

デマンドレスポンスの国内外の動向と当所の取り組み

A Survey of Demand Response and Research Activities at CRIEPI

キーワード：デマンドレスポンス，需要側資源，アンシラリーサービス，再生可能エネルギー，系統運用

浅野 浩志 永田 豊

需要家と協調して、電力の使い方を社会的に望ましい形に誘導するデマンドサイドマネジメント (Demand-Side Management, DSM) の一形態として、デマンドレスポンス (Demand Response, DR) が、2011年の震災以降の電力供給不足の中で、新しい節電方法として注目されてきた。当所では、1980年代から需要側研究を学術面で先導してきた。本稿では、欧米におけるデマンドレスポンスの導入状況、国内のデマンドレスポンスの位置づけの変化、当所における研究の変遷、今後の展望を概説する。

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. はじめに | 4.1 初期段階 (1980年代～2000年) |
| 2. 国内外における研究の変遷と導入状況 | 4.2 研究の本格化と着眼点 |
| 3. 最新動向 | 4.3 今後の研究の方向性 |
| 4. 当所の取り組み | |

1. はじめに

需要家と協調して、電力の使い方を社会的に望ましい形に誘導するデマンドサイドマネジメント (Demand-Side Management, DSM) の一形態として、デマンドレスポンス (Demand Response, DR) が、2011年の震災以降の電力供給不足の中で、新しい節電方法として注目されてきた。DRとは、「時間的に変化する電力価格、もしくは卸電力価格高騰時や需給逼迫時に電力使用を減らすように設計された報酬に反応して、最終需要家自らが通常の電力消費パターンから電力使用を変化させること」である。

電力中央研究所は1980年代の米国におけるロードマネジメントの調査や費用便益分析に始まり、新しい電気料金メニューの効果分析などの実証研究を含む理論、実証の両面で需要側研究をリードしてきた。現在、電力各社は家庭用需要家まで全ての需要家向けにスマートメータ設置を進めている。例えば、スマートメー

タを活用すれば、様々なダイナミックプライシング (緊急ピーク時課金制など) を適用できるようになるが、その費用対効果の分析手法^[1]は、1980年代に米国カリフォルニア州規制当局が開発した手法^[2]がベースとなっている。

デマンドレスポンスは本来、電力の供給信頼度を維持し、料金水準を安定化することを主たる目的としてきた。近年、電力供給の低炭素化のため、太陽光発電 (PV) など変動電源が大量に連系してくると、系統安定化、すなわち、各種アンシラリーサービスや系統柔軟性を供給するために高速に応答するDR (Fast DR)^[3]を導入する必要性が生じる。これは、既存電源などの供給側資源と同じ土俵で、ヒートポンプ給湯機や電気自動車などの可制御負荷、住宅用PV等の分散型電源を含む需要家資源をDRという系統側の信号を通じて統合制御する形態に電力系統の運用が進化していくこと (いわゆるスマートグリッド化) を意味する。

本稿では、これまでのDRの役割の変遷や実

証研究など、関連する研究動向と今後の展望を解説する。

2. 国内外における研究の変遷と導入状況

DRがDSMから進化、発展してきた背景は、1990年代からの電力市場設立を含む電力自由化という制度的変化、実時間での電力取引を可能とするICTの進化（技術進歩）、近年のスマートグリッド化であり、これにさらに社会の低炭素化という側面も融合しながら、時代の要請に適合してきたことである。

DSM, DRのもっとも基本的な手法として、家庭用需要家向けの情報提供（電力消費量の需要家へのフィードバック、いわゆる見える化を含む）がある。高度なエネルギーマネジメントシステムで家電機器を自動制御するシステムが広く社会に普及するには時間がかかる一方で、集合住宅などで電力寡消費型世帯の場合、HEMSや高度なDRより、アクセスしやすく、消費者にわかりやすい携帯端末や宅内表示器による電力量・電力支出表示が好まれる場合がある。既に1990年代後半にNEDOプロジェクトとして、九州電力管内で自宅の電力消費量を表示するシステムの効果が検証されている^[4,5]。現在、この研究は日米で需要家毎にカスタマイズされた省エネルギーレポートを配信する形で実装されつつある^[6]。

