

VPP（バーチャルパワープラント） 構築実証事業への参画

Participation in Building Demonstration Project of Virtual Power Plant

北方 伸明* 横山 昌央* 松島 均*
内堀 富勝* 遠藤 浩輝*

Nobuaki Kitagata Masao Yokoyama Hitoshi Matsushima
Tomikatsu Uchihori Hiroki Endo

Abstract

Demonstration Project of Kansai Virtual Power Plant has been performed since 2016. Large storage battery server aggregates many resources by OpenADR. One of the resources is large storage battery of GS Yuasa. Large storage battery server receives base line from resources, and sends demand response command to them in response to power situation. In GS Yuasa, network card sends base line to large storage battery server, and receives demand response command from it. Network card sends charge and discharge command value to power conditioner in order to power control.

Key words: OpenADR, Demand response, Base line, Network card

1 まえがき

2011年の東日本大震災の福島第一原子力発電所停止による電力不足を契機に電力状況に応じて節電をおこなうデマンドレスポンス（Demand Response, 以下DR）への取り組みが活性化してきた。従来のDRは電力会社から利用量調整を通知された組織が、施設内の電力を手動で調整する手法であった。この手法は電力需要のピークが来る1日前には通知をおこなう必要があり、需要抑制量が事前に正確に見積もれず、施設や機器者の負担も重くなるという課題があった。

そのため、自動デマンドレスポンス（Automated Demand Response, 以下ADR）実現に向けた取り組みがおこなわれ、OpenADRというADRをおこなうための通信プロトコルが規格化された。さらに、DRの普及とOpenADR規格化により、バーチャルパワープラント（Virtual Power Plant, 以下VPP）という構想が誕生した¹。VPPは仮想発電所とも呼ばれ、点在する小規模な再生可能エネルギー発電や蓄電池、燃料電池などの設備と、電力の需要を管理するネットワーク・システムをあたかも1つの発電所のようにまとめて機能させることである。

2016年4月から、抜本的な排出削減が見込める革新的技術を特定した「エネルギー・環境イノベーション戦略」、エネルギーミックスの実現に向けた「エネ

* 産業電池電源事業部 電源システム生産本部
開発部

ルギー革新戦略」を取りまとめ、2016年5月にCOP21パリ協定に対応した地球温暖化対策計画を閣議決定した²。エネルギー革新戦略は、強い経済の実現とCO₂排出の抑制を同時に達成することを目指している。エネルギー革新戦略の1つに「新たなエネルギーシステムの構築」がある。新たなエネルギーシステムの構築の1つとして、VPP技術の実証を進め、事業化を支援することが挙げられている¹。

2016年度より、関西電力(株)主導の下、関西VPP実証事業がおこなわれている。当社は、VPPに必要なパワーコンディショナ、大型蓄電池、ネットワークカード(OpenADR通信機能を実装)をすべて自社で内製できる強みがあり、この強みを活かして本実証事業に参画している。参画することは、ネットワークカードのソフトウェア開発を通じてのネットワーク遠隔監視制御技術向上、蓄電池とIT技術を連動させる新たなエネルギーマネジメントの構築などにつながり、非常に意義がある。本レポートは参画結果を報告することを目的としている。

2 関西VPP実証事業の概要

本事業は、工場や家庭などが有するエネルギーリソースを制御することにより、小売電気事業者など調整力を調達したい事業者に対して、電源I-b相当制御、インバランス回避、需要創出DR制御などを念頭においてサービスを提供するVPP事業の事業化を目指すものである。そのため、VPP事業のメインとなる機能確立部分を「主プロジェクト」、メーカなどが中心となって実証を進める「関連プロジェクト」の二つに区分している。関西VPPのシステム全体構成をFig.1に示す。関西電力(株)の統合サーバが各サーバ(アグリゲータ)を介して、各サーバが管理しているリソースを制御する流れを示している。2017年度は、主プロジェクトにおいては、統合サーバと系統運用者との連携や各リソースに調整量を配分するロジックの検討、各メーカサーバとリソース間のOpenADR通信確立、統合サーバと各メーカサーバを連携させ、統合サーバから各リソースを制御する連携試験、フィールドテ

