戸建て住宅における HEMS データを活用したエネルギー利用実態の分析(その3):
太陽光発電と蓄電池を含む収支実態分析と自給率達成条件の試算ANALYSIS OF HEMS DATA IN A DETACHED HOUSE (PART 3):
ENERGY BALANCE ANALYSIS INCLUDING PHOTOVOLTAIC AND BATTERY ENERGY STORAGE太田 真人^{*1}, 岩船由美子^{*2}, 大岡 龍三^{*3}

Masato OOTA, Yumiko IWAFUNE and Ryoza OOKA

We have been studying energy consumption using data from Home Energy Management System since 2011. In this paper HEMS data of about 50,000 houses were collected and analyzed. We clarified the composition of HEMS data. It turns out that the energy consumption is decreasing as the buildings are newer. Energy balance such as power generation and household consumption is clarified. The purpose is to promote energy saving of new houses and existing houses

Keywords : HEMS System, Energy Analysis, Big Data, Photovoltaic, Battery Energy Storage, Self-Sufficiency Rate

HEMSシステム, エネルギー分析, ビッグデータ, 太陽光発電, 蓄電池, 自給自足率

1. はじめに

本研究グループでは、S社と共同で2011年からホームエネルギーマネジメントシステム（以下：HEMS）の導入と普及、データ収集及び分析を進めている。2019年末で約50,000戸のサービスを継続中である。本研究は、S社の協力を得て、同住宅に太陽光発電（以下：PV）と付帯する設備を有している全電化住宅から取得しているHEMSデータを活用した。前報^{1),2)}まででは建築年別及び用途別、更に主要家電機器ごとのエネルギー消費実態の把握と分析を行った。建築年が近年であるほど総消費エネルギーは減少傾向にあり、冷暖房は増加傾向、照明・家電は全体の約50%を占めその内訳や増減の要因を分析した。本報の研究範囲は、同住宅で更に蓄電池も有し、省エネルギー基準における地域区分は6地域のみ、単世帯、床面積は100～140㎡の829世帯を対象とした。

住宅のPVや蓄電池のエネルギー収支に関する先行研究は、山口ら³⁾がPVの発電量シミュレーションより、蓄電池を組み合わせた場合のメリットの研究を行なっている。PVと蓄電池の最適な容量の組み合わせを明らかにし、採算性や経済性を算出することにより実用化の可能性を見出している。また、西野⁴⁾はPVと住宅の需要負荷パターンを作成し余剰電力の蓄電池利用シミュレーションから経済メリットの研究を行なっている。PVの単価、蓄電池の容量、電気料金単価と制度などによってメリットは大きく変わることを明らかにしている。村上、長野ら^{5),6)}はPV、蓄電池、ヒートポンプ給湯機などを組み合わせたエネルギー需給システムの運用評価を独自のフローでシミュレーションを行なっている。蓄電池は売電価格や料金体系によって制御方法が変わるため、自家消費率に大きく影響すること

を明らかにしている。遠藤ら⁷⁾はPVと蓄電池の組み合わせによる実証実験(N=1)で防災時の適用について検討を行なった。蓄電池を組み合わせることにより買電量を1/3に抑えることができ、災害時にも蓄電池が有効であるということを明らかにしている。Pradita Octovianidingrum Hadi¹⁷⁾らはPVと蓄電池システムの最適なサイジング法をシミュレーションによって、自給率と自家消費率の観点から分析している。PVの大型化による自給率の上昇や飽和点、自家消費率の低下傾向を明らかにしている。Filomeno M. Vieira¹⁸⁾はヨーロッパの典型的な住宅数世帯の実データを用いてモデル化しエネルギー収支のシミュレーションを行っている。PVと蓄電池を利用して自給率を高め、消費電力や買電力の削減率を求めている。費用対効果も分析し、まだ十分に成立していないことを明らかにしている。Rasmus Luthander¹⁹⁾は住宅の自家消費の重要性を唱え、エネルギー貯蔵と需要側管理の観点で調査をまとめている。蓄電池容量の最適化と需要管理によって自給率は10～24%増加するとまとめている。これまでの研究は電力の負荷や発電パターンをシミュレーションもしくは実測した評価が多く、全国規模と数年にわたるHEMSの大量なデータを用いて発電、消費、充放電、自給率などのエネルギー収支を試算及び評価した研究は少ない。この研究を進めることで、より需要側の特性(居住エリア、家族構成、建物仕様)に応じたエネルギー収支予測や設備の適正容量を算出提案することが期待できる。本報はまず、スマートハウスを構成する重要要素であるPVと蓄電池のエネルギー収支実態の把握を行う。次に、今後FIT(固定価格買取制度)価格の低下によって、深夜電力を積極的に利用してきたライフスタイルから、PVの余剰電力活用に変化していき、その時の指標と

¹⁾ 積水化学工業㈱ 主席技術員・工修

²⁾ 東京大学生産技術研究所 特任教授・博士(工学)

³⁾ 東京大学生産技術研究所 教授・博士(工学)

Chief Engineer, Sekisui Chemical Co., Ltd., M.Eng.

