琢也『燃料電池入門講座』電波新聞社, 2005年
- 7) 濱川圭弘・太和田善久編『太陽光が育くむ地球のエネルギー』大阪大学出版会, 2009年, 「徹底特集 太陽光発電」『Newton』2009年9月号, 18~61頁
- 8) 建築環境・省エネルギー機構「建築物(非住宅)の省エネルギー基準と措置の届出ガイド」資料・第3章, [http://www.ibec.or.jp/technology/pdf/step\\_03.pdf](http://www.ibec.or.jp/technology/pdf/step_03.pdf), 2012年
- 9) 東京都港区役所「次世代省エネルギー基準(平成11年基準)」資料, 建築環境・省エネルギー機構・「次世代省エネルギー基準の地域区分」資料(いずれも2012年10月参照)
- 10) 境新一「知財財産としての燃料電池システムの価値評価 - 課題と展望 - 」『FC EXPO 2009 ~第5回[国際]水素・燃料電池展 ~大学・国公立研究所による研究成果発表フォーラム』配布資料, 2009年2月27日, 東京ビッグサイト

- 11) 境新一「太陽光電池システムの意義と課題 - 自然要因と経済要因による検証 - 」『PV EXPO 2010 ~第3回[国際]太陽電池展 ~大学・国公立研究所による研究成果発表フォーラム』配布資料, 2010年3月5日, 東京ビッグサイト
- 12) 小西正暉, 鈴木竜宏, 蒲谷昌生著『太陽光発電システムがわかる本』オーム社, 2011年
- 13) ソーラー住宅普及促進懇談会「ソーラー住宅普及促進懇談会報告書~太陽光発電で地球と家計に優しい生活~」2009年2月
- 14) 境新一「省エネルギー住宅の未来 - 太陽光発電システムからみた課題と展望 - 」『PV EXPO2011 ~第4回[国際]太陽電池展 ~大学・国公立研究所による研究成果発表フォーラム』配布資料, 2011年3月4日, 東京ビッグサイト
- 15) 横山隆一編『災害に強い電力ネットワーク スマートグリッドの基礎知識』早稲田大学出版部, 2011年
- 16) 中野博『ITで「住みごこち」をデザインするエコ住宅の本』東洋経済新報社, 2000年
- 17) 省エネルギー技術戦略検討会「省エネルギー技術戦略」経済産業省2002年6月12日, 藤本博也「住宅の省エネルギー化に貢献する高断熱技術」『科学技術動向』2008年12月, 小宮山宏「課題解決先進国をリードするヒートポンプ+再生可能エネルギー」『日本経済新聞』2011年1月31日付, 森みわ『世界基準の「いい家」を建てる』PHP研究所, 2009年
- 18) 高橋幹雄『家づくりの極意』ハウジングエージェンシー出版局, 2008年
- 19) 「これからは再生可能エネルギーの時代だ! 省エネ・節電時代の「エコ設備」」建築知識10月号, 2011年, 積水ハウス『サステナビリティレポート2011年持続可能性報告書』, 2011年
- 20) インターネットメディア総合研究所編『スマートハウスとHEMS/BEMS/CEMS 最新技術動向2012』インプレス R&D, 2011年
- 21) 鈴木浩『日本版コンパクトシティ 地域循環型都市の構築』学陽書房, 2007年, 同編『地域計画の射程』八潮社, 2010年
- 22) パナソニック・プレスリリース「HEMS アライアンスの立ち上げについて ~HEMSの市場確立と普及に向けた共同検討を10社で推進~」2011年7月, <http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn110712-2/jn110712-2.html>
- 23) インターネットメディア総合研究所・前掲注20)
- 24) インターネットメディア総合研究所・前掲注20)

## 再生可能エネルギーを活用したスマートハウスに関する課題と展望

- 25) 「3電池管理の HEMS, 積水ハウス「見える化」へ, 大和は蓄電池を強化」  
『日経産業新聞』, 2011年10月26日付
- 26) 『日経産業新聞』・前掲注25)
- 27) 村上周三著, JSBC 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム編  
『実例に学ぶ CASBEE 環境性能の高いサステナブル建築はこうつくる』日  
経 BP 社, 2005年, 竹内昌義・馬場正尊・三浦秀一・山畑信博・渡部桂『未  
来の住宅 カーボンニュートラルハウスの教科書』バジリコ, 2009年
- 28) 村上・前掲注27)
- 29) 積水ハウス・前掲注19)
- 30) 吉田淳「環境性能・省エネ性能と資産価値」立地評価研究所, レポート,  
2011年, 森みわ『世界基準の「いい家」を建てる』PHP 研究所, 2009年,  
村上周三著, JSBC 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム編  
『CASBEE 入門 建築物を環境性能で格付けする』日経 BP 社, 2004年
- 31) 積水ハウス・ニュースリリース「世界初 3電池(太陽電池・燃料電池・  
蓄電池)連動による“自立できる家”の実用化 「グリーンファースト ハ  
イブリッド 快適に暮らしながら, “街の発電所”としてピーク電力カッ  
トや節電社会に貢献」2011年8月,  
<http://www.sekisuihouse.co.jp/company/newsobj1720.html>
- 32) 大阪ガス(積水ハウス)・前掲注2)
- 33) 積水ハウス・前掲注31)
- 34) 積水ハウス・前掲注31)
- 35) 積水ハウス・前掲注19)

### <インタビュー, 撮影>

境新一: 積水ハウス広報部 森本泰弘氏 2011年12月 同社・神奈川シャ  
ウッド住宅支店(小杉結子氏)ならびに積水ハウス「観環居」(横浜市みなとみ  
らい)撮影 2012年2月

### <Web サイト>

経済産業省 (METI) <http://www.meti.go.jp/> (最新参照, 2012年10月)

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

<http://www.nedo.go.jp/> (最新参照, 2012年10月)

東京都港区役所 <http://www.city.minato.tokyo.jp/> (最新参照, 2012年10月)

(財)建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) <http://www.ibec.or.jp/> (最新参照, 2012  
年10月)

積水ハウス(株) <http://www.sekisuihouse.com> (最新参照, 2012年10月)

大阪ガス(株) <http://www.osakagas.co.jp/> (最新参照, 2012年10月)

NEC(株) <http://www.nec.co.jp/> (最新参照, 2012年10月)

藤寿建築設計事務所 <http://touju-plan.com/companyprofil/> (最新参照, 2012年10月)