

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 中部支部
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 中部支部
業績の名称
愛知県国際展示場 (Aichi Sky Expo)の光・風・水・熱源の最適運用によるZEB化
所在地
愛知県常滑市セントレア五丁目10番1号

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社竹中工務店	石橋 良太郎
-----------	--------

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	株式会社竹中工務店					
建築主	愛知県					
設計者	株式会社竹中工務店					
施工者	株式会社竹中工務店					
建物管理者	愛知国際会議展示場株式会社					
延床面積	89,693	m ²				
階数	地上2階	地下-階	塔屋-階			
主用途	集会場、ホール					
竣工年月日	2019年6月					

支部選考委員長講評

本件は、「光・風・水・熱源の最適運用」を掲げ、中部国際空港に隣接した環境配慮型展示場として、世界に発信できる省エネ施設を目指し計画された。

光の利用としては、メガソーラーやハイサイドライトを採用してきた。メガソーラーは、蓄電池の代わりに蓄熱槽に蓄熱する方式とし、自家消費率を高める工夫がなされている。

風の利用としては、海・塩害との共生の考えに立ち自然換気の積極的な利用を行っている。また、旋回ファンによる暖房効率の向上とPMV制御の導入により送風温度の緩和と動力の低減が図られ感染対策にも寄与している。また、外気冷房により熱負荷削減を実践している。

水の利用では、イベントを考慮した蓄熱槽の放熱3段階モード選択の他、ミスト散水による周辺温熱環境の改善をし、熱中症対策に寄与している。

熱源においては、熱負荷パターンが大きく異なる展示場に対して、AIプログラムを開発し、40時間先までの予測による最適運転を実現している。

これらの総合的活用によりBEI値0.45を目標にし、運用実績はBEI値0.07、コロナによる影響を排除した全日イベント実施の換算想定ではBEI値0.14と非常に高い結果が達成されおり、これを評価する。

本件にて取り入れられ実証された削減手法は、これからの脱炭素社会の実現に向けたカーボンニュートラル化への貢献が大きく、ZEB化展示場の国際的な波及に寄与にとどまらず、他施設への応用への示唆に富むものであり、カーボンニュートラル賞に値するものと評価する。

関与した建築設備士の言葉

愛知県国際展示場は環境配慮型展示場として、中部国際空港から世界に発信できる省エネ施設として計画されました。ZEB 化展示場の国際的な波及を狙いとしています。天井高が高く、平面的に広大な展示場という大空間の特徴に合わせた4つのカーボンニュートラル化技術：①光，②風，③水，④熱源の最適運用を計画し、実運用で大幅な省エネルギー化を達成しました。自然エネルギーを最大限活用しつつ、イベント毎に負荷変動の大きい展示場の特性に合わせたフレキシビリティを備えており、今後様々な大空間建築に応用展開が図れると考えております。

大空間ゆえに測定・検証には大変な時間と労力を要すると共に、AIプログラム開発には専門の方々の知識をご提供頂きました。本計画にご尽力・ご協力頂きました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

（石橋 良太郎：株式会社竹中工務店）

業績の名称： 愛知県国際展示場 (Aichi Sky Expo)の光・風・水・熱源の最適運用によるZEB化

■ 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

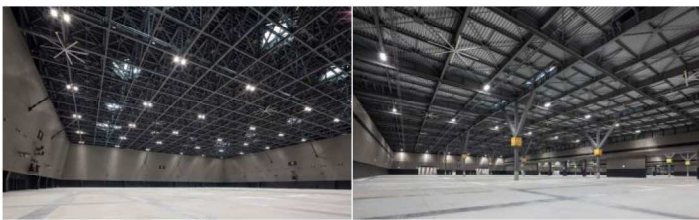
1. 計画概要

アジアの主要都市では、経済発展などのため、海外サプライヤーと国内バイヤーの商談の場として展示会産業が急成長している。これに対し、日本国内の展示会場の総面積は他国に比べて経済規模のわりに小さく、**展示会を含むMICE (ビジネスイベント) 産業の成長**が今後、望まれている。この流れを受け、愛知県においては、国内外から人呼び込む空の玄関口である「中部国際空港セントレア」空港島内に**国内初となる国際空港直結型の国際展示場**が完成した (写真-1,表-1)。

