

# 真夏の屋外を涼しく過ごすゼロエナジークールスポット創出の取り組み

## The innovation of the Zero Energy COOLSPOT in a hot summer

日建設計 エンジニアリング部門設備設計グループ  
NIKKEN SEKKEI LTD, M&E Engineering Division, Engineering Department

田中 宏昌

Hiromasa TANAKA

キーワード：クールスポット (Cool Spot)、ゼロエネルギー (Zero Energy)、木材 (Timber) ペルチェ素子 (Peltier Element)、ミスト (Mist)

### 1. はじめに

1964年の前回東京オリンピックから50年が経過したが、その間に日本は戦後復興から高度成長期を迎えて、いわば新興国から先進国への発展を遂げることができた。今回招致が決定した2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会においては成熟期を迎えた先進国としての開催であり、その中でも『環境活動』の視点は、これまで以上に環境技術先進国として世界をリードしていくことが期待されている重要な要素の一つであるといえる。一方、競技は東京の真夏に開催されることから、他都市と比べて高温多湿な大会となることが懸念されている。特に屋外空間における遮熱対策が強く望まれていることから、ゼネコン、サブコン、メーカー等様々な団体が、独自のノウハウを使った、数多くの提案が生み出されている。また、クールスポット創出に対する補助金制度を導入している自治体も数多くみられ、官民合わせた動きに発展しつつある。

このような流れの中、筆者らは建築設計事務所として、東京オリンピック・パラリンピックの屋外パブリック空間に、意匠性・環境性がデザインとしてインテグレートされたクールスポットを創出することを目的に、2016年夏から検討を開始した。デザインコンセプトは、「日本らしいデザイン」「完全自立システム」「究極のエコロジー」の3つとし、「ゼロエナジークールスポット」と命名し開発を行った。本報では、デザインコンセプトおよびこれまでの取り組みを紹介する。(なお、「ゼロエナジークールスポット」は、銘建工業、村田製作所、光栄との共同開発品である。)



図1：ゼロエナジークールスポット 設置イメージ

## 2. 事例からみたクールスポットに求められる要素

検討初期段階において、実際のパブリック空間における実測・シミュレーションから、クールスポットに求められる要素について考察を行った。一般に、屋外空間による避暑対策として、緑陰などの影によって表面温度を下げるのが効果的であるとされている。例えば、図2は、複数街区を一体的に開発した大規模プロジェクト（グランフロント大阪）の屋外空間において、複数の地点の表面温度と日陰の動きについて実測したものである。<sup>1)</sup>①人の行来が多いめきた広場、②低層屋上の南館テラスガーデン、③緑化割合の高いザ・ガーデンの3地点にて、検証を行った。2013年7月25日（晴天日）の日照、日積算日射・遮蔽量、各被覆材別の表面温度と魚眼カメラによる形態係数の測定から13・20時のMRTを求めた。南館テラスは広場に比べ建物の遮蔽は少ないが緑化による遮蔽が大きい。ザ・ガーデンは建物・緑化による日射遮蔽が大きく遮熱環境に優れた場といえる。MRTは日射の有無による影響が最も大きい。天空表面温度が小さく、天空率が高い方が日射のない場合にはMRTは小さくなる。

屋外の過ごしやすさの検証のため、盛夏（8/11）、初夏（6/23）のSET\*を求めた。表面温度の結果（2mグリッドごとの計算）を用いたMRTと風シミュレーションの風速から計算した。盛夏13・17時、初夏13時の各地点のMRT、風速、SET\*平均値及び標準偏差を日陰・日向ごとに示す（図3）。これより、盛夏17時、初夏13時には、日向、日陰の違いによる温熱環境の快適性の差は小さいが、盛夏の13時には、日向と日陰による温熱環境の快適性の差が大きくなっていることがわかる。盛夏の特に昼間の日射強度が大きいときにいかに日陰を作って周辺温度を下げるのが、避暑対策として重要であることがわかる。

