

パッシブソーラーシステム試験家屋に設置した クールチューブの冷却性能に関する研究

(その1. 床下に設置した3本のクールチューブの場合)

Experimental Study on Cooling Performance of the Earth Tube Connected
to Passive Solar Test House

(Part 1, Performance of Three Tubes Embedded in the Embcdded in the
Earth under the Floor)

長谷川 房 雄* 木 村 建 一**
Fusao HASEGAWA Ken-ichi KIMURA
吉 野 博*** 石 川 善 美****
Hiroshi YOSHINO Yoshimi ISHIKAWA

Abstract

This paper describes the cooling performance of the earth tubes connected to a passive solar test house. The test house contains two test rooms. One test room was equipped with various types of the earth tube systems which were embedded in the earth under the floor and the other one was not equipped. After measuring the room temperatures, the performance was evaluated by comparing the indoor temperature in the two test rooms.

Key words: Passive Cooling, Earth Tube System, Experimental Study

1. 序

パッシブクーリング手法の一つとして、クールチューブシステムという手法がある。これは、地中温度が夏季には外気よりも低いことを利用し、地中に埋め込んだチューブを通して、外の空気を室内に導入させ、または室内空気を循環させることによって、室内を冷却する方法である。すでに、国内では数ヶ所の住宅に実際に設置^{1),2)}されており、また、海外でも実施例³⁾がみられる。このシステムに関する研究例として、木村ら⁴⁾は小規模の試験家屋の床下にクールチューブを設置し、実験と簡易計算に基づいてその性能を検討している。また、中島ら⁵⁾は円筒座標系を用いた二次元の差分法による数値シミュレーションに基づいて、外気がクールチューブを通過した結果、どの程度冷却されるかについて推定している。斎藤ら⁶⁾は、温室にクールチューブを組み込んだモデルを対象として二次元の差分法によるシミュレーションを行い、温室の熱性能に及ぼすパラメータの影響について推定している。そのほか、藤井ら⁷⁾は、1/6の2階建ての家屋模型を屋外に設置し、自然換気によって室内を冷却する方法について検討している。さらに、通産省の新住宅開発プロジェクトの一環として建設された実験棟二棟にはク

ールチューブが設置され、実験的に調べられている⁸⁾。海外では、Ed Francis⁹⁾が実験結果や多くの研究例に基づいて、クールチューブを設置する場合の設計上の留意点をまとめて示している。

しかしながら、クールチューブを設計するために必要な基礎データの蓄積は、未だ不十分である。とくに、実物大の建物に設置したクールチューブの性能を長期にわたって測定した例は無い。そこで、東北大学構内に建設されたパッシブソーラーシステム試験家屋⁹⁾の、クールチューブを用いて、その冷却性能を実験的に調べたので、その結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 パッシブソーラーシステム試験家屋の概要

* 東北工業大学建築学科 教授
Department of Architecture, Tohoku Institute of Technology, Professor

** 早稲田大学理工学部建築学科 教授
Department of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Professor

*** 東北大学工学部建築学科 助教授
Department of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku University, Associate Professor

**** 東北大学工学部建築学科 助手
Department of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku University, Research Associate

パッシブソーラーシステムの試験家屋は、東北大学工学部構内にある。試験家屋の平面図を図1に示す。

試験家屋は木造で真南を向いており、同一の試験室を二室(西側をA室、東側をB室とする)廊下を狭んで東西方向に連結させてある。一つの試験室は東西方向に長い住宅の中間部を切り取った形としている。従って東西の壁からは熱の授受がないように、その壁に20cmの断熱材を施し、内面にアルミ箔を張りつめた。東西妻壁以外の壁及び床、天井の断熱材の厚さは10cmとした。廊下部分は外気の状態となるように南側はガラリとし、北側の入口ドアは実験中開放した。南面の窓はペアガラスとし、冬期のダイレクトゲインシステムを想定して出来るだけ大きく(高さ2.2m×幅2.6m)とっている。また、室内北側の天井には天窗としてガラス窓が設けられており、10cm厚さの断熱材の入った扉で開閉できるようにした。クールチューブは、地盤面より0.6mの深さにAB両室とも3本ずつ埋設されている。それぞれのクールチューブは、家屋北側と、室内の中央及び南側と北側の床面に合計4ヶ所の開口を持っており、実験に応じて、それらの開口部をふさぐ。材質は硬質塩化ビニール製で内径は20cmである。3本の水平部分の長さの合計は約14mである。なお、夏期における日射の室内侵入を防ぐため、両室とも、南面窓の外気側にブラインドを設置できるようにした。

2.2 実験の種類と実験条件及び期間

実験は、一方の室のみにクールチューブシステムを施し、システムを施していない他方の室との温度変動の違いによりその効果を評価する。本報で述べる実験の種類と両室の条件及び期間を表1に示す。また、クールチューブと室の断面を図2に示す。なお、これらの実験を行うに当たって、あらかじめ、室の仕様が同じときに両室が同一の熱的性能を示すことを確認する。実験の種類は大きく分けて3項目あり、その詳細は以下に述べる通りである。

