

# スマートタウンにおける蓄電池の有効な運用方法に関する研究

## Research on effective operation methods of storage batteries in smart towns

○田中大雅\*、後藤啓太\*、市村知輝\*\*、湯浅和博\*\*\*  
Taiga Tanaka, Keita Goto, Tomoki Ichimura, Kazuhiro Yuasa

keywords : energy consumption, Smart Towns , Storage Battery  
エネルギー消費、スマートタウン、蓄電池

### 1. はじめに

温室効果ガス削減に向け、太陽光発電システム(以下PV)が住宅に導入されているが、FIT制度(固定価格買取制度)などの理由により、現在はPVの余剰電力を売電する事例が多くみられる。PVの普及拡大に伴い電力会社への売電量が増加することが考えられるが、火力発電などで対応可能な売電量を上回ってしまう恐れがある。安定した電力供給の観点から、住宅に蓄電池を導入して発電した電力を最大限自家消費することが求められている。気象条件によりPV発電量は左右されるため、気象条件の違いについて考慮する必要がある。本研究は、晴天日と曇天日、雨天日を含む連続した期間のHEMSデータに基づき、中間期と夏期、冬期の住宅の電力消費を把握し、蓄電池の有効な運用方法を明らかにすることを目的とする。

### 2. 調査概要

表1に調査概要を示す。Fujisawaサステナブルスマートタウンにある住宅545世帯のうち、750Wの固体高分子形燃料電池(以下PEFC)のある住宅(以下Type1)44軒、全電化住宅(以下Type2)18軒を対象とする。全住宅に5,000Whの蓄電池が設置されているが、災害時に備え満充電されており、原則、充放電は行われていない。対象期間は、中間期と夏期、冬期の晴天日と曇天日、雨天日を含む1週間とした。HEMSデータの測定間隔は30分であり、測定項目は、PV発電量、PEFC発電量、買電量、売電量、充電量、放電量、電力消費量、分岐回路別の電力消費量、ガス消費量である。

### 3. 住宅のエネルギー消費

#### 3.1. 電力消費

図1に冬期における発電量、買電量、売電量の時間変化をA邸(Type1)とB邸(Type2)を例に示す。PV自家消費量とPEFC発電量、買電量の合計は電力消費量であり、B邸の電力消費量はA邸より大きい。また、A邸B邸ともに、晴天日は正午にかけて売電量が大きくなる。

図2に冬期におけるB邸の雨天日、曇天日、晴天日の用途別の電力消費量の時間変化を示す。また、Type2の電力消費量の平均を折線で示す。B邸の朝の暖房の電力消費量について雨天日は最大944Wh/0.5h、曇天日は1,152Wh/0.5h、晴天日は最大714Wh/0.5hであり、晴天日が最も小さい。天候によらず夜間に給湯器の電力消費量がある。Type2の電力消費量の平均において、曇天日と雨天日の電力消費量は晴天日より大きい。

表1 調査概要

対象住宅の概用		Fujisawaサステナブルスマートタウンにある住宅545軒			
設備概要					
Type1	44軒 電気+ガス	太陽光発電・蓄電池(5,000Wh)・固体高分子形燃料電池(750W)			
Type2	18軒 電気のみ	太陽光発電・蓄電池(5,000Wh)			
対象期間の概要		晴・曇・雨天日を含む1週間	曇天日	雨天日(降水量)	
中間期	2021年5月	22日(土) - 28日(金)	22日	27日(52.0mm)	
夏期	2021年8月	2日(月) - 8日(日)	7日	8日(67.0mm)	
冬期	2022年2月	12日(土) - 18日(金)	14日	13日(19.0mm)	
HEMSの概要		測定項目: PV発電量・PEFC発電量・買電量・売電量・充電量・放電量			
測定間隔	30分	項目: 電力消費量・分岐回路別の電力消費量・ガス消費量			
分類	分岐回路別の測定項目		分類	分岐回路別の測定項目	
冷暖房	各居室のエアコン・床暖房		照明電源	各居室の照明電源	
家電	IH・電子レンジ・食器洗乾燥機・冷蔵庫・浴室乾燥機・洗濯機				
給湯器	給湯器・エコキュート				
その他	電気自動車・警報設備・情報機器・非常用電源・その他				