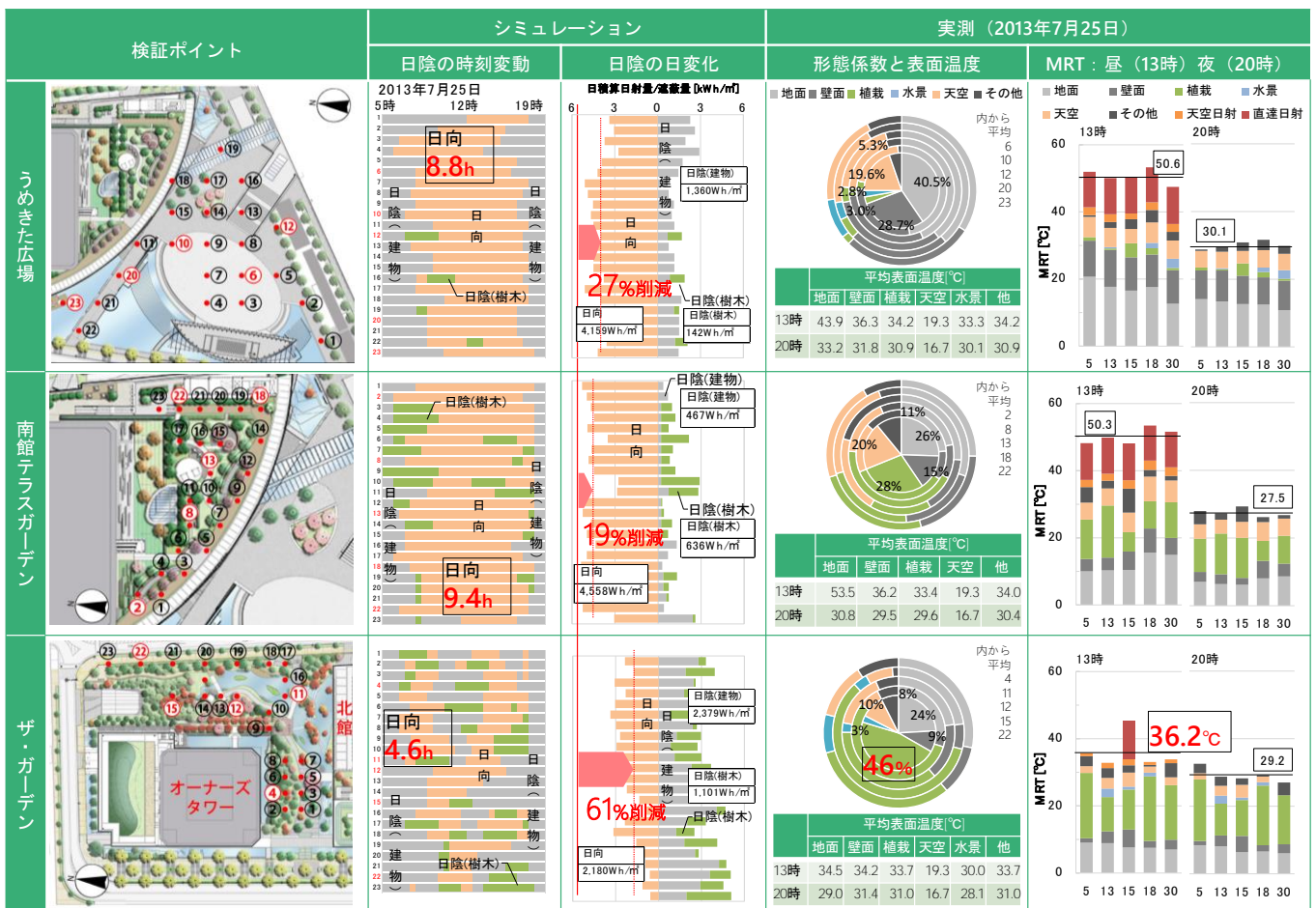


図2：グランフロント大阪各所の屋外環境



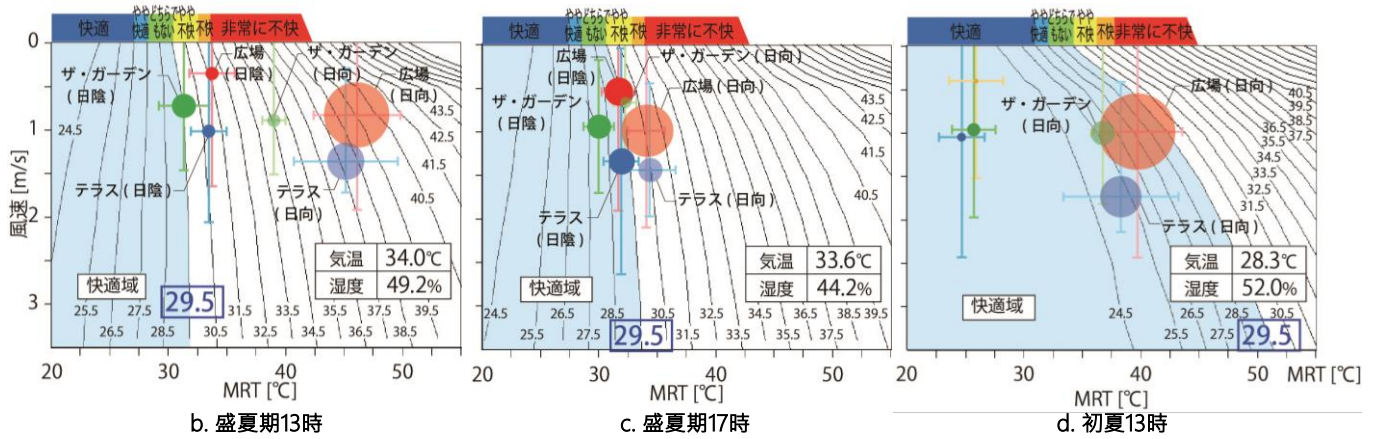


図3：MRT-風速とSET\*の関係（シミュレーション）

さらに、本プロジェクトでは、ミストによる演出を兼ねたクールスポットの創出も行っている。広場中央床面グレーチング内に放水ノズルを設置し、夏期に一日に最大3回非常に細かいドライミスト（2流体型）を散布している。2013年7月25日（晴天日）に測定したミスト吹出口付近での気温（高さ1.5m）とミストが影響しない場所での気温と散布時の熱画像を示す（図4、図5）。ミスト噴射後、最大で1.5°C急激に気温が低減していることが確認できる。ミストは、急激に周囲温度を下げるができるとともに、涼しさを演出する効果も期待できる。

