

熱対流による空気循環を利用したパッシブソーラーハウスの実験的研究

小林 信行*, 須能 誠**, 村上 周三***

Experiments on Passive Solar System with Full Scale Test Houses

Air Circulation Technique for heating North Room
using Heat Gain at South Windows

Nobuyuki KOBAYASHI, Makoto SUNO, Shuzo MURAKAMI

In a house facing to the south, it is usual that the solar radiation during the daytime in winter causes the large temperature difference between southern rooms and northern rooms. Northern rooms are often out of use because of their low temperature while southern rooms are at moderate temperature or are overheated.

If the passive technique is utilized for conveying the solar heat gain taken through the south-facing windows to the northern rooms, it may be expected that the temperature difference between the south and the north is decreased and that the thermal environment in the northern rooms is remarkably improved.

In this investigation the air circulation due to natural convection is utilized as the technique for conveying the solar heat gain. It is studied here by comparative experiments using a tandem-type test house under the same climatic conditions, how the air circulation contribute to the increase of the air temperature in the northern rooms and what is the most suitable area of the channel for the air circulation. One test house, which is called "Air Circulation Type", is equipped with the air channel for circulation and another one, which is called "Ordinary Type" is not equipped with the channel.

It has been confirmed beforehand that two test houses have the same air-tightness and that the indoor air temperature of them show the same value at each time in a day, when the air channel is completely blocked by flow dampers. When the air channel is opened, the effectiveness of the air circulation can be evaluated precisely by comparative experiments using both types.

The most suitable thickness of the air channel set in the north wall is examined by using various thickness of the air channel, namely 1, 2, 5(cm). In the case of thickness of 5 (cm), in which case the air volume of circulation is the largest among them, the air speed in the channel is about 40 (cm/s) in the daytime with solar radiation. In the nighttime the air speed is about 20 (cm/s) and the direction of the air flow is opposite to that in the daytime, because the heat loss from the south windows is larger than that from the

* 建築学科助教授

** " 助手

*** 東京大学生産技術研究所第5部助教授

昭和 57 年 9 月 16 日受理

north windows in the night.

The northern room air temperature in "Air Circulation Type" can be maintained 4(degC) higher than that in "Ordinary Type" all day and is 8(degC) higher than outdoor air temperature early in the morning.

It may be concluded that this temperature difference between "Air Circulation Type" and "Ordinary Type" is due to the heat transport by air circulation and that this technique is useful to keep the northern room air temperature at higher level.

1. はじめに

一般に南面する住宅では、冬期日中の太陽熱により、南北の居室の温度差が著しく大きくなる。南室の快適さに比べ、北室は寒くて使用されにくいのが通例である。ここで報告するパッシブソーラハウスでは、住宅の南面で得られる太陽熱を北側居室にいかにも搬送するかを大きな課題としている。この熱搬送が十分行われるならば、南北居室の温度が平均化され、北側居室では暖房は必要とされないか或いはほんの僅かの暖房で必要な温度が確保できるなどの効果が期待されるからである。

本報告は南側から北側への熱搬送の手段として熱対流による空気循環のための径路を取り上げ、この搬送手法の可能性や望ましい径路形態、また、この手法の北室温度の寄与等について、自然の気象条件下で実験的に検討した結果について述べたものである。

2. 実験概要

2-1. 測定期間

ここで報告する内容の測定期間は昭和 56 年 12 月～昭和 57 年 2 月である。測定場所は東京工芸大学工学部敷地内である。

2-2. 実験住棟

実験に用いる住棟として同一規模、同一窓面積、同一断熱仕様の 2 つの住棟を設計・製作し、その 1 棟には熱対流による空気循環のための径路を組み込み、(この棟を A 棟又は空気循環型と呼ぶ)他の 1 棟は特別の工夫のない通常の住宅 (B 棟又は通常型と呼ぶ) としてある。これは空気循環径

