

高断熱高気密化への改修による室内環境の快適性向上の事例

安井妙子（安井妙子あとリエ）

1. はじめに

我々住まいと環境東北フォーラムを含む研究者、建築技術者各位は、長年にわたって住宅の断熱気密の重要性、断熱気密施工のなされた住居空間の快適性を主張、啓発し続けてきた。しかし現実に建築される住宅の多くは、我々の理想とする性能を確保しているとは言えない。既存住宅に至っては、耐震改修は国策及び市町村の補助制度によりやや進んではいるものの断熱気密改修が行われることはきわめて少ない。

この主なる要因は筆者の長年の経験から、金額がかさむ、快適性を理解できないということが大きな要因であろうと考える。快適性は多くの事前説明をしても、建築主やその家族は実際に生活してみてやっと理解できるということが分かった。このことはより多くの高断熱高気密住宅が建築されることで、加速的に増加していくことになる。理論もさることながら実践である。

2. 復興住宅を計画するにあたって

2.1 仮設住宅の問題点

このたびの災害にあたり建てられた狭い仮設住宅において、断熱と気密の不足による暑い寒いという住民の不満を受けて、断熱材を付加する工事が行われている。暖冷房のために設置したエアコンは、性能不足の仮設住宅を温めるには、ランニングコストがかさんで使用されない。支援物資として灯油ファンヒーターや電気炬燵が配布されていることが報じられている。仮設住宅は、1日も早く供給することが目的であったため、やむを得ない部分もあるが、供給する側の建築性能に関する認識が不足していたか、被災地東北地方の寒さへの配慮が不足していたと言える。

被災地東北の避難所が2011年11月9日で全て閉鎖された。避難者は「初めは寒く、そのうち暑くてたまらない避難所をやっと出ることができます。」とコメントしていた。このたびの被災地東北・関東の両地方は温帯に属しているが、人々は厳しい冬と厳しい夏に耐えなければならない。被災者は不備な避難所を出て、再び不備な仮設住宅に入居することになる。

加えて障害者に対する配慮も不足しており、スロープは有るものの、入口が狭く車椅子が通過できない構造で介護者の負担が大きく、苦労している母親が改善の陳情を行っている報道がなされていた。

このような配慮不足が繰り返されないよう、供給する側の設計者、施工者、補助金等を掌る担当官庁の意識改善が重要である。また、当然のことに建築主の意識も改善することに努力せねばならない。断熱気密の重要性は長期にわたり、情報提供がなされたり、省エネ基準やCASBEE制度などを整備したり、エコポイント等の優遇措置を打ち出しているものの、普及速度が期待するほど加速しない。それを阻んでいる最大の要因は、1.はじめにで述べたとおり工事費の増加であろう。前記の性能不足の仮設住宅も断熱気密にかかる費用が予算上省かれる方に分類仕訳されてしまった結果と推察する。しかして住人からの苦情により、二

度手間の追加工事を実施し、無駄な経費を使う結果となっている。

2.2 仮設住宅の住まい方指導の重要性

筆者は雪の舞う 2011 年 12 月下旬、高断熱高気密住宅に住んでいて被災した家族の住む石巻の仮設住宅 S 宅を訪れた。そこで理論より実践の効果を確認した。仮設住宅には当初からエアコンが装備されている。しかし、一般の被災者はせっかくのエアコンを運転せず、支援物資として支給されたファンヒーターを使用して結露の量を増加させている。

ところがエアコンの COP が高いことをよく理解している S 宅ではエアコンで暖房し、すでに二重窓工事が施された窓に結露がなく、空気もきれいで、狭い仮設住宅は全室暖房状態になっていて暖かかった。それでも断熱不足の鉄骨系躯体は激しく結露するとこのことで、屋根パネルの鋼製コネクタにビニールをテープで留付け、滴り落ちる水滴を防いでいた。

S 宅の住まい方は普及啓発が重要であることを証明している。同じ性能の仮設住宅でも、住まい方で快適度が異なることは、この機会に調査研究し、広く情報を共有するべきであろう。

2.3 断熱気密住宅の屋内環境の事例 1「羽生の家」 明治 8 年(1875)建築 所在地埼玉県

建物を高性能にすればイニシャルコストが高くなることは事実である。しかし、下記事例に示すように所定の性能を確保すればランニングコストは確実に下がる。東北大学大学院吉野研究室の測定研究結果によれば、2009 年に徹底した断熱気密改修を施した下記の「羽生の家」では改修後の年間最終エネルギーは 38%(16.3GJ)減少している(図 1)。しかも、改修前の石油ファンヒーターによる 33.1 m²の局所暖房から 218.3 m²のパネルヒーター全室輻射暖房へと劇的に環境が変わったことに建築主は感動している。このような情報を広く知らしめることが、断熱気密の重要性への意識改革を加速する方法のひとつである。

