

高砂熱学イノベーションセンターにおける 環境・設備計画と実施

木村 健太郎・平原 美博・清水 昭浩・柴田 克彦
小林 功・羽鳥 大輔^{*1}・武藤 友香^{*1}・高棕 敦士^{*1}
金子 英宏^{*2}・牧野 内絵理^{*2}・岡田 怜^{*3}・北澤 結人^{*4}
田辺 新一^{*5}・鵜飼 真成^{*5}・赤司 泰義^{*6}・宮田 翔平^{*6}

Environmental Facility Planning and Execution at the Takasago Thermal Innovation Center

Kentaro Kimura・Yoshihiro Hirahara・Akihiro Shimizu・Katsuhiko Shibata
Isao Kobayashi・Daisuke Hatori^{*1}・Yuka Mutoh^{*1}・Atsushi Takamuku^{*1}
Hidehiro Kaneko^{*2}・Eri Makinouchi^{*2}・Satoshi Okada^{*3}・Yuto Kitazawa^{*4}
Shin-ichi Tanabe^{*5}・Masanari Ukai^{*5}・Yasunori Akashi^{*6}・Shohei Miyata^{*6}

高砂熱学イノベーションセンターは、2023年に当社が創立100周年を迎えることを記念し2020年1月に竣工した。「地球環境負荷低減と知的生産性向上を両立するサステナブル建築」を設計コンセプトとし、建築的には日射遮蔽と高断熱を図りつつ、自然換気や自然採光を積極的に取り入れた。設備的には快適性を考慮した省エネルギーへの取り組みに加え、バイオマスCHPや太陽光発電、地下水熱利用といった再生可能エネルギーの活用と蓄電池の組み合わせにより、カーボンニュートラルを実現した。また環境技術への興味の誘発と伝承を行っていく地域貢献の役割も担っている。



写真1 高砂熱学イノベーションセンター

1. はじめに

高砂熱学イノベーションセンター(写真1、図1)は、2023年に創立100周年を迎える当社が、既存の技術研究所と本社機能の開発部門の一部を集約した新たな研究開発拠点として計画した施設である。「地球環境負荷低減と

※本論文は、空気調和・衛生工学第97巻第7号を加筆修正したものである。

*1 株式会社三菱地所設計 *2 株式会社竹中工務店 *3 株式会社関電工 *4 株式会社ヤマト *5 早稲田大学 *6 東京大学

知的生産性向上を両立したサステナブル建築」を設計コンセプトとして 2020 年 1 月に竣工、同 3 月に運用開始した。空調を軸に持続可能な社会の実現を目指す当社は、本施設を脱炭素社会に導く先駆的建物とすべく、ZEB 実現のために徹底した省エネルギー化技術と既成概念の枠にとらわれない創エネルギー技術を採用した(図2)。また、室内環境では知的生産性向上を促すヒューマンセントリックな技術とシステムを積極的に採用し、従業員が実際に日常的な運用・改善を行い、迅速に研究開発にフィードバックできる環境を構築することで、将来の社会還元を目標としている。加えて、当社初代社長である柳町政之助から始まる空調技術の伝承を目的とした展示施設を併設することで、隣接する小学校児童を含む多くの方々に空調を広く知って頂くと共に、空調技術の歴史や仕組みを伝承する施設を目指した。さらに、平常時からエネルギーを自立して運用することにより、非常時でも地域に安心を提供し、地域共生しながら成長する助け合いの場となることを目指している。

