

くらしかた・すまいかた
Vol.17

川上邸

数学者のためのエクセルギーハウス



エクセルギーとは「資源性」。今、その有用性がさまざまな場所で注目されています。
今回はエクセルギーハウスの設計者である黒岩哲彦さんと一緒に
そのお施主さんである川上ご夫妻のお宅にお邪魔し、
身近なエクセルギー技術を住まいや暮らしにどう活かしていくのか、
住まい手自身の力で日々進化していくエクセルギーハウスの、くらしかた・すまいかたを伺いました。

身近なところにある 「放っておくと散らかってゆく力(エクセルギー)」

編集部：黒岩さんが設計されたエクセルギーハウスのお話を伺う前に、まず「エクセルギー」について教えてください。

黒岩さん：「エクセルギー」は物理学で定義されている言葉で、一般的には「有効エネルギー」と翻訳されます。それはあまり的確な表現ではないので、宿谷昌則先生（東京都市大学教授）の言葉を借りて「資源性」と僕は言っています。エクセルギーハウスは、従来のエコハウスのように電気を使うことを前提に太陽光発電を備えるようなことはせず、自然の力をそのまま活用して快適を実現しようとするものです。エクセルギーハウスは、私たちの身近なエクセルギーを活用するためのさまざまなシステムを組み込んだものになっています。

編集部：「身近なエクセルギー」とは、具体的にはどういったものなのでしょうか。

黒岩さん：身近なエクセルギーは三つあります。その一つ目が「身近な自然の営みの力」、二つ目は「身近な生きものの営みの力」、三つ目は「我々の営みの力」です。これらはみな「放っておくと散らかってゆく力」です。例えば「身近な自然の力」

として太陽光や雨があります。太陽光であれば、光は地中に吸収されたり、葉の表面に反射されたりしながら拡散していきます。雨であれば、葉を伝って地面に浸みこんだり、地表を流れていったり、蒸発して雲になったりしていきます。

三つ目の「我々の営みの力」も身近なエクセルギーです。人は暑いと汗をかきますが、それが肌の表面で蒸発して、体温が調節される。人体の発熱密度というのは、面積あたりで考えれば太陽の何万倍もあるんです。

編集部：そうなんですか？

黒岩さん：だから冬の住宅の設計において何をするかというと、まず人体からの発熱を逃さないようにします。今の設計者はそういうことを意外と忘れてしまっています。この「放っておくと散らかってゆく力」を組み合わせる技術を「身近なエクセルギー技術」と言っています。身近なところにある、放っておくと散らかってゆく力を集めてくれる現象を発見し、それをゆっくりと散らかすよう丁寧に計画していきます。私たちの研究グループ（※1）では、「隣に役立つ」というような言い方もしています。

編集部：「隣」というのはイメージ的に使われている言葉なのでしょうか？

黒岩さん：「隣」というのは、簡単に言えば、先ほどあげた三つ「自然の営み」と「生きものの営み」と「人の営み」、それぞれの関係性というようにご理解いただければと思います。これは主に生物学的な観点からの発想なのですが、「隣合う関係性を位置付けていくと無理なく全体ができあがっていく」という方が、システムとしてもずっと優れていると思うのです。全体で何かを決めていくという今までのやり方では、問題が解決できなくなっている。そういった社会的な構造も、実は自然界にある関係性の法則に倣い、隣合うものでどうやって上手く行く仕組みを作れるのか、発想の転換期を迎えているように感じます。

エクセルギーハウスとの出会い

編集部：川上さんは、以前はどんなお宅にお住まいだったのでしょうか。

川上さん：昭和30年代の中古の家を買って、今と同じ敷地に住んでいました。とても古い木造の家でした。

編集部：黒岩さんとの出会いはどんな形だったのでしょうか。

川上さん：私は小さいころから建築が好きで、ブルーノ・タウトを読んだりしていました。彼の著書を通して、我々の国の中にも世界に誇れる美しい建築があることを再認識しました。

成長してからは「今の技術で伝統建築をどうやって造るのか」といった事について、ずっと興味を持っていました。いざ自分の家を建てることになった時、偶然、黒岩先生が建てられた家の記事を目にし、これは素晴らしいと感激し、先生の建築事務所を訪ねて行ったのがきっかけです。

