

# 蓄電池の外部制御等による家庭部門での DR 実証

## Demonstration of DR in the Residential by External Control of Storage Batteries, etc.

八木橋 威夫\*・小林 和幸\*\*・塚本 剛\*\*\*・大前 晴信\*\*\*

Takeo Yagihashi

Kazuyuki Kobayashi

Go Tsukamoto

Harunobu Ohmae

(原稿受付日 2023 年 6 月 16 日, 受理日 2023 年 12 月 4 日)

### Abstract

As a measure to make renewable energy the main source of electricity for carbon neutrality and to reduce the risk of a balance of expenditure when fuel costs rise, it is necessary to have a mechanism to adjust demand in the residential sector, which accounts for about one-third of all electricity demand. TEPCO and ITOCHU conducted a large-scale verification experiment to confirm the ability of DR commands to control equipment and adjust demand by requesting approximately 300 households to conserve electricity and by controlling equipment through external control of storage batteries. The DR effect was 0.02 kWh per 30-minute period per house in both summer and winter for the behavior-changing DR, and 0.10 kWh in summer and 0.22 kWh in winter for the equipment control type DR. This indicates that DR using storage batteries has a greater effect on demand reduction than DR using the behavior change type, and that it can be done reliably. In the future, we will study and demonstrate the operation method of storage battery control to improve the balance of payments through DR.

**Key words** : Demand Response, equipment-controlled DR, storage batteries, behavior-changing DR, Residential sector

## 1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル化に向けた再生可能エネルギーの主力電源化に対して電力需給バランスを一致させる「調整力」が重要課題となっている。そのため電力需要全体の約 1/3 を占める家庭用分野において、家庭用蓄電池・EV・エコキュートなどを使った DR の構築が検討されている。一方、機器制御における大規模での実証例は多くなく機器制御精度の検証が必要なこと、太陽光発電（以下、PV という）と蓄電池保有世帯における系統からの買電量に対する DR 効果の算定方法が定まっていないことに課題がある。そのため、東京電力と伊藤忠商事は約 300 世帯に対し節電を促す行動変容型 DR と蓄電池を使った機器制御型 DR の実証を 2022 年度の夏期と冬期に行った。本報告では実証から得た電力需要の算定手法とその削減効果、DR 制御方法において出てきた課題について報告する。

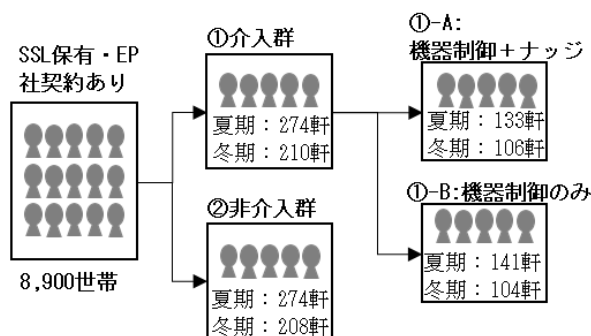
## 2. DR 実証の概要について

### 2.1 モニターの選定と分類

伊藤忠商事の蓄電池（SSL という）を保有かつ東京電力エナジーパートナー社と契約のある世帯 約 9,000 軒から実証参加へのモニターを募集した結果を図 1 に示す。モニターの募集は夏期と冬期それぞれで募集を実施した。

DR 実証参加者を介入群と位置づけし、その中で蓄電池による機器制御と節電依頼による行動変容（ナッジ）を両方

実施するものを A グループ、機器制御のみを実施するものを B グループとした。



\*冬期は非介入群でデータ欠損があった2軒を除外

図 1 実証モニターの分類

表 1 宅内消費電力による有意差検定

区分		n	平均	標準偏差	P 値
夏期	介入群	274	18.60	6.76	
	A	133	18.13	6.60	
	B	141	19.05	6.91	0.259 *1
	非介入群	274	18.33	6.30	0.625 *2
冬期	介入群	210	18.24	6.44	
	A	106	17.96	6.84	
	B	104	18.51	6.03	0.538 *1
	非介入群	208	18.34	6.49	0.873 *2

P 値は母平均の差の検定で算出（t 分布、両側検定、有意水準 0.05）

\*1 対立仮説：A≠B

\*2 対立仮説：介入群≠非介入群の値

対立仮説 夏期介入群≠冬期介入群の P 値 0.548

対立仮説 夏期非介入群≠冬期非介入群の P 値 0.988

Corresponding author; Takeo Yagihashi, E-mail: yagihashi.t@tepcoco.jp

\*東京電力ホールディングス(株)経営技術戦略研究所

〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1

\*\*東京電力エナジーパートナー(株)お客さま営業部

〒104-0061 東京都中央区銀座 8-13-1 銀座三井ビルディング

\*\*\*\*伊藤忠商事(株)エネルギー・化学品カンパニー

〒107-8077 東京都港区北青山 2-5-1

第 42 回エネルギー・資源学会研究発表会の内容をもとに作成されたもの

グループ分類においては、宅内消費電力量（4-8月の平均日次使用量）に統計的な有意差がでないように分類した。表1にその統計値と有意差検定結果を示す。

非介入群は検証用と位置づけし、DRを実施しない世帯から介入群と統計的な有意差がでないように同数を選定している。なお夏期と冬期のモニター間でも介入群・非介入群ともに統計的な有意差がないこと確認しDR実証を行った。また、各種属性情報などでも統計的な有意差がないことを確認した。表2に世帯人数構成比で確認したものを示す。

