運用段階におけるZEH住宅のエネルギー消費に関する研究

熊井　哲斗

1. はじめに

現在、日本では2050年までにカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目標としており、目標の達成に向けて、住宅においてNet Zero Energy House（ZEH）が推進されている[1)]。

ZEHとは、「外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システム導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギー等を導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅」であり、経済性、健康・快適性、レジリエンスなどの面でメリットがある[2)]。しかし、ZEHには、①評価は設計段階で行われているため、運用段階でもZEHとなっているか不明瞭、②家電等の建築設備以外が消費するエネルギーを含んでいない、③再生可能エネルギーの自家消費率が考慮されておらず、蓄エネルギー技術を評価できないという検証の余地を残している。

本研究では愛知県にあるZEH住宅を対象として、Home Energy Management System（HEMS）を用いた実測により、上述の3点について考察を行い、運用段階におけるエネルギー消費の実態を明らかにすることを目的とする。

2. 対象建物

表1に対象住宅の概要を、図1に立面図を示す。対象住宅には大人2名、子供2名が生活している。

対象住宅は設計段階において『ZEH』よりもさらに高性能な次世代ZEH+の評価となっている。次世代ZEH+うち、本研究で対象とする要件を以下に示す。

①再生可能エネルギー等を除き、基準一次エネルギー消費量から25%以上の一次エネルギー消費量削減

②再生可能エネルギー等を加え、基準一次エネルギー消費量から100%以上の一次エネルギー消費量削減

この住宅に導入されている設備のうち、特徴的なものとして空気循環式全館空調システム[3)]、太陽光発電と太陽熱温水システムのハイブリッドな太陽エネルギー利用、家庭用蓄電池による蓄電が挙げられる。

表1　対象住宅の概要

所在地	愛知県海部郡飛島村
用途	戸建住宅
構造・工法	木造2階建・在来工法
延床面積	131.80m^2
敷地面積	1108.84m^2
建築面積	73.92m^2

（1）　南側立面図　　（2）　東側立面図

図1　対象住宅の立面図

3. 実測によるエネルギー消費性能の評価

3.1 概要

HEMSを用いて太陽光発電による発電、蓄電池の充放電、その他の設備・機器の電力消費を記録する。

実測の期間は、2020年10月1日から2021年9月30日を期間1、2021年10月1日から2022年9月30日を期間2とし、合計で2年間の実測を行う。

3.2 設備ごとの消費エネルギーの分類

ZEHの評価及び設計一次エネルギー消費量との比較を行うためには、住宅の冷暖房設備・換気設備・給湯設備・照明設備・その他の設備の一次エネルギー消費量が必要となる。しかし、HEMSの記録した項目は複数の設備の一次エネルギー消費量を含んでいるため、これらを各設備に分類する。

冷暖房設備は、空全館空調であるため空調室のエアコンと、空気を各部屋に送るファンの消費エネルギーの合計が冷暖房設備の一次エネルギー消費量となる。

換気設備は、2階トイレ、浴室、キッチン、全熱交換器が該当し、全熱交換器以外の3つは、照明設備等と混同して計測されているため、機器の消費電力と想定した年間の稼働時間から計算を行なった。

給湯設備に関しては、対象住宅では、ガスを給湯、調理に用いているため、ガスの一次エネルギー消費量にはその他の設備の一次エネルギー消費量を含んでいるが、この2つを分類することは困難であるため、今回の計測では、給湯設備の一次エネルギー消費量として取り扱う。給湯設備には、これに加えてエコジョーズと制御ポンプの消費エネルギーが含まれる。

照明設備は、その多くが、その他の設備等と混同して計測されているため、換気設備と同様に機器の消費電力と年間の稼働時間から計算を行った。年間の稼働時間の算定には、「平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）現行版」[4]の使用時間率及び生活スケジュールを用いた。