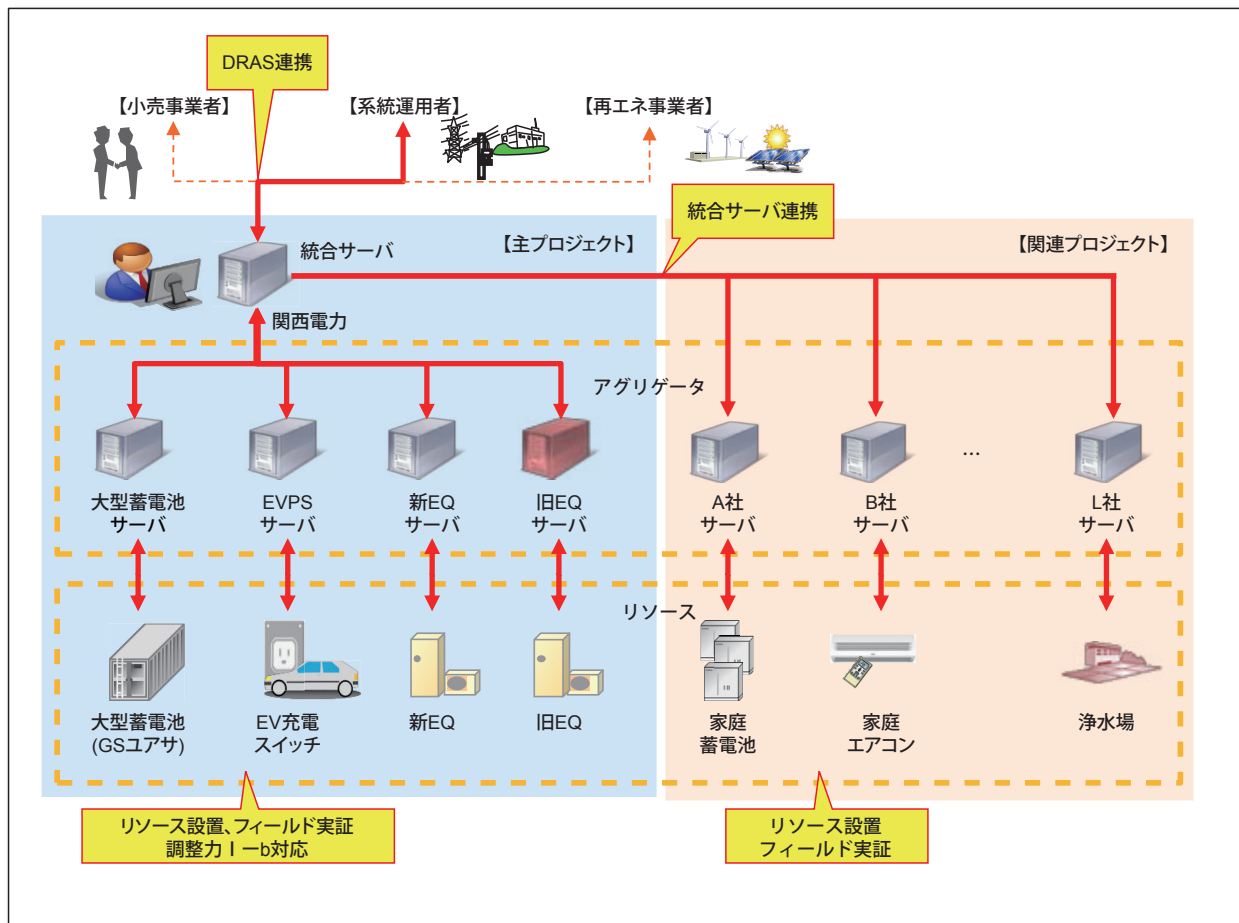


Fig. 1 Overall structure of Kansai virtual power plant.

