

# 6-3-1. 家庭用エネルギー消費による環境負荷を1/4にする実践研究 (その1) NEXT21・301 住戸「ファクター4の家」における省エネ改修シミュレーション

(大阪ガス) ○濱 恵介、志波 徹、篠倉 博之、(神戸芸術工科大学) 小玉 祐一郎、  
(KBI 計画・設計事務所) 森山 佳嗣、李 成海

**Factor-4 Dwelling; Simulation and Renovation for Reducing Effective Energy Consumption into a 1/4**  
Keisuke HAMA, Toru SHIBA, Hiroyuki SASAKURA(Osaka Gas), Yuichiro KODAMA(Kobe Design University), Yoshitsugu MORIYAMA, Seikai LEE (KBI Keikakusekkei)

## SYNOPSIS

This paper outlines an experimental project for reducing the environmental impact of home energy consumption into a quarter whilst assuring a high level of living comfort. The project has been applied to an existing dwelling unit within NEXT21, the experimental apartment housing in Osaka, owned and managed by the Osaka Gas Co. The main approaches for achieving the project objective have been, 1) To remodel an existing dwelling unit, 2) To improve thermal insulation and shading, 3) To introduce efficient equipment for energy conversion, i.e. condensing gas boiler and solid oxide fuel cell, 4) To make use of renewable energies, i.e. photovoltaic and solar heat, and 5) To change the behaviour of the residents related to energy consumption.

### 1. 研究の背景・目的・方法

地球温暖化問題への対応が重要視される今日、家庭部門においても温室効果ガスの代表 CO<sub>2</sub> 排出量抑制のため、省エネルギーや再生可能エネルギーの活用が強く求められている。

本研究の目的は、集合住宅における大幅な省エネ化の可能性を追求するため、大阪ガスの都市型実験集合住宅 NEXT21 における 301 住戸（メゾネット 150 m<sup>2</sup>）を活用した省エネ対策の検討とエネルギー消費削減効果の予測である。

目標水準は基準値 100 から 25 (1/4) への削減とした。その理由として、世界全体でエネルギー消費を半減させる必要があり、1人当たりで平均の2倍以上消費する我国は、半減の半減が妥当と考えた。

またファクター4という呼称は、「豊かさを2倍に、資源消費を半分に」という趣旨のワイツゼッカー他の著作「FACTOR 4」になぞらえたものである。

あらかじめ実現可能な対策を列举し、目標水準を実現するための熱負荷シミュレーション及び省エネ化の見通しをもとに必要な対策を検討し決定した。

なお達成度の評価は一次エネルギー換算で行い、在来型エネルギー（商用電力、都市ガス）消費量から再生可能エネルギー獲得量を差し引いた。併せて、CO<sub>2</sub> 排出量の削減状況を予測した。

### 2. 建築的改善（冷暖房負荷の低減）

建築として消費エネルギーの削減に寄与するのは、冷暖房負荷の低減効果である。改修前は、集合住宅でありながら戸建て並みの冷暖房負荷があった。

暖房・冷房時の省エネルギーに有効な手段として以下を実施した。（図1の①～⑩に対応）

1) 外壁延長の短縮化：玄関ポーチおよびサービス

バルコニーを屋内化することで、平面上の凹凸を減らし熱ロスを削減する①。

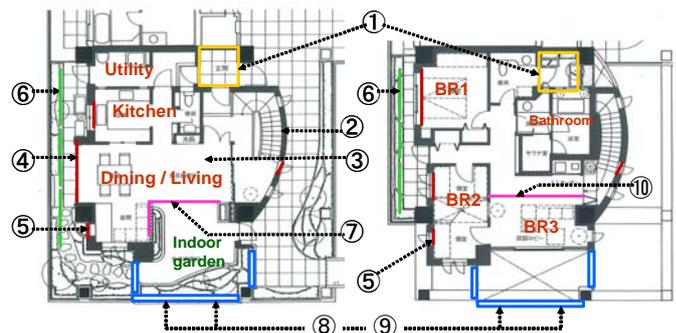


図1 ファクター4の家、建築的省エネ改修（下階-上階）

2) 断熱強化：外壁、施設に接する床、開口部など外周の断熱性能を高める。床下空隙 (190mm) ②及び外壁の空隙 (140mm) ③にセルロースファイバーを充填。主な窓に内部サッシを追加し3重ガラス化④。小窓の一部を断熱パネル (50mm) で冬季は閉鎖⑤。