表2 世帯人数の構成比と有意差検定

グループ		世帯人数構成比 (%)				P 値
		単身	2人	3~4人	5人~	
夏期	A	4	18	55	23	0.98
	B	3	18	55	24	
冬期	A	2	21	59	19	0.10
	B	8	16	50	26	

\*有意差検定は、独立性に関する検定で実施（有意水準 5%）

## 2.2 DR実施日とDR効果のイメージ

東京電力パワーグリッド社が提供するでんき予報<sup>1)</sup>「翌週の需給見通し」から当該の週で電気使用率が高い日を平日から2日間、電気の市場価格（以下、JEPX 価格）が高い時間帯を選定した。機器制御と行動変容を行った日時を表3に示す。夏期は4日間（30分コマ数で24コマ）の同じ日時に機器制御と行動変容を実施し、冬期は2日間（同19コマ）で実施した中、行動変容は上記期間のうち3コマのみで実施した。

表3 DR実施日時

<機器制御実施>

	DR実施日	開始	終了	30分コマ数
夏期	8/24(水)	17:30	21:00	7
	8/25(木)	17:30	19:30	4
	9/01(木)	17:30	21:00	7
	9/02(金)	17:30	20:30	6
冬期	1/11(水)	17:00	22:00	10
	1/12(木)	17:30	22:00	9

<行動変容（節電依頼）実施>

	DR実施日	開始	終了	30分コマ数
夏期	8/24(水)	17:30	21:00	7
	8/25(木)	17:30	19:30	4
	9/01(木)	17:30	21:00	7
	9/02(金)	17:30	20:30	6
冬期	1/11(水)	17:00	18:00	2
	1/12(木)	17:30	18:00	1

次に本実証におけるDR効果のイメージを図2に示す。DR時間帯に節電依頼や機器制御を行うことで需要削減を図る（下げDR）。DRを行っていない通常の電力使用時（以下、ベースラインという）からDR実施時の実績を差し引いたものがDR実施効果となる。

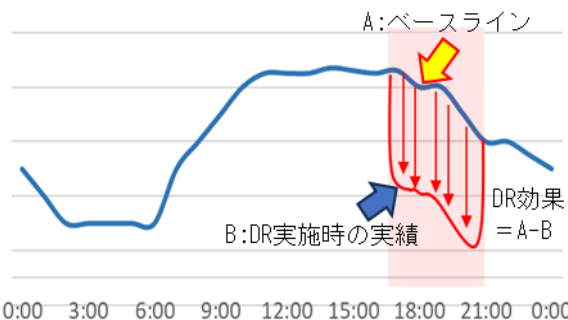


図2 機器制御型DRのイメージ

## 2.3 行動変容型DRについて

DR実施日の前日17時ごろにメールを送信し、指定時間帯にエアコンなどの家電製品の使用を無理のない範囲で控えていただくよう依頼した。謝礼については事後アンケートに協力いただくことを条件にポイントを付与する（夏期は300円分、冬期は1,000円分）こととしたが、冬のみ節電目標達成の場合はボーナスポイントとして100円分を追加付与することとした。なお、メール文例を図3に示す。

機器制御+行動変容

機器制御のみ

●月●日(●)  
●:00~●:00

●月●日(●)  
●:00~●:00

上記の時間帯は電気の利用率が高くなることが予想されるため、無理のない節電のご協力をお願いします。あわせて、上記の時間帯で蓄電池の放電を遠隔で行いますのでご理解のほどよろしくお願いします。

上記の時間帯は電気の利用率が高くなることが予想されるため、蓄電池の放電を遠隔で行いますのでご理解のほどよろしくお願いします。

図3 モニターへの配信メール（イメージ）

## 2.4 機器制御型DRについて

モニター宅が保有している蓄電池は、AIが気象予報や電気使用状況からPV発電量と宅内消費電力量を予測したうえで、系統からの夜間充電量や蓄電池充放電量を自動制御、経済メリットを最大化する機能を有している（卒FIT世帯のみ。FIT世帯はAI制御を行わずPV余剰は売電優先で稼働）。なお経済メリットについては、八木橋他2名<sup>2)</sup>が当該機器を使った実測評価を行っておりシミュレーションより経済メリットを創出していることを報告している。