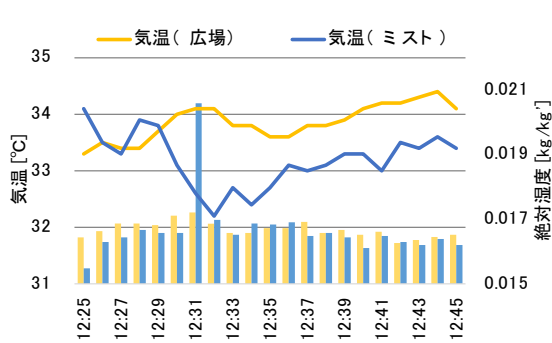


図4：ミスト気温測定結果

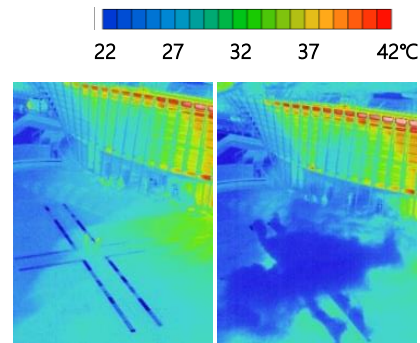


図5：熱画像（ミスト効果）（左；噴射前、右；噴射後）



写真1：ミスト噴射時の広場

### 3. ゼロエナジークールスポットのコンセプト

ゼロエナジークールスポットのデザインビルトアップは、従来とは異なる設計プロセスを経て行った。従来の設計は、施主の要望を聞いて、最適な解を探し出すアプローチ手法である。一方、本計画は、明確な施主が存在せず、社会に対してどんなものが求められているのか？我々は社会に対してどのような貢献できるのか？といった自問自答することから始まった。計画初期から意匠、構造、設備設計者が参画し、それぞれの専門分野を超えて意見を出し合い、以下の3つのコンセプトをもとに計画を行った。

