



欧米電力ビジネスの最前線

～DistribuTECH2024参加を通じて～

欧米におけるDERを活用した配電網混雑への対応について

# 欧米におけるDERを活用した配電網混雑への対応について

1. はじめに	3
2. 米国における配電網混雑の現状	3
3. 具体的な取り組みの方向性	3
4. 配電網の可視化および将来予測	3
5. 米国におけるデマンドレスポンス(DR)による配電網混雑緩和	4
5-1 Consolidated EdisonのDRプログラム	4
5-2 PG&EのDRプログラム	5
5-3 Rocky Mountain Powerの蓄電池プログラム	5
5-4 Austin EnergyのEVプログラム	5
5-5 APPALACHIAN POWERのスマート空調プログラム	5
6. 米国における料金体系の設計による混雑緩和	6
7. 配電網と送電網におけるフレキシビリティの配分	6
8. 日本への示唆	8

# 1. はじめに

今回のDistribuTECHのTechnical Programでは16あるテーマのうち「DER for Reliability」「DERMS」「Energy Orchestration and the DSO」「The Flexible Grid」という4つのテーマの中で、分散型エネルギーリソース(DER)をいかにシステムの安定化・投資抑制に活用するかという議論がなされた。日本においてもDERを用いた配電網を含むローカルシステム以下の混雑緩和の方法に関する議論が進む中、ここでは米国を中心とした欧米の混雑緩和向けDER活用に関する最新動向を紹介する。

## 2. 米国における配電網混雑の現状

米国においては、CAISO(カリフォルニア)やERCOT(テキサス)、NYISO(ニューヨーク)などの送電システム運用者(ISO: Independent System Operator/TSO: Transmission System Operator)において再エネ発電の普及に伴う送電網レベルでの混雑発生増大が取り沙汰されているが、配電網レベルでの混雑状況に関しては、あまり公開情報がないのが実情である。しかしながら、配電網に接続される再エネやEVの増加に伴うシステム増強費をいかに抑えるか、という議論は具体的な金額を交えながらDistribuTECHの種々セッションでなされており、今後の混雑発生増大に対する課題感が全体として共有されていた。

## 3. 具体的な取り組みの方向性

各セッションでは配電網の可視化と短期・長期の混雑予測に関する紹介のほか、配電網にあるDERに対し混雑緩和への協力やDER導入拡大を促すインセンティブをいかに設計するか、そしてそのインセンティブを正しくDER保有者に理解してもらい参加者を増やすかが重要であるということがLessons Learnedとして共有された。

電力小売り(Utility)と配電網管理者が多くの場合一致する米国において、これらインセンティブは①インセンティブ型デマンドレスポンス(DR)、②料金体系の設計(電気料金型DR)という大きく二つの方式がとられている。以下、配電網の可視化・将来予測の現在とともに、これらインセンティブに関する取り組みを紹介する。

## 4. 配電網の可視化および将来予測

配電網の可視化ツールとしてはADMS(Advanced Distribution Management System)が種々ベンダーより提供されており、変電所や柱上変圧器レベルでのリアルタイム負荷監視の他、開閉器の自動切換えなどの配電自動化を組み込んだものの運用デモを各社が展示フロアにて実施していた。これらADMSにおいてメーター二次側(BTM: Behind the Meter)にあるDERは基本的に網羅しておらず、メーター一次側(FTM: Front of the Meter)のDER情報までの把握にとどまるものがほとんどであった。BTM機器まで網羅するシステムは、顧客の保有するDERに関するリアルタイム情報を得るためにアグリゲーターが利用するDERMS(Distributed Energy Resources Management System)など、DERの制御に特化したものに限られていた。一方で、Siemensは電力メーターの15分データおよび天候情報からBTMにあるEV・太陽光・蓄電池の出力・容量などの仕様を推定するディスプレイアグリゲーション技術を使用し、本来DRやVPPなどの契約を通じ顧客と個別合意しなければ入手できない、もしくは1分データなどより細かいメッシュでの消費電力情報が必要なものを、追加投資なしで可視化しており、Hawaiian Electricの配電網におけるBTM側DERの可視化事例をセッションで紹介していた。

