

初期のパッシブソーラーハウス（米国，豪国） と有効熱容量の研究

Passive Solar Houses (in USA and Australia) and the Effectiveness of Heat Storage in the early stages

須永修通*

このパッシブソーラーハウスや蓄熱体の温度変動・有効率の調査・研究は、今から42～32年前のものであるが、それらがどのようなもので、どのような工夫がされたか、また、現在にどう繋がっているか、あるいは、今後利用できるか、という観点でご覧いただければ幸いである。

1. 序 ～パッシブデザインの歴史概略～

表1のように、1961年に本学会の前身、日本太陽エネルギー協会が創設されたが、この頃から欧米でパッシブソーラーヒーティングシステムも盛んになった。1975年に本学会が設立されたが、この頃には日本でも太陽エネルギー利用の機運が高まっていた。

そんな状況の中、筆者は、恩師の伊藤直明教授や高間三郎先生らの後押しで、1980年にアメリカのソーラーハウスの調査を行った。また、1981年には、伊藤先生や小玉祐一郎先生によってダイレクトゲインシステム等の実大実験、および伊藤先生により外断熱、内断熱の実大実験が開始され、筆者はそれらの実験を担当した。

1980年代には、もともと我が国では関心が高かった涼しく過ごすための手法、パッシブクーリングの研究も高まった。そのような背景の中で、筆者は1990年にオーストラリアのソーラーハウスや学校、事務所ビルなどの日除けの調査を行う機会を得た。

2000年代になると、パッシブデザインは生態系や地球環境をも考慮したバイオクライマティックデザインとも呼ばれるようになった。この両者の定義を表2に示した。また、パッシブデザインの原則は表3に示した通りである。パッシブヒーティングでは断熱により建物からの熱損失を極力少なくすること、パッシブクーリングでは日射遮蔽・遮熱により建物に侵入する日射熱を最大限カットすること

表1 パッシブデザインの歴史と調査の時期

1961年	「日本太陽エネルギー協会」設立
1973年	第一次オイルショック →太陽熱温水器が爆発的に普及 この頃、パッシブソーラーヒーティングシステムが、特にアメリカ(1960年代～)で盛んになった。
1975年	「日本太陽エネルギー学会」設立 日本でも、研究の機運が高まってきていた。 ⇒1980年 アメリカのソーラーハウス調査
1980年	マイアミ市で、パッシブクーリングの会議 ⇒1981年ダイレクトゲインシステムの実大実験 および外断熱・内断熱の実大実験 開始 (RC蓄熱体内の温度変動・有効熱容量)
1982年	第1回 PLEA 国際会議
1983年	AIJ シンポ「建築における自然エネルギー利用」
1984年	同「住宅の防暑」
1988年	同「住宅のパッシブクーリング」 80年代は、クーリング手法にも関心が高まった。 ⇒1990年 オーストラリア調査

表2 パッシブデザイン、バイオクライマティックデザインの定義

<p>パッシブデザイン¹⁾ 地域の気候風土に合わせた建物自体のデザインで、熱や光や空気などの流れを制御して、地球環境への負荷を極力少なくするとともに、快適な室内環境を得る設計手法。 建築設計では特別なことではないが、意識していないデザインと区別する場合に使われる。</p> <p>バイオ クライマティック デザイン²⁾ その地域の自然に合致し、地球環境を維持できる、人間に快適かつ喜びを与える建築デザイン。</p>

表3 パッシブデザインの原則³⁾

<p>パッシブ ソーラー ヒーティング ・断熱(+気密化)により建物からの熱損失を極力少なくした上で、 ・集熱(窓からの日射熱取得や内部発熱など)と ・蓄熱(蓄熱体を適量配置する) とのバランスを図る。</p> <p>パッシブ クーリング ・日射遮蔽:室内に侵入する日射熱を最大限カットし、 ・通風:風を通し(室内からの排熱と涼感を得る)、 ・自然のエネルギーで冷やす。</p>

* 東京都立大学 (名誉教授)

が、第一義的であり、必須である。

2. 初期のパッシブソーラーハウス

2.1 アメリカ

アメリカ調査は1980年に行った。1\$ = 360円の時代の私費旅行であり、『地球の歩き方』の発行社主催の格安ツアー（バスのフリーパス付き）を利用した。米国本土内13日間、Davis, Sea Ranch, Boston, Lincoln, Denver, Los Alamos, Santa Feなどで調査した。

