

カーボンニュートラル賞

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| 受賞名称 | 第10回カーボンニュートラル賞 九州支部 |
| カーボンニュートラル賞選考支部名称 | 第10回カーボンニュートラル賞選考委員会 九州支部 |
| 業績の名称 | みやこ下地島空港ターミナル |
| 所在地 | 沖縄県宮古島市伊良部字佐和田1727 |

応募に係わる建築設備士の関与

| | |
|----------|-------|
| 株式会社日建設計 | 浅川 卓也 |
| | 滝澤 総 |

応募者又は応募機関

| | | | | | | | |
|----------|-------------------------|----------------|------|--|--|--|--|
| 代表応募者・機関 | 株式会社日建設計 | | | | | | |
| 建築主 | 三菱地所株式会社 | | | | | | |
| 設計者 | 株式会社日建設計 | | | | | | |
| 施工者(建築) | 株式会社國場組 | | | | | | |
| 施工者(建築) | 株式会社大木建設 | | | | | | |
| 施工者(設備) | 株式会社九電工 | | | | | | |
| 建物管理者 | 下地島エアポートマネジメント株式会社 | | | | | | |
| 検証者 | 早稲田大学創造理工学部建築学科 教授 田辺新一 | | | | | | |
| 延床面積 | 12,021.81 | m ² | | | | | |
| 階数 | 地上2階 | 地下1階 | 塔屋-階 | | | | |
| 主用途 | その他(空港施設) | | | | | | |
| 竣工年月日 | 2019年3月 | | | | | | |

支部選考委員長講評

高温多湿の沖縄では密閉空間の設計が多く見受けられるが、沖縄の伝統建築を見ると屋外と屋内が開けたオープンエアな建築が多い。その伝統建築を再解釈し、建築では日射遮蔽・自然風・植栽に着目して屋外との繋がりが心地良い感じる空間を形成し、設備では井水熱のカスケード利用や水の気化熱に着目し自然の力を最大限利用した。こうした自然環境のポテンシャルを活用した結果、運用段階（2020年度）において太陽光発電などの再生可能エネルギーを含まず基準値より77.6%削減し、全国初の空港におけるNearly ZEBを達成している。

①省エネルギーへの取り組み・工夫

室内空調では国内で採用例が殆どない間接蒸発式気化冷却システムを採用した。これは顕熱処理した外気の約半分の空気を蒸発冷却される層に戻することで、熱源を使わずに水の気化冷却のみで温球温度以下にまで導入外気を冷却でき、大きな省エネ効果が期待できる。稼働後の2020年7~8月の例では平均外気温33.1°Cに対してシステムの出口温度は平均27.6°Cとなり水の気化熱だけで $\Delta t = 5.5^{\circ}\text{C}$ 分の顕熱処理効果を確認出来た。

②低カーボンエネルギーへの転換

オープンエアなランドスケープが特徴の建物とチェックイン・ラウンジ棟の屋根に構造上420mmの厚みがあるCLT(直交集成板)を採用し、断熱材なしで熱貫流率0.29W/(m²·K)と十分な断熱性能を有している。また建物外壁のほぼ全周囲に3~5mの深庇を配置している。その庇の長さは各方位0~5mを1m毎にパラメータとしてBESTプログラムによる年間熱負荷係数を算出し、費用対効果の高い庇長さを方位毎に取り付けて日射負荷を低減した。

③再生可能エネルギー利用・工夫

井水を熱源ヒートポンプの冷却水として採用した。設計中に深さ約40mの井戸を掘削し調査したところ、夏季において水温24~25°C・水質は殆ど海水であり、行政協議により島にとって貴重な地下水(淡水)への影響もないと判断された。冷却水として利用後は敷地内の水盤へ送水しておりアスファルトや植栽に比べ表面温度が低くなるので、建物周辺の放射環境を改善する副次効果も果たしている。

④運用状況の分析

2020年度の1次エネルギー消費実績は基準値の1,806MJ/年·m²に対し、設計値581MJ/年·m²より更に9.8%削減して実績値404MJ/年·m²であった。これは削減率77.6%でNearly ZEBを達成した。

昨今のコロナ禍によって重視されている換気を促進するオープンエアを始めとする伝統建築技法と先端技術を組合せて蒸暑沖縄の空港でNearly ZEBを達成させた。竣工後の運用実績や満足度調査などを踏まえ更なるチューニングを実施する

