

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 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

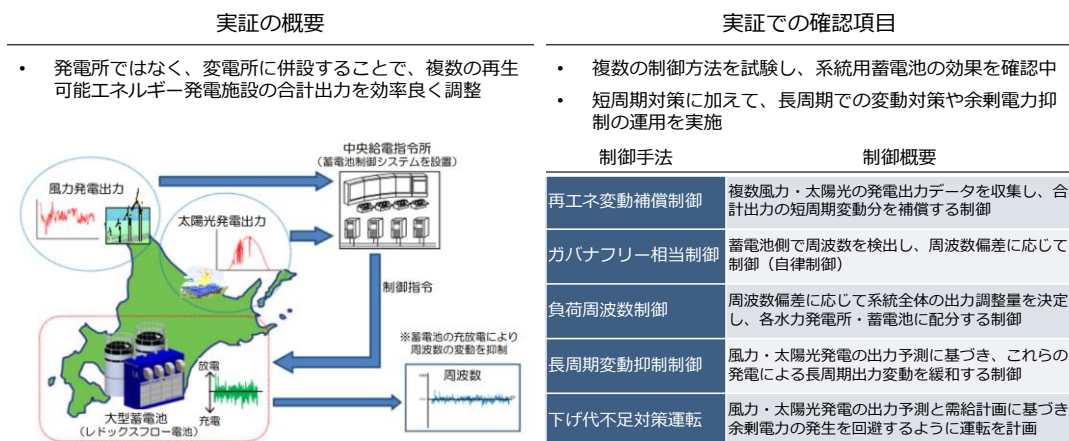


図 3-1 北海道 南早来変電所の実証事業概要

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

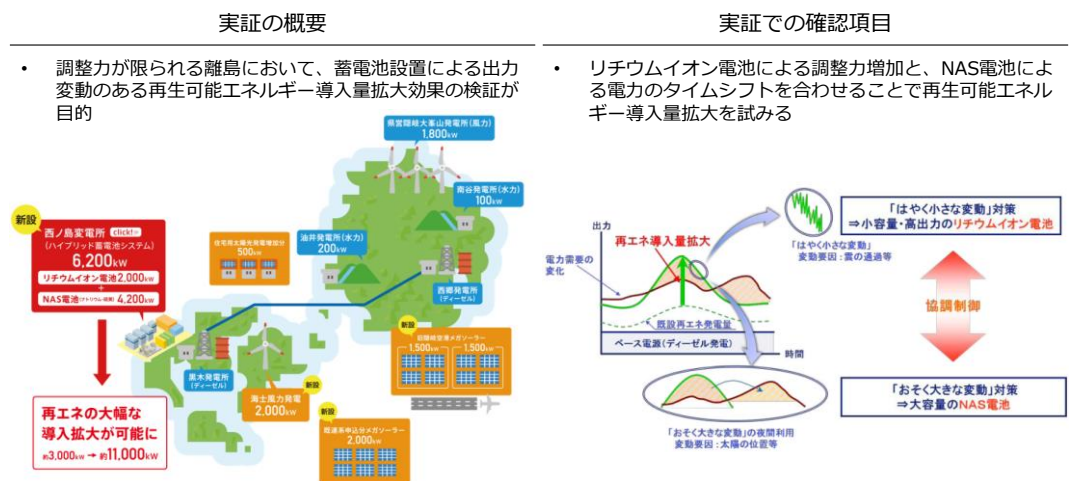


図 3-2 島根県 西ノ島変電所の実証事業概要

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。

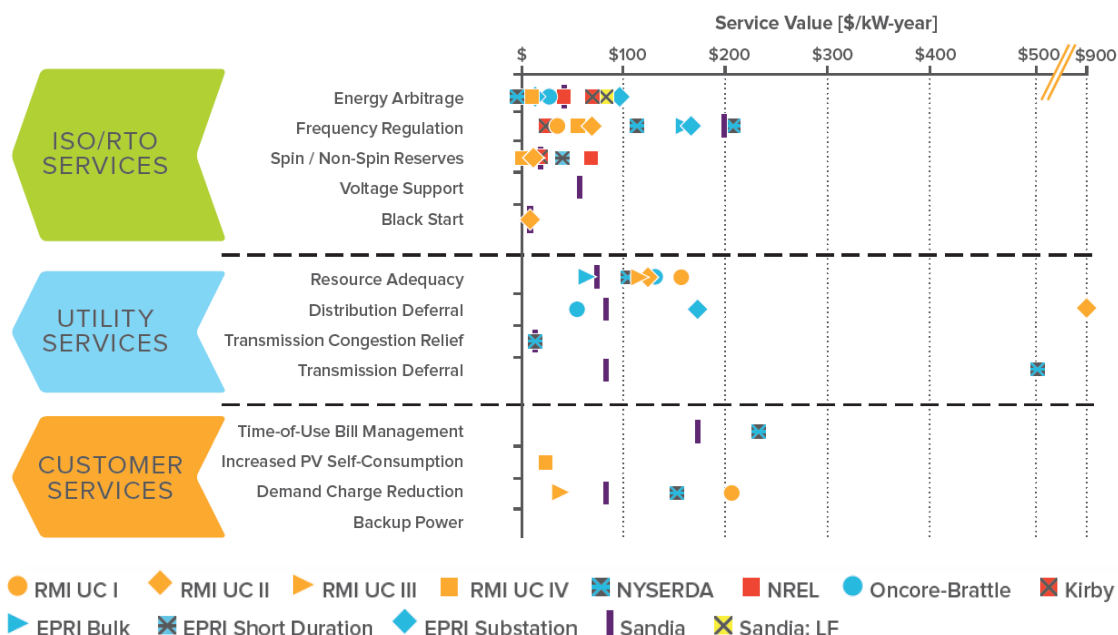


図 3-3 米国における定置用蓄電池の提供価値（USD/kW）

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。

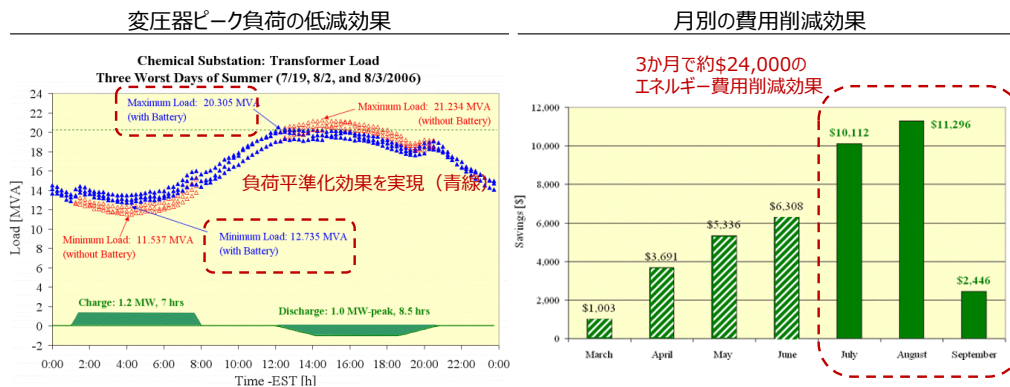


図 3-4 送配電設備への NAS 電池設置効果

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)。

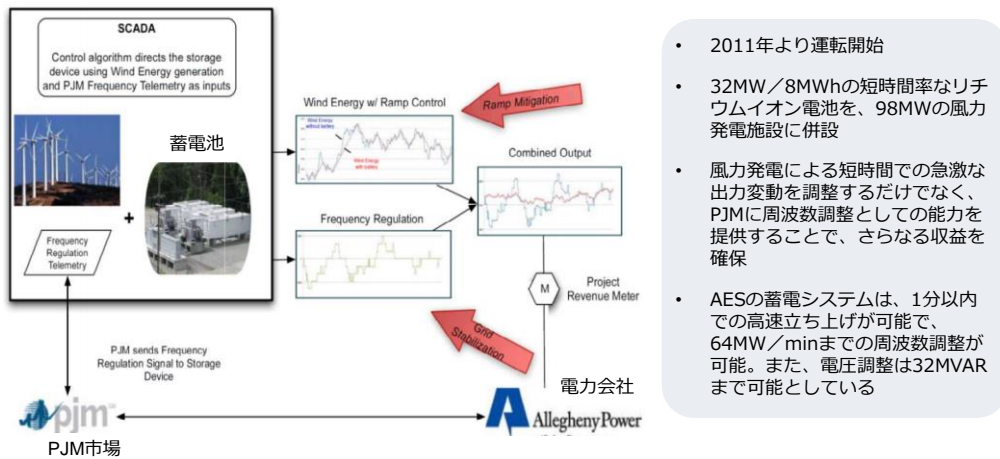


図 3-5 AES Laurel Mountain 概要

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。

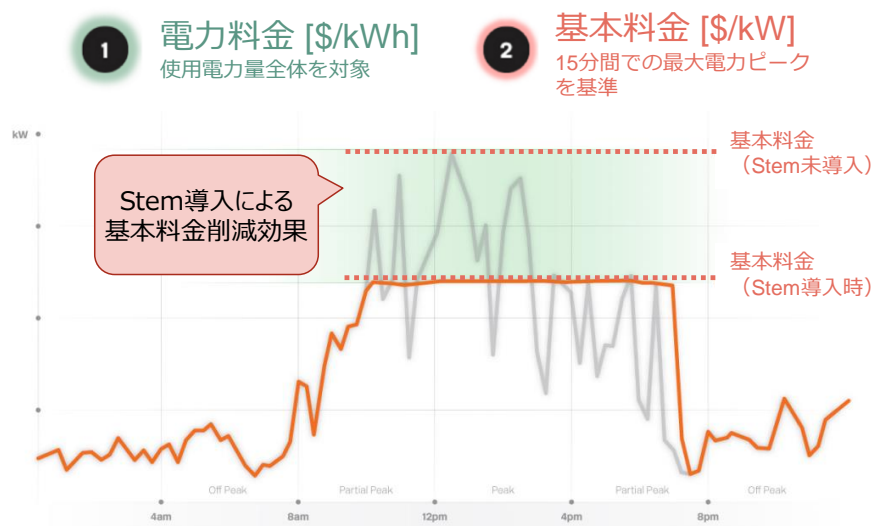


図 3-6 Stem 導入による基本料金削減

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>）

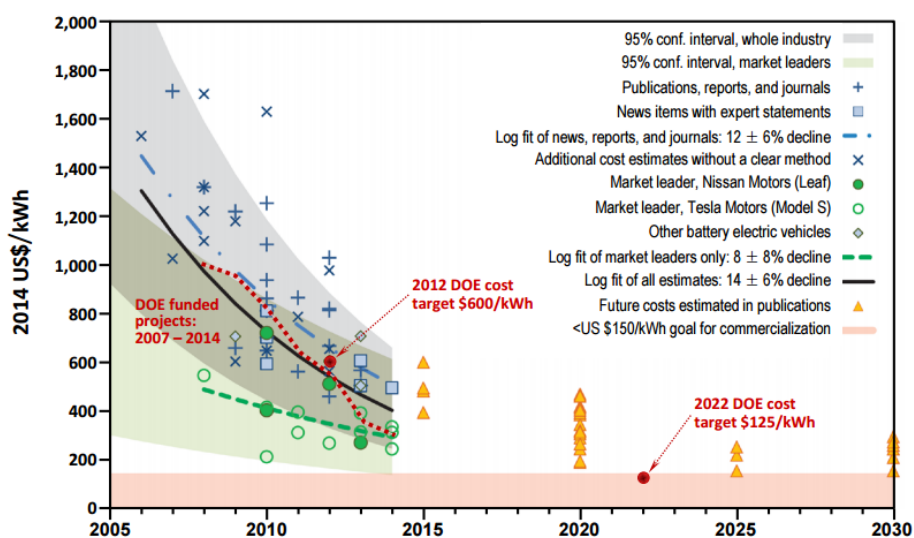


図 3-8 米国における蓄電池モジュールの目標価格

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)。

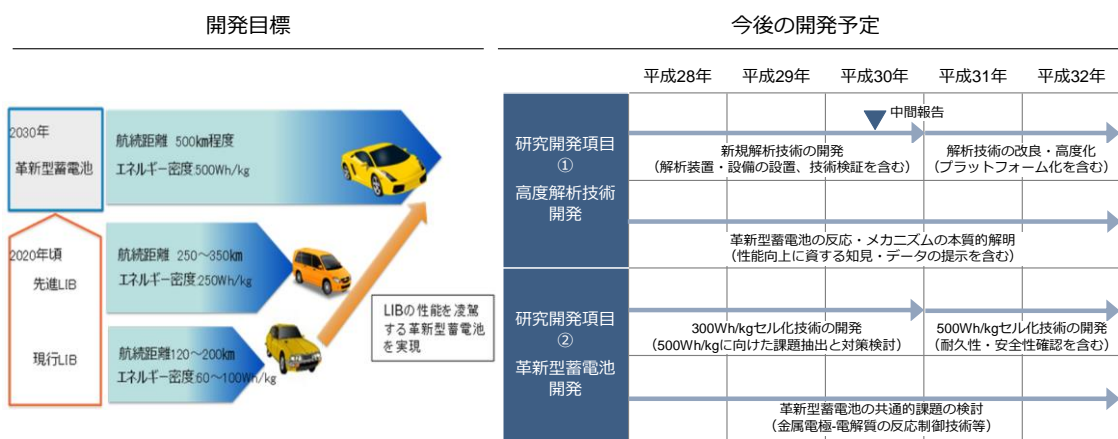


図 3-9 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発の概要

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。

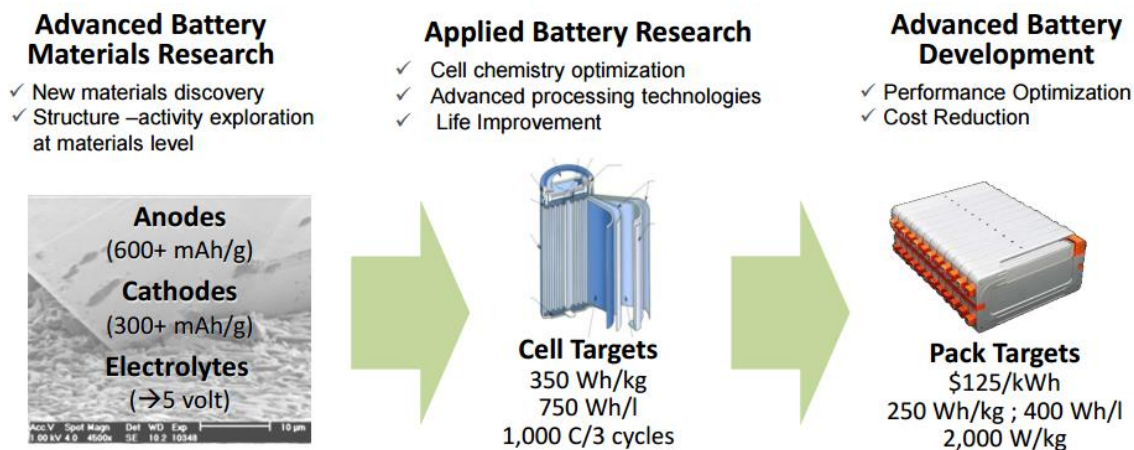


図 3-10 DOE の車載用蓄電池開発目標

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）	赤字
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

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

主に取り扱った委員会

*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。

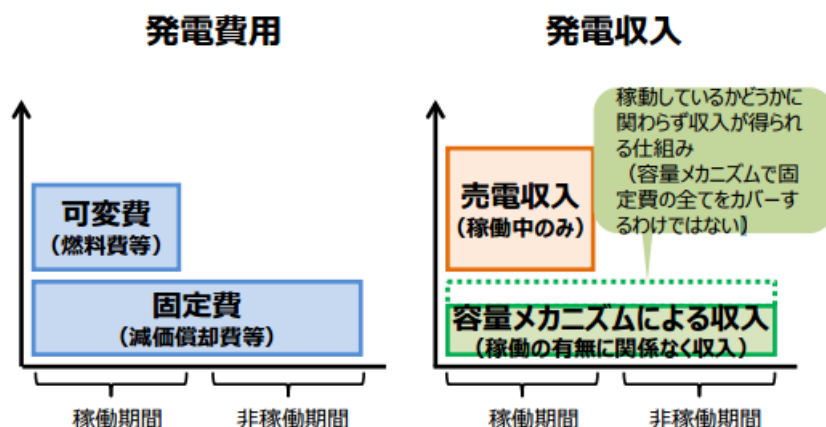


図 3-11 容量メカニズムにおける費用回収イメージ

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）。

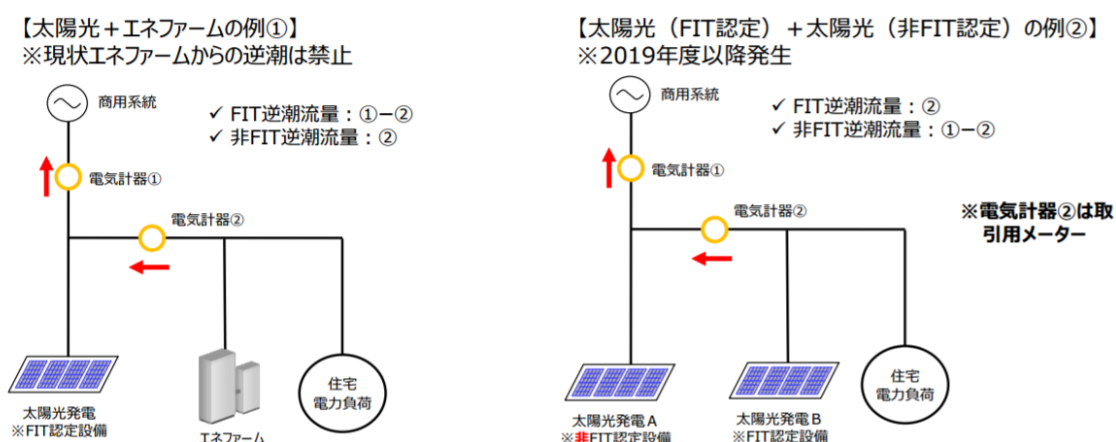


図 3-12 固定価格買取制度併用時の逆潮流の計量の例

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。

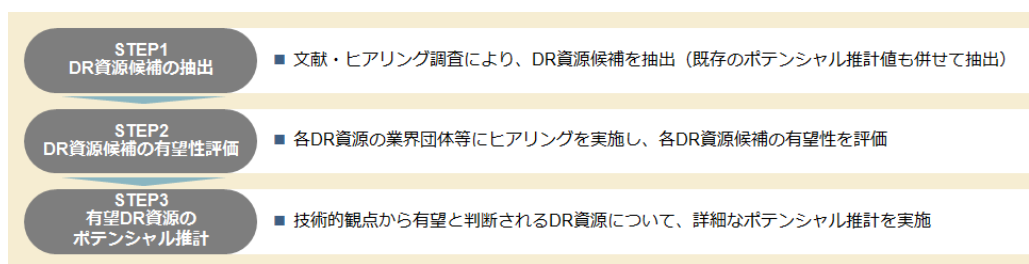


図 3-13 デマンドレスポンス・ポテンシャル推計の実施フロー

(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。

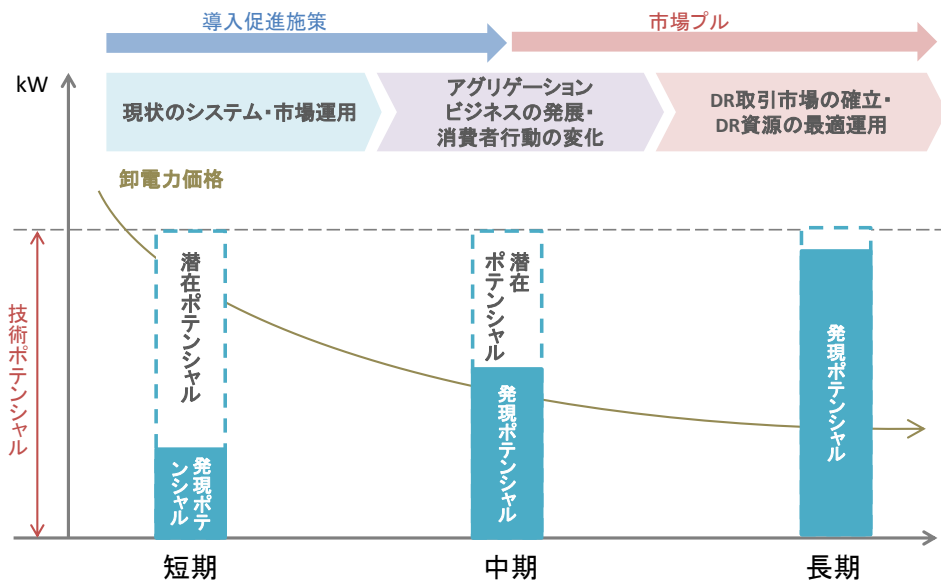


図 3-14 技術的ポテンシャルと時間スケールのイメージ

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。

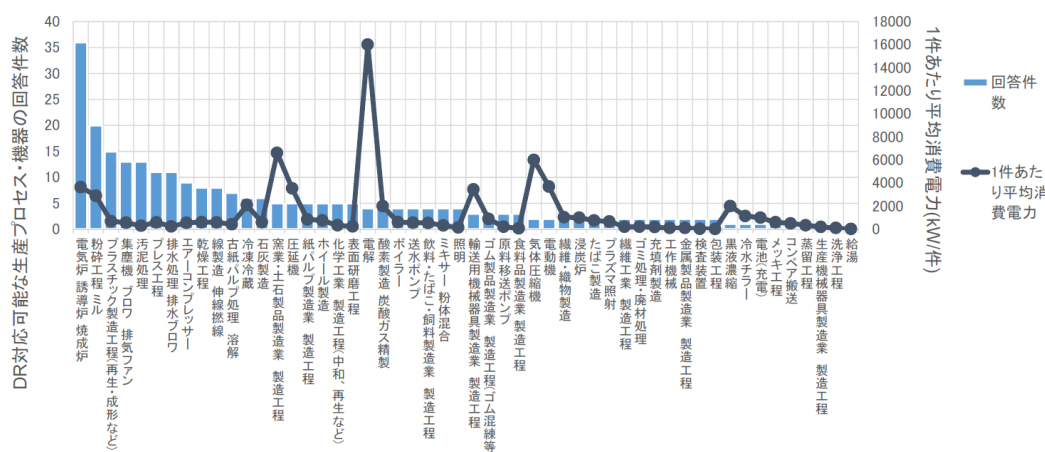


図 3-15 デマンドレスポンス対応可能と回答した事業所数と 1 件あたり平均消費電力（生産プロセス・機器）

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。

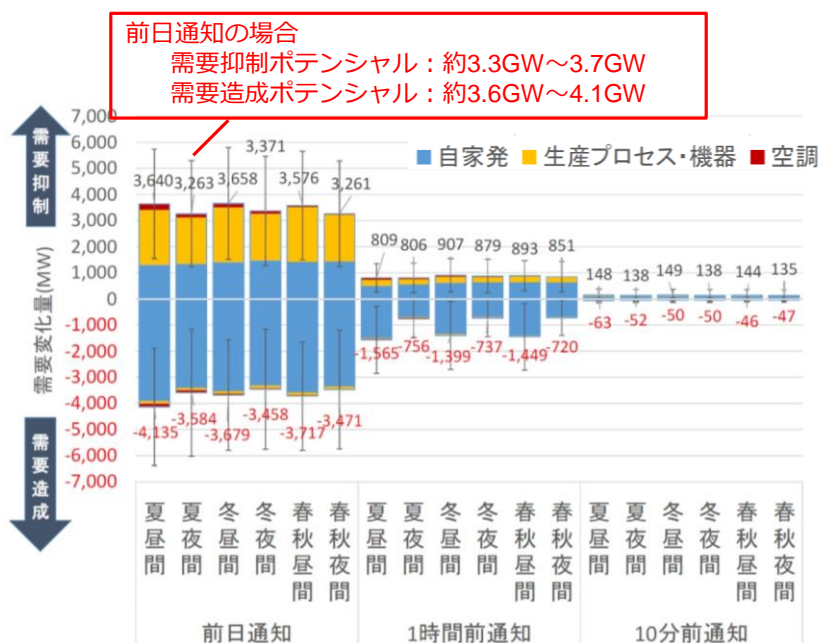


図 3-16 産業部門における予備力供給型デマンドレスポンス・ポテンシャル推定値 (季別、デマンドレスポンス種類別)

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。

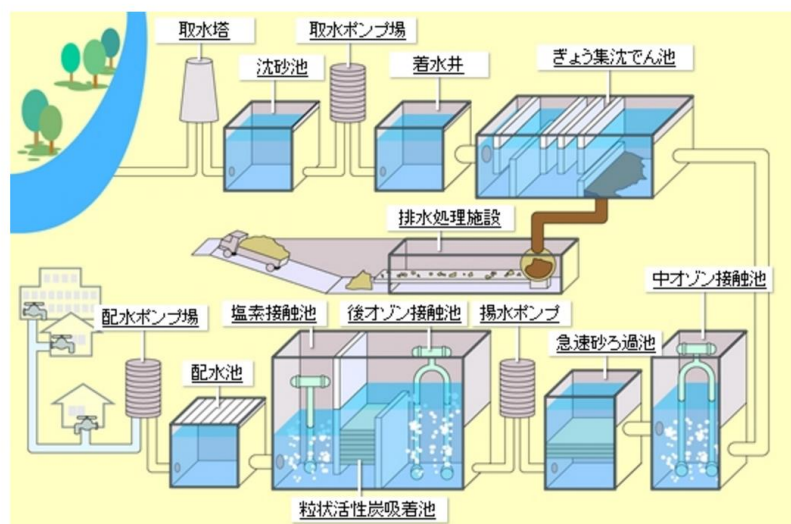


図 3-17 上下水道事業のプロセスフロー例

出所) 大阪市水道局ウェブサイト

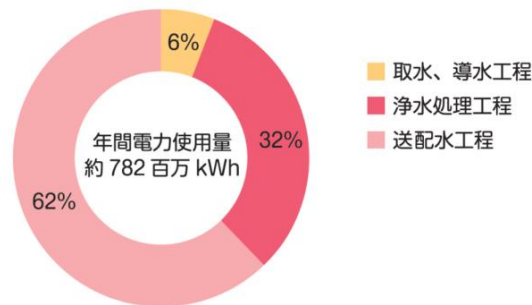


図 3-18 工程別電力消費量割合（東京都水道局）

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）。

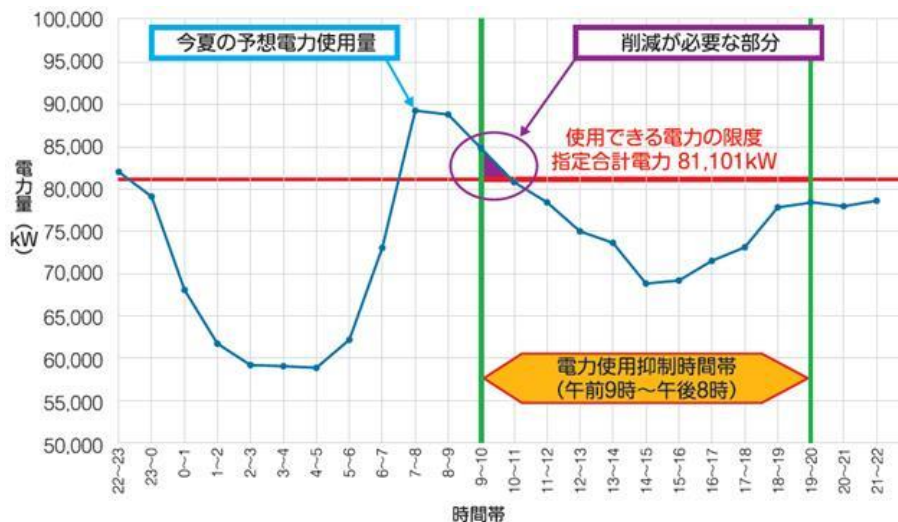


図 3-19 電力使用パターン例（東京都水道局）

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。

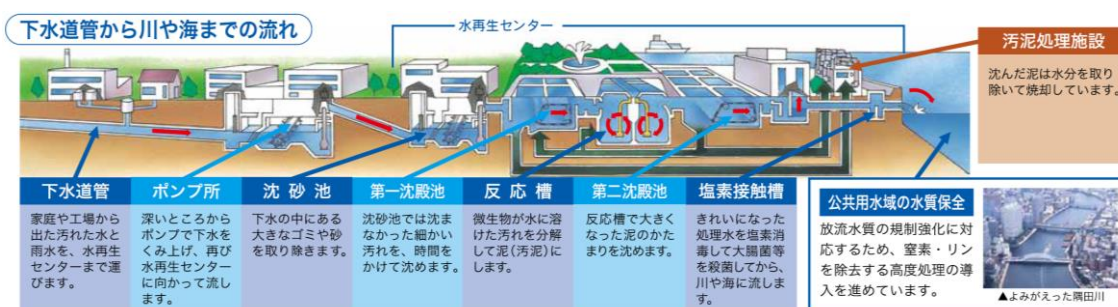


図 3-20 下水処理場のプロセスフロー例

出所) 東京都「下水道なんでもガイド」

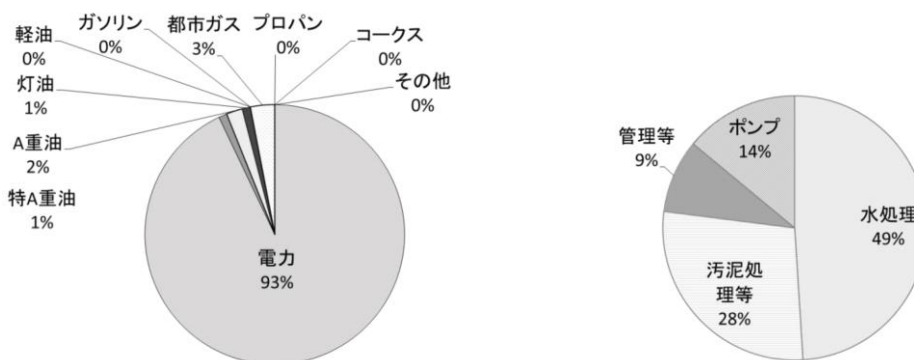


図 3-21 下水処理場のエネルギー消費構造（原油換算比較）

（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）。

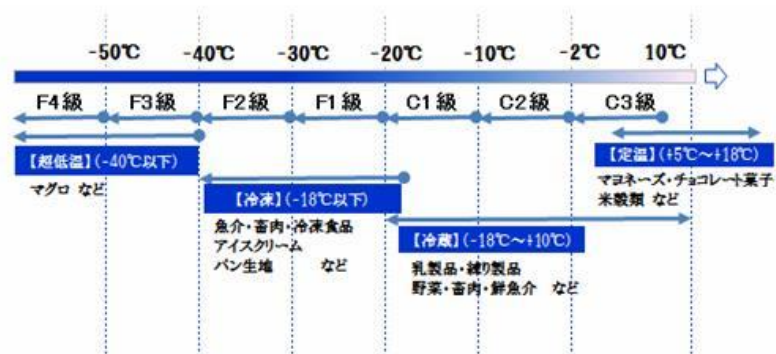


図 3-22 冷凍冷蔵倉庫の温度帯

出所) 日本冷蔵倉庫協会ウェブサイト

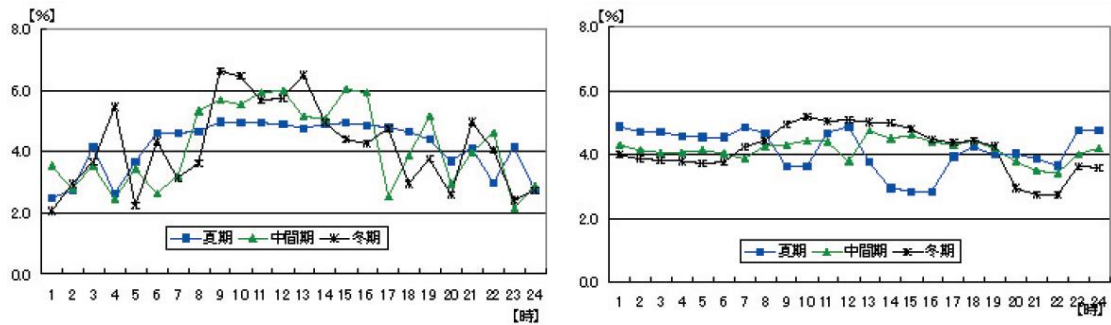


図 3-23 冷凍冷蔵倉庫の電力消費の時間変化
(左：電力需給調整未加入、右：ピーク時間+産業用蓄熱)

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

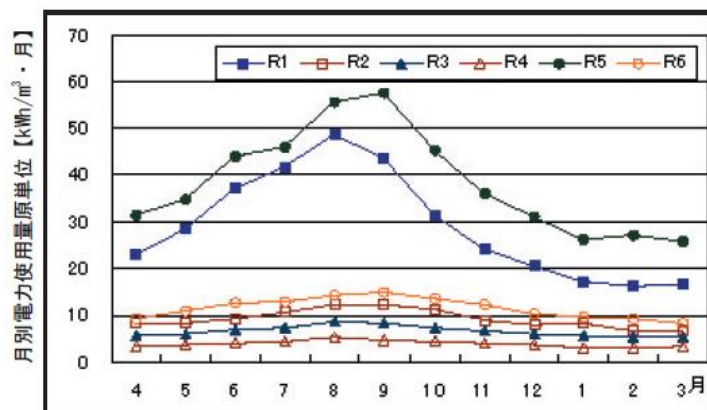


図 3-24 冷凍冷蔵倉庫の月別使用電力量原単位

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）。

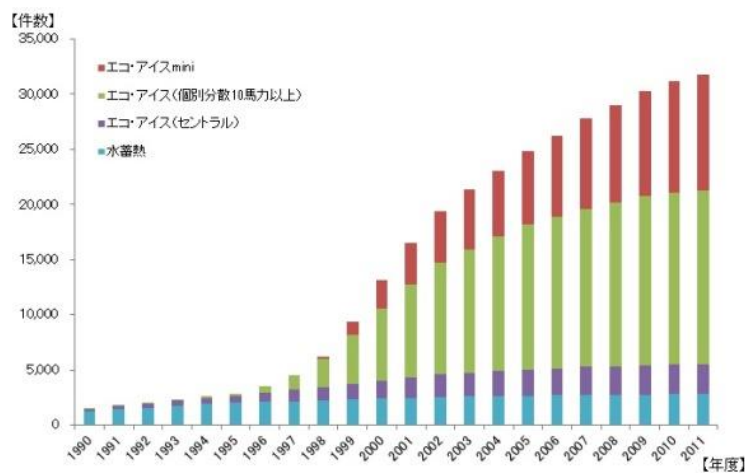


図 3-25 蓄熱式空調システムの設置件数（各年度末ストック）

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）。

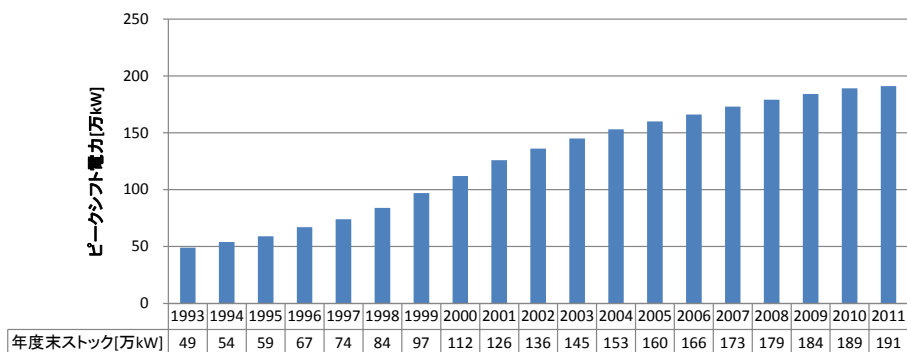


図 3-26 蓄熱式空調システムによるピークシフト電力（各年度末ストック）

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)。

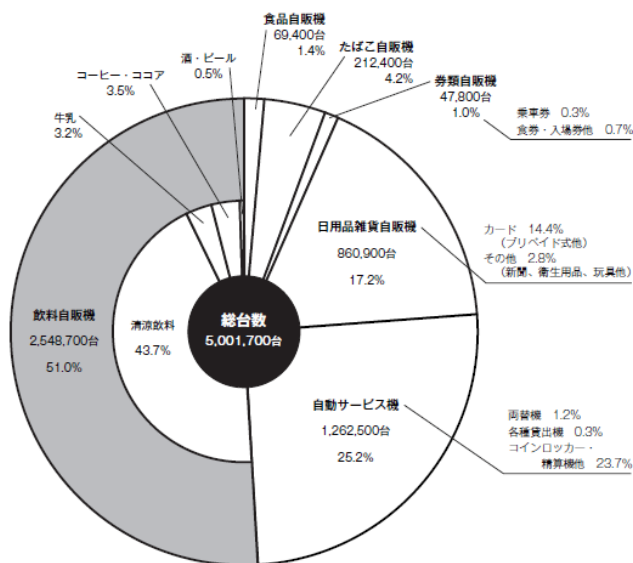


図 3-27 自動販売機の機種別普及状況(2015年12月時点)