路を組み込むことの有効性を、A、B 両棟の各部温度を同時測定して比較することにより検討するためである。

写真 1 に実験住棟の外観を、図 1 に 1 階平面図を示す。また、図 2 に空気循環型住棟の断面を示す。

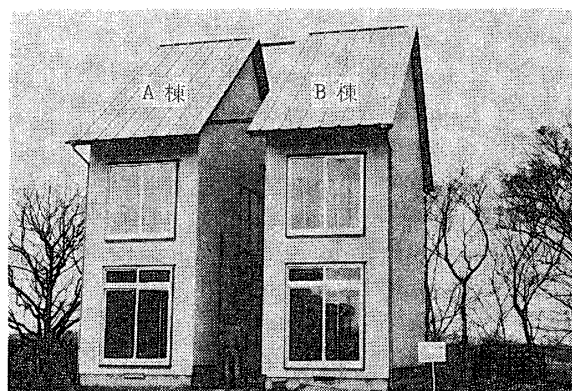


写真 1 実験住棟の外観

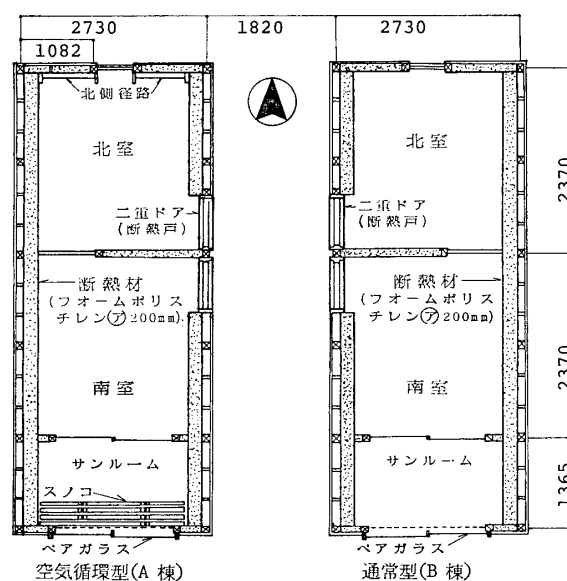


図 1 1 階平面図

表 1 測定項目・測定方法

測定項目		使用計測器	測定点
外部条件	外気温	C-C 熱電対—サーモダック	住棟北側で1点
	風向風速	超音波風速計—打点自記記録計	4階建建物屋上の10mポールに設置
	水平面全天日射量	ネオ日射計—積算計—ペンレコーダ	4階建建物屋上
住棟内	空気温度	C-C 熱電対	A棟内38点 B棟内12点 計50点
	表面温度	C-C (表面温度用)	A棟内47点 B棟内12点 計59点
	グローブ温度	C-C 熱電対+黒球	A, B棟の各階南室 北室 8点
	循環径路内風速	サーミスタ風速計—ペンレコーダ	北側径路内(1階部)で2点

常時測定
は合計
100点

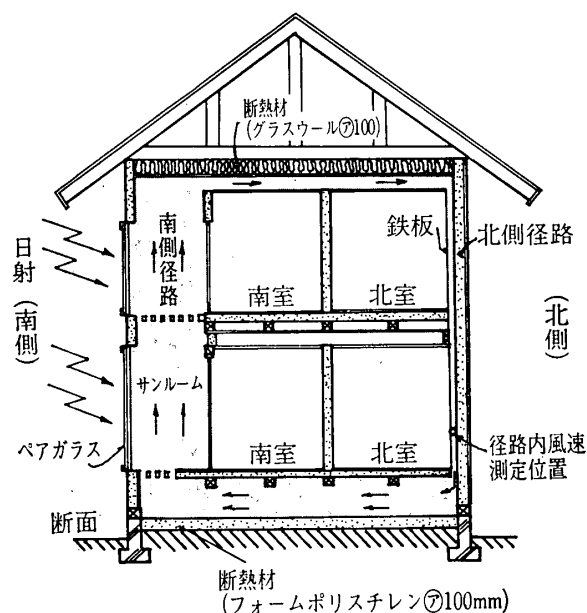


図 2 空気循環型住棟（A棟）断面

2-3. 測定方法・実験条件

表1に測定項目、使用計測器等を示す。今回報告する測定の実験条件は、

- ① 空気循環のための北側循環径路厚さの変化（径路厚さ 10, 20, 50 mm）

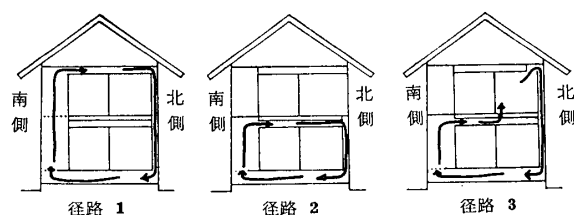


図 3 空気循環径路パターン

- ② 空気循環径路パターンの変化

径路1, 径路2, 径路3)〈図3参照〉

である。

3. A・B両棟の性能

3-1. 気密性能

減圧法により両住棟の気密試験を行った。図4に試験結果を示す。単位床面積当りの漏気量は室内外差圧1mm Aq のとき、A棟では、0.052 [m³/min・m²]、B棟 0.061 [m³/min・m²] であり、両棟ともほぼ同一の気密性と考えてよい。実効開口面積 αA で表わすと単位床当たり、A棟 2.2 [cm/m²]、B棟 2.6 [cm/m²] となり、これらの値はコンクリート造集合住宅の住戸の気密性と同程度で

