

空気循環式ブリックソーラーハウスの開発

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A PASSIVE SOLAR HOUSE WITH AIRFLOW SYSTEM IN BRICK WALLS

主査 渡辺 俊行
委員 林 徹夫 龍 有二
赤司 泰義

Ch. Toshiyuki Watanabe
mem. Tetsuo Hayashi Yuji Ryu
Yasunori Akashi

[研究論文要旨]

[SYNOPSIS]

本研究は、空気循環式ブリックソーラーハウスの開発を目的とする。研究の方法としては、まず、在来煉瓦造住宅の問題点を把握するため、輸入住宅の夏季熱環境調査を実施する。次に、2室モデルの平屋住宅を想定し、数値シミュレーションにより木造と煉瓦造の違いが室内熱環境と暖冷房負荷に及ぼす影響を検討する。また、結露の有無や湿害の危険性についても言及する。さらに、パッシブシステムを採用した煉瓦造を在来の木造や煉瓦造と比較する。これらの評価に基づいて、室内熱環境制御システムを提案し、このシステムを採用した試験家屋の室内熱環境を測定するとともに、このシステムの要素技術について実験的に検討する。最後に、これらの要素技術を取り入れたモデル住宅を提案し、数値シミュレーションにより室内熱環境の快適性と省エネルギー性について明らかにする。これらの研究により得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 輸入煉瓦造住宅は、夏季の午後に暑く不快な環境となるが、内装材裏面での結露はみられなかった。
- (2) 断熱煉瓦壁の防湿指針としては、通気層を確保し、内装材裏面に防湿層を設けないことが重要である。
- (3) 空気循環式ブリックソーラーハウスは、冬季の室内空気温度が外気温度より約10度高く、夜間の室温低下も少ない。夏季は外気導入による排熱効果が確認できた。
- (4) モデル住宅の数値シミュレーションにより、空気循環式ブリックソーラーハウスは室内熱環境の改善に大きく寄与し、木造住宅に比べて期間暖冷房負荷を削減できる見通しが得られた。
- (5) 煉瓦造住宅は冬季の室内熱環境改善には有効であるが、夏季は日射遮蔽や排熱を徹底させて日中の通風と夜間の換気を促進する必要がある。また、試験家屋は乾式組積構法であるため、煉瓦目地部に隙間を生じやすい。通気層内の空気の流れを制御するには、煉瓦壁の気密化が不可欠であり、施工上の対策が課題となる。

The objective of this study is to research and develop a passive solar house with an airflow system in brick walls. First, we conducted the investigation on indoor thermal environment of an imported brick house and pointed out a few problems of a traditional brick house in the summer season. Second, we examined the influence of the difference between wooden and brick walls upon the indoor thermal environment and the air-conditioning loads of a one-storied house with two rooms. As a result, some guidelines were shown on the moisture prevention for thermal insulated brick walls. Third, we simulated the air-conditioning load of a passive solar house with Trombe's wall and an air-circulation system. In accordance with this simulation, we built a test house with these suggested systems and measured thermal performance of this house under cold and hot weather conditions. Finally, we designed a prototype of a passive brick house with solar greenhouse and airflow wall system and studied how to make a comfortable and energy saving house.

The results of this study are as follows.

- (1) The room temperature of the imported brick house was too high to be comfortable from the noon till the evening. And, there was no condensation on the back of the plasterboards.
- (2) It is important that we secure the hollow spaces in the walls and no moisture-proof films on the back of the plaster boards not to be caused the damages by humidity in the insulating brick walls.
- (3) The room temperature of the Passive Solar House with the Airflow System in Brick Walls was about 10 degrees higher than the outdoor temperature and hard to lower at night in winter. To take in an outside air helped heat emissions in summer.
- (4) The simulations from the experimental building proved that the Passive Solar House with Airflow System in Brick Walls made an indoor thermal environment much better and that the load of the air-conditioning could be cut down.
- (5) The brick house is effective to make the indoor thermal environment better in winter, but it is necessary to shield direct sunlight and emit the heat and to promote the draft by day and night. The test house was built by dry masonry building construction system so there were a lot of infiltration between the bricks. To make the brick walls more airtight is indispensable to control the flow of air.

空気循環式ブリックソーラーハウスの開発

主査 渡辺 俊行*¹
委員 林 徹夫*² 龍 有二*³
赤司 泰義*⁴

キーワード：1) 煉瓦造, 2) 断熱, 3) 防湿, 4) 通気層, 5) 空気循環, 6) 太陽熱利用, 7) 地中冷熱利用, 8) 実測調査, 9) 試験家屋, 10) モデル住宅

1. はじめに

住宅のパッシブな熱環境形成技術には2つの流れがある。すなわち、重厚で堅固な閉鎖型と軽量で柔軟な開放型である。煉瓦造住宅は前者の代表例であり、素材の入手しやすさと加工しやすさを併せ持ち、世界人口の約70%以上が住んでいる完成度の高い住宅である。

わが国では明治時代に煉瓦を近代的な不燃材料として使い始めたが、明治から大正の大地震により壊滅的な打撃を受け、その後衰退の一途をたどったことは周知のとおりである。一方、わが国で煉瓦造住宅が普及しなかったもう1つの大きな理由に夏季の蒸暑気候がある。煉瓦造住宅は一般に大きな開口部がとりにくく、梅雨季や夏季の通風が十分凶れなかった。また、熱容量の大きな煉瓦壁は夏型結露が起きやすく、カビの発生に伴う室内環境衛生上の問題があった。

しかしながら、分散型アンボンドプレストレス構法^{x1)}の開発により、耐震性や大開口を技術的に解決しうる今日、“わが国の気候風土と煉瓦造住宅の適応”という問題が解決されれば、煉瓦の熱容量を活かしたパッシブな室内熱環境制御システムの導入が可能になり、非空調時の安定した自然室温と空調時の暖冷房負荷削減が期待される。

2. 研究の目的

煉瓦造の熱的特徴は熱容量の大きさと優れた吸放湿性にあるが、断熱性や気密性は必ずしも十分ではない。したがって、次世代省エネ基準や住宅金融公庫割増融資基準をクリアできる煉瓦造住宅の開発に際しては周壁の断熱気密化が前提となる。断熱気密住宅では室内の暖冷房により煉瓦壁内外の温度差や水蒸気圧差が大きくなるため、壁体内部での結露が懸念される。通気層はこのような湿害防止に有効であり、さらに通気層内の空気を積極

