

軽量高保水性外装資材を用いた 建物遮熱性の実証的研究

山田 宏之¹・田中 明則²・奥田 芳雄³

¹和歌山大学助教授 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

E-mail: hyamada@sys.wakayama-u.ac.jp

²株式会社森生テクノ 代表取締役 (〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-5)

E-mail: sinsei_tecno@yahoo.co.jp

³有限会社エコプロ 代表取締役 (〒661-0033 兵庫県尼崎市武庫之荘3-4-1-112)

E-mail: ecopro@hcc1.bai.ne.jp

建築物屋上や壁面に設置することができる軽量の保水板を用いて、実物のコンテナハウス内の熱環境改善効果の実測と、それに伴う冷房負荷の低減効果の検証を行った。その結果、建物屋根面の温度を24.3～27.6℃、天井面温度を6.2～10.4℃、室内の平均輻射温度を1.7～6.1℃低減することが分かった。また、屋根面のみを被覆した場合で29.3%、屋根面と壁面のうち2面を被覆した場合で46.2%の空調電力量の削減効果が得られ、空調排熱の削減にも有効であることが判明した。

Key Words : temperature, heat insulation, heat island, PMV, water contain board

1. はじめに

東京都や大阪府など大都市を中心に、さまざまなヒートアイランド対策が取られるようになってきている¹⁾。そのような対策の一つに道路面の透水化、保水化があげられるが、現在までに多数の舗装資材が開発され、その効果が解析されてきている^{2) 3)}。建築物においては、屋上緑化や高反射塗装等の研究・開発が進められているが、保水性資材を建物表面に設置するような事例は数少ない。

現在作られている透水性、保水性のブロックは歩道面などの舗装用に開発されているものがほとんどであり、耐久性には優れるが、建築物屋上や壁面に設置するには重過ぎる上に、適切な固定方法に乏しいという問題点があげられる。

そこで、建築物表面に設置するのに適する軽量性と加工性の良さ、また高い含水率を同時に実現するための新しい保水板の開発を行った。本研究は、この新しく開発された保水板を用いて、実物のコンテナハウス内の熱環境改善効果の実測と、それに伴う冷房負荷の低減効果の検証を行い、ヒートアイランド対策、室内暑熱環境改善資材としての有効性を検証することを目的とした。

2. 研究方法

実験は、同一規格のコンテナハウスを2棟設置し、一方の屋根面および壁面に保水板を固定して、それぞれの建物内温度、天井面熱流、室内平均輻射温度、体感温度等の比較を行った。

実験期間は4期に分け、1週目は屋上のみを保水板で被覆して密閉・無空調状態で室内熱環境の測定、2週目は1週目と同じ設定の建物を使って、同一設定温度で空調を行った場合の室内熱環境と消費電力量の測定、3週目は、屋上に加えて壁面のうち2面を保水板で被覆し、密閉・無空調状態で室内熱環境の測定、4週目は3週目と同じ設定の建物を使って、同一設定温度で空調を行った場合の室内熱環境と消費電力量の測定を行った。

(1) 保水板の概要

実験に使用した保水板は(株)森生テクノが開発したものであり(特許申請中)、数種類の鉱物性の原料とモルタルで製造されている。乾燥時の比重は約0.6g/cm³、最大体積含水率は約60%、軽量で保水性の高い資材である。また、手動のノコギリで簡単に切断でき、ドリルでの穴開けも容易であるなど、建築物表面への取り付けの際の施工性を向上させている。

実験に用いた保水板は300mm×300mm×25mmで作成した。予備的な実験の結果、この25mm厚の板を水分飽

和させた状態で、夏季の晴天時に2日間以上冷却能力が持続することを確認した。

この保水板は白色で、敷き並べた状態で日射計を用いて測定した平均的な表面反射率は51.4%である。

(2) 実験装置

比較実験に使用したのは、内寸1800mm×3600mm×2300mmのコンテナハウス（スーパーハウス）である。愛知県名古屋市内の住宅敷地に2棟を並べて設置した。それぞれのコンテナハウスには同一規格のエアコンと電力計を設置し、実際の使用状況を想定して、北側窓は内側から目張りし、南側窓の外側にはヨシズを立て掛けた。

