【技術論文】

エネルギー自立型サスティナブル研究施設
ー竣工 4 年後の ZEB 達成状況の評価と対策ー※

清水昭浩・相澤直樹・木村健太郎
羽鳥大輔[*1]・高椋敦士[*1]・田辺新一[*2]

Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center
- Evaluation of ZEB Achievement Status and Countermeasures Four Years after Completion -

Akihiro Shimizu・Naoki Aizawa・Kentaro Kimura
Daisuke Hatori[*1]・Atsushi Takamuku[*1]・Shin-ichi Tanabe[*2]

高砂熱学イノベーションセンターは、環境負荷低減と知的生産性向上を両立したエネルギー自立型研究施設を目指して、2020 年 3 月より運用を開始し、2024 年度で 5 年目となる。この間、系統に逆潮流できないという制約のもと、再生可能エネルギーを有効に活用するため、2021 年 4 月に大容量蓄電池を増設して運用を開始した。本報では、竣工後 4 年間の建物の供給／消費エネルギーの運用状況、ZEB の達成状況、CO_2 排出量の評価結果について報告する。併せて、オフィス棟でのエネルギー消費量の評価結果や蓄電池の運転状況の評価結果についても併せて報告する。

1. はじめに

本研究では、地球環境負荷低減と知的生産性向上の両立を目指して設立したエネルギー自立型のサスティナブル研究施設に関して竣工後も継続的にシステム実証に取組んでいる。本施設は、展示エリアやカフェレストランと執務スペースを持つオフィス棟（約 4,750 ㎡）と、研究開発のためのラボ棟（約 6,050 ㎡）の主に 2 棟で構成される。本施設では、既報[2,3]で報告したように発電機での余剰電力が逆潮流不可という制約の中、竣工後 1 年後に蓄電池を増設し、再生可能エネルギーを可能な限り有効活用するとともに、省エネルギーの推進と室内環境の快適性の向上に努めている。

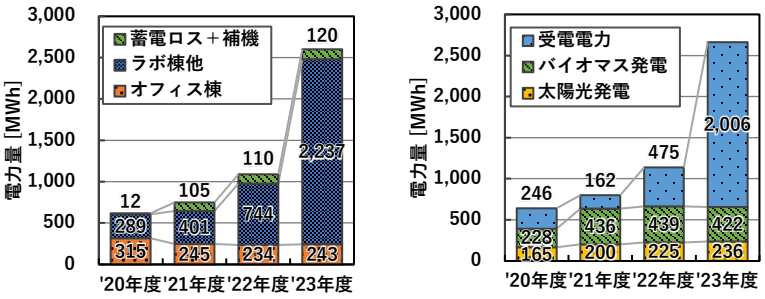
本報では、BEMS に蓄積された運用データを活用することにより、4 年間の建物の年間エネルギー需給の推移、ZEB の達成状況、CO_2 排出量の評価について報告する。さらに、オフィス棟でのエネルギー消費量の評価結果や蓄電池の運転状況の評価結果についても併せて報告する。

2. 年間供給／消費エネルギーの年間実績

2.1 年間受電電力及び供給電力量

図 1 に過去 4 年間の年間電力量の推移を示す。2022 年 12 月より大型実験装置が稼働を始めたため、2023 年度は前年度に比べて、実験装置のあるラボ棟他の消費電力量が約 3 倍に増加し、それに伴い受電電力量も大幅に増加している。その結果、電力自給率は 2021 年度の 80%、2022 年度の 58%に対して 2023 年度は 25%まで低下した。

※本論文は、2024 年度空気調和・衛生工学会大会講演論文[1]を加筆修正したものである。
*1 株式会社三菱地所設計、*2 早稲田大学理工学術院創造理工学部



a）消費電力量　　b）供給電力量

図 1 過去 4 年間の年間電力量の推移

2.2 バイオマス CHP の運転状況

図 2 にバイオマスガス化発電（以下、バイオマス CHP、CHP：Combined Heat & Power（熱電併給システム）の略）の発電量の推移を示す。2023 年度は、熱需要の少ない中間期は 1 台運転として排熱の大気への放熱量を抑える熱主電従の運転として目標値を設定した。結果として 2023 年度の年間発電量は 421MWh で、前年度に対しては 3.8%の減、目標値 469 MWh に対しては 90%の出力であった。メンテナンスや中間期の計画的な停止を除くトラブルに起因する運転停止時間は、2 台平均で年間 650h 発生しており、発電量が目標値を下回る大きな要因となっている。

