

アンシラリーサービス型デマンドレスポンスの日米における取組み状況

Current status of utilization of demand resources for ancillary service in Japan and the U.S.

キーワード：デマンドレスポンス，アンシラリーサービス供給，空調負荷

坂東 茂

周波数調整や瞬動予備力といったシステムを安定に運用するためのアンシラリーサービスは、現在主に火力発電や水力発電によって供給されている。将来、不確実な出力特性を持つ再生可能エネルギーが電力システムに大量連系されると、アンシラリーサービスの必要量が增大する可能性がある一方で、火力発電の発電比率の減少により供給量が減少してしまうことが懸念される。これらの問題を解決するために蓄電池や再生可能エネルギーからのアンシラリーサービス供給が検討されているが、系統安定化コストは従来以上になると予想され、社会コストを最小化するためには電力消費機器等の需要側資源を活用する等、供給資源の選択肢を増やすことも重要である。本稿では、米国で先行する需要側資源を用いたアンシラリーサービス供給(ASDR)の現状や、日本におけるASDRの現状の取組みについても紹介し、今後ASDRを展開する上での課題について述べる。

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 需要側資源を用いたアンシラリーサービス <ol style="list-style-type: none"> 2.1 対象とするアンシラリーサービス 2.2 活用が検討されている需要側資源 2.3 需要側資源を用いたアンシラリーサービス供給による蓄電池容量代替効果の試算方法 3. 米国の市場における需要側資源のアンシラリー | <ol style="list-style-type: none"> サービス供給の導入状況 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 需要側資源の周波数調整への活用状況 3.2 需要側資源の予備力供給への活用状況 3.3 需要側資源をアンシラリーサービス供給源として日本に適用する際の留意点 4. 日本における ASDR の状況 5. おわりに |
|---|--|

1. はじめに

再生可能エネルギー電力の固定価格買取制度（FIT）の導入により太陽光発電（PV）の大量連系が進む中、予測困難な変動出力に対して系統運用上の対応が迫られている。平常時の周波数調整・瞬動予備力等のアンシラリーサービス供給は、現在、火力発電・水力発電等が中心的に担っているが、日本の電力供給システムをめぐる環境としては、

- ・人口の減少及び省エネの推進等により電力需要の伸びが鈍化、あるいは減少する可能性がある
- ・再生可能エネルギーの出力変動によって、平常時のアンシラリーサービスの所要量が増

大する可能性がある

- ・従来アンシラリーサービスの供給を中心的に担ってきた火力発電・水力発電の発電比率が減少する可能性がある

以上のようなことが想定される中で、高信頼度かつ経済的な電力供給を維持していくために、新たなアンシラリーサービス供給源として、デマンドレスポンス（DR）活用の可能性が国内外で注目されている^{[1][2]}。

本稿では、アンシラリーサービス型DR（以降、ASDR）について、アンシラリーサービスの種類と特徴、ならびに対象となる負荷の種類について述べ、米国の状況をインタビューと文献^[3]に基づいて紹介し、国内における取組みにも触れながら解説する。

2. 需要側資源を用いたアンシラリーサービス

2.1 対象とするアンシラリーサービス

アンシラリーサービスとは、本来電力系統において電力供給を安定的に継続するため、系統の規模・運用形態に因らず、平常時の運用上必要なサービスである。その対象となるサービスは、系統の運用形態や系統信頼度に対する考え方により異なるが、大まかに分けると周波数調整、予備力の確保、無効電力供給および電圧調整、ブラックスタートが挙げられる。

・周波数調整⁴⁾

周波数は電力の需要と供給のバランスが崩れることにより変動するが、周波数調整は電力需給バランスを調整して周波数を一定の範囲に保つ。需要が持つ変動成分は短周期から長周期まで多岐にわたるが、その周期帯により3つの領域に分けられ、それぞれに対応する周波数制御が施される。すなわち短い周期から順にガバナフリー制御（数秒周期以下の需要に対応）、負荷周波数制御（LFC）（数秒～十数分）、経済負荷配分制御である¹⁾。

