

2.6 消費者はどのような協力ができるか

電力会社（系統運用者）は、時々刻々と変わる電力需要に合わせて、できるだけ経済的に発電機を運用し、電力を安定的に供給している。太陽光発電(PV)など出力が変動し、系統運用者が自由に出力を調整できない電源の割合が増えてくると、これまでの需要量に供給量を一致させるより、需要家が供給側と協力して、電気を使うタイミングをずらすなど、電気の使い方を工夫し、石油火力など費用の高い電気をできる限り使わずに電力支出を抑える手法、つまり、デマンドレスポンス（Demand Response, DR）が有効である。

2011年東日本大震災以降の電力供給不足に対し、需要側の節電やデマンドレスポンスなどの取組みが拡大している。こうした中、2000年頃からの電力自由化と電力危機を契機として、導入が進められてきた米国のデマンドレスポンスが、わが国においても注目され、一部のプログラムが導入されている。

これまで主に供給不足に対応するため、下げDR（ネガワット、図2.6.1）の普及が主な論点であったが、太陽光発電など気象に依存する変動電源が大量に連系してきたため、その余剰電力を有効活用し、出力抑制を回避できる上げDRや周波数調整にも使う上げ下げDRも重要である。

2016年4月から電力小売の全面自由化がスタートし、消費者も従前に増して、電力価格や供給者選択などを通して電力部門への関心が増している。スマートメータの設置が進み、自らの電力の使い方も確認できるようになりつつある。

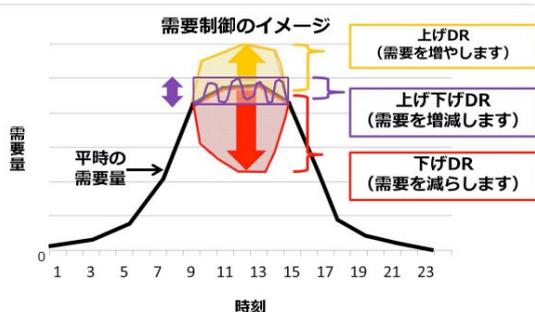
他の節でも議論されている太陽光発電(PV)や風力発電等の再生可能エネルギー電源導入拡大、電力市場の活用に加えて、

今後の電力システムの姿を変革させる大きな要因として、消費者（需要家）の積極的な参画に焦点を当てる。需要家選択肢の拡大（電力の小売自由化）、再生可能エネルギー電源の普及や需要家のプロシューマ化（自家発や蓄電池の保有）は、相互に結び付いており、現在の電力系統の技術的制約および制度的制約をブレークスルーするため、規制当局および電気事業者は、ITを活用したスマートグリッド化を進めている。家庭用需要家の電力消費は小規模であるが、アグリゲーター（電力需要の集約）を通じて、電力取引に参加することも可能になる。

需要家設置の蓄電池や電気自動車など需要側資源（需要家リソース）の活用を有機的に統合することが変動電源大量連系時の一つの解決策と考えられる。PVなど出力変動の大きな電源（変動電源）の大量導入は、既存の電力系統の需給バランスに大きな影響を及ぼすことが懸念され、変動電源導入が先行する欧州やアンシラリーサービスの電力市場化を拡大させている米国では、系統運用に不可欠な予備力や周波数調整などアンシラリーサービス（系統運用サービス）の供給源として需要側資源の活用が始まりつつある。

需要家に設置されたPVの発電出力や需要家の電力使用量を制御するためには、十分に高速な情報処理と通信の技術が求められ、通信インフラや通信方式の適切な選択とコストの検討が必要である。また、電力需要家の設備を情報通信によって制御できる仕組みが導入されると、需要家および電力供給の安全のため、サイバーセキュリティ対策も極めて重要となる。

我が国では、ネガワット取引の実証事業、経済性評価を踏まえて、2017年度から仮想発電所や予備電源として、需要側資源の本格的な活用が始まったところである。



種類	概要
上げDR	<ul style="list-style-type: none"> DR発動により電気の需要量を増やします。 例えば、再生可能エネルギーの過剰出力分を需要機器を稼働して消費したり、蓄電池を充電することにより吸収したりします。
上げ下げDR	<ul style="list-style-type: none"> DR発動により電気の需要量を小刻みに増やしたり減らしたりします。 送電線に流れる電気の量を微調整することで、電気の品質（=周波数）を一定に保ちます。
下げDR (本ハンドブック の主な対象)	<ul style="list-style-type: none"> DR発動により電気の需要量を減らします。 例えば、電気のピーク需要のタイミングで需要機器の出力を落とし、需要と供給のバランスを取ります。 ※事前の契約に基づいて行うものは、「ネガワット取引」とも呼ばれています。