3) 遮光・遮熱対策：夏期の冷房負荷を抑えるため、西側バルコニー（外部）にベネシアンブラインドを設け⑥、緑化による遮熱性能も維持する。

4) 付設温室：夏冬ともに環境調整装置として付設温室を設置した。下階のリビング空間の南側を建具で区画し⑦、付設温室「インドアガーデン」に転換し緩衝空間とした。冷暖房区画外とすることを含め、負荷を削減する。ガラス面外側に遮光スクリーン⑧、上下に半自動換気窓（スウィンドウ）を設けた⑨。

冬の晴れた日中は建具とスクリーンを開放し太陽熱を取り込み、天井扇で取り込んだ熱を内部空間に導く。夜は内部建具を閉め、熱ロスを防ぐ。夏の日中には、スクリーン及び内部建具を閉め、外気温に応じて通風を確保し熱の侵入を防ぐ。遮光スクリー

ンと換気窓の開閉は、自動でも手動でも可能である。

5) **緑化等**：301 住戸は当初から緑化が大きなテーマで、住戸内外に設けられた植込に特徴づけられていた。インドアガーデンとして屋内の緑を存置するとともに、西側バルコニーでは金属製トレリスを活用した緑化等により、温度・日射の緩和を図る。

(その他) この住戸は 150 m<sup>2</sup>の面積に個室は 2 し少なく、従前の居住の際も部屋数の少なさに不満があった。上階「談話ラウンジ」を引戸で仕切ることにより、個室数を 3 に増やす<sup>⑩</sup>。その他、設備の簡素化、階段室の冷暖房区画の明確化等を行った。

### 3. 設備機器および器具の改善

301 住戸の冷暖房設備システムは、従来の住棟セントラル方式から住戸専用に変更することを前提とし、省エネ性を優先し最適システムを検討した。

1) **給湯・熱電併給**：太陽エネルギー利用と、燃料電池による電気と熱の獲得の 2 システムを並存させ、省エネ性や使い勝手等を比較検証することとした。

(1) **ガス給湯暖房機**：潜熱回収型の「エコジョーズ」を導入した。後述する SOFC の排熱又は太陽熱温水の再加熱に用いる。省エネには、再加熱しない直接利用が有効で、居住者の判断で切り替える。

(2) **固体酸化物形燃料電池 (SOFC)**：実験室レベルでの発電効率は定格運転で 45% (LHV) に達し、熱利用の比率が小さい。集合住宅における実生活での実験を兼ね、排熱を給湯に活用する。

2) **暖房**：(1) **ガス温水床暖房**：床暖房の熱効率は比較的低い。しかし柔らかな輻射、高い体感温度、理想的な温度分布など快適性・健康性に優れており、下階に温水床暖房を導入することとした。(2) **エアコン**：上階は無暖房でもかなり暖かく、下階が暖房された状態での暖房負荷は極めて小さい。上階の暖房には、下記エアコン 1 台で十分と判断した。

3) **冷房**：従前の住棟セントラル方式の冷水 VAV 空調をやめ、高性能な家庭用の電気エアコンを採用した。断熱・遮熱措置を施すことで、上下階 1 台ずつのエアコンで快適室温に保つ。

4) **調理**：調理の省エネは実生活においてなされることが多い。特に、電熱家電の利用 (保温機能を含む) を避けることが有効である。今回の改修で行ったのは、高効率ガスコンロへの取り替えのみである。

5) **照明・動力**：照明等の電力消費を削減するため、既設の白熱電球を電球型の蛍光灯に置き換えた。また必要以上の照度があると見られる場合は、蛍光管の一部を減らすなど過剰な照明器具を排除した。

6) **換気**：上下各階に熱回収型の換気システムを採用し、換気経路には既設の VAV 空調用ダクトを転用する。常時小風量換気は、節電のため運転方法は弾力的に運用する。台所・浴室等は局所換気とする。

7) **その他の省電力**：待機電力の削減は、少ない費用で大きな効果の期待できる方策である。待機電力の大きな器具にスイッチ付きタップを準備した。

### 4. 太陽エネルギーの獲得

1) **太陽光発電**：NEXT21 には屋上の 7.5kW 容量の PV モジュールが設置済みで、2.5kW 分を 301 住戸に専用接続する。余剰電力は、NEXT21 の共用配線に逆流され棟内で利用される。

2) **太陽熱給湯**：給湯における太陽熱利用は、今後とも有効な手段であるが、集合住宅での設置方法が課題である。ファサードに集熱装置を設置するため、強制循環式を採用した。