①自然換気によって外気をクールチューブから導入す

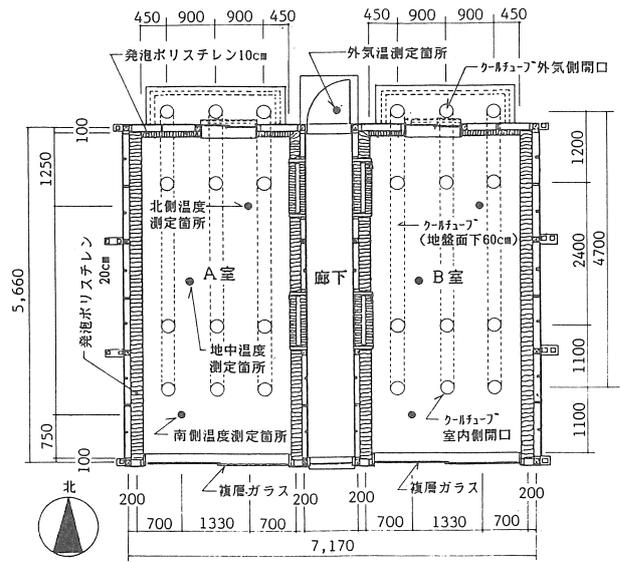


図1 試験家屋平面図

る場合：天窗のガラス板の一方を持ち上げ、長さ2m35cm、幅10cmの隙間を作り排気口とした。この実験は、床の構成をAB両室とも木造とした場合(実験1-1)とレンガとした場合(実験1-2)について行う。木造床とレンガ床の構成は図3の通りである。レンガは3段に重ねて床一面に敷きつめた。総熱容量は1470kcal/℃である。実験1-1では、室内の南側の給気口1ヶ所又は室内の給気口9ヶ所全部から外気を導入する場合、実験1-2では、室内の給気口1ヶ所又は南側と北側の6ヶ所から外気を導入する場合について行う。南側窓に日射の遮蔽物は特になし。一方の室ではクールチューブを使用せず、天窗も閉めている。

②ファンによって外気をクールチューブから導入する場合(実験2)：天窗と南側窓は①と同様とする。室内の中央及び北側給気口はふさぎ、南側給気口には図4に示すようなファンのついたダクトシステムを接続した。ファンによる吹出風量は、昼間と夜間では異なり、平均すると355m³/h(換気回数10.5回/h)である。3本

表1 実験種類と両室の条件および実験期間

実験番号	クールチューブの利用方法	A,B両室の共通の条件	A室の条件	B室の条件	実験期間
1-1	クールチューブによる 室内空気自然換気	木造床でブラインド無し	クールチューブを利用 (天窗開)	—	'81/9/17~9/19
1-2		レンガ床でブラインド無し	—	クールチューブを利用 (天窗開)	'82/9/10~9/20
2	クールチューブによる 室内空気強制換気	レンガ床でブラインド無し	—	クールチューブを利用 (天窗開)	'82/9/5~9/8
3-1	クールチューブによる 室内空気強制循環	レンガ床でブラインド無し	—	クールチューブを利用	'83/8/27~9/1
3-2		レンガ床でブラインド設置	—	クールチューブを利用	'83/8/7~8/26
3-3		レンガ床	ブラインド無し	クールチューブを利用 ブラインド設置	'83/7/30~8/4
3-4		レンガ床で 日中ブラインド設置	—	クールチューブを利用 更に夜間換気を行う	'83/9/2~9/9

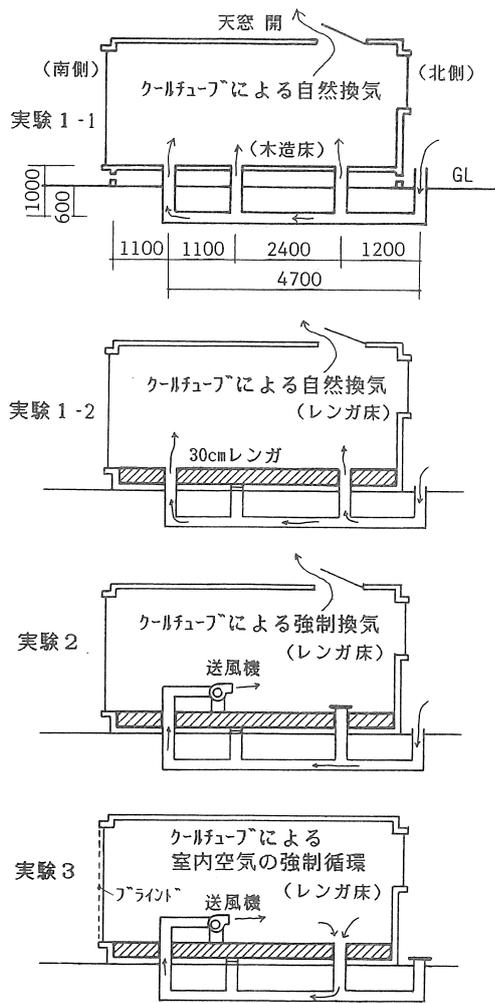


図2 クールチューブと室の断面

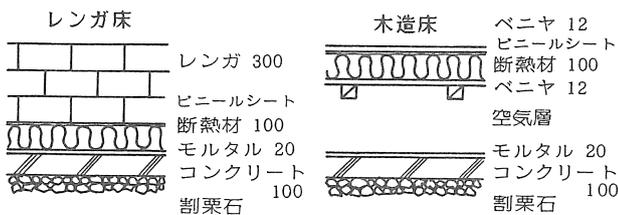


図3 木造床とレンガ床の構成

のクールチューブを流れる風量はダンパーにより概ね等しく調節した。ファンは連続運転した。床は両室ともレンガを3段に重ねた状態である。

③ファンによって室内空気をクールチューブに循環させた場合：クールチューブの外気側及び室内中央の開口部はふさぎ、南側の開口部に②と同様のダクトシステムを結合して室内空気を地中に循環させるようにした。ファンによる吹出風量は $310\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数9.2回/h)である。吹出しの向きは東妻壁側で、北側の吸気口との短絡は殆どない。ファンの運転時間は午前8時から午後6時までの10時間とした。ファンモーターからの発熱量は一日で約 200kcal と見積られる*。AB両室