上段: 日付	中段: 降水量(mm)			下段: 日照時間(h)		
2/12(土)	2/13(日)	2/14(月)	2/15(火)	2/16(水)	2/17(木)	2/18(金)
0.0	19.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.1	0.0	0.0	6.2	10.4	8.2	9.4

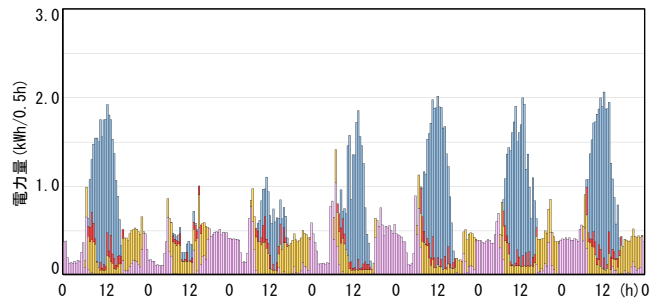
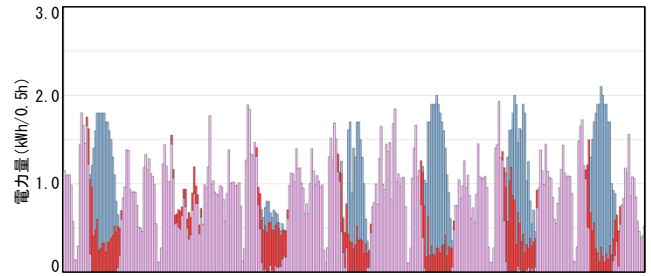


図1 時刻別電力消費量 (G邸)



(2) B邸 [Type2]

図1 発電量・買電量・売電量の時間変化(冬期)

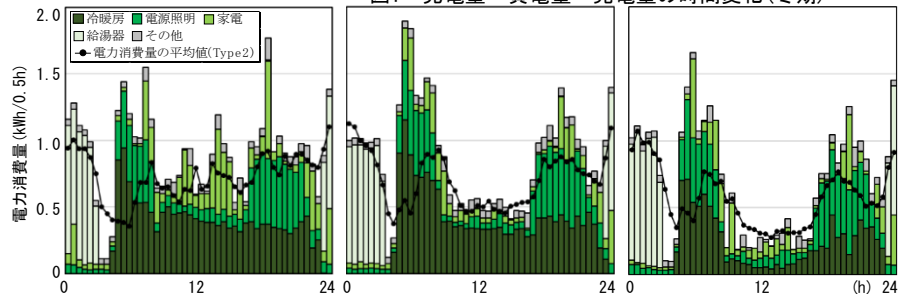


図2 電力消費量の時間変化とその内訳(B邸 [Type2]・冬期)

\*東京工業大学・環境・社会理工学院・修士課程 \*\*株式会社大林組 \*\*\*東京工業大学環境・社会理工学院 准教授・工博  
\* Graduate Student, Tokyo Institute of Technology \*\*Obayashi Corporation \*\*\* Associate Prof, Tokyo Institute of Technology Dr.Eng

### 3.2 一次エネルギー消費

図3にA邸とB邸の一次エネルギー消費量の日変化を示す。一次換算値は電力9.76MJ/kWh、ガス45MJ/m<sup>3</sup>である。A邸は全期間において一次エネルギー消費量の変化が小さいが、B邸は中間期、夏期、冬期の順で大きくなる。Type1の一次エネルギー消費量の平均は、中間期と夏期が250MJ、冬期が500MJ程度、Type2の平均は中間期が120MJ、夏期が180MJ、冬期が300MJ程度であり、Type1の一次エネルギー消費量はType2より大きい。また、一次エネルギー消費量の日変化について、全期間において天候の違いによる顕著な変化は見られない。