Prof., Project Institute of Industrial Science University of Tokyo, Dr.Eng.

Prof., Institute of Industrial Science University of Tokyo, Ph.D.

して重要になる『自給率』等を試算することで再生可能エネルギーの活用、系統電力の安定、災害時の安心に繋がる住宅の普及や政策立案に有用となることを目的としている。

2. 取得データと分析対象

Table 1はHEMSの主な取得データを示している。静的データとして建築地、建築年、各階床面積、断熱性能、入居者数、家族構成の他に休日、各設備機器の仕様、電力契約コースなどを取得している。動的データとしては、住戸全体と主要設備機器(全館空調(Central Air Conditioner:CAC), 個室空調(DeCentral Air Conditioner:DCAC), ヒートポンプ式給湯機(Heat Pump Water Heater:HPWH), 電気自動車充放電システム(Vehicle to House system:VtoHsystem))のエネルギー消費量、PV発電量、蓄電池充放電量、売買電量、自家消費量を時間別に取得、更に日、月、年別に集計し蓄積している。次にTable 2は、省エネルギー基準における地域区分(以下:省エネエリア)別のデータ取得世帯数(HEMS設置戸数)を示している。6地域が最も多く約2.5万世帯となっているため、本報は十分なN数が確保できる一般地域(6地域)で分析を進めていくことにする。

Table 1 Available HEMS data

Resident	Area,Number of residents,Family type
House	Floor space, Year of construction
Appliances	CAC,DCAC,HPWH,VtoHsystem
Consumption	Total,Application by hour,Daily,Monthly
PV & Battery	Power-Generation,Charge&Discharging

Table 2 HEMS users by energy conservation level Zone

(Zone)	1	2	3	4	5	6	7
(Number of households)	340	580	740	3400	11800	24500	1100

Fig.1 Floor area ratio by family type (Zone6)

Fig.2 PV users ratio by capacity

Fig. 1は、省エネエリア6地域における主な家族構成毎の床面積比率と対象数を示している。今回分析対象である、夫婦+子供の単世帯では110~130㎡がピーク(夫婦のみも同様)になっているのに対して、二世帯では140~180㎡になだらかなピークがあり、同時に200㎡以上にもボリュームが存在している。ちなみに、住宅土地統計調査¹³⁾において2018年の日本における持ち家の平均床面積は120.93㎡となっている。

Fig. 2は全国と省エネエリア6地域の太陽光発電システムの発電出力毎の構成比率を示している。全体としては4kW超が8割以上を占める中、5kW台をピークに7kWまでは各々10%以上を構成し、10kWまでも比較的構成比率は高く10~11kWでもう一つピークがありそれ以上は極端に低くなっている。

Table 3は建築年毎の断熱性能(UA値)、空調や換気システムの効率や仕様を示している。建築年が新しくなるほど断熱性能や機器効率が向上し、前報その1¹⁾で述べたが、建築年が新しくなるほどエネルギー消費量は一貫して減少している。これらの結果を踏まえると今回の分析対象は日本の平均床面積に近くN数が多い単世帯に絞り、建築年については年毎に住宅性能やエネルギー消費量が違うため、単年に絞らず蓄電池導入が始まった2013年から2017年までとする。(ただし後半「6.各カテゴリー別エネルギー収支」以降のカテゴリー別分析は夫婦のみ、二世帯を含む)

Table 3 Annual Household and Facility Spec

	Insulation.Average UA(W/m2K)	CAC COP*1	Balanced Ventilation	HPWH APF*2	Light Spec.
2011	0.65	3.48	AC Motor	2.98	Partially LED
2012	0.65	3.50	AC Motor	2.98	Partially LED
2013	0.65	4.00	AC Motor	2.99	Partially LED
2014	0.65	4.00	DC Motor	3.06	Partially LED
2015	0.65	4.00	DC Motor	3.11	All LED
2016	0.65	4.00	DC Motor	3.23	All LED
2017	0.59	4.00+	DC Motor+ Control	3.29	All LED

*1 CAC COP:全室空調の冷暖房平均エネルギー消費効率

(Central Air Conditioner Coefficient Of Performance)

*2 HPWH APF:ヒートポンプ式給湯機の年間エネルギー消費効率

(Heat Pump Water Heater Annual Performance Factor)

Fig. 3は全国と省エネエリア6地域及び今回の分析対象の蓄電池容量毎の構成比率を算出している。導入されている蓄電池は、全て定置型家庭用リチウムイオン蓄電池である。系統電力とも連携されているタイプである。制御方法は、深夜時間帯に充電し、日中に買電