黒岩さん：ありがとうございます。

川上さん：設計から始まって、家が建つまでに2年くらいかかりました。普通の家だったら9カ月もあれば建つところを、作りながら議論・検討をして、修正しながら進めていきました。本当に楽しく、貴重な経験をさせていただきましたね。

黒岩さん：小金井にある「雨デモ風デモハウス（※2）」がエクセルギーハウスの10棟目で、この川上邸が9棟目です。僕のお施主さんは、皆さんそれぞれお立場が異なっておられるの

ですが、いつも色々なアイデアを持って接していただいています。毎回皆さんから出していただくそのアイデアに応えることを繰り返しながら、家を作っていく間に、僕は皆さんに鍛えられてきたのです。

この家は竣工してから1年半くらい経ちますが、時期々来ては調整や修正をしています。建てて終わり、とはなりません。

エクセルギーハウスが目指す「本来の快適性」

黒岩さん：エクセルギーハウスは、エアコンによる室内の不快の原因を解明した「エクセルギー理論（※3）」と、それによって導きだされた「本来の快適」を基準とした温熱環境を実現するものです。

例えば、この家（川上邸）は夏に30度くらいあります。それでもエアコンを26度に設定した部屋で過ごすより体が疲れません。「人体のエクセルギー消費速度」が1.2～1.3倍くらい違うので、体にかかる負担にも差が出ます。気温が30度くらいあって、ちょっと汗ばむ感じの方が身体への負担が少ない。これは宿谷先生が数値でハッキリ出されています。このエクセルギー解析で示す「本来の快適」を言葉で伝えようとしてもなかなかご理解いただけないので、私のように実際に住宅を設計して、そこで体感していただくことで、エクセルギーハウスの良さを伝えていきたいと考えています。

川上さん：夏でも冬でも、外気温と室内の温度差は5度程度が限界ですよ。それ以上になると、例えば車の運転と同じで、思い切りアクセルを踏んで、すぐブレーキをかけることを繰り返して車に大きな負担がかかるように、大きな温度差を繰り返すと体にかかる負担が大きくなると思うんですよ。

黒岩さん：本来の快適性を実現するためには、夏であれば人体をとりまく室内の床壁天井の周囲面温度を気温より下げるといふ状況をつくる必要があります。しかしエアコンで空気の温度を下げようとすると、この環境はつくれません。その環境に長くいられるほど、体が疲れてしまいます。

川上さん：周囲面温度というのが快適さを感じる上で大事な

だと、私もこの家に暮らしてからよくわかりました。今の冷暖房システムでは、室内空気の、しかもその一部だけを極端に上げたり下げたりして、冬は過熱風を、夏は過冷風を吹き付けているわけです。

黒岩さん：人体を包む面には色々な温度があって、その総体を僕らは感じているわけで、実は空気の温度を下げることにあまり意味はありません。気象予報士さんは、そろそろ気温だけで何かを語るのを止めた方がいいと思う。

編集部：多くの人が「エアコンの設定温度、つまり空気の温度を下げれば涼しくなるはず」という発想になっている気がします。そういう空調の話だけでなく、住まいや暮らしを取り巻く環境全体がものすごく単純化して、本当のところはわからなくなっていますよね。一元的な見方しかできないというか。

川上さん：この家のように「周囲面温度を上げたり下げたりすることが本来の快適性を満たす上で重要なポイントになる。」ということになったら、今までどおり、それを電気エネルギーでつくろうとする。それが自然エネルギーを使ってつくった電気だとしても、今ある自然の力をうまく組み合わせてそのまま使った方がどれだけ無駄がないか。

でもそれは新しい何かというよりは、それぞれの民族が、それぞれの知恵で、昔からやっていたことなんですよ。

雨水と風を活かした「夏の涼」

編集部：川上邸で採用した「自然の力をうまく組み合わせる方法」を教えてください。

黒岩さん：まず雨水ですね。この家は軒先に「ツマラナイ樋」という樋がまわっていて、降ってきた雨水だけを集める仕組みになっています。混ざっていなかった雨水と砂と葉っぱを混ぜてから沈殿槽をつくって分離しようとするれば、余計なエネルギーがかかるわけで、非常に馬鹿げた話ですよ。だから一番元である樋の部分で、ゴミと雨水を分離するシステムを作りました。「少ないエネルギーでより効率よく資源を使う」というのがエクセルギーハウスの基本です。こうやって地下のタンク

