

3. 系統強化方策及びデマンドレスポンス等の需要能動化方策の提案とその効果把握

本章では再生可能エネルギー対応としてのデマンドレスポンス（以下、DRとも記載）に着目し、関連技術動向調査、量的ポテンシャルの把握や、電力システム評価モデルを用いた定量評価を行い、今後、再生可能エネルギー対応として必要になるデマンドレスポンスの種類・役割を分析した。また、主に米国での再生可能エネルギー対応としてのデマンドレスポンスの活用施策の調査を行い、我が国でもデマンドレスポンス資源を利用・定着させていくために必要な検証事項を抽出した。

3.1 検討の背景と目的

(1) 検討の背景

1) 電力システム運用における機能の整理

再生可能エネルギーの大量導入は電力システム運用に対して様々な影響を与えるが、電力需要を適切に制御することによって、費用効率的に対策を行うことができる可能性がある。再生可能エネルギー導入時の系統への影響を電力システム運用における機能の必要性の変化に着目して整理し、それに対するデマンドレスポンスの活用可能性を定性的に整理した。これを表 3-1 に示す。

電力システムを安定的に運用するためには、電力量自体を確保する以外に、需給の短時間の変動に対応するための能力や緊急時の対応力、送配電における問題発生への対応力といった品質維持のための機能（アンシラリー・サービス）の確保が必要である。また、長期的を見据え、発電容量・送電容量を計画的に確保することも必要である。出力の時間依存性、間欠性の大きい太陽光発電・風力発電の大量導入は、電力システムの運用を困難にする面を持つが、デマンドレスポンス資源の活用を図ることで、需給の不均衡に起因する影響についてはその緩和を図ることができると考えられる。

なお、ここで示した問題以外にも、再生可能エネルギーの導入によって生じる電力システム上への問題は、それぞれ解決を図っていかなければならない。表 3-2 には昨年度調査における整理を示す。

表 3-1 再生可能エネルギー導入時の電力システムへの影響とデマンドレスポンス資源の利用可能性

機能 ^{*1}		再生可能エネルギー導入時の影響		デマンドレスポンス資源の利用可能性	
キャパシテ イ	発電容量	長期的な発電容量の確保	稼働率が低下する火力発電の廃止・増設抑制により、予備力を供給する発電容量が長期的に不足する	各「予備力」の項目参照。もしくは、長期的に需要を平準化させ、必要な発電容量自体を削減させる。	
	送電容量	長期的な送電容量の確保	従来の需要地・供給地の関係が変化し、送電容量が不足する	長期的に、再生可能エネルギーポテンシャルが豊富な地域に需要を集中させることで、必要な送電容量自体を減少させる。	
エネルギー	前日	前日時点での電力量確保	低負荷季の日中等太陽光発電出力が増加し、需要を供給が上回る	低負荷季の日中等へ、需要を早朝・夜間等からシフトさせる。もしくはエネルギーを蓄え、早朝・夜間等で利用する。	
	リアルタイム	リアルタイムでの電力量確保	天候予測の外れにより、需要と供給のバランスが崩れる	時間単位の天候変化に応じて、需要の発生を時間単位で増減させる。もしくはエネルギーを蓄え、他の時間で利用する。	
アンシラリー	全系	周波数調整	30分コマ内での周波数調整	再生可能エネルギーの出力変動により、需要と供給のバランスの瞬間的な崩れが発生しやすくなる	電力需要の増減を随時、自動的に行う。
		運転予備力	30分コマ平均でのインバランスの調整	稼働率が低下する火力発電の廃止・増設抑制により、予備力を供給する発電容量が長期的に不足する	緊急事態発生後、電力需要の削減もしくは放電を自動的に行う。
	ローカル	潮流調整	送電線の潮流量を安全範囲に収めるための発電所出力の調整	再生可能エネルギーに起因する潮流が特定の送配電線で増加し、線路過負荷が生じやすくなる	特定の地域において、需要の発生を時間単位で増減させる。もしくはエネルギーを蓄え、他の時間で利用する。
		電圧調整	系統電圧を許容範囲に収めるための無効電力の供給・吸収	再生可能エネルギーの出力により、電圧変動が生じやすくなる	同上
		過渡安定性	系統事故後、発電機の慣性や同期化力を利用して事故波及を防止する	PCS電源の増加に伴い、電力システム全体の同期化力・慣性が低下し、安定度が低下する	対応困難か
		ブラックスタート	停電時に、系統からの電力供給を受けずに起動できる電源	特に影響なし	対応困難か

注 1) 定まった分類はなく、これは一例。

表 3-2 (参考) 再生可能エネルギーに起因する電力システム上の課題

区分		電力システム上の課題	概要
平常時	全系	需給の問題 (周波数変動を含む)	● 再生可能エネルギーの導入増加や急な出力変動により、電力システム全体の需要と供給のバランスが崩れる
		線路過負荷の課題	● 特定の送電線/配電線に多く電力潮流が流れてしまい、線路過負荷が生じる
	ローカル	電圧の課題	● 再生可能エネルギーの出力により、電圧変動が生じ、逆潮流などを招く
		高調波・フリッカ等の発生	● 非線形要素を含むPCSからの出力が、高調波・フリッカ等の電力品質上の悪影響をもたらす
事故時	全系	過渡安定度の問題	● PCS電源の増加に伴い、電力システム全体の同期特性(同期化力、慣性)が低下する恐れがある
		一斉解列の問題	● 再生可能エネルギーの不要解列により、波及的に解列が生じてしまう可能性がある
	ローカル	単独運転の問題	● 事故時において、意図していないにも関わらず、単独運転が発生する可能性がある
		短絡容量増加の問題	● 既設遮断器の定格遮断電流を超過するなど、短絡容量が増加する恐れがある

出所) 環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016

2) IEA によるデマンドレスポンスの評価

IEA が 2016 年に発表した”Re-powering Markets”—Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems”¹⁾は、低炭素電力システムに向けた電力市場枠組みを分析する IEA 初の公式発行物である。

その第 6 章においても、デマンドレスポンスが、需給が逼迫したときの需要の削減や、電力需要のタイミングを低炭素電源による供給に合わせて調整することにより、電力システムの脱炭素化を進める役割を担うとの評価が行われている。

- デマンドレスポンスは電力システムが厳しい状態の時に需要を減少させ、また、低炭素資源がより豊富な時に電力消費のタイミングを調整することにより、電力システムの脱炭素化における役割を果たす。
- 大口の消費者はすでに卸電力市場に直接参加して価格に応答している。彼らは事前に予想される消費電力分を調達し、短期市場での再販により価格変動へ応じている。
- これらに加えて、スマートメーターと自動化技術の進歩は小規模な消費者の価格感応性を高めている。クリティカルピークプライシング (CPP) などの価格を変動させる (ダイナミックプライシング) という選択肢はこれらの潜在力を活用するための直接的な方法である。
- しかし、今日まで、卸電力市場への参加からの収入は、デマンドレスポンスを開発するた

¹⁾ IEA, ” Re-powering Markets ” —Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems” , 2016

めに必要な設備投資の固定費に見合うには額が不足するとともに予見可能性も低い状態であった。

- 別の選択肢は、電源としてデマンドレスポンスを扱い、卸電力市場において「給電すること」である。米国の地域送電機関の PJM のように、デマンドレスポンスのアグリゲータによる容量市場への直接参加はいくつかの市場におけるデマンドレスポンスを促進させるために有効であった。
- しかし、デマンドレスポンスを発電として扱うことは複雑な市場ルールを必要とするが、これはデマンドレスポンスが評価されるべき対象の消費のベースラインを定義する必要性のためである。デマンドレスポンスに対する報酬の適切なレベルを定義することは難しく、多くの議論が行われている。
- 最後に、消費者信頼感を守るためのデータの保護は、デマンドレスポンスの大規模な展開のための追加的かつ重要な前提条件である。

出所) IEA, "Re-powering Markets"—Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems", 2016 (NEDO による日本語訳、<http://www.nedo.go.jp/content/100862107.pdf>)

(2) 検討の目的

以上を踏まえ本章では、電力システムに再生可能エネルギーを大量導入する際のデマンドレスポンスの役割に着目し、関連技術動向調査、量的ポテンシャルの把握や、電力需給モデルを用いた定量評価を行い、今後、再生可能エネルギー対応として必要になるデマンドレスポンスの種類・役割を分析した。

また、主に米国での再生可能エネルギー対応としてのデマンドレスポンスの活用施策の調査を行い、我が国でもデマンドレスポンス資源を利用・定着させていくために必要な検証事項を抽出した。

なお、デマンドレスポンスを起こすには、電力価格を需要家へのシグナルとして用いる方法と、需要抑制または造成を直接需要家へ指示する方法の、二つのメカニズムに大別される。これらのメカニズムは文献によって様々な名称でよばれているが、指し示す概念は同じである。これは表 3-3 に整理した。

表 3-3 デマンドレスポンスのメカニズム

電力価格をシグナルとして用いる	需要抑制・造成を直接指示するもの
電力価格反応型	発電機型
間接的デマンドレスポンス	直接的デマンドレスポンス
需要側デマンドレスポンス	供給側デマンドレスポンス
Implicit DR	Explicit DR
電気料金ベース	インセンティブベース

3.2 系統強化方策の技術動向

本節では、デマンドレスポンスと競合し得る役割を持つ蓄電池の技術動向、国内のデマンドレスポンスに関する実証動向についてとりまとめた。

3.2.1 蓄電池の技術動向

(1) 技術概要

低炭素化への動きとして、再生可能エネルギー拡大や分散型電源化を進める中で、蓄電池による電力需給の負荷平準化やスマートグリッド社会実現への貢献が期待されている。表 3-4 に示すエネルギー・電力貯蔵技術の中でも、蓄電池は高い応答性を持ち、携帯機器のバッテリーのような民生用から電力負荷平準化を目的とした系統用まで、複数の用途に利用されている。

表 3-4 エネルギー・電力貯蔵技術の分類

種類	貯蔵方法	特徴	主な用途	課題
蓄電池 (二次電池)	化学エネルギー	連続的・比較的速い応答 (分オーダー)	携帯機器、車両 負荷標準化	コスト・耐久性 大容量化
フライホイール	運動エネルギー	瞬低対策 (秒～分オーダー)	電車の回生 電力安定化	耐久性
キャパシタ	物理(吸着) エネルギー	速い応答 (秒オーダー)	瞬低対策 風力安定化	耐久性・コスト
揚水発電	位置エネルギー	大容量・連続的 (時間オーダー)	負荷標準化	系統連系 立地が課題
超伝導電力貯蔵 (SMES)	磁気エネルギー	瞬低 (ミリ秒オーダー)	瞬低対策	冷凍機が必要 線材の高温化
圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES)	圧縮エネルギー	大容量・連続 (時間オーダー)	負荷標準化	立地 火力発電に併設
水素	化学エネルギー	電気分解等で製造、燃料電池・火力で発電	FC自動車 コージェネ	水素の輸送・貯蔵・ 効率

出所) 「電力貯蔵の技術開発動向」²より作成

² 第9回地球温暖化対策シンポジウム、池谷知彦(2015年) (<http://www.global-kansai.or.jp/topics/img/H27.2.19-ikeya.pdf>)

蓄電池の分類について表 3-5 に整理した。蓄電池以外にも、比較することを目的としてキャパシタおよびフライホイールについても同様に整理している。また、表 3-6 には蓄電池の主要用途を整理した。

蓄電池の用途としては主に定置用と車載用に分類している。携帯電話等の電子機器に仕様する民生用途は電力系統への影響が小さいため、本調査の対象から除外している。定置用では、変電所や発電所に併設される「系統用」、ピークカットや非常時利用を目的に、工場や病院に設置される「需要家向け（業務用）」、PV 発電電力の自家消費等を目的に家庭に設置される「需要家向け（家庭用）」に分類している。

リチウムイオン電池は、システム価格（円/kWh）は高額だが、エネルギー密度と充放電効率が高く、長寿命であることから、系統用や車載用まで広く用いられている。

NAS 電池やレドックスフロー電池は、大規模なシステムが要求される系統用や需要家（業務向け）用途で、比較的容量あたりのシステム価格が安いために使用されている。これらの蓄電池は小型化が困難な点に課題があるため、家庭用や車載用では使用されていない。

鉛蓄電池は、車載用や非常時用の蓄電池として普及してきたが、寿命が短く、充放電効率があまり良くないため、自動車の起動用を除いてリチウムイオン電池への代替が進んでいる。

また、ニッケル水素電池は、車載用や定置用で使用されているが、リチウムイオン電池と比較してエネルギー密度が低く、寿命が短いため、価格面での優位性ほど普及は進んでいない。

表 3-5 蓄電池の分類

種類	エネルギー密度 ^{注1}	充放電効率	寿命 ^{注2} (サイクル寿命)	最大蓄電池容量	時間率	容量あたりシステム価格	主要用途	メリット	デメリット
リチウムイオン電池	200Wh/L	80~90%	~20年 (~10,000回)	~数 MWh	0.5 - 4	15~25 万円/kWh	系統用 需要家用 車載用 (EV)	高充放電率 エネルギー密度大	高コスト 安全性
鉛蓄電池	84Wh/L	75~80%	5~15年 (600~4,500回)	~数 MWh	1 - 10	5~15 万円/kWh	系統用 (長周期) 需要家用 (非常時) 車載用	安価 大容量	エネルギー密度小 サイクル寿命短
ニッケル水素電池	60Wh/L	75~85%	5~7年 (2,000回)	~数百 kWh	0.5 - 3	10~15 万円/kWh	車載用 (HV)	高充放電率	サイクル寿命短 エネルギー密度小
NAS 電池	160Wh/L	75~80%	15年 (4,500回)	~数百 MWh	6 - 7	3~5 万円/kWh	系統用 需要家用 (工場等)	安価 大容量 長寿命	昇温電力必要
レドックスフロー電池	10Wh/L	70~75%	20年	~数 MWh	1 - 10	6~7 万円/kWh	系統用 (長周期) 需要家用 (工場等)	安価 長寿命	エネルギー密度小
キャパシタ	数十 Wh/L	90~95%	10年 (100,000回)	~数百 kWh	-	2~12 万円/kW	系統用 需要家用 (UPS) 車載用 (回生)	高出力 安全性	高コスト
フライホイール	200Wh/L	90~95%	15年 (200,000回)	~数百 kWh	-	4~5 万円/kW	系統用 (短周期) 需要家用 (UPS)	高出力 エネルギー密度大	高コスト

注1：システムではなく、モジュールでの値 注2：寿命は温度などの設置環境に左右される

出所) 企業ヒアリング、各種公開資料に基づき三菱総研作成

表 3-6 蓄電池の主要用途分類

分類		蓄電池の種類	用途
定置用	系統用	<ul style="list-style-type: none"> ● NAS 電池 ● レドックスフロー電池 ● リチウムイオン電池 	<ul style="list-style-type: none"> - 配電網より上流に設置されており、ピークシフトや再エネ出力安定化等、長周期対策に使用 - 米国等アンシラリー・サービス市場向けには大規模・高出力な系統用蓄電システムを設置
	需要家向け (業務用)	<ul style="list-style-type: none"> ● NAS 電池 ● レドックスフロー電池 ● リチウムイオン電池 	<ul style="list-style-type: none"> - 工場や病院、オフィスビルなどに、ピークカットや非常時利用を目的に設置 - 非常用電源を除き、kW 価値が重視される
	需要家向け (家庭用)	<ul style="list-style-type: none"> ● リチウムイオン電池 ● 鉛蓄電池 	<ul style="list-style-type: none"> - 昼夜間値差利用や PV 電力の自家消費量増加を目的として設置 - 10kWh 未満の蓄電システムが一般的
車載用		<ul style="list-style-type: none"> ● リチウムイオン電池 ● ニッケル水素電池 	<ul style="list-style-type: none"> - EV や PHEV、HEV に使用 - 数年車載用として使用された蓄電池を複数組み合わせるにより、系統用／業務用蓄電池として再利用する事例あり

(2) 蓄電池の用途

1) 日本

我が国における大型定置用蓄電池の導入は、風力発電やメガソーラーといった再生可能エネルギーの出力平準化を目的とした実証事業が中心である。表 3-7 に日本国内で実施されている定置用蓄電池の実証事業を整理した。

北海道では、経済産業省「大型蓄電システム緊急実証事業」において、住友電気工業製のレドックスフロー電池（出力 15MW、容量 60MWh）を 275kV 基幹系統の南早来変電所に設置した。変電所へ接続されている複数の再生可能エネルギー発電機の出力変動に対する、調整力としての性能実証および最適な制御技術を開発することを目的としており、短周期対策に加えて、長周期での変動対策や余剰電力抑制の運用が行われた（図 3-1）。

中国電力では、環境省「離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業」において、隠岐諸島の西ノ島変電所に蓄電池を併設し、離島での蓄電池導入による再生可能エネルギー導入量拡大への効果を検証している。短周期対策用のリチウムイオン電池と長周期対策用の NAS 電池を用途に分けて活用することで、蓄電池の設置費用を抑えている（図 3-2）。

表 3-7 日本における系統用蓄電池の実証事業

実証事例	所管省庁	実施主体	蓄電池	実証概要	実証期間
南早来変電所 大型蓄電システム実証事業	経済産業省	北海道電力 住友電気工業	レドックスフロー電池 (15MW/60MWh)	風力/太陽光発電の出力状況を把握、系統周波数維持を担ってきた既存電源と協調した蓄電池制御システムを開発	2013-2018
西ノ島変電所 隠岐諸島におけるハイブリッド蓄電池システム実証事業	環境省	中国電力	NAS 電池 (4,200kW/25,200kWh) リチウムイオン電池 (2,000kW/700kWh)	再生可能エネルギーの導入拡大を目的に、蓄電池の効率的な充放電管理・制御手法関連技術を実証	2014-2018
西仙台変電所 周波数変動対策蓄電池システム実証事業	経済産業省	東北電力	リチウムイオン電池 (2 万 kW (短時間出力 4 万 kW) /2 万 kWh)	系統への蓄電池設置による周波数調整力の効果検証、並びに、蓄電池システムの最適な制御・管理技術を開発	2013-2017
伊豆大島 安全・低コスト大規模ハイブリッド型蓄電システム技術開発	NEDO	日立製作所 新神戸電機	鉛蓄電池 リチウムイオンキャパシタ (ハイブリッド: 1.5MW)	電力系統に大規模蓄電システムを接続し、短周期変動抑制やピークシフト等の機能やシステム寿命等の有効性検証	2011-2016
離島における再生可能エネルギー導入拡大に向けた蓄電池制御実証事業	環境省	九州電力	リチウムイオン電池 (3 島合計: 8,500kW)	離島の需要規模や系統構成、再生可能エネルギー設置状況等に応じた、効果的な蓄電池制御手法と蓄電池容量等を検証	2013-2016
豊前蓄電池変電所 大容量蓄電システム需給バランス改善実証事業	経済産業省	九州電力	NAS 電池 (5 万 kW/30 万 kWh)	太陽光発電の出力に応じた蓄電池充放電による需給バランス改善、および大容量蓄電システムの運用方法を実証	2015-2016
南相馬変電所 大容量蓄電システム需給バランス改善実証事業	経済産業省	東北電力	リチウムイオン電池 (4 万 kW/4 万 kWh)	電力系統に蓄電池を設置し、需給バランス改善による再生可能エネルギー受入可能量の拡大可能性等の実証	2015

出所) 各種公開資料

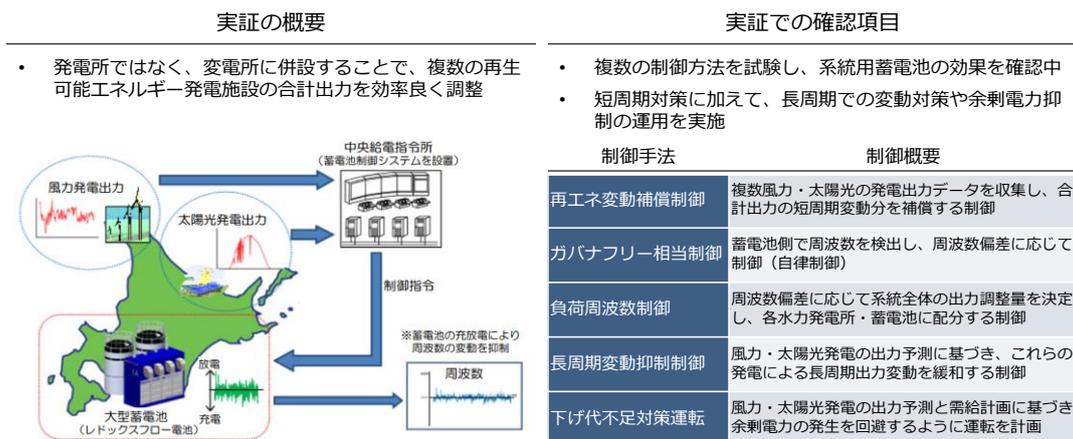


図 3-1 北海道 南早来変電所の実証事業概要

出所) 北海道電力・住友電気工業, 「南早来変電所 大型蓄電システム実証事業について」, 2016 年より作成

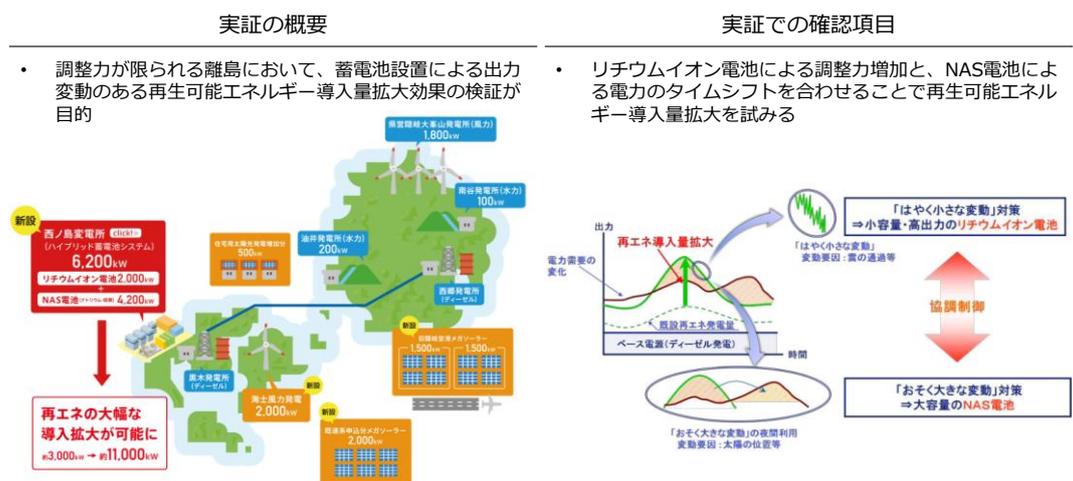


図 3-2 島根県 西ノ島変電所の実証事業概要

出所) 中国電力ウェブサイト, <http://www.energia.co.jp/okihybrid/project/index.html> より 作成

2) 米国

米国ではピーク電力需要の増加や送配電施設の老朽化が進んでいるが、環境面での課題から火力発電施設の新規建設が困難なため、代替手段として定置用蓄電池への期待が高まっている。実際、カリフォルニア州では定置用蓄電池の設置を電力会社に義務付けており、蓄電池のさらなる導入を促している。

Rocky Mountain Institute (RMI) では、NREL³や EPRI⁴が推計した、定置用蓄電池の価値を

³ 米国立再生可能エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory, <http://www.nrel.gov/>)

⁴ 米電力研究所 (Electric Power Research Institute, <http://www.epri.com/>)

用途別に整理して、米国での定置用蓄電池のサービス価値をまとめている（図 3-3）。用途に対して価格にばらつきがみられるが、これは各機関での推計方法や、対象としている電力取引市場といった前提条件が異なるためである。

米国市場においては、定置用蓄電池による送配電設備の投資回避効果が高く、その価値は年間 500-900USD/kW と推計されている。また、米国内には既に電圧調整や周波数調整等のアンシラリー・サービス市場が形成されており、定置用蓄電池活用により、年間あたり約 200USD/kW の価値を見込んでいる。

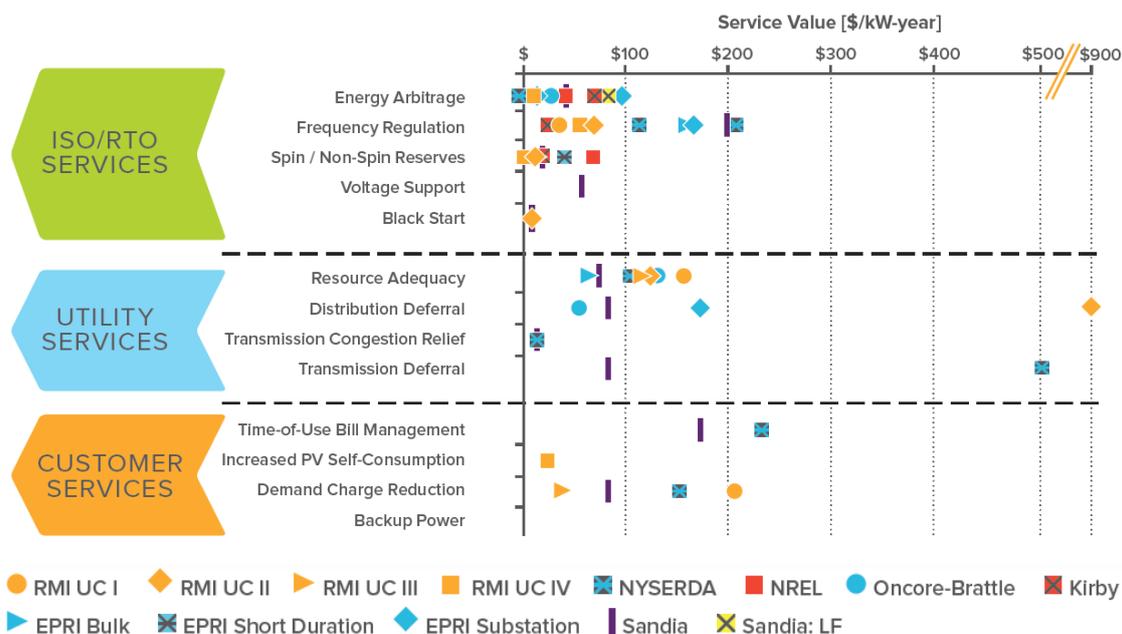


図 3-3 米国における定置用蓄電池の提供価値（USD/kW）

出所) Rocky Mountain Institute, “The Economics of Battery Energy Storage: How Multi-use, Customer-sited Batters Deliver the Most Services and Value to Customers and the Grid”, 2015 年

American Electric Power⁵では、ピーク電力需要の増加に対応するためにメガワット級のNAS 電池を変圧器に併設した。ピーク時の電力需要増加には、変圧器といった送配電設備の増設が必要になるが、建設費用が高く、製品発注から設置までに期間を要するため、3 年間はNAS 電池を代替手段として利用し、ピーク時の負荷低減および温度上昇の抑制を行った。ピーク時の負荷平準化に加えて、NAS 電池に充電した電力を電力取引市場で販売することにより、エネルギー費用削減効果として夏季3 ヶ月で約 24,000USD の利益を獲得している（図 3-4）。

⁵ American Electric Power は米国で最大手の一角を占める電力会社で、米国最大の送電網を保有している。11 の州に及ぶ 530 万世帯以上の顧客に電力を供給している。

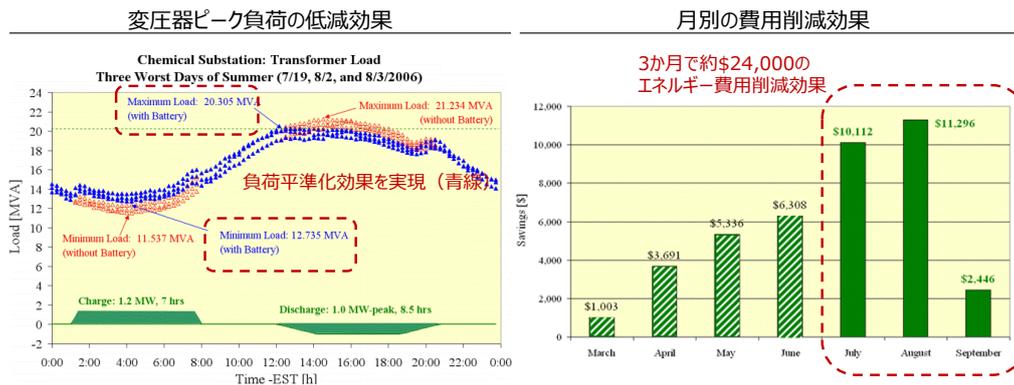


図 3-4 送配電設備への NAS 電池設置効果

出所) AEP, “NAS Battery Performance at Charleston, WV”, 2006 年

(http://www.sandia.gov/ess/docs/pr_conferences/2006/nourai.pdf) より作成

米国の PJM⁶管内では、2011 年より周波数制御へ貢献する機器にインセンティブが与えられており、蓄電池を活用したアンシラリー・サービス事業が実施されている。電力供給事業者である AES は、自社が運営しているウインドファームにリチウムイオン電池を併設し、風力発電施設の出力変動抑制に加えて、PJM へ蓄電池の周波数調整能力を提供している。AES Laurel Mountain のプロジェクトでは、周波数調整力としての蓄電池の利用可能性を実証し、PJM から発進される高速応答シグナルに反応する系統用電力貯蔵としての蓄電池の将来性を証明している (図 3-5)。

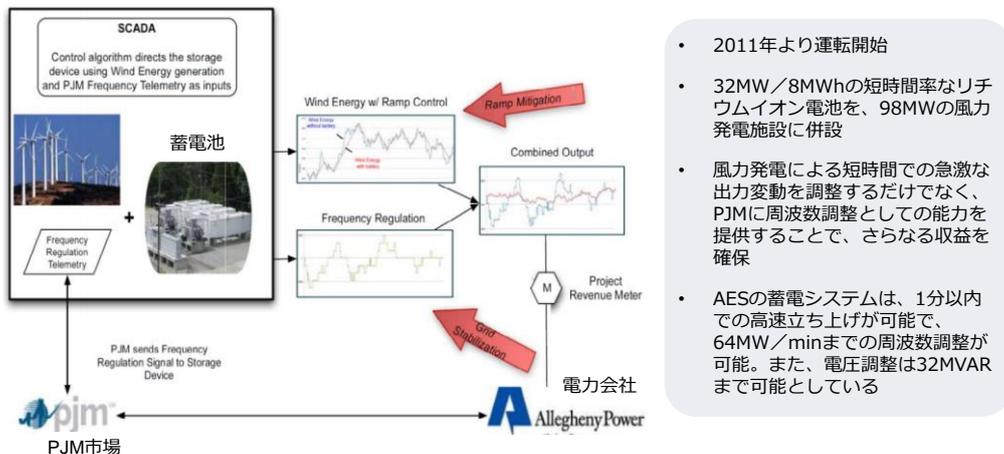


図 3-5 AES Laurel Mountain 概要

出所) AES, Laurel Mountain Overview, 2012 年

(http://www.wvcommerce.org/App_Media/assets/doc/energy/WWG/2012/AES-LM-Overview2012.pdf) より作成