電気料金を動的に時変にするダイナミック料金制も米国では1980年代から大口需要家向けに実験され^[7]、我が国でも1990年代後半から実験が行われてきた^[4]。

震災前からスマートメータ導入効果の実証試験の一部として、緊急ピーク時課金（Critical Peak Pricing, CPP）によるピーク電力抑制効果が示された^[8]。震災以降は政府の意向により、いわゆるスマートコミュニティ4地区実証事業

の中でも社会実験が行われた^[9]。

しかし、より費用対効果の高い需要分野は産業用・業務用の大規模に電力を消費し、エネルギーマネジメントを行っている需要家層である。DSMをDRに進化させた大きなドライバーは、2000年の加州での電力危機である。これにより、当時は卸市場と小売市場の価格を通したリンクが十分でなく、真に競争的な市場設計になっていなかったこととの教訓を得た。これを踏まえて、リアルタイム料金などで需要反応を系統に直ちにフィードバックし、卸市場の価格高騰を抑え、系統全体の信頼度を確保するためにピークロードマネジメントが導入されるようになった^[10, 11]。さらに米国では、エネルギー市場（前日市場）での経済プログラム（需要入札）に始まり、容量市場への投入、アンシラリーサービス市場への投入と進んできた。ただし、DRの市場化に積極的なPJMの場合、新設電源と並んでDRを容量市場向けに用いているため、契約容量や収入ベースでは、容量プログラムが9割近くを占めている。

3. 最新動向

米国では、アグリゲータ等の新たなプレイヤーや様々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つつある^[12]。今後、PVによる余剰発電（over-generation）が頻発する事態になると、デマンドレスポンスの役割としては、需要削減より、再生可能エネルギー余剰時の需要創出がより重要になる。

我が国でも米国やフランスより数年遅れで、同様の動きがある。DRの活用領域を従前のピークカットだけでなく、アンシラリーサービスまで拡大することを念頭に、2013年12月～2015

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（経済産業省インセンティブ型ダイヤモンドリスポンス実証事業）。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。

さらに、2015年度に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」が行われている。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。本稿執筆時点でアグリゲータ18社が事業者として採択されており、約2000口の需要家と契約し、一般電気事業者3社（東京、関西、中部）との間で、2015年8月から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。

我が国でも系統運用のためのネガワット取引の経済性が検討される段階に進んでいる。デマンドレスポンス効果の測定方法・確実性や報酬額の決め方について検討し、市場化が進むことが期待される。また、FITによる変動電源の大量連系に備えて、系統柔軟性の供給源として需要側資源の活用が期待される。

4. 当所の取り組み

4.1 初期段階（1980年代～2000年）

電力中央研究所では、古くは1980年代から電力需要のマネジメントに関する研究を行ってきた。需要マネジメントに関する研究は、当時は文字通りデマンドサイドマネジメント（Demand Side Management, DSM）と呼ばれていた。ここでは、発電から小売り販売に至る一貫した垂直統合型の電気事業において、季時別料金（Time-of-Use Rate）による負荷削減・移行

