

学会賞内容紹介

バーチャルパワープラント (VPP) システムの実用化

Business Application of Virtual Power Plant (VPP) System

石田 文章* ・ 山口 大翼** ・ 松村 洋*** ・ 河口 健**** ・ 守屋 大輔*****
 Fumiaki Ishida Daisuke Yamaguchi Hiroshi Matsumura Takeshi Kawaguchi Daisuke Moriya

1. はじめに

本稿で紹介するバーチャルパワープラント (VPP, Virtual Power Plant, 仮想発電所) とは、電力の需要家が所有し送配電網に接続されている DER (Distributed Energy Resources, 分散エネルギー資源) を通信ネットワークで結んで集約 (アグリゲート) し、仮想的な発電所に見立てることで、系統運用者、電力市場、電力会社等に集約した電力 (調整力・供給力等) を供給・販売するビジネスモデルであり、このビジネスの基盤となるシステムが VPP システムである。このビジネスは、分散型エネルギー資源のシェアリングエコノミーとも、異なる者どうしのエネルギー過不足をマッチングさせるプラットフォーム提供ビジネスとも考えられる。筆者らは、この VPP システムの初期の構想検討とともに、経済産業省の補助金を活用しつつ実証を進め、実用化に対して多大なる貢献を行った。

2. VPP システムの開発及び実用化の経過

2011 年 3 月に発生した東日本大震災を契機に、分散型電源である太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの大量導入の動きや、地域での地産地消を目指すマイクログリッド・スマートコミュニティ構築の動きがあり、これに 2012 年度から対応を行っていた。当時、北米で実証されていた需要家エネルギーリソースを DR (Demand Response: デマンド・レスポンス) で動かす仕組みや、欧州で実証されていた分散型小型電源を遠隔制御で統合的に動かす仕組みに着想を得て、これら分散型エネルギーリソースを統一的に集約して活用する VPP システム構築の検討を 2014 年度に開始した。2015 年秋に、社内経営層を交えた社内委員会の中でこの VPP 構築構想推進の承認を得るとともに、2016 年度から新規公募が開始された経済

産業省バーチャルパワープラント構築実証補助事業補助金に応募し採択され、本格的にシステム構築の検討を開始した。以降 5 年間にわたり、技術的課題の解決を図るべく技術実証を行い、2020 年度に本システムが完成し、2021 年度から開始された需給調整市場への参入を果たした。本 VPP システムを活用したビジネスは、この需給調整市場の他にも、2017 年度向けに 2016 年秋に各エリア TSO (一般送配電事業者) から公募開始された調整力公募 (毎年各 TSO 公募実施) にも参画利用されているとともに、2024 年度向けに 2020 年秋に電力広域的運営推進機関から公募開始された容量市場 (毎年電力広域的運営推進機関公募実施) にも参画利用されている。また、最近では 2022 年 5 月の電気事業法改正によって大型の系統用蓄電池が、発電所相当の蓄電所として電気事業として整備されたことに伴い、系統用蓄電池を各電力取引市場にマルチユースで利用する際のシステムにも活用される予定である。

3. 技術の特徴

3.1 ゲートウェイ確保と双方向通信の確立

VPP システムと類似したシステムは、既に欧州において、需要家の小規模な CGS (コージェネレーションシステム) や風力発電、太陽光発電等を集約し、全体を一括で自動制御することで、単独では応札できない電力卸市場やエネルギーが不足する事業者に提供するシステムがあった。また、北米においては、過去からの旺盛な電力需要に対して、供給力としての新規の発電所新増設が課題であり、経済的な理由から発電所建設と同等の供給力確保手段として、需要を削減する DR システムの提供も始まっていた。今回構築した VPP システムは、需要側設置の分散型発電所と需要側エネルギーリソースを双方とも集約し、統合的に遠隔制御するという独創的なアイデアを発展・展開することによって、革新的な VPP システムを構築したことが特徴である。

VPP システムのブレークスルーポイントとなる核心部は、需要家のエネルギーリソースに直接つながる VPP 用ゲートウェイ (GW) の確保と、この GW を通じて VPP システムプラットフォームとの双方向通信を確立すること

* 関西電力株式会社 研究開発室 技術研究所 先進技術研究室
 〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺3-11-20

E-mail: ishida.fumiaki@b5.kepco.co.jp

** 関西電力送配電株式会社 配電部

*** 関西電力株式会社 経営企画室イノベーションラボ

**** 送配電網協議会

***** 関西電力株式会社 ソリューション本部 開発部門

の2点である。この点、VPP用GWは双方向通信機能を有した機器を独自開発し、クラウド上に開発・構築したVPPシステムとの連携を通して、需要家側の電力使用量・発電量などの見える化や、機器の遠隔監視を行うとともに、外部にある気象情報等のデータベースや高性能AIを活用し、顧客や外部の状況を踏まえた最適な需要家側の機器制御を可能とした。

