

エネマネハウス 2017 における『まちや+こあー ZEH コアによる町家・コミュニティ再生モデルの提案』環境設計コンセプトと温熱環境・エネルギー性能の実証結果

PRACTICE OF “MACHIYA+CORE”, A RENOVATION MODEL OF TRADITIONAL TOWNHOUSE AND LOCAL COMMUNITY WITH ZEH-CORE, IN ENEMANE HOUSE 2017

伊庭千恵美 — * 1 小椋大輔 — * 2
稲本佳奈 — * 3 高野 駿 — * 3
中澤 結 — * 3 柳沢 究 — * 4
中野弘嗣 — * 5 豊田保之 — * 6
毛利隆之 — * 7

Chiemi IBA — * 1 Daisuke OGURA — * 2
Kana INAMOTO — * 3 Shun TAKANO — * 3
Yui NAKAZAWA — * 3 Kiwamu YANAGISAWA — * 4
Koji NAKANO — * 5 Yasushi TOYODA — * 6
Takayuki MOURI — * 7

キーワード：

町家, 断熱改修, ZEH, 室内温熱環境, 放射暖房, 燃料電池, 太陽光発電

Keywords:

Townhouse, Thermal insulation retrofit, ZEH, Indoor thermal environment, Radiative heating, Fuel cell, Solar photovoltaic power generation

In *ENEMANE HOUSE 2017*, we proposed a sustainable renovation project named “*Machiya + Core*”, in which a model house with both traditional appearance and high energy performance was built. Energy saving technique including new solar photovoltaic power generation system and thermal comfort improvement was intended in the environmental design process. The thermal environment and energy consumption were measured in the model house, and the possibility and challenges for the ZEH renovation of traditional townhouses were examined.

1. はじめに

2014 年 4 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」において、「住宅については、2020 年までに標準的な新築住宅で、2030 年までに新築住宅の平均で ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）の実現を目指す。」とする政策目標が設定され、経済産業省資源エネルギー庁では、ZEH 普及に向けた各種施策を推進している¹⁾。

その一環として、大学と民間事業者等が協働して ZEH に係る先進的な技術や新たな住まい方を提案するモデルハウスを実際に建築し、実証・展示を行う「エネマネハウス」という事業が行われ、第 3 回目となる 2017 年には「LIFE DESIGN INNOVATION」～住まい・コミュニティに多様な新しい価値を創造する～をテーマに、6 大学 5 チームの提案が採択された²⁾。京都大学と協力企業・後援団体からなるチームは、『まちや+こあーZEH コアによる町家・コミュニティ再生モデルの提案』と題して、既存の町家の持つ伝統的な住まいの文化を残して活用するための改修技術の開発と、それを生かした地域のコミュニティの再生を目的としたプロジェクトの提案を行った（図 1）。

本稿では、提案内容の中から主に建築環境工学的側面に着目し、最初に環境設計のコンセプトについて述べた後、実際に施工したモ

デルハウスにおける温熱環境とエネルギー性能の測定概要と実証結果を報告する。さらに、都市部の狭小住宅の消費エネルギーおよび創エネルギーの特徴に着目し、今後伝統的な意匠や街並みと共存できる ZEH の在り方や課題について考察する。

2. 環境設計のコンセプト

本プロジェクトにおいては、長年地域コミュニティの核（コア）としての役割を担ってきた長屋形式である京町家を対象とし、伝統的に使用されてきた素材や構法に、現代の技術や知見を加えること



図 1 エネマネハウス 2017 モデル住宅『まちや+こあ』外観

本稿は 2018 年度建築学会大会で発表予定³⁾の内容を再構成・加筆したものである。

¹⁾ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 助教・博士（工学）
〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C2 棟）

²⁾ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・博士（工学）

³⁾ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程

⁴⁾ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士（工学）

⁵⁾ 水の葉設計社

⁶⁾ トヨタヤスシ建築設計事務所

⁷⁾ STAGE 一級建築士事務所

¹⁾ Assistant Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

²⁾ Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

³⁾ Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

⁴⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng.

⁵⁾ Mizunoha Design Office

⁶⁾ Yasushi TOYODA Architects Studio

⁷⁾ Architectural Design Office STAGE

で、伝統的な外観を保ったまま断熱性能を向上させ、省エネルギー化を図ることとした。さらに、高効率な住宅設備と創エネルギー設備を導入することにより、京町家の伝統的意匠や空間の魅力を残しつつ、ZEH 基準をクリアすることを目指した。環境設計における重要なポイントは以下の4点である。

