

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－

清水昭浩・平原美博・松浪佑宜
羽鳥大輔*1・高正明*1・武藤友香*1・田辺新一*2

the Energy Self-Sufficient Innovation Center - Evaluation of ZEB Achievement Status and Countermeasures -

Akihiro Shimizu・Yoshihiro Hirahara・Yuuki Matsunami
Daisuke Hatori*1・Masaaki Taka*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を両立したエネルギー自立型研究施設を目指して、2020年1月に竣工、2020年3月より運用を開始した。本報では、まずBEMSに蓄積された運用データ解析による建物の年間供給／消費エネルギーをもとにしたZEBの達成状況及びCO₂排出量の削減効果について述べる。次に、発電電力の余剰電力が電力会社の配電網へ逆潮流（売電）できない制約がある中で、再生可能エネルギーの有効活用を目的として、竣工後に実施した蓄電池設備増設の概要とその運用結果について報告する。

1. はじめに

本施設は、既報²⁾で報告したように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いる。環境負荷低減を達成するために、オフィス棟は実績値にて一次エネルギー消費量が正味0となる『ZEB』を、施設全体としてはZEB Ready以上を目標としている（**図1**参照）。

一般的なZEBの建物では、再生可能エネルギーで発生した余剰電力を電力会社に売電することにより『ZEB』を達成している。一方、本施設の立地する茨城県南部は、電力会社の配電網が逼迫しており、竣工2ヶ月前に余剰電力の逆潮流（売電）が不可であることが判明した。そのため運用段階では、逆潮流を防止

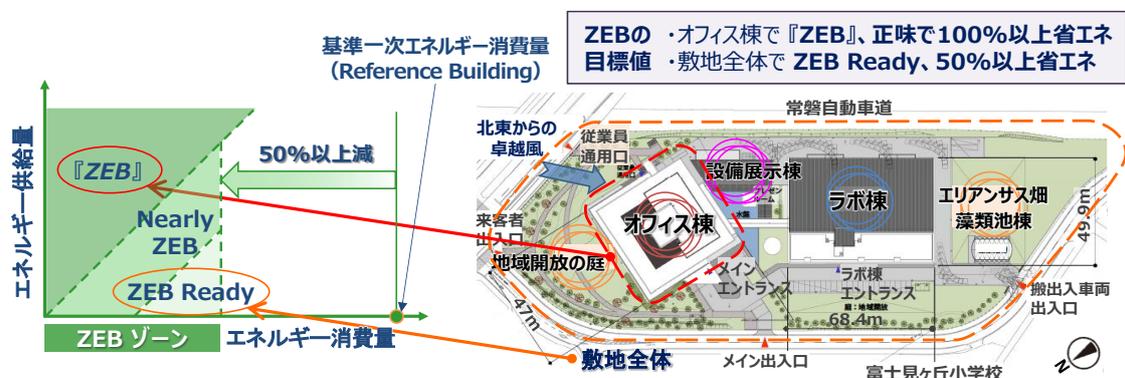


図1 本施設の配置図とZEBの目標

※ 2021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, Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.、*2 早稲田大学, Waseda University

するため受電電力が 10kW 程度に安定するように蓄電池の充放電を抑制させている。蓄電容量が満蓄の場合は、太陽光発電の抑制制御、さらにバイオマスガス化発電（以下、バイオマス発電）の出力抑制を行っている。本施設を目指すエネルギーバランスの概要を図 2 に示す。

本報では、BEMS に蓄積された運用データ解析による建物の年間供給／消費エネルギーをもとにした ZEB の達成状況の評価と再生可能エネルギーの有効活用を目的として竣工後に実施した蓄電池設備増設の概要について報告する。

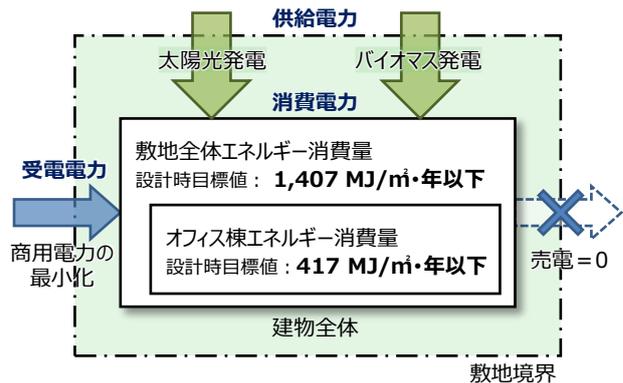


図 2 エネルギーバランスの概要

2. 年間供給／消費エネルギーによる ZEB 評価

2.1 年間受電電力量及び供給電力量の評価

2020 年 4 月から 2021 年 12 月までの受電電力量及び太陽光、バイオマス発電での供給電力量（詳細は前報³⁾参照）の推移を図 3 に示す。2020 年 4～5 月は、コロナ禍の影響で従業員の出入社人数も制限されていたため、供給電力も小さめの数値となっている。5 月後半以降は徐々に通常の業務体制に戻っていったため、全体の電力量（受電電力量+供給電力量）も増えるとともに太陽光やバイオマスの発電量も増加している。