3.2 技術的市場性の観点

(1) 本稿において、VPPシステムを利用した定量的な制御可能量に基づく市場性について検討を行った。具体的には、VPPを活用できる電力市場の既存の枠組みの説明に加え、各電力市場への適用可能な制御規模等のデータを記述するとともに、今後の計画を定量的（MW、 Δ kW、金額等）に示すこととした。VPPシステムを活用できる電力市場として、「将来の供給力（kW）」を取引する容量市場、電気の需要と供給を一致させるために必要な電力「調整力（ Δ kW）」を全国的に取引する需給調整市場などがある。この他にも、既存のエネルギー卸取引市場（JEPX）において、料金値差を活用して調達量よりも安いDR等のエネルギーリソースを活用して差し替える「経済DR（kWh）」等も考えられるが、取引量の規模と金額の想定が困難なため、検討範囲外とした。

(2) 調整力公募と需給調整市場に関しては、再生可能エネルギーの導入が進む中で、周波数を維持し安定供給を実現するため、TSOは、需要と供給を最終的に一致させる調整力を確保する役割を担っている。そのため、各エリアのTSOは、2016年10月より調整力公募を毎年実施（2017年度向けより毎年）し、周波数維持義務を果たすために必要な調整力をエリア内で確保してきた。また、エリアを越えた広域的な調整力の調達・運用と市場原理による競争活性化・透明化による調達コスト低減を図るため、需給調整市場を開設し、2021年4月より取引を開始している。

調整力公募においては調整力の発動時間の速さや、継続時間の長さ、指令・制御方式等の要件で公募対象が区分（電源Ⅰ・電源Ⅱ）されている。電源Ⅰは、事前にTSO専用として確保され他の用途には利用できないため、この電源に対してはkW対価も支払われる。一方電源Ⅱは、小売電気事業者の供給力として確保した電源で、余裕のある際にTSO向けにも活用できる電源であることから、kW対価は支払われず稼働したkWh分だけの対価が支払われる。従って、VPPを活用できる調整力公募の対象は、主に電源Ⅰであり、この商品区分（Ⅰ-a、Ⅰ-b、Ⅰ'）の中でも需給バランス調整用でロースペック・低速発動の主として、電源Ⅰ'の市場がVPPビジネスの主たるターゲットとなる。

一方、需給調整市場では制御機能等を踏まえ、応動時間や継続時間に応じて、一次調整力・二次調整力①・二次調

整力②・三次調整力①・三次調整力②の5つの商品を順次取り扱うこととしており、2021年度から三次調整力②の運用が開始され、2022年度から三次調整力①の運用が始まった。二次調整力②・二次調整力①・一次調整力の運用開始は、2024年度が予定されている。なお、三次調整力②は、毎日入札を実施し翌日分の必要な調整力を調達し、三次調整力②以外は週一回入札を実施する予定である。また、調整力公募による電源Ⅰ・Ⅱの調達は、2023年度まで継続する予定である。このように需給調整市場においても、需要側エネルギーリソースを活用したDRを取引できる商品区分も用意されている。

主としてVPPを活用できる調整力公募（電源Ⅰ'）と需給調整市場（三次②および三次①）の市場規模を想定すると、下表のとおりとなる（表1・表2）。なお、電源Ⅰ'の必要量は、2022年度向け公募募集量からH3需要の3%で算定される。

表1 調整力公募の電源Ⅰ'の調達量（全国計）
【単位：a,b.万kW, c.円/kW, d.億円】

年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022
a.全確保量	135	132	203	428	428	365
b.内DR等	96	96	89	129	176	223
c.平均価格	3753	3609	4115	5106	4313	3899
d.市場規模	36	35	37	66	76	87

注1）2019年度までは5エリアのみで募集、2020年度分から隣接エリアからの調達（広域調達）も開始され全10エリアで募集開始
注2）DR等とは、需要抑制・需要抑制+自家発・自家発の合計

表2 需給調整市場の三次②・三次①の調達量（全国計）
【単位：a.GW, b.円/kW・30分, c,d,e.億円】

年度		2021	2022上期
三次②	a.調達量（ Δ kW）	7,785	3,592
	b.平均単価	2.58	4.16
	c.調達費用	1,207	896
三次①	a.調達量（ Δ kW）	—	598
	b.平均単価	—	6.84
	c.調達費用	—	246
年度合計	d.調達費用総額	1,207	2,284
	e.内DR等市場規模	60	114

注1）2022年度の年度合計調達費用総額は、上期合計を単純に2倍で算定

注2）DR等区分のみの公表データはないため、後述の容量市場における発動指令電源の比率を参考に、市場規模は全体の5%と想定

(3) 容量市場に関しては、容量市場が従来の卸電力市場で取引されている「電力量（kWh）」ではなく、「将来の供給力（kW）」を取引する市場である。従って、将来必要な供給力（電源）を効率的に確保するために、諸外国で広く導入されている容量市場が2020年度に創設された。具