⁶ PJM は Pennsylvania-New Jersey-Maryland の略で、ペンシルベニア州を中心に米国中東部の 13 州およびワシントン DC 地域にまたがって、電力市場を運営する独立系統運用者 (ISO) および地域送電機関 (RTO) として機能している。

米 Stem では蓄電池を利用したサービスを提供している。Stem が開発したエネルギーマネジメントシステムにより、商業ビルや学校等の対象施設の電力需要を予測し、電力需要のピーク発生が予想された際に蓄電池から放電することにより、ピークカットとそれに伴う基本料金（Demand Charge）の削減を行う。



図 3-6 Stem 導入による基本料金削減

出所) Stem, “Behind-the-meter storage“, 2013 年 (<http://svlg.org/wp-content/uploads/2013/11/Stem-SVLG-11-21.pdf>) より作成

(3) 蓄電池の価格動向

1) 日本

2016 年 9 月、経済産業省が開設したエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会において、2020 年度に向けて家庭用蓄電池で 9 万円/kWh、産業用蓄電池で 15 万円/kWh を定置用蓄電池の目標価格とすることが発表された（図 3-7）。

策定された目標価格は、蓄電池を導入することで設置者が受け取る収益を考慮している。家庭用では PV との併用による自家消費拡大効果、産業用ではピークカットによる契約電力削減効果が考慮されており、蓄電池を設置した場合に、初期設置費用が回収できることを前提に目標価格が設定されている。目標価格はシステム全体の価格で、工事費（もしくは設置費）は含まれていない。

また、NEDO が 2013 年に公表した二次電池技術開発ロードマップでは、系統用蓄電池の目標価格として、2020 年頃に長周期変動対策が 2.3 万円/kWh、短周期変動対策が 8.5 万円/kWh とすることが記載されている。

エネルギー革新戦略（2016年4月公表）

- ✓ 今後導入拡大が期待される定置用蓄電池については、車載用蓄電池の市場拡大・技術革新の進展も踏まえて2016年夏までに目標価格を設定するとともに、価格低減・導入拡大に向けた対応策をまとめ、2017年度にその実施に向けて取り組む。



第4回エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（2016年9月14日開催）

- ✓ 家庭用では2015年度実績である約22万円/kWhから**2020年度9万円/kWh以下**を目指す。
 - ・ 住宅用太陽光の余剰買取期間を終了した需要家が、太陽光電気の蓄電による自家消費の拡大及び系統電気の買電抑制により、15年程度で投資回収できる蓄電システム価格
- ✓ 産業用では2015年度実績である約36万円/kWhから**2020年度15万円/kWh以下**を目指す。
 - ・ ピークカットによる契約電力削減により、7年程度で投資回収できる蓄電システム価格

図 3-7 日本における定置用蓄電池の目標価格

出所) 経済産業省, 「エネルギー革新戦略」, 2016年

(<http://www.meti.go.jp/press/2016/04/20160419002/20160419002-2.pdf>)、

経済産業省 エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（第4回）, 「資料 9-2 定置用蓄電池の目標価格設定」, 2016,

(http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/004_09_02.pdf) より作成

2) 米国

米国では、カリフォルニア州を始め定置用蓄電池の目標導入量が定められているが、目標価格は設定されていない。しかしながら、EV や PHEV の車載用蓄電池モジュールでは米国エネルギー省（Department of Energy, DOE）が目標価格として、2022年に125USD/kWhとすることを発表している（図 3-8）。車載用は定置用に流用することが出来るため、車載用電池セルの価格低減により、定置用蓄電池の価格が低減することが期待される。EV を製造している Tesla では、家庭用リチウムイオン電池「PowerWall」を販売しており、14kWh の蓄電システムが1台あたり87.3万円（約6.2万円/kWh）で販売され、定置用蓄電池を低価格で提供している⁷。

⁷ 本体価格は69.6万円で、設置費用やハードウェアの費用が17.7万円から提供される。日本では、2017年より設置が開始される予定となっている。（<https://www.tesla.com/jp/powerwall>）

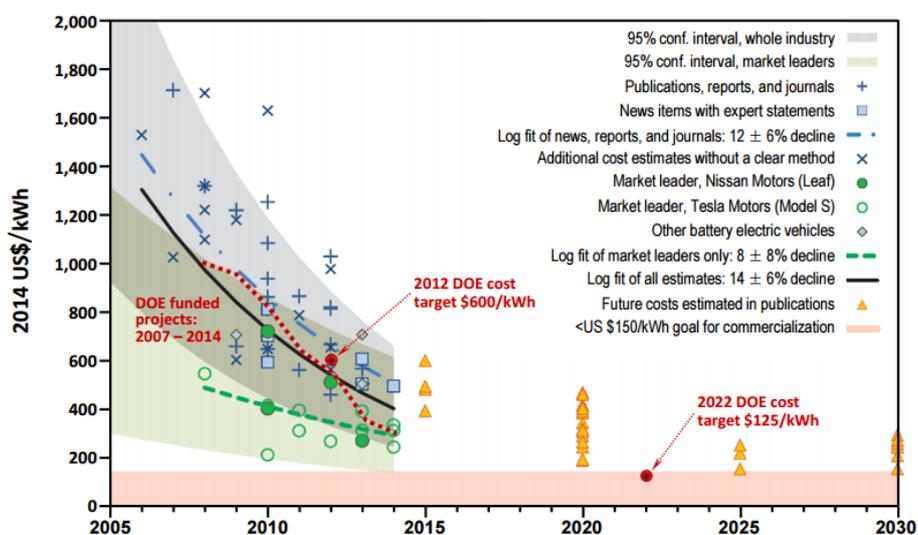


図 3-8 米国における蓄電池モジュールの目標価格

出所) DOE Vehicle Technologies Office, Overview of the DOE Advanced Battery R&D Program, 2015 年
https://energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f23/es000_faguy_2015_o.pdf

(4) 蓄電池の技術開発状況

車載用蓄電池を主な対象として、リチウムイオン電池以上の出力密度、エネルギー密度を有する次世代電池の技術開発が世界的に進められている。ここでは、現状の 80~200Wh/kg 以上のエネルギー密度を目標に技術開発が実施されている日本と米国での取り組みを紹介する。

1) 日本

NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 では、系統用蓄電池の目標価格に加えて、蓄電池の課題が整理された。リチウムイオン電池の場合には、コスト低減や安全性向上、温度特性改善、過充電耐性付与、リサイクル技術確立が課題として挙げられており、これらの課題に取り組む研究開発が実施されることが期待される。

2009 年度から 2015 年度にわたり、NEDO では「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (RISING 事業)」を実施し、京都大学と産業技術総合研究所を中心に、大学や研究機関、自動車メーカー、電池メーカーの研究者が集まり、エネルギー密度 500Wh/kg の蓄電池開発に取り組んだ。亜鉛空気、ナノ界面、硫化物の 3 タイプの革新型蓄電池において、研究レベルでエネルギー密度 300Wh/kg を達成している。

2016 年度からは、RISING 事業の成果をうけて「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2)」が開始され、車載用を対象として 2030 年でのエネルギー密度 500Wh/kg の蓄電池を実用化することを目標に、ポストリチウムイオン電池の研究開発が進められている (図 3-9)。

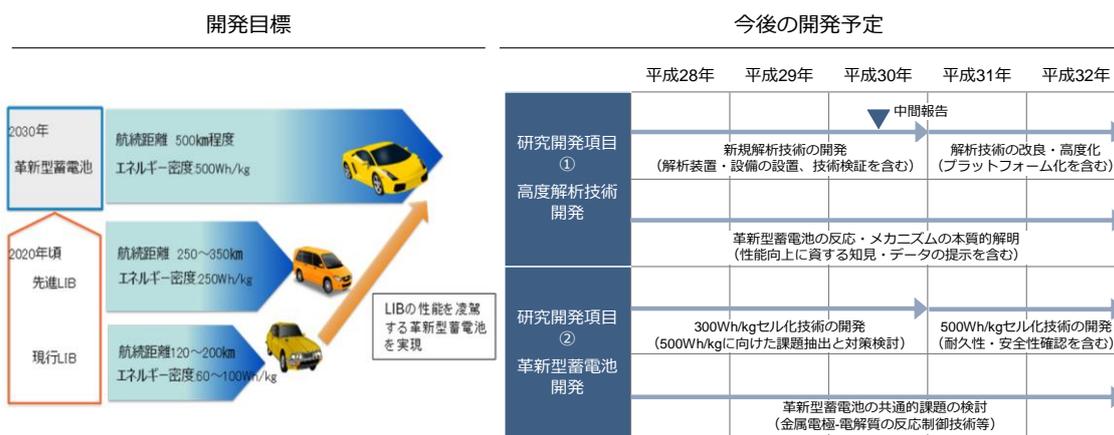


図 3-9 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発の概要

出所) NEDO, 「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100121.html

2) 米国

米国でも日本と同様に車載用蓄電池が技術開発のターゲットとなっており、DOE 主導の下、2022 年に電池セルベースで 350Wh/kg の蓄電池実現を目標に技術開発が進められている (図 3-10)。また、DOE 傘下で研究開発プログラムを所掌しているエネルギー高等研究計画局 (Advanced Research Projects Agency-Energy, ARPA-E) では、ポストリチウムイオン電池を開発する「Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation」や、再生可能エネルギーによる発電電力を貯蔵することを目的に、リチウムイオン電池以外のフライホイールやフロー電池を開発する「Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage」を実施している。

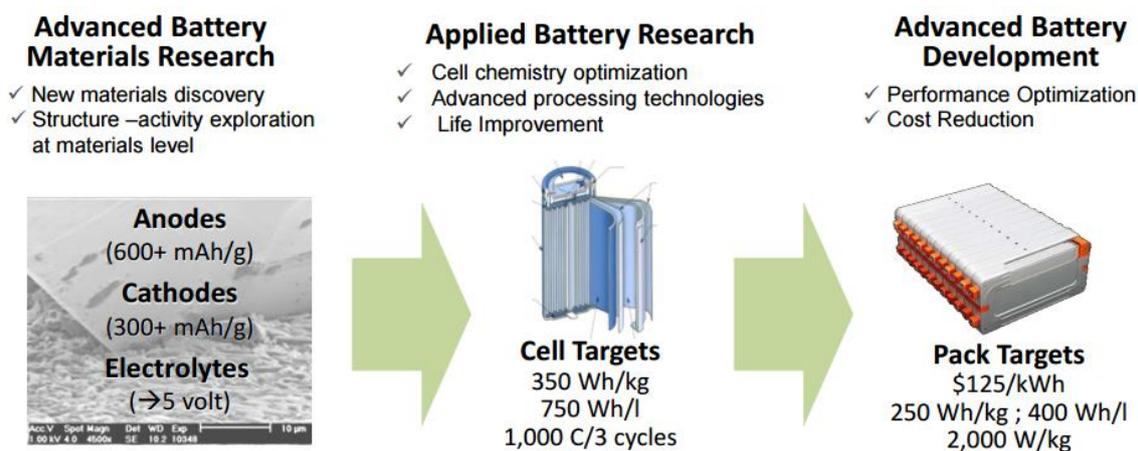


図 3-10 DOE の車載用蓄電池開発目標

出所) DOE Vehicle Technologies Office, “Overview of the DOE Advanced Battery R&D Program”, 2015 年
https://energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f23/es000_faguy_2015_o.pdf

3.2.2 国内におけるデマンドレスポンスの実証動向

我が国では、ネガワット取引やこれを含めたエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスの検討の枠組みの中でデマンドレスポンスに活用に関する検討が進められている。これらは関係省庁の審議会を通じて検討されている。また、経済産業省主導でこれらの検討と関連して、バーチャルパワープラント（VPP；仮想発電所）に関する実証も進められている。以下に関連テーマに関する議論の動向を整理する。

(1) ビジネスモデル・サービスに係る議論の動向

経済産業省では、2016年1月よりエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会を開設し、関連の検討を進めている。議論の内容は通信技術から制度面の取組みまで、当該ビジネスに関わる多岐に渡る要素を対象とする。

同検討会ではその議題の1つに「アグリゲーションビジネスの意義や課題の共有」を掲げている。エネルギー・リソース・アグリゲーションの対象範囲として、需要家等の創エネルギー機器・設備、蓄エネルギー機器・設備、負荷機器・設備を挙げられる。これらを遠隔操作等することにより得られるネガワット・需要創出・ポジワットをアグリゲートすることで表3-8のようなサービスが創出されると考えられている。

表 3-8 エネルギー・リソース・アグリゲーションに基づくサービス

便益の受け手	便益内容		概要
送配電事業者	系統安定化	周波数調整	需要家側の分散電源発電、蓄電池充放電、負荷制御・需要抑制量等を集め、送配電事業者に対してリアルタイム市場(2020年創設)等を通じ、各種サービスを提供。
		需給バランス	
その他(配電網の電圧調整等)			
	投資最適化		蓄電池等の活用により、系統・変電所等の更新・増強を回避
小売事業者	電力調達 インバランス回避		リソースアグリゲーター(小売事業者含)が、調達した電力量/ネガワットを市場(スポット市場、1時間前市場(2017.4~)) 経由あるいは相対取引にて供給。
需要家	電力料金削減		<ul style="list-style-type: none"> 契約電力削減(ピークカット) 電力購入タイミングおよび電力購入量を最適化(エネマネ、利用時間シフト、省エネ)
	設備の最適利用による収益化		供給余力のある需要家の分散電源、蓄電池を活用し、電力量/ネガワットを販売
	BCP		災害時においても、分散電源や蓄電池からの電力を活用
	DR参加インセンティブ		需要家がDRに参加する場合、インセンティブを提供
再エネ発電事業者	出力抑制回避		出力抑制が発動する場合に、蓄電池等により需要創出することで、再エネ発電を最大限活用。

出所) エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会(第1回)⁸

⁸ http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/001_04_00.pdf

(2) 制度設計に関する議論の動向

1) ネガワット取引に関する動向

我が国におけるデマンドレスポンス市場に関する検討は、ネガワット（下げDR）の取引市場に関する検討の枠組みの中で進められている。

ネガワット取引では、小売電気事業者等と需要家との間に専門の第三者（ネガワット事業者）が介在することにより、家庭も含めた多様な需要家を対象として、幅広い小売電気事業者等が節電による電力削減分を取引することが可能になる。

現在、「総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力基本政策小委員会」、「電力・ガス取引監視等委員会 制度設計専門会合」、において、ネガワット取引市場に関する制度設計が進められている。また、先述の「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会」でもその議題の1つに「ネガワット取引活性化に向けた取引ルール等の策定」を掲げ、議論を進めている。2016年7月1日には電力基本政策小委員会における中間とりまとめが公表されとともに、2016年9月1日には「ネガワット取引に関するガイドライン」の改訂版が公表されている。2017年4月には電気事業法の改正に基づき、市場の運用が開始される予定である。これらの検討の進捗状況を整理すると、表3-9のとおりである。

表 3-9 ネガワット取引に関する検討と進捗

主要項目	必要なルールの整備
①改正法施行日（運用開始時期）	政令
②制度の対象となるネガワット取引	省令、託送供給等約款
③卸電力取引所の活用	JEPX業務規程
④ネガワット事業者に求める規律	省令、託送供給等約款、送配電等業務指針
⑤ベースラインの設定	ネガワット取引に関するガイドライン(指針)
⑥インバランス精算の責任所在	託送供給等約款
⑦ネガワット調整金	ネガワット取引に関するガイドライン(指針)
⑧ネガワット事業者への情報提供	送配電等業務指針等
⑨ネガワット契約の重複	託送供給等約款

① : 電力基本政策小委員会
② : 制度設計専門会合
⑤ : E R A B検討会

} 主に取り扱い
 った委員会

*赤字は既に整備したものを指す

※電気事業法等の一部を改正する等の法律の一部の施行期日を定める政令
<http://www.meti.go.jp/press/2016/05/20160524001/20160524001.html>

出所) 電力基本政策小委員会（第7回）⁹

2) 調整力市場に関する動向

我が国では一般送配電事業者が調整力の確保の役割を担っている。来年度以降の調整力については2016年10月より公募が実施されており、容量価格の低い電源から調整力とし

⁹ http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/kihonseisaku/pdf/007_05_01.pdf

て確保されることとなる。「電力システム改革貫徹のための政策小委員会」の中間取りまとめによれば、今後は公募結果等を踏まえつつ、需給調整市場（リアルタイム市場）の詳細設計をがなされ、一般送配電事業者が調整力を市場で調達・取引できる環境が整備される見通しである¹⁰。

3) 容量メカニズムに関する動向

我が国においても、欧米諸国と同様に変動電源である太陽光発電、風力発電の普及拡大に伴い、調整電源の必要性が高まっている。他方、電力システム改革による卸取引市場の拡大にともない、新設電源の投資回収の予見性が低下する現状にある。このため、必要とされる予備力、調整力をための電源設備の新設、維持に向けた投資が困難になることが見込まれる。

こうした状況を踏まえ、発電能力の容量に応じて、電源設備が稼働していない期間（kWh=0の期間）でも一定の収入を得られる仕組み（容量メカニズム：図 3-11）を導入する議論が進められている。特に容量メカニズムに関する論点は経済産業省により 2016 年 9 月に開設された「電力システム改革貫徹のための政策小委員会」における重要論点の 1 つとして挙げられており、今後制度設計に向けた本格的な議論がなされることが見込まれる。

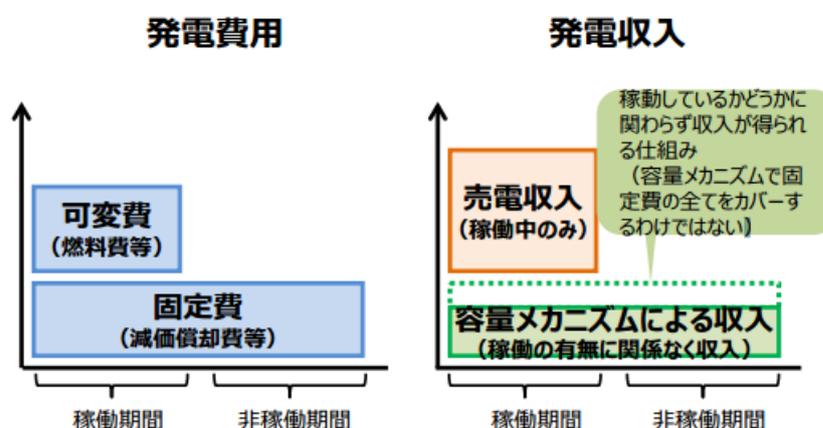


図 3-11 容量メカニズムにおける費用回収イメージ

出所) 電力システム改革貫徹のための政策小委員会（第 1 回）¹¹（経済産業省）

(3) 技術に関する議論の動向

1) VPP に関する動向

エネルギー・リソース・アグリゲーションに関連して、VPP の技術実証も進められている。VPP では、分散設置されたエネルギーリソース（発電設備、蓄電設備、需要設備）を ICT

¹⁰ http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/data/pdf/20170209002_01.pdf

¹¹ http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/kihonseisaku/denryoku_system_kaikaku/pdf/01_06_00.pdf

技術の活用により統合制御し、あたかも1つの発電所のように運営することが目指されている。

日本では具体的な取組みとして、経済産業省により「バーチャルパワープラント構築実証事業」が2016年～2020年の5年事業として推進されており、50MW以上の仮想発電所の制御技術の確立に向け、更なる再生可能エネルギー導入拡大や省エネルギー・負荷平準化等を進めている。本実証プロジェクトでは、「バーチャルパワープラント構築事業（A事業）」に係る間接補助事業者について平成28年5月19日から公募を行い、の7件（テーマ）を採択している。また、各実証事業の内容を整理すると表3-11のとおりである。

複数のプロジェクトにおいて、家庭の蓄電池や空調・給湯機器が利活用の対象に含まれている。これらの機器設備は通信技術、IT技術に基づき一定の制御を受け、これにより電力需給バランスの調整に役立てられることが想定されている。

表 3-10 バーチャルパワープラント構築事業（A事業） 採択テーマ

実証事業名	参画企業
関西 VPP プロジェクト	関西電力株式会社/富士電機株式会社/株式会社 GS ユアサ/住友電気工業株式会社/日本ユニシス株式会社/株式会社 NTT スマイルエナジー/株式会社エネゲート/エリーパワー株式会社/株式会社大林組/一般財団法人関西電気保安協会/株式会社ダイヘン/Nature Japan 株式会社/三菱商事株式会社/株式会社三社電機製作所
スマートレジリエンス・バーチャルパワープラント構築事業	東京電力エナジーパートナー株式会社 /横浜市 /I B J L 東芝リース株式会社
蓄熱槽を含む多彩な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の構築	アズビル株式会社/東京電力エナジーパートナー株式会社/株式会社三菱地所設計/明治安田生命保険相互会社/日本工営株式会社
バーチャルパワープラント構築を通じたリソースアグリゲーションビジネス実証事業	日本電気株式会社/株式会社グローバルエンジニアリン/ 積水化学工業株式会社/東京電力ホールディングス株式会社/東京電力パワーグリッド株式会社/東京電力エナジーパートナー株式会社/株式会社東光高岳/三井物産株式会社/ONE エネルギー株式会社
IOT とビッグデータを活用した先駆的 VPP 実証事業	株式会社エナリス/KDDI 株式会社/京セラ株式会社/日産自動車株式会社/フォーアールエナジー株式会社/エコ・パワー株式会社
壱岐島における再エネ出力制御回避アグリゲーション実証事業	SB エナジー株式会社
コンビニエンスストアにおける需要家側 VPP システム構築実証事業	株式会社ローソン/慶応義塾大学 SFC 研究所

出所) 経済産業省資料より作成

表 3-11 採択テーマの概要

No	プロジェクト名	カテゴリー	目的	容量・台数	関連機器 ※アグリゲートシステム	期間	地域
1	関西 VPP プロジェクト	システム	電力系統に点在する機器を IoT(モノのインターネット) 化して一括制御することにより、各設備から捻出できる需給調整力を有効活用し、あたかも 1 つの発電所 (仮想発電所) のように機能させる仕組みの構築	-	HEMS、BEMS、FEMS、空調、給湯(家庭用 HP)、EV/PHV、蓄電池、PV(屋根上)	2016 ～ 2020	関西電力管内
2	スマートレジリエンス・バーチャルパワープラント構築事業	バッテリー	蓄電池設備の遠隔操作で、充放電を統合的に制御する実証により、平常時と非常時の機能や事業性・有効性の評価	蓄電池 10kWh(1 台×18 校)	※蓄電池群制御システム	2016 ～ 2018	横浜市
3	蓄熱槽を含む多彩な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の構築	システム	高度なエネルギーマネジメント技術により、需要家側のエネルギーリソースを統合的に制御することで、バーチャルパワープラントの構築	・蓄熱槽空調システムの DR ポテンシャル：ネガワット対応で 1,000MW×3h、ポジワット対応で 753MW×8h ・複数建物 DR：500 棟の業務用ビル(計 45,000kW)	蓄熱槽、PV、蓄電池・コージェネ・PV・冷凍機・空調 (BEMS で遠隔制御) ※複数建物では VEN/VTN で DR	2016 ～ 2020	-
4	バーチャルパワープラント構築を通じたリソースアグリゲーション(RA)ビジネス実証事業	システム	分散するエネルギーリソースをネットワークで接続することによる、状態把握、最適制御の実現	2020 年までに 50MW 以上の VPP 構築	PV、蓄電池、ヒートポンプ給湯器 ※蓄電池群制御システムで同期制御、仮想統合制御ソフトウェアで充放電分配	2016 ～ 2018	-
5	IoT とビッグデータを活用した先駆的 VPP 実証事業	システム	需要家側の創エネ・蓄エネ・省エネの取組みによって生じるエネルギーリソースを統合的に制御し、一つの発電所のように機能させる「バーチャルパワープラント」の構築と技術開発、関連するビジネスモデルの確立	2020 年までに 50MW 以上の VPP 構築	PV(家庭用)、蓄電池、HEMS、EV、車載用蓄電池、風力発電 ※群制御システム	2016 ～ 2020	・高圧需要家：東京，中部，関西 ・低圧需要家：東京，中部，九州
6	壱岐島における再エネ出力制御回避アグリゲーション実証事業	バッテリー	蓄電池を活用した電力需給調整	壱岐ソーラーパーク (出力規模 1,960kW) の出力抑制分が対象	定置型蓄電設備、EV、家庭用蓄電池	2016 ～ 2017	長崎県(壱岐島)
7	コンビニエンスストアにおける需要家側 VPP システム構築実証事業	システム	IoT 化された機器による制御・節電を通じた電力リソース創出の実証	蓄電池 5.6kWh	PV、蓄電池、冷凍冷蔵機、要冷ケース、LED 照明、空調、換気トップライト	2016 ～	東京都小平市

出所) 経済産業省資料より作成

2) 計量に関する動向

「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会」では、その議題の1つに「固定価格買取制度（FIT）併用逆潮流の際の計量方法の整理」を挙げている。現在の法律においては、10kW未満の太陽光発電+FIT電源以外の電源（蓄電池やエネファームなど）が設置されている場合、非FIT電源からの逆潮流は禁じられており、住宅電力負荷に追従するように制御されている。一方、FIT電源以外の電源をアグリゲーションビジネスに活用するためには、逆潮流を可能とする必要がありえることから、その前提として計量方法の整理を行うための議論が進められている（図 3-12）。

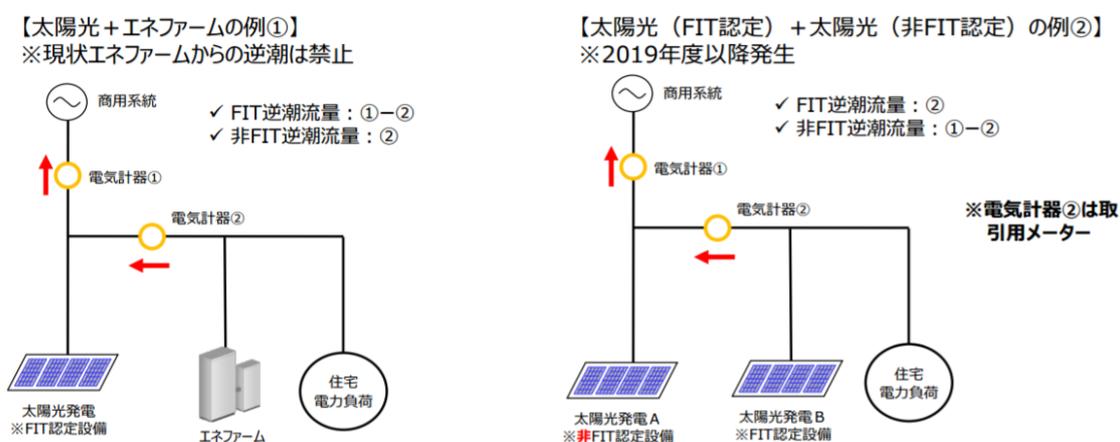


図 3-12 固定価格買取制度併用時の逆潮流の計量の例

出所) エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（第4回）¹²

同検討会における調査の途上で、FIT逆潮流と非FIT逆潮流の計量は、一定の条件下であれば計測機器間の差分による計量の場合も正確であることが確認されている。この状況を踏まえ、FIT認定住宅用太陽光発電設備の発電電力については一般送配電事業者が、エネファームや蓄電池等の非FIT設備からの逆潮流については需要家との契約に基づき小売事業者が買い取ることを想定し、差分計量を可能とする運用を明確化した上で、制度的課題等について2016年度中に議論を進めることとされている。

3) 標準化に関する動向

「エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会」では、その議題の1つに「通信規格の拡張と国際標準化に向けた検討」を挙げている。アグリゲーションビジネスの円滑化に向けては、多様なプレイヤー・機器間の通信規格の在り方を整理する必要がある。

¹² http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/004_08_00.pdf

また、アグリゲータの視点から仕様拡張が望まれるケースや、出力抑制実証の通信規格との連携等に関する議論も必要になる。

これらの状況を踏まえ、同検討会では Open ADR ワーキンググループと ECHONET Lite ワーキンググループを立ち上げ、通信の規格に関する議論を進めている。前者では、米国で開発され、国内でノウハウや実績が積み上がりつつある Open ADR をベースとして、将来的に推奨規格として位置づけることも視野に検討が進められている¹³。また、後者では ECHONET Lite がエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネスに対応するための仕様拡張の方針に関する検討が進められている¹⁴。さらに、両者合同のワーキンググループも実施され、Open ADR と ECHONET Lite の連携に関する検討も進められている。

¹³ エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（第2回）

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/002_03_02.pdf

¹⁴ エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会（第2回）

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/002_02_00.pdf

3.3 国内のデマンドレスポンスのポテンシャル

本節では、再生可能エネルギー（特に太陽光）の大量導入に伴う出力変動の増加や需給ギャップに対する対策として、技術的観点から特に有望と考えられるデマンドレスポンス資源について、国内のポテンシャルを推計した。

3.3.1 デマンドレスポンスのポテンシャル推計方針

(1) 実施内容

再生可能エネルギー（特に太陽光）の大量導入に伴う出力変動の増加や需給ギャップに対する対策として、デマンドレスポンスの活用に着目し、技術的観点から特に有望と考えられるデマンドレスポンス資源について、国内のポテンシャルを推計した。

推計のステップを図 3-13 に示す。本調査では、産業・業務部門のデマンドレスポンス資源について詳細な推計を実施した。

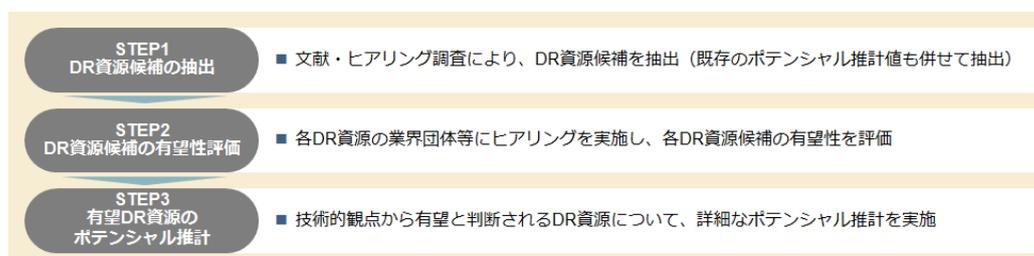


図 3-13 デマンドレスポンス・ポテンシャル推計の実施フロー

(2) デマンドレスポンス資源の特徴と期待される役割

再生可能エネルギーの導入促進に向けた、デマンドレスポンス資源の特徴と期待される役割は、主に表 3-12 のとおり整理される。これらの特徴を踏まえ、本調査では表 3-13 の観点から各デマンドレスポンス資源候補の特徴を整理し、有望性を評価した上で、ポテンシャル推計を実施した。

