

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

バイオスキン

山梨 知彦・羽鳥 達也・川島 範久

本稿では、内部の熱負荷を低減しつつ、都市のヒートアイランド現象の抑制にも寄与する新しい外装システムで、2011年3月に竣工した大手電機メーカーの研究開発型オフィスビルにおいて採用された気化冷却ルーバーについて報告する。本システムは、管状の高保水性陶製ルーバーの内部に雨水を流し、打ち水効果で周辺の空気を冷やす外装システムである。ビルの北東面に「すだれ」のように配された本システムは、建物の表面温度を10℃、建物周囲の空気を約2℃低下させる見込みである。

キーワード：外装システム、ヒートアイランド抑制、雨水利用、高保水性陶器、テンション構造

1. 全体計画における気化冷却ルーバーの位置づけ

大崎駅西口（東京都品川区）に大手電機メーカーの新しい研究開発型オフィスが2011年3月に竣工した。敷地はトリニトンカラーテレビをはじめ数々のエレクトロニクス製品を生んだ旧大崎西テクノロジーセンターの跡地。延床面積約12万平米、高さ約140m、地上25階、地下2階の建築である。

このオフィスの最大の特徴はワークプレイスである。7階から24階まで積層された基準階の3000平米のワークプレイスには柱と垂れ壁が一切ない。アウトフレームとすることで柱を外に追い出し、検証法による性能設計（ルートC）によって防煙区画を不要とすることで、この完全にユニバーサルなワークプレイスが完成した。ワークプレイスの周囲にはバルコニーを配し、ワークプレイスからバルコニーに出られるように扉を設けている。また、法的に必要な2つの特別避難階段とは別に、バルコニー南端に地上から屋上まで続く屋外階段を設けた。このバルコニーと屋外階段は補助的な避難ルートとして、またメンテナンスルートとして機能する。

そのバルコニーの北東面に今回紹介する気化冷却ルーバーは配されている。このスキンはバルコニーの手すりとして、午前中の日除けとして働く。そして気化冷却効果により内部の熱負荷低減に寄与すると同時にヒートアイランド抑制に寄与するものとして機能する。また、外に追い出された柱梁を耐火塗料を塗っただけの鉄骨表しとすることで、クラディングをミニ

マム化して、建設時の使用部材を抑えた。気化冷却ルーバーの繊細な表情は、長大なボリュームによる圧迫感の軽減にも寄与している。

ヘビーデューティな実験室のためのフロアも含め一棟にまとめることによって、建物のフットプリントを小さくし、周囲に大きな森を設けた。目黒川周辺に位置する大崎は縄文時代には海の底にあった谷地形の土地である。南からの卓越風に対して見付面積が小さい

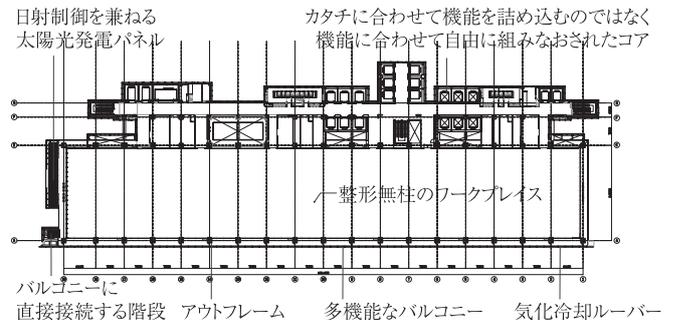


図-1 基準階平面図 (scale = 1 : 2000)