その他の設備は、冷暖房設備・換気設備・給湯設備・照明設備の一次エネルギー消費量を、全体の一次エネルギー消費量から差し引くことで求める。

3.3 運用段階と設計段階の比較

図 2 に設計段階と運用段階の一次エネルギー消費量を示す。初めに、基準一次エネルギー消費量と期間 1、期間 2 の一次エネルギー消費量を比較する。その他の設備を含まない場合、再生可能エネルギーを除いた、基準一次エネルギー消費量からの削減率が期間 1 では 30.1%、期間 2 では 31.9%となった。さらに、再生可能エネルギーを加えた、基準一次エネルギーからの削減率が期間 1 では 110.7%、期間 2 では 116.6%となった。したがって、期間 1、期間 2 ともに省エネルギーに関する要件を満たしており、対象住宅は運用段階においても次世代 ZEH+の評価となる。

その他の設備を含んだ場合の、再生可能エネルギーを加えた、基準一次エネルギー消費量からの削減率は、期間 1 では 83.0%、期間 2 では 81.3%となり、住宅内で消費するすべての一次エネルギーの約 80%を削減できていることが確認された。対象住宅の外皮性能と省エネルギー性能は十分に高性能であり、屋根上には太陽光発電パネルと太陽熱温水パネルがあるため、REAL ZEH の実現には、燃料電池等の屋根上に設置しない発電設備の導入が必要であると考える。

次に、設計一次エネルギー消費量と期間 1、期間 2 の一次エネルギー消費量を比較する。期間 1 では約 20000MJ、期間 2 では約 15000MJ、設計一次エネルギー消費量より大きい結果となり、設備ごとではその他の設備と冷暖房設備が大きくなっている。その他の設備は、設計一次エネルギー消費量の期間 1 で 1.24 倍、期間 2 で 1.56 倍となっており、同じ住宅でも年によって変動が多い。この原因として、その他の設備は、住宅の居室、非居室の面積に単位面積当あたりの消費エネルギーをかけて計算を行っており、延べ床面積、世帯数が増えるほど、実績値が設計値より大きくなる傾向があることが挙げられる[5]。

冷暖房設備に関しては、空気循環式全館空調システムがエネルギー消費性能プログラムの評価対象外となっており、代わりにエアコンディショナーによる部分間欠空調となっていることが原因である。よって、空気循環式全館空調システムと最も条件の近いダクト式セントラル空調との比較を行う。図 3 に空調システムごとの一次エネルギー消費量を示す。期間 1 で 28%、期間 2 で 24%、空気循環式全館空調システムの一次エネルギー消費量が小さくなった。これは、空気循環式全館空調システムが家庭用のエアコン 1 台のみを使用する点と、温度差の小さい空気を作ることで COP が上昇するためと考えられる。また、外皮性能を省エネルギー基準よりも高めることで、エアコンディショナーを用いた部分間欠空調と同等の消費エネルギーで 24 時間の全館空調を実現できることを確認した。