表 3-12 再生可能エネルギー導入促進に対するデマンドレスポンス資源の特徴と期待される役割

DR 資源の特徴		概要
柔軟性	柔軟性の高い デマンドレスポンス資源	系統側の要請に応じ、大きな制約なく需要の上げ下げに対応できるデマンドレスポンス資源。 (系統側の自動制御を受け入れられる資源)
	柔軟性の低い デマンドレスポンス資源	製品・サービスに影響のない範囲や、事前計画に基づき対応できるデマンドレスポンス資源。 (系統側の自動制御を受け入れられない資源)
対応の方向性	需要を抑制する デマンドレスポンス資源	特に太陽光の発電量が減少する夕方のピークカット等に対応できるデマンドレスポンス資源
	需要を造成する デマンドレスポンス資源	特に太陽光を要因とする昼間の需給ギャップの調整に対応できるデマンドレスポンス資源
即応性	応答速度の速い デマンドレスポンス資源	10 分前程度の、比較的短い応答時間で対応できるデマンドレスポンス資源。
	応答速度の遅い デマンドレスポンス資源	1 時間前、前日など、比較的長い応答時間であれば対応できるデマンドレスポンス資源。
継続性	継続時間の長い デマンドレスポンス資源	数時間～1 日以上など、比較的長い時間対応できるデマンドレスポンス資源。
	継続時間の短い デマンドレスポンス資源	数十分～1 時間程度など、比較的短い時間であれば対応できるデマンドレスポンス資源。

表 3-13 デマンドレスポンス資源候補の特徴整理・評価の観点

評価の視点		概要
柔軟性		柔軟性高／柔軟性低
DR 対応の方向性		需要抑制／需要造成
即応性 (応答時間)		～10 分・～1 時間・前日
継続時間		～10 分、～数時間、～半日、1 日以上
デマンドレスポンス 対応可能な 時期・時間	季節	夏期・冬期・中間期
	時間帯	昼間・夜間
ポテンシャル		技術的ポテンシャル (kW)

(3) デマンドレスポンス資源の特徴と調整力機能との関係

前述したデマンドレスポンス資源の特徴（柔軟性、即応性、方向性）と、再生可能エネルギーに対応した調整力機能への応用可否は、表 3-14 のとおり整理されると考えられる。なお、これは現時点での定性的な評価であり、今後各調整力に求められる要件の具体化や、各デマンドレスポンス資源の対応可能性の検証が必要である点に留意が必要である。

例えば、柔軟性があり、応答時間が早く、需要抑制が可能なデマンドレスポンス資源については、需給調整機能に加えて、運転予備力（瞬動予備力）としての機能を担うことが可能と考えられる。また、柔軟性のないデマンドレスポンス資源についても、事前計画を入念に

行うことで需給調整機能を担うことが可能と考えられる。

表 3-14 はシステム全系に関わる調整力機能について整理している。この他に、線路過負荷や電圧変動、バンク逆潮流などのローカルな事象に対する対応が考えられるが、これらはデマンドレスポンス資源のロケーションによって対応可否が異なる。

表 3-14 デマンドレスポンス資源の特徴と調整力機能との関係

デマンドレスポンス資源の特徴			再生エネルギー対応としての調整力機能		
柔軟性の有無	応答時間	対応の方向性	需給調整	運転予備力	LFC 制御 ^{※3}
柔軟性がある ^{※1}	早い	造成	○		(○) 対応できる 可能性あり
		抑制	○	○ (瞬動予備力)	
	遅い	造成	○		
		抑制	○	△ (待機予備力)	
柔軟性がない ^{※2}	早い	造成	○		
		抑制	○		
	遅い	造成	○		
		抑制	○		

※1 系統側の要請に応じ、大きな制約なく需要の上げ下げに対応できるデマンドレスポンス資源（系統側の自動制御を受け入れられる資源）。

※2 製品・サービスに影響のない範囲や、事前計画に基づき対応できるデマンドレスポンス資源（系統側の自動制御を受け入れられない資源）。

※3 LFC 制御については、我が国においてデマンドレスポンス資源が参入できうるかについて精査が必要。

(4) 技術的ポテンシャルの考え方

本調査では、事業者側のデマンドレスポンス参加意向は考慮せず、各デマンドレスポンス資源の運用実態等を踏まえた上で、技術的に対応可能なポテンシャル(kW)（以下、技術的ポテンシャル）を推計することとした。

デマンドレスポンス資源の技術的ポテンシャルと時間スケールのイメージを図 3-14 に示す。将来的なアグリゲーションビジネスの発展や技術開発の進展、デマンドレスポンス参加のコストインセンティブや、卸電力価格の低下に伴う消費者行動の変化等により、現状のシステム・市場運用では発現が難しいデマンドレスポンス資源についても、将来的な活用可能量は増加していくものと考えられる。

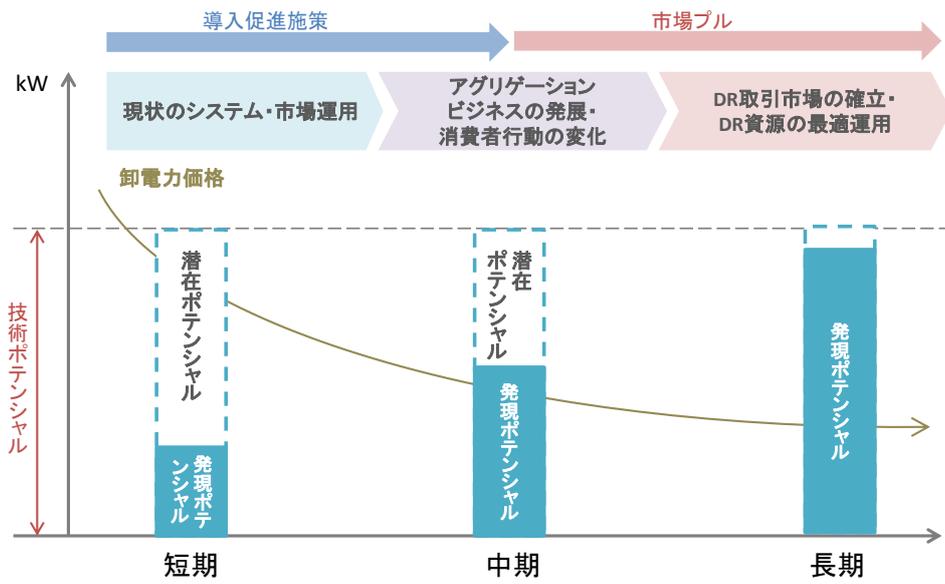


図 3-14 技術的ポテンシャルと時間スケールのイメージ

3.3.2 デマンドレスポンス資源候補の抽出・有望性評価

(1) デマンドレスポンス資源候補の抽出

既存文献および有識者へのヒアリングにより、デマンドレスポンス資源として着目されている、または有望と考えられる設備の抽出を行った。調査結果を表 3-15 に示す。

産業部門では、自家発電設備、生産プロセス・機器、空調機器、業務部門では上水道、下水道、冷凍冷蔵倉庫、空調機器、自動販売機、業務用ショーケース、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭部門では家庭用ヒートポンプ給湯機、運輸部門では電気自動車がデマンドレスポンス資源候補として挙げられた。また、部門共通として、非常用発電設備がデマンドレスポンス資源候補として挙げられた。

このうち自家発電設備については、需要調整代ではあるものの、系統側の火力発電設備と同等の設備であり他のデマンドレスポンス資源と性質が異なることや、特に焚き増しの場合に CO2 増加の可能性があることから、今回は検討の中心からは外すこととした。また、非常用発電機についても、実際の稼働可否が不明であることや、発電効率が低く CO2 増加の可能性があることから、検討対象の中心から外すこととした。

表 3-15 国内におけるデマンドレスポンス資源候補

部門		デマンドレスポンス資源候補	主な出所
主たる検討対象	産業部門	生産プロセス・機器	高橋他, 「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」, 電力中央研究所, 2016
		空調機器	PJM “2015 Load Response Activity Report”, January 2016
	業務部門	上水道	高橋他, 「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, 2014 エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会資料、
		下水道	
		冷凍冷蔵倉庫	
		空調機器	PJM “2015 Load Response Activity Report”, January 2016 有識者等へのヒアリングより
		自動販売機	有識者等へのヒアリングより
		業務用ショーケース	エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会資料
	業務用ヒートポンプ給湯機	PJM, “2015 Load Response Activity Report”, January 2016, エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会資料	
	家庭部門	家庭用ヒートポンプ給湯機	環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016
運輸部門	電気自動車	同上	
参考	産業部門	自家発電設備	主たる検討対象の産業部門と同様
	部門共通	非常用発電設備	有識者等へのヒアリングより

産業部門、業務部門のデマンドレスポンス資源候補の実態をより詳細に把握するため、各デマンドレスポンス資源に関連する業界団体（9 団体）、事業者（1 社）、地方自治体（3 自治体）、有識者等にヒアリングを実施した。

(2) 産業部門

産業部門のデマンドレスポンス資源については、高橋他(2016)¹⁵が詳細にそのポテンシャルを推計している。同論文では、再生可能エネルギーの出力変動対策として予備力供給型デマンドレスポンスを取り上げ、自家発電設備、生産プロセス・機器、空調機器に着目し、アンケート調査を用いて、デマンドレスポンス・ポテンシャルを評価している。

生産プロセス・機器について、デマンドレスポンス対応可能と回答した事業所数と、1 件あたりの平均消費電力を図 3-15 に示す。回答数は「電気炉・誘導炉・焼成炉」が最も多く、1 件あたり平均消費電力も大きい。また、回答数は少ないものの、「電解」の平均消費電力が突出している。

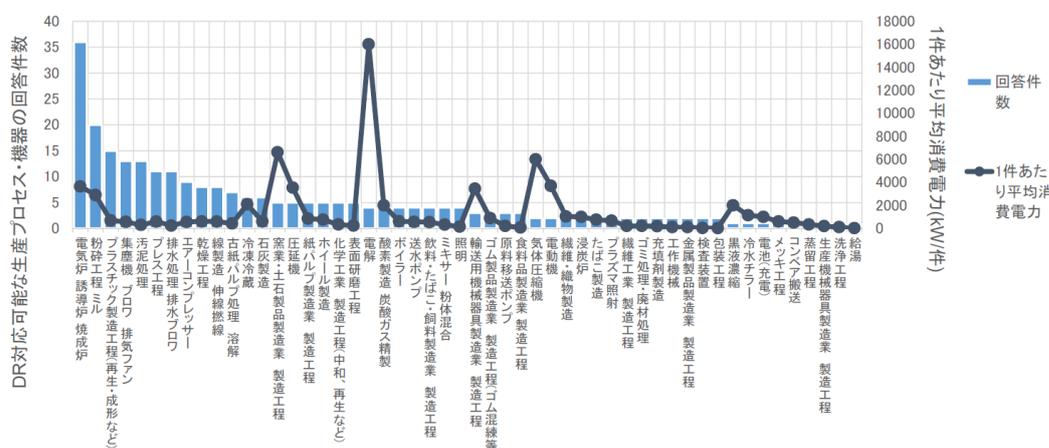


図 3-15 デマンドレスポンス対応可能と回答した事業所数と 1 件あたり平均消費電力 (生産プロセス・機器)

出所) 高橋他, 「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」, 電力中央研究所, 2016

同論文において、アンケート結果（当該施設の消費電力（または発電電力）、当該施設が稼働する季節・時間帯、デマンドレスポンス対応可能性）を用いて推計された、産業部門における日本全体のデマンドレスポンス・ポテンシャル推定値を図 3-16 に示す。前日通知の場合、需要抑制は約 3.3~3.7GW、需要造成は約 3.5~4.1GW と推計されている¹⁶。

全体として、自家発電設備と生産プロセス・機器のポテンシャルが主であり、空調機器のポテンシャルは小さい。自家発電設備は需要抑制・造成のいずれも対応可能で、1 時間前通

¹⁵ 高橋他, 「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」, 電力中央研究所, 2016

¹⁶ 本結果は、技術的制約や管理者の意思を反映した導入可能ポテンシャルであり、技術的ポテンシャルではない。また、デマンドレスポンス参加に伴う金銭的インセンティブを提示していないため、市場ポテンシャルではない点に留意が必要。

知でも対応可能である。

生産プロセスについては、需要抑制のポテンシャルは大きいものの、需要造成のポテンシャルは小さい結果となっている。また、応答時間が1時間前通知、10分前通知になると、ポテンシャルが大きく減少する。

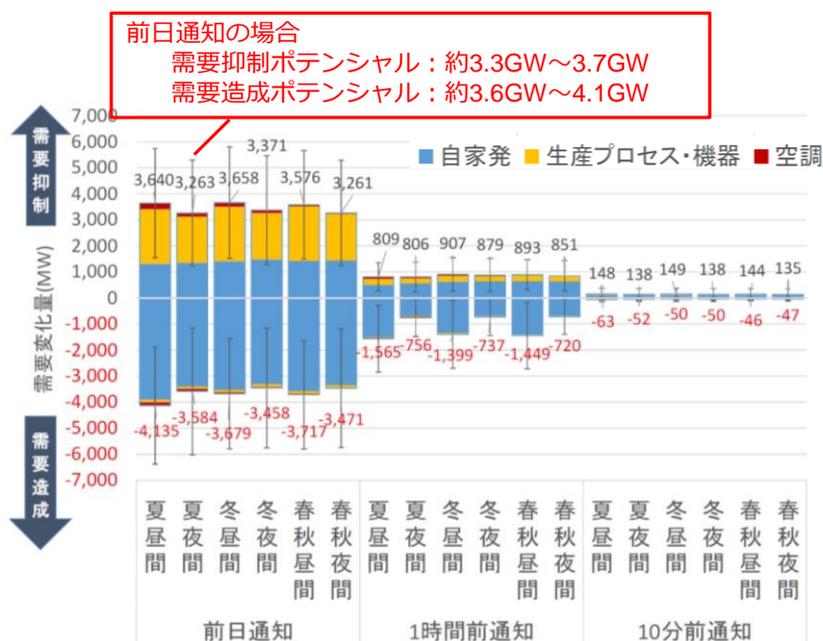


図 3-16 産業部門における予備力供給型デマンドレスポンス・ポテンシャル推定値 (季別、デマンドレスポンス種類別)

出所) 高橋他, 「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」, 電力中央研究所, 2016

上記の文献調査結果を踏まえ、本調査としては、生産プロセス・機器のうち「電気炉」および「電解」に着目し、その実態を詳細に把握すべく、業界団体等へのヒアリング調査を実施した。

1) 電気炉

電気炉のデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査のポイントを下記に示す。電気炉の中では、金属溶解に一般的に用いられている「アーク炉」が有望であり、作業時間の変更（夜間→昼間）により、需給ギャップの解消（昼間の需要造成）に活用可能との情報を得た。

一方で、エネルギー消費量の観点から炉内温度を一定に保つことが望ましく、細かい時間単位の調整には不向きとの情報を得た。

<電気炉・誘導炉・焼成炉 ヒアリング調査結果>

- 電気炉の中で、デマンドレスポンス資源として有望なのは、特にアーク炉と考えられる。その他、溶解炉、加熱炉もポテンシャルがあると考えられる。
 - ✓ アーク炉：アーク（気体中での放電の一種）により加熱する方式の炉で、最も一般的な製鋼技術（一般社団法人日本鉄リサイクル工業会ウェブサイトより）。電気を大量に消費するため、電力料金の節減を目的に、夜間操業（ピークカット）や休日操業を従前から行っている事業者が多い。
 - ✓ 溶解炉・加熱炉：生産調整がしやすいため、デマンドレスポンスのポテンシャルはある。
- 電気炉の電力消費は台形型（朝の操業開始とともに立ち上がり、日中はほぼフラット、夕方の操業終了に伴い減少する）であり、細かい時間単位でのデマンドレスポンス対応は難しい。
- デマンドレスポンス資源としては、あらかじめ作業時間を昼または夜にシフトする、あるいは生産スピードを調整して作業時間を伸ばす（または縮減する）対応となる。
 - ✓ 電気炉は使用せずに時間を空けてしまうと再度蓄熱するエネルギーが必要になり、エネルギー損失が大きくなる。
 - ✓ 電炉は 80～100%の負荷率で運転を行うことが多いため、集中的な生産による需要造成のポテンシャルは大きくないと想定される。

2) 電解槽

電解槽のデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査のポイントを下記に示す。1時間前の通告であれば出力制御に対応可能であるとの情報を得た。また、夜間から昼間へのピークシフトは可能とのことであった。なお、業界における電力消費量の約 30%が買電であり、そのうち約 70%が夜間の買電、約 30%が昼間の買電となっている。

<電気炉・誘導炉・焼成炉 ヒアリング調査結果>

- 事業者の規模に関わらず、24時間365日稼働が一般的である。
- 応答時間について、1時間未満の通告による需要抑制に対応可能である。ただし、前々に通告された方が対応できる容量は大きくなる。
- 夜間から昼間へのピークシフトは理論上可能である。電解ソーダ工業は電力多消費産業

であるため、ほぼ 100%の事業者が需給調整契約を結んでおり、夜間へのピークシフトを行っている。ただし、ピークシフトのためには、生産能力や、製品や塩素を貯蓄するタンクの容量に余裕があることが必須。

- 事業者の規模によってデマンドレスポンスへの対応可否は異なる。大手事業者はほぼ 100%自家発電を持っているが、中小事業者はタンクの容量に余裕がない場合は長く休止させるのは難しい。
- 電解ソーダ工業業界の電力消費量のうち、買電は 30%、自家発電は 70%を占める（日本ソーダ工業会「ソーダ工業ガイドブック 2016」）。また買電の夜間比率は最大 70%、昼間比率は 30%である。

(3) 業務部門

業務部門については、上水道、下水道、冷凍冷蔵倉庫、空調機器、自動販売機、業務用ショーケース、業務用ヒートポンプ給湯機について詳細調査を実施した。

1) 上水道

上水道事業のプロセスフロー例を図 3-17 に示す。上水道事業のプロセスは、大きく「取水・導水工程」「浄水処理工程」「送配水工程」に分けられる。

上水道事業の電力消費構造は、東京都水道局の場合、送配水工程が約 6 割、浄水処理工程が約 3 割、取水・導水工程が約 1 割となっている（図 3-18）。本内訳は、事業者により異なる。

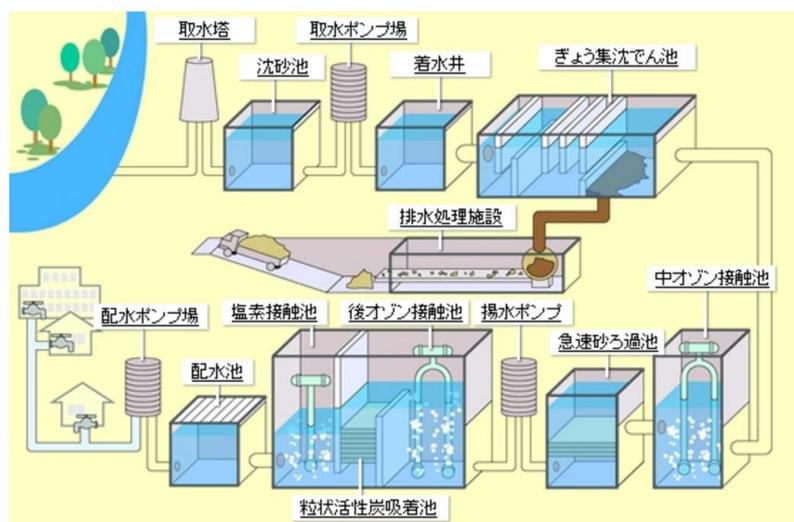


図 3-17 上下水道事業のプロセスフロー例

出所) 大阪市水道局ウェブサイト

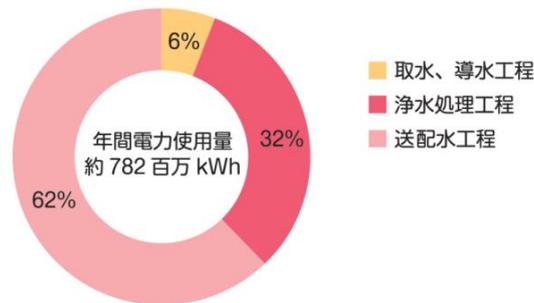


図 3-18 工程別電力消費量割合 (東京都水道局)

出所) 東京都水道局環境報告書 2011

電力使用量パターンは、朝方にピークが立ち、昼間～夕方は需要が減少し、夕方以降再度需要が増加する。従って、需給ギャップ解消のデマンドレスポンスの観点からは、朝方と夕方以降の電力需要を昼間にシフトできるかがポイントとなる(図 3-19)。

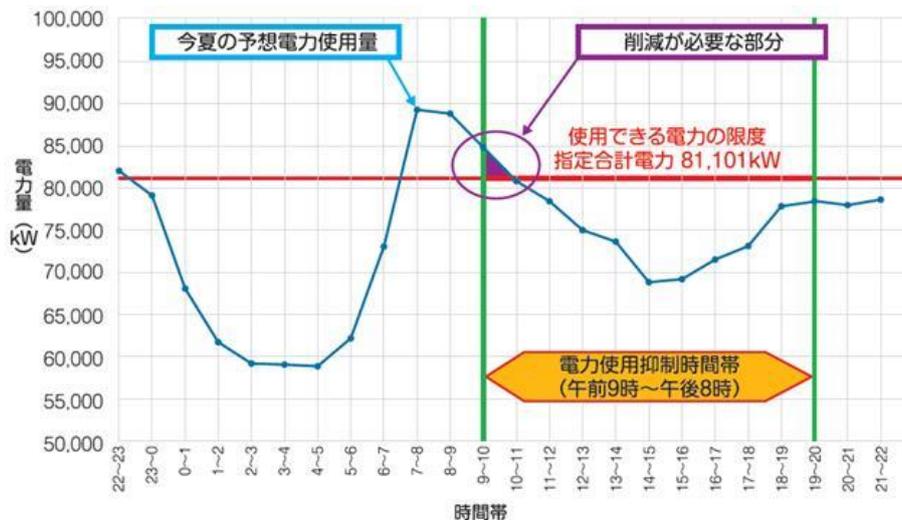


図 3-19 電力使用パターン例 (東京都水道局)

出所) 東京都水道局環境報告書 2011

米国では、カリフォルニア州の水道供給事業者である Eastern Municipal Water District (EMWD) が、2007 年に EnerNOC のデマンドレスポンス・プログラムに登録し、主要浄水施設 2 ヶ所でポンプ等を停止することによりエネルギー消費量を約 1.5MW 削減した事例がある。1.5 MW の節電はバックアップ発電ではなく、使用エネルギーの削減のみで達成し、EnerNOC から年間約 1000 万円の支払いを得ている¹⁷。既存事例もあることから、上水道は、有望なデマンドレスポンス資源の一つと考えられる。

¹⁷ EnerNOC 資料 (https://www.enernoc.com/sites/default/files/media/pdf/case-studies/P14384_cs_emwd-jp.pdf)

上水道のデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査結果のポイントを下記に示す。

デマンドレスポンス資源として活用可能性が高いのは、配水池までの送水ポンプ、および浄水処理過程のうちの汚泥処理設備との情報を得た。

送水ポンプについては、一般的には10分程度停止させることは可能であり、配水池等の容量が大きければ、2～3時間程度停止させることも可能とのことであった。また、汚泥処理設備は、汚泥を貯めて夜間に稼働させることも多く、運転時間のシフトは比較的柔軟に可能とのことであった。

一方、配水ポンプについては、水需要と連動して稼働させる必要があるためデマンドレスポンス対応は難しく、また水の品質維持のためには浄水処理量を一定にすることが望ましいため、技術的理由からも、瞬時の起動・停止に対応するのは困難との見解であった。デマンドレスポンス対応をするためには、事前に運転計画に織り込む必要がある。

<上水道 ヒアリング調査結果>

- 多くの事業者において、配水池への送水ポンプを10分程度停止させることは可能と想定される。1時間単位で停止可能かどうかは、浄水池、配水池容量や水需要の状況に依存するが、容量が大きければ、2～3時間程度停止させることも可能である。
- 応答時間は、緊急時対応も可能ではあるため、いざとなれば10分前通知でも停止させることはできるが、実際にどの程度の通知時間であれば問題ないかは、経験がないため現時点では判断できない。
- 排水処理システムの汚泥処理部分の電力使用時間を動かせる可能性がある。汚泥処理は貯めて夜間に実施することが多い。汚泥処理の電力使用割合は概ね5%程度と想定される。汚泥の状況によるが、応答時間は1時間前通知であれば対応可能と考えられる。
- 配水過程の電力使用量は水の需要と連動する。デマンドレスポンスのために消費者に減水・断水を依頼することはできないため、配水部分の電力使用時間を動かすことは難しい。
- 浄水処理量を増減させると水質に影響が出る可能性があるため、望ましくない。また、一旦停止させてしまうと立ち上げに時間がかかるため、数分間でも停止させることができない。

2) 下水道

下水道事業のプロセスフロー例を図 3-20 に示す。下水道事業のプロセスは、大きく「ポンプ（汚水の運搬）」「水処理」「汚泥処理」に分けられる。

下水道のエネルギー消費構造は、原油換算して比較した場合、そのほとんどが電力となる。また、下水道統計に示されている 4 つの施設（管理、ポンプ、水処理、汚泥処理）で分類すると、水処理と汚泥処理が占める割合が高い（図 3-21）。本内訳は、焼却施設の有無等により異なる。

下水処理量は日毎・時間毎・天気毎に変動するが、最大の電力消費プロセスである水処理は可能な限り一定量となるよう運転しており、時間帯別の電力使用量の差は大きくないと考えられる。

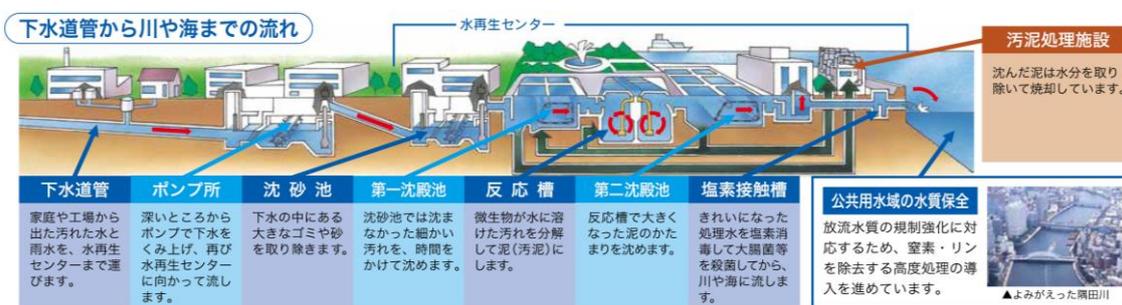


図 3-20 下水処理場のプロセスフロー例

出所) 東京都「下水道なんでもガイド」

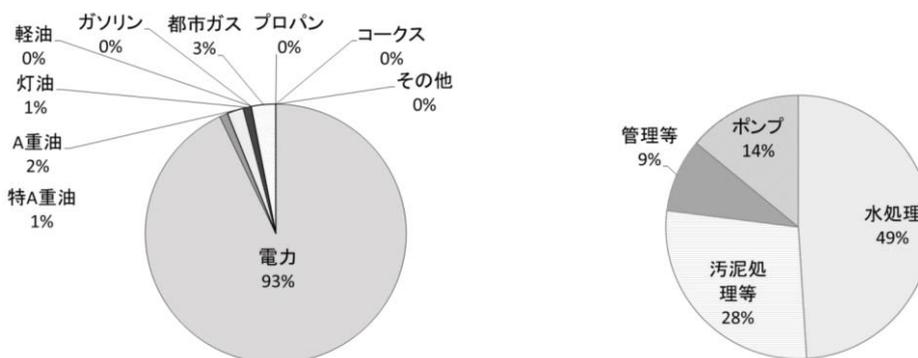


図 3-21 下水処理場のエネルギー消費構造（原油換算比較）

（左：エネルギー種別の消費量の割合 / 右：施設別のエネルギー消費量（原油換算）の割合）

出所) 環境省「下水道における地球温暖化対策マニュアル 下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説」（2016年）

下水道事業所は既に様々なピーク抑制に取り組んでおり、ポンプ所の運転停止（系統ピーク時間帯に下水汲み上げを停止することで、ポンプ動力を抑制）や、下水処理量のシフト（系統ピーク時間帯の下水処理量をオフピークへシフト）などを実施している。上水道と同様に、

有望なデマンドレスポンス資源の一つと考えられる。

下水道事業のデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査結果のポイントを下記に示す。

汚泥処理設備についてはデマンドレスポンス資源として有望であり、加えて中継ポンプ場のポンプ、沈砂池から最初沈澱池に排水を送るポンプ（汚水ポンプ）についても、排水管の容量に余裕があれば管内貯留を行うことでポンプを数時間停止可能、との情報を得た。通知はできる限り 1 日以上前が望ましいが、排水管の容量に余裕があるときなどは、10 分前通知でも対応可能とのことであった。

一方、水処理工程については、排水の流入パターンに影響を受けるため、デマンドレスポンス対応は困難とのことであった。

<下水道 ヒアリング調査結果>

- 汚泥は一定量タンクに貯蔵しておけるため、電力使用料が安い夜間に汚泥処理を実施している事業者が多い。8 時間運転を基本としている中小の下水処理場であれば、汚泥処理設備の稼働時間シフトは可能。
- 大都市は 24 時間運転している事業者が多く、ピークシフトは困難。特に、焼却炉を有している処理場は焼却炉を連続運転しないと効率が悪くなるため、途中で運転を中断することは難しく、その前段階の汚泥処理等も連続運転とせざるを得ない側面がある。また、大雨で処理量が増加する場合は対応が難しい。
- 中継ポンプ場は、ポンプ場自体の容量は小さいが、ゲートを閉めることで管内貯留が可能であり、数時間停止することが可能。
- 沈砂池から最初沈澱池に排水をポンプアップしているが、沈砂池の水位が一定水準以上になるとポンプアップする間欠運転を行っている場合も多く、排水管の容量に余裕があれば、数時間ポンプを停止させることが可能。
- 水処理工程については、排水の流入パターンに影響を受けるため、デマンドレスポンス対応は困難という見解。
- 通知はできる限り 1 日以上前が望ましいが、排水管の容量に余裕があるときなどは、10 分前通知でも対応可能。対応可否は、排水管の容量や排水の状況に依存する。