「羽生の家」は平成 22 年度第 4 回サステナブル住宅賞改修部門『国土交通大臣賞』受賞及び平成 23 年度第 3 回埼玉県環境建築住宅賞にて『最優秀賞』を受賞した。以下に参考 HP アドレスと性能を示す。

<http://www.ibec.or.jp/hyosyou/housing/4th/index.html>.

<http://www.pref.saitama.lg.jp/site/jyuutakusyou2011-top/>

建物全体の Q 値：1.59W / (m²・K)

屋根の断熱仕様 [材料名：高性能フェノールフォーム、厚さ：100mm、U 値：0.16W / (m²・K)]

基礎土間・地盤の断熱仕様 [材料名：発泡ポリスチレンフォーム 3 種 b、厚さ：60mm、U 値：0.32W / (m²・K)]

外壁の断熱仕様 [材料名：高性能フェノールフォーム、厚さ：50mm、U 値：0.32W / (m²・K)]

床の断熱仕様 [材料名：同上、厚さ：50mm、U 値：0.32W / (m²・K)]

開口部サッシの仕様 [材 質：玄関：木、勝手口：アルミ、それ以外の全て：プラスチック]

開口部ガラスの仕様 [種類：E 複層アルゴンガス、厚さ：3-12-3mm U 値：1.43W / (m²・K)]

気密層の構成：耐候性ポリエチレンフィルム厚さ 0.2mm および気密テープ

2.3.1 猛暑の 2010 年夏—生活の仕方と建築性能

2010 年は梅雨明けとともに 7 月 16 日から気温が一気に上昇し、最高気温が 35℃ に迫る猛暑日が続いた。

住人によれば 7 月 16 日から 20 日の期間、夜間早朝以外は全ての開口部を閉めて暮らしたという。データによれば、居間平均温度 28℃、相対湿度 75%である。図 2 からこの 5 日間は二階ラウンジに 1 台設置したエアコンを使用していない。建築主は設計者の暮らし方説明に

忠実に従い、居間の吹抜け空間に取り付けた大きな天窓を開放しての深夜早朝の換気を励行し、冷蓄熱に努めた。21日以降は最高気温が35を超え、夜半まで30程度の夜が続いたので夜間換気をせずにエアコンを間欠運転している。

暖冷房容積は吹抜けや二階小屋組み、床下を含めて計算して766 m³である。設置したエアコンの冷房性能は、定格能力2.8 kW、消費電力0.49 kW、COP5.71である。この空間を7～10畳用として市販するエアコン1台で十分だった。8月のうち28日間は最高気温が30.7～37.0に達した（気象庁久喜市のデータ）にもかかわらず、7日間は冷房を使用していない。

羽生の家の7月中の床下温度はほぼ一定の25.8である。8月も28前後であることが図6から読める。常時換気に対応する外気は、この冷たい床下で空気調和した後、各室内に拡散するよう設計した。床下は、夏季には外気予冷装置であり、常時換気が室温を28に保つ一助になる。