本実証では蓄電池制御確認やDRポテンシャルの算定を目的としていることなどから介入群ではAI制御をDR実施日のみ行っていない。FIT・卒FIT世帯ともDR時間帯の指令を通信で蓄電池側に送付した後は一律に前日23時以降の夜間時間帯に満充電を行いDR時間帯のみ宅内負荷にあわせて放電するよう指令した（DR指定時間帯以外の放電やPV余剰電

力による充電は行わない)。また、蓄電池の制御方法は介入群の A と B グループともに同一で行っている。一方、非介入群については通常の稼働としている。

### 3. データ採録ならびに欠損値処理等について

計測地点や計測箇所等について表 4 に示す。計測は受電点計測ではなく、蓄電池側で採録している個別計測値（1 分サンプリング）を使用した。時刻は世帯により秒単位での時刻ズレが発生しているため、時刻は分単位で決定した。欠損値処理については、欠損時刻の前後 1 分値があった場合のみ前後の 1 分値の平均で補完することにした。30 分値への変換については、0～29 分は[0 分], 30～59 分は[30 分]として集計（平均）した。なお、分数が 20 未満の場合は「欠測」としている。kWh（電気使用量）の算出は、kW（電力）を 2 で除することにより算出した。

表 4 計測地点、計測箇所

計測地点	個別計測	
計測間隔	1 分サンプリング（CT 式）	
計測箇所	買電電力	充電電力
	売電電力	放電電力
	太陽光発電電力	

## 4. 行動変容型 DR の効果について

### 4.1 行動変容型 DR の算定方法について

節電依頼による行動変容型 DR の効果については宅内消費電力量で確認を行う。ベースラインは表 5 に示すとおり資源エネルギー庁が指針として出しているガイドライン<sup>3)</sup>（以下、ERAB という）でその種類と設定方法が示されているが、PV 保有世帯等の算定を対象としていない機器制御型 DR と平仄をあわせるため介入群のグループ B をベースラインとして比較検証を行うものとした。

表 5 ERAB における主なベースラインとその概要

種類	概要
High 4 of 5 当日調整あり	直近 5 日のうち、需要の多い 4 日の平均 ※DR 実施時間の 5 時間前～2 時間前 の需要実績と上記 4 日算出値の差分で 調整する
High 4 of 5 当日調整なし	直近 5 日のうち、需要の多い 4 日の平均
同等日採用法	過去 30 日間のうち、発動日との差がも っとも小さい 3 日間の平均

### 4.2 行動変容型 DR の効果～非介入群比較による算出

DR 実施期間における 1 軒・30 分コマ単位での平均値を比較したものを図 4 に示す。節電依頼を行った A グループは夏期、冬期ともに B グループより宅内消費電力量が減少した。DR 効果は、夏期・冬期ともに 0.02kWh/世帯・30 分の効果

となった。

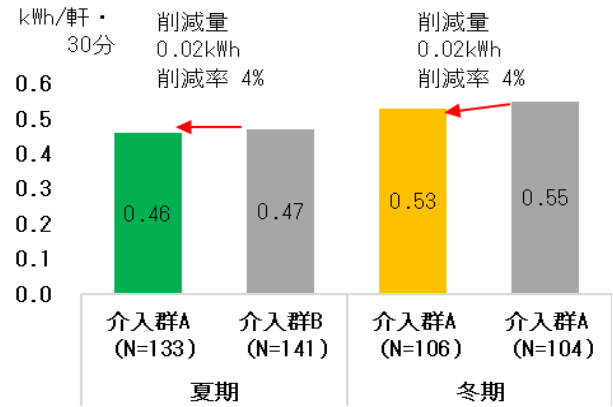


図 4 介入群の A・B グループでの比較による効果算定

### 4.3 行動変容型 DR の効果～ERAB による算出

行動変容型 DR を実施していないグループを使った算出結果との比較・検証として ERAB で示されているベースライン算定方法で介入群・A グループの効果を算出した。

複数ある算定方法を選択するため ERAB ガイドラインの参考 2 で示しているベースラインテスト（精度検証）を各手法で実施した。DR 実施日を除く直近の 60 日以上分のデータを使用した 30 分コマ単位での相対平均二乗誤差（RRMSE）の結果を表 6 に示す。各世帯の使用量を合計した集計値から算出したものをグループ値、世帯別に算出したものを積上げたものを個別積算値とする。この結果、グループ値の「同等日採用法」がもっとも精度が高く誤差率（RRMSE）は夏期で 7.8%、冬期は 13.7%であった。