に雨水を集めています。量は3トンくらいあります。

編集部：雨水は何に使うのでしょうか。

黒岩さん：この住宅では雨水を地下に溜めておいて、その熱の放射を利用して冷暖房に役立てています。

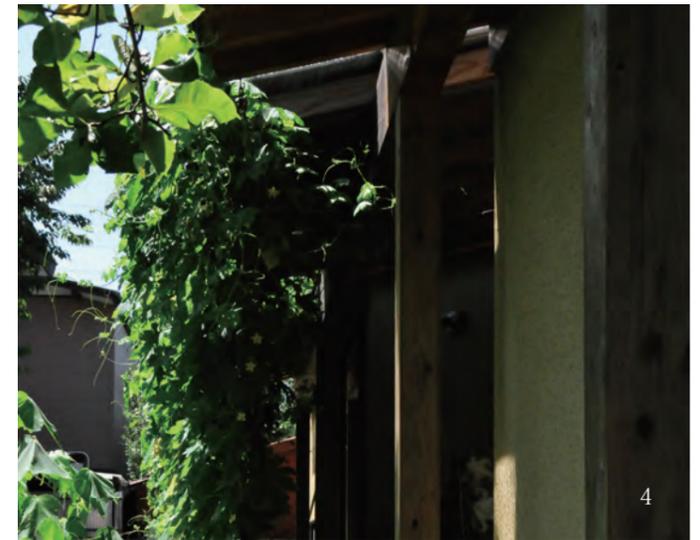
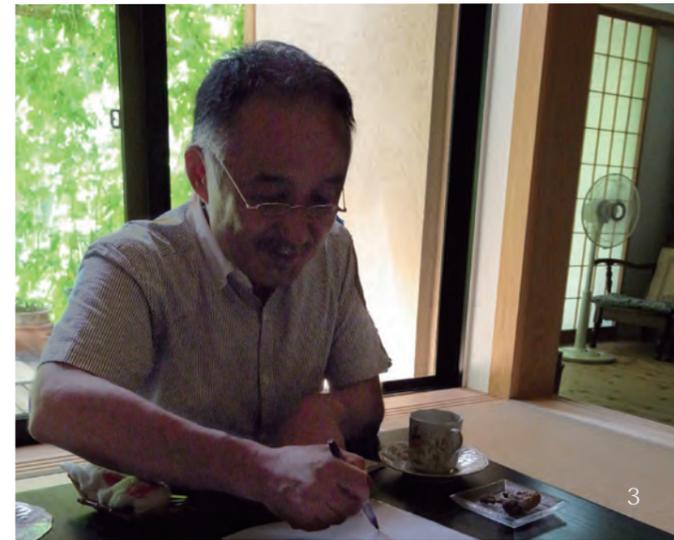
放射というのは面白いもので、物体から物体にしか移らないので、天井面からの冷放射は床に行き、床からは天井に行き、熱が移動していくわけです。一日という単位で見れば家全体が安定した状態に保たれます。そういう考え方は、今までの環境計画の中にはなかったものです。

雨水は夏でも降ってきた時には25度程度。その雨水を地下に溜めておくだけで、室温が30度位あっても、床の温度は27度になります。雨水を溜めておくだけで部屋の温度を下げられるのに、今まではそれを捨ててきたわけです。

編集部：夏の冷熱源は地下に溜めてある雨水だけなのですか。

黒岩さん：一つの要素だけで全てをまかなうということではなく、自然の力をうまく組み合わせる方法を実現化したのがエクセルギーハウスです。夏は集めてきた雨水の一部を小屋裏に搬送し、熱伝導性の良い金属でできた天井面の上面をほんの少し湿らせます。そこに天井裏に開けられた南北の小窓から自然の風が通り抜けて蒸発冷却が起り、天井面が26度くらいに冷えます。この天井面の低温状況が最も建物を涼しくする効果を上げています。冬はこの小窓を閉めて、灌水も行いません。それに緑のカーテンや、2階の居室は夏場の日中で使わない時には断熱材を貼った雨戸を閉めて暗くして過ごすという、住まい手の「住まい術」も加わって、さらに快適な「周囲面温度」が保たれています。