図4に晴天日(2/16)と対象期間の平均の一次エネルギー消費量と一次換算した売電量の関係を示す。y=xのグラフより上にある世帯は、一次エネルギー消費量より売電量が大きく、正味のエネルギー消費量が0以下であることを示している。正味のエネルギー消費量が0以下となる住宅の全期間合計は、晴天日の場合、Type1が59軒、Type2が40軒であり、対象期間の平均の場合、Type1が20軒、Type2が28軒である。晴天日と対象期間の平均は正味のエネルギー消費量が0以下となる世帯は減少している。全期間とも、雨天日や曇天日などの気象条件が異なっても、一次エネルギー消費量に大きな差はないため、対象期間の一次エネルギー消費量は晴天日と変わらない。しかし、雨天日や曇天日の売電量が小さくなることにより、対象期間の平均の売電量が晴天日より小さくなり、正味のエネルギー消費量が0以下となる世帯が減少する。

### 3.3 電力自給率と自家消費率の現状

図5にPV自家消費量、PEFC発電量、買電量の日変化と対象期間の電力自給率(消費電力量に対する自家発電量の割合)を示す。A邸の電力自給率は中間期が64%、夏期が48%、冬期が51%である。中間期は消費電力量が少なく、PEFC発電量が多いため電力自給率が高い。夏期は冬期よりPV自家消費量は大きい、PEFC発電量が小さいため電力自給率が冬期より大きい。一方、冬期において、PEFC発電量は大きい、PV自家消費量は小さい。Type1の電力自給率の平均は中間期が62%と最も高い。B邸の電力自給率は中間期が31%、夏期が34%、冬期が18%である。冬期は電力消費量が大きい、そのため電力自給率は低い。Type2の電力自給率の平均は冬期が23%と最も低い。平均値を比較すると、Type2よりType1の電力自給率が高い。PEFC発電量も電力自給率に寄与するためである。

図6にPV自家消費量、売電量の日変化と対象期間の自家消費率(PV発電量に対するPV自家消費量の割合)を示す。A邸の自家消費率は中間期が12%、夏期が21%、冬期が10%である。夏期は、冬期と中間期よりPEFC発電量が小さいため、昼間はより多くのPV自家消費量が発生する。そのため、夏期の自家消費率は中間期と冬期より高い。B邸の自家消費率は中間期が21%、夏期が34%、冬期が37%である。冬期は昼間の暖房など、日中の電力消費量が大きい、そのため、冬期の自家消費量は中間期や夏期より大きい。それぞれの平均は、Type1は夏期が35%で最大、Type2は冬期が39%で最大である。平均値を比較すると、Type1よりType2の自家消費率は高い。PEFC発電量がない分、PV自家消費量が増加するためである。

また、気象条件の違いを見ると、雨天日や曇天日のPV発電量は小さくなるが、PV自家消費量に大きな変化はないため、PV自家消費量が占める割合は大きくなる。図7に冬期における晴天日(2/16)と対象期間の電力自給率、自家消費率の関係を示す。対象期間の電力自給率が晴天日より低くなるのはType1が33軒、Type2が15軒である。雨天日や曇天日のPV発電量が小さく昼間に買電量が発生する影響が見られる。対象期間の自家消費率が晴天日より高くなるのはType1が43軒、Type2が18軒である。雨天日や曇天日のPV発電量は小さく、PV自家消費量は晴天日と大きく変わらない影響が見られる。