ストなどの実証をおこなう。関連プロジェクトにおいても同様に、統合サーバと各メーカーサーバを連携させ、統合サーバから各メーカーのリソースを制御する連携試験、フィールドテストなどの実証をおこなう。メーカーサーバの一つに富士電機(株)の大型蓄電池サーバがある。このアグリゲータとしての大型蓄電池サーバは、当社の大型蓄電池など、多数のリソースを OpenADR 通信により集約している。大型蓄電池サーバは、各リソースから定期的にベースライン（想定される電力消費量）などの情報を受け取り、電力状況に応じて DR 指令値を各リソースに送信し、電力需給バランスを最適化する。当社では、関西 VPP 用として開発したネットワークカードにより、ベースラインを大型蓄電池サーバへ送信し、サーバより DR 指令値の受信をおこない、DR 指令値を元に充放電指令値をパワーコンディショナ（大型蓄電池を制御する機器）に送信することで電力制御をおこなう。

3 当社システム

関西 VPP 用のシステムを当社にて構築する際のキープデバイスは、パワーコンディショナ、大型蓄電池、ネットワークカードの3点である。ネットワークカードは大型蓄電池サーバ、パワーコンディショナ、大型蓄電池を連動させるために重要な役割を果たす。ネッ

トワークカードの主な役割は下記3点である。

- (1) 上位サーバとの通信
- (2) 受電電力受信、ベースライン作成
- (3) パワーコンディショナとの通信（各種計測情報受信、充放電指令）

ネットワークカードを用いての電力制御と情報伝達の流れを Fig. 2 に示す。受電電力を電力量計で計測し、その情報をネットワークカードが RS-485 通信で取得する。ネットワークカードは取得した受電電力を元にベースラインを算出し、サーバに OpenADR 通信を用いて送信する。サーバは電力状況に応じて、ベースラインをもとに DR 指令値をネットワークカードに送信する。ネットワークカードは定期的に RS-485 通信でパワーコンディショナから蓄電池充電率（SOC）などの各計測値情報を取得している。DR 指令値と受電電力をもとに充放電指令値をパワーコンディショナに RS-485 通信で送信する。パワーコンディショナは充放電指令値にしたがい、大型蓄電池を充放電することで受電電力を制御する。