関与した建築設土の言葉

本空港が目指したものは、自然との繋がりが心地良いと感じるオープンエアバイオフィックデザイン空間づくりと、美しい宮古島の自然を守る環境負荷低減でした。計画において、高温多湿に適した沖縄の伝統建築に着想を得た「日射遮蔽・自然風・植栽」を建物周囲に配置し、更に井水熱のカスケード利用や水の気化熱を使った空調など自然の力を最大限活用した結果、全国初の空港におけるNearly ZEBを達成しました。

こうしたバイオフィックデザインによる自然との繋がりを感じられる室内空間は、利用旅客へのアンケート調査の結果、温熱・環境満足・自然の感じ方などそれぞれで高い満足度評価が得られました。

今後は、更なる省エネに向けた現地調査、BEMS分析によるファインチューニング、および再エネ導入によるカーボンニュートラルを目指していく予定です。

（浅川 卓也　： 株式会社日建設計）

一般社団法人建築設備技術者協会カーボンニュートラル賞運営委員会

業績の名称： みやこ下地島空港ターミナル

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの説明

1/4

みやこ下地島空港ターミナル

出発系施設は制限／非制限エリアで、到着系は国内線／国際線でターミナルを分離して構成し、沖縄の自然を取り込んだランドスケープと室内空間とを一体化した。セキュリティの厳しい空港において、これまでにない新しいオープンエアターミナルの在り方を実現した。

案内図



水景より出発系施設を望む

建築コンセプト：旅の始まりと終わり

この島地空港は海いで、そして空港から帰る町まで旅の喜びを落とさないことを考えた。それは、沖縄の風土と共鳴する軽い、いきいきとした作り方を考えたところである。

■ EXTENSION(ビルからコテージへ)

一歩前に進む、いきいきと生きる

■ SHARE(待つ・かかって過ごすへ)

集まることで効率化

■ CONTROL/UNCONTROL(2分から集約へ)

一通りの方を選択できる。まとめるで気持ちよい

■ MOBILITY(カーポサイトからインターフェースへ)

ドアによる陸上交通との接点



全体ターミナル鳥瞰



制限エリア 出発ラウンジ棟 水上ラウンジ



非制限エリア チェックイン棟 シーティングエリア

周辺配置図



配置図



CLT利用範囲図



コンセプト | 蒸暑沖縄におけるオープンエア ZEB 空港

本空港は旅の始まりから終わりまで、その土地の空気や雰囲を感じることができるように、自然を積極的に建物に取り込み、それを五感で感じられる空間としているのが特徴である。高温多湿の沖縄では、密閉空間の設計が多く見受けられるが、沖縄の伝統建築をみると、屋外と屋内が開けたオープンエアな建築が多い。我々はその伝統建築を再解釈し、建物周囲に土地の自然を感じられるオープンエアなランドスケープと CLT を活用した木質内装、なおかつ快適で省エネルギーな ZEB 空港を設計コンセプトとした。

建築概要

| | |
|--------|---|
| 建築名称 | みやこ下地島空港ターミナル |
| 所在地 | 沖縄県宮古島市伊良部字佐和田1727 |
| 用途 | 航空旅客取扱施設 |
| 建築主 | 三菱地所株式会社 |
| 設計者 | 株式会社日建設計 |
| 施工者 | 株式会社國場組・株式会社大木建設 特定建設工事共同企業体 |
| 構造 | RC造、S造、屋根CLT造(ラウンジ棟、チェックイン棟) |
| 階数 | 地下 1階、地上 2階(旅客利用部は1階平屋のみ) |
| 最高高さ | 10.8m(チェックイン棟)、7.0m(ラウンジ棟)、3.2m(国内／国際線到着) |
| 敷地面積 | 32,586.95 m ² |
| 建築面積 | 12,571.32 m ² |
| 延床面積 | 12,027.18 m ² |
| CLT使用量 | 約1,516 m ³ (ラウンジ棟1,132 m ³ 、チェックイン棟384 m ³) |
| 開業日 | 2019年3月30日 |