Fig.3 Battery Energy Storage users ratio by capacity

が発生した場合に放電する「深夜充電(経済)モード」。太陽光発電の余剰電力を充電し、同じく買電が発生した時に放電する「グリーンモード」の2種類がある。どちらのモードもリモコン上で設定し、設定後は毎日自動で充放電される。途中でモードを変更することも可能である。容量の構成比率は7.2kWhや5.5kWhの中容量比率で50%以上を占めている。4.4kWhや5kWhの小容量も合計で25%以上となっている。また12kWhの大容量にも小さなピークが認められる。PVも蓄電池も全国と6地域で構成比率に大きな差はない。このことから今回の分析対象はTable 4に示した通り、PVは平均容量4(3~5), 6(5.1~7), 8(7.1~9), 10(9.1~11)kWに区分(以下PV4, PV6, PV8, PV10)、蓄電池(Battery Energy Storage以下BES)は5kWh以下の小容量(以下BES(S)), 5.1~8kWhの中容量(以下BES(M))、大容量の8.1kWh以上(以下BES(L))にカテゴリ分けし分析を進める。期間は2018年4月から2019年3月の1年間、サンプル数はデータ欠損などがない829戸を対象とした。

Table 4 Available HEMS data

	Single family energy conservation level Zone 6			
Floor space (㎡)	100~140			
Photovoltaic (kW.average)	4 (3~5)	6 (5.1~7)	8 (7.1~9)	10 (9.1~11)
Battery Energy Storage(kWh)	Small(4~5), Middle(5.1~8), Large(8.1~12)			
Year of construction	2013~2017			
Measurement period	2018/04 ~ 2019/3			
Number of households	829			
Extracted data	TPC,PG,PE,ES,CE,DCE			

算出データは各カテゴリ毎に総消費電力量(Total Power Consumption 以下:TPC)、発電量(Power Generation 以下:PG)、買電量(Purchase Electricity 以下:PE)、自家消費量(Self Consumption 以下:SC)、売電量(amount of Electricity Sold 以下:ES)、充電と放電量(Charge Electricity and Dis Charge Electricity 以下:CE & DCE)を時間別で抽出し中央値を算出。『自給率(数式(1))』(又は自給自足率:Self-Sufficiency Rate (以下:SSR))とは消費電力量の内太陽光発電でまかなえた割合で住宅のエネルギー政策やスマートハウス普及において重要な指標の一つである。『稼働率(式(2))』(Operation Rate 以下:OR)とは蓄電池の有効活用を示す指標の一つとして算出した。『充放電効率(式(3))』(Charge and Discharge Rate 以下:CDR)は蓄電池システムの効率を示している。

$$SSR(\%) = \frac{\sum_{n=1}^{8760} [SC(t) + DCE(t)]}{\sum_{n=1}^{8760} TPC(t)} \quad \dots (1)$$

$$OR(\%) = \frac{\sum_{n=1}^{8760} CE(t)}{\sum_{n=1}^{8760} BES(t)} \quad \dots (2)$$

$$CDR(\%) = \frac{\sum_{n=1}^{8760} DCE(t)}{\sum_{n=1}^{8760} CE(t)} \quad \dots (3)$$

SSR(%) : Self-Sufficiency Rate (自給率)
 SC(kWh) : Self Consumption (自家消費量)
 DCE(kWh) : Dis Charge Electricity (放電量)
 TPC(kWh) : Total Power Consumption (総消費量)
 OR(%) : Operation Rate (稼働率)
 CE(kWh) : Charge Electricity (充電量)
 BES(kWh) : Battery Energy Storage (蓄電池容量)
 CDR(%) : Charge and Discharge Rate (充放電効率)

殆どの蓄電池は「深夜充電モード」で運用されているため、実充放電データをもとに「グリーンモード」に時間毎に変換し試算した。後は日、月、年間に積算している。後で述べるFig4から10は各カテゴリの中央値に最も近い世帯を選出し、上記試算を行った。

3. PVとBESのカテゴリ別年間エネルギー収支

Fig. 4は年間のカテゴリ別エネルギー収支を示している。PV8およびPV10では蓄電池容量が大きくなるほど年間買電量は減少傾向にあるが、PV4, PV6においては必ずしも買電は減少していない、その原因としてはBES(S)よりもBES(M)の方が総消費エネルギー(TPC)が増加

N: (58) (210) (38) (181) (15) (18) (98) (6) (26) (150) (29)
 Fig. 4 Annual power balance for PV & BES

Fig. 5 Annual Self-Sufficiency Rate & Operation Rate, Charge and Discharge Rate for PV & BES

していることが原因と考えられる。また、BES (L) はどのPV容量においても買電量が3000kWh以下となりPV6BES (L) が最少で1856kWhまで減少する。充電量はPV4BES (S) が1435kWhに対して、PV10BES (L) は3361 kWhまで増大する。売電量はPV6BES (L) が最小で1000 kWhでありその理由は発電量の内、放電に利用した割合が42.2%と各カテゴリー中最大のためと考えられる。逆に、売電量が最大になるのはPV10BES (S) で9156kWh。PV6BES (S) と9倍以上の差が生じている。

