

太陽光発電・蓄電池・電気自動車を連携させた ZEH 住宅の性能評価に関する研究 —数値シミュレーションによる住宅規模や世帯構成の違いに関する分析—

建築学専攻 2326007 野村 颯太
研究指導教員 三田村 輝章

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、気候変動への対応や持続可能な社会の実現が課題となっている。このような背景の中、住宅分野においてはエネルギーの効率化が求められており、ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）の普及が進んでいる。

ZEH には太陽光発電（以下、PV）が必須であるが、FIT 制度の終了後は、発電した電力は売電するより、自家消費することが有効である。そこで、PV 発電電力を効率的に活用するために、蓄電池（以下、BT）や、電気自動車（EV）を連携するシステムが注目されている。佐藤ら¹⁾は、上記のシステムを備えた ZEH 住宅を対象に、数値シミュレーションを用いて、電力自給率や自家消費率の観点から、各設備の最適な容量を提案するなど、ZEH 住宅を対象としたエネルギー収支に関する既往研究は多いものの、世帯構成や生活スタイルなど、居住者の条件は限定されたものが多い。

1.2 研究目的

本研究では、今後、多様化が予想される居住者の世帯構成や 2 階建て・平屋などの住宅規模の違いに着目し、これらの要素が電力自給率や自家消費率に与える影響に関して、数値シミュレーションにより検討することを研究目的とする。

また、それらの結果を用い、ZEH 住宅が集結するスマートタウンを想定した、街全体でのエネルギー収支を推計する。

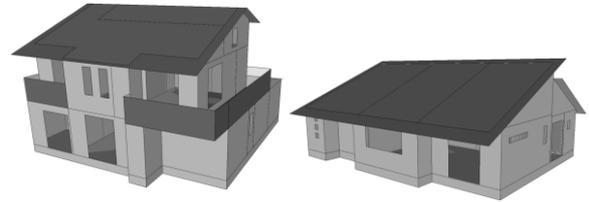


図 1 住宅モデル（左：2階建て 右：平屋）

表 1 住宅概要

	延べ床面積 [m ²]	U _A 値 [W/m ² K]
2階建て	146.15	0.51
平屋	115.93	0.59

	断熱材（2モデル共通）	厚み [mm]
床	ネオマフォーム	95
外壁	セルローズファイバー	105
天井	セルローズファイバー	300
屋根	ロックウール	310

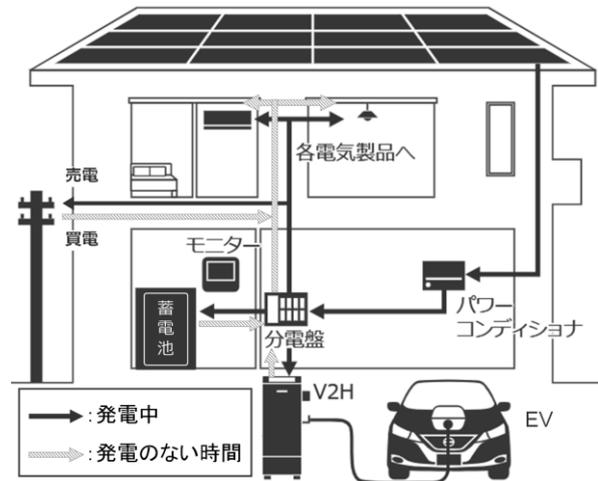


図 2 連携システムにおける電気の流れ²⁾

2. 数値シミュレーション概要

2.1 対象住宅

計算対象の住宅は、2 階建て及び平屋の 2 種類である。図 1 に住宅モデルの外観、表 1 に概要を示す。壁体構成と窓性能については、両モデルで同一の値を使用する。

2.2 連携システム

図 2 に対象住宅における、連携システムの電気の流れ²⁾を示す。PV パネルによる発電電力で消費分を賄い、余剰分は BT、EV の順に充電した後に

表 2 世帯構成と住宅規模の組み合わせ

	住宅規模	世帯構成	在室スケジュール
Type A	2階建て	4人(片働き)	勤め人男 / 家庭婦人 / 中学生 / 小学生
Type B		4人(共働き)	勤め人男 / 勤め人女 / 中学生 / 小学生
Type C		2人(共働き)	勤め人男 / 勤め人女
Type D	平屋	4人(片働き)	勤め人男 / 家庭婦人 / 中学生 / 小学生
Type E		2人(共働き)	勤め人男 / 勤め人女
Type F		老夫婦	高齢者男 / 高齢者女
Type G		单身	家庭婦人