3) 冷凍冷蔵倉庫

冷凍冷蔵倉庫の電力消費は、冷却用の冷凍機が大半を占めている。冷凍冷蔵倉庫は温度帯によってタイプが分かれており、定温または冷蔵用の C 級（クーラー級）と、消費電力の大きい（冷熱需要の大きい）F 級（フリーザー級）に大別される（図 3-22）。

一日の電力使用パターンは、電力需給調整契約の有無によって異なり、同契約がない場合は負荷追従で昼間を中心とする台形型となる一方、同契約がある場合は比較的フラットな電力使用パターンになる（図 3-23）。

製氷能力を有する施設は電力消費が大きい、氷の品質維持のために冷凍機の連続運転が必要となる（図 3-24）。

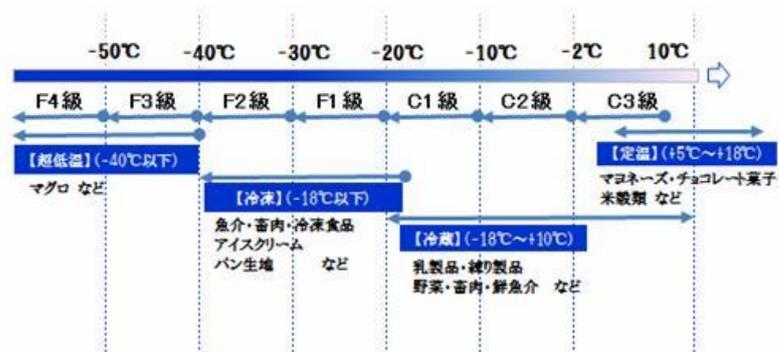


図 3-22 冷凍冷蔵倉庫の温度帯

出所) 日本冷蔵倉庫協会ウェブサイト

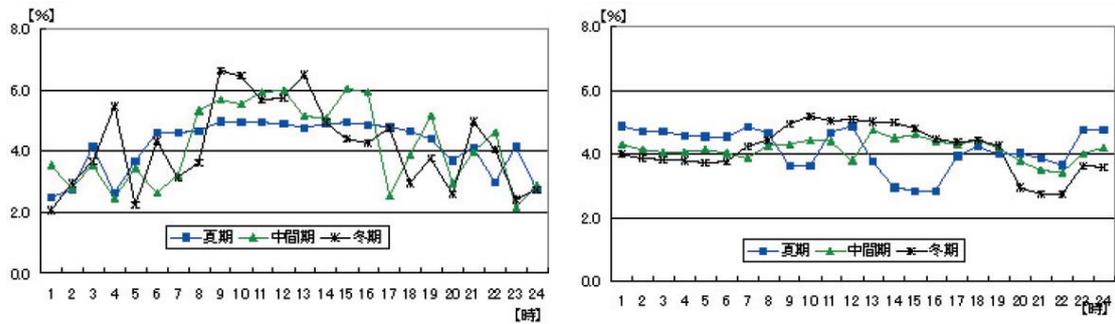


図 3-23 冷凍冷蔵倉庫の電力消費の時間変化
(左：電力需給調整未加入、右：ピーク時間+産業用蓄熱)

出所) 柳澤聡子：地域分散型トータルエネルギー供給システムに関する基礎的研究、早稲田大学 博士論文 2003年

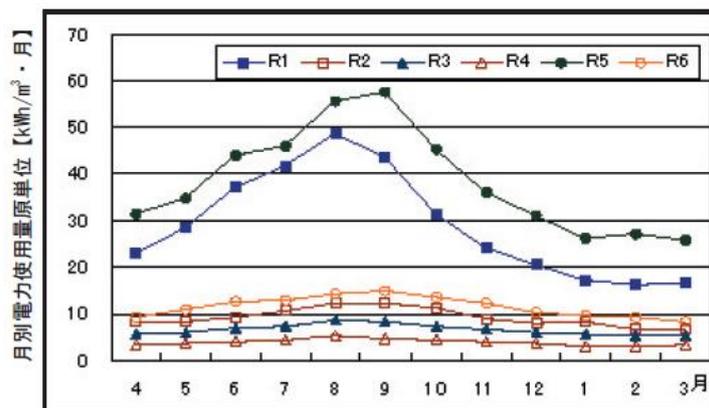


図 3-24 冷凍冷蔵倉庫の月別使用電力量原単位

注) R1,R5 は製氷能力あり。

出所) 柳澤聡子：地域分散型トータルエネルギー供給システムに関する基礎的研究、早稲田大学 博士論文 2003年

冷凍冷蔵倉庫のデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査結果のポイントを下記に示す。

冷凍冷蔵倉庫の負荷パターンは、負荷追従で稼働する倉庫と、夜間に過冷却を行う倉庫とで異なり、夜間に過冷却を行う倉庫を負荷追従型の運転方法に変更することで、日中の需要造成が可能との情報を得た。また、震災後に開始されたピークカット契約により、冷蔵倉庫は 15 分前通知のデマンドレスポンスに既に対応しており、比較的短い応答時間（10 分～1 時間）での需要抑制のデマンドレスポンス対応が可能とのことであった。

<冷凍冷蔵倉庫 ヒアリング調査結果>

- 温度帯が F 級 (-20 度以下) の約 5 割の事業所が産業用蓄熱調整契約に基づき、夜間に保管商品を過冷却し、昼間に放熱することによって、昼間から夜間への時間シフトを行っている。過冷却を行うより負荷追従の運用を実施したほうが省エネであるが、契約に基づく経済的なインセンティブにより、夜間の過冷却が実施されている。これらの施設について、昼間の負荷追従型の運転方法に変更することにより、日中の需要造成が可能である。
- ✓ 夜間に過冷却を行う倉庫では、業務終了後 22 時から冷却を開始するため消費電力が増加し、5 時頃まで冷却を継続する。その後業務を開始する 5 時頃から 12 時～15 時頃まで冷却を停止するため負荷が落ち、12 時～15 時頃から冷却を再開するため消費電力が増加するパターンとなる。
- 製氷設備がない場合は、10 分～1 時間程度止めることは可能である。製氷や凍結設備がメインの場合は、氷の品質を保つために冷凍機を連続で運転する必要があるため、温度の詳細な制御や運転のオン・オフは難しく、デマンドレスポンス対応は困難である。
- オン・オフ間隔が 1 時間程度であれば機器の運用も問題がない。
- 電源のオフは手動（PC 上）で行われる。

4) 空調機器

空調機器は、設備数が多いことから、デマンドレスポンス資源としてのポテンシャルは大きく、自動制御機能が導入されれば、数分単位の応答が可能なデマンドレスポンス資源となる。

ただし、通年の調整資源にならないこと、夜間の調整資源にならないこと、室内環境の悪化の観点から長時間の停止は困難である点などがデメリットとして挙げられる（目安は 10 分程度と想定される）。また、運転再開時のリバウンド効果（増エネ）に注意が必要である。

デマンドレスポンス資源としては、需要と供給の時間軸をずらすことが可能な蓄熱式空調機器が有望である。需要抑制・造成の両方に対応可能であり、現在夜間に蓄熱している運用を、昼間に蓄熱する運用にシフトすれば、需要造成のデマンドレスポンス資源として活用可能となる。ただし、導入数は伸び悩んでおり、ストック量は小さい（図 3-25）。

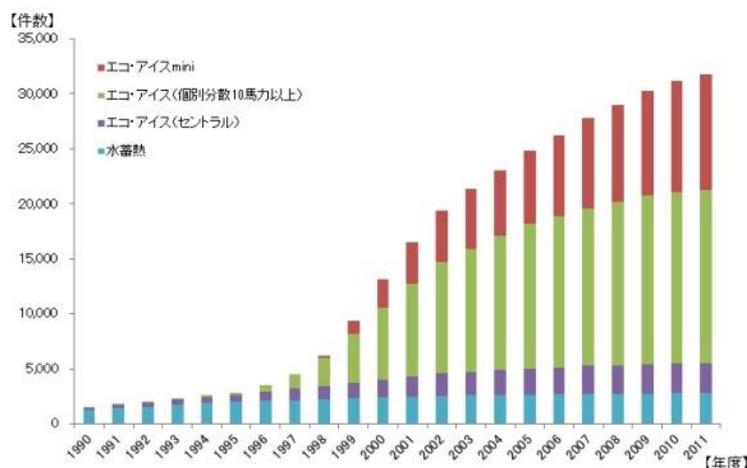


図 3-25 蓄熱式空調システムの設置件数（各年度末ストック）

出所) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター ウェブサイト

ヒートポンプ・蓄熱センターより、蓄熱式空調システムによるピークシフト効果は約 190 万 kW（2011 年時点）というデータが公表されている（図 3-26）。

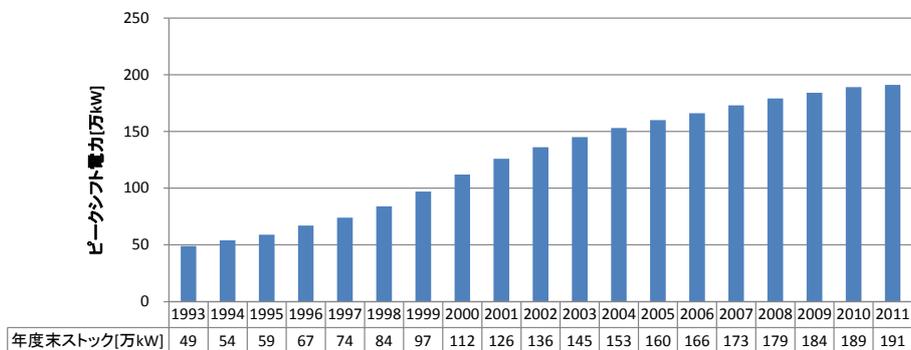


図 3-26 蓄熱式空調システムによるピークシフト電力（各年度末ストック）

出所) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター ウェブサイト

5) 自動販売機

自動販売機の総台数は500万台であり、飲料自販機がその半数を占める(図3-27)。

清涼飲料自販機の消費電力は約350Wであり、省電力化が進んでいる(日本コカ・コーラ社ウェブサイトより)。年間消費電力量は各社でヒートポンプ採用(2010年ごろ)とハイブリットヒートポンプ採用(外気の熱も利用する方式・2014年ごろ)を経て、平均700kWh/台・年ほどまで削減されている(図3-28)。

現在稼働する清涼飲料自販機のうち約7割がヒートポンプ型。屋内自動販売機照明の24時間消灯(電力消費約1割減)は2009年より積極的に推進し、現在では約9割で実施されている(清涼飲料自販機協議会資料より)。

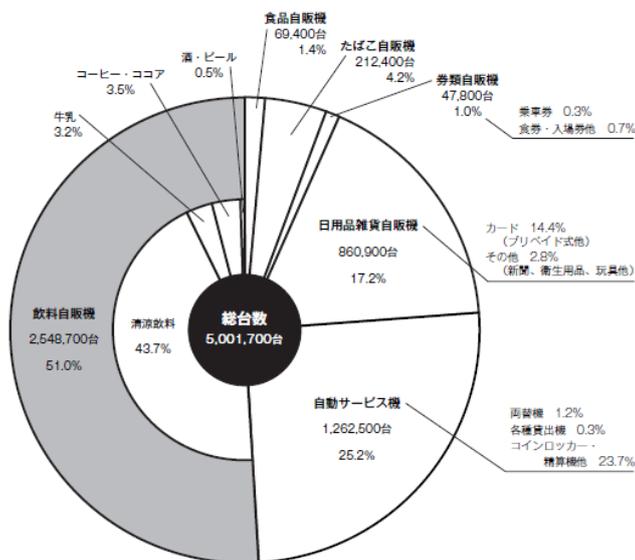


図 3-27 自動販売機の機種別普及状況(2015年12月時点)

出所) 日本自動販売機工業会ウェブサイト



図 3-28 飲料自販機出荷数1台あたりの年間消費電力量 (kWh)

出所) 日本自動販売機工業会ウェブサイト

日本自動販売機工業会によれば、全国の自動販売機のほぼ 100%は午前中に飲料を冷却し、ピーク時間帯（13~16 時）に冷却を停止する機能を有する（エコ・ベンダーと呼ばれる）。

日本コカ・コーラ社では、東日本大震災の影響による電力供給不足対応のため、2011 年夏季よりピーク時間帯（9:00-20:00）において 6 つのグループに分けた自販機の冷却運転を輪番で停止し、15%の電力消費削減を達成した。また、夏場の電力消費のピーク時間帯を含めた最長 16 時間、冷却用の電力を完全に停止可能なピークシフト自販機の導入を進めている。

近年は通信機能を持つ自動販売機（デジタルサイネージ自動販売機）が普及し始めており（図 3-30）、将来的に自動制御が可能になれば有望なデマンドレスポンス資源と考えられる。



<ピークシフト自販機>

ピークシフト自販機は夏場の電力消費のピーク時間帯を含めた最長 16 時間、冷却用の電力を完全に停止（消費電力最大 95%削減）しても、24 時間いつでも冷たい飲み物を提供することを可能にした新型自動販売機。冬場でも最長 14 時間停止することが可能。コカ・コーラ自販機 98 万台のうち現在 13 万台がこの機種。

輪番節電チャート

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 時		
グループ A	冷却停止				ピークカット 13時から16時までの 3時間は、すべての 自動販売機で冷却停止									
グループ B			冷却停止											
グループ C										冷却停止				
グループ D											冷却停止			
グループ E												冷却停止		
グループ F														冷却停止

図 3-29 日本コカ・コーラ社の取組み

出所) 日本コカ・コーラ社ウェブサイト



通信機能を備えた次世代自動販売機。現在 JR 東日本の約 200 の駅に設置されている。

液晶ディスプレイや通信機器等により、従来の自動販売機より消費電力は大きい（定格消費電力 730W ※富士電機技報 2012 より）。

図 3-30 デジタルサイネージ自動販売機「JX34」

出所) 株式会社 JR 東日本ウォータービジネスウェブサイト

6) 業務用ショーケース

資源エネルギー庁によるエネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会では、業務用ショーケースを VPP 資源の一つに挙げ、検討を行っている（図 3-31）。

業務用ショーケースのデマンドレスポンス資源としての活用方法としては、需要造成の観点からは、扉が設置されている冷蔵設備や冷凍設備におけるプレクーリングや霜取時間の制御が想定される。また、需要抑制の観点からは、庫内照明の照度低下や庫内設定温度の緩和（プレクーリングとセットでの実施）が想定される。

実際の運用には、HEMS や遠隔制御システムを用いた集中制御が必要になると考えられるため、技術実証と併せて検討する必要がある。

活用イメージ

制御	備考
制御1 庫内温度設定を上げる	冷凍食品などの品質に影響を及ぼす可能性があるため、kWではなく温度での制御とする。
制御2 庫内外の照明の照度を下げる	上記と同様の理由により%で設定。
制御3 特定時間は霜取しない	店舗内のショーケースの霜取り時間を制御することで、DRリソースを創出



図 3-31 業務用ショーケースの活用イメージ

出所) エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス検討会資料

業務用ショーケースのデマンドレスポンス対応可能性に係るヒアリング調査結果のポイントを下記に示す。店舗の業務用ショーケースについては、主に商品品質維持の観点からデマンドレスポンス対応は困難との見解であった。なお、電力消費割合は小さいものの、店舗と比較すると昼間の人の出入りが少ないバックヤードの冷蔵冷凍設備については、プレクーリングによる需要造成ができる可能性がある。

<冷蔵冷蔵倉庫 ヒアリング調査結果>

- スーパーの電力消費量の割合は冷蔵冷凍設備 3分の1、照明3分の1、空調3分の1の割合である。冷蔵冷凍設備の約7割は店舗の業務用ショーケース、約3割はバックヤードの冷蔵冷凍設備が占めている。
- 基本的に店舗の冷蔵冷凍設備については、デマンドレスポンス資源としての活用可能性は小さいと考える。主な理由は、頻繁に開け閉めされるため、プレクーリングをしても庫内温度を維持できる保証がなく、商品劣化の可能性があるためである。
- 開け閉めを頻繁に行う店舗のショーケースと比較すると、温度管理のしやすいバックヤードの冷蔵冷凍設備は、デマンドレスポンス資源となる可能性がある。

7) 業務用ヒートポンプ給湯機

業務用ヒートポンプ給湯機は、蓄熱槽を持つことから、需要抑制・造成の両方に対応可能である。図 3-32 にビジネスホテルにおける導入事例を示す。現在は夜間に蓄熱する運用が一般的だが、昼間に蓄熱するよう運転時間をシフトすれば、需要造成のデマンドレスポンス資源として活用可能と考えられる。

一般社団法人日本冷凍工業会統計データによれば、単年導入量は伸び悩んでいるものの、累計で 35,052 台の業務用ヒートポンプ給湯機が導入されている（図 3-33）。

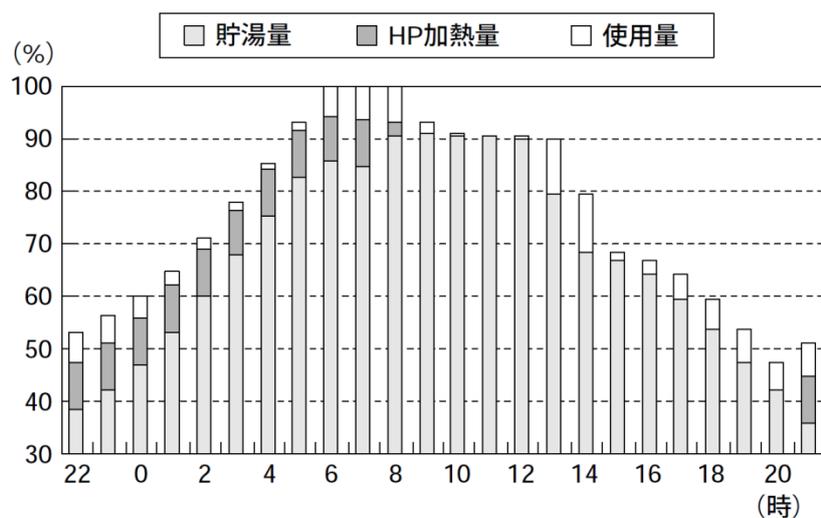


図 3-32 ビジネスホテルにおける導入事例 (貯湯レベルの推移(湯張あり))

出所) 「ビジネスホテルの業務用エコキュート導入事例」 (中部電力「ヒートポンプとその応用」2010年3月 No.79)

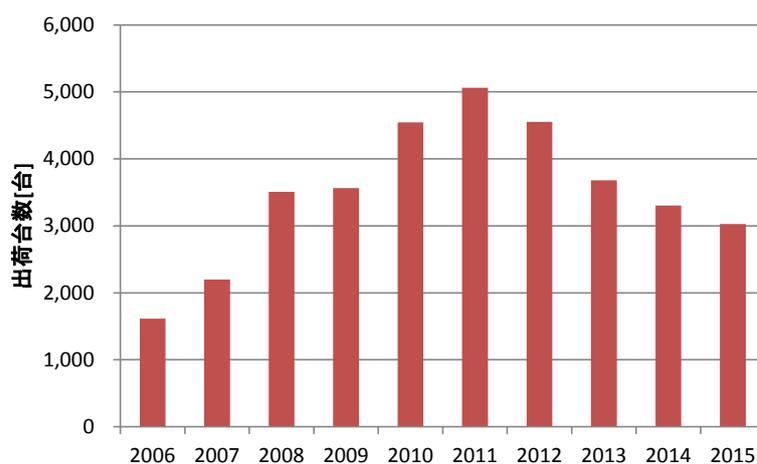


図 3-33 業務用ヒートポンプ給湯機の出荷台数 (単年)

出所) 一般社団法人日本冷凍空調工業会統計データより作成

(4) まとめ

調査結果を踏まえ、各デマンドレスポンス資源候補の特徴を整理した結果を表 3-16～表 3-18 に示す。

産業部門については、空調機器は柔軟性が高いが、全体の消費電力に占める割合は小さい。生産プロセス・機器の中では、特に電気炉のうちアーク炉と電解槽のデマンドレスポンス活用可能性が大きいと考えられる。ただし、製品・サービスへの影響や、事前計画が必要なことから、活用可能時間は限定的となる可能性がある。

業務部門については、冷凍冷蔵倉庫、蓄熱式空調機器、業務用ヒートポンプ給湯機は、柔軟性が高いこと、需要抑制・造成の双方に対応可能であること、比較的短い応答時間で対応可能であることから、デマンドレスポンス活用可能性が高いと考えられる。上水道、下水道は、需要抑制・造成の双方に対応可能であり、比較的短い応答時間で対応可能であることから、デマンドレスポンス対応可能性が高いと考えられる。ただし、対応可否は水需要や排水量の状況に依存することから、活用可能時間は限定的となる可能性がある。

家庭部門については、家庭用ヒートポンプ給湯機、エアコン、冷蔵庫、照明などが、デマンドレスポンス資源候補に挙げられ、特に我が国では家庭用ヒートポンプ給湯機などが有望なリソースとして、様々な研究などが行われている状況にある。家庭用ヒートポンプ給湯機は柔軟性が高いこと、需要抑制・造成の双方に対応可能であること、比較的短い応答時間で対応可能であることから、デマンドレスポンス活用可能性が高いと考えられる。

運輸部門については、電気自動車に内蔵されている蓄電池の充電のマネジメントを行うことで、電力システムのマネジメントに有効に使うという方策が検討されている。電気自動車についても、柔軟性が高いこと、需要抑制・造成の双方に対応可能であること、比較的短い応答時間で対応可能であることから、デマンドレスポンス活用可能性が高いと考えられる。

表 3-16 産業部門のデマンドレスポンス資源候補の特徴・ポテンシャル（文献・ヒアリング調査結果）

		空調機器	生産プロセス・機器※2	電気炉（アーク炉）	電解槽
柔軟性		高※1	低	低	低
対応の方向性		需要抑制：○ 需要造成：×	需要抑制：○ 需要造成：△	需要抑制：○ 需要造成：○	需要抑制：○ 需要造成：○
応答時間		～10分：○ ～1時間：○ 前日：○	～10分：△ ～1時間：△ 前日：○	× 事前計画が必要	～10分：△ ～1時間：○ 前日：○
継続時間		需要抑制：～数時間※2 需要造成：－	需要抑制：～数時間 需要造成：～数時間	需要抑制：～数時間 需要造成：半日程度	需要抑制：～数時間 需要造成：半日程度
対応可能 時期・時間	季節	夏期・冬期	通年	通年	通年
	時間帯	昼間中心	昼間・夜間	昼間・夜間	昼間・夜間
導入可能 ポテンシャル※2,3,4	需要抑制	昼間：(前日)358～366万kW (1時間前)81～91万kW (10分前)14～15万kW 夜間：(前日)326～337万kW (1時間前)81～88万kW (10分前)14万kW	－	－	
	需要造成	昼間：(前日)368～414万kW (1時間前)140～157万kW (10分前)4.6～6.3万kW 夜間：(前日)346～358万kW (1時間前)72～76万kW (10分前)4.7～5.2万kW	－	－	
評価		○	－（設備による）	△	○

※1 遠隔からの自動制御装置が導入されていることが前提。

※2 出所 高橋他「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」（電力中央研究所、2016）

※3 技術的制約や管理者の意思を反映した導入可能ポテンシャルであり、技術的ポテンシャル、市場ポテンシャルではない点に留意が必要

※4 生産プロセス・機器の中には自家発による電気で稼働しているものも含まれるため、自家発電設備のポテンシャルと一部重複している点に注意

表 3-17 業務部門のデマンドレスポンス資源候補の特徴・ポテンシャル（文献・ヒアリング調査結果）

		上水道	下水道	冷凍冷蔵倉庫	空調機器	自動販売機	業務用ショーケース	業務用 HP 給湯機
対象設備		送水ポンプ 汚泥処理設備	汚泥処理設備 沈砂池ポンプ	当該設備	当該設備	当該設備	当該設備	当該設備
柔軟性		低	低	低	高※1	低	低	高※1
対応の方向性		需要抑制：○ 需要造成：○	需要抑制：○ 需要造成：○	需要抑制：○ 需要造成：○	需要抑制：○ 需要造成：×（非蓄熱式） ○（蓄熱式）	需要抑制：○ 需要造成：○	需要抑制：○ 需要造成：×	需要抑制：○ 需要造成：○
応答時間		～10分：△ ～1時間：○ 前日：○	～10分：△ ～1時間：○ 前日：○	～10分：○ ～1時間：○ 前日：○	～10分：○ ～1時間：○ 前日：○	△ 運転スケジュール設定	△ 庫内温度に依存	～10分：○ ～1時間：○ 前日：○
継続時間		需要抑制：～数時間 需要造成：～数時間	需要抑制：～数時間 需要造成：～数時間	需要抑制：～1時間 需要造成：～半日	需要抑制： ～10分（非蓄熱式） ～数時間（蓄熱式） 需要造成： 半日程度（蓄熱式）	需要抑制： 半日程度 需要造成： 半日程度	庫内温度に 依存	需要抑制・造成： 10～20時間程度※4
対応可能 時期・時間	季節	通年	通年	通年	夏期・冬期	通年	通年	通年
	時間帯	昼間・夜間	昼間・夜間	昼間・夜間	昼間（非蓄熱式） 昼間・夜間（蓄熱式）	昼間・夜間	昼間・夜間	昼間・夜間
導入可能 ポテンシャル		36万kW※2,3	34万kW※2,3	25万kW※2,3	160万kW～790万kW※ 2,3	—	—	—
評価		○	○	◎	○（非蓄熱式） ◎（蓄熱式）	○	△	◎

※1 遠隔からの自動制御装置が導入されていることが前提。

※2 出所）高橋他「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、2014）

※3 東北電力・東京電力エリアの技術的ポテンシャル

※4 ヒートポンプ・蓄熱センターのヒアリング調査に基づき想定

表 3-18 家庭部門・運輸部門のデマンドレスポンス資源候補の特徴・ポテンシャル
(文献・ヒアリング調査結果)

		家庭用ヒートポンプ給湯機	電気自動車
柔軟性		高 ^{※1}	高 ^{※1}
対応の方向性		需要抑制：○（主に夜間） 需要造成：○（主に夜間）	需要抑制：○ 需要造成：○
応答時間		～10分：○ ～1時間：○ 前日：○	～10分：○ ～1時間：○ 前日：○
継続時間 ^{※2}		需要抑制・造成：4時間程度 ^{※4}	需要抑制・造成：4時間程度 ^{※4}
対応可能時期・時間	季節	通年	通年
	時間帯	昼間・夜間	昼間・夜間
技術的ポテンシャル ^{※3}		1,260万kW (2030年時点推計値)	1,632万kW (2030年時点推計値)
評価		◎	◎

※1 遠隔からの自動制御装置が導入されていることが前提。

※2 資源エネルギー庁，「電気自動車及びヒートポンプ給湯器の導入による需要創出の効果について」，2008年

※3 2030年時点のポテンシャル推計値。出所) 環境省，「平成27年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」，2016

※4 出所) 資源エネルギー庁，「電気自動車及びヒートポンプ給湯器の導入による需要創出の効果について」，2008年に基づき想定

3.3.3 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計（平均最大ポテンシャル）

(1) 推計対象

前述の文献・ヒアリング調査の結果を踏まえて、特に有望と考えられるデマンドレスポンス資源候補を表 3-19 に示す。これらのデマンドレスポンス資源について、ポテンシャル推計を実施した。

本節で推計するポテンシャルは、最大限発現出来るポテンシャルの年間（または季節別）平均値であり（以下、平均最大ポテンシャルとする）、デマンドレスポンス対応の継続時間は考慮していない点に留意が必要である。

表 3-19 本調査におけるポテンシャル推計の対象

部門	デマンドレスポンス資源候補	概要
産業部門	アーク炉・電解槽 (生産プロセス・機器)	生産プロセス・機器の中でポテンシャルの大きい「電気炉・溶融炉・焼成炉」については、特に「アーク炉」が有望。また、「電解槽」のポテンシャルも大きい。
業務部門	上水道	汚泥処理過程において運転時間帯のシフトが可能。配水池に余裕がある事業体では、送水ポンプの運転時間帯のシフトが可能。
	下水道	汚泥処理設備や、汚水ポンプ、中継ポンプにおいて運転時間帯のシフトが可能。
	冷凍冷蔵庫	夜間過冷却から昼間の負荷追従運転にシフト可能。また、短時間であれば冷却停止可能。
	空調機器	ポテンシャルの全体量が最も大きい。
	自動販売機	運転時間帯のシフトによる需要抑制・造成が可能。
	業務用ヒートポンプ給湯機	運転時間帯のシフトによる需要抑制・造成が可能。
家庭部門	家庭用ヒートポンプ給湯機	運転時間帯のシフトによる需要抑制・造成が可能。
運輸部門	電気自動車	蓄電池の充放電による需要抑制・造成が可能。

(2) アーク炉

既存文献でポテンシャルが高いとされている電炉の中で、特にヒアリングでその有効性が示唆された「アーク炉」について、ポテンシャルを概算した。

環境省の「平成 26 年度 産業部門のうち製造業における温室効果ガス排出実態調査委託業務」で実施された事業者向けの産業機器使用状況アンケートの結果に基づき、需要抑制・造成デマンドレスポンス・ポテンシャルを推計すると以下のとおりとなる。

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

a. アンケートの回答状況

前述のアンケート調査では、算定・報告・公表制度開示データ（平成 23 年）、および東京商工リサーチ販売データに基づき、16,238 件の事業所に調査票を発送し、3,851 件の回答を得ている。

このアンケートにおいて、「アーク炉を利用している」と回答した事業者は「鉄鋼業」のエネルギー管理指定工場が大半を占める。このような事業所のうち、アーク炉が 24 時間稼働しておらず、需要シフトの余地があると考えられる設備の状況を表 3-20 に示す。

表 3-20 需要シフトの余地のあるアーク炉の利用状況

①設備数	20 件
②事業所数	11 件（総回答事業所数は 90 件）
③年間合計電力消費量	6.64 億 kWh
④年間合計稼働時間	5 万時間
⑤合計電力需要の想定値	1.3 万 kW (= ③÷④)