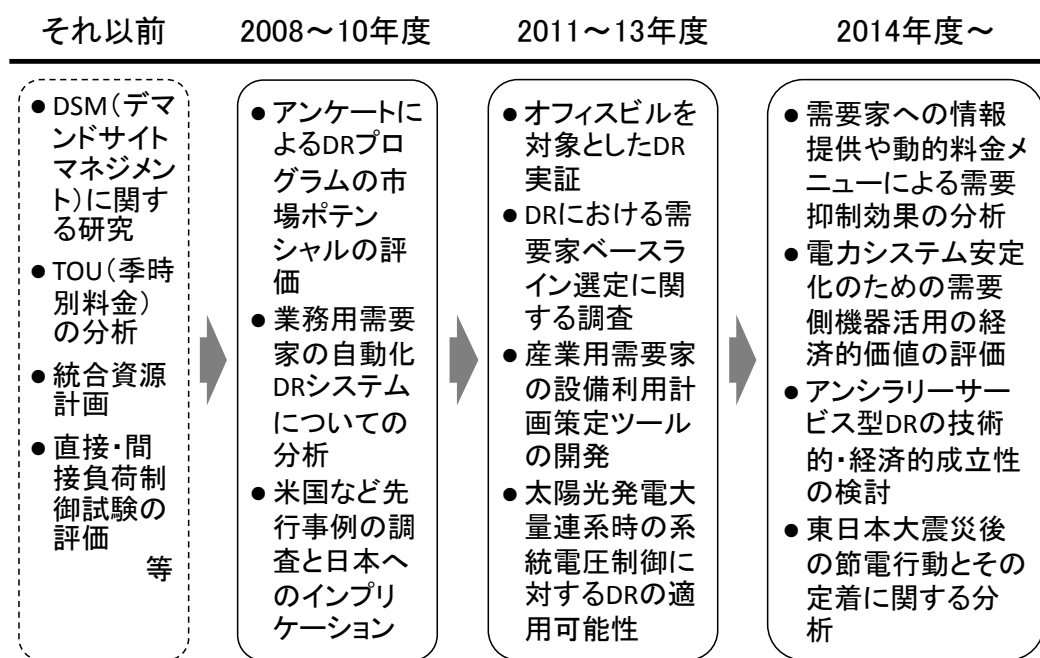


図1 電力中央研究所におけるデマンドレスポンス関連研究の経緯

効果の分析などが主なテーマであった^[13-15]

(図1)。本分野の研究は、その後、需要サイドのとりわけ最大電力負荷の削減効果を供給サイドと同様に資源 (Resource) として扱い、供給サイドのみならず、需要サイドの資源も含めて経済的に最適な電力供給計画、いわゆる「統合資源計画 (Integrated Resource Planning)」へと発展を遂げた^[16]。また、90年代の終わりに、国からの委託事業として九州電力㈱が実施した負荷制御試験に協力し、家庭部門における電気料金や情報提供、ピーク抑制協力金等に対する反応度合いについて定量的な分析を行って

いる^[4,17-18]。

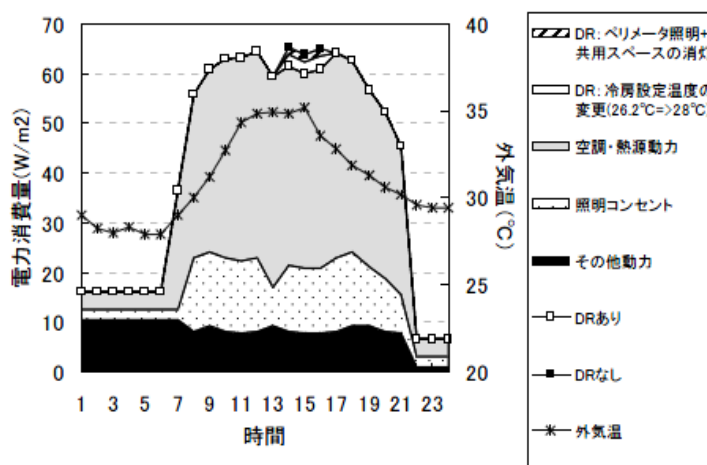
4.2 研究の本格化と着眼点

近年では、2008年度に研究課題「デマンドレスポンスの評価」を設定し、米国など先行する国における事例の調査に基づく日本へのインプリケーションの提示^[11]、アンケートによるDRプログラムの市場ポテンシャルの評価 (表1)^[18]、業務用需要家の自動化DRシステムについての分析 (図2)^[19] などを実施した。また、各国で家庭用スマートメータの一斉導入が論じられ、米国がスマートメータ導入に期待する

表1 規模別・用途別のピーク時間帯需要と負荷削減ポテンシャル

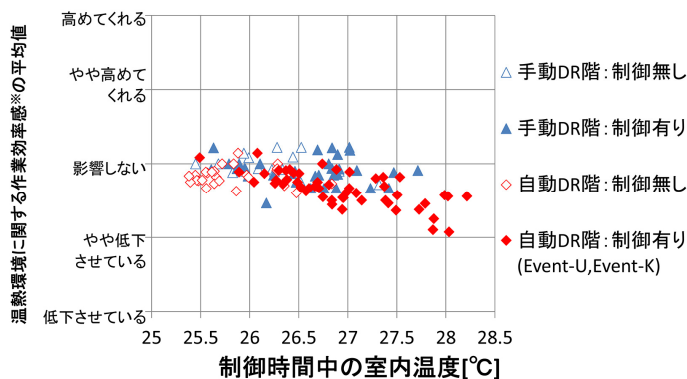
		総計	契約電力規模別			
			2000kW以上	500kW以上 2000kW未満	200kW以上 500kW未満	50kW以上 200kW未満
上段：負荷削減量 (MW)		1.323	708	410	99	104
中段：ピーク需要 (MW)		28.393	12,692	9,507	3,731	2,349
下段：ピーク需要に対する 負荷削減量の割合		4.7%	5.6%	4.3%	2.7%	4.4%
事業所 用途別	オフィス・ 事務所	149 4,694 3.2%	23 1,335 1.7%	36 1,100 3.3%	26 839 3.1%	63 1,323 4.8%
	工場	950 12,422 7.6%	639 7,153 8.9%	279 4,078 6.8%	26 1,031 2.5%	6 154 3.8%