2020 年度年間と 2021 年度 4～12 月の 9 ヶ月間の電力内訳の比較を図 4 に示す。2020 年度は、受電電力が全体の 38%に対して太陽光が 26%、バイオマスが 36%の比率となり、逆流防止の目的で発電量の抑制を行っていたため、再生可能エネルギーを最大限利用することができなかった。2021 年度の 4 月からは、蓄電池を増設した効果が表れ、バイオマス発電機や太陽光発電による発電量が増加し、受電電力量の比率を 21%まで減少させることができている。

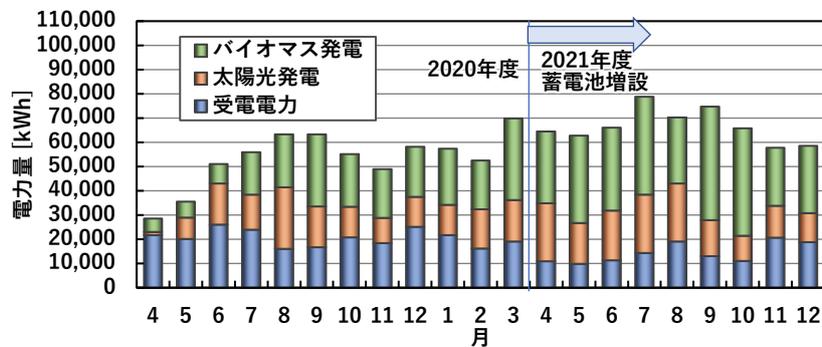


図 3 受電電力量及び供給電力量の推移（'20/4～'21/12）

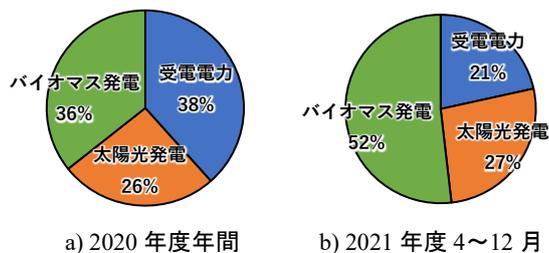


図 4 電力内訳の比較

2.2 年間消費電力量の評価

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**図5**に示す。**図3**と同様の年間変動となっている。図中の蓄電ロス+補機電力は、蓄電池の充電電力量と放電電力量の差及びNAS電池の補機電力を足し合わせたものである。参考のために**図3**より求めた受電電力を含めた供給電力の合計を折れ線グラフで表す。折れ線グラフ（受電電力量+供給電力量）と積上げ棒グラフ（消費電力量）との間に約5%の差がみられるのは、測定誤差や送電ロス等によるものと考えられる。

ラボ棟に関しては、2020年度は一部の実験装置しか稼働していないため当初の想定よりかなり少ない結果となっているが、年度末の3月頃より装置の稼働が増加し電力消費量も増加しておりその傾向は2021年度も続いている。そのため、敷地全体では2021年12月の時点では10%の増加になっているが、オフィス棟のみで見ると22%の減少となっている。オフィス棟でのエネルギー消費量の削減の内訳については次節で説明する。

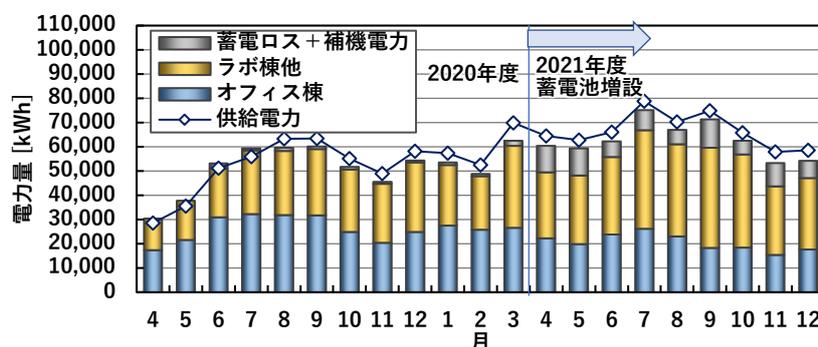


図5 消費電力量の推移('20/4~'21/12)