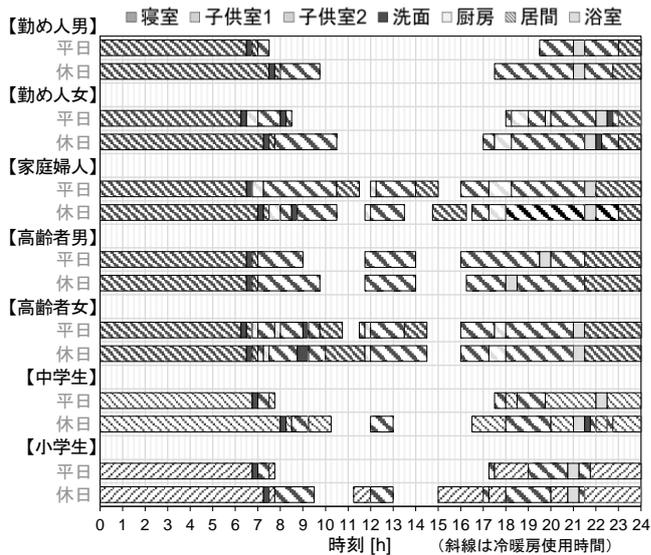


図3 在室スケジュール

電力会社へ売電される。発電の見込めない雨天日や夜間ではEV、BTの順に蓄電電力で賄い、その上で不足分を電力会社から買電する。

2.3 計算条件

計算には、システム・シミュレーションツールTRNSYS18を用いる。表2に今回の計算対象とする、世帯構成と居住する住宅規模を組み合わせた7条件を示す。各家族構成の生活パターンは、スケジュール生成プログラム³⁾より作成する。

図3に在室スケジュールを示す。Type Gの単身世帯については在宅勤務者を想定しており、家事を行うことや日中の在宅時間などを考慮し、家庭婦人の生活スケジュールを使用する。

計算ケースは、最適なPV発電容量、BT・EV容量、及びEVの使用条件について検討するため、表3に示す32条件を設定し、EV走行に関しては脚注に示す2パターンを設定する。

また、表4に冷暖房、換気、給湯等の計算条件を示す。冷暖房の対象室については、平屋モデルでは居間と厨房を合わせてLDKとする。

3. 計算結果

3.1 消費電力量

図4に各条件における年間の消費電力量及び、その内訳を示す。合計値は、概ね世帯人数の影響を受けた上下関係にある。一方で、Type G、Type C及び同じ2人共働き世帯であるType Eに着目すると、単身世帯であるType Gが他の2タイプを上回っており、日中の在宅時間の差が影響していると考えられる。

表3 計算ケース

	PV (kW)	BT (kWh)	EV (kWh)	朝充電	走行パターン※
E V なし	Case 1	4.90	-	-	-
	Case 2	10.29	-	-	-
	Case 3	4.90	5.60	-	-
	Case 4		11.20	-	-
	Case 5	10.29	5.60	-	-
	Case 6		11.20	-	-
基本条件	Case 7	4.90	5.60	有	通勤
	Case 8				買い物
	Case 9			無	通勤
	Case 10				買い物
E V : 通勤利用	Case 11	4.90	5.60	有	通勤
	Case 12				
	Case 13	11.20	60		
	Case 14		20		
	Case 15	10.29	40		
	Case 16		60		
	Case 17	5.60	20		
	Case 18		40		
	Case 19	11.20	60		
	Case 20		20		
Case 21	40				
E V : 買物利用	Case 22	4.90	5.60	無	買い物
	Case 23				
	Case 24	11.20	60		
	Case 25		20		
	Case 26	10.29	40		
	Case 27		60		
	Case 28	5.60	20		
	Case 29		40		
	Case 30	11.20	60		
	Case 31		20		
	Case 32	40			