① 躯体の断熱計画

モデル住宅の平面・断面を図2に示す。断熱改修の特徴としては、京町家の特徴である通風を確保する大きな開口や玄関土間、奥庭空間を確保しつつ、1階座敷と2階寝室・水回りを含む居住部分を断熱区画（「ZEH コア」と名付けた）とした。さらに、コアの一部である梁間方向の壁を増やすことにより、断熱性のみならず耐震性の向上も図った。ファサード側については、街並み保存の観点から外側からの改修を行うことは困難である。また、京町家での暮らしは通りと家のつながりを重視することから、通りに面した部屋は土間やミセノマとしてコミュニティの場ともなる。本モデル住宅においても、上記を考慮した平面計画により通りに面した空間を吹き抜けの土間としたため、この部分は外壁面での断熱改修は行わず、真壁を見せることを優先させた。この土間空間は建具の開閉により環境調整空間（熱的緩衝空間）となり得る。土間と座敷の間、座敷と濡れ縁、寝室と縁側の間を「コア」部分の断熱境界とした。

② 季節による日射の制御

面積の大きい屋根については、冬季の熱損失低減だけではなく夏季の防暑対策として非常に重要であるため、特に断熱性を強化した。京町家の特徴である大きな開口については、断熱性の高いエアロゲルを充填した障子風の意匠の建具を断熱コアの北側建具に用いた。南側の開口部については、夏季は深い庇で日射を遮り、冬季の日中にはできるだけ日射熱を取り入れたいことから、日射取得型のLow-E ガラスを用いた木製建具を取り付けた。重量と開閉性、断熱性のバランスを考慮し、トリプルガラスではなくペアガラスとした。

③ 熱容量・湿気容量の利用と快適な居住空間の創出

断熱コア部分を囲む外壁のうち、厚みを確保できる土間と居室（座敷・寝室）の間、居室と濡れ縁・縁側の間では、既存土壁もしくは荒壁パネルの外側に木質断熱材と発泡プラスチック断熱材を施工し、室内側はポリマーセメント系下地に黄土水捏ね仕上げとした。間仕切りには木質パネル、床には無垢板と畳を用い、それらの熱容量と湿気容量により室内温湿度の安定を図った。さらに、冷暖房には、居住者の快適性向上を目的とし、放熱器温度が過度に高温や低温とならない放射型パネル冷暖房システムを採用した。

④ 創エネ設備計画

街並みの保存が重視される地域では、景観上建築設備の設置に制限がかかる場合がある。例えば京都市では太陽光パネルの景観に関する基準⁴⁾が定められており、市内の地域によって屋根に載せられる太陽光発電パネルの色や形状、設置方法が規制され、屋根面に大きな太陽光発電パネルを設置することが困難である。したがって、本モデル住宅では、屋根瓦と同面になるガラス瓦の下にシート型太陽電池を設置した新しい太陽光発電システムを屋根の南北面に採用した。発電量が不足する分は通りから見えない位置に太陽光パネルを設置し、さらに固体酸化物形燃料電池（SOFC）による発電と併用した。なお、ダブル発電逆潮による省エネ効果の検証を行う予定であったが、敷地等の都合上、燃料電池の逆潮は認められなかった。