図 3 にバイオマス CHP のトラブル要因を示す。約 7 割がガス化炉系統とエンジン系統で発生しており、バイオマス CHP のガス化炉内のクリンカ（ガス化炉底部の温度低下によりタール等の溶融固化した塊状物）の発生や配管内のタール等の不燃物の固着等がその大きな原因となっている。2024 年度はクリンカ発生を抑制する方策を行い、トラブルの発生を削減していく予定である。

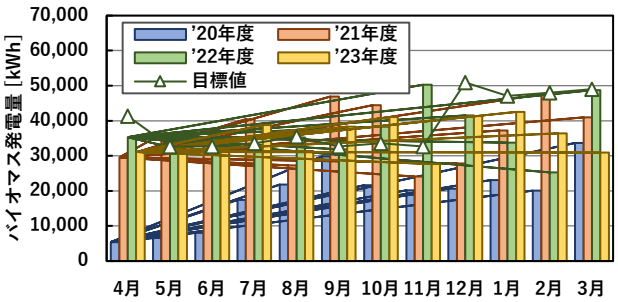


図 2 バイオマス CHP の発電量の推移

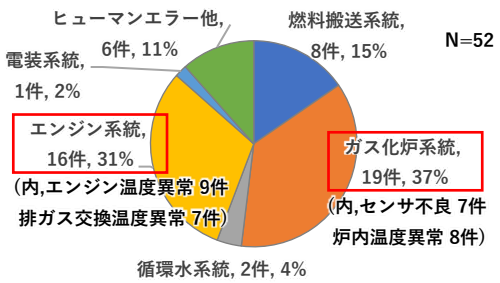


図 3 バイオマス CHP のトラブル要因

2.3 太陽光発電の運転状況

図 4 に太陽光発電の発電量の推移を示す。2023 年度の年間発電量は 235MWh で、前年度に対して 5%増で、目標値の年間 222MWh に対しては 108%となり目標を達成した。竣工 1～2 年目に発生していた、蓄電池満蓄電時の逆潮流防止のための太陽光発電の出力抑制はほぼ発生しなくなっている。

図 5 に本施設の近郊にあるつくば（館野）の気象庁観測データ [4]より取得した平均全天日射量と当該月の太陽光発電量の月積算値の関係を示す。図中の回帰直線は，太陽光発電の出力抑制がほとんどなかった 2022 年度及び 2023 年度のデータを一次回帰したもので、高い相関が見られる。これは、太陽光パネルが屋根勾配 2°のラボ棟屋上に設置されており水平面に近い形状であるためである。一方，2020 年度、2021 年度でこの回帰直線を大きく下回っている月では，前述の理由で出力抑制制御が起動している。