1. 取材日は真夏の晴天。室内は30度もありながら、とても快適。
2. 川上さんご夫妻。ご主人は長年、数学の教師を勤められていた。
3. エクセルギーハウスの設計者・黒岩哲彦さん。
4. 川上邸の見事な緑のカーテンが、夏の日射を効果的に遮る。





壁はすべて漆喰。天井と床は天然木（1階室内）。洋間は高窓採光、和室は後退窓で縁側付きにと、冬季の採光を考えた工夫が。



天井が冷放射パネルになっている2階居室。寝室として利用しているため、夏場の不使用時には雨戸を閉めて薄暗くして過ごす。

「緑のカーテン」も試行錯誤

川上さん：夏の日射を遮るために、最初はすだれをかけていたのですが、閉塞感になじめず止めました。その代わりに始めたのが緑のカーテンです。これも色々試行錯誤しています。今年はゴーヤとツルムラサキを植えました。ゴーヤは虫に強くて、ツルもどんどん伸びるし育てやすい。ツルムラサキは葉に厚みがあるので光の透過加減が柔らかくて、すごくよいですね。

編集部：立派に育てる秘訣を教えてください。

奥さん：緑のカーテンに詳しい知人に相談したら「ゴーヤが一番」と言われて、5月の中旬くらいに苗を10本植えてみました。軒下を20cmほど掘り下げて、黒土、培養土、油粕、牛糞を混ぜた特製の土を入れています（一番効くのは油粕だそうです）。それで育てたら、1週間で20個も実の時が続いたりして。たくさんできた分はご近所に差し上げたりしました。

黒岩さん：よいですねえ。色々よいことづくめですね。

奥さん：そうですね。涼しいし、風を通すし、目にも爽やかで。

川上さん：自動的に散水できるように、水道に弁とタイマーを付けました。今の科学技術を活かすには、商品化されている製品をうまく組み合わせるのが大事だと思っています。全て手作りということではなく、作られたものをうまく利用して使う。緑のカーテン用のネット一つにしても、工業製品ですから安いわけで、それを買ってきて張ればよいので簡単にキレイに作れます。

雨水と太陽熱を活かした「冬の暖」

編集部：夏は緑のカーテンも取り入れてすごすとして、冬の暖としては、どういった工夫をされているのでしょうか。

黒岩さん：冬季は先ほどの雨水を屋根の上の太陽熱集熱器にまわし、太陽の熱で直接お湯に変えています。夏はお風呂に使ってもらっています。太陽熱集熱器は太陽光発電機に比べればものすごく効率がよくて、大体60%くらい。太陽光発電機だとよいもので大体20%くらいですかね。

また我々が生活する上で必要なエネルギーは7割以上が熱現象で、実は電気はあまり必要ありません。だからその熱現象をつくり出すために電気を使うというのはバカげた話なんです。熱から電気を作るのも、火力であれ、原子力であれ大体3割しか取り出せないわけで、だったらこうやって直接熱として使った方がよい。

屋根の上の太陽熱温水器と床下にある貯水タンクの間を毎日温水が行き来しますので、それで室内が暖められます。

編集部：なるほど。床下にある雨水も暖かいから、冬季の熱源になるんですね。

黒岩さん：基本、冬季はそうやってすごします。ただ特に寒い日で、太陽熱温水器で暖めたお湯の温度が低い場合は、補助的にガスを使って暖めています。

小金井にある公共施設（※2）では、これをペレットストーブでやってるので、ほぼ100%を自然の力で賄えますが、ガスで

やるとその分、二酸化炭素を出してしまいます。しかし僕らは何も自然エネルギー自給率100%ということにこだわっているわけではなく、出来る範囲でやればよいという風に考えているので、川上邸ではこうした形でやっています。