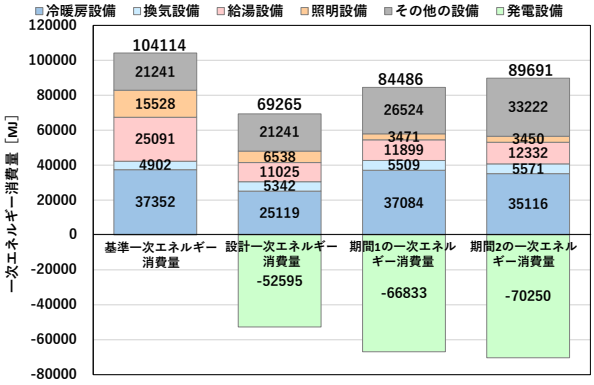

図 2　運用段階と設計段階の一次エネルギー消費量

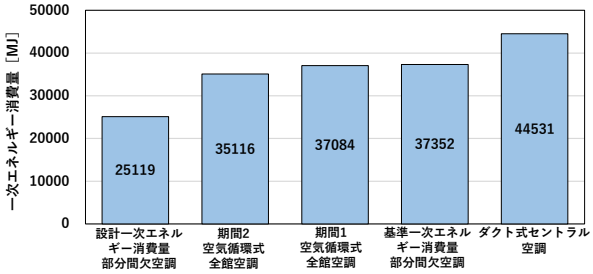

図 3　空調システムごとの一次エネルギー消費量

4. 蓄電池の活用実態とエネルギー・経済面での効果

4.1 対象住宅の蓄電池の概要

対象住宅では、次世代 ZEH+の再生可能エネルギー等自家消費拡大措置の一つである蓄電池を導入している。近年では、エネルギー自立が注目されており、再生可能エネルギーの自家消費率に影響を与える蓄電池は非常に重要な設備となってきている。しかし、自家消費率が考慮されない ZEH の基準では、蓄電池の評価を行うことができないため、別途で検討を行う必要がある。したがって、期間 1 の中間期・冬期・夏期に

おいて、蓄電池がどのように活用されているかを確認し、年間の買電量、自家消費率、電気料金への効果を明らかにする。

4.2 中間期・冬期・夏期の家庭用蓄電池の活用実態

図 4 に中間期・冬期・夏期における太陽光発電の発電量と使用電力量を示す。中間期の 11 月 2 日と 7 日、冬期の 1 月 5 日、夏期の 8 月 3 日は、曇天、または雨だったため、他の日と比べ発電量が少ない。また、冬期の使用電力量の増減が激しいのはエアコンの運転の強弱によるものだと考えられる。太陽光発電の発電量と使用電力の大小関係から、対象住宅に太陽光発電のみを導入した場合の買電量を求め、以降の比較に用いる。

図 5 に中間期・冬期・夏期における蓄電池の導入、未導入の場合の買電量を示す。どの期間においても蓄電池による買電量の低下が見られるのは、おおよそ 16 時以降である。この時間に発電量と使用電力量の大小が入れ替わっており、買電が始まる時間に蓄電池の放電が始まっていることが分かる。蓄電池の放電が始まってから、中間期は 5～6 時間、冬期は 3～4 時間、夏期は 4 時間の間、買電をしておらず、蓄電池の電力のみで使用電力を賄っている。各期間で使用電力を賄える時間に差があるのは、蓄電池が満充電になったとき、使用電力の少ない季節ほど長時間放電を行うことができるためである。

図 6 に中間期・冬期・夏期における蓄電量の変化を示す。このグラフは、各期間の初日の 0 時の蓄電量を 0Wh として考え、充電量と放電量の差を積算したものである。全ての期間においてグラフが右肩上がりになっているのは、蓄電によるロスが発生していることが原因であり、この結果、実際の蓄電量よりも大きい値となっている。したがって。実際の蓄電量は、蓄電量が増加し始める時刻からの変化量となる。対象住宅に導入されている蓄電池の容量は 5600Wh であるが、蓄電池への最大蓄電量は夏期で約 3000Wh、中間期と冬期で約 3500Wh となった。これは、満充電と完全放電を繰り返すことと、夏期に気温が高くなることによる蓄電池の劣化を防ぐためだと考えられる。また、中間期と夏期においては、蓄電量が最大となる時間が約 4～5 時間継続しており、図 4 よりその時間帯においても使用電力を発電量が上回っていることから、発電した電気に余剰が発生しており、この余剰分は売電していることが分かる。