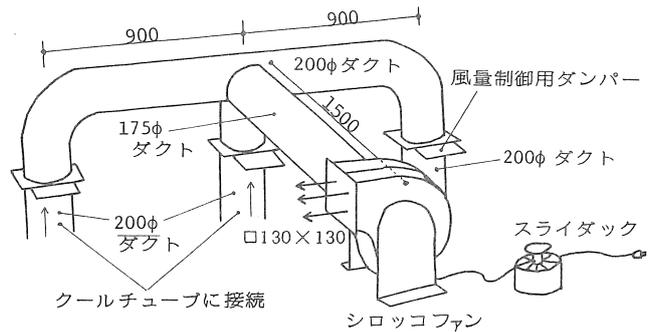


図4 クールチューブに接続するダクトシステム

の床はレンガを3段に重ねた状態である。実験は、窓の日射遮蔽装置がとくにない場合(実験3-1)、両室とも白色ブラインドを南面窓の外気側に設置した場合(実験3-2)、クールチューブを利用しない室で日射遮蔽を行わない場合(実験3-3)、さらに、夜間にブラインドを開けクールチューブのある室のみ窓を開けて換気した場合(実験3-4)、について行った。

実験期間は、昭和56年～58年の夏期(7月～9月)である。

2.3 測定項目及び計測器

日射量の測定にはエプリ型日射計を使用した。温度の測定には 0.3mm φ銅-コンスタンタン熱電対を用い、20分間隔の瞬時値をマイクロコンピュータによってデータロガーを介して自動集録した。温度の測定箇所は、外気、室内空気の他に、小屋裏、廊下、壁体内、レンガ床表面及び内部、クールチューブ表面、吹出し空気、床下地中など合計60点である。主な測定箇所は図1に示した。クールチューブからの吹出し風速はサーミスター風速計で測定した。また、一部の実験では、外部の風向風速を、地上12mに設置したコーンペン型風向風速計によって測定した。

3. 実験結果

3.1 同一条件における両室の性能の比較

クールチューブを利用しない時の両室の性能が等しいことを確認する。

図5に、両室ともレンガ床である場合の実験結果を示す。両室の温度は一日中殆ど等しい。なお、両室が木造床である場合についても、両室の温度変動が一日中殆ど等しいことを別途確認した。

3.2 ブラインドの日射遮蔽効果

実験で用いたブラインドの日射遮蔽効果を調べるた

* スライダックからファンモーターへの入力電流、電圧はそれぞれ 0.58A 、 42V であった。従って、発熱量は $0.58 \times 42 \times 0.86\text{kcal/h}$ となり、10時間運転を行うと一日あたり約 200kcal と見積られる。

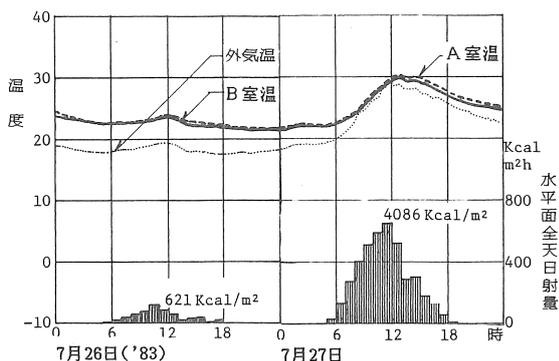


図5 クールチューブを利用しないときの両室の比較(レンガ床)

め、B室のみ南面窓の外気側に白色ブラインドを設置して実験を行なった。両室ともレンガ床である。結果を図6に示す。ブラインドのないA室温は日中最高で約33℃となるが、ブラインド設置のB室温は日中のピーク時で外気温より3.5℃低く、A室温との差は5.3℃である。日平均値で見ると、晴天日においては、B室温と外気温は、ほぼ同じである。

3.3 クールチューブによる自然換気実験

(1) 木造床の場合 (実験1-1)

図7に、A室クールチューブの給気口9個全部を使用した場合(昭和56年9月17日)と、給気口1個のみ使用した場合(同9月18日)の測定結果を示す。この時期における南側窓からの床面への透過日射は南中時で南側窓から約1mの部分まで侵入しており、室の熱容量が小さいことも手伝って、クールチューブを利用しないB室では日中の室温が最高で42℃に達している。それに対してクールチューブを利用したA室は、給気口9個全部を使用した時の最高室温は31℃、給気口1個を使用した時は35℃と室温上昇が抑えられる。このとき床面の給気口からは19℃程度の空気が出ている。クールチューブによる換気量は、給気口9個使用した時、約270m³/h(換気回数7.3回/h)、1個使用した時、約60m³/h(1.6回/h)であるが、室温と外気温の差が縮まる明け方付近では、換気量の落ち込みがみられる。