需要・混雑予測は、短期的にはこれらの可視化された配電網の実績データを基に機械学習を行うことで実現させており、その結果を基にアグリゲーターらへDRの依頼が行われている。長期的にはPV・EV・蓄電池等のDERの導入予測を立て、その予測を基にシミュレーションを行うことによる具体混雑箇所の把握と投資計画の立案、さらにはDRインセンティブの設定方法・金額に応じた混雑状況の変化分析も行い、投資とDRインセンティブの組み合わせによるコスト最小化設計などを行っている事例紹介がProsumerGridのセッションにおいて行われていた。

## 5. 米国におけるデマンドレスポンス(DR)による配電網混雑緩和

米国において、DRに関するプログラムの概要は、配電網・Utilityを管轄する各州規制当局がまず設定し、Utility側のプログラム設計詳細も各州の規制当局によって設定されているDRプログラムに従う形となる。DRプログラムのうち、EVや蓄電池、スマート空調など対象を絞ったものはUtilityが直接顧客に提供している例が多い一方、リソースの種類を限定しない場合にはアグリゲーターを通じて顧客に提供される場合が多い。

### 5.1 Consolidated EdisonのDRプログラム

主にニューヨーク州において電力小売りを手掛けるConsolidated Edison(Con Edison)は、30社もの同社公認アグリゲーターを介し、実に6万台以上のDERからPeak Shavingおよび混雑緩和への協力を得ている。同社はCSRP(Commercial System Relief Program)とDLRP(Distribution Load Relief Program)という2種類のDRプログラムを運営しており、前者は主にCon Edisonのシステム全体における需要ピークをカットするために21時間前にイベントが通知され、後者は個別システムの混雑発生見込みや電圧降下に際し2時間前にイベントが通知されるものである。報酬体系は図表1の通りであり、固定報酬(Reservation Rate)の有無により実働時の報酬(Performance Rate)が変動する。CSRPの「Unplanned」は、通常のCSRPイベントより通知時間が短い、時間幅が異なるなど特殊なものを指す。

図表1: Con EdisonにおけるDRプログラムの報酬<sup>1</sup>

	Reservation Rate				Performance Rate		
	CSRP		DLRP		CSRP		DLRP
	その他地域	Westchester & SI	Tier 1系統	Tier 2系統	通常通知	Unplanned	
Reservation	18米ドル/kw・月	6米ドル/kw・月	18米ドル/kw・月	25米ドル/kw・月	1米ドル/kWh	6米ドル/kWh	1米ドル/kWh
Voluntary	-				3米ドル/kWh	10米ドル/kWh	3米ドル/kWh

出所: Con Edison Website情報を基にPwC作成

これらのプログラムへの参加を募るにあたり、Con Edisonは各DER保有者と直接の契約やコミュニケーションをとらず、アグリゲーターに対し需要下げ/発電上げの指示を出し、その応動結果に応じた表1の報酬もアグリゲーターに対して支給する形を取っている。実際にDER所有者と契約し応動の依頼/指令や報酬の支払いを行うのはアグリゲーターとなる。各アグリゲーターは、対象とするDER所有者の属性や支援・報酬体系において違いを持ち、住居を対象とするか否か、イベントへの応動を自動化するか手動のままとするか、報酬を現金として受け取るかオンラインショッピング・商品券形式で受け取るかなどさまざまな方法での差別化を図っている。

Enel Xでは商業、施設および産業組織を対象に、定期的な容量支払いと、イベント時のパフォーマンスに基づく追加エネルギー支払いを行う形を取っている。準備段階においてはEnel Xの担当者が顧客とともにDRポテンシャルと通常業務への影響を評価した上でEnel Xのシステムと機器の通信を確立し、適当な範囲でのDR実施と24時間365日のサポート体制を敷いている。

<sup>1</sup> Con Edison Websiteより。「Reservation」は毎月の固定報酬が約束されるが、発動実績が期待値以下である場合には減額される。「Voluntary」は固定報酬がないものの、イベント時の発動実績に応じた支払いレートが高くなる。