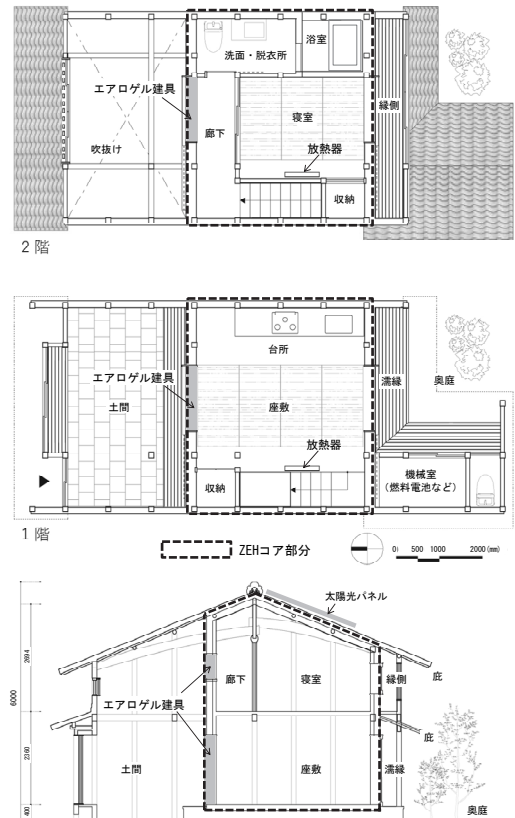


図2 モデル住宅の平面図・断面図

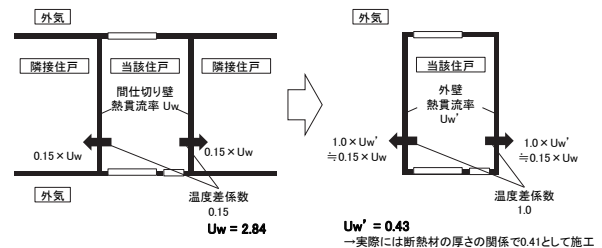


図3 隣戸がある場合を想定した側壁の断熱性能の考え方

3. モデル住宅の設計性能

3-1. 外皮の断熱性能

京町家はもともと連棟形式で隣戸と側壁を共有している場合が多い。面積の大きい側壁が外気に接しないことは躯体の断熱性評価において有利であり、省エネ基準上、側壁側の温度差係数を0.15として取り扱える⁵⁾。すなわち、土壁60mmで無断熱（柱を含む）の戸境壁の部位熱貫流率（以下U値）は本来2.84[W/(m²・K)]となるが、温度差係数を乗じることで0.43[W/(m²・K)]の外壁と同等の断熱性能があるとみなせる（図3）。本モデル住宅は、敷地や面積の制限から独立で建設せざるを得ず、改修を想定していることから、断熱改修前の住戸の戸境壁が土壁60mmであるとして算出した熱損失と同等となるよう、モデル住宅の側壁にフェノールフォーム63mmを付加し、既存土壁とみなした。

各部位の断熱仕様、熱貫流率、面積を表1に示す。隣戸のある東西外壁は外側からの断熱改修が困難であることや室内に厚い断熱材を付加すると改修後の室が狭くなること、柱の見える真壁の意匠を残したいことなどの理由から、薄く高性能な真空断熱材のパネルを用いて内張り断熱改修を行うこととした（図4）。このパネルは、真

空断熱材（8mm）をウレタンフォームと表面鋼板で保護したもので、パネル厚さは13mm、平均熱伝導率は0.006 [W/(m・K)]である。

南側外壁の既存土壁、北側（土間側）外壁は新設土壁があるものとして、土壁の熱容量・湿気容量を生かし、真壁の意匠を残すため外断熱とした（図5）。柱の外側に耐震性向上を兼ねて耐力下地材を張り、土壁と耐力面材の間、耐力面材の外側に断熱材を施工した。なお、土壁と木質繊維断熱材の湿気容量が大きいこと、外張り断熱材の断熱性が高く壁内温度が低温になりにくくなることから、壁内での結露は生じないものとして、防湿層の施工は省略した。

屋根は面積が大きく、冬季の暖房効率向上に加え夏季の日射対策にも有効であるため、表1に示す断熱仕様とし、室内側を和紙で仕上げた。床は、既存床板をはがさず簡易に施工できる方法を提案したいという意図から以下のようにした。床下と室内との温度差係数は0.7であり外気の影響を緩和できることから、畳部分には真空断熱材10mmを入れるだけとし（図6）、板床部分は畳との段差をなくするため根太を入れ根太間にタタミボードで断熱をした。畳・タタミボード・床板自体に吸放湿性があるため、防湿層の施工は省略した。

開口部はすべて木製建具とし、気密材を金具で締め込む措置を施した。北側にはエアロゲルをアクリルケースに充填した障子風意匠の建具を用い（図7）、南側には冬季の日射取得ができることを念頭にLow-Eペアガラス（5FL+A12+5LowE）を用いた。ガラス自体の熱貫流率は1.18 [W/(m²・K)]、日射熱取得率は0.55である。エアロゲル建具の熱貫流率は1.26 [W/(m²・K)]（試験機関測定値）である。気密性能は別途実験室で簡易な測定を行い、JIS A 4706に規定されたサッシA-3等級とA-4等級の中間程度であることを確認した。

以上の仕様にに基づき、コア部分を断熱境界とみなして、外皮平均熱貫流率（ U_A 値）と冷房期日射熱取得率（ η_{AC} 値）を住宅の省エネルギー性能の計算ソフトウェア『住宅性能診断士 ホームズ君「省エネ診断」』⁶⁾を使用して求めた。コア部分の U_A 値は0.35 [W/(m²・K)]、 η_{AC} 値は0.6%であり、ZEHの要件（省エネ基準6地域で U_A 値0.6 [W/(m²・K)]、 η_{AC} 値2.8%）を満たしている。

3-2. モデル住宅の設備仕様

本モデル住宅では創エネ設備として、太陽光発電と燃料電池コジェネレーションシステムを導入した。

太陽光発電については、景観に配慮してガラス瓦の下にシート型の太陽電池を配置する新しいシステムの提案を行った。断面イメージを図8に、施工状況を図9に示す。これにより、ファサード側にも太陽電池を載せられる可能性を示した。ただし、屋根全体をガラス瓦とすることは景観上もコスト上も現実的でないことから、設置は南北面とも一定の面積（シート0.96m²/枚×4枚分）にとどめた。シート4枚の発電容量は0.48kWであるが、ガラス瓦の日射透過率0.88を考慮し、南北屋根面それぞれに0.422kW（0.48×0.88）の発電容量があるものとした。ただし、後述するZEH基準を満たすために、街路から見えにくい屋根の庭側（南面）に高効率太陽光発電パネル1.26kWもあわせて設置した（図9右）。