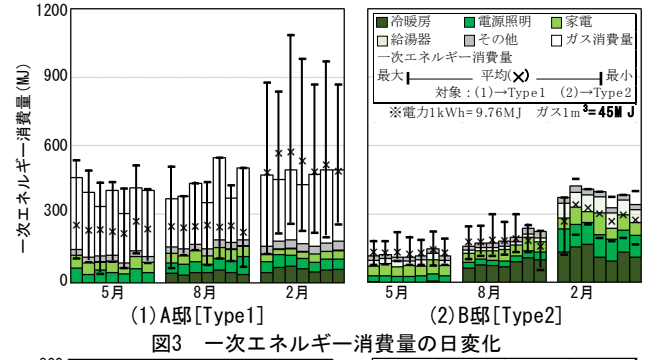


図3 一次エネルギー消費量の日変化

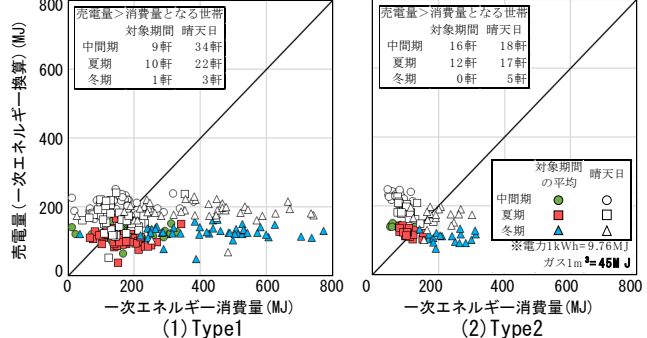


図4 一次エネルギー消費量と売電量

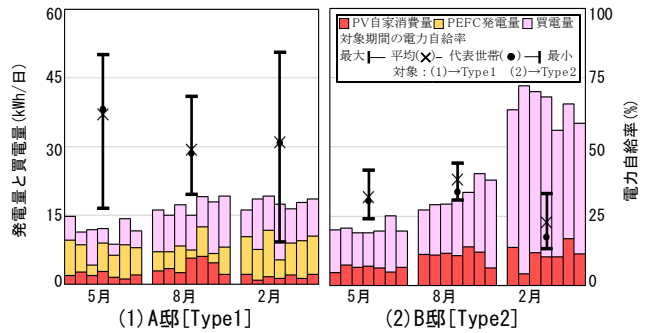


図5 発電量・買電量の日変化と対象期間の電力自給率

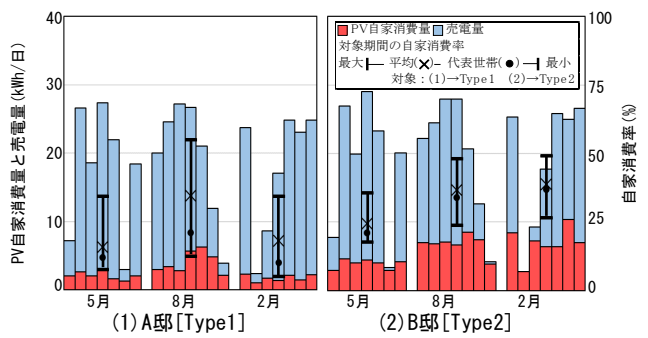


図6 PV自家消費量・売電量の日変化と対象期間の自家消費率

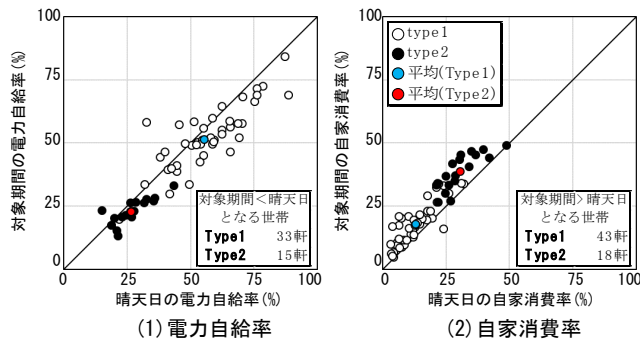


図7 晴天日と対象期間の電力自給率・自家消費率(冬期)