Ohm Connectはアプリの導入と、スマートプラグを介しスマートホームデバイスをつなぐだけで参加が可能なサービスを提供している。報酬の支払いは「WATT」という独自の形式で貯められ、顧客は「各種商品が当たるルーレットへの参加」「スマートホーム機器への交換」「寄付」「ギフトカード」「オンライン決済サービスからの出金」など種々の形で報酬を受け取ることとなる。

Con EdisonのDR参加DER数は2021年から2023年にかけてのわずか2年で2.2倍に増えており、928MWという非常に大きい容量を確保している。この増え方は、多数のアグリゲーターが顧客への理解促進やニーズ汲み取りを行い、多種多様なサービス形態を提供していることによる影響が非常に大きいと言えよう。

## 5.2 PG&EのDRプログラム

カリフォルニア州において電力小売りを手掛けるPacific Gas & Electric Company (PG&E)は、家庭向けのDRプログラムとしてPower Saver Rewards Programを、産業・業務顧客向けプログラムとしてCapacity Bidding Program (CBP)やEmergency Load Reduction Program (ELRP)など多数を導入しており、主に送電網レベルのイベントに対応する他、CBPなどは配電レベルでのイベントにも対応するものとして設計されている。

PG&EのCBPには14のアグリゲーターが参加しており、報酬はCon EdisonのReservationと同じく、容量(kW)に対するものと、イベント発動実績に応じたエネルギー(kWh)支払いの二つに分かれる。容量支払いはカリフォルニア州公益事業委員会(CPUC)の承認を得た価格を採用し、毎月変動する。イベントはISOであるCAISOの卸市場価格高騰時の他、各配電域の気温上昇が予想される際や、PG&Eが電源やシステム容量が適切でないと判断した際に発生する。

## 5.3 Rocky Mountain Powerの蓄電池プログラム

ユタ州などで電力小売りを手掛けるRocky Mountain Powerは、アグリゲーターを介さず顧客の蓄電池を自らが保有するDERMSを介して操作しピークシフトや系統電圧調整に使用する「Wattsmart Battery Program」をユタ州において展開している。顧客は、指定された4社15種の蓄電池を導入し4年以上の参加をコミットすることで、蓄電池導入時に600米ドル/kWの報酬を得ることができ、参加を続ける限り毎年15米ドル/kWの報酬を受け取ることができる。蓄電池の充放電は基本的にRocky Mountain Powerにゆだねられるものの、停電時のバックアップ電源としても働くように調整され、顧客はイニシャル・ランニングコストの補助を得ながらレジリエンスを向上させることができる。

## 5.4 Austin EnergyのEVプログラム

テキサス州の公営電力会社であるAustin Energyは、EVユーザーの充電時刻調整をUtility側で行う代わりにインセンティブをEV保有者に支払う登録型プログラム「Power Partner EV」を実施している。登録者は初年度に50米ドル/年、2年目以降は25米ドル/年の割引を電気料金より受けられる。

Austin Energyは電力需要が多い時間帯に参加者のEVの充電を停止もしくは遅らせることで系統の信頼性を確保する。ただし、EVユーザーはこの充電停止措置に対しペナルティなしで都度オプトアウトを選択することができ、EVの利便性を損なわないものとなっている。

## 5.5 APPALACHIAN POWERのスマート空調プログラム

バージニア州で電力小売りを手掛けるAPPALACHIAN POWERは、夏場のピーク時に系統混雑緩和を目的に家庭の空調温度を上げるなどUtility側が操作する代わりにインセンティブを支払うスマート空調保有家庭向けの登録型プログラムを実施している。参加者は初年度に50米ドルのe-ギフトカードを、翌年以降25米ドルのe-ギフトカードを受け取る。