出典：文献^[18]



出典：文献^[19]

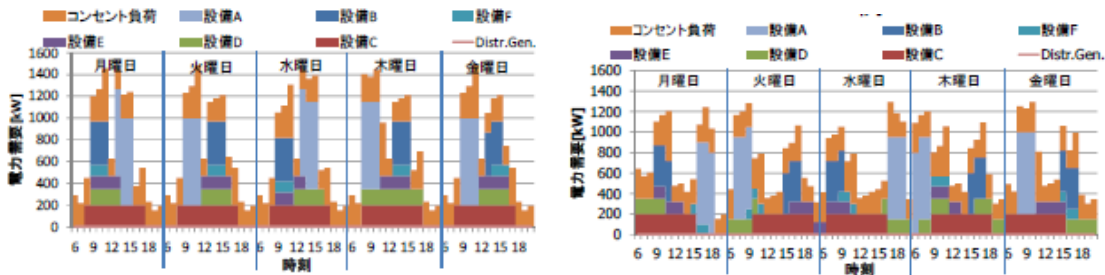
図2 モデル事務所ビルの電力負荷曲線と負荷削減量 (個別電気空調, 床面積5千㎡未満)
(夏季平日の13~16時の間にデマンドレスポンスプログラムを発動する場合)



出典：文献^[22]

※温熱環境が自分の作業効率に与える影響に関する主観申告値

図3 DR制御に伴う温熱環境変化に対する作業効率感（自動DR vs 手動DR）



(a)各設備が各自のタイミングで稼働した場合 (b)コスト最適ツールを用いて最大電力を抑制した場合

出典：文献^[24]

図4 翌週設備利用計画の例

社会的便益を調査し、我が国においてこれらの便益を評価する上での課題を明らかにした^[1]。これらの研究を通じて、日本でピークカット型のデマンドレスポンスを実施する場合に、どのような需要家や用途で削減ポテンシャルが多そうか、また、どのような課題が予想されるかなどを明らかにしてきた。

その後、後継課題として、2011年度に「日本型デマンドレスポンスの成立性評価」を設定した。本フェーズでは、外部機関との共同研究を通じて、実際のオフィスビルを対象としたDR実証試験を行うことによる、文献調査では得られない実体験に基づく課題の洗い出し（図3）^[20-22]、DRの効果を測定するために不可欠であるベースライン需要の推定方法などについての研究^[23]を実施した。また、これまで焦点を当て

ていなかった産業用需要家にも着目し、ピーク需要を削減するような大規模な電力負荷の機器の利用計画を策定するためのツール開発を行った（図4）^[24]。一方、この頃より、太陽光発電（PV）が大量に系統連系されることによる様々な問題が指摘されるようになり、これらのうち、特にPVからの逆潮流による配電電圧の上昇問題に対し、これをDRメニューとして需要家に協力を仰いだ場合の便益などについて評価した（図5、表2）^[25]。

そして、2014年度より研究課題「次世代需要マネジメントの価値評価」を開始し、本特集号でこの後に記す研究論文や研究ノートに関する研究を行っている。これらの内容については、本誌の個々の記事を参照されたい。