※1 アンケート回答に欠損がない事業所、設備データのみから集計

※2 11 事業所の合計電力需要は、対象 11 事業所について、「全設備の年間電力消費量合計/年間稼働時間合計」で算出

b. 推計結果

全国の鉄鋼業のエネルギー管理指定工場のうち、アーク炉の使用可能性があるのは、「高炉によらない製鉄業」、「フェロアロイ製造業」、「製鋼・製鋼圧延業」と想定した。これらに該当する事業所は 84 件である。表 3-20 の電力需要を事業所数に基づいて拡大推計することにより、全国合計の需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-21 に示す。

表 3-21 アーク炉のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<考え方>

デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)

$$= \text{アンケート対象事業者の電力需要}^{\ast 1} (\text{kW}) \times \text{アーク炉利用事業所数}^{\ast 2} \\ \div \text{アンケート対象事業所数}^{\ast 3} = 10.1 (\text{万 kW})$$

<参照値>

※1 1.3 万 kW（表 3-20 のとおり）

※2 84 件と想定（エネルギー管理指定工場における該当業種の事業者数より）

※3 11 件（表 3-20 のとおり）

2) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャルを、省エネ法対象事業所における該当事業者数（84 件）の地域分布に基づき按分し、地域別にデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-22 に示す。なお、各省エネ法対象事業所に必ずしもアーク炉が存在するとは限らず、表 3-22 の地域別ポテンシャルの試算結果は簡易的な概算である点に留意が必要である。

表 3-22 アーク炉の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	ポテンシャル（需要抑制・造成：kW）
北海道	6,031
東北	7,237
関東	21,711
北陸	10,855
中部	12,061
近畿	21,711
中国	10,855
四国	2,412
九州	7,237
沖縄	1,206
全国計	101,316

(3) 電解槽

1) 需要抑制ポテンシャル

買電の抑制による需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャルを概算した。日本ソーダ工業会の統計データ（図 3-34、表 3-24）、ヒアリング調査結果に基づき、需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-23 に示す。

表 3-23 電解槽のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制）

＜考え方＞	
—昼間—	
デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)	
= 年間昼間買電量 ^{※1} (kWh/年) ÷ 昼間稼働時間 ^{※2} (h/年) = 16.1 (万 kW)	
—夜間—	
デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)	
= 年間夜間買電量 ^{※3} (kWh/年) ÷ 夜間稼働時間 ^{※4} (h/年) = 52.6 (万 kW)	
＜参照値＞	
※1 8.2 億 kWh/年（ヒアリングより、2015 年度買電量 27.4 億 kWh の 30%）	
※2 5,110h/年（AM8 時～PM22 時と想定）	
※3 19.2 億 kWh/年（ヒアリングより、2015 年度買電量 27.4 億 kWh の 70%）	
※4 3,650h/年（PM22 時～AM8 時と想定）	

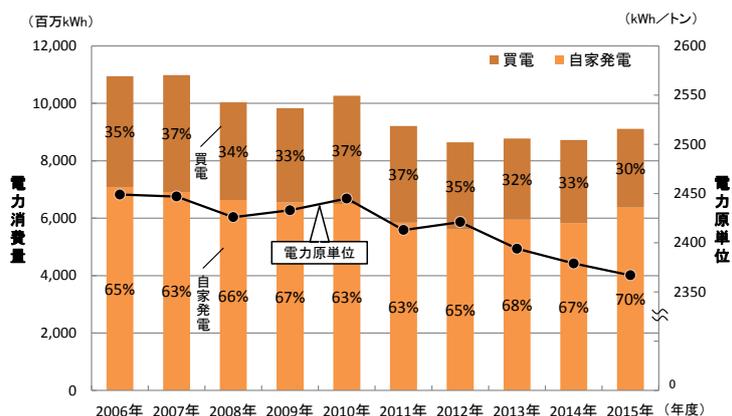


図 3-34 電解槽における電力消費量の推移

表 3-24 電解槽における電力消費量の推移

(単位：百万 kWh)

年度	電力消費量			電力原単位 kWh/t
	買電 (構成比)	自家発電 (構成比)	計	
2006年	3,864 (35%)	7,082 (65%)	10,946	2,449
2007年	4,069 (37%)	6,912 (63%)	10,981	2,447
2008年	3,406 (34%)	6,630 (66%)	10,036	2,426
2009年	3,281 (33%)	6,547 (67%)	9,828	2,433
2010年	3,770 (37%)	6,497 (63%)	10,267	2,445
2011年	3,368 (37%)	5,845 (63%)	9,213	2,413
2012年	3,041 (35%)	5,605 (65%)	8,646	2,421
2013年	2,830 (32%)	5,947 (68%)	8,777	2,394
2014年	2,895 (33%)	5,827 (67%)	8,722	2,379
2015年	2,744 (30%)	6,370 (70%)	9,114	2,367

注) 電力原単位は、カセイソーダ生産 1 トン当たりの電力消費量を表す。

出所) 日本ソーダ工業会「ソーダ工業ガイドブック 2016」

2) 需要造成ポテンシャル

夜間から昼間へのピークシフトを想定し、夜間電力使用量と昼間電力使用量の差分を需要造成ポテンシャルとして概算した。日本ソーダ工業会の統計データ(図 3-34、表 3-24)、ヒアリング調査結果に基づき、需要造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-25 に示す。

表 3-25 電解槽のデマンドレスポンス・ポテンシャル (需要造成)

<p><考え方></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)</p> <p>= 夜間買電量^{※1} (kWh/年) ÷ 夜間稼働時間^{※2} (h/年)</p> <p>— 昼間買電量^{※3} (kWh/年) ÷ 昼間稼働時間^{※4} (h/年) = 36.5 (万 kW)</p> <p><参照値></p> <p>※1 19.2 億 kWh/年 (ヒアリングより、2015 年度買電量 27.4 億 kWh の 70%)</p> <p>※2 3,650h/年 (PM22 時～AM8 時と想定)</p> <p>※3 8.2 億 kWh/年 (ヒアリングより、2015 年度買電量 27.4 億 kWh の 30%)</p> <p>※4 5,110h/年 (AM8 時～PM22 時と想定)</p>
--

(4) 上水道

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

前述のとおり、ヒアリング調査の結果に基づけば、上水道におけるデマンドレスポンス資源は送水ポンプと汚泥処理設備の稼働パターンの変更により創出可能である。これらは需要抑制、需要造成の双方に活用可能である。各々のポテンシャルは以下のとおり算出した。

a. 送水ポンプ

送水ポンプによる需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-26 に示す。

表 3-26 上水道：送水ポンプのデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)</p> $= \text{水道施設の電力消費量}^{*1} \text{ (kWh/年)} \times \text{送水ポンプ比率}(\%)^{*2}$ $\div \text{稼働時間}^{*3} \text{ (h/年)}$ $= 11.6 \text{ 万 kW (79kW/事業所}^{*4})$ <p><参照値></p> <p>※1 水道施設の電力消費量：全国計で 73 億 kWh/年（水道統計より。水道統計は平成 26 年度の数値を参照）</p> <p>※2 送水ポンプ比率：14%（下水道における地球温暖化対策マニュアル（2016 年）より）</p> <p>※3 稼働時間：8,760h/年（24h×365 日）</p> <p>※4 事業所数：1,469 事業所（水道統計より）</p>

b. 汚泥処理設備

汚泥処理設備による需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-27 に示す。

表 3-27 上水道：汚泥処理設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル(kW)</p> $= \text{水道施設の電力消費量}^{*1} \text{ (kWh/年)} \times \text{汚泥処理比率}(\%)^{*2}$ $\div \text{平均稼働時間}^{*3} \text{ (h/年)}$ $= 7.7 \text{ 万 kW (53kW/事業所}^{*4})$ <p><参照値></p> <p>※1 水道施設の電力消費量：全国計で 73 億 kWh/年（水道統計より）</p> <p>※2 送水ポンプ比率：5%（京都市上下水道局水道統計年報、事業者ヒアリングより）</p> <p>※3 稼働時間：12.8(h/日)×365 日（水道統計の平均（汚泥脱水機計画運転時間））</p> <p>※4 事業所数：1,469 事業所（水道統計より）</p> <p>* 水道統計については平成 26 年度の数値を参照した。</p>
--

2) 地域別のポテンシャル

以上のポテンシャルを、水道統計に示される都道府県別事業所数のデータに基づき按分し、地域別にデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-28 に示す。

表 3-28 上水道の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	デマンドレスポンス・ポテンシャル (需要抑制・造成：kW)	
	①送水ポンプ	②汚泥処理設備
北海道	2,021	1,349
東北	5,470	3,650
関東	39,869	26,606
北陸	3,800	2,536
中部	15,498	10,342
近畿	25,188	16,808
中国	7,051	4,705
四国	3,369	2,248
九州	10,908	7,279
沖縄	2,959	1,975
全国計	116,134	77,498

(5) 下水道

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

ヒアリング結果を踏まえ、汚泥処理設備、汚水ポンプ、ポンプ場施設の需要抑制・造成デマンドレスポンス・ポテンシャルを推計すると以下のとおり。

a. 汚泥処理設備

汚泥処理設備による需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-29 に示す。

表 3-29 下水道事業のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW) $= \sum_{\text{中小事業所}}^{*1} (\text{汚泥処理電力消費量}^{*2} (\text{kWh/年}) \div \text{平均稼働時間}^{*3} (\text{h/年})) = 19.4 \text{ 万 kW}^{*4}$ (159kW/事業所)</p> <p><参照値> ※1 中小事業所の定義は、以下のとおり定めた。 ① 汚泥焼却設備なし ② 汚泥脱水設備の稼働時間 10 時間未満（非稼働の事業所を除く） ※2 対象事業所の全国計は 2.8 億 kWh/年（下水道統計より） ※3 3.8(h/日)×365 日（3.8(h/日)は下水道統計における対象事業所の全国平均より） ※4 1,218 事業所（下水道統計より） * 下水道統計については平成 22 年度～平成 26 年度の平均値を参照した。</p>

b. 汚水ポンプ

汚水ポンプによる需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-30 に示す。

表 3-30 下水道事業のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= 場内ポンプ電力消費量^{※1} (kWh/年) ÷ 稼働時間^{※2} (h/年) = 11.2 万 kW^{※3} (90kW/事業所)</p> <p><参照値> ※1 全国計で 9.8 億 kWh/年（下水道統計より） ※2 8,760h/年（24h×365 日） ※3 1,246 事業所（下水道統計より） * 下水道統計については平成 22 年度～平成 26 年度の平均値を参照した。</p>
--

c. ポンプ場施設

ポンプ場施設による需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-31 に示す。

表 3-31 下水道事業のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= ポンプ場電力消費量^{※1} (kWh/年) ÷ 稼働時間^{※2} (h/年) = 8.3 万 kW^{※3} (23kW/事業所)</p> <p><参照値> ※1 全国計で 7.2 億 kWh/年（下水道統計より） ※2 8,760h/年（24h×365 日） ※3 3,551 事業所（下水道統計より） * 下水道統計については平成 22 年度～平成 26 年度の平均値を参照した。</p>
--

2) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャルを下水道統計に示される都道府県別事業所数のデータに基づき、地域別のデマンドレスポンス・ポテンシャルとして推計した結果を表 3-32 に示す。

表 3-32 下水道の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	デマンドレスポンス・ポテンシャル (需要抑制・造成：kW)		
	①汚泥処理設備	②汚泥ポンプ	③ポンプ場施設
北海道	15,833	5,021	3,112
東北	17,291	4,948	6,216
関東	29,605	41,796	33,349
北陸	20,321	4,495	4,120
中部	28,235	14,867	7,256
近畿	22,898	23,524	13,165
中国	20,019	6,237	5,536
四国	10,589	2,171	1,883
九州	23,227	8,601	6,746
沖縄	5,673	528	1,287
全国計	193,691	112,188	82,670

(6) 冷凍冷蔵倉庫

1) 需要抑制ポテンシャル

本調査ではヒアリングの結果を踏まえ、冷凍冷蔵倉庫の全国所管容積に基づいて需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャルを概算した。需要抑制のデマンドレスポンス対応は、等級¹⁸（F級/C級）を問わず、冷凍冷蔵倉庫の一時停止により可能と想定した。

全国所管容積、電力使用原単位に基づき、全国の冷凍冷蔵倉庫による需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-33 に示す。

表 3-33 冷凍冷蔵倉庫のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制）

<p><考え方></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= 全国所管容積^{※1} (m³) × 電力使用原単位^{※2} (kWh/m³/年) ÷ 稼働時間^{※3} (h/年)</p> <p>= 19.0 万 kW (163kW/事業所^{※4})</p> <p><参照値></p> <p>※1 2,598 万 m³ (日本冷蔵倉庫協会統計：同協会の会員統計 2016 年 6 月 30 日より)</p> <p>※2 64kWh/m³/年 (日本冷蔵倉庫協会 公表値より)</p> <p>※3 8,760h/年 (24h×365 日)</p> <p>※4 1,167 事業所 (日本冷蔵倉庫協会統計より)</p>

¹⁸ F 級：保管温度帯 -20℃以下、C 級：保管温度帯 10℃以下～-20℃未満

2) 需要造成ポテンシャル

ヒアリング調査により、需要造成に関してデマンドレスポンス活用可能なのは「夜間過冷却から負荷追従運転への転換」によるものであり、F級倉庫全体の約50%に該当する、という情報を得た。

これを踏まえ、全国所管容積、利用可能率、電力使用原単位に基づき、全国の冷凍冷蔵倉庫による需要造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-34 に示す。

表 3-34 冷凍冷蔵倉庫のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW) = 全国所管容積^{*1}(m³) × 利用可能率^{*2}(%) × 電力使用原単位^{*3}(kWh/m³/年) ÷ 稼働時間^{*4}(h/年) = 8.3 万 kW (76kW/事業所^{*5})</p>	
<p><参照値> ※1 2,261 万 m³ (日本冷蔵倉庫協会統計：同協会の会員統計のうち F 級のみ 2016 年 6 月 30 日より) ※2 50% (ヒアリングより) ※3 64kWh/m³ (日本冷蔵倉庫協会 公表値より) ※4 8,760h/年 (24h×365 日) ※5 1,090 事業所 (日本冷蔵倉庫協会統計より)</p>	

3) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャルを、日本冷蔵倉庫協会統計が公表する地域別の冷凍冷蔵倉庫容量に基づき按分し、地域別のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-35 に示す。

表 3-35 冷凍冷蔵倉庫の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)	
	需要抑制	需要造成
北海道	8,636	4,108
東北	11,220	5,074
関東	70,620	30,223
北陸	4,060	1,763
中部	20,596	9,209
近畿	36,803	15,346
中国	6,707	2,992
四国	5,526	2,572
九州	24,961	11,022
沖縄	664	299
全国計	189,792	82,609

(7) 空調機器（一般）

1) 需要抑制ポテンシャル

本調査では以下の手順で、全国の需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャルを概算した。

- ① 非住宅建築物のエネルギー消費性能の評価方法に関する技術情報（国立研究開発法人建築研究所）の「基準一次エネルギー消費量の算定根拠」に示されるエネルギー消費原単位から、年間平均の地域別業務用空調負荷を表 3-36 のとおり想定した。

表 3-36 年間平均空調負荷の試算結果

エリア	空調熱負荷 (MJ/m ² /年)	空調熱負荷 kWh 換算 (kWh/m ² /年)	年間想定稼働時間 (h/年)	年間平均空調熱負荷 (kW/m ² /年)
1or2	259.3	72.0	2,250	0.0320
3	264.3	73.4	2,250	0.0326
4	275.7	76.6	2,250	0.0340
5or6	306.9	85.2	2,250	0.0379
7	322.6	89.6	2,250	0.0398
8	399.7	111.0	2,250	0.0494

※1 COP=3.5 の仮定の下で算出

※2 事務所等（事務室）の空調原単位を利用

※3 エリアは省エネ基準における地域区分に準拠（複数エリアがまたがる都道府県は平均値を使用）

※4 稼働時間は年間 250 日、1 日当たり 9 時間を想定

- ② 「地域冷暖房技術手引書：（一社）都市環境エネルギー協会」の、業務施設、商業施設における、冷暖房設備の月別電力消費原単位を集計し、各月の空調原単位の指数（年平均を 1 とする）を表 3-37 のとおり設定した。

表 3-37 各月の空調原単位の指数

4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
0.27	0.58	1.24	2.05	2.25	1.46	0.61	0.32	0.77	0.91	0.87	0.67

- ③ 「エネルギー経済統計要覧：（一財）日本エネルギー経済研究所」を参照し、冷暖房エネルギー消費量に占める電力比率を「冷房：68.8%、暖房 28.7%」と設定した。
- ④ ①、②、③から地域別、月別電力消費原単位 (kW/m²) を算出し、最新年の国土交通省建物ストック統計における事務所・店舗の地域別延床面積を乗じてポテンシャルを推計した¹⁹。需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャル（季節別）推計結果を表 3-38 に示す。

¹⁹ 同統計における事務所・店舗の全国合計の延床面積は 5.2 億 m²である。

表 3-38 空調機器（一般）のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制）

季節 ^{※1}	全国計（万 kW）	1 事業所あたり ^{※2} （kW/事業所）
夏期	2,570	1,048
中間期	658	268
冬期	475	194

※1 夏期：7~9月、冬期：12~2月、中間期：その他として集計

※2 全体計の数値を全国延床面積で割り、「日本ビルディング協会：ビル実態調査」の平均延床面積 21,272 m²を乗じた数値

2) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャル推計のバックデータとして存在する、地域別のデマンドレスポンス・ポテンシャルの概算結果を表 3-39 に示す。

表 3-39 空調機器（一般）の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	デマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制：万 kW）		
	夏期平均	中間期平均	冬期平均
北海道	109	28	20
東北	150	38	28
関東	871	223	161
北陸	123	31	23
中部	374	96	69
近畿	441	113	82
中国	141	36	26
四国	70	18	13
九州	261	67	48
沖縄	30	8	6
全国計	2,570	658	475

(8) 蓄熱式空調

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

蓄熱槽を伴う空調（冷房）については、ヒートポンプ・蓄熱センターにおいて、水蓄熱槽、氷蓄熱槽による需要抑制、需要造成に関するポテンシャルの試算が行われている。

本調査では、同センターの算出した結果を参照し、これに COP で補正を加えることで季節別に需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した。結果を表 3-40 に示す。なお、同センターへのヒアリングによれば、需要抑制のポテンシャルがあるのは、冷房負荷の高い夏期だけであるとされる。また、需要造成のポテンシャルがあるとされるのは、熱源機がフル稼働していない中間期、冬期とされる。

表 3-40 蓄熱式空調のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方></p> <p>—水蓄熱層—</p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= 蓄熱槽容量 (m³) × 蓄熱槽効率 (%) × 温度差 (°C)</p> <p>×比熱 (W・h/(kg・°C)) × 密度 (kg/m³) ÷ COP × 利用可能率 (%)</p> <p>—氷蓄熱層—</p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= 蓄熱槽容量 (m³) × 氷充填率 (%) × 氷融解潜熱 (W・h/(kg・°C))</p> <p>×氷密度 (kg/m³) ÷ COP × 利用可能率 (%)</p> <p><推計結果^{※1,2}></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 需要抑制 (万 kW) 夏期：99.9 (3時間需要抑制対応の場合) ● 需要造成 (万 kW) 中間期：75.3、冬期：64.6 (8時間需要造成対応の場合) <p>※1 夏期・中間期はヒートポンプ・蓄熱センターの試算結果（水蓄熱のCOPを3と想定）</p> <p>※2 冬期はこの結果を、冬期COP3.5と想定して補正した結果</p> <p>※3 厳密には氷蓄熱には別のCOPが設定されているが、補正率は水蓄熱と同様とした</p>	
--	--

2) 地域別のポテンシャル

ヒートポンプ・蓄熱センターによる地域別のポテンシャル試算結果を参照し、表 3-40 と同様に COP で補正を行い、地域別のデマンドレスポンス・ポテンシャルを概算した結果を表 3-41 に示す。

表 3-41 蓄熱式空調の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域 (電力会社 別)	デマンドレスポンス・ポテンシャル (万 kW)					
	需要抑制			需要造成		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
北海道	0.4	—	—	—	0.3	0.2
東北	2.7	—	—	—	2.0	1.7
東京	55.6	—	—	—	41.9	35.9
北陸	2.0	—	—	—	1.5	1.3
中部	8.6	—	—	—	6.5	5.6
関西	13.6	—	—	—	10.3	8.8
中国	3.1	—	—	—	2.4	2.0
四国	3.0	—	—	—	2.2	1.9
九州	9.8	—	—	—	7.4	6.3
沖縄	1.1	—	—	—	0.9	0.7
全国計	99.9	—	—	—	75.3	64.6

※1 ヒートポンプ・蓄熱センターのポテンシャル試算結果に基づき概算。

※2 地域区分は電力供給エリア別。

(9) 自動販売機

日本自動販売機工業会によれば、全国の自動販売機のほぼ 100%はエコ・ベンダーと呼ばれ、午前中に飲料を冷却し、ピーク時間帯（13~16時）に冷却を停止する機能を有する。このため、ピークカット機能を適用/解除し、需要を抑制/造成することで、自動販売機のデマンドレスポンス・ポテンシャルを活用可能である。自動販売機における需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-42 に示す。

表 3-42 自動販売機のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW) = 全国の自動販売機台数^{※1} (台) × 平均電力消費量^{※2} (kW/台) × ピークカット率^{※3} (%) = 84.7 万 kW (0.35kW/台)</p> <p><参照値> ※1 2,548,700 台（日本自動販売機工業会における 2015 年末の集計結果より） ※2 0.35kW/台（日本コカ・コーラ社事例より） ※3 95%（日本コカ・コーラ社事例より）</p>
--

(10) 業務用ヒートポンプ給湯機

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

業務用ヒートポンプ給湯機は、運転時間シフト等により需要抑制、需要造成の双方に対応可能と考えられる。日本冷凍空調工業会統計データによる、日本全国の業務用ヒートポンプ給湯機の合計加熱能力を用いて、需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-43 に示す。

表 3-43 業務用ヒートポンプ給湯機の
デマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方> デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW) = 全国の業務用 HP 給湯機加熱能力^{※1}(kW) × 給水温度差^{※2}(°C) ÷ 設計温度差^{※2}(°C) ÷ COP^{※3} = 夏期 12.2 万 kW、中間期 16.8 万 kW、冬期 24.6 万 kW (夏期 251.1 万 kW、中間期 345.7 万 kW、冬期 506.2 万 kW) ^{※4}</p> <p><参照値> ※1 76 万 kW 日本冷凍空調工業会統計データ ※2 給水温度差、設計温度差はヒートポンプ・蓄熱センターへのヒアリングに基づく（非公開） ※3 ヒートポンプ・蓄熱センターへのヒアリングに基づき、夏期：4.0、中間期：3.5、冬期：3.0 に設定 ※4 カッコ内は 2030 年のポテンシャル（ヒートポンプ・蓄熱センター「ヒートポンプ普及見直し調査」（2015 年 1 月）の 1,564 万 kW の場合） * 1 機あたりのポテンシャルは標準的加熱能力である 4~十数 kW と考えられる</p>
--

2) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャルを、日本冷凍空調工業会が集計した業務用ヒートポンプ給湯機の地域別加熱能力（2006年度～2015年度の出荷量ベース）に基づき按分し、地域別にデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-44 に示す。

表 3-44 業務用ヒートポンプ給湯機の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域 (電力会社別)	デマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成： kW）		
	夏期	中間期	冬期
北海道	2,478	3,413	4,997
東北	8,362	11,515	16,861
東京	33,848	46,611	68,251
北陸	6,699	9,225	13,507
中部	13,430	18,494	27,081
関西	25,357	34,917	51,129
中国	11,471	15,797	23,131
四国	6,551	9,021	13,210
九州	13,369	18,410	26,957
沖縄	435	599	877
全国計	122,000	168,000	246,000

※地域区分は電力供給エリア別。

(11) 家庭用ヒートポンプ給湯機

1) 需要抑制・造成ポテンシャル

家庭用ヒートポンプ給湯機は、運転時間シフト等により需要抑制、需要造成の双方に対応可能と考えられる。日本冷凍空調工業会の統計によれば、2016 年末までの累積出荷台数は 521 万台である。また、主要メーカー5社のカタログ値（タンク容量 370L）より、家庭用ヒートポンプ給湯機 1 台あたりの平均消費電力を夏期 0.86kW、中間期 0.98kW、冬期 1.5kW と設定した。以上に基づき、需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-45 に示す。

表 3-45 家庭用ヒートポンプ給湯機における
デマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<考え方>

デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)

= 全国の家計用ヒートポンプ給湯機台数^{※1} (台) × 1 台あたり平均消費電力^{※2} (kW/台)

= 夏期 450 万 kW、中間期 514 万 kW、冬期 788 万 kW

(夏期 1,406 万 kW、中間期 1,607 万 kW、冬期 2,462 万 kW) ^{※3}

<参照値>

※1 525 万台（日本冷凍空調工業会統計における 2016 年末までの累積出荷台数より）

※2 夏期：0.86kW、中間期：0.98、冬期：1.5kW に設定。中間期、冬期はメーカーカタログ値（370L 級）の平均値、夏期は夏期 COP4.0、中間期 COP3.5 と想定して補正

※3 カッコ内は 2030 年のポテンシャル（ヒートポンプ・蓄熱センター「ヒートポンプ普及見通し調査」（2015 年 1 月）の 1,641 万台の場合）

2) 地域別のポテンシャル

前述のポテンシャルを日本冷凍空調工業会が集計した、2004年度～2015年度の家庭用ヒートポンプ給湯機の地域別出荷台数合計に基づき按分し、地域別にデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-46 に示す。

表 3-46 家庭用ヒートポンプ給湯機の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル

地域	デマンドレスポンス・ポテンシャル (需要抑制・造成：万 kW)		
	夏期	中間期	冬期
北海道	2.5	2.9	4.4
東北	28.5	32.6	50.0
関東	112.6	128.7	197.1
北陸	23.5	26.8	41.1
中部	74.6	85.2	130.6
近畿	78.7	89.9	137.8
中国	43.3	49.4	75.7
四国	20.2	23.1	35.5
九州	60.9	69.6	106.7
沖縄	1.5	1.7	2.6
全国計	449.7	514.0	787.5

(12) 電気自動車

電気自動車は、充電時間帯のシフト等により需要抑制、需要造成の双方に対応可能と考えられる。

次世代自動車振興センターの統計によれば、電気自動車（乗用車、軽自動車）の保有台数は79,165万台である。また、メーカー各社の公開する標準的な普通充電設備の出力が3~4kWであることから、充電設備1台あたり平均負荷を3.5kWと設定した。

以上に基づき、需要抑制・造成のデマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-47 に示す。

表 3-47 電気自動車のデマンドレスポンス・ポテンシャル（需要抑制・造成）

<p><考え方></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> <p>= 電気自動車の導入台数^{※1} (台) × 充電設備1台あたり平均負荷^{※2} (kW/台)</p> <p>= 28万kW (3,360万kW) ^{※3}</p> <p><参照値></p> <p>※1 79,165台 (次世代自動車振興センター統計における乗用車、軽自動車の台数より)</p> <p>※2 3.5kW (各社カタログ値より)</p> <p>※3 カッコ内は2030年のポテンシャル (環境省「平成27年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査」の見通し960万台の場合)</p>
--

(13) 推計結果まとめ（平均最大ポテンシャル）

以上の検討に基づき、各デマンドレスポンス資源の平均最大ポテンシャルをまとめた結

果を表 3-48～表 3-51 に示す。柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間 10 分未満として整理している。また、季節別の数値は、試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理している。

表 3-48 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計結果まとめ（現状・需要抑制）

（単位：万 kW）

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	53	53
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	19	19
	下水道	—	—	—	—	39	39
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	19	19	19
	空調機器（一般）	2,570	658	475	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	100	—	—	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	12	17	25	—	—	—
家庭	家庭用 HP 給湯機	450	514	788	—	—	—
運輸	電気自動車	28	28	28	—	—	—
合計		3,160	1,217	1,316	19	130	225

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は 10 分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

表 3-49 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計結果まとめ（2030 年・需要抑制）

（単位：万 kW）

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	53	53
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	19	19
	下水道	—	—	—	—	39	39
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	19	19	19
	空調機器（一般）	2,570	658	475	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	100	—	—	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	251	346	506	—	—	—
家庭	家庭用 HP 給湯機	1,406	1,607	2,462	—	—	—
運輸	電気自動車	3,360	3,360	3,360	—	—	—
合計		7,687	5,971	6,803	19	130	225

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は 10 分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

※3 業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車についてのみ、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提として 2030 年時点の数値を推計

表 3-50 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計結果まとめ（現状・需要造成）

（単位：万 kW）

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	37	37
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	19	19
	下水道	—	—	—	—	39	39
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	8	8	8
	空調機器（一般）	—	—	—	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	—	75	65	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	12	17	25	—	—	—
家庭	家庭用 HP 給湯機	450	514	788	—	—	—
運輸	電気自動車	28	28	28	—	—	—
合計		490	634	906	8	103	198

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は10分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

表 3-51 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計結果まとめ（2030年・需要造成）

（単位：万 kW）

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	37	37
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	19	19
	下水道	—	—	—	—	39	39
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	8	8	8
	空調機器（一般）	—	—	—	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	—	75	65	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	251	346	506	—	—	—
家庭	家庭用 HP 給湯機	1,406	1,607	2,462	—	—	—
運輸	電気自動車	3,360	3,360	3,360	—	—	—
合計		5,017	5,388	6,393	8	103	198

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は10分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

※3 業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車についてのみ、業界団体の2030年の導入量見通しに基づく数値を前提として2030年時点の数値を推計