誤差率をもっとも少なかったグループ値の同等日採用法による DR 効果算出結果を図 5 に示す。夏期の DR 効果は見ら

表 6 ベースラインテスト結果

		High4of5		同等日 採用法
		当日調整あり	当日調整なし	
夏 期	グループ値	11.9%	20.5%	7.8%
	個別積算値	14.7%	23.4%	10.3%
冬 期	グループ値	15.7%	19.3%	13.7%
	個別積算値	23.2%	24.4%	17.3%

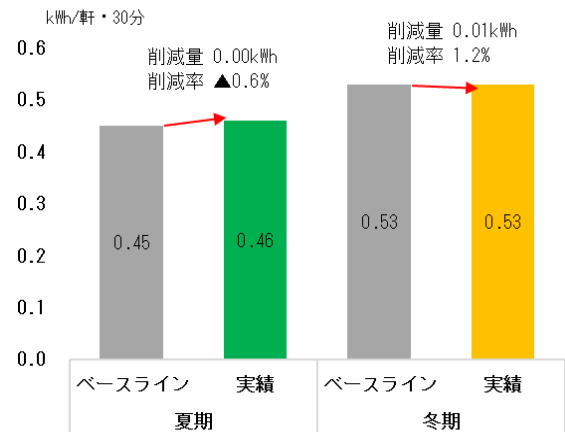


図 5 ERAB による効果算定（同等日採用法）

れず、冬期は1軒・30分コマ単位で0.01kWhの削減効果となる結果であった。なお、ERABで標準ベースラインとして定めているHigh4of5(当日調整あり)のグループ値による算出値は、夏期0.02kWh、冬期▲0.03kWhであった。

4.4 行動変容型 DR の成功率～ERAB による結果

DR 成功率を表 7 にて示す。ERAB のベースライン算定手法で個々世帯を算出した効果が DR 期間合計値で 0 を上回った世帯数を母数で割ったものを成功率と本実証では定義し算出した。High4of5 の成功率は同等日採用法を上回っているが、これは前者が DR 実施日前の宅内消費電力量が多い 4 日分のベースとしているため効果が出やすいことによる。

表 7 行動変容型 DR の成功率

	High4of5		同等日採用法
	当日調整あり	当日調整なし	
夏期	70.1%	81.0%	65.0%
冬期	61.0%	68.1%	53.8%

5. 機器制御型 DR について

5.1 DR 実施前後の電力の状況

宅内消費電力に対する系統からの買電と蓄電池からの放電状況内訳を図 6 に示す。介入群と非介入群(N はともに 274 世帯)の宅内消費電力量は同等である中、DR 実施時間帯において介入群の放電量に顕著な差がでていることが確認できる。

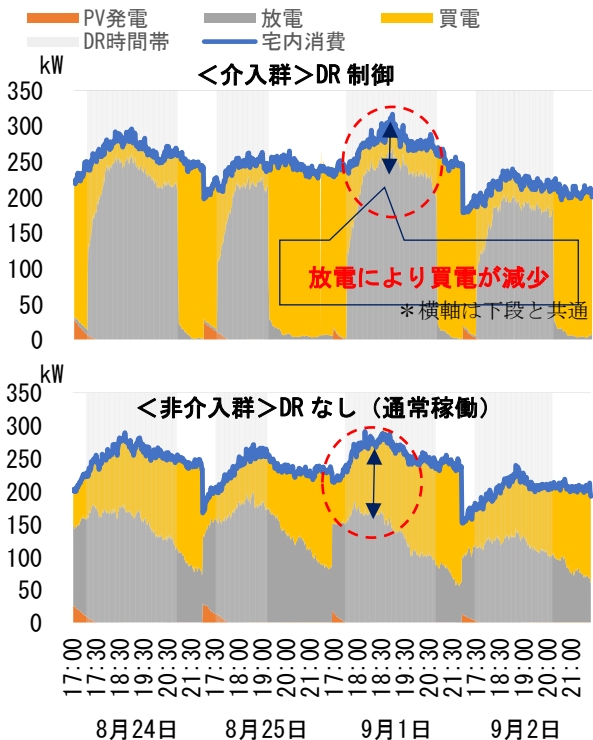


図 6 夏期の DR 実施時宅内消費電力 (kW) 内訳

5.2 大規模での機器制御時における課題とカイゼン

外部から大量の機器制御を実施する際の応答精度について確認するため、蓄電池からの放電状況を示したものを図 7

にて示す。夏期は蓄電池からの放電が指令した時刻より遅れて開始されており、宅内負荷に合わせた放電最大可能値に到達するまで約 1 時間かかっている。蓄電池には SIM カードが内蔵されておりインターネット経由でデータの授受を行っているが、モニター宅で機器設定を変更してしまったことなどによる時刻ズレが発生、また DR 指令を同時一斉に実施したため中継サーバーが過負荷になってしまい指令が遅延してしまったということが判明した。冬期についてはリモートによる事前の時刻修正を実施するとともに、中継サーバーに対する DR 指令発信時間の分散化などの対策を行った結果、DR 開始した 2 分後には放電最大値に到達、適切な機器の応答、カイゼン効果を確認することが出来た。

