

# エネルギー自立型サステイナブル研究施設 —竣工2年後のZEB達成状況の評価と対策—※

清水昭浩・平原美博・相澤直樹  
羽鳥大輔\*1・武藤友香\*1・田辺新一\*2

## Energy Self-Sufficient and Sustainable Innovation Center

### - Evaluation of ZEB Achievement Status and Countermeasures Two Years after Completion -

Akihiro Shimizu・Yoshihiro Hirahara・Naoki Aizawa  
Daisuke Hatori\*1・Yuka Mutoh\*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、2022年度で3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、再生可能エネルギーや蓄電池の運転状況を含めた竣工後2年間の建物の供給/消費エネルギーの運用状況の推移を評価した。これらの運用実績値より、敷地全体では Nearly ZEB、オフィス棟では『ZEB』を達成、CO<sub>2</sub>排出量に関してはカーボンニュートラルを実現していることを確認した。

#### 1. はじめに

本施設は、既報<sup>2)</sup>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、再生可能エネルギーを有効に活用するために、竣工1年後に大容量蓄電池の増設(写真1参照)を行い、2021年4月より運用を行っている。表1に本施設の再生可能エネルギー及び蓄電池の仕様を示す。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、蓄電池の増設前後での建物の年間供給/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ガス化発電(以下、バイオマス発電)や太陽光発電の運転状況、更にはZEBの達成状況やCO<sub>2</sub>排出量の評価を行ったので報告する。



写真1 蓄電池設置状況

表1 再生可能エネルギー及び蓄電池の仕様

	種類	能力
再生可能エネルギー		
新設	太陽光発電	発電量 約200kW
	バイオマス ガス化発電	発電量 40kW/台 × 2台 排熱量 200kW/台
蓄電池		
新設	リチウムイオン 電池	入出力 216kW 蓄電容量 430kWh
	リチウムイオン 電池	入出力 429kW 蓄電容量 2,964.8kWh
増設	NAS電池	入出力 200kW 蓄電容量 1,200kWh

※本論文は、2022年度空気調和・衛生工学会大会講演論文<sup>1)</sup>を加筆修正したものである。

\*1 株式会社三菱地所設計, Mitsubishi Jisho Design Inc.、\*2 早稲田大学, Waseda University

## 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に竣工後2年間の受電電力量及び供給電力の推移を示す。竣工後1年目の2020年度に比べて2年目の2021年度は実験装置の稼働が増えたこともあり、全電力量は639.4MWhから798.2MWhと25%増加しているが、受電電力量は245.8MWhから162.2MWhと約2/3まで減少しており、大容量蓄電池の増設効果が表れている。図2に示すように電力構成比率も受電電力の比率が38%から20%まで減少し、その分バイオマス発電の比率が上昇している。竣工直後は蓄電池が小容量であったため、蓄電池が満蓄となった場合は太陽光の出力抑制制御が働くとともに、バイオマス発電も負荷の少ない休日は停止していたが、蓄電池増設後はこれらの出力抑制を削減でき、再生可能エネルギーをより有効に使えるようになった。

