

## 蒸発冷却利用の環境親和型クラディングのための基礎実験 Basic Experiments for Symbiotic Evaporative Cooling Cladding

正会員 ○吉浦 温雅 (神奈川大学) 技術フェロー 奥山 博康 (神奈川大学)

非会員 渡辺 慎 (株式会社平成建設)

Hiroyasu OKUYAMA\*<sup>1</sup> Atsumasa YOSHIURA\*<sup>1</sup> Shin WATANABE\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Kanagawa University \*<sup>2</sup> HEISEI Corporation.

Synopsis: In this study, basic experiments and predictive calculations using a terracotta wine cooler pot were performed to build a predictive calculation model for verifying the performance of cladding that uses evaporative cooling by internal water. Experiments on pots that accumulate water showed that the water temperature was lower than room temperature by about 5 °C. The results from the calculation model for predicting the evaporative cooling effect of the pot were consistent with the experimental results. Thus, the model is expected to be suitable for verifying the performance of the cladding.

### 1. はじめに

蒸発冷却効果は、省エネルギーだけではなく、都市温暖化問題の改善にも役立つと期待されている。道路を透水性と保水性の塗装にし、建物の外装も日射吸熱を蒸発冷却する技術開発<sup>1)</sup>が行われている。この様に建築物の日射吸熱は、顕熱だけでなく、水蒸気すなわち潜熱で放熱するのが効果的だと思われる。本研究では、通気層をもつ外断熱の外装材として、図1に示す様な素焼きで内部を導水空洞に利用できるクラディング<sup>2)</sup>の可能性を検討する。しかし今回はこの種の特種な外装材の入手が間に合わず、代わりに図2の様なお使い方をした素焼きのワイン・クーラー壺<sup>3)</sup>(以下壺)を用いて、その蒸発冷却効果を実験し、またこれを予測する計算モデルの検証を行った。

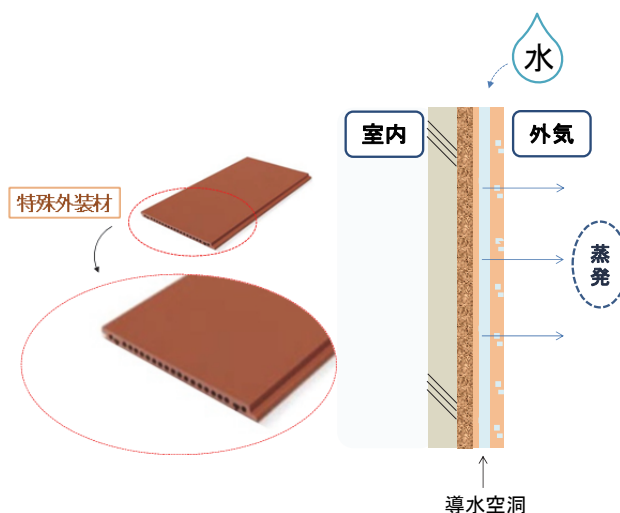


図1 素焼きで内部に導水空洞を持つクラディング

### 2. 素焼きの壺を用いた蒸発冷却効果の実験

#### 2.1 実験の概要

本実験は神奈川学横浜キャンパスの実験室で行った。図3は本実験時の様子を示している。内径φ120 mm、高さ175 mmの壺を3つ用意した。1つは壺に水を入れ蒸発冷却するもの(以下壺Ⅰ)、2つめは水をポリエチレンの袋に入れた上で壺に入れて、壺側面からの蒸発冷却は起きず、袋の水面だけから蒸発するもの(以下壺Ⅱ)、3つめの壺は水を入れたポリエチレンの袋は密閉し、水面からの蒸発も起こらないようにしたもの(以下壺Ⅲ)であり、それぞれに水を1L入れた。壺表面温度、壺内水温、室内温度の測定は熱電対ケーブルを利用し、室内湿度は超小型データロガーで測定し記録した。測定時間は1分間隔、24時間連続で計測し、測定期間を12月18日0:00から12月21日0:00までの3日間とした。