的に循環させれば、冬季の太陽熱や夏季の地中冷熱を利用したパッシブシステムによって、暖冷房負荷の少ない健康住宅を実現できる可能性がある。

本研究では、このような空気循環式ブリックソーラーハウスを開発するのが目的であり、断熱煉瓦壁の防湿指針、通気層に積極的な空気循環を与えた場合の冬季日中の太陽熱搬送と夜間の煉瓦放熱搬送の効果、ならびに夏季日中の排熱・排湿と地中冷熱搬送の効果などについて検討し、空気循環式パッシブシステムを採用したブリックソーラーハウスのモデル住宅を提案して、室内熱環境と冷暖房負荷を定量的に把握する。

3. 研究の方法

まず、在来煉瓦造住宅の問題点を把握するため、オーストラリア仕様（ブリックベニア構法）で建てられた輸入住宅の夏季熱環境調査を実施する。次に、断熱煉瓦壁の防湿指針を明らかにするため、2室モデルの平屋住宅を想定し、数値シミュレーションにより在来の木造と煉瓦造の違いが室内の熱環境と暖冷房負荷に及ぼす影響を検討する。また、南壁の防湿仕様を変えて夏季および冬季の結露の有無や湿害の危険性について比較する。さらに、南側煉瓦壁をトロンブ壁（ガラス窓の室内側に設置した日射熱調整用の蓄熱壁）に変更し、その集熱空気を小屋裏、北側中空煉瓦壁、床下へと循環させるパッシブシステムを採用した煉瓦造を在来の木造や煉瓦造と比較する。

このような事前評価に基づいて、煉瓦造の特徴を活かした室内熱環境制御システムを提案し、このシステムを採用した試験家屋を試作して、冬季と夏季の室内熱環境を測定するとともに、室内熱環境制御システムの要素技術、すなわち冬季は屋根面の空気集熱、南面のトロンブ壁、周壁の煉瓦や床スラブからの蓄放熱について、夏季

*1九州大学大学院人間環境学研究所 教授

*2九州大学大学院総合理工学研究所 教授

*3九州大学大学院総合理工学研究所 助教授

*4九州大学大学院人間環境学研究所 助教授

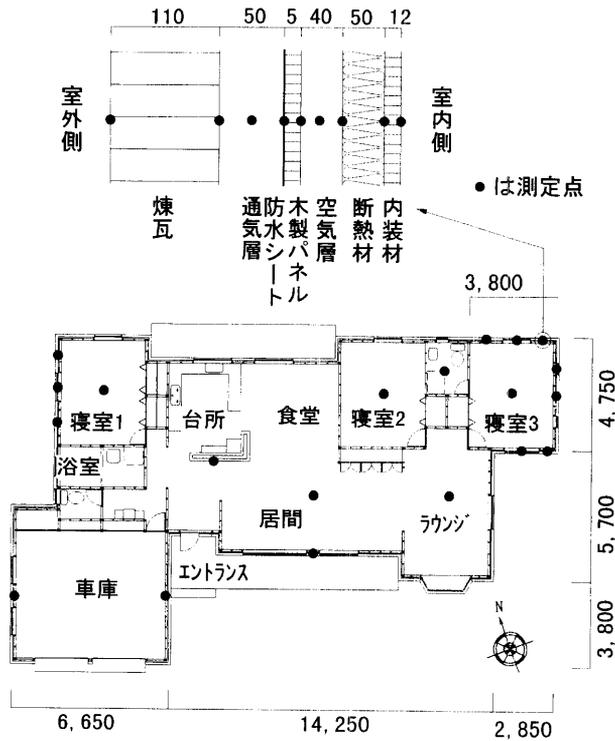


図4-1 対象家屋の平面図および外壁断面詳細図 [単位: mm]

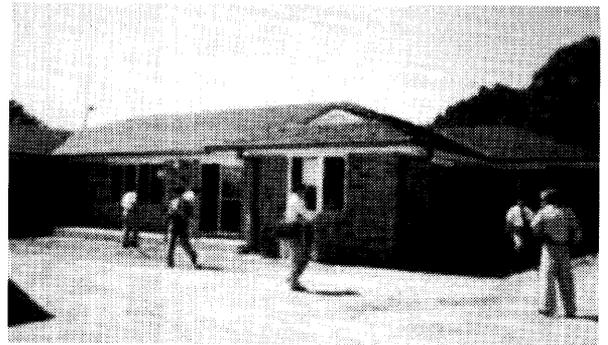


写真4-1 輸入煉瓦造住宅の外観

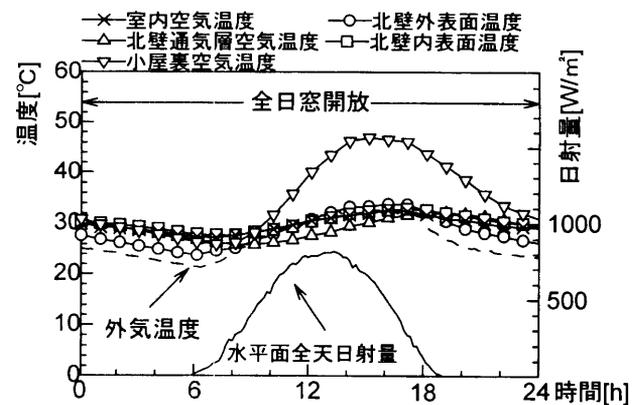


図4-2 外界気象および寝室3の各温度 (8月20日)

はクール・チューブによる外気の地中冷却、南面シャッターの日射遮蔽、南面トロンブ壁から妻換気口への排熱、南面および北面開口部による通風について、さらに冬季および夏季の空気循環量とその経路などについて、実験的に検討する。最後に、これらの要素技術と南面付設温室を組み合わせたモデル住宅を提案し、数値シミュレーションにより室内熱環境の快適性と省エネルギー性について定量的に明らかにする。

4. 輸入煉瓦造住宅の夏季熱環境調査

オーストラリアでは中空壁構法の煉瓦造住宅が広く普及している。約50mmの通気層をはさみ、外壁外側を煉瓦、内側を木製パネルとするブリックベニア構法、内側も煉瓦とするフルブリック構法などがある。今回、オーストラリア輸入煉瓦造住宅(ブリックベニア構法)について、わが国の夏季蒸暑気候下での室内熱環境上の問題点を把握するため実測調査を行った。写真4-1に対象家屋の外観を、図4-1にその平面図および外壁断面詳細図を示す。

4.1 建物概要

対象家屋は熊本県玉名郡菊水町に1998年7月に建設された。寄棟屋根、軒天換気、土間床を有し、延床面積は223.06m²、熱損失係数は2.91W/(m²・K)、延床面積当たり