## 4. 蓄電池の運用

### 4.1. 蓄電池の概要と設定

表2に蓄電池の概要と設定条件を示す。対象住宅にある既存の蓄電池の仕様に基づき、最大入力電力16.5A、最大出力電力26.0A、定格入出力電圧86.4V、蓄電容量5,000Whとする。また、総合充放電効率は0.85(充電時95%×放電時95%×待機時95%)、放電深度はFujisawa サスティナブルスマートタウンでの運用時に想定されている60%とする(放電深度は、蓄電容量に対して充放電できる割合であり、今回の場合は充電可能量3,000Wh、放電可能量2550Whとなる)。

図8にCase0からCase4の蓄電池の充放電について、B邸(2/16)を例に示す。Case0は、常に満充電とし充放電を行わない現状である。Case1は、売電発生時刻から30分間の最大充電量712Wh/0.5hで充電を行い、買電発生時刻から30分間の最大放電量1,123Wh/0.5hで放電を行う。なお、Case1の最大充放電量は、(最大出力電力26.0A×定格出力電圧86.4V×30分)より算出される。Case2は、最大充放電量を小さくすることで、売電量と買電量のそれぞれの発生時刻から終了時刻まで均等に充放電を行う。なお、Case2の最大充放電量は、それぞれの期間において住宅Type別に設定する。図8(3)の場合は、最大充電量334Wh/0.5h、最大放電量92Wh/0.5hとする。Case3は売電量と買電量をそれぞれ平準化するように充放電を行う。

### 4.2. 蓄電池運用時の電力自給率と自家消費率

図9に冬期における蓄電池運用時の1日ごとのPV発電量と電力自給率、自家消費率の関係をA邸とB邸を例に示す。B邸の電力自給率とPV発電量の相関係数は0.61であり、PV発電量が小さくなると電力自給率も小さくなる傾向が見られ、中程度の正の相関がある。PV発電量が小さい雨天日や曇天日の現状の売電量は晴天日と比較して小さく、蓄電池運用時に満充電されない。そのため、放電量が小さくなり、買電量が大きくなる影響が見られる。一方、A邸の相関係数は0.32であり、PV発電量が小さくなると電力自給率も小さくなる傾向が見られるが、その変化量は小さく、B邸ほど明確な正の相関は見られない。Type1はPEFC発電量も電力消費率に寄与する影響が見られる。自家消費率はA邸B邸ともにPV発電量と負の相関がある。PV発電量が大きくなるにつれ、売電量が大きくなるが、電量蓄電池の容量は一定であることの影響が見られる。

図10に冬期における蓄電池運用時の晴天日(2/16)と対象期間の電力自給率、自家消費率の関係を示す。対象期間の電力自給率が晴天日より低くなるのはType1が36軒、Type2が17軒である。図9に示した、PV発電量の小さい雨天日や曇天日の電力自給率は晴天日より小さく、蓄電池が満充電されず、晴天日と比較して放電量が小さくなることから、対象期間の電力自給率を小さくする要因となっているとみられる。対象期間の自家消費率が晴天日より高くなるのはType1が42軒、Type2が17軒である。図9に示した、PV発電量の小さい雨天日や曇天日はPV発電量が小さく、売電量が小さいが、蓄電池の容量は一定であるため、自家消費率が大きくなる。そのため、対象期間の自家消費率は晴天日より大きくなる傾向が見られる。まとめとして蓄電池運用時の対象期間の電力自給率は晴天日より小さい。また、電力自給率の向上率は、晴天日と比較して小さい傾向が見られた。雨天日や曇天日はPV発電量が小さく売電量も小さいため、蓄電池が満充電されない場合がある。このとき、放電量は小さくなり、晴天日と比較して買電量が大きくなることに起因する。蓄電池運用時の対象期間の自家消費率は晴天日より大きい。また、自家消費率の向上率は、晴天日と比較して大きい傾向が見られた。雨天日や曇天日のPV発電量は小さいが、蓄電容量は一定であり、PV発電量に対するPV自家消費量の割合が晴天日より大きくなることに起因する。