- 「日本らしいデザイン」・・・世界から数多くの来訪者に対して、日本ならではのデザインを強く印象づける必要がある。日本で古くから使われてきた素材である「木」を使って筐体をつくり、その中には環境先進国日本ならではの最先端環境技術が内蔵されており、今まで味わったことのない「クール」な体験をしてみよう。
- 「完全自立システム」・・・クールスポットは真夏の期間限定のものであり、いつでもどこでも簡単に組み立てができ、都市インフラからも自立したシステムが求められる。ソーラーパネル、省エネルギーで稼働するデバイスさらに、これらのエネルギーを最新の IOT 技術を備えたコントロールユニットから構成される「ゼロエナジー」システムを構築する。
- 「究極のエコロジー」・・・運転時における CO2 排出をゼロにするだけでなく、組み立てから廃棄までライフサイクルにおいて CO2 排出を固定するライフサイクルカーボンニュートラルシステムを構築する。

以下に、これらのコンセプトに沿って開発された「ゼロエナジークールスポット」について解説を行う。

#### 4.1 Lifecycle Carbon Neutral

建築物の建設から運用、廃棄までライフサイクルにおける、カーボンの固定化を目指した。材料は、ヒノキの間伐材を使用し、構造は、繰り返し組立できるようボルト締めによる固定方法を採用した。この組み立て方法を採用することにより、例えば場所を変えて繰り返し使用 (REUSE) することが可能となる。また、運用時は、完全ゼロエナジー化されているため、廃棄のための解体後は、木材を木質チップとしてバイオマス発電に利用することにより、ライフサイクルカーボンニュートラルを実現することが出来るようにした。

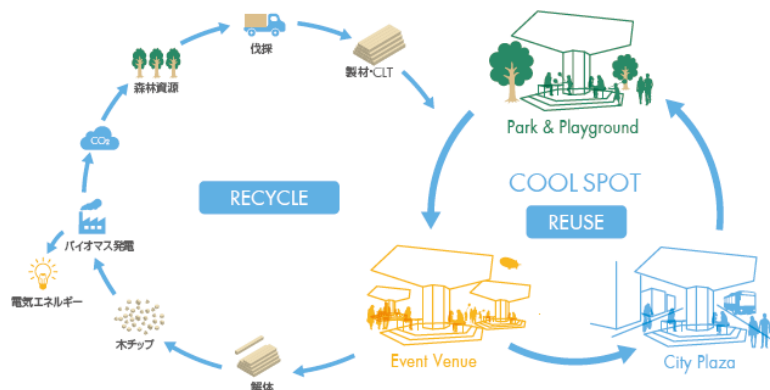


図 6: ライフサイクルカーボンニュートラルの概念図

## 4.2 Shape and Structural System

クールスポットは積層された木材によって木陰のような影をつくり出す屋根と柱、くつろぐためのベンチ、それらを支える土台によって構成されている。屋根、柱、土台はともに、六角形で作られており、屋根を連続させて複数配置することにより、敷地形状に合わせて自由に拡張できるようにした。

### ・屋根

屋根は、1層ごとに正六角形の一辺を750mmずつ平面的に広げた75mm角のひのき材を4層12段積み上げている。最上層は一辺3,750mm、対角線が7,500mmの正六角形となっている。継手を設けて一般的に流通している4m以下の間伐材で構成するように配慮した。この工法により、3角形の美しい影を床面に映すことができる。