(2) レンガ床の場合 (実験1-2)

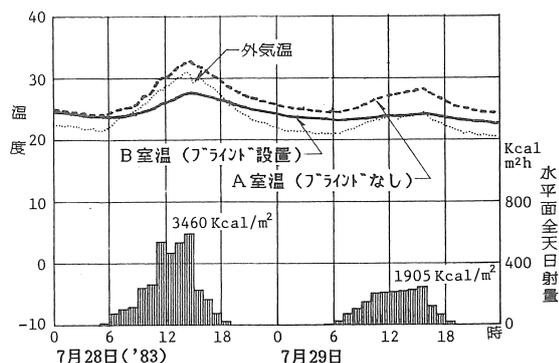


図6 ブラインドの日射遮蔽の効果

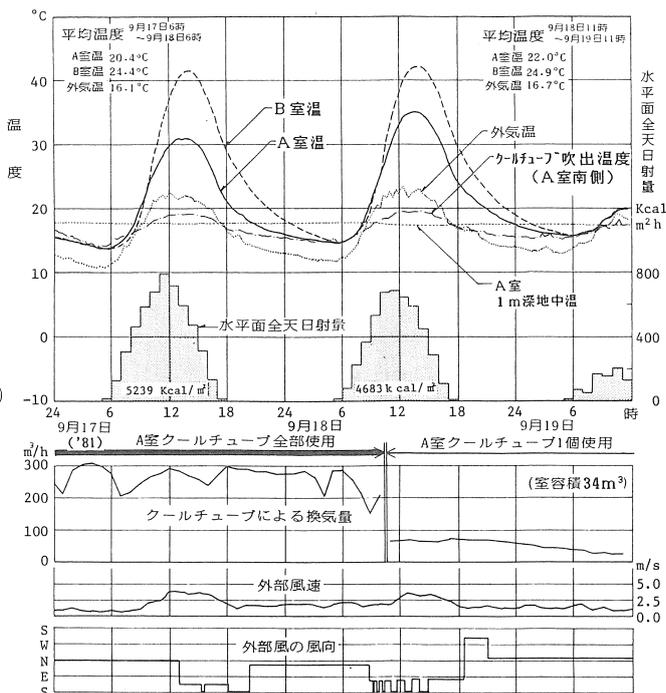


図7 クールチューブによる自然換気の効果(木造床の場合)

図8に、B室内の換気口1個のみ使用した場合(昭和57年9月16日)と、給気口6個使用した場合(同9月17日, 18日)の結果を示す。B室はA室より終日低い温度変動を示している。日平均で見ると両室の差は2~3℃である。この場合、給気口の使用数による差は特に認められなかった。給気口での吹出温度は日中変動が大きく、吹出し速度が不安定なことを示している。換気量は、吹出し風速の安定している夜間において、給気口1個使用した場合約50m³/h(換気回数1.5回/h)であった。

3.4 クールチューブによる強制循環実験(実験2)

図9にファンを一日中運転した時の結果を示す。換気量は夜間340m³/h、日中370m³/hであった。この実験を行った時期は、外気温が日平均で18℃とかなり低くなっており、B室温は外気温以下になることは殆どないが、A室温と比べると、日中最大で7℃、日平均で4~5℃低くなる。また、外気温が地中温度より低く

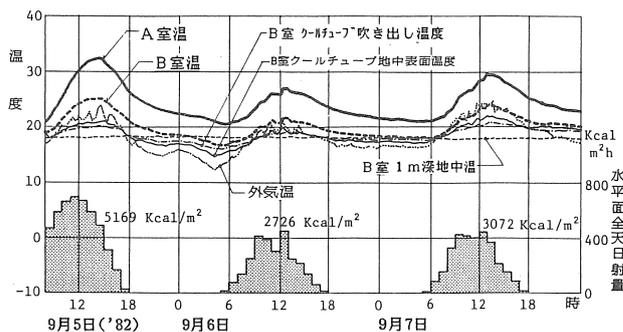


図8 クールチューブによる自然換気の効果(レンガ床の場合)

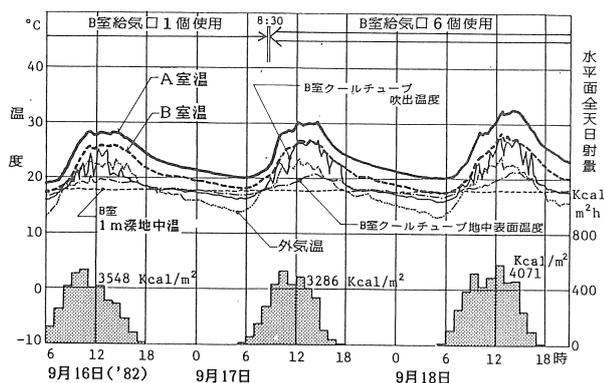


図9 クールチューブによる強制換気の効果

なると、ファン吹出温度、クールチューブ地中表面温度は外気温よりも高くなり、クールチューブを通る空気は地中により暖められている。

3.5 クールチューブによる強制循環実験(実験3)