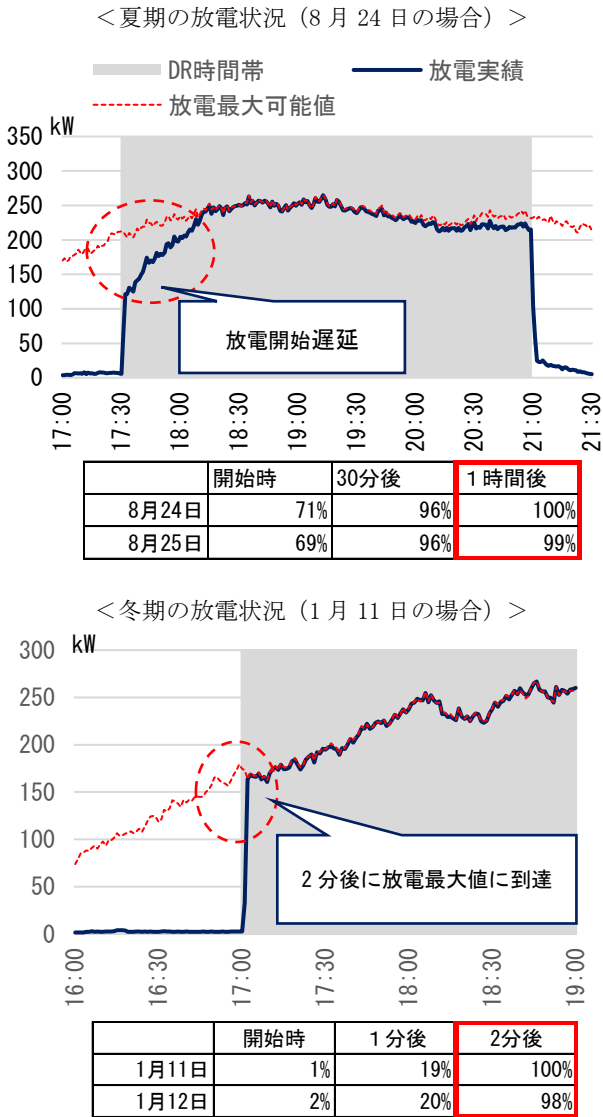


図 7 DR 開始時の放電状況 (1 分値・kW)

5.3 機器制御型 DR の効果～非介入群比較による算出

機器制御型 DR の効果について系統からの買電電力量を非介入群と比較・算出した結果を図 8 に示す。非介入群の宅内消費電力量に対する買電比率を介入群の宅内消費電力量に乗じて算出した買電量を基準値 (DR なかりせば時のベースライン) とした。算出した基準値から介入群の買電実績を差

し引いたものを機器制御型 DR の効果とした。この手法による DR 効果は、1 軒・30 分コマ単位で夏期は 0.10kWh、冬期は 0.22kWh となった。

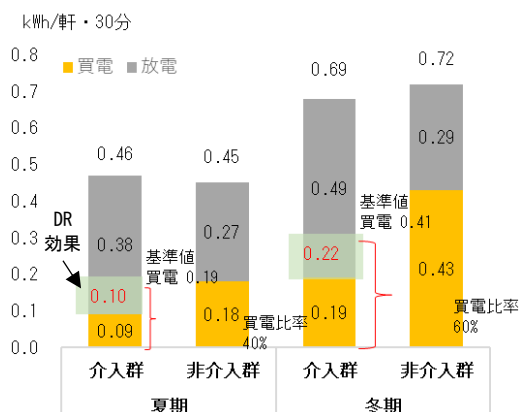


図 8 非介入群との比較（軒・30 分コマ単位の kWh）

#### 5.4 機器制御型 DR の効果～ERAB による算出

買電電力量に対する ERAB によるベースラインテストの結果を表 8 に示す。同等日採用法では買電量が同等である日と宅内消費電力量が同等である日の買電量の 2 つのパターンで算出した。前述(表 6)の宅内消費電力量に対する結果と異なり PV 自家消費や蓄電池からの放電による影響で精度は大幅に悪化し、いずれの算定手法結果でもガイドラインが示している許容基準の 20%を超えている。このことから PV と蓄電池の保有世帯では、30 分コマ単位など短期間での DR 効果算出は ERAB では算定が困難であると思われる。

表 8 ベースラインテスト結果

		High4of5		同等日採用法	
		当日調整あり	当日調整なし	買電量が同等	宅内負荷が同等
夏期	グループ値	91.8%	88.7%	59.8%	85.1%
	個別積算値	136.5%	110.3%	63.6%	76.4%
冬期	グループ値	138.4%	130.1%	74.0%	91.7%
	個別積算値	168.0%	149.6%	82.8%	94.4%