3.1 ベースライン作成方法

ベースラインは DR 実施日が平日の場合と土曜日・日曜日・祝日の場合で算出方法が異なる。実証試験は DR 実施が平日のため、平日の場合の主要な算出方法

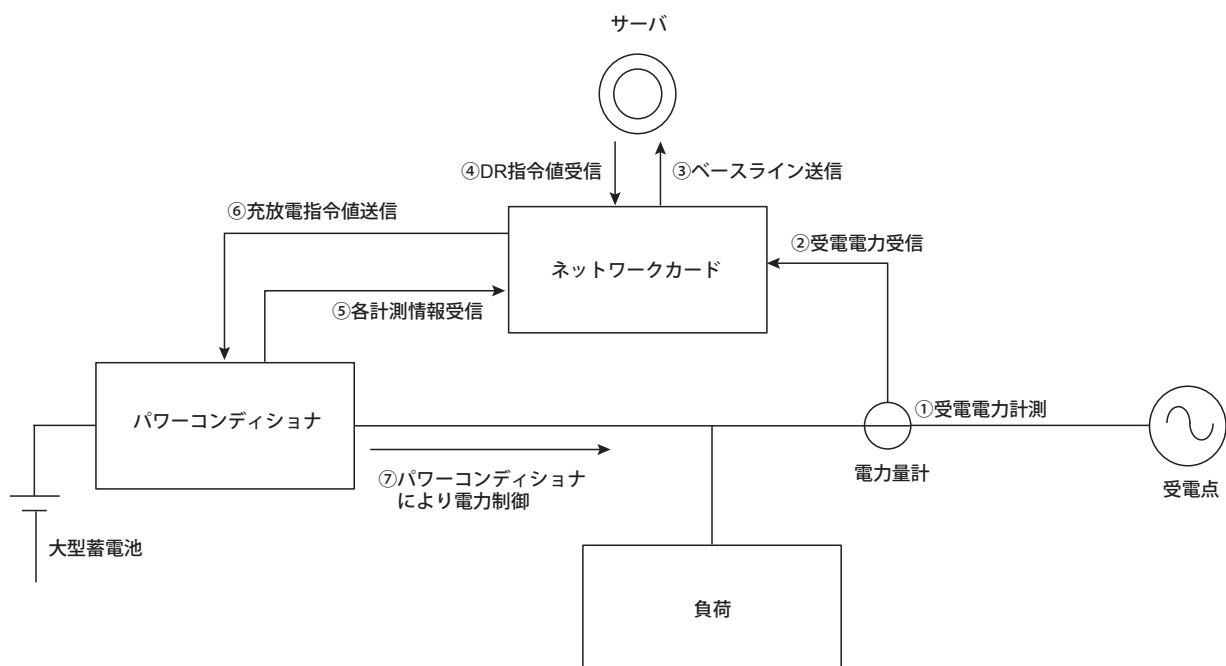


Fig. 2 Flow of power control and signal transduction.

を抜粋して下記に示す³。需要量は、当社の関西 VPP 用システムにおいては、西地区事業所の受電電力に相当する。ネットワークカードに蓄積している過去の受電電力データをもとにベースラインを作成する。ネットワークカードから大型蓄電池サーバへ OpenADR 通信により定期的にベースラインを 1 日に 1 回、30 分単位の値 96 点（当日の 0 時 00 分～ 23 時 30 分、翌日の 0 時 00 分～ 23 時 30 分のデータ）を送信する。

① 次に示す需要量の 30 分単位のコマ毎の平均値を算出する。

DR 実施日の直近 5 日間（DR 実施日当日を含まない。）のうち、DR 実施時間帯の平均需要量の多い 4 日間の需要データ。

ただし、以下に示す日については、上記の母数となる直近 5 日間から除外するものとする。その際、当該母数が 5 日間となるよう、DR 実施日から過去 30 日以内（平日および土曜日 / 日曜日 / 祝日）で更に日を遡るものとする。

- ・土曜日 / 日曜日 / 祝日
- ・過去の DR 実施日
- ・直近 5 日間の各日の DR 実施時間帯の需要量の平均値と、直近 5 日間を通じた DR 実施時間帯の需要量の総平均値を比較して、総平均値の 25% よりも需要量が少ない日があった場合には、当該日

② DR 実施時間の 4 時間前から 1 時間前までの 30 分単位の 6 コマについて、下記計算式の平均値を算出する。

DR 実施日当日の需要量 - 上記①の算出方法により算出された値

③ 上記①で算出された値における DR 実施時間帯の 30 分単位の各コマに、上記②で算出された値を加算したものを、ベースラインとする。

3.2 充放電指令方法

充放電指令は、フィードバック制御をおこなっている。充放電指令値は西地区事業所の受電電力瞬時値と DR 指令値を元に下記式によって算出し、パワーコンディショナへ送信する。 $e(t)$ が偏差、 $r(t)$ が DR 指令値、 $y(t)$ が受電電力瞬時値、 $u(t)$ が充放電指令値、 K_p は比例項係数、 K_i は積分項係数である。式 (1) は目標値である DR 指令値に対する実測データである受電電力瞬時値の偏差を算出している。式 (2) はその偏差を用いて、充放電指令値を算出している。第一項が比例項、第二項が積分項である。比例項のみでは目標値に対する追従性が良好ではなかったため、積分項