本施設は空港島の約280,000㎡の広大な敷地に、床面積60,000㎡の展示ホールと会議施設を併設し、空港利用者へも開放する駐車場は約3,450台の収容能力を有している (図1)。空港島では複合商業施設、LCC向け第2ターミナル、複数のホテル等の新たな施設が同時期に建設され、当展示場はその中核施設として位置づけられ、**交流・イノベーション拠点の役割**を担っている。建物の主な構成は、1Fにエントランスホール、モール、展示ホールA～F、フードコート、貸会議室、2階に受変電・発電機室、熱源機械室を配置している。

展示ホールAは、床面積10,000㎡の無柱空間の展示ホールであり、天井高は有効20m、展示ホールB～Fは、各10,000㎡の展示面積で、天井高は有効14mを確保している (写真-2)。展示ホールB～Fは隣接するホール間のシャッターを開けることにより、50,000㎡となり、ひとつなぎの展示ホールとして利用できる、国内最大級の展示ホールとなる。

本施設は、**環境配慮型展示場**として、中部国際空港から世界に発信できる**省エネ施設**として計画された。メガソーラー太陽光パネルをはじめとした様々な省エネ技術を備えており、**展示場として国内初のZEB Ready (計画)・Nearly ZEB (実績)**を達成している。今後、国内利用者はもちろんのこと、空港を介して海外から来日する利用者との国際交流・情報発信を通じて、**ZEB化展示場の国際的な波及に寄与**することを狙いとしている。



ホールA ホールB～F
写真-2 展示ホール内観



写真-1 愛知県国際展示場外観

表-1 建物概要

建物名	: Aichi Sky Expo (愛知県国際展示場)
建物用途	: 展示場
建築地	: 愛知県常滑市セントレア5-10-1
敷地面積	: 280,265㎡
建築面積	: 88,643㎡
延床面積	: 89,693㎡
規模/構造	: 地上2階 / 鉄骨造
工事期間	: 2017年9月～2019年6月

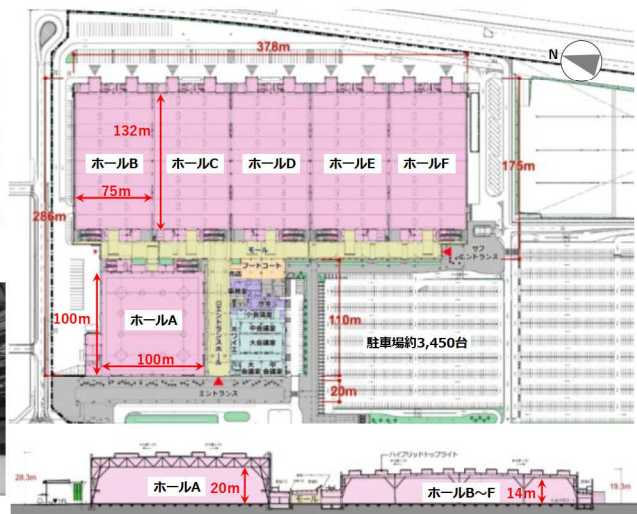


図-1 平面図・立面図

環境配慮型展示場として CASBEE-Sランク ZEB Ready(計画)・Nearly ZEB(実績)を達成

天井高が高く、平面的に広大な展示場という大空間の特徴に合わせた4つのカーボンニュートラル化技術: ①光, ②風, ③水, ④熱源の最適運用を計画し、実運用で大幅な省エネ化を図った (図-2)。これらの技術は中部国際空港周辺の自然エネルギーを最大限に活用しつつ、イベント毎に負荷変動の大きい展示場の特性に合わせたフレキシビリティを備えている。次項より、この内容について報告する。



図-2 光・風・水・熱源の最適運用によるカーボンニュートラル化

この資料は、受賞者の了解を得て建築設備技術者協会から公開している資料です。個人で使用するために留め無断転載等を禁止します。

2. 太陽光パネルおよび自然採光による 光の積極的活用

光

2.1 メガソーラー太陽光パネルの電力有効活用

展示ホールB,Cの屋上にメガソーラー太陽光パネル1,060kWを設置した。太陽光パネルは中部国際空港と協議を行い、飛行機への反射光を低減する防眩仕様の太陽光パネルを採用している(図-3)。