※走行パターン 通勤：8-19時に往復22 km走行（平日のみ）
買物：15-17時に往復8 km走行

表4 冷暖房、換気、給湯等の計算条件

冷暖房	対象室	居間、厨房、寝室、子供室1・2
	温度	暖房20℃、冷房26℃
	時間	在室時のみ
換気	方式	第3種
	回数	0.5 回/h
給湯	温度	40℃
	湯使用量	270 L/日（浴槽1杯分）
その他	照明・家電	スケジュール生成プログラム ²⁾ より設定
	計算期間	1年間（助走期間1か月）
	気象条件	群馬県前橋市 （標準年の拡張アメダス気象データ）

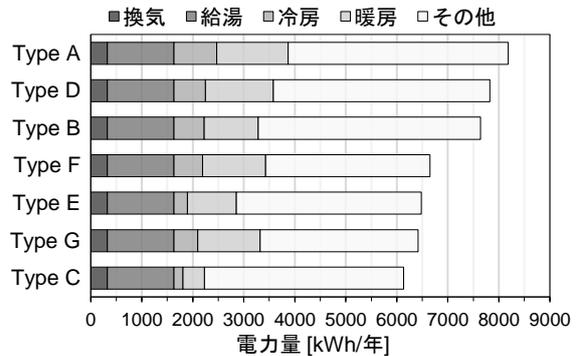


図4 消費電力量（年間合計値）

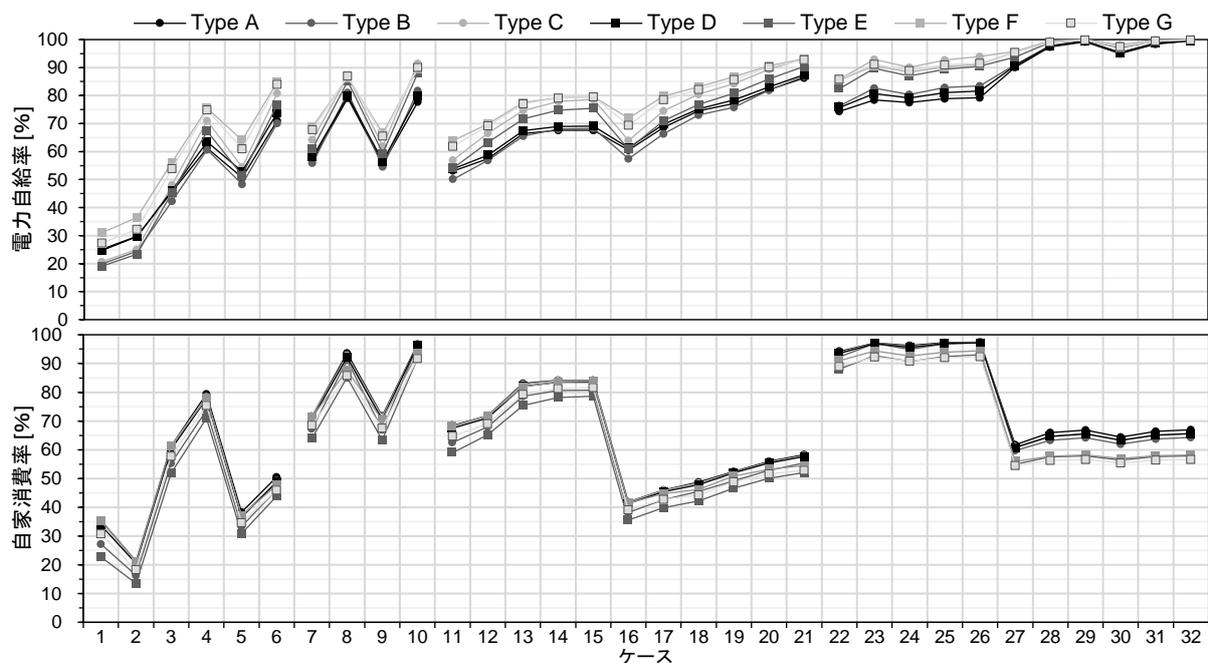


図5 電力自給率（上）・自家消費率（下）（いずれも年間平均値）

次に、同じ家族構成で住宅規模が異なる Type A と Type D を比較すると、2階建てである Type Aの方が、消費電力量が多い。これらの世帯構成では、子供室や主寝室において日中にも冷暖房を使用するため、これらの居室の室容積が大きい2階建てのタイプの方が、冷暖房負荷が大きくなる。