3.5.1 日射を遮蔽したときの長期の性能

(1) 温度変動

実験3-2及び3-3を行った昭和58年7月30日～8月26日の間は、クールチューブを運転したB室の条件は変化させていないので、クールチューブによる強制循環システムの長期にわたる性能を調べることができた。前半、後半それぞれ5日間の結果を図10に示す。ファンを運転している間は、クールチューブの内表面温度が上昇しており、地中に熱が逃げていくことを示している。ブラインドの設置による日射の遮蔽とクールチューブによる冷却作用の両方の効果により、全期間を通して日中のB室温は外気温よりも低くなっている。期間中、最も効果のあった8月7日についてみると、B室温よりピーク時で7.1℃、日平均でも3.2℃と低下している。しかし、外気温の低い8月16日～8月18日については、その効果は殆ど見られない。A室の0.5m深さの地中温は、実験を開始した時18.7℃で、同じ深さのB室の地中温17.1℃より1.6℃高かったが、地中温の年周期の影響で実験終了時には20.2℃まで上昇した。一方、B室の0.5m深さの地中温はクールチューブ

の運転により日増しに上昇し、終了時にはAのそれとほぼ等しくなった。

(2) クールチューブを利用した室の熱量収支

クールチューブによる除去熱量、レンガの蓄放熱量及び外周壁からの貫流熱量**と、外気温基準のB室温(日平均B室温と日平均外気温との差)との関係を図11に示す。但し、一日の区切りは前日の日射の影響が判然としなくなる朝の7時とした。レンガの蓄放熱量はレンガ内部8ヶ所の温度の1時間ごとの変化から求めた。また、クールチューブによる除去熱量はダクト吹出し空気温とB室温との差及び風量から求めた。除去熱量は400～1,800kcal/日となり、レンガへの蓄熱量に比べると最大30%大きいことが判る。除去熱量と取得熱量は長期的にみれば本来等しいはずであるが、除去熱量の合計は、取得熱量の合計よりも10～50%大きくなった。これは、ブラインドを通しての透過日射や室内隙間からの換気による熱移動を無視したことなどによるものと推定される。また、クールチューブ周囲50cmに限定し、土壌の温度が一様に変化すると仮定して、クールチューブによる約1ヶ月間の除去熱量の合計から地中温度の上昇の程度を概略推定すると、約1.9℃となり***、AB両室の床下地中の温度変動の違いより推定されたクールチューブによる地中温の上昇の程度とほぼ一致した。

(3) 日中の最高室温の低下量に及ぼす因子の影響

ある日の最高外気温とB室の最高室温の差と、2日前までの日中平均気温、水平面全天日射量との関係を回帰分析により求めた。観測値と推定値の関係を図12に示す。両者の相関係数は0.94と高い。標準偏回帰係

** 外周壁からの貫流熱量は、床面の分は無視し、各壁面の室外側の温度の実測値を外側の温度として、設計図書より求めた熱貫流率の値を用いて算定した。

*** 土壌の物性値は、実測値に基づき、密度：1830 kg/m³、比熱：0.6kcal/kg℃を用いた。

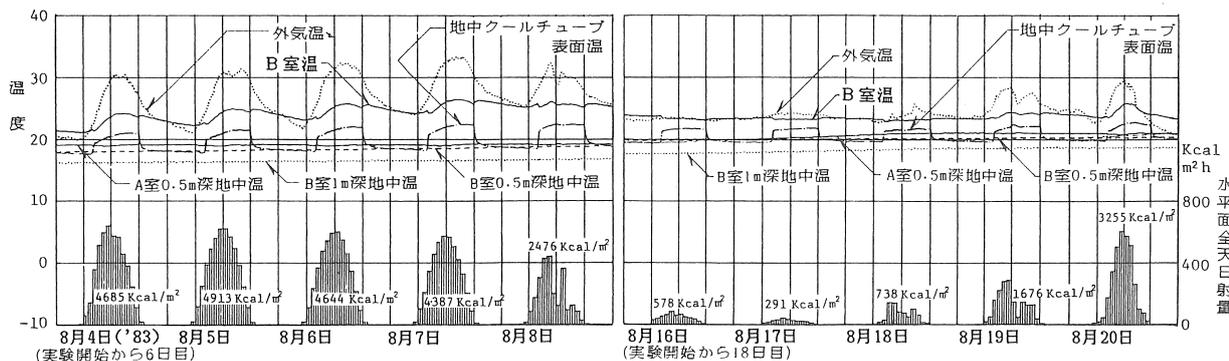


図10 クールチューブ+ブラインド設置の場合の長期実験結果

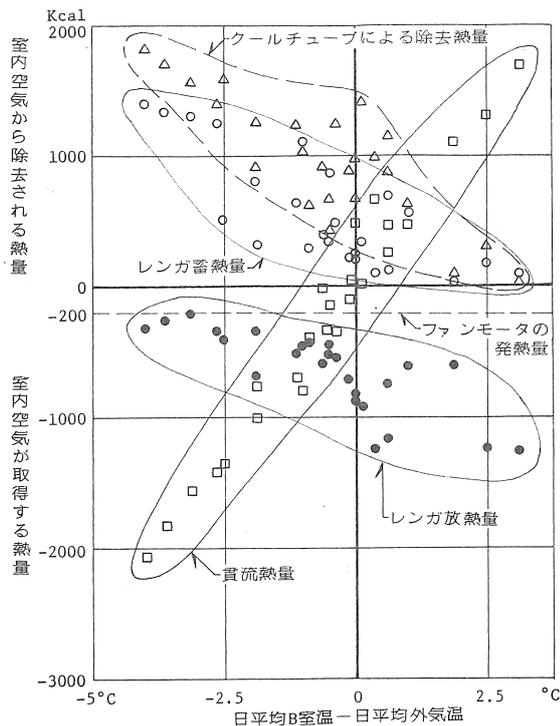


図11 B室の熱収支(実験3-2, 3-3)