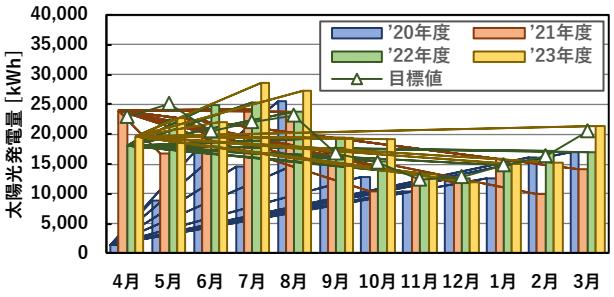


図 4 太陽光発電量の推移

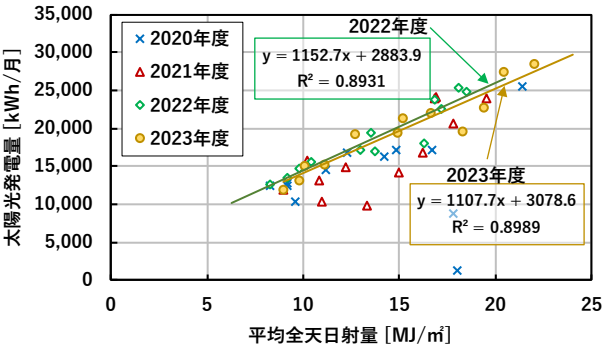
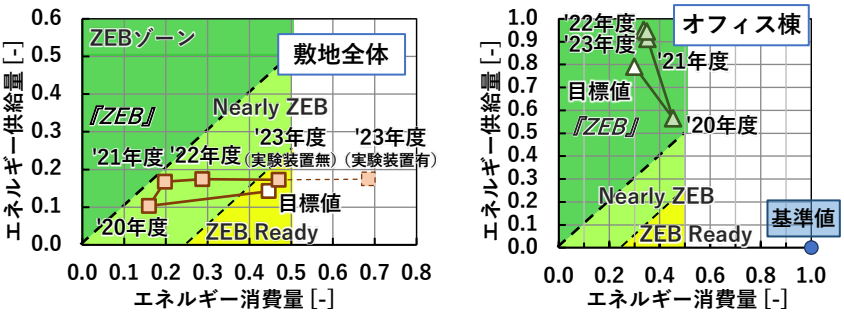


図 5 平均全天日射量と太陽光発電量の関係

3. ZEB の達成状況及び CO_2 排出量の評価

3.1 ZEB の達成状況の評価

図 6 に ZEB チャート[5)]での達成状況の評価を示す。基準値は旧技術研究所の過去の実績値としている。敷地全体（**図-6 a)**）では、前述の大型実験装置の稼働に伴いエネルギー消費量が大きく増加し ZEB Ready も達成できなかった。大型実験装置は 2022 年 12 月から稼働しているが、2023 年 6 月からは 24 時間連続稼働となっており、これがエネルギー消費量を大きく押し上げる要因となっている。この装置の稼働に当たっては、専用の 750kVA 相当のキュービクルを増設しており、設計段階では予測できなかった負荷となっている。この大型実験装置でのエネルギー消費量を差し引くと、**図 6 a)**のエネルギー消費量は 0.47 となり、当初の目標値に近づき ZEB Ready となる。一方、オフィス棟（**図 6 b)**）では前年に引き続き 4 年連続で『ZEB』を達成している。



a) 敷地全体　　b) オフィス棟

図 6 ZEB の達成状況

3.2 CO_2 排出量の評価

図 7 に CO_2 排出量の基準値（旧技術研究所の実績値）と当施設の実績値の比較を示す。2020 年度は基準値に対しては 97%削減であったが、2021 年度以降は 100%削減となり、オペレーショナルカーボンゼロのカーボンフリーを達成している。図中のグリーン電力は東京電力より購入している水力発電由来の受電電力である。今後は、木質チップの搬送や上下水道利用に係る CO_2 排出量も算出し、そのインパクトを確認する予定である。

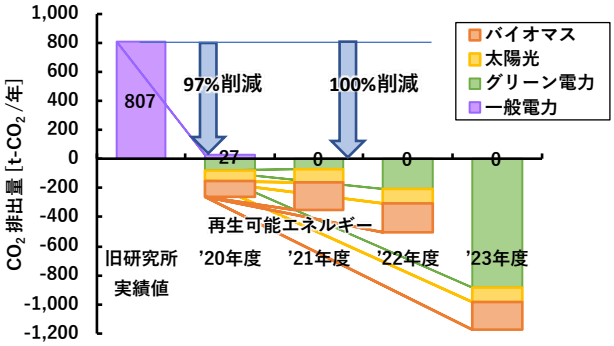


図 7 CO_2 排出量の削減状況の比較

4. オフィス棟のエネルギー消費量の評価

4.1 エネルギー消費原単位の推移

図 8 にオフィス棟の一次エネルギー消費量原単位の過去 4 年間の実績値と運用段階試算値（以降、試算値）、設計段階目標値（以降目標値）の比較を示す。試算値は、運用段階での空調運転時間等の運用実績をもとに BEST プログラムで試算した結果 [6]である。実績値は運用開始後年々減少しており、2022 年度では 467 MJ/(㎡･年)まで減少したが、2023 年度は増加し 485MJ/(㎡･年)となった。試算値では計算対象外とした給湯・衛生と展示設備を除くと、389MJ/(㎡･年)となり試算値の 405 MJ/(㎡･年)を下回る結果となった。