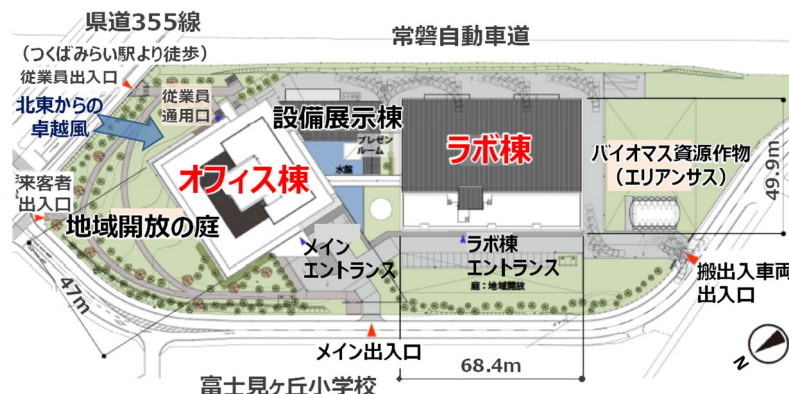


図 1 施設配置図

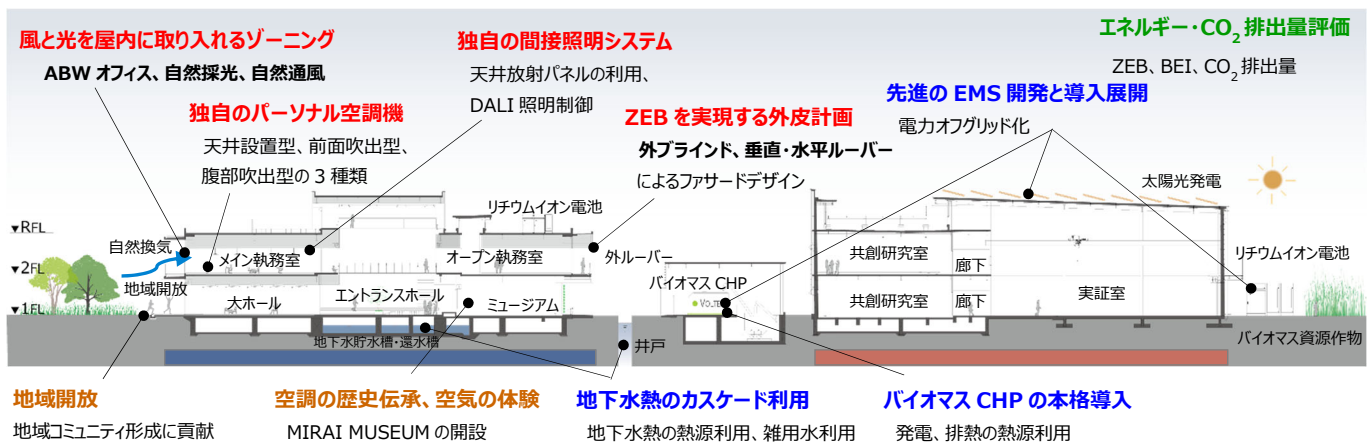


図 2 環境への取り組み概念図

2. ZEB を実現した建物計画と性能検証

次世代の新たな技術創出に向け、豊かな敷地を活かして低層のラボ棟とオフィス棟を連絡通路で結ぶ構成とし、風・光・緑・水などを建物内部に積極的に取り入れることで、「イノベーションを誘発する空間」への変革を目指した。

2.1 風と光を屋内に取り入れるゾーニング

オフィス棟は、中間期の自然換気を効率的に行うために、北東の卓越風を積極的に取り込み東西方向に間仕切りのない一体空間としセミオープンなエリアとした。上部開口を設けた中央の吹抜けからは各所に自然光が差し込み、照度や明るさ感を得られる計画とした。ラボ棟との結節点となる南西側には展示やワ

イガヤスペースを、眺望の良い北側には主執務室を配置した。中間期に自然換気の有無によるエネルギー消費量を比較検討したところ、自然換気（日中平均 5.7 回/h 相当）することにより空調の一日の消費電力が 33.4%削減となり、自然換気による省エネ効果を確認できた。

2.2 環境スクリーンとしての外皮計画

南面のバルコニーには、雲量解析と太陽位置によりスラット角度を自動制御する外ブラインドを設置した（写真 2）。自然換気のため開口を大きく設けた東西面は、外壁をセットバックさせバルコニーの奥行きを深くとり、緩衝領域を設けることにより室内外の一体利用を可能とした。東西面バルコニーの外ルーバーは、コンピューショナルデザインにより、日射取得熱量、室内光環境などを目的関数としてルーバーの形状と角度の最適化を行っている。



写真 2 各方位のファサード

2.3 新規開発した間接照明システム

主執務室には、新規開発した天井放射空調パネルと組み合わせた間接照明システムを導入し、机上面アンビエント照度を 300 lx とし不足分をタスクライトで補うタスク・アンビエント照明方式とした。間接照明はアンビエント照度で机上面 300 lx となるように 65%光を上限として運用しており、65 %調光時の消費電力は約 4.2 W/m²である。従来の机上面 700 lx の照明の消費電力を 7 W/m²と想定すると、ベースの消費電力は約 40 %の省エネとなった。さらに、照明制御を活用し、晴天日(2021 年 3 月 18 日)では従来照明と比較して約 64 %の省エネ（消費電力：約 2.5 W/m²）を実現した。