一方、Type E と Type C では、平屋である Type Eの方が冷房・暖房ともに多い。いずれも2人共働き世帯であるため、子供室で冷暖房を使用せず、寝室とLDKのみで使用。そのため、LDKの室容積が大きい平屋の方が、冷暖房負荷が大きくなると考えられる。併せて、平屋ではLDKにおける屋根からの熱損失が大きいことも、冷暖房負荷が増加する原因として挙げられる。

3.2 電力自給率・自家消費率

図5に各タイプにおける、電力自給率と自家消費率の年間平均値を示す。電力自給率と自家消費率はそれぞれ次式により算出する。

$$\text{電力自給率} = \frac{\text{消費電力量} - \text{買電量}}{\text{消費電力量}} \times 100 [\%]$$

$$\text{自家消費率} = \frac{\text{PV 発電量} - \text{売電量}}{\text{PV 発電量}} \times 100 [\%]$$

全体の傾向として、PV 発電容量及び BT・EV の蓄電容量が大きいほど、電力自給率は向上しており、特に Case 28~32 では、95%以上を達成している。一方で、自家消費率に関しては、PV 発電容量が 10.29 kW である Case 16~21、及び Case 27~32 において、大きく減少する様子が見られる。これは、家庭内の消費電力を賅ったうえでの余剰

電力が増加したためである。以上の結果は、どの世帯構成や住宅規模の条件においても同様である。

3.2.1 2階建て住宅における比較 (Type A~C)

電力自給率に関して、Type A と B では、消費電力量が少ない共働きの Type B が概ね Type A を上回っているが、Case 7、9、11~13、16~20 では逆転している。共働き世帯では、夕方に家事をまとめて行うため、この時間帯は消費電力需要が高まる傾向がある。加えて、上記のケースでは EV を通勤で使用するため、日中に EV へ蓄電が行えない。そのため夕方の消費電力を BT・EV によって補いきれずに買電が生じたことで、Type B の電力自給率が低下したと考えられる。

一方、自家消費率は全てのケースで Type A が最も高い。日中にも家事などで電力消費を行うことで、余剰電力量が減少するためである。

3.2.2 平屋住宅における比較 (Type D~G)

Case 22~32 において、Type E~G は電力自給率に差が見られない。これらのケースでは EV を買い物で使用するため、日中に EV へ蓄電を行う。それにより消費電力を賅うことができ、買電の発生を抑えていると考えられる。

次に Type E に着目すると、Type F や Type G と比較して、Case 11~21 では差が見られるが、Case 22~32 では概ね近い値を示している。EV 走行距離が短く、日中に EV を充電できる条件下では、消費電力を十分に賅うことができ、単身世帯や老夫婦世帯と同程度までの電力自給率の向上が見込まれる。

4. スマートタウン規模の分析

4.1 試算条件

表 5 に計算で使用する、スマートタウン居住者の条件を示す。合計 56 世帯を想定し、世帯構成の内訳に関しては、既往研究⁴⁾より、実際のスマートタウンにおける居住者の情報をもとに設定する。EV 容量は家族人数に合わせて設定し、住宅規模の比率については、群馬県における地上階数 1 階の棟数の割合⁵⁾をもとに、平屋が全体の約 30% になるように設定する。同様に各世帯における EV 利用目的については、群馬県の通勤者における交通手段の利用状況⁶⁾より、EV 通勤利用が全体の約 75% となるように設定する他、朝充電は EV 利用目的に合わせて有無を設定する。

各世帯における PV および BT の容量選定に関しては、表 6 に示す 6 ケースを想定する。Case 1、2、4 の PV と BT 容量に関して、EV を通勤で利用する世帯では日中に EV の充電が行えず、買電が増加する傾向が見られたことから、PV と BT を大容量とし、それ以外の世帯は小容量に設定する。

