

伝統的土壁を利用した日射熱利用手法と 省エネ住宅

Adopting traditional Japanese earth walls for utilizing solar gain in
the design of energy-efficient house

豊田保之*

1. はじめに

2019年2月15日「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律の一部を改正する法律案」が閣議決定された。300m²未満の小規模住宅は、省エネ性能に関する説明を義務付ける制度が創設（以下、省エネ説明義務化）され、法改正案が国会で可決・公布されれば、法の施行が目前に迫る。

一方で、伝統的な土壁などを使った住宅は、気候風土適応住宅の認定を取得することで、外皮の熱性能基準は緩和され、かつ、一次エネルギー消費量の評価基準が達成できていれば、建築物省エネ法（以下、H28年基準）をクリアできる指針が2017年4月から示されていた。だが、省エネ説明義務化で進むこととなったことから、基準値をクリアする必要性が低くなり、結果的に気候風土適応住宅の認定を取得する造り手は減ることになりそうだ。

今回紹介する里山上津台の家（写真1）は、伝統的な土壁を採用しているが、気候風土適応住宅の認定を受けずとも、外皮の熱性能基準と一次エネルギー消費量の評価基準を達成できている住宅であ

る。土壁背面に断熱材を充填するだけで、冬の寒さを軽減でき、有効に日射熱を取得することでエネルギー消費が抑えられた事例である。

2. 伝統的土壁の背景

我が国の住宅の壁は、古くから柱間に貫を差し、竹を搔き、土を塗っていたが、2019年4月現在、土壁やモルタルなどの湿式工法は激減し、石膏ボードとサイディングによる乾式工法の住宅がほとんどとなった。理由は、機能・合理主義に変わった時代性、施工価格、住まい手や造り手の意識などがあげられる。特に、土壁は自然乾燥に頼るため、土が乾くまで工事をストップさせないといけず、工期が読みにくいことが敬遠されたのだろう。土を乾燥させるには、二週間かかるという職人もいれば、半年かかるという職人もいる。昔ながらの施工をしつつ、土壁への愛情を示した結果、多数の造り手の心が離れていった。

だが、東日本大震災を契機に、省エネルギーへの意識が高くなり、また、伝統構法を見つめ直す住まい手や造り手が徐々に増え始めたように感じる。オイルショックやバブル景気、震災などを経験した我々の世代は、今後、量から質の時代へと変化を求めることとなりそうである。

3. 里山上津台の家

この家は、2016年6月にグランドオープンした神戸里山住宅博（以下、里山住宅博）（写真2）と呼ばれる、街区に建つ。工務店と職方が造る木の家をテーマにした住宅展示場であり、街区には、建築協定と設計ルールが定められ、斜面の里山は住人の



写真1 LDKから南面中庭を見る

* トヨダヤスシ建築設計事務所



写真2 神戸里山住宅博の様子

共有地になるという面白い試みである。その街区の一角の敷地に、共働きの夫婦二人の家をつくることとなった。

4. 共働きの住まい手にあわせた家づくり

2016年12月の初回プレゼンテーションは、一般的な二階建て案と平屋中庭型案（図1）、総二階建て案を提示した。いずれも要望通りの計画案であったが、共働きであること、高齢になった時のこと、防犯対策、日射の取り込みなどを考慮すると平屋中庭型案（写真3）になるのは必然であった。

5. 断熱仕様と性能値

設計時の外皮性能は、 Q 値 = $2.02\text{W/m}^2\text{K}$ 、 UA 値 = $0.51\text{W/m}^2\text{K}$ 、外皮平均日射熱取得率（ η_{AC} 値）1.9、外皮平均日射熱取得率（ η_{AH} 値）3.1である。