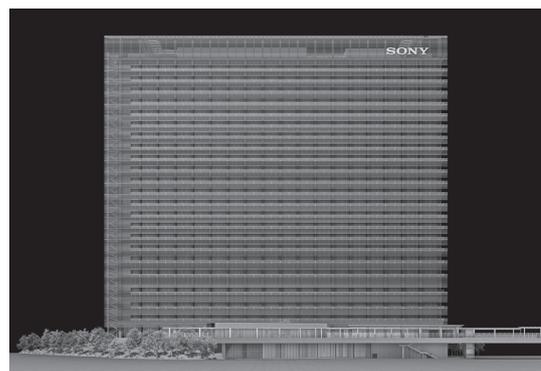


写真-1 建物立面

配置計画となっており、冷熱源である東京湾から吹いてくる冷たい風を遮ることなく、周辺に設けた広大な森とこの気化冷却ルーバーによってさらに冷やして後背敷地へ受け渡すことで、都市のヒートアイランド現象抑制に寄与する計画である。

2. 開発経緯

本プロジェクトは2007年夏のコンペ提案から始まった。品川駅港南口(東京都港区)に建つ本メーカー本社ビルよりも環境性能の高いビルが求められた。メインファサードが北東向きであり、周辺に高層ビルが建ち並ぶため、ソーラーパネルや壁面緑化などの既往の環境提案などに不向きな場所、プログラムであった。

一方、隣に建つThinkParkでは、熱環境シミュレーションを用いて効果予測をしながら緑地を計画することで、ヒートアイランド現象を抑制するという課題に積極的に取り組んでいた。昨年も7月だけで1万7680人の熱中症による救急搬送者が出るなど、ヒートアイランド現象は東京では極めて深刻な問題となりつつあった。また、ゲリラ豪雨といったような問題も引き起こされていた。

緑化の展開範囲には限界があるが、建物自体が緑地のような効果を持つ手法はないかと考えた。樹木を植えるように大きな建築をつくることはできないか。利己的なだけでなく、直接的に利他的である建築、都市環境と接続する建築はつくれないか。

そこで、日本古来の打ち水や、インドの水売りの素焼きの壺、緑地が持つクールスポットの効果が木陰により冷えた土によることなどからヒントを得て、多孔質陶器管内に雨水を通して表面から蒸発させるシステムを考案した。

3. 開発プロセス

—顕微鏡～地球スケールの検討—

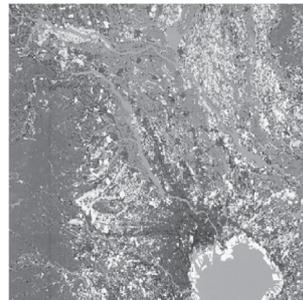
この技術を実現するためには、早い段階からのメーカーや研究機関とのコラボレーションが必要で、顕微鏡スケールから地球スケールまでの幅広い範囲の検討が必要であった。

(1) 素材スケール／どれだけ冷えるのか？

コンペでのブレインストーミングでこのアイデアが出た後、早速陶器メーカーに通常のテラコッタルーバーより保水性の高い試作品の作成を依頼した。口の字型断面の陶器サンプルにプラスチック板で底をつくり、そ

の中に水を入れてしばらくした後に指を突っ込んでみた。すると、明らかに水温が下がっていることを体感することができた。すぐにサーモカメラで表面温度を確認したところ、ワークプレイスの空調環境においても3℃程度水を入れていないものと比べて表面温度が低くなっていることが確認できた。実際の外部環境となればさらなる効果が期待できると考えた。

翌年夏、東京大学建築環境系研究室の協力を得て工学部一号館の屋上においてモックアップ実験を行った。テラコッタルーバーとアルミルーバーのカットサンプルを実際の計画と同じ向きに設置し、表面温度、近傍温度、蒸発量、周辺環境の温湿度、風速の時間変化を測定した。表面温度はアルミルーバーと比べて5～6℃程度低下することが確認できた。また、外部環境と表面温度・蒸発量の相関関係を把握した。