## 6. 米国における料金体系の設計による混雑緩和

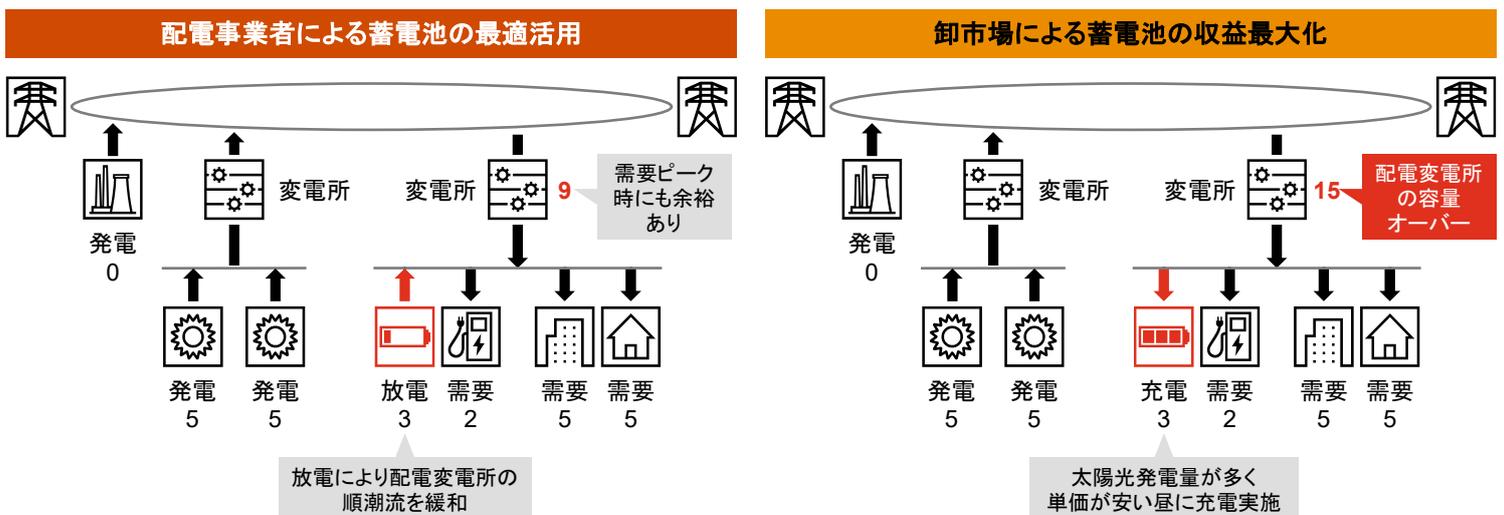
料金体系を通じた混雑緩和では、主にEVに対し夏場の需要ピーク時間帯をいかに避け充電してもらうか、という部分に焦点を当てる事例が多い。カリフォルニア州の大手ユーティリティでは、EV向けに時間帯別料金をアレンジしオフピーク時間帯の充電を促進する動きが活発化しており、San Diego Gas & Electric (SDGE)はCCA (Community Choice Aggregation)<sup>2</sup>利用者向けの配電プランではオフピーク時間が季節により変動する混雑を意識した料金を設定している。

Con Edisonでは家庭用EV向けプログラムSmartCharge New Yorkを実施している。これは、参加後3ヶ月目に25米ドル(／台 and 充電ステーション)のボーナスを与えつつ、深夜0時から朝8時の充電に0.1米ドル／kWhのボーナスを、夏季ピーク時間帯に一切充電を行わないことで35米ドル／月のボーナスを与えるというものである。別途、EVもしくは充電器のアプリ連携が必要となる。また、Con Edisonはこの商用向け版としてSmartCharge Commercialも展開しており、こちらは0時から8時までの充電に対するkWh価格ボーナスの他、変電所ごとに決められた所定の時間帯に充電を行わないことで年間を通じ毎月2～10米ドル／kw(公称容量ベース、季節に応じ変動)のボーナスが得られるという、配電系統ごとの混雑をより強く意識した設計となっている。