表2 配電線電圧制御のためにPV逆潮流を抑制するDRのシミュレーション結果

DR発動	PV連系率	パターンi (PVが高圧系統全体にわたって均等に配置される場合)			パターンii (PVが高圧系統の後半部分に配置される場合)		
		30%	40%	50%	30%	40%	50%
DR発動日数[日/年]		23	98	221	50	182	263
1日あたりのDR発動時間[時間/日]		2.4	3.4	4.2	3.0	3.7	4.6
年間必要抑制電力量a [MWh/年]		16	210	771	42	376	1,124
年間全逆潮流量に対するaの割合 ([]は年間PV全発電量に対するaの割合)		2% [0.4%]	13% [4%]	30% [12%]	6% [1%]	24% [8%]	44% [18%]

出典：文献²⁵⁾

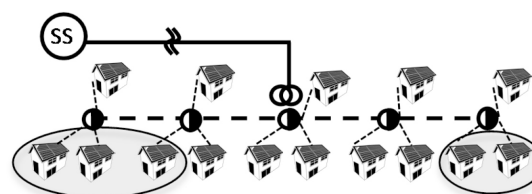
4.3 今後の研究の方向性

以上述べてきたように、当所では長年、需要マネジメントの研究に関わってきた歴史と実績がある。それらを踏まえ、本節では、今後の需要マネジメント研究として重要となると思われる分野について述べる。

ピークカット型のDRについては、当所における研究のみならず、国の4地域実証試験（例えば^[26]）、電力各社の実証試験（例えば^[27]）など、様々な成果が蓄積されるに至り、CPP等に対する反応度合いなどが明らかになりつつある。しかしながら、効果の継続性や、価格弾力性等についてはバラツキが大きく、統一的な知見が整理されたとは言えない状況であると思われる。

ピークカット型以外のDRについては、前節でも紹介したように、固定価格買取制度（Feed-in-Tariff, FIT）の影響による、PV等の大量連系がもたらす系統不安定化に関する様々な問題のうち、特に配電レベルで、PV逆潮流削減に対する具体的な出力抑制インセンティブを提案するようなDRプログラムの費用便益分析が重要になっている。また、アンシラリーサービス等のFast DRについては、電力システム改革が先行する米国では市場取引も行われ

ている段階にあるが、日本では具体的なサービスとその便益について研究を進めるべき段階にあると考えられる。



SS:配電用変電所
太点線:低圧線、細点線:引込線、実線:高圧線
PV連系:丸囲み住宅の5軒のみ

(PV連系率30%における柱上変圧器以下の低圧形態)

出典：文献²⁵⁾

図5 低圧配電システムモデル

電力システム改革との関係で付言すれば、2016年度に開始される小売全面自由化を控え、新たな顧客サービスとしてDRを考え、どのようなインセンティブを提供すれば需要家の満足度を高められるかといった視点の研究も求められよう。そして、このために、今年度より本格的な普及が始まるスマートメータから得られる30分積算・100W単位の時間帯別電力需要データを活用することが重要である。

以上のことから、今後、われわれの研究を強化していきたいと考える分野として、以下の3分野をあげたい。

- ・各地のDRパイロット事業データに基づく評価, 国外事例の調査と教訓の分析
- ・需要側資源を供給力に位置付ける制度の設計
- ・電力システム改革後の需給体制を見据えた新サービスの創出