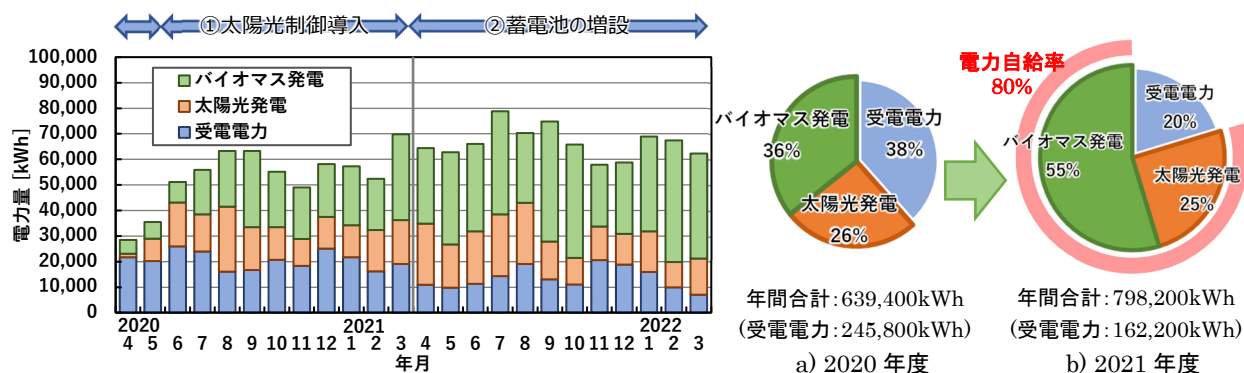


図1 年間の受電電力量及び供給電力の年度比較

図2 電力構成比率の年度比較

### 2.2 バイオマス発電の運転状況

図3にバイオマス発電の発電量の推移を示す。年間の発電量は、目標値560,000kWh(80kW×7,000h相当、目標値の設定に関しては文献3)参照)に対して2020年度は41%、2021年度は78%の出力であった。2021年度で目標値に対して開きが大きい8月、12月は長期休暇期間中、11月はトラブル発生により約半月間バイオマス発電機を停止したためである。発電機の年間稼働時間を上げるためには、特にトラブルによる停止時間の削減が大きな課題であり、現在トラブル要因解析による再発防止策の実施、特に木質チップの含水率管理の徹底を行っているところである。

表2にバイオマス発電機のエネルギー効率のメーカー値と、代表日(2021年4月15日)の運用データから求めた2台の発電機の実績値を示す。実績値の算出では燃料の木質チップの有効熱量は18.7MJ/kg(メーカーカタログ値)を用いた。メーカー値の発電効率22%、熱利用を含めた総合効率78%に対して、実績値では2台平均で発電効率22.5%、排熱利用率54.0%、総合効率76.4%であり、概ねメーカー仕様値と同等の性能であることを確認した。

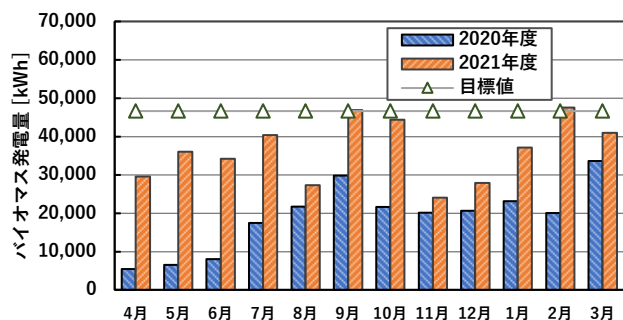


図3 バイオマス発電量の推移

表2 バイオマス発電機のエネルギー効率

バイオマスCHP	メーカー仕様値	実績値(2021年代表日)		
		CHP No.1	CHP No.2	平均
電気エネルギー [%]	22	21.9	22.9	22.5
熱エネルギー [%]	56	55.0	52.9	54.0
総合効率 [%]	78	76.9	75.8	76.4
熱/電気比率	2.5	2.51	2.31	2.4

### 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。年間の発電量は、目標値の222,000kWh（全負荷相当時間で約1,100h）に対して2020年度は74%、2021年度は90%であった。2021年度5、10、2、3月で太陽光発電量が目標値を下回っているのは、この期間、バイオマス発電主体の運転を続けたため蓄電池が満蓄電となり、太陽光発電の出力抑制制御が働いたためである。出力抑制を考慮に入れると2021年度はほぼ想定した通りの運転結果と言える。