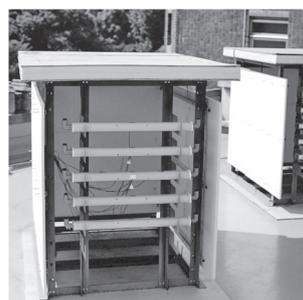
写真—2 関東平野熱画像



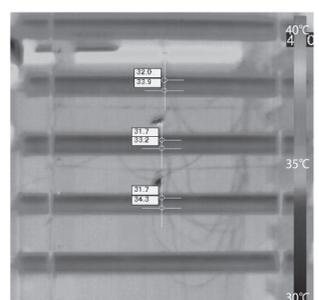
写真—3 インド素焼き壺



写真—4 樹木を植えるように大きな建築をつくる



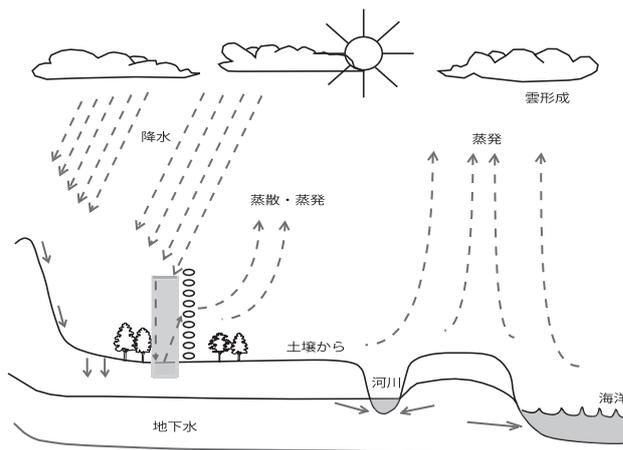
写真—5 モックアップ



写真—6 熱画像(実測)

(2) 都市スケール／超高層に展開したときの効果は？

実測した外部環境と表面温度の相関関係から実験環境を表面温度シミュレーション（A&A サーモレンダ）上で再現した。それを今回の超高層ビルの表面に展開したところ、最暑日においては表面温度は10℃程度下がることが確認された。このデータを基に気流解析を行ったところ周辺歩行域、エントランスホール近辺においては気温が2℃低下することが確認された。また、この長大な壁面から冷輻射による影響も大きいことがわかった。また、各層におけるバルコニー空間～ガラス面近傍温度も1～2℃低下し内部熱負荷低減にも十分な効果があることが確認できた。



図一 2 都市の水循環の正常化に寄与する建築

(3) 都市地球スケール／必要な気温低下能力は？

世界の平均気温はここ100年で0.7℃上昇した。これは地球温暖化が主な原因と考えられているが、一方で東京の年平均気温は3.0℃上昇している。他の中小規模の都市の平均上昇気温1℃に比べて2℃大きいのが、この温度差はヒートアイランド現象によって生まれている。ここから「周辺環境温度2℃低下」を目標能力と設定することが妥当と考えた。ただし、これはあくまでこの建物の周囲のみであることに注意されたい。東京の都市全体で取り組んでいかない限り本質的な解決とはならない。ここでの取り組みがキッカケとなり、こういった取り組みが広がっていくことを期待する。

ヒートアイランド、ゲリラ豪雨といった現象は、堤防の設置や河川の暗渠化、アスファルト舗装や下水インフラの設置等により都市から水を隠蔽・排除して

いったことで、都市の水循環が阻害されてきたことに起因する。降雨の地面への浸透量の減少、土中保水力の低下、それに伴う蒸発・蒸散量の低下は、太陽熱による熱を気化潜熱により処理することができず地表面温度を上昇させることとなった。

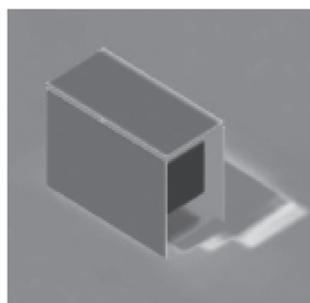
都市における水循環を正常化し下水インフラへの負荷を低減することも、この気化冷却ルーバーの大事な役割のひとつである。