以下に、調査したソーラーハウスおよび代表的なパッシブ手法のうち、主なものを記す。

1) Davis, California

デービス市にある通称 Solar Village は、約200戸の住宅全てが太陽熱を利用していることと、その住宅地としての優れた計画で有名になった。（図1）

a) Thigpen/Hunt Residence (チグペン・ハント邸)

デービスを代表する住宅の一つで、配水管を利用したウォーターウォールがある。直径約60cmの管に水を満たして窓際に立てて並べ、蓄熱・暖房に利用している。管の間に約20cmの隙間を設け、室内に日射が入り、外が見えるように計画された。（図2,3）

b) Colbett Residence (コルベット邸)

もう一つの代表的な事例で、この住宅には天窓と可動断熱戸があり、天窓から入射した日射が北側の黒塗り配水管利用蓄熱体に当たり蓄熱する。可動断熱戸は断熱材を内包した木製で、ワイヤーで北側の壁際のバランスウエイトに結ばれ、このウエイトを手動で上げ下げすることで開閉される。（図4～7）

c) Drash Residence (ドラッシュ邸)

デービスでは、高窓（クリアストーリー）を設けた住宅が多く建てられていた。高窓から取り入れた日射を北側の部屋の採光と暖房に利用する。特に、この住宅では、高窓の上の軒の下面と下の屋根の上面を反射性の仕上げとし、日射を反射させて室内に入る日射量を増やす工夫をしている。（図8）



図8 Drash Residence 外観



図1 Davis Solar Village (Village Homes)



図2 Thigpen/Hunt Residence 外観

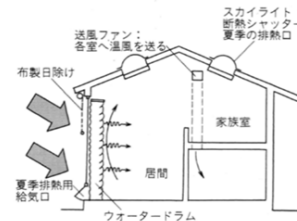


図3 Thigpen/Hunt Residence 断面図⁴⁾



図4 Colbett 邸の配水管を利用した蓄熱体



図5 Colbett Residence 外観



図6 Colbett 邸 内観

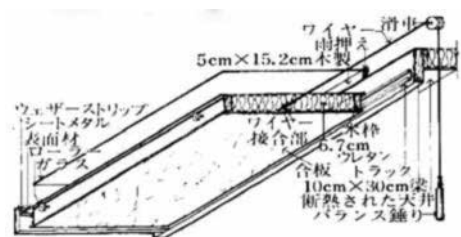


図7 可動断熱戸⁴⁾

2) Sea Ranch, California

シーランチは、サンフランシスコから北に約 160 km の海沿いの保養地である。ここは風が強い土地柄であるため、風による熱損失を防ぐように、半地下とし、土を屋根に載せた覆土屋根としているのが特徴的であった。(図 9)



図 9 Sea Ranch の半地下・覆土屋根の家



図 10 Sundown House 南側外観



図 11 Sundown House 北側外観



図 12 MIT Solar 5 外観

d) Sundown House (サンダウンハウス)

この家も半地下・覆土屋根になっているが、ダイレクトゲインシステムの住宅として有名である。南側から見るとほぼ 1 層分掘り込んであることがわかり、北側からは母屋は草屋根とトップライトのみが見える。窓ガラスは二重ガラスで、ガラス間にプリーツスクリーンのような日除けがある。夏、下部の開き戸と屋根の下の排気口を開けるとガラス間の暑い空気が自然に排出される。(図 10, 11)

3) Boston, Massachusetts

e) MIT (Massachusetts Institute of Tech.) Solar 5 (マサチューセッツ工科大学ソーラー 5) (図 12)

この実験建物は、ヒートミラー、反射ブラインド、潜熱蓄熱タイルという 3 つの新材料で注目された。

ヒートミラーは、放射による熱伝達を低減するため特殊金属膜をコーティングしたプラスチックフィルムで、二重ガラスの間に設置されていた。当時は空気に触れると劣化が著しいとのことであったが、これが現在の低放射ガラスの元である。(図 13)

反射ブラインドは、ブラインドスラットを下に凸として、その上面を反射性の仕上げにしたもので、窓に入射する日射を天井に反射する。スラットの幅を約 15mm と細くし、外部の視認性を良くしたとのことであった。(図 13)