#### 2.2 実験の結果

図4、5と6には、それぞれ壺Ⅰ、ⅡとⅢの実験結果

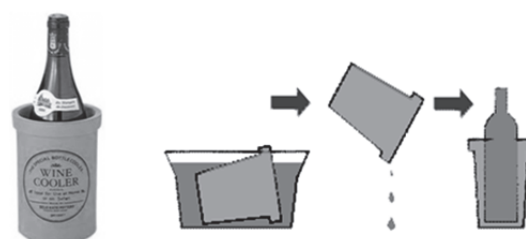


図2 素焼きのワイン・クーラー壺

を示している。室内温度は20°C程度、室内湿度は30%程度で保たれていた。壺Ⅰの壺内の水温は15°C程度で推移している。壺の表面温度は壺内の水温と比較して0.3°C程度とわずかに高くなっている。壺Ⅰの壺内の水温は室温と比較して平均で4.9°C低くなっている。

次に壺Ⅲの実験結果を見ると、壺Ⅲの水温は20°C程度で推移しており、0.1°C程度水温が室温より高い結果



図3 蒸発冷却効果を検証する実験時の様子

となっている。壺Ⅰと壺Ⅲにおける壺内の水温を比較すると、壺Ⅰが壺Ⅲよりも5°C程度低くなっており、壺Ⅰで蒸発冷却が生じていることが確認できる。

また壺Ⅱの実験結果では表面温度と壺内水温はともに19°C程度で変動している。水温は室温より平均で0.6°C低くなっている。壺Ⅱと壺Ⅲにおける壺内の水温を比較すると、壺Ⅱが壺Ⅲよりも0.7°C程度低くなっており、壺Ⅱの水面からも蒸発冷却が生じていることが確認できる。

以上から、水を入れた壺において一定の蒸発冷却効果が得られることが確認できた。またこれらの実験値から、後述する様に、壺の側面と水面の二種の蒸発面其々の湿気伝達率の推定を行うことができる。

### 3. 蒸発冷却効果の予測計算

#### 3.1 予測計算のモデル

熱と水蒸気の移動の構造を、回路網モデルとして自由に組み、蒸発冷却も考慮できる予測計算プログラムNETSを用いて、簡単な試行モデルを構築し、実験値と計算値の比較検討を行い、本モデルによる蒸発冷却効果の再現精度を検証した。

室内の温・湿度は境界条件として実験値を与えた。不確かな湿気伝達率と濡れ面積率の推定については、まず壺Ⅱの水温の計算結果が実験結果と一致するように水面の湿気伝達率を調整した後に、壺Ⅰの水面にも同じ湿気伝達率 $0.00125 \text{ kg/m}^2 \text{ s (kg/kg)}$ を設定した。次に、壺Ⅰの側面の濡れ面には文献<sup>4)</sup>を参考にして $0.0055667 \text{ kg/m}^2 \text{ s (kg/kg)}$ を設定した<sup>5)</sup>。そして、水温の計算結果が実験値と合うように、濡れ面積率を調整し、これを0.55とした。三つの壺は図7の様に濡れ面と乾き面とに分けて熱・水蒸気回路網を作成した。壺Ⅰの側面には濡れ面と乾き面が斑に混成しているが、熱と水蒸気の移動の回路網モデル其々について拡大して描き図8に示す。

NETS内では、伝熱、換気、水蒸気(ガス)移動の各回路網モデルの節点番号の対応配列を持つことで、これら三つの系の連成を可能にしている。ただし同時的連成ではなく計算時間間隔 $\Delta t$ の遅れを伴う連成となる。水蒸気回