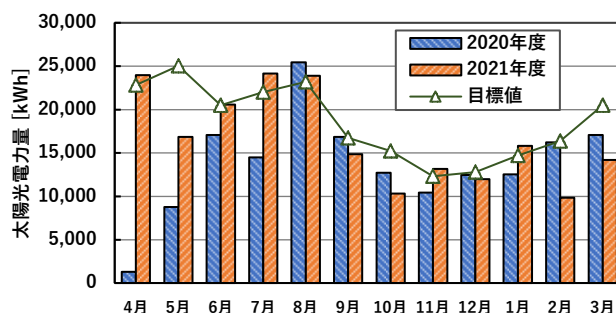


図4 太陽光発電量の推移

### 2.4 年間消費電力量

図5に負荷単位の電力量より算出したオフィス棟及びラボ棟（設備展示棟等を含む）の消費電力量の推移を示す。2021年度は執務室や来客対応の施設であるオフィス棟の消費電力量は、2020年度に比べて約21%減少しているが、実験を行うラボ棟では実験装置の実装、稼働開始に伴い消費電力量が43%増加となり、敷地全体では10%の増加となった。また、2021年度は蓄電池を増設したため、充放電に伴う蓄電ロスや蓄電池の補機に係る電力が、全体の消費電力量の約14%を占める結果となった。なお、図中の折れ線の供給電力と積上棒グラフで約5%の差が見られるのは、トランスや送電での損失や計測誤差によるものとする。

図6にオフィス棟の系統別の年間電力消費量の2020年度と2021年度の比較を示す。系統の分類は、文献4)のBESTプログラムの計算結果に倣う。2020年度は後掲の図10に示すように設計試算値と実績値の差が、空調熱源、水搬送、空気搬送の項目で大きかったため、2021年度は外気導入量や外調機の運転時間の見直し、地下水の汲上ポンプの運転方法の見直しを行った。その結果、空調熱源、空調空気搬送の動力が約30%、汲上ポンプを含む空調水搬送の動力が47%削減できた。また、照明についても2020年10月に行った照明出力の調整により、2021年度は電力消費量を12%削減することができた。

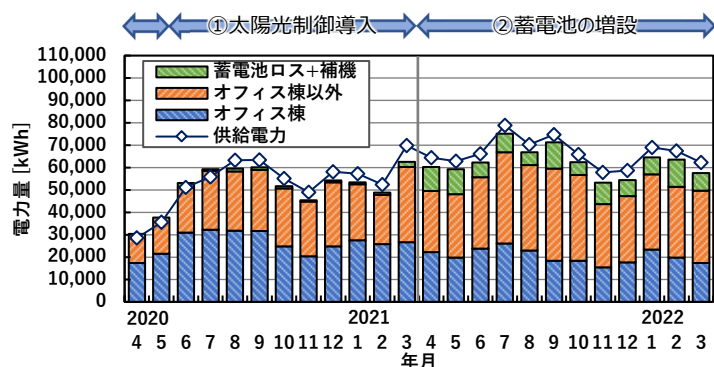


図5 年間の消費電力量の年度比較

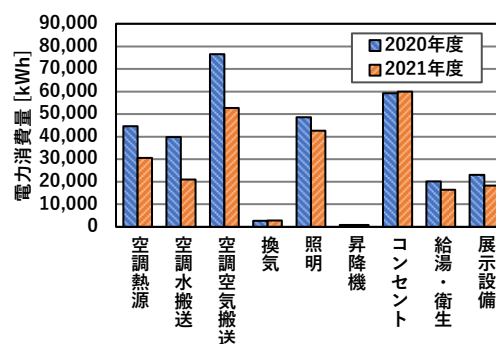


図6 オフィス棟の系統別  
年間電力消費量の比較

### 3. 蓄電池増設の効果の評価

#### 3.1 蓄電池の運転状況

本施設では冒頭で述べたように2021年4月より増設した蓄電池の運用を開始している。その効果については前章でも既に述べたが、ここでは蓄電池本体の評価を行う。

図7にリチウムイオン電池の充放電量の推移を示す。放電量を充電量で除した充放電効率で評価すると、メーカーの公称の充放電効率90%を下回る結果となっているが、これはメーカーの公称値が周囲温度25°Cで1日1サイクルする時の値であるのに対して、本施設の運用では周囲温度や充放電のサイクルの長さ（当施設では基本1週間で充放電を行う）が異なるためと考えられ、今後詳細検討を加えることにより、実績値より得られる充放電効率の妥当性の確認を行っていく。

一方、NAS電池に関して詳細は割愛するが、本体の充放電効率とともに、蓄電池のセルを300°C以上に保つために必要な補機電力も無視できないためそれらを含めて最適な運転方法を今後検討していく。