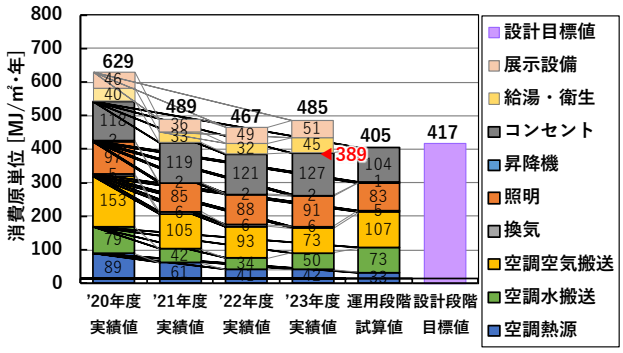


図 8 オフィス棟のエネルギー消費原単位の比較

4.2 系統別エネルギー消費原単位の推移

2023 年度に原単位が増加した要因を確認するために算出した用途別のエネルギー原単位の推移を**図 9** に示す。照明、コンセント及び展示施設に関しては在籍者数及び見学者数の増加が影響していると考えられる。それ以外の項目で、増加しているのは、空調水搬送と給湯・衛生である。

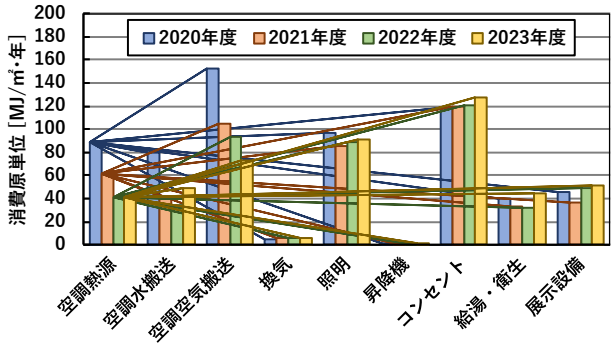


図 9 オフィス棟の用途別エネルギー消費原単位の推移

さらに詳細に分析するために空調水搬送と給湯・衛生の機器別年間電力消費量を比較したものを**図 10** に示す。この中で特に増加量の大きいのは給水ポンプ、温水二次ポンプ、井水汲上ポンプの順である。給水ポンプは、ラボ棟と兼用となっており、ラボ棟での実験用の水使用量の増加に伴い、電力消費量も前年に比べて約 4,620kWh 増加（原単位換算で 9.2MJ/(㎡・年) 増加）している（水の使用量の詳細に関しては文献 7）参照）。また、温水二次ポンプは、バイオマス CHP の排熱利用量の増加で約 3,810kWh 増加（同 7.6MJ/(㎡・年) 増加）している。井水汲上ポンプは、2023 年度は猛暑であったため地下水の利用熱量は若干増加しているが、それ以上に地下水揚水量が増加しポンプ動力の増加につながっている。この要因については、文献 7) で報告しているが、接続する熱交換器の送水温度設定値が低く設定していたためと考えられ、運用改善の余地があると判断された。**図 11** に温水二次ポンプ及び井水汲上ポンプの月別の電力消費量の比較を示す。温水二次ポンプでは冬季（10 月～3 月）に、井水汲上ポンプは夏季（6 月～9 月）に大きく増加している。