当所は, 今後も電気事業の中核的研究機関として, 来るべき電力システム改革後を見据えた望ましい需要マネジメント方策に関する研究を進めていく所存である。

参考文献

- [1] 高山正俊, 山口順之, 高橋雅仁, 戸田直樹, 浅野浩志 (2010) 「スマートメータ導入に関する米国の動向とわが国における便益評価の課題」, 電力中央研究所報告 Y09028.
- [2] 浅野浩志 (1985) 「ロードマネジメントとその費用便益分析」, 電力経済研究, No.19.
- [3] 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, Vol.132, No.10, pp.688-691.
- [4] 浅野浩志 (1997) 「ピーク対応料金下における家庭用需要家の負荷調整行動の分析—間接負荷制御実験データを用いた価格効果の測定—」, 電力中央研究所報告 Y97004.
- [5] 浅野浩志 (1999) 「電力使用量情報の省エネルギー効果」, 電力経済研究, No.41.
- [6] 向井登志広, 西尾健一郎, 小松秀徳, 内田鉄平, 石田恭子 (2015) 「スマートメータデータを活用した情報提供と行動変容—集合住宅におけるピーク抑制・省エネ実証事例—」, 電力中央研究所報告 Y15002.
- [7] H. Asano (1989). “Survey of Utility Real-Time Pricing Projects in the U.S.,” Energy Modeling Forum SR 3, Stanford University.
- [8] H. Asano (2012), “Smart Metering and Demand Response Programs in Japan,” Evora 2012 Symposium on Microgrids, September 2012, Evora, Portugal.
- [9] 浅野浩志 (2014) 「これからのデマンドレスポンスの姿は」, 電気新聞ゼミナール, 2014年8月.
- [10] 浅野浩志 (2001) 「競争市場における需要側反応プログラムの役割—米国におけるピークロードマネジメントの現状—」, 電力経済研究, No.46.
- [11] 山口順之, 今中健雄, 浅野浩志 (2006) 「米国における需要反応プログラムの実態と課題」, 電力中央研究所報告 Y05028.
- [12] 浅野浩志 (2015), 「電力システム運用における需要側資源の活用」, 電気学会誌, 135 巻, 11 号.
- [13] H. Asano, S. Sagai and K. Yamaji (1988) “Microscopic Analysis of Industrial Customers Response to Time-of-Use Rates: Case Studies for an Integrated Steel Mill and a Heavy Electrical Apparatus Works,” CRIEPI Report, EY87002
- [14] H. Asano, S. Sagai and E. Imamura (1991) “Commercial Customer Response to Time-of-Use Rates: Case Study of Hotel with Cogeneration Systems,” CRIEPI Report, EY90002
- [15] H. Asano (1992) “Demand-Side Management of Japanese Electric Power Industry,” CRIEPI Report, EY92002
- [16] 高橋雅仁, 浅野浩志, 永田真幸 (1998) 「統合資源計画モデルの開発と蓄熱式空調システム普及方策への適用」, 電力中央研究所報告 Y97021.
- [17] 浅野浩志 (1998) 「家庭用間接負荷制御実験における情報提供とピーク抑制協力金の効果分析」, 電力中央研究所報告 Y97008.
- [18] 山口順之, 高山正俊 (2011) 「業務・産業需要におけるデマンドレスポンスのポテンシャル評価—関東圏の事業所アンケート調査に基づく集計・分析—」, 電力中央研究所報告 Y10020.
- [19] 高橋雅仁, 浅野浩志, 山口順之 (2009) 「業務部門のデマンドレスポンスによる需要調整の技術的ポテンシャルの評価」, 電力中央研究所報告 Y08034.
- [20] 高橋雅仁, 上野剛, 高山正俊, 浅野浩志 (2010) 「オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験: 需要調整効果と居室内快適性の分析」, 電力中央研究所報告 Y09014.
- [21] 高橋雅仁, 上野剛, 高山政俊, 浅野浩志 (2011) 「オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験 II: 居室内快適性とワーカーの制御キャンセル率の分析」, 電力中央研究所報告 Y10040.
- [22] 高橋雅仁, 上野剛, 坂東茂 (2013) 「オフィスビルを対象にしたデマンドレスポンス制御の実証試験—自動 DR と手動 DR の比較—」, 電力中央研究所報告 Y12025.
- [23] 山口順之 (2013) 「デマンドレスポンスにおける需要家ベースライン選定に関する北米評価事例の調査」, 電力中央研究所報告 Y12021.
- [24] 坂東茂, 比護貴之, 浅野浩志, 古川慧 (2013) 「産業用需要家の電力需要マネジメントのための設備利用計画策定ツールの開発」, 電力中央研究所報告 Y12018.
- [25] 河村清紀 (2013) 「太陽光発電大量連系時の系統電圧制御に対するデマンドレスポンスの適用可能性—発動頻度と経済性の評価—」, 電力中央研究所報告 Y12008.
- [26] 資源エネルギー庁 (2014) 「ディマンドリスボ

ンスについて「新たな省エネのかたち」, 総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会省エネルギー小委員会 (第6回) 配布資料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10月1日)

[27] 九州電力 (2013) 「電気料金による電力使用抑制効果に関する実証試験 結果概要」, 2015年1月22日プレスリリース資料.

http://www.kyuden.co.jp/press_h130122-1.html
(最終アクセス日: 2015年10月1日)

浅野 浩志 (あさの ひろし)

電力中央研究所 社会経済研究所

永田 豊 (ながた ゆたか)

電力中央研究所 社会経済研究所