Fig. 5は各カテゴリーの『自給率』と蓄電池の『稼働率、充放電効率』及び『自家消費量』を算出している。自給率が最も高いのはPV6BES (L) で74%, 次いでPV10BES (L) の68%となっている全体的にPV容量及びBES容量が大きいくほど自給率は向上している。稼働率はBES容量が大きくなる程低下している。同一BES容量で比較するとPV容量が大きくなるほど稼働率は向上している。充放電効率は何も78~85%で推移しているが容量が大きくなるほど向上傾向にある。理由はハイブリッド型パワコン(PVとBESのパワコンを一体化したもの)の割合が大型になる程大きく、ロスが比較的少ないからだと考えられる。自家消費量もほぼBES容量に比例する形となっている。

4. PVとBESのカテゴリー別月間エネルギー収支比較

Fig. 6, 7, 8は蓄電池容量が同じ(S)で、太陽光発電の容量が4kW, 6kW, 8kWの月別のエネルギー収支を示している。多くの発電量が期待できる4~10月頃にかけてはPVが大きくなるほど買電量が減少していることがわかる。しかしながらFig. 4からもわかるように総消費は増加傾向にあるため冬期を買電量は増加している。充電量に関してはほぼ年間を通じて、またどのPV容量でも一定量であることがわかる。蓄電池容量以上に余剰電力があるためだと考えられる。

Fig. 9と10はPV容量8kWで蓄電池の容量を(M)と(L)にした場合の月別エネルギー収支を示している。中間期や夏期の買電は蓄電池容量に比例して減少し、BES (L) の5月などは10kWh/月以下まで減少する。冬期2月の買電についてもBES (S) と比較してBES (L) は570kWh/月まで減少している。売電に関しては夏期8月はPV8BES (S) で841kWh/月に対してPV8BES (L) は767kWh/月にまで減少、冬期2月の売電はどちらも約

Fig. 6 Monthly energy balance for PV4 BES (S) (mon)

Fig. 7 Monthly energy balance for PV6 BES (S) (mon)

Fig. 8 Monthly energy balance for PV8 BES (S) (mon)

Fig. 9 Monthly energy balance for PV8 BES (M) (mon)

Fig. 10 Monthly energy balance for PV8 BES (L) (mon)

Fig. 11 Monthly Self-Sufficiency Rate and Operation Rate for PV and Battery Energy Storage

300kWh/月となっている。蓄電池容量の大型化は自給率の向上と買電、売電の減少に貢献していることがわかる。

Fig. 11は各カテゴリー別の月毎の自給率と稼働率を示している。PV容量と蓄電池容量が大きいくほど自給率も全般的に高まる傾向にあるが、冬期は25%程度にまで下がってしまう。ただしPV8BES (L) だけは

Fig. 12-1 Hourly energy balance for PV8 BES(L) in FEB

Fig. 12-2 Hourly energy balance for PV8 BES(L) in MAY

冬期も45%あり夏期は80%、中間期では95%程度まで上昇している。冬期でも45%の高さを維持している理由としては、Fig. 10より冬期でも買電量に対して比較的発電量も多く、また発電量に対して放電割合も高いためと推測される。

5. PVとBESの季節毎の時間別エネルギー収支

Fig. 12-1から-2, -3, -4はPV8kW BES(L)時のそれぞれ冬期、中間期、夏期における1日の時間別エネルギー収支を示している。

Fig. 12-1の2月において1日の発電量は約20kWh程度で日照時間も短いため発電は7時から16時までとなっている。その発電の殆どは自家消費と充電に充てられている。売電量は約1.5kWhとなっている。放電は16～0時まで継続するが、その後朝まで約12kWhほどの買電が必要となっている。前報までの研究から主に暖房と給湯エネルギーに利用されていると考えられる。

Fig. 12-2の5月に於いては1日の発電量が37kWh程度まで増加し発電も5時台から18時近くまで続く。充電についても9時台で満充電となり、発電が終了する18時台から放電が始まり、翌日の5時台まで放電が続く。つまり自給率は100%に達していることがわかる。余剰電力に十分余裕があるため深夜の給湯エネルギーや将来的な電気自動車の充電に利用できると考えられる。

Fig. 12-3は8月のエネルギー収支を示している。自家消費は冷房も加わるため約7kWhに増加している。10時台に満充電となり5月と同じく十分な余剰電力が得られている。17時台から放電を開始し翌日3時台から買電が始まる。買電が発生しているのは3時から5時の僅か3時間のみとなっている。

Fig. 12-4は11月のエネルギー収支を示している。昼間の自家消費は3kWh以下まで減少する。発電量も5、8月と比較すると減少し12時で満充電となる。16時から放電を開始し翌3時まで放電が続く。ま