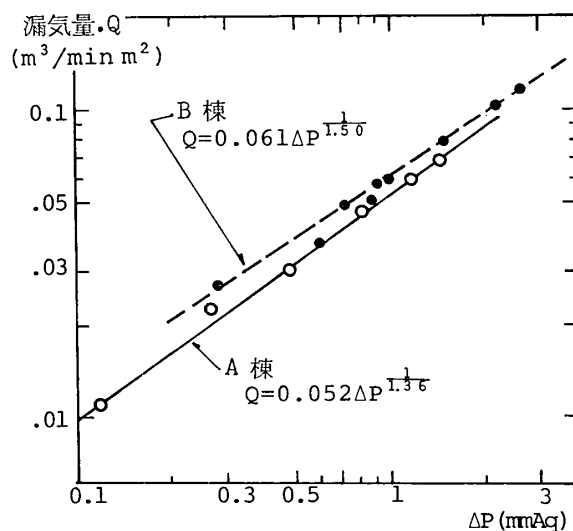


図 4 A・B両棟の気密性能

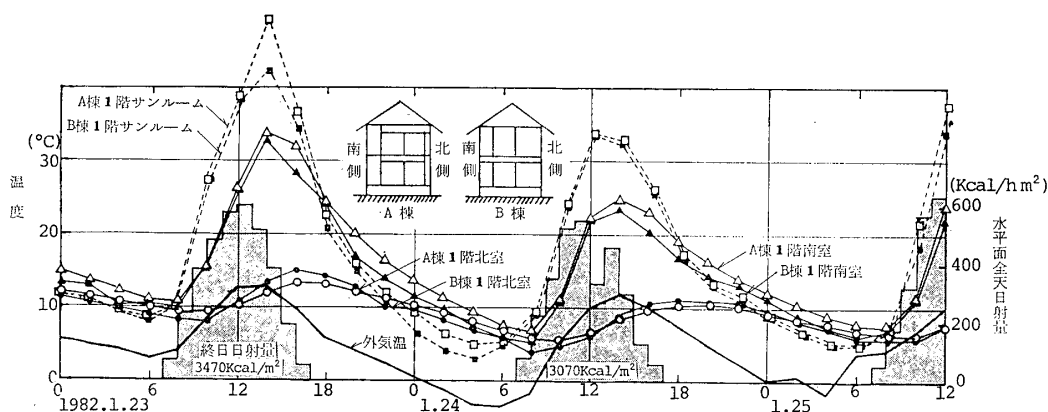


図5 径路を遮断した場合のA棟・B棟における室温変化の比較（1階室温）

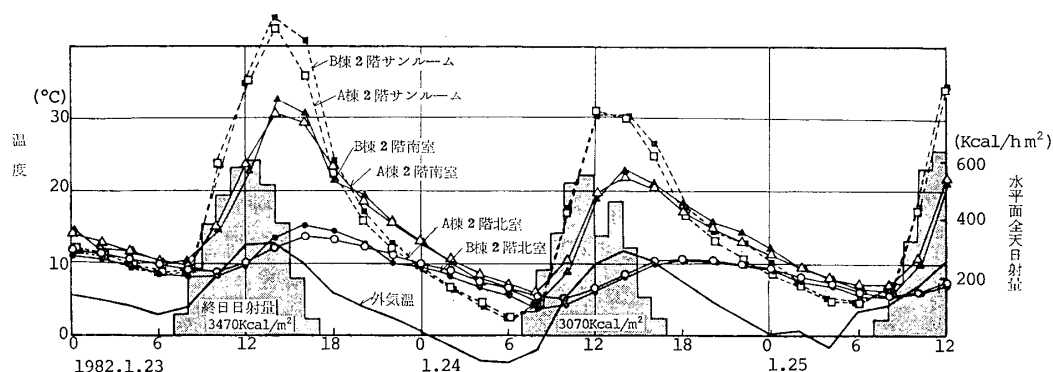


図6 図5に同じ、但し2階室温の変化

ある。

3-2. 熱的 性能

A棟の空気循環径路をすべて遮断し、A、B両棟を同一気象条件下に放置して各室温度を比較した。両棟の断熱状況で異なる点は、A棟では2階天井と北側壁に空気層があるところである。これは空気循環径路を遮断したことによって、径路の一部が空気層として残ったことによる。図5、図6に両棟1階及び2階各室の温度変化の状況、水平面全日射量の日変化を示す。両棟の北室温度は時々刻々の値では微小な差が見られるが、一日を通じてみれば、室温はほとんど一致している。温度変化の曲線は周期的に交差しており、A棟北室温度はB棟北室温度に対して多少の時間遅れが見られる。南室温度、サンルーム温度の変化状況もA、B両棟ではほぼ等しいが、午後における両棟の温度の差は北室温度の場合よりやや大きくなっている。これらの両棟の室温変動の微小な差はB