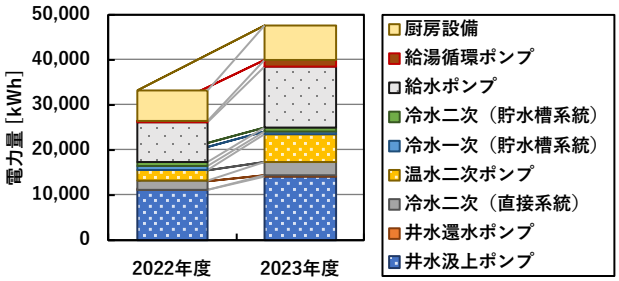


図 10 空調水搬送と給湯・衛生の機器別年間電力消費量

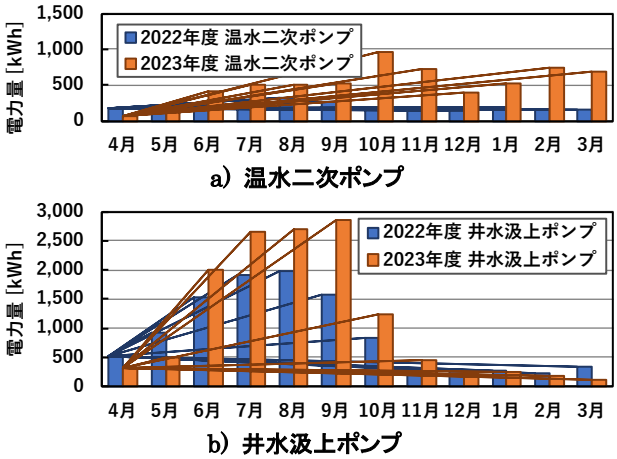


図 11 月別電力消費量の比較（温水二次、井水汲上ポンプ）

一方、大きく減少している空調空気搬送に関しては、**図 12** に示すように 1 階系統及び 2 階系統の外調機での削減が大きく、1 階系統では約 7,880kWh（原単位換算で 15.7MJ/(㎡・年) 減少）、2 階系統では約 4,720kWh（同 9.4MJ/(㎡・年) 減少）の減少となっている。1 階外調機系統では、使用していない会議室等での VAV のこまめな停止、2 階外調機系統では、文献 8),9)で報告したようにパーソナル空調機のアンビエント空調への利用により消費電力が削減された。**図 13** に空調空気搬送系統の月別電力消費量の比較を示す。冬季、特に 1 月から 3 月に大きく電力消費量が削減できていることが確認できる。

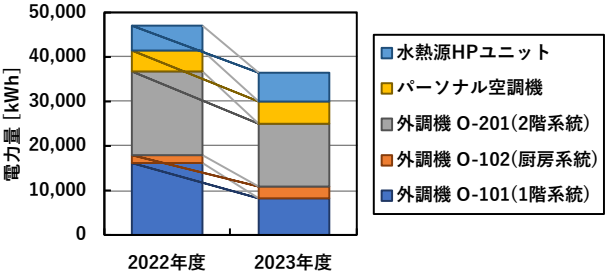


図 12 空調空気搬送における機器別年間電力消費量

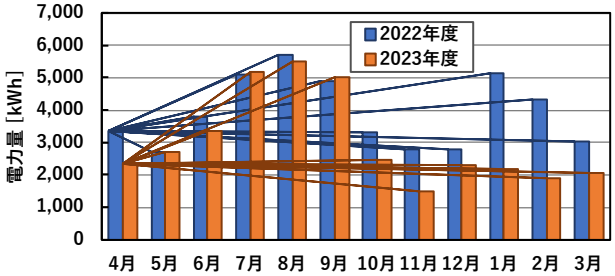


図 13 月別電力消費量の比較（空調空気搬送）

5. 蓄電池の運転状況の評価

5.1 蓄電池の充放電量の推移

図 14 にリチウムイオン電池の充放電量の推移を示す。年間の放電量を充電量で除した充放電効率で評価すると 77 %となり、メーカ公称の充放電効率 90%を下回ってはいるが、前年度の効率 75%と比較すると若干上昇している。一方、NAS 電池は本体の充放電効率では 75%であるが、蓄電池のセルを 300℃以上に保つために必要な補機電力を含めると 33%と前年度とほぼ同様の結果であった。