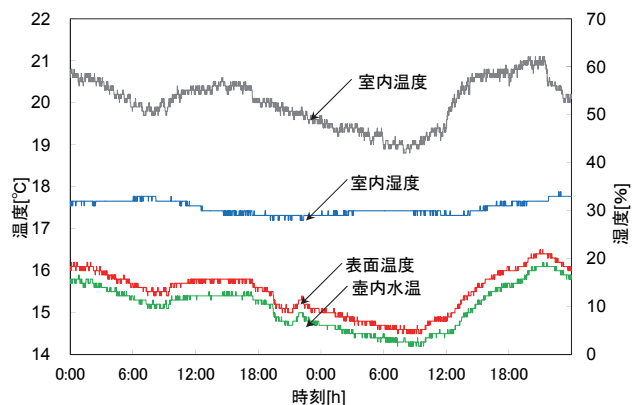


図4 壺Ⅰの実験結果

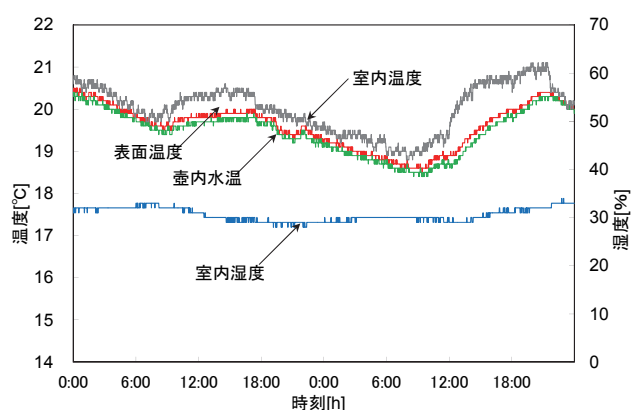


図5 壺Ⅱの実験結果

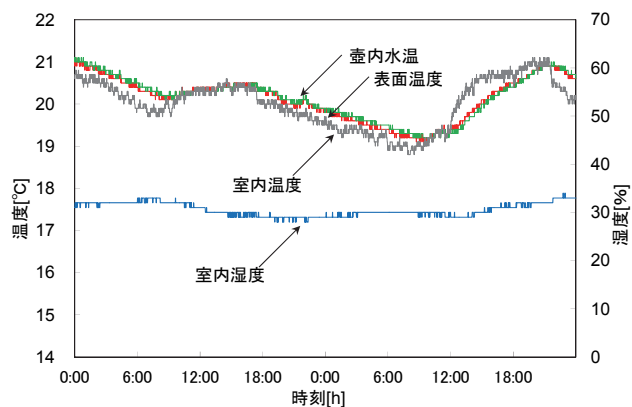


図6 壺Ⅲの実験結果

路網の蒸発面節点は、対応する熱回路網節点の温度における飽和絶対湿度を持つ。この雰囲気の空気絶対湿度との差に湿気一般化コンダクタンスを乗じて蒸発量が計算される。蒸発潜熱は、蒸発面温度を $\theta$ として、 $(2501.1 + 1.846 \theta) \text{ [kJ/kg]}$ を乗じて冷却量を計算する<sup>4)</sup>。冷却量は熱回路網に与えられて温度が計算される。これらの相互影響の計算は、二者の系で $\Delta t$ の遅れを持って考慮され、非定常の計算を進めていく。もし定常計算する場合には、二者の系の繰り返し収束計算が行われる。