棟にはない空気層（径路の遮断により残った）がA棟にはあるためと考えられる。両住棟の熱的性能は、全体的にみてほとんど差がないと見ることができる。

4. 北側循環径路厚さ別の両住棟の比較

空気循環の径路パターンが径路1（図3）の場合で、循環径路厚さを10、20、50mmと変化させ、自然条件下に放置し、各室温度を通常型（B棟）と比較した。

図7、図8、図9に北側循環径路厚さがそれぞれ10、20、30mmの場合の1階各室温度の比較を示す。また、図10、図11、図12にA棟各室温度をそれぞれ対応するB棟の室温を基準として示す。

4-1. 各室の温度変化

空気循環の目的は北室への熱搬送であるから、興味の対象は北室の温度上昇にある。

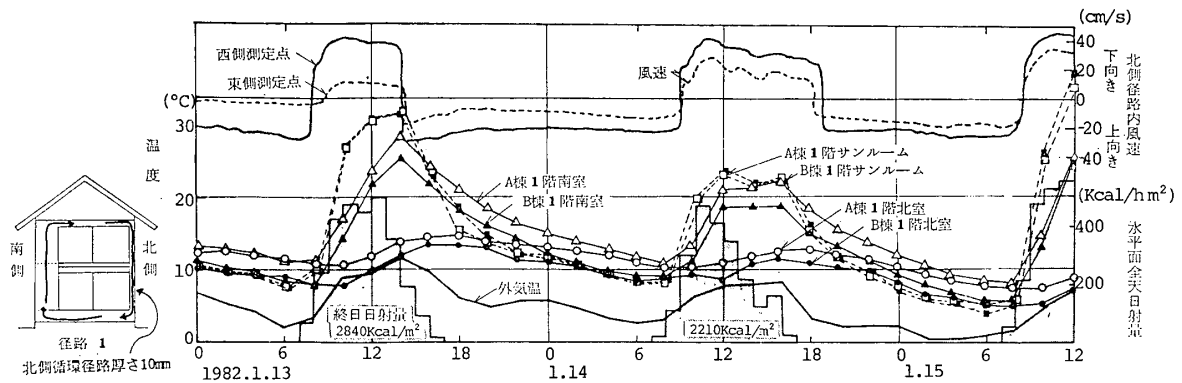


図7 空気循環型(A棟)と通常型(B棟)の1階各室温の比較(循環径路厚さ10mm)