集熱開口面積は、床面積 78.86m^2 に対して、南面

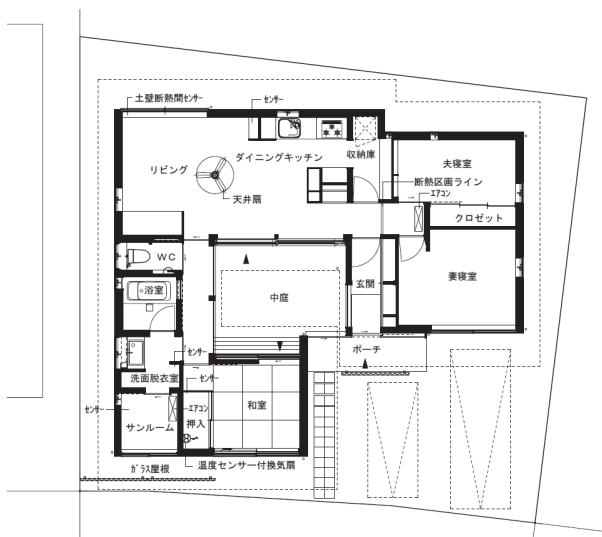


図1 平屋中庭型案 1階平面図



写真3 中庭の様子

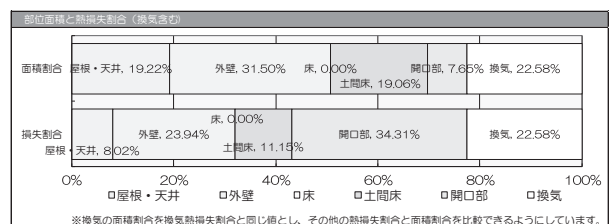


図2 部位面積と換気含む熱損失割合

開口面積 18.48m^2 であり、集熱開口部面積割合は、（床面積あたり）21.1%である。LDKに面する窓は、メーカー製木製サッシとし、ほかはアルミ樹脂複合サッシとした。ガラスは、すべてLOWE日射取得型とし、取得優先型の住まいとした。

壁は、土壁 30mm の背面に、ポリエステル繊維系断熱材 13K120mm を充填した。土壁ではない乾式の壁は、グラスウール 16K105mm とした。屋根は、フェノールフォーム 120mm とグラスウール 16K210mm を部屋によって使い分けた。基礎は、内断熱とし XPS3bA を 55mm 貼り付けている。換気は 3 種換気とした。面積割合と熱損失割合は、図2の通りである。

6. 光熱費から外皮性能を決める。

住まい手から、今住んでいる家の1年分の光熱費・使用量のデータを頂き、一般世帯との比較を行った（図3）。比較は、総務省の家計調査（2006 - 2010）データを使用した。家計調査における2人家族のエネルギー使用量は、 52.59GJ であり、住まい手から頂いた使用量は 57.25GJ と、家計調査のデータよりも約一割多いことがわかった。これまでの経験上、家計調査よりも使用量が多い場合は、外皮性能を通常よりも向上させないとエネルギー量が増えてしまうため、土壁は、真壁ではなく大壁とし、土壁背面の充填スペースを最大限確保した。LDKに面する木製

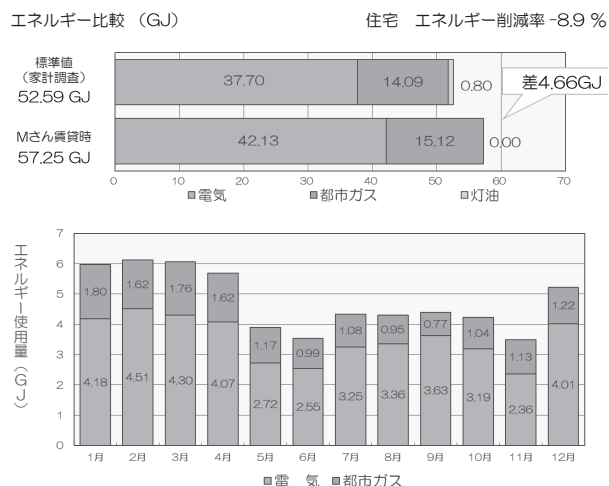


図3 家計調査とエネルギー比較

建具は、メーカー製木製サッシを採用することで隙間風に配慮し、居室に面する窓は、断熱ブラインドで断熱補強を行った。

7. 蓄熱を考慮した室温シミュレーション

土壁の蓄熱効果は、比較対象がない一戸建ての住宅では効果がわかりにくいので、シミュレーションによって確かめた。図4は、Q値と熱容量、集熱面積を変更するだけで、数秒で簡易的にグラフ化できるパッシブシミュレータである。高価なシミュレーションソフトは、詳細に入力できるので研究としては有効だが入力に時間がかかるため、実務では使いづらい。そこで、土壁の蓄熱効果が、自然室温と温度差にどう影響するのかを、意匠設計者が設計勘としてつかむためのものとして、7年ほど前に自作した。グラフは、本建物を想定した①土壁有り(170KJ/m²K, Q = 2.02W/m²K)に加え、②土壁なし(85KJ/m²K, Q = 2.02W/m²K), ③土壁なし(85KJ/m²K,