Fig. 12-3 Hourly energy balance for PV8 BES(L) in AUG

Fig. 12-4 Hourly energy balance for PV8 BES(L) in NOV

た、3時から6時までは買電が発生しており、この買電は主にヒートポンプ式給湯機の消費電力と考えられる。一方で、余剰電力(売電量)が3.5kWh残っているため、ヒートポンプ式給湯機を深夜ではなく、この余剰電力で稼働することができれば一日の電力量はほぼPVで賄えることになる。

6. 各カテゴリー別エネルギー収支

Fig. 13は世帯人数毎のPV発電容量別自給率(SSR)及び総消費量(TPC)を整理した結果である。(箱の中央線：中央値、箱の上端：75%点、箱の下端：25%点、髭上限と下限：最大値と最小値、○：外れ値、米：極値)世帯人数の増加でTPCも増加傾向にあるためエネルギー自給率は低下していく傾向にある。PV容量が大きいほど自給率も高くなる傾向にあり、世帯人数が2人から5人までの間(主に単世帯)ではPV10kWの場合に自給率が最も高くなる。世帯人数が増えると自給率は40%程度に低下していることがわかる。

Fig. 14は建築年毎のPV容量別自給率(SSR)と総消費量(TPC)を示している。どのPV容量においても建築年が新しくなるに従って総消費量は減少傾向である。自給率は建築年が新しくなる程PV8, 10は高まる傾向に、PV4, 6は横ばい傾向である。’16年以降はPV容量が大きいほど自給率は向上しており、年間を通じて昼間の自家消費や蓄電池の余剰電力充電が十分に生かされているためと考えられる。2017年は総じて自給率が向上している。これも前報の分析より給湯やその他家電の省エネ化に加えて、断熱性能の向上によって冷暖房エネルギーも減少したためと考えられる。

Fig. 15-1は換気種類毎、Fig. 15-2は空調種類毎のPV容量別総消費量(TPC)と自給率(SSR)を示している。第1種換気(Type1)と第3種換気(Type3)では、PV容量が4kWの時は3種換気の方が自給率も高くなるが、他のPV容量の場合は、昼間も一定の消費電力が発生する

Fig. 13 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate for number of family

Fig. 15-1 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate for Type of ventilation

Fig. 15-2 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate For CAC and DCAC

Fig. 14 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate for Year of construction

Fig. 16 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate for floor space

一種換気の方が、自給率は向上し消費量も若干増加傾向にある。全室空調(CAC)とエアコン(DCAC)を比較した場合、PV容量が大きくなるに従って自給率はDCACを逆転してCACが高くなっている。余剰電力を充電し夜間の冷暖房に利用することによって、PV10の場合全室空調を利用しながら63%まで自給率が向上している。

Fig. 16は延べ床面積毎のPV容量別自給率(SSR)と総消費量(TPC)を示している。どの面積区分でも共通して自給率と消費量はPV容量が大きくなる程向上及び増加傾向にある。消費量に関しては床面積が大きいほど増加傾向にあり、前報より160m²以上は二世帯の割合が多く昼間の消費電力が増加するため消費量が更に増加傾向にある。一方、自給率に関しては逆に床面積が増加するほど総消費量も増加するためどのPV容量においても低下傾向となっている。

Fig. 17は蓄電池容量毎のPV容量別自給率と総消費量を示している。どのPV容量でも蓄電池容量が大きくなるほど自給率は高くなっている。同じ蓄電池容量で見てもPV容量が大きくなるに従って総消費量も増大しているため、必ずしもPV容量と自給率は比例関係にはないことがわかる。

Fig. 17 Annual Total Power Consumption and Self-Sufficiency Rate for Battery Energy Storage

Fig. 18-1 Total Power Consumption and PV of Self-Sufficiency Rate for Battery Energy Storage (S)

Fig. 18-2 Total Power Consumption and PV of Self-Sufficiency Rate for Battery Energy Storage (M)

Fig. 18-3 Total Power Consumption and PV of Self-Sufficiency Rate for Battery Energy Storage (L)

上記の通り、自給率と様々なカテゴリーの関係を分析してきた。自給率はエネルギー消費量や消費形態、PV、BES容量に影響を受けるため、総消費電力量(TPC)を上位25%TPC(L) 10618~kWh/y, 中間TPC(M) 6931~10617kWh/y、下位25%TPC(S)~6930kWh/yの群に分け、PV、BES、SSRの分布と相関をFig. 18-1, 2, 3に示した。ここからもエネルギー消費量が少なければ自給率は向上しやすいことがわかる。(ただしBES(L)の場合はN数が少なくR値が充分でないため今後の課題として更に戸数を増やしていく必要がある)さらに、この回帰式を使ってTPC(S), (M), (L) 毎に必要な自給率(SSR)を達成するためのPV、BES容量をFig19-1, 2, 3に示した。これは今後、住宅購入検討者がある程度自分のエネルギー消費量を把握している場合に、ある水準の自給率達成要求があるとき、必要なPV及びBES容量を把握するためである。例えばTPC(M)でSSR70%程度欲しいと考えた場合PV10kWだと、BESは大凡12kWh必要となる。TPC(S)でSSR70%だとPV7kW, BES9kWh程度となる。TPCの低減が、自給率を高く保ち、PV、BESの必要量も小さく初期導入コストを抑えられることがわかった。