エクセルギーの基本的な考え方として、「散らかっていく力を集められるところに集めて、ゆっくりと散らかす」というものがあります。床下にある貯水タンクが熱源になるなんて、皆さん考えないわけですか。温水器で暖めたお湯を循環させて部屋を暖める、そのために良いパイプやモーターで効率よく循環させよう、という発想になってしまう。24時間動いているから傷みも早いし、動かすために電気のエネルギーをたくさん使っちゃうし。でもその方が合理的だと、皆さん信じている。

暖かいものを溜めて置いておけば、自分で散らかってくれるんだから、散らかっていく速度をコントロールしさえすればいい。一日の変化をどういう時間軸で見て行くか、ということが、ものすごくおろそかになっています。でも本当は、そこをきちんと考えていかないといけないんですよ。

奥さま：東京は冬でもお天気が続きますよね。今年は娘が病養のために11月から1月まで、この家で暮らしていたんですけども、娘が「自分が住んでいる都内のマンションに比べて、この家は南に大きく窓が切つてあるせいか、暖かいね。」「壁が漆喰で、天窓が台所や浴室、トイレにも付いているから空気がキレイで健康的な感じがする。」と言ってました。

川上さん：直射的な日光が入って、それで暖められるのが一番効率的だし暖かいですよ。

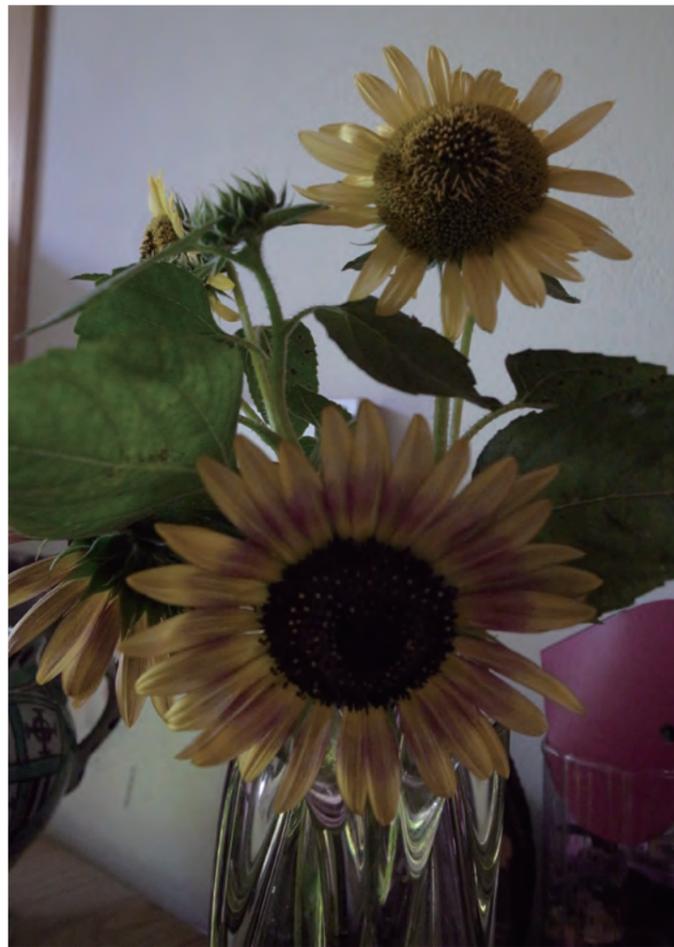
黒岩さん：この家の間取りを作る時にここを凹ませようとか色々な話があって、建物に凹凸を作るとその分日光の入る率が減っちゃうんですよ。でもその分、日光が入る量を減らさないための工夫も色々やっています。

エクセルギー技術は、現在、注目され始めていますが、主に大型の製造工程や発電所等の生産領域での活用が中心です。生活領域で実現しているのは、私たちの研究グループだけで、この「エクセルギーハウス」は2012年6月に国の「先進省エネルギーシステム」に認定されました（※4）。

複合的に成り立つ自然界に学ぶ

川上さん：住生活もそうですけど、我が家では食生活も有機農業のものにこだわっています。自然と人工的なものとの違いは食材にもあって、化学肥料というのは成分の単品です。農作物に必要な栄養素が足りなかったら、はいチッソだ、はいカリウムだと足していくわけですよ。でもそうじゃなく、もっと自然の複合的な栄養価で育てられた作物の方が、食べた時に「美味しいなあ」と素直に感じます。