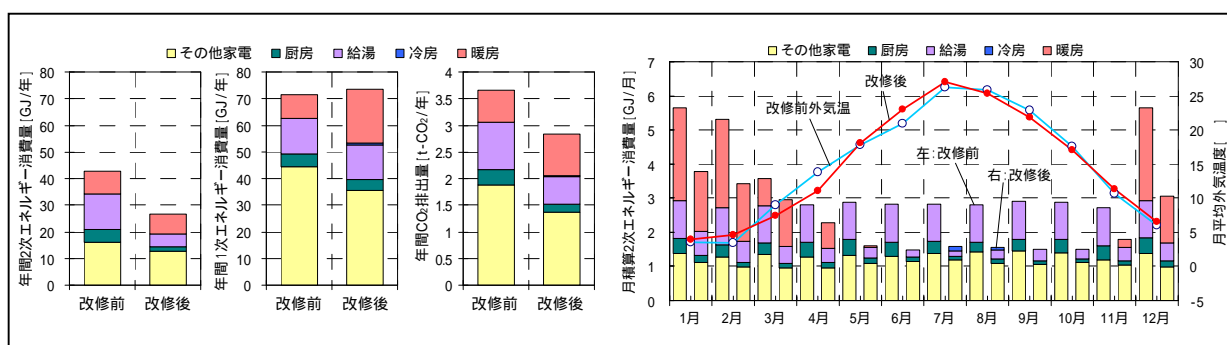


図1 左：改修前後のエネルギー消費量・CO₂排出量の比較
右：改修前後の月積算最終エネルギー消費

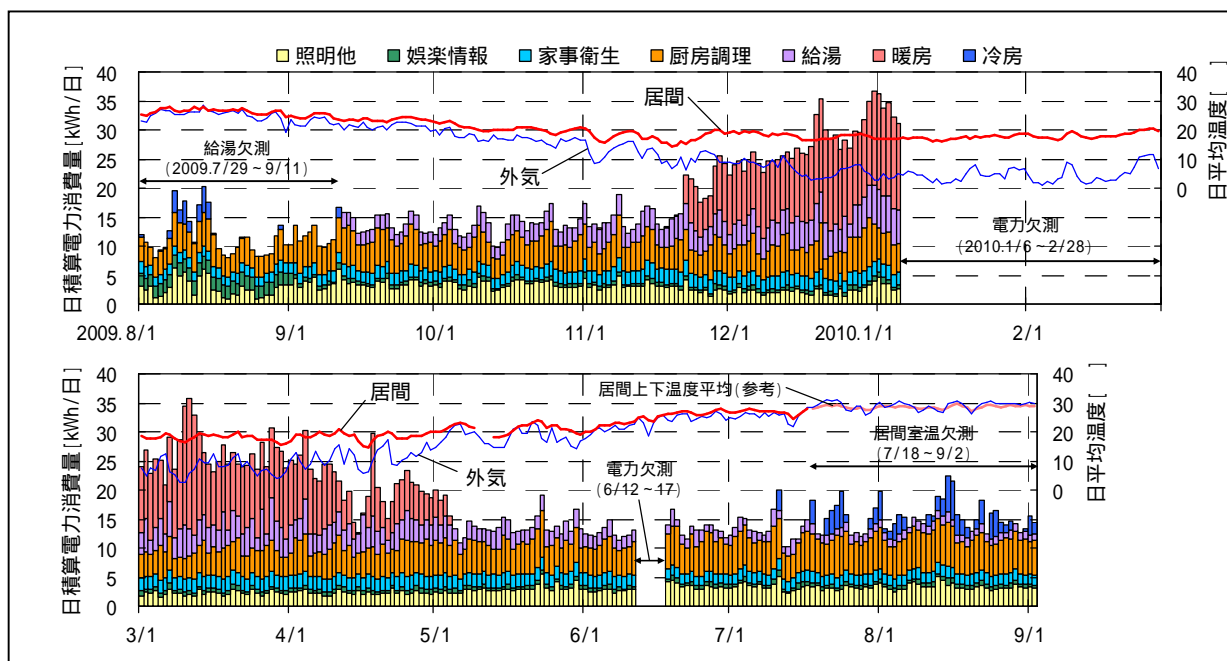


図2 日積算電力消費量 (2009.8/1 ~ 2010.9/1)