体的には発電所等の供給力に対し、長期的な投資回収の予見性を持たせることで、市場原理により適切な電源構築を行い、中長期的に必要な供給力等を確保するための仕組みである。

容量市場のオークションには様々な電源が参加することができ、需要家の既存設備を活用したDRや、廃棄物発電所を含む発電設備（一部）も、発動指令電源として参加することができる。なお、発動指令電源は、安定的供給力を提供できないことから、必要供給力全体に占める比率で制限されている（表3）。今後、VPP活用の観点からは、厳気象対応の供給力に相当することから、調整力公募における電源Ⅰ'と同等であり、電源Ⅰ'分の供給力が容量市場の発動指令電源に置き換わるものと考えられる。

表3 容量市場における発動指令電源の調達量
【単位：a,c,d,kW, b,e,円】

実施年度 (実需給年度)	2020	2021	2022
	2024向	2025向	2026向
a.約定総容量	1億6,769万	1億6,534万	1億6,271万
b.約定総額	1兆5,987億	5,140億	8,425億
発動指令電源	H3需要3%	H3需要4%	H3需要5%
c.調達上限量	473万	475万	636万
上限備考	メイン3%	メイン3% 追加1%	メイン4% 追加1%
d.実績約定量	415万	566万	600万
e.想定される 市場規模	396億	176億	311億

注1) 発動指令電源の容量は調整係数を反映する前の値

注2) 発動指令電源のみの公開約定総額データはないため、想定市場規模は、約定総額に発動指令電源約定容量比率を乗算した値

(4) 以上示した様に、VPPを活用できる主な市場の市場規模は、容量市場における実需給開始年度までの調整力公募Ⅰ' (2017年度から2023年度) と容量市場の発動指令電源 (2024年度以降・実施年度は2020年度以降) 及び需給調整市場の三次②・三次① (それぞれ2021年度開始, 2022年度開始) が有望である。市場規模は概ね、各市場を合わせて毎年800万kW・400～500億円と推計される。なお、2024年度から新たに開始予定の需給調整市場の一次・二次①②についても、別途、取引市場が存在する。

なお、当社では、これまでの個々の市場における落札量や約定総額を公表してはいないが、2023年1月23日付けプレスリリースで、これまでのVPP事業の推進を踏まえて、『分散型エネルギーリソースの市場運用を担う新会社設立～「E-FLOW (イーフロー) 合同会社」2023年4月から事業開始～』を発表した。新会社では、VPP事業・系統用蓄電池事業・再エネアグリゲーション事業の3事業

に重点を置き、2030年までに全国で分散型リソースの市場取引量250万kW・売上高300億円を目指すことを公表している。

3.3 他社システムとの比較の観点

(1) 当社以外の他社のVPP実証事業のシステムとの比較や、実際にVPP運用している既存事業者とのシステム比較は、詳細が公表・公開されていない部分が多く技術的比較は困難である。このため、他社のVPP実証事業者との比較に関しては、経済産業省資源エネルギー庁のVPP構築実証補助事業の公開資料での分析を行った。また、補助事業費は受けずに実際にVPP運用している既存事業者との比較は、主にウェブによる公開資料をもとに分析検討を試みた。

(2) VPP構築実証事業に関しては、当社は、2016年度から2020年度に国の資源エネルギー庁より毎年公募された「需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業」(VPP構築実証事業) に一貫して幹事会社 (親アグリまたはアグリゲーションコーディネーター) として連続採択され、成果目標とする5年間の事業を通じて、小規模な発電所に相当する50MW以上のエネルギーリソースをVPPとして制御する技術の確立を目指し、再エネの導入拡大や電力の負荷平準化等を推進してきた。また、2021年度から2023年度の3年間の後継事業として「蓄電池等の分散型エネルギーリソースを活用した次世代技術構築実証事業」(DERアグリゲーション実証事業) にも既に2年連続して幹事会社として採択されている。

当社は大手電力会社の中でも唯一、継続してVPP利用の社会実装を目指してきた会社であり、想定される新しい電力市場取引要件との整合を図りながら、制御技術の高度化と独自のシステム開発をステップバイステップで順を追って開発してきたことが特徴である。

また、当社は幹事会社で、全体システムの監視制御を統括するアグリゲーションコーディネーターとして、VPP構築実証事業の初年度から様々な業種の企業から多数の協力を得て、リソースアグリゲーターとVPPシステム構築に関して提携・協調を実施してきた。結果として、様々な種類や規模のDERエネルギーリソースを汎用的にかつマルチベンダーで統合制御できるVPPシステムを開発してきたことも特徴である (表4)。