DR 実施時間帯のモニター世帯の買電量と算出したベースラインの期間合計を軒・30 分コマ単位に換算した同等日採用法（グループ値・買電量が同等）のベースラインと実績の比較を図 9 に示す。DR を実施していない非介入群で算定したベースラインと実績の差はほとんどなく、誤差率は夏期で 3.1%、冬期で 5.7%であった。このことから、複数日全体で見れば ERAB による算出方法でも大きな誤差はなく許容基準内になることが確認できた。介入群での DR 効果は軒・30 分コマ単位で 夏期は 0.09kWh、冬期は 0.26kWh となった。なお図にある（ ）内の数値は非介入群での誤差率で補正した結果となっている。この結果、非介入群との比較による算出方法とほぼ同程度の値となった。なお、ERAB で標準ベースラインとして定めている High4of5(当日調整あり)のグループ値による算出値は、夏期 0.16kWh、冬期 0.24kWh であった。

PV と蓄電池保有世帯の買電電力量の DR 効果を算定するには 30 分コマや 1 日数コマ単位での効果把握は困難なことから、世帯をグループ化することに加え複数日（30 分コマ数）を合計して算定することで全体誤差を低減することができるメリットがあると考えられる。一方、複数日でまとめた場合は需要家へのポイント還元などを行う場合には即日行うことが困難になるというデメリットが発生する。

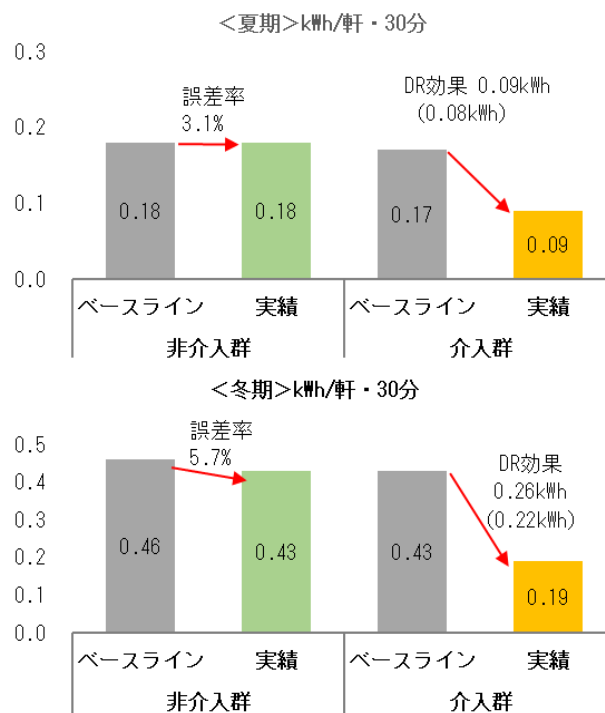


図 9 ERAB に基づく算出結果（同等日採用法）

#### 5.5 機器制御型 DR の成功率～ERAB による結果

DR 成功率を表 9 にて示す。成功率は 90%程度と行動変容型に比べて高くなっていることがわかる。DR 時間帯の放電は 100%行われているが、過去実績と比較した場合は宅内負荷による違いや昼間の放電量影響を受けるため成功率が下がったものと思われる。

表 9 機器制御型 DR の成功率

	High4of5		同等日採用法	
	当日調整あり	当日調整なし	買電量が同等	宅内負荷が同等
夏期	95.6%	89.8%	91.6%	78.5%
冬期	87.1%	87.1%	87.6%	84.8%

#### 5.6 FIT 世帯と卒 FIT 世帯別の DR 効果について

本実証での機器制御型 DR 効果の算定手法は非介入群の買電比率が基準作成に影響する。そこで PV 発電の余剰分は充電を優先とする FIT 世帯と PV 発電の自家消費を優先とする卒 FIT 世帯における DR 効果の違いについて確認した。

図 10 にて非介入群における DR 実施時の買電や充放電などの 1 日分の状況を例として示す。FIT 世帯は系統からの買電で充電し、特に冬期は PV 発電が多くない早朝や 17 時前の時間帯で放電が見られる。一方、卒 FIT 世帯は AI 制御により夜