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

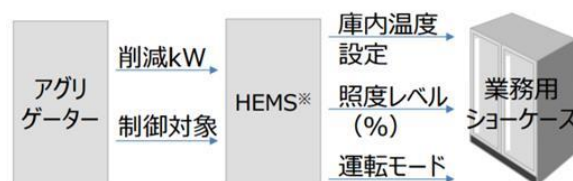


図 3-31 業務用ショーケースの活用イメージ

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）。

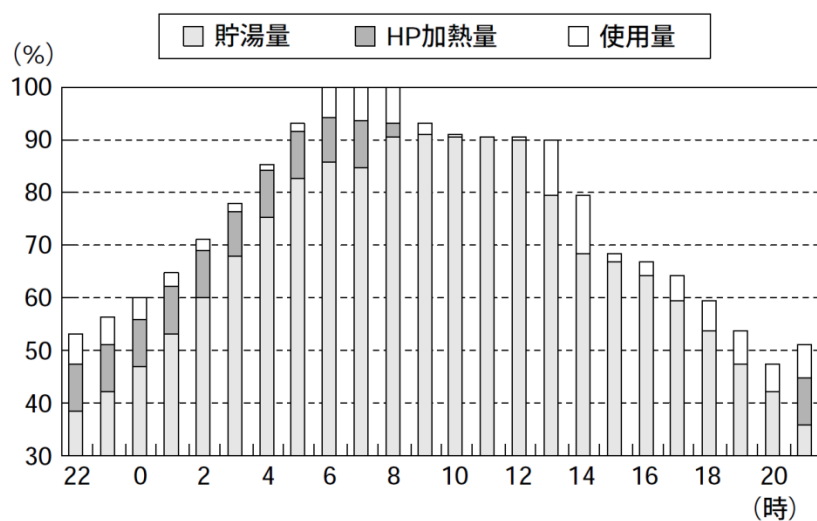


図 3-32 ビジネスホテルにおける導入事例 (貯湯レベルの推移(湯張あり))

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)

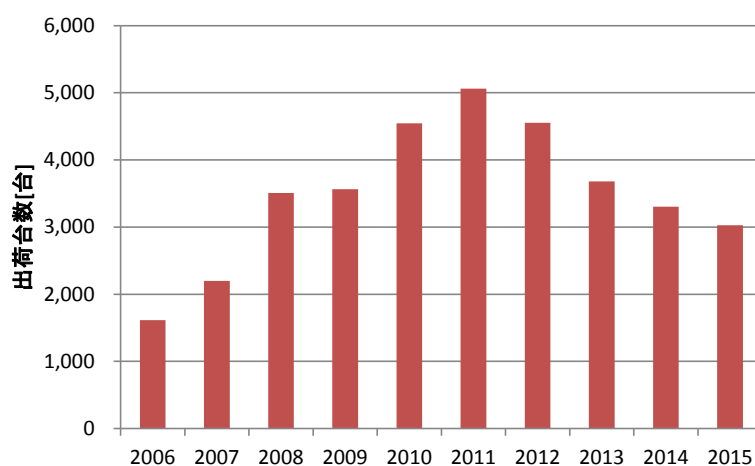


図 3-33 業務用ヒートポンプ給湯機の出荷台数 (単年)

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）	

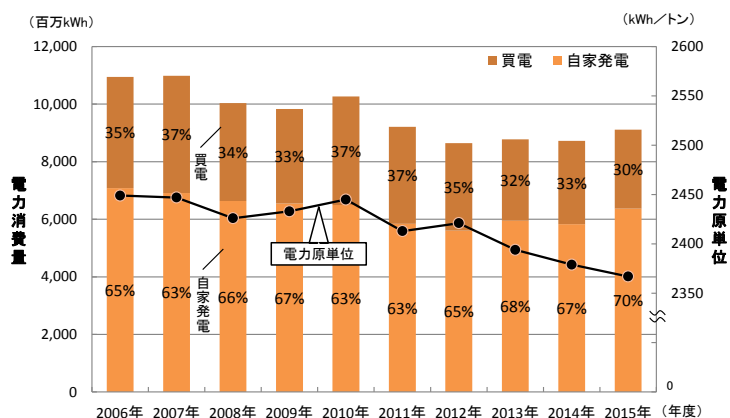


図 3-34 電解槽における電力消費量の推移

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> $= \text{水道施設の電力消費量}^{*1} \text{ (kWh/年)} \times \text{送水ポンプ比率}(\%)^{*2}$ $\div \text{稼働時間}^{*3} \text{ (h/年)}$ $= 11.6 \text{ 万 kW (79kW/事業所}^{*4}\text{)}$ <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> $= \text{水道施設の電力消費量}^{*1} \text{ (kWh/年)} \times \text{汚泥処理比率}(\%)^{*2}$ $\div \text{平均稼働時間}^{*3} \text{ (h/年)}$ $= 7.7 \text{ 万 kW (53kW/事業所}^{*4}\text{)}$ <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></p> <p>デマンドレスポンス・ポテンシャル (kW)</p> $= \sum_{\text{中小事業所}}^{*1} (\text{汚泥処理電力消費量}^{*2} (\text{kWh/年}) \div \text{平均稼働時間}^{*3} (\text{h/年})) = 19.4 \text{ 万 kW}^{*4}$ <p style="text-align: right;">(159kW/事業所)</p> <p><参照値></p> <p>※1 中小事業所の定義は、以下のとおり定めた。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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） <p>※2 対象事業所の全国計は 2.8 億 kWh/年（下水道統計より）</p> <p>※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）</p> <p>※4 1,218 事業所（下水道統計より）</p> <p>* 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> $= \text{全国所管容積}^{\ast 1} (\text{m}^3) \times \text{電力使用原単位}^{\ast 2} (\text{kWh}/\text{m}^3/\text{年}) \div \text{稼働時間}^{\ast 3} (\text{h}/\text{年})$ $= 19.0 \text{ 万 kW} \quad (163\text{kW}/\text{事業所}^{\ast 4})$ <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

3.3.4 継続時間を考慮したデマンドレスポンス資源のポテンシャル推計

(1) 継続時間の考慮方針

各デマンドレスポンス資源を利用するにあたっては、需要調整が必要となる時間帯における需要造成・抑制の「継続時間」も重要な要素であり、これを考慮したポテンシャル評価が重要となる。

そこで、九州電力管内の需給バランス状況（図 3-35）を参考に、需要造成の必要性が生じる時間帯として 9:00～16:00 の 7 時間、需要抑制の必要性が生じる時間帯として 16:00～20:00 の 4 時間を設定の上、それぞれの時間帯におけるデマンドレスポンスのポテンシャルを下式のとおり定義し、継続時間を考慮したポテンシャル推計値として整理した。

＜継続時間を考慮したデマンドレスポンス・ポテンシャルの定義＞

- 需要抑制ポテンシャル（継続時間考慮）＝
年間平均需要抑制ポテンシャル ×（継続時間／4 時間）
- 需要造成ポテンシャル（継続時間考慮）＝
年間平均需要造成ポテンシャル ×（継続時間／7 時間）

本定義に基づくと、例えば需要抑制の継続時間が 30 分のデマンドレスポンス資源については、需要抑制時間 16:00～20:00 の 4 時間にわたり継続的に対応を行うことを想定した場合のポテンシャルは、年間平均ポテンシャルの 8 分の 1（30 分／4 時間）となる。

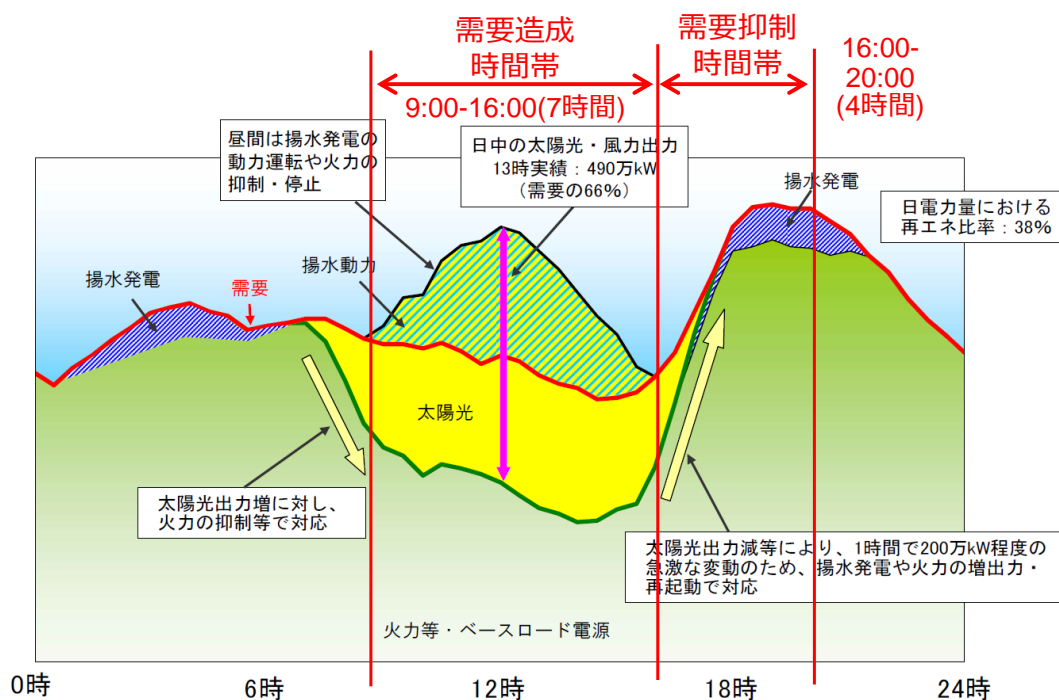


図 3-35 需要と供給のバランス状況（平成 28 年 5 月 4 日、九州電力管内）

出所) 九州電力「再エネの導入状況と至近の需給状況について」（2016 年 7 月）より作成

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
	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	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）。

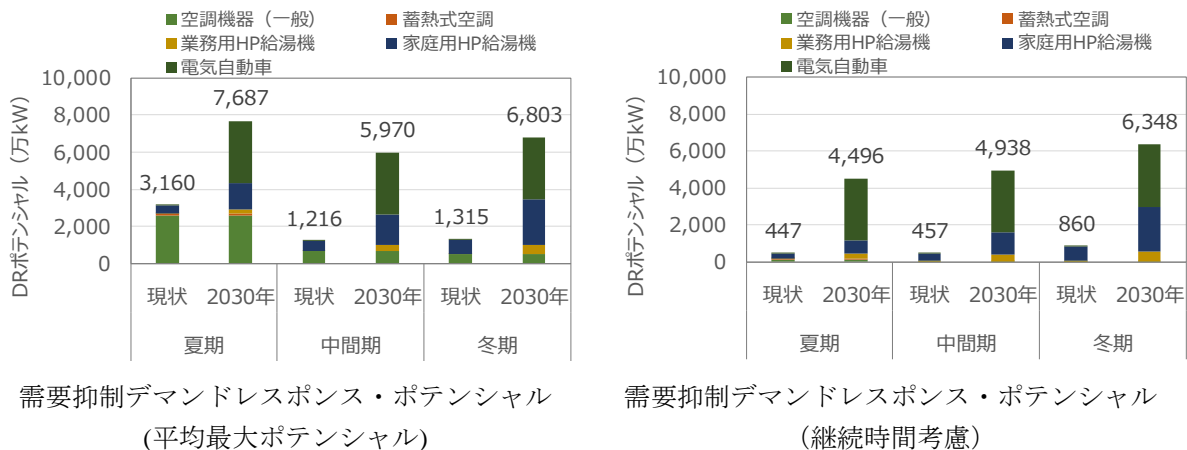
1) 需要抑制ポテンシャル

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

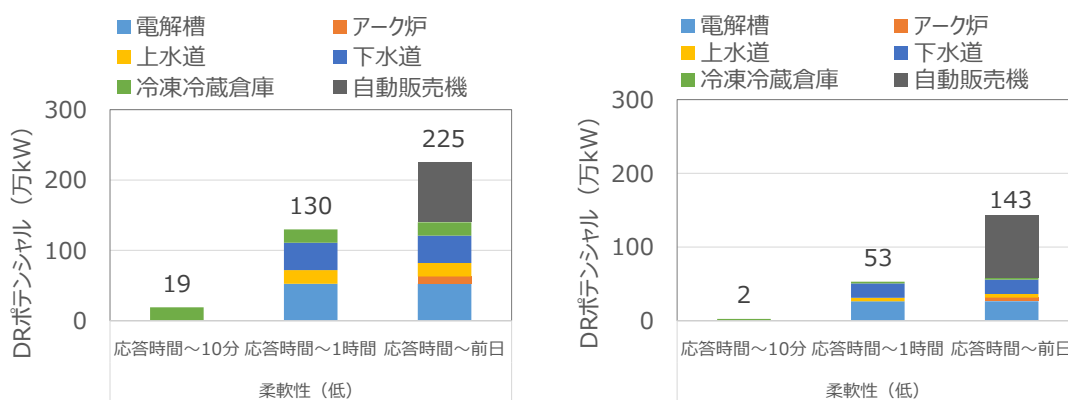
※2 2030 年の数値は、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車について、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提とした場合

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つたため、応答時間別のみで整理

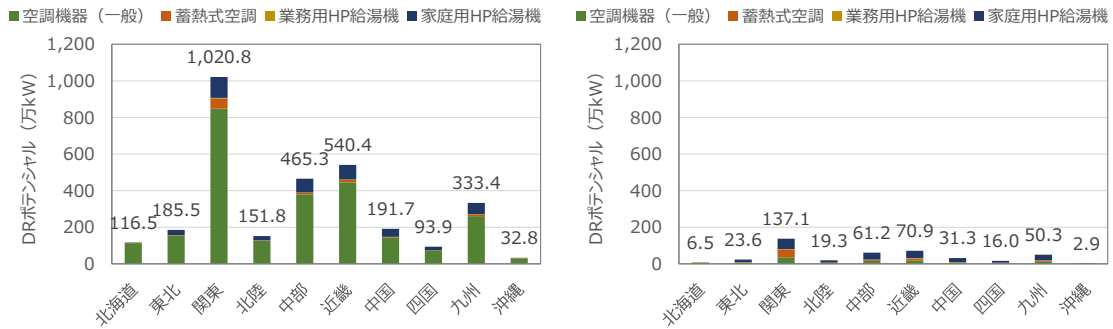
図 3-37 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要抑制ポテンシャル

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。



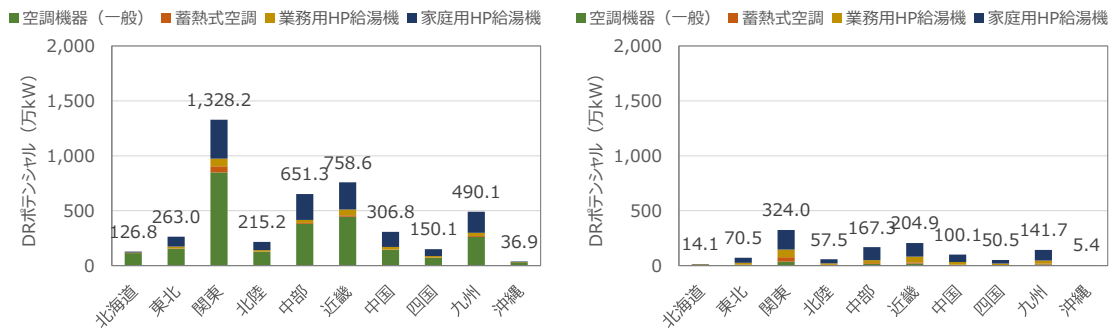
需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・平均最大ポテンシャル) 需要抑制デマンドレスポンス・ポテンシャル (夏期・継続時間考慮)

- ※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)

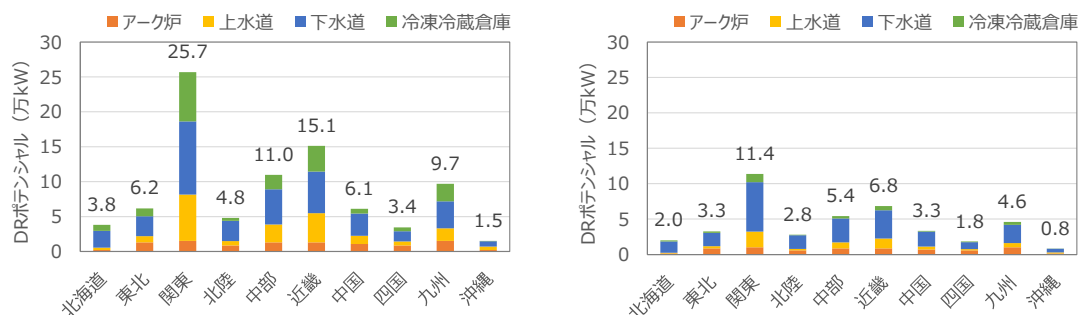
- ※1 夏期を対象に整理
- ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

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)

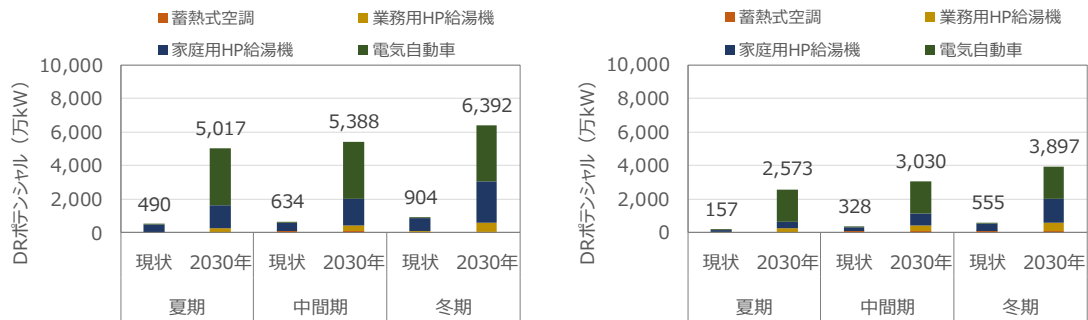
2) 需要造成ポテンシャル

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)

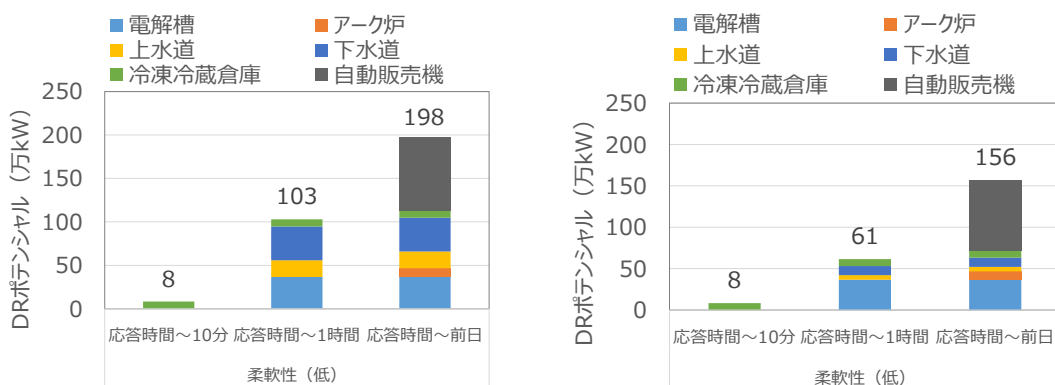
- ※1 対象としたデマンドレスポンス資源はすべて 10 分以内での応答が可能のため、季節別のみで整理
- ※2 2030 年の数値は、業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車について、業界団体の 2030 年の導入量見通しに基づく数値を前提とした場合

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

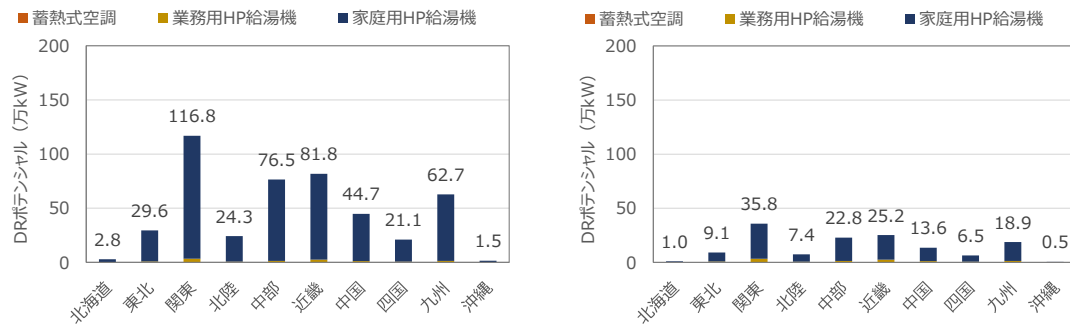
図 3-42 柔軟性の低いデマンドレスポンス資源の需要造成ポテンシャル

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。



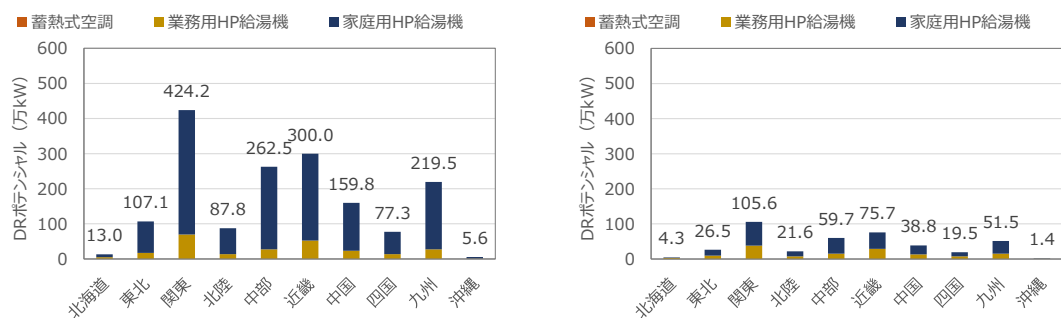
需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・平均最大ポテンシャル） 需要造成デマンドレスポンス・ポテンシャル（夏期・継続時間考慮）

- ※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）

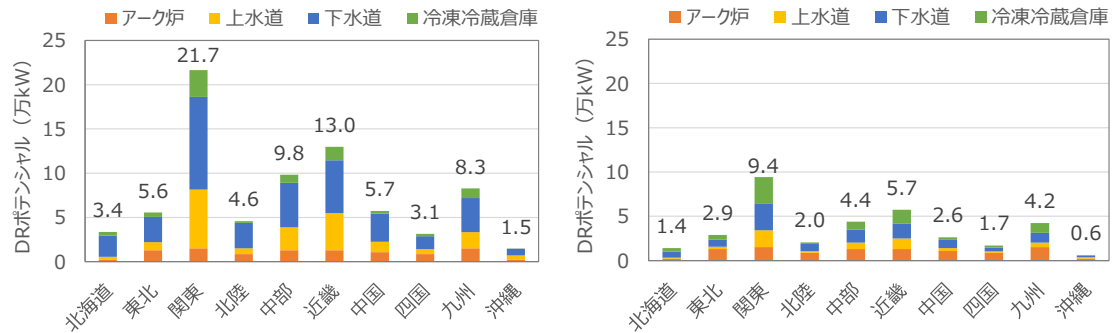
- ※1 夏期を対象に整理 ※2 地域別推計のためのデータが取得できなかった電気自動車は除く
- ※3 推計に基づいた統計の整理の制約上、一部地域区分が他と異なる資源が存在（蓄熱式空調、業務用ヒートポンプ給湯機は、電力会社エリア別の区分）

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 3-57 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（需要抑制・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	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	
業務	上水道	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	1.7	1.7	1.7	0.2	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	
	下水道	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	5.2	5.2	5.2	1.4	1.4	1.4	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	1.6	1.6	1.6	0.7	0.7	0.7	1.9	1.9	1.9	0.4	0.4	0.4	
	冷凍冷蔵倉庫	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	
	空調機器(一般)	4.7	1.3	1.0	6.3	1.7	1.3	35.6	8.4	5.6	5.2	1.4	1.1	15.8	4.2	3.2	18.5	4.9	3.6	6.0	1.6	1.2	2.9	0.7	0.5	10.9	2.8	2.0	1.3	0.3	0.2	
	空調機器(蓄熱式)	0.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	41.7	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	
	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	1.3	2.2	4.4	14.4	24.6	50.4	56.7	97.2	198.6	11.8	20.3	41.4	37.6	64.4	131.6	39.6	68.0	138.9	21.8	37.4	76.3	10.2	17.5	35.7	30.7	52.6	107.5	0.8	1.3	2.6	
運輸	電気自動車	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
合計		8.2	5.4	7.5	25.8	29.6	55.3	146.0	120.1	221.0	21.5	24.7	45.9	65.2	74.3	141.2	76.5	81.7	152.9	33.8	43.0	82.2	17.1	20.2	38.6	53.3	60.3	115.3	3.5	2.2	3.5	

※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

表 3-58 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（需要抑制・継続時間考慮・地域別・2030年）

(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	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1
業務	上水道	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	1.7	1.7	1.7	0.2	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1
	下水道	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	5.2	5.2	5.2	1.4	1.4	1.4	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	1.6	1.6	1.6	0.7	0.7	0.7	1.9	1.9	1.9	0.4	0.4	0.4
	冷凍冷蔵倉庫	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
	空調機器(一般)	4.7	1.3	1.0	6.3	1.7	1.3	35.6	8.4	5.6	5.2	1.4	1.1	15.8	4.2	3.2	18.5	4.9	3.6	6.0	1.6	1.2	2.9	0.7	0.5	10.9	2.8	2.0	1.3	0.3	0.2
	空調機器(蓄熱式)	0.3	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	41.7	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
	自動販売機	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	業務用HP給湯機	5.1	7.0	10.3	17.2	23.7	34.7	69.7	95.9	140.5	13.8	19.0	27.8	27.6	38.1	55.7	52.2	71.9	105.2	23.6	32.5	47.6	13.5	18.6	27.2	27.5	37.9	55.5	0.9	1.2	1.8
家庭	家庭用HP給湯機	4.0	6.8	13.9	44.9	77.0	157.4	177.3	303.9	620.9	37.0	63.4	129.5	117.4	201.3	411.2	123.9	212.4	434.0	68.1	116.8	238.6	31.9	54.7	111.7	96.0	164.5	336.1	2.3	4.0	8.2
運輸	電気自動車	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
合計		15.8	16.7	26.7	72.7	104.5	195.4	332.8	418.0	776.9	59.7	85.9	160.5	171.4	247.4	473.8	210.4	294.6	548.2	102.6	153.3	289.8	51.6	75.0	140.4	144.8	208.2	396.6	5.9	6.1	10.8

※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 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

表 3-60 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・2030年）

(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	2.8	3.9	5.7	9.5	13.0	19.1	38.3	52.8	77.3	7.6	10.4	15.3	15.2	20.9	30.7	28.7	39.5	57.9	13.0	17.9	26.2	7.4	10.2	15.0	15.1	20.8	30.5	0.5	0.7	1.0
家庭	家庭用HP給湯機	1.5	2.6	5.3	17.1	29.3	59.9	67.5	115.6	236.2	14.1	24.1	49.3	44.7	76.6	156.5	47.2	80.8	165.1	25.9	44.4	90.8	12.1	20.8	42.5	36.5	62.6	127.9	0.9	1.5	3.1
運輸	電気自動車	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	合計	6.1	8.5	13.0	28.8	46.6	82.8	115.6	220.0	358.7	23.9	38.3	68.0	64.0	108.1	196.5	82.3	137.0	237.9	41.5	67.2	121.3	20.6	34.3	60.3	55.0	94.1	167.8	1.9	3.6	5.4

※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

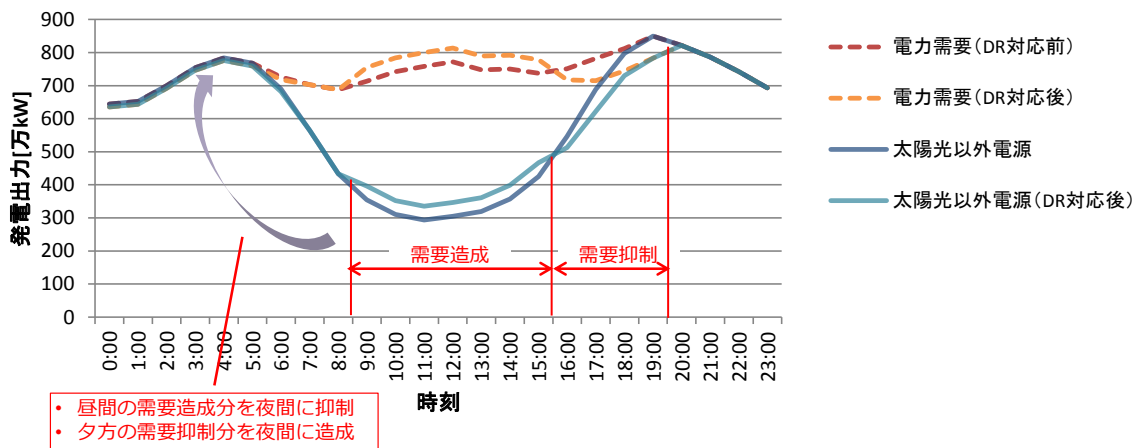
※3 業務用ヒートポンプ給湯機、家庭用ヒートポンプ給湯機、電気自動車についてのみ、業界団体の2030年の導入量見通しに基づく数値を前提として2030年時点の数値を推計

(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。



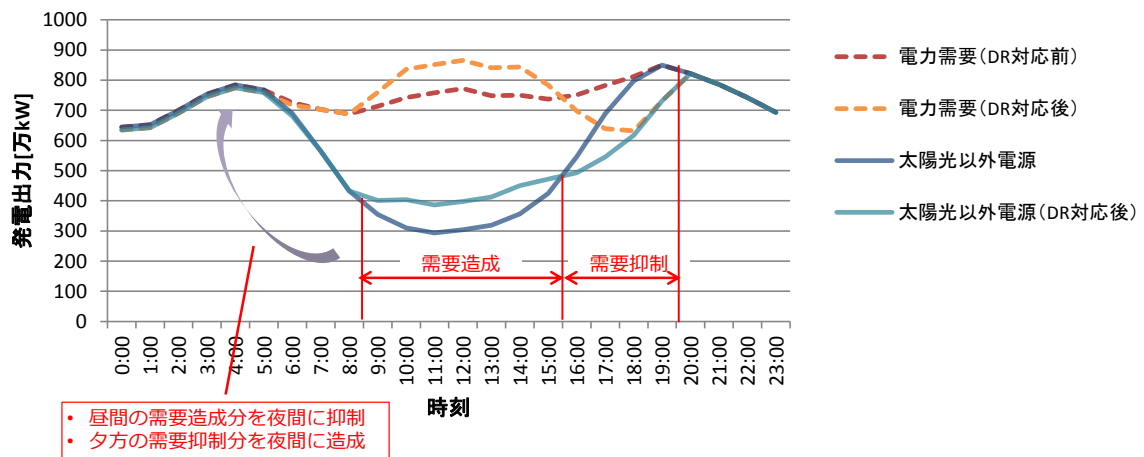
※九州電力管内の 2016 年 5 月 4 日データを使用。

※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。

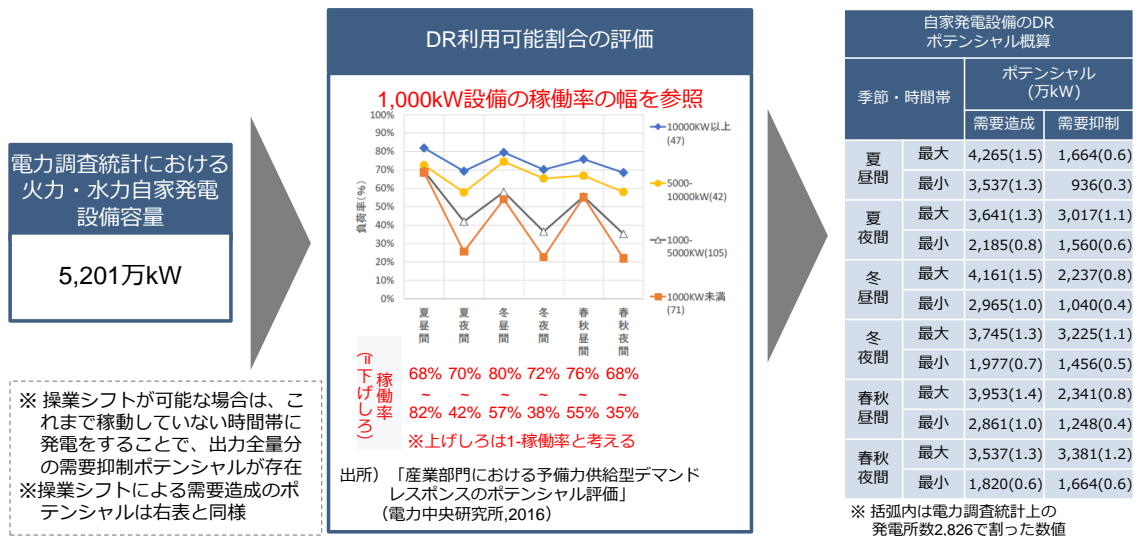


図 3-48 自家発電設備のデマンドレスポンス・ポテンシャル推計結果

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。

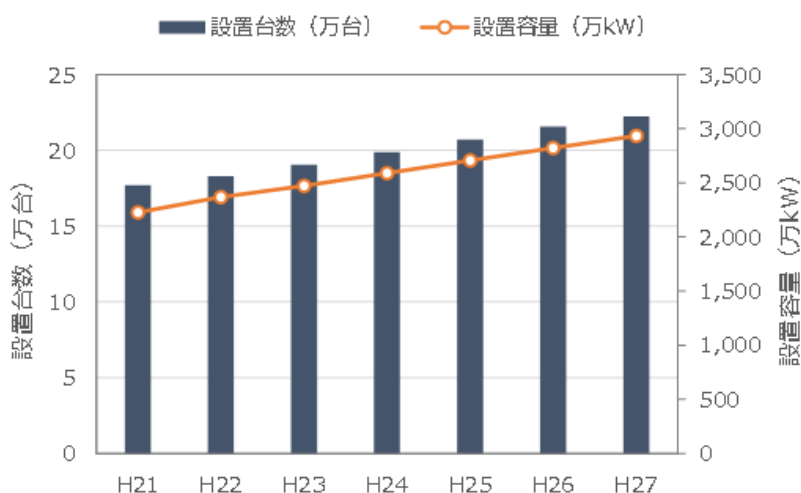


図 3-49 防災用自家発電装置の導入推移

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

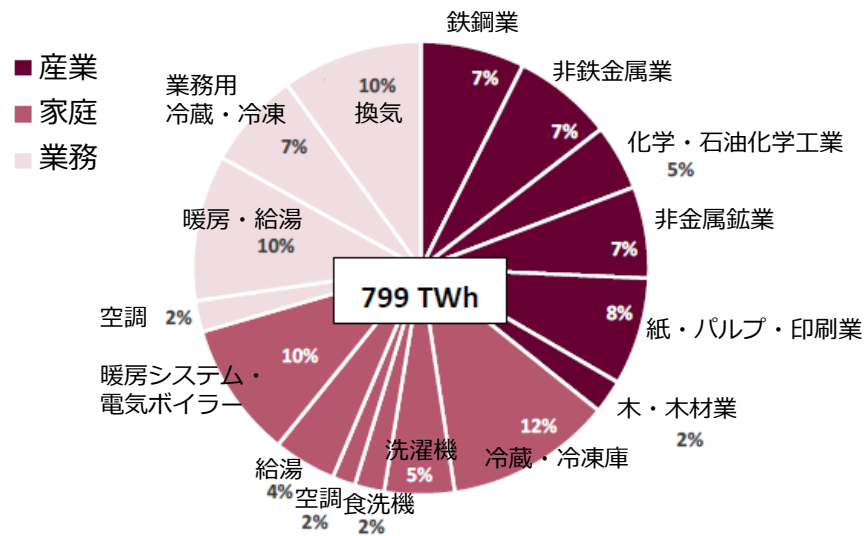


図 3-50 デマンドレスポンス・ポテンシャルをもつプロセス別の電力消費量（2012年）

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

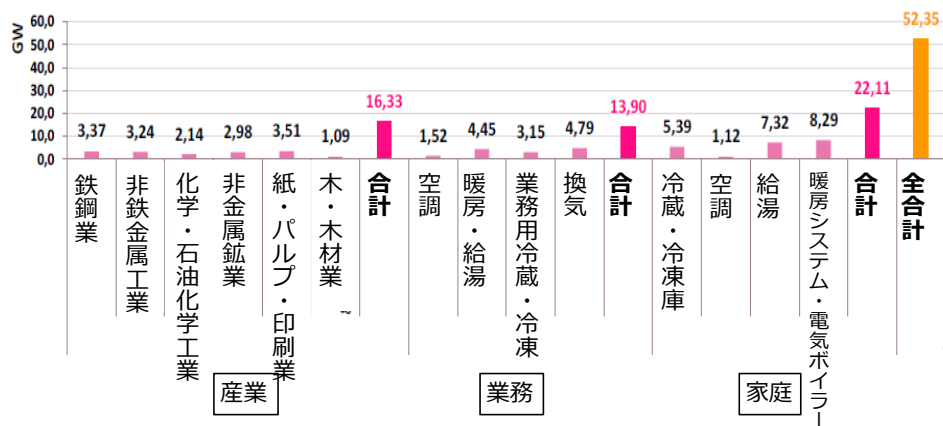


図 3-51 欧州のデマンドレスポンス・ポテンシャル

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。

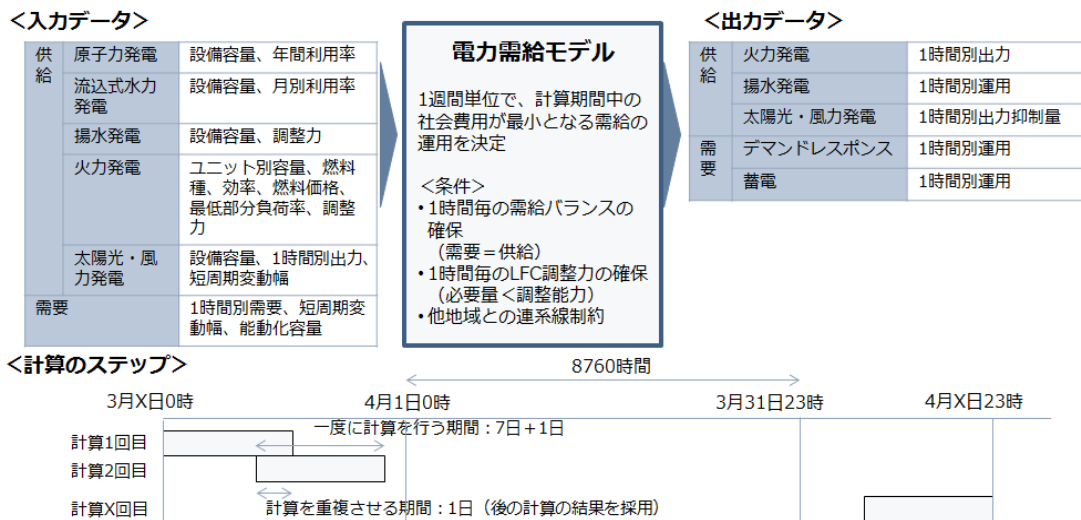


図 3-52 モデル構造

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実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。