も採用した。

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

4 試験の内容と結果

4.1 試験内容

関西電力(株)の統合サーバが大型蓄電池サーバへ電力の調整量を送信する。大型蓄電池サーバは調整量を受信した後、各リソースに対して DR 指令値を送信する。当社の大型蓄電池を含む各リソースは DR 指令値を元に電力制御をおこなう。大型蓄電池サーバが管理しているグループにおいて、リソースは計 6 つであり、契約電力の総和は 11,685 kW である。契約電力は、当社は 8,100 kW、当社以外の 5 リソースは 3,585 kW であり、当社は大型蓄電池サーバグループ全体の契約電力の約 69.3% を占めている。大型蓄電池サーバグループの契約電力内訳を Table 1 に示す。実際の DR 実施日は 2018 年 2 月 22 日であり、大型蓄電池サーバが 30 分単位の DR 指令値を 2 件、各リソースに送信した。DR 開始時刻は 16 時と 16 時 30 分である。

4.2 当社実証試験構成

VPP 実証試験時の当社のシステム構成を Fig. 3 に示す。当社のシステムで使用しているパワーコンディショナ「LINE BACK γ 」と大型リチウムイオン蓄電池の仕様を Table 2 に示す。両者共に関西 VPP では 2 台使用する。ネットワークカードは大型蓄電池サーバとモバイルルータを介してネットワーク接続されている。受電電力を電力量計で計測し、ネットワークカードは受電電力情報を RS-485 通信により取得し、その情報を元にベースラインを作成、OpenADR 通信により大型蓄電池サーバへ送信する。大型蓄電池サーバは電力需給状況に応じて、当社を含む各リソースのベースラインを元に、DR 指令値を OpenADR 通信により各リソースに送信する。ネットワークカードは DR 指令値を受信すると、受電電力が DR 指令値となるようにパワーコンディショナ 2 台に RS-485 通信

Table 1 Contract power of large storage battery group.

項目	契約電力 / kW	割合 / %
当社	8,100	69.3
当社以外の 5 リソース	3,585	30.7
グループ全体	11,685	100.0

で充放電指令値を送信する。パワーコンディショナは充放電指令値を受け、大型蓄電池を充放電することで、受電電力を制御する。

4.3 試験結果

大型蓄電池サーバグループ全体での2018年2月22日のベースライン、DR指令値、受電電力の関係をFig. 4に示す。各値は当社を含む6リソースの合計値である。大型蓄電池グループ全体において、16時～

16時30分の期間では、DR指令値8,020.92 kWに対して受電電力の実測値は8,084 kWであり、誤差約0.8% (63.08 kW) という結果となった。同様に、16時30分～17時の期間では、DR指令値8,028.42 kWに対して受電電力の実測値は8,152 kWであり、誤差約1.5% (123.58 kW) という結果となった。大型蓄電池グループ全体のDR指令値に対する追従精度をまとめた結果をTable 3に示す。

2018年2月22日の試験結果について、DR指令のあった16時～17時に期間を限定した場合の、大型蓄電池グループ全体のベースライン、DR指令値、当社のベースライン、DR指令値、受電電力瞬時値の

Table 2 Specifications of power conditioner and battery.

(a) パワーコンディショナ Power conditioner	
項目	標準仕様
出力容量	250 kVA
インバータ方式	電圧型電流制御
相数	三相3線
定格入力電圧	DC 400 V
定格出力電圧	AC 400 V または 440 V
最大電力追従範囲	DC 320—500 V
電力変換効率	95.5%
(b) リチウムイオン蓄電池 Battery cabinet for Li-ion battery	
項目	標準仕様
バッテリー	LIM50EN-12 12 モジュール直列 ×12 並列
定格電圧	532.8 V
定格容量	570 Ah
定格容量	303.7 kWh