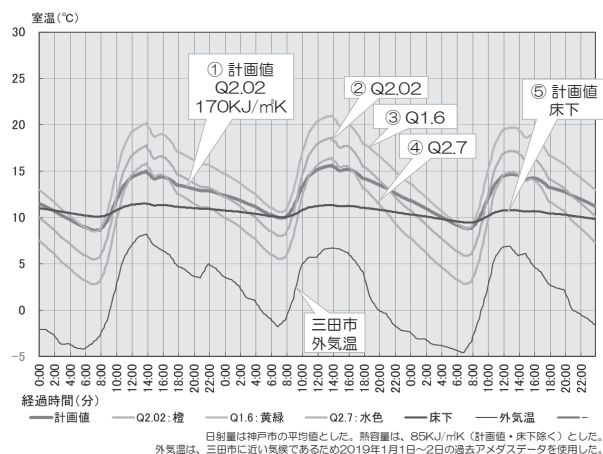


図4 パッシブシミュレータによる蓄熱を考慮した室温シミュレーション

Q = 1.6W/m²K), ④土壁なし(85KJ/m²K, Q = 2.7W/m²K), ⑤床下の5種をグラフ化し比較した。①は、熱容量が大きいことで、②③④より朝方の室温が高く、かつ、上下温度差が小さいことがわかる。⑤床下は、コンクリートの熱容量が大きく集熱がほぼないため、温度差が小さく室温が安定している。①の土壁有り室温は、図6に示す2019年1月1日の実測値に近い起伏となっていることが確認できている。

8. 冬のテーマ

住まい手からは、夏の暑さより冬の寒さをなんとかしてほしいと要望があった。光熱費のデータは、ヒアリングを行った内容に近い値がでていていると感じたため、本建物の冬のテーマは、以下(1)～(3)の3つに整理することとした。

(1) 不在時にもお陽さまを取り込む。

冬期、家に日射熱を取り込むためには、南面に大きく窓を取るのが王道である。だが、今回は、共働きであるため、平日の日中は在宅しておらず、防犯対策を考えると、不在時に日射を取り込むのは困難であるため中庭型の平面計画とし中庭からの日射取得を最大限考慮することとした。こうすることで南面の窓は道路から見えにくくなりカーテンを常時閉めっぱなしにしなくても良くなる(写真4)。

また、物干し場も生活スタイルを考慮し、室内にサンルームとして設けた。サンルームは、物干し兼集熱スペースとし、集めた熱を和室へと配る計画とした。

(2) エアコン一台で居室のみ暖房する。

暖冷房機器は、ルームエアコンディショナ(以下、エアコン)1台である。取り付け位置は、LDKと妻寝室、夫寝室の中心とした(写真5)。就寝時は、エアコン前の断熱ブラインド(天井溝へ取り付け)



写真4 屋根上から中庭を眺める



写真5 天井の溝は、区画断熱用断熱ブラインド取り付け箇所

を下ろすことで区画断熱を可能とした。(2019年4月10日現在未取付け)

和室は、常時使用する部屋ではないため、暖冷房機器は取り付けせず、LDKに設けた天井扇を使って和室へ熱を配る計画とした。

その他、所持されているエアコンが一台あったため、サンルームに取り付けた。これは、住まい手が深夜に洗濯物を干す生活スタイルであったため、洗濯物を乾かすための乾燥器具として、かつ、脱衣室暖房として計画した。サンルームには、湿度センサー付きの換気扇を設けて、結露対策を行っている。

(3) 寝室の温湿度を安定させる。

土壁を採用する場合は、寝室を最優先とし、次にLDK、その他の居室、玄関・廊下の優先順位としている。共働きの場合、滞在時間がもっとも長いのは寝室となり、また、就寝時は体が休まる時間帯であるため、この部屋に土を塗り、断熱性能を上げ、集熱量を増やすこととした。こうすることで、土壁の蓄熱性も効果的に働き、土の調湿性も利用できる



写真6 住まい手自ら寝室の土壁を塗る

(写真6)。

9. 日射熱利用計画

中庭型とした場合、東西からの日射が低減し、かつ自身の建物の影響で日射量が減ってしまうため、可能な限り取得量が増えるよう日照シミュレーションを行った(図5)。

LDKは中庭をかいして南に面して設け、中庭の南に配置した和室の軒の出は、LDKへの日照を妨げないように、平入りとし軒先を下げた。中庭に飛び出すケラバ屋根の出は、芯から300mmとし、集熱量に配慮した。