一方の建物の屋根面全面に保水板を敷き並べて処理区とし（写真-1）、もう一方を対照区とした実験を最初の2週間行った。その後、処理区の南面と西面の2面の壁面全面（ただし窓部分を除く）に保水板を追加設置して後半2週間の実験を行った。

建物外では日射量と気温の測定を行った。それぞれの建物では、屋根面温度、天井面温度、天井面熱流、床面上1.5mの気温、床面上1.1mの気温、床面上1.1mの相対湿度、床面上1.1mの黒球温度、床面上1.1mの風速の測定を行った。使用した計測器は表-1にまとめた。

また、これらの測定結果から床面上1.1mのPMVと平均輻射温度を求めた。PMV（Predicted Mean Vote：予測平均申告）とは、温熱感に関する快適性を表す指数であり、1970年にデンマーク工科大学のFangerにより発表された⁴⁾。現在では、中庸な温熱環境を表す指標としてISOに規定されている世界標準指標である⁵⁾。PMV値を計算することにより、温度環境に関する6要素（空気温度、平均輻射温度、気流、湿度、着衣量、代謝量）の全てを勘案した温熱感を求めることができる。

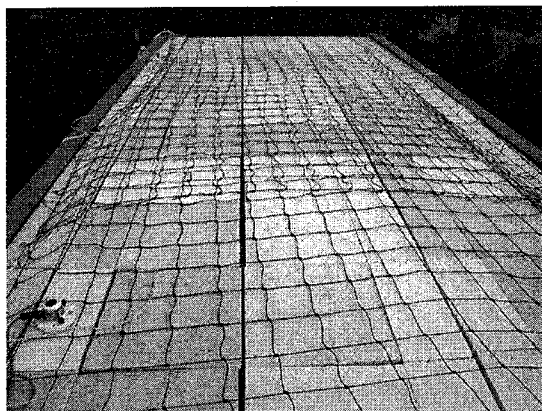


写真-1 コンテナハウス屋根面への保水板の設置状況

表-1 測定機器一覧

測定項目	測定機器
日射量	日射計（英公研機：MS-601）+ 自記電圧計（日電電機：DATAMini3945）
外気温	自記温度計（日電電機：DATAMini3633）
屋根面温度	自記温度計（日電電機：DATAMini3633）
天井面温度	自記温度計（日電電機：DATAMini3633）
天井面熱流	熱流センサー（HUKSEFLUX Co.：Heat Flux Plate）+ 自記電圧計（ 〃 ）
床面上1.5m気温	自記温度計（日電電機：DATAMini3633）
床面上1.1m気温	PMV計測装置（京都電子工業：AM-101）
床面上1.1m相対湿度	PMV計測装置（京都電子工業：AM-101）
床面上1.1mMR T	PMV計測装置（京都電子工業：AM-101）
床面上1.1m風速	PMV計測装置（京都電子工業：AM-101）

なお、本論では空気温度、平均輻射温度、気流、湿度は実測値を用いたが、着衣量は0.5 clo（夏服を想定）、代謝量は1.0 met（座ってくつろいでいる状態）と定数化して計算している。

PMV値は-3～+3までの数値で示され、+3は「暑い」、+2は「暖かい」を示す。PMV=0で、人間内部の熱生産と環境との熱損失が等しく熱的平衡状態となり、暑くも寒くもない温冷感となる。

(3) 実験期間および方法

実験は2005年8月15日から9月14日まで行われた。8月15日から28日までは屋根面のみに保水板を設置した。そのうち、8月15日から21日までは密閉して無空調状態で測定を行った。22日から28日までは設定温度28℃で連続空調を行いながら測定し、消費電力量を記録した。8月29日から9月14日までは、屋根面および南向き壁面、西向き壁面に保水板を設置した。そのうち、8月29日から9月4日までは密閉して無空調状態で測定を行った。4日から14日までは設定温度28℃で連続空調を行いながら測定し、消費電力量を記録した。