の相当隙間面積は1.6cm²/m²である。煉瓦組積造は湿式工法であり、目地部にセメントモルタルを使用している。

4.2 夏季実測結果

実測は1998年8月19日～25日に行った。図4-2に昼夜ともに通風を行った場合の測定結果の一部を示す。寝室3の室内空気温度は日中外気温度と同程度で推移するが、夜間は外気温度より4～6度高い。外壁煉瓦、土間床の熱容量のため、夜間は室内空気温度が低下しにくく、通風を行っていたにもかかわらず室内での可感気流はほとんど得られなかった。昼過ぎから夕方にかけて体感指標PMV(熱的に中立に近い状態の人体の温冷感を表す Predicted Mean Voteの略で、かなり暑い状態の+3から、かなり寒い状態の-3までの7段階尺度)の測定値は+3を超え、暑く不快な環境であった。夏季夜間の室内空気温度低下のためには通風促進が不可欠であり、開口部の面積や配置を考慮して風の通り道を確保する必要がある。小屋裏の空気温度は日中50℃近くになるが、これは屋根面からの日射熱に加えて外壁通気層から上昇する暖気の流入によるもので、軒天換気口からの排熱も不十分と考えられる。また、天井はグラスウール50mmで断熱されているものの、室内空気温度が高いのは小屋裏からの流入熱が主な原因と考えられる。軒天換気の再検討と小屋裏の排熱促進が課題であろう。

寝室3の北壁外表面温度は24℃～34℃で変動しているが、日中の北壁通気層温度は26℃～30℃で室内空気温度より低い。結露センサーの測定結果によれば、内装材裏面での結露はみられなかったが、室内を冷房した場合には内装材裏面温度が低くなり、夏型結露の危険性がある。そこで、次節において数値シミュレーションにより断熱煉瓦壁の防湿指針について検討する。

5. 煉瓦壁の断熱と防湿

図5-1の住宅を対象に、福岡の標準気象データを使った数値シミュレーションにより、壁体構成の違いが室内熱環境と暖房負荷に及ぼす影響を比較した^{x2)}。図5-2に3通りの壁体、すなわち(a)木造、(b)ブリックベニア造、(c)フルブリック造の構成を示す。また、これらの壁体の通気防湿仕様を変えて、夏季および冬季の結露の有無と湿害の危険性について検討した。いずれの壁体の熱貫流率も新省エネ基準を満足する上限値（住宅の種類が枠組壁工法または組積造の場合、福岡を含む第IV地域の壁の熱貫流率は0.67kcal/(m²・h・K)以下)になるようガラスウールの厚さを決め、通気層は木造18mm、ブリックベニア造とフルブリック造は通気層とガラスウールの合計が50mmとなるよう通気層の厚さを与えた。

表5-1～表5-4に計算条件を示す。

表5-1 計算条件

| | | |
|-------|-------------|-----------------|
| 気象データ | 標準気象データ（福岡） | |
| 助走期間 | 1ヶ月 | |
| 冷房期間 | 6月～9月 | |
| 暖房期間 | 12月～3月 | |
| 暖冷房時間 | 24時間/日 | |
| 暖冷房空間 | 北室、南室 | |
| 設定温湿度 | 暖房 | 22℃、40%（7時～22時） |
| | | 14℃、40%（23時～6時） |
| | 冷房 | 26℃、70% |

表5-2 部位構成（室内側から表示）

| | | | | | |
|----|-------------|--------|-------------|------------|--------|
| 屋根 | 合板 | 15 mm | 窓 | ペアガラス(ガラス) | 3 mm |
| | コロニアル | 10 mm | | (空気層) | 6 mm |
| 妻壁 | 外装材（木造） | 15 mm | 床 | 内装材 | 15 mm |
| | （煉瓦造） | 110 mm | | 合板 | 12 mm |
| 天井 | 合板 | 10 mm | ガラスウール(10K) | | 46.1mm |
| | ガラスウール(10K) | 64.4mm | 基礎 | コンクリート | 100 mm |
| 内壁 | 内装材 | 10 mm | 地盤 | 土間コンクリート | 100 mm |
| | 空気層 | 100 mm | | 碎石 | 100 mm |
| | 内装材 | 10 mm | | 土 | 500 mm |

表5-3 着衣量および活動量

| 期間 | 夏季 | | 冬季 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 23～6時 | 7～22時 | 23～6時 | 7～22時 |
| 着衣量 (clo) | 0.7 | 0.3 | 2.0 | 0.8 |
| 代謝量 (met) | 1.0 | 1.2 | 1.0 | 1.2 |

表5-4 在室者の人数と作業強度

| 時間 | 24～6 | 7 | 8 | 9～18 | 19 | 20 | 21～23 |
|------|------|---|---|------|----|----|-------|
| 人数 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 作業強度 | - | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |

* 作業強度（1：静座、2：軽動作）

5.1 断熱煉瓦壁の防湿指針

図5-3に内装材裏面に防湿層がない場合のガラスウール外側における結露の有無と腐朽菌繁殖危険率（通年にわたり日最高相対湿度が80%以上となる割合）を示す。いずれの壁体も腐朽菌繁殖危険率は通気層がある場合よりない場合の方が高い値を示し、木造では通気層がないと結露する。図5-4に通気層がある場合のガラスウール

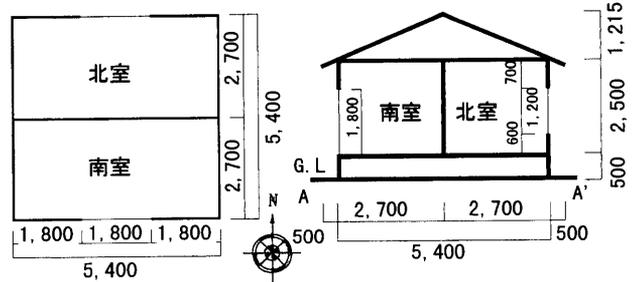
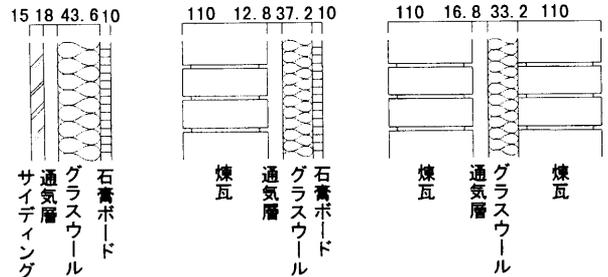


図5-1 計算対象住宅の平面図および断面図 [単位：mm]



(a) 木造 (b) ブリックベニア造 (c) フルブリック造

図5-2 壁体構成 [単位：mm]