図 2.6.1 デマンドレスポンスの種類

（出典：経済産業省「ディマンドレスポンス（ネガワット取引）ハンドブック」, 2016年12月）

3.6 電力システム運用における需要側資源の活用

3.6.1 はじめに

今後の電力システムの姿を変革させる大きな要因は、太陽光発電(PV)や風力発電等の再生可能エネルギー電源導入拡大⁽¹⁾、規制改革・電力市場の活用⁽²⁾、そして需要家の積極的な参加(active participation)⁽³⁾である。これらの要因は相互に結び付いており、現在の電力システムの技術的制約および制度的制約をブレークスルーするため、規制当局および電気事業者は、既存システムのスマートグリッド化を進めている。出力変動の大きな電源(変動電源)の大量導入は、既存の電力システムの需給バランスに大きな影響を及ぼすことが懸念され、変動電源導入が先行する欧州やアンシラリーサービスの電力市場化を拡大させている米国では、予備力や周波数調整などアンシラリーサービス(システム運用維持サービス)の供給源として需要側資源(demand-side resources)の活用が始まりつつある。さらに、米国においては、変動電源の出力予測誤差に対応するため、ISO/RTO(独立系統運用者/地域送電機構)によるシステム柔軟性(system flexibility)確保のための新しいサービスの設計・開発が進みつつある。

給電指令に対する応答性の優れた蓄電池の導入や負荷追従性の高い電源の導入など系統側の対策とならんで、需要家設置の蓄電池や電気自動車など需要側資源(あるいは分散型エネルギー資源とも称す)の活用を有機的に統合することが変動電源大量連系時の一つの解決策と考えられる。

「安全・安心社会の電気エネルギーセキュリティ特別調査専門委員会」は、再生可能エネルギー大量導入に向けた技術課題とデマンドレスポンス(DR)と需要側対策を調査項目にあげており、再生可能エネルギー大量導入に伴う電力需給バランス問題への対策としての需要側対策に焦点を当てた「再生可能エネルギー大量導入に向けたデマンドレスポンスと需要側対策技術作業部会」(デマンドレスポンス WG 主査は筆者)を2013年に設置し、2015年9月まで活動した。主にDRやエネルギーマネジメントシステムのシステム分析、制御技術、通信技術等に関わる専門家(電力中央研究所、東京都市大学、東京農工大学、早稲田大学、日本電気、NTTコミュニケーションズ、アズビル、サイバーディフェンス研究所、他)で委員を構成し、欧米のDRアグリゲータからの聞き取り調査や関連設備の見学を行った。

米国では予備力供給などにFast DR(高速デマンドレスポンス)実装が進みつつある。日本、米国、欧州における卸電力市場・小売市場の現状を整理した上で、各国におけるDR、需要側資源を電力システムに統合する取り組みを重点的に調査した。DRに関連して下記の観点で詳細な調査を行った。

- 需要家自身が応答するDR
- 自動DR(Slow DR, Fast DR)
- DR実施に必要な機器・技術
- 関連する標準化(国内、国際)
- サイバーセキュリティ

- DR市場化に必要な制度・政策

本稿で、主な調査結果と検討中のDRポテンシャルを紹介する。

3.6.2 需要側資源の活用

米国では、アグリゲータ等の新たなプレイヤーやさまざまなスマートグリッド技術を活用しながら、電力貯蔵やデマンドレスポンスなどの分散型エネルギー資源を電力市場に組み込み、系統運用に役立てる制度が展開されるであろう。NERC(北米信頼度協議会)によると、現在、給電指令可能なデマンドレスポンスの容量(全米)は46GWに達するが、2022年に59GWまで増加していくことが期待されている。特にNPCC,MISO,PJMの各地域ではピーク負荷の8%以上を占め、本格的に需要側資源が活用されている。

北東部の主要なISO/RTOは、2006年頃から、従来の発電機に加え、需要側資源が経済的であれば、アンシラリーサービス供給に参加させる試みを始め、現在では、北東部に加え、テキサス州やカリフォルニア州でも実プログラムが導入されている(表3.6.1, FR, RCは後述)。これらをアンシラリーサービス型デマンドレスポンスと称する。北米で風力発電など出力予測誤差のある変動電源の割合が増えると、従前以上に予備力や周波数調整能力を確保する必要が出てくる。カリフォルニア州では、ISOではなく、電力会社やアグリゲータが実施している(表中、△で表記)。系統運用者から需要家ないしは、DRアグリゲータへの通告時間が短く、電力システムの信頼度を維持するために、自動的かつ迅速に(概ね10分未満で)応答する必要がある場合、高速デマンドレスポンス(Fast DR)とも称される。