2.4 パーソナル空調機の開発と導入

本オフィスでは、執務者個人の代謝量や温熱嗜好に応じて温熱環境を自由に選択可能とするために、ABW(Activity Based Working)を導入しているが、その選択幅に更なる多様性を持たせるために、個人の端末で操作する 3 種類のパーソナル空調機を開発し、導入した（図 3、写真 3）。パーソナル空調機は、夏季には地下水を冷熱源とし、冬季にはバイオマス CHP の排熱を温熱源としている。また、外気投入量をベースにミニマム設計した外調機は、人位置検知による外気量制御を行い、確実な換気と省エネを両立した。

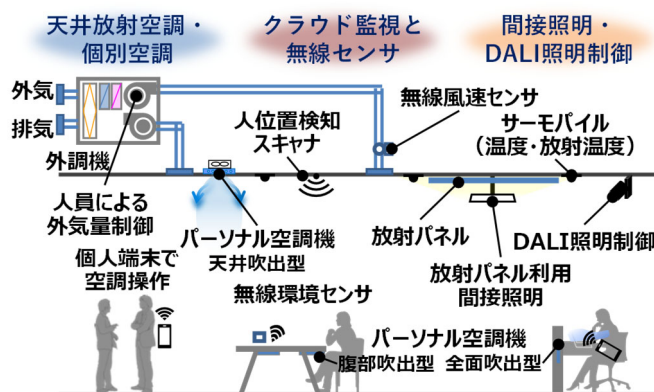


図 3 オフィス棟執務室の空調設備



写真3 パーソナル空調機

2.5 環境認証制度における評価

執務エリアでは、各シーズンでアンケート調査と詳細室内計測を行い、快適性の面においても運用改善を行った。アンケート結果からは、「非常に満足」～「どちらでもない」の回答が、夏季は75%、冬季は80%を占め、高い満足度が得られた。また、各種評価制度の認証も取得した。BELS 認証では、標準入力法(WEBプログラム)での計算で $BEI=0.09$ となり、BELS 評価★5 つの Nearly ZEB を獲得した(創エネを除くと $BEI=0.33$)。CASBEE-WO の評価では、総合評価 86.6 点の S ランク認証を取得した。特に知的生産性の評価は全て 4.0 以上のスコアと高かった。建物の総合環境性能評価として、LEED®v4 では、72 点の Gold 認証を取得した。

3.カーボンニュートラルを見据えた省エネ・創エネ・蓄エネシステム

電力系統へ逆潮流不可という制約のなか、地下水から冷熱と井水、木質チップから電力と温熱、太陽エネルギーから電力を取得し、さらに敷地内に大容量蓄電池を設置することでオフグリッドでも建物が自立するエネルギー計画とした(図4)。

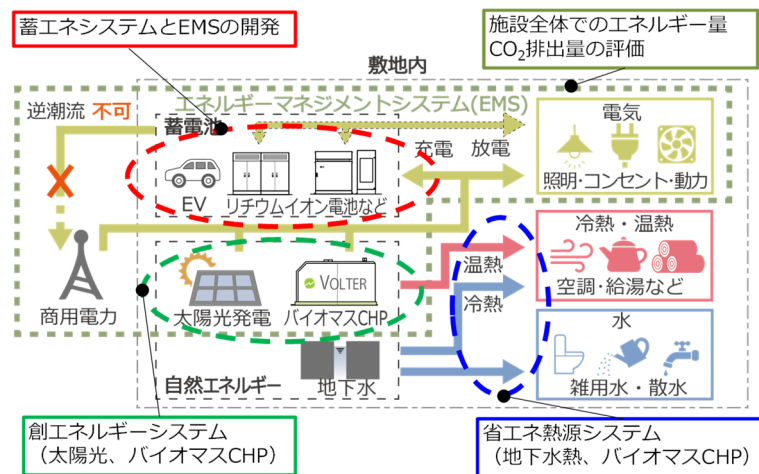


図4 省エネ・創エネ・蓄エネシステム概要図

3.1 地下水熱とバイオマス CHP 排熱を利用した省エネ熱源システム

汲み上げた地下水をエントランスの床放射、日中の外調機や放射空調などへ利用した後、さらに水熱源ヒートポンプユニットの熱源水とする三段階の熱のカスケード利用を行い搬送動力の削減や熱源機の高効率化を図った(図5)。2021年度の地下水熱利用の運転実績を図6に示す。地下水の汲上温度は、年間を通じて16℃前後で安定して供給されていた。地下水熱利用による冷水熱量とヒートポンプチャージで供給され