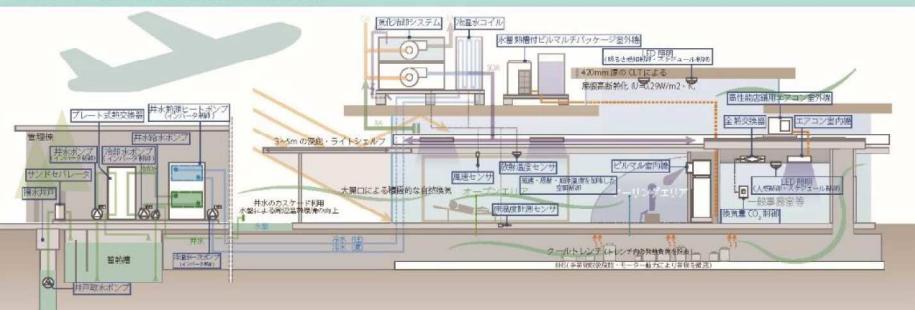
設備概要

| |
|--|
| 受変電設備: 高圧6,600V |
| 変圧器容量: 電灯300kVA、動力1,300kVA(第二次トップランナ変圧器) |
| 非常用発電機: 6.6kV、500kVA |
| 照明器具: 全館LED照明+人感センサー、昼光利用、中央監視照明スケジュール |
| 熱源設備: 井水熱源ヒートポンプチラー-375kWx2台 1次ポンプシステム、VVW制御+末端差圧制御方式 |
| 空調設備: 気化冷却システム(外気兼空調)+冷温水コイル |
| 水蓄熱槽付電気式バッケージエアコン、電気式バッケージエアコン |
| 換気設備: 気化冷却システム、全熱交換器、除塩フィルター |
| 排煙設備: 自然排煙 |
| 自動制御: BEMS、SET温度制御、人感センサーによる照明・空調制御 |
| 給水設備: 上水+中水(原水:排水処理水+上水)、受水槽+加圧給水方式 |
| 排水処理: 膜ろ過処理(BOD10ppm処理後中水利用) |
| 井水設備: 热源水利用、热利用後の敷地内水盤へのカスケード利用 |

カーボンニュートラル化に向けた環境配慮技術

リゾート感溢れる土地に建つ本空港では、自然との繋がりを感じられるオープンエア空間実現と、豊かな自然環境に配慮した環境負荷低減の両立が重要であると考えた。建築では日射遮蔽・自然風・植栽に着目し、屋外との繋がりが心地良いと感じる空間の形成、設備では井水熱のカスケード利用や水の気化熱に着目し自然の力を最大限活用した。こうした自然環境のポテンシャルを活用した結果、運用段階（2020年度）において、太陽光発電などの再生可能エネルギーを含まず、基準値より77.6%削減し、全国初の空港におけるNearly ZEBを達成した。

さまざまな環境配慮技術



年間一次エネルギー消費量



躯体の工夫 日射負荷を低減しオープンエアによる良い日を長く

チェックイン・ラウンジ棟の屋根にはCLTを採用し、ラウンジ棟は構造上420mmのCLTの厚みがあり、断熱材無しで熱貫流率0.29 W/(m²·K)と十分な断熱性能を有している。

建物外壁のほぼ全周囲に3~5mの深庇を配置しており、日射ができるだけ室内に入り込まない工夫をしている。庇の長さは各方位0~5mを1m毎にパラメータとしてBESTプログラムによる年間熱負荷係数(PAL*)を算出し、費用対効果の高い庇長さを方位毎に取り入れた。

外皮についてもBESTを用いたエネルギー消費量を計算し、宮古島の気候特性に応じた深庇を設けることで、屋根以外に高い断熱性能は不要と判断し、外壁・床は断熱無し、ガラスは単層としBPI値0.62を達成している。その他、棟間を結ぶ地下の設備トレンチをクールトレンチとして利用している。

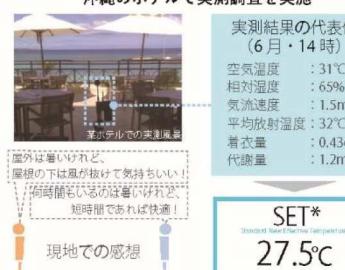


SET*を指標にした計画

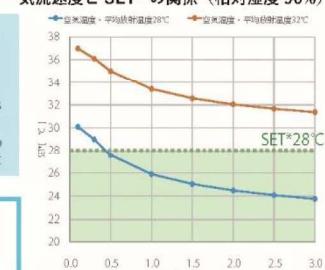
自然に近い体感温度の採用による人にもやさしい環境

従来の室内温度制御は室内温度を制御目標としているが、本件はオープンエア空間のため、より体感温度に近いSET*温度による制御が相応しいと考え採用した。制御要素として、室内温度、湿度、風速、放射温度(床、屋根)を計測し、中央監視側で演算したSET*をもとに自然換気と空調の切替制御を行い、さらに室内設定SET*温度に応じて空調機器の給気温度制御を行うことで室内温熱環境を満足させている。なお、この指標を採用するにあたっては、右図のような現地調査や感度分析を行い、半屋外の温熱環境に関する既往研究も参照の上、具体的な設計目標SET*温度を定めていった。