編集部：「複雑なものはわかりづらい」、「もっと物事は単純化



庭で育てた花々が暮らしを彩る。この日はひまわりが飾ってあった。



玄関には下窓をつけて、北側からの涼気を取り入れる。

しなくてはいけない」という風潮がありますよね。

黒岩さん：科学や数学もそうですけど、学校で教える際にはそれなりに評価されると思うんです。でも社会の現象においてそういう「難しいこと」を論じてはいけないという風潮があまりにも強すぎる。しかし最近はメディアが変わってきているので、「説明しない商品しか売れない」という今までのマズな売り方だったらできなかったことも、やれるんですよ。

私たちエクセルギーハウスは「絶対に説得はしない」というやり方で、この家をもっと普及させていこうと思っています。

川上さん：「説得しない」「宣伝しない」と聞いて、商売が成り立つのか不安になるんですけどね。

黒岩さん：そういうことをやっていかないと、この「エクセルギー」という言葉がたとえあつという間に普及したとしても、実態は伝わらないように思うんです。

川上さん：現代の都市の中で、かつての「茅葺屋根」のような、自然の力をそのまま活かす仕組みをいかに実現していくのか。そういう発想があってもいいように思います。それがこれからの住まいや暮らしを本当の意味で快適なものにしていく、大切な知恵になっていくのではないのでしょうか。

編集部：本日は貴重なお話をありがとうございました。(終)

注記

※ 1: エクセルギーハウス net(<http://exergyhouse.net>) 及び NPO グリーンネックレス

※ 2: 小井環境配慮住宅型研修施設。愛称「雨デモ風デモハウス」はカフェ併設なので、見学可能。エクセルギーハウスについての勉強会等も開催されている。 <http://amekaze.jp/>

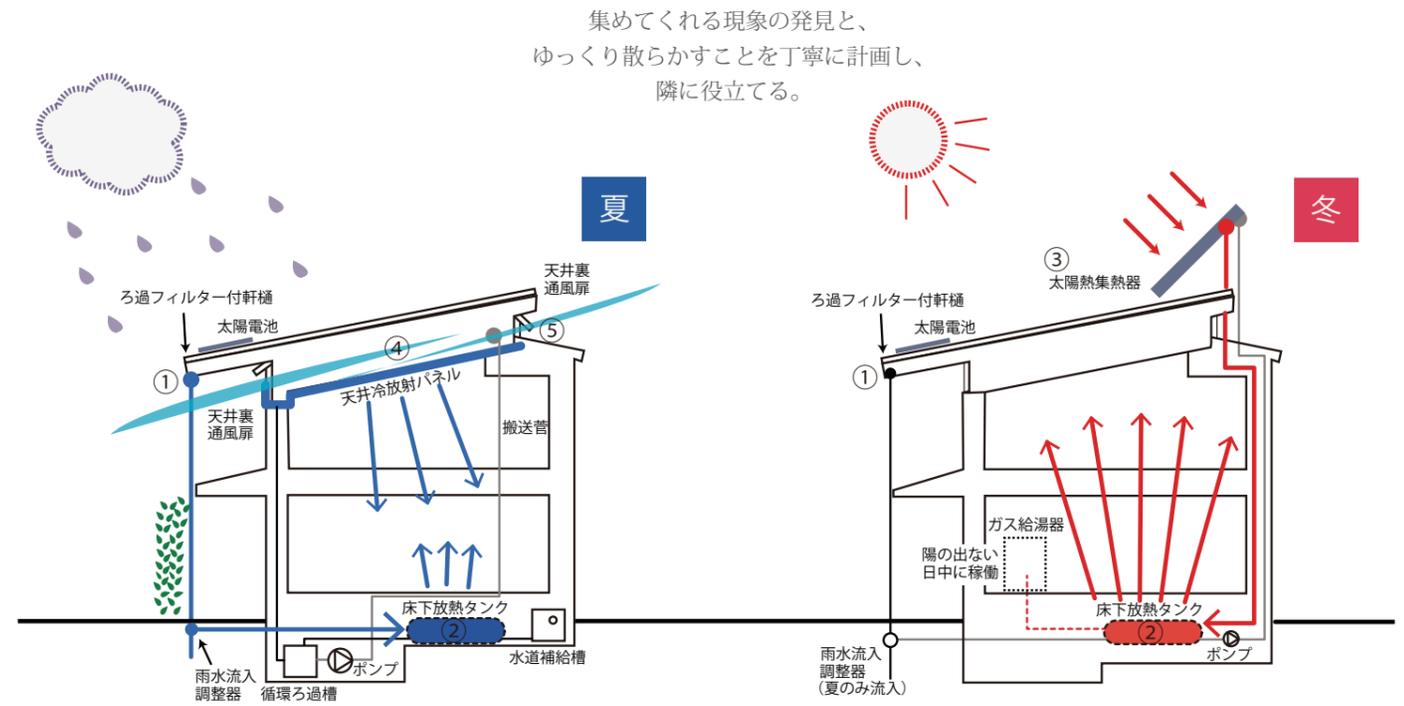
※ 3: 「エクセルギー理論」とは、保存されるのは「エネルギー」であり、消費されるのは「エクセルギー」であるという概念。「消費エネルギー」という言い方はここでは通用しない。消費を明確にするために必然的に現れてくるのが「エクセルギー（拡散という現象を引き起こす能力）」である。またエクセルギーはエネルギーや物質のもつ「資源性」を表す。もっと詳しく知りたい人は、宿谷昌則先生の著書をどうぞ。(P8 参照)