る。冷水熱量を比較したところ、施設全体の冷水熱量のうち、63%を地下水熱で処理しており、安定した冷熱源であることを確認した。一次ポンプを含む冷水システム COP は、地下水熱が 6.5 に対してヒートポンプは 4.1 となり地下水熱利用の省エネ性を確認できた。また、給排水衛生用途で使った水のうち、約 80% は地下水だったことから、上水使用量削減の面からも CO2 排出量削減に寄与していることを確認した。

図 7 に 2021 年度のバイオマス CHP の排熱利用熱量の推移を示す。年間の積算値で見ると、バイオマス CHP の排熱のうち約 43 %を空調、約 54%を木質チップの乾燥工程で使用されていた。木質チップの含水率管理に自身の排熱を使用し、省エネと安定稼働を実現した。その他、吸着式冷凍機で 1.7%、給湯で 1.6%が使用された。2021 年度の運転実績から、バイオマス CHP の空調での排熱利用量は 1,607 GJ/年に対して、排温水の搬送動力は 46 GJ/年であり、少ない投入エネルギーで空調できていることを確認できた。また、施設全体の温水熱量のうち、93 %をバイオマス CHP の排熱で処理しており、安定した温熱源であることを確認した。

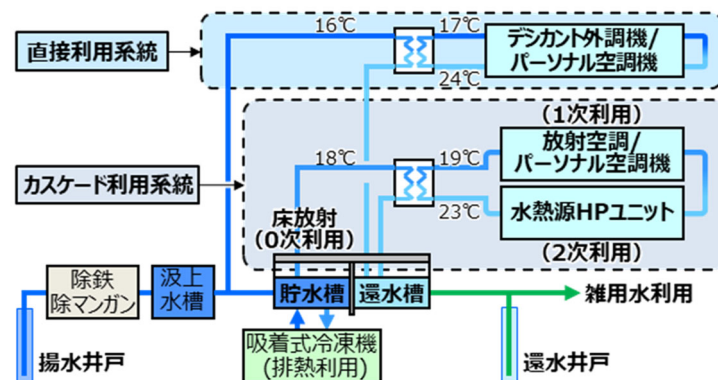


図 5 地下水熱利用の概要図

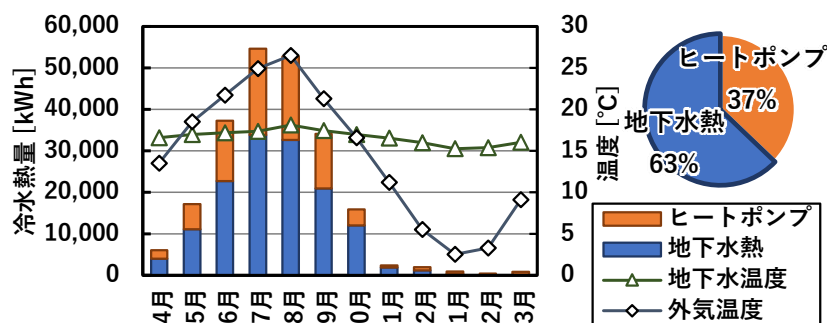


図 6 地下水熱利用の運用実績 (2021 年度)

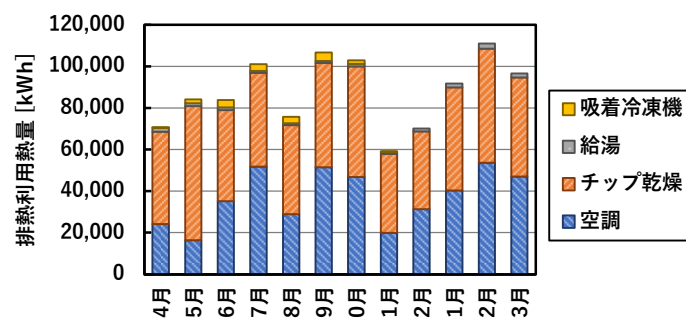


図 7 バイオマス CHP の排熱利用熱量の実績 (2021 年度)