2.3 ZEBの達成状況の評価

年間の一次エネルギー消費量の目標値と2020年度の実績値の比較を**表1**に、ZEBの達成状況を**図6**に示す。**図6**は**文献4**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（既存研究所の実績値）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、目標を大きく下回る結果となっており Nearly ZEB を達成できている。一方、オフィス棟は『ZEB』を達成しているが、消費量原単位としては629MJ/m²・年と目標値の約1.5倍となっており目標未達の結果となっている。

オフィス棟の一次エネルギー消費量原単位の内訳を設計試算値と2020年度の実績値で比較した結果を**図7**に示す。設計試算値は、設計段階においてBELS認証とは別途に建築物総合エネルギーシミュレーションツールBESTを用いて試算した結果（詳細は**文献5**参照）である。なお、試算値では地域交流を主目的とした展示施設での消費を含んでおらず、実績値からこれを除くと583MJ/m²・年となるが、まだ目標値の約1.4倍であり、引き続き運用改善を行っていく。

表1 年間エネルギー消費量の目標値と2020年度の実績値の比較

		エネルギー消費量 [MJ/年]	延床面積 [㎡]	エネルギー消費量原単位 [MJ/(㎡・年)]
敷地全体	既存研究所	16,340,000	5,187	3,150 (100%)
	目標値(設計段階)		11,610	1,407 (44.7%)
	実績値(初年度)	5,899,556	11,764	501 (15.9%)
オフィス棟	既存研究所	2,451,000	1,764	1,389 (100%)
	目標値(設計段階)	1,979,974	4,750	417 (30.0%)
	実績値(初年度)	3,078,273	4,897	629 (45.2%)

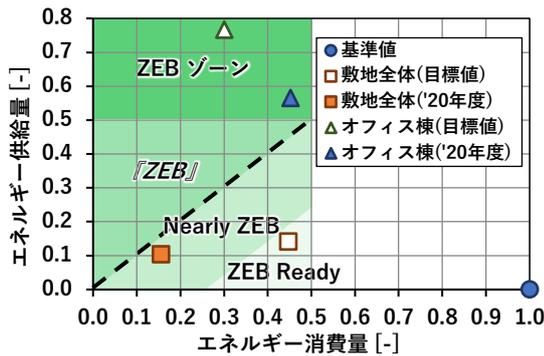


図 6 ZEB の達成状況(2020 年度)

展示用以外で試算値と実績値の差が大きいのは、熱源、空調、給湯・衛生の項目である。熱源、空調の数値が大きいのは、運用段階ではコロナの感染防止を考慮して年間を通じて外調機を最大風量運転としたことが一因として挙げられる。給湯・衛生設備では試算値では見込んでいなかった井水汲上・還水ポンプ動力の数値が大きくなっている。

2021 年度はこれらの結果をもとに、中間期の自然換気の積極的利用や外調機、井水汲上ポンプの運転方法の見直し等により消費電力量の削減を進めているところである。図 8 に 2020 年度と 2021 年度の 4 月から 12 月の系統別エネルギー消費量の比較を示す。熱源、熱源補機で約 4 割、空調、給湯・衛生で約 3 割、照明で約 1 割と減少しており、設計時の試算値に近づいて行っている。

2.4 CO₂ 排出量での評価

CO₂ 排出量の基準値（既存研究所の実績値）と 2020 年度の実績値の比較を図 9 に示す。基準値に対しては 97%と大幅な削減となった。これは、バイオマス発電、太陽光発電に加え、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。2021 年度は、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する見通しである。

3. 蓄電池設備の増設

3.1 蓄電池設備増設の概要

逆潮流を防止しながら再生可能エネルギーを安定的かつ有効に活用するために、竣工後に①太陽光発電の出力制御機能の追加、②大容量蓄電池の増設を段階的に実施した。蓄電池の増設は、土日で快晴の場合でも余剰電力を全て蓄電できる容量を運用実績から推測し蓄電容量を決定した。また、充放電効率の高いリチウムイオン電池と低コストでエネルギー密度が大きい NAS 電池の組合せとし、比較検証を兼ねて両者を採用した（写真 1、表 2 参照）。蓄電池増設後の電源系統図を図 10 に示す。この増設により、既設と合わせて蓄電容量は合計で 4,594.8kWh と竣工時の約 10 倍に増設され、2021 年 4 月より運用を開始した。