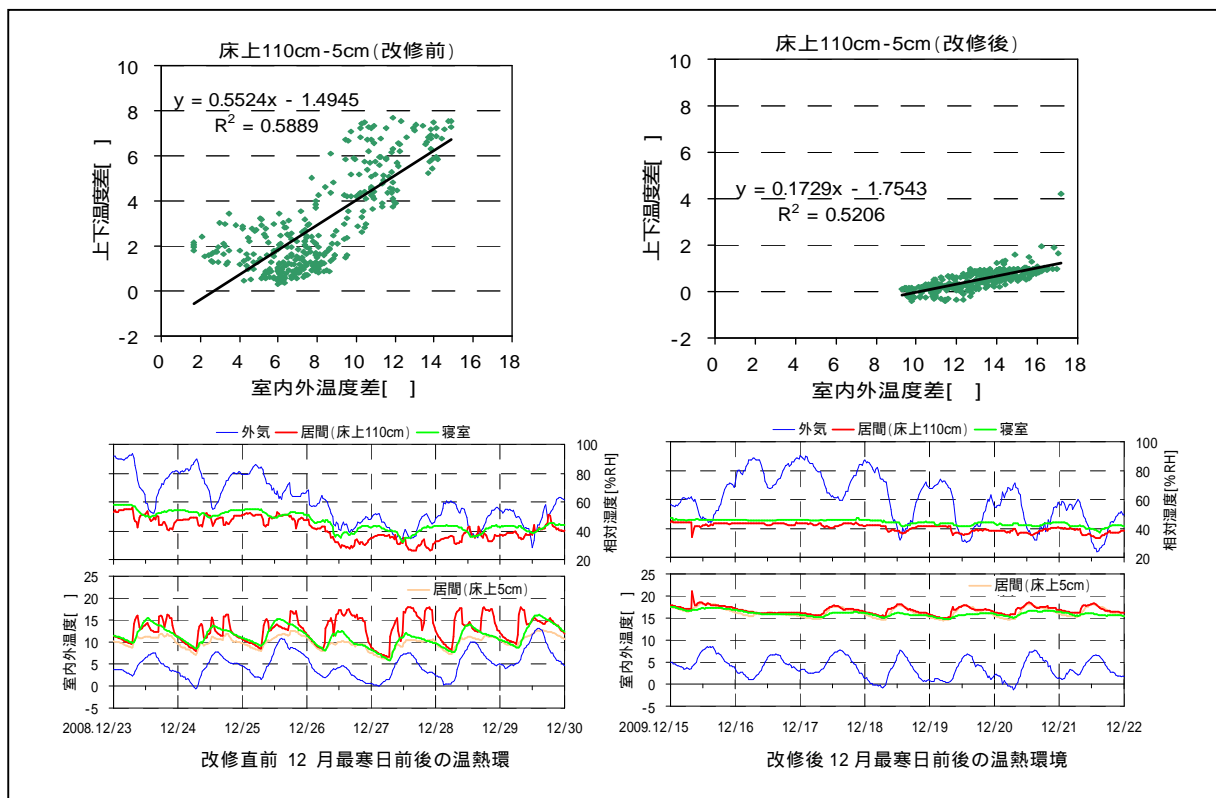


図3 上：改修前（左）と改修後（右）の室内外温度差
下：改修前（左）と改修後（右）の12月最寒日前後の温熱環境

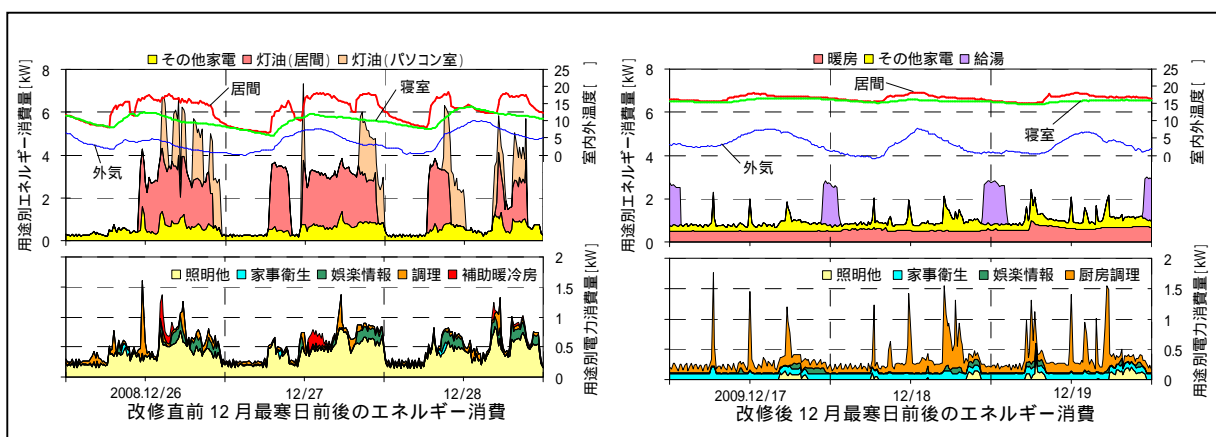


図4 改修前（左）改修後（右）の用途別エネルギー消費量と用途別電力消費量

2.3.2 冬の暖房装置

低温水によるパネルラジエータ輻射暖房を採用した。熱源機は電気ヒートポンプにより低温水を作る加熱能力 6.0kw、加熱消費電力 1.5kw、COP4.0 を設置した。関東の短い冬を考慮して通常東北地方で使用する半分の能力である。冷房は COP が 2.5 と低いことから、2 階に設置したエアコンで対応している。

パネルは一階のみに設置した。パネルへの給湯配管はヘッダー方式、断熱材なしで床下に

も放熱することを期待した。床下は地熱 + 放熱で暖房空間となる。常時換気に対応する外気は、この暖まった床下空間を通して秒速 1 以下で屋内に取り込む「外気調和」方式である（図 5）。筆者は暖房と換気は切り離せない物であると考えている。