## 7. 配電網と送電網におけるフレキシビリティの配分

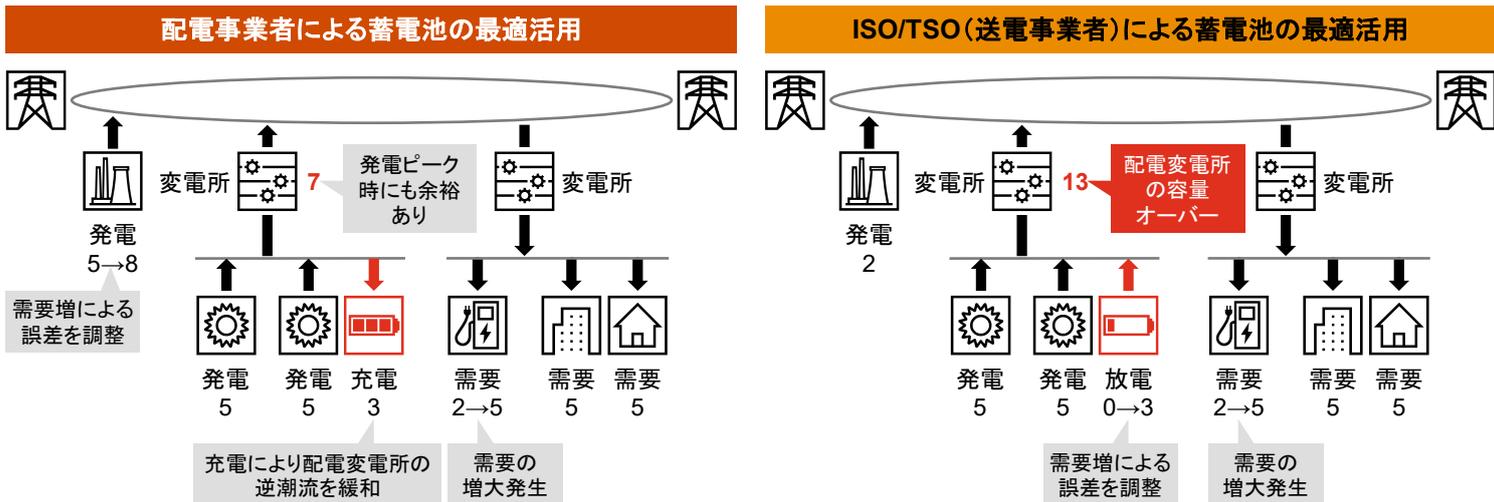
DERの活用に関しては、配電網に先駆け送電網・卸市場レベルにおいて既に広く進んでいる。例えば米国であればFERC(米国連邦エネルギー規制委員会) Order No.841で蓄電池などのエネルギー貯蔵設備に卸売電力市場への門戸を開放させ、その後2020年9月のFERC Order No.2222においてDERの卸市場参加をISOらに求めている。このような背景のもと、配電網においてもDERの活用を進めると、例えば図表1のように午後の需要ピーク時間帯において配電網最適化の観点と卸市場における収益最大化の観点で蓄電池の充放電運用が全く異なること、図表2のように太陽光発電ピーク時間帯において配電網の逆潮流緩和と送電網レベルでの需給調整目的で蓄電池の充放電運用が全く異なる状況が生じ得ることなど、配電網と送電網におけるDERの奪い合いなどのコンフリクトが生じ得る。しかしながら、米国においてこのコンフリクトをどう処理するかという課題については各セッションにおいてあまり語られなかった。

図表1: 需要ピーク対応と卸市場収益最大化の観点における蓄電池運用方法の比較



<sup>2</sup> 地方自治体等が代表して地域内の需要家向け電力を調達する仕組み。小売が自由化されていないカリフォルニアにおいても、州法で設立が認められている。CCAはUtilityの配電網を利用し、その配電業務をSDG&E Utilityに委託する。