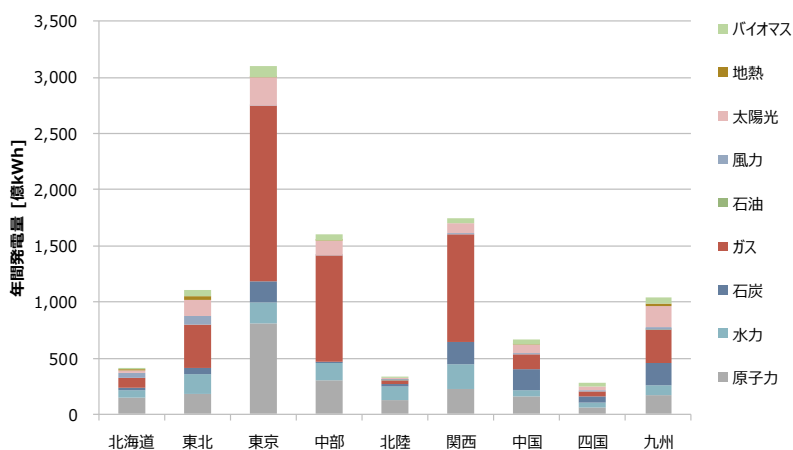


図 3-53 地域別の年間発電量

※ 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。

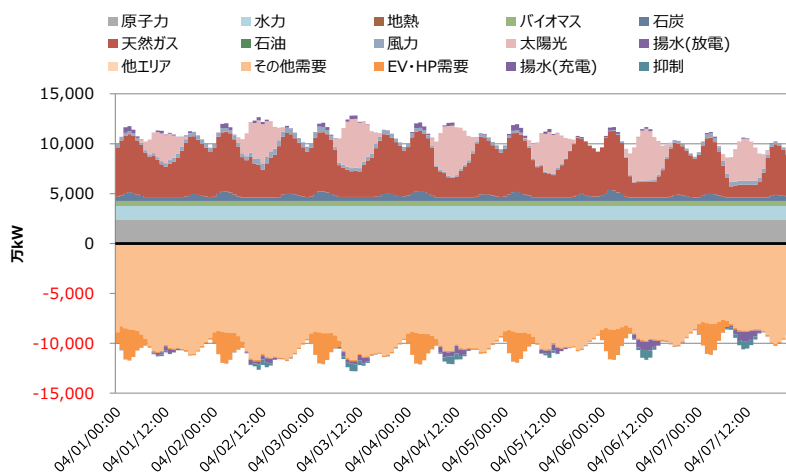


図 3-54 毎時の需給バランスのイメージ (全国、4/1~4/7 の例)

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。

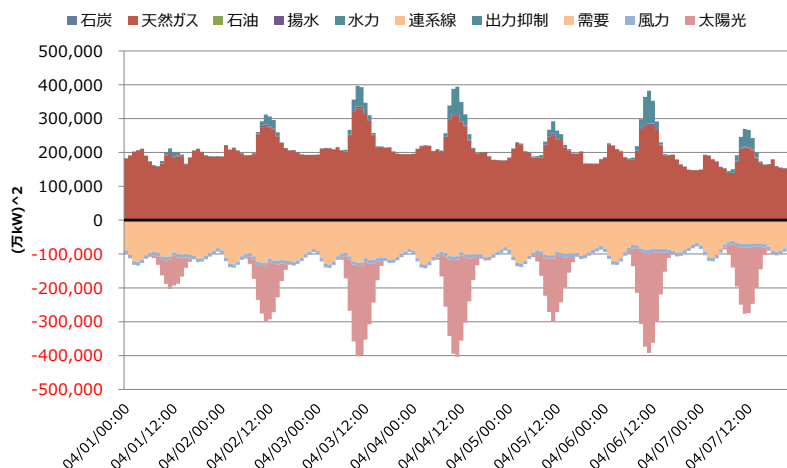


図 3-55 毎時の LFC 必要量・供給量バランス（全国、4/1~4/7 の例）

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。

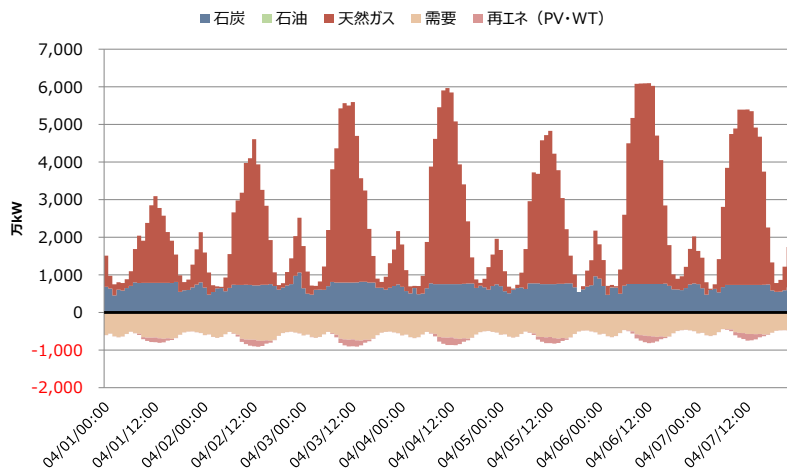


図 3-56 運転予備力（上げ代）バランス（全国、4/1~4/7 の例）

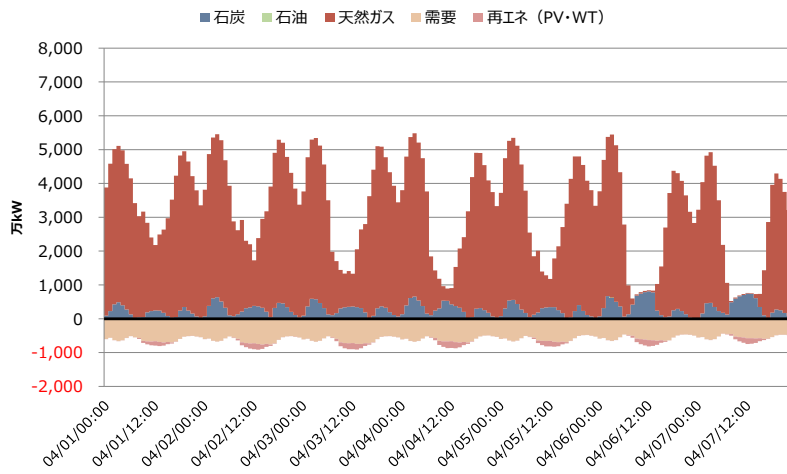


図 3-57 運転予備力（下げ代）バランス（全国、4/1~4/7 の例）

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。

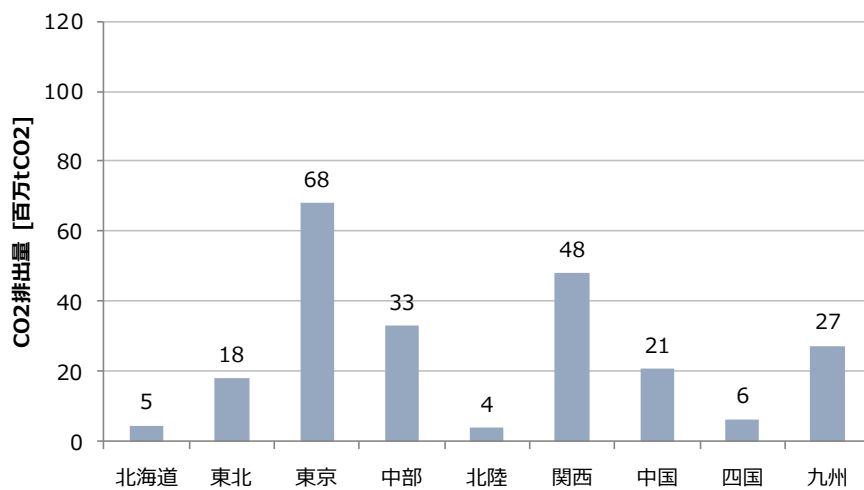


図 3-58 地域別 CO2 排出量

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。

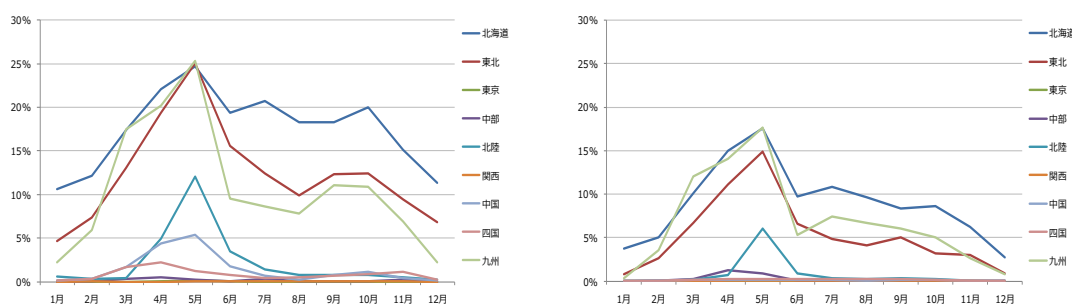


図 3-59 地域別の月別抑制率比較
(左：炭素価格 4,000 円/tCO2 右：炭素価格 10,000 円/tCO2)

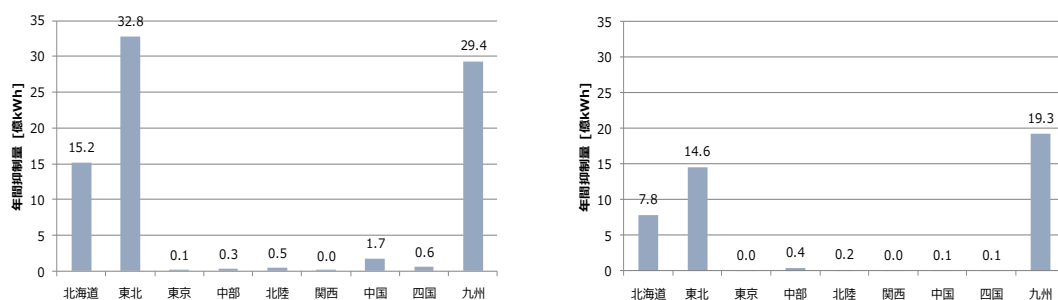


図 3-60 地域別の年間抑制量比較
(左：炭素価格 4,000 円/tCO2 右：炭素価格 10,000 円/tCO2)

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。

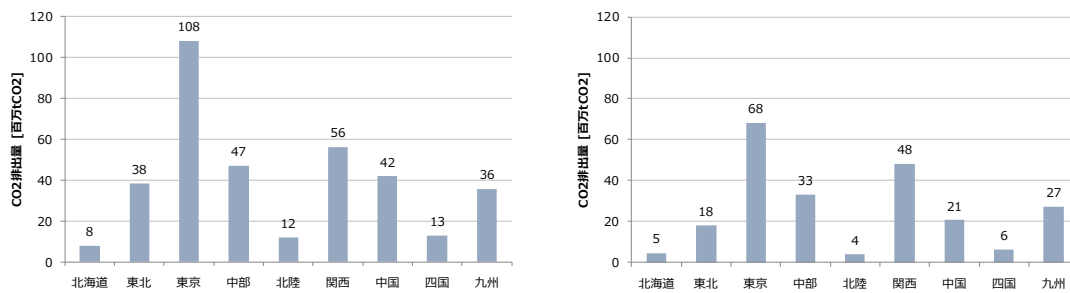


図 3-61 地域別の CO2 排出量比較 (左：炭素価格\$40/tCO2 右：炭素価格\$100/tCO2)

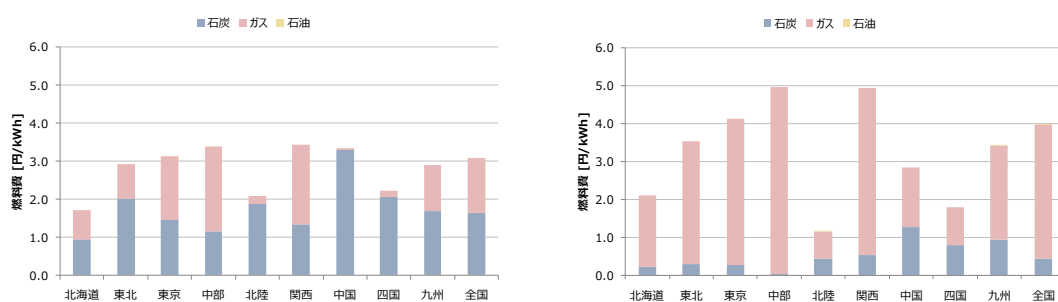


図 3-62 地域別の燃料費比較 (左：炭素価格\$40/tCO2 右：炭素価格\$100/tCO2)

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。

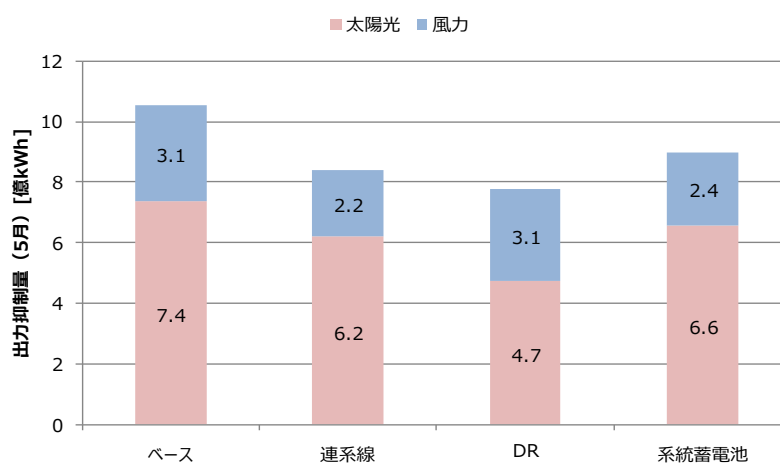


図 3-63 全国の5月の出力抑制量

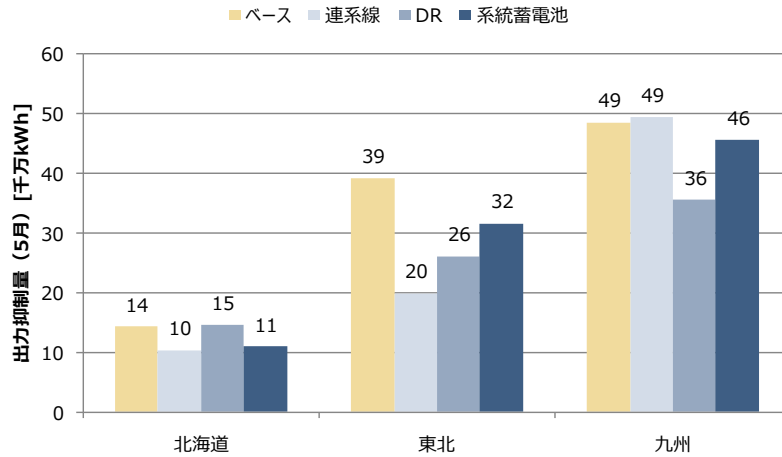


図 3-64 北海道・東北・九州における 5 月の出力抑制量

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。

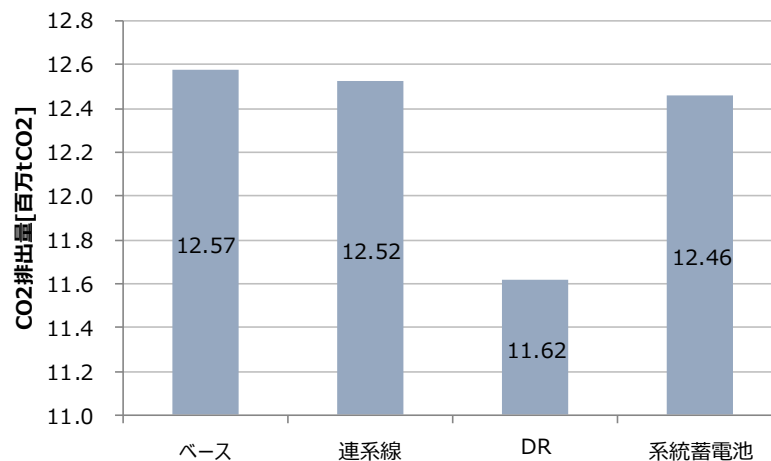


図 3-65 シナリオ別の全国における 5 月の CO2 排出量

注) 縦軸のスケールがゼロでない点に注意

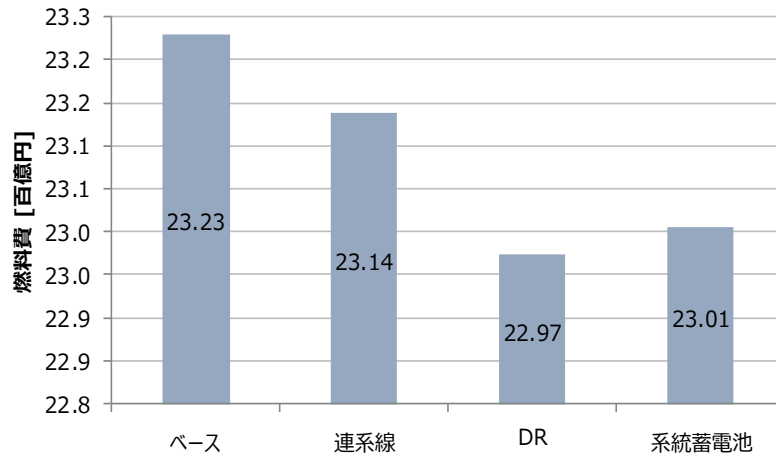


図 3-66 シナリオ別の全国における 5 月の燃料費

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。

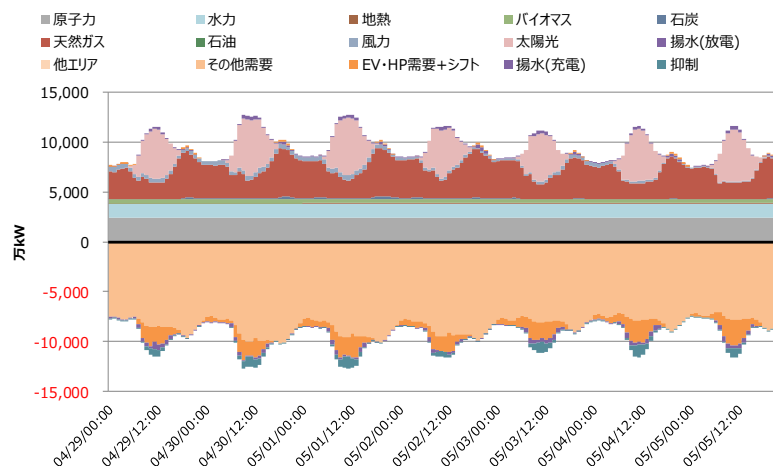


図 3-67 DR シナリオにおける全国の 4/29～5/5 における毎時需給バランス

※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。

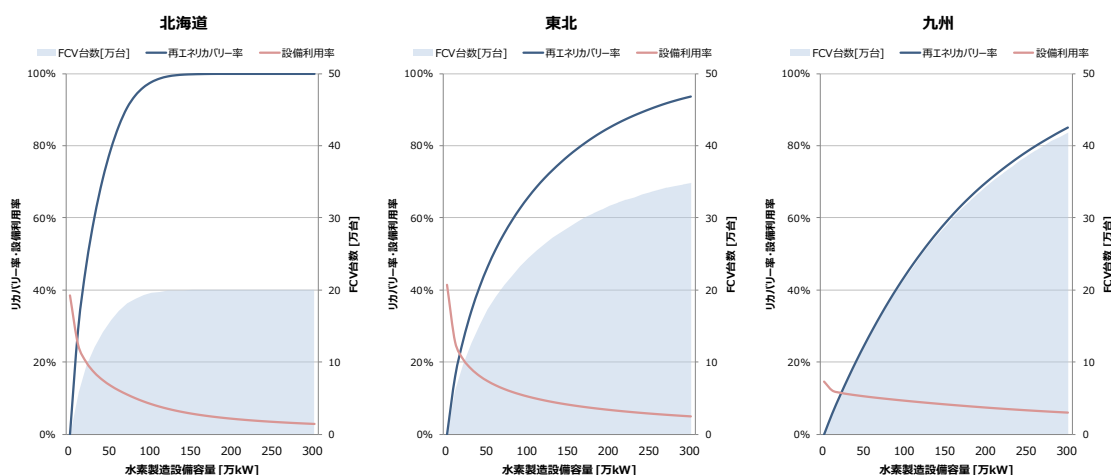


図 3-68 水素製造設備容量別の再生可能エネルギーリカバリー率等（北海道、東北、九州）

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

3.5 諸外国におけるデマンドレスポンスの活用状況

本節では、欧州・米国を中心に、諸外国におけるデマンドレスポンスに関する施策及びビジネスの動向を調査し、デマンドレスポンスに関する課題及び今後の展望を検討分析した。

3.5.1 欧州諸国における電力需給向けデマンドレスポンス活用状況

(1) 欧州諸国における変動電源対策

欧州諸国では太陽光発電や風力発電の導入拡大に伴い、変動する電力供給に対する需給調整方策の検討が必要になりつつある。デマンドレスポンスも含め、主に表 3-73 のような取組みが進められている。

表 3-73 欧州諸国における変動電源対策

対策	概要
系統運用面の対策	<ul style="list-style-type: none"> 出力抑制や再給電によって、再生可能エネルギー電力の影響を軽減する。
需給調整の広域化	<ul style="list-style-type: none"> 国全体、または複数国間で、国際連系線を通じた取引等を実施することにより、需給調整力を調達する。 広域での管理を行うことにより、変動電源の均し効果を得る。
容量メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> 供給力確保に資する電源の容量価値を認めることで、電源投資を促進。 確保した供給力によって、需給調整が可能。
デマンドレスポンス	<ul style="list-style-type: none"> 需要抑制/造成を通じ、需給のバランス調整に貢献。 欧州ではまだ市場が開かれている国が少ない。 デマンドレスポンスに加え、再生可能エネルギー電源、蓄電池等、複数のエネルギーリソースを組み合わせたバーチャルパワープラント(VPP)の取組みも一部企業で推進されている。

(2) 欧州諸国におけるデマンドレスポンス活用推進の政策的枠組み

欧州では、デマンドレスポンスの活用推進の枠組みが政策的に策定されている。これらの枠組みの考え方は、以下のような複数の法律やガイドラインの中に明記されている。

1) The Electricity Directive – 2009/72/EC

本指令では、環境性、エネルギーの安定供給、一次エネルギー消費とピークロード削減に資するものとして、エネルギー効率的な需要家側のエネルギーマネジメントのコンセプトを提示した。同指令の中では、送配電網運用者に対して、エネルギーシステム更新の際にデマンドレスポンスとエネルギー利用の効率化を考慮するように求めている。また、加盟各国に対して、エネルギーシステムにおけるデマンドレスポンスの活用可能性を踏まえた長期的な計画策定を要求している。

2) The Energy Efficiency Directive (EED) – 2012/27/EU

本指令では、バランシング市場、アンシラリー・サービスへのデマンドレスポンス導入を阻害する要因の除外を求めている。特に、送配電網運用者に対して、デマンドレスポンス活用に向けたインフラ改善を求めるとともに、各国規制機関に対して卸売、小売市場でのデマンドレスポンス活用を求めている。また、送配電システム運用者に対して、バランシングサービス、アンシラリー・サービスにおいて、デマンドレスポンスを他と平等的に活用することを指示している。これらの指示も踏まえ、加盟各国がデマンドレスポンスのエネルギー市場への市場参画を促進することを要求している。

3) The Network Codes

Network Codes（ネットワークコード）は、欧州における系統運用者の協議会である欧州送電系統運用者ネットワーク（ENTSO-E: European Network of Transmission System Operators for Electricity）が、EU の規制当局であるエネルギー規制協力庁（ACER: Agency for the cooperation of Energy Regulations）の管理の下で作成したルールである。このルールの目的は欧州電力市場の調和、統合、効率化である。

ネットワークコードには、前述の 2 つの指令で指示されるデマンドレスポンス活用の基盤を生み出すことが期待されている。ネットワークコードのうち、デマンドレスポンスの導入拡大に影響が大きなコードとして、“Demand Connection Code”、“Electricity Balancing Code”、“Emergency & Restoration Code”が挙げられる。これらのコードはデマンドレスポンスが電力市場に参画するための条件について記述している。

4) State aid Guidelines for Energy and Environment

本ガイドラインは 2014 年 4 月に欧州委員会により採択された。このガイドラインの中では、どのような条件下であれば、十分な発電余力の確保に対する国からの助成が実施可能となるかについて言及している。この考え方にに基づき、加盟各国は容量メカニズムの導入を促されている。一方、本ルールでは十分な発電余力を確保するための手段として、容量メカニズムとともにデマンドレスポンスの活用を挙げている。

(3) 欧州諸国における直接的デマンドレスポンス活用の推進状況²⁹

欧州諸国では、大きく分けて間接的デマンドレスポンス（Implicit DR）と直接的デマンドレスポンス（Explicit DR）の 2 つのスキームでデマンドレスポンスが取り組まれている。間接的デマンドレスポンスでは、時間帯別電力料金や、時間帯別送配電網利用料を設けることにより、需要家のインセンティブに基づく需要削減行動をデマンドレスポンス資源として活用する。他方、直接的デマンドレスポンス（Explicit DR）では、卸売市場、バランシング市場、容量市場を含む電力市場において、需要制御に基づくデマンドレスポンス資源を供給側のリソースと同様に取引する。

間接的デマンドレスポンス（Implicit DR）では、需要家に対して参加の程度に関する裁量が委ねられている。このため、需要家における選択の柔軟性はあるものの、需給調整にお

²⁹ SEDC, “Mapping Demand Response in Europe Today 2015”, 2015 の内容を参考に記載している。

る精度の高い活用は困難である。他方、直接的デマンドレスポンス（Explicit DR）では、制御に基づくデマンドレスポンス資源が市場を介して取引されるため、需給調整における信頼性の高いリソースとして活用が可能である。

欧州諸国における直接的デマンドレスポンス（Explicit DR）の市場での活用状況は国ごとに段階が異なる。2015年時点における各国の状況は図 3-69 のとおりである。

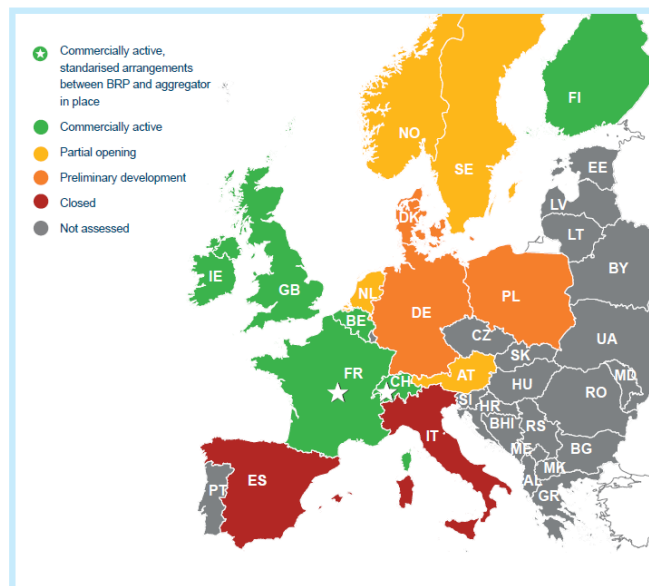


図 3-69 欧州諸国におけるデマンドレスポンスの電力市場での活用状況

出所) SEDC, “Mapping Demand Response in Europe Today 2015”, <http://www.smartenergydemand.eu/wp-content/uploads/2015/09/Mapping-Demand-Response-in-Europe-Today-2015.pdf>

アイルランド、英国、ベルギー、フランス、スイス、フィンランドでは、デマンドレスポンスの電力市場参画が進められており、国としての制度枠組みも存在する。制度上の課題はあるものの、商用でのデマンドレスポンス活用が実現されている。特にフランス、スイスでは独立したアグリゲータの参入を可能にするように、市場参加者における役割と義務を再構築しており、最もデマンドレスポンスの市場構築が進んでいる。

スウェーデン、オランダ、オーストリア、ノルウェーでは、デマンドレスポンスに携わる企業は設立されているが、制度的な障壁が存在するために市場の成長が阻害されている。これは市場における各種プログラムが発電側と需要側の双方の市場参加者が存在する状況に適応していないためである。また、市場参加者における役割と義務が明確化されていない点も課題となっている。

ドイツ、ポーランド、スロベニアでは、デマンドレスポンスに対する市場は開放されつつあるものの、厳しい障壁により市場参画が阻害されている。阻害要因の例としては、実効性のある制度枠組みが存在しないこと、サービス提供者間の競争、発電側のみを考慮した市場プログラム、平坦な消費パターンに有利な送配電網利用料が存在することが挙げられる。

イタリア、スペインでは、デマンドレスポンスはほとんどの市場で受け入れられていないか、規制のためにデマンドレスポンスが実行不可能な状況にある。

以下では、デマンドレスポンスに対する市場開放が進んでいるフランスと、特に電源構成に占める再生可能エネルギーの割合が高いドイツ、英国、スペインの状況について詳細をま

とめる。

1) フランスの取組み

a. 概況

フランスではすべてのアンシラリー・サービス市場がデマンドレスポンスおよびサードパーティのアグリゲータに開放されている。この取組みは国内最大の電力会社である EDF によるものである。

2003 年以降、大規模な産業部門の需要家がバランシング市場に参画している。2007 年からは、アグリゲートした家庭の負荷を市場に導入するパイロットプロジェクトが進められている。また、2014 年には、一次調整力 (Primary Reserve)、二次調整力 (Secondary Reserve) の市場に産業部門の需要家が参加可能になった。2014 年には同時に NEBEF 制度³⁰の枠組みの中で、需要抑制の卸売市場への参画が可能になった。当年は冬の気候が穏やかであったことから市場で取引された電力量は 313MWh に留まった。さらに、2017 年には容量市場の開設が予定されており、デマンドレスポンスの市場参画の機会はさらに増加する見通しである。

これらの市場開放の背景には、フランスの送電系統運用者 (TSO: Transmission System Operator) が、市場参画の要件をデマンドレスポンスに適した内容に設計していることが挙げられる。また、アグリゲータと電力供給事業者、BRP (Balance Responsible Party³¹) との関係性について、2013 年に標準化された枠組みが規定されたことも要因の 1 つである。

フランスでは太陽光発電、風力発電の割合が比較的小さいため、まだ変動電源の増加に伴う問題は顕在化していない。しかし、長期的には導入拡大が見込まれることから、再生可能エネルギー電源の変動に対応するための電源の柔軟性が求められるとされている。これらの状況を踏まえて、容量市場の議論がなされており、デマンドレスポンスは対策の 1 つとして挙げられている。

b. 市場環境

フランスではバランシング市場、アンシラリー・サービス市場、卸売市場に対するデマンドレスポンスの参画が認められている。また、アグリゲーションに基づく市場参画も認められている。市場の種別に応じてデマンドレスポンスの参加可能性を整理すると表 3-74 のとおりである。