最も先駆的に需要側資源を参加させているPJMでは、同期予備力(10分瞬動予備力)に参加している資源の容量は、320MW(122サイト)に達する。また、実時間応答を必要とするレギュレーションサービスに参加している需要側資源の能力は10MW(29サイト)である。2014年冬季の荒天時に、停電が起きそうな状況で、PJMが必要な予備力を確保するために、数百万kWの負荷削減が達成され、正に安全・安心社会のための電力供給に寄与している。

もう一つの特徴は、系統運用者のDR活用提案と実施により、規制当局FERCが指令(例:FERC Order No. 745)を出し、提案されたDRプログラムが制度化されていくというフィードバックループができてきていることである。我が国もイン

表 3.6.1 米国電力市場におけるデマンドレスポンス

ISO/RTO	PJM (北東部)	CAISO (加州)	MISO (中西部)	ERCOT (テキサス州)
需要規模 [MW]	163,848	46,847	98,526	68,305
DR 使 用の 有無				
リアルタイム市場	○	△	○	○
一日前市場	○	△	○	○
アンシラリーサービス市場	○	△	○	○
容量市場	○	×	×	×
再生可能エネルギーの 電源容量比率	5%	18%	14%	15%
新たな予備力	-	FR	RC	-

センティブ型 DR 実証事業に見られるように、数年遅れでこのトラックに乗り始めたところである。

また、欧州においてもフランスやベルギーなどで DR アグリゲータが事業を行っている。例えば、2013 年 4 月に季節外れの寒波がフランスを襲った時、急激な需要増と原子力発電所定期点検に伴う供給力不足に対して、系統運用者 RTE は、産業用 DR を発動して、最大 505MW の負荷削減を実施した経験をもつ。事業者によると、必要な需要調整量を確保しておくのに最も重要なことは、負荷の中身を熟知し、最適な需要ポートフォリオを形成することである。

3.6.3 情報通信およびサイバーセキュリティに関する技術検討課題

需要家に設置された PV の発電出力や需要家の電力使用量を制御するためには、十分に高速な情報処理と通信の技術が求められ、通信インフラや通信方式の適切な選択とコストの検討が必要である。また、電力需要家の設備を情報通信によって制御できる仕組みが導入されると、サイバーセキュリティ対策も極めて重要となる。米国において産業制御システムのためのサイバーセキュリティ事案の対応を行っている ICS-CERT のレポート⁽⁴⁾によると、2014 年度の 1 年間に ICS-CERT に連絡があった事案のうち、エネルギー分野の件数が 32% を占めている。エネルギー分野には、石油・ガス・電気事業などが含まれる。スマートグリッドではサイバーセキュリティ分野の標準化が進められており⁽⁵⁾、デマンドレスポンスも対象に含まれている。

デマンドレスポンスの普及に向けた情報通信およびサイバーセキュリティにおける技術検討課題を、システムを構成する設備ごとに分類した(表 3.6.2)。制御の対象となる設備、そのバックグラウンドで動作するサーバシステム、両者をつなぐ情報通信ネットワーク、またデマンドレスポンスを実施する新電力事業者・アグリゲータ事業者の 4 つの視点から課題を整理した。

(1) 制御対象設備 デマンドレスポンスによって制御の対象となる設備においては、次のような課題が考えられる。

(a) 発電設備や負荷設備の稼働状況を系統運用者がリアルタイムに把握する仕組み 多数の発電設備の発電量や、

負荷設備の電力使用量等の大量のデータを、系統運用者へほぼリアルタイムに共有できるシステムを低コストで効率的に構築する必要がある。また、太陽光や風力等の発電量の余剰に備え、効率的な遠隔出力制御の方式を確立し、パワーコンディショナ等の関連機器にも機能を装備する必要がある。

(b) 相互接続性の確保 個々の設備の電力使用量や発電量を把握するには、各設備の監視情報を収集するため、データの送受信が容易にできるように、通信プロトコルやデータ形式を標準化しておくことが望ましい。3.6.4 節で実際の取り組み状況を述べる。

(c) 通信切断時の独立運転の仕組み インターネットを使用して通信する場合は、電話や専用線に比べて通信品質が低く、通信がつかなくなることも想定する必要がある。大規模災害時には、通信ケーブルや無線基地局等の破損あるいは停電により、通信が途絶することもある。通信途絶時にも、各機器が安定的に振る舞い、可能な限り電力品質を維持できるように設計しておく必要がある。