発電電力は自己消費を主体に行い、休日や準備日等の余剰電力については売電を行う。太陽光パネルの容量は年間を通じて、電力消費に対しての利用率を高くできるよう、中間期の展示ホール1日の使用電力の内、平均50%の供給が可能な容量として、計画した(図-4)。

昨今、太陽光パネルが昼間に需要以上に発電し、再生エネルギーの出力抑制を行う系統制約が電力需要の課題となっている。この対策の一つとして、蓄電池の採用が奨励されているが、大容量の蓄電池の導入はまだまだイニシャルコストの負担が大きい。そこで、本施設では大容量の蓄電池を実装する代わりに、昼間の発電電力を用いて空冷HPチラー(蓄熱時COP4.0~6.0)を運転し、水蓄熱槽(1,000m³)に蓄熱することで、日中の余剰発電をヒートポンプによる高効率運転で蓄熱し、冷房負荷へ利用する運用も可能としている(図-5)。

また、太陽光発電パネル1,060kWのうち100kWについては、災害時に展示ホールAにおいて携帯電話等の充電に利用できるよう自立運転型のパワーコンディショナーを設置している。



図-3 太陽光パネル設置状況

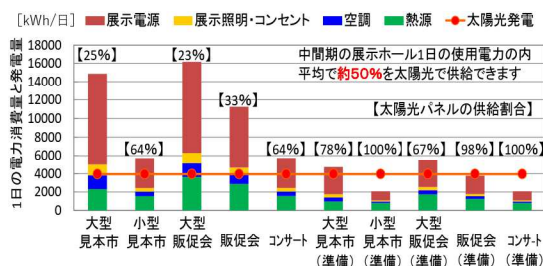


図-4 イベント別の太陽光発電電力寄与率

2.2 ハイサイドライトによる自然採光と昼光センサ制御

天井面にハイサイドライトを全面的に設置し、積極的に自然採光利用を行っている(図-6)。晴天日は照明を用いずとも、歩行に支障のない明るさが得られ、照明点灯を抑制した運用が行えている。展示ホール内の照明は高天井用LED器具により300lxを確保し、高天井用昼光センサによる調光制御で消費電力の低減を図っている。

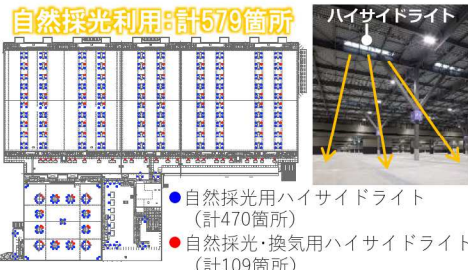


図-6 ハイサイドライトによる自然採光

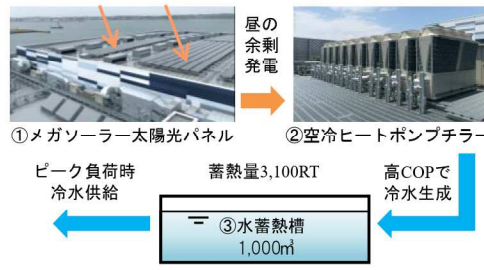


図-5 太陽光余剰発電の蓄熱槽利用

3. 自然換気・外気冷房および大空間PMV空調による 風の有効利用

風

3.1 自然換気による換気促進

自然換気用ハイサイドライトを全面的に設置し、モール下部に取入用の自然換気窓を設置した。また、バックヤードのシャッター(ホール毎2箇所)を開放することでも自然換気が可能である(図-7)。自然換気は中間期にイベントや前日準備の際に利用することを想定しており、これにより、換気回数を高め感染対策にも繋げることができる。

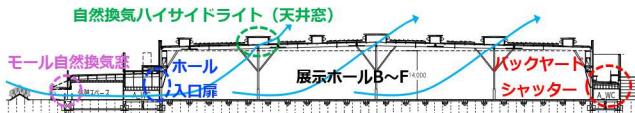


図-7 自然換気の計画概要

3.2 外気冷房による大幅な省エネ化

展示ホール・モール他の館内全空調機は外気冷房により、発熱負荷を処理できる計画とした。外気冷房は通常は中間期(5月・10月前後)に限られるが、空調機の還気と外気をミキシングダンパで制御し、給気温度を設定よりも高く保つことで、6~9月の夏を除く全月で外気冷房を行うことができ、発熱負荷の大部分(8~9割程度)を賄い、熱負荷を削減できる(図-8)。