・予備力の確保⁵⁾

電力供給側設備は、電力需要を想定して運用されるが、気象条件などにより需要予測が外れてしまうことや、供給側の事故などにより、予定した運用計画に狂いが生じることがある。安定供給のためには、それらの予測できなかった事態に備えて予備の供給力を準備しておくことが必要である。この供給力を予備力と呼ぶ。予備力には供給に至る時間の長さにより、3種類に分けられ、早い順に瞬動予備力（10秒程度で出力）、運転予備力（同10分～30分程度）、待

機予備力（同数時間）と呼ぶ。

瞬動予備力は日本においては系統容量の3%程度を確保することが目標となっており、並列火力発電・水力発電のガバナフリー運転の余力分があてがわれている。

運転予備力は日本では系統容量の3～5%程度が目標とされており、並列水力・火力発電所の出力余力分と停止水力発電機の可能出力、停止待機中のガスタービン発電機が対象となる。

待機予備力は運転予備力との合計値として8～10%が目標値とされ、停止待機中の火力発電がそれに当たる。

文献³⁾で調査した米国の予備力型DRでは、秒単位での反応が必要な瞬動予備力と、分単位での反応が必要な運転予備力が制度化されていることを確認した。

アンシラリーサービス供給源としてDRを活用する制度としては、周波数調整と予備力の確保に現状限られている。

今後、火力発電など従来アンシラリーサービスを主に担ってきた電源による発電量が減ることが予想される上に、そもそものアンシラリーサービスの必要量が増える可能性もあり、動向の見極めが重要である。

2.2 活用が検討されている需要側資源

火力発電・水力発電の他にアンシラリーサービスを補える資源としては、応答が速いリチウムイオン蓄電池等のエネルギー貯蔵装置が有効である。一方で、再生可能エネルギーの導入に伴った社会コストを最小化するためには、蓄電池以外の選択肢を用意することも必要であり、筆者らは負荷等の既存資源を用いてアンシラリーサービスを供給することの技術ポテンシャルを検討し、その分蓄電池の容量を最小化することを検討している⁶⁾。

¹⁾ 文献³⁾で調査した周波数調整型DRは、自動発電機制御（AGC）を対象としている。AGCとは、日本で言われる発電機の経済負荷配分と負荷周波数制御の総称である。

表1 日米におけるアンシラリーサービス型DR資源として検討されている負荷

アンシラリーサービスのタイプ	物理的要件 ^[2]		検討されている対象負荷	
	反応時間	反応長さ	日本	米国
周波数調整	30秒	15分	蓄電池 ^{[11][12]}	可変速ポンプ, 給湯機, 蓄電池, PHEV, セラミック蓄熱 ^[10]
瞬動・運転予備力	1分	30分以下	上記の他, 照明・空調, 生産ラインの消費抑制, 自家発電等 ^[13]	上記の他, 空調, 換気, 照明, 冷凍冷蔵倉庫, データセンター, 汚水処理, ポンプ, 製造プロセス等 ^{[2][14]}

アンシラリーサービス型DR用の需要側資源としては、指令頻度が高くても対応が可能であり、需要規模が大きく、通信・自動制御・計測のためのシステムが既に装備されている、もしくは簡単に設置可能な可制御負荷が望ましい。例えば、連続で同じ作業を繰り返す大規模工業プロセスは、運用計画を再調整することにより負荷を調整することが可能であり、それを可能にする自動制御システムや遠隔計測システムも既に実装されている。文献^[7]では製錬所が挙げられており、電炉を対象とした予備力供給が行われている。

また、熱容量を多く持つ建物、機器についても対象となり得る。EnorNOCでは冷凍倉庫、Hawaiian Electricでは電気給湯器^[8]などが予備力供給源として利用されている。また、上・下水道のポンプについても水の位置エネルギーを利用したエネルギー貯蔵を利用しながら素早く応答ができるものとして期待されている^[9]。

加えて、PJMでは、アンシラリーサービスの中でも、迅速な応答性と、継続的な反応が必要とされる周波数調整用の需要側資源として、温水器、蓄電池、プラグインハイブリッド自動車、可変速ポンプが検討されている^[10]。