(d) 制御システムセキュリティ対策 制御用機器の設定情報やソフトウェアが不正に書き換えられると、異常なデータの送受信や通信妨害が起こる可能性があり、電力品質の低下やシステム全体の機能不全の恐れもある。このようリスクを減らすためには、接続する通信機器やシステムにセキュリティ対策を施す必要がある。一定以上の水準のセキュリティレベルを保証する方法や、改ざんやなりすましを防ぐ認証・暗号方式の採用、改ざんを検知し機器をシステムから切り離す仕組み等の検討が求められる。

(2) サーバシステム 制御の対象となる設備のバックグラウンドで動作するサーバシステムにおいては、次のような課題が考えられる。

(a) 発電量・使用量・デマンドレスポンス効果の正確な予測 電力需給制御を安全確実に行うためには、発電量や使用量、デマンドレスポンスや出力制御の効果等を正確に予測する必要があるが、太陽光や風力の発電量は、設備数や日射・風況により変動するため、正確な予測は困難である。そのため、今後は、ビッグデータ解析や機械学習等の技術を活用して、発電量を高精度に予測できるノウハウを蓄積していく必要がある。

表 3.6.2 情報通信およびサイバーセキュリティに関する技術検討課題

分類	必要となる対策・技術
制御対象設備	(1) 発電/負荷設備の稼働状況を系統運用者がリアルタイムに把握する仕組み (2) 相互接続性の確保 (通信プロトコル・データ形式の標準化など) (3) 通信切断時の独立運転の仕組み (4) 制御システムセキュリティ対策 (機器認証, 改ざん防止など)
サーバシステム	(1) 発電量・使用量・デマンドレスポンス効果の正確な予測 (2) データ量の変動に応じたコンピュータリソースの自動最適化 (3) データの漏えい・改ざん防止対策 (匿名化, 断片化など) (4) 情報システムセキュリティ対策 (情報の暗号化, 侵入防止・検知など)
情報通信ネットワーク	(1) 大量データの圧縮・間引き技術 (2) 通信回線のデリバリ・契約管理・ユーザ認証方法 (3) 災害復旧時などに急増するトラフィックや回線輻輳時の対応 (4) サイバー攻撃対策 (インシデント自動検知, 回線自動切断など)
新電力事業者・アグリゲータ事業者	(1) 各社システムの相互接続性の確保 (通信プロトコル, データ形式の標準化など) (2) 情報システムセキュリティ対策 (機器認証, 情報の暗号化など)

(b) データ量の変動に応じた計算機資源の自動最適化
 デマンドレスポンスの発動頻度は、気象条件や時間帯によって異なるため、データ通信量や情報処理量も大きく変動する。データ量が最大の時に必要となるシステムを常に確保しておくにはコストがかかるため、クラウドコンピューティング等の技術を活用し、必要な資源をリアルタイムに割り当てるような仕組みが考えられる。

(c) データの漏えい・改ざん防止対策
 デマンドレスポンスシステムで扱う情報には、系統設備に関する情報や各需要家の契約情報、電力利用情報、個人情報、インセンティブ支払情報など、機密情報や、改ざんされると社会全体に損害を与える情報が含まれる。データの匿名化・暗号化・断片化等の方法で、万一データが流出しても被害を最小化できることが望ましい。

(d) 情報システムセキュリティ対策
 デマンドレスポンスの安定運用を担うサーバシステムでは、システムダウンを防ぐよう冗長構成をとる必要がある。また、情報の暗号化、不正アクセス防止、インシデントの検知と迅速な対処等のセキュリティ対策が必要である。

(3) 情報通信ネットワーク
 制御対象設備とそれを支えるサーバシステムとをつなぐ情報通信ネットワークにおいては、次のような課題が考えられる。

(a) 大量データの圧縮・間引き技術
 センサデータ等をすべてサーバに送信すると、データの通信量や蓄積量も膨大となりコストが増大するため、データの間引きや圧縮といった情報処理機能を各機器に持たせ、値が大きく変化した時やサーバシステムからリクエストがあった時だけデータを送る等、通信量を抑制する等の工夫が求められる。

(b) 通信回線のデリバリ・契約管理・ユーザ認証方法
 膨大な数の通信回線や通信機器の工事、契約者管理、認証、課金請求等の業務を効率化し、契約者の転居や装置の廃棄等にも簡単に対応できるようなサービスが望まれる。

(c) 災害復旧時などに急増するトラフィックや回線輻輳時の対応
 災害等で通信ネットワークが一時的に途絶した後の復旧時にすべての機器から一斉にデータが送信されると、通信ネットワークやサーバシステムに大きな負荷がかかるため、データ通信量を平準化する機能が求められる。また、回線輻輳時でも重要な通信はできるよう、優先データ伝送の仕組みも考えられる。