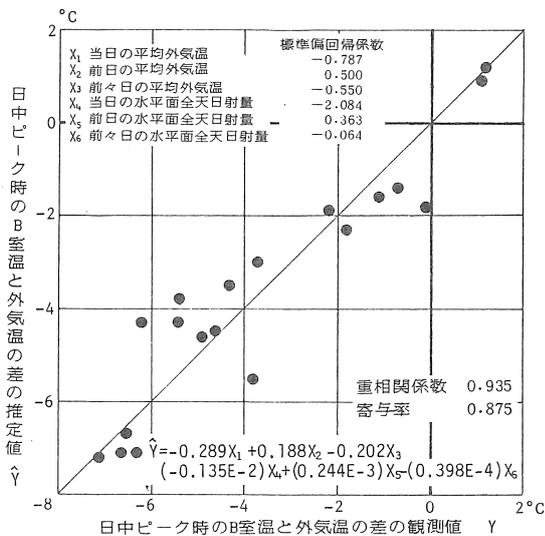


図12 日中の最高室温の低下量に及ぼす因子の影響

数から推定すると、日中の室温の低下量に及ぼす影響が最も大きい因子は当日の日射量であることが判った。すなわち、日射量が多いときにはクールチューブの効果は顕著となり、日中の室温の上昇がかなり抑えられることになる。

3.5.2 AB両室の比較によるクールチューブの効果

(1) 両室ともブラインド無しの場合(実験3-1)

図13に測定結果を示す。AB両室とも侵入日射の影響で日中は外気温よりも高いが、クールチューブを運転しているB室温はA室温より最大で4℃低く、日中は外気温付近を変動している。

(2) 両室ともブラインドを設置した場合(実験3-2)

図14に測定結果を示す。両室温とも日中は外気温より低く、B室の日平均室温及びピーク時の室温はA室に比べて、それぞれ、1.9~2.7℃、2.8~3.9℃低い。

(3) B室のみにブラインドを設置した場合(実験3-3)

図15に測定結果を示す。B室温は、ブラインド及びクールチューブによる冷却効果により、日平均温度とピーク時の温度は、A室温と比べて、それぞれ、3.9~5.1℃、6.9~8.5℃とかなり低くなる。

(4) 両室にブラインドを設置しB室のみ夜間換気を行った場合(実験3-4)

AB両室ともブラインドを午後8時から夕方6時まで設置した。また、B室は日中クールチューブを運転し、夜間は南北窓を開放して外気を導入した。結果は図16に示す通りである。B室温は日中外気温より低いが、夜間は南北窓を開放すると通風によりただちに外気温と等しくなる。B室の日平均温度、ピーク時の室温はA室に比べて、それぞれ、2.8℃、3.2℃低かった。

3.6 各システムの性能比較

図17は、室温が最高となる時の外気温との温度差をAB両室の関係で示したものである。自然換気(実験1)、強制換気(実験2)による外気導入の場合は、

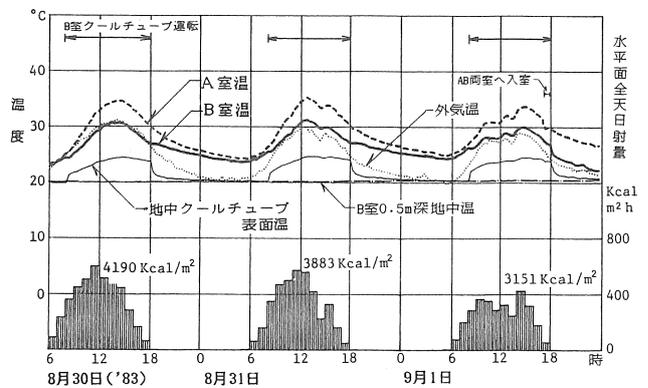


図13 クールチューブによる強制循環の効果(実験3-1:両室ブラインドなし)

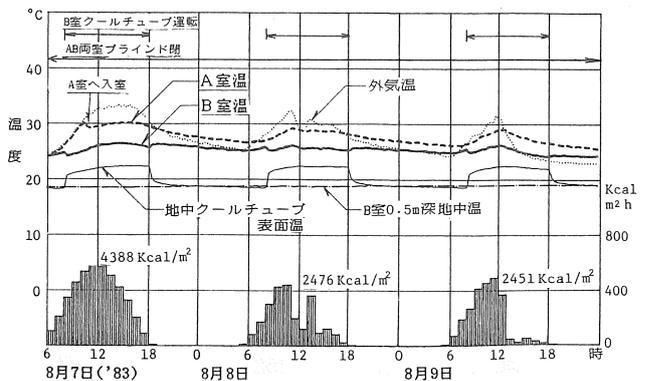


図14 クールチューブによる強制循環の効果(実験3-2:両室ブラインド設置)