家庭用燃料電池コジェネレーションシステムは、固体酸化物形燃料電池（SOFC）を採用した。本システムは主に発電ユニットとガス給湯器により構成される。発電ユニットは、家庭内の電力需要に応じて発電し、定格運転（700W）時の発電効率⁷⁾は46.9%（以下、本稿記載の効率値はHHV）であり、系統電力の平均発電効率⁸⁾である36.9%と

表1 各部位の断熱仕様と熱貫流率

部位	断熱仕様	熱貫流率 [W/(m ² ・K)]	面積 [m ²]
屋根	フェノールフォーム90mm+60mm 銅板サンドイッチパネル（ポリイソシアヌレートフォーム）35mm	0.10	20.42
北側外壁	フェノールフォーム90mm 耐力下地材12mm 木質繊維断熱材50mm 荒壁パネル26mm	0.21	12.22
北側建具	木製建具+エアロゲル	1.26	4.19
南側外壁	フェノールフォーム90mm 耐力下地材12mm 木質繊維断熱材50mm 荒壁パネル26mm	0.21	14.82
南側窓	木製建具+LowE複層ガラス （2階は風除室つき）	1.90 （1.60）	3.02 （1.78）
東側外壁	フェノールフォーム63mm 真空断熱材パネル13mm	0.35	19.36
西側外壁	フェノールフォーム63mm 真空断熱材パネル13mm	0.35	19.36
床（畳）	真空断熱材10mm 畳床55mm	0.33※	11.68
床（木）	真空断熱材10mm タタミボード40mm 無垢材フローリング15mm	0.47※	7.28
合計		—	114.13
外皮平均熱貫流率		0.35	—

※床断熱部分の温度差係数は0.7とした。



図4 内張りした真空断熱材パネル



図5 中塗り仕上げの南壁



図6 畳下の真空断熱材



図7 土間に面したエアロゲル建具

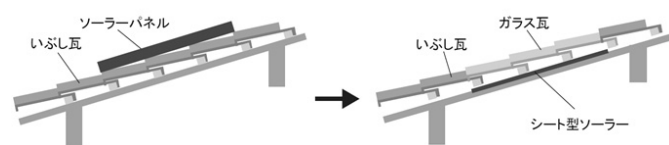


図8 ガラス瓦+シート状太陽電池によるシステムの断面イメージ

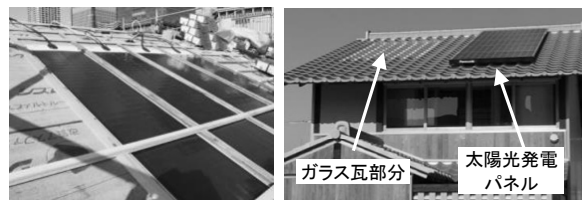


図9 シート状太陽電池の設置（左）と屋根南側の太陽光発電（右）

比較すると高い。また、発電時の排熱利用を考慮した総合効率は78.5%である。発電ユニットのコンパクト化が進んだため、機械室（改修前の町家の脱衣室・浴室）内に収めることができた（図10）。

本システムは、燃料電池の排熱を利用し予熱した水を、ガス給湯器で沸き上げる。本給湯器の熱効率は95%である。なお、本給湯器には排気の滞留防止のため、庭側へ排気を誘導するアタッチメン

トを取り付けた。さらに、洗面台や浴室、台所では節水・節湯に配慮した水栓を設置した。浴槽は町家の風情に合わせてヒノキ風呂としたが、通常よりも底上げをすることで節湯型としたほか、JIS の高断熱浴槽と同等の性能となるよう側面と底部に断熱材を貼り、ふたには真空断熱材を用いた（図 11）。別途行った浴槽の保温実験により、室内環境下（平均気温 18.8℃）において 8 時間の温度低下が約 2℃程度におさまることを確認した。

暖冷房設備には、冬季は温水（30～35℃）、夏季は冷水（15～20℃）を循環させる放射冷暖房システムを採用した。放熱器と熱源の能力を表 2 に示す。本システムは、エアコンのように吹出空気による不快感や乾燥感を生じにくく、放熱器の表面温度が極端に高温や低温とならないため、居住者にとって快適性の高いシステムといえる。夏季は放熱器表面に結露させ、室内を除湿することもできる。町家の雰囲気合う縦格子状の意匠もあり（図 12）、本モデル住宅で採用した。熱源には電気ヒートポンプを用いた。

換気設備は、建築基準法で定められた居室（気積 75.89m³）の換気回数 0.5[回/h]を達成するため、壁付け熱交換換気扇を 1 階座敷、2 階寝室の各箇所に設置した。換気扇の温度交換効率率は 70%、有効換気量は 22[m³/h]、消費電力は 14[W]である。計算上換気回数は 0.57 [回/h]となった。浴室には別途、換気扇（排気）を設けた。

照明設備はすべての場所に LED 電球を用いたが、調光機能や人感センサ等は用いなかった。

以上の設備において想定通りの運転がなされているかを確認するため、HEMS（Home Energy Management System）を導入した。機械室内の分電盤で各系統の電流を測定し、電力に換算して機器本体に記録するとともに、タブレット端末にリアルタイムで使用電力および発電量を表示し、見える化を行った。