(d) サイバー攻撃対策
 膨大な数の情報通信機器のサイバーセキュリティを制御対象設備の所有者が常時監視することは、実際には非常に難しい。例えば通信事業者等が、セキュリティインシデントの発生を検知し、感染した端末機器をシステムから切り離すといったセキュリティ対策の実施が考えられる。

(4) 新電力事業者・アグリゲータ事業者
 デマンドレスポンスを実施する新電力事業者・アグリゲータ事業者においては、次のような課題が考えられる。

(a) 各社システムの相互接続性の確保
 効率的に低コストでデータを送受信できるよう、デマンドレスポンスを提

供する事業者の通信機器では、通信プロトコルやデータ形式を標準化しておくことが望ましい。

(b) 情報システムセキュリティ対策
 相互接続する事業者のどこか1カ所でも脆弱性があれば、サイバー攻撃者が侵入して電力系統全体がダメージを受ける可能性がある。一定以上の水準のサイバーセキュリティを保てるよう基準を設けるなどの方策が求められる。

3.6.4 自動デマンドレスポンスシステムとインセンティブ型デマンドレスポンス実証試験

デマンドレスポンスを広範にかつ効率的に実施するためには、電気事業者とアグリゲータや需要家の情報連携の自動化とそのための通信規約やインタフェースの標準化が重要である。経済産業省スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会に設置された DR-TF において、米国の自動デマンドレスポンスの標準通信規格である Open ADR をベースにした国内標準プロトコルが検討された。2014 年に日本版 ADR 手法が提案され、電力システム改革小委員会で議論された DR とネガワット取引を実施するための技術実証（早大—4 地域実証、横浜市、豊田市、けいはんな、北九州市）が行われた（図 3.6.1）⁶⁾。

DR の活用領域を従前の夏季ピークカットだけでなく、アンシラリーサービスや経済代替活用まで拡大することを念頭に、平成 25 年 12 月～平成 27 年 3 月の期間で経済産業省資源エネルギー庁実証事業として、DR 事業者（アグリゲータ）と東京電力がインセンティブ型 DR 実証を実施した。DR 発動から実負荷抑制までの時間や削減量の有効性等を検証し、DR の価値を評価した。当該実証を通じて、今後の DR 市場の姿を示すことで、海外事業者も含めた DR 事業者の支援、ビジネス環境整備の促進を目的としている。

国内外 6 社の DR アグリゲータ合計のアグリゲータ需要家数は 500 件以上、調整容量は約 110MW にて実施し、全事業者で「通告～調整まで」が 1 時間未満のインバランス領域での DR 発動も実施した。

負荷調整方法としては、自動遮断・制御等による特定負荷の制御や自家発電の制御による調整、ならびに蓄電・蓄熱等

4地域実証	横浜市	豊田市	けいはんな	北九州市
対象	ビル7棟 集合住宅7棟	住宅52棟 + HEMS連携4棟	住宅14棟 ビル3棟 EV100台	住宅225棟 事業所49棟
DR種別	インセンティブ型	電気料金型	インセンティブ型	
前日告知	✓	✓	✓	✓
粒度	1時間単位	日単位	30分単位	日単位
DR番号種別	時間帯指定の抑制値(kW)	抑制値のみ(3段階の抑制レベル)	30分毎指定の抑制値(kW)	・2段階の料金レベル ・地域全体の削減目標値(kW)
DR発動実績(迄)	2014/1月	2014/2月	2013/12月	2014/2月
DR発動実績(26年度)	2015/1月	2014/9月	2014/8月	2014/8月-11月

早大給電指令所からの発動

図 3.6.1 4 地域 DR 実証の対象と信号種別⁶⁾

(出典：自動デマンドレスポンス～国際標準規格と実証試験の取り組み～、電気評論、2015 年 9 月)

を活用した自動運転制御による調整を用いた。実証では、東京電力の操作者が週単位で発動スケジュールを統合DRAS(Demand Response Automation Server)に登録し、平成26年度は合計159回の自動DR発動を実施した。

さらに、平成27年度はネガワット取引を対象とした「エネルギーマネジメントシステム構築に係る実証事業」が行われた。本事業では、需要削減を発電と等価な資源として相対契約や市場を通して取引することを想定して、ネガワット取引と称している。アグリゲータ21社が事業者として採択されており、一般電気事業者3社（東京、関西、中部）との間でネガワット取引の実証を行っている。本事業の目的は、資源エネルギー庁が策定した「ネガワット取引に関するガイドライン」に定めたネガワット量を確定するためのベースラインの決定と測定方法等の妥当性の評価、国内のネガワットポテンシャルの推計である。