³⁰ Notification d'Échange de Blocs d'effacement (卸市場における節電電力の自由取引を規定した制度)

³¹ 電力の需給一致の実現を担う主体。

表 3-74 フランス電力市場におけるデマンドレスポンス参加可能性

市場の種別	市場動向	参加可能性
アンシラリーサービス市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ フランスでは、バランシング市場として 3 種類のプログラムに、アンシラリー・サービス市場として 2 種類のプログラムに DR の市場参画が認められている。 ✓ バランシング市場の概要は以下のとおり。発電側と需要側のリソースは平等に扱われている。 <ul style="list-style-type: none"> - Demand Response Call for Tender: 最低容量は 10MW であり、2 時間以内での応答、30 分~2 時間の持続が必要。 - Complementary Reserve: 最低容量は 10MW であり、30 分以内での応答、30 分~2 時間の持続が必要。 - Fast Reserve: 最低容量は 10MW であり、13 分以内での応答、30 分~2 時間の持続が必要。 ✓ アンシラリー・サービス市場の概要は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> - Primary Control: 最低容量は 1MW であり、30 秒以内での応答、15 分以内の持続が必要。 - Secondary Control: 最低容量は 1MW であり、15 分以内での応答、最低 15 分の持続が必要。 - Interruptibility³²: 最低容量は 40MW であり、5 秒以内での応答、1 時間の持続が必要。 	○
容量市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 市場開設は 2017 年の見込み。 ✓ DR の市場参画を想定。 	△ 市場開設は 2017 年
卸売市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NEBEF 制度の下で RTE と契約をすれば、市場参画が可能。 ✓ 市場参画の最低容量は 0.1MW である。 	○

出所) SEDC, “Mapping Demand Response in Europe Today 2015”, 2015 等 より作成

³² 事前の取り決めに従って緊急時に付加の削減、遮断を行う契約（遮断可能負荷契約）。

2) ドイツの取組み

a. 概況

ドイツでは、デマンドレスポンス・プログラムの大半にとって、市場制度が大きな阻害要因となっている（表 3-75）。このため、デマンドレスポンスに資するリソースの多くは未活用の状況にある。この状況を踏まえ、ドイツ政府では制度見直しを開始している。

表 3-75 ドイツにおけるデマンドレスポンス・プログラムに対する阻害要因

✓ 運用設備の市場参画に係る要求条件
✓ 規模要件
✓ 発電設備を中心に設計されたプログラム要件(最小入札規模、適用時間等)
✓ 変動の少ないエネルギー消費パターンを優遇する電力系統利用料
✓ サードパーティのアグリゲータに対して、競合となりうる BRP との双方向合意を義務付け
✓ サードパーティのアグリゲータについて、標準化された役割が規定されていない
✓ 市場の役割が明確に定義されていない

出所) 三菱総合研究所作成

一方、ドイツ国内では再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、太陽光発電と風力発電による発電量が国内需要を上回る時間帯も発生するなど、電力供給が不安定化している。こうした状況を踏まえ、米国 EnerNOC は、ドイツ国内でデマンドレスポンスに基づくアンシラリー・サービス事業に参入している。

b. 市場環境

ドイツのバランス市場のプログラムでは、デマンドレスポンスとアグリゲーションは法的に認められている。これらを含め、市場の種別に応じてデマンドレスポンスの参加可能性を整理すると表 3-76 のとおりである。

表 3-76 ドイツ電力市場におけるデマンドレスポンスの参加可能性

市場の種別	市場動向	参加可能性
アンシラリーサービス市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ バランシング市場のプログラムに対して DR は参加可能。 ✓ バランシング市場のプログラムは 3 つに分かれるが、以下の参加要件が参入障壁となっている。 <ul style="list-style-type: none"> - 一次予備力 (Primary Control Reserve) : 最低容量は 1MW であり、30 秒以内での応答が必要。市場参入の事前に TSO からの認証が必要。 - 二次予備力 (Secondary Control Reserve) : 最低容量は 5MW であり、5 分以内での応答が必要。市場参加 10 日前に供給可能リソースの見積もりが必要。また、12 時間の継続が必要。 - 三次予備力 (Minute Reserve) : 最低容量は 5MW であり、15 分以内での応答が必要。1 日につき 4 時間の枠 6 つへの入札を実施。また、4 時間の継続が必要。 - 遮断可能負荷 (Interruptible loads) : ドイツでは 2013 年よりプログラムが開始しているが、最低入札容量が 50MW であることから、実質的に DR の市場参画は実質的に不可能な状況。 	△ 参加要件が 参入障壁
容量市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ドイツでは 2015 年 7 月に BMWi (ドイツ連邦経済技術省) から公表されたホワイトペーパーにおいて、容量市場を導入しないことが表明されている。 ✓ 容量市場に代わり、容量リザーブ制度³³が導入されたが、その対象に DR は含まれていない。 	×
卸売市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ドイツでは DR のアグリゲータが卸売市場に参画することはできない。 ✓ 一方、サードパーティのアグリゲータが DR や再生可能エネルギー等を含む分散型リソースを BRP に提供する事例はある。 ✓ ただし、VPP (Virtual Power Plant) を構築する場合、その構成に対して DR が占める割合は小さい。 	△ 相対契約の み可能

出所) SEDC, “Mapping Demand Response in Europe Today 2015”, 2015 等 より作成

³³ 現存する発電設備容量の保存を促す制度

3) 英国の取組み

a. 概況

英国では、すべてのバランスング市場がデマンドレスポンスに対して開放されている。しかしながら、近年ではデマンドレスポンス事業者、エネルギー・気候変動省（DECC: Department of Energy & Climate Change）、電力・ガス市場局（Ofgem: Office of Gas and Electricity Markets）との間で連携の課題から、効率的な市場運営がなされていない。

現状では、手続き上及び運営上の要求事項が需要側エネルギー資源に対して適していないことから、需要側資源の市場参画が減少している。2013～2014年と比較して、2015年は減少傾向にあることから、この傾向が続くのであれば、英国の市場はデマンドレスポンス供給事業者が存立可能なものではなくなる可能性がある。

容量市場は2014年末に設立されたものの、需要側資源に対して発電設備と平等な扱いがなされていない。最初の容量市場オークションにおいて、約15存在する需要側アグリゲータのうち、契約に至ったのは1つである。この市場設計の現状については、欧州司法裁判所において審議中である。

イングランド、ウェールズにおける送電網を運営するNational Gridにおいては、再生可能エネルギーの導入拡大等の影響からデマンドレスポンスの活用機会が増加しつつある。しかしながら、政策立案が進んでおらず、市場デザインの選択肢に乏しいことから十分な機会活用が実現できていない。

b. 市場環境

英国では、すべてのバランスング市場のプログラムがデマンドレスポンスに開放されている。また、アグリゲーションの活用もすべての市場で認められている。これらを含め、市場の種別に応じてデマンドレスポンスの参加可能性を整理すると表 3-77 のとおりである。

表 3-77 英国電力市場におけるデマンドレスポンスの参加可能性

市場の種別	市場動向	参加可能性
アンシラリーサービス市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ すべてのバランシング市場のプログラムに対して DR は参加可能。 ✓ バランシング市場のプログラムは 5 つに分かれる。それぞれの活用状況と特徴は以下のとおり。 <p><Short-term Operating Reserve></p> <ul style="list-style-type: none"> - 過去には DR の市場参画が進んでいたが、市場価格の低下等の要因から現在は DR の参画による利潤獲得が難しい状況。 - 最低容量は 3MW であり、4 時間以内での応答、最低 2 時間の持続が必要。 - 経済性の確保には、1 日 11~13 時間の枠での参加が必要な点が DR にとっての障壁。 <p><Firm Frequency Response></p> <ul style="list-style-type: none"> - 最低容量は 10MW であり、10 秒または 30 秒以内での応答、20 秒または 30 分以内の持続が必要。 - これらの参画要件が DR の参入障壁である。 <p><Fast Reserve Firm Service></p> <ul style="list-style-type: none"> - 最低容量は 50MW であり、2 分以内での応答、最低 15 分の持続が必要。 - 1 日あたり 10~15 回の DR 発動が必要な点が障壁になりうる。 <p><Demand Side Balancing Reserve></p> <ul style="list-style-type: none"> - 2014、2015 年の冬季に実施されたプログラム(有効性がないとの判断から 2016 年冬季は実施しない)。 - 需要家における 16~20 時の電力使用量の削減を活用。 - 最低容量は 0.1MW であり、2 時間以内での応答が必要。 <p><Frequency Control by Demand Management></p> <ul style="list-style-type: none"> - 大規模発電所の突然の停止等、年に数回発生する周波数の急変に対応するためのプログラム。 - 最低容量は 3MW であり、2 秒以内での応答、最低 30 分の持続が必要。 	<p>△ 参加可能 プログラムは 限定的</p>
容量市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 英国では DR が容量市場に参画することは認められている。 ✓ ただし、発電側を意識した市場設計がなされており、DR は不利な立場。 	<p>△ 発電側を 意識した 市場設計</p>
卸売市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 英国では前日市場、当日市場への参画が可能。 	<p>○</p>

出所) SEDC, "Mapping Demand Response in Europe Today 2015", 2015 より作成

4) スペインの取組み

a. 概況

スペインでは水力発電とガス火力発電が需給調整を担っている。今後分散型電源の拡大に伴って需給調整力のニーズが生じることが見込まれている。国内ではスマートグリッドに関するプロジェクトが進められているものの、現状ではデマンドレスポンスの活用は限定的である。

スペインではエネルギーリソースのアグリゲーションは認められておらず、デマンドレスポンスが参画可能な唯一のスキームは遮断可能負荷に関するものに限られる。本スキームには大型の需要家のみが参加可能であり、国内の送配電事業者である Red Eléctrica de España が管轄している。本プログラムでは、電力市場において発電量やバランス能力が不足した際に、緊急的な対応を行う。本プログラムについては、遮断可能負荷プログラムの役割を果たしきれておらず、国内産業に対する金銭的補助をもたらす程度の効果にとどまっているのではないかという疑義が呈されている。

スマートメータの全面的普及が 2018 年に見込まれることから、2016～2018 年にかけてバランスサービス市場に対してデマンドレスポンスを導入するための市場変化が訪れることが見込まれている。

b. 市場環境

スペインでは、遮断可能負荷に関するプログラムのみがデマンドレスポンスに開放されている。その他の市場を含め、市場の種別に応じてデマンドレスポンスの参加可能性を整理すると表 3-78 のとおりである。

表 3-78 スペイン電力市場におけるデマンドレスポンス参加可能性

市場の種別	市場動向	参加可能性
アンシラリーサービス市場	<ul style="list-style-type: none"> ✓ バランシング市場、アンシラリー・サービス市場に対して DR の参加は認められていない。 ✓ 遮断可能負荷に関しては、アグリゲーションは認められておらず、高圧の大規模な産業部門の需要家(鉄鋼、製紙、化学工場等)のみが参画可能。以下の参加要件が存在 <ul style="list-style-type: none"> - 本土: 最低容量 5MW または 90MW のプログラム。プログラムにより「通知なし/15 分以内/2 時間以内」での応答が必要。 - 離島部: 最低容量は 0.8MW であり、即時～2 時間の範囲での応答が必要(5 種のプログラム)。 	△ 参加可能者が限定的
容量市場	✓ 発電設備のみ市場参画が可能。	×
卸売市場	✓ 50MW 以上の発電設備のみが市場参画可能。	×

出所) SEDC, “Mapping Demand Response in Europe Today 2015”, 2015 より作成

5) 欧州における電力需給向けデマンドレスポンス活用状況のまとめ

以上では、デマンドレスポンスに対する市場開放が進んでいるフランスと、特に電源構成に占める再生可能エネルギーの割合が高いドイツ、英国、スペインの、直接的デマンドレスポンス（Explicit DR）の活用状況について調査した。

フランスでは、国内最大の電力会社である EDF 主導の下、2000 年代前半よりデマンドレスポンスに対する市場開放が進んでいる。フランスでは、太陽光発電、風力発電等の変動電源については、系統運用上の問題が生じる導入量水準ではない。しかしながら、今後の普及拡大を見据えれば、デマンドレスポンスの容量市場参画等の取組みが有効な対策になることが見込まれている。

一方、ドイツ、英国、スペインでは、再生可能エネルギーによる電力需給調整の困難性が増しているものの、デマンドレスポンスの市場参画にはまだ障壁が大きい段階にある。例えば、ドイツの市場ではデマンドレスポンスの市場参画に係る規模要件（最低容量等）や、市場におけるデマンドレスポンスの役割規定の不明確さが障壁となっている。しかしながら、各国とも変動電源対策の重要性への認識等も踏まえ、デマンドレスポンスの市場参画を拡大する方向性での検討が進められている。

(4) 欧州の主要企業のデマンドレスポンスへの取組み

本節では、欧州の主要企業におけるデマンドレスポンスを活用した事業の概要を紹介する。今回の調査対象とした事例は、いずれの企業も、送配電事業者等を対象にアグリゲートしたデマンドレスポンス資源を提供する役割を担う（表 3-79）。

表 3-79 欧州企業のデマンドレスポンスへの取組み

	対象市場	DR 資源の種類
Energy Pool	・ 発電・送配電・小売まであらゆる領域を対象	・ 産業・工業等の大口需要家が中心
Flexitricity	・ バランシング市場 ・ ピークマネジメント ・ CHP 稼働最適化	・ 冷蔵・空調設備 ・ 自家発 ・ CHP
Pearlstone Energy	・ バランシング市場等	・ 業務・産業部門の需要家施設

出所) 三菱総合研究所作成

1) Energy Pool (フランス)

Energy Pool はフランスに本社を置く、欧州最大手のエネルギー・サービス・プロバイダである。2009 年に南フランスのシャンベリーで設立され、翌年にはシュナイダーエレクトリックグループの一員となった。フランス、英国、ベルギー、トルコ、韓国等で事業を展開している。需要家におけるデマンドレスポンス資源をアグリゲートして電力会社に提供することにより、系統安定化等に貢献する形でサービスを実施している。デマンドレスポンスに関する同社の取組みは以下の 4 項目である。

表 3-80 Energy Pool の取組み

取組み	概要
DR Consulting	・ エネルギー産業に関わるあらゆる顧客に対して、DR のポテンシャル評価、DR 導入に関するコンサルティングを実施。
DR Technology	・ 顧客に対して Energy Pool の開発する DR マネジメントシステム (DRMS) を導入する。 ・ DRMS の導入により、顧客側企業では会計管理、需給ギャップ分析、ニーズに合致する技術的・機能的仕様の特定が可能になる。
DR Services	・ 顧客における DR 資源の管理を支援することで、以下の価値を提供。 ✓ Energy Pool のシステムにより DR 活用の最適化が可能になる。 ✓ DR による容量確保の確実性を高め、需要家の DR 資源を顧客の送配電網へ接続する。 ✓ 効率的で競争力を有する、環境性能の高い VPP の活用が可能になる。
DR Operations	・ 顧客の DR 運用を代行することで、以下の価値を提供。 ✓ 安定的かつ効率的な DR の最適運用を可能とする。 ✓ ピークアワーにおける電力使用コストを抑制し、オフピークでの効率的電力仕様を可能にする。 ✓ 効率的エネルギー運用により、温室効果ガスの排出を削減する。

出所) Energy Pool ウェブサイト, <http://www.energy-pool.eu/en/home/> より作成

Energy Pool はフランス国内において仮想発電所として 1,200MW の容量を確保している。これは年間 30 万トンの CO2 排出削減に相当し、そのための投資額 8 億ユーロの節約にもつながっている。

Energy Pool はわが国においても事業展開を進めている。日本国内でも欧州と同様にデマンドレスポンス資源（ネガワット資源）の活用に関するコンサルティング等を踏まえ、デマンドレスポンスのアグリゲート、活用を担うことが見込まれている。

2) Flexitricity（英国）

Flexitricity は英国のデマンドレスポンスサービスプロバイダである。同社は、CHP 及び負荷設備（冷蔵、空調など）、非常用発電機等をアグリゲーションすることで、周波数調整（Frequency Response）、短期予備力（STOR: Short Term Operating Reserve）、Footroom の市場取引を行っている。また、同様にデマンドレスポンスを用いることでピーク需要の削減や CHP の効率的運用に向けた事業を実施している。同社の事業の形式を以下に示す。

表 3-81 Flexitricity の事業分野

事業分野		概要
Balancing Solution	Frequency Response	<ul style="list-style-type: none"> 英国 National Grid の周波数調整メニューに参画可能な規格の DR システムを構築。
	STOR (Short-Term Operating Reserve)	<ul style="list-style-type: none"> STOR を TSO である National Grid に提供。STOR とは以下の要件を満たす調整力である。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 需要抑制または自家発電抑制について通知後 10 分以内に対応。 ✓ 1~2 時間反応を継続。
	Footroom	<ul style="list-style-type: none"> 風力発電の過剰な発電に対応するためのサービス。 顧客は需要造成、自家発電抑制の依頼に対応することで手数料の取得が可能。
Peak Management	Triad management	<ul style="list-style-type: none"> 国内の需要がピークの際に、負荷削減、発電増加をさせた需要家に、手数料を付与する。
	Distribution network operator	<ul style="list-style-type: none"> DR のアグリゲーションを通じて、配電網に関するプロジェクトに係る費用の抑制に貢献。
	Capacity Market	<ul style="list-style-type: none"> DR を通じて英国の容量市場に参画。
Commercial Solutions	Optimizing CHP generation	<ul style="list-style-type: none"> 24 時間対応の DR 活用を通じ、CHP の稼働最適化を図る。

出所) Flexitricity ウェブサイト, <https://www.flexitricity.com/en-gb/> より作成

3) Pearlstone Energy³⁴（英国）

Pearlstone Energy では Honeywell 社の有する Automated Demand Response（ADR）の技術を活用し、産業、業務等の建物所有者に対して需要制御に関する多様なプログラムへ参画する機会を提供する。Honeywell 社の ADR 技術は米国、ハワイ、中国、インド、英国において系統負荷の管理のために用いられている。

ADR が適用された需要家は稼働の必要性の低い機器を一時的に停止する。または、スタ

³⁴ Pearlstone Energy ウェブサイトより作成

ンバイ状態の発電機を稼働させる。これにより支払いを受けることが可能である。Pearlstone Energy では Open ADR の技術を用いることにより、デマンドレスポンスを標準化、自動化、簡便化された形態としている。これにより、事業者が増加するエネルギー需要に効率的に対応できるようになると同時に、需要家は将来的なエネルギー利用の管理が可能になる。

Pearlstone Energy では、顧客において必要な技術と管理システムを無料で導入可能である。同社では、デマンドレスポンスによる顧客の建物への影響を最小限に抑えると同時に、デマンドレスポンスにより得られたリソースを高価格で市場に販売する。結果として、顧客においてはエネルギー消費を節約すると同時に、デマンドレスポンス参画による報酬の獲得が可能となる。

Pearlstone Energy は需要家から獲得したデマンドレスポンス資源を英国の送電系統運用者 (TSO) である National Grid のバランシング市場プログラム等に提供している。

3.5.2 米国における電力需給向けデマンドレスポンス活用状況

(1) 米国におけるデマンドレスポンス活用推進の政策的枠組

米国では、連邦エネルギー規制委員会（FERC: Federal Energy Regulatory Commission）においてデマンドレスポンスに係る各種指令や活動が実施されるとともに、政府当局においてデマンドレスポンスに係るプログラムが実施されている。

1) FERC 指令

2011年3月に発令された FERC 指令 745 において、米国のエネルギー市場ではデマンドレスポンス資源に対する支払価格を電源価格と等価とすることが定められた（なお、FERC 指令 745 の合法性については争いがあったが、2016年1月の米国連邦最高裁判所判決において有効性が認められた³⁵⁾）。

その他にも、近時、FERC からはデマンドレスポンスに係る複数の指令が出されており、その概要は表 3-82 のとおりである。

表 3-82 デマンドレスポンスに関する近時の FERC 指令の概要

FERC 指令	概要
150 FERC ¶ 61,007 (2015/1/9)	✓ DR 資源をすべて卸売市場へ統合するという ISO-NE(New England)の提案を承認。
150 FERC ¶ 61,251 (2015/3/31)	✓ DR 資源の容量市場への参画を求める PJM の提案を検討不十分として却下。
152 FERC ¶ 61,064 (2015/7/22)	✓ PJM の容量パフォーマンスイニシアチブにおけるオークションに対して DR が参画できない点に関し、異議を申し立て。

出所) FERC, “Demand Response & Advanced Metering Staff Report, December 2015”,
<https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2015/demand-response.pdf> より作成

2) 大統領令 (Executive Order 13693)

2015年3月19日にオバマ大統領により署名された大統領令である Executive Order 13693: Planning for Federal Sustainability in the Next Decade では、連邦各機関に対して効率と環境性の向上を求めている。本大統領令では建築物のエネルギー性能の向上を要請しており、その方法の1つとして、ライフサイクルで見てコスト効率的なデマンドレスポンス・プログラムへ参加を挙げている。

³⁵ Federal Energy Regulatory Commission v. Electric Power Supply Association et al., 136 S. Ct. 760 (2016).
https://www.supremecourt.gov/opinions/15pdf/14-840_k537.pdf, 2017年3月17日取得

3) デマンドレスポンスに係るプログラム

a. Smart Grid Investment Grant consumer behavior studies

米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）は米国の 10 の電気事業者における需要家行動の研究を支援している。本研究では時間別の電力小売料金の適用に対する需要家反応を調査対象とし、その結果は料金メニューの改善や、事業者の戦略立案等に活用される。

b. 米国防衛省の取組み

米国防衛省は、30 万を超える多種多様な建物からなる施設を保有することから、米国内で最もエネルギーを消費する組織である。このため、米国防衛省は省エネ、効率化に係るプロジェクトに参画するのみでなく、2009 年以降 50 を超えるデマンドレスポンス・プログラムに参画している。

また、米国防衛省では環境分野における研究プログラムを推進しており、その中で直接的、間接的にデマンドレスポンスの活用を支援する取組みを実施している。

c. 米国連邦政府一般調達局の取組み

米国連邦政府一般調達局では、9,624 施設（3 億 7 千万平方フィート以上）を所有、貸与している。また、同局のエネルギー部門では、デマンドレスポンスへの参画を含むエネルギーマネジメントに係る政策、ガイドラインを公表するとともに、関連施設の参画が望まれるデマンドレスポンス・プログラムの特定を支援している。これらの取組みの結果 2015 年 4 月時点で NYISO と PJM エリアの 17 の連邦施設がデマンドレスポンス・プログラムに参画している。

d. 米国退役軍人省の取組み

米国退役軍人省では、1,886 の施設を管理しており、その一部は NYISO のデマンドレスポンス・プログラムへ参画している。同省では施設の持続的可能性を踏まえたデザインに関するマニュアルを公表しており、その中でデマンドレスポンスをオプションの 1 つとして記載している。

e. 米国郵便公社の取組み

米国郵便公社では、合計 32,000 の施設を管理しており、そのうち約 50 の施設でデマンドレスポンス・プログラムへ参画している（2014 年時点）。

(2) 米国各地域におけるデマンドレスポンス・プログラム

1) 北米 ISO/RTO におけるデマンドレスポンス・プログラム

北米電力信頼度協議会 (NERC) が管轄する北米地域の独立系統運用機関 (ISO: Independent System Operator) ・地域送電機関 (RTO: Regional Transmission Organization) (図 3-70) では、表 3-83 のとおり、多様なデマンドレスポンス・プログラムが展開されている。

表 3-83 北米 ISO/RTO におけるデマンドレスポンス・プログラム

ISO/RTO	エネルギー	キャパシティ	予備力	調整力
AESO (Alberta Electric System Operator)	○	○	○	
CAISO (California Independent System Operator)	○		○	
ERCOT (Electric Reliability Council of Texas)	○	○	○	○
IESO (Electric System Operator)	○			○
ISO-NE (New England ISO)	○	○	○	
MISO (Midcontinent ISO)	○	○	○	○
NYISO (New York ISO)	○	○	○	○
PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection)	○	○	○	○
SPP (South West Power Pool)	○		○	○

出所) IRC, 2015 North American Demand Response Characteristics Comparison より作成

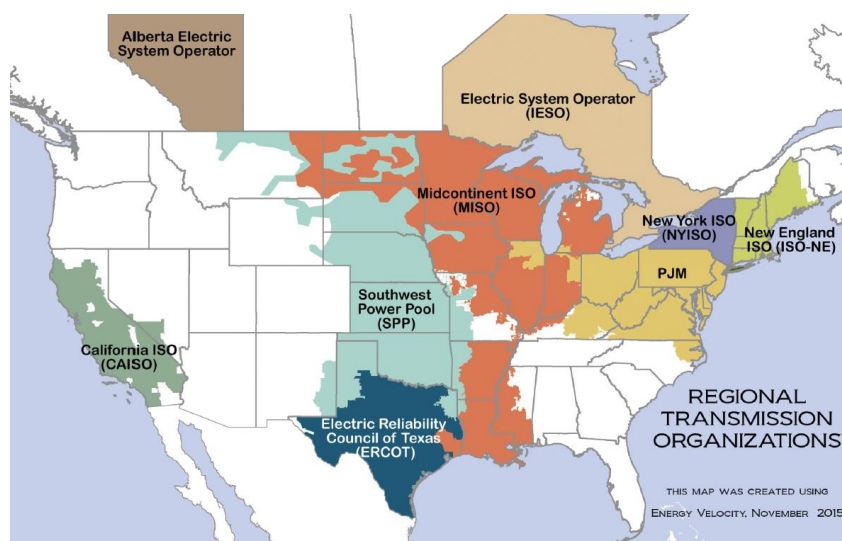


図 3-70 北米 ISO/RTO のエリア

出所) 連邦エネルギー規制委員会 (FERC: Federal Energy Regulatory Commission) ウェブサイト

米国内の ISO/RTO によるデマンドレスポンス・プログラムにおける需要抑制ポテンシャル（2013 年及び 2014 年）は、連邦エネルギー規制委員会（FERC: Federal Energy Regulatory Commission）によると、表 3-84 のとおりである。

全体での 2014 年の需要抑制ポテンシャルは前年から 0.5% 程度増加し 28,934MW であり、ピーク時の需要に対する割合は 6.2% であった。2009 年以降、卸電力市場におけるデマンドレスポンスの需要抑制ポテンシャルは 6% 程度増加したが、ピーク時の需要の増加も同程度であったため、需要に対する抑制ポテンシャルの割合に大きな変化はなかった。

地域別にみると、デマンドレスポンスへの参加は ISO/RTO 7 社のうち、5 社（CAISO、ERCOT、ISO-NE、MISO 及び PJM）で増加した。増加幅が最も大きかったのは MISO（前年比 +560MW）で、次いで PJM（同 +500MW）となっている。

表 3-84 米国 ISO/RTO のデマンドレスポンス・プログラムでの需要抑制ポテンシャル

ISO/RTO	2013 年		2014 年	
	MW ^(注 1)	% ^(注 2)	MW ^(注 1)	% ^(注 2)
CAISO (California Independent System Operator)	2,180	4.8	2,316	5.1
ERCOT (Electric Reliability Council of Texas)	1,950	2.9	2,100	3.2
ISO-NE (New England ISO)	2,100	7.7	2,487	10.1
MISO (Midcontinent ISO)	9,797	10.2	10,356	9.0
NYISO (New York ISO)	1,307	3.8	1,211	4.1
PJM (Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection)	9,901	6.3	10,416	7.4
SPP (South West Power Pool)	1,563	3.5	48	0.1
合計	28,798	6.1	28,934	6.2

注 1) 容量市場。PJM の場合、負荷応答プログラムの 2012-2013 年分入札への active participant の総量である。2013 年の場合、具体的には緊急時 DR³⁶に登録している容量と、経済的 DR と緊急時 DR の両方に登録している DR から経済的 DR³⁷を差し引いた容量が含まれている。

注 2) ピーク時の需要に対する割合

出所) FERC, “Demand Response & Advanced Metering Staff Report, December 2015”,
<https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2015/demand-response.pdf> より作成

2) ハワイ州におけるデマンドレスポンス・プログラム

離島としての特性から電力料金が高く、再生可能エネルギーの利活用が推進されているハワイ州の取組みを以下に示す。

a. 再生可能エネルギーの導入状況

ハワイ州では離島としての特性から石油火力発電が総発電量の 7 割程度が占め、電力料金が米国の他州と比べて 2 倍程度の高額な水準にある。この状況を踏まえ 2008 年にはハワイクリーンエナジーイニシアチブにおいて、石油依存の低減と持続可能なエネルギー資源

³⁶ 緊急時負荷応答プログラム (Emergency Load Response Program) : 系統の信頼性と安定性の確保を目的とした DR プログラム。需給逼迫時に緊急の負荷調整を行う。

³⁷ 経済的負荷応答プログラム (Economic Load Response Program) : 従来型の発電用電源と同様の用途で、系統運用への利用を目的とした DR プログラム。

活用への転換が提唱された。2015年には、「2045年までに電力の100%を再生可能エネルギーから供給する」という目標が示され、太陽光発電を中心とした再生可能エネルギーの導入が進んでいる。

b. 進行中のプロジェクト

太陽光発電の導入に伴い電力供給や電圧の変動が発生することから、ハワイ州では政府機関と民間企業の協力の下、蓄電池の導入プロジェクトが拡大している。一方、デマンドレスポンスについては州内のスマートグリッドに関わるプロジェクトの中で取り入れられている。概要は表 3-85 のとおりである。

これらの取組みのほか、ハワイ州では2016年3月31日に州最大の電力会社であるハワイ電力工業（HECO: Hawaiian Electric Companies）が公益事業委員会に対して、スマートグリッド基金プロジェクト（SGF Project）による資金拠出に関する申請を行った。SGFでは中長期的に消費者がスマートグリッドによる便益を享受するための基礎を築くことである。SGFの取組みの中には、分散型エネルギー資源の最適統合、デマンドレスポンスの活用、時間大別電力料金、リアルタイム電力料金、配電の自動化を含む。

表 3-85 ハワイ州におけるデマンドレスポンス活用型のスマートグリッドプロジェクト

プロジェクト名	概要	実施エリア
DOE Renewable and Distributed Systems Integration (RDSI) Maui Smart Grid Demonstration Project (HNEI, HECO/MECO, General Electric, First Wind)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 分散型発電設備、エネルギー貯蔵、デマンドレスポンスの技術を統合制御する技術を開発。 ✓ DOE から 700 万ドル、産業セクターより 800 万ドルの資金を拠出。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Maui Meadows ✓ Wailea ✓ Maui
JUMPSmart Maui Project (NEDO, Hitachi, Mizuho, Cyber-Defense, US DOE, NREL, HECO/MECO, HNEI, MEDB, Maui County & DBEDT)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 系統への再生可能エネルギーの導入を促進するために、EV の充電と DR を自動化するための技術を開発。 ✓ NEDO が 3700 万ドルを投資。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kihei ✓ Maui
Honeywell Fast Demand Response (HECO, Honeywell)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ エネルギー需給が逼迫した状況下で、10 分以内の応答時間の範囲で重要性が相対的に低い設備を選定するための産業・商業向けプログラム。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Oahu

出所) Hawaii State Energy Office, “Hawaii Energy Facts & Figures May 2016”, http://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2011/10/FF_May2016_FINAL_5.13.16.pdf より作成

c. HECO のデマンドレスポンス・プログラム

HECO では、家庭向けと法人向けに 5 種類のデマンドレスポンス・プログラムを提供している。各々のプログラムの概要は表 3-86、表 3-87 のとおりである。

HECO ではデマンドレスポンス導入の目的の 1 つとして、系統と家庭、法人における再生可能エネルギー導入の拡大を挙げている。特に Fast DR は変動電源である太陽光発電、風力発電の出力の低下に対して、需要家における需要を短時間削減することで対応することを目的としたプログラムである。また、各々のプログラムの特徴を比較すると表 3-88 のとおりである。

表 3-86 HECO の家庭向けデマンドレスポンス・プログラム

プログラム		概要
家庭	Residential Direct Load Control (RDLC) Water Heater (湯沸かし器の負荷制御)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 家庭の湯沸かし器に無料の制御装置を取り付け、ピーク負荷時に起動停止する。 ✓ 1 回あたりの発動時間は 1 時間以内。 ✓ プログラム参加者は制御発動の有無によらず、毎月 3\$ の報酬を獲得可能。 ✓ 34,000 人以上がプログラムに参加し、合計 15MW 以上のピーク需要のコントロールが可能になっている。
	Residential Direct Load Control (RDLC) Air Conditioner (空調の負荷制御)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 家庭のエアコンに無料の制御装置を取り付ける。 ✓ 1 回あたりの発動時間は 1 時間以内。 ✓ プログラム参加者は制御発動の有無によらず、毎月 5\$ の報酬を獲得可能。 ✓ 4,000 人以上がプログラムに参加し、合計 2.5MW 以上のピーク需要のコントロールが可能になっている。

出所) HECO ウェブサイト, <https://www.hawaiianelectric.com/save-energy-and-money/demand-response/residential-solutions> より作成

表 3-87 HECO の法人向けデマンドレスポンス・プログラム

プログラム		概要
法人	Large Commercial and Industrial Direct Load Control (CIDLC) (大規模需要家向けの負荷制御)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 需要家の指定する負荷設備に対して、負荷抑制のための無料の制御装置を取り付ける。 ✓ 1 回あたりの発動時間は 1 時間以内。 ✓ 50kW~5MW の設備がこれまで申請されている。 ✓ プログラム参加者は制御発動の有無によらず報酬の獲得が可能。1 時間を越える発動イベントがあった場合は追加報酬が支払われる。 ✓ 43 の需要家がプログラムに参加し、合計 18.2MW のピーク需要のコントロールが可能になっている。
	Small Business Direct Load Control Program (SBDLC) (小規模需要家向けの負荷制御)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 湯沸かし器と空調に対して、負荷抑制のための無料の制御装置を取り付ける。 ✓ 1 回あたりの発動時間は 1 時間以内。 ✓ 湯沸かし器 1 台あたりで月 5\$、空調 1 トンあたりで月 5 ドルの報酬の獲得が可能。 ✓ 161 の需要家がプログラムに参加し、合計 1MW のピーク需要のコントロールが可能になっている。
	Fast Demand Response (Fast DR)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 需要家において相対的に重要度の低い設備に対して制御装置を取り付け。 ✓ エネルギー需給の逼迫時に、需要家が電力消費量を削減することで報酬を受け取る。 ✓ DR 発動への参加回数が 40 回のプランの場合は 5\$/kW、80 回のプランの場合は 10\$/kW の報酬が獲得可能。 ✓ 本プログラムは再生可能エネルギーの導入拡大に伴う電力系統の不安定化への対策として導入された。

出所) HECO ウェブサイト, <https://www.hawaiianelectric.com/save-energy-and-money/demand-response/business-solutions> より作成

表 3-88 HECO の各プログラムの特徴

	家庭向け		法人向け		
	湯沸かし器	空調	直接負荷の制御	小規模向け	Fast DR
時間枠	24 時間 × 365 日				平日午前 7 時 ～午後 9 時
年間発動 時間の上限	なし		300 時間	300 時間	80 時間
発動期間の 上限	なし				1 時間
年間発動 回数の上限	なし				40 回または 80 回
発動方法	オペレータの手動指示 (Dispatch)、 または、周波数が 60Hz を大きく下回った場合に自動指示 (UFR: Under Frequency Trip)				オペレータの 手動指示 (Dispatch)
インセン ティブ	3\$ / 月	5\$ / 月	Dispatch: 5\$ / kW Dispatch / UFR: 10\$ / kW	空調: 5\$ / ton / 月 湯沸かし器: 5\$ / kW / month	40 回: 5\$ / kW 80 回: 10\$ / kW
発動通知の タイミング	通知なし	通知なし	DR 発動 1 時間前	通知なし	DR 発動 10 分前

出所) HECO ウェブサイト, <https://www.hawaiianelectric.com/save-energy-and-money/demand-response/benefits>
より作成