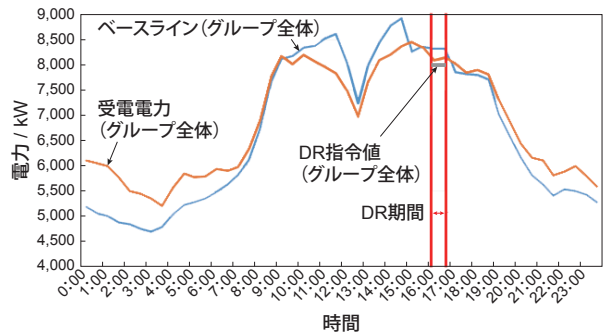


Fig. 4 Test results of large storage battery group (February 22th, 2018).

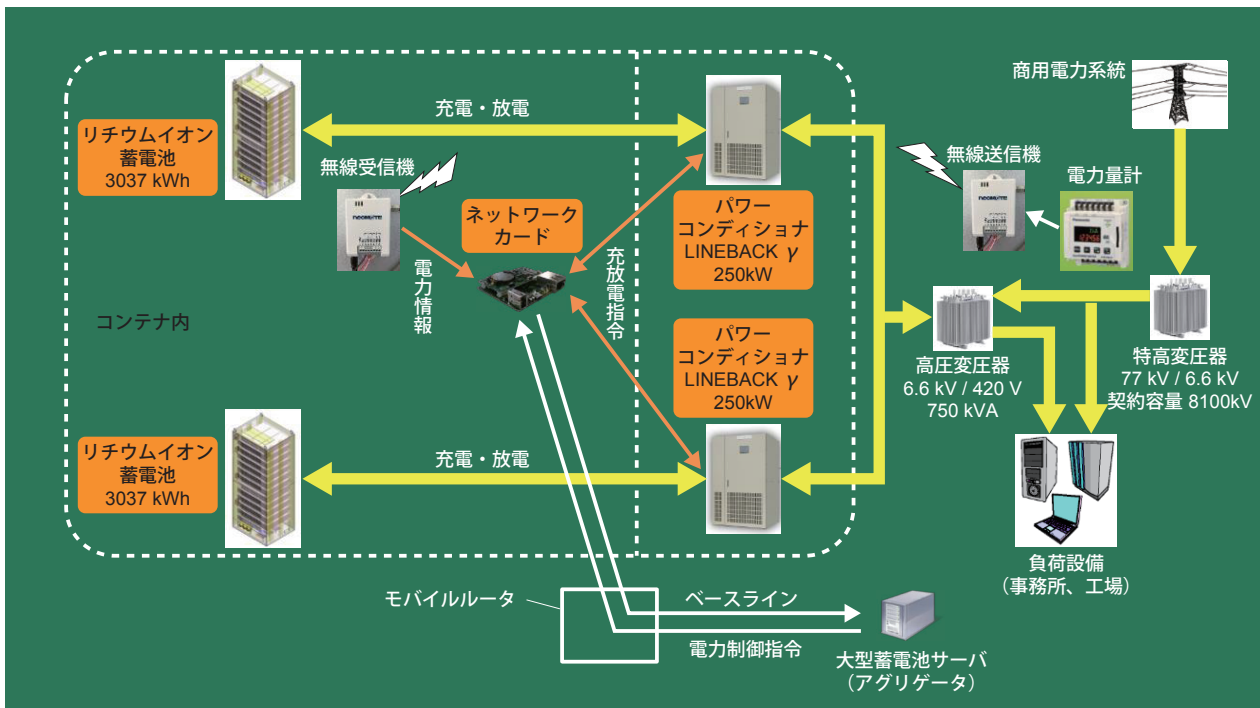


Fig. 3 System configuration of GS Yuasa during the demonstration test of virtual power plant.