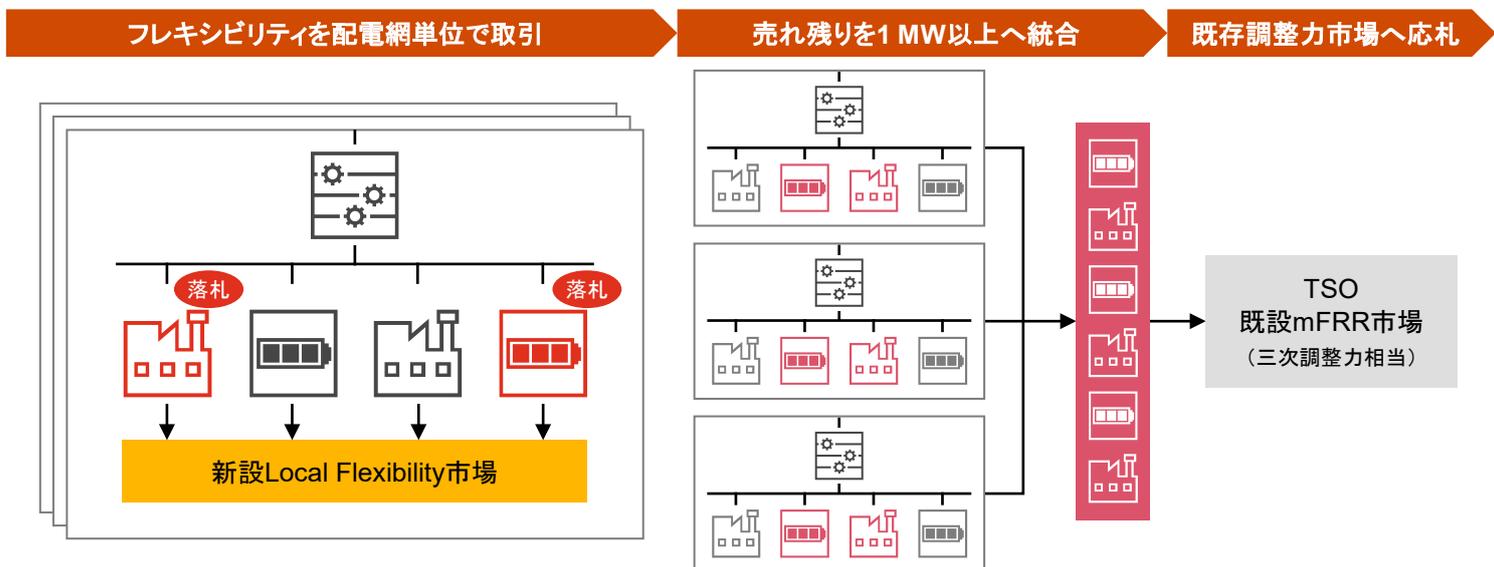
図表2: 太陽光発電ピーク時間帯における逆潮流緩和と需給調整における蓄電池運用方法の比較



一方、米国外ではDERの持つフレキシビリティの活用促進のため、英国や北欧、カナダにおいて、ISO/TSOとの連携を前提とした配電網向けフレキシビリティ市場の初期導入・実証が行われており、それらにおけるLessons Learnedが一部セッションでシェアされた。

北欧のノルウェーとスウェーデンにおいてそれぞれ別に行われた実証事例は、まず配電レベルのローカルフレキシビリティ市場においてフレキシビリティサービスプロバイダー(FSP)と配電事業者の間でフレキシビリティが売買され、そのうち配電事業者に買われなかったフレキシビリティが送電網向けの既存フレキシビリティ市場へ供出されるというものであった。フレキシビリティリソースの地理的許容範囲がより狭い配電網側で先に必要なフレキシビリティを確保しつつ、送電網向けにも一定量のフレキシビリティを供給できる。このうちノルウェーの実証ではローカルフレキシビリティ市場の最低入札規模を1kWとし、余剰分を既存送配電網フレキシビリティ市場へ供出する際に同市場の最低入札ブロックである1MWまでアグリゲートすることで、ローカル市場の入札量増加と既存市場との整合性を両立していた。

図表3: ノルウェーの配電網DERフレキシビリティ市場実証における送電網側市場との連携スキーム



カナダの実証事例は、配電事業者のみが買い手となるフレキシビリティ市場の取引を実需給面の2時間前まで行い、最後に既存送電網市場のルールに即するように調整を行う形式をStep1として実施し、今後はStep2としてISOと配電事業者が同時にフレキシビリティ確保を行う形式を実証する予定である。