継続時間を考慮したポテンシャル推計にあたり、文献・ヒアリング調査結果を踏まえて、各デマンドレスポンス資源の継続時間を表 3-52 のとおり定義した。

表 3-52 各デマンドレスポンス資源の継続時間の想定値

		需要造成継続時間 (9:00~16:00)	需要抑制継続時間 (16:00~20:00)	継続時間設定の前提条件 (平均継続時間の想定)
産業	電解槽	7 時間	2 時間	需要造成：半日程度と想定 (夜→昼ピークシフト) 需要抑制：2 時間程度と想定※ ¹
	アーク炉	7 時間	2 時間	需要造成：半日程度と想定 (夜→昼ピークシフト) 需要抑制：2 時間程度と想定※ ¹
業務	上水道	2 時間	1 時間	需要造成・需要抑制：水需要を考慮し、昼間は 2 時間程度※ ¹ 、夕方は 1 時間程度※ ² と想定
	下水道	2 時間	2 時間	需要造成・需要抑制：2 時間程度と想定※ ¹
	冷凍冷蔵倉庫	7 時間	30 分	需要造成：半日程度と想定 (夜→昼ピークシフト、負荷追従運転) 需要抑制：0.5 時間程度と想定※ ³
	空調機器(一般)	—	10 分	需要抑制：0.1 時間程度と想定※ ⁴
	空調機器(蓄熱式)	7 時間	3 時間	需要造成：8 時間程度と想定 (夜→昼ピークシフト) 需要抑制：3 時間程度と想定※ ⁵
	自動販売機	7 時間	4 時間	需要造成：半日程度と想定 需要抑制：半日程度と想定
家庭	業務用ヒートポンプ給湯機	7 時間	4 時間	需要造成・需要抑制： 冬期 15 時間程度 中間期 12.5 時間程度 夏期 10 時間程度と想定※ ⁶
	家庭用ヒートポンプ給湯機	4 時間	冬期：4 時間 中間期：3 時間 夏期：2 時間	需要造成・需要抑制： 冬期 4 時間程度 中間期 3 時間程度 夏期 2 時間程度と想定※ ⁷
運輸	電気自動車	4 時間	4 時間	需要造成・需要抑制：4 時間程度と想定※ ⁶

※¹ ヒアリング調査における「数時間停止可能」との情報より、2 時間程度と想定。

※² 夕方は水の使用量が増えるため、昼間と比較して継続時間は短くなると想定し、1 時間に設定。

※³ ヒアリング調査における「10 分～1 時間」との情報より、30 分程度と想定。

※⁴ ヒアリング調査における「長時間の停止は困難であり、10 分程度が目安」との情報より、10 分程度と想定。

※⁵ ヒートポンプ・蓄熱センターヒアリング結果に基づき、需要抑制は 3 時間程度、需要造成は 8 時間程度と設定。

※⁶ ヒートポンプ・蓄熱センターヒアリング結果に基づき、冬期の継続時間を 15 時間と設定。メーカーのカタログ値より、夏期の加熱能力は冬期の 1.5 倍、中間期の加熱能力は冬期の 1.2 倍と設定し、継続時間を補正。

※⁷ 資源エネルギー庁「電気自動車及びヒートポンプ給湯器の導入による需要創出の効果について」(2008 年)を参考に、冬期の継続時間を 4 時間と設定。メーカーのカタログ値より、夏期の加熱能力は冬期の 2 倍と設定し、継続時間を補正。

(2) 推計結果

3.3.3 項で推計した各デマンドレスポンス資源における需要抑制・造成のポテンシャルを、3.3.4 項の継続時間の考え方を踏まえて整理した結果を以下に示す。

各推計結果（グラフ）について、左側のグラフは 3.3.3 にて算出した年間（または季節別）の平均最大ポテンシャル、右側のグラフは継続時間を考慮したポテンシャルを表す。

また、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機及び電気自動車については、業界団体による導入見通しを用いて、2030 年におけるポテンシャル推計値を積上げている（その他のデマンドレスポンス資源は、現状・2030 年ともに同じ数値を積上げ）。

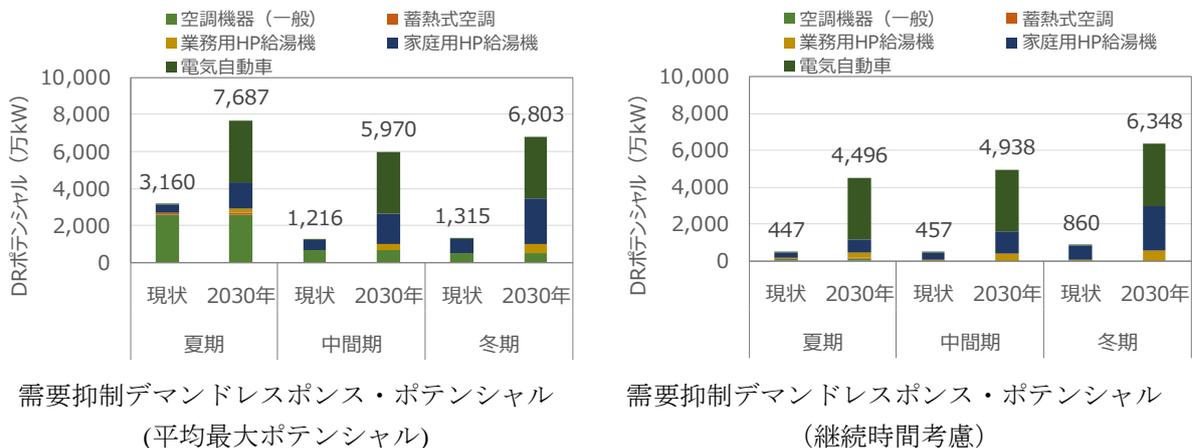
1) 需要抑制ポテンシャル

a. 全国合計の需要抑制ポテンシャル

ア) 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源

柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャルを整理した結果を図 3-36 に示す。図 3-36 より以下の傾向がわかる。

- 継続時間を考慮しない場合、空調機器（一般）によるポテンシャルは夏期に最も高くなる。ただし、継続時間を考慮した場合、継続時間 10 分を想定する空調機器（一般）のポテンシャルは大きく減少する。
- 家庭用ヒートポンプ給湯機では継続時間を考慮した場合もポテンシャルが高く、通年で利用が可能である。
- 2030 年の評価においては、電気自動車によるポテンシャルが最大となる。



※1 対象としたデマンドレスポンス資源はすべて 10 分以内での応答が可能のため、季節別のみで整理

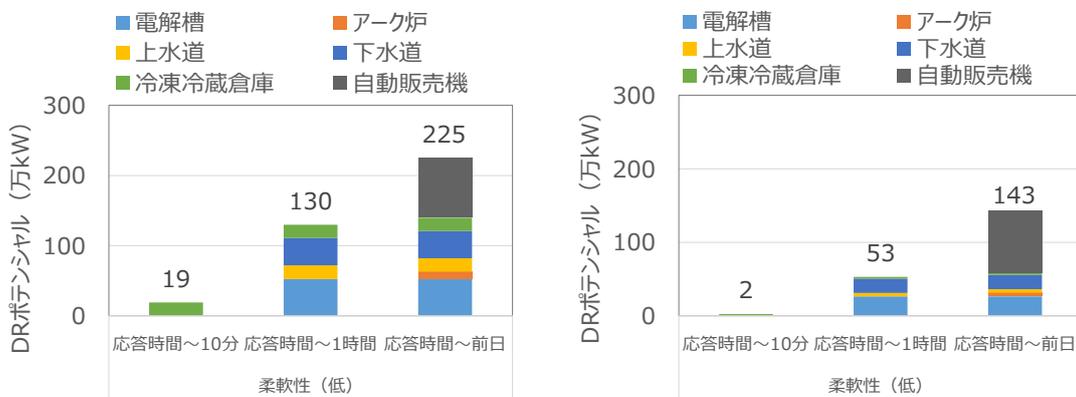
※2 2030 年の数値は、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車について、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提とした場合

図 3-36 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル

イ) 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源

柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャルを整理した結果を図 3-37 に示す。図 3-37 より以下の傾向がわかる。

- 冷凍冷蔵倉庫は応答時間が短い点が評価される。一方、継続時間を考慮した場合のポテンシャルは小さくなる。
- 応答時間 1 時間未満では、電解槽と下水道のポテンシャルが大きい。
- 前日までの応答時間まで考慮する場合、自動販売機のポテンシャルが最も大きくなる。
- 電解槽、下水道、自動販売機ともに継続時間を考慮したポテンシャル量も大きい。
- 上水道については、夕方の水需要増加を考慮すると、継続時間は短いと想定されるため、継続時間を考慮した場合のポテンシャルは小さくなる。



需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (平均最大ポテンシャル) 需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (継続時間考慮)

※ 本調査の範囲では季節別の推計はできなかったため、応答時間別のみで整理

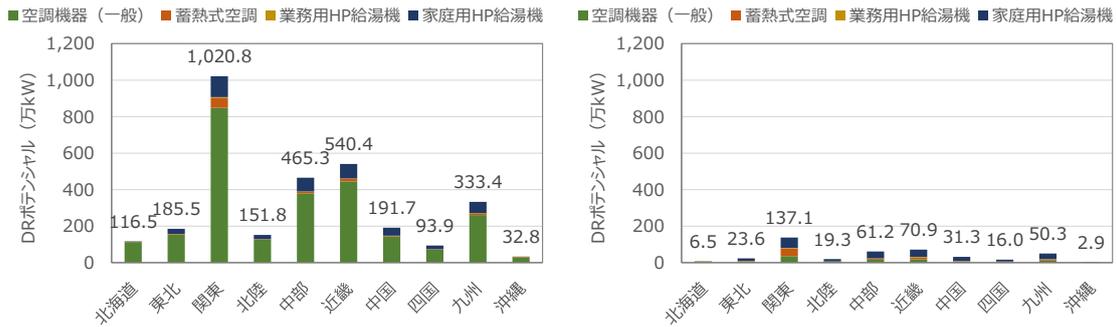
図 3-37 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル

b. 地域別の需要抑制ポテンシャル (夏期)

ア) 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源

前述の柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャルについて、夏期の現状の数値を対象に、地域別に整理した結果を図 3-38 に示す。

大規模需要地である関東や、近畿、中部等でポテンシャルが大きくなる。本整理の中では資源別の地域偏在性の特徴は見出せない。



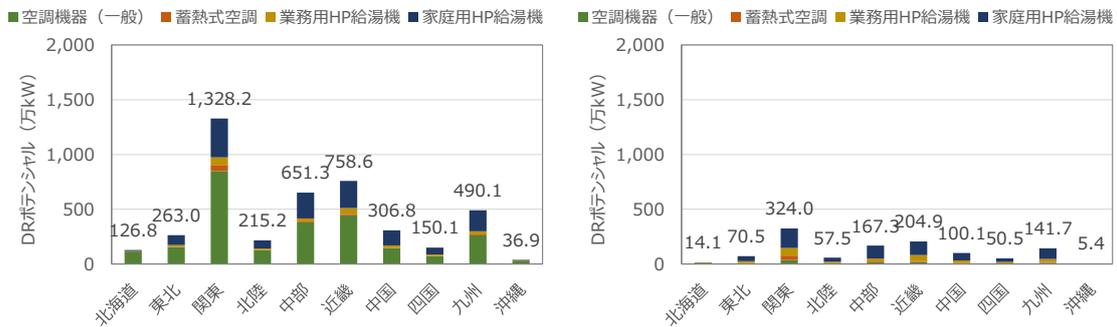
需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・平均最大ポテンシャル) 需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・継続時間考慮)

- ※1 夏期を対象に整理
- ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

図 3-38 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル (地域別・夏期・現状)

また、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機について、2030年の導入見通し台数を前提としたポテンシャルを採用した場合の結果を図 3-39 に示す。

将来の普及拡大を見込む場合、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機のポテンシャルは現状よりも大幅に増加する。



需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・平均最大ポテンシャル) 需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・継続時間考慮)

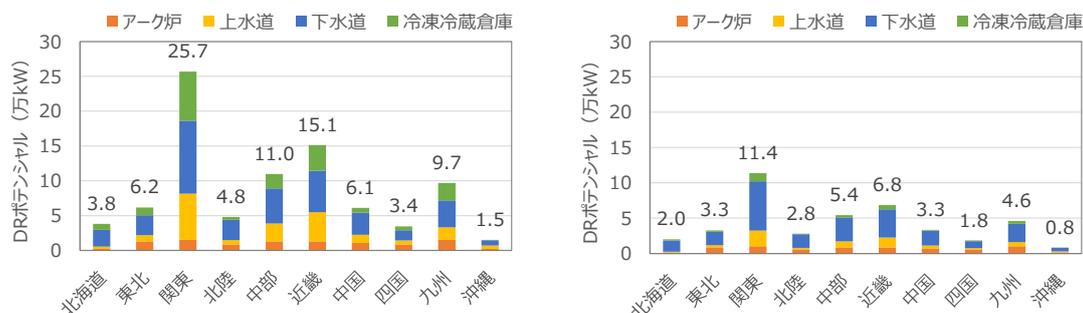
- ※1 夏期を対象に整理
- ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

図 3-39 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル (地域別・夏期・2030年)

イ) 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源

前述の柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャルについて、地域別に整理した結果を図 3-40 に示す。

柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の場合と同様に、大規模需要地である関東、近畿、中部等でポテンシャルが大きくなる。現状の整理の中では資源別の地域偏在性に目立った傾向は見出せない。



需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (平均最大ポテンシャル) 需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (継続時間考慮)

※1 「応答時間～1日前」を対象に例示

※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電解槽、自動販売機は除く

図 3-40 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル (地域別)

2) 需要造成ポテンシャル

a. 全国合計の需要造成ポテンシャル

ア) 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源

柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャルを整理した結果を図 3-41 に示す。図 3-41 より以下の傾向がわかる。

- 季節変動はあるが、年間を通して家庭用ヒートポンプ給湯機のポテンシャルが最も高く、他の資源を大きく上回る。
- ヒートポンプ給湯機に次いで、空調機器（蓄熱式）、電気自動車のポテンシャルが高い。業務用ヒートポンプ給湯機については、相対的にポテンシャルが低い。
- 継続時間を考慮する場合、家庭用ヒートポンプ給湯機と電気自動車のポテンシャルは減少する。
- 2030年の評価においては、電気自動車によるポテンシャルが最大となる。



需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル (年間・平均最大ポテンシャル) 需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル (継続時間考慮)

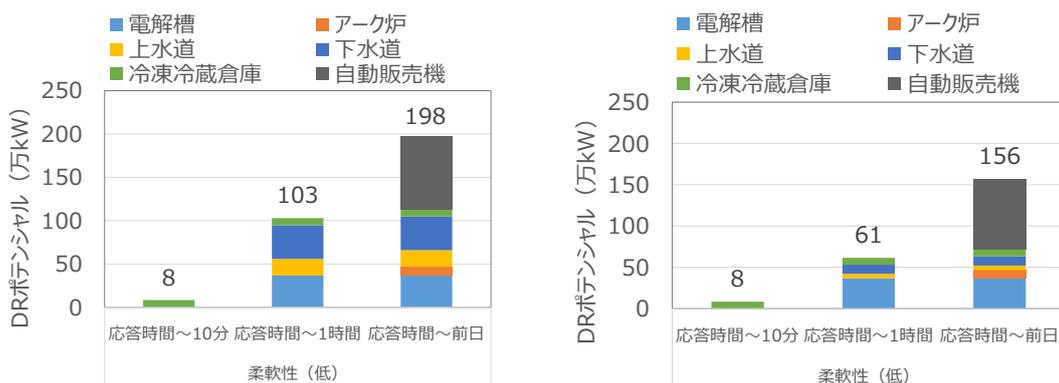
- ※1 対象としたデマンドレスポンス資源はすべて 10 分以内での応答が可能のため、季節別のみで整理
- ※2 2030 年の数値は、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車について、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提とした場合

図 3-41 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル

イ) 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源

柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャルを整理した結果を図 3-42 に示す。図 3-42 より以下の傾向がわかる。

- 冷凍冷蔵倉庫は応答時間が短い点が評価される。継続時間が長いため、ポテンシャルに変化はない。
- 応答時間 1 時間未満では、電解槽と下水道のポテンシャルが大きい。
- 前日までの応答時間まで考慮する場合、自動販売機のポテンシャルが最も大きくなる。
- 電解槽と自動販売機については、継続時間が長いため、継続時間を考慮したポテンシャル量も大きい。
- 上水道、下水道については、継続時間を考慮したポテンシャルは減少する。



需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル (年間・平均最大ポテンシャル) 需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル (継続時間考慮)

- ※ 本調査の範囲では季節別の推計はできなかったため、応答時間別のみで整理

図 3-42 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル

b. 地域別の需要造成ポテンシャル（夏期）

ア) 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源

前述の柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャルについて、夏期の現状の数値を対象に、地域別に整理した結果を図 3-43 に示す。

需要抑制の場合と同様に、大規模需要地である関東、近畿、中部等でポテンシャルが大きくなる。本整理の中では資源別の地域偏在性の特徴は見出せない。



需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・平均最大ポテンシャル） 需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・継続時間考慮）

- ※1 夏期を対象に整理
- ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

図 3-43 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル（地域別・現状）

また、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機について、2030年の導入見通し台数を前提としたポテンシャルを採用した場合の結果を図 3-44 に示す。

将来の普及拡大を見込む場合、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機のポテンシャルは現状よりも大幅に増加する。



需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・平均最大ポテンシャル） 需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・継続時間考慮）

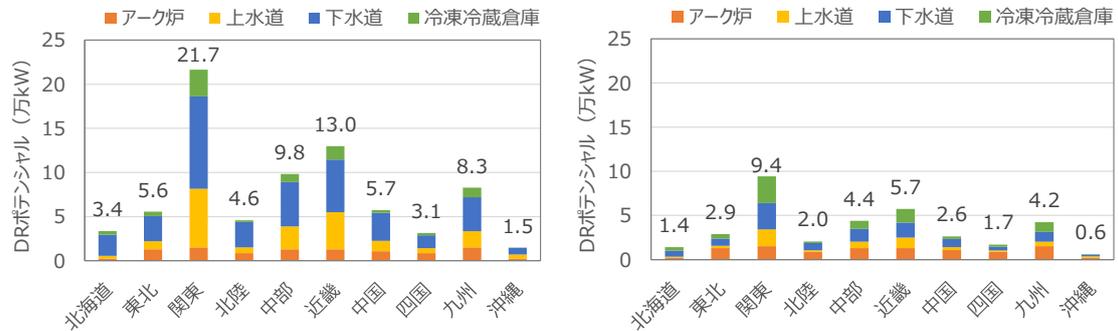
- ※1 夏期を対象に整理
- ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

図 3-44 柔軟性の高いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル（地域別・2030年）

イ) 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源

前述の柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャルについて、地域別に整理した結果を図 3-45 に示す。

需要抑制の場合と同様に、大規模需要地である関東、近畿、中部等でポテンシャルが大きくなる。本整理の中では資源別の地域偏在性の特徴は見出せない。



需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル
(平均最大ポテンシャル)

需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル
(継続時間考慮)

※1 「応答時間～1日前」を対象に例示

※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電解槽、自動販売機は除く

図 3-45 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル (地域別)

3) 推計結果まとめ

以上の検討に基づき、継続時間を考慮したポテンシャルをまとめた結果を表 3-53～表 3-56 に示す。

表 3-53 デマンドレスポンス資源ポテンシャル推計結果まとめ
(需要抑制・継続時間考慮・現状)

(単位：万 kW)

		柔軟性 (高)			柔軟性 (低)		
		応答時間～10 分			応答時間 ～10 分	応答時間 ～1 時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	26	26
	アーク炉	—	—	—	—	—	5
業務	上水道	—	—	—	—	5	5
	下水道	—	—	—	—	19	19
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	2	2	2
	空調機器 (一般)	107	27	20	—	—	—
	空調機器 (蓄熱式)	75	0	0	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	12	17	25	—	—	—
	家庭	家庭用 HP 給湯機	225	385	788	—	—
運輸	電気自動車	28	28	28	—	—	—
合計		447	457	860	2	53	143

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は 10 分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

表 3-54 デマンドレスポンス資源ポテンシャル推計結果まとめ
(需要抑制・継続時間考慮・2030 年)

(単位：万 kW)

		柔軟性 (高)			柔軟性 (低)		
		応答時間～10 分			応答時間 ～10 分	応答時間 ～1 時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	26	26
	アーク炉	—	—	—	—	—	5
業務	上水道	—	—	—	—	5	5
	下水道	—	—	—	—	19	19
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	2	2	2
	空調機器 (一般)	107	27	20	—	—	—
	空調機器 (蓄熱式)	75	0	0	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	251	346	506	—	—	—
	家庭	家庭用 HP 給湯機	703	1,205	2,462	—	—
運輸	電気自動車	3,360	3,360	3,360	—	—	—
合計		4,496	4,938	6,348	2	53	143

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は 10 分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

※3 業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車についてのみ、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提として 2030 年時点の数値を推計

表 3-55 デマンドレスポンス資源ポテンシャル推計結果まとめ
(需要造成・継続時間考慮・現状)

(単位：万 kW)

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	37	37
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	6	6
	下水道	—	—	—	—	11	11
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	8	8	8
	空調機器（一般）	—	—	—	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	0	75	65	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	12	17	25	—	—	—
	家庭	家庭用 HP 給湯機	128	220	450	—	—
運輸	電気自動車	16	16	16	—	—	—
合計		157	328	555	8	61	156

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は10分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

表 3-56 デマンドレスポンス資源ポテンシャル推計結果まとめ
(需要造成・継続時間考慮・2030年)

(単位：万 kW)

		柔軟性（高）			柔軟性（低）		
		応答時間～10分			応答時間 ～10分	応答時間 ～1時間	応答時間 ～前日
		夏期	中間期	冬期			
産業	電解槽	—	—	—	—	37	37
	アーク炉	—	—	—	—	—	10
業務	上水道	—	—	—	—	6	6
	下水道	—	—	—	—	11	11
	冷凍冷蔵倉庫	—	—	—	8	8	8
	空調機器（一般）	—	—	—	—	—	—
	空調機器（蓄熱式）	0	75	65	—	—	—
	自動販売機	—	—	—	—	—	85
	業務用 HP 給湯機	251	346	506	—	—	—
	家庭	家庭用 HP 給湯機	402	689	1,407	—	—
運輸	電気自動車	1,920	1,920	1,920	—	—	—
合計		2,573	3,030	3,898	8	61	156

※1 柔軟性が高いデマンドレスポンス資源は、全て応答時間は10分未満として整理

※2 季節別の数値は試算が可能であった柔軟性が高いデマンドレスポンス資源についてのみ整理

※3 業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車についてのみ、業界団体の2030年の導入量見通しに基づく数値を前提として2030年時点の数値を推計

表 3-59 デマンドレスポンス資源のポテンシャル推計結果まとめ（需要造成・継続時間考慮・地域別・現状）

（単位：万 kW）

		北海道			東北			関東			北陸			中部			近畿			中国			四国			九州			沖縄		
		夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期	夏期	中間	冬期
産業	電解槽	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	アーク炉	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	2.2	2.2	2.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	2.2	2.2	2.2	1.1	1.1	1.1	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7	0.1	0.1	0.1
業務	上水道	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	1.9	1.9	1.9	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7	1.2	1.2	1.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1
	下水道	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	3.0	3.0	3.0	0.8	0.8	0.8	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	0.9	0.9	0.9	0.4	0.4	0.4	1.1	1.1	1.1	0.2	0.2	0.2
	冷凍冷蔵倉庫	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	3.0	3.0	3.0	0.2	0.2	0.2	0.9	0.9	0.9	1.5	1.5	1.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.1	1.1	1.1	0.0	0.0	0.0
	空調機器（一般）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	空調機器（蓄熱式）	0.0	0.3	0.2	0.0	2.0	1.7	0.0	41.9	35.9	0.0	1.5	1.3	0.0	6.5	5.6	0.0	10.3	8.8	0.0	2.4	2.0	0.0	2.2	1.9	0.0	7.4	6.3	0.0	0.9	0.7
	自動販売機	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	業務用 HP 給湯機	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	1.7	3.4	4.7	6.8	0.7	0.9	1.4	1.3	1.8	2.7	2.5	3.5	5.1	1.1	1.6	2.3	0.7	0.9	1.3	1.3	1.8	2.7	0.0	0.1	0.1
家庭	家庭用 HP 給湯機	0.7	1.2	2.5	8.2	14.1	28.8	32.4	55.6	113.5	6.8	11.6	23.7	21.5	36.8	75.2	22.7	38.8	79.3	12.5	21.3	43.6	5.8	10.0	20.4	17.5	30.1	61.4	0.4	0.7	1.5
運輸	電気自動車	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	合計	2.8	3.7	5.1	11.4	19.5	34.5	45.9	112.2	166.3	9.7	16.3	28.6	27.1	49.4	87.7	31.8	59.2	99.9	16.2	27.9	50.6	7.6	14.2	24.7	22.3	42.8	73.9	1.0	2.2	2.8

※1 「応答時間～1日前」のポテンシャル

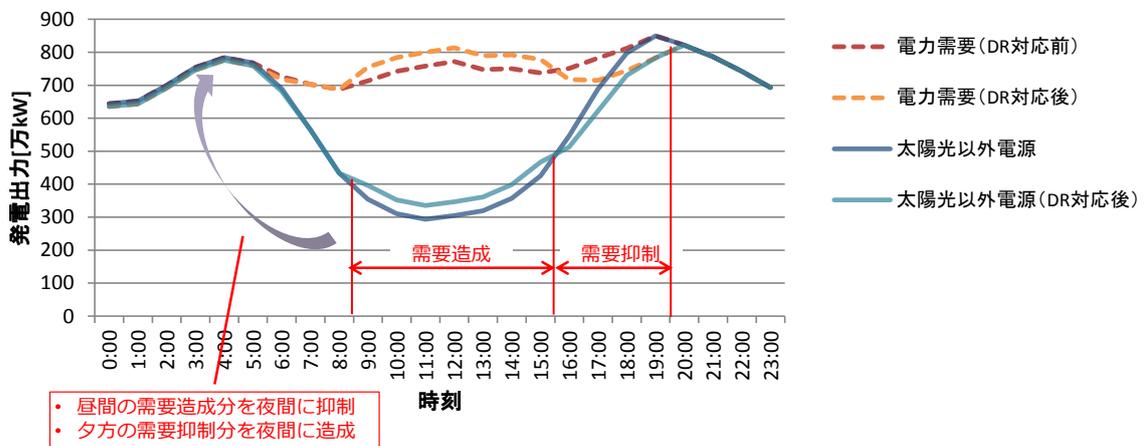
※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電解槽、自動販売機は除く

(3) 九州電力管内におけるケーススタディ

前項までに検討した結果を用いて、九州電力が公表している電力需給実績及びエネルギー源別発電実績データを用いて、2016年5月4日を対象に、各デマンドレスポンス資源の活用による需給バランス改善効果に関するケーススタディを行った。

結果を図 3-46、図 3-47 に示す。図 3-46 は現状のポテンシャル値、図 3-47 は 2030 年のポテンシャル値を用いている。9:00～16:00 は継続時間を考慮した需要造成ポテンシャル、16:00～20:00 は継続時間を考慮した需要抑制ポテンシャルを活用することを想定している。また、9:00～16:00 に需要造成した分、及び 16:00～20:00 に需要抑制した分は、0:00～7:00 にシフトすることを想定している。

各デマンドレスポンス資源を効果的に活用することにより、昼間の火力等調整用電源の抑制量の減少、及び夕方の急激な出力増加の緩和が可能となることが分かる。また、2030 年はポテンシャルが増大するため、現状より大きな効果を得られる。



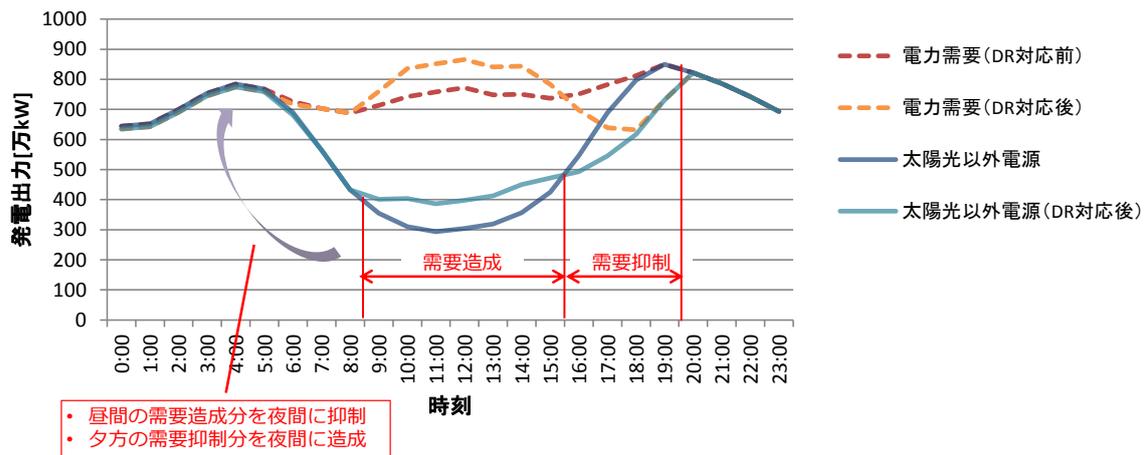
※九州電力管内の 2016 年 5 月 4 日データを使用。

※9:00～16:00 は継続時間を考慮した需要造成ポテンシャル（43 万 kW）の一部、16:00～20:00 は継続時間を考慮した需要抑制ポテンシャル（60 万 kW）の一部を活用。

※9:00～16:00 に需要造成した分、及び 16:00～20:00 に需要抑制した分は、0:00～7:00 にシフト。

図 3-46 九州電力管内におけるデマンドレスポンス資源活用効果ケーススタディ（現状）

出所) 九州電力ウェブサイト（需給実績：http://www.kyuden.co.jp/wheeling_disclosure.html、発電実績：http://www.kyuden.co.jp/power_usages/history201605.html）より作成



※九州電力管内の2016年5月4日データを使用。

※9:00～16:00は継続時間を考慮した需要造成ポテンシャル(94万kW)の一部、16:00～20:00は継続時間を考慮した需要抑制ポテンシャル(208万kW)の一部を活用。

※9:00～16:00に需要造成した分、及び16:00～20:00に需要抑制した分は、0:00～7:00にシフト。

図 3-47 九州電力管内におけるデマンドレスポンス資源活用効果ケーススタディ(2030年)

出所)九州電力ウェブサイト(需給実績:http://www.kyuden.co.jp/wheeling_disclosure.html、発電実績:http://www.kyuden.co.jp/power_usages/history201605.html)より作成

3.3.5 参考資料

(1) 自家発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル推計結果

経済産業省の電力調査統計に示される火力・水力自家発電設備の容量を参照し（※1,000kW以上が対象。また、火力はコージェネを除く。）、電力中央研究所調査²⁰に基づき、季節・時間帯別の稼働率の上げ下げの幅が、操業形態を維持した状況でのデマンドレスポンスに対する利用可能割合であると仮定し、自家発電による需要抑制・造成デマンドレスポンス・ポテンシャルを推計すると、図 3-48 のとおり算出される。