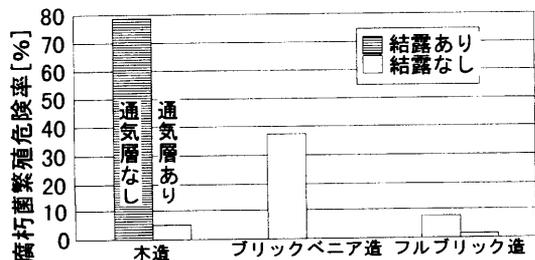


図5-3 内装材裏面に防湿層がない場合のガラスウール外側における結露の有無と腐朽菌繁殖危険率

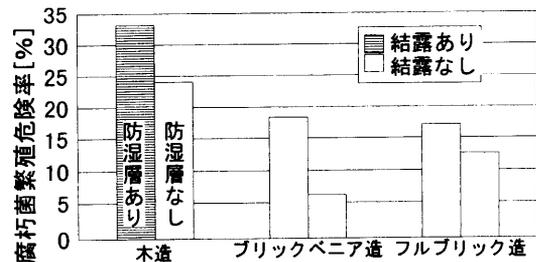


図5-4 通気層がある場合のガラスウール内側における結露の有無と腐朽菌繁殖危険率

内側における結露の有無と腐朽菌繁殖危険率を示す。いずれの壁体も防湿層がない場合よりある場合の方が腐朽菌繁殖危険率は高く、木造では防湿層があると結露する。したがって、断熱煉瓦壁の防湿指針として、1) 通気層を確保すること、2) 内装材裏面に防湿層を設けないこと、が挙げられる。

5.2 煉瓦造住宅の熱性能

図5-5、図5-6に、壁体構成の違いによる暖冷房負荷を木造基準の相対値で比較する。また、このときの冬季

と夏季の快適時間率（PMVが推奨値-0.5~0.5となる割合）を図5-7、図5-8に示す。ブリックベニア造とフルブリック造の暖冷房負荷はほぼ同じであり、暖房負荷は10~15%、冷房負荷は15~20%、木造より少なくなる。しかし、快適時間率を比べると、フルブリック造はブリックベニア造より、冬季15~20%、夏季5~6%、いずれも高い値を示している。すなわち、暖冷房負荷についてはブリックベニア造とフルブリック造の違いは少ないが、室内熱環境についてはフルブリック造の方がブリックベニア造より向上する。

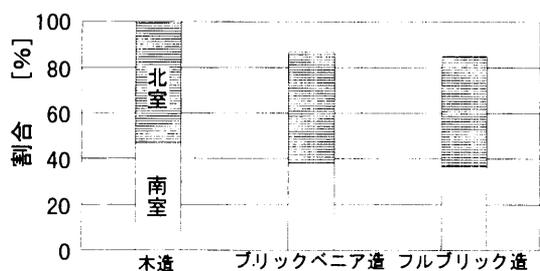


図5-5 木造を基準とした暖房負荷の割合

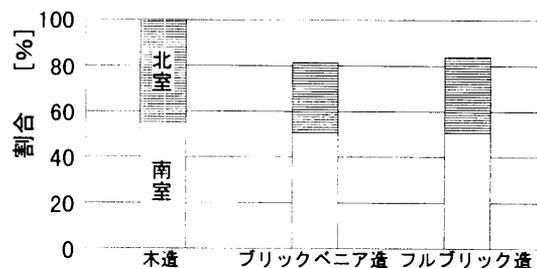


図5-6 木造を基準とした冷房負荷の割合

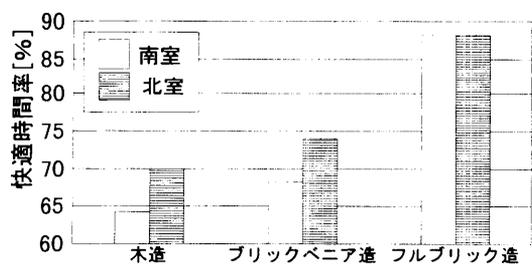


図5-7 冬季の快適時間率

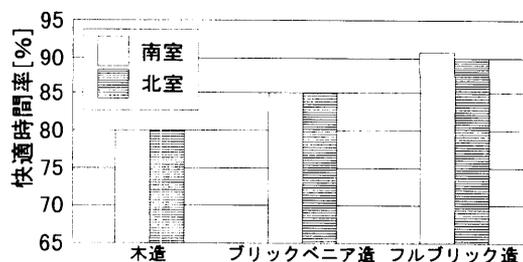


図5-8 夏季の快適時間率

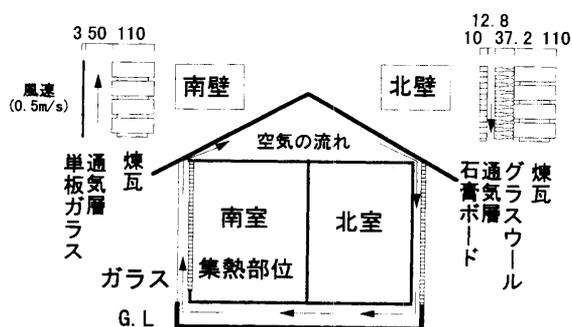


図6-1 トロンブ壁と空気環を利用した住宅の断面図 [単位: mm]

表6-1 部位構成 (室内側から表示)

| | | | |
|-----------------|-------|--------------|-------|
| 屋根: グラスウール(10K) | 100mm | 窓: ペアガラス | |
| 合板 | 15mm | 基礎: コンクリート | 100mm |
| コロニアル | 10mm | 発泡スチレン | 50mm |
| 妻壁: グラスウール(10K) | 50mm | モルタル | 20mm |
| 外装材(煉瓦) | 110mm | 地盤: 土間コンクリート | 100mm |
| 内壁: 内装材 | 10mm | 発泡スチレン | 100mm |
| 空気層 | 100mm | 砕石 | 100mm |
| 内装材 | 10mm | 土 | 500mm |

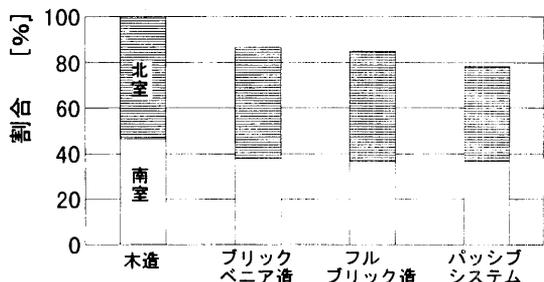


図6-2 木造を基準とした暖房負荷の割合

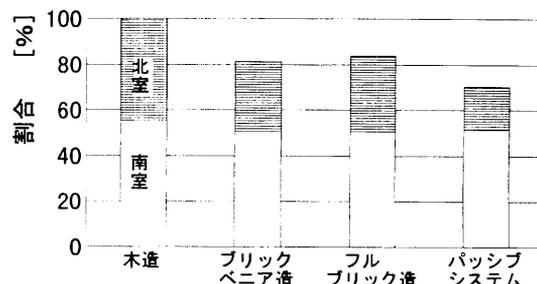


図6-3 木造を基準とした冷房負荷の割合

6. 空気循環式ブリックソーラーハウス

6.1 トロンプ壁と空気循環によるパッシブ効果

煉瓦造住宅の自然エネルギー利用について検討するため、図5-1の住宅において南面煉瓦壁をトロンプ壁に変更する。すなわち、南面煉瓦壁の外側をガラスで覆ったトロンプ壁の集熱空気が小屋裏、北側煉瓦壁通気層、床下へと循環するパッシブシステムとし、その暖冷房負荷を試算した。図6-1にトロンプ壁を採用した住宅の断面図を、表6-1にその部位構成を示す。その他の計算条件は表5-1～表5-4と同じである。