実験期間中は2日に1度の割合で保水板に散水し、十分な水分を与えた。散水は、保水板下部からの水の流出が認められるまで行った。

なお、本実験では、無空調状態では室温が40℃以上上昇し、居住環境として見た場合には非現実的な熱環境となるが、工事現場のコンテナハウスは無人時には無空調で密閉されており、このような状態は現実には頻繁に起こっていること、また、密閉時の高温化は室内備品の劣化促進や、再空調時の負荷増大などの問題を引き起こす原因になると考え、あえてこのような設定を行ったものである。

3. 結果および考察

(1) 気象条件

測定期間中は台風の通過などもあって、天候は不安定であった。そこで4期の測定期間中から、それぞれ最も天候条件が安定していた日を抽出し、主にその1日分のデータの比較を行うこととした。抽出したのはそれぞれ、2005年8月19日、27日、9月3日、13日である。

(2) 屋根のみ被覆・無空調時の比較

最も天候が安定していた8月19日の日射量変化を図-1に示す。8月19日は雲の通過が頻繁にあったが、日積算日射量は $18.8\text{MJ}/\text{m}^2$ と比較的大きな値を示した。温度測定の結果を図-2に示す。対照区の屋根面は最高で 59.9°C に達したが、保水板表面はおおむね 35°C 程度であり、最大温度差は 25.8°C であった。保水板表面は夜間は気温よりも低温となり、最大で気温よりも 2.9°C 低下した。日中は気温よりも若干高くなるが、最大でも 5.3°C 程度しか高くない。表面温度の低減効果は非常に高く、外気への顕熱量を減らすという点でヒートアイランド対策上、有効であると考えられる。

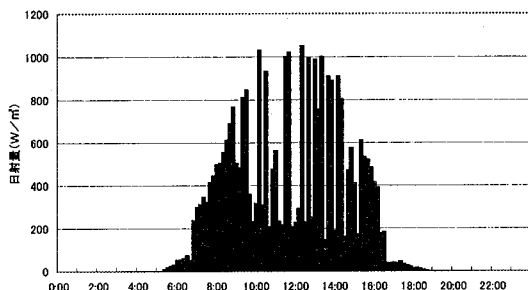


図-1 2005年8月19日の日射量変化

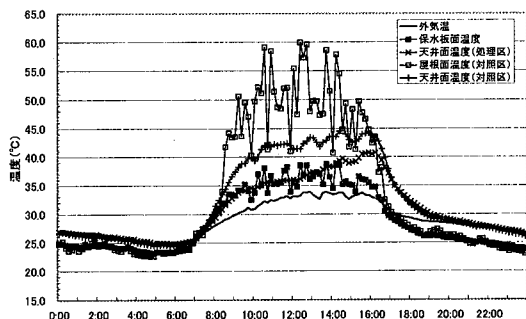


図-2 2005年8月19日の各部温度変化

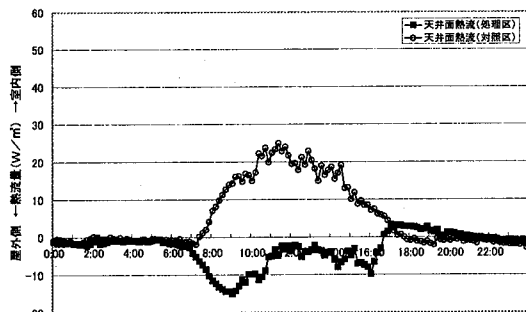


図-3 2005年8月19日の天井面熱流変化

室内側について見ると、天井面温度では最大 6.9°C 、室温では最大 2.5°C の差となった。PMVは処理区、対照区ともに日中は常に3.0(暑い)を示し、大きな差異は認められなかったが、平均輻射温度は、日中は処理区の方が低く、最大で 1.7°C の差となった。