### 5. 省エネ効果の検証

当該住戸のエネルギー消費の基準となる用途別エネルギー消費量を求め、そこから対策によりどの程度消費エネルギーが少なくなり、また太陽エネルギー活用でオフセットできる量を算出し、総合計してエネルギー削減効果を算出した。比較は、一次エネルギーで単位を MJ (メガジュール) 統一。商用電力は火力発電における発送電ロスを 60% と見なし、消費電力 (二次エネルギー) を 2.5 倍して算入した。

1) **基準となるエネルギー消費量**：省エネ効果を評価する基準値は、第 1・第 2 フェーズにおける消費量、大阪の戸建住宅における消費量、及び SMASH よる熱負荷シミュレーション等を基にして算定した。

2) **省エネ効果の予測**：対策ごとの省エネ効果を事前に予測した。なお、設置が遅れた太陽熱温水器の熱量に代えて、SOFC からの排熱を算入した。

前述の基準レベルを 100 とし省エネ効果を累積で予測すると、(1) 建築的な対策で 55 に削減、(2) 設備改修を加えて 48 に削減、(3) 省エネ家電への買い替えなどを想定し 44 に削減、(4) 検討未了ながらライフスタイルによる省エネにより 39 に削減、(5) SOFC 余熱の寄与分を差し引いて 35 にまで削減、(6) 以上 65%削減されたエネルギー消費量から太陽光発電量相当を差し引き、環境負荷となるエネルギー消費量が 22 にまで削減される、と試算した。

このように、全ての要素が予測通りに機能すれば、目標水準への削減は達成できる見込みが得られた。

図 2 に削減の手段と試算による削減予測を示す。

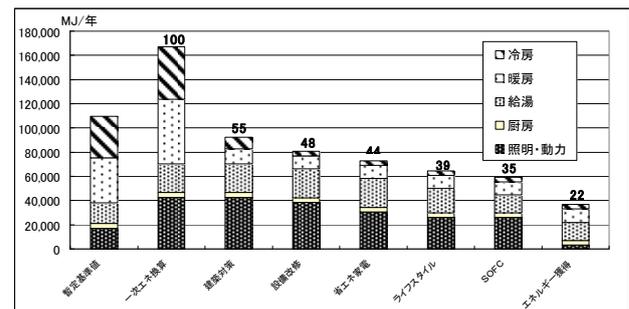


図 2 エネルギー負荷削減の予測 (一次エネルギー)

## 6-3-2. 家庭用エネルギー消費による環境負荷を1/4にする実践研究 (その2) NEXT21・301住戸「ファクター4の家」における省エネ居住実験

(大阪ガス) ○志波 徹、濱 恵介、篠倉博之、(KBI 計画・設計事務所) 森山 佳嗣、島田照実

### Factor-4 Dwelling; Experimental Living for Reducing Effective Energy Consumption into a Quarter

Toru SHIBA, Keisuke HAMA, Hiroyuki SASAKURA (Osaka Gas),

Yoshitsugu MORIYAMA, Terumi SHIMADA (KBI Keikakusekkei)

#### SYNOPSIS

This paper outlines the interim results of energy saving effects through the occupants' living for reducing the effective energy consumption into a quarter. The project has been taken place in the accordingly renovated dwelling unit #301 within NEXT21, the experimental apartment housing of the Osaka Gas Co. The occupants were not requested energy saving efforts in the first year. From the second year on, however, they have been suggested how to reduce their energy consumption. Some measures have been added to improve energy efficiency. The reduction rate of the 1st year of energy consumption in term of primary energy was 61% in comparison with the target 75%. The relevant figure of the 2nd year reached 68%. There is yet a room for improvement.

#### 1. 研究の目的と方法

本研究の目的は、同名の論文(その1)に述べた住宅改修を施された標記の住戸において、実際の居住状態でエネルギー消費量、温湿度環境、関係するライフスタイル等を観察し、環境負荷となるエネルギー消費が1/4に削減されることの検証である。5年計画のうち、最初の2年間の成果を報告する。

必要なデータを把握するため、温湿度、電力・ガス消費量、発電量、温水熱量などを計測し分析する。

評価の基本的方法は、環境負荷となるエネルギー消費量を一次エネルギーに換算するもので、在来型エネルギー消費量から太陽エネルギー獲得量を差し引く(以下、単に一次エネルギーと記す)。