3) その他の取組み

a. 電力会社によるスマートサーモスタット導入プログラムの事例

米国の電力会社 Kansas City Power & Light (以下 KCP&L) は、ミズーリ州において、電力供給コストの削減のため、需要家にサーモスタットを無料で提供し、冷暖房の省エネ・ピークカットを行ってもらうプログラムを実施している(表 3-89)。

2005年に開始された「エネルギー最適化プログラム(Energy Optimizer Program)」の枠組みでは、Honeywell社製のサーモスタットを提供した。2016年以降は、家庭に対して「KCP&Lサーモスタットプログラム」の枠組みで、Nest社製のサーモスタットを提供している。本プログラム参加者は、「ラッシュアワー報酬(Rush Hour Rewards)」プログラムに参加し、よりスマートな利用によって報酬を得ることもできる³⁸。

表 3-89 電力会社によるスマートサーモスタット導入プログラムの事例

プログラム名	時期	対象	プログラムの概要
エネルギー最適化プログラム	2005～2015	Honeywell Programmable Thermostat	<ul style="list-style-type: none"> 家庭需要家は、Honeywell サーモスタット(希望小売価格\$300)を無料で自宅に設置可能。 Honeywell サーモスタットを設置した家庭は、暖房と冷房のコストの約 20%削減と、6月から9月にかけてピーク時のエネルギー消費量削減が期待される。 3年プログラムの最初の2年間で、目標 13,000台を上回るサーモスタットを設置。
KCP&L サーモスタットプログラム	2016～	Nest Learning Thermostat	<ul style="list-style-type: none"> 家庭需要家は、Nest サーモスタット(希望小売価格\$249)を無料で受け取り、メンテナンスサービスを受けることが可能。 Nest サーモスタットは人工知能で家に人がいる時間帯を学習し、好みの温度になるように調整する機器。 プログラムは3年間であり、終了するまではKCP&LがNest サーモスタットの所有権を持つ。3年後、需要家が毎年プログラムに登録したままにすると、無料でメンテナンスサービスを受け続けることが可能。
ラッシュアワー報酬プログラム			<ul style="list-style-type: none"> 省エネのみでなく、よりスマートに利用することで報酬が得られる。 「エネルギーラッシュアワー」(夏の午後等)のあいだ需要を低下させることで、KCP&Lから年間\$20～\$60の支払いが期待される。 Nest サーモスタットが事前に自動的に自宅を冷やすことによって、需要家はラッシュアワー期間にエネルギーの使用を避けることができる。需要家が自宅にいるとき、Nestは数度以上の温度上昇をさせないように制御する。一方で、需要家はいつでも気温設定を変更することができる。

出所) KCP&L ウェブサイト, <https://kcpl.com/save-energy-and-money/for-home/upgrade-your-home/thermostat> 及び nest ウェブサイト, <https://nest.com/legal/energy-partner/kcpl/>より作成

³⁸ P178 の Nest 社の取組みも参照。

b. Community Choice Aggregation とデマンドレスポンス

ア) Community Choice Aggregation の概要

米国の Community Choice Aggregation (CCA) は、市郡（地方自治体等）が代表して地域内の家庭やビジネス、公共施設用の電力需要を購入する仕組みである。マサチューセッツ州、ニューヨーク州、オハイオ州、カリフォルニア州、ニュージャージー州、ロードアイランド州、イリノイ州で、CCA を認める州法が採択された。

CCA の主体となるのは、市郡によって設立された非営利の電力事業者である Marin Clean Energy の CCA 事例を図 3-71 に示す。CCA は地域の電力需要を束ね、電力会社に対する交渉力を高めることによる電気料金の削減だけでなく、デマンドレスポンス・プログラムを提供する場合もある。コミュニティ構成員の希望に応じて再生可能エネルギー発電による電力を選択するといった動きも見られる。

CCA 管轄内にある全ての家庭は、明示的に拒否しない限り、自動的に CCA プログラムに登録されてサービスを受けなければならない。なお、CCA は CCA 管轄内の非家庭需要家にサービスを提供することもできる。

また、カリフォルニアにおける CCA と民間電力会社の役割を表 3-90 に示す。CCA は発電の役割を担い、民間電力会社と連携して電力供給を行う。

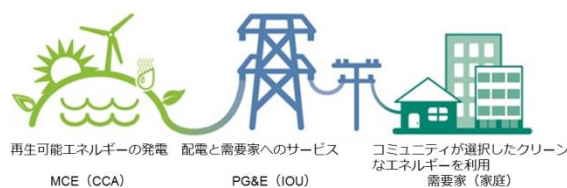


図 3-71 Marin Clean Energy の CCA 事例

出所) Marin Clean Energy ウェブサイト, <https://www.mcecleanenergy.org/rates/>より作成

表 3-90 CCA と民間電力会社 (IOU) の役割・担当

役割	担当	プログラムの概要
発電	CCA	<ul style="list-style-type: none"> CCA 自ら発電又は発電事業者等と電力購入契約を結ぶ。
送電	IOU (CAISO)	<ul style="list-style-type: none"> IOU は送電機能の所有・維持を行う。 運営管理は CAISO に移譲されている。
配電	IOU CCA	<ul style="list-style-type: none"> IOU は配電線の所有及び運営を継続し、需要家に確実・安全に電力を供給する責任がある。 以下の役割については IOU が担当する。 メータリングサービス メータの読み取りとデータ収集サービス 請求及び支払サービス 需要家対応及びアカウントメンテナンス 電力供給については IOU・CCA が連携して行う。

出所) SCE, "The CCA Handbook, A Guide to Conducting business with Southern California Edison under Community Choice Aggregation", 2015 より作成

イ) CCA におけるデマンドレスポンスへの取組

カリフォルニアにおける 6 つの代表的な CCA について、デマンドレスポンス (DR) への取組の有無を、表 3-91 に示す。CCA の主体として示される以下 6 つは、カリフォルニア CCA と呼ばれる非営利事業者団体を構成している。Sonoma Clean Power、Lancaster Choice Energy、Clean Power San Francisco、Silicon Valley Clean Energy はデマンドレスポンス・プログラムの活用に積極的である。民間電力会社によるデマンドレスポンス・プログラムに加え、Sonoma Clean Power と Silicon Valley Clean Energy は独自のデマンドレスポンス・プログラムを持ち、参加者を募集している。

表 3-91 CCA によるデマンドレスポンスへの取組

CCA の主体	設立年	サービスエリア	対応する 民間電力会社	DR への取組み
Marin Clean Energy (MCE)	2010 年	マリン郡、ナパ郡、コントラコスタ郡とソラノ郡の一部	PG&E	・ MCE の需要家は PG&E のプログラムに参加する資格があるにもかかわらず、DR プログラムを管理しない。
Sonoma Clean Power (SCP)	2014 年	ソノマ郡	PG&E	・ 従来のエネルギー効率化プログラムよりも、スマートグリッドの DR やマイクログリッド活動に着目。 ・ PG&E の DR プログラムだけでなく SCP 独自の DR プログラムがあり、参加者を募集している。
Lancaster Choice Energy (LCE)	2015 年	ランカスター郡	SCE	・ 電力使用量を管理し、費用を削減する意欲を示す需要家に対し、SCE の DR プログラムを展開する予定。
Clean Power San Francisco (GPSF)	2016 年	サンフランシスコ郡	PG&E	・ エネルギー効率化と DR のパイロットプログラム開発を開始する。
Peninsula Clean Energy	2016 年	サンマテオ郡	PG&E	・ 不明
Silicon Valley Clean Energy (SVCE)	2017 年	サンタクララ郡	PG&E	・ 従来の供給オプションに加え、需要側のエネルギー効率化、分散電源、DR プログラムを最大限活用することに注力。 ・ PG&E の DR プログラムだけでなく SVCE 独自の DR プログラムがあり、参加者を募集している。

出所) Sonoma Clean Power, “Sonoma Clean Power Community Choice Aggregation Implementation Plan and State of Intent (Second Revised and updated)”, 2016 及び Lean Energy, “The potential for Community Choice Energy in the heart of Silicon Valley”, 2015, Lancaster Community Choice Aggregation, “Community Choice Aggregation Implementation Plan”, 2014 及び Peninsula Clean Energy, <http://www.peninsulacleanenergy.com/> 及び Silicon Valley Clean Energy, “Community Choice Aggregation Implementation Plan and State of Intent”, 2016 より作成

3.5.3 米国カリフォルニア州における電力需給向けデマンドレスポンス活用状況

本項では、再生可能エネルギーの普及が進むカリフォルニア州に特に注目し、再生可能エネルギー大量導入時における系統対策オプションとしてのデマンドレスポンスやエネルギー貯蔵の可能性等について検証した。

特に、カリフォルニア州のデマンドレスポンスやエネルギー貯蔵に関連する制度やビジネスの実態を調査することで、再生可能エネルギー大量導入時の系統対策オプションとして有効に機能しているかを検証し、今後我が国における制度設計の検討を行っていく上で有益な示唆を得ることを目的として、2017年1月に海外訪問調査を実施したため、当該訪問調査の結果も踏まえた考察を行った。

海外訪問調査の訪問先は、規制機関、系統運用者、電力会社、デマンドレスポンス事業者・関連インフラメーカー、需要家、研究機関といった各ステークホルダーより、表 3-92 のとおり 11 件を選定した。なお、各ステークホルダーおよび訪問先の関係は図 3-72 に示すとおりである。

表 3-92 海外訪問調査訪問先一覧

属性	訪問先
規制機関	カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC: California Public Utilities Commission)
系統運用者	California Independent System Operator (CAISO)
電力会社	San Diego Gas & Electric (SDG&E)
DR 事業者、 関連インフラメーカー	OhmConnect: エアコン等家電制御、住宅向け EcoFactor: エアコン等家電制御、住宅向け Nest: エアコン等家電制御、住宅向け Stem: 蓄電池制御、非住宅向け SolarCity: PV・蓄電池等制御、住宅向け eMotorWerks: EV 充電器制御
需要家	Eastern Municipal Water District (EMWD)
研究機関	ローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory)

出所) 三菱総合研究所作成

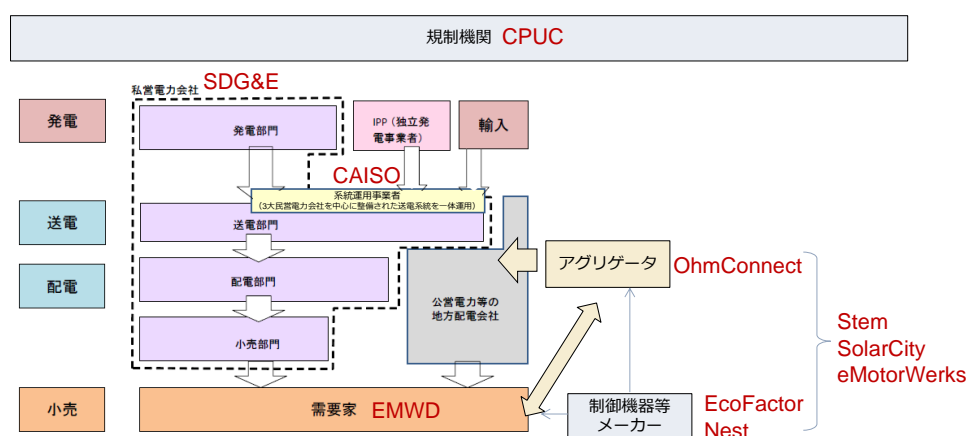


図 3-72 各ステークホルダー・訪問先の関係図

出所) 三菱総合研究所作成

(1) 米国カリフォルニア州におけるデマンドレスポンス関連政策の動向

1) カリフォルニア州における電力供給の概要

a. 電力会社と系統運用機関

カリフォルニア州には、主な民間電力会社（IOU: Investor Owned Utilities）として、Pacific Gas & Electric (PG&E)、Southern California Edison (SCE)、San Diego Gas & Electric (SDG&E) の3社が存在する（以下、総称して3大民間電力会社という）。各社のサービスエリアを図 3-73 に示す。また、独立系統運用機関である California Independent System Operator (CAISO) が、カリフォルニア州の約 8 割およびネバダ州の一部地域の系統運用を担う。CAISO の管轄エリアを図 3-73 に示す。



図 3-73 カリフォルニア州における電力会社のサービスエリア

出所) California Energy Commission ウェブサイト,

http://www.energy.ca.gov/maps/serviceareas/Electric_Service_Areas.pdf より作成



- 電源容量：60GW
- 最大需要：50GW
- 送電線延長：2.6 万マイル（4.2 万 km）
- 年間電力量：260TWh/年

図 3-74 CAISO の管轄エリア

出所) CAISO”The ISO grid”および FERC”Electric Power Markets: California (CAISO)”,

<https://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-electric/california.asp> より作成

b. 電源構成

カリフォルニア州の電源構成は図 3-75、図 3-76 のとおりであり、天然ガス火力が電源構成の中心である。近年では、大規模水力を除く再生可能電源の成長が著しく、特に風力発電と太陽光発電が急増しており、2015 年における再生可能電源のシェアは発電電力量比で約 30%に達している。

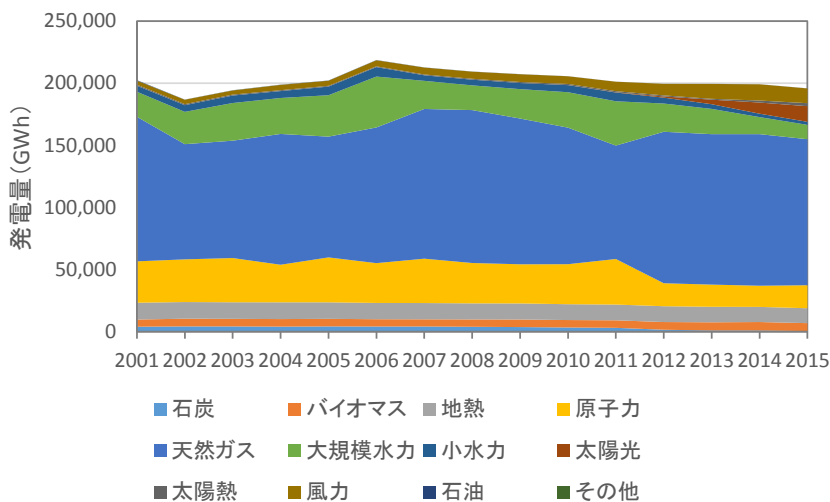


図 3-75 カリフォルニア州の発電量構成

注) 1MW 未満の電源（屋根置き太陽光発電、小規模分散型電源等）は含まず。また、州内の発電に限る。

出所) カリフォルニア州エネルギー諮問委員会（CEC: California Energy Commission）統計，
http://www.energy.ca.gov/almanac/electricity_data/ より作成

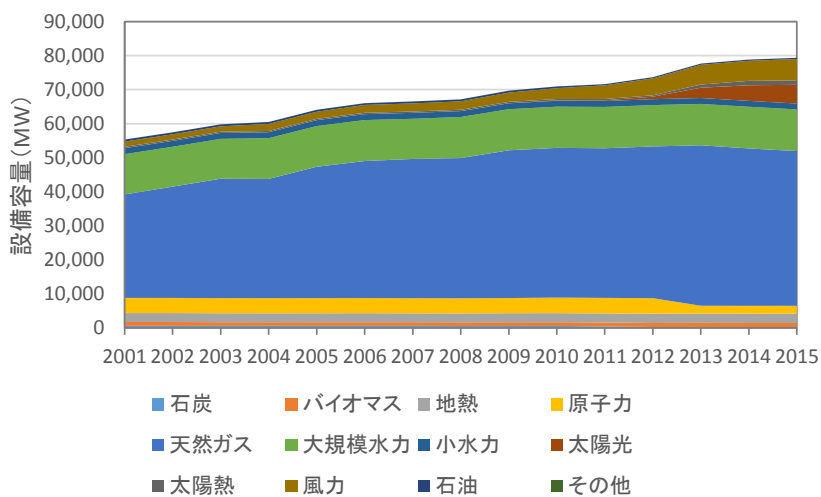


図 3-76 カリフォルニア州の設備容量構成

注) 1MW 未満の電源（屋根置き太陽光発電、小規模分散型電源等）は含まず。また、州内の設備に限る。

出所) カリフォルニア州エネルギー諮問委員会（CEC: California Energy Commission）統計，
http://www.energy.ca.gov/almanac/electricity_data/より作成

c. 再生可能エネルギー導入状況

カリフォルニア州の再生可能エネルギー利用割合基準（RPS: Renewable Portfolio Standard）における再生可能電源の導入目標と、目標に向けた民間電力会社の導入量の見通しを図 3-77 に示す。カリフォルニア州公益事業委員会（CPUC）は、RPS の達成状況として、2016 年後半に民間電力小売業者の 2016 年の再生可能エネルギー導入 25%の達成を見込んでおり、さらに、2020 年に導入 33%も達成可能と予測している。

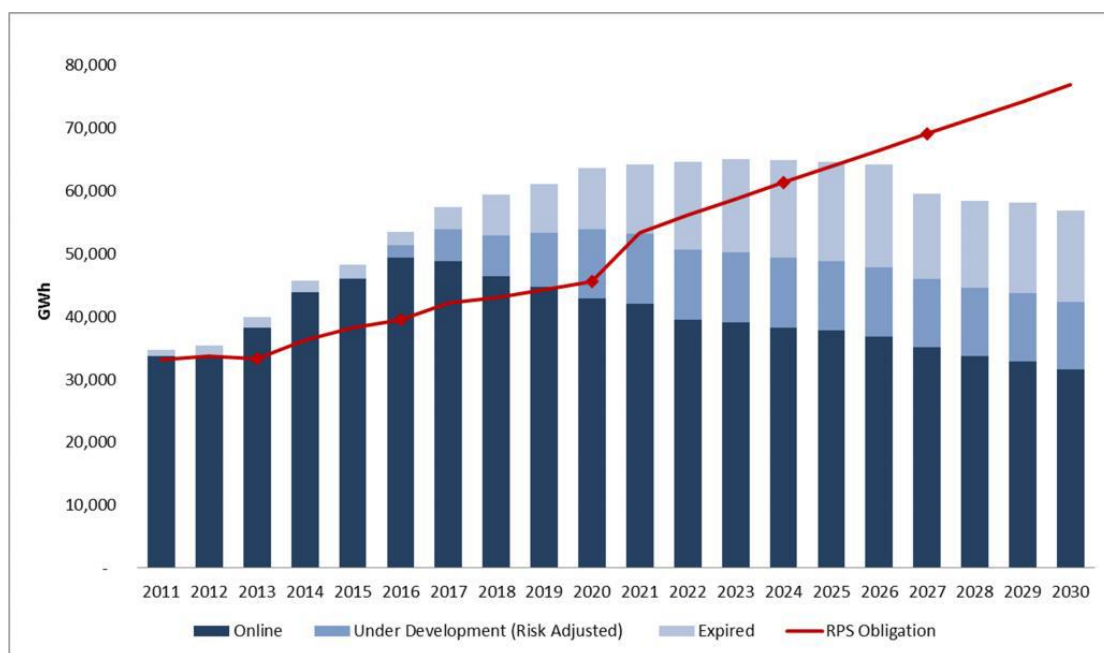


図 3-77 カリフォルニア州民間電力会社の再生可能エネルギー導入推移及び予測値

出所) カリフォルニア州公益事業委員会（CPUC），“RPS Quarterly Report/ 4th Quarter 2016”，2016 より作成

2) カリフォルニア州における再生可能エネルギーの系統インテグレーション対策

カリフォルニア州では、再生可能エネルギー利用割合基準（RPS: Renewable Portfolio Standard）によって、州内の電力販売量に占める再生可能エネルギーの比率目標が 2020 年までに 33%、2030 年までに 50%と設定されている。

再生可能エネルギーの普及拡大に伴う課題および対策に関して、例えば以下のような分析が行われている。

a. 2020 年スタディー（CAISO）

CAISO が実施した 2020 年までの分析によると、太陽光発電等の再生可能エネルギーの更なる普及拡大に伴い、「ダックカーブ」の出現が見込まれている。ダックカーブとは、系統負荷が朝方から日中にかけて落ち込み、その後夕方から日没にかけて急増する現象である。

負荷曲線がアヒル（Duck）の姿に見えることから、ダックカーブ（Duck Curve）と呼ばれている（図 3-78）。

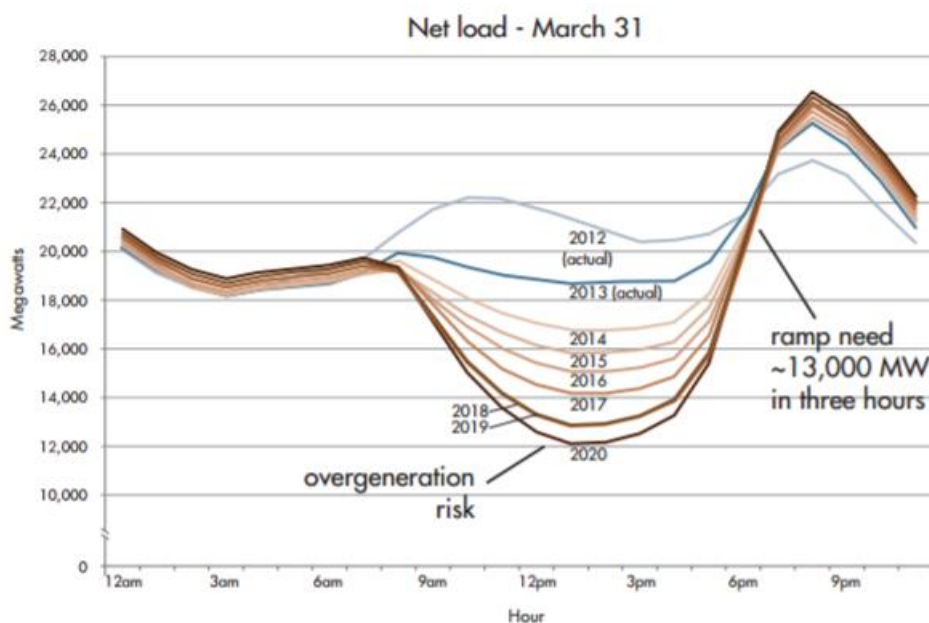


図 3-78 ダックカーブの発生推移及び予測値

出所) CAISO, “FAST FACTS : What the duck curve tells us about managing a green grid”,
https://www.caiso.com/Documents/FlexibleResourcesHelpRenewables_FastFacts.pdf, 2016

これに伴い、朝夕における系統負荷の急峻な増減（ランプ変動）、昼間の軽負荷時における過剰発電、自動周波数調整能力の減少等の課題が見込まれ、それらへの対応として、例えば以下の機能を有する柔軟な資源が重要とされている。

- 増加方向もしくは減少方向のランプ変動の維持
- 一定期間の応答継続
- ランプ方向の素早い変更
- エネルギー貯蔵もしくは使用変更
- 迅速な反応および運用レベルの確実性
- ゼロもしくは低負荷領域からの通知後短時間での動作開始
- 日内での複数回の動作開始・停止
- 動作能力の正確な予測

b. 2024年40%スタディー（CAISO）

CAISO では、2024年に再生可能エネルギー比率40%を実現するためのシナリオ分析「No Renewable Curtailment Sensitivity Cases Studies」を2015年に実施している。

本分析によると、柔軟性のあるエネルギー資源の増加のみでは安定的な系統運用を行うことは困難であり、表 3-93 に示すような対策オプションの検討が必要とされている。

表 3-93 再生可能エネルギー比率 40%実現に向けて必要となる対策オプション

分野	解決策
負荷の変更	<ul style="list-style-type: none"> ・ 時間帯別料金の改善 ・ エネルギー効率の目標 ・ 輸送燃料の脱炭素化 ・ デマンドレスポンス
供給の変更	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー貯蔵 ・ 再生可能エネルギーの多様化したポートフォリオ ・ 再生可能エネルギーの経済的ディスパッチ ・ 柔軟性向上のための既存発電所の改良
地域的な協力	<ul style="list-style-type: none"> ・ CAISO のインバランス市場への他地域の電力需給調整機関の参加および CAISO の事業規模拡大による地域協力の深化

出所) CAISO, “Report of the No Renewable Curtailment Sensitivity Cases Studies”, 2015 より作成

c. 2030 年 50%スタディー (CAISO) ³⁹

再生可能エネルギーの割合を 2030 年までに 50%に引き上げる等の目標を定めた州法 (Senate Bill No. 350) による要求を受けて、CAISO では同州法が市場に与える影響分析「Senate Bill 350 Study」を 2016 年に実施している。

本分析では、CAISO のシステムをロッキー山脈東部の北米西部連系系統である WECC (Western Electricity Coordinating Council) 全域に広げ、再生可能エネルギーを広域で導入・活用することで、目標を達成できる可能性が示されている。

d. 電力システムの柔軟性向上スタディー (NREL)

国立再生可能エネルギー研究所 (NREL: The National Renewable Energy Laboratory) では、米国のカリフォルニア州、フロリダ州、SPP (Southwest Power Pool)を対象として、出力の変動する再生可能エネルギーの導入に対する電力システムの柔軟性向上策に係る分析「Impact of Flexibility Options on Grid Economic Carrying Capacity of Solar and Wind: Three Case Studies」を 2016 年に実施している。

同分析では、電力システムの柔軟性を向上する選択肢の便益を、経済的供給容量および電力システムコストで定量化している。予測改善および電力システムの運用改善は既存のオプションとしつつ、柔軟性向上に係るオプションとして、以下の要素が扱われている。

- デマンドレスポンス：いわゆるデマンドレスポンスと需要シフト
- エネルギー貯蔵：蓄電池の充放電による需要シフト、運用予備力
- 太陽光発電もしくは風力発電からのリザーブ供給：従来電源によるスピニング・リザーブを低減して下げ代を大きくするための太陽光発電、風力発電の出力抑制運用
- ガス複合火力および石炭火力の最低負荷の低減
- 連系エリア間の運用高度化：連系運用のための最小価格差の撤廃および集中型の運用予備力最適化
- 電力のエリア外輸出：抑制せざるを得ない電力の現行送電容量内での域外輸出

³⁹ CAISO, “Senate Bill 350 Study: The Impacts of a Regional ISO-Operated Power Market on California”, 2016; “SB 350 Study: The Impacts of a Regional ISO-Operated Power Market on California-Analysis and Results”, 2016

- 出力の変動する再生可能エネルギーのエリア間配置と送電線増強

カリフォルニア州を分析対象とした、ガス価格\$5.2/MMBTU、炭素価格\$50/ton の場合における太陽光発電とデマンドレスポンスの価値に係る分析結果を図 3-79、図 3-80 に示す。

太陽光発電の価値は、太陽光発電のシェア拡大に伴い低下する。現状趨勢ケース（図中 Base）では、太陽光発電のシェアが 17%となった時点で、太陽光発電の価値は\$50/MWh（2020年時点の太陽光発電の推定コスト）を下回る。これに対して、2020年までにカリフォルニア州で計画されている柔軟性向上に係る取組みを加味したケース（図中 Increased Operational Flexibility）では、経済的供給容量は大きく増加し、カリフォルニア州における電力システムコストは大幅に低下する。

デマンドレスポンスの更なる展開は、中間期におけるシフト可能な需要の量が限られるため、経済的供給容量の大幅な増加にはつながらないが、電力システムコストの大幅な低減に寄与する。

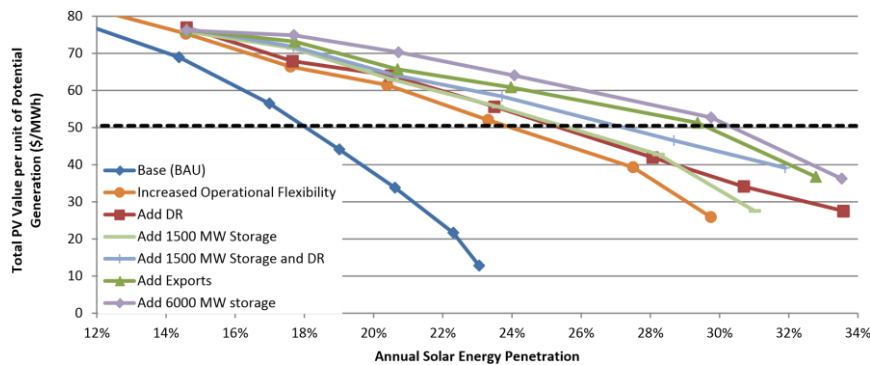


図 3-79 太陽光発電のシェアと価値との関係

出所) NREL, "Impact of Flexibility Options on Grid Economic Carrying Capacity of Solar and Wind: Three Case Studies", 2016

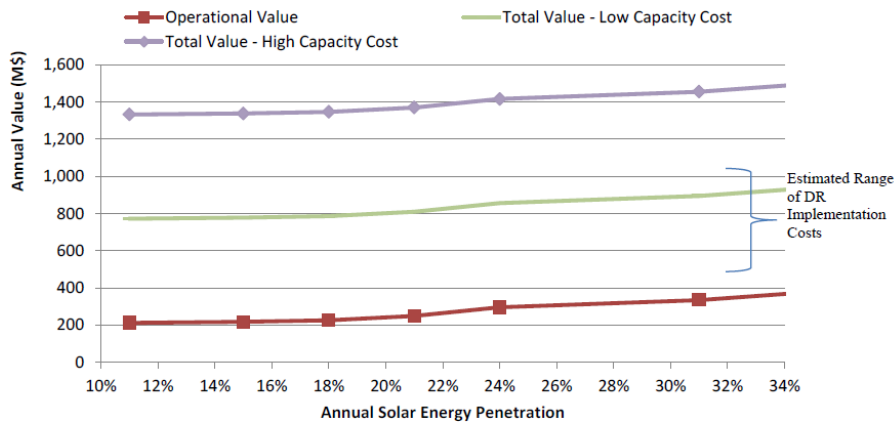


図 3-80 太陽光発電のシェアとデマンドレスポンスの価値との関係

出所) NREL, "Impact of Flexibility Options on Grid Economic Carrying Capacity of Solar and Wind: Three Case Studies", 2016

3) カリフォルニア州におけるデマンドレスポンスに関する政策

a. カリフォルニア州におけるデマンドレスポンスに係る政策の歴史

ア) 3 大民間電力会社による従来型のデマンドレスポンス

カリフォルニア州では、異常気象の増加や 2000 年～2001 年に起こった電力危機を契機に、CO₂ 排出削減とともに電力供給安定性が重視され、「エネルギー行動計画 2003」が策定された。この中で、電源の優先順位 (loading order) が定められており、デマンドレスポンスと省エネルギーは優先的資源 (preferred resources) とされている。また、カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC) は、3 大民間電力会社のピーク需要削減に資するデマンドレスポンスの割合として、2007 年に 5% という目標を掲げた。

このように、デマンドレスポンスは需要増加に対する電源増強への代替策として CPUC に認識されていたが、2006 年の熱波によりさらに様々な促進策が強化された。CPUC は、2006～2008 年のデマンドレスポンス・プログラムとして総額 2 億 6,200 万ドルを認可し、熱波による緊急時に発動する緊急・信頼性プログラムや、価格や気温に応じて需要を削減する価格連動プログラム等が実施された。また、自動デマンドレスポンス (Auto DR)、持続的負荷シフト (Permanent Load Shifting: PLS)、アグリゲータを活用した長期デマンドレスポンス契約等のプログラムが行われた。

また、ピーク需要の主要因である夏期の空調需要対策として、PG&E によるエアコン・サイクリング・プログラムの導入や、SCE による既存のエアコン・サイクリング・プログラムの倍増等が進められた。同時に、CPUC は、3 大民間電力会社に対して、短時間ごとの需要を把握できる高機能な電力メータを、全ての家庭および小規模商業需要家に導入するためのビジネスケースを開発することを認めた。

これらのデマンドレスポンス・プログラムを進めるため、CPUC は以下に示すようなルールを策定した⁴⁰。

- 様々なデマンドレスポンス・プログラムにおける需要削減評価のプロトコル開発 (Decision 08-04-050 : 2008 年 4 月)
- デマンドレスポンス・プログラムの費用対効果を評価するプロトコル開発 (Decision 10-12-024 : 2010 年 12 月)
- 緊急時発動プログラムから価格連動プログラムへの移行のための合意 (Decision 10-06-034 : 2010 年 6 月)

イ) CAISO 市場へのデマンドレスポンスの直接参画

連邦では 2008 年に連邦エネルギー規制委員会 (FERC: Federal Energy Regulatory Commission) が、ISO の市場へのデマンドレスポンスの直接参画を可能にするために料金メニューを改編するよう、FERC 指令 719 を発令した。

これを受けてカリフォルニア州では、2010 年に CPUC が Decision 10-06-002 を発出し、CAISO の卸売市場にデマンドレスポンスが直接参加するためのルール策定を開始した。需

⁴⁰ 参照) ORA California ウェブサイト, <http://www.ora.ca.gov/general.aspx?id=1422>, 2017 年 1 月 11 日取得

要家の保護や財務責任等の問題を解決するために関係者間でワークショップを行い、Rule 24/Rule 32⁴¹が策定され、2012年にDecision 12-11-025で採択された。

他方、CAISOはFERC指令719に準拠するため、2つの卸売市場向けプロダクト、Proxy Demand Resource (PDR)とReliability Demand Response Resource (RDRR)を開発した。PDRは2010年にFERCの承認が得られ、CAISOのエネルギー市場およびアンシラリー・サービス市場にデマンドレスポンスが直接参加できるようになった。また、従前よりParticipating Loadというプロダクトもあり、こちらもCAISOのエネルギー市場およびアンシラリー・サービス市場に直接参加可能なデマンドレスポンスである。この二者の主な違いは、Participating Loadは需要を削減する主体が直接参加するが、PDRはデマンドレスポンス・プロバイダーが仲介する点である。また、PDRはFERC指令745に準拠するデマンドレスポンスの純便益テスト⁴²の対象となっている。CAISOの2015年アニュアルレポートによれば、2015年にCAISO市場へ参加したParticipating Loadはカリフォルニア州水資源省(California Department of Water Resources)のみであったとのことである。

ウ) 3大民間電力会社中心モデルからの転換

上記のとおり、デマンドレスポンスはCAISO市場へ直接参加可能になったものの、その大部分は3大民間電力会社のプログラムによるもので、サードパーティが直接参加する割合は非常に小さかった。

2013年5月、CPUCのスタッフはレポートを発表し、3大民間電力会社のうちのSCEとSDG&Eが2012年夏期に行ったデマンドレスポンス・プログラムの運用や成果について、問題提起した。SCEやSDG&Eは、ピーク需要対応にデマンドレスポンス・プログラムよりも火力発電プラントを活用しており、デマンドレスポンス・プログラムを十分に利用していないとの内容であった。これは、電力会社の需要家からの料金に含まれているプログラム資金が無駄に使われていることを意味する。

このような動きから、3大民間電力会社が中心のモデルから、サードパーティが直接参画するモデルへの転換が求められるようになった。

b. カリフォルニア州における現在のデマンドレスポンスに係る政策

2013年9月、CPUCは、州の資源計画ニーズと運用要件を満たすためのデマンドレスポンスの役割強化を図るために、規則策定命令(OIR: Order Instituting Rulemaking) Rulemaking 13-09-011を発令した。これは、既存のデマンドレスポンス・プログラムを2種類に分けて、CAISOの卸売市場への参画拡大を目指すものであり、以下の5つを目的としている。

- (1). 既存のデマンドレスポンス・プログラムを、需要側資源(需要家に焦点を当てたプログラムおよび料金制度)と供給側資源(システム計画と運用要件を満たすような、信頼性があり柔軟なデマンドレスポンス)に分類するためのレビューおよび分析
- (2). 供給側デマンドレスポンス資源を適切な競争条件で調達するためのメカニズム創出