潜熱蓄熱タイルは、固相が液相に変わるときに熱が吸収される潜熱を利用して蓄熱するものであり、ここでは硫酸ナトリウム塩が用いられていた。固相に変化するとき針状の結晶になることから、袋を 3 層にし、プラスチックケースに収めた。(図 13)

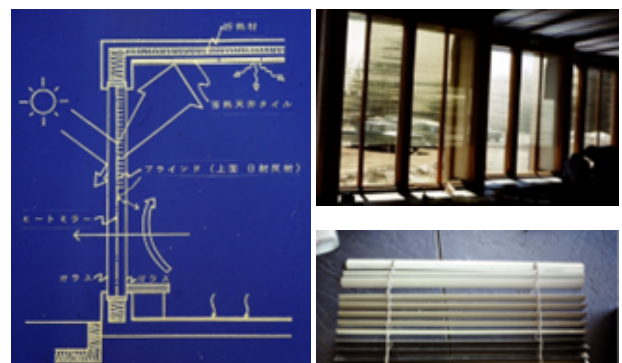


図 13 MIT Solar 5⁵⁾ システム図と 3 材料

上 : システム図
 右上 : ヒートミラー窓(左端の窓)
 右中 : 反射ブラインド
 右下 : 蓄熱タイル断面

4) Los Alamos, New Mexico

ロスアラモスにある国立研究所は、当時はカリフォルニア大学が運営しており、様々な実験施設と実大実験建物があった。

f) Mobile Home II (モービルホームII)

モービルホームは、トレーラーハウスのことである。この例では2台分を少しずらして現地で接続している。この家は、日本では珍しいルーフポンドの例である。ルーフポンドは、天井の上に水を入れた黒色の袋置き、そこに日射を当てて蓄熱し、天井から室内を暖めるものである。(図14, 15)

g) Hunn House (ハーンハウス)

トロンブウォールの住宅である。トロンブウォールは窓内部に置かれた厚い蓄熱・暖房壁のことである。写真では窓に室内からの空気流入口が見えるが、室内への還気口はガラス上部に隠れている。(図16)

h) ビーズウォールの実験住宅

二重ガラスの間に発泡ポリスチレンの粒を吹き込んで断熱し、日中その粒を吸い出して窓として使用するものであるが、静電気粒がガラスに残ってしまい、残念ながら実用には至らなかった。(図17)

i) Whitcomb House (Wine Bottle House)

(ウイットコムハウス 別号ワインボトルハウス)

この家は、研究所の内部ではなく、風光明媚な崖の上に立てられていた。窓際に水を満たしたワインボトルを腰の高さまで並べ、ウォーターウォールにするという、楽しいアイデアの家である。(図18)

5) Santa Fe, New Mexico

j) Balcomb House (バルコム邸)

この家に住むバルコム先生は、精密な熱負荷計算プログラムを開発したことで大変有名である。この家は、この地域特産のアドベと呼ばれる日干しレンガで造られている。前面にガラス窓で覆われた温室があり(付設温室/グリーンハウス)、温室の奥のアドベ壁に蓄熱する。また、温室の上部の暖気はファンとダクトで1階床下のロックベッドに運ばれ、蓄熱・床暖房に利用される。夏季は、温室の上の窓を開放し、排熱する。(図19)



図19 Balcomb House 外観



図14 Mobile Home II 外観

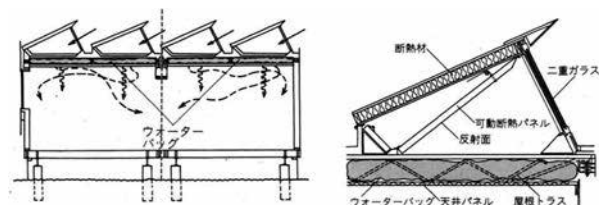


図15 Mobile Home II 断面図・断面詳細図⁴⁾

右の断面詳細図のように、日中はウォーターバッグの上の可動断熱パネルを開けて集熱し、夜間はパネルを閉じて熱損失を防ぐようになっている。



図16 Hunn House 外観

空気の循環口には、夜間の逆流を防ぐようにダンパーが設置されている。



図17 ビーズウォール実験住宅 外観



図18 Whitcomb House 外観

2.2. オーストラリア

オーストラリア調査は、1990年に行った。以下に、主なソーラーハウスとパッシブ手法を示す。

1) Canberra, ACT

k) Urambi Solar House (ウランビソーラーハウス)