また、エネルギー消費に関するライフスタイルを把握するため、季節ごとにヒアリング調査を行う。

これらの情報は社内に設けた「ファクター4の家、省エネ居住研究会」において分析・検討され、さらなる効率化・エネルギー節減策へ反映される。

#### 2. 居住家族とライフスタイル

2007年4月、居住実験に協力する家族が入居した。家族構成は夫婦と子2人の4人である。夫婦共働きで子どもは中学校と高校に通うので、通常のウィークデーは日中在宅しないが、夕食は自宅で取る。

真夏を除き毎日浴槽に湯を溜め入浴する。浴室暖房乾燥機や衣類乾燥機は減多に使わない。暖房・冷房の温度設定に無理は見られない。お茶用の湯沸しと炊飯保温に電熱を用いる場合がある。待機電力のカットは、部分的にとどまる。

#### 3. 居住実験の経過概要

最初の07年度は、基礎となるデータを得るため、特段の省エネ努力を求めず、家電製品もこれまで所有したものを使い、成り行きで暮らしてもらった。

その結果、一次エネルギー消費量は基準値の約39%となり、目標の25%(1/4への削減)には及ばなかった。特に照明・動力(家電)用の電力消費量が大きく、全体の評価に最も影響を及ぼしている。

2年度目は、初年度の観察から居住性の不足を補い家電等の器具を省エネ型に交換すると共に、我慢しない範囲で省エネの工夫を依頼した。その結果、同じ定義の消費量は基準値の約32%となり、7ポイント改善されたが試算値には到達していない。

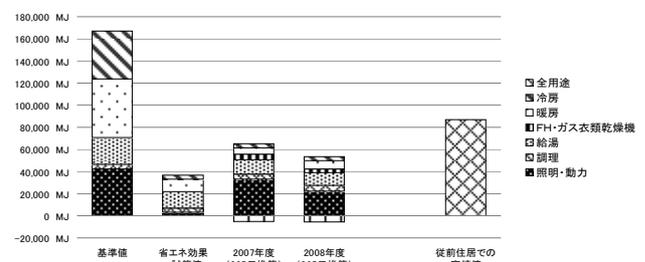


図1 基準値・試算値・07年度・08年度及び従前値の比較(年間)

#### 4. 用途別エネルギー消費

用途別に一次エネルギーの消費状況の把握と試算値に対する削減効果の評価を行った。

1) 暖房：温水床暖房・ガスファンヒーター・電気エアコンという選択肢があり、居住者は07年度主にガスファンヒーターを利用し、試算値を11%下回った。08年度に温水床暖房を主に用いて、暖房用途のエネルギー消費量は、試算値の17%減となった。削減の理由は暖房方法でなく平均外気温の上昇にあると見られる。但し、試算値は常時18℃に保つ場合の値であり、実際は不在時に暖房を切り、運転時には室温が20℃を上回る場合もあるので、前提条件が多少異なる。上階では暖房が殆ど使われていないが、ほぼ快適室温が維持され、断熱性の大幅改善が住環境の改善にも大きく寄与していることが確認できた。

2) 冷房：在宅時に室温 28℃以下に保つようエアコンを利用する。07年度は年間の冷房用一次エネルギーは3,516MJ、08年度は3,611MJで、試算値を5%前後下回っている。2年目の増加は気温上昇のため。前提条件とのずれは暖房と同様である。

3) 給湯：給湯負荷は07、08年度とも試算値を下回った(15%、23%)。推測される理由は、夏季に湯張りせずシャワーで済ませること、皿洗い・洗顔等に固体酸化燃料電池(以下、SOFC)からの温水を再加熱せず利用することなど考えられる。2年目のSOFC稼働率改善も寄与した。

4) 調理：調理用の都市ガス消費量は、暖房をしない時期の平均値を通年のものと見なした推定値である。07、08年度いずれも試算値を上回った(35~38%増)が、基準値は第1フェーズ実績(幼い子2名のいる家族)に影響を受けているので、都市ガス約9m<sup>3</sup>/月が特に大きいとは言えない。

5) 照明・動力：この用途が試算値との乖離が最も大きく、太陽光発電の削減寄与量を含めた単純な比較で07年度は9倍、08年度は大幅に減らしたがなお6倍の増加となっている。07年度の消費量が特に大きかった理由は、旧式の2台の冷蔵庫、埋め込み型の天井照明、電熱家電の利用等が考えられ、それぞれ改善した。さらに全ての電力消費器具の利用状況を調査した。なお、換気窓(スィンドゥ)と遮光スクリーンの制御用電力は、消費電力量の10%超を占めるが、実験用なので集計上は別枠で扱っている。