表2 蓄電池の概要と設定条件

項目	仕様	項目	仕様
最大入力電力	16.5A	蓄電容量	5,000Wh
最大出力電力	26.0A	総合充放電効率	0.85
定格入出力電圧	DC86.4V	放電深度	60%
運転方法	運転概要		
Case0	常に満充電とし充放電を行わない(現在)		
Case1	売電発生時刻から最大充電量712Wh/0.5hで充電を行い、買電発生時刻から最大放電量1123Wh/0.5hで放電を行う(最大充放電量は最大入力電力と定格出力電圧から算出される)		
Case2	最大充放電量を小さくすることで売電量と買電量のそれぞれの発生時刻から終了時刻まで均等に充放電を行う(最大充放電量は期間別・住宅Type別に設定する)		
Case3	売電量と買電量を平準化するように充放電を行う		

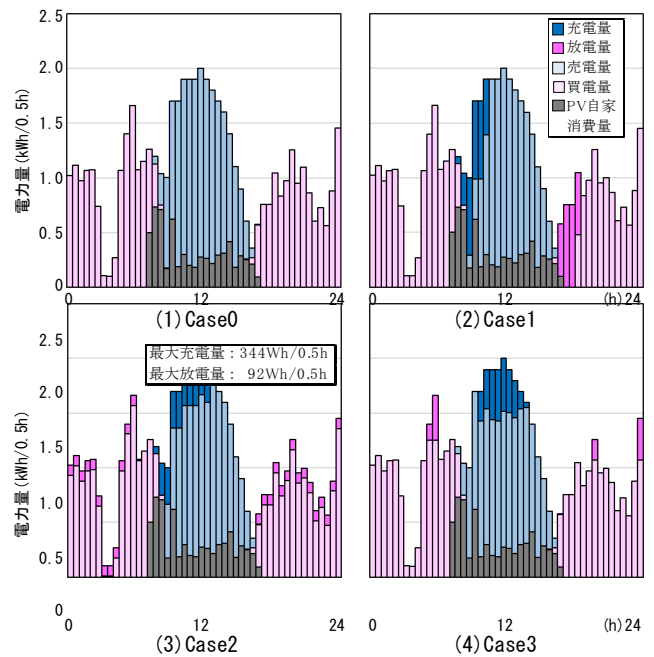


図8 蓄電池の運用方法(B邸 [type2]・2/16)

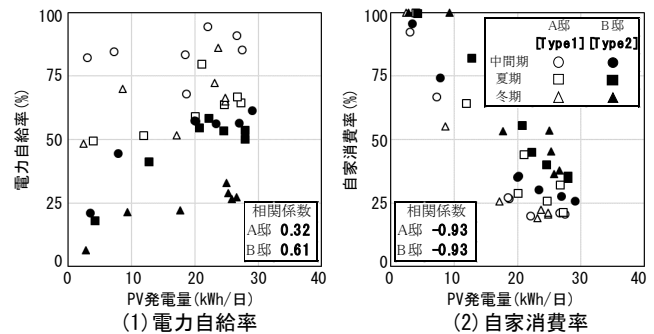


図9 PV発電量と電力自給率・自家消費率(冬期)

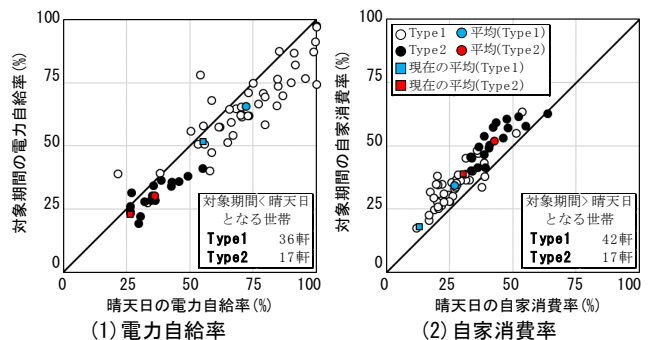


図10 蓄電池運用時の晴天日と対象期間の電力自給率・自家消費率(冬期)