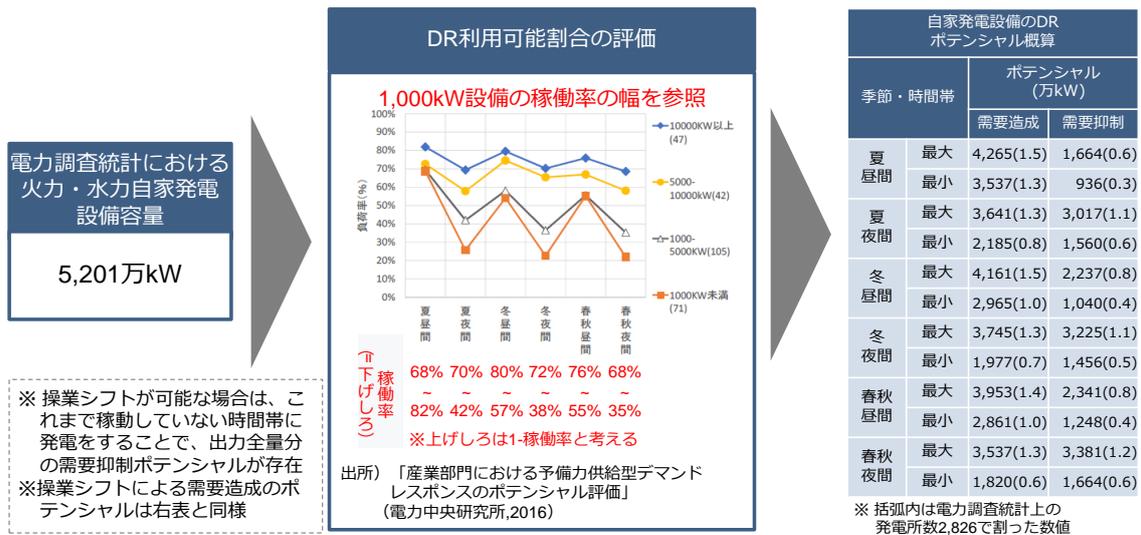


図 3-48 自家発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル推計結果

²⁰ 高橋他, 「産業部門における予備力供給型デマンドレスポンスのポテンシャル評価」, 電力中央研究所, 2016

前述のポテンシャルを電力調査統計の地域別自家発電設備容量に基づき按分し、地域別の需要抑制・造成デマンドレスポンス・ポテンシャルを推計した結果を表 3-61、表 3-62 に示す。

表 3-61 自家発電の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル (1/2)

自家発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル概算 (万 kW)											
季節・時間帯		北海道		東北		関東		中部		北陸	
		造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制
夏 昼間	最大	182	71	531	207	1,385	541	376	147	48	19
	最小	151	40	441	117	1,149	304	312	83	40	11
夏 夜間	最大	155	129	454	376	1,182	980	321	266	41	34
	最小	93	67	272	194	709	507	193	138	25	18
冬 昼間	最大	177	95	518	279	1,351	726	367	197	47	25
	最小	126	44	369	130	963	338	261	92	33	12
冬 夜間	最大	160	138	466	402	1,216	1,047	330	284	42	36
	最小	84	62	246	181	642	473	174	128	22	16
春秋 昼間	最大	169	100	492	292	1,284	760	348	206	44	26
	最小	122	53	356	155	929	405	252	110	32	14
春秋 夜間	最大	151	144	441	421	1,149	1,098	312	298	40	38
	最小	78	71	227	207	591	541	160	147	20	19

※地域区分は電力調査統計に基づく

表 3-62 自家発電の地域別デマンドレスポンス・ポテンシャル (2/2)

自家発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル概算 (万 kW)											
季節・時間帯		近畿		中国		四国		九州		沖縄	
		造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制	造成	抑制
夏 昼間	最大	549	214	573	224	166	65	449	175	6	2
	最小	456	121	475	126	137	36	372	98	5	1
夏 夜間	最大	469	389	489	406	141	117	383	137	5	4
	最小	281	201	294	210	85	61	230	164	3	2
冬 昼間	最大	536	288	559	301	161	87	438	235	6	3
	最小	382	134	399	140	115	40	312	109	4	1
冬 夜間	最大	482	415	503	433	145	125	394	339	5	5
	最小	255	188	266	196	77	57	208	153	3	2
春秋 昼間	最大	509	301	531	315	153	91	416	246	6	3
	最小	368	161	385	168	111	48	301	131	4	2
春秋 夜間	最大	456	435	475	454	137	131	372	356	5	5
	最小	234	214	245	224	71	65	191	175	3	2

※地域区分は電力調査統計に基づく

(2) 非常用発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル推計結果

部門共通のデマンドレスポンス資源候補として、非常用発電設備が挙げられる。非常用発電設備の導入状況については、日本内燃力発電設備協会が統計データをまとめており、平成27年時点でのわが国の防災用自家発電装置（＝非常用自家発電設備）のストックは2,936万kWに達している（防災用自家発電装置、常用防災兼用発電装置の適合マークの使用報告に基づく集計）。需要抑制のデマンドレスポンス・ポテンシャルとして、本2,936万kWが該当する。

ただし、通常は年に数回の稼働に留まる設備であり、燃料の備蓄状況やメンテナンス状況など、稼働可能性について不明な点が多い。また、発電効率が低く、利用に伴いCO₂排出量が増加する可能性がある点に留意が必要である。

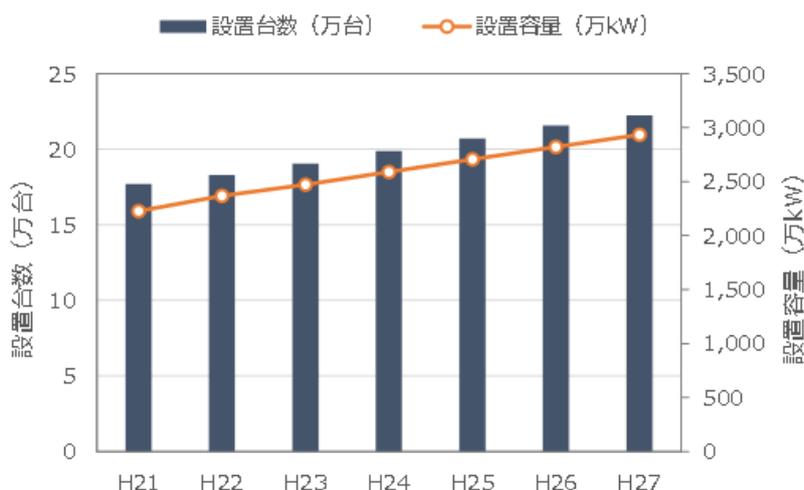


図 3-49 防災用自家発電装置の導入推移

出所) 日本内燃力発電協会会報より作成

(3) 欧州におけるデマンドレスポンス資源ポテンシャル試算例

欧州議会への欧州委員会の最近の報告によると、電力消費量を10%～36%抑制するデマンドレスポンス・ポテンシャルがあると推定されている²¹。IEA DSM Task 17に掲載された図3-50、図3-51は、SIA Partners社がトップダウンアプローチを用いて、2012年のヨーロッパの電力消費量を基に、デマンドレスポンス・ポテンシャルを分析した結果である。（※本検討の技術的ポテンシャルの前提条件とは異なるため、数字の単純比較はできない点に注意。）

【トップダウンアプローチ】

1. 部門別の電力消費量を特定
2. 部門別の主なプロセスを特定
3. デマンドレスポンス・ポテンシャルをもつプロセスを特定
4. プロセス別の設備容量を特定

²¹ IEA DSM Task 17, “Roles and Potentials of Flexible Consumers and Prosumers”, 2016年9月

5. プロセス別にピーク時に利用できる容量を算定
6. プロセス別のデマンドレスポンス・ポテンシャルを算定

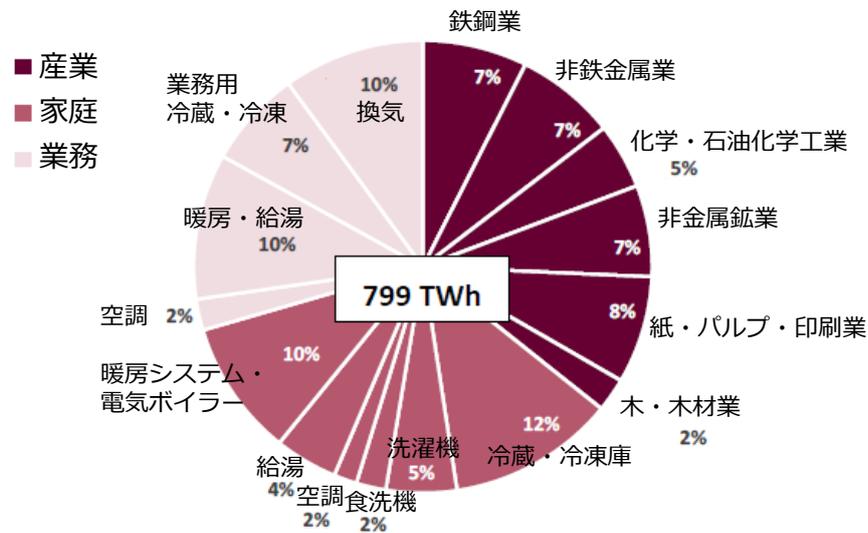


図 3-50 デマンドレスポンス・ポテンシャルをもつプロセス別の電力消費量 (2012年)

出所) SIA Partners “Demand Response: A Study of its Potential in Europe” (2014年12月) より作成

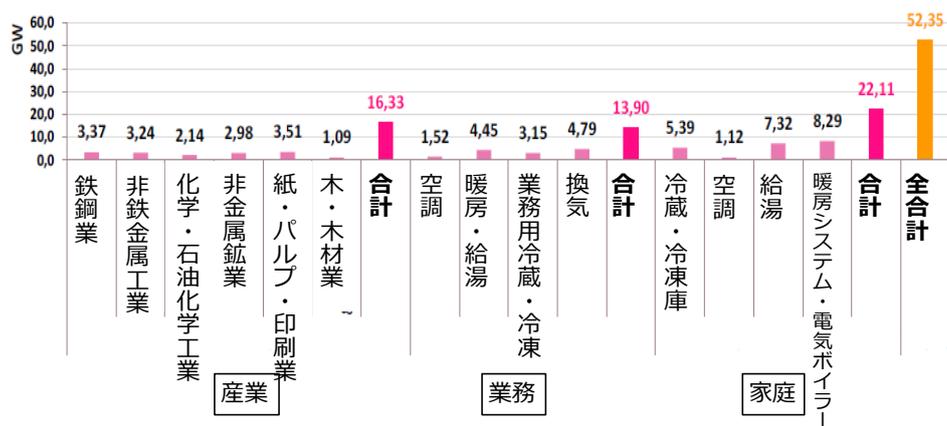


図 3-51 欧州のデマンドレスポンス・ポテンシャル

出所) SIA Partners “Demand Response: A Study of its Potential in Europe” (2014年12月) より作成

3.4 デマンドレスポンスの価値の定量評価

本節では、再生可能エネルギー電力の大量導入時に、デマンドレスポンス等の需要側対策にどのような社会的役割があるのかについて、電力システム評価モデルを用いて、定量的な分析を行った。

3.4.1 定量分析の方針

(1) 分析の目的

再生可能エネルギー電力の大量導入時に、デマンドレスポンス等の需要側対策にどのような社会的役割があるのかについて、電力システム評価モデルを用いて、定量的に把握を行う。このようなモデルを用いることで、どのような特性のある電力需給対策オプションが選択されるのか、どのような季節・時間帯にその必要性が高まるのか、電力需給対策オプションの活用により CO2 排出や燃料費の低減にどの程度貢献するのか、といったことが、定量的に評価できるようになる。

表 3-63 電力需給バランス確保・調整力確保のための方策

区分	方策	概要	需給バランスへの寄与	調整力確保の寄与	本モデル中での当該方策の考慮
電力システム側の取組	従来電源による調整	従来電源を部分負荷運転により短時間での負荷追従を行う	○ 供給増減	○ 調整能力増	○
	広域運用による出力平滑化・調整力融通	需給バランス・調整力確保のために地域間連系線を活用する	○ 供給増減	(間接的)	△ 電力量の融通のみ
	揚水発電の最大限の活用	再生可能エネルギーの発電量の多い時間帯の需要や、電力供給が不足する時間帯の供給源として活用すると同時に、可変速機であれば出力変動にも対応	○ 供給増減	○ 調整能力増	○
出力制御	再生可能エネルギー出力抑制	変動や供給過剰をもたらす電源からの出力を抑制する	○ 供給減	○ 必要調整力減	○
需要側の取組	デマンドレスポンス	再生可能エネルギーの発電量の少ない時間帯から多い時間帯へ、需要の発生時間帯をシフトさせる	○ 供給増減	(間接的)	○
	需要側エネルギー貯蔵の活用	再生可能エネルギーの発電量の多い時間帯の需要や、電力供給が不足する時間帯の供給源として活用したり、LFC 調整能力として利用する	○ 供給増減	○ 調整能力増	○

出所) 環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016 より作成

(2) (参考) モデル構築の方針²²

1) モデルで扱う問題の範囲

本モデルでは、再生可能エネルギーが大量導入された電力システムにおいて、その出力変動に対する LFC 調整力の確保を行うための、電力需給対策オプションの選択を含めた電力システムの運用計画を取り扱う。

2) 社会費用について

再生可能エネルギーの大量導入時の電力需給バランス確保・LFC 調整力・運転予備力方策は、その「社会費用」が可能な限り小さいことが望ましいと考え、社会費用の最小化を目的とする。

本モデルでは、社会費用は「総燃料費+総 CO2 コスト+その他費用」として定義している(表 3-64)。

表 3-64 各電力需給バランス確保・LFC 調整能力確保における社会費用の考え方

区分	方策	社会費用の考え方	本モデル中の扱い
電力システム側の取組	従来電源による調整	起動用燃料消費増加や部分負荷・低効率設備の稼働による燃料費・CO2 排出増加	総燃料費・総 CO2 コストとして考慮
	広域運用による出力平滑化	通信システムの構築・運営費等	特に考慮しない
	揚水発電の最大限の活用	(既存設置分の活用の場合) 充放電ロスによる燃料費・CO2 排出増加	同上
出力制御	再生可能エネルギー出力抑制	火力発電出力を代替できないことによる燃料費・CO2 排出増加、通信システム等の構築・運営費等	総燃料費・総 CO2 コストとして考慮。その他費用はベースケースでは考慮しない
需要側の取組	デマンドレスポンス	シフトを強いられることによる消費者効用の減少	消費者効用へ影響しない範囲のシフトのみを考慮する
	需要側エネルギー貯蔵の活用	(既存設置分の活用の場合) 充放電ロスによる燃料費・CO2 排出増加、通信システム等の構築・運営費等	シナリオで考慮

出所) 環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016 より作成

²² 詳細は、環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016 を参照のこと。

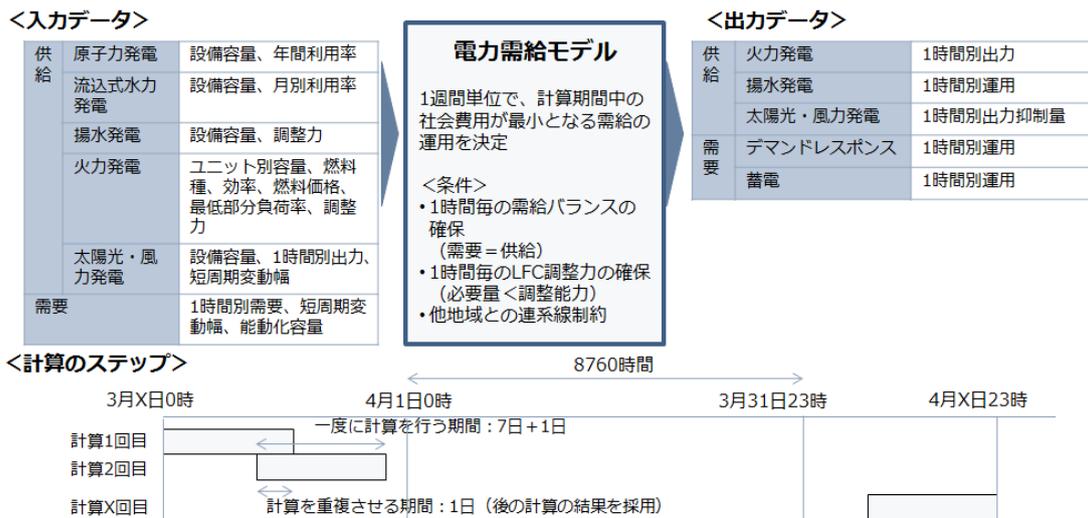


図 3-52 モデル構造

出所) 環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016 より作成

3.4.2 類似研究調査とモデル改良

平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務²³で開発したモデルにおいて、表 3-65 の内容が課題として挙げられている。本業務では、これらの点について、モデルの改良を行った。特に調整力制約を精緻化すること、家庭用以外のデマンドレスポンス資源などを評価可能にすることに着目した。

これらのモデルの改良点に関連して、表 3-66 に示す類似研究の調査を行うとともに、LFC 調整力必要量、火力発電等に関するパラメータの精査・確認を行った。

²³ 環境省, 「平成 27 年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務」, 2016

表 3-65 電力システム評価モデルにおける課題と改良

課題 (昨年度時点)		改良	
データの精査	電力需要	太陽光発電自家消費分の考慮	次年度以降の検討課題とする
		一般電気事業者供給分以外の考慮	データ差し換え*1
		2030年の需要カーブの想定方法	次年度以降の検討課題とする
	再生可能エネルギー	実測データに基づく出力の設定	データ差し換え*1
		出力抑制の特性の考慮	次年度以降の検討課題とする
		太陽光発電・風力発電以外の設定	小水力・地熱・バイオマスを追加。バイオマスについては種類に応じた出力抑制を反映
		太陽光発電、風力発電の変動特性に基づく必要な調整力の再検討	類似研究調査を行い、昨年度の想定を据え置くのが妥当と判断
	系統側対策	火力発電の部分負荷効率・起動コストの設定値の精査	類似研究の想定値に差し替え
		連系線制約の見直し	OCCTO 公表の連系線運用容量*2に差し換え
	需要側対策	デマンドレスポンス対象機器の追加	今年度調査内容を踏まえて設定
需要側エネルギー貯蔵の考慮 (水素含む)		モデル結果を利用して検証	
モデルの精緻化	運転予備力の表現	類似研究調査を行いモデル化を行った上で、パラメータはOCCTO 公表資料を参考に設定	
	予測の表現	同上	
	連系線での調整力融通の表現	類似研究調査を行いモデル化	
モデル挙動の確認	他の分析結果・研究事例等との比較	類似研究との示唆を比較	
	結果に大きな影響を与えない要素の省略、計算時間の短縮による高速化	計算の並列化、近似解法適用、高性能 PC の利用	

※太字：文献・類似研究調査を要したもの。詳細後述

注 1) 東京大学生産技術研究所 荻本研究室提供

注 2) 電力広域的運営推進機関 (OCCTO)、「長期計画 (平成 30 年度～37 年度) の連系線の運用容量の値」, 平成 28 年 3 月 17 日

表 3-66 類似文献の調査

○：参考にできるもの、△：考慮されているが文献中に具体的数値の記載がないもの、●：当該概念が考慮されているがモデル構造の違いから参考にしにくいもの

分類	項目	更新区分	電中研 (2013 / 2016) ^{※1}	宇田川ほか (2016) ^{※2}	東ほか (2016) ^{※3}	東ほか (2017) ^{※4}	大槻ほか (2015) ^{※5}	杉山ほか (2016) ^{※6}	辻井ほか (2016) ^{※7}	OCCTO (2015) ^{※8}
モデル構造	地域数	—	東西の2地域 (独立)	全国 10地域	全国 10地域	全国 10地域	北海道 1地域	全国 135ノード	西日本 115ノード	—
	時間解像度	—	1年 30分値	1年 1時間値	1年 1時間値	1年 1時間値	1年 10分値	1年 10分値	1年 10分値	—
	ネットコミット	—	考慮	考慮	考慮	考慮	考慮せず	考慮せず	考慮	—
調整力 制約	LFC調整力	パラメータ精査	○	○	○	○	●	●	○	
	運転予備力	新規設定	○	○					○	○
火力発 電制約	最低出力	パラメータ精査	○	△	△	○	○	○	○	
	部分負荷効率	パラメータ精査	○	○	△	○			△	
	起動コスト	パラメータ精査	○	△	△	○				
再エネ	予測誤差	運転予備力としての 新規設定	○	○	● (ランプ変動)	●			●	○
その他 考慮されている特徴		今後の参考とする	月間・週間・翌日 の計画フロー		ランプ制約	調整力 融通		基幹送電 線の潮流		

※1 電中研報告 R13013, 「再生可能エネルギー大量導入に対応した需給運用シミュレーター需給運用計画策定機能のプロトタイプ開発」, 2013
ディスカッションペーパーSERC16001 「長期エネルギー需給見通しを前提としたアデカシー確保に関する定量的評価」, 2016

※2 宇田川・荻本他, 「太陽光発電出力予測に基づく起動停止計画モデルの開発と実規模系統の解析」, IEEJ B Vol.136 No.5, 2016

※3 東・荻本他, 「ランプ変動を考慮した2030年の電力需給解析」, IEEJ, 電力技術/電力系統技術合同研究会 PE-16-058/PSE-16-078, 2016

※4 東・荻本他, 「連系線によるエネルギーと需給調整力融通を含む電力需給解析手法」, IEEJ-B, No.137, pp83, 2017. なお、文献記載の内容に加えて著者から直接情報提供を受けた。

※5 大槻・小宮山他, 「間欠性再生可能エネルギー大量導入時における出力抑制量・蓄電池導入に関する一考察」, IEEJ B Vol.135 No.5, 2015

※6 杉山・小宮山他, 「基幹系統を考慮した際の電源構成モデル開発とPV・WT大量導入分析」, IEEJ B Vol.136 No.12, 2016

※7 辻井・辻他, 「再生可能エネルギー増加時における需給制御の対策評価方法に関する一考察」, IEEJ B Vol.136 No.5, 2016

※8 第6回 調整力等に関する委員会 資料5

本モデルの主な制約式を表 3-67 に示す。これらの制約式のもと、1 週間の費用が最小になるよう最適化計算を実施している。

表 3-67 本モデルの主な制約式

制約式	概念
需給バランス	電力需要=電力供給 電力需要= 基準需要+シフト負荷(時間別)+蓄電量-負荷遮断+他地域へ 電力供給= 火力・原子力・RES 等発電量-RES 等出力抑制+放電量-他地域から
LFC バランス	LFC 需要<LFC 供給 LFC 需要= 電力需要×係数+RES 発電量×係数+他地域へ LFC 供給= 運転中火力ユニット毎容量×係数+(蓄電量+放電量)×係数+系統側蓄電池(地域別 kW)+他地域から
運転予備力バランス	予備力必要量<予備力供給量(上げ代) 予備力必要量<予備力供給量(下げ代) 予備力必要量=電力需要×電力想定誤差+PV 出力×PV 想定誤差+WT 出力×WT 想定誤差 予備力供給量(上げ代/下げ代) =Σ(運転中火力ユニットの上げ代/下げ代) 運転中火力ユニットの上げ代 =(定格出力-LFC 調整力)-時間別出力 運転中火力ユニットの下げ代 =時間別出力-(最低出力+LFC 調整力)
火力最低出力	ユニット毎発電量 $t \geq$ ユニット毎容量×最低負荷率(停止時を除く)
火力部分負荷効率	火力燃料消費量=切片+発電量÷効率(一次近似)
起動コスト	起動コスト=ユニット毎起動時フラグ×単価
出力抑制	RES 等出力抑制<RES 等出力抑制上限 出力抑制コスト=RES 等出力抑制×単価(出力抑制にコストが生じると見る場合)
負荷遮断	負荷遮断コスト=負荷遮断×協力単価
地域間送電の容量制約	(他地域への需要+他地域からの供給+他地域への LFC 需要+他地域からの LFC 供給) \leq 送電容量
設備制約	ユニット毎発電量 \leq ユニット毎容量
揚水発電・蓄電バランス	$SOc_{t+1} = SOc_t + \text{蓄電量 } t - \text{放電量 } t$ $SOc \leq \text{蓄電容量}$ 蓄電コスト=(蓄電量+放電量)×協力単価
負荷シフトバランス	$\Sigma(1 \text{ 日})(\text{シフト負荷増}-\text{シフト負荷減}) = 0$ $\Sigma(1 \text{ 日})(\text{シフト負荷増}) \leq \Sigma(1 \text{ 日})(\text{シフト可能需要})$ シフト負荷増 \leq シフト負荷増の上限 シフト負荷減 \leq シフト負荷減の上限 負荷シフトコスト=シフト負荷増加×協力単価
費用(目的関数)	費用=火力燃料消費量×燃料単価+起動コスト+出力抑制コスト+負荷遮断コスト+蓄電コスト+負荷シフトコスト

3.4.3 分析シナリオ

本検討では、中期的（2030年ごろ）を想定して、「3.3 国内のデマンドレスポンスのポテンシャル」で有望とされたデマンドレスポンス資源に加え、電力の広域融通、揚水発電や蓄電池の運用、水素製造などの多様な需給対策オプションの組合せや、地域間連系線の運用容量拡大等により、再生可能エネルギーの出力抑制量や総コストの変化を評価した。

分析を行ったシナリオを、表 3-68 に示す。本報告書では、評価対象の需給対策オプションが特に導入されていない状態を「ベースケース」として設定する。

表 3-68 分析シナリオ

分析目的	比較するシナリオ	シナリオ内容				
		CO2 価格	地域間連系線・広域運用	DR	蓄電池	水素
CO2 価格の効果	CO2 価格低	<u>低</u>	通常	なし	なし	なし
	CO2 価格高	<u>高</u>	通常	なし	なし	なし
デマンドレスポンスの効果	DR なし	高	通常	<u>なし</u>	なし	なし
	DR あり	高	通常	<u>あり</u>	なし	なし
蓄電池の効果	蓄電池なし	高	通常	なし	<u>なし</u>	なし
	蓄電池あり	高	通常	なし	<u>あり</u>	なし
水素製造の効果	水素なし	高	通常	なし	なし	<u>なし</u>
	水素あり	高	通常	なし	なし	<u>あり</u>
地域間連系線の効果	連系線通常	高	<u>通常</u>	なし	なし	なし
	連系線拡大	高	<u>拡大</u>	なし	なし	なし

網掛けはベースケースを示す。

(1) CO2 価格の想定

CO2 価格として、表 3-69 に示す 2 シナリオを検討した。

表 3-69 CO2 価格シナリオ

シナリオ	CO2 価格	価格設定の参考	備考
CO2 価格低	4,000 円/tCO2	WEO2016 ^{*1} の New Policy Scenario での 2030 年 EU の炭素価格(37€/tCO2)	CO2 価格を考慮しても平均的な石炭火力発電コストは、ガス火力発電コストより依然安価である
CO2 価格高	10,000 円/tCO2	WEO2016 ^{*1} の 450 Scenario での 2030 年先進国の炭素価格(100€/tCO2)	CO2 価格を考慮すると、平均的な石炭火力発電コストが、ガス火力発電コストと同程度

注 1) IEA, “World Energy Outlook 2016”, 2016

(2) 地域間連系線・広域運用の想定

地域間連系線の増強の程度によって 2 種類のシナリオを設定した。

(3) デマンドレスポンスの導入量の想定

デマンドレスポンス資源の特徴（柔軟性×対応方向性×応答時間）に応じたポテンシャルと再生可能エネルギー対応としてのアプリケーションは、表 3-70 のとおり整理される。これらのアプリケーションは、それぞれモデルの制約条件に対応する。制約条件にこれらのデマンドレスポンス資源の寄与を追加することで、デマンドレスポンスの導入効果を定量的に評価することが可能である。本業務ではデマンドレスポンスの可能性評価の第一歩として、まずは需給調整用途に全量を活用する想定で計算を行った。

また、各ポテンシャルは最大限活用可能とした。電気自動車、家庭用ヒートポンプ給湯機、業務用ヒートポンプ給湯機については、2030 年の導入見込量に対するポテンシャルを見込んだ。その他については、「3.3 国内のデマンドレスポンスのポテンシャル」の検討結果を活用した。

表 3-70 特徴別のデマンドレスポンス資源と再生可能エネルギー対応アプリケーション

(表 3-14 再掲)

デマンドレスポンス資源の特徴			再生エネルギー対応としての調整力機能		
柔軟性の有無	応答時間	対応の方向性	需給調整	運転予備力	LFC 制御
柔軟性がある	早い	造成	○		(○) 対応できる 可能性あり
		抑制	○	○ (瞬動予備力)	
	遅い	造成	○		
		抑制	○	△ (待機予備力)	
柔軟性がない	早い	造成	○		
		抑制	○		
	遅い	造成	○		
		抑制	○		

※LFC 制御については、我が国においてデマンドレスポンス資源が参入できるかについて精査が必要。

(4) 系統側蓄電池導入量の想定

本業務では、LFC 調整力としての系統側蓄電池の導入を想定した。蓄電池によって期待される総社会コストの低減と、蓄電池費用を比較することで、蓄電池の費用対効果を分析する。

(5) 水素製造設備容量の想定

本業務の分析では、出力抑制される再生可能エネルギー電気を利用した水素製造を想定

する。水素製造設備容量によって水素製造量、再生可能エネルギーのリカバリー率、設備利用率、水素製造コストが異なるため、設備容量の大小によるこれらの感度分析を実施する。

3.4.4 ベースケースの分析結果

まずベースケースの結果により、モデルの挙動の確認を行った。

1) 発電電力量

地域別のエネルギー種別の年間電力量を図 3-53 に示す。北海道、東北、九州では特に再生可能エネルギー比率が高い。

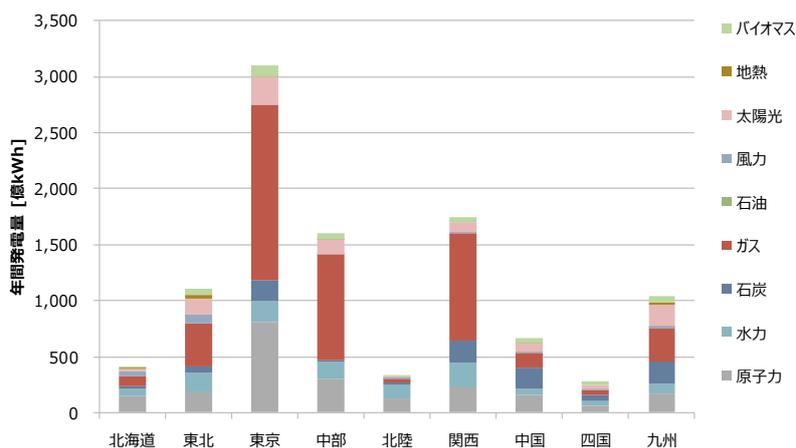


図 3-53 地域別の年間発電量

※ 2030 年までの火力発電の新設分を考慮

モデルでは 1 時間毎に需給均衡制約を課している。例として全国の 4/1~4/7 における需給バランスを図 3-54 に示す。供給側は原子力、水力がベースロードとして発電しており、石炭火力は需要や再生可能エネルギーの変動に応じて出力が変化していることが分かる。なお、本図では再生可能エネルギーの抑制は需要側資源として示している。