一方で、和室は、日射熱を取得するのではなく、やわらかい光だけを取り込みできるように、南面の窓は、軒下直下に設け、夏冬とも直射日光が入らないように計画した(写真7)。そのかわり、LDKに取り込んだ日射熱を天井扇で和室へ配り、かつ、サンルームの熱を換気装置で和室へ配ることとした(写真8)。これを「土パッシブ暖房」と名付けた。土壁は、熱容量が大きいので、日射取得量が低いと

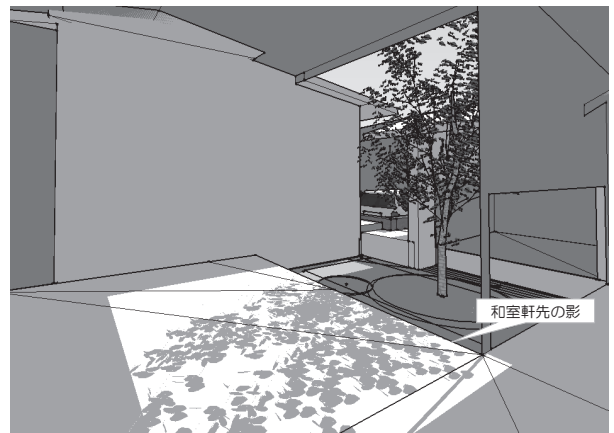


図5 10月20日12時の日照シミュレーション

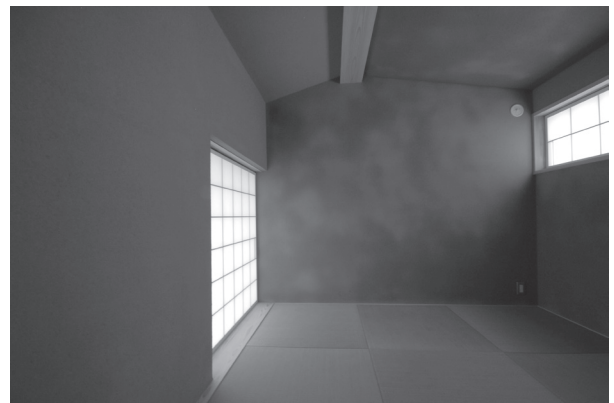


写真7 和室。左窓は、中庭に面し、右高窓は、南面道路に面する。



写真8 土パッシブ暖房吹き出し口

低温で蓄熱してしまい温度が上がりにくい。そのため、窓からの日射取得が得られないのであれば、他で得た日射熱を配る計画とした。

10. 土パッシブ暖房の効果を実測

まず、サンルームからの熱を和室へ配るためには、サンルームに日射熱を取り込まなければいけない。そのため、軒先はガラス屋根とし冬の日射取得が増えるように計画した（写真9）。

図6は、2019年1月1日～2日にかけての温度である。住まい手は、帰省中であるため、内部発熱はほとんどなく暖房もかけていない状態である。LDKの朝方で日射が入る前の自然室温は、外気4.3度に対して、LDKが9.54度であり、差は13.84度である。サンルームの室温は、14時に22.09度に達しているのに対して、和室は、11.59度であった。サンルームに扉一枚で隣接する脱衣室は12.49度であった。サンルームへの集熱量は思ったより確保できており、和室へ熱を配り室温を上げることは十分可能であるといえそうである。また、隣接する脱衣