天井面熱流の測定結果を図-3に示す。対照区では、日中は最大 $24.9\text{W}/\text{m}^2$ の熱が天井面から室内側に流入し、夜間は僅かに放熱となっている。処理区では、日中は最大で $15.1\text{W}/\text{m}^2$ の熱が天井面から外部に放出されており、熱の出入り関係は全く逆となっている。日積算値を求めると、対照区では $454.6\text{kJ}/\text{m}^2$ の建物内への吸熱、保水板を設置した処理区の場合は $261.7\text{kJ}/\text{m}^2$ の放熱となっている。これは保水板の設置により屋根面が低温になっているのに対して、建物側面等からの流入熱等の影響により室温が天井面よりも高温になるため生じる現象であり、屋根面冷却の効果を端的に表す結果であると考えられる。

(3) 屋根のみ被覆・空調時の比較

最も天候が安定していた8月27日の日射量変化を図-4に示す。8月27日はほぼ1日中快晴となり、理論値に近い日射量変化となった。日積算日射量は $24.4\text{MJ}/\text{m}^2$ と大きな値を示した。

温度測定の結果を図-5に示す。屋根面で最大 27.5°C 、天井面で最大 7.1°C の差が生じた。空調設定値はともに 28°C であるが、室温に若干の差が生じていた。これは空

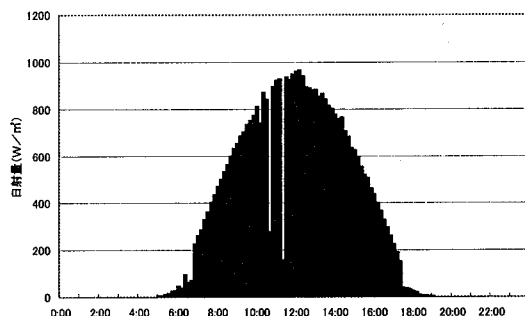


図-4 2005年8月27日の日射量変化

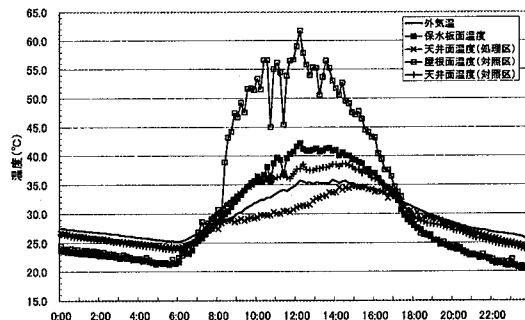


図-5 2005年8月27日の各部温度変化

調機が空気取り入れ口の気温で温度制御を行っているためであり、別途設置した天井面付近の温度センサーによって、空気取り入れ口付近の気温は等しい事を確認している。

PMVの測定結果を図-6に示す。空調が作動していない夜間においては処理区の方がPMVは高く、これは室温等の測定結果と同じ傾向である。日中は処理区がPMV=1.0~1.5程度であるのに対して、対照区は1.0付近から正午にかけて徐々に低下し、-0.5程度にまで低下し、その後再び1.0程度に戻った。図-7の室温、平均輻射温度の変化を見ると、対照区の室温が正午にかけて徐々に低下し、25℃程度まで下がっていることがわかる。これは前述したように、空調機の空気取り入れ口が天井付近に位置し、空調機は吸気気温で出力コントロールを行うため、天井面付近ではともに気温28℃に保たれているものの、PMVを測定した床面上1.1mといった低い位置では過剰冷房状態となってしまうためと考えられる。室温と平均輻射温度との差を見ると、対照区で平均輻射温度が顕著に高いことが分かる。これも天井面の高温化が影響しているものと考えられる。

天井面熱流の測定結果を図-8に示す。対照区では、日中は最大53.9W/m²の熱が天井面から屋内側へ流入し、保水板設置区との差が非常に大きく現れている。空調の影響で天井面温度が屋根面温度よりも低いため、保水板