日本においては、経済産業省の補助事業として展開されているインセンティブ型DR事業で、需要側資源から予備力を供給することを想定

し、自家用発電機、照明空調、生産ライン、蓄電池を対象とした制御が行われ、有効性を検証している（表1）。

2.3 需要側資源を用いたアンシラリーサービス供給による蓄電池容量代替効果の試算方法

ここでは、文献^[6]の内容を引用しながら、業務用空調機を対象とした周波数調整DRについて検討し、蓄電池の代替効果の試算方法について示す。

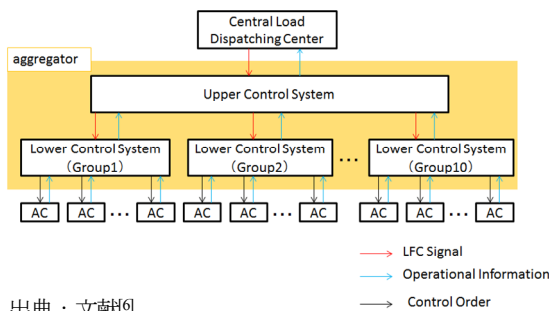
業務用空調機器を対象機器とした理由としては、室内空間そのものが蓄熱装置と同等の役割を担うため、短周期の消費電力制御であれば室温変化を顕在化させることなく需給調整に用いることができると考えられるためである。また、業務用空調機は既に広く普及しており、業務部門の全消費電力量に占める割合が大きく^[15]、制御効果が得やすいため、大きなポテンシャルを有する。特に業務用空調機は家庭用空調機に比べて年間の稼働時間が長いため、需給調整能力を長期間供給することが期待される。

現在販売されている空調機の中には節電機能がっているものも多くあるが、主に電力ピークカットを目的としており、消費電力の上限値をいくつか設定することができるものもある^[16]。

文献^[6]における研究では、ピークカット対応の運転仕様を持つ業務用空調機がアグリゲータによる群制御下にあることを想定し、単独系

統に再生可能エネルギー電源が大量連系された状況において、対象とする空調機と火力発電機で負荷周波数制御を分担させた場合の周波数変動抑制効果の分析を行った。その際、空調機を可制御負荷として用いることにより、自然変動電源対策用蓄電池導入容量の削減が可能であることを示した。今回のシミュレーションにおける空調機群の制御方法としては、消費電力の上限値を何パターンか設定しておき、外部からの要請に応じたパターンの上限值に消費電力を制限することにより、系統からの要請に応じた消費電力を削減することが可能な機種が広まっていることを想定した。

図1は中央給電指令所、アグリゲータ、空調機の関係を表したものである。今回想定した対象エリア内の空調機はアグリゲータによってその運用情報が一元管理されているものとし、中央給電指令所は空調機と直接情報のやり取りを行わず、空調機の運用情報を集約するアグリゲータとLFC信号、運用情報のやり取りを双方向的に行うものとする。



出典：文献⁶⁾

図1 空調機によるアンシラリーサービス供給型DR (ASDR) の階層制御

文献⁶⁾では、空調機の動特性試験を行い、出力上限を指令値とした場合の空調機の応答モデルを構築した。再生可能エネルギーが大量に導入された場合の出力変動パターンの設定、需要変動から計算されるLFC信号の設定を経て、周波数変動をシミュレーションした。表2に、蓄電池を考慮せずに、与えられた短周期の需要変動に、ASDRを用いないで周波数を制御した

場合と、ASDRを用いて周波数を制御した場合の周波数変動の結果を示す。対象日は、火力発電の発電量が非常に少なく、LFC容量を確保するのが難しいと考えられる中間期としたため、非常に大きな周波数偏差となっているが、ASDRの利用により、最大偏差が1.0Hzから0.8Hzまで小さくなった。

表2 空調機によるASDR、蓄電池を考慮しない場合の周波数変動

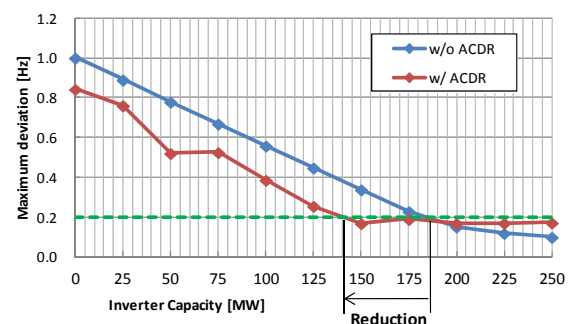
	周波数変動の最大値[Hz]	RMS値[Hz]
ACDR無し	1.001	0.140
ACDRあり	0.844	0.130