3.2 太陽光とバイオマス CHP を組合せた創エネルギーシステム

創エネルギー設備として、太陽光発電 200 kW に加えて、ラボ棟の実験装置の 24 時間稼働を想定し電力の安定供給可能なバイオマス CHP を 2 台導入し、バイオマスエネルギーをベース電源とした。運用段階においては、課題の把握と運用改善を繰り返すことで、バイオマス CHP の安定稼働と排熱の有効利用を実現した。

3.3 電力オフグリッドを目指した蓄電池の増設と EMS の開発

立地の逆潮流（売電）不可という制約の中、大容量蓄電池（リチウムイオン電池 2,965 kWh+NAS 電池 1,200 kWh、オフィス棟の電力消費量の約 5 日分に相当）を増設して電力オフグリッド化を目指した。また、エネルギーマネジメントシステム（EMS、図 8）を開発し、AI を用いて天気予報などから太陽光発電量を予測し、建物消費電力量予測と合わせて蓄電池や発電機の最適制御を行った。これらの取り組みにより、電力自給率が 80%（バイオマス発電比率：55%）と高い水準を実現し、BCP の観点からも非常に優れたシステムであることを示した（図 9）。

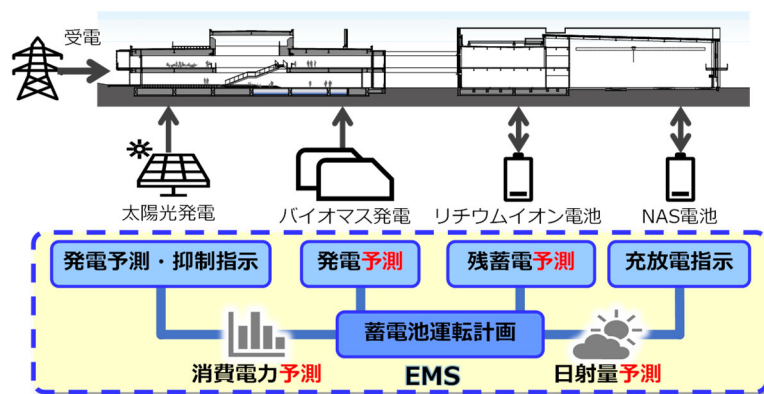


図 8 EMS の概要

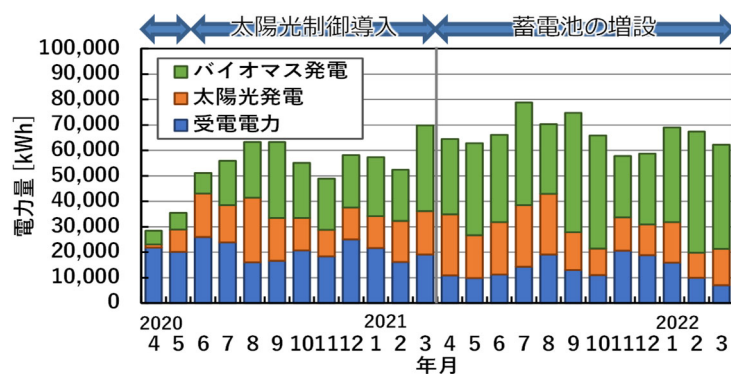


図 9 受電電力量及び再生可能エネルギー電力量の推移

4. 施設全体でのエネルギー量・CO2 排出量の評価

4.1 棟別エネルギー消費量の推移

図 10 に負荷単位の電力量より算出したオフィス棟とそれ以外（ラボ棟、設備展示棟等を含む）の電力消費量の推移を示す。2021 年度の年積算値は、執務や来客対応のオフィス棟では、初年度の 2020 年度に比べて 21 %減少したのに対し、実験を行うラボ棟では実験装置等の稼働増加により 43%の増加となり、敷地