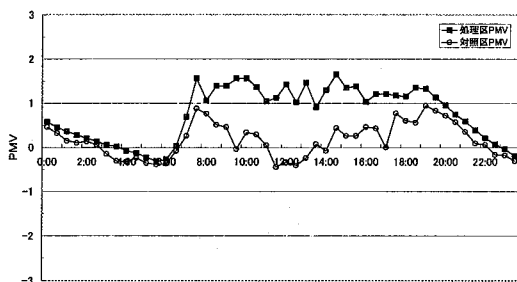


図-6 2005年8月27日のPMV比較

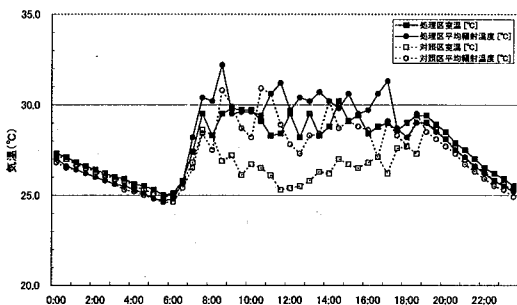


図-7 2005年8月27日の室温、平均輻射温度比較

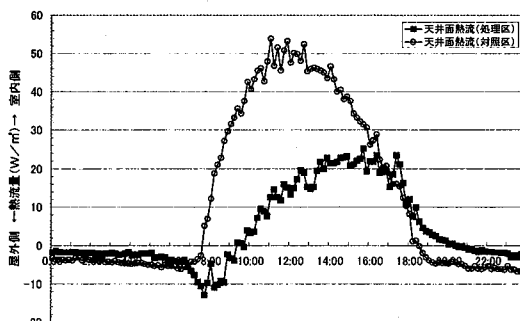


図-8 2005年8月27日の天井面熱流変化

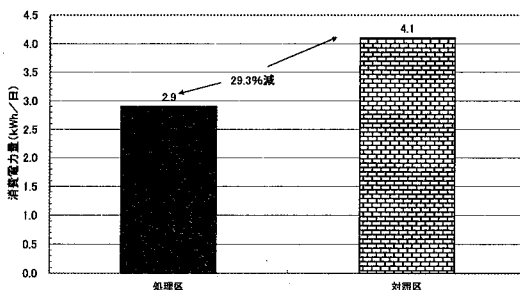


図-9 2005年8月27日の消費電力量比較

被覆区も室内側への放熱となるが、最大熱流は23.2W/m²であり、天井面からの熱流は対照区の半分以下である。日積算熱量は対照区1086.6kJ/m²、保水板設置区384.5kJ/m²で、保水板設置により64.6%減となった。

また、空調による1日の電力消費量は図-9のように対照区で4.1kWh、処理区で2.9kWhとなり、電力消費量は29.3%減となった。なお、PMV測定を行った床面1.1m付近では対照区側が過剰冷房状態となっているため、これが実際に使用している建物での省エネルギー効果を直接的に表すことにはならない。

次に全測定期間中、最も天候条件が安定していた8月27日のデータを用い、処理区と対照区の温度差と日射量との関連性について解析を行った。8月27日の測定結果のうち、日射が雲に遮られた2データを除いて、屋根面温度と気温との差（屋根面温度-気温）と日射量との関連について回帰分析を行った結果が図-10である。それぞれ決定係数は0.95以上となり、日射量との相関は強い。回帰式から、保水板表面温度が気温と等しくなり顕熱ゼロとなるのは日射量360.4W/m²、無処理の鉄板面の場合は152.1W/m²と計算された。日射量100W/m²当たりの温度上昇量は、保水板で1.1℃、鉄板面で2.8℃となった。

同様に、処理区と対照区の屋根面温度、天井面温度との差（対照区-処理区）と日射量との関連を調べた結果が図-11である。この場合でも決定係数は0.95以上とな

り、日射量との相関が強い。日射量900W/㎡時には、屋根面で21.9℃、天井面でも5.7℃の温度差が生じる計算となり、これが保水板の蒸発潜熱と反射率の増加によってもたらされた効果と考えられる。なお、実測上の鉄板面の反射率は39.1%で、保水板よりも10%以上少ない。