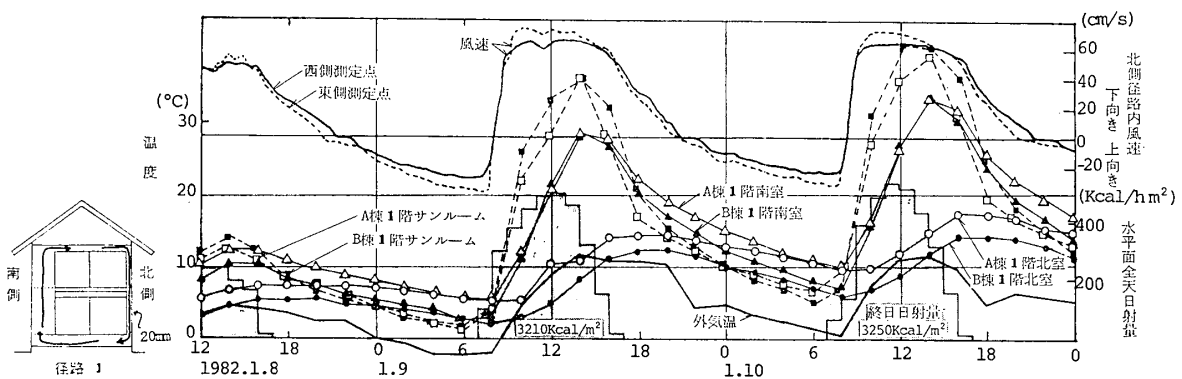


図8 図7に同じ、但し、循環径路厚さ20mmの場合

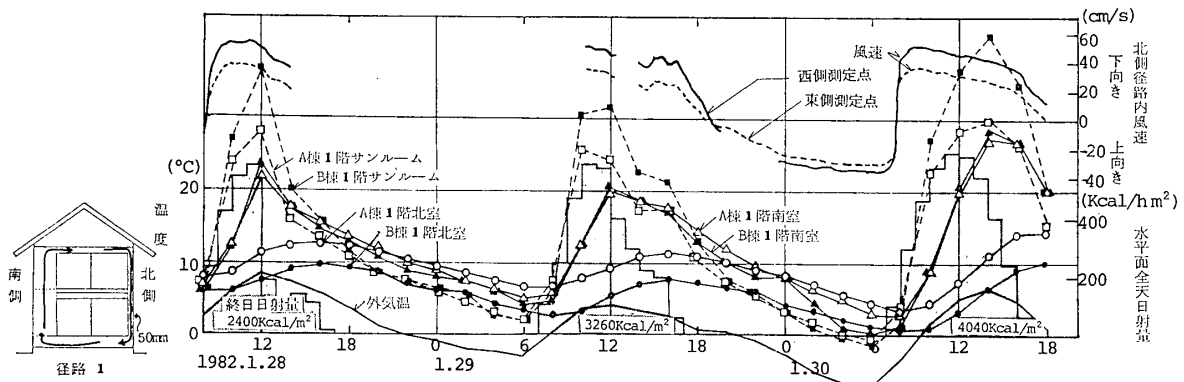


図9 図7に同じ、但し、循環径路厚さ50mmの場合

1) 北室温度

1階北室温度はA, B両棟とも同様の時間変化を示しているが、北側循環径路厚さによらず常にA棟のほうがかなり高くなっている。径路厚さ10mmでは2.0~3.0°C, 20, 50mmでは3.0~4.0°C高い。たとえば、一日のうちで最も室温が低下すると予想される午前6時について、径路厚

さ別にB棟との差、外気温との差などを示すと表2のようになる。保温が良好でない住戸では明け方近くには室温は外気温にかなり近づくのが通例であるが、A棟1階北室温度は外気温よりも8.0~10.0°C高い温度に保たれていることがわかる。また、明け方でもB棟よりも2.0~4.0°Cほど高くなっており、これは空気循環による効果と見る

表 2 午前6時における1階北室温度

径路厚さ mm	A °C	B °C	C °C	A-B deg C	A-C deg C	D kcal/m ²
10	11.0	8.5	2.2	2.5	8.8	1300
	11.8	9.0	3.0	2.8	8.8	2800
20	6.0	2.2	-2.1	3.8	8.1	1900
	11.0	7.2	1.6	3.8	9.4	3200
50	6.7	3.0	-2.6	3.7	9.3	2400
	4.0	1.0	-7.0	3.0	11.0	3300

A; A棟1階北室温度

C; 外気温

B; B棟1階北室温度

D; 前日の水平面全天終日日射量

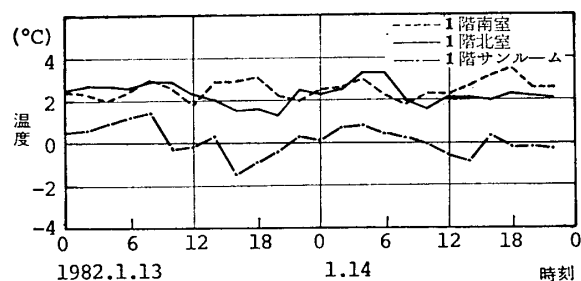
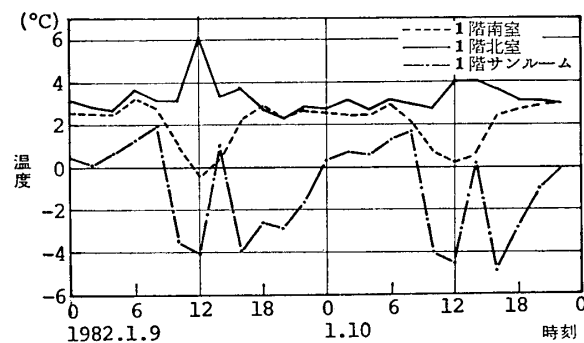
図 10 B棟の1階各室温度基準のA棟1階各室温度
(循環径路厚さ 10 mm)

図 11 図 10 に同じ, 但し, 循環径路厚さ 20 mm

ことができる。この効果は循環径路厚さが 10 mm の場合よりも, 20, 50 mm の場合のほうが大きい。

2) サンルーム温度

A, B 両棟とも日の出とともに上昇し, 日没に下降し始めるが, 日中の温度は空気循環のために A 棟のほうが B 棟よりも低くなる。この温度の差は循環径路厚さが 50 mm の場合に最も大きく,