写真9 サンルーム軒先のガラス屋根

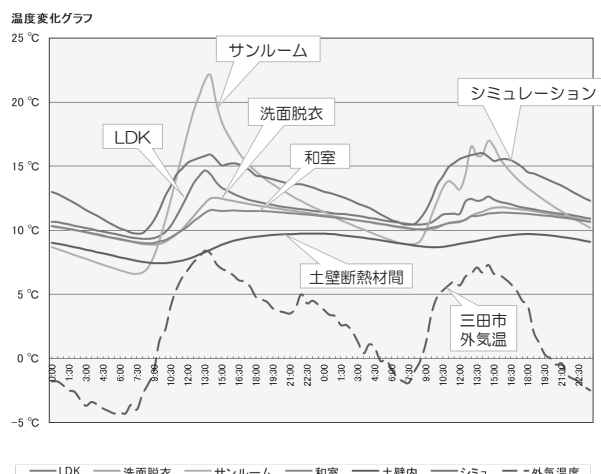


図6 室温実測 2019年1月1日～2日

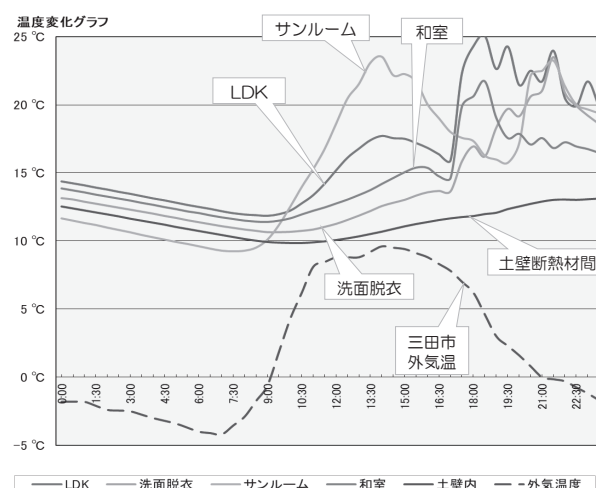


図7 室温実測 2019年1月13日

室は、サンルームに取り込んだ熱の影響で室温が上がりすぎないか気になったが、思ったより脱衣室とサンルーム間の室内建具が効いているようである。この結果から、サンルームに設置した土パッシブ暖房機の温度設定を15度にしていただいた。

次に、LDKに取り込んだ熱、かつ、暖房した熱を、和室まで配ることができたかを実測し確かめた。図7は、2019年1月13日の室温である。10時以降の室温を見ると、日射を取り込んだことで、サンルームやLDK等家全体の室温が上昇している。そんな中、17時頃に帰宅した住まい手がLDKのエアコンを可動させたことで、LDKの室温が上がると共に、廊下を介した和室の室温も上昇したことがわかる。

天井扇は、滞在中、常に可動させていることから、熱が効果的に配られた気配である（写真10）。LDKの天井高さは、2.7mあり、廊下の天井は2.0mと70cmの垂れ壁がある状況だが、暖気はうまく流れていることが確認できた（写真11）。



写真10 LDKの天井扇は廊下に風が流れる位置に取付け



写真11 天井2.0mの廊下。正面突き当りの和室へと続く。

11. 一次エネルギー消費量

設計一次エネルギー消費量計算結果は、56.83GJと、基準値71.80GJより約20%も消費が少ない(図8)。暖房のみをみると、外皮性能を向上させたことで11.49GJと、基準値16.958GJよりも約32%低くなっている。ただ、給湯15.356GJと、その他17.954GJの計が、全体の約6割を占めており、課題も残る.. 2019年4月10日現在、住まい手から頂いているエネルギー使用量は10ヶ月分(45.14GJ)であり、3月と4月の2ヶ月分を今後含めると、H28年設計値程度になると予想できる。注意すべきは、図3の従前の住居のエネルギー使用量(57.25GJ)と、図8

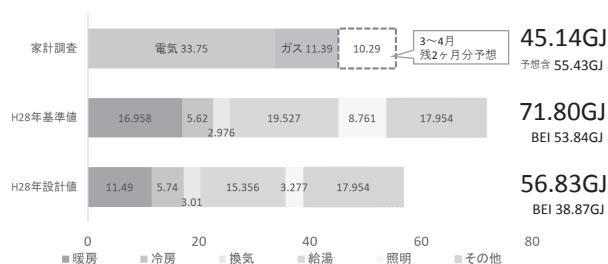


図8 家計調査と一次エネルギー消費量（基準値と設計値）

のH28年基準の設計値(56.83GJ)が、ほぼ同等であり、新居の床面積が約30%も広がったとはいえ、実際の家庭のエネルギー使用量はそれほど減っていない点である。

12. 現代の土壁のルール

土壁は目立った変化を遂げることなく、施工できる職人と共に土壁も減少している。こうした背景もあり、今後、土壁を造り続けることができ、かつ、職人の仕事につなげるために、現代の土壁のルールを私の中でいくつか設けることとした。

- 建物すべての壁に採用しない。
- できるだけ広く薄く塗る。
- 土壁の下地は竹にこだわらない。
- 内部は、真壁にこだわらない。
- 外部は、通気層を設け、真壁にこだわらない。
- 柔構造と剛構造を使い分ける。
- 荒土塗、中塗土塗、上塗の順序と土の種類を守る。
- 荒土と中塗土は、総厚30mm以上塗る。

これらのルールは、12年ほど前から行ってきたシミュレーションと設計、実践、実測の結果であり、試行錯誤を繰り返した結果、今に至る。特にa)とd)は、外皮性能や工期、工事費に大きく影響するため重要度は高い。