沖縄のホテルで実測調査を実施



気流速度とSET*の関係(相対湿度90%)



自然換気を適切に長期間行うための計画

環境の可視化によるエビデンスインフォームドな自然換気の計画

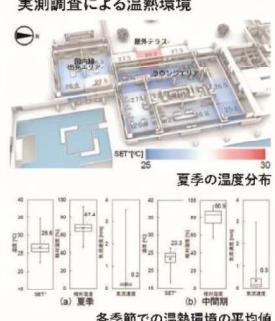
本計画では敷地内および建物内に適切な風速の自然風を取り入れるために、植栽配置や開口位置、空調の吹き出しがターゲットや位置の検討に、全面的にCFDを用いた。

本敷地は年間の平均風速が夏季は7m/sと常に強風が吹いている。分棟型の本計画では、敷地内の強風を避けるため、周辺建物や植栽を再現したモデルによる植栽のレイアウト検討を行い、建物窓開口位置・大きさをCFDにより屋内に心地良い風の目安である0.5~2.0m/sの不均一(ムラ)な室内環境を導きだし、その結果をランドスケープ、ファサードデザインにフィードバックした。実測調査では平均0.5m/s前後の風が室内に入っていることを確認し、SET*温度においては外の風が入ることで快適温度となっていることが確認された。

設計段階でのCFDによる検討



実測調査による温熱環境

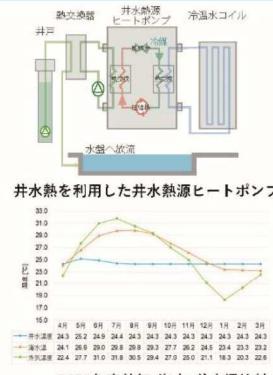


自然エネルギーを積極的に活用するための空調設備・制御

井水の積極的な活用

熱源と水盤に井水を余すことなく活用

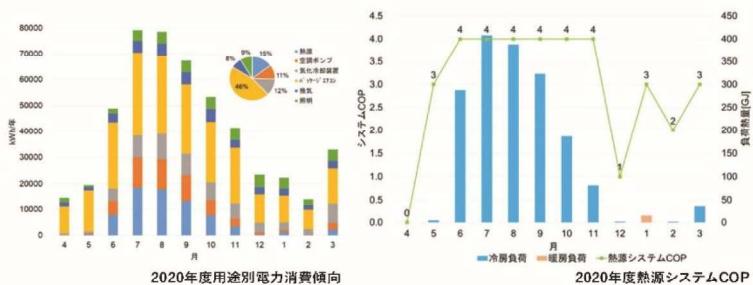
熱源には井水熱源ヒートポンプを採用した。設計中ににおいて敷地に簡易的な深さ約40mの井戸を掘削し、水温および水質の調査を行ったところ、水温は夏季において24~25°C程度、水質は殆ど海水ということが分かった。外気と比較して比較的温度が低く、また行政協議により島にとって貴重な地下水(淡水)への影響もないと判断されたことから、井水を熱源設備の冷却水として採用した。また熱利用後の水温28~29°Cの井水は、敷地内の水盤へ送水しており、直達日射を受けるアスファルトや植栽に比べ表面温度が低くなるため、建物周辺の放射環境を改善する効果を果たしている。