3-3. 設計一次エネルギー消費量

前述の設備を導入した際の一次エネルギー消費量を、国立研究開発法人建築研究所の「エネルギー消費性能計算プログラム(住宅版)Ver.2.3.1」⁹⁾（計算日：2017 年 11 月 21 日）を用いて算定した。計算条件を表 3 に示す。なお、モデル住宅において使用した電気ヒートポンプにより温冷水を供給する放射冷暖房設備と、コジェネレーションを利用した給湯設備の組み合わせは上記プログラムの仕様の計算対象ではないため、表 4 に示す組み合わせで計算を行った。給湯一次エネルギー消費量の評価では、暖冷房設備に電力消費の少ない高効率エアコンを選択し、コジェネレーション発電量が不利側の条件となるように計算を行った。暖房については実際に使用する設備に対応したエネルギー消費量の算定結果を用い、住宅としての設計一次エネルギー消費量を求めた。図 13 に、その他設備の一次エネルギー消費量を除いた基準一次エネルギー消費量と設計一次エネルギー消費量を示す。躯体の断熱性能向上により暖房エネルギーが大幅に減り、外皮や設備による削減率は 20.5%、コジェネ発電量を考慮した削減率は 61.7%、太陽光発電を考慮した一次エネルギー削減率は 114.3%となり、ZEH 基準を満たすことが確認できた。

4. モデル住宅の実証試験

4-1. 実証試験スケジュールと測定項目

モデルハウスの施工完了後の実証期間は 11 月 18 日から 21 日の 4 日間、11 月 24 日～28 日の 5 日間である。実測期間中は、9:00～12:00



図 10 燃料電池システムの設置



図 11 高断熱ヒノキ風呂

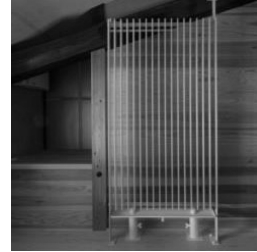


図 12 2階寝室の放射冷暖房パネル

表 2 暖冷房仕様

放熱器		
1 階	暖房能力	0.8kW
	冷房能力	0.7kW
2 階	暖房能力	0.6kW
	冷房能力	0.7kW
熱源（定格値）		
暖房	加熱能力	6.0kW
	消費電力	1.49kW
冷房	冷却能力	3.6kW
	消費電力	1.2kW

表 3 設計一次エネルギー計算条件

床面積	主たる居室※	21.69 m ²
	その他の居室※	10.77 m ²
	床面積の合計	37.92 m ²
省エネルギー地域区分		6地域
年間日射地域区分		A4区分
外皮等面積の合計		Σ A 114.13 m ²
外皮平均熱貫流率		U _A 値 0.35 W/m ² K
冷房期の平均日射取得率		η _{AC} 0.6
暖房機の平均日射取得率		η _{AH} 0.8

※ここで、主たる居室とは1階座敷・階段・収納と2階階段部分のことで、その他居室とは2階寝室・廊下・収納部分のことを指す。

表 4 設計一次エネルギー評価のための計算条件

暖房一次エネルギー評価用	給湯一次エネルギー コジェネレーション発電量評価用
暖房放熱器：パネルラジエータ	暖房：エアコン（い）区分
温水暖房機：温水暖房専用型 電気 ヒートポンプ温水暖 房機（フロン系冷媒）	※最も不利側の条件として計算 （効率の良い機器を選択する事 でコジェネレーション発電量が 少なくなる）
給湯器：給湯設備機器を 設置しない	給湯器：コジェネレーションを 使用する
コジェネレーション：採用しない	コジェネレーション：採用する

※冷房設備、換気設備、照明設備、太陽光発電量は両者とも共通

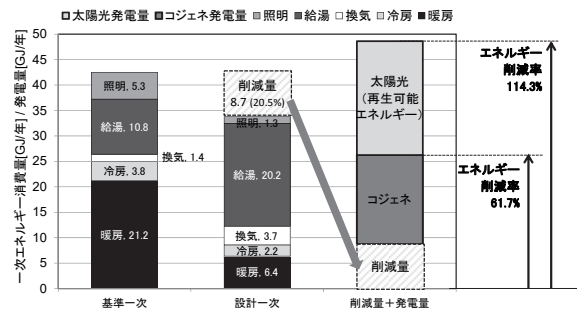


図 13 設計一次エネルギー消費量と ZEH 要件

表 5 測定概要

項目		測定間隔
コジェネ・給湯	ガス消費量	5分
	燃料電池発電量	5分
	太陽光パネル発電量	5分
太陽光 発電	太陽光シート発電量	1分※
	外部電力購入量	5分
	逆潮流電力量	5分
電力	照明・コンセント各系統	30分
	温湿度	1分
	グローブ温度	1分
室内環境	CO2濃度	1分
	表面温度	1分