⁴¹ Rule 24はPG&EとSCEが対象、Rule 32はSDG&Eが対象となっている。

⁴² デマンドレスポンスの便益が費用を上回る閾値を、毎月、CAISOが前年の実績データに基づき決定し、FERCへ提出する。この閾値を上回ると、デマンドレスポンス資源への支払価格が電源価格と等価となる。

- (3). プログラムの認可と予算のサイクルの決定
- (4). 移行期間のためのガイダンスの提供
- (5). カリフォルニア州における将来のデマンドレスポンス戦略のために、他の法令との調整や他機関との協調を目的とするロードマップの開発および認可

上記の手続きを進めるため、2013年11月にCPUCのコミッショナーと行政法審判官が発出した文書（Ruling and Scoping Memo）によって、以下に示す4つのフェーズが設置され、各種の検討が進められている。

ア) フェーズ1：2015～2016年のデマンドレスポンス・プログラム

デマンドレスポンス・プログラムに対する資金提供は3年サイクルで行われているが、CPUCでは2017年のサイクルを承認するのに先立って、デマンドレスポンス・プログラムの設計改善に係る取組みが行われた。

2014年1月、CPUCはDecision 14-01-004において、3大民間電力会社が運営する2015～2016年のデマンドレスポンス・プログラム向けのつなぎ資金の継続を保証する一方で、CPUCはそのレビューと分析を行い、カリフォルニアの資源計画ニーズと運用要件を満たすためにデマンドレスポンスの役割を強化することとした。同2014年1月、CPUCは電力会社に対して、2015～2016年のデマンドレスポンス・プログラムの改善提案について、以下の要件を示した。

- デマンドレスポンス・プログラムのパフォーマンスまたは利用可能性または柔軟性を改善すること。
- デマンドレスポンス・プログラムの改善提案は、設計機能、運用、調整、通信に係る取組みに焦点を絞ることはできるが、データに基づく論拠を含めること。
- 予算上限は2013～2014年の予算に制限される。
- 費用対効果分析の算定条件に何らかの変更を加える場合、Decision 12-04-045に基づき改訂された費用対効果の分析を含めること。
- デマンドレスポンス・プログラムの変更は、90日以内に実施可能であり、2014年12月31日までに実施すること。

その後、2014年5月に、CPUCが発行したDecision 14-05-025によって、3大民間電力会社が運営する2015～2016年のデマンドレスポンス・プログラムが承認された。各社の予算は表3-94のとおりである。

表 3-94 2015～2016年における3大民間電力会社のデマンドレスポンス予算

電気事業者	予算
SCE	172,307,062ドル
PG&E	100,673,133ドル
SDG&E	39,872,607ドル

出所) CPUC, "Decision 14-05-025", 2014年より作成

イ) フェーズ2：政策指針

フェーズ2では、下記の事項を含む基本的な政策課題に対する取組みが行われた。

- デマンドレスポンスに係る戦略を、需要側資源と供給側資源に分岐することの要否の判断
- 供給側デマンドレスポンス資源に対する競争的な調達メカニズムの作成
- プログラムおよび資金循環の承認
- 移行期間に係る指針の提供
- CPUC の他の手続きおよび州機関と連携した戦略的ロードマップの作成

2014年3月、CPUCはDecision 14-03-026において、CPUCの規制下にあるデマンドレスポンス・プログラムを、負荷修正資源（Load Modifying Resources）と供給側資源（Supply Resources）へと分岐することを決定した（表 3-95）。これにより、デマンドレスポンスの効率を向上させ、全てのデマンドレスポンス・プログラムの利用を増やすことを目指しており、2017年のデマンドレスポンス・プログラムより分岐を開始するとの予定が示された。

同 Decision では、表 3-95 に示すとおり、既存のデマンドレスポンス・プログラムを分類する提案もなされた。しかしながら確定には至らず、表 3-95 の分類を出発点として将来的に議論していくこととされた。

表 3-95 デマンドレスポンス・プログラムの分類

	負荷修正資源 (Load Modifying Resources)	供給側資源 (Supply Resources)
概要	負荷曲線の形状変化(reshape)または削減を行うもの。	供給側資源: CAISO エネルギー市場に統合されるもの。
該当する既存のデマンドレスポンス・プログラム(提案)	Critical Peak Pricing (GPP) Time of Use (TOU) Rates Permanent Load Shifting (PLS) Real Time Pricing (RTP) Peak Time Rebate (PTR)	Aggregator Managed Programs (AMP) Demand Bidding Program (DBP) Capacity Bidding Program (CBP) Air Conditioner (AC) Cycling Agricultural Pumping Interruptible(API) Base Interruptible Program (BIP)

出所) CPUC, "Decision 14-03-026", 2014 より作成

2014年4月には、3大民間電力会社が運営するデマンドレスポンス・プログラムの原資の配分・回収、化石燃料焼き非常用発電機のデマンドレスポンス資源としての扱い、デマンドレスポンス・プログラムの費用対効果といった、未解決である基礎的な課題に対処するためのルール(Decision 14-12-024)がCPUCより発表され、本ルールにおいて、Demand Response Auction Mechanism (DRAM) の創設が提案された。

その後、2014年12月にCPUCはDecision 14-12-024において、デマンドレスポンス・プログラムの原資、化石燃料焼き非常用発電機の扱いについて、以下のとおり決定した。

- 全需要家が利用可能なデマンドレスポンス・プログラムについては全需要家が負担し、自由化対象需要家のみが利用可能なプログラムについては自由化対象需要家のみが負担する。
- 化石燃料焼きの非常用発電機は、小売事業者に対する供給力確保義務である Resource Adequacy (RA)⁴³を目的としたデマンドレスポンス・プログラムにおいてはデマンドレスポンス資源として認めるべきではない。

⁴³ 小売事業者に対して、自社想定需要の115%相当の供給力確保を義務付ける制度。必要量の90%を前年までに、さらに必要量の100%を前月までに確保する必要がある。

ウ) フェーズ 3 : プログラム設計

CPUC において、Resource Adequacy (RA)、CAISO の市場統合コスト、供給側リソースおよび負荷修正リソース、将来のデマンドレスポンス・プログラム予算に関連する目標が検討されている。

エ) フェーズ 4 : デマンドレスポンス・ロードマップ

フェーズ 3 に係る課題が解決された後に、CPUC の他の手続きおよび州機関と連携してデマンドレスポンスに係るロードマップを作成する予定となっている。

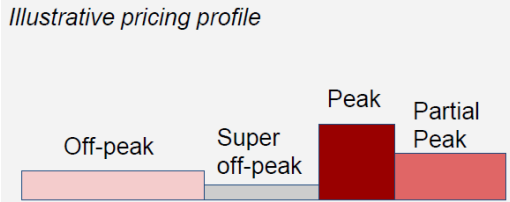
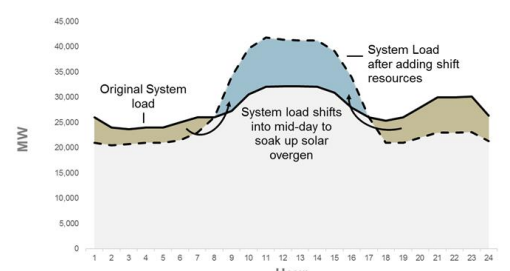
4) カリフォルニア州におけるデマンドレスポンス・ポテンシャルの分析

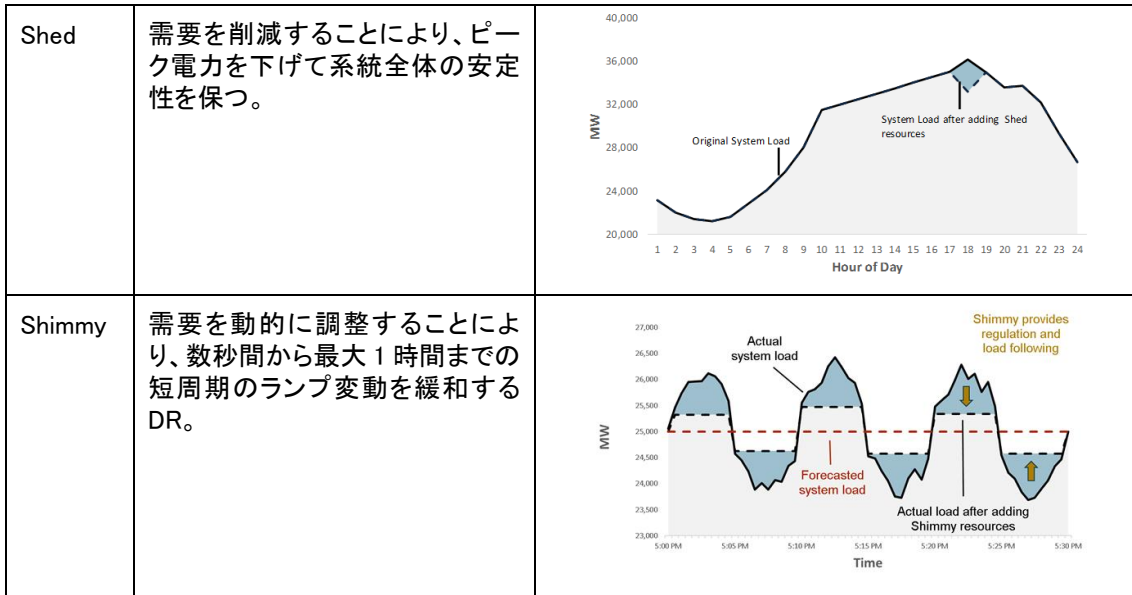
デマンドレスポンスの拡大のための基礎研究として、CPUC は Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) とともに、カリフォルニア州におけるデマンドレスポンス・ポテンシャルの評価に関する研究を行っている。これは 2 年間に亘り実施されているが、そのフェーズ 2 の結果を以下に述べる。

a. デマンドレスポンスの分類

この研究では、カリフォルニアの将来のデマンドレスポンス資源のコスト及びポテンシャル規模を推計している。この分析において、デマンドレスポンスは表 3-96 に示す 4 種類に分類されている。

表 3-96 デマンドレスポンスの 4 つのタイプ

Shape	<p>プライスレスポンスや節電キャンペーン等によって、需要パターンの形を変える“load-modifying DR”。</p>	 <p><i>Illustrative pricing profile</i></p>
Shift	<p>太陽光発電の余剰電力が発生する昼間に需要をシフトさせることにより、ランプ変動を緩和する。</p>	



出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017 および “2015 California Demand Response Potential Study - Final Draft Study Results”, Nov. 2016 より作成

これら4種類のデマンドレスポンスのうち、Shape と Shed は既存の系統サービスに含まれるが、Shift 及び Shimmy は将来の系統ニーズを満たすためのものである。これら4種類のデマンドレスポンスが対応する系統ニーズおよびタイムスパンを図 3-81 に示す。

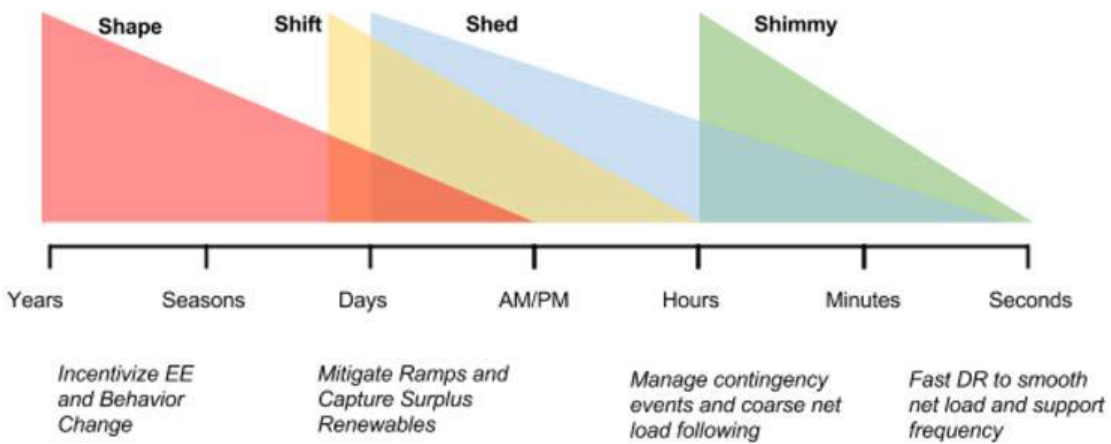


図 3-81 4 種類のデマンドレスポンスのタイムスパン

出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017

本分析では、Shape は、時間帯別料金 (TOU) とピーク時変動料金 (CPP) の料金制度の効果を表しており、明示的なモデル化はなされていないが、その効果は Shed と Shift の合算

として推計されている（表 3-97）。

なお、評価対象は実績データのあるデマンドレスポンスであり、実績データのない自動デマンドレスポンス等は分析対象外である。

表 3-97 本分析においてモデル化したデマンドレスポンスの種類

種類	意味	システムサービス／ 関連語	分析単位	Shape (TOU/CPP*)の 分析に含むか
Shift	需要のタイミング をシフト (日常的)	Flexible ramping DR (avoid/reduce ramps), Energy market price smoothing	kWh-year	含む
Shed	ピーク需要低減 (時々)	CAISO Proxy Demand Resource (PDR) / Reliability DR Resources (RDRR), Local Capacity DR, Distribution System DR, RA Capacity, Operating Reserves	kW-year	含む
Shimmy	急速な DR	Regulation, load following, ancillary services	kW-year	含まない

* TOU : time-of-use、CPP : critical peak pricing

出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017 より作成

b. ポテンシャル分析の対象

本分析で考慮された制御設備とその制御方法は表 3-98 のとおりである。電気自動車、需要家側の蓄電池、空調、産業プロセス・ポンプ等が分析対象とされている。

表 3-98 制御対象設備とその制御方法

部門	制御対象設備	制御方法
全て	電気自動車、 プラグインハイブリッド自動車	普通充電の中断
	需要家側の蓄電池	自動デマンドレスポンス
家庭	エアコン	直接負荷制御、スマート通信サーモスタット
	プールのポンプ	直接負荷制御
業務	空調機器	自動デマンドレスポンス、直接負荷制御、スマート通信サーモスタット(規模やエネルギー管理システムによる)
	照明	照度調整、ゾーン別消灯、標準のコントロール方法
	冷蔵倉庫	自動デマンドレスポンス
産業	産業プロセス・大規模工場	自動・手動の負荷低減、プロセス中断
	農業用ポンプ	手動、直接負荷制御、自動デマンドレスポンス
	データセンター	手動デマンドレスポンス
	下水処理・ポンプ	自動・手動デマンドレスポンス

出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017 より作成

c. ポテンシャル分析結果

分析結果の概要を表 3-99 に示す。4 タイプのデマンドレスポンスのうち大きな可能性を有するものは Shift 型デマンドレスポンスであり、10~20GWh（負荷の2~5%）を費用効率よく Shift できると算定されている。残りの3タイプのデマンドレスポンスについては、Shape 型デマンドレスポンスでは、TOU や CPP 等の料金体系により、追加コストなしで1GWの Shed および2GWhの Shift が可能と算定されている。Shed 型デマンドレスポンスについては、将来的には昼間の余剰発電が増えた局面ではシステムレベルでの Shed の必要性はなくなるが、局所的な Shed として2~10GWのポテンシャルがあると算定されている。Shimmy 型デマンドレスポンスでは、300MWの負荷追従が可能と算定されている。

表 3-99 2025 年のデマンドレスポンス・ポテンシャル分析結果

DR タイプ	ポテンシャル	条件
Shape	1 GW (Shed) 及び 2 GWh (Shift)	0 cost.
Shed	2~10 GW	\$200/kW
Shift	10~20 GWh	日負荷の2~5%をシフト
Shimmy	300MW(負荷追従)	\$50/kW-yr で競争力あり
	300MW(周波数制御)	\$85/kW で競争力あり

出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017 および “2015 California Demand Response Potential Study - Final Draft Study Results”, Nov. 2016 より作成

2025 年における実現手段別の Shift DR ポテンシャルを図 3-82 に示す。産業プロセスが大きな割合を占めており、PG&E では4GWh-year、SCE では5GWh-year程度となっている。農業用ポンプは、PG&E で1.7GWh-year、SCE では0.5GWh-yearのShift DRポテンシャルを有する。業務用エアコンの寄与率も大きく、3大民間電力会社で合計5GWh-year以上になる。この結果は\$50/kWhの価格帯の場合であるが、\$100/kWhの場合は家庭用蓄電池がかなりの割合を占めることとなる。

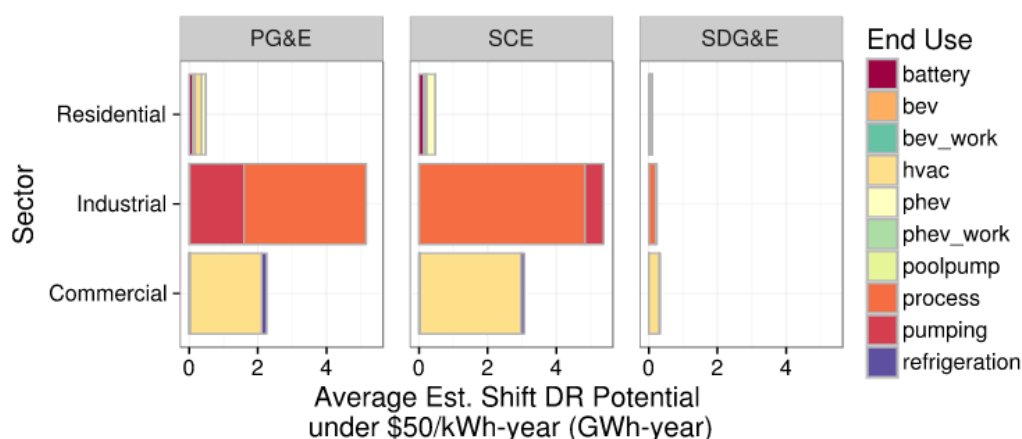


図 3-82 2025 年の Shift DR ポテンシャル (\$50/kWh 以下)

出所) Lawrence Berkeley National Laboratory, “2025 California Demand Response Potential Study - Final Report on Phase 2 Results”, Mar. 2017

d. 分析に係る CPUC の見解

上記のデマンドレスポンス・ポテンシャルを発現するためには、制度的環境整備、市場設計、技術的進展が不可欠である。CPUC への訪問調査においては、Shift DR および Shimmy DR を実施していく上での課題として、以下の点が挙げられた。

- Shift Load DR を実施していく上での課題
 - ✓ CAISO 市場に、Shift をサポートするような市場の仕組みがない。
 - ✓ 現行の電気料金体系は、昼間の価格が高いなど、再エネ普及時に必要となる Shift を妨げる形になっている。
 - ✓ 従来のベースラインの考え方が使えない。
- Shimmy Load DR (アンシラリー・サービスの領域を含む) を実施していく上での課題
 - ✓ リアルタイムでの測定やより高度な制御が必要となり、追加費用を要する。
 - ✓ アンシラリー・サービス市場の規模が限定的であり、かつ報酬が変動する。

5) 分散型エネルギー資源に係る動向

カリフォルニア州では、デマンドレスポンスも含めた分散型エネルギー資源の利用拡大に向けた取組みを行っている。以下では、分散型エネルギー資源に係るロードマップの策定状況および主要な分散型エネルギー資源であるエネルギー貯蔵システム、電気自動車に係る概況を示す。

a. デマンドレスポンス・省エネロードマップ（CAISO）

CAISO では、デマンドレスポンスとエネルギーの効率的利用に関するロードマップ（以降、「デマンドレスポンス・省エネロードマップ」）⁴⁴を 2013 年に作成している。本ロードマップはデマンドレスポンスとエネルギーの効率的利用が統合され、信頼性が高く、予測可能なエネルギー資源となることで、確実かつ環境面で持続可能な電力システムの運営に活用されることを目指して作成された。

本ロードマップ作成の背景には、分散型エネルギー資源の利用拡大に伴って電力システムの運用面での不確実性（規模、種別、タイミング、予測、空間的配置）が生じるという課題が存在する。これらの課題は明確な目標を設定し、主要な政策主体、州機関、市場参加者が協力することにより、信頼性を損ねることなく解決可能とされている。ロードマップで掲げられる目標は表 3-100 のとおりである。

表 3-100 デマンドレスポンス・省エネロードマップの目標

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. ISO、カリフォルニア州エネルギー諮問委員会（CEC）、カリフォルニア州公益事業委員会（CPUC）が、各々の計画と調達プロセスにおいて一貫した前提を置くこと。2. 負荷調整プログラムの結果、負荷形状が改善されること。これにより、エネルギー資源調達の必要性の減少、過剰な発電の抑制、急激な需要変動の緩和がもたらされること。3. ISO が系統運用の要件と最適に設計されたデマンドレスポンスとエネルギーの効率的利用を結びつけ、運用計画上のニーズが最も効率的に満たされること。4. 調達されたデマンドレスポンス、エネルギー効率利用の資源が系統の容量面、タイミング面、地点面でのニーズを満たすこと。5. ISO の市場におけるデマンドレスポンス・プログラムへの参画が、運用面での経験の増加と、プログラム・政策の改善に向けたフィードバックをもたらすこと。 |
|---|

出所) CAISO, “Demand response and energy efficiency roadmap”, 2013 年より作成

これらの目標を達成するために、本ロードマップでは 2013～2020 年に向けた 4 つの方向性を提示している（表 3-101）。これらの方向性は州機関と市場参加者の協力の下で達成されるべき活動の特性が示されている。

⁴⁴ CAISO, “Demand response and energy efficiency roadmap”, 2013 年

表 3-101 デマンドレスポンス・省エネロードマップの目標達成に向けた方向性

方向性	概要
負荷形状の改善 (Load reshaping)	負荷形状の改善のために DR とエネルギーの効率的利用に向けたポテンシャルを最大化する。特定エリア、及び ISO のシステム全体において負荷形状を平準化することにより、需要のピークと谷をなだらかにする。
十分なりソース (Resource Sufficiency)	最適な形で運用可能な形態の供給側エネルギー資源が、適切な場所、時間で十分に確保できるようにする。必要となるエネルギー資源の特性を特定するとともに、DR となりうる供給側資源の調達方針を規定する政策を実施する。
運用 (Operations)	系統計画とバランシングシステムを担う系統運用者の視点に立ち、ISO における供給側 DR 資源の活用を最大化する。ISO の方針の修正や、新たな市場商品の開発、DR の卸市場参画を阻害する技術的・手続き的課題の解決を行う。
モニタリング (Monitoring)	上記 3 つの方向性におけるフィードバックを統合管理する。各ステージにおける活動の経験を把握、記録することにより、DR 資源の能力、DR・エネルギー効率化プログラムの効果をシステム全体及び局所レベルで理解する。

出所) CAISO, “Demand response and energy efficiency roadmap”, 2013 年より作成

表 3-101 に示した 4 つの方向性について、カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC)、カリフォルニア州エネルギー諮問委員会 (CEC)、CAISO、3 大民間電力会社のそれぞれの役割がロードマップに定められている。

b. 分散型エネルギー資源アクションプラン (CPUC)

CPUC は、分散型電源、省エネ、エネルギー貯蔵、電気自動車、デマンドレスポンスといった分散型エネルギー資源 (DER: Distributed energy resources) のアクションプランを策定した。同アクションプランでは、分散型エネルギー資源およびその支援政策に係る長期ビジョンの作成、長期ビジョンを支援するための継続的な取組みの特定、ビジョン支援に必要な短期的な行動の評価、DER 運営委員会の設置を目的としている。

挙げられたビジョンの要素は表 3-102 のとおりである。

表 3-102 分散型エネルギー資源アクションプランの概要

項目	ビジョンの要素
料金	<ul style="list-style-type: none"> ● 多様な料金オプションを選択でき、また需要家はオプション選択のための教育を受けていること。 ● 時变的な限界費用を反映した料金であること。 ● 柔軟でタイムリーな革新的な料金であること。 ● DER のコスト構造と便益を反映した料金であること。 ● 非 DER の需要家にとっても手頃な料金であること。
配電計画、インフラ、相互接続、調達	<ul style="list-style-type: none"> ● 透明かつ途切れない DER の計画と調達により配電網のニーズを確保し、DER の普及、系統の信頼性向上・コスト低減につながる。 ● 配電投資機会に影響されず、民間電気事業者は DER 導入支援に意欲的であること。 ● DER の調達メカニズムは、中立的技術でありかつ競争力を有するように再構築されること。市場変革またはその他政策目標の達成が必要な場合、電力会社または関連会社による DER の所有も考慮されること。 ● 費用効率性と評価の枠組みには、全ての系統サービス、再生可能エネルギーの統合、DER の GHG 価値を正確かつ公平に反映すること。 ● DER 容量推定の改善、コストの確実性向上、電力会社の適用業務の合理化、争議解決の早期化により、相互接続を促進すること。 ● DER の容量拡大投資と需要家便益を確実にするため、DER 成長シナリオは定期的に更新すること。 ● データ通信とサイバーセキュリティの要件によって、配電サービスの市場を可能とすること。
DER 市場統合、相互接続	<ul style="list-style-type: none"> ● 卸売市場運用における DER の可視性、実行性、収益性の向上を通じて、系統資源として DER は参加すること。 ● 卸売市場、配電系統、需要家といった複数の主体から、DER 収益を確保できること。 ● 卸売市場ルールおよび相互接続料金は需要家側設置の DER を支援すること。 ● 電気自動車の充電システム、運転行動等は、系統運用において予測、監視可能であること。

出所) CPUC, “California’s Distributed Energy Resources Action Plan: Aligning Vision and Action”, 2016 年より作成

c. エネルギー貯蔵システム

GTM Research 社と Energy Storage Association の報告⁴⁵⁾によると、2015 年において 221MW (161MWh) 分のエネルギー貯蔵システムが全米で設置されたとのことである (2014 年度と比較して 243%増)。全プロジェクトのうち 85%は電力会社側に設置されたエネルギー貯蔵システムであり、多くは PJM 管轄地域内に設置され、そのうち 160MW は 2015 年に稼働を開始している。

2015 年に、需要家サイトに設置されたエネルギー貯蔵システムの容量は 405%増の成長となった。商業部門で最も設置容量が大きかったのはカリフォルニア州であり、家庭部門で最も設置容量が大きかったのはハワイ州であった。

2014 年においてエネルギー貯蔵システムに関する政策が実施されたのは 10 州であったが、2015 年は 20 州に増加している。

⁴⁵⁾ Energy Storage Association, <http://energystorage.org/news/esa-news/us-energy-storage-market-grew-243-2015-largest-year-record>, 2017 年 3 月 13 日取得

カリフォルニアでは、2010年9月にエネルギー貯蔵システムの設置を推進するエネルギー貯蔵法（Assembly Bill No. 2514: AB 2514）が承認された。カリフォルニア州では、再生可能エネルギー利用割合基準（RPS）により販売電力量の33%を再生可能エネルギーとすることを定めているが、同法の狙いは、再生可能エネルギーのより一層の導入のため、エネルギー貯蔵システムの容量にも目標を設定するものである。

同法の下でCPUCが貯蔵容量などを検討し、2013年6月に、3大民間電力会社に対して、表3-103に示す容量のエネルギー貯蔵システムの調達を指示している。3社合計で2020年までに、1,325MWのエネルギー貯蔵システムを送電系統、配電系統、需要家側へ分散して設置することが求められている。なお、エネルギー貯蔵を機械的（mechanical）、化学的（chemical）、熱的（thermal）プロセスで実施するものであればよいとしており、貯蔵システムの種別は事業者が決定できる。

なお、2013年のSan Onofre原子力発電所閉鎖に伴い、2022年までにSCEは500～700MW、SDG&Eは500～800MWのRA（Local Capacity）リソースの追加調達が必要な状況となっている。SCEでは、競争入札の結果、261MWのエネルギー貯蔵システムが落札した。

表 3-103 カリフォルニア州におけるエネルギー貯蔵システムの調達目標

Use case category, by utility	2014	2016	2018	2020	Total
Southern California Edison					
Transmission	50	65	85	110	310
Distribution	30	40	50	65	185
Customer	10	15	25	35	85
Subtotal SCE	90	120	160	210	580
Pacific Gas and Electric					
Transmission	50	65	85	110	310
Distribution	30	40	50	65	185
Customer	10	15	25	35	85
Subtotal PG&E	90	120	160	210	580
San Diego Gas & Electric					
Transmission	10	15	22	33	80
Distribution	7	10	15	23	55
Customer	3	5	8	14	30
Subtotal SDG&E	20	30	45	70	165
Total - all 3 utilities	200	270	365	490	1,325

出所) CPUC, “Assigned Commissioner’s Ruling Proposing Storage Procurement Targets and Mechanism and Noticing All-party Meeting”, 2013

d. 電気自動車

米国連邦レベルでは、米国エネルギー省が EV Everywhere Workplace Charging Challenge⁴⁶、米国環境保護庁が Electric Vehicle Charging & Solar Initiative - Additional Resources⁴⁷というプログラムを展開しており、それぞれ職場での充電の普及を目指している。

カリフォルニア州では、2025年までにゼロ・エミッション・ビークル（ZEV）の普及台数150万台との目標が掲げられている。同目標の達成に向けたアクションプランとして、「ZEV Action Plan」が2013年に策定、2016年に改訂され、技術開発、インフラ整備、消費者啓発等に係る方向性が提示されている。

充電インフラ普及に関しては、各種の充電ステーション設置パイロット事業が行われている。CPUCの許可の下で、PG&Eでは7,500台、SDG&Eでは3,500台、SCEでは1,500台の充電ステーション設置事業が展開されている。

6) 時間帯別料金（TOU）に関する動向

カリフォルニア州では、デマンドレスポンスを推進する最も強力なオプションとして、家庭向けに時間帯別料金（TOU）を標準設定する措置（「デフォルト」化）が進められている。対象者から許諾を得ない限り実施しない「オプトイン」よりも、標準で予め設定されている「デフォルト」のTOUの方が、需要家の参加が早期に進むためである。

a. 検討の経緯

図 3-83 に、カリフォルニア州における TOU デフォルト化に向けた検討のタイムラインを示す。

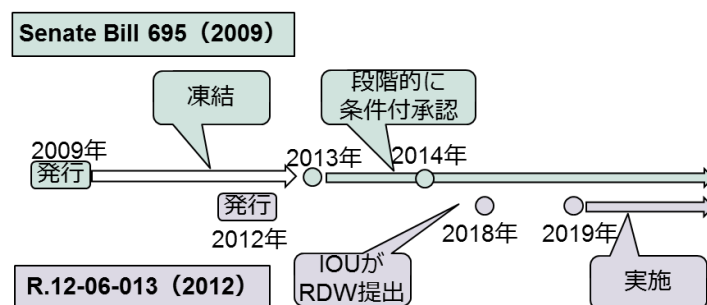


図 3-83 時間帯別料金（TOU）デフォルト化のタイムライン

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, CPUC ウェブサイト, <http://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=12154> より作成

⁴⁶ 米国エネルギー省, <https://www.energy.gov/eere/vehicles/ev-everywhere-workplace-charging-challenge>, 2017年3月13日取得

⁴⁷ 米国環境保護庁, <https://www.epa.gov/cati/workplace-electric-vehicle-charging-stations-californias-south-coast>, 2017年3月13日取得

2009年に、CPUCは、カリフォルニア州法（Senate Bill 695）において、家庭需要家に対する時間帯別料金（TOU）やピーク時変動料金（CPP）のデフォルト化を2012年末まで凍結とする一方で、2013年以降段階的に認めるスケジュールを規定した。

<Senate Bill 695>

- ・ 2013年以降、CPUCは料金負担保全措置（Bill Protection）の提供を条件に、電力会社によるTOU・CPPのデフォルト化を認めることができる。
- ・ 2014年以降、CPUCは電力会社が以下の条件を満たせばTOU又はCPPのデフォルト化を認めることができる。
 - ✓ 一律料金の選択に当たって需要家に追加的な費用負担を求めない。
 - ✓ TOU・CPP料金適用前に、当該需要家の過去の時間帯別電力使用量のデータを最低1年分提供し、必要な需要家教育を行う。
 - ✓ TOU・CPP料金を需要家に適用後、最低1年間は料金負担保全措置を提供する
 - ✓ 一定の要件を満たす社会的弱者は、TOU・CPP料金デフォルト化の対象外とする。

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf> より作成

2012年にCPUCはRulemaking 12-06-013において、TOUのデフォルト化を2019年に実施する意向を表明した。2018年には各民間電力会社に対して家庭用料金設計（Rate Design Window; RDW）申請書を提出することを要求した。

2014年にCPUCはAssembly Bill 327（以下AB 327）において、より公平な電気料金設定を発表した。

<Assembly Bill 327>

- ・ 4段階制料金のうち、下の2段階料金構造を修正し、上の2段階を廃止する。
- ・ 基本月額料金について、CPUCは家庭需要家に対して最大\$10まで、低所得世帯に対して最大\$5までの基本月額料金を設定できる。全ての家庭需要家は電気メータや月額請求サービスのような固定コストの一部を支払う。
- ・ 低所得需要家を保護する料金設定を継続する。
- ・ 2019年にTOUが自動的にデフォルト化されたあとも、需要家が希望すれば従来の料金体系を選択することもできる。

出所) CPUC ウェブサイト, <http://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=12154> より作成

また、3大民間電力会社は2015年～2017年に向けたPhase 1 Proposalを提出した。本提案内容には、基本料金の変化、段階制料金の段階統合に伴う段階数や段階間の差の削減、全ての家庭料金構造における変化に必要とされる各種割引プログラム、関連費用に関する概要を含む。なお、関連費用をどの範囲と明示しているかは、事業者によって見解が異なる（SCE：アウトリーチ費用や時間帯別料金（TOU）オプトイン料金、PG&E：アウトリーチ費用、SDG&E：アウトリーチ費用やTOUパイロット費用）。

3大民間電力会社の提案に対応して、2014年4月にCPUCは民間電力会社に対して“ The Third Amended Scoping Memo ”を発表し、TOU料金設計の論点に関する情報を提供した（表3-104）。

表 3-104 時間帯別料金（TOU）のデフォルト化に向けた論点の内容

論点	論点の内容
料金	<ul style="list-style-type: none"> ・ 段階制料金の段階統合：フラット化や段階数の削減は RDP (Rate Design Principle; 料金設計指針) や市民の趣向に適合しているか。2 段階最小設定はオプションまたはデフォルトの TOU に適用するのか。 ・ 基本料金：委員会が採用すべきか。電気事業者の提案は合理的か。RDP と適合しているか。 ・ TOU の時間帯・季節の設定：委員会が評価するのはどのようなタイプか。
ベースライン量	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベースライン量削減は合理的か。
電気料金収入	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気料金収入不足は異なる料金の需要家グループ間でどのように扱われるべきか。
パイロットプログラム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気事業者の提案したオプトイン料金と段階化されていないパイロットプログラムは合理的か。法律や RDP と適合しているか。
需要家教育	<ul style="list-style-type: none"> ・ アウトリーチプログラムの設定条件はどうあるべきか。
実施ステップ	<ul style="list-style-type: none"> ・ AB 327 で許可された段階構造への変化の観点から、どんな実施ステップが必要とされるのか。 ・ 温室効果ガス (GHG) コストを D. 12-12-033 の指針に沿って家庭用料金に含めるには、どんな実施段階が必要か。
各民間電力会社の提案内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法律や RDP との合理性はあるか。
SDG&E による TOU デフォルト前の評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 解決すべき他の事実上の問題はありますか。 ・ 料金評価のためにどういった既存・新しいデータ、メトリクス、リソースを使用する必要があるか。 ・ 満たさねばならない特定の条件 (需要家教育やアウトリーチの最低要件の達成等) はありますか。

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf> より作成

2015 年 7 月に CPUC は Decision 15.07-001 において、3 大民間電力会社が家庭用電気料金設計の構造改定を進める手順を示した。段階制料金の段階統合を進め、基本月額料金を採用しないこと、TOU パイロットプログラムや需要家教育を実施すること等が記載されている (表 3-105)。