熱源の効率的運用

高い熱効率と最低限の運用期間

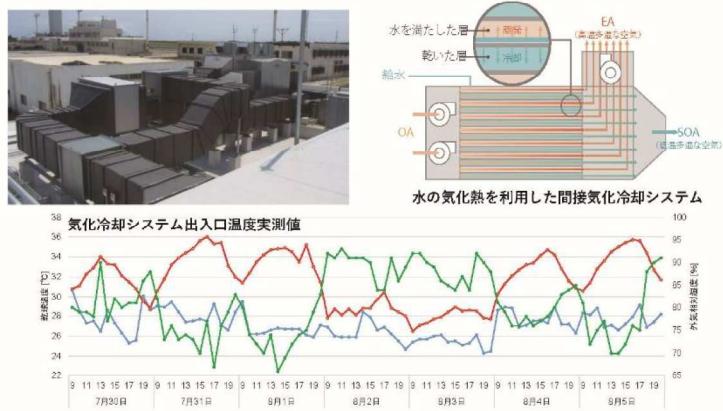
本施設ではガスを使った設備が無いため、電力消費量が一次エネルギー消費量となる。熱需要として冷房は7月がピークとなっており、暖房は1月に10日間程度の稼働以外は使われていない。また、空調システムの工夫による影響も大きいが、冷房運転は6~11月の6か月間となっており、それ以外の約6か月間は停止または僅かしか動いていない状況であった。6~9月の冷房盛夏期では、システムCOPが4と非常に高い値となった。1月の暖房運転ではCOPが3となった。



気化冷却システムの採用

水の気化熱による超省エネな空調システム

室内空調に国内では採用例が殆どない間接蒸発式気化冷却システムを採用した。顯熱処理した外気の約半分を蒸発冷却される層に空気を戻すことで、熱源を使わずに水の気化冷却のみで湿球温度以下にまで外気を冷却でき、大きな省エネ効果が期待できる装置である。2020年7,8月の例では平均外気温33.1°Cに対しシステムの平均出口温度は27.6°Cとなっており、水の気化熱だけで $\Delta t = 5.5^{\circ}\text{C}$ 分の顯熱処理を行った結果となり、大きな省エネ効果が確認された。また、本システムはオールフレッシュ方式の外調機であり、室内換気量約10回/h相当の新鮮外気を室内に供給しており、感染対策にも優れたシステムである。



センシングデバイスを用いた省エネ制御

サーモパイル型人感センサーにより、在・不在により室内空調機器の発停を行う。さらに、旅客が居ないメンテナンス時に空調機器が稼働しないようライトスケジュールと連携させた。また、人感センサーは照明の発停制御にも使いセンシングデバイスの省コストと省エネをバランスさせた制御システムを採用した。

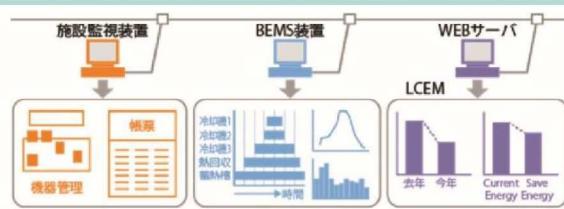
各種センサによるきめ細やかな制御



BEMSとWEBツールを利用したファインチューニング制御

現地に行くことなく運用コミュニケーション

「BEMS」を導入し、運用開始後の各種エネルギーのモニタリング解析と「WEBサーバー」を用いたファインチューニングの体制を構築することで、WEBサーバーを経由し常に省エネ運用を支援することで効果的な省エネルギーを実現している。また、webサーバーで演算した温熱環境を旅客向けにリアルタイムに現地のサイネージに表示している。



竣工後の運用実績と満足度調査

竣工後の環境調査

高い満足度と自然を感じることによる満足度の向上効果

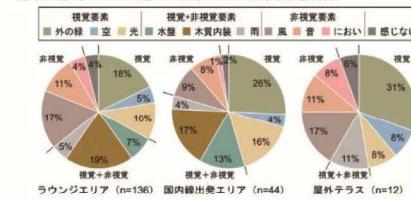
各環境満足度では、夏季・中間期のいずれも満足側が8割以上となり良好な結果となった。特に本空港の温熱環境は季節やエリアに関係なく常に幅があり、オフィスに比べ均一な温熱環境ではないが、窓が開いている場所であっても不快申告率が低かった。

さらに、自然を感じていない人と比較して、自然を感じている人のほうが、各環境の満足感を感じやすい傾向が見られた。自然を感じる要素では、外の景色・木質内装や光などの視覚要素と、視覚以外の風・音・においといった要素も環境満足度を上げる影響があることが示唆された。