関係を Fig. 5 に示す。当社において、16時～16時30分の期間では、DR 指令値 7,269.7 kW に対して受電電力の実測値は 7,283.92 kW であり、誤差約 0.2% (14.22 kW) という結果となった。同様に、16時30分～17時の期間では、DR 指令値 7,320.13 kW に対して受電電力の実測値は 7,197.68 kW であり、約 1.7% (122.45 kW) という結果となった。当社の DR 指令値に対する受電電力の追従精度をまとめた結果を Table 4 に示す。また、大型蓄電池グループ全体に対する当社の DR 指令値と受電電力の追従誤差の割合をまとめた結果を Table 5 に示す。16時～16時30分の期間では、当社は DR 指令値におけるグループ全体に対する割合 (90.6%) よりも DR 指令値への受電電力の追従誤差のグループ全体に対する割合 (22.5%)の方が小さく、本期間の追従精度は当社以外の5リソースと比較した場合、良好であると言える。一方で、16時30分～17時の期間では、当社は DR 指令値におけるグループ全体に対する割合 (91.2%) よりも DR 指令値への受電電力の追従誤差のグループ全体に対する割合 (99.1%)の方が大きく、本期間の追従精度は当社以外の5リソースと比較した場合に良好ではないと言える。

16時30分～17時の期間の当社の DR 指令値に対する受電電力の追従精度について考察する。SOC と充放電指令値の関係を Fig. 6 に示す。充放電指令値は充電が負、放電が正の値で表現される。DR 指令値に対して、瞬時電力が超過している場合は、受電電力を

抑制する必要がある。パワーコンディショナを用いて大型蓄電池を放電するために充放電指令値は正となることを確認できる。同様に、DR 指令値に対して瞬時電力が不足している場合は、受電電力を増加させる必要がある。パワーコンディショナを用いて大型蓄電池を充電するために充放電指令値は負となることを確認できる。Fig. 5 より、16時30分～17時の期間では当社は DR 指令値に対して、瞬時電力が 200 kW 程度下回っている期間が長い。この期間、ネットワークカードからは、Fig. 6 より、上限値である 500 kW に近い

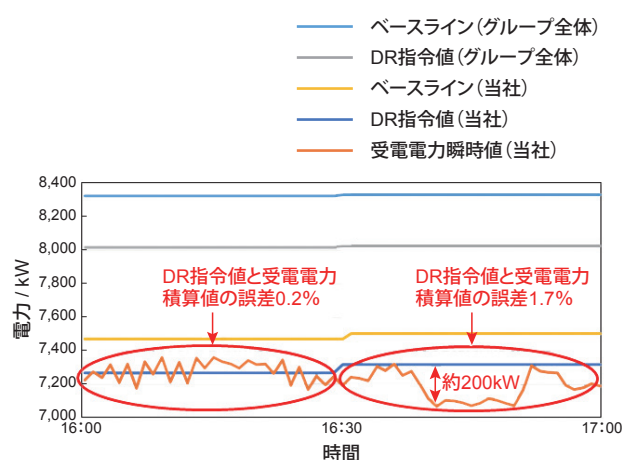


Fig. 5 Test results of large storage battery group and GS Yuasa during DR (February 22th from 16:00 pm to 17:00 pm, 2018).

Table 3 Tracking accuracy against DR command of large storage battery group (February 22th from 16:00 pm to 17:00 pm, 2018).

期間	DR 指令値 /kW	受電電力 / kW	誤差 / kW	誤差 / %
2018年2月22日 16時～16時30分	8,020.92	8,084	63.08	0.8
2018年2月22日 16時30分～17時	8,028.42	8,152	123.58	1.5

Table 4 Tracking accuracy against DR command of GS Yuasa (February 22th from 16:00 pm to 17:00 pm, 2018).

1.7	DR 指令値 /kW	受電電力 / kW	誤差 / kW	誤差 / %
2018年2月22日 16時～16時30分	7,269.7	7,283.92	14.22	0.2
2018年2月22日 16時30分～17時	7,320.1	7,197.68	122.45	1.7

Table 5 Tracking accuracy against DR command of GS Yuasa (February 22th from 16:00 pm to 17:00 pm, 2018).