### □柱

柱の材料は75mm角のひのき材を利用し、一辺750mmの正六角形となるように、3段1組として11層33段積みしている。正六角形の頂点と中心には、7本の通しボルトを土台直下から屋根まで貫通させ、積層した材を一体としている。

### □土台

土台として、柱と同様に0度、120度、240度の主力方向をもつ厚さ90mm（3層3プライ）のCLT<sup>2)</sup>を3枚積み重ねている。3枚のCLTは7箇所の柱通しボルトと外周部18箇所のボルトで一体化し、9層9プライの巨大なCLT構造として、ワイングラスの底のような役割を果たし、吹上げ対策の“重石”や転倒を防止する基礎の役割も兼用している。

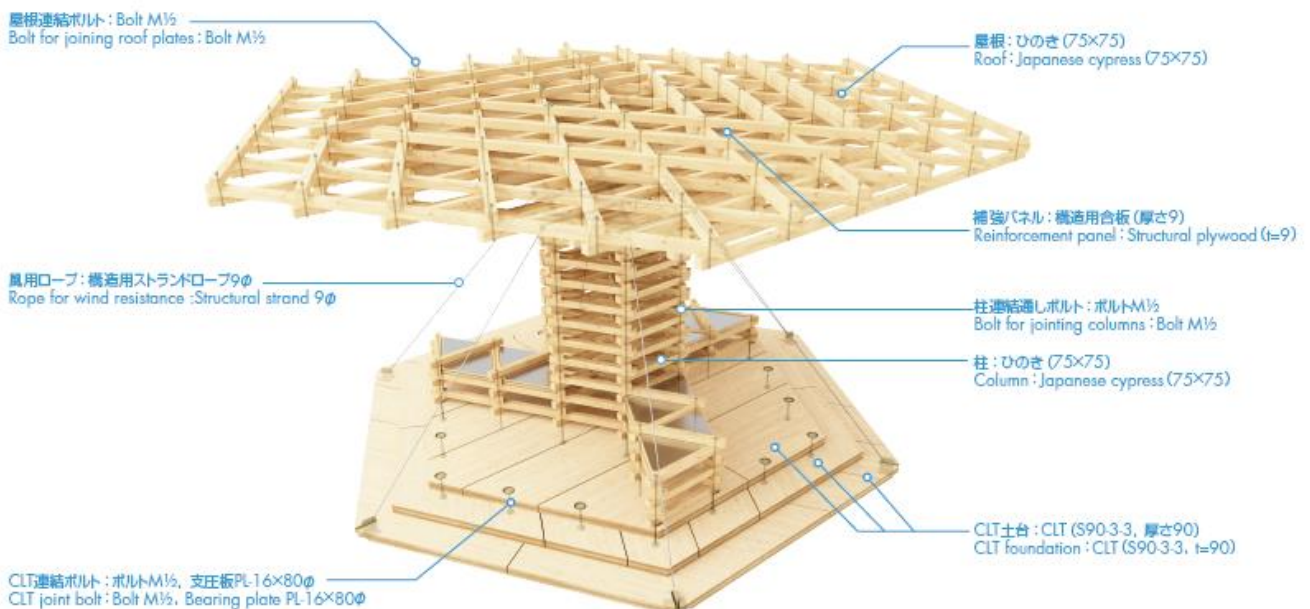


図7: 形状と構造システムの概要

### 4.3 Outdoor cooling system

人の温熱に対する快適性は、「温度」「湿度」「周辺表面温度」「気流」「代謝量」「着衣量」の6つの要素で決まるが、屋外でこれらの要素をコントロールすることは非常に困難である。そこで、屋外で涼しく感じられるために重要な要素となる「周辺表面温度」「代謝量」に作用し、さらに「涼しそう!」と感じられる「五感に訴える演出」を“ウェルカムミスト”、“クールミスト”、“クールベンチ”にて体験できるシステムをデザインした。