全体では 10% の増加となった。

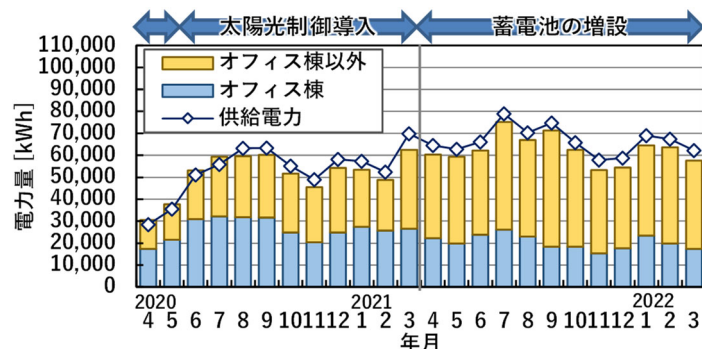


図 10 棟別消費電力量の推移

4.2 ZEB 達成状況の評価

竣工後 2 年間継続的に運用改善を行った結果、敷地全体では Nearly ZEB、オフィス棟で『ZEB』を達成した（図 11）。基準値は、旧技術研究所における 4 年間の実績値平均（敷地全体 3,150 MJ/(㎡・年)、オフィス棟 1,389 MJ/(㎡・年)）を使用した。エネルギー消費量原単位では、2021 年度に施設全体で 1,397 MJ/(㎡・年)、オフィス棟で 489 MJ/(㎡・年)となった。

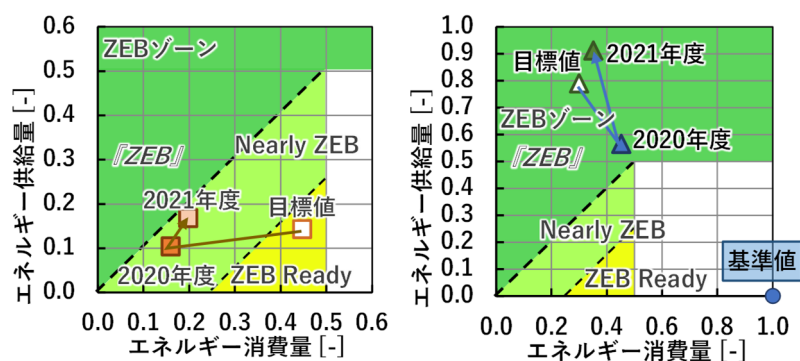


図 11 ZEB チャート達成状況（左：敷地全体、右：オフィス棟）

4.3 施設全体 BEI の評価

図 12 に BEI 及び発電/消費原単位の比較を示す。BELS の基準値に対する再エネを含む計算値は 0.09 であるのに対し、2021 年度の運用実績値では 0.11 となった。その他に相当するコンセントや実験装置等を除く原単位でみると、BELS を上回る結果となった。

図 13 にエネルギー原単位の内訳を示す。その他を除く消費エネルギー原単位で比率の大きい空調設備では運用実績値が BELS の設計値を下回り省エネ運用となっているとともに、照明設備は BELS の計算値とほぼ同程度であることが確認できた。

4.4 CO2 排出量での評価

図 14 に CO2 排出量の基準値と本施設の実績値を比較した。2020 年度は基準値に対しては 97%削減、2021 年度は 100%削減となり、化石燃料を一切使用しない 100%カーボンニュートラルを達成している。これは、バイオマス CHP、太陽光発電の再生可能エネルギーの活用に加え、水力発電由来のグリーン電力（東京電力、アクアプレミアム）を 2020 年 7 月から購入開始したためである。