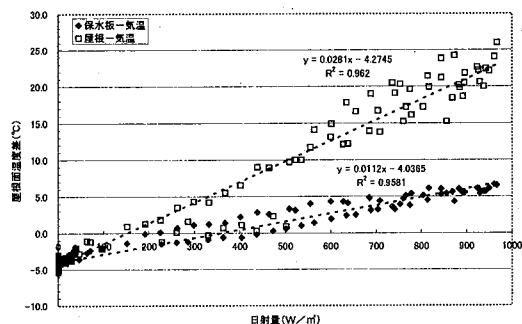


図-10 屋根面温度と日射量との関係

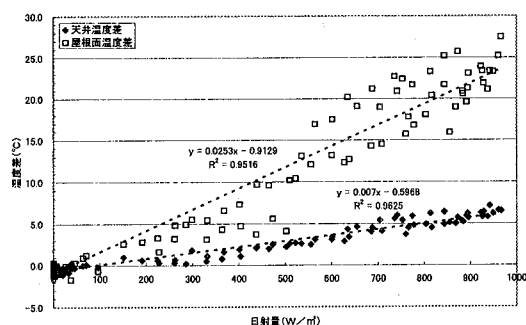


図-11 処理区・対照区間の屋根面と天井面温度の比較

(4) 屋根と壁を被覆・無空調時の比較

最も天候が安定していた9月3日の日射量変化を図-12に示す。9月3日はほぼ1日中快晴となり、日積算日射量は18.7MJ/㎡となった。

温度の測定結果を図-13に示す。屋根面で最大27.6℃、天井面で最大10.4℃の差が生じた。

PMVの測定結果を図-14に示す。日中はともに3.0に達したが、処理区の方が1.5時間遅れて3.0に達し、夕方でも早く3.0以下になった。平均輻射温度には大きな差が生じ、最大6.1℃差となった。

天井面熱流の測定結果を図-15に示す。対照区では、日中は最大29.3W/㎡の熱が天井面から屋内側に流入し、夜間は5.0W/㎡程度の放熱となっている。処理区では、日中は最大7.2W/㎡の熱が天井面から外部に放出されており、8月19日と同様に熱の出入り関係は逆となる。1日分を積算すると、対照区は366.3kJ/㎡の吸熱、処理区は-236.1kJ/㎡と放熱になっている。壁面2面を保水板で被覆した場合でも、室内に侵入した熱を、天井面から外