表 3-105 時間帯別料金（TOU）料金設計の方針

論点	論点の内容
料金	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規定の TOU と、オプションの 2 段階料金になることを想定する。 ・ 基本月額料金をやめ、迅速に以下の措置を取る。 ・ 段階制料金の段階の統合を継続し、カリフォルニア州代替エネルギー料金（CARE）⁴⁸及び家族電気料金補助（FERA）⁴⁹の調整を行う。 ・ 2015 年中に電気事業者が需要家に請求できる最低料金（minimum bill）を決定する。 ・ この請求は毎月の使用料が配送及び請求関連費用を支えるために必要な金額を下回る需要家にのみ適用される。 ・ 現在の最低料金は、\$10 又は CARE 需要家\$5 である。
パイロットプログラム	<ul style="list-style-type: none"> ・ TOU パイロット（オプトイン及びデフォルト）の設計プロセスを早期に開始する。
需要家教育	<ul style="list-style-type: none"> ・ 需要家教育を実施し、エネルギー料金に対する理解を深める。 ・ 無償または低コストで、低所得層の需要家を教育するための特別なアウトリーチプログラムを実施する。 ・ 料金比較ツールや教材の改善プロセスを早急に開始し、需要家がエネルギー料金をより簡単に理解できるようにする。

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf> より作成

Decision 15.07-001 には、2019 年に TOU をデフォルトとするために 3 大民間電力会社が実施すべきことが、以下のとおり記載されている。

<p><Decision.15.07-001></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3 大民間電力会社は今後数年間に、以下を実施する必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ TOU の普及に備えて、オプトイン及びパイロット TOU を評価する。 ✓ 2019 年に TOU 料金をデフォルトとするために、遅くとも 2018 年 1 月 1 日までに家庭用料金設計（Rate Design Window; RDW）を提案する。 ✓ IOU は年次更新、定期的なワークショップ、及び四半期報告の発表を含む手段によって、料金改定及び家庭用 RDW の進捗状況に関する定期的な最新情報を提供する必要がある。 ✓ 特定の条件が満たされた後にのみ、民間電力会社が基本月額料金を新たに請求することを許可する。

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf> より作成

⁴⁸ CARE : エネルギー価格高騰から 2001 年に導入された、低所得世帯に対するエネルギー料金の月額割引のプログラム

⁴⁹ FERA : 3 人以上の低所得世帯に対して電気料金の月額割引を提供するプログラム

b. 新しい家庭向け時間帯別料金（TOU）における時間帯の設計

3大民間電力会社はCPUCよりTOUデフォルト化の要請を受け、時間帯の設計を検討している（表3-106）。SDG&Eは民間電力会社の中でも比較的検討が進んでいる。

各民間電力会社が提案するTOUの時間帯は、表3-107のとおりである。SDG&EのTOUの時間帯案が3つの民間電力会社のうちで最も複雑である。需要家は簡単な料金設計を好むものの、TOUパイロットの目的は需要家の受容性と対応を検討することであるため、3つ以上の時間設定も受け入れられるだろうとしている。

表 3-106 3大民間電力会社による時間帯別料金（TOU）の時間帯検討

IOU	提案
SDG&E	<ul style="list-style-type: none"> 2015年に家庭用料金設計(RDW)にてパイロット用のTOUの時間帯を提案した。 現在定めているオフピーク期間を、EVのみで利用可能な超オフピーク期間に変更する提案をした。 複雑な設定を有するが、TOUパイロットの目的としては受け入れられるだろうとしている。
SCE	<ul style="list-style-type: none"> 家庭向けの新しいTOUとして、「TOU-D」を2015年に有効とした。 季節別でない3期間(ピーク/超オフピーク/オフピーク)というシンプルな設定である。 SCEは2015年にTOUパイロットのオプトインを提案しなかったため、CPUCはPG&E及びSDG&Eの提案パイロットと同様の条件に基づくTOUパイロットを開発するよう指示した。
PG&E	<ul style="list-style-type: none"> 一般家庭/CARE世帯向け新しいオプトインTOUとして、「E-TOU」を提案した。 2季節(夏:5/1~10/31、冬:11/1~4/30)のあいだで2期間(ピーク/オフピーク)というシンプルな設定である。 より正確な価格設定、負荷シフトによりインセンティブを与え、需要家理解を得やすいものにしたいと考えている。

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf> より作成

表 3-107 3大民間電力会社による時間帯別料金（TOU）の時間帯案

時期	時間帯	SDG&E (2015RDW)	SCE (TOU-D)	PG&E (E-TOU)
夏期	ピーク時	平日 14 時～21 時	平日 14 時～20 時	平日 13 時～19 時
	セミピーク時	その他の時間	—	—
	オフピーク時	—	その他の時間	その他の時間
	超オフピーク時	毎日 0 時～6 時	22 時～8 時	—
冬期	ピーク時	平日 17 時～21 時	夏期と同様	平日 17 時～20 時
	セミピーク時	その他の時間		—
	オフピーク時	—		その他の時間
	超オフピーク時	毎日 0 時～6 時		—

出所) CPUC, “Decision on Residential Rate Reform for Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, and San Diego Gas & Electric Company and Transition to Time-of-Use Rates”, <http://docs.cpuc.ca.gov/publisheddocs/published/g000/m153/k110/153110321.pdf>; SDGE, “San Diego Gas & Electric GRC Phase 2 Workshop”, <https://www.sdge.com/sites/default/files/regulatory/GRC%20P2%20Workshop%2022-16%20Final.pdf> より作成

さらに、SDG&Eは2016年の料金審査手続（General Rate Case）のPhase 2（2016 GRC P2）において、最新のTOUを提案している。これは図3-84のような電力不足発生時間帯の予測に基づくものであり、表3-108に示す時間帯が提案されている。14時～18時は予備力のみが必要となるためCritical Peak Pricing（CPP）時間帯、16時～21時は予備力とランプ対応力を必要とするためTOUのピーク時間帯とされている。

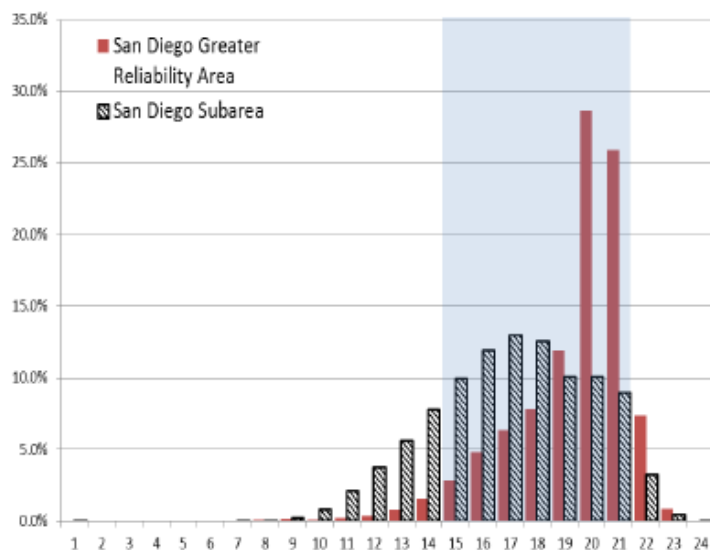


図 3-84 電力不足発生時間の予測

出所) SDGE, "San Diego Gas & Electric GRC Phase 2 Workshop", 2016

表 3-108 San Diego Gas & Electric (SDG&E) の最新検討

時期	TOU 時間	SDG&E (2016 GRC P2 提案)
夏期	ピーク時	毎日 16 時～21 時
	セミピーク時	—
	オフピーク時	その他の時間
	超オフピーク時	週末・休日 0 時～14 時、平日 0 時～6 時
冬期	ピーク時	夏期と同様
	セミピーク時	
	オフピーク時	
	超オフピーク時	
CPP 時間		CPP 時間を 4 時間に短縮(年中 14 時～18 時)

出所) SDGE, Sempra Energy utility, "San Diego Gas & Electric GRC Phase 2 Workshop", 2016 より作成

7) カリフォルニア州で実施されているデマンドレスポンス・プログラムの概要

a. 3 大民間電力会社によるデマンドレスポンス・プログラム

ア) 3 大民間電力会社によるデマンドレスポンス・プログラムの一覧

現在、3 大民間電力会社では、負荷の削減要請や時間帯別料金といったデマンドレスポンスのプログラムが実施されている。各社が実施する DR プログラムの一覧を表 3-109～表 3-111 に示す。

表 3-109 PG&E のデマンドレスポンス・プログラム実施状況 (2016 年 10 月時点)

プログラム	需要家数	事後評価 (Ex-Ante) [MW]	事前評価 (Ex-Post) [MW]
Interruptible/Reliability	156,054	333.6	371.5
Base Interruptible Program – Day Of	249	305.1	300.5
Optional Bidding Mandatory Curtailment	18	0.0	0.0
Scheduled Load Reduction	0	–	–
Smart AC™ – Commercial	4,027	1.2	1.2
Smart AC™ – Residential	151,760	27.3	69.8
Price Response	350,019	162.8	202.2
Aggregator Managed Portfolio – Day Of	1,302	80.1	87.6
Capacity Bidding Program – Day Ahead	30	3.4	2.4
Capacity Bidding Program – Day Of	334	6.6	11.6
Demand Bidding Program	451	22.9	17.1
PDP (200 kW or above)	2,014	27.1	28.6
PDP (above 20 kW & below 200 kW)	34,426	5.2	7.9
PDP (20 kW or below)	165,176	0.0	1.7
Smart Rate™ – Residential	146,286	17.6	45.3

出所) CPUC ウェブサイト (Demand Response Monthly Reports) より作成

表 3-110 SCE のデマンドレスポンス・プログラム実施状況 (2016 年 10 月時点)

プログラム	需要家数	事後評価 (Ex-Ante) [MW]	事前評価 (Ex-Post) [MW]
Interruptible/Reliability	1,793	719.5	719.2
Base Interruptible Program – 15 Minute Option	58	139.4	140.4
Base Interruptible Program – 30 Minute option	534	519.0	523.9
Optional Binding Mandatory Curtailment	10	14.5	15.2
Agricultural Pumping Interruptible	1,191	46.6	39.7
Price Response	667,516	462.3	525.5
Summer Discount Plan – Residential	268,767	164.9	188.1
Summer Discount Plan – Commercial	11,311	28.3	47.5
Summer Advantage Incentive	3,712	37.2	41.2
Demand Bidding Program	782	78.2	98.2
Capacity Bidding Program Day Ahead	45	1.9	0.8
Capacity Bidding Program Day Of	228	8.5	5.6
AMP Contracts / DR Contracts	1,577	116.7	99.4
Real Time Pricing	151	0.0	14.2
Save Power Day	380,943	26.7	30.5
Scheduled Load Reduction Program	0	-	-

出所) CPUC ウェブサイト (Demand Response Monthly Reports) より作成

表 3-111 SDG&E のデマンドレスポンス・プログラム実施状況 (2016 年 10 月時点)

プログラム	需要家数	事後評価 (Ex-Ante) [MW]	事前評価 (Ex-Post) [MW]
Interruptible/Reliability	7	2.0	2.2
Base Interruptible Program – 30 Minute Option	7	2.0	2.2
Price Response	259,571	50.4	61.3
Critical Peak Pricing	13,691	18.5	24.5
Summer Saver – Residential	24,957	8.1	10.0
Summer Saver – Commercial	10,791	2.8	1.8
Capacity Bidding Program – Day-Ahead	71	4.5	4.7
Capacity Bidding Program – Day-Of	137	2.9	3.6
Peak Time Rebate – Residential	79,424	3.2	5.1
Small Customer Technology Incentives – Residential	10,200	2.7	4.7
Small Customer Technology Incentives – Commercial	3,114	2.0	7.1
Demand Bidding Program	9	3.4	-
TOU-A-P Small Commercial	117,177	2.3	-
Permanent Load Shifting	0	-	-

出所) CPUC ウェブサイト (Demand Response Monthly Reports) より作成

イ) SDG&E におけるデマンドレスポンス・プログラムの見直し状況

SDG&E は、PG&E や SCE とは異なり、大規模産業需要家の数が極端に少なく、小規模商業や家庭の需要家が中心となっている。消費電力量は家庭と商業産業がほぼ同程度であるが、需要家数は 400 万件のうち約 90%を家庭（小規模商業を含む）が占め、残り 10%が商業産業の需要家である。

デマンドレスポンスを行うにも、小規模需要家の場合は、情報周知、啓発、アウトリーチ（需要家への働きかけ）が非効率となり、またデマンドレスポンスにより需要家が得られる料金削減メリットも少ない。このような背景から、結果的にデマンドレスポンスの活用状況も少ない状況となっている。

SDG&E における主なデマンドレスポンス・プログラムの要件等を表 3-112 に示す。現在はプログラムの変革期にあり、Summer Saver プログラムについては、2016 年には、制御対象の時間帯を限定したり、イベント発生時における需要家によるキャンセルを許容したりといった見直しが行われた。また、従来のように SDG&E が調達した制御機器を用いた仕組みではなく、今後は需要家が自らサーモスタットを選択して調達する BYOD (Bring Your Own Devise) 方式へとプログラムは見直される予定となっている。

表 3-112 SDG&E 社のデマンドレスポンスの概要

プログラム	時期	報酬	リスク	事前 通知時間	イベント回数	備考
Base Interruptible Program (BIP)	通年	・ 月額\$12/kW 月(5月～10月)、\$2/kW 月(11～4月) ・ 負荷遮断試験を無償実施	超過分あたり \$7.80/kWh (5～10月)、 \$1.2/kWh (11～4月)	当日、 30分前まで	・ 最大 120 時間/年 ・ 最大 10 回/月	・ 削減幅 100kW 以上かつ最大需要の 15%以上削減を約束できる場合はインセンティブあり
Capacity Bidding Program (CBP)	5～10月	・ SDG&E からの要請に応えた需要家へ報酬 ・ 前日通知プログラムより当日通知プログラムの方が高報酬	削減に失敗した場合罰金	前日、 15時以前 当日、 9時以前	・ 最大 44 時間/月 ・ 最大 1 回/日	・ 11～19 時に一定量の削減ができる場合はインセンティブあり ・ アグリゲータ経由での契約
Critical Peak Pricing (CPP-D)	通年	・ 時間帯別料金(危険イベント期間中は高料金)	イベント中に削減できない場合は結果的に高額となる	前日 15時まで	・ 最大 18 回/年 ・ 最大 7 時間/日	
Summer Saver	5～10月	・ エアコン出力 30%削減オプション: \$9/請求書 ・ エアコン出力 50%削減オプション: \$15/請求書	イベント日にはエアコンの動作時間が制御される	エアコンの出力制御による通知	・ 最大 120 時間/年もしくは 15 回/年 ・ 最大 40 時間/月 ・ 最大 3 日/週 ・ 2～4 時間/日	

出所) SDG&E ウェブサイト (Demand Response Overview) より作成

b. デマンドレスポンス・アグリゲータ

デマンドレスポンス・アグリゲータは、デマンドレスポンスを実施する複数の主体と契約し、それらを束ねて CAISO の卸売市場に入札する。卸売市場に入札する際のアグリゲータは、Demand Response Provider (DRP) と呼ばれる。

デマンドレスポンスのアグリゲータ/DRP は、カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC) に対して登録する必要がある。登録済みのデマンドレスポンス・アグリゲータを下表に示す。

表 3-113 CPUC に登録済のデマンドレスポンス・アグリゲータ (2017 年 2 月時点)

DR アグリゲータ	家庭需要家もしくは 小規模商業需要家	地域		
		PG&E	SCE	SDGE
EnerNOC, Inc.	×	○	○	-
EnergyHub, Inc.	○	○	○	-
OhmConnect, Inc.	○	○	○	○
EnergyConnect, Inc.	×	○	○	-
Stem, Inc.	×	○	○	○
IP Keys Power Partners, LLC	×	-	○	-
Olivine, Inc	○	○	○	○
Green Charge Networks, LLC	×	-	○	○
Chai, Inc	○	-	○	-
eMotorWerks, Inc	○	○	-	○
AutoGrid Systems, Inc.	○	○	○	○
Advanced Microgrid Solutions, Inc.	×	-	○	-

出所) CPUC ウェブサイト, <http://www.cpuc.ca.gov/general.aspx?id=6306> より作成

c. Demand Response Auction Mechanism (DRAM)

ア) Demand Response Auction Mechanism (DRAM) の仕組み

カリフォルニア州では 2015 年より、小売事業者 (LSE) に対する供給力確保義務である Resource Adequacy (RA) 調達先の 1 つとしてのデマンドレスポンスの活用、およびデマンドレスポンス・アグリゲータの積極活用を目的に、入札制度である Demand Response Auction Mechanism (DRAM) において、制度整備および市場拡大に向けた実証が行われている。

DRAM のスキームを図 3-85 に示す。DRAM では、カリフォルニア州の 3 大民間電力会社が、Resource Adequacy (RA) を調達するために、デマンドレスポンス・アグリゲータが確保したデマンドレスポンス資源のみを対象としたオークションを実施する。デマンドレスポンス資源の提供主体 (売手) は、契約容量を CAISO のエネルギー市場に入札する。これによって、オークションの落札者は、Scheduling Coordinator (SC) を介して、直接 CAISO のエネルギー市場を活用するデマンドレスポンスが可能となっている。

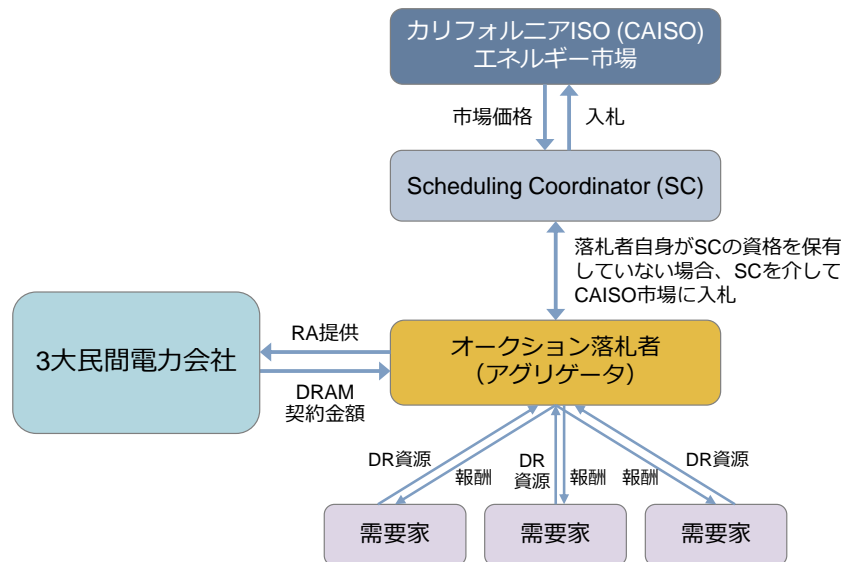


図 3-85 Demand Response Auction Mechanism (DRAM) のスキーム

出所) 三菱総合研究所作成

DRAM の予算は、カリフォルニアの 3 大民間電力会社から提供されており、CPUC は予算の認証機関である。デマンドレスポンス資源を提供するオークション落札者に対して、Resource Adequacy (RA) の対価を支払っているのは各電力会社である。各電力会社の DRAM への支払原資は、需要家からの電気料金の徴収を通じて賄われている。

DRAM の予算は、主に Resource Adequacy (RA) 調達のための DRAM の落札者との契約 (capacity contracts) に用いられる (RA 調達のための対価として支払われる)。その他、一部は、各電力会社の DRAM のオークション運営費用 (例えば、各電力会社が雇用する、オークション過程の公平性の確保を評価する独立評価者 (Independent Evaluator) への支払い) に充てられる。

なお、制度の目的上、デマンドレスポンス資源の提供主体はアグリゲータに限られており、3 大民間電力会社自身はデマンドレスポンス資源を提供することはできない。

イ) Demand Response Auction Mechanism (DRAM) 実施結果

カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC) は、3 大民間電力会社に対して DRAM による RA 調達量等の実施目標を設定し、これまでに、2015 年と 2016 年において 2 回の入札の実証を行った。

初年である 2016 年度分 (2016 DRAM) は、2015 年に入札が行われ、2016 年 6 月～12 月にデマンドレスポンス資源が提供された。最低 22MW の調達を 3 大民間電力会社に課しており (PG&E と SCE には 10MW 以上、SDG&E には 2MW 以上)、またそのうち最低 20% は家庭用エネルギー資源から調達する必要がある。オークション方式でデマンドレスポンスの供給者を決定することで、2016 年 6 月からアグリゲーションによる 100kW 以上のリソースによって、デマンドレスポンスを提供することが可能となる。

2 年目の DRAM (以下、2017 DRAM) は 2017 年をデマンドレスポンス提供期間とし、2016 年 4 月に入札が行われ 7 月に契約が締結されている。

2017 DRAM は 1 年目 (2016 DRAM) よりも拡張され、デマンドレスポンス資源として

PDR (100kW 以上) に加え、RDRR (500kW 以上) も対象となっている。提供されるデマンドレスポンス資源は PDR 又は RDRR、若しくはその混合で構成される。落札者 (Seller) は PDR 又は RDRR から System Capacity 及び Local Capacity を、PDR からのみ Flexible Capacity を提供できる。また、前日市場のみならずリアルタイム市場でも取引可能となっている。

2016 DRAM と 2017 DRAM の違いを表 3-114 に示す。また、2017 DRAM のオークション結果は表 3-115 のとおりである。

表 3-114 2016 DRAM と 2017 DRAM の違い

		2016 DRAM	2017 DRAM		
CAISO 市場	プロダクト	PDR (Proxy Demand Resource)	PDR		RDRR (Reliability Demand Response Resource)
	市場	前日エネルギー市場	前日・当日エネルギー市場		当日エネルギー市場
	最低容量	最低容量 100kW	最低容量 100kW		最低容量 500kW
RA	タイプ	System	System、Local	Flexible	System、Local
	RA の提供義務	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスパッチあたり最低 4 時間 ・最低 24 時間/月 ・最低 3 日連続 	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスパッチあたり最低 4 時間 ・最低 24 時間/月 ・最低 3 日連続 	<ul style="list-style-type: none"> ・5 時間 ・12～17 時(5～9 月) 15～20 時(その他月) ・毎日(Category2) 平日(Category3) ・最低 1 回/月開始 (Category2) 最低 5 回/月開始 (Category3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ディスパッチあたり最低 4 時間 ・最低 24 時間/月 ・最低 3 日連続
運用期間		2016 年 6 月～12 月	2017 年 1 月～12 月		

出所) 三菱総合研究所作成

表 3-115 2017 DRAM の要件及び結果

IOU	項目	要件	結果(第 1 回目入札)
SDG&E	調達目標 ¹	2MW 以上	4MW
	家庭からの調達割合 ¹	20%以上	68%
	予算	150 万 \$ 以下	適合(金額は秘匿)
	需要家登録数	7,000 以下	6,832
SCE	調達目標 ¹	10MW 以上	56.20MW
	家庭からの調達割合 ¹	20%以上	20.7%
	予算	600 万 \$ 以下	適合(金額は秘匿)
	需要家登録数	42,000 以下	42,000 以下
PG&E	調達目標 ¹	10MW 以上	21.4MW
	家庭からの調達割合 ¹	20%以上	52%
	予算	600 万 \$ 以下	適合(金額は秘匿)
	需要家登録数	20,000 以下 ²	-

注 1) 8 月における値

注 2) Rule 24 では累積 40,000 と定められており、2016 DRAM で約 5,000 登録。2017 DRAM では追加分を 20,000 と設定。

出所) 各社の DRAM 結果を記した Advice Letter より作成

SCE :CPUC, “Subject: Staff Disposition of: SCE AL 3442-E-Southern California Edison Company’s 2017 Demand Response Auction Mechanism Pilot Solicitation Results”, August 25, 2016

SDG&E: CPUC, “Subject: 2017 Demand Response Auction Mechanism (DRAM) Results”, October 14, 2016

PG&E: CPUC, “Subject: PG&E 2017 Demand Response Auction Mechanism Purchase Agreements”, October 14, 2016

表 3-116 3 大民間電力会社の 2017 DRAM 契約

IOU	契約先	容量 (MW)	リソース種類	契約期間	Capacity タイプ
SCE	Advanced Microgrid Solutions, Inc.	0.80	非家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	Advanced Microgrid Solutions, Inc.	0.40	非家庭	2017/6/1 - 9/30	D3-LAB Flex 3
	AutoGrid Systems, Inc.	0.50	家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	Chai Inc.	9.32	家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	Earth Networks, Inc.	1.83	家庭	2017/3/1 - 11/30	A-System
	EnerNOC, Inc.	40.00	非家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	OhmConnect, Inc.	1.50	非家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	OhmConnect, Inc.	1.50	非家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
	Stem DRAM, LLC	0.35	非家庭	2017/1/1 - 12/31	A-System
SDG&E			家庭は約 2.7MW		2MW が Local
	AutoGrid Systems, Inc.	0.50	—	2017/1/1 - 12/31	—
	Chai, Inc.	1.063	—	2017/1/1 - 12/31	—
	OhmConnect, Inc	1.00	—	2017/1/1 - 12/31	—
	Stem DRAM, LLC	2.75	—	2017/1/1 - 12/31	—
	AutoGrid Systems, Inc.	5.00	—	2017/1/1 - 12/31	—
	Earth Networks DBA WeatherBug Home	6.60	—	2017/1/1 - 10/31	—
PG&E			家庭は約 2.7MW	9ヶ月又は 12ヶ月	
	Chai, Inc.	—	—	—	System
	Earth Networks, Inc.	—	—	—	System
	Electric Motor Werks, Inc.	—	—	—	System
	EnerNOC, Inc.	—	—	—	System
	Stem, Inc.	—	—	—	System

出所) 各社の DRAM 結果を記した Advice Letter より作成。「-」は不明を示す。

SCE :CPUC, “Subject: Staff Disposition of: SCE AL 3442-E-Southern California Edison Company’s 2017 Demand Response Auction Mechanism Pilot Solicitation Results”, August 25, 2016

SDG&E: CPUC, “Subject: 2017 Demand Response Auction Mechanism (DRAM) Results”, October 14, 2016

PG&E: CPUC, “Subject: PG&E 2017 Demand Response Auction Mechanism Purchase Agreements”, October 14, 2016

ウ) Demand Response Auction Mechanism (DRAM) の評価

今後、CPUC では、実証結果に基づき、デマンドレスポンス・アグリゲータのプレイヤー拡大への寄与度、他のリソースと比較した CAISO 市場での競争力、Resource Adequacy (RA) 容量の達成度等の評価が行われ、2018 年に結果が取りまとめられる予定である。

また、当該評価結果に基づき、DRAM をフルプログラムへと拡張するかどうかの検討が行われる予定である。

(2) 米国カリフォルニア州におけるデマンドレスポンス関連ビジネスの動向

以下では、海外訪問調査で実際に訪問したデマンドレスポンス関連のビジネスに携わる事業者について、そのビジネスの概要をまとめた。訪問調査の対象とした事業者の一覧は表 3-117 のとおりである。

表 3-117 海外訪問調査 対象事業者一覧

	OhmConnect	EcoFactor	Nest	Stem	SolarCity	eMotorWerks
設立年	2013 年	2006 年	2010 年	2009 年	2006 年	2010 年
対象 需要家	家庭、 小規模商業	家庭	家庭	業務	家庭	家庭、 業務施設等
制御方法	間接制御が 主体(直接制 御も実施)	直接制御	直接制御	直接制御	直接制御	直接制御
制御対象 機器	直接制御で はエアコン	エアコン	エアコン(そ の他冷蔵庫、 洗濯機等)	蓄電池	太陽光発電 パワコン、 蓄電池	電気自動車 の充電器
DRAM 参加状況	2016 年、 2017 年に参 加	なし	2016 年、 2017 年の参 加事業者に 対して機器提 供	2016 年、 2017 年に参 加	なし	2016 年、 2017 年に参 加

出所) 三菱総合研究所作成

1) OhmConnect⁵⁰

a. 企業概要

2013 年に設立。家庭および小規模商業需要家向けのエネルギーマネジメントビジネスを展開しているデマンドレスポンス・アグリゲータである。現在の契約需要家数は約 1 万件、デマンドレスポンス資源の容量は 15～20MW 程度である。事業エリアはカリフォルニア州である。

ソーシャルメディアを活用して顧客属性情報を取得しており、天候、季節、世帯数、年齢、収入等のデータを指標として用いている。

b. 現在のデマンドレスポンスに関するビジネスの内容

テキストメッセージ発信による間接制御型デマンドレスポンスと、サーモスタットによ

⁵⁰ 海外訪問調査ヒアリングおよび OhmConnect ウェブサイト, <https://www.ohmconnect.com/>, 2017 年 3 月 17 日取得

る直接制御型デマンドレスポンスを実施しているが、間接制御が中心となっている。

間接制御型デマンドレスポンスでは、“Save Energy. Get Paid.” のコンセプトのもと、電力需給逼迫による価格高騰時に、需要家に対して節電を呼びかけ、削減時間帯を“**Ohm Hour**”と呼称している。このイベントの発生頻度は週あたり約2~3回である。

直接制御型デマンドレスポンスでは、Nest 製等のスマートサーモスタットを保有している需要家に対して、スマートサーモスタットと連携して、OhmConnect 側から機器を直接的に自動制御している。

デマンドレスポンス・アグリゲータとして、CAISO のエネルギー市場（前日市場）に参加している。また、Demand Response Auction Mechanism（DRAM）への参画を通じて、電力会社の Resource Adequacy（RA）調達に資するように、デマンドレスポンス資源をアグリゲートして提供している。

OhmConnect は、市場からの収入の20%を手数料として受け取り、残り80%を需要家へ還元している。個々の需要家に対しては、Ohm Hour における節電度合いに応じて、換金可能なポイントとして報酬を提供している（図 3-86）。需要家あたりの平均年間報酬額は、1年あたり約100~300ドルである。

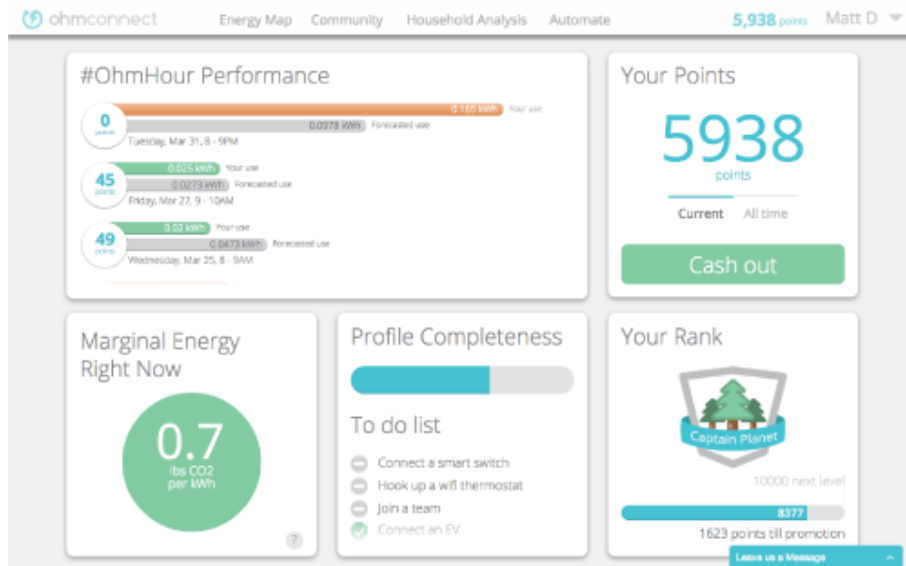


図 3-86 OhmConnect の需要家プラットフォーム

出所) OhmConnect ウェブサイト, <https://www.ohmconnect.com/home-social-form>, 2017年3月13日取得

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

2016年および2017年の Demand Response Auction Mechanism（DRAM）に参画している。DRAM はデマンドレスポンス普及拡大に貢献していると考えている。

CPUC によって2018年にDRAM の評価が行われる予定である。信頼性、費用対効果、達成度、容量等が評価項目となるが、OhmConnect は、信頼性と費用対効果の高さには自信を持っている。

2) EcoFactor⁵¹

a. 企業概要

2006年に設立。電力会社の需要家に対して、サーモスタットを中心に、データ分析を活用した独自のプラットフォーム⁵²を用いて、節電の自動化サービスによってソリューションを提供している。需要家向けのエネルギーマネジメント、機器性能モニタリング、電力会社向けのデマンドレスポンス、顧客対応等を一貫して手がけている。

b. 現在のデマンドレスポンスに関するビジネスの内容

家庭を対象に、サーモスタットを用いたエアコンの直接制御型のデマンドレスポンスサービスを展開している。

家庭属性、気象データ、在宅状況、需要家の個々のパフォーマンス等に基づき、プレクーリング等を実施している。個人の温度快適性の検証、連日のデマンドレスポンス実施の回避、0.1℃単位での温度調整等の工夫により、89%という高い需要家満足度を下げずに電力負荷の削減を両立している（図 3-87）。

具体的には、電力会社1社につき、2年間で54回のデマンドレスポンスの発動実績がある。また、電力削減量は1世帯・1イベントあたり最大3.1kW、空調用電力の10～15%の削減実績がある。

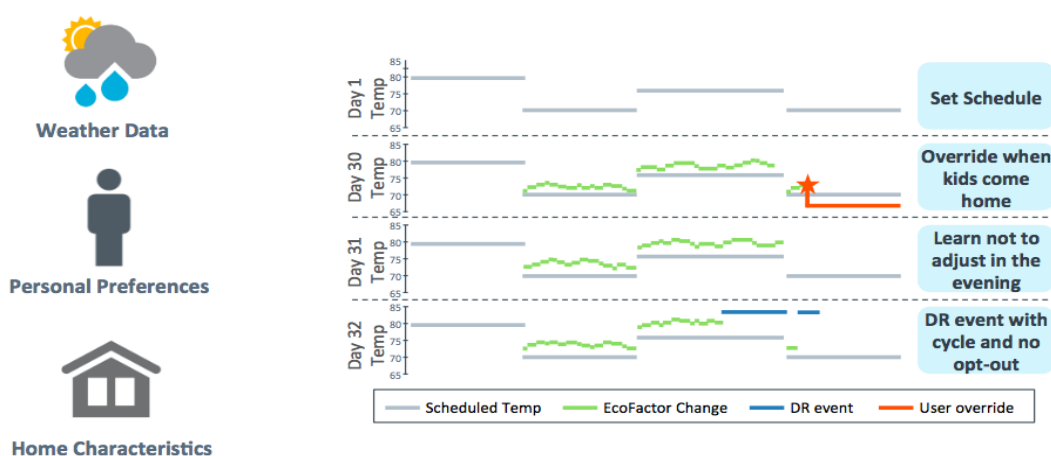


図 3-87 需要家の効率最適化の様子

出所) EcoFactor 提供資料, 2017

ディープラーニングを用いたアルゴリズムを用いて、デマンドレスポンス実施前の学習期間として、約2～4週間ほどの間で、個々の家庭のデータ解析・学習に基づきベースラインを算定している。

近年、電力会社向けに、100ドルを下回る廉価なサーモスタットの販売を開始した。デバ

⁵¹ 海外訪問調査ヒアリングおよび EcoFactor ウェブサイト, <http://www.ecofactor.com/>, 2017年3月17日取得

⁵² EcoFactor ウェブサイト, <http://www.ecofactor.com/platform/>, 2017年3月17日取得

イス自体は機能を持たない単純な構造とし、知能をクラウド側に持たせることで低価格を実現した。

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

Demand Response Auction Mechanism (DRAM) は現在は市場規模が小さいが、対象となる電力容量が 1GW という規模になれば十分参入する価値があると考えている。