3.6.5 Fast-DRのための制御対象機器と制御システム

(1) 需要家機器のFast-DR適用ポテンシャル Fast-DRでは、制御対象機器の特性として、①高速な応答や②制御できる電力量の連続性が求められ、且つ、機器の制御に対する受容性として、需要家の利便性や快適性の維持を考慮した上での③制御時間の融通性や④制御できる電力量の柔軟性が求められる。しかし機器によっては、応答性の悪い機器や、スイッチのOn/Offしかできず②を満足するためには複数の機器を束ねて制御する等の工夫が必要な機器がある。また、利用できる時間に制約がある機器や、利用できる電力量に制約がある機器もある。一方で蓄電池のように単体で、上記要求①～④を満足する機器もある。以下では、上記①～④の要求について、その重みをほぼ等しいと仮定した上で、要求条件の充足度をもとに、各種機器のFast-DR適用ポテンシャルを検討した。検討にあたっては、これまでに報告されている需要家機器の周波数制御等に関する研究を参考にした⁽⁷⁾⁻⁽¹⁵⁾。Fast-DRのアプリケーションとして、調整力(Regulation)と予備力(Reserve)を想定し、各種機器の適用ポテンシャルを、要求①～④を満足するか否かで整理した(表3.6.3)。ここでは、自家発電機、PV等の分散電源はDR対象外とした。

調整力は、電力系統における平常時の電力需給バランス変動に対応するもので、ガバナフリーや負荷周波数制御(LFC)

に相当するアプリケーションである。秒～分程度の応答性が求められ、DR契約の最低時間単位を考慮すると時間程度以上の継続性が必要であり、電力需要制御機能としては“需要の増減”が求められる^{(16),(17)}。本アプリへの高い適用性が期待できる機器は、要求条件①～④を満足する“蓄電池”である。次に適用性が高いものは、③に難がある“電気自動車”であり、①と②に難がある“HP(ヒートポンプ)給湯機”や、①②に加えて④の出力可変幅を大きくできない“空調機器”が続く。ただし、空調機器は、産業用から家庭用まであらゆる需要分野にあり、国全体での普及規模が大きく、調整力としてのポテンシャルは大きい⁽²⁰⁾。

予備力は、系統事故等の緊急時に備えて常時用意しておかなければならない機能であり、瞬動/運転/待機予備力に相当するアプリケーションである。求められる応答性としては、瞬動予備力の秒から、運転予備力の十数分程度である。また、求められる継続性としては、瞬動予備力の十数分や運転予備力の時間程度以上が必要である。電力需要制御機能としては“需要の減少”が求められる^{(16),(17)}。よって実際のDRでは、機器をOffする、若しくは、蓄電池の充電停止や放電が行われる。本アプリへも“蓄電池”が最も適しており、次に“電気自動車”や“HP給湯機”が該当する。これらに比べて“空調機器”は、利便性や快適性を損なわない範囲でのみ機器をoffできることから、やや適用性が劣る。

このように、Fast-DRで想定される“調整力”、“予備力”といったアプリケーションに対して、総合的に最も高い適用ポテンシャルを有する機器は“需要家側の蓄電池”であり、“電気自動車”も有望と考えられる。

(2) 制御システム 次に、Fast-DRを実施する制御システムについて、最も適用ポテンシャルの高かった需要家側の蓄電池を例として、調整力への適用を想定して説明する。制御システムの類型を図3.6.2に示す。大きく、集中型、分散型、そして集中・分散協調型に分類することができ、その特徴は、制御に必要な通信コスト、制御の信頼性、蓄電池群全体の制御の最適化可能性、制御可能な蓄電池の数に対するスケラビリティ、システムとしての制御の応答性、などの観点で捉えることができる。

集中型の制御システムは、中央サーバが制御対象の複数の蓄電池全体へ一括して制御信号を送信し、個々の蓄電池を制御するシステム形態であり⁽⁷⁾⁻⁽¹⁰⁾、横浜スマートシティプロジェクトにおける蓄電池SCADAが代表例として挙げられる⁽¹⁹⁾。電力系統における自営網のような高信頼・高セキュリティな通信を前提とすれば、制御の信頼性は高くなるが、インターネット等を利用する場合、信頼性に懸念が出る。制御対象の蓄電池群全体の制御最適化も可能であるが、サーバからの制御の周期 T_1 と蓄電池個々の制御の周期 T_0 が等しいため、周期 T_1 で最適化を行うためには計算コストが高くなり、制御可能な蓄電池の“数”に関するスケラビリティは低い。また、通信遅延の影響を直接受けるため、制御応答性は低い。