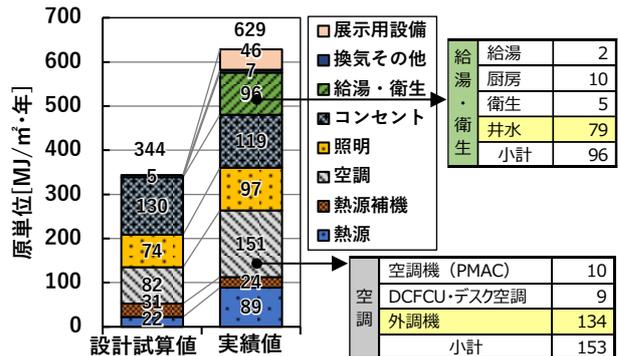


図 7 オフィス棟の一次エネルギー消費量原単位の内訳 (2020 年度)

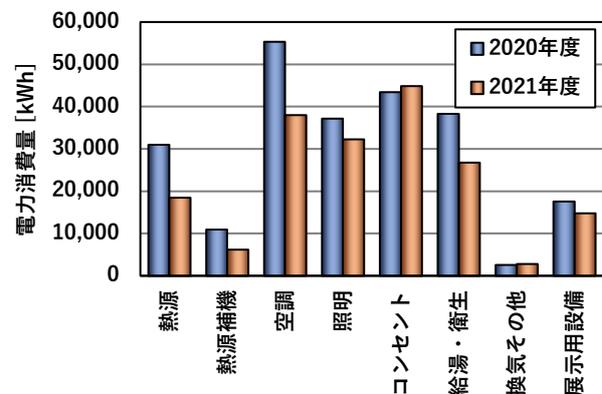


図 8 オフィス棟の系統別エネルギー消費量の比較 (2020 年度と 2021 年度の 4 月～12 月の集計値)

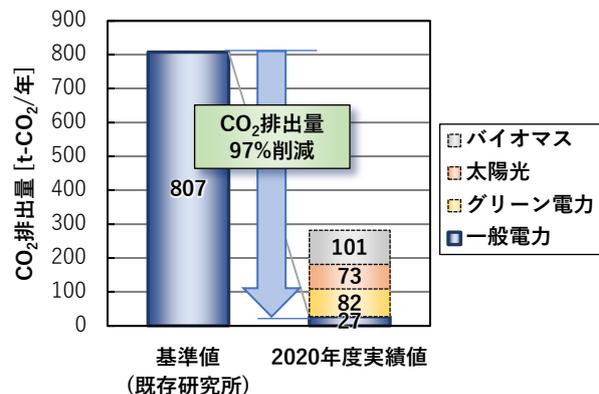


図 9 CO₂ 排出量の基準値と実績値の比較(2020 年度)



写真1 蓄電池設置状況

表2 蓄電池機器仕様

	種類	能力
既存	リチウムイオン電池	入出力 216kW
		蓄電容量 430kWh
増設	リチウムイオン電池	入出力 429kW
		蓄電容量 2,964.8kWh
	NAS電池	入出力 200kW 蓄電容量 1,200kWh