(4) 顕微鏡スケール／カビコケ、凍結割れ、目詰防止

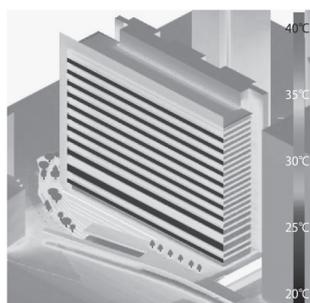
陶器の世界では吸水率は出来る限り抑えるのが常識であった。なぜならば陶器の吸水率が高いとカビコケが発生しクレームが発生してきたからである。この問題をクリアすることができた要因は大きく2つある。ひとつは光触媒であり、もうひとつはルーバーが置かれた環境の風通しの良さである。

光触媒とは、光の照射を受けることにより自らは変化することなく周辺の化学反応を促進する触媒物質を指す総称である。今回採用されたハイドロテクトは、この光触媒を応用した技術である。光触媒としては酸化チタン TiO₂ を用いている。ハイドロテクトは素材の表面に分子レベルで水分薄膜を形成し、物質の表面に水がなじむ超親水の状態をつくり汚れを落としやすくする効果がある。また、微生物などの有機物を分解する力も併せ持ち、今回はこの抗菌性をより高めたものを塗布した。また、この光触媒によって NO_x や SO_x といった大気汚染物質をも浄化する効果があり、大気浄化にも寄与する。屋外暴露試験を続けて2年が経過しているが、今のところカビコケは発生していない。

また、一本一本のルーバーが地面やバルコニー面から離れ全体が空気に触れており、常に風通しが良い環境に置かれていることもカビコケ発生防止に寄与していると考えられる。また、ずっとジメジメした状態に



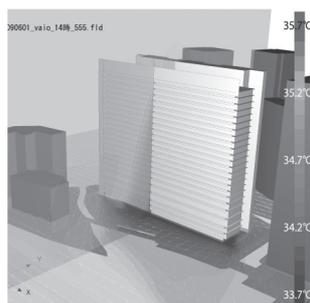
写真一 7 モックアップモデル化



写真一 8 表面温度 (SIM)



写真一 9 平均放射温度 (SIM)



写真一 10 周辺空気温度 (SIM)

しないことが肝要であると考えており、数日に一度は乾状態をつくるような運用をする予定である。

吸水率を高めることのリスクとしてはもうひとつ、凍結割れがある。実はコンペでは泪型の形状を提案した。通常のテラコッタルーバーには泪型も存在する。しかし、吸水率を高めた泪型ルーバーを製作し凍害試験にかけたところ割れが生じた。泪型の鋭角な部分は構造上陶器の厚みを厚くせざるを得ないのだが、その厚みが変わるところで吸水量の違いにより異なる膨張の仕方をする事により局所的な力がかかったためである。そのため、一定の厚み、左右対称の形状とすることによって凍結による膨張収縮で生じる応力が分散する形状とすることで解決した。

もうひとつのリスクとして「目詰まり」がある。実物大モックアップで実験を続けていくうちに温度低下が小さくなっていくのと同時にルーバー表面に白い粉が析出していくことがわかった。詳細な分析の結果、水由来の無機物が表面付近に詰まることで蒸発量が日に日に低下していったことが判明した。

テラコッタルーバーは押し出し成型という方法で作られる。粘土を型に入れて押し出すわけであるが、その際に外側表面に圧力がかかり本来多孔質となるべきところが密になってしまっていることが顕微鏡写真分析と着色水浸透試験によってわかった。そこに水由来の無機物が詰まってしまっていたのである。