図6-2、図6-3は、それぞれ図5-5、図5-6にパッシブシステムの結果を追加したものである。トロンプ壁による集熱空気を循環させることにより、煉瓦造に比べて暖房負荷が10%弱、冷房負荷が10%強軽減され、木造に比べれば暖房負荷を約20%、冷房負荷を約30%削減できそうである。

6.2 空気循環式ブリックソーラーハウスの試作

前節の数値シミュレーションにより煉瓦壁内の空気循環によるパッシブ効果が確認できたが、さらに冬季の太陽熱だけでなく夏季の地中冷熱を利用したパッシブな熱環境制御システムを考え、その効果を実験的に明らかにするために空気循環式ブリックソーラーハウスを試作し、冬季および夏季の実測調査を行った。

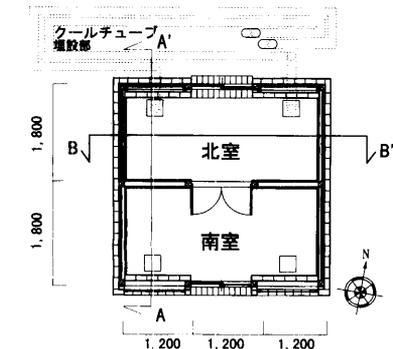
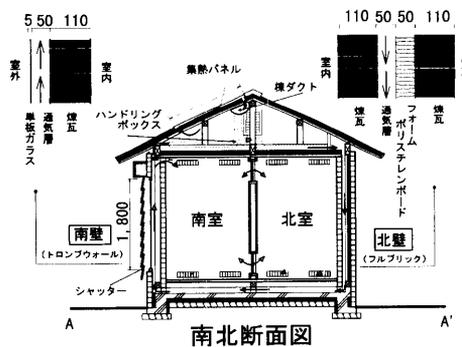
6.3 試験家屋概要

対象建物は1997年11月に福岡県粕屋郡粕屋町に竣工した。この試験家屋は北壁がフルブリック（外側煉瓦の内側にフォームポリスチレンボード50mmと通気層50mm）、

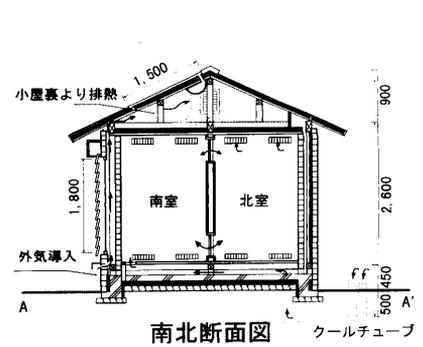
東西壁がブリックベニア（煉瓦の内側にフォームポリスチレンボード50mmと通気層50mm）、南壁がトロンプ壁（煉瓦の外側に通気層50mmと単板ガラス5mm）であり、北壁と南壁の一部に開口部がある。また、屋根面に空気集熱パネル（集熱面積5.4m²）が設置され、北側地面下0.5mにクールチューブが埋設されている。写真6-1に試験家屋の外観を、図6-4、図6-5に試験家屋の平面図と冬季・夏季システム断面図を示す。冬季のシステムは、小屋裏の空気（723m³/h）をファンの動力で屋根面の集熱パネルに引き込み、日射で暖められた空気はハンドリングボックスからダクトを経て北壁通気層に送られる。さらに、床下を通して南面トロンプ壁で再加熱された後、トロンプ壁上部開口から南室に入る。その後、南北室の間仕切り上下の開口を抜けて北室空気と混合し、北室の東西壁下部開口からブリックベニアの通気層を経て再び小屋裏へと戻る。夏季システムは、クールチューブ（埋設深さ0.5m、長さ20m）から外気を取り入れ、地中で冷却された外気を床下から直接南室へ吹き出す。その後は冬季と同様に北室の空気と混合され、北室の東西壁上部開口からブリックベニアの通気層を経て小屋裏へ排熱される。また、夏季はトロンプ壁のガラス外側にシャッターを下ろして日射を遮蔽し、トロンプ壁に熱がこもらぬよう、ハンドリングボックス内のファンでトロンプ壁下部の開口から外気を導入し、トロンプ壁内の暖気を小屋裏の妻換気口より排熱する。なお、この試験家屋の煉瓦壁には、ボルト・ナット等の金具を用いて煉瓦を積み上げる分散型アンボンドプレストレス構法が採用されているので、耐震性および大開口の確保はもちろん、目地モルタルを用いない乾式工法による施工の省力化が図れる。



写真6-1 試験家屋の外観



(a) 冬季システム断面図 [単位: mm]



(b) 夏季システム断面図 [単位: mm]

図6-4 試験家屋の平面図 [単位: mm]

図6-5 試験家屋の冬季・夏季システム断面図

6.4 試験家屋における冬季実測調査

6.4.1 冬季実測概要

冬季実測は1997年12月5日～21日に行った。7時～17時の間はトロンブ壁のシャッターを上げ、空気循環の経路にある開口部のダンパーを開けた。14時を過ぎると屋根面が隣接建物の日影に入るため、それ以降の集熱は制限される。非集熱時および夜間はファンを停止し、北壁とトロンブ壁からの放熱が室内熱環境に及ぼす影響を検討した。

6.4.2 冬季実測結果

図6-6～図6-9に12月18日0時～24時の実測結果を示す。外気温度は最高で約14℃、最低で約8℃である(図6-6)。集熱空気温度は棟ダクトで最高50℃まで上昇し、ハンドリングボックスを経て北壁に送られると通気層入口で最高47℃、通気層内では最高40℃、通気層出口では最高30℃となる(図6-7)。この間の温度低下は、北壁内側煉瓦への蓄熱、小屋裏ダクトおよび北壁からの熱損失などによるものである。床下を通してトロンブ壁で再加熱された空気は最高25℃で南室へ吹き出され(図6-8)、室内空気温度も日中は南北室間の差が小さく、いずれも最高約25℃となる。集熱運転終了後も北壁内側煉瓦からの放熱により北室空気温度は夜間も20～25℃を維持しており、急激な温度低下はみられない(図6-6)。しかし、南室空気温度は夜間に北室空気温度より約5度下がる。これは、南室の南面窓が出入り口兼用のため北室の北面窓に比べ大きいこと、南室のトロンブ壁が断熱されていないこと、北室はデータ集録機器からの発熱があること、などが原因と考えられる。外壁の室内側表面温度をみると、南北壁は東西壁より日中2～4度、夜半までは1度ほど高い(図6-9)。