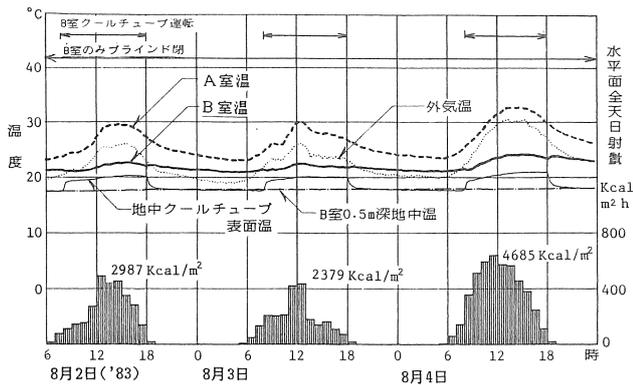


図15 クールチューブによる強制循環の効果 (実験3-3: B室のみブラインド設置)

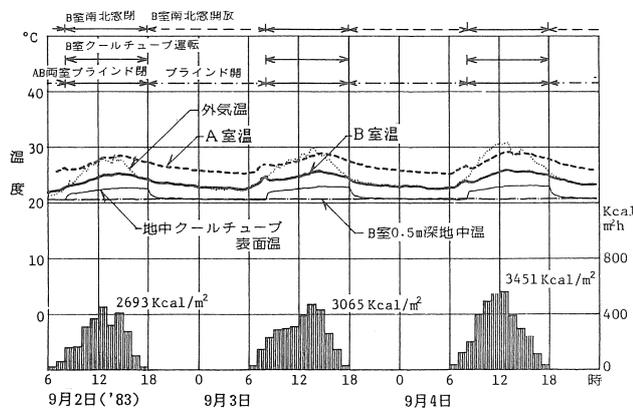


図16 クールチューブによる強制循環の効果 (実験3-4: 両室ブラインド開閉, B室夜間窓開放)

期間的に外気温が低い時期にあたっており、日射を遮蔽しないこともあって、日中の室温を外気温以下に低下させることはできなかったが、一方の室温との差をみれば、とくに強制換気の場合6~7℃低く、その効果が顕著であった。室内空気の強制循環(実験3)の場合は、ブラインドによる日射遮蔽と併用(実験3-2, 3-3, 3-4)することにより、すべての実験日について日最高室温を外気温より低くすることができた。但し、クールチューブを利用しないA室でも、レンガの熱容量の効果とブラインドの効果によりその74%が外気温よりも低くなっている。この場合、クールチューブの効果に対して、両室に設置するブラインドの有無の影響はそれほどみられず、ブラインドがあってもなくてもクールチューブの冷却効果は概ね同程度(平均で約2℃)と言える。B室のみにブラインドを設置した実験3-3の場合、クールチューブとの複合効果により、冷却性能としては、クールチューブを利用しない室との温度差が6~8.5℃と最も大きく現われている。

図18は、外気との温度差で表わしたA室とB室の関係を日平均値でみたものである。日平均値であるため、クールチューブを利用しない室温は殆ど外気温より高

凡 例

- △: 実験1-1 クールチューブによる自然換気(木造床・両室ともブラインド無し)
- ▽: 実験1-2 クールチューブによる自然換気(レンガ床・両室ともブラインド無し)
- : 実験2 クールチューブによる強制換気(レンガ床・両室ともブラインド無し)
- ⊕: 実験3-1 クールチューブによる強制循環(レンガ床・両室ともブラインド無し)
- : 実験3-2 クールチューブによる強制循環(レンガ床・両室ともブラインド有り)
- : 実験3-3 クールチューブによる強制循環(レンガ床・B室のみブラインド有り)
- ◎: 実験3-4 クールチューブによる強制循環(レンガ床・両室とも日中ブラインド有りさらにB室のみ夜間換気)

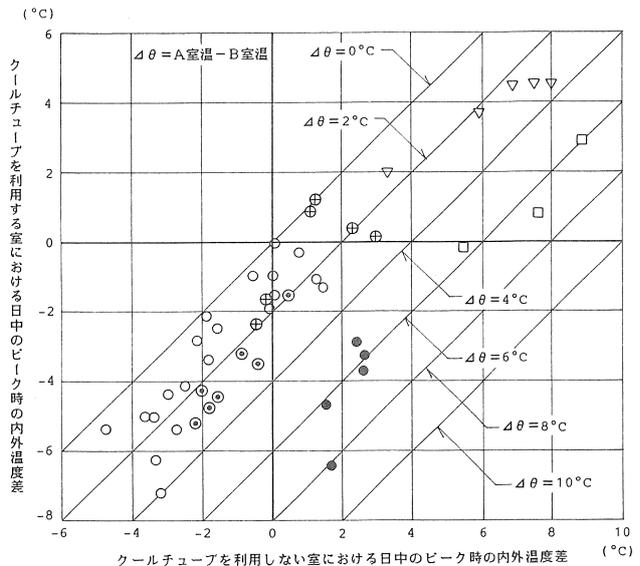


図17 各システムの性能比較(1)