分散型の制御システムは、中央サーバに対し、個々の蓄電池が独立して制御を実施するシステム形態である⁽⁵⁾⁽⁶⁾。蓄電

表 3.6.3 各種需要家機器のFast-DR適用ポテンシャル

サービス	調整力				予備力			
	①	②	③	④	①	②	③	④
概要	秒～分程度の応答性、時間程度以上の継続性、が必要な平常時の不規則な電力需給変動への対応				秒～十数分程度の応答性、十数分～発電機の起動に必要な時間程度以上の継続性、が必要な緊急時の電力需給変動への対応			
必要な機能	需要の増減				需要の減少			
評価項目	①	②	③	④	①	②	③	④
蓄電池	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
電気自動車(EV)	✓	✓		✓	✓	✓		✓
HP給湯機			✓	✓	✓	✓		✓
空調機器			✓		✓	✓		

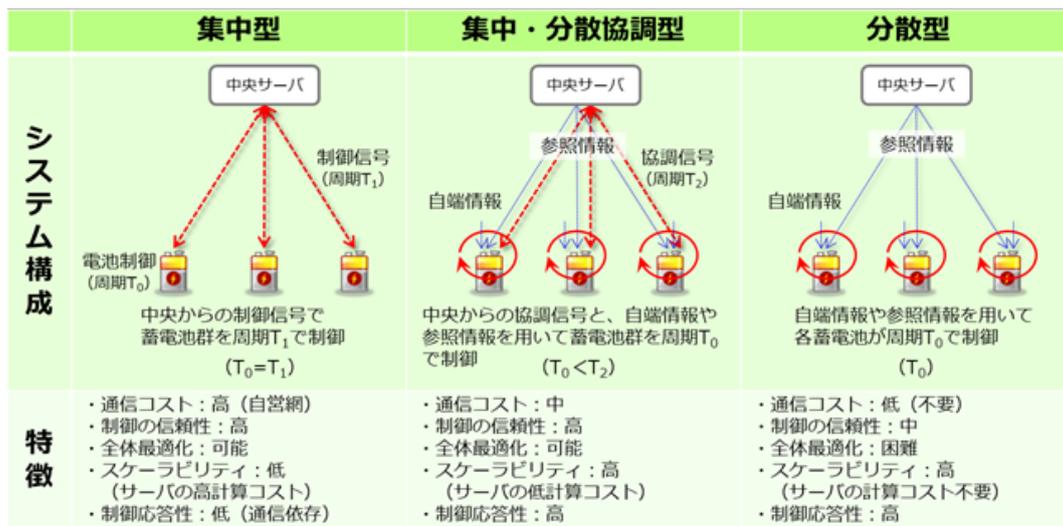


図 3.6.2 Fast-DR のための制御システム類型

池個々がローカルの制御アルゴリズムに基づき、自端で計測する周波数等の情報や、中央サーバから送られる LFC 信号等の参照情報に応じて制御を実施する。通信依存性が小さいため、通信コストを低く抑えられるが、集中型に比べて制御信頼性は低く、蓄電池群全体の最適化は難しい。但し、スケーラビリティは高く、制御応答性も高い。

集中・分散協調型と分類できる制御システムが最近報告されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。中央サーバからの長周期 T_2 の協調信号と、蓄電池個々が自端で計測する周波数や LFC 信号等の参照情報を用いて、短周期 T_0 で制御を実施する形態である。蓄電池群全体の制御最適化が可能であり、制御の応答性も高く維持することができる。最適化情報を、例えば十数分程度以上の長周期の協調信号として配信すればよいため、最適化処理に必要な計算時間を確保でき、制御可能な蓄電池の“数”に関するスケーラビリティも高い。協調信号の配信で通信エラーがあっても再送できる時間的余裕があるためインターネットの利用も可能であり、通信コストの低減も期待できる。各蓄電池の制御状態の把握も可能であり、高い制御信頼性が期待できる。

なお、予備力・調整力についてみると、平成 29 年度調整力電源の中で稀頻度リスク対応電源 I' として、デマンドレスポンス資源が 95.8 万 kW を落札した。さらに 29 年度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 (VPP) 構築実証事業においては、電源 I-b 相当の調整力供給の実証実験が計画されている。電力システムに分散して存在するエネルギーのリソース（ダイヤモンドレスポンス制御機器、電気自動車等）をアグリゲート（統合制御）し、あたかも一つの仮想発電所のように機能させるリソースアグリゲーターの活用が提案されている。