出典：文献⁶⁾

注：表中、ACDRは空調機を用いたDRを表している

周波数偏差の最大値が系統運用の目安である0.2Hzになるまで、蓄電池容量を増やして評価すると、ASDRの利用により、蓄電池のインバータ容量を45MW削減できるという結果を得た (図2)。

本分析ではASDRの有効性を、最もLFC供給の逼迫した中間期における技術的ポテンシャルという観点で評価したが、これに加えて、長期の蓄電池削減の経済的ポテンシャルを評価する必要がある。



出典：文献⁶⁾

注：図中、ACDRは空調機を用いたDRを表している

図2 蓄電池の削減量の評価

3. 米国の市場における需要側資源のアンシラリーサービス供給の導入状況^[3]

米国では、電気自動車や冷凍倉庫などの可制御負荷を、給電指令可能な需要側資源として、エネルギー市場、アンシラリーサービス市場に統合していく動きが見られる。本検討では、需要側資源をアンシラリーサービス供給で先行する米国の現状から、需要側資源の活用事例を調査し、日本に適用する際の課題を抽出する。

米国の主要な6つのISO/RTOにおける、アンシラリーサービス供給源としての需要側資源の活用動向（表3）について、主に文献による調査を行った。

このうち、日本が注目すべきISO/RTOとしては、周波数制御の観点では、系統規模や再生可能エネルギーの導入度合を考慮するとElectric Reliability Council Of Texas (ERCOT)が参考になるが、太陽光発電が大量導入の影響という観点では、同じく太陽光発電の導入が進むCalifornia ISO (CAISO)の今後の動向も参考とすべきである。

需要側資源の活用が顕著であるISO/RTOとしては、主に風力発電の導入量が大きく、他系統

との交流連系のないERCOTが挙げられる。CAISOに関しては、太陽光発電への対応として柔軟性のある予備力の活用^{[17] [18]}など、対策が取られつつあるが、まだ需要側資源活用の目立った事例はない。

3.1 需要側資源の周波数調整への活用状況

周波数調整用DRについては、ERCOTにおける需要側資源が37MWあるのが注目される。周波数調整の必要容量は系統規模の1～5%程度であるため、ERCOTにおける周波数調整用DRが占める割合は必要調整容量の1～2%程度であると予想され、周波数調整用DRについてはそれほど大きな需要側資源の活用はなく、まだ試験段階であると言える。

PJMの周波数調整の需要側資源の活用状況は、下記に示すような制度緩和とアンシラリーサービス価格に密接な関係があることが分かった。需要側資源の活用は2006年から認められていたものの、実際に活用が始まったのは2011年であった。これは、2011年に市場参加の最小容量が緩和（1MW →0.1MW）されたことが寄与していると考えられる。また、図3では、2012

表3 各ISO/RTOにおけるアンシラリーサービス供給型DR（ASDR）導入状況^[3]

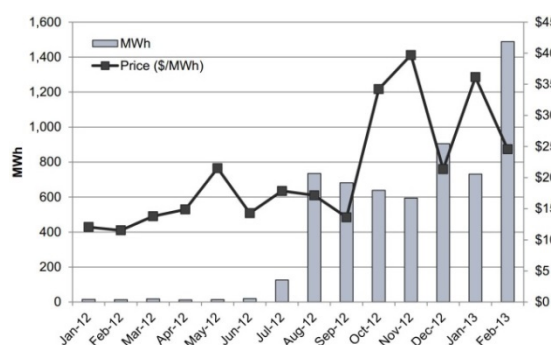
ISO/RTO	ERCOT	PJM	NYISO	ISO-NE	MISO	CAISO
最大需要	68,305MW (2013年)	163,848MW (2011年)	33,956MW (2013年)	27,379MW (2013年)	130,000MW (2011年)	46,847MW (2013年)
風力・太陽光発電 (PV)導入量 <上記最大需要に対 する割合>	風力11,000MW (2013年) <16.1%>	風力8,610MW PV 2,143MW (2012年, 2013年 ^{※1}) <6.5%>	風力1,463MW (2013年) <4.3%>	風力800MW PV 500MW (2013年) <4.7%>	風力 12,000MW (2013年) <9.2%>	風力5,749MW PV 4,691MW (2013年) <22.3%>
ASDR制度の有無	○	○	○	○	○	×
周波数調整型 DR活用状況	35 MW / 37 MW (2011年/2014年)	2.46 MW (2013年)	100MW (2012年)	0MW	0MW	0MW
瞬動予備力型DR 活用状況	2,383 MW / 3,300 MW (2011年/2014年)	605,521MWh (2013年) ※3	※2	0MW	0MW	0MW