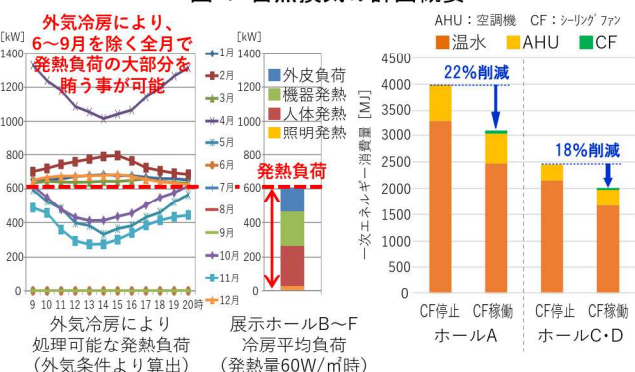


図-8 外気冷房の省エネ効果

3.3 気流を活用したPMV空調

展示ホールA~Fの天井面には省電力大型シーリングファン(直径約5m)を設置し、暖房時に暖気を吹き降ろすことによる暖房効率の向上を図った。また、旋回流ファン(展示ホールA)、省電力大型シーリングファン(展示ホールB~F)による快適性と省エネ性を両立するPMV制御を導入し、気流感を与えることで、室内温度を緩和しても快適性を得られる範囲で空調機の送風温度緩和とファン動力の低減を図っている(図-9)。

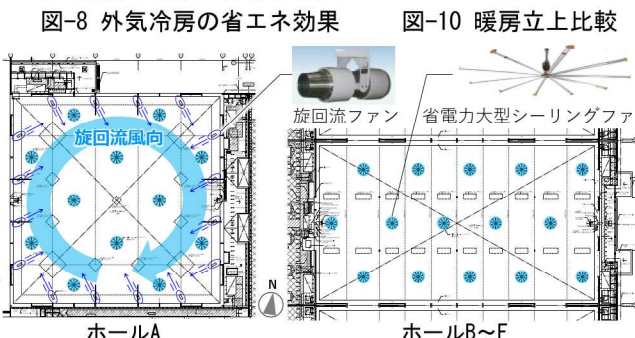


図-9 省電力大型シーリングファン・旋回流ファン配置

3.4 暖房立上時の省エネ化

暖房時にシーリングファンを運転することで、上部に溜まる暖気が下部まで届き、居住域環境が改善、立上時間が短縮する。冬期実測の結果、立上時間短縮により、エネルギー消費量はホールAで22%、ホールDで18%削減となり、暖房立上時のシーリングファン稼働が省エネに有効であるといえる(図-10)。

図-10 暖房立上比較

4. 低層連結型蓄熱槽・パーティカルフォレスト・BCP対策による水のフレキシブル利用

水

4.1 低層連結型蓄熱槽による負荷平準化

蓄熱槽は海岸に近い空港敷地の湧水を抑え、残土処分低減を図るため、構造地下ピットを利用した水深1.7mの低層連結型蓄熱槽(計27槽)とした。有効容量1,000m³を確保し、各槽間にディストリビューターを配置することで蓄熱槽全体の温度成層化を図った(図-11)。

放熱は3段階のモード(送水量4,000、3,000、2,000L/min)を選択可能とし、運用により様々な規模のイベント負荷に対応できる計画とした。夜間電力を使用して蓄熱、昼のピーク負荷時に放熱することでピーク負荷を30%低減し、負荷平準化を図っている(図-12)。

4.2 垂直緑化ユニットへのミスト散水利用

環境デザインの視覚化として、愛・地球博(愛知万博2005)テーマである「自然の叡智」を喚起する垂直型壁面緑化ユニット「パーティカルフォレスト」をエントランスに計51本配置し、四季を通じて咲く、多様な草花を来場者が愛でることが出来る計画とした(写真-3)。長さ9mのパーティカルフォレストには台風通過後に降り注いだ塩水を流すための塩害対策用のミスト装置を設置している。このミスト装置を真夏日に散水利用することで、周辺温度を下げ、エントランスから展示場に向かう熱環境を改善し、熱中症対策として活用できる(図-13)。