2009 年は修復後、初めての冬を迎えた。11 月 17 日から日平均気温は連日 10 を下回った。「室温は 16 になっているが、まだ寒い」とのことだったが 23 日に試運転をした。熱源機出口の湯温を 25 に設定し、全館 18 に暖まって建築主を驚かせた。その後本格的冬になり、設定湯温を 30 に引き上げた。

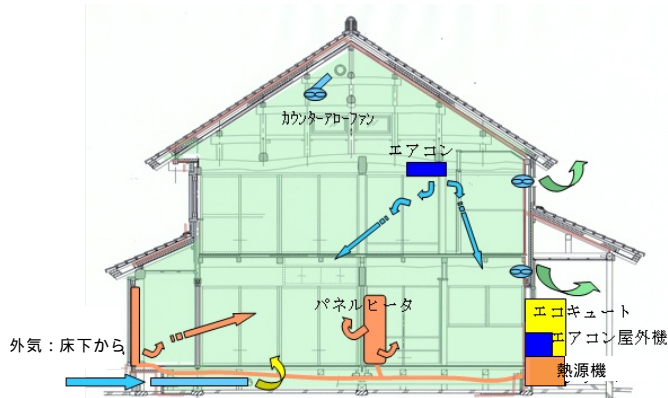


図 5 暖冷房：空気や熱の流れ



図 6 外気を取り入れている床下の温湿度

2.3.3 暖冷房を補完する蓄熱

羽生の家には残存させた土壁、太い柱や差鴨居、長大な梁などがあり、これらに夏季の夜間早朝換気による冷氣、冬季の日射や暖房によるエネルギーが蓄熱する。木材の比熱は約 $1.25\text{KJ/kg}\cdot\text{K}$ であり、多用する広葉樹のケヤキは比重が 0.69 と大きい。加えて床下全面に比熱 $0.88\text{KJ/kg}\cdot\text{K}$ 、比重 2.3 のコンクリートを打ち込み、床下を内部空間に取り入れ、地熱 + 放熱を蓄熱して利用している。熱容量を計算してみるとケヤキ： $1.25(\text{比熱})\text{KJ/kg}\cdot\text{K}\times 0.69(\text{比重})\text{t/m}^3 = 862.5\text{KJ/m}^3\cdot\text{K}$ 、コンクリート： $0.88(\text{比熱})\text{KJ/kg}\cdot\text{K}\times 2.3(\text{比重})\text{t/m}^3 = 2,024\text{KJ/m}^3\cdot\text{K}$ となり、思ったより木材の熱容量が大きいことがわかった。一階床下全面に打設した厚さ 70 mm のコンクリートの持つ蓄熱量は $2,024\text{KJ/m}^3\cdot\text{K}\times 133\text{ m}^2\times 0.07\text{ m} = 18,843\text{KJ}\cdot\text{K}$ である。中央に建つケヤキの大黒柱 1 本の体積は $0.3\times 0.3\times 5.2 = 0.47\text{ m}^3$ 、 $862.5\text{KJ/m}^3\cdot\text{K}\times 0.47\text{ m}^3 = 405.37\text{KJ}\cdot\text{K}$ で、コンクリートのおよそ 1/46 となる。

羽生の家の主体部の柱は大黒柱のほかに 42 本ある。平均断面寸法 5 寸 5 寸として長さは 5.2m あるから大黒柱 10.5 本分（ $=42\div 4$ ）ある。すなわち蓄熱量の総和は $405.37\text{KJ}\cdot\text{K}\times 11.5\text{ 本} = 4,661\text{KJ}\cdot\text{K}$ となる。詳しく計算はしていないが、残存させた土壁、一階下屋部分の柱、長大な梁への蓄熱も加わる。

屋根の 100 mm、外壁の 50 mm の断熱材や高性能の開口部のサッシは当然効果的に働いているはずであるが、これらの蓄熱体が暖房温度 18 でも寒い室内の実現に貢献している。この蓄熱の効果は今後より詳しく研究がなされ、快適空間の実現に寄与することを期待する。

2.3.4 住まい方と感想

【住まい主の声】

7月、8月の埼玉は非常に暑いのですが、それにも拘らず、初めてむかえた2009年の夏は、室温は快適であり、蒸し暑くて寝られないことは、一度もありませんでした。

11月末にはパネルヒーター暖房をいれました。湯の温度を25に設定したところ室温が18になりました。無風でほんのりと暖かく一階、二階のどこでも一日中ほぼ同じ温度であり今までとは大きく違い、トイレが寒いとか、脱衣所が寒いとかいうことは全くありませんでした。期待以上のでき栄えに感謝しています。