表4 当社のVPP構築実証事業の体制【単位：社数】

年度	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
AC	1	1	1	1	1	1	1
RA	13	13	14	18	18	12	8
協力		4	6	11	16	4	8

注) ACはアグリゲーションコーディネーター (関西電力, 親アグリ), RAはリソースアグリゲーター (各社, 子アグリ) の略。2016年度はRAと実証協力の区別なし

(3) VPP既存事業者に関しては、補助金を受けずに実際にVPP運用している既存事業者大手がある。VPPシステム比較の詳細に関しては、公開・公表資料が少ないため、両社のホームページ等ウェブ調査で比較検討を試みた。

当社のVPPシステムとの差異として、既存大手DR事業者は、①主としてDRが中心で、発電余剰を含むボジワットを提供するVPPシステムではないこと、②主として産業部門の需要家を対象としており、家庭用低圧リソース(家庭用蓄電池・ヒートポンプ式給湯器・電動車等)や業務用高圧リソースを含む幅広い分野の分散型エネルギーリソースに対応したVPPシステムではないこと、③主として大口需要家を対象としており、小規模あるいは中規模のリソースを含む幅広い規模の分散型エネルギーリソースに対応したVPPシステムではないこと、この3点に差異があることが分かった。

(4) 以上示した様に、他社とのシステム比較において、当社のVPPシステムの優位性は、以下の3点となる。一つ目は新しい電力市場取引要件との整合性である。制御技術の高度化と独自のシステム開発をステップバイステップで順を追って開発してきたことが特徴であり、今後導入される各種電力取引市場にもシステム利用できる準備を進めている点である。二つ目は、連携・協力先企業の多様性である。当社は、国の補助事業において継続して幹事会社であり続け、様々な業界・業種と多数の協力と提携・協調を実施してきた。このため、様々な種類や規模のDERリソースを統合制御できる知見を蓄えてきた点である。三つ目は、既存VPP事業者との差異である。様々な業界・業種の企業と進めた結果、産業用需要家だけでなく業務用・家庭用を含めた幅広いエネルギーリソースにシステムが対応できる点である。

4. 経済性

このVPPシステムに参加していただく需要側エネルギーリソース活用としての実際の利用者のメリットを明確化したことが実ビジネスとして非常に大きい。このセールズポイントは5つあり、いずれも適切に構築したVPPシステムによって提供可能となっている。一つ目は報酬面であり、利用者は、このVPPシステムに参加することで、電力消費抑制による電気料金の低減に加えて、別途VPP指令に応動した相当の報酬を受け取ることができること。二つ目は費用負担面であり、参加する際、原則として利用

者の費用負担はないこと。仮にVPP指令発動時に計画通り設備制御できなかった場合でも、当社から利用者への支払報酬を減額することはあるが、利用者から支払いをもらうケースは原則ないこと。三つ目はサポート面であり、当社は2016年度以降の調整力公募や国が行う技術実証実験への参加を通じて、VPPに関する知見を十二分に有していること。これらの経験から利用者ごとに最適な契約内容を提案することができる。また、参加の際、電力消費抑制状況が分かる見える化システムを当社負担で設置し、このシステムにより利用者の電力の効率的な使用の検討にも活用することもできる。四つ目は利用者の設備面であり、今の設備そのまま、今使用の利用者設備を活用して電力消費抑制に参加することができること。五つ目は社会貢献面であり、参加することで、電力需要の負荷平準化や再生可能エネルギーの出力変動の吸収、電力需給ひっ迫時の供給などの面で、地域の電力システムの安定のために貢献することができること。これら全ての経済的メリットを実用化したVPPシステムは実現できる。

5. おわりに

本件で取り組んだVPPシステムは、初期の構想検討から、本格的なシステム構築と技術的課題解決の地道な検討や長期にわたる実証実験を経て、各種の新しい電力取引市場に適切に対応したシステムとして実用化を果たした。

今となっては、需要家側エネルギーリソースをアグリゲートし遠隔制御するコンセプトのVPPは、電力業界内で一般的な用語である。しかしながら、構想検討の当初は、既存の発電設備と比べて不確実性の高いエネルギーリソースを、電力需給の観点で供給力や調整力等に活用することに対して、実用化やビジネス化に対する周辺からの危惧の念が存在したことも事実である。こうした不安や疑念を一つ一つ地道に解消し、電力需給ひっ迫解消や再生可能エネルギー導入拡大にもつながりうるVPPシステムの実用化に導いた社会的意義は非常に大きい。

謝辞

最後に、本取組(プロジェクト名:関西VPPプロジェクト)にあたって、VPPシステムの実用化を積極的に推進して頂いた、数多くの技術協力会社・実証協力会社等の関係者の皆様に、あらためて御礼申し上げます。