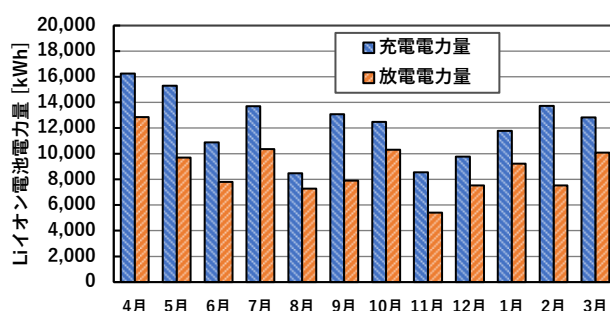


図7 リチウムイオン電池の充放電量

#### 3.2 蓄電池の運転方法の改善事例

図8に蓄電池の運転方法の改善事例を示す。「a) 従来の運転方法の課題」は、2021年12月初旬から中旬にかけての受電量及び発電量の推移を示す。当時は逆潮防止のために常時受電電力10kW一定（制御上の安全性を考慮した最低値）になるようにリチウムイオン電池で充放電制御を行っていた（図中①）。通常の運転であれば、土日の休日に余剰電力を蓄電し蓄電池を満蓄電状態にする予定であったが、日曜日の12月12日早朝にバイオマス発電機が停止した結果（②）、12月13日午後以降、蓄電池の残蓄電量がほぼゼロとなり発電だけでは電力負荷を賄えなくなったため、受電電力が消費電力に追従して増加（③）し、最終的には受電量が最大163kWとなった。

このような受電電力のピークを抑制するために、「b) 改善事例」では2月1日の時点で予め蓄電量がゼロに近づくことが予測されたため、2月2日から3日にかけての夜間に受電電力量を40kWに増加（図中④）させる運転を行った結果、2月3日以降は受電電力量をほぼ10kWに維持（⑤）できた。

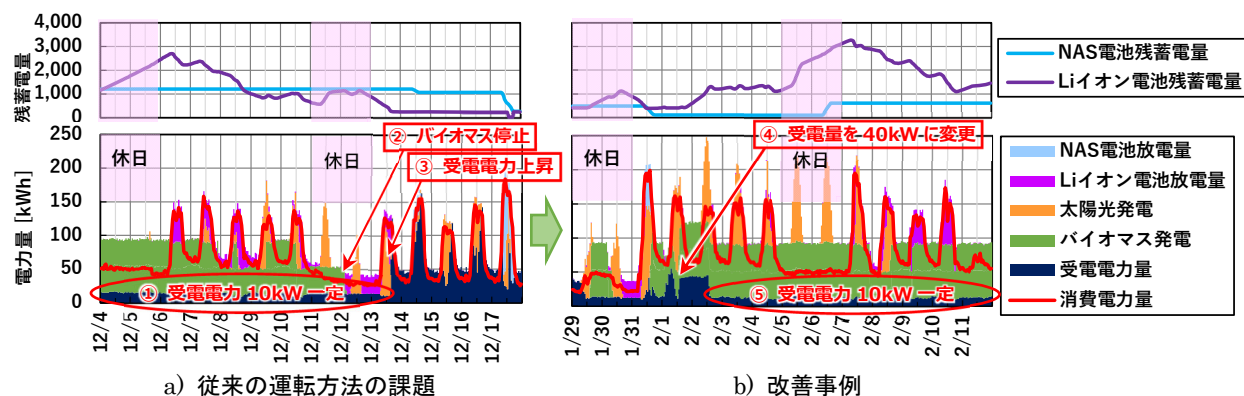


図8 蓄電池の運転方法の改善事例

今回の受電電力量の設定値変更は手動で行ったが、現在はエネルギーマネジメントシステム（EMS）により自動設定している。今後は、施設の消費電力量や太陽光の発電量の予測精度を上げることによりシステムの信頼性の更なる向上につなげていく。

#### 4. ZEB の達成状況及び CO<sub>2</sub> 排出量での評価

##### 4.1 ZEB の達成状況の評価

表 3 に年間の一次エネルギー消費量の目標値と運用開始後 2 年間の実績値の比較を、図 9 に ZEB チャートでの達成状況の評価を示す。図 9 は文献 5) の ZEB の評価方法に基づき、エネルギー消費量と供給量を基準値（移設前の技術研究所（以下、旧研究所）の過去 4 年間の実績値の平均値）で指数化し表したものである。