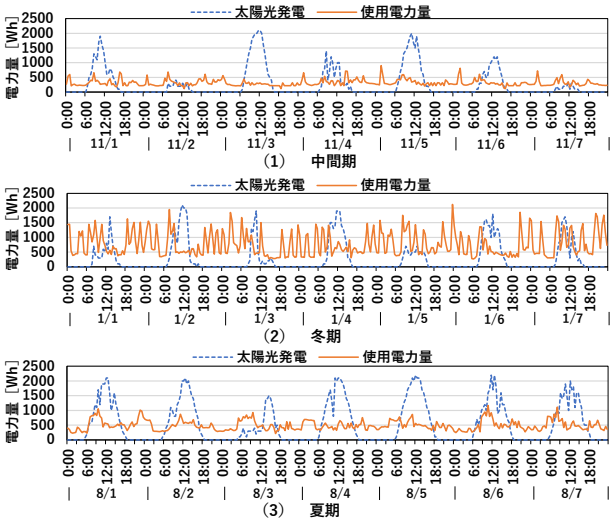

図 4　太陽光発電の発電量と使用電力量

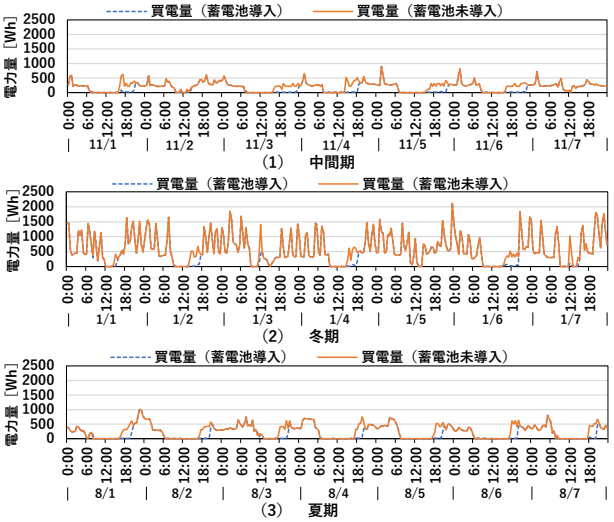

図 5　蓄電池の導入、未導入の場合の買電量

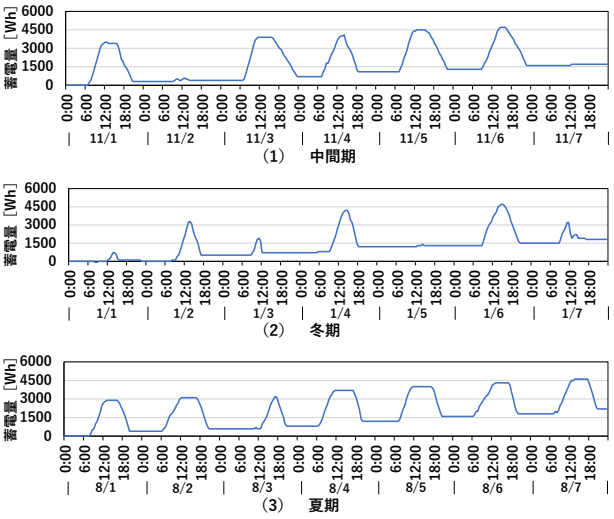

図 6　蓄電量の変化（蓄電によるロスも含む）

4.3 蓄電池のエネルギー面と経済面での効果

図 7 に太陽光発電と蓄電池の有無による、年間の買電量と自家消費率を示す。太陽光発電と蓄電池をとも

に未導入の場合と、太陽光発電のみ導入した場合、太陽光発電と蓄電池をともに導入した場合で比較を行った結果、買電量が、太陽光発電の導入によって 36%減少し、蓄電池の導入でさらに 10%減少した。また、発電した電気の自家消費率が蓄電池の導入により、41%から 53%に上昇した。対象住宅の蓄電池が小容量であること、中間期と夏期には、発電量に余剰があり、発電量のうち 45%の電気を売電していることから、大容量の蓄電池を導入することで、さらなるエネルギー面での効果が期待できる。太陽光発電と蓄電池を導入した場合には、年間で 101kWh の蓄電によるロスが発生する。蓄電によるロスは発電量全体の 1.47%となり、年間平均の充放電効率は 90.1%となる。

図 8 に太陽光発電と蓄電池の有無による、電気料金の計算結果を示す。電気料金は中部電力ミライズの従量電灯 B 40A プランで計算している。グラフの正味の電気料金は、電力会社に支払う電気料金から電力会社から支払われる売電額を差し引いた額である。売電額の計算には、FIT 制度の 2020 年と 2021 年の買取価格を用いている。正味の電気料金の項目では、太陽光発電と蓄電池ともに未導入の場合と比較すると、太陽光発電の導入により 176,593 円、さらに蓄電池導入により 11,181 円の削減されている。太陽光発電の導入に比べ、蓄電池の導入による削減が非常に小さいのは、買電額が減少すると同時に、太陽光発電のみの場合には売電する電気を蓄電しており、売電額も減少しているためである。