そこで、その密になってしまっている表層の表皮を削ることで目詰まりが解決し、最も水が蒸発する上面のみ削るのでも十分効果的であることが着色水浸透試験と蒸発量の経過観察によって確認できたので、上面のみをショットブラストによって荒らすこととした。また、それでも晴天が連続すると水由来の無機物の析出により多少の目詰まりが起るのであるが、雨が降ることによってその目詰まりは解消され蒸発量が回復することもわかった。(表面の表皮を削っていない状態では降雨の後蒸発量は回復しなかった。)

なお、これらの陶器はエコマイレージに配慮し日本の土を主な原料としている。

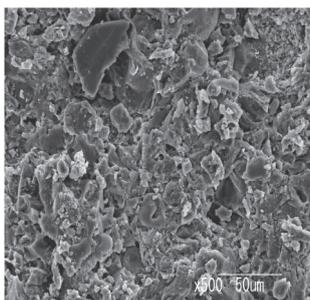


写真-11 表面顕微鏡写真



写真-12 着色水浸透試験結果

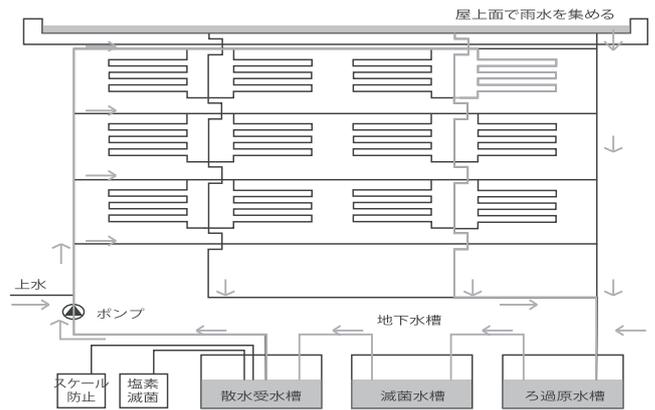


図-3 水循環システム

(5) 建築スケール／設備システム (給排水, センサー)

気化冷却ルーバーの水源のメインは雨水である。屋根で集めた雨水を地下貯留槽に集め、ろ過した後ポンプアップし各階のルーバーに給水する。排水は雨水の排水ルートと兼用しており、再び貯留槽に戻り循環する。また、晴天が続き雨水が不足した場合は上水も利用できるようになっている。

また、ルーバー設置面に $5 \times 5 = 25$ 箇所に風向風速、温湿度、表面温度を計測するセンサーを設け、建物周囲の外構に温湿度計を7箇所配置した。どのような気象条件でどれだけの効果があるのか、BEMSと連動し効果を見ることが出来るシステムを構築している。運用を最適化することにより成長していくシステムである。

(6) 部材スケール／通水方法, 止水方法, 交換方法

陶器管の中に水を通すといっても、まさに「言うは易し」であるが、次のようなシステムとすることで実現した。W110 mm × H70 mm の楕円形断面の気化冷却ルーバーに下面のみ開放されたアルミ芯材を通し弾性接着剤で接着し、ステンレスロストワックス製の小口蓋を厚めの EPDM ゴムを挟んで4点の止水ビスでゴムをつぶすようにとめる。この小口蓋は前後にパイプが突き出た形状をしていて、一方は陶器管の中に差し込まれ陶器との間に Oリングゴムが差し込まれ止水をさらに確実なものとし、もう一方はジョイントカプラーを介して通水パイプに接続され横つなぎまたは縦つなぎされていく。このジョイントカプラーはインフラの給水配管でも使用されている実績のあるものでワンタッチで取り外しができる優れたものである。気化冷却ルーバーには横方向の勾配はついておらず、水は小口蓋のパイプの下端を超えるまで溜まると越流して通水パイプを通して次のルーバーへ進む。この水の流れをスムーズにするために途中2点で空気抜き兼オーバーフロー受けを設けた。水がユニットの最後まで行