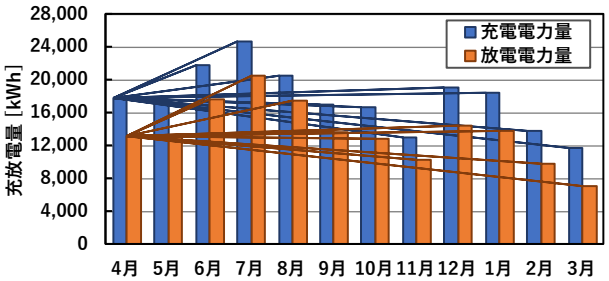


図 14 リチウムイオン電池の充放電量の推移

5.2 NAS 蓄電池の運転評価

蓄電池の運転は、基本的には週始めに満充電にして平日に放電し休日に充電を行う計画としているが、NAS 電池の充放電効率を評価するためにメーカの公表値と同じように 1 日で充放電を行う運用を行った。**図 15** に一日サイクルで充放電を行った 6 月下旬の運転結果を示す。このとき、リチウムイオン蓄電池は満蓄電にならないように受電電力量を昼夜で変化させて運用した。一週間での NAS 電池の単体の充放電効率は 78%、補機電力を含めた効率は 69%と前述の年間の充放電効率に比べて上昇することを確認した。リチウムイオン電池を含めた充放電効率で見ても 70%となり、現状の運転方法に比べて充放電効率は上昇することは確認できたが、受電電力量が昼夜で変動すること等を考慮して、現在は従来の 1 週間サイクルでの運用を行っている。

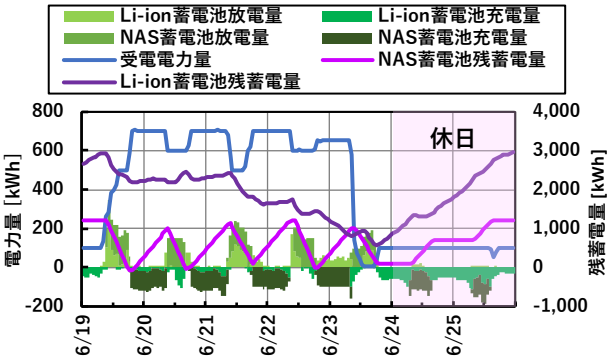


図 15 NAS 電池の運転方法を変更した場合の運転評価

6. おわりに

本報では、BEMS データを活用して竣工後 4 年の年間供給／消費エネルギーや再生可能エネルギーとして導入したバイオマス CHP や太陽光発電の運転状況、ZEB の達成状況や CO_2 排出量の評価を行った。さらに、オフィス棟での用途別消費電力量や蓄電池の運用状況についての評価を行った。今後も BEMS データを活用し運用段階での改善を行い、省エネルギーと室内環境の快適性の両立を図っていく予定である。

文　献

1) 清水昭浩ほか：エネルギー自立型サスティナブル研究施設の計画と実証評価（第 32 報），竣工 4 年後の ZEB 達成状況の評価と対策，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.109-112 (2024.9)
2) 清水昭浩ほか：同上（第 16 報），ZEB 達成状況の評価と対策，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.221-224 (2021.9)
3) 清水昭浩ほか：同上（第 18 報），竣工 2 年後の ZEB 達成状況の評価と対策，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.185-188 (2022.9)
4) 国土交通省気象庁：過去の気象データ検索，https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php
5) 空気調和・衛生工学会：「ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の定義と評価方法」，p.5 (2015)
6) 武藤友香ほか：エネルギー自立型サスティナブル研究施設の計画と実証評価（第 19 報），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.189-192 (2022.9)
7) 大迫孝輔ほか：同上（第 33 報），地下水熱利用システムの運用実績と水利用評価，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.113-116 (2024.9)
8) 市川侑ほか：同上（第 34 報），天井型パーソナル空調機のアンビエント空調利用，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.117-120 (2024.9)
9) スレスタミサンほか：同上（第 35 報），天井型パーソナル空調機による排熱利用の冬期予熱運転検証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.121-124 (2024.9)

ABSTRACT

The Takasago Thermal Engineering Innovation Center began operations in March 2020, aiming to become an energy self-sufficient and sustainable research facility that balances reducing environmental impact and improving intellectual productivity, and will enter its fifth year in 2024. During this time, under the constraint of not being able to reverse power flow to the grid, in order to make effective use of renewable energy, a large-capacity storage battery was added in April 2021 and began operation.

This paper reports on the building's operation status of energy supply/consumption over the four years since completion, the achievement status of ZEB, and the evaluation results of CO_2 emissions. Additionally, we also report on the evaluation results of energy consumption in the office building and the operating status of the storage batteries.