3.6.6 おわりに

変動電源導入拡大と電力市場の高度化が進む中、系統運用者から需要家へのデマンドレスポンス信号による需要側資源

の系統運用への積極的な関与が進みつつある。国内外で、幅広い需要側資源の本格活用が始まっている。供給不足時や変動電源連系時の電力システムの信頼度維持に役立つことを目指し、正に電気エネルギーセキュリティに貢献することがデマンドレスポンスと仮想発電所の役割である。

謝辞： 本稿執筆に協力いただいた境野哲氏（NTTコミュニケーションズ株式会社）、木内舞氏（株式会社サイバーディフェンス研究所）、吉永淳氏（早稲田大学）、工藤耕治氏（日本電気）、太田豊氏（東京都市大学）、池上貴志氏（東京農工大学）の各 WG 委員に感謝します。

参考文献

- (1) 浅野浩志, 特集解説「出力変動電源の系統連系技術」, 電学論 B, 132 巻, 4 号, 2012 年 4 月, pp.297-300
- (2) 浅野浩志, 電力規制改革の国際動向と今後の展望, 電気学会誌, 135 巻, 6 号, pp.364-365, 2015 年 6 月
- (3) 浅野浩志, デマンドレスポンスによる需給安定化, 電気学会誌, Vol.132, No.10, 2012 年 10 月, pp.688-691
- (4) National Cybersecurity and Communication Integration Center, Department of Homeland Security: “ICS-CERT Year in Review 2014” (2014) https://ics-cert.us-cert.gov/sites/default/files/documents/Year_in_Review_FY2014_Final.pdf
- (5) 嶋田文裕:「スマートグリッドのサイバーセキュリティ標準化動向」電気学会論文誌 C, Vol. 133 No.3, pp.558-561, 2013 年 3 月
- (6) 林泰弘, 自動デマンドレスポンス ～国際標準規格と実証試験の取り組み～, 電気評論, 2015 年 9 月
- (7) 入江寛, 横山明彦, 多田 泰之: 大容量風力発電導入時における需要家ヒートポンプ給湯器と蓄電池の協調による系統周波数制御, 電学論 B, 131(9), 747-755, (2011).
- (8) 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦: 系統周波数変動抑制のための電気自動車群の使用者利便性を考慮した SOC 同期制御手法, 電学論 B, 132(1), 57-64, (2012).
- (9) 益田泰輔, 清水浩一郎, 横山明彦: 大量の再生可能エネルギー電源が導入された電力システムにおける多数台のヒートポンプ給湯機と電気自動車を利用した負荷周波数制御, 電学論 B, 132(1), 23-33, (2012).
- (10) 菊池広典, 浅野 浩志, 坂東 茂: 再生可能エネルギー電源大量連系時の業務用空調機電力制御による負荷周波数制御, 電学論 B, 135(4),

- 233-240, (2015).
- (11) 太田豊, 谷口治人, 中島達人, K. Liyanage, 清水浩一郎, 益田泰輔, 馬場旬平, 横山明彦: ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの周波数制御への効果, 電学論 B, 131(1), 94-100, (2011).
 - (12) Y. Ota, H. Taniguchi, J. Baba, and A. Yokoyama, "Implementation of Autonomous Distributed V2G to Electric Vehicle and DC Charging System", Electric Power Systems Research, Vol.120, pp.177-183 (2015-03)
 - (13) H. Sakuma, R Hashimoto, H Yano, A Vichweider, K Kudo, "Novel Demand Response Scheme For Frequency Regulation Using Consumers' Distributed Energy Storages," 2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Washington DC (2014)
 - (14) 橋本龍, 佐久間寿人, 矢野仁之, 工藤耕治: "需要家側蓄電池の仮想統合制御によるアンシラリー・デマンドレスポンス", 平成 27 年電気学会全国大会, 6-223 (2015)
 - (15) PJM 2014 Load Response Activity Report.
 - (16) PJM, "PJM Manual 11, 12"
 - (17) ERCOT Concept Paper, "Future Ancillary Services in ERCOT" (2013-09)
 - (18) CAISO Draft Final Proposal Flexible Ramping Product 2014.
 - (19) 平成 26 年度次世代エネルギー・社会システム実証事業 成果報告書, "CEMS② (蓄電池 SCADA) 実証", 一般社団法人新エネルギー導入促進協会, http://www.nepc.or.jp/topics/2015/0330_1.html (2015-03)
 - (20) 電力中央研究所報告 Y13030(2014)