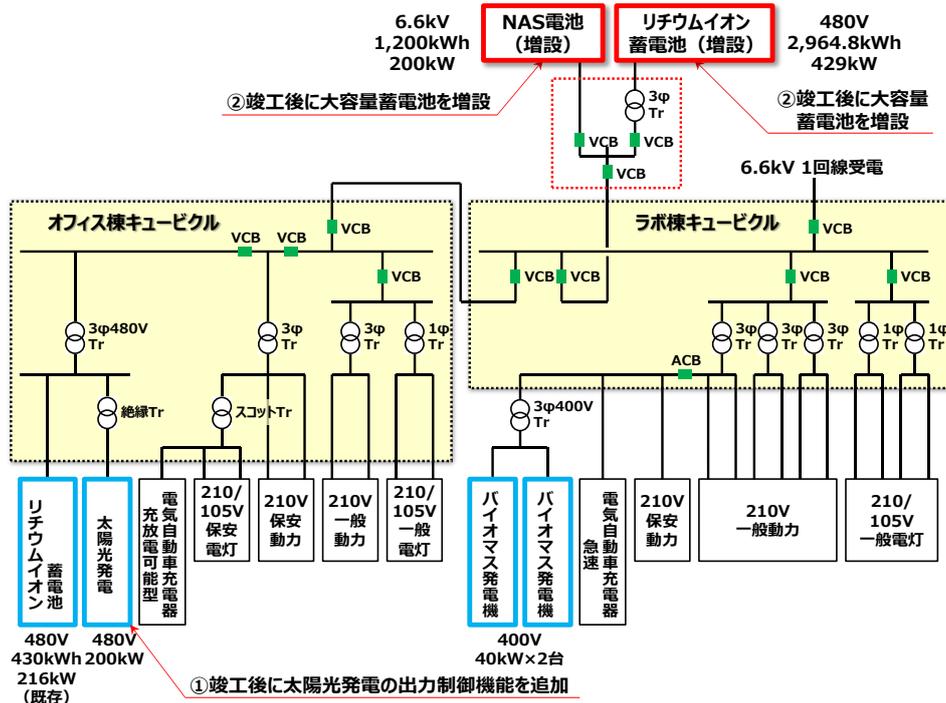


図10 電源系統図

3.2 蓄電池用エネルギー管理システム

EMSの開発

再生可能エネルギーの発電機や蓄電池を最適運転するために、蓄電池用エネルギー管理システム(EMS、図11)を合わせて開発した。本EMSでは、逆流防止と再生可能エネルギーの有効活用を目的に、施設全体の消費電力量や天気予報をもとにした太陽光発電量を予測しながら蓄電池の充放電の最適運転支援を行っている。なお、EMSの詳細については次報⁶⁾で記載する。

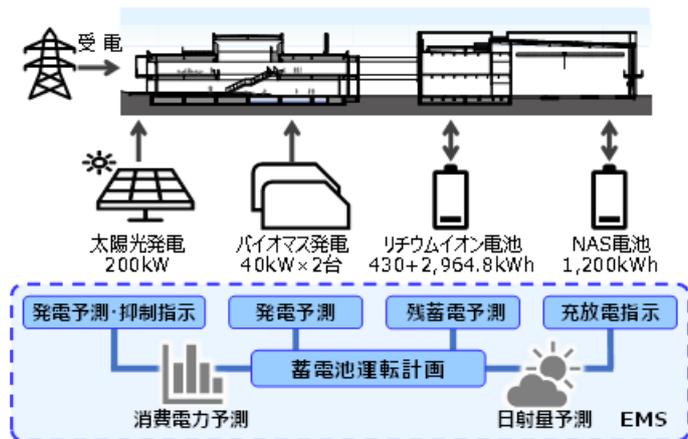


図11 EMSの概要

3.3 蓄電池設備増設の評価

二章で記述したように、蓄電池を増設したことにより再生可能エネルギーの利用が増え、受電電力量の比率が減少する効果が確認された。また、ピーク電力（最大需要電力）に関しては、2020年度は190kWに対し、2021年度は12月末時点では156kWまで減少しており蓄電池設備増設によるピークシフトの効果も見られるが、最終的な評価は2021年度末まで待つこととする。蓄電池の運用により得られた知見は、今後EMSのアルゴリズムに取り込んでいく予定である。

4. おわりに

地球環境負荷低減と知的生産性向上を両立したサステナブル建築として建設された研究施設の運用開始後の取組みについて紹介した。今後ZEBの普及に伴い、計画・設計段階では再生可能エネルギー等の供給側と空調・照明等の負荷側を一体としたエネルギー計画が、運用段階では電源を含めた建築・設備一体のエネルギー管理が重要となってくる。本報がZEBの今後の普及促進の参考になれば幸いである。

謝辞

本プロジェクトの計画から設計、施工、運用・検証段階で多数の方々にご協力頂きました。関係者の皆様には、誌面を借りてお礼を申し上げます。

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（第16報），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p. 221-224（2021）
- 2) 清水ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設－全体概要およびZEBに向けた建築・設備計画と環境評価－，2020年度イノベーションセンター報，p. 49-60（2021. 3）
- 3) 相澤ほか：エネルギー自立型サステナブル研究施設－再生可能エネルギー評価－，2021年度イノベーションセンター報，（2022. 3）
- 4) 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）
- 5) 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（第1報），空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，p. 185-188（2019）
- 6) 松浪ほか：Development of a grid independent energy system using energy supply and demand prediction（Part 1）Concept and problem identification from operational data，2021年度イノベーションセンター報，（2022. 3）

ABSTRACT

The Takasago Innovation Center was completed in January 2020 and began operations in March 2020 with the aim of becoming an energy-sufficient research facility that achieves both reduced environmental impact and intellectual productivity. In this report, we first describe the achievement of the zero energy building (ZEB) status and the effect of reducing CO₂ emissions based on the annual energy supply/consumption of the building by analyzing operational data gathered through the building energy management system (BEMS). Next, as there is a restriction on the reverse flow of the surplus power generated (sale of power) to the distribution network of the electric power company, we report the design and operation of the expansion of battery storage equipment implemented after completion for the effective utilization of renewable energy.