以上のように、冬季の南北室空気温度は外気温度より10度前後高い値を示し、昼夜の室温変動も緩やかである。しかし、目地モルタルを用いる湿式構法に比べて試験家屋の乾式組積構法は煉瓦目地部に隙間を生じやすく、隙間風による煉瓦壁からの熱損失がみられる。隣接建物の影響を受けずに14時以降も集熱が継続され、ガラスの断熱性と煉瓦目地部の気密性が確保できれば、冬季の室内熱環境はさらに向上するものと期待される。

6.5 試験家屋における夏季実測調査

6.5.1 夏季実測概要

煉瓦造住宅は周壁に熱容量の大きな煉瓦を配置するため、冬季は太陽熱を蓄えた比較的快適な熱環境が形成されるが、夏季の日中はもちろん、夜間の室温も高くなると予想される。そこでパッシブシステムを作動させた場合と作動させない場合の室内熱環境を比較することにより、クールチューブの冷却効果、空気循環による排熱効果、煉瓦壁の蓄冷効果などについて検討した。

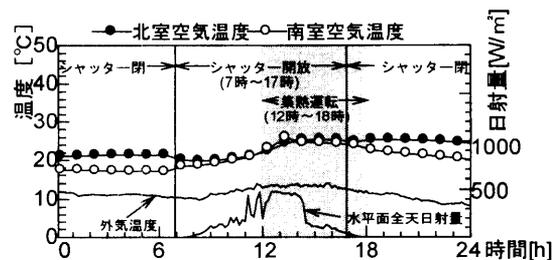


図6-6 外界気象および試験家屋室内空気温度 (1997年12月18日)

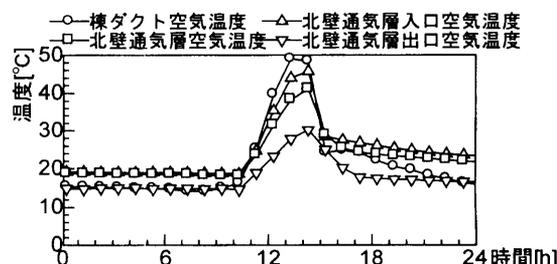


図6-7 試験家屋棟ダクトおよび北壁通気層内空気温度 (1997年12月18日)

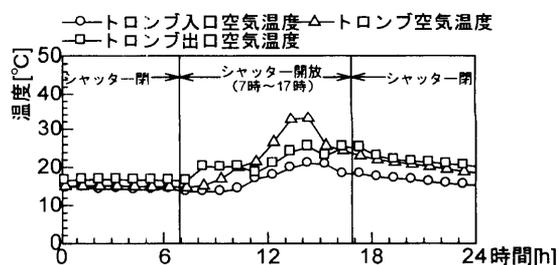


図6-8 試験家屋トロンブ壁空気温度 (1997年12月18日)

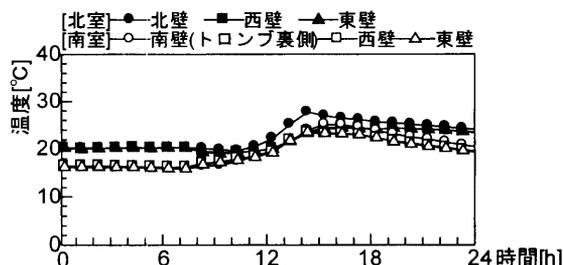


図6-9 試験家屋外壁内表面温度 (1997年12月18日)

実測は1997年7月14日～8月30日、1998年9月2日～7日に行った。1997年度の実測では、7月14日～19日はパッシブシステムを作動させず、7月20日以降は7時～18時の間クールチューブを運転し、日射遮蔽のためトロンブ壁と南窓に取り付けたシャッターを閉じた。クールチューブ運転は2通りを考え、7月20日～29日は2室循環(南北室間仕切りを開放し、南室から北室へ空気を循環させ東西壁より小屋裏へ排熱)、7月30日以降は南室のみ循環(南北室間仕切りを閉じ、南室のみ空気を循環させて南室東西壁より小屋裏へ排熱)させた。クールチューブの流量は120m³/hである。なお、夜間(18時～7

時)はいずれの実験においても南北室の窓を開放し通風を行った。1998年度の実測では日中、夜間ともに通風を行い、南面に日射遮蔽のための^{よしず}簾を立てた。

6.5.2 夏季実測結果

図6-10～図6-14に1997年7月19日、22日、31日、1998年9月2日の実測結果を示す。いずれの実験日も晴天であり、1997年の外気温度は日中30℃を超えた。パンプシステムを作動させていない7月19日の実測結果をみると、南北室空気温度は朝方から徐々に上がり始め、18時の北室空気温度は37℃、南室空気温度は36℃となる。夜間通風を行うと室内空気温度は最低27℃まで下がるものの、日中は暑く不快な環境となる(図6-10)。クールチューブを使用し2室循環させた7月22日には、クールチューブにより外気温度は1～2度予冷されるが、床下空気温度は一日を通してあまり変化なく、床下から南室へは29℃前後で流入している。南室空気温度は最高34℃となり、北室空気温度は南室よりも1～2度高くなる。7月19日と比較すると、日中の室内空気温度は南北室ともに約3度下がり、クールチューブ運転時の床下空気温度は非運転時と比べて大差ないことから、空気循環による排熱効果により室温が低下したと考えられる(図6-11)。クールチューブを使用し南室のみに外気を導入した7月31日には、北室空気温度は日中36℃まで上昇するが、南室空気温度の上昇は最高で約32℃に抑えられ、午前中は外気温度より低くなる。また、南室空気温度は、22日よりも低下していることからクールチューブで外気を取り入れる室を限定することにより排熱効果が大きくなると考えられる(図6-12)。日中窓を閉鎖してクールチューブを運転した1997年の結果はクールチューブによる室内の冷却効果はわずかであった。日中も南面と北面の窓を開放して全日通風した1998年9月2日の結果を図6-13と図6-14に示す。全日通風しているため、南北室の空気温度に差はないが(図6-1), 外壁内表面温度をみると日中は南北壁内表面温度が室内空気温度より低く、室内空気温度は外気温度よりごくわずかながら低くなっている(図6-14)。夜間も室内空気温度と外気温度の差は前年度より小さくなっている。