また、ISO/TSOと配電事業者間のコンフリクト発生例として、英国においてTSOがフレキシビリティに対し配電事業者に比べ高い価格をオファーするため、配電事業者がTSOとのフレキシビリティ調達競争を行わなくなった事例が紹介された。既に混雑している配電系統のフレキシビリティがTSOにより調達され、本来配電事業者が(もし落札できていた場合に)企図していた調整方向と逆の調整をTSOが指示した場合、配電網の負荷が急激に高まってしまうことがある。こういった事態に対応するため、どのフレキシビリティを調達すれば配電網に負の影響を与えずに済むか判断できる情報をTSOへ提供することが重要であることがLessons Learnedとしてシェアされた。

欧州ではTSOと連携した配電網開発計画の最適化を「EU Action Plan for Grids」を通じ配電網事業者団体EU DSO Entityへ指示している。この中でEU DSO Entityは、TSO事業者団体であるENTSO-EやTSOおよび再生可能エネルギーなどのネットワークユーザーの関連代表者と緊密に連携し、2024年半ばまでに配電網開発計画改善のための推奨事項を発表するよう求められている。これには配電網～送電網間のDERフレキシビリティ活用最適化も含まれると推察され、さらなる議論の進展が期待される。

## 8. 日本への示唆

欧米の配電網に相当するレベルである日本のローカル系統では、再給電方式の導入が始まり、さらに市場原理の混雑緩和策としてノード制の検討が進んでいる。しかしながら、配電網レベルにおける方策についてはまだ広く議論が行われている段階である。経済産業省『次世代の分散型電力システムに関する検討会』においては、次世代スマートメーターおよび機器個別計測を通じた需給調整市場における低圧DERの活用、さらには混雑状況を加味した価格シグナルによる配電分野におけるDERの発電・需要誘致が今後の取り組みとして挙げられており、欧米と同様に金銭インセンティブを前提としたDER活用拡大に関する議論・取り組みの進展が今後期待される。

日本では小売と配電事業者が分離されているものの、配電事業者が小売事業者に対し価格シグナルを出すことで米国のDR活用方策の多くが日本においても活用可能であると考えられる。ディスアグリゲーション技術に関しては、追加の測定機器を用いてより詳細なディスアグリゲーションを行うような技術の導入も米国を中心に進んでいるものの、Hawaiian Electricの事例のように追加の投資や次世代スマートメーターの導入を待たずに広範なBTMの可視化が大まかでも可能であれば、配電網混雑緩和への早期貢献が実現できると考えられる。こちらも配電事業者単独ではなく、配電事業者がアグリゲーターと協力してフレキシビリティを確保することが基本的な方策となり、アグリゲーションが前提となる需給調整市場における低圧DER活用とともに推進されることを期待する。

また、配電網における価格シグナルと、英国の例で課題となっている上位の送電網とのコンフリクトについては、送電網と配電網の運営者が同じである日本においては比較的調整が行いやすい部分ではあるものの、配電事業制度を活用した新規参入の配電事業者との公平なフレキシビリティ分配方法について深い議論がなされることを期待する。



田中 啓  
Energy & Utility  
Manager

## お問い合わせ

### PwCコンサルティング合同会社

〒100-0004 東京都千代田区大手町1-2-1 Otemachi One タワー  
TEL : 03-6257-0700(代表)

<https://www.pwc.com/jp/consulting>

[www.pwc.com/jp](https://www.pwc.com/jp)

### PwCコンサルティング合同会社のご紹介

PwCコンサルティング合同会社は、経営戦略の策定から実行まで総合的なコンサルティングサービスを提供しています。PwCグローバルネットワークと連携しながら、クライアントが直面する複雑で困難な経営課題の解決に取り組み、グローバル市場で競争力を高めることを支援します。

### PwC Japanグループ

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwCコンサルティング合同会社を含む）の総称です。各法人は独立して事業を行い、相互に連携をとりながら、監査およびアシュアランス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、法務のサービスをクライアントに提供しています。

発行年月:2024年5月

© 2024 PwC Consulting LLC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](https://www.pwc.com/structure) for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.

03272405