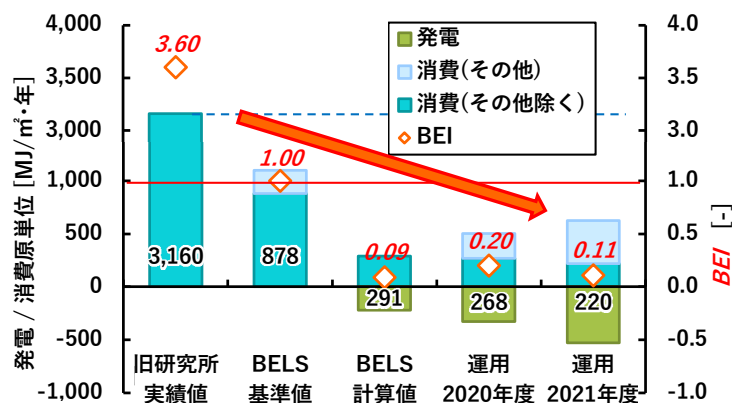


図 12 BEI での比較

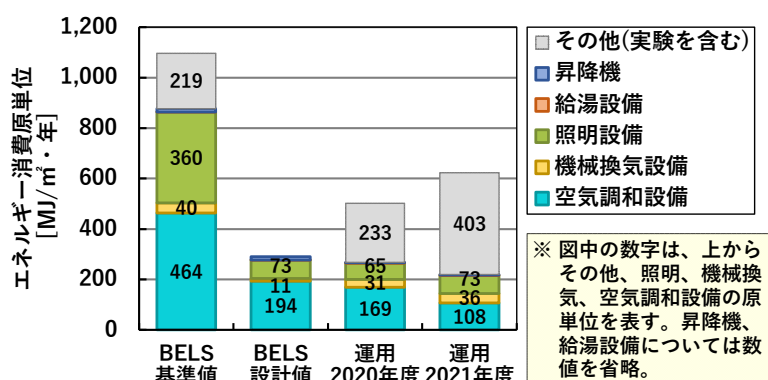


図 13 エネルギー消費原単位の内訳比較

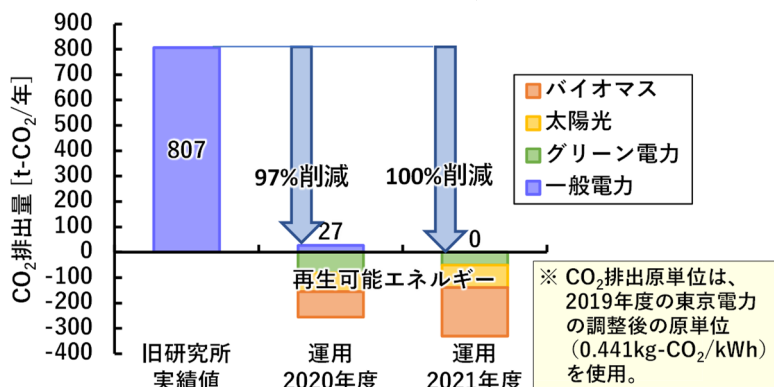


図 14 CO2 排出量の比較

5. 空調技術の伝承と地域に貢献する拠点づくり

5.1 空調技術の伝承の場

本施設は当社が担ってきた空調技術を足掛かりとして環境創造を情報発信する場でもある。当社の初代社長である柳町政之助のアンドロイドが環境や空調技術を紹介するプレゼンルームに加え、地域の子供たちが“空気”について体験し学べるミュージアム空間を設置した。

5.2 地域貢献への取り組み

地域貢献として施設廻りのオープンスペースを利用して「たかさごマルシェ」（野菜直売、施設内見学）などの開催により地域交流の場の提供を行っている。また、当社で開発した災害時避難所用空調ブースや

体育館向け空調システムを市内の小学校に提供するなど、地元つくばみらい市と安全や教育などの面で連携を進めている。

6. おわりに

本施設では、潜熱分離と個別空調を組合せた空調システムやエネルギー自立型施設の EMS など先進性の高い技術を導入するとともに、通常は建築設備として採用されることの少ないバイオマス CHP や大容量蓄電池を組合せ、逆潮流不可という制約の中、オフグリッドを見据えた独創性の高いエネルギー需給システムを構築した。

今回本施設に導入した設備システムは、実際に運用を行いながら改良・改善を図った上で、世の中に展開し社会実装を目指していく。また、本施設の空調設備や再生可能エネルギー設備を学びの場として積極的に地域に公開し、情報発信を継続していくことで、地域の発展にとどまらずカーボンニュートラルの実現に向けて社会貢献していきたい。

ABSTRACT

Takasago Thermal Engineering Innovation Center was completed in January 2020 to commemorate the 100th anniversary of our founding in 2023. The design concept of this building is "sustainable architecture that achieves both reduction of global environmental load and improvement of intellectual productivity".

We have adopted an architectural design that allows natural ventilation and natural lighting while aiming for solar shading and high heat insulation. In terms of equipment, we have introduced energy-saving systems such as desiccant outdoor, radiant, and individual air conditioning. In addition to solar power generation, we have introduced biomass gasification power generation and large-scale storage batteries as renewable energy. Furthermore, we pump up groundwater and actively use it for air conditioning.