4.3 津波・水害に備えたBCP対策

電気室、非常用発電機・燃料タンクを2階に配置し、水害に対する影響を最小化する計画とした。また、上下水道のインフラ断絶時にも避難者に最低限供給できる分の受水槽容量を確保し、汚水貯留槽を設けることで災害時の給排水環境を構築した(図-14)。建築計画としては、万が一の津波に対し、逃げ遅れた来場者を屋上に避難誘導できる階段を2か所設置している。

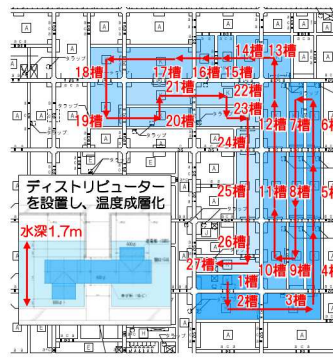


図-11 低層連結型蓄熱槽



写真-3 パーティカルフォレスト

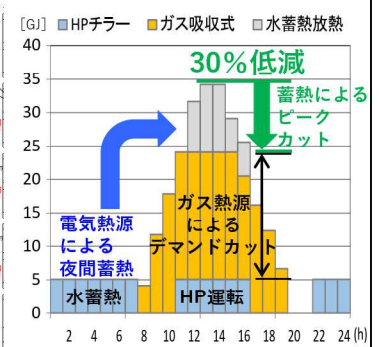


図-12 ピークカット・負荷平準化

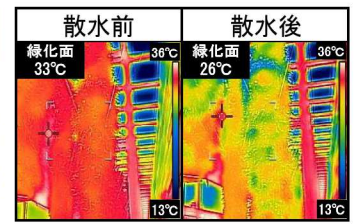


図-13 散水前後のサーカマ温度

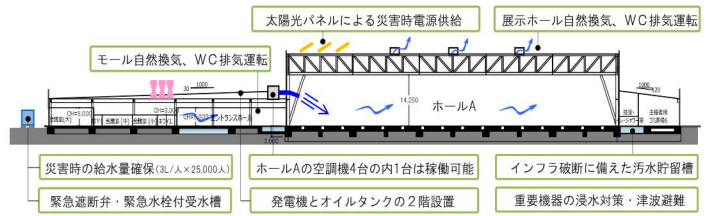


図-14 津波・水害に対応したBCP対策

5. AIによる予測機能を活用した熱源の最適運用

熱

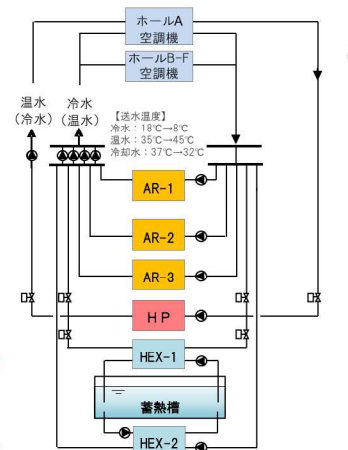
5.1 様々なイベントに対応可能な熱源システム

空調熱源は、ガス吸収式冷温水発生機(AR-1~3)、電気式空冷モジュールチャラー(HP)と蓄熱システムの構成とし、様々なイベントに対する負荷追従性と電気デマンド低減に配慮した(図-15)。

5.2 AIによるリアルタイム熱源最適化

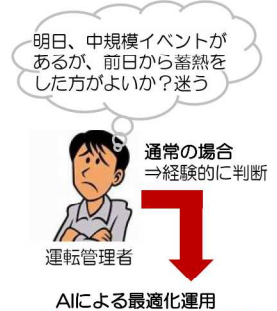
イベントの種類やホールの利用率などの要因により、日によって熱負荷パターンが大きく異なる展示場に対し、どのような熱源運転が最適であるかを管理者が判断するのは難しい。そこで、運用をサポートする目的で空調熱源の最適な運転を予測するAIプログラムを開発し、施設に導入した(図-16,図-17)。計算アルゴリズムには知的最適化アルゴリズム、εDE-RJ (Epsilon differential evolution with random jumping)を用い、40時間先までの積算運用コスト、一次エネルギー消費量およびCO₂排出量を算出することができる。