NYISO: ニューヨーク ISO, ISO-NE: ISO ニューイングランド, MISO: ミッドコンティネント ISO,

※1 州により集計時期が2012年, 2013年と異なる ※2 周波数調整と予備力の合計

※3 契約規模[MW]×契約時間[h]で表されている

年8月から参加資源が増え、10月からは単価も上がり、2013年2月に需要側資源がさらに増加した傾向が見て取れるが、PJMの周波数調整では2012年10月からDRを含む応答の早い資源にインセンティブを与え、市場参加を促していた結果であると考えられる。応答の早い資源は従来型の資源と比較して、容量あたりの応答性能は実績で3倍以上あるため、優先的に用いることによる効果は大きい。



出典：文献^[19]

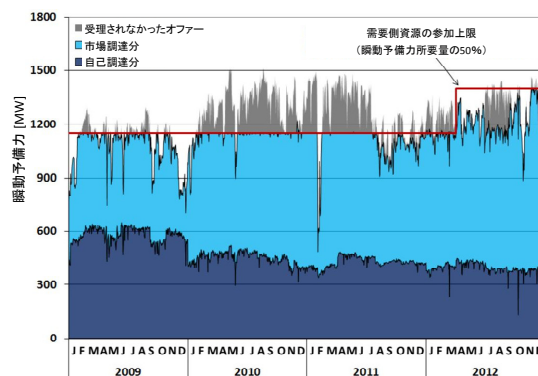
図3 周波数調整用DRの活用状況 (PJM)

ERCOTの周波数調整用DRプログラムは、周波数を上げる方向のサービスと下げる方向のサービスに分けられているが、実際の需要側資源の活用状況は、周波数を上げる方向のサービスのみであることが明らかになった。これは、上げ方向の方が価格が高いということが直接的な原因ではあるが、ASDRは需要造成ではなく、需要抑制が主流であるということも示している。

3.2 需要側資源の予備力供給への活用状況

予備力については、ERCOTの瞬動予備力における需要側資源からの供給量が、定められた上限に張り付いた運用がされており (図4)、大き

な役割を担っていると言える²。他の市場においては、需要側資源がまだ大きな役割を担っているとは言えないが、短い応答を必要とする予備力においては、PJMでも徐々に活用実績を積んでおり (表3)、貢献度は大きくなりつつあると言える。



出典：文献^[20]

図4 瞬動予備力型DRの活用状況 (ERCOT)³

3.3 需要側資源をアンシラリーサービス供給源として日本に適用する際の留意点

米国では需要側資源の導入量の上限を定め、適宜見直しを行っている。これにより、需要側資源の信頼度を確認しながら徐々に導入量を増やす手順を踏んでいる。日本の制度導入時にもASDRの信頼度の確認は必須であると考えられ、米国の事例が留意点となると考えられる。

4. 日本におけるASDRの状況

日本におけるASDRは実際のビジネスの段階にはないものの、経済産業省の補助事業による実証試験が行われている。

² 表3の数値と図4の数値にずれがあるのは、表3は登録可能な需要の規模であり、図4は実際に入札して落札された需要の規模を示しているためである。

³ 図中の「自己調達分」とは登録小売会社が相対契約で調達した予備力供給用需要側資源であり、「市場調達分」とは市場で調達した需要側資源である。

予備力供給型DRの実証としては、平成25年11月から次世代エネルギー・社会システム実証事業の中で、複数の実証⁴が展開され、経済性を含めた調査・評価が行われている。2014年時点における調整容量は、東京電力管内において11万kW、需要家件数500件以上となった^[13]。