期間	グループ全体		当社			
	DR 指令値 /kW	誤差 /kW	DR 指令値 /kW	DR 指令値の割合 /%	誤差 /kW	誤差の割合 /%
2018年2月22日 16時～16時30分	8,020.92	63.08	7,269.7	90.6	14.22	22.5
2018年2月22日 16時30分～17時	8,028.42	123.58	7,320.13	91.2	122.45	99.1

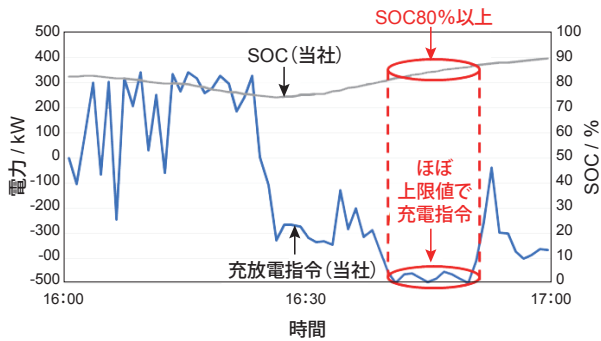


Fig. 6 Relation of SOC and charge and discharge command value during DR (February 22th from 16:00 pm to 17:00 pm, 2018).

値で充電指令をパワーコンディショナに送信している。しかし、実際のパワーコンディショナは指令通りに電力を消費できていないことが確認できた。この期間、SOCは80%以上である。SOCが80%以上の場合、パワーコンディショナの大型蓄電池への充電は、電池保護のため電圧の閾値以上への上昇を防止する定電圧制御が働き、充放電指令値通りに電力を消費できず、DR指令値に追従できなかったと考えられる。対象の充電指令時にSOCが80%以上となっている原因はデマンド制御である。当社のデマンド制御は、DR指令がない場合は、SOCを83%に保持する動作が働く。したがって、DR指令直前の16時時点でSOCが83%となっていたことにより、対象の充電指令時にSOCが80%以上となった。SOC83%という数値は、電力がひっ迫する14時～16時30分の時間帯にパワーコンディショナにより大型蓄電池を放電し、受電電力を抑制する動作をおこなうために必要な充電量である。今後、デマンド制御のSOC目標値を83%固定とするのではなく、電力消費状況などに応じて調整するなどの対応が必要と考えられる。

5 まとめ

VPP構築実証事業参加にあたり、ネットワークカードにおいて、主に下記制御をおこなうためにソフトウェア開発をおこなった。

- 電力量計から消費電力を取得し、ベースラインを作成
- 大型蓄電池サーバとの間でOpenADR通信にて、ベースラインやDR指令値を送受信する
- DR指令値と電力消費状況により、パワーコンディショナに対する充放電を制御する

その結果、大型蓄電池サーバ、電力量計、ネットワークカード、パワーコンディショナ間で、一連の情報伝達および電力制御可能なシステムを構築した。したがって、実証事業の目的である、蓄電池とIT技術を連動させる新たなエネルギーマネジメントを構築できたと言える。今後の課題として、下記が挙げられる。

- 顧客の設備や電力消費状況、パワーコンディショナや電池の容量に応じて、SOCを調整する必要があり、電力消費量や天候、時間帯による発電量などの予測機能を強化し、エネルギーマネジメントシステム制御できるように改良する必要がある

VPP構築実証事業は、2017年度時点で5年計画の2年目である。2年目までは関西エリア中心であったが、3年目以降は順次全国に拡大し、適宜上記の課題などを盛り込んだ仕様変更、関係テストやフィールドテストをおこなっていく予定である。

文献

1. 経済産業省ホームページ <http://www.meti.go.jp/>
2. 環境省ホームページ <https://www.env.go.jp/>
3. 経済産業省ホームページ <http://www.meti.go.jp/press/2016/09/20160901003/20160901003.html>