※ 4: 平成 24 年度 住宅・建築物のネット・ゼロ・エネルギー化推進事業（ネット・ゼロ・エネルギーハウス支援事業）において、エクセルギーハウスシステムは「先進省エネルギーシステム」として採択された。詳しくは住宅・建築物のネット・ゼロ・エネルギー化推進事業 HP をどうぞ

<http://www.zero-ene.jp/zeh/meti/table.html>

放っておくと散らかっていく力（エクセルギー）を使う技術

川上邸のエクセルギーハウス・システムイメージ



ろ過フィルター付軒樋で雨水とごみを分離し、効率的に集水する。床下放熱タンクに雨水を流入するのは夏のみで、冬はビオトープ用水流として利用する。

床下放熱タンク。降水時の雨は夏でも 25 度程度なので、夏季は雨水を集めて床下に置いておくだけで、冷熱源として機能する。目から鱗の発想。

太陽熱集熱器によって暖められた雨水は季節ごとに設定を変えて使う。夏のクーリング、冬のウォーミングに使うのは（循環ポンプの電力として）太陽電池 160W のみ。

天井の上面を湿らせ、小屋裏に流れる自然風による蒸発冷却で天井面の温度を下げ、室内を冷やしている。手前に見えるのは送風補強のファン。小屋裏には南北方向の断熱窓が設けられている。夏場は開けて常に自然の風が流れるようにし、冬場は屋根裏暖房に切り換える。

エクセルギーをもっと知りたい、学びたい人のための書籍紹介

『エクセルギーと環境の理論 — 流れ・循環のデザインとは何か — (改訂版)』



編著：宿谷昌則（東京都市大学 建築環境学 教授）
共著：西川 竜二、高橋 達、齊藤 雅也、浅田 秀男
伊澤 康一、岩松 俊哉、マーセル・シュバイカ

単行本：345 ページ 出版社：井上書院 発行年月：2010 年 09 月（改訂版）

「エクセルギー概念の基礎理論とその応用には、建築環境学の外にも展開すべき広大な領域が残っていると思う。読者がエクセルギー研究の新たな展開や応用領域の開発に興味をもち、自ら参加するきっかけを本書が作ることができたとすれば、編著者としてたいへんに嬉しい。また、環境デザインや環境共生型の技術開発を志向されている方々が、本書の内容に触れてイメージを豊かにして下さるとすれば、これに優る喜びはない。デザインや技術とは自然に備わっているくたち>やくしくみ>に倣うことに他ならないと思うからである。(はじめに〜より抜粋)」