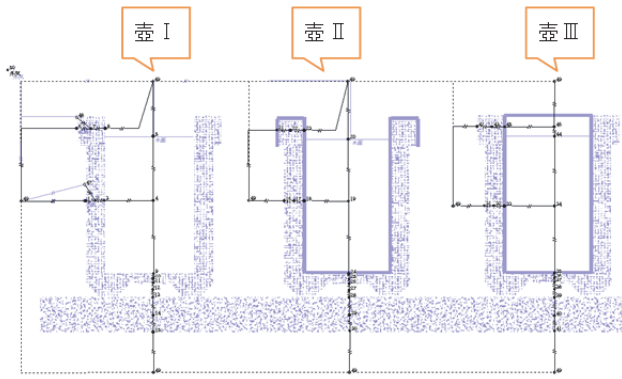


図7 計算プログラム NETS の熱・水蒸気回路網

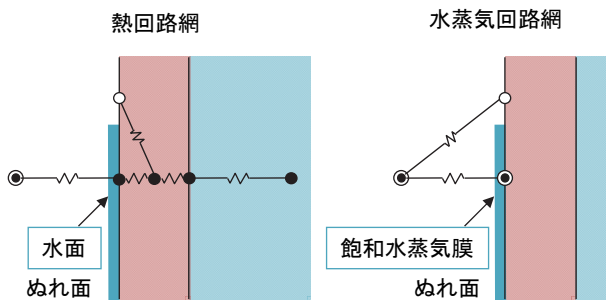


図8 熱・水蒸気回路網の詳細

### 3.2 予測計算の結果

非定常の予測計算では、実態と異なる初期温度から始めなければならないので、測定値との比較には、初期の1日は助走期間として利用できない。図9に示す様に壺Ⅰにおいて水温は室温より平均で4.5°C低く、図10に示す様に壺Ⅱにおいて水温は室温より平均で0.5°C低く、図11に示す様に、壺Ⅲにおいては水温の平均値は室温と同じになった。これらから、予測計算プログラム NETS を用いた単純な試行モデルながらも、測定値によく一致する予測計算結果が得られたと考えられる。

次に壺内水温の実験値と計算値を見る。壺Ⅰの水温の実験値と計算値では0.4°Cの差が生じている。壺Ⅰでは他の壺に比べて比較的に大きな冷却が起こっているため、壺内での水温にも比較的に大きな上下温度分布が生じやすいからと考えられる。

壺Ⅱでは実験値と計算値との差は0.1°C程度となり、概ね良好な結果となった。壺Ⅲについても実験値と計算値との差は0.1°C程度となり、概ね良好な結果となった。また壺Ⅲでは、実験結果で見られた室温変化に対する壺と水の温度変化の時間遅れが、予測計算モデルでも再現できているので、予測計算モデルにおいて設定した壺の材料の比熱と密度と熱伝導率、および水の熱容量が適切であったと思われる。