一次エネルギー消費量原単位で見ると敷地全体では、目標を大きくクリアし当初の ZEB Ready の目標に対して 1 ランク上の Nearly ZEB を達成している。一方、オフィス棟は目標通り『ZEB』を達成できているが、エネルギー消費量原単位は 2021 年度で 489 MJ/m<sup>2</sup>・年（2020 年度は 629 MJ/m<sup>2</sup>・年）であり、目標値に対しては 17% 増となった。引き続き 2022 年度も、バイオマス発電の排熱の冬期暖房用への更なる利用や外気導入量の細かな調整等、目標値を目指して継続的な運用改善を行っている。

表 3 年間一次エネルギー消費量の目標値と実績値の比較

		エネルギー消費量 [MJ/年]	延床面積 [m <sup>2</sup> ]	エネルギー消費量原単位 [MJ/(m <sup>2</sup> ・年)]
敷地全体	旧研究所	16,340,000	5,187	3,150 (100%)
	目標値(設計段階)		11,610	1,407 (44.7%)
	実績値(2020年度)*		11,764	501 (15.9%)
	実績値(2021年度)*		11,764	623 (19.8%)
オフィス棟	旧研究所	2,451,000	1,764	1,389 (100%)
	目標値(設計段階)		4,750	417 (30.0%)
	実績値(2020年度)		4,897	629 (45.2%)
	実績値(2021年度)		4,897	489 (35.2%)

※：蓄電池ロス及び補機動力を含む

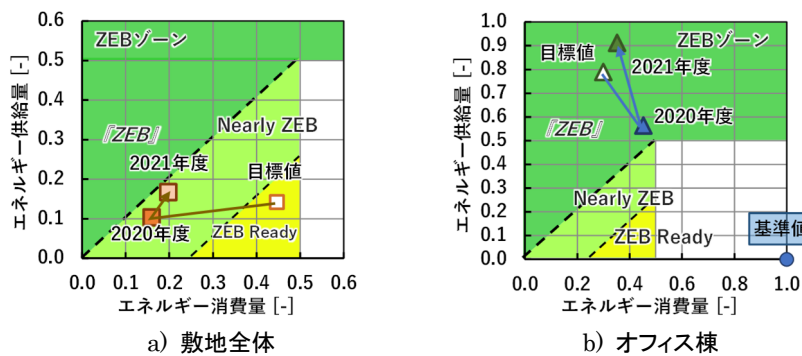


図 9 ZEB チャートでの達成状況の評価

オフィス棟のエネルギー消費量をより詳細に分析するために、建築物総合エネルギーシミュレーションツール BEST を用いて計算した試算値と実績値を、エネルギー消費量原単位で比較した結果を図 10 に示す。試算値のうち、設計試算値は、設計時に想定した内部負荷等をもとに試算した結果（詳細は文献 6）参照）、運用段階試算値は、運用段階で得られた内部負荷や運転条件等をもとに試算した結果（詳細は文献 4）参照）である。2021 年度実績値でみると、BEST プログラムで計算対象外とした給湯・衛生と展示設備の項目を除くと 420 MJ/m<sup>2</sup>・年となり、運用段階試算値 405 MJ/m<sup>2</sup>・年に近い数値で、項目ごとの内訳についても空調水搬送と空調熱源以外はほぼ同等の数値となっている。空調熱源については前述したバイオマス発電の排熱の更なる利用等により今後削減が可能と考える。

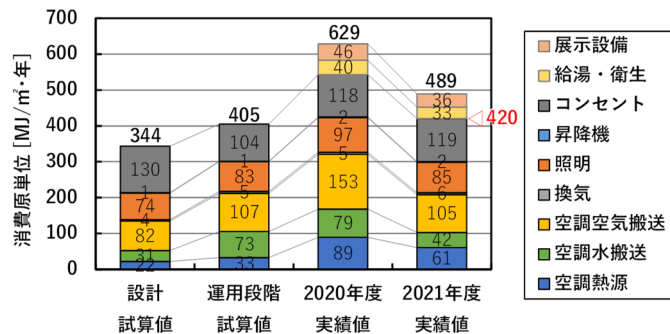


図 10 オフィス棟のエネルギー消費原単位の内訳

#### 4.2 BEI での評価

図 11 に BELS 認証での計算値、旧研究所及び運用段階での実績値について比較したものを示す。BELS 認証での基準値に対して再エネを含む BELS での計算値は BEI=0.09 である。一方、実績値に関して BELS の計算と同様に、その他を含む消費量原単位から発電量を引いた数値（図 11 中の「消費(NET)」）を求めると、旧研究所の実績値に対して 2021 年度の実績値は 97%減となった。なお、図中の「消費（その他）」には、コンセントやラボ棟の実験装置での電力消費量を含む。