2010年の夏は、梅雨明けからずっと9月に入ってから「いくら何でもこの暑さはないでしょう」と言いたくなるような日が続きました。例年なら猛暑日は長くても2週間程ですし、昼間が暑くても熱帯夜にはあまりなりません。それがこの年はほとんど一夏続けました。それでも家の中はしのぎやすく、何度「信じられないね。良かったね」と言い合ったことでしょう！

我が家の2010年猛暑の夏の過ごし方をご紹介します。

朝涼しいうちは1階も2階も窓を全開にします。外が暑くなってくると窓を全て閉めます。直射日光が入らないようにカーテンも閉めてしまいます。東側の居間の窓は雨戸も閉めました。それでも午後になって家の中が暑くなってきたら、27か28の設定でエアコンをつけます。室温はそれほど下がりますが、除湿されサラッとして、家の中がひんやりした空気になります。外から帰ってきた人も扇風機を回せば充分涼しく感じます。夜は天窓と2階の窓を開けて休みます。昼間来客などで人の多いときに、エアコンの設定を25くらいにしたこともあります。少人数の家族が過ごすには、28で充分でした。平年並みの夏ならこのような方法で、あまりエアコンを使わずに乗り切れるのではないかと考えています。

表1 2010年と2011年の光熱費の比較

2010年と2011年の光熱費の比較			
	電力使用量と金額	使用期間	備考
2010			
3月	814 k w 15,151円	2/15-3/11	暖房あり
4月	846 k w 15,264円	3/12-4/13	寒さで暖房再開
5月	579 k w 10,501円	4/14-5/16	暖房あり
2011			
3月	845 k w 15,382円	2/15-3/13	3/11震災停電
4月	593 k w 10,448円	3/14-4/13	3月いっぱい計画停電・暖房せず
5月	443 k w 7794円	4/14-5/16	暖房なし
9月	448 k w		冷房多用だが5月とあまり変わらず

表1の9月は雨が降って夜間換気をすることができなかった。そのうえ、暑いので冷房は昨年より多用した。しかし、電気量は冷暖房なしの5月とさして変わらない。原因は、最近エコキュートの設定を「おまかせ」に設定し直した。このことで20kWくらい減になったかもしれない。

2.4 断熱気密住宅の屋内環境の事例2「鳥山家」 明治7年(1874)建築 所在地宮城県

2.4.1 鳥山家の改修前後の建築性能とエネルギー消費

鳥山家も2.3の羽生の家とほぼ同じ建築性能を有す。断熱材のみ高性能硬質ウレタンフォーム断熱材($\lambda=0.021\text{W/mK}$)と仕様が異なる。図7、8、9、10、11に示すように、改修の前後では著しく屋内環境が改善されている。室間、上下とも温度差が無くなった。