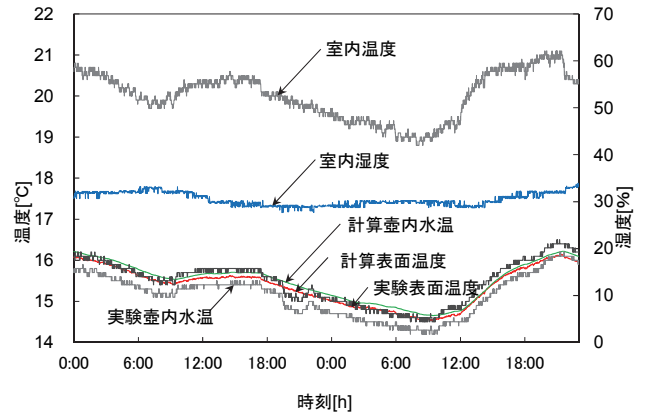


図9 壺Ⅰの計算結果

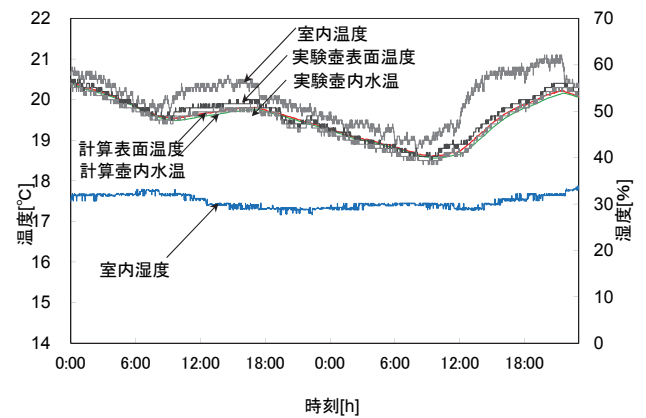


図10 壺Ⅱの計算結果

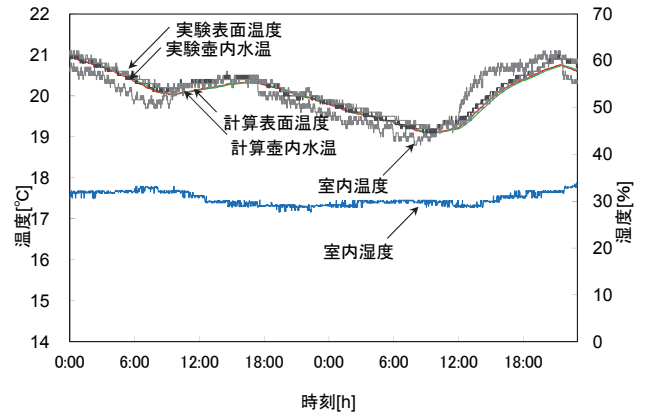


図11 壺Ⅲの計算結果

### 4. ワイン・クーラー壺の機能としての検討

壺のワイン・クーラーとしての使い方について、次の3通りの方法を比較検討した。(1)水を貯めない壺を使用：壺を予め水に十分浸したあと壺の中の水を抜いてからワイン瓶を入れてワインを冷やす。(2)水を貯めた壺を使用：壺の中に水を溜めた状態でワイン瓶を入れて冷やす。(3)乾いた壺のままの状態ワイン瓶を入れておく。測定時間は1分間隔、24時間連続で計測し、測定期間を1日間とした。壺外表面温度、ワイン瓶内水温、室内温

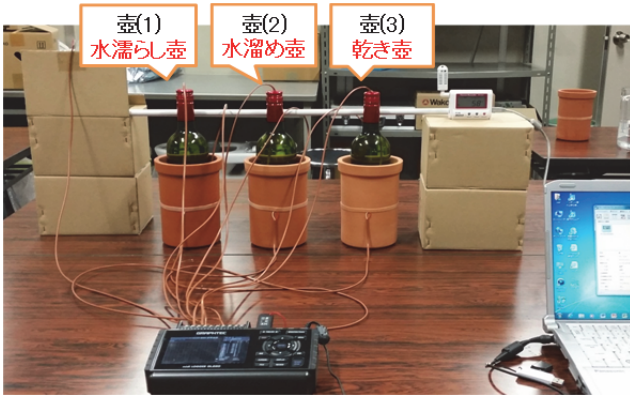


図12 ワイン・クーラーの使い方を検討する実験時の様子

度の測定は熱電対ケーブルを利用し、室内湿度は超小型データロガーで測定し記録した。

一定の冷却効果が得られたのは実験開始からおおよそ9時間後であり、その後おおよそ6時間冷却効果が持続した。冷却効果が得られた6時間を検討する。

検討する期間の室内温度は20°C程度、室内湿度55%程度で保たれている。(3)ワイン・クーラーの壺そのままの状態の壺では、室内温度・壺表面温度・ワイン壺内水温は1°C以内の範囲におさまって推移している(図15)。(1)水を貯めない壺(図13)では冷却効果が持続している間の室内温度とワイン瓶内水温の差は平均して3.0°Cであった。(2)水を貯めた壺(図14)では室内温度とワイン瓶内水温の差は平均して3.3°Cであった。実験により(1)と(2)の測定値は(2)の方が(1)よりも0.3°C冷却効果が大きい結果となった。ワインを冷やすことに関して水温が1~2°C変わるようであれば味に変化が出てくるが、0.3°Cという今回の実験結果によれば大きな差はないと言える。従って実用上は(1)と(2)どちらの方法でも大差ない冷却効果が得られると思われる。

## 5. まとめ

素焼きのワイン・クーラー壺を用いた蒸発冷却効果の検証実験により、一定の蒸発冷却効果を確認することが出来たことから、同素材の内部に導水空洞を持つクラディングは、建物の外装の日射吸熱を蒸発冷却する有効な技術になり得ると期待される。

また、本報で示した予測計算のモデルは蒸発冷却利用の環境親和型クラディングの検討をするために有用である。ただし濡れ面積率と湿気伝達率については状況に応じた経験値あるいは定め方をさらに研究する必要がある。