図11に蓄電池運用時の電力自給率、自家消費率の増加量を示す。電力自給率が6-10%増となるのは、Type1において晴天日が3軒、対象期間が9軒、Type2において晴天日が11軒、対象期間が17軒である。自家消費率が16-20%増となるのは、Type1において晴天日が5軒、対象期間が29軒である。Type2は、全世帯11-15%増である。Type1とType2ともに、対象期間の増加量は晴天日より小さい世帯が多い傾向が見られる。晴天日は、売電量が大きく蓄電池が満充電(3,000Wh)されるため、その分、電力自給率が増加する。一方で、対象期間の場合、売電量が少なく蓄電池が満充電されない雨天日や曇り日を含むため、毎日満充電できる場合(3,000Wh×7日)よりも充電量は小さい。その差が、対象期間の増加量は晴天日より小さい世帯が多い傾向につながると考えられる。

#### 4.3 蓄電池運用時の売電量と買電量

図12にCase2における売電量と買電量の時間変化をB邸の冬期を例に示す。対象期間における売電量の最大値は、現状が2/18の1,826Wh/0.5h、蓄電池運用時が2/18の1,690Wh/0.5hとなり136Wh/0.5h減少する。対象期間における買電量の最大値は、現状が2/17の1,931Wh/0.5h、蓄電池運用時は2/14の1,892Wh/0.5hであり、39Wh/0.5h減少する。

図13に冬期における、Case0の売電量、買電量の最大値と各Caseの売電量、買電量の最大値の関係を示す。売電量の最大値について、Case1はType2の1軒でのみ15Wh/0.5hの減少が見られる。最大充電量は712Wh/0.5hであり、現状の売電量が最大となる時間より早く充電が終了するため、最大値に変化が見られない。Case2の減少量は、Type1が42軒で平均185Wh/0.5h、Type2が15軒で平均123Wh/0.5hであり、Type2はType1より小さい。最大充電量はType1が250Wh/0.5h、Type2が334Wh/0.5hであり、Type2はCase1と同様、現状の売電量が最大となる時間付近で充電が終了する影響が見られる。

買電量の最大値について、Case1においてType2は1軒でのみ7Wh/0.5hの減少が見られ、現状の買電量が最大となる時間より早く放電が終了する影響が見られる。一方、Type1は15軒で平均164Wh/0.5h減少する。夕方から夜間にかけてのPEFC発電により買電量が短時間に集中する影響が見られる。Case2において、Type2は10軒で平均80Wh/0.5h減少する。Type1は15軒で減少するが、減少量はCase1との変化が小さい。Type1の最大放電量は510Wh/0.5hであり、最大放電量以下の買電量が発生する時間における放電量は、Case1と変化がないことの影響が見られる。

#### 5. まとめ

1)晴天日と曇り日、雨天日を含む1週間を対象に電力消費の実態調査を行った。対象期間において、正味のエネルギー消費量がゼロ以下となる住宅は、全期間において晴天日より少ない結果となった。2)現状と蓄電池運用時の電力自給率、自家消費率について、いずれも雨天日や曇り日の影響により、対象期間の電力自給率は晴天日より低く、対象期間の自家消費率は晴天日より高くなることを明らかにした。3)蓄電池運用時の売電量、買電量について、Type2の場合、Case1は多くの世帯で最大値の変化がないこと、最大充電量344Wh/0.5h、最大買電量92Wh/0.5hとするCase2は、売電量が最大123Wh/0.5h、買電量が最大92Wh/0.5h減少することを明らかにした。