※太陽光シートの発電量は実証期間中にセンサの取付けができず測定ができなかったため、展示期間の12/9～16のみデータを取得した。

と 14:00～18:00 の間、モデル住宅内に学生が 3 人滞在し、発熱・発湿源となるとともに暖房調整などを行った。また、所定の時間に浴槽への湯張りを行い、通常の生活における家電の仕様を想定した模擬負荷が住宅内に与えられた。住宅内の温湿度や住宅の消費エネルギー量、発電量等は表 5 に示すとおりに測定された。

なお、実証期間に先立ち、コア部分と建物全体での気密測定を行ったところ、コア部分の相当隙間面積は $1.7 [\text{cm}^2/\text{m}^2]$ であり、建物全体では $7.2 [\text{cm}^2/\text{m}^2]$ となった。コア部分の気密化は十分出来ているが、建物全体では、特に気密性に配慮していない既存想定の木製建具の隙間が大きかったものと考えられる。

4-2. 実証試験期間中の室内温湿度

図 14、15 に、実証期間前半（11 月 18 日～21 日）の室内各所の温度と相対湿度をそれぞれ示す。実証期間中、暖房放射パネルの表面温度は設定通りの約 $30\sim 32^\circ\text{C}$ に保たれており、全日暖房をしているため室温の変動は小さい。1、2 階とも上下温度差は 2.5°C 以内に収まっていた。土間の空間温度は外気より常に $3\sim 5^\circ\text{C}$ 程度高く、居室と外気との緩衝空間としての役割を果たしているといえる。相対湿度は、2 階浴室と 2 階寝室がやや高く $60\sim 70\%$ 、1 階も特別な加湿を行うことなくおおむね 50% 程度に保たれていた。以上から温度、相対湿度ともに非常に安定して推移しており、土壁や木材の蓄熱性能、吸放湿性能が効果的に作用していることが確認できた。

4-3. 発電量

図 16 に実証期間中の太陽光発電と燃料電池の発電量、外部電力購入量と逆潮流電力量を示す。モデル住宅は電力消費が少なかったため、電力需要に応じて最大 700W まで発電する燃料電池で日中の需要はまかなわれ、太陽光パネルによる発電量は逆潮流電力量とほぼ一致した。外部からの購入電力量は 1 日あたり $700\sim 900 [\text{Wh}]$ であった。

シート型太陽電池と太陽光発電パネルの発電量を以下で比較する。図 17 に建設地である大阪市の日積算全日射量（気象庁データ）と、実証期間から 12 月 16 日までの太陽光パネル・シートそれぞれの日積算発電量の関係を示す。図の左軸が太陽光パネルの発電量、図の右軸がシート型太陽電池の発電量である。本来の発電容量はパネルが $1.26 [\text{kW}]$ 、シートが $0.845 [\text{kW}]$ であるため、約 $2/3$ の発電量が期待されていたが、シート型太陽電池の発電量はパネルの $1/10\sim 1/50$ 程度であった。また、パネルの発電量は日射量と高い相関があるが、シートの発電量は必ずしも全日射量に比例していない。後者の理由として、シート上にガラス瓦を葺くために置かれた縦桟・横桟により時間帯によって影ができたこと、元々計算に用いたガラス瓦の日射透過率は単体での性能であるが、瓦の重ね部分では透過率が低下したことが理由と考えられる。ガラス瓦への日射の入射角の影響も含め、今後、詳細に分析を行う予定である。景観に配慮するユニークな提案であったといえるが、施工方法やシート上面に載せる瓦の形状・材質等、多くの改善が必要であることがわかった。

4-4. ガス消費量

1 時間あたりの燃料電池発電量から平均発電効率を求め、発電に使用されたガス消費量を算出し、測定された 1 時間あたりのガス消費量との差を給湯および配管ロス等のガス消費量とした。ガス消費量の経時変化を図 18 に示す。電力負荷に応じて発電する際に使用するガスは $0.05\sim 0.1 [\text{m}^3/\text{h}]$ 程度である。給湯に使用されたガス消費量が増加している時間は、モデル住宅内で浴槽に湯張りを行った時