最適化効果の検証を従来制御との比較で行った。熱源廻りの運用コストは従来制御と比較して最適化制御で18.9%の削減となった。一次エネルギー消費量は14.8%削減、二酸化炭素排出量は12.9%削減を実現している(図-18)。また、最適化対象日の需要・コスト分析結果(図-19)より、低負荷時はガス吸収式冷温水機を非稼働とし、COPが高い空冷HPの稼働が奨励されていることがわかる。



AR-1~3 : ガス吸収式冷温水機 500RT×3
HP : 空冷ヒートポンプモジュールチャラー(10台)計140RT
HEX-1~2 : 蓄熱槽 蓄熱用熱交換器, 放熱用熱交換器

図-15 熱源システム構成



通常の場合
⇒経験的に判断

AIによる最適化運用

- 最適化パソコンで40時間後までの負荷・運転予測が可能
- 何時から蓄熱運転を行い何時から放熱運転を行えばよいか分かる
- ⇒予測に基づいた運転設定ができる

図-16 最適化運用イメージ

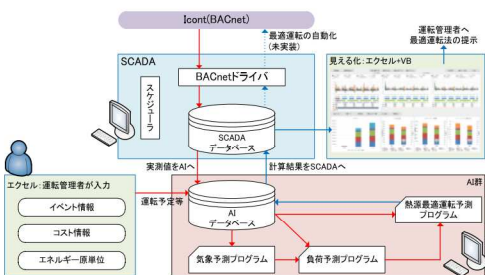


図-17 AIによる最適予測システム構成

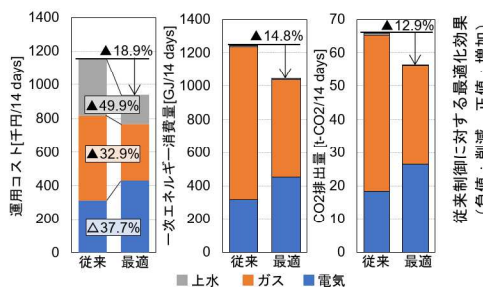


図-18 期間分析結果(夏期14日間)

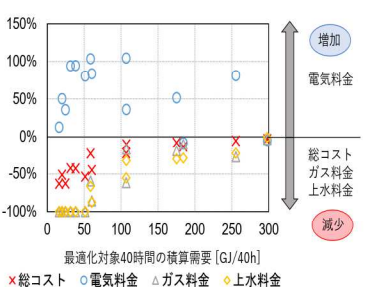


図-19 冷房需要と最適化効果

6. ZEB Ready(計画)・Nearly ZEB(実績)の達成とエネルギー消費量

6.1 環境性能の評価結果

省エネ性・CASBEEの評価結果を図-20に示す。展示場の一次エネルギー消費量の実施値（省エネ法の計算プログラムにて計画時に計算）は標準建物の3,253MJ/m²年に対し、1,434MJ/m²年となり、BEI値0.45(55%削減)、国内展示場初となる「ZEB Ready」を達成した。また、その後の運用実績(イベント日114日分を抜粋し、年間換算)にてBEI値0.14(86%削減)、427MJ/m²年、実績(2020年全日分)にてBEI値0.07(93%削減)、201MJ/m²年となり、実績値としても国内展示場初となるNearly ZEBに到達している。加えて、CASBEE評価結果においても、BEE4.7にてSランクを達成した。これらにより、環境配慮型の省エネ展示場として、国内トップクラスの省エネ性能が実現できているといえる。

6.2 エネルギー消費量の実績

太陽光発電パネルの発電量の実績(図-21)より、太陽光パネル発電量は最大月：2020年8月で165,800kWh/月、日平均で5,348kWh/日となり、脱炭素化社会実現へ大きく寄与しているといえる。また、年間では施設に1,331MWh/年の発電量を供給できていた。尚、2020年2月中頃から2020年8月中頃まではコロナ禍でイベントが中止となっていた期間となるが、それ以外の稼働月において、館内へ供給した太陽光発電量は28.1%、売電量は全体の電力使用量に対して5.4%となり、館内で自己消費が多くできている運用結果となった。