13. 土壁と断熱材間の容積絶対湿度の変化

図9は、2019年1月24日～25日間の土壁と断熱材間の容積絶対湿度をグラフ化したものである。18:00頃に水蒸気が発生した瞬間、各部屋共グラフが上昇しているが、土壁と断熱材間には目立った変



写真12 土塗り後、ポリエステル繊維系断熱材を充填している様子

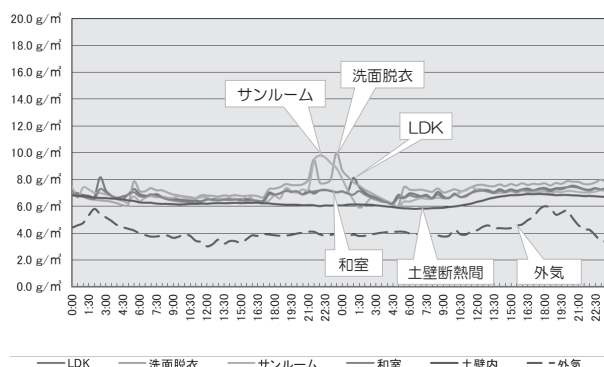


図9 土壁と断熱材間の容積絶対湿度の変化

化は見受けられない。土壁と断熱材間のセンサーは、リビングの北面壁に設置しており、LDK との違いがよくわかる。

14. 住まい手へのヒアリング

「家をもう一度建てるとすると、今ぐらいの断熱性能にするのか、それともさらに断熱性能をあげるのかどちらか?」, という質問に対しては、「今の断熱性能で十分」とのことだった。暖冷房器具がエアコン一台だったことに関しては、「床暖房の必要性は感じない。伝熱性が低い無垢材では、素足でも冷たいと感じることは余りない。和室の室温が思ったより高く気持ちがいい。」と回答を得た。また、「頭痛が激減した。冬場に肌の乾燥による痒みが激減した。」と、奥様の体調に改善があったことがわかった。「土壁にしたことと、家が暖かくなったことが効果的だった」との感想だった。

15. まとめ

3年前のある日、「アレルギーや冬の寒さを改善するため、土壁背面に断熱材を充填しようと考えているが、土壁と断熱材間に防湿層(ポリエチレンフィルム)が必要なのかどうか?」と、住まい手自らの電話だった。詳しく聞いてみると、工務店さんからは「土壁の背面に断熱材を充填したら壁の中がどうなるかわからない」と言われたそうだ。諦めきれない住まい手が、土壁背面に断熱材を充填する方法についてネットで調べたところ、私の WEBSITE にたどり着いたという。防湿層が不要となる規定や防露計算をすることを勧めた結果、ポリエチレンフィルムを使わずに断熱材を充填することになったようである。

そして、1年前のある日、今度は、工務店さんか



写真13 気密測定結果C値 = $1.56\text{cm}^2/\text{m}^2$ (玄関木製建具を目張りすると $1.03\text{cm}^2/\text{m}^2$) であった。

ら「土壁背面に断熱材を充填したいが、土壁を造れる職人さんがいないので、土壁の造り方を教えてほしい」と連絡があった。また、あるセミナーで講演した際、セミナー後に、「土壁に断熱材を充填して家づくりしています! 住まい手の評判も良いです!!」と、笑顔で話しかけられた。「寒い」というイメージが先行し、敬遠されがちだった土壁の家も、断熱材を充填することで、暖かい家にできることが広まってきたようだ。

こうしたこともあり、土壁の背面に断熱材を充填した場合、室温はどうなるのか、内部結露はしないのか、どういう施工法にする必要があるのかなど、事前に情報を得てもらいたいため、WEBSITE にこれまでの実績をアップしていくこととした。

省エネ説明義務化が施行され、数値で示す必要がある場合、私のわずかな実測・シミュレーションデータによって、住まい手と設計者の意思疎通が効果的に働き、土壁が広く使われ、職人の仕事につながることを願う。

著者略歴



豊田保之 (とよだ やすし)

トヨタヤスシ建築設計事務所主宰。大阪芸術大学芸術学部建築学科卒業。京都で代々続く左官職人の家に生まれた経歴から、土壁や漆喰など左官職を生かした家づくりを行いつつ、土壁の熱環境や省エネルギーの調査・研究を続けている。受賞歴に、第5回サステナブル住宅賞 国土交通大臣賞、第1回京環境配慮建築物優秀賞など。