Fig. 19-1 PV and BES capacity to achieve the required SSR for TPC (S)

Fig. 19-2 PV and BES capacity to achieve the required SSR for TPC (M)

Fig. 19-3 PV and BES capacity to achieve the required SSR for TPC (L)

Table 5 Annual CO₂ reduction by category

t-CO ₂	Photovoltaic(kW.average)			
Battery Energy Storage(kWh)	4 (3~5)	6 (5.1~7)	8 (7.1~9)	10 (9.1~11)
Small(4~5)	0.69	-0.3	-0.65	-1.90
Middle(5.1~8)	1.48	1.11	-0.17	-1.97
Large(8.1~12)		0.40	-0.80	-1.48

7. まとめ

HEMSの大量な実データを整理し、前報までは消費電力の分析を進めた。本報では太陽光発電と蓄電池の容量毎、又総消費電力量毎にエネルギー収支の分析を行なった。Table 5にカテゴリー別の年間CO₂削減量¹⁶⁾ (t-CO₂/年)も試算した。PV8以上では年間CO₂排出量がマイナスとなっていることがわかる。ZEH政策が進んだ2017年建築の建物などは断熱性能と設備性能両面が向上し、自給率の向上とエネルギー消費量の削減を実現していた。(2017年でZEH基準を満たしている建物は約6割、2016年で4割弱)当然PV容量や蓄電池容量が大きいほど自給率も高まり、PV8~10kW, BES(L)では67~68%まで向上しているが、エネルギー消費量の削減が自給率向上の鍵となることがわかった。また、家族人数や延べ床面積、建築年別の自給率分析も行った。家族人数が少なく、延べ床面積も小さいほど自給率は向上していた。建築年が近年になるほど自給率も高く、2017年建築でPV10の場合、自給率は63%まで向上していた(Fig. 14)。これらのデータ分析を踏まえて、自給率達成条件の試算を行った。自給率は総消費電力量に大きく影響を受ける。Fig. 19-1の通り総消費電力量が小さく(~6390kWh/年)抑えられれば、PV9kW, 蓄電池容量約12kWhで自給率80%の達成も可能であることが分かり、改めてPV, 蓄電池の大型化に加えてエネルギー消費量の削減が重要であることがわかった。

本報は、各需要家における自給率向上を研究の目的としたが、HPWH運転や蓄電池充電をPV余剰電力で行うということは、電力系統の送配電網の利用負担を低減させるとともに、近年九州地方で問題となっているPV出力抑制を回避させることにつながる。今後は、再生可能エネルギーの導入量が拡大した場合に、電力系統における家庭用バッテリーの電力需給バランスへの貢献についても、併せて検討していく予定である。

参考文献

- 1)Oota,M.and Ooka,R.et al.:Analysis of HEMS data in a Detached house (Part 1), Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.85, No772, pp.495-502, 2020.6 (in Japanese)
太田真人, 大岡龍三, 他:戸建て住宅におけるHEMSデータを活用したエネルギー利用実態の分析(その1) 建築年別及び用途別消費エネルギー分析, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第772号, pp. 495-502, 2020.6
- 2)Oota,M.and Ooka,R.et al.:Analysis of HEMS data in a Detached housing(Part 2), Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol.85, No775, pp.677-683, 2020.9 (in Japanese)
太田真人, 大岡龍三, 他:戸建て住宅におけるHEMSデータを活用したエネルギー利用実態の分析(その2) 建築年別の家電・換気消費エネルギー分析, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第775号, pp. 677-683, 2020.9
- 3)Yamaguchi,M. and Iga,A.et al.:Study for Merit of Battery Combined Photovoltaic Generation System for Residential House 2004, The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ), Vol.123, No3, pp.402-411, 2004.3 (in Japanese)
山口雅英,伊賀淳,他:住宅用太陽光発電・蓄電池組み合わせシステムのメリットに関する研究,電気学会論文誌B(電力・エネルギー部門誌),第123巻, 第