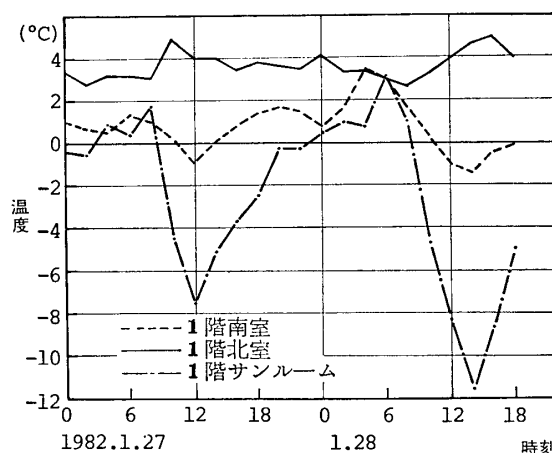


図 12 図 10 に同じ, 但し, 循環径路厚さ 50 mm

20 mm, 10 mm の順に小さくなる。B 棟サンルーム温度は日射量の多い日にはほぼ 40°C となる。

3) 南室温度

南室とサンルームとの間仕切はガラスなので, 南室温度の変化の状況も日射と対応しているが, サンルーム温度に比べて時間的に僅かに遅れる傾向にある。A 棟南室温度はほとんどの場合 B 棟よりも高いが, 日射量の多い日の正午前後では B 棟のほうが高くなる (図 11, 12)。

4-2. 北側循環径路内の風速

図 7, 図 8, 図 9 中に北側循環径路内の風速の時間変化を併記した。図中の符号プラスは径路内を天井から床へ下向きに空気が流れることを意味し, マイナスはその逆に上向きに流れることを示している。流れの方向はいずれの径路厚さにおい

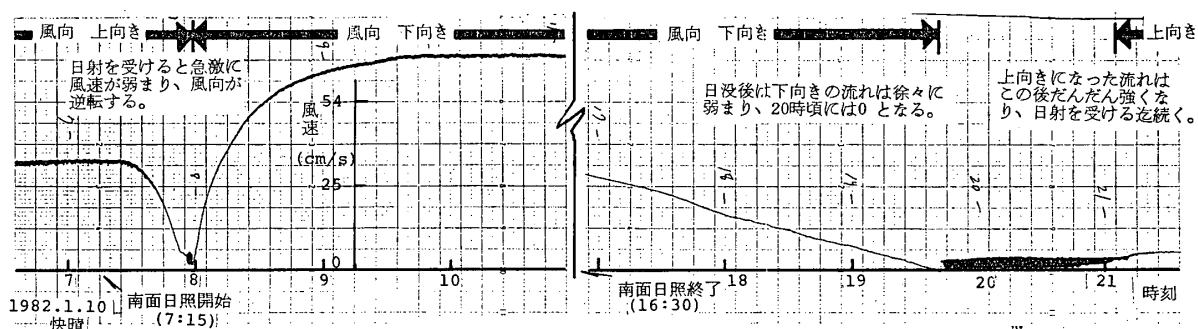


図 13 北側循環径路内（東側測定点）の風速記録の例

でも、日中は下向きである。日射がなくなる頃から徐々に風速が弱くなり、夜間は上向きに変わり、翌朝の日射を受けると上向きの流れは急激に弱まり、下向きの流れとなる。この風向の逆転はペンレコーダの記録及びタフトを用いた可視化による観察で確認された。図 13 にレコーダの記録の例を示す。

径路内風速の値は日中には、径路厚さ 10 mm の場合、20 cm/s、20 mm で 50~65 cm/s、50 mm で 40 cm/s 程度である。夜間には径路厚さによる差は少なく、ほぼ 20 cm/s である。日中、夜間での循環方向の変化は、夜間でも南面窓ガラスを雨戸で覆うことなしに放置しているので、ここからの熱損失が北側壁面からの熱損失よりも多くなるために起ると考えられる。また、北側循環径路の断面積を考慮すれば、循環風量は 3 種の径路厚さの中では 50 mm の場合が最も多く、10 mm の場合が最も少ないことがわかる。

5. 径路内風速と温度差

空気循環を単純な形でモデル化し、径路内風速と温度差の関係を調べる。図 14 に示すような断面積一定な閉鎖径路を想定する。空気循環の駆動力は南北径路内空气の密度差に起因するから、径路高さを h 、南側空气の平均密度を ρ_s 、北側を ρ_N とすれば、