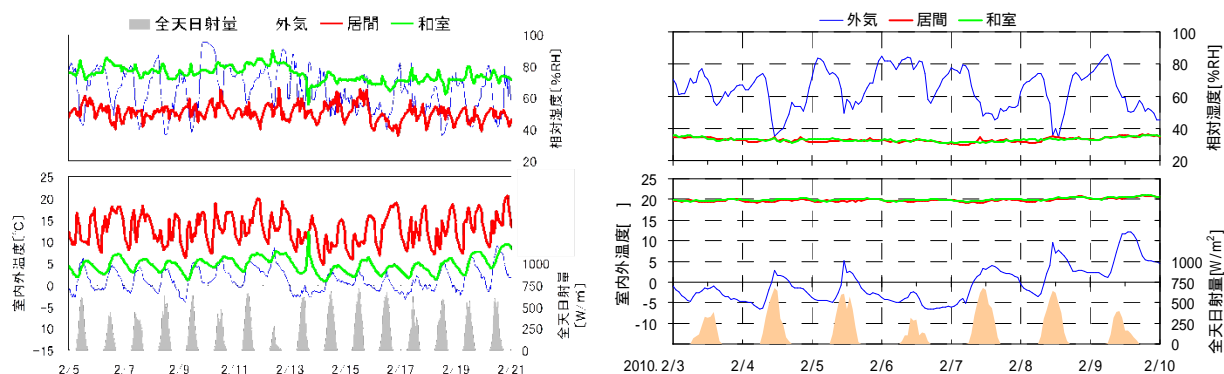


図7 改修前冬期における室内外温湿度（左）と改修後2年目最寒日前後の温湿度変動（右）

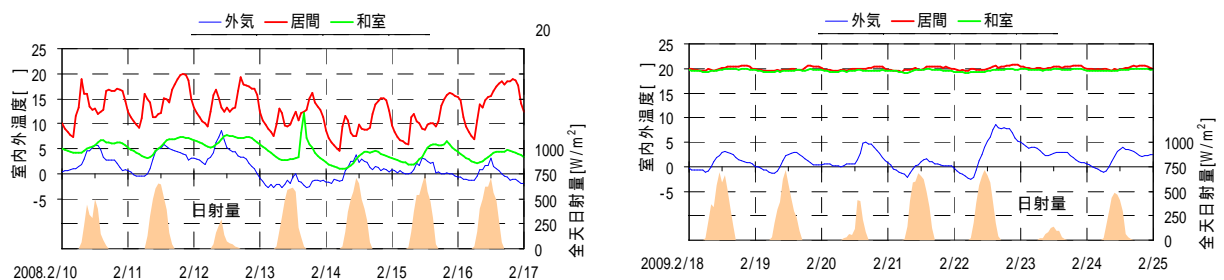


図8 改修前（左）改修後（右）における最寒日前後3日間の室内外温度

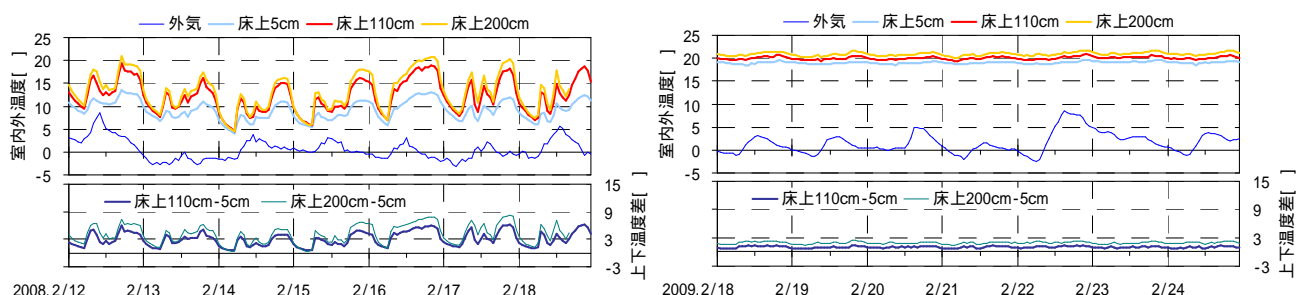


図9 改修前(左)改修後(右)最寒日を含む6日間の居間上下温度差の変動

このような環境で、光熱費はどうなったであろうか。表2に修復前後のCO₂排出量を計算して示した。羽生の家同様暖房面積は41.9 m²(居間、台所)から、延床面積の197.4 m²と約5倍になっている。グラフから非暖房期間(4～7月)で平均23%、暖房期間(12～3月)で平均42%の減少。2次エネルギーでは36%(28.4GJ)の削減。1次エネルギー、CO₂排出量ではそれぞれ10%、4%の増加である。これだけの大空間を暖めて、最大の電気料金は43,661円である。非暖房時の電気料金は約20,000円であるから、暖房費は最大で23,700円で、1日当たり23,700÷30=790円になる。

表2 2009年の電気量（左）と修復前後のCO₂排出量（右）

月	kWh	円				
1	1,980	43,661				
2	1,815	40,165				
3	1,557	34,041				
4	1,189	25,993				
5	1,069	22,938				
6	944	20,829				
7	844	18,643				

	2008年1月 修復前		2009年1月 修復後	
電気	934 kWh	×0.473	441.8 kg	1980 kWh ×0.473
ガス	69 m ³	×2.1	144.9 kg	
灯油	126 リットル	×2.5	315 kg	
合計CO ₂ 排出量		901.7 kg		936.5 kg
	2008年2月 修復前		2009年2月 修復後	
電気	561 kWh	×0.473	265.4 kg	1815 kWh ×0.473
ガス	62 m ³	×2.1	130.2 kg	
灯油	108 リットル	×2.5	270 kg	
合計CO ₂ 排出量		665.6 kg		858.5 kg