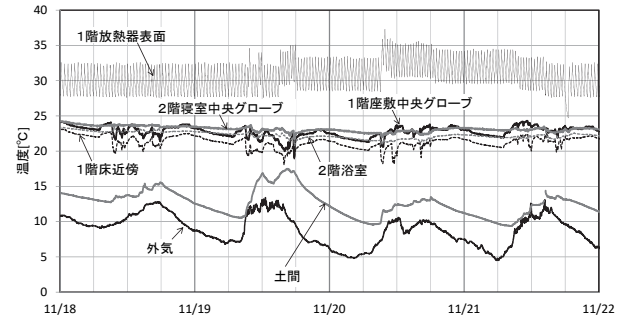


図 14 実証期間前半（2017 年 11 月 18 日～21 日）の室内温度

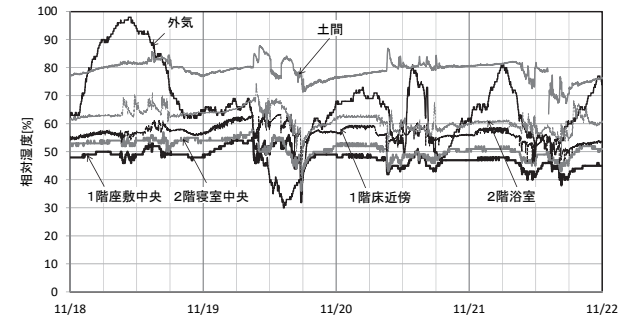


図 15 実証期間前半（2017 年 11 月 18 日～21 日）の室内相対湿度

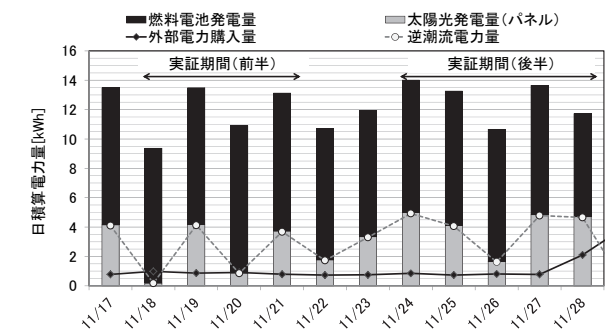


図 16 実証期間中の発電量と購入／逆潮流電力量（日積算値）

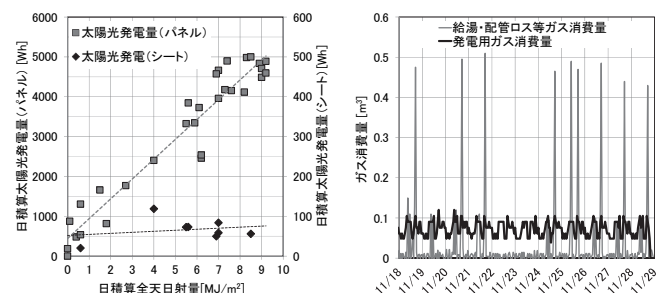


図 17 11/18～12/16 太陽光発電量（左軸：パネル、右軸：シート）

図 18 燃料電池発電と給湯その他に使用されたガス消費量

であり、 40°C 以上の湯を $180 [\text{L}]$ 貯める際はガス消費量が $0.5 [\text{m}^3/\text{h}]$ 程度まで上昇した。

4-5. 用途別エネルギー消費量

図 19 は、実証期間中の用途別一次エネルギー消費量である。（購入電力量＋ガス消費量－逆潮流電力量）で表される正味の一次エネルギー消費量も図中に合わせて示す。給湯（配管ロス等を含む）エネルギーは、ガス消費量から燃料電池の発電に係る分（発電効率を考慮）を差し引いて求めた。湯張りが行われた日は給湯エネルギーが暖房と同程度となり、実証期間全体で給湯は消費エネルギーの 30%、暖房は 27% を占めていた。住宅の高い断熱性能により安定した

室温を保ちつつ、11月後半の時期で1日あたりの暖房エネルギーは30～45[MJ]程度に抑えられた。実生活を模擬して与えられた家電負荷は、実証期間全体の39%を占め、暖房や給湯に要するエネルギーよりも大きかった。ZEHは年間の正味の一次エネルギー消費を0以下にすることを目標としているが、今回は暖房期であったことと、太陽光シートの発電量が予想以上に小さかったため、1日あたりのエネルギー消費量が60～130[MJ]という結果となった。

5. 京町家のZEH化に関する考察

5-1. 負荷の小さい小規模住宅における燃料電池の最適利用方法

本実証実験において、当初は、発電効率が系統電力の平均よりも高い燃料電池を逆潮流運転することにより一次エネルギー消費量を削減することを想定していたが、会場の都合等により、燃料電池による発電分の逆潮流の実施は不可となった。しかし、実測期間中、住宅内の電力需要に関わらず最も発電効率のよい最大出力で連続運転した場合、一次エネルギー消費量は平均して1日あたり23[MJ]程度、割合にして約30%削減できることを計算により確認した。

本モデルハウスのような狭小住宅で消費電力量が少なかった場合、燃料電池は最大出力700[W]で運転を継続することはなく、1時間での積算消費電力は最大でも600[Wh]を超えなかった。消費電力が1時間あたり600[Wh]を超えてくると、購入電力量が増える傾向があった。1日あたりで積算した場合も、基本的に消費電力の90%以上は燃料電池による発電で処理され、残りの10%弱が購入電力で処理されていた。以上のように、ZEH基準を満たすような電力負荷の小さい狭小住宅においては、特に電力消費の少ない時間帯に燃料電池の発電効率が低下しているため、家庭用蓄電池を導入して燃料電池による発電分を効率よく自家消費できるようにすることが望ましい。