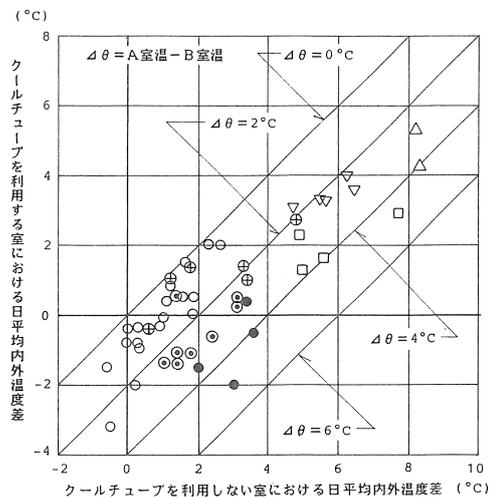


図18 各システムの性能比較

いが、クールチューブを利用する室は、強制循環の場合において、その54%が外気温より低い温度となった。また、ここでも、B室のみにブラインドを設置した実験3-3の場合において両室温の差が最も大きくなっているが、この冷却効果は、日平均値で見れば、強制換気による外気導入の場合とほぼ同程度であった。

4. ま と め

本報では、二室からなる試験家屋を用いて、室内床

下に埋設してあるクールチューブの冷却性能に関する実験結果について述べた。得られた結果をまとめると以下に示す通りである。

- ①クールチューブを用いた自然換気，強制換気の場合は，日中の室温を外気温以下にすることはできなかった。しかし，とくに強制換気の場合，クールチューブを利用しない室との温度差は6～7℃であり，冷却効果としては小さくない値を示した。
- ②強制循環システムの場合は，ブラインドによる日射遮蔽と併用することにより，すべての実験日について，日最高室温を外気温より低くすることができた。
- ③強制循環の場合のクールチューブのみの冷却効果は，ブラインドの有無に左右されず，クールチューブを利用しない室に比べて室温が平均で約2℃低下した。室温と吹出し温度からクールチューブによる除去熱量を推定すると，400～1,800kcal/日であった。
- ④クールチューブによる強制循環とブラインドによる日射遮蔽の複合効果については，クールチューブを利用しない室に比べて室温が最大で8.5℃低くなり，その冷却効果が顕著であった。
- ⑤クールチューブを長期間運転すると，付近の地中温は，影響を受けない場所の年周期による上昇に比べ，約一ヶ月の間で1.6℃上昇した。これは，クールチューブ周囲50cmに限定し，土壌の温度が一樣に変化すると仮定して，クールチューブによる除去熱量から推定した地中温度の上昇の程度とほぼ一致した。

あ と が き

本研究は，昭和55年度から58年度までの文部省科学研究費補助金・エネルギー特別研究・自然エネルギーの研究・太陽エネルギーの研究〔研究代表者：木村健一（昭和55年～57年度），国友孟（昭和58年度），研究分担者：長谷川房雄〕，研究分担課題「パッシブソーラーシステムのエネルギー評価に関する研究」（昭和55～57年度），「パッシブソーラーシステムのエネルギー評価と最適システムに関する研究」（昭和58年度）によるものである。

参 考 文 献

- 1) 木村建一，設計「相良ソーラーハウス」，ディテール61号(1979)，105-116.
- 2) 山川良秀，(沖縄)芝屋根と風の道 比嘉邸，建築

知識，24-290(1982)，94-97.

- 3) Ed Francis, Cooling with Earth Tubes, SOLAR AGE, 9-1(1984), 30-33.
- 4) 木村建一・前田健二・小野島一，クールチューブの涼房効果に関する研究，その1，夏期及び冬期の実験結果，日本建築学会学術講演梗概集(1983-9)，675-676，金沢.，同 その2，数値計算による効果の検討，同 677-678，金沢/5) 中島康孝・伊藤幸雄・鈴木厚志，クールチューブのシミュレーション解析，空気調和・衛生工学会学術論文集(1982-10)，189-192，仙台.
- 6) 斎藤彬夫・宇高善郎・渋谷幸生，地中蓄熱温室の一次元シミュレーション法と蓄熱特性の検討，太陽エネルギー，12-2(1986)，7-14.
- 7) 藤井哲・小山繁・小金井真・Buenconsejo, N.，太陽熱による空気の自然循環と室内温度調節に関する研究，文部省科学研究費補助金・エネルギー特別研究・自然エネルギーの研究・研究成果報告書，(1986-2)，23-26.
- 8) N.Ito, Y. Nakajima and N. Sunaga: System Evaluation of Residential Engineering Models: Scope and Design Process, Proceedings of the International Symposium on Thermal Application of Solar Energy, (1985-4), 591-594, HAKONE, JAPAN.
- 9) 長谷川房雄・木村建一・吉野博・石川善美・松本博，パッシブソーラーシステムの性能を評価するための試験家屋の熱的性能と基礎実験，日本建築学会計画系論文報告集，第361号(1986-3)，21-30.
- 10) 長谷川房雄・木村建一・吉野博・石川善美・松本博，試験家屋を用いたパッシブソーラーシステムの性能評価に関する研究，その3，夏期の実験結果について，日本建築学会東北支部研究報告集，第38号(1981-11)，159-162，郡山.，同その8，蓄熱床方式における夜間蓄冷とクールチューブの効果に関する実験.，同 第41号(1983-3)，1-4，郡山.，同 その10，クールチューブの冷却性能に関する実験，同 第42号(1983-11)，197-200，仙台.
- 11) 長谷川房雄・吉野博・石川善美・曾良敏正，クールチューブの冷却性能に関する実験的研究，東北大学建築学報，第26号(1987-3)，113-132.

(昭和63年1月8日 原稿受理)