ワイン・クーラー壺としての使用方法としては、必ずしも壺に水を貯めて瓶を浸す必要はなく、壺を予め濡らしておくだけでも十分と考えられる。

## 参考文献

- 1) 山梨知彦 他：高保水性陶器を用いた都市も冷やす外装システムの開発，建設の施工企画，日本建設機械施工協会，739号，pp40-44

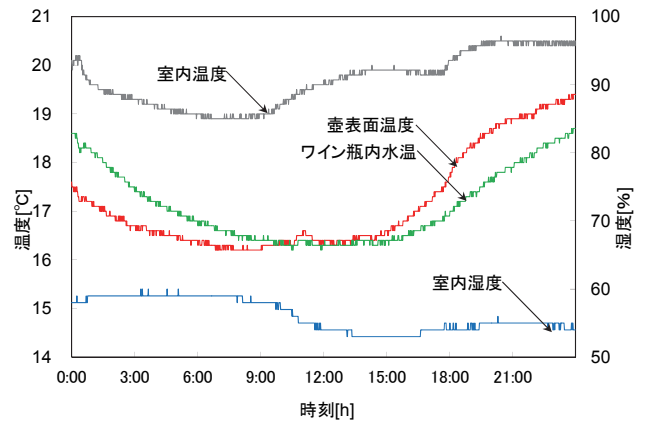


図13 水を貯めない壺の実験結果

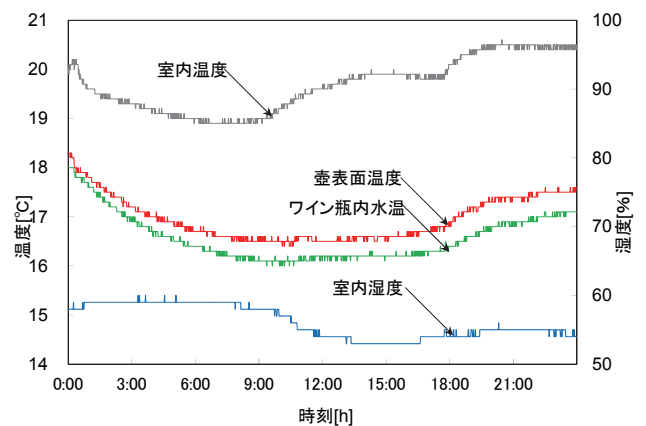


図14 水を貯めた壺の実験結果

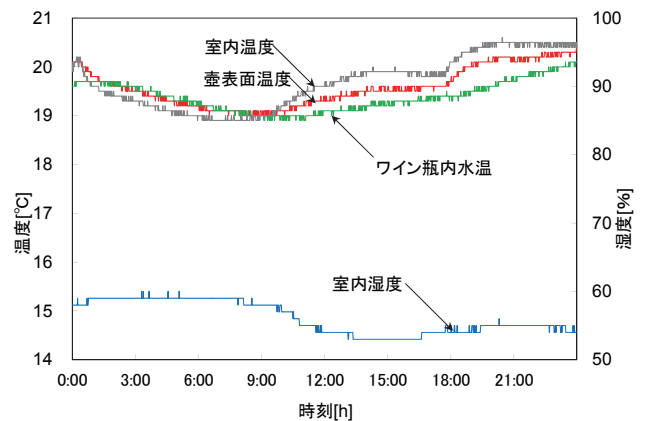


図15 ワイン・クーラーの壺そのままの状態の実験結果

- 2) 例えば、Leiyuan Building Material Co., Ltd. : Red Natural Clay Terracotta Panel, <http://leiyuan.en.made-in-china.com/>, 2016年5月13日閲覧
- 3) 日豪産業有限会社：キッチン・ギフトコレクション, <http://www.hi-ho.ne.jp/nichigo/hwp7-1.htm>, 2016年5月13日閲覧
- 4) 田中俊六 他：最新建築環境工学 改訂4版，株式会社井上書院，p246, p251
- 5) 木村建一：建築設備基礎，国際人間環境研究所，pp28-29