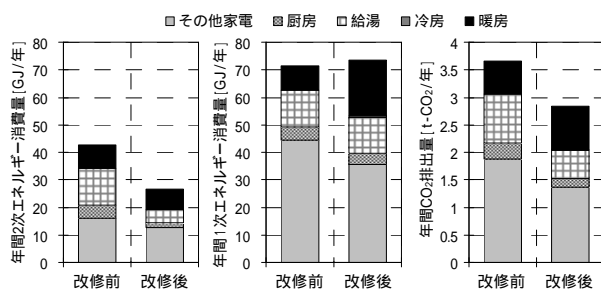


図 10 改修前後のエネルギー消費量
・CO₂ 排出量比較

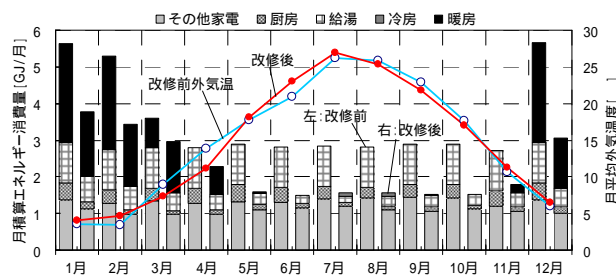


図 11 改修前後の熱源別エネルギー消費量の比較

2.4.2 改修前後の住まい方の変化

【住まい主の声】

2008 年 11 月末に引き渡されました。最初の冬を迎える我が家は、室温が 20℃ 平均に保たれ、寒いという概念はすっかり消えていました。正に快適な生活を送ることができ、以前の建物からは信じられない暖かさになり、毎日「暖かいねー」が我が家の合言葉になりました。

また、店舗部分は「町屋風」の店構えとなり、店内の白壁と黒い柱のコントラストが一層際立ち、一新されて蘇りました。

店に昔使った米桶や秤、升、臼、石竈など、米にまつわる品々、更に帳場格子、五つ玉のそろばん、大福帳などを置くと、昔にタイムスリップしたような風景が見えてきました。父親が生きていたらきっと大喜びしたに違いはないと思います。

また 11 月末、介護施設にお世話になっている 90 歳の母親を改修した我が家に呼びました。認知症の母親は何も話していませんでしたが、新しくなった我が家を見ることができ、少し親孝行ができたと思っています。

- 1) 改修後の冬の環境：寒さのため縮こまって暮していたのがのびのび行動的になった。具体には、目覚めたらすぐに起き上げられる。どこも同じ温度なので仕事や家事がはかどる。四季いずれも同じような能動的な暮らしが出来ている。年中夏掛けの夜具で過ごしている。暖房した室内では洗濯物が良く乾く。シャンプーした髪も良く乾く。夜中に目覚めて眠れないときも、ちょっとした仕事をしたり、新聞を読んだりできる。プライバシーが気になる人には困るかも知れないが全室暖房で室温差がないので冬も建具は開けっ放し。
- 2) 健康的には：ガンガンした温度の高い暖房ではないので気持ち良く、みえないふわふわの毛布をまとっているような環境になった。以前は夜中に目覚めてトイレに行きたいが寒いので我慢しており眠りが浅かった。それが改善された。
- 3) 経済的には：光熱費が改修以前より少なくなっている。家が快適なので気晴らしにどこかに旅行に出たいと思わなくなったので出費が減った。
- 4) 介護環境として：暑くなく寒くないという環境は介護する方もされる方も楽です。以前からこのような環境であれば、先ごろ亡くなったおばあちゃんを介護施設に預けなくてもよかったのに。改修後施設から引き取ってなくなるまでの短期間ではあるが介護できて、家族みんなで手を握り、からだをさすりながら臨終を見届けた。

参考文献 注：掲載の図は下記参考文献から転載

- 1) 内田哲晴、吉野博、姚璐、一坊寺英夫、安井妙子、牧田佳那子：古民家における断熱改修前後の温熱環境およびエネルギー消費量の実態把握、日本建築学会東北支部研究報告集、第73号、pp.17-20、2010.6
- 2) 内田哲晴、吉野博、一坊寺英夫：断熱改修古民家の温熱環境とエネルギー消費量に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp.411-412、2010.9
- 3) 宮澤智士、安井妙子、檜崎聡志、内田哲晴：高野家住宅近代民家修復工事報告 2010、阿部和建築文化研究所、2010.11
- 4) 安井妙子：羽生の家明治の家で埼玉の夏を心地よく過ごしたい、IBEC 建築環境・省エネルギー機構、Vol.32-1、No.184、pp.18-23、2011.5
- 5) 宮澤智士、安井妙子、檜崎聡志：仙台原町の鳥山米穀店修復記録見えないものとの対話、阿部和建築文化研究所、2009.8