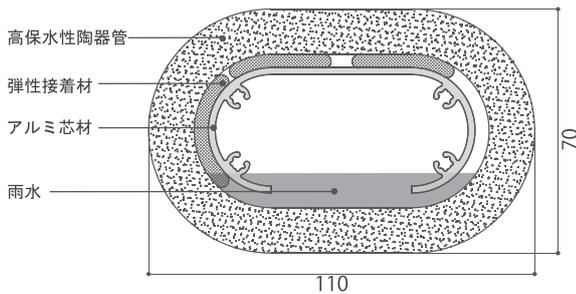


図-4 ルーバー断面図

くと通水パイプを通して雨水縦樋管に合流する。最終的な止水の安全性は、モックアップによる層間変位試験、耐風圧試験、加振試験によって確認した。

(7) 建築スケール／テンション構造支持

ルーバーは通常マリオン（方立）方式で支持されることが多いが、可能な限り最小の部材で支持することを目標とし、テンション構造を採用することとした。風、地震時の横力に抵抗する SUS304N2A ロッド 22φ と自重受け SUS304 ロッド 8φ とステンレスロストワックス部材などで構成している。テンションロッドには、温度変化を考慮して 3t 程度以上の張力を導入した。横力に対する変形目標として支点間距離の 1/75 を目安とした。張力導入はナット回転角、貼付した歪ゲージにより確認しながら段階的に施工し、抜き取りで固有振動数を計測することで品質確保している。変形を許容できるシステムとするため、ファスナー部のカップラーとロッドの接合部や、ロッドとルーバーを掴む金物との接合部等の力点には EPDM ゴムを挟み、局所的な力がかからないようにしている。

また、テンションロッドとルーバーを現場において架台上でユニット組みし、ユニット CW 施工の要領で吊り上げファスナーに取り付けていくように施工した。また、この架台は再利用された。

環境装置である気化冷却ルーバーを支えるために大量の鉄骨等を用いることは本末転倒であると言える。できる限りミニマムな材料で支えることがこの環境装

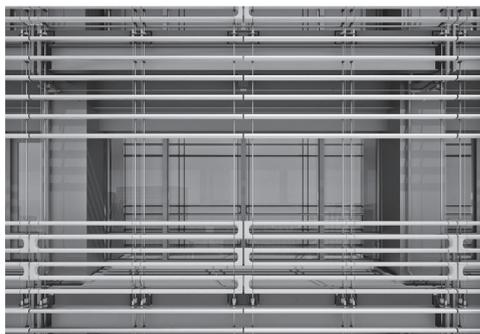


写真-13 気化冷却ルーバー立面

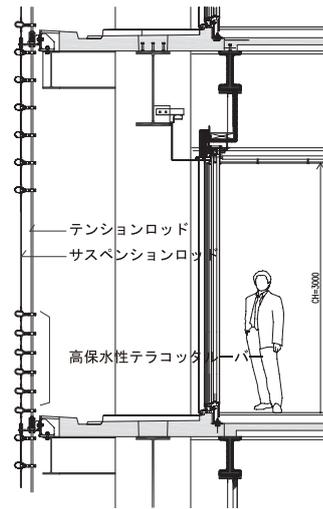


図-5 外装断面図

置の意義からも肝要であると考えた。また、ロッドは非常に細いため、眺望を阻害することなく、気化冷却ルーバーは軽いものではないが、非常に軽快で涼しげな表情のスキンとなった。

4. おわりに

本稿で報告した気化冷却ルーバーはソニー(株)のオフィスビルにおいて採用されたもので、「バイオスキン」と呼び都市のヒートアイランド現象に多大の貢献をするものと期待している。なお、この技術は、(株)日建設計と TOTO (株)、(株)アベルコで共同開発し、特許申請中である。

JICMA

【筆者紹介】

山梨 知彦 (やまなし ともひこ)
 (株)日建設計
 設計部門代表



羽鳥 達也 (はとり たつや)
 (株)日建設計
 設計部門 設計部
 主管



川島 範久 (かわしま のりひさ)
 (株)日建設計
 設計部門 設計部