この住宅はダイレクトゲインシステムであるが、断熱内戸、青みを帯びたコンクリートブロックの蓄熱壁、天窗+可動断熱戸が特徴的である。(図20, 21)

断熱内戸は、断熱材が入った白塗りの木製で、内開きである。壁は薄く青みがかったコンクリートブロックで出来ており、美しい。この地域特産の砂を用いるとこの色になるとのこと。また、図21の右側の写真の右上に天窗がある。この天窗の可動断熱戸は、アメリカのコルベット邸と同様にバランスウエイト(図7)を上下することで開閉する。写真の白の丸印内に、バランスウエイトが写っている。

l) Trever Lee House (トレバー・リーハウス)

この住宅では、腰までの高さのトロンプウォールが設置されている。腰までとすることで、普通の窓のように日射が室内に入り、窓からの眺望も確保される。キャンベラでは高窓のある住宅が多かったが、この家では、北側の寝室に直射が入り、コンクリートブロックに蓄熱される。(図22, 23)

2) Perth, Western Australia

m) Catchpole House (キャッチポールハウス)

オーストラリアでは日射が強いため、屋根を銀色や白色などにした建物が多く見られた。銀色や白色は日射反射率が高く、遮熱効果が高い。また、板を斜めに張った庇も見られた。これは、夏の高い太陽高度からの日射は遮り、冬の低い太陽高度からの日射は通すようにしたものである。固定されているので強度もあるし、ブラインドなどのように調節する必要がない。(図24, 25)

3) Sydney

ここでは建築ではなく、重要な材料を紹介する。

n) R.E.Collins Lab. (シドニー大学コリンズ研究室)

シドニー大学物理学科のコリンズ教授は、真空ガラスの研究をされていた。当時は20cm角の大きさだったが、この年1990年の末には50cm角、翌年には1m角のものを作ると聞いた。この数年後、日本板ガラスさんから市販された。(図26)



図26 コリンズ教授と真空ガラス試作品



図20 Urambi Solar House 外観



図21 Urambi Solar House 内観



図22 Trever Lee House 外観



図23 腰までの高さのトロンプ壁と北側の寝室



図24 Catchpole House 外観



図25 斜めに板を張った庇

3. コンクリート蓄熱体の温度変動と有効熱容量

1981年、ダイレクトゲインシステムの実大実験が開始された。蓄熱体が室内環境に及ぼす影響や蓄熱体自体の熱挙動を把握することなどを目的とした。木造・蓄熱なしのA棟、木造で床に30cm厚のRC（コンクリート）蓄熱体があるB棟、RC造で屋根・壁が15cm、床が30cm厚のC棟、屋根・壁・床とも30cm厚のD棟の4棟が作られた。木造はグラスウール100mm、RC造は発泡ポリスチレン50mmで（外）断熱された。（図27）

冬季の室温変動範囲は、A棟では60℃以上、B棟で約40℃、C・D棟では約10℃であり、蓄熱体の熱容量が大きいほど、変動範囲は小さくなった。（図28）

床内部の温度変動をみると、日射により室温が上がる8時以降に表面温度が上がり始め、徐々に内部の温度も上がる。13時頃に表面は最高温度になるが、深さ30cmではまだほとんど変化がない。23時頃になると表面より深部の温度が高くなる。（図29）

コンクリートの厚さが15cmで外断熱されているC棟の天井（屋根）の温度変動範囲は、厚さ30cmのD棟より広がっている。（図30）

さらに、別の外断熱実験棟の屋根の夏と冬の内部温度をみると、温度の変動範囲が夏の方が10℃ほど高くなっている。冬から夏という長期間ではRC全体の温度が変動する（=全部の熱容量が効く）。（図31）

以上から、コンクリート蓄熱体の有効度は、その厚さ、断熱材の有無・位置のほか、対象とする期間が影響すると考えられた。

そこで、室温は日々の気象条件で変化するため周期を24時とし、蓄熱体の表面に温度差1℃の変動を与えたときの、蓄熱体内部の温度変動範囲を求め、その割合を有効率とする方法を提案した（図32）。この方法によると、外断熱された場合、70%以上が有効になる厚さから、コンクリート蓄熱体の厚さは15cm程度とするのが合理的と考えられた。（図33）