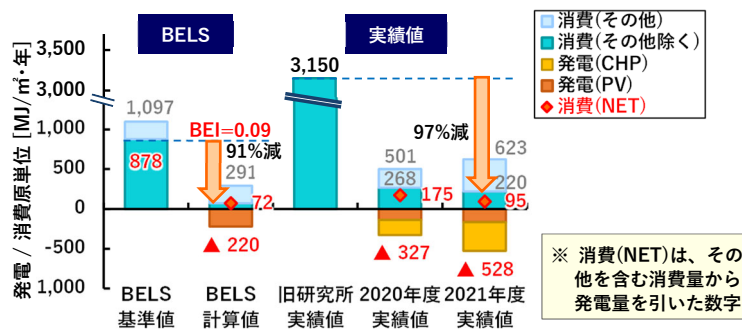


図 11 BELS の計算結果と実績値の比較

#### 4.3 CO<sub>2</sub> 排出量での評価

図 12 に CO<sub>2</sub> 排出量の基準値（旧研究所の実績値）と当施設の実績値の比較を示す。バイオマス発電、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ことにより、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カーボンニュートラルを達成した。

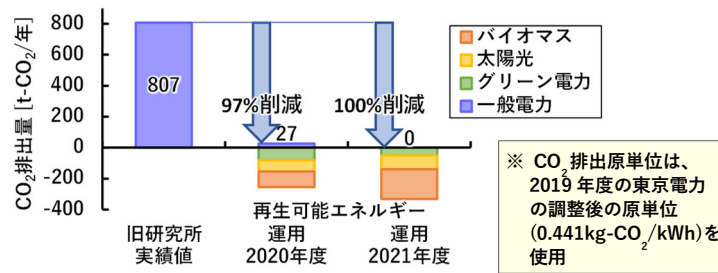


図 12 CO<sub>2</sub> 排出量の削減状況の比較

## 5. おわりに

本報では、BEMS データを活用して蓄電池の増設前後での建物の年間供給／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発電や太陽光発電の運転状況、蓄電池の運用状況の評価及び運用改善事例について報告した。更に ZEB の達成状況や CO<sub>2</sub> 排出量の評価を行った結果についても報告した。脱炭素社会の構築が喫緊の社会課題として重要視される中、本報が ZEB の今後の普及促進の参考になれば幸いである。

## 文 献

- 1) 清水ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価（第 18 報），竣工後 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).
- 2) 清水ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設 —ZEB 達成状況の評価と対策—，2021 年度イノベーションセンター報，(2022.3).
- 3) 相澤ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価（第 15 報），再生可能エネルギーの活用状況および運転実績，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.217-220 (2021.9).
- 4) 武藤ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価（第 19 報），エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.189-192 (2022.9).
- 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」，p5 (2015).
- 6) 武藤ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設の計画と実証評価（第 1 報），全体計画及びコンセプト，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p.185-188 (2019.9).

## ABSTRACT

The Takasago Thermal Engineering Innovation Center will start operation in March 2020 and will be in its third year in 2022, with the aim of becoming an energy-sufficient research facility that reduces environmental impact and improves intellectual productivity. During this time, under the constraint that reverse power flow into the grid was not possible, in April 2021, we added a large-capacity storage battery and started operation in order to effectively utilize renewable energy. In this report, we evaluated the operation status of the building's supply/consumption of energy, including the operating status of renewable energy and storage batteries, for two years after completion. Based on these operational results, we have confirmed that the entire site has achieved Nearly ZEB, the office building has achieved "ZEB", and CO<sub>2</sub> emissions have been carbon neutral.