部に放出していることになる。

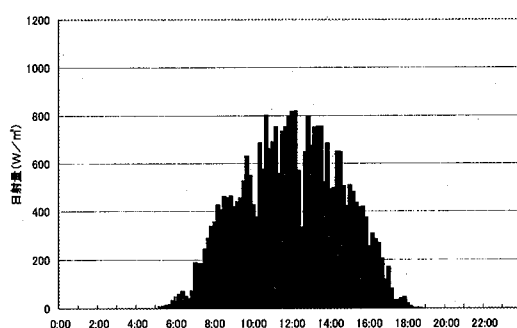


図-12 2005年9月3日の日射量変化

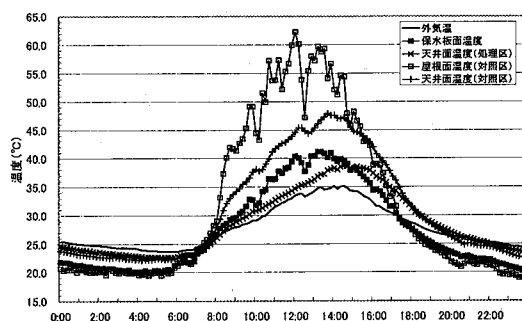


図-13 2005年9月3日の各部温度変化

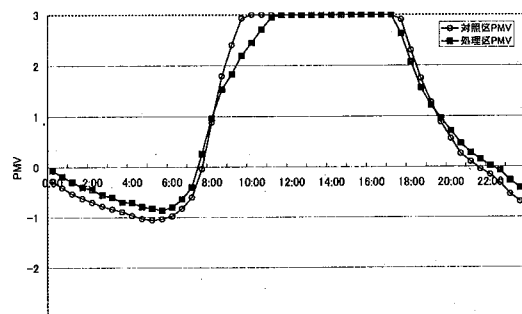


図-14 2005年9月3日のPMV比較

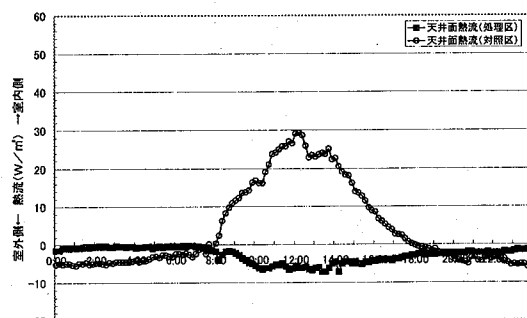


図-15 2005年9月3日の天井面熱流変化

(5) 屋根と壁を被覆・空調時の比較

最も天候が安定していた9月13日の日射量変化を図-16に示す。9月13日は雲の通過はあるものの、ほぼ晴となり、日積算日射量は18.5MJ/m²と比較的大きな値となった。

温度の変化を図-17に示す。屋根面で最大24.3℃、天井面で最大6.2℃の差が生じた。

PMVの測定結果は、屋根面のみを被覆した場合と同様に、処理区の方が高い値を示した。平均輻射温度、室温も同様に処理区の方が高く、平均輻射温度と室温との差は、処理区の方が小さかった。これらは屋根のみを被覆した場合とまったく同じ結果である。

天井面熱流の測定結果、対照区では、日中は最大52.4 W/m²の熱が天井面から屋内側に流入していた。しかしながら処理区のセンサーがこの期間故障しており、この日の熱流差を解析することはできなかった。

また、空調による1日の電力消費量は図-18のように対照区で3.9kWh、処理区で2.1kWhとなり、電力消費量は46.2%減となった。なお、この値は屋根面と壁面をともに被覆した場合の複合的な効果によるものと考えられ、壁面を被覆した分の単独効果は分離できないものと考えられる。壁面のみを被覆効果の検証に関しては今後の課題としたい。