参考文献

- 1) 須永修通, 建築設計資料集成 (環境編), 丸善, pp.76-81, 2007年
- 2) 須永修通, 日本建築学会編「設計のための建築環境学～みつける・つくるバイオクライマティック デザ



図27 ダイレクトゲインシステム実験棟
右からA棟～D棟。神奈川県厚木市に建てられた。室内全面が黒色つや消し塗料のため窓が黒く見える。

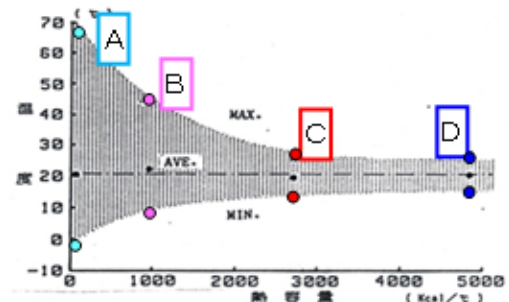


図28 熱容量と冬季の温度変動範囲

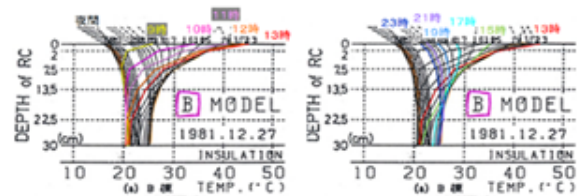


図29 B棟の床内部温度の時間変動

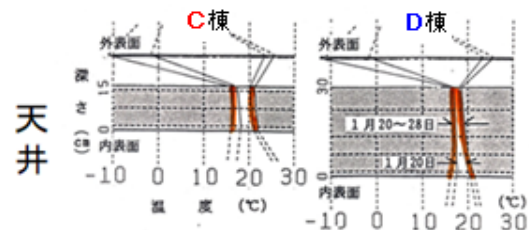


図30 C棟とD棟の屋根内部の温度変動範囲

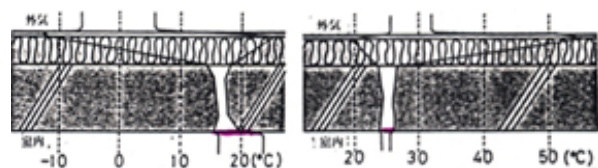


図31 外断熱屋根の内部温度変動範囲

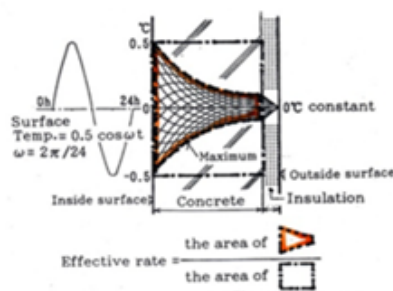


図32 有効熱容量の考え方

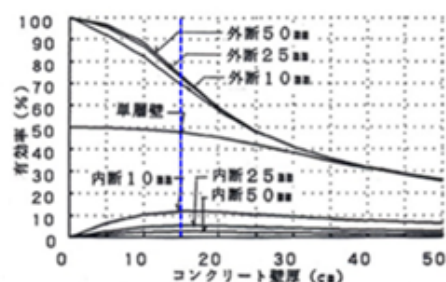


図33 RCの厚さと熱容量の有効率

- イン〜」第2版，彰国社，pp.8-9，2011年
- 3) 須永修通，建築設計資料集成（総合編），丸善，pp.28-29，2001年
 - 4) 小玉祐一郎，須永修通，パッシブデザインの手
法，カラム，新日本製鐵，Vol.78，p.43，1980
 - 5) 伊藤直明，講演スライド

著者略歴



須永修通（すなが のぶゆき）
東京都立大学名誉教授，一級建築士，
本学会前会長・理事・フェロー
専門分野：建築環境学（温熱快適性，
環境共生建築・住宅，バイオクライ
マテックデザイン）。

主な著書：「建築環境学 ～みつける・つくるバイオ
クライマテックデザイン～」彰国社，
“Bioclimatic Housing (Overview, Chp.6, etc)”
Earthscan など