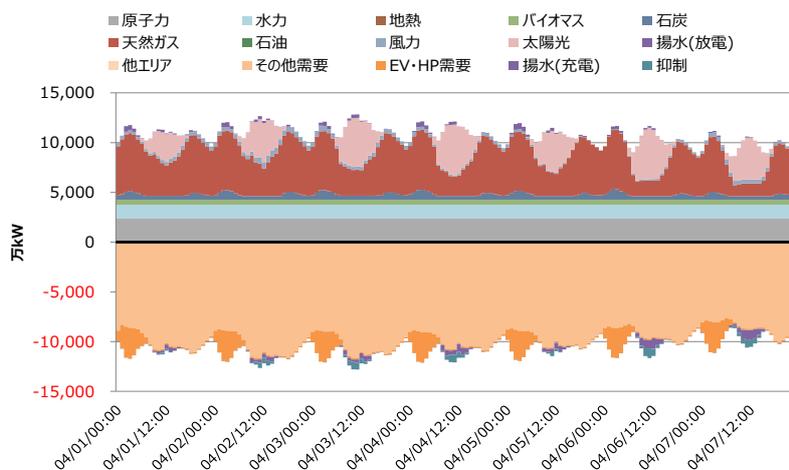


図 3-54 毎時の需給バランスのイメージ (全国、4/1~4/7 の例)

注) 本図では再生可能エネルギーの抑制は需要側資源として示している。

2) LFC 必要量・供給量

モデルでは、LFC 調整力制約として 1 時間毎に必要な量（需要、太陽光、風力に依存）以上の供給量（火力発電、水力、揚水に依存）を確保する制約を課している。例として全国の 4/1~4/7 における LFC 調整力バランスを図 3-55 に示す。

全国大では LFC 調整力は主に天然ガスによって供給されており、太陽光による必要量もある程度まではカバーしている。一方、天然ガスによって調整できない太陽光由来の必要量は出力抑制によってバランスを確保していることがわかる。

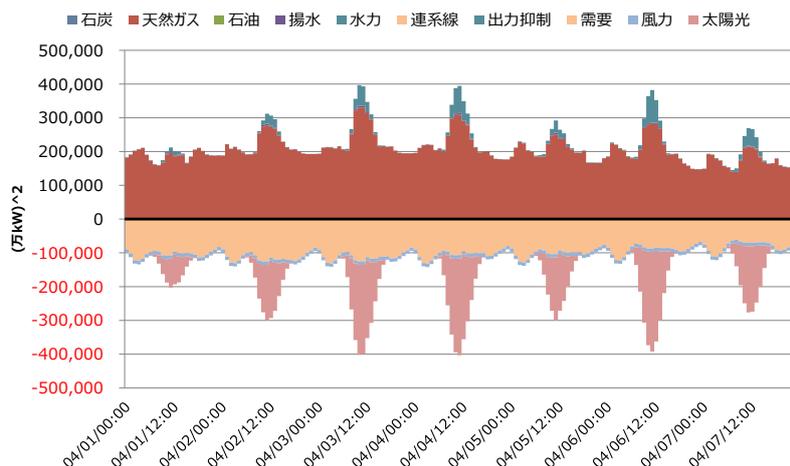


図 3-55 毎時の LFC 必要量・供給量バランス（全国、4/1~4/7 の例）

注) 供給側は各技術の 2 乗量で全体量を按分した量（LFC 供給全体量は各技術項を全て足し合わせてから 2 乗しているため、個別要素の寄与度を厳密に評価するには 2 乗を展開した際の交差項を考慮する必要があるが、交差項の影響は 2 乗項に比べると比較的小さいこと等を勘案し、ここでは各技術の 2 乗量を用いて按分した）

3) 運転予備力必要量・供給量

モデルでは、運転予備力制約として 1 時間毎に必要な量（需要、太陽光、風力に依存）以上の供給量（火力発電の上げ代・下げ代）を確保する制約を課している。例として全国の 4/1~4/7 における運転予備力バランスを図 3-56、図 3-57 に示す。

上げ代を見ると、基本的に火力発電の上げ代は需要・再生可能エネルギーに由来する必要量を大きく越えており、需給制約・LFC 制約の方が支配的であることがわかる。特に日中は太陽光発電への対応で部分負荷運転するガス火力が多いため、天然ガスの上げ代が大きくなっている。

一方で下げ代の場合、日中に多くの設備が部分負荷運転して下げ代が小さくなる際に、需要と再生可能エネルギー由来の必要量が制約となる日があることが確認できる。

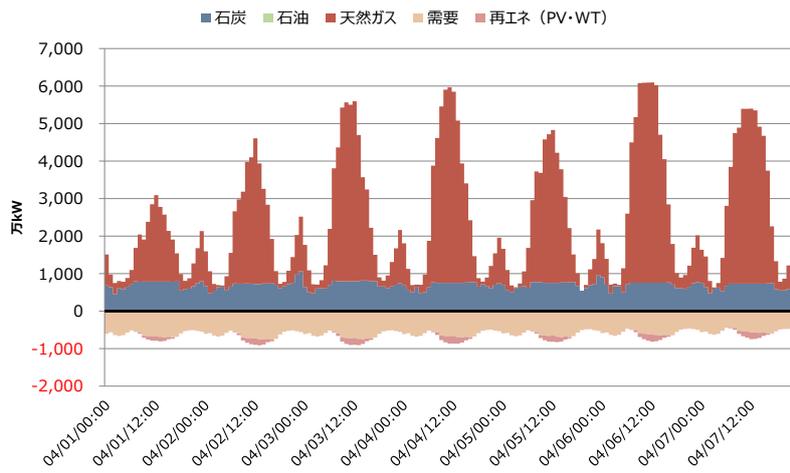


図 3-56 運転予備力（上げ代）バランス（全国、4/1~4/7 の例）

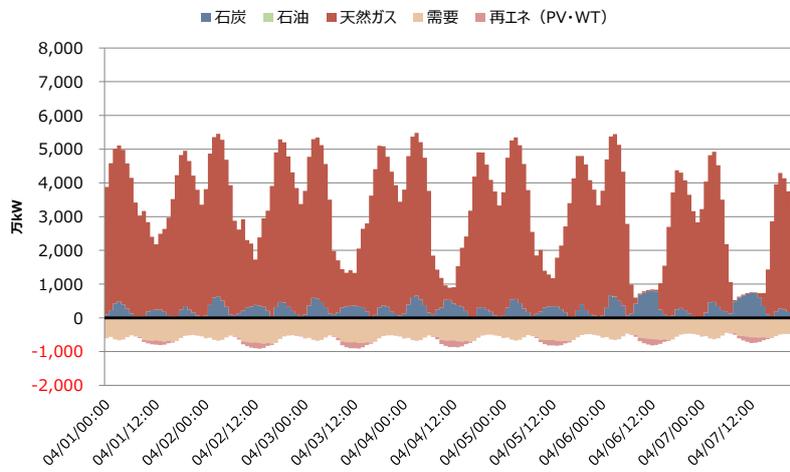


図 3-57 運転予備力（下げ代）バランス（全国、4/1~4/7 の例）

4) CO2 排出量

地域別の CO2 排出量を図 3-58 に示す。電力需要が多い地域で排出量が多い傾向にある。

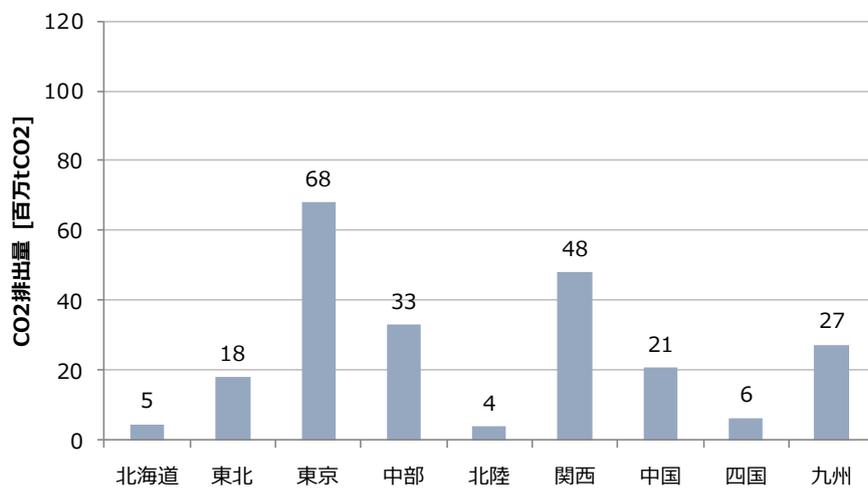


図 3-58 地域別 CO2 排出量

3.4.5 各対策シナリオの結果

(1) CO2 価格シナリオ別分析

1) 再生可能エネルギー出力抑制率

CO2 価格 4,000 円/tCO2 および 10,000 円/tCO2（ベースケース）の時の、再生可能エネルギー出力抑制率および抑制量を図 3-59 および図 3-60 に示す。

5 月に抑制率が大きい点、北海道、東北、九州で抑制率および抑制量が高い点は両ケースで共通だが、抑制率・抑制量の絶対値は CO2 価格 4,000 円/tCO2 のケースで高い傾向がある。これは CO2 価格 10,000 円/tCO2 の場合には、調整力供給能力の比較的高いガスが石炭よりも安価であるため、積極的に利用されることが一因として挙げられる。

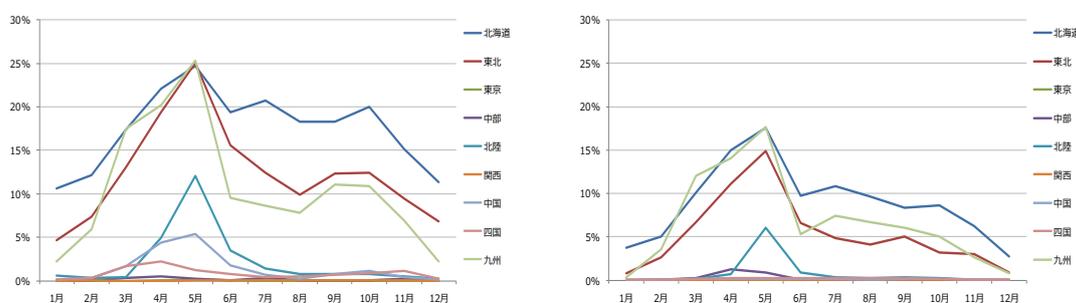


図 3-59 地域別の月別抑制率比較
(左：炭素価格 4,000 円/tCO2 右：炭素価格 10,000 円/tCO2)

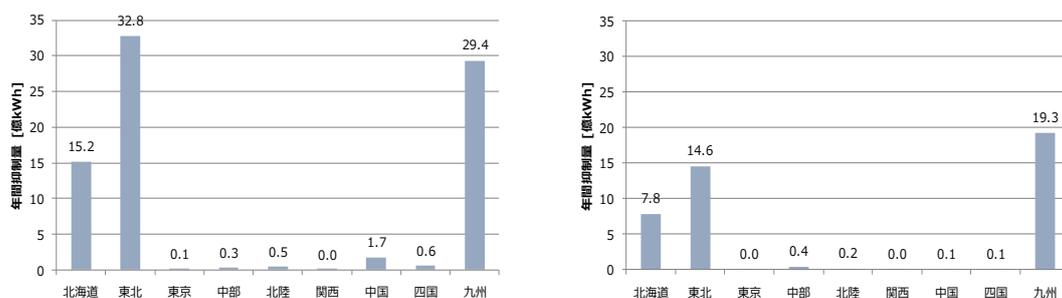


図 3-60 地域別の年間抑制量比較
(左：炭素価格 4,000 円/tCO2 右：炭素価格 10,000 円/tCO2)

2) CO2 排出量・燃料費

CO2 価格 4,000 円/tCO2 および 10,000 円/tCO2（ベースケース）の時の、地域別の CO2 排出量を図 3-61 に示す。CO2 価格 4,000 円/tCO2 のケースでは各地域で石炭の発電量がベースケースに比べて多いため、CO2 排出量も大きい。

また、CO2 価格 4,000 円/tCO2 および 10,000 円/tCO2（ベースケース）の時の地域別の kWh

あたりの燃料費単価を図 3-62 に示す。CO₂ 価格 4,000 円/tCO₂ のケースでは石炭の比率が高いため、燃料費もベースケースに比べて安くなる傾向がある。

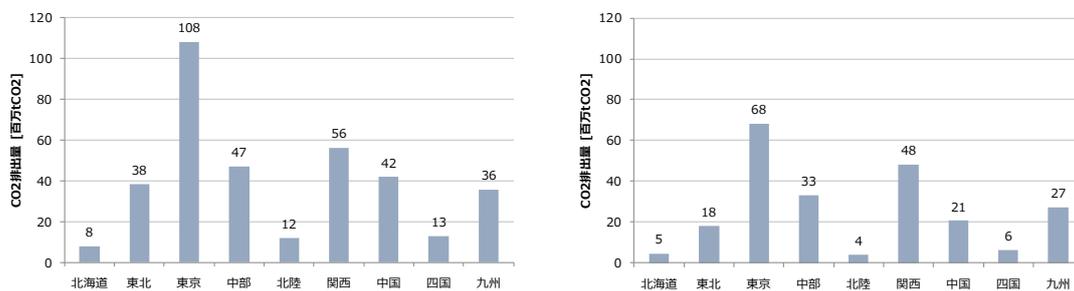


図 3-61 地域別の CO₂ 排出量比較 (左: 炭素価格\$40/tCO₂ 右: 炭素価格\$100/tCO₂)

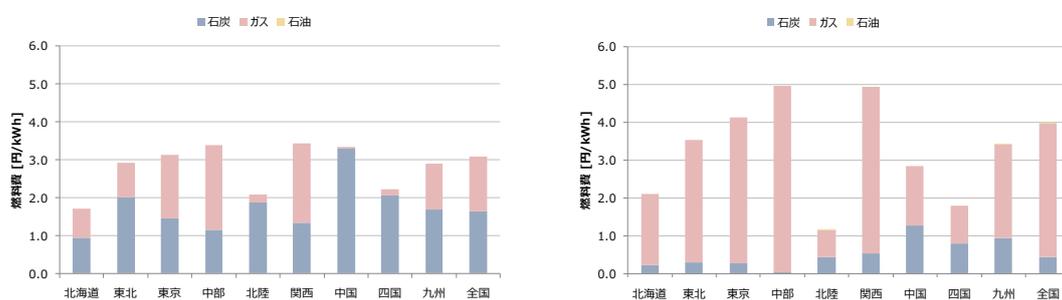


図 3-62 地域別の燃料費比較 (左: 炭素価格\$40/tCO₂ 右: 炭素価格\$100/tCO₂)

注) 燃料費には CO₂ 価格は含まない。

(2) 連系線・デマンドレスポンス・蓄電池シナリオ別分析

1) 各シナリオにおける対策強度の前提

再生可能エネルギー大量導入時の系統対策として、連系線拡大、デマンドレスポンス導入、系統側蓄電池導入の各対策オプションを行った場合のシナリオ分析を実施した。それぞれの対策の強度は以下のとおりである。対策強度が異なるため、効果の大小を比較することはできない。

表 3-71 各シナリオにおける対策強度の前提

シナリオ	対策強度
連系線拡大	既に計画のある連系線容量の拡大（東北・東京間、東京・中部間）
デマンドレスポンス導入	2030年に活用可能なDRポテンシャルを最大限活用
系統側蓄電池	ベースケースにおいて再生可能エネルギー抑制によって不要となったLFC必要量kWの8760時間平均値分の蓄電池を設置

2) 再生可能エネルギー出力抑制量

連系線拡大シナリオ、デマンドレスポンス導入シナリオ、系統側蓄電池シナリオにおける5月の出力抑制量を、ベースケースと比較した（図 3-63、図 3-64）。

いずれの対策でも、ベースケースよりも全国の抑制量の減少効果があった。デマンドレスポンスでは主に太陽光、連系線および系統蓄電池は太陽光・風力の双方の抑制回避に効果がある。これは、デマンドレスポンスが昼間の太陽光発電余剰電力を吸収するのに利用されるのに対し、連系線や系統蓄電池は1日を通じて利用されるためである。

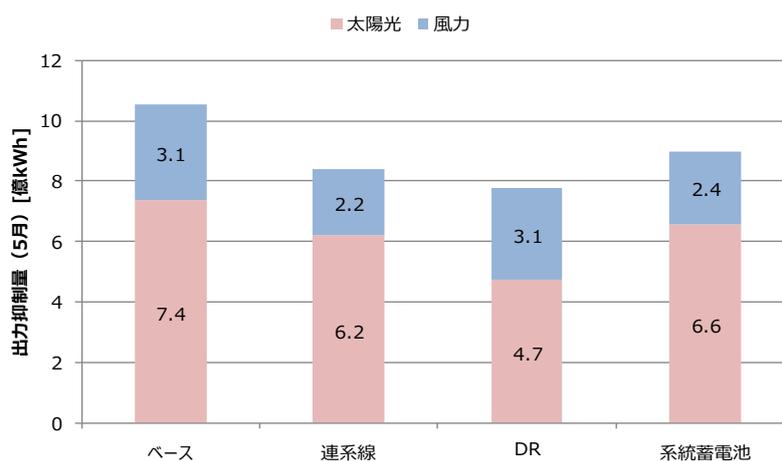


図 3-63 全国の5月の出力抑制量

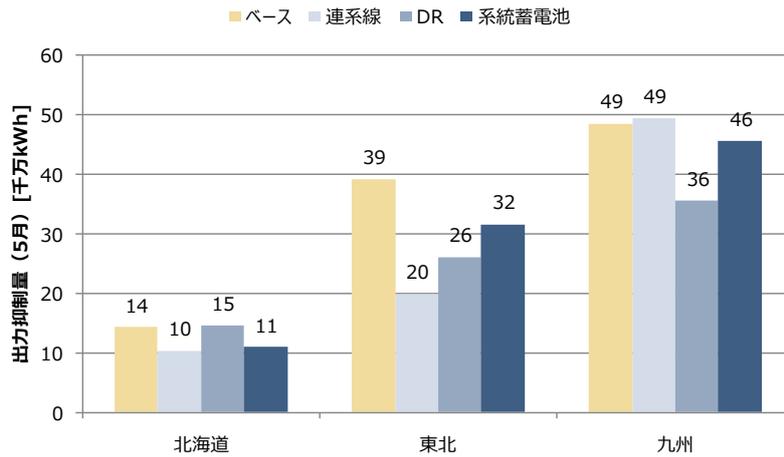


図 3-64 北海道・東北・九州における 5 月の出力抑制量

注) EV・HP のデマンドレスポンスについては 2030 年相当のポテンシャルを想定した結果

注) 系統蓄電池はベースケースにおける「再生可能エネルギー抑制によって不要となった LFC 必要量 kW の 8760 時間平均値」を各地域で想定

3) CO2 排出量・燃料費

シナリオ別の全国における 5 月の CO2 排出量を図 3-65 に示す。ベースケースと比べるといずれのシナリオでも CO2 排出量は減少している。また、シナリオ別の全国における 5 月の燃料費を図 3-66 に示す。

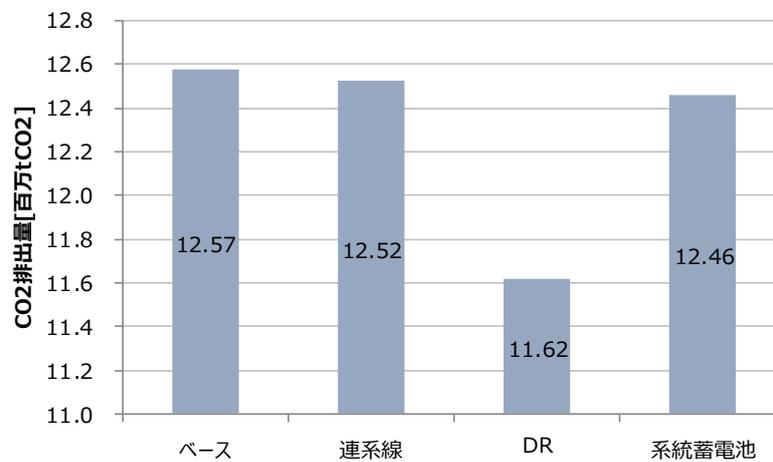


図 3-65 シナリオ別の全国における 5 月の CO2 排出量

注) 縦軸のスケールがゼロでない点に注意

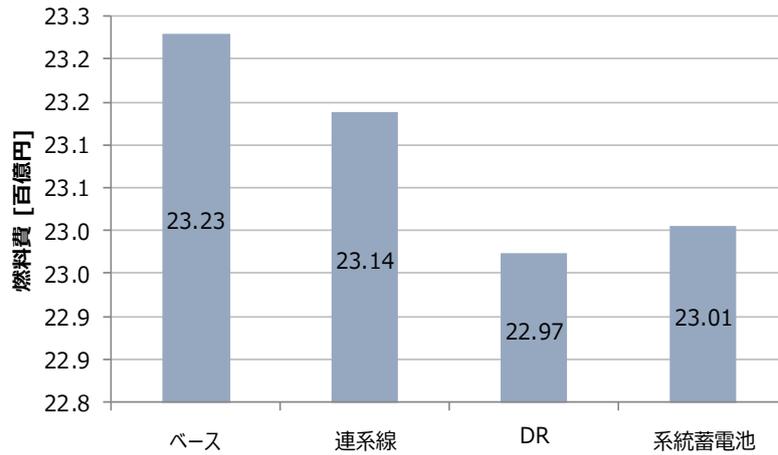


図 3-66 シナリオ別の全国における 5 月の燃料費

注) 縦軸のスケールがゼロでない点に注意

4) デマンドレスポンスの有効性

デマンドレスポンスを考慮したシナリオにおける、全国の 4/29～5/5 の毎時需給バランスを図 3-67 に示す。

太陽光発電の出力が増える日中に需要を造成するシフトが行われており、抑制回避に一定の効果があることがわかる。

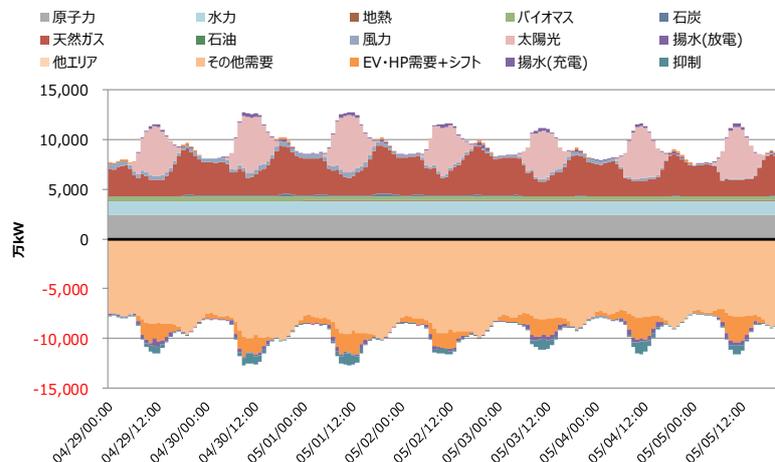


図 3-67 DR シナリオにおける全国の 4/29～5/5 における毎時需給バランス

※1 EV・HP については 2030 年相当の台数 (EV : 960 万台 (1600 万 kW)、家庭用 HP : 1260 万 kW、業務用 HP : 480 万 kW) を想定した結果

※2 “EV・HP 需要+シフト”には EV・HP 需要の他に、DR による需要シフトおよび抑制効果が含まれる。

(EV・HP を除く需要シフト対象設備のベース需要は“その他需要”に含まれ、シフトした需要分のみが“EV・HP 需要+シフト”に含まれる)

5) 余剰電力による水素製造の可能性

余剰電力からの水素製造について、水素製造設備（電気分解設備）容量の大きさによる再生可能エネルギーリカバリー率、設備利用率、水素製造可能量（FCV 台数換算）の感度分析を行った。ここでは、余剰電力のみから水素を製造すると想定した。**エラー! 参照元が見つかりません。**に示したとおり、再生可能エネルギーの余剰はそのほとんどが北海道、東北、九州で発生するため、この3地域の分析を行った。結果を図 3-68 に示す。

水素製造設備容量が大きいほど再生可能エネルギーリカバリー率は上昇、水素製造設備利用率は低下する。いずれの地域も余剰が全く発生しない時間帯が存在するため、水素製造設備容量が小さくても設備利用率が 100%とはならない。特に九州では太陽光の余剰が多く風力は少ないため、余剰が発生する時間帯は年間の 20%未滿に留まり、水素製造設備の設備利用率が小さい。なお、水素製造設備の費用を 2030 年目標の 50 万円/(Nm³/h)²⁴としたとき、設備利用率が 10%であれば水素製造コストに占める設備費分は 30 円/Nm³程度となり、国内副生水素の供給可能価格²⁵に匹敵する。なお、水素のローリー配送には 25 円/Nm³程度のコストがかかるとの試算があり²⁶、水素製造コストが 30 円/Nm³であったとすると末端価格は 55 円/Nm³である。これは燃料自動車での走行距離あたりで約 4 円/km に相当する²⁷。

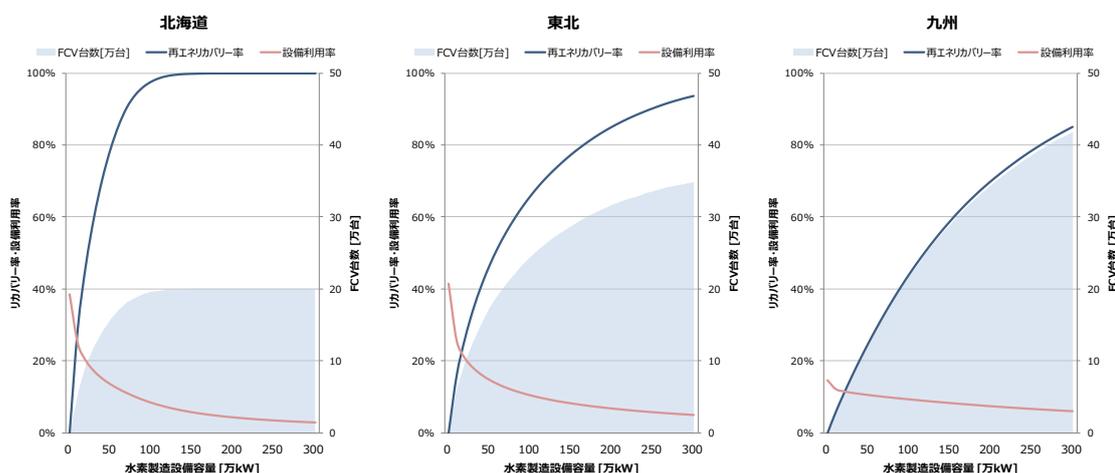


図 3-68 水素製造設備容量別の再生可能エネルギーリカバリー率等（北海道、東北、九州）

注) 1Nm³の水素製造に必要な電力量を 5.06kWh（水素製造効率 70%²⁸）と想定。

注) FCV 台数（右軸）は、年間走行距離 10,000km/台、水素充填可能量 4.3kg/台、フル充填時走行可能距離 650km/台を設定（トヨタウェブページ等より）して換算。

²⁴ 柴田善朗, 「再生可能エネルギーからの水素製造の経済性に関する分析」, IEEJ, (2015)より、固体高分子水電解装置の目標値。

²⁵ 資源エネルギー庁, 「水素の製造、輸送・貯蔵について」, 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ 第 5 回資料, (2014)

²⁶ 松尾雄司他, 「統合型エネルギー経済モデルによる 2050 年までの日本の長期エネルギー需給見通しと輸入水素導入シナリオの分析」, エネルギー資源学会論文誌 Vol.35, No.2, (2014)

²⁷ 水素密度 0.0899kg/Nm³、水素充填可能量 4.3kg/台、フル充填時走行可能距離 650km/台を設定（トヨタウェブページ等より）して換算。

²⁸ 資源エネルギー庁, 「水素の製造、輸送・貯蔵について」, 水素・燃料電池戦略協議会ワーキンググループ 第 5 回資料, (2014)

3.4.6 まとめ

(1) 分析からの示唆

本調査の分析で得られた示唆および他文献調査における結論を表 3-72 のとおり整理した。なお、各対策の実施強度がシナリオによって異なることから、対策間の優劣を比較することはできない。

表 3-72 評価結果のまとめ

対策	本分析の示唆	他文献
連系線	<ul style="list-style-type: none"> 連系線の拡大により、太陽光発電・風力発電の出力抑制量が低減する効果がある 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー融通、エネルギー+LFC 調整力融通により、出力制御量や燃料費が低減（東ほか(2017)）
DR	<ul style="list-style-type: none"> 需要造成により太陽光の発電量が多い日中に需要シフトすることで、太陽光発電の出力抑制量が低減する効果がある 	—
蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> 系統側蓄電池により調整力を確保することで、太陽光発電・風力発電の出力抑制量が低減する効果がある 	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光拡大時のほうが、風力拡大時より、蓄電池（昼間充電・夜間放電用）の導入が進む（大槻ほか(2015)）
水素	<ul style="list-style-type: none"> 余剰電力で水素製造を行う場合、地域によって設備導入時の設備利用率、再エネリカバリー効果が異なる 	—

各文献の正式名称は表 3-66 を参照のこと。

(2) 定量評価における今後の課題

今後の課題を以下に列挙する。

- ・ データの精査
 - 太陽光発電自家消費分の考慮
 - 再生可能エネルギーの出力変動の精査
 - ◇ ならし効果による出力変動の緩和
 - ◇ 風力ピッチ角制御、太陽光発電容量とパワーコンディショナ容量の差等による短周期変動の吸収
 - 火力発電関連データの精査
 - ◇ インフラによる燃料供給制約
 - ◇ 火力発電からの炭素回収貯留の可能性
- ・ モデルの構造の検討
 - 需給調整以外でのデマンドレスポンスの利用
- ・ 他の分析結果・研究事例等との比較