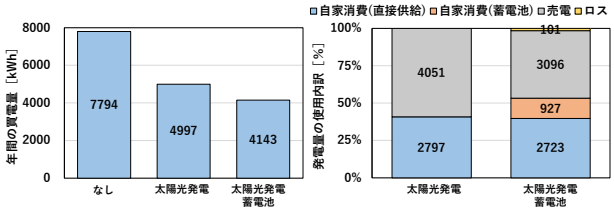

図 7　年間の買電量と自家消費率

（左：買電量、右：自家消費率）

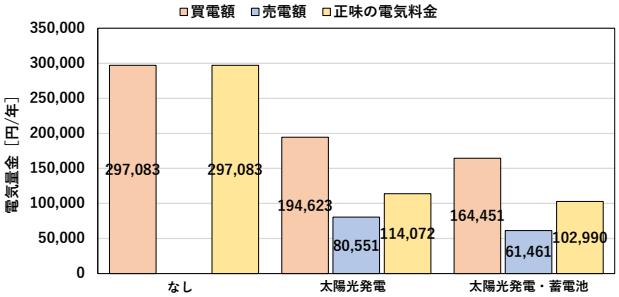

図 8　電気料金の計算結果

5. まとめ

実測結果より、計測期間の 2 年間において、その他の設備を除く一次エネルギー消費量を、再生可能エネルギーを除いて約 30%、再生可能エネルギーを加えて約 110%を削減しており、対象住宅は運用段階において次世代 ZEH+の判定となった。

その他の設備の一次エネルギー消費量は、設計一次エネルギー消費量の 1.24～1.56 倍となり、その他の設備を含む対象住宅で消費するすべての一次エネルギーの約 80%を削減していることが確認された。

蓄電池の充放電を計測した結果、蓄電池と太陽光発電ともに未導入の場合と比較し、買電量が太陽光発電量の導入により 36%、さらに、蓄電池を導入することにより 10%減少した。また、太陽光発電による電力の自家消費率は、蓄電池の導入により、41%から 53%に上昇した。電気料金を比較した場合、蓄電池と太陽光発電ともに未導入の場合と比較し、太陽光発電の導入により年間で約 176,000 円、さらに、蓄電池を導入することにより約 11,000 円減少し、買電量に比べて、蓄電池導入による減少割合が小さい結果となった。

6. むすび

対象住宅の、運用段階におけるエネルギー消費の実態を明らかにするために、HEMS を用いた実測を行った。その結果、対象住宅は運用段階において、設計段階と同じ次世代 ZEH+の評価となった。また、家電等を含む住宅内で消費するエネルギーのうち約 8 割を削減しており、発電量を増やすことで REAL ZEH が実現可能と考えられる。さらに、対象住宅では小容量の蓄電池で、太陽光発電のみの場合に比べて買電量が減少し、太陽光発電で発電した電気の自家消費率が増加しており、発電量に余剰があることから、大容量の蓄電池を導入することでさらなる効果が期待される。

【参考文献】

1) 外務省　日本の排出削減目標 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html> 2022 年 12 月 5 日　アクセス
2) 経済産業省資源エネルギー庁　ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）に関する情報公開について <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html>　2022 年 12 月 5 日アクセス
3) 隈　裕子、尾崎明仁（2022）集合住宅における空気循環式全館空調システムの開発 その 1 マンションの 1 住戸への適応とシステム概要、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道） 2022 年 9 月
4) 国立研究開発法人建築研究所　建築物のエネルギー消費性能に関わる技術情報 <https://www.kenken.go.jp/becc/index.html>2022 年 12 月 5 日　アクセス
5) 一般社団法人　環境共創イニシアチブ　ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス実証事業　調査発表会 2021 <https://sii.or.jp/zeh/conference_2021.html>　2022 年 12 月 23 日アクセス