夏季実測調査においてクールチューブの冷却効果はみられなかった。クールチューブの埋設深さが浅いのが最大の理由であり、この試験住宅の場合、敷地に隣接する北側にアスファルト舗装の国道があり、地下には既存コンクリート盤があるため、クールチューブを0.5m以上深く埋設することは不可能であった。クールチューブの埋設深さを十分確保し、夜間の外気をクールチューブから通気層に導入して煉瓦壁に蓄冷する実験も必要であろう。しかし、日中の日射遮蔽や排熱を徹底させ、日中の通風と夜間の換気を促進しないかぎり、煉瓦の熱容量はやはり夏季には不利となる。

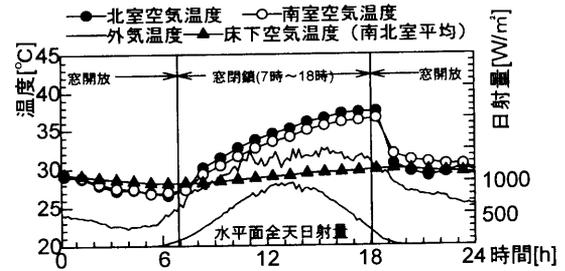


図6-10 外界気象および試験家屋の各空気温度(1997年7月19日)

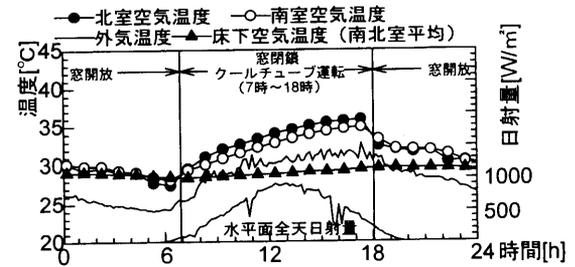


図6-11 外界気象および試験家屋の各空気温度(1997年7月22日)

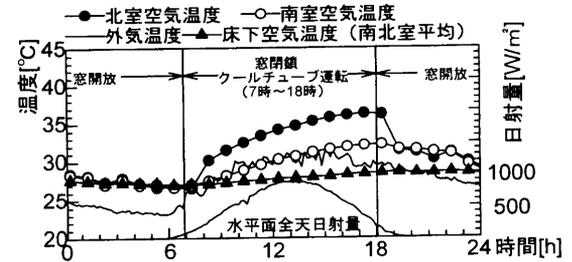


図6-12 外界気象および試験家屋の各空気温度(1997年7月31日)

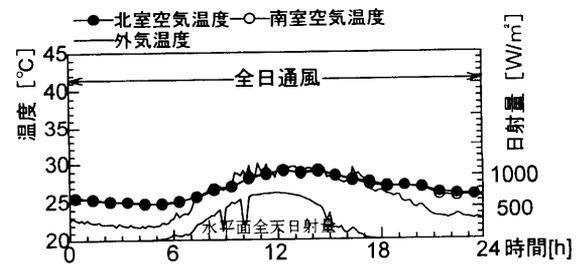


図6-13 外界気象および試験家屋の各空気温度(1998年9月2日)

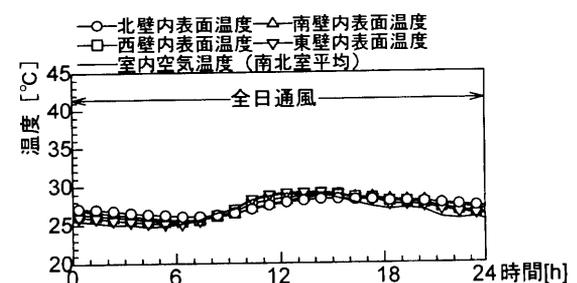


図6-14 試験家屋の室内空気温度および外壁内表面温度(1998年9月2日)

表7-1 計算条件

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| ・気象データ | : 標準気象データ(福岡) |
| ・助走期間 | : 10日間 |
| ・計算時間間隔 | : 1時間 |
| (室内側条件) | |
| 人体発熱[W] (顕熱;放射成分:対流成分=1:1, TR;室温) | |
| ・作業強度1 | 顕熱;SH=141.9-3.5TR 潜熱;LH= 92-SH |
| ・作業強度2 | 顕熱;SH=148.1-3.6TR 潜熱;LH=106-SH |
| (期間冷暖房負荷算定条件) | |
| ・冷暖房期間 | : 夏季7月~8月, 冬季1月~2月 |
| ・冷暖房時間, 空間: | |
| 居間 LDK | 6~9時, 12時~14時, 16時~22時 |
| 主寝室 | 21時~23時(冬季のみ) |
| 子供部屋 | 16時~22時(冬季のみ) |
| ・設定温度 | : 冷房26℃, 暖房22℃ |

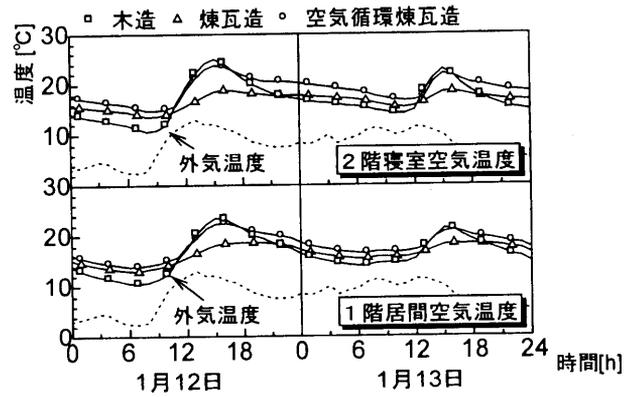


図7-4 モデル住宅の冬季2階寝室および1階居間空気温度

表7-2 部位構成

| | | | |
|------|--------------|----------|--------------|
| 屋根 | 断熱材 100mm | 東西壁 | 石膏ボード 10mm |
| | 合板 10mm | | 断熱材 50mm |
| | コロニアル 10mm | | 通気層 50mm |
| 北壁 | 煉瓦 110mm | 内壁A | 石膏ボード 10mm |
| | 通気層 50mm | | 空気層 100mm |
| | 断熱材 50mm | | 石膏ボード 10mm |
| 地盤 | 煉瓦 110mm | 内壁B | 煉瓦 110mm |
| | 土間 | 2階床 | カーペット 15mm |
| | コンクリート 100mm | | 合板 10mm |
| | 発泡 | 窓(ペアガラス) | ガラス 5mm |
| | ポリスチレン 100mm | | 空気層 10mm |
| | 砕石 50mm | 基礎 | コンクリート 100mm |
| | 土 50mm | | 断熱材 50mm |
| 1階床 | 合板 10mm | | 煉瓦 110mm |
| 和室床 | 畳 50mm | | 断熱材 50mm |
| | 合板 10mm | ドアA | 断熱木製 |
| 1F天井 | 石膏ボード 10mm | ドアB | 木製 |
| 2F天井 | 石膏ボード 10mm | | |
| | 断熱材 50mm | | |