5-2. 町家の改修に向けた課題と対応

京町家を含む伝統木造住宅をZEH改修する際の技術的な課題は大きく2つに分けられる。1つは、躯体の性能向上であり、外装や内装を大きく変えずに断熱材を施工すること、隙間をふさぎ気密性を確保することが特に困難である。本モデル住宅では、内外装への影響を小さくする手法として、断熱性の高い部分を「コア」化する手法を採用し、コアの境界で気密性も確保した。2つめの課題として、創エネルギー設備の導入が挙げられる。伝統的な街並みが残る地区では、景観に配慮した設備の導入が求められる。例えば京都市では地域の規制により屋根面に載せられる太陽光発電パネルの面積が限られる。したがって、創エネ設備として燃料電池による発電を併用することが考えられる。燃料電池コジェネレーションシステムはある程度の設置スペースを必要とする。京都市が行った京町家改修プロジェクト¹⁰⁾においては、発電ユニットとバックアップ用のガス給湯器が、町家の奥庭の両端に離して設置された。また町家の奥庭に設置する際には、庭から機器が見えにくいように囲われる場合も想定されるが、排気経路がきちんと確保されるよう排気を誘導するアタッチメントを取り付ける等の配慮が必要である。

6. まとめ

本研究では、エネマネハウス2017に参加し、京都市において昔ながらの地域コミュニティの核（コア）としての役割を担ってきた長屋形式である京町家を対象とし、我が国で昔から使われていた材料

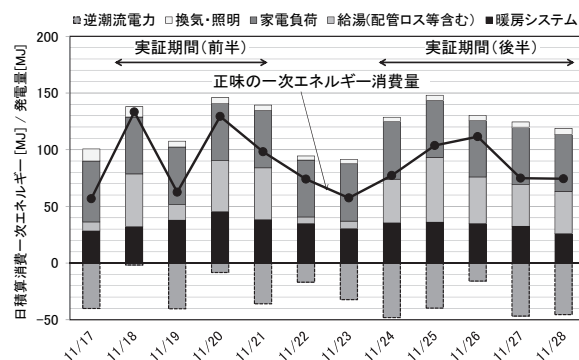


図19 用途別・正味一次エネルギー消費量

や構法と現代の技術や知見を組み合わせることで、伝統住宅の暮らし方や外観を保存しつつ居住性・省エネ性を向上させる手法を提案し、性能検証を行った。

今回の提案は京町家のみならず他地域の伝統住宅や狭小地に建つ住宅の改修にも適用できるものである。今回は冬季のみの実証試験であったが、今後もこのような改修事例を積み重ね、街並みの保存と建物の省エネ化という一見相反する目的を達成する具体的な手法を提案し、1年を通して効果の検証を行いたい。

謝辞 エネマネハウス2017 京都大学チームの「まちや+こあ」実現に向け、技術協力や資材提供をしてくださったすべての皆様に深く感謝申し上げます。特に、ビーエス株式会社平山禎久氏、由岐中聡美氏には、設備設計についてのご助言をいただき、パナソニック(株)釘宮一真氏には断熱設計についてご助力をいただきました。小椋研究室・柳沢研究室の全学生には、実測期間の運用や公開期間の対応に参加していただきました。なかでも、当時大学院生の康陽介氏には、施工・実証のプロセスを通して大いに活躍していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）に関する情報公開について、（最終確認日：2018/5/21）
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/zeh/
- 2) エネマネハウス2017 ウェブサイト（最終確認日：2018/2/3）
<https://www.enemanehouse.jp/>
- 3) 高野駿ら：「まちや+こあ」：京町家のZEH改修 その2：環境設計のコンセプトと温熱環境・エネルギー性能の実測結果，日本建築学会デザイン発表梗概集，pp.82-83，2018.9
- 4) 京都市情報館：太陽光パネルの景観規制の概要（最終確認日2018/5/17），
<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000160113.html>
- 5) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構：平成28年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説，2017
- 6) 株式会社インテグラル：住宅性能診断士ホームズ君 省エネ診断エキスパート，2017
- 7) 大阪ガス：2016年2月24日プレスリリース，（最終確認日2017/12/1）
http://www.osakagas.co.jp/company/press/pr_2016/1234984_27712.html
- 8) 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会工場判断基準小委員会（H17年9月16日第4回）議事録，2005，（最終確認日2018/3/20）
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g51021a05j.pdf>
- 9) 国立研究開発法人建築研究所：エネルギー消費性能計算プログラム（住宅版）Ver.2.3.1，（最終確認日2017/11/21），
<http://house.app.lowenergy.jp/>
- 10) 京都市次世代環境配慮型住宅 ～エコリノベーション・京町家～，2015，（最終確認日2018/5/20）
<http://www.city.kyoto.lg.jp/sankan/page/0000171850.html>

[2018年6月6日原稿受理 2018年8月9日採用決定]