これらの試験では、DR発動信号の受信から短時間（5分～60分）で需要削減ができるシステムの構築や、試験が実施されている。「高速DR実証事業（主実施者：丸紅（株）」^[21]では、ネガワットの登録量を試験毎に設定しており、2014年度は13回の試験が実施された。15分反応プログラムは、発動信号の受信から15分以内に負荷を削減するプログラムであるが、いずれのイベントでも登録以上の削減量を得られた。

これらのインセンティブ型DRでは、予備力供給時の需要削減量に応じたインセンティブが支払われる。仮にDRを発動しなかった場合の想定需要（ベースライン）と、実際の電力消費量との差が評価に直結するため、「正確性」、「簡便性」、「公平性」の三要素を満たしたベースライン算出が非常に重要である。資源エネルギー庁では、ベースライン算出方法のガイドラインを定め、系統運用者とアグリゲータ間の基準とした^[24]。このように、日本のアンシラリーサービス型DRは、事業展開のための環境整備が行われつつある。

周波数調整型DRとしては、横浜スマートコミュニティ実証事業の中で実施された蓄電池SCADA（主実施者：東芝）^[11]と、大型蓄電池システム緊急実証事業の中で平成27年から運転を開始した西仙台変電所周波数変動対策蓄

電池システム実証事業（主実施者：東北電力）^[12]が該当する。どちらも1か所に大容量の蓄電池を配置し、周波数調整の制御に反応するプロジェクトであるが、前者は仮想的に蓄電池を一般需要家に分散設置した場合を想定し、データの集配信・管理運用を試みているのに対し、後者は系統運用者が管理運用する大規模蓄電池の位置づけである。

5. おわりに

以上に日米のアンシラリーサービス型DRの現状について述べてきた。米国では多くの市場においてASDRの制度が整えられ、系統の需給の状態が厳しいテキサス州では、瞬動予備力として大きく貢献している。ただし、他の地域では実事業として導入されているところもあるものの、まだ容量は小さく、試験段階であると言える。日本においては実証試験を通して、信頼性を試している段階であり、実事業の展開に向けて環境整備が進められている。

今後の課題としては、信頼性の向上、需要側資源の登録件数の増加などが挙げられるが、通信の確実性の確保も重要な課題である。欧米におけるスマートグリッド実証試験では、通信を第1の課題に挙げているもの^{[25][26]}も多く、アンシラリーサービス型DRでは通信手段の常時確保は必須である。今後、通信の100%の成功率を目指してシステム構築を進めるのか、それともある程度の通信の欠損を前提としたシステム構築とするのか、ASDRの通信面の動向を見極める必要がある。

参考文献

- [1] 浅野浩志 (2012) “デマンドレスポンスによる需給安定化”，電気学会誌, 132 (10), pp.688-691.
- [2] Ookie Ma et al. (2013) “Demand Response for Ancillary Services”, IEEE Trans. Smart Grid, 4 (4), 1988-1995.
- [3] 坂東茂, 浅野浩志, 金田章宏, 中野忠幸 (2015)

⁴ 平成25・26年度の次世代エネルギー・社会システム実証事業「インセンティブ型DR」中、6つのプロジェクトで予備力DRが実施されている。主実施者はそれぞれエナリス、グローバルエンジニアリング、丸紅^[21]、日立製作所、東芝、双日である。詳細はそれぞれの報告書^{[22][23]}を参照されたい。