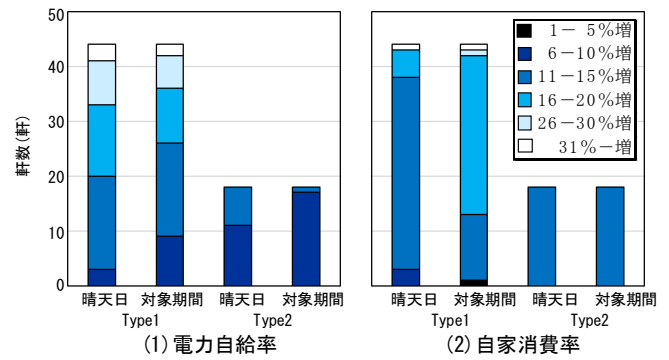


図11 蓄電池運用時の電力自給率・自家消費率増加量

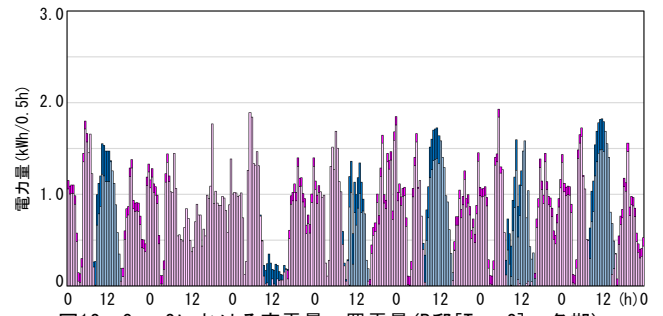
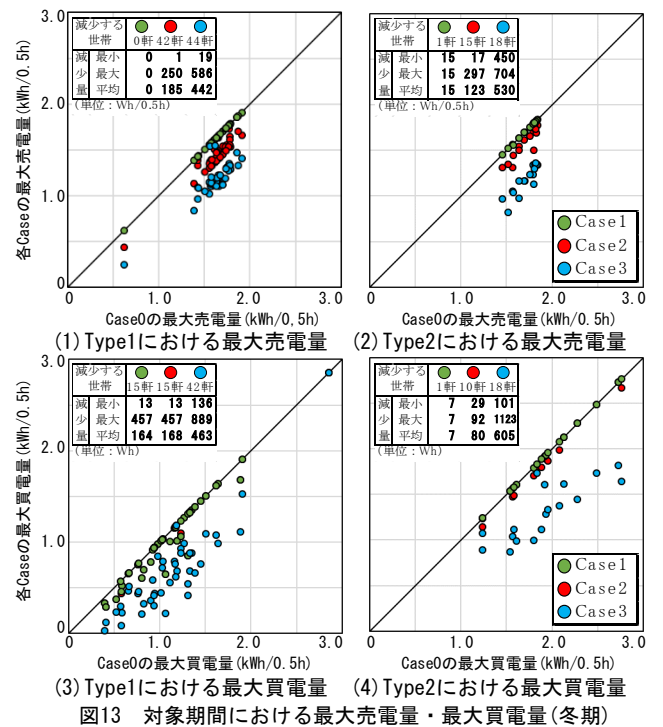


図12 Case2における売電量・買電量(B邸[Type2]・冬期)



参考文献 1) 市村、湯浅：第1報Fujisawaサスティナブルスマートタウン居住者の省エネルギー意識スマートタウンにおける住宅のエネルギー消費に関する研究、日本建築大会学術講演論文集、2020年  
2) 吉野ら：住宅内のエネルギー消費量予測モデルの構築、日本建築学会技術報告集、2015年12月  
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 マニュアル、2000年  
4) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構：SMASH for Windows Ver. 2 マニュアル、2000年  
5) NHK放送文化研究所：国民生活時間調査 2020年度版  
6) 藤井、佐藤、湯浅：住宅におけるエネルギーの自立性、日本環境管理学会大会学術講演概集、2016年  
7) 下田ら：新規住宅街区におけるスマートコミュニティ開発に関する研究 - エネルギーシミュレーションによるエネルギー性能評価 - 日本都市計画学会都市計画論文集Vol. 54 No. 3 2019年10月

謝辞 本研究に関してアンケート調査のご協力を賜り、各種データのご提供をいただきましたFujisawaサスティナブルスマートタウンにお住いの皆様およびマネジメント株式会社の皆様に感謝の意を表します。