$$\text{駆動力} \propto gh(\rho_s - \rho_N) \quad (1)$$

定常状態では、この駆動力は空气が径路を流れるときの抵抗と釣り合う。抵抗は一般に風速の 2

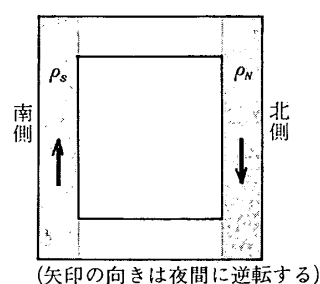


図 14 空気循環のモデル

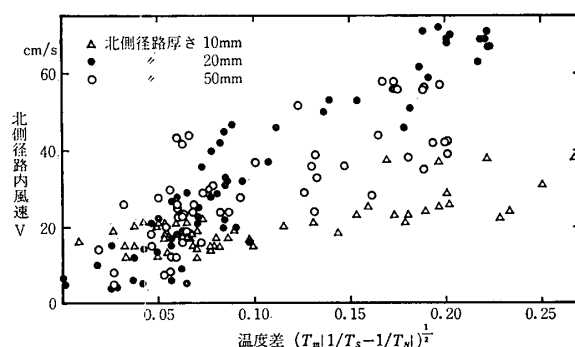


図 15 北側循環径路内風速と温度差の関係

乗に比例するから、これを抵抗係数 C を用いて表わせば、 $C \cdot \rho_m \cdot V^2 / 2$ となる。したがって

$$gh(\rho_s - \rho_N) \propto C \cdot \rho_m \cdot V^2 \quad (2)$$

$$V^2 \propto (\rho_s - \rho_N) / \rho_m \quad (3)$$

ここに ρ_m : 径路内空气の平均密度
 $p/\rho = RT$ の関係を用い、圧力変化による密度の変化を無視すれば、

$$V \propto \left\{ T_m \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_N} \right) \right\}^{1/2} \quad (4)$$

となることが予想される。

図 15 は縦軸に径路内風速、横軸に $\{T_m(1/T_s$

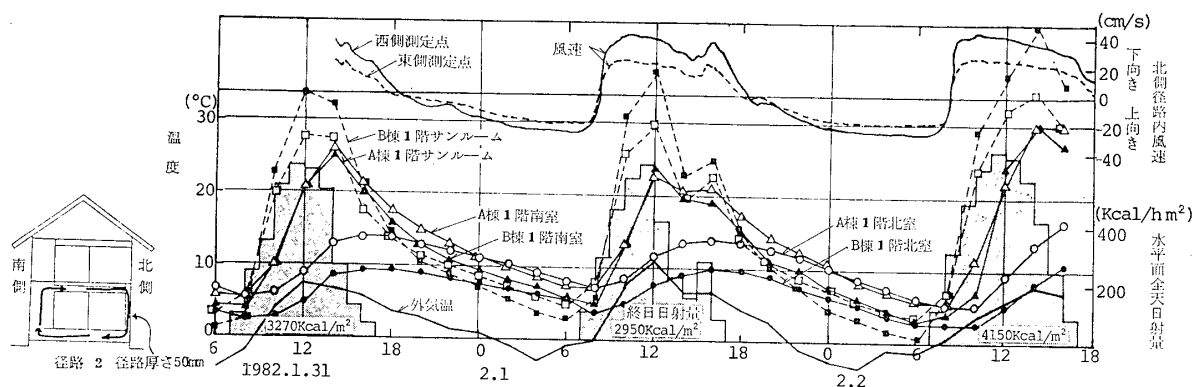


図 16 空気循環径路パターンが径路 2 の場合の A, B 棟 1 階室温の比較

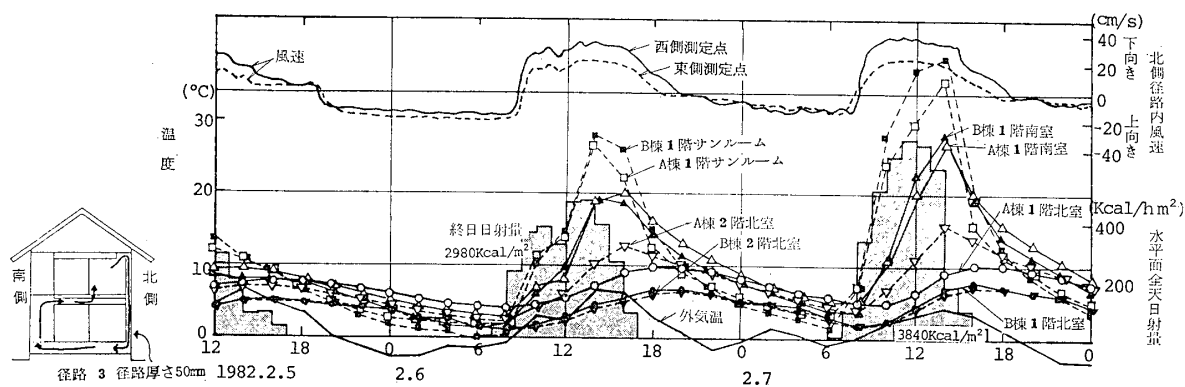


図 17 空気循環径路パターンが径路 3 の場合の A, B 棟 1 階室温及び 2 階北室温度の比較

$-1/T_N\}^{1/2}$ をとり、測定結果を径路厚さ別にプロットしたものである。南北径路の温度差を生じる原因である日射量、外気温は変動しているのに、定常状態とはいえず、そのためプロットはばらばらになっているが、それぞれの径路厚さにおいて縦軸と横軸は比例的傾向にあることがわかる。また、流れに寄与する温度差が同一でも、径路厚さによって抵抗係数が異なるために風速も異なり、径路厚さ 10 mm の場合は他の厚さの場合に比べて明らかに風速が小さくなっている。