- 3号, pp.402-411, 2004.3
- 4)Nishino, Y.:Economic evaluation of residential solar power generation, Economics & public utilities, No.22, pp.05-20,1987.1 (in Japanese)
西野義彦:住宅用太陽光発電の経済性評価,電力中央研究所経済研究所[編] 電力経済研究, No. 22, pp. 05-20, 1987.1
- 5)Nakajima, A. and Nagano, K.et al.: Study on smart community integrated with heat pump (Part1) Optimum control of charging and discharging of lithium ion Battery cooperated with PV panel for a smart house,Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, vol.9, E-9, pp.37-40, 2017.9(in Japanese)
中島彰,長野克則,他:ヒートポンプを核としたスマートコミュニティに関する研究(その1)スマートハウスにおける太陽光発電連携型リチウムイオン蓄電池の充放電の最適化に関する検討, 空気調和・衛生工学会大会(高知)学術講演論文集, 第9巻, セッションID:E-9, pp. 37-40, 2017.9
- 6)Murakami, T. and Nagano, K.et al.:Study on smart community integrated with ground source heat pump (Part2) Optimization method of energy demand supply system in smart house,Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, vol.9, E-10, pp.41-44, 2017.9(in Japanese)
村上友章,長野克則,他:ヒートポンプを核としたスマートコミュニティに関する研究(その2)スマートハウスにおけるエネルギー需給システム運用最適化の検討, 空気調和・衛生工学会大会(高知)学術講演論文集, 第9巻, セッションID:E-10, pp. 41-44, 2017.9
- 7)Endo, H. and Yokoyama, S.:Application of Battery Combined Photovoltaic Generation System For Disaster-proof House, Journal of the Japan Institute of Power Electronics, vol.31, No.14, pp.109-115, 2006.3 (in Japanese)
遠藤浩輝,横山 晋也:蓄電池併設型太陽光発電システムの防災住宅への適用 パワーエレクトロニクス学会誌, 第31巻, No. 14, pp. 109-115, 2006.3
- 8)Association for Electric Home Appliance: Home Appliance Industry Handbook,2018,(in Japanese)
一般財団法人,家電製品協会,家電産業ハンドブック, 2018
- 9)Ogino, T. and Mineo, S.et al.:Study on characterization of integrated system with Household Battery Energy Storage and PV in LCCM housing,Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, vol.10, ID.F-53, pp.65-68, 2017.9 (in Japanese)
萩野 登司, 峰野 悟, 他:LCCM住宅における家庭用蓄電池・太陽光発電設備一体型システムの特性把握研究, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 第10巻, セッションID:F-53, pp. 65-68, 2017.9
- 10)Tsuchimoto, N. and Sakamoto, T.:PV inverter and EV Charger - Discharger Linked by AC Power Line,The Journal of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan, vol.33, No.10, pp.767-770, 2013.10 (in Japanese)
土本 直秀,坂本 忠昭:PV・EV連携パワーコンディショナ, 電気設備学会誌, 第33巻, No. 10, pp. 767-770, 2013.10
- 11)Iga, A. and Yamaguchi, M. et al.:Study of the Merit of Battery Combined Photovoltaic GenerationSystem for Residential House(2),Investigation of the Influence of Load Patterns and Regional Difference, The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ), vol.124, No.10, pp.1224-1230, 2005.1 (in Japanese)
伊賀 淳,山口 雅英,他:住宅用太陽光発電・蓄電池組み合わせシステムのメリットに関する研究(2), 負荷パターンおよび地域差による影響の検討, 電気学会論文誌B, 第124巻, 第10号, pp. 1224-1230, 2005.1
- 12)Ministry of Economy,Trade and Industry: total energy statistics, Agency for Natural Resources and Energy, 2017 (in Japanese)
経済産業省: 総合エネルギー統計, 資源エネルギー庁, 2017
- 13)Ministry of Internal Affairs and Communications: Data are based on the Housing and Land Survey, Statistics bureau of Japan, 2018 (in Japanese)
総務省: 住宅・土地統計調査, 統計局, 2018
- 14)Ministry of Economy,Trade and Industry: Energy White Paper, Agency for Natural Resources and Energy, 2018 (in Japanese)
経済産業省: エネルギー白書, 資源エネルギー庁, 2018
- 15)Nakayama, I. and Kobayashi, K.et al.:In-house power consumption of excessive home photovoltaic power using HEMS,Transactions of the

- Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, vol.9, ID:D-63, pp.137-140, 2015.9 (in Japanese)
- 中山功, 小林和幸, 他: 太陽光発電電力の自家消費拡大に資するHEMSの活用, 空気調和・衛生工学会大会(大阪) 学術講演論文集, 第9巻, セッション ID:D-63, pp. 137-140, 2015. 9
- 16)Ministry of the Environment: CO₂ emission factor for each electric utility, Ministry of the Environment and Ministry of Economy , 2020. 1(in Japanese)
- 環境省: 電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) : 環境省・経済産業省, 2020. 1
- 17)Pradita, O, Hadi.and Goro Fujita.: DESIGNING HYBRID SYSTEM OF PV-BATTERY BASED ON ENERGY INDEPENDENCE LEVEL ,SEATUC Journal of Science and Engineering, Vol.1, Issue 1, p p.31-37, (accessed 2020.2.18) , DOI: https://doi.org/10.34436/sjse.1.1_31
- 18)Filomeno, M, Vieira. and Pedro, S, Moura. et al.: Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings ,Renewable Energy, vol.103, pp.308-320, (accessed 2016.11.28) , DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.048>
- 19)Rasmus Luthander.and Joakim Widen.and Joakim Munkhammar. et al: Self-consumption enhancement and peak shaving of residential photovoltaics using storage and curtailment,Energy, vol.112, pp.221-231, (accessed 2016.8.5) , DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.039>
- 20)Rasmus Luthander. Joakim Widén. Daniel Nilsson, et.al: Photovoltaic self-consumption in buildings, Applied Energy, vol.142, pp.80-94, (accessed 2015.1.12) , DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- 21)Matthew, D, Leonard.and Efsthios, E, Michaelides. et al. :Grid-independent residential buildings with renewable energy sources, Energy, vol.148, pp.448-460, (accessed 2018.2.3), DOI:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.168>
- 22)Mohammad Sameti. And Alibakhsh Kasaeian. et al.:Simulation of a ZEB Electrical Balance with aHybrid Small Wind/PV, Sustainable Energy,Vol.2, No.1, pp.5-11, 2014.01, DOI: 10.12691/rse-2-1-2
- 23)Juman Al-Saqlawi.and Kaveh Madani.and Niall Mac Dowell.:Techno-economic feasibility of grid-independent residential roof-top solar PV systems in Muscat, Energy Conversion and Management , vol.178, pp.322-334, (accessed 2018.10.18) , DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.021>

ANALYSIS OF HEMS DATA IN A DETACHED HOUSE (PART 3): ENERGY BALANCE ANALYSIS INCLUDING PHOTOVOLTAIC AND BATTERY ENERGY STORAGE

Masato OOTA ^{*1}, *Yumiko IWAFUNE* ^{*2} and *Ryozo OOKA* ^{*3}

^{*1} Chief Engineer, Sekisui Chemical Co., Ltd., M.Eng.

^{*2} Prof., Project Institute of Industrial Science University of Tokyo, Dr.Eng.

^{*3} Prof., Institute of Industrial Science University of Tokyo, Ph.D.

Since 2011, this research group has been analyzing energy consumption based on data from Home Energy Management Systems. HEMS data of about 50,000 houses were collected and analyzed. The composition of the HEMS data was clarified. Energy balance such as power generation and household consumption was clarified for the purpose of promoting energy saving of new houses and existing houses. The object of this analysis is a monogenesis zone of 6 regions, and the floor area is 100 ~ 140m². Photovoltaic power generation is classified into (S) of average capacity 4,6,8,10kW and storage battery 5kWh or less, (M) of 5.1 ~ 8 kWh, and (L) of 8.1kWh or more, and the analysis period is 1 years from April, 2018 to March, 2019, and the sample number is 829 houses without data loss. As a general feature, as battery capacity increases, annual electricity purchases decrease and household consumption (including charging) increases. Generally, the self-sufficiency rate is improved as PV capacity and BES capacity are larger. As the number of families increases, energy consumption also tends to increase. Therefore, the energy Self-Sufficiency rate tends to decrease, and the self-sufficiency rate tends to increase as solar power generation capacity increases. The self-sufficiency rate generally tends to rise as the construction year becomes new.

In addition, since the total consumption also increases as the floor area increases, the self-sufficiency is on a declining trend for all types of photovoltaic power generation capacity. When all room air conditioners are compared with air conditioners, the self-sufficiency rate is reversed to DCAC, and DAC becomes higher as PV capacity increases. The buildings constructed in 2017, when the ZEH policy was promoted, were improved in heat insulation performance, facility performance, and Self-Sufficiency Rate. In order to improve the Self-Sufficiency Ratio, it is important not only to increase the capacity of photovoltaic power generation and storage batteries but also to reduce the total power consumption. It is expected that the Self-Sufficiency Rate will be further improved by the Heat Pump type Water Heater and the surplus electric power utilization of the electric automobile. In the future research, the data quantity will increase further, and the building data after 2018 will be also available.

In the future, it is important to continue to analyze and publish data on snow-covered cold regions and data on further increases in ZEH rates, and to demonstrate the effectiveness of ZEH, a self-sufficient housing model, and to accelerate its popularization. It is expected that the Self-sufficiency rate will be further improved by the introduction of the Service and the mechanism which carry out the operation method of Eco Cute, air conditioning of all rooms, and surplus electric power utilization of electric vehicles without the user's trouble. In future research, the amount of data will increase further, and building data will be available after 2018. It is important to continue to analyze and disclose data on snow and cold regions, as well as data on which the ZEH rate has increased further, and to prove the effectiveness of ZEH, a Self-Sufficient housing model, and to accelerate its dissemination.

(2020年6月10日原稿受理, 2021年2月18日採用決定)