## 5. 再生可能エネルギー及びSOFC

計測対象は、太陽光発電(PV)と太陽熱給湯利用である。PV設置容量2.52kWに対する発電量は、08年度で2,453kWhと概ね想定通りである。PV発電中もSOFCは稼働し、PV発電量の約84%が棟内に逆流された。これをオフセット分として照明・動力用消費量から差引く。太陽熱温水利用は設備の設置が遅れ、報告データはない。

SOFCの平均出力は、415Wで、期間中高い稼働率で順調に稼働し、期間中の平均発電効率は38~39%(LHV)であった。

## 6. 温度・湿度環境

春(4月)・初夏(5・6月)・秋(10・11月)は暖房も冷房も不要で、快適で安定した室内環境が保たれる(データ省略)。

夏(07年8月)は大阪の都心らしく外気温は最低が27~28℃の熱帯夜が続く。最高気温は33~37℃と厳しい。インドアガーデンはほぼ外気温に近い。冷房を使う室内でも、不在等で運転をしない状態では30℃以上が頻繁に現れる。最低外気温が高い状態でのパッシブ・クーリングの難しさを示す。

冬季(2008年1月)は、最低外気温は0~3℃、最高外気温は5~7℃で推移した。最も外気の影響を受けるインドアガーデンは最低気温が8℃、最高は19℃程度で、外気温に追随しながらも内部居室との緩衝空間として役割を果たしている。居間の気温は14℃前後、最高は18℃前後が多いが時に23℃に達する。一方、上階個室の温度は暖房をしない状態で16~20℃と極めて安定し、良好な熱環境にある。

湿度は、居室で35~50%台で推移し、快適な状況にあると見られる。一方、インドアガーデンは低温と散水による加湿により80%前後となっている。

## 7. 中間総括

建築的な改修(断熱・日除け強化)の効果は概ね期待通りの効果を発揮し、冷暖房負荷を削減している。給湯についても廃熱利用の貢献や使い方の工夫により試算値を上回る削減ができています。

一方、照明・動力用途の電力消費量は、依然として大きい。その理由として試算時の前提と実際に使われる器具の種類と数の違いがある。家電製品の利用を通じた家族のライフスタイルを反映していると判断される。

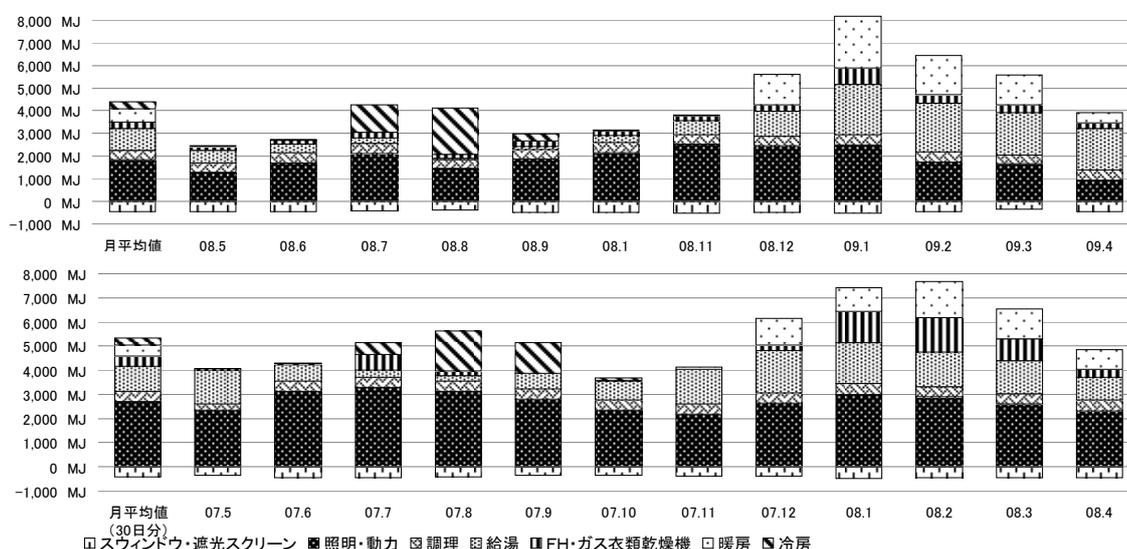


図2 2007年度(下)と2008年度(上)の用途別エネルギー消費状況(月平均=30日分及び各月)