6. 空気循環の径路パターンの変化

循環径路パターンを変化させた場合の室温の時間変化を図 16、図 17 に示す。図 16 は径路 2 のパターンで、1 階天井ダクトを用いて北側循環径路に導くものである。図 17 は径路 3 のパターンで、1 階天井ダクトから 2 階北室を経て、(その後、

2 階北室天井より) 2 階天井ダクトに入り、北側循環径路を下へ流れるパターンである。2 階天井ダクトを用いて北側径路に導くパターン(径路 1)については既に図 9 に示した。また、どの径路パターンの場合も北側循環径路厚さは 50 mm のときのものである。

いずれの径路パターンにおいても空気循環が起り、北側径路内の流れの向きは径路 1 と同様に日中は下向き、夜間は上向きとなる。風速は日中は径路 2、径路 3 とともに 30 cm/s 程度であり、径路 1 に比べてやや小さい。夜間においては径路 2 では 20 cm/s 程度で径路 1 とほぼ等しい。径路 3 では 20 cm/s よりも幾分か小さくなる傾向がある。

北室温度について、A、B 両棟を比較すると、A 棟 1 階北室温度は径路 2 の場合、B 棟のそれよりも常に 3.0~4.0°C 高く、径路 3 でも 3.0°C ほど高くなっている。また、径路 3 においては 2 階

北室温度の上昇が期待されるが、事実、B棟2階北室よりも常に高い温度に保たれている。更に、A棟の1, 2階の北室温度を比べると、日射量の多い日の正午前から19時頃までは2階北室温度のほうが高くなり、15時頃には6°Cほど高い(径路1の場合には通常は1, 2階北室温度はほぼ等しいか或いは1階のほうが僅かに高い)ことが確認された。径路パターンの違いによる空気循環の状況及び北室温度の変化状況の差は大きくはないが、風速、温度の両面から考えて、径路1の場合のほうが熱搬送の効果が大きいと思われる。但し、径路3のような室内を経由するパターンでは、その室の温度上昇に対する寄与は大きい。

7. ま と め

熱対流を利用した空気循環の可能性とその熱搬送の効果について、空気循環型と通常型の2つの実験住棟を並設し、両者を比較することにより検討した。また、循環径路厚さ、循環径路パターンを変えて、空気循環径路の形態について検討した。実験により以下のことが確認された。

1) 空気循環径路を遮断した場合のA棟とB棟の気密性及び熱的性能はほとんど同一のものである。

2) 空気循環径路を設ければ、かなりの速度(径路厚さ50 mm のとき40 cm/s 程度)で循環が起り、その風量は少なくとも20 mm 以上のほうが大きくなる。

3) 空気循環型の北室温度は通常型に比べ約3°C 高い温度に保たれている。これは空気循環による南面から北室への熱搬送の効果によるものと考えられる。

4) また、早朝における1階北室温度の低下はB棟に比べA棟ではかなり小さくなる。外気温との差はA棟で約8°C、B棟で約4°C 程度である。

5) 循環径路パターンによる循環風速、室温の違いは顕著ではないが、径路1の場合が風速、北室の温度上昇の両面から考えて熱搬送の効果が大きいと考えられる。

今後、熱平衡、搬送熱量などの熱的な解析を行う予定である。

あ と が き

本研究は通産省新住宅プロジェクト(自然エネルギー利用)に関連して設けられた空気循環式ソーラーハウス研究委員会(委員長、内田祥哉東大教授、幹事、松尾陽東大教授、阿部信夫東芝住宅産業(株)取締役)の活動の一環として行われたものであります。

実験の企画・実施に当っては東芝住宅産業、阿部信夫、服部孝博両氏より多大な御援助・御協力を頂きました。また、測定・データ整理に際しては、東京工芸大学学生諸氏に御協力頂きました。ここに記し、関係各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 吉野, 長谷川, 木村他: 試験家屋を用いたパッシブソーラシステムの性能評価に関する研究, その1 試験家屋の概要と予備実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1981 年9月.
- 2) 村上: 住宅の隙間と換気量, 日本建築学会環境工学委員会 熱分科会シンポジウム資料, 1981 年8月.
- 3) 中村, 伊藤: 空気循環式パッシブソーラシステムの構成部材開発と室内気候形成に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1981 年9月.