間の蓄電量を抑制し PV 余剰で蓄電していることがわかる。

図 11 にて FIT と卒 FIT 別の DR 効果を示す。夏期は非介入群の買電比率が FIT・卒 FIT 世帯ともに 40%とほぼ同程度となったことから軒・30 分コマ単位での DR 効果は FIT 世帯が 0.09kWh, 卒 FIT 世帯が 0.11kWh となった。一方、冬期は非介入群の買電比率が FIT 世帯で 66%, 卒 FIT 世帯で 51%と 15 ポイントの差異が発生した。このことから、DR 効果は FIT 世帯が同 0.27kWh, 卒 FIT 世帯が 0.15kWh と FIT 世帯は卒 FIT 世帯の 2 倍弱の効果が見られた。また表 10 にて DR 実施時間帯の非介入群における日別の買電比率を示す。夏期は FIT 世帯に比べて卒 FIT 世帯のバラつきがでており FIT と卒 FIT の買電率の差分は一定しない。一方で冬期は FIT・卒 FIT 世帯ともにほぼ一定となっている。

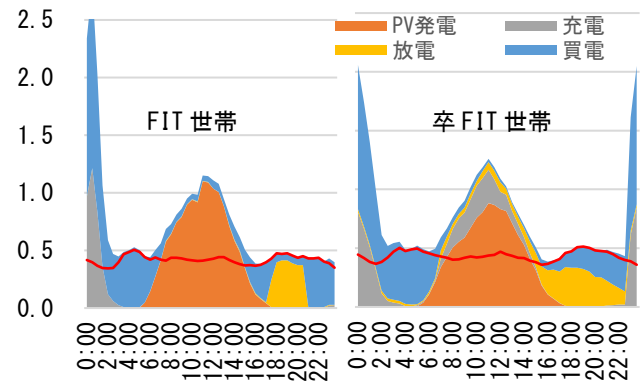
### 5.7 DR 時間帯の買電比率について

DR 時間帯の買電比率について DR 実施日の数値が特異なものではないか DR 実施日以外の期間で確認した。夏期（7/1～9/30）、冬期（12/1～2/21）の非介入群データから PV 発電時間帯（6-17 時とする）の放電量と DR 時間帯（17:30-21:00 とする）の買電比率を散布図で確認したものを図 12 で示す。FIT・卒 FIT 世帯別の買電比率（中央値）は、夏期はほぼ同じで冬期は FIT 世帯の買電比率が卒 FIT 世帯に比べて高くなっており DR 実施時と同様となっていることから、DR 実施日の効果算定に使用した買電率は妥当性があることが確認できた。FIT・卒 FIT 世帯の買電比率の違いについては、卒 FIT 世帯は電気契約メニューの時間帯別単価格差を踏まえて需要家の経済メリットが最大になるよう蓄電池の充放電量を制御していることによるが、2023 年 6 月から実施の電力会社の料金改定で夜間とその他時間帯等での料金格差が薄まったことにより今後どのような充放電制御が行われるか注視する必要がある。また夜間からの充電を行わず PV 余剰電力量を主体に蓄電した場合の DR 効果についても検討していく必要がある。

## 6. まとめ

本実証での DR による需要削減効果は、行動変容型 DR は夏期・冬期ともに 0.02kWh/軒・30 分コマ、機器制御型 DR は夏期が同 0.10kWh, 冬期が同 0.22kWh 程度となった。DR 成功率も機器制御型 DR の方が高くなった。このことから本実証による条件下では蓄電池を使った機器制御型 DR は行動変容型に比べて効果が大きく、確実に系統からの買電量を削減できることがわかった。また、PV と蓄電池保有世帯に対する機器制御型の算定方法は、非介入群を基準とした場合と ERAB による算定結果は複数日でまとめれば同程度になることが確認できたことから、需要家にポイントなどを即日還元することは困難であるが、世帯のグループ化と DR を実施した複数日の集計値で算定することで誤差率を低減することがで