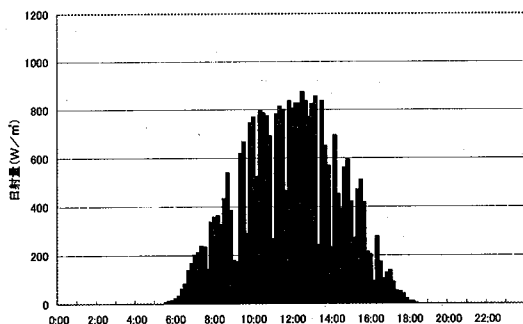


図-16 2005年9月13日の日射量変化

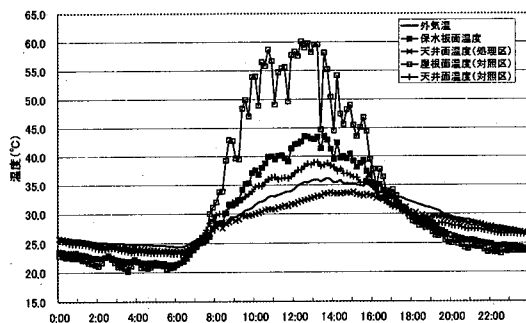


図-17 2005年9月13日の各部温度変化

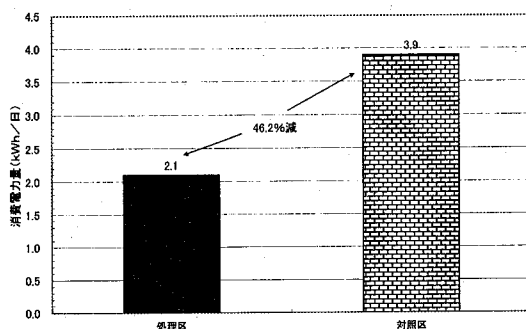


図-18 2005年9月13日の消費電力量比較

4. 総合考察

以上の実験結果から、保水板を屋根面あるいは壁面に貼り付けることによって、明確な熱遮蔽効果が得られることが示された。同一規格のコンテナハウスを用いて、屋根面をメキシコマンネングサで緑化した場合の実験結果では、天井面温度で最大7.2～4.3℃、室温で最大5.1～2.2℃の差が生じた⁶⁾。同一気象条件下での測定ではないため厳密な比較は難しいが、今回の屋上のみを被覆した場合の測定結果でも同等以上の温度差が生じていることから、屋上緑化に劣らない室内熱環境改善効果が得られたものと考えられる。

実物建物を用いてエアコンの消費電力量を比較した研究事例は稀であるが、例えばRC造4階建ての建物屋上を、ポーラスコンクリート基盤を用いてコウライシバで緑化した場合で7.7%の削減と報告されている⁷⁾。また、工場の折板屋根を芝類で緑化した前後の夏季の電力消費量比較から、約30%の削減が行われたという報告などがある⁸⁾。今回は晴天1日のみの集計であるが、屋根面のみ設置で29.3%削減、屋根と壁面のうち2面を被覆した場合で46.2%削減となり、非常に大きな削減効果が得られた。使用したコンテナハウスの断熱性能はそれほど高いものではないため、RC造などと比べると効果が大きく現れるものと考えられるが、十分に実用レベルの削減効果が得られたものと判断できる。

保水板は軽量で施工性が良好であるため、建築物一般に広く使える可能性が高く、建物表面温度を低下させることによる顕熱量の低減、また室内冷房負荷の低減による排熱量の低減も期待でき、都市のヒートアイランド対策上も有効であると思われる。

なお、本研究に用いた保水板は試作段階であり、反射率や熱抵抗値、蒸発特性などが一定していない。今後、製品化に至った段階で、それらの基礎的な特性値を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 東京都環境局：ヒートアイランド対策ガイドライン, pp11-20, 2005.
- 2) 萩原伸治他：保水性建材の蒸発性能に関する実験：日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.637-638, 2005.
- 3) 三坂育正, 成田健一：保水性舗装による都市暑熱環境緩和に関する研究－その2－：日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.639-640, 2005.
- 4) Fanger, P.O. : Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publishing Company, pp.1-85, 1982.
- 5) American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering : ASHRAE HANDBOOK, pp.242-243, 1995.
- 6) 山田宏之他：薄層基盤屋上緑化がプレハブ建物の屋内熱環境に与える影響について：平成 13 年度日本造園学会関西支部大会研究発表要旨, pp.51-52, 2001.
- 7) 唐沢明彦, 土田 保：建築物の熱環境に及ぼす軽量ポーラスコンクリート屋上緑化システムの効果：日本緑化工学会誌 27 (1) , pp.205-208, 2001.
- 8) 関西電力（株）：RELATION, 2003-9, pp.8, 1995.

RESEARCH ON HEAT INSULATIVE EFFECT OF THE LIGHTWEIGHT AND HIGH WATER HOLDING PROPERTY BOARD

Hiroyuki YAMADA, Akinori TANAKA and Yoshio OKUDA

We experimented using the lightweight and high water holding property board which can be installed in the container house roof or the surface of a wall. Change of indoor thermal environment and the mitigation effect of air-conditioning load were analyzed as follows.

- 1) The temperature of a building roof side was reduced by 24.3-27.6 degrees of celsius.
- 2) The temperature of a building ceiling side was reduced by 6.2-10.4 degrees of celsius.
- 3) An indoor mean radiant temperature was reduced by 1.7-6.1 degrees of celsius.
- 4) The reduction effect of 46.2% of the amount of air-conditioning electric power was acquired by the case where the roof surface and the 2nd page in a surface of a wall is covered with the board, and in case where only a roof surface is covered, 29.3%.