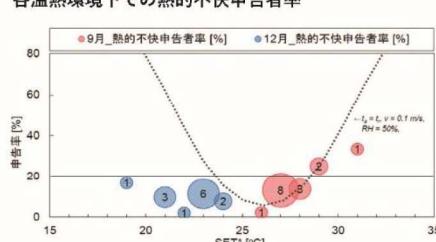
各環境満足度



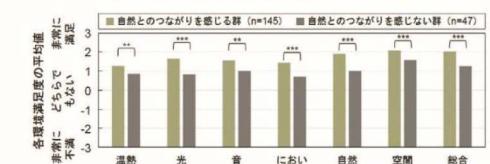
滞在場所ごとに感じられている自然要素



各温熱環境下での熱的不快申告者率



自然の感じ方による各環境満足度の違い

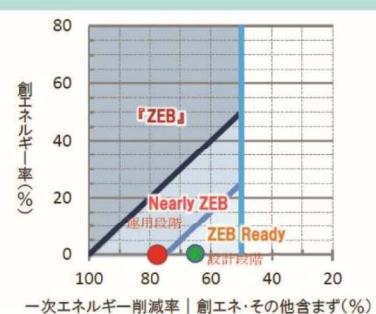


ZEB の運用実績

創エネ無しで Nearly ZEB を達成

竣工後の2020年度一次エネルギー消費実績は、空調のSET* 温度調整など定期的な運用チューニングの効果もあり、基準値（建築物省エネ法）と比較し設計時より9.8%削減され77.6%削減結果となり、Nearly ZEBを達成した。なお、現状はエネルギー削減量に太陽光発電などの創エネは含まれていない。

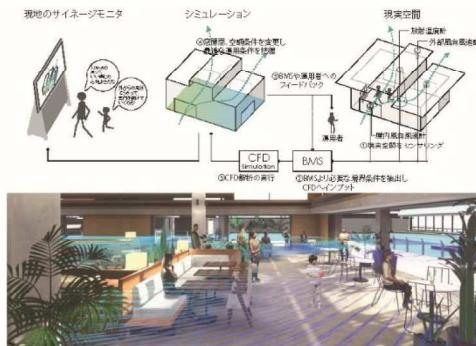
| 一次エネルギー消費量 [MJ/m ² ・年] | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-----|---------|------|---------|
| | 基準値 | 設計値 | BPU/BII | 実績値 | BPU/BII |
| PAL* | 855 | 524 | 0.62 | 38.7 | |
| 空調 | 1,422 | 427 | 0.31 | 69.9 | 337 |
| 換気 | 102 | 81 | 0.80 | 20.5 | 32 |
| 照明 | 282 | 73 | 0.26 | 74.1 | 35 |
| 給湯 | 0 | 0 | | 0 | 0.13 |
| 昇降機 | 0 | 0 | | 0 | 87.5 |
| コージェネ | 0 | 0 | | 0 | |
| 計 1 | 1,806 | 581 | 0.33 | 67.8 | 404 |
| 創エネ | 0 | 0 | | 0 | 0.23 |
| 計 2 | 1,806 | 581 | 0.33 | 67.8 | 404 |



風環境デジタルツインによる風環境の可視化の取り組み

シミュレーション技術を運用に活用

環境シミュレーション技術は、設計段階において環境を予測し計画に反映するために用いることが殆どであるが、本建物ではセンサリングを通して実際の建物とシミュレーション空間をつなげ、リアルタイムに利用者へ快適な場所、風の可視化により個人の嗜好に応じた居場所を提案するシステムを構築した。また、応用として温熱環境をリアルタイムに予想することで、フィードフォワード型の予測制御へ繋げることも継続検討している。この技術の構築にあたりBMSとCFDを間接的に接続させ、シミュレーション精度を落とすことなく計算時間を短縮するための境界条件設定やメッシュ分割数の低減手法を開発し、より短時間で現実に近い解析結果をアウトプットできるよう工夫を行った。



まとめ

プロジェクトの先進性

- 蒸暑沖縄のオープンエアを始めとする伝統建築技法と先端技術を組合せ Nearly ZEB を達成。
- 井水熱、水の気化熱そして自然換気などの自然エネルギー活用と自然界での体感温度に近いSET* 温度を用いた人にやさしい空調制御。
- 運用後のコミッショニングとしてセンサリングとリアルシミュレーションのデジタルツインによる省エネ制御。

技術の波及性・普及性

- 昨今のコロナ禍によって重要視されている換気を促進する窓を開けたオープンエア空間における省エネ技術。
- 気化冷却システムと冷温水コイル併用における外気方式における空調制御と省エネ技術。
- CFD計算速度向上技術、デジタルツインによる省エネチューニング手法。

今後の取り組み

- さらなる省エネに向け、現地調査やBMSデータ分析によるチューニングの実施。
- 太陽光発電などの創エネ設備を追加しZEBを目指す予定。