<夏期（8 月 24 日）>縦軸共通（kWh/軒・30 分）



<冬期（1 月 11 日）>縦軸共通（kWh/軒・30 分）

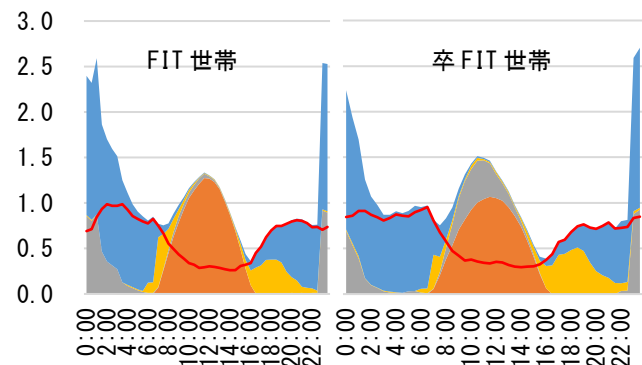


図 10 DR 実施日の買電や放電の状況（非介入群）

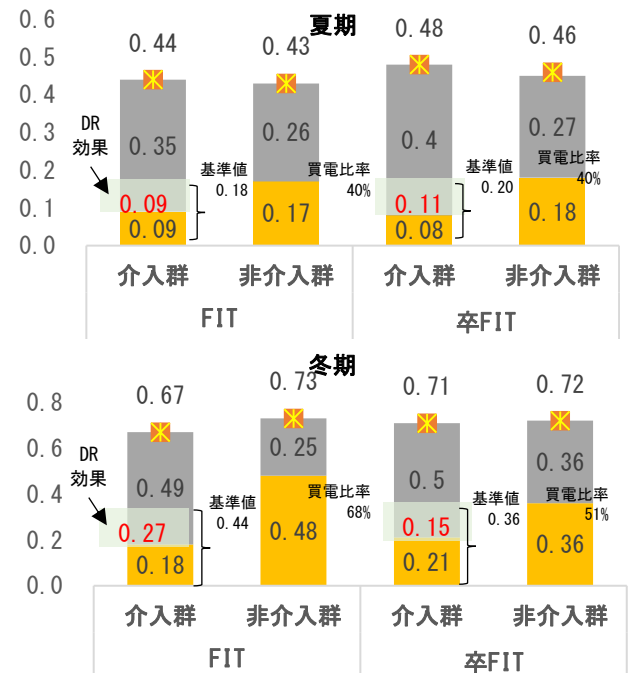


図 11 FIT 世帯と卒 FIT 世帯での DR 効果

表 10 DR 時間帯の日別買電比率（非介入群）

		8/24	8/25	9/1	9/2	期間
夏期	FIT	43.0%	30.0%	41.0%	43.0%	40.0%
	卒 FIT	37.0%	26.0%	51.0%	39.0%	40.0%
		1/11	1/12	期間		
冬期	FIT	66.0%	65.0%	66.0%		
	卒 FIT	51.0%	50.0%	51.0%		

きると考える。

今後は需要家と電力小売り事業者の経済メリットの最適バランス、CO<sub>2</sub> 排出削減の観点などからシミュレーションと実証による効果確認を行っていくことを予定している。

参考文献

- 1) 東京電力パワーグリッド社；でんき予報,  
<https://www.tepco.co.jp/forecast/>（最新アクセス日  
2023.11.17）
- 2) 八木橋威夫, 小林和幸, 森麻衣子；AI による家庭用蓄電池  
の充放電制御に対する実測評価，日本建築学会大  
会, 40919（2022）
- 3) 資源エネルギー庁, エネルギー・リソース・アグリゲーシ  
ョン・ビジネスに関するガイドライン令和 2 年 6 月 1 日改  
訂版

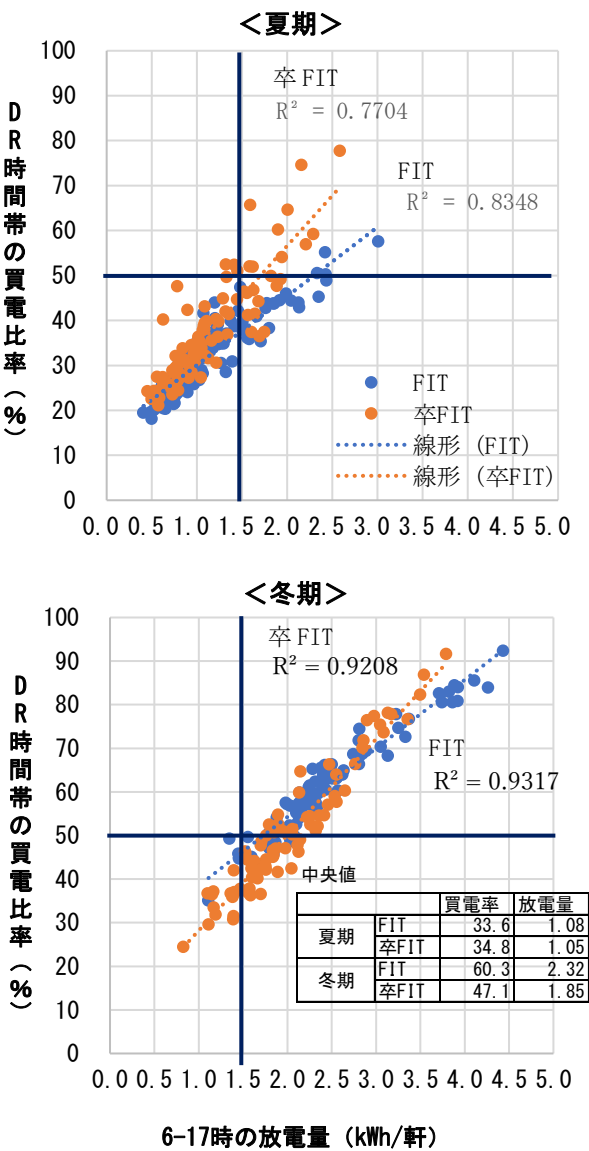


図 12 DR 実施日の 6-17 時放電量と DR 時の買電比率