- “米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向”, 電力中央研究所報告 Y14011.
- [4] 電気学会 (2007) “電力系統の利用を支える解析・運用手法”, 電気学会技術報告第 1100 号.
- [5] 電気学会 (2002) “電力系統における常時及び緊急時の負荷周波数制御”, 電気学会技術報告第 869 号.
- [6] 菊池広典, 浅野浩志, 坂東茂 (2015), “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.
- [7] EnerNOC (2006) “Enernoc is First Participation in PJM’s Synchronized Reserve Market”, Enernoc HP. <http://www.enernoc.com/press/press-releases/2006/enernoc-is-first-participant-in-pjms-synchronized-reserves-market> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [8] E. Ifuku, Yoh Kawanami, H. Upadhye (2015) “Hawaiian Electric Grid Interactive Water Heater Demonstration Status”. <http://c.y.mcdn.com/sites/www.peakload.org/resource/resmgr/2014FallArchive/Harshal.pdf> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [9] G. Heffner, C. Goldman, B. Kirby, M. K. Meyer (2007) “Loads providing ancillary services: Review of international experience”, LBNL62701.
- [10] PJM (2013) “Ancillary Service”, <http://www.pjm.com/~media/training/core-curriculum/ip-gen-301/gen-301-ancillary-services.ashx> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [11] 東芝 (2015) “次世代エネルギー・社会システム実証事業成果報告 (蓄電池 SCADA)”, NEPC HP. http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150330/150330_6.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [12] 東北電力 (2015) “西仙台変電所周波数変動対策蓄電池システム実証事業”, NEPC HP. http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150513/150513_1_1.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [13] 資源エネルギー庁 (2014) 「ダイヤモンドリソースについて～新しい省エネのかたち～」, 総合資源エネルギー調査会 (第 6 回), 資料 3. http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/006_03_00.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [14] 高橋雅仁 (2014) “再生可能エネルギー電源大量連系に対応するアンシラリーサービス型デマンドレスポンスの導入可能性の検討”, 電力中央研究所報告 Y13030.
- [15] 省エネルギーセンター (2009) “オフィスビルの省エネルギー”, ECCJ HP. https://www.eccj.or.jp/office_bldg/img/office2.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [16] ダイキン工業株式会社, “節電 [デマンド制御] 機能”, ダイキン HP. [http://www.daikinaircon.com/catalog/i-touchmanager/](http://www.daikinaircon.com/catalog/i-touchmanager/demand/index.html) (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [17] CAISO (2012) “Flexible Ramping Products 2nd Revised Draft Final Proposal”, CAISO HP. <http://www.caiso.com/Documents/SecondRevisedDraftFinalProposal-FlexibleRampingProduct.pdf> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [18] CAISO (2014) “Operation Procedure 2250 -Flexible Ramping Constraint”, CAISO HP. <http://www.caiso.com/Documents/2250.pdf> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [19] Doug Hurley, Paul Peterson, Melissa Whited (2013) “Demand Response as a Power System Resource”, Synapse Energy Economics Inc. HP. http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/SynapseReport.2013-03.RAP_US-Demand-Response.12-080.pdf (最終アクセス日: 2015 年 2 月 1 日).
- [20] Potomac Economists (2012) “2012 State of the market report for the ERCOT wholesale electricity markets”, Potomac Economics HP. http://www.potomaceconomics.com/uploads/ercot_reports/2012_ERCOT_SOM_REPORT.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [21] 丸紅 (2015) “東京電力 高速 DR 実証事業”, NEPC HP. http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150330/150330_102.pdf (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [22] 新エネルギー導入促進協議会 (NEPC) (2015), “平成 26 年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金の成果報告書について”, NEPC HP. http://www.nepc.or.jp/topics/2015/0330_1.html (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [23] NEPC (2014) “平成 25 年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金の成果報告書について”, NEPC HP. http://www.nepc.or.jp/topics/2014/0610_1.html (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [24] 資源エネルギー庁 (2015) “ネガワット取引に関するガイドライン”, エネ庁 HP. <http://www.meti.go.jp/press/2014/03/20150330001/20150330001-2.pdf> (最終アクセス日: 2015 年 8 月 1 日).
- [25] R. Yinger (2015) “Communications and Cyber Security: Foundations of the Modern Grid at SCE”, IEEE PES General Meeting 2015, 15PESGM0842.
- [26] M. Vallo (2015) “FirstEnergy Smart Grid Modernization Initiative Distribution Automation”, EPRI Smart Distribution and Power Quality Conference & Exhibition.

坂東 茂 (ばんどう しげる)

電力中央研究所 社会経済研究所