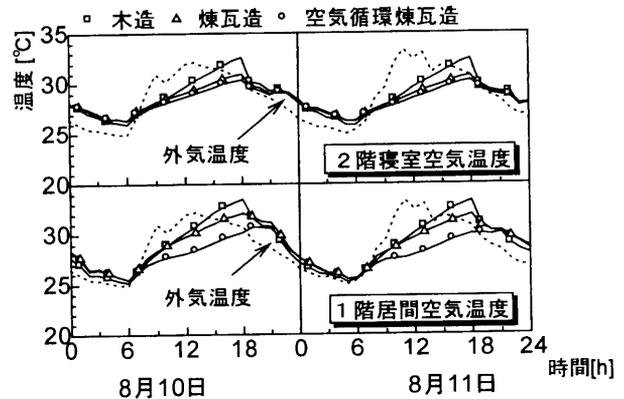


図7-5 モデル住宅の夏季2階寝室および1階居間空気温度

表7-3 在室人員スケジュール [人]

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|---|---|---|----|-------|----|----|----|----|----|----|
| 時間 | 24~6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11~17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 居間 LDK | 0 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 寝室 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 子供室 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

表7-4 気密仕様

| | | |
|-----------|-------|-------|
| | サッシ定数 | 隙間特性値 |
| 窓 | 1.0 | 1.5 |
| ドアA | 2.0 | 1.5 |
| ドアB | 10.0 | 1.5 |
| 天井、床 | 2.0 | 1.5 |
| 屋根と外壁の接合部 | 2.0 | 1.5 |
| 基礎と外壁の接合部 | 5.0 | 1.5 |
| 小屋裏換気口 | 2.0 | 1.5 |
| | 流量係数 | 隙間特性値 |
| 東西通気層と外界 | 0.75 | 2.0 |

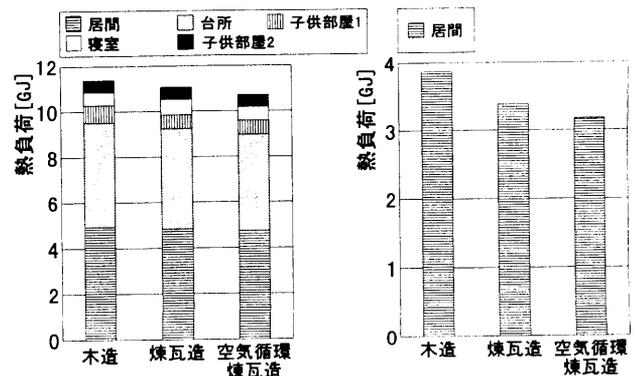


図7-6 期間暖房負荷

図7-7 期間冷房負荷

いずれも日中の室温上昇が抑制され、室内空気温度は煉瓦造で1.5～3度、空気循環煉瓦造で3～4度、木造より低くなっている。夜間は通風により木造、煉瓦造、空気循環煉瓦造の差はなく、明け方の1階居間空気温度はほとんど外気温度に近い。1階居間の期間冷房負荷をみると、木造に比べて煉瓦造は約13%、空気循環煉瓦造は約20%、それぞれ削減されている（図7-7、前頁）。

8. おわりに

断熱煉瓦壁の防湿指針について検討し、太陽熱などの自然エネルギーと煉瓦の熱容量を利用したパッシブな空気循環式ブリックソーラーハウスの快適性と省エネルギー性について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 輸入煉瓦造住宅の夏季熱環境を実測調査した結果、昼過ぎから夕方にかけてPMVの測定値は+3を超え、暑く不快な環境であった。開口部の面積や配置を考慮して風の通り道を十分に確保する必要がある。とくに、軒天換気の再検討と小屋裏の排熱促進が課題である。結露センサーの測定結果では、内装材裏面での結露はみられなかった。
- (2) 断熱煉瓦壁の防湿指針としては、通気層を確保し、内装材裏面に防湿層を設けないことが重要である。
- (3) 空気循環式ブリックソーラーハウスを試作し、冬季と夏季の室内熱環境を実測した。その結果、冬季の室内空気温度は外気温度より10度ほど高く保たれ、夜間の室温低下も小さい。夏季のクールチューブによる室内冷却効果はわずかであるが、外気導入による排熱効果は確認できた。クールチューブの冷却量は十分確保する必要がある。
- (4) 付設温室型の空気循環式ブリックソーラーハウスのプロトタイプを提案し、その室内熱環境と冷暖房負荷を数値シミュレーションにより予測評価した。空気循環式ブリックソーラーハウスは冬季、夏季いずれも室内熱環境の改善に大きく寄与し、在来の木造住宅に比べて期間暖房負荷は約7%、期間冷房負荷は約20%、削減される。
- (5) 煉瓦造住宅は冬季の室内熱環境改善には有効であるが、夏季は日中の日射遮蔽や排熱を徹底させて日中の通風と夜間の換気を促進する必要がある。また、試験家屋に採用した分散型アンボンドプレストレスは乾式組積構法であるため、湿式構法に比べ煉瓦目地部に隙間を生じやすい。通気層内の空気の流れを制御するには、煉瓦目地部の気密化が不可欠であり、施工上の対策が課題である。

<参考文献>

- 1) Y. Matsufuji: Reinforced Brick Wall System for Semi-Dry Brick Work, Confidential Doc. Division of Building, Construction and Engineering CSIRO, 1992
- 2) 川上司, 渡辺俊行, 他: 空気循環式ブリックソーラーハウスの基本設計 (その1), 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 第10号, pp.265~268, 1996
- 3) 林徹夫: マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムに関する研究, 住宅総合研究財団研究年報, No.19, pp.337~346, 1992
- 4) 川上司, 渡辺俊行, 他: 空気循環式ブリックソーラーハウスの基本設計 (その2~4), 日本建築学会九州支部研究報告, 第36号, pp.173~184, 1997

<研究協力者>

- | | |
|-------|---|
| 尾崎 明仁 | カナダ天然資源省エネルギー技術センター招待研究員 (当時, 福岡大学工学部講師) |
| 川上 司 | 住友林業(株)九州支店 (当時, 九州大学大学院工学研究科修士課程学生) |
| 富川 修 | (株)新日本設備計画 (当時, 九州大学大学院総合理工学研究科修士課程学生) |
| 中村美紀子 | 九州大学大学院総合理工学研究科修士課程学生 |
| 後藤真一郎 | 九州大学大学院人間環境学研究科修士課程学生 |
| 高瀬 秀芳 | 九州大学工学部学生 |