#### ・「涼しそう!」を演出する

白濁したミストで、COOLSPOT 全体を涼しげに演出することをめざした。軒先に設置した“ウェルカムミスト”は、粒径が比較的大きなミストを使い、遠目で見てもミストの存在が認識できるようにした。

“クールミスト”のノズルは、透明アクリル製のエアシリンダー内に設置することにより、ミスト噴霧時は、シリンダーが白くなり、色の変化で涼しさを演出する。

#### ・「周辺表面温度」を下げる

屋外空間において涼感を得るには、周辺の表面温度が低くなる日陰で行うことが重要であることは文献や実測調査より明らかである。影を作るには、屋根と壁で周囲を覆うことが簡単であるが、開放的なイメージが損なわれ、利用されないのでは意味がない。そこで、躯体は開放感を持たせた形状とする一方で、大きな屋根でベンチを覆う形状として、屋根が作り出した影により周壁面温度を下げる形状を考案した。さらに、COOLSPOT は夏限定の施設であり、太陽高度の位置がほぼ特定されることに着目し、時間毎に COOLSPOT の躯体から作られた影の位置に合わせて、クーリングデバイスを作動させることにより (Shade Tracking)、あたかも木陰にいるような涼しさを作り出すことを目指した (図 8)。

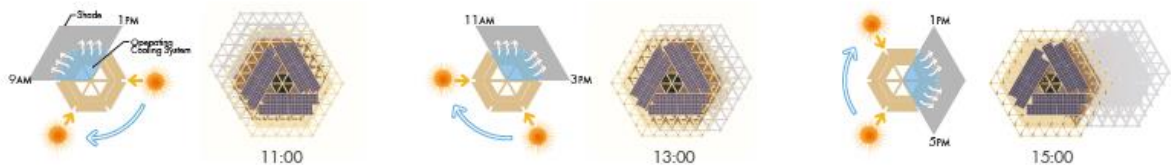


図 8 : Shade Tracking system

#### ・「代謝量」を下げる

冷やすことで効率的に人の体温を下げる事が出来る場所は、首、わきの下、足の付け根 (鼠頸部) の3カ所と言われている。クールベンチは、座面の裏側にペルチェ素子を設置した。表面温度は、結露しない最低温度の18度に制御し、鼠頸部を効果的に冷やす。エアシリンダー内に設置した“クールミスト”は、ノズルから放出されたミストの内、粒径の大きなものはアクリル筒内に残留、粒径の細かいミストのみが吹出口から放出されるようにした。この工夫により、触れても水滴がつかないドライミストのみが放出されるため、ベンチ着座時にべとつかずに、さわやかに首筋を冷やすことを目指した。



#### 4.4 Zero Energy System

涼しくするためのエネルギーインフラ（電気）は完全独立が求められた。そこで、業務ビル設計で培った ZEB（ゼロエネルギービルディング）のノウハウを、クールスポットにも導入し、ゼロエネルギー化をデザインした（図 9）。

##### □効率的に冷やす

限られた電力で効率的に冷やすため、ミストとペルチェ素子による冷却を導入した。ミストは、ポンプにより非常に高圧に高められた（約 500~700m の水圧）水をノズルから霧状に噴射し、気化熱により周囲の空気温度を冷やすものである。一般に、ミストポンプは、揚程が非常に高いために、ポンプ動力が大きくなる。さらに、できるだけミスト径を小さくするためには、圧縮空気と圧縮水を混ぜた 2 流体タイプを用いるが、圧縮空気を作るための動力がさらに必要となりゼロエネルギー化の障害となる。今回は、世界最小クラスの一流体用ノズルと、超省電力ポンプの組み合わせにより、少ない電力で細かなミストを生成することに成功した。ペルチェ素子自体の冷却効率は高くはないが、断熱性の高い 90mm の CLT 木材の上に設置されたアルミ板から接冷という形で、ほぼ無駄なく人体に冷熱が投入されるよう工夫した。