4.2 計算結果

図 6 にスマートタウン全体の電力収支と電力自給率、自家消費率を示す。電力自給率と自家消費率については、第 3 章で示した式により算出する。

電力自給率に着目すると、PV、BT が大容量の世帯が多く、かつ EV を併用する Case 4、5 が約 85% と高く、買電量も少ない。また、Case 3 と 5 を比較すると、全 56 世帯において PV と BT の容量を増やした場合、自家消費率は約 20% 減少する一方で、年間買電量を約 70 MWh 削減し、電力自給率が約 30% 向上することが分かる。

5. まとめ

本研究では、PV・BT・EV の連携システムを備えた ZEH 住宅を対象に、住宅規模や世帯構成の違いが電力収支に与える影響について分析した。またスマートタウンを想定した、街全体での電力自給率や自家消費率についても試算を行った。

参考文献

- 1) 佐藤廉 他：“太陽光発電・蓄電池・電気自動車連携させた ZEH 住宅の実証 数値シミュレーションによる電気の自給自足可能性についての検討”、日本太陽エネルギー学会学術講演論文集、pp.291-294、2023。

表 5 スマートタウン居住者の条件

世帯構成	EV容量	住宅規模	EV利用目的・朝充電	戸数
4人片働き	60	2階建て	通勤・ON	8
			買い物・OFF	2
		平屋	通勤・ON	3
			買い物・OFF	1
4人共働き	60	2階建て	通勤・ON	6
		平屋	通勤・ON	3
3人片働き	40	2階建て	通勤・ON	10
			買い物・OFF	3
		平屋	通勤・ON	5
			買い物・OFF	1
2人片働き	40	2階建て	通勤・ON	5
		平屋	通勤・ON	2
2人共働き	40	2階建て	通勤・ON	4
		平屋	通勤・ON	1
老夫婦	20	平屋	買い物・OFF	1

表 6 計算ケース

	PV	BT	EV	設備容量	PV [kW]	BT [kWh]
Case 0	全 56 世帯が PV・BT・EV なし			小	4.9	5.6
Case 1	※	なし		大	10.29	11.2
Case 2	※	なし				
Case 3	全 56 世帯が小		表 5 に従う			
Case 4	※	表 5 に従う				
Case 5	全 56 世帯が大		表 5 に従う			

※EV 通勤利用の 47 世帯は大、買い物利用の 9 世帯は小に設定

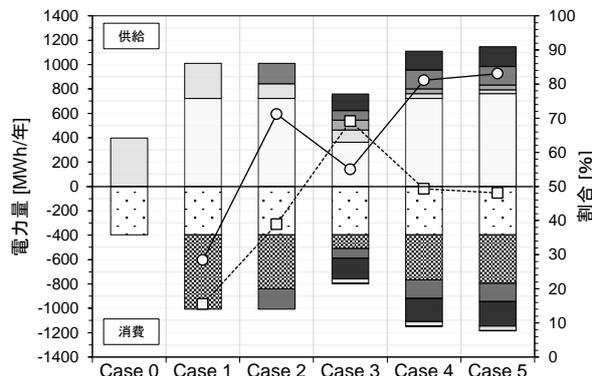
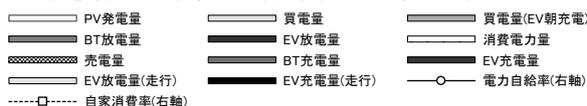


図 6 電力収支 (全 56 世帯の合計値)

- 2) スマートプリーマEV オネスティーハウス石田屋
<https://ishidaya-net.co.jp/techno/smartprima-ev/> (2025/1/4)
- 3) 空気調和・衛生工学会：生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver. 2.0, 2000
- 4) 山本高広 他：“スマートタウンにおけるHEMSデータを用いた家庭用燃料電池の実態分析”、日本建築学会技術報告集、第24巻、第57号、pp.727-732、2018。
- 5) 建築着工統計調査 建築物着工統計 (2025/1/4)
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003114509>
- 6) 国勢調査 令和 2 年国勢調査 従業地・通学地による人口・就業状態等集計 (2025/1/4)
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003454513>