本施設の稼働から2021年3月末までの一次エネルギー使用量の実績を図-22に示す。イベント実施の有無および規模により、一次エネルギー消費量は大きく変動する。エネルギー消費のピークは夏期：2020年9月9日に334GJ/日（電力213GJ/日、ガス121GJ/日）、冬期：2021年1月31日に337GJ/日（電力182GJ/日、ガス：155GJ/日）となっており、電気とガスのベストミックスにより、電力契約のピークを大幅に抑え、負荷平準化が行えている。

6.3 今後の取り組み

5.2のAIによるリアルタイム熱源最適化はイベントを重ねるごとにAIが学習していき、精度を増していく。そのため、今後はイベント情報を蓄積し、実施データの学習量によるAI予測精度の比較を行い、結果を情報発信していく予定である。

また、ZEB化展示場としては、完成し、稼働を行っているが、国際展示場として海外からのイベント誘致に関しては、コロナ禍の影響を受け、十分に実施できていない。海外からのイベント誘致が行え、環境配慮型展示場として、海外へ日本の最新環境技術を情報発信し、脱炭素社会の構築に世界規模で貢献していくことが本施設の今後、最も重要な取り組みとなる。

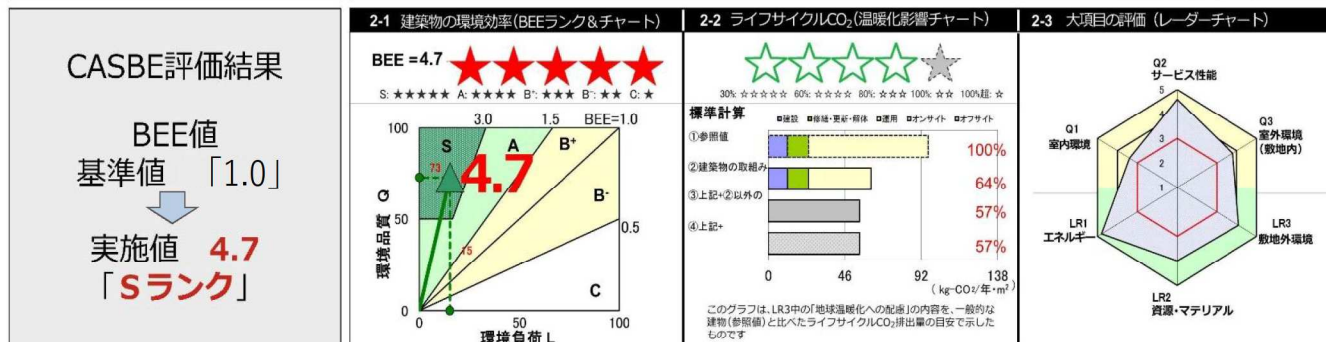
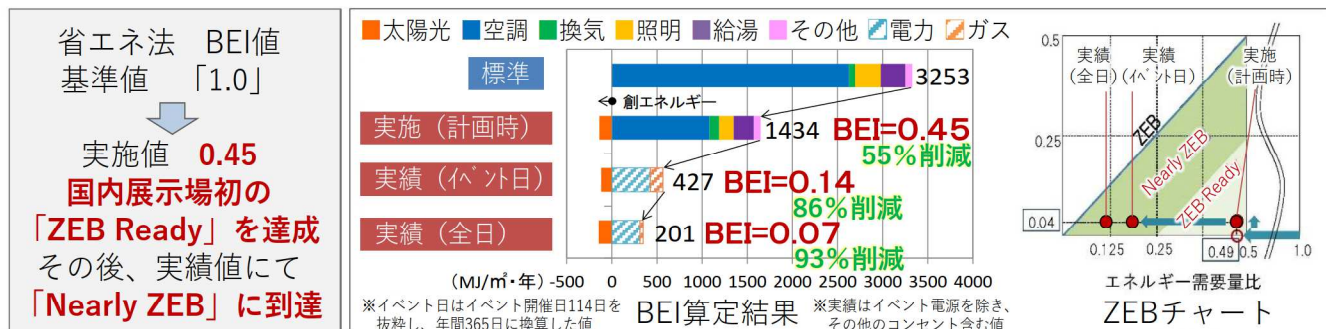


図-20 省エネ・CASBEEの評価