##### ・効率的に動かす

人感、感雨センサーなどの各種センサーを屈指して、必要な場所に必要最小限のエネルギーで稼働できるようにした。太陽光で発電した電力は、DC-AC による変換ロスが無い直流給電システムで効率的に電力を利用する。さらに、曇天時、降雨時は、発電電力が低下するなど不安定な創電力と、照明等の夜間用電力を含めた電力デマンドを最適に制御するトータル電源マネジメントが求められる。先進の IOT 技術を屈指し、翌日の天候や大会プログラムに合わせて各種デバイスの稼働を管理する予測制御(predictive control)システムを導入予定である。

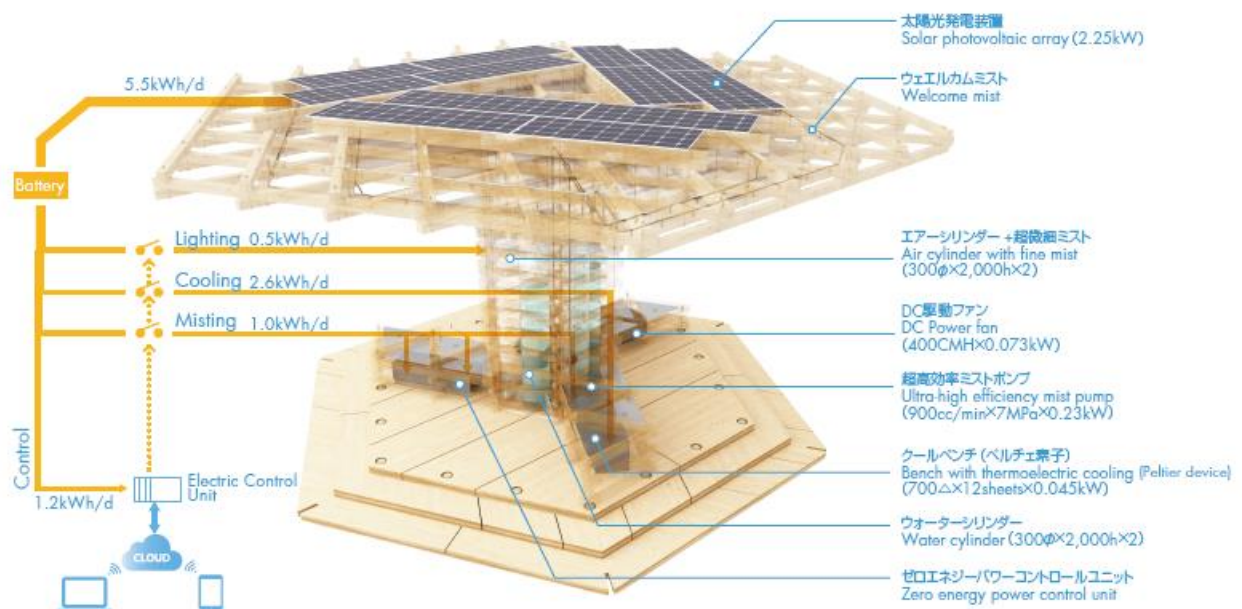


図 9：各種冷却デバイスとゼロエネルギーシステム

#### 4. まとめ

東京オリンピック・パラリンピックの屋外パブリック空間への設置を見据えた、「ゼロエネルギークールスポット」を開発した。本報では、開発のコンセプト、システム概要について紹介した。既に、日建設計「ID200 展」(2017年6月4日～6月30日)にて屋内展示であるがプロトタイプが展示され、好評を得ている。今後は、涼感検証、ゼロエネルギー化検証を行い、さらなるシステムチューニングを実施する予定であり、機会があれば、その結果について後日紙面等にて報告する所存である。

#### <注>

- 1) 竹林、田中他 グランフロント大阪の環境配慮型まちづくりの計画と実施 より(第54回空気調和・衛生工学会賞)
- 2) Cross Laminated Timber の略称。ひき板(ラミナ)を並べた後、繊維方向が直交するように積層接着した材料。