3) Nest⁵³

a. 企業概要

2010 年設立。スマートホーム実現のためのデバイスとなる、サーモスタット、カメラ、煙検知器を製造しており、顧客の 9 割以上は家庭需要家（持家が中心）である。

Nest 製サーモスタット（図 3-88）の特徴は以下のとおりである。

- 人工知能が組み込まれており、自動学習に基づくエアコンの自動スケジューリング、不在時自動制御等が可能である。
- 温度センサー、湿度センサー、光センサー、在宅状況確認用のモーションセンサー（近距離センサーと遠距離センサーの 2 タイプ）の機能を有する。
- Wi-fi を用いて、取得データを少なくとも 1 日 1 回クラウドへ送信する。
- Zigbee（近距離無線通信規格の 1 つ）と同様の通信プロトコルを使用し、Wi-fi が通じなくても、通信機能のある機器（冷蔵庫、洗濯機、乾燥機、電気自動車等）の制御が可能である。
- 家庭需要家のパソコン・タブレット・スマートフォン等と接続することができ、直接制御することも可能である。
- 需要家の省エネ意識の向上のためにも、省エネが達成されているときにはサーモスタット上に緑の葉のサインを表示する。



図 3-88 NEST 製サーモスタットの外観

出所) Nest ウェブサイト, <https://nest.com/>, 2017 年 3 月 13 日取得

b. 現在のデマンドレスポンスに関するビジネスの内容

パートナー企業のプログラムとして、需給逼迫等のイベント発生時に需要家のエアコンを自動制御し、需要家に報酬を与えるデマンドレスポンス・プログラムである Rush Hour

⁵³ 海外訪問調査ヒアリングおよび Nest ウェブサイト, <https://nest.com/>, 2017 年 3 月 17 日取得

Rewards を実施している。提供パートナーは以下の表 3-118 のとおりである。

表 3-118 Rush Hour Rewards を提供しているパートナー企業

● Austin Energy	● Vectren
● Southern California Edison	● United CS
● Reliant	● CoServ
● ComEd	● Georgia Power
● CPS Energy	● National Grid
● Con Ed	● Nolin RECC
● Direct Energy	● IPL
● Orange & Rockland	● PG&E
● PGE	● SRP
● Kansas City Power & Light	● SDG&E
● EnergyHub	● PSEG Long Island

出所) Nest ウェブサイトより作成

イベントの時間帯は、イベントの前日に通知する。イベント発生 の 1 時間半～2 時間前から自動でプレクーリングを実施し、住宅断熱性や需要家の選好等も考慮した上で最適制御を行う。パートナー企業を問わず、イベント発生回数はシーズン毎に最大 15 回である。デマンドレスポンスの指令どおりに制御ができずに未達成となった場合のペナルティは特にない。

需要家への報酬はパートナー企業によって異なるが、概ね 1 ドル/kWh 程度である。また、需要家募集にあたっては、想定削減コストを提示してイベント毎に報酬を付与した事例よりは、需要家を募集した時に、一括で報酬を付与した事例の方が、多くの需要家の応募があった。

実績として、数千人の実施対象者のうち、需要家の受容率は 85% である（残りの需要家は空調設定を変更した）。1 台あたり 1.2kW の削減、空調負荷の 55% 削減を達成した（図 3-89）。

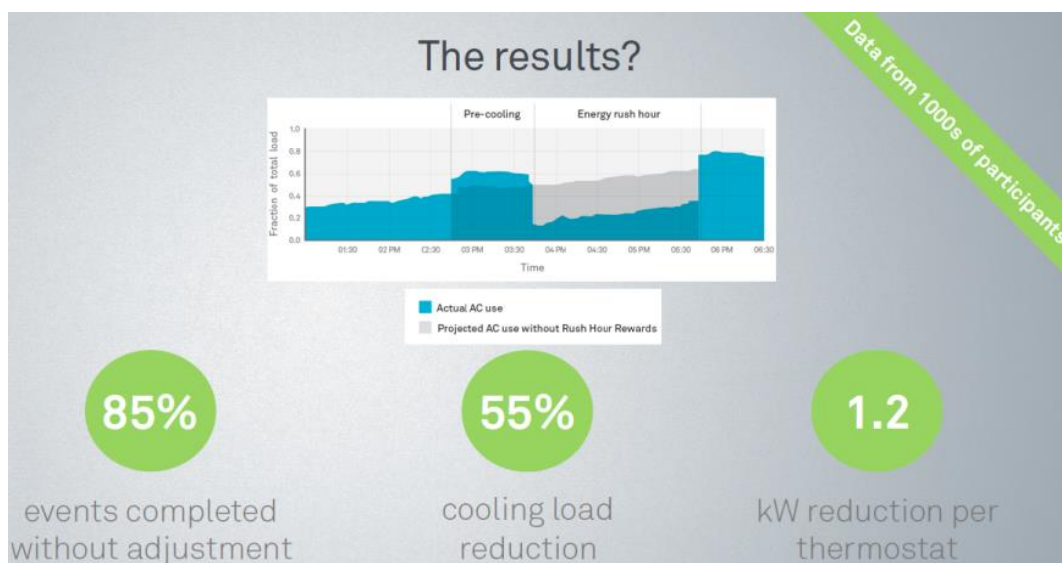


図 3-89 Rush Hour Rewards の結果

出所) Nest 提供資料, 2017

その他に、需要のピーク時にエアコンの電源を切るデマンドレスポンス・プログラムとして、**Rapid Rush Hour** も実施している。事前通知時間はイベントの 10 分前までであり、イベント継続時間は 30 分間、イベント回数は 1 日あたり最大 2 回、1 週あたり最大 3 回である。

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

Demand Response Auction Mechanism (DRAM) については、2016 年、2017 年の参加事業者に対して家庭用エネルギーマネジメンソフトウェアを提供している。

CAISO によって定められたベースラインの算定方法は、必ずしも家庭用空調負荷の状況が的確に反映されていないと思われる。当社ではこれまでに家庭の負荷に係る研究を重ねてきており、当社による家庭の電力消費量の予測の正確性は高い。

4) Stem⁵⁴

a. 企業概要

2009 年設立。業務需要家向けのエネルギーマネジメントビジネスや、電力会社等を対象としたデマンドレスポンス・アグリゲータとしてのビジネスを展開している。

Behind the Meter といわれる需要家側に設置される蓄電池や、蓄電池の制御・診断プラットフォームを提供している（図 3-90）。Stem が蓄電池を所有しながら、蓄電池と制御・診断プラットフォーム等を合わせたシステムを需要家に対してリースし、需要家はシステム導入によって得られた電気代金の削減分の一部を Stem に支払うというビジネスモデルをとっている。

事業エリアは、カリフォルニア、ハワイ等の電気料金が割高な州が中心である。

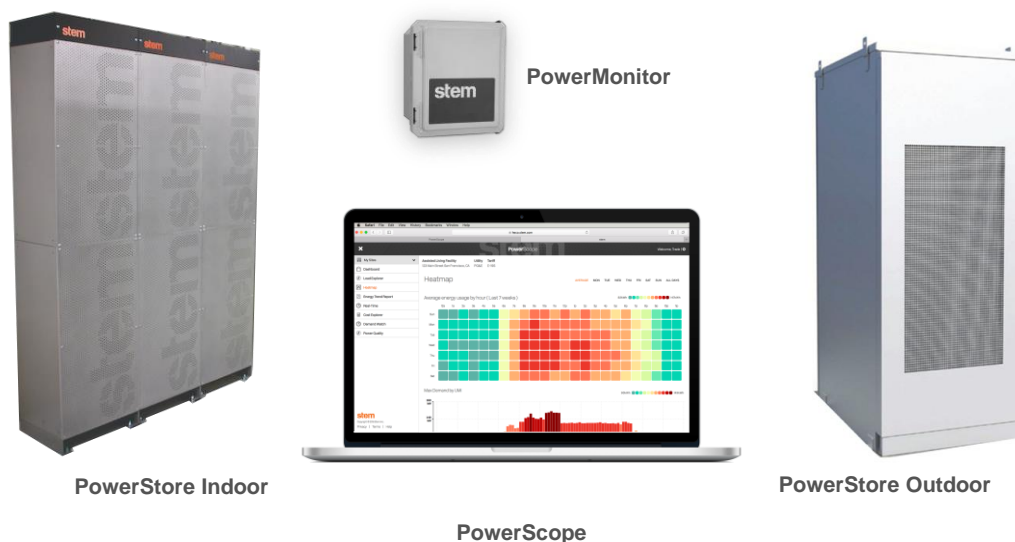


図 3-90 Stem の主な製品およびサービス

出所) Stem 提供資料, 2017

⁵⁴ 海外訪問調査ヒアリングおよび Stem ウェブサイト, <http://www.stem.com/>, 2017 年 3 月 17 日取得

b. 現在のデマンドレスポンスに関するビジネスの内容

2015年9月以降、PG&Eの実証プログラムである Supply-Side Pilot (SSP) を通じて、CAISO のエネルギー市場に参加し、蓄電池のアグリゲートによってデマンドレスポンス資源を供給している。

Stem の強みは、需要家間の蓄電池の連系制御にある。個々の需要家の蓄電池の蓄電状況を踏まえて最適な運用ポートフォリオを構築し、蓄電池の自動制御を実施している。需要家の電気料金削減のための蓄電池活用と、市場のための活用の最適化を行っている。

一般的なデマンドレスポンスと比較すると、蓄電池によるデマンドレスポンスは、即応性、信頼性に優れていると考えている。

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

2016年および2017年の Demand Response Auction Mechanism (DRAM) に参画している。

負荷削減量の算定時における蓄電池設置需要家のベースライン算定の考え方が不十分であり、需要家側設置の蓄電池を用いたアグリゲート型デマンドレスポンスを十分に活かすための制度が整っていないと考えている。

5) SolarCity⁵⁵

a. 企業概要

2006年設立。米国国内の需要家（一般家庭向け、商工業顧客向け、政府機関向け）に対する太陽光発電設備の設計・製造・設置・維持・監視・リース・販売、太陽光エネルギーシステム、太陽光リースおよび電力購入契約のファイナンス、太陽光パネル設置器具および関連ソフトウェアを提供している。2016年11月、Teslaによる買収手続きが完了した。

b. デマンドレスポンスに向けたパイロットプロジェクトの内容

ア) Smart Energy Home in Hawaii

2016年にハワイ州で開始されたプロジェクトである。ハワイ州のネットメータリング廃止を受けて、太陽光発電の自家消費システムの構築のために、太陽電池と家庭内の様々な負荷をネットワーク化したものであり、制御可能な負荷は、例えば、給湯器、スマートサーモスタット、Tesla製の蓄電池（Power Wall 2を使用）がある。これまでに約150世帯と契約を締結済みである。

イ) 50 Smart Energy Home Pilot Project

SCEエリアでのパイロットプロジェクトである。SCE、SunSpec Allianceと共に、太陽光発電、蓄電池、スマートインバータを組み合わせたスマートホームの実証を50戸の家庭で

⁵⁵ 海外訪問調査ヒアリングおよびSolarCityウェブサイト、<http://www.solarcity.com/>, 2017年3月17日取得

実施する予定で、現在は設備導入を終えた段階である。

最初は、配電網のサポートサービスを SCE に対して提供し、さらに次の段階では、Proxy Demand Resource (PDR)⁵⁶として CAISO 卸売市場へ提供していく予定である。50 戸それぞれの給電線上のアセットを全てアグリゲートし、電圧や無効電力、周波数などを最適化する(図 3-91)。

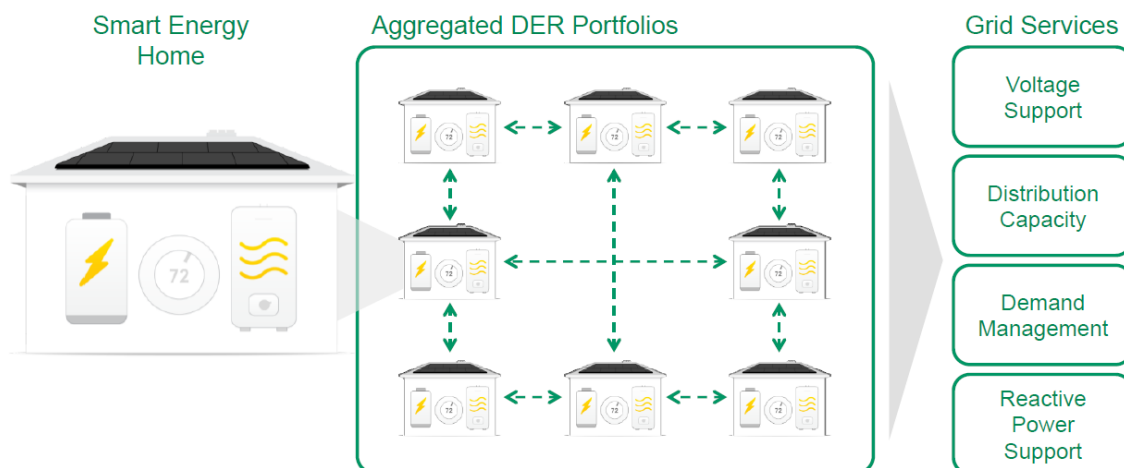


図 3-91 分散型エネルギー資源の統合による系統サービス提供イメージ

出所) SolarCity, “SunSpec Alliance Annual Meeting Case Study – Smart Energy Homes”, <http://sunspec.org/wp-content/uploads/2016/03/KevinJoyceSolarCity-CaseStudy.pdf>, 2016

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

太陽光発電事業者としては、十分な負荷がないため、一定期間中、毎日エネルギー市場に入札を行う必要がある Must Offer Obligation に従うことが難しいことから、現在 Demand Response Auction Mechanism (DRAM) には参加していない。

家庭用デマンドチャージについては、導入反対の立場である。家庭用デマンドチャージが導入されると、相殺出来る電力料金が 5~6 セント/kWh となり、太陽光発電が経済的に見合わなくなるためである。

ダイナミックプライシングは、投機的なゲーミング (Gaming) の対象となってしまう危険もあり、需要家にリスクが生じることから、導入反対の立場をとっている。

6) eMotorWerks⁵⁷

a. 企業概要

2010 年設立。電気自動車充電器の販売および充電サービスに係るプラットフォームを提

⁵⁶ PDR (Proxy Demand Resource) とは、CAISO が提供するデマンドレスポンス用のプロダクトの 1 つである。前日・リアルタイムエネルギー市場、前日・リアルタイム Non-Spinning Reserve 市場、5 分リアルタイムエネルギーへの入札が可能である。

⁵⁷ 海外訪問調査ヒアリングおよび eMotorWerks ウェブサイト, <https://emotorwerks.com/>, 2017 年 3 月 17 日取得

供している。

2014年より、電気自動車充電器 Juice Box を主に家庭向けに販売しており、累積販売台数は 14,000 台以上である。また、既設の給電口にアダプターとして接続することで、あらゆる普通充電器⁵⁸の制御が可能となる製品 Juice Plug（価格は 200 ドル程度）を近日販売開始予定である。

また、他社との協業で、ソフトウェアプラットフォーム Juice Net も提供している(図 3-92)。

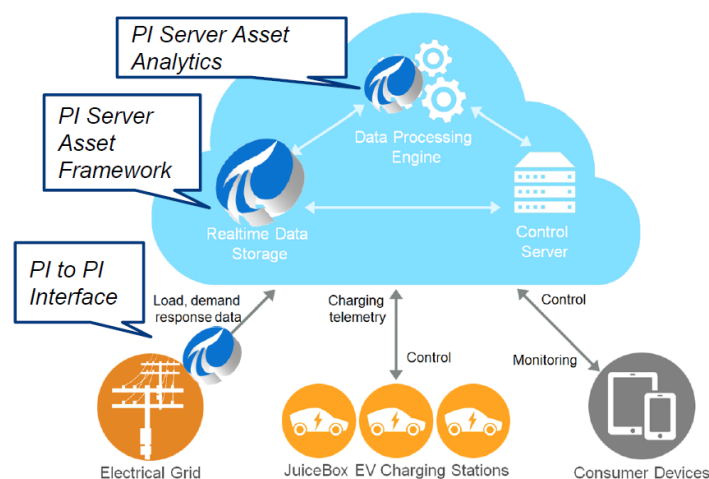


図 3-92 JuiceNet の概要

出所) OSISOFT ウェブサイト, “eMotorWerks-The JuiceBox™ Charging Solution Leverages Data from Connected EV Network for Smart Charging and Grid Optimization”, http://www.osisoft.com/enterprise-intelligence/downloads/cb_emotorwerks_lt_en.pdf, 2015

b. 現在のデマンドレスポンスに関するビジネスの内容

充電時間をずらしたことによる電気料金の節約分をポイントとしてドライバーに還元するリワードプログラム (Reward program) を実施している。登録は約 500～600 件である。

また、2016年11月より、カリフォルニア州ソノマ郡において、家庭への電気自動車充電装置 1,000 件の無償提供およびリワードプログラム参加者への 250 ドルの報酬付与の実証を開始した。これまでの 60 日間に 300 世帯以上が参加し、うち約 9 割がリワードプログラムに登録している。

c. デマンドレスポンス関連制度に対する見解等

2016年、2017年実施の Demand Response Auction Mechanism (DRAM) にはすでに参加しているが、現時点では、最低入札容量⁵⁹を満たすために十分な容量を確保することが容易ではない。

⁵⁸ 米国における充電器の 3 区分のうち、レベル 1・2 に対応しており、急速充電であるレベル 3 は非対応である。

⁵⁹ 最低入札容量は、CAISO が提供するデマンドレスポンス用のプロダクトのうち、Proxy Demand Resource (PDR) では 100kW 以上、Reliability Demand Response Resource (RDRR) は 500kW 以上である。

(3) 米国カリフォルニア州におけるデマンドレスポンスに参画する需要家の取組み

「3.3 国内のデマンドレスポンスのポテンシャル」で分析したとおり、水道事業のデマンドレスポンス資源の活用可能性は高いと考えられている。ここでは、米国カリフォルニア州における公益水道事業者の Eastern Municipal Water District を取り上げ、デマンドレスポンスに参画する需要家の取組みの様子を詳述する。なお、カリフォルニア州では、Eastern Municipal Water District のほかにも、Rancho Cucamonga 市の水道局もデマンドレスポンスに参画している。

1) Eastern Municipal Water District⁶⁰

a. 企業概要

非営利の公益水道事業者であり、従業員数は約 600 人、年間予算 300 百万ドルである。

水道サービス提供地域はロサンゼルスから 120km ほど東の地域 (555 平方マイル)、対象人口は約 79.5 万人である。事業領域は上下水道・汚水処理・リサイクル事業にわたり、水道局としては水に関するすべてのサービスを提供するユニークな存在である。主な水源は、コロラド川からの流入および北カリフォルニアが 6 割を占め、残りは井戸水と地下水等である。

電力契約先は SCE であり、契約口数は約 250 件である。年間の電力使用料金は約 1,300 万～1,400 万ドル、最大電力は約 30MW である。

b. 現在のデマンドレスポンスの参画状況

以下のとおり、電力会社である SCE のデマンドレスポンス・プログラムと、デマンドレスポンス・アグリゲータである EnerNOC のデマンドレスポンス・プログラムに参画している。両プログラムによる合計のピーク需要の削減量は 12.2MW であり、ピーク需要の 33% 削減、年間 600,000 ドルの節約に成功している。1 日あたりのピーク需要の削減の推移は図 3-93 のとおりである。

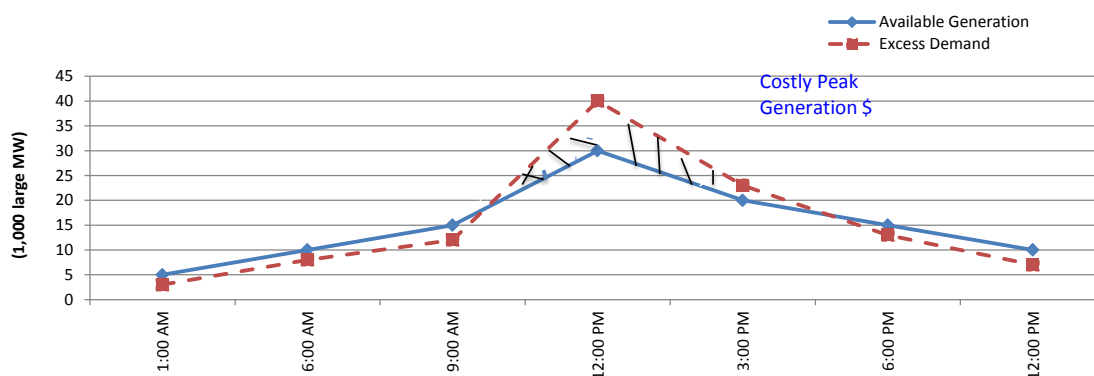


図 3-93 Eastern Municipal Water District のピーク需要の削減推移

出所) Eastern Municipal Water District 提供資料, 2017

⁶⁰ 海外訪問調査ヒアリングおよび Eastern Municipal Water District ウェブサイト, <https://www.emwd.org/>, 2017 年 3 月 17 日取得

ア) SCE のデマンドレスポンス・プログラム

約 30 年前から実施している。現在は 3 つの施設で実施しており、容量は 6MW である。

負荷削減のイベント発生 15 分前に停止指示通知を受け、事業所の責任者が制御対象とする施設の制御を確認する。デマンドレスポンスの指令どおりに制御できずに未達成となった場合には、その分の電力料金が非常に高額となる結果、これが実質上のペナルティとして機能している。

このプログラムによるピーク需要の削減実績は 12～15% である。

イ) EnerNOC のデマンドレスポンス・プログラム

約 10 年弱前から実施している。現在は 16 の施設で実施しており、容量 3.7MW である。

EnerNOC からのデマンドレスポンスの指令の通知は、制御の約 2～4 時間前に受ける（なお、契約上は最低 30 分～1 時間前である）。指令を受けて、制御対象とする施設を運転員が判断し、自動デマンドレスポンス（Automated Demand Response）により、遠隔操作でポンプ等の負荷を制御する。

指令の頻度は年間数回程度であり、年間の約 20,000 ドルの削減実績がある。



図 3-94 Eastern Municipal Water District におけるデマンドレスポンスへの取組みの様子
出所) Eastern Municipal Water District 提供資料, 2017

c. デマンドレスポンスへの見解等

Eastern Municipal Water District がデマンドレスポンスに取り組むのは、水道需要家に対して少しでも水道料金を安く提供するためである。非営利の公益法人であるため、水道料金を低減する努力が望まれており、節約分は需要家へ還元している。また、カリフォルニア州では、温室効果ガス排出量削減を目指して太陽光発電等の導入拡大やその一環としてリアルタイムプライシングの導入等を行おうとしているが、これらの取組みにも協力意向がある。その中で水道料金の削減にも寄与できるなら望ましい。

電気料金は、電力システムの老朽化対策費用の増加、再生可能エネルギーの導入増加から、今後も上昇する傾向にある。このため、水管理には、エネルギーマネジメントがますます大事になってくる。

水道事業は、水の安定供給のためにシステムに冗長性を組み込んでおり、また、運用の柔軟性も高いため、デマンドレスポンスに特に適している。

蓄電池による電力貯蔵への取組みは時期尚早であり、今後の課題である。

(4) 米国カリフォルニア州におけるデマンドレスポンスの現状と今後の展望

これまで述べてきた、カリフォルニア州におけるデマンドレスポンスに関する現状の政策・ビジネスの動向、今後の展望や課題は、以下のようにまとめることができる。これらは、日本国内における系統対策オプションとしてのデマンドレスポンスの可能性を検討する際に、重要な視点となる。

1) 系統インテグレーションの重要性の認識

再生可能エネルギーの普及拡大に伴い、再生可能エネルギーの系統インテグレーションの重要性は高まっている。

2) デマンドレスポンスの政策的位置付け

再生可能エネルギーの系統インテグレーションの対策のひとつとして、デマンドレスポンスを積極活用していくという方向性はあるものの、現時点では、制度設計、実際の市場整備の観点のいずれにおいても、発展途上段階にある。

従来実施されてきた民間電力会社の運営によるピーク削減型デマンドレスポンスについては、確実性や経済性、普及不足の課題が指摘されている。

現在は、デマンドレスポンス・アグリゲータの積極活用を図るため、2016年からパイロットプログラムとして始まった Demand Response Auction Mechanism (DRAM) により、制度整備と市場拡大に向けた取組みが検証されている。今後、デマンドレスポンス・アグリゲータのプレイヤー拡大への寄与度、デマンドレスポンスの市場競争力、Resource Adequacy (RA) 容量の達成度等の評価を行い、DRAM を正式なプログラムとして継続していくかが検討される予定である。

3) デマンドレスポンスに関連するビジネスの動向と今後の展望

デマンドレスポンスに対応するビジネスとして、家庭向けのサーモスタットを用いたエアコンのきめ細やかな自動制御、商業需要家向けの蓄電池を用いた自動制御、電気自動車の充電制御といった技術を用いた様々なサービスが展開されている。

4) デマンドレスポンスの今後の発展可能性

現在、中長期的にみてピークシフトや調整力確保のためにデマンドレスポンスを活用する方策も検討が進められている。

例えば、ローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL) では、シフト型デマンドレスポンスの重要性、アンシラリー型デマンドレスポンスの可能性といった、デマンドレスポンスの政策的意義の検証が進められている。また、3大民間電力会社は、カリフォルニア州公益事

業委員会（CPUC）の指示の下で、2019年より家庭向けに時間帯別料金（TOU）をデフォルトで適用する予定である（ただしオプトアウトは可能）。

現状は、需要家側は負荷管理、卸市場側はピーク削減型デマンドレスポンスが中心であるが、将来は、制度整備の進展により、シフト型デマンドレスポンスやアンシラリー型デマンドレスポンスへの展開が期待されている。

3.6 デマンドレスポンス資源の定着のために必要な施策

本節では、以上で検討してきた我が国におけるデマンドレスポンスの利用可能性をまとめた上で、デマンドレスポンス資源を活用するにあたっての課題と、それに対する施策を検討した。

3.6.1 我が国におけるデマンドレスポンスの利用の方向性

(1) 我が国におけるデマンドレスポンスの利用可能性

以上で検討してきた我が国におけるデマンドレスポンスの利用可能性について、表 3-119 にまとめた。

既に、導入されている昼夜間・季節間の電気料金差により、料金の安い時間帯への需要シフトが行われている状況は、一種のデマンドレスポンスである。また、大規模需要家は、需給調整契約等を通じて、運転予備力としてデマンドレスポンス資源を提供していると言える。

再生可能エネルギーの導入が拡大するにつれて、九州等の太陽光発電導入量が大きいエリアでは、カリフォルニア州でも直面しているダックカーブ問題（余剰電力の発生、夕刻の需給逼迫）が現実的に発生しつつある。これに対応するため、デマンドレスポンス資源を需給調整に活用していくことは有用である。このようなデマンドレスポンスは、電気料金による誘導が効果的である。

将来的には、ヒートポンプ式給湯機や電気自動車等、柔軟性が高く応答性時間が短い資源を、運転予備力や LFC 調整力等として活用することも考えられる。これらの資源は今後の普及拡大が見込まれ、総量としては大きなポテンシャルを持つ可能性がある。一方で、調整力の供給において今後実際にクリティカルな影響が生じるのか、デマンドレスポンス資源を需給調整に用いたほうがよいか調整力として用いたほうがよいかについては、引き続き検討を行う必要がある。また、これら有望な資源の 1 台あたりの容量は小さいため、調整力として活用するためには、通信にかかる技術的課題の解決、アグリゲーション等を通じた応答の確実性の担保、アグリゲーション事業のビジネスモデルの確立などの課題を解決していく必要がある。

さらに、ローカルな電力システムの制約も、再生可能エネルギーの系統接続において顕在化しつつある。現在は接続保留によって電力システムへの悪影響を予め抑制しているが、再生可能エネルギーの接続量拡大のために、フィーダ（送配電線）単位でのデマンドレスポンスによる需給調整を行うことも考えられる。制約が発現する時間が前もって予測可能であれば、全系に対する需給調整と同じように、電気料金による誘導で実現できる可能性がある。確実かつ柔軟な調整を求める際には、運転予備力や LFC 調整力等としての活用の際と同じ課題に対応する必要がある。

なお、いずれのアプリケーションについても、デマンドレスポンス資源の活用のみで問題のすべてが解決するものではなく、連系線や揚水発電・火力発電の柔軟な運用等との組み合わせが必須である。

表 3-119 我が国におけるデマンドレスポンスの利用可能性

アプリケーション		適性のあるデマンドレスポンスの特徴	ポテンシャルが大きい資源例	活用に必要な技術	デマンドレスポンス利用の価値	経済的インセンティブ例	カリフォルニア州の取組
エネルギー(需給調整)	事前スケジューリングによる需要の昼間シフト	双方向	HP 給湯機 将来の EV 産業需要・上下水道等	スケジューリング機能 (HP 給湯機等の場合)	あり	再生可能エネルギー対応の時間帯別料金(TOU)制度	・家庭での TOU デフォルト化に向けた検討
	1 時間後～翌日の需給予測に合わせた需要調整	柔軟性あり、 双方向	HP 給湯機 将来の EV	シグナル受信・制御機能		ダイナミックプライシング	・スマートサーモスタット等を活用したビジネス進展
アンシラリー	全系	運転予備力 (30 分コマ平均でのインバランスの調整)	柔軟性あり、 抑制方向	HP 給湯機 将来の EV 空調(短時間)	通信制御、応答の信頼度確保 (アグリゲーション)	未評価	<ul style="list-style-type: none"> ・DRAM 制度によるアグリゲータの活用推進 (ピーク削減に利用) ・EV 含む蓄電池活用は市場参加の制度化済み ・政策的意義を研究機関にて検証中
		LFC 制御等 (30 分コマ内での周波数調整)	柔軟性あり、 応答時間短い	HP 給湯機 将来の EV	同上	未評価	
	ローカル	線路過負荷・電圧変動・バンク逆潮流等対応	柔軟性あり、 双方向	地域による	特定地域のみ の制御	未評価	

(2) 我が国におけるデマンドレスポンスの利用の方向性

以上を踏まえて、我が国におけるデマンドレスポンスの利用の方向性について、表 3-120 のようにまとめた。デマンドレスポンスを起こすためのメカニズムとしては、IEA(2016)等の整理にならい、「電力価格反応型」「発電機型」で区分した⁶¹。

短中期的に導入検討を進めるべきと考えられる需給調整目的のデマンドレスポンスは、再生可能エネルギーの出力の時間帯に合わせた需要シフトを推進するものであるが、「発電機型」で前提とされるベースラインの設定は困難であることから「電力価格反応型」としての誘導が必要である。

一方で、中長期的に可能性のある運転予備力・LFC 制御等は、応答の確実性が求められることから、デマンドレスポンス資源を必要に応じてアグリゲーションを行った上で、応答に責任のある発電機として扱う「発電機型」での活用が適切となる。

表 3-120 デマンドレスポンス資源の活用時期

アプリケーション		導入時期	デマンドレスポンスのメカニズム
エネルギー (需給調整)	事前スケジューリングによる 需要の昼間シフト	短中期的	電力価格反応型
	1 時間後～翌日の需給予測に合 わせた需要調整	短中期的	電力価格反応型
アンシラリー	全系	大規模資源：既に導入済 み 小規模資源：中長期的	発電機型
		LFC 制御等 (30 分コマ内での 周波数調整)	中長期的
	ローカル	線路過負荷・電圧変動・バンク 逆潮流等対応	電力価格反応型 ／発電機型

注) 「デマンドレスポンスのメカニズム」については P273 表 3-3 も参照。

3.6.2 デマンドレスポンス資源活用にあたっての技術的・制度的課題と施策例

デマンドレスポンス資源を活用するにあたっての課題と、それに対する施策例を表 3-121 に示す。このうち、短中期的に導入検討を進めるべきと考えられる、需給調整目的のデマンドレスポンスを実現するための、課題解決に向けた施策例として、表中①～④で記したものについて詳細を検討した。

特に、需給調整目的のデマンドレスポンスは「電力価格反応型」で実現するものであり、ヒートポンプ式給湯機や電気自動車にそのポテンシャルが大きいことから、家庭向けの電気料金設計が重要である。一方で、カリフォルニア州が家庭向け時間帯別料金のデフォルト導入を 5 年以上かけて検討しているように、需要家の受容可能性の点からは丁寧な議論と啓発が必要であり、早めに検討を開始する必要がある。

⁶¹ 本区分については P269 の表 3-3 を参照のこと。

表 3-121 デマンドレスポンス資源活用にあたっての課題と施策例

	現状の課題	施策例		
		A:全系の需給調整としての活用に向けた施策	B:ローカルな需給調整としての活用に向けた施策	C:予備力・調整力としての活用に向けた施策
情動的課題 (受容性)	需要家にとって、再生可能エネルギー対応デマンドレスポンスへの理解が不十分	<ul style="list-style-type: none"> 家庭への普及啓発 産業等に対する既存の省エネ等ガイドラインでの言及 	<ul style="list-style-type: none"> Aに加え、自治体と連携した普及啓発 	<ul style="list-style-type: none"> Aに同じ
	需要家にとって、再生可能エネルギー対応デマンドレスポンスへの参加による影響がわからない	<ul style="list-style-type: none"> ①需要家のデマンドレスポンスの対応可能性の実証 需要家のデマンドレスポンスの対応可能性検討支援（ガイドライン提示、検討への補助等） 	<ul style="list-style-type: none"> Aに同じ 	<ul style="list-style-type: none"> Aに同じ（ただし対象となる需要家の種類は異なる）
経済的課題	再生可能エネルギー対応のデマンドレスポンスを誘導する経済的インセンティブがない	<ul style="list-style-type: none"> ②小売事業者に対する再生可能エネルギー対応の時間帯別料金やダイナミックプライシング制度の導入支援 	<ul style="list-style-type: none"> Aに同じ 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンスが参加できる電力市場の設計 アグリゲーションビジネスの支援
技術的課題	デマンドレスポンス資源に、価格もしくは量シグナルに対して需給調整を行う機能が一般的でない	<ul style="list-style-type: none"> ③時間帯別料金やダイナミックプライシングに反応する技術実証 	<ul style="list-style-type: none"> Aに同じ 	<ul style="list-style-type: none"> Aに加え、系統運用者（アグリゲータ）からの指令に反応する技術実証
	対象となるデマンドレスポンス資源の数が多くなるほど通信の確実性が低下する	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず） 	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず） 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンス資源との通信手段・方法の確立、標準化
	需要家の受容性または技術的不具合によりがどの程度の反応が見込めるか不明	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず） 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンス応答の予測技術の向上 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンス応答の予測技術の向上
制度的課題	既存制度が再生可能エネルギー対応のデマンドレスポンスを想定していない	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず） 	<ul style="list-style-type: none"> ローカルに需給調整を行うことに対する系統接続や出力制御ルール整備 	<ul style="list-style-type: none"> デマンドレスポンスが参加できる電力市場の設計 アグリゲーションビジネスの支援
その他	ローカルな需給調整に資するほどのデマンドレスポンス資源が集まるか不明	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず） 	<ul style="list-style-type: none"> ④フィーダ単位でのデマンドレスポンスの集中利用による効果の実証 	<ul style="list-style-type: none"> （課題が該当せず）

(1) 需要家のデマンドレスポンス対応可能性の実証

施策の背景	再生可能エネルギーに対応するデマンドレスポンスのうち、1 時間後～翌日の需給予測に対応した需要調整や、調整力としての需要調整への対応可能性は、従来の夏季ピークカットとは求められる動作が大きく異なるため、需要家自身にも判断しにくい。
施策の目的	製造業や上下水道、家庭等の各部門・業種の需要家に対してデマンドレスポンス対応への実証を行うことにより、製品・提供サービスまたは生活の質への影響とその受容性や、需要家の応答の確実性を把握する。
施策の導入時期	短期的～
施策の具体化に向けて必要な検討	想定するデマンドレスポンスのアプリケーションの決定 実証主体の募集
他の施策との連携	後述する「時間帯別料金等に反応するデマンドレスポンスの技術実証」と組み合わせることも考えられる。 ここでの成果を踏まえ、部門別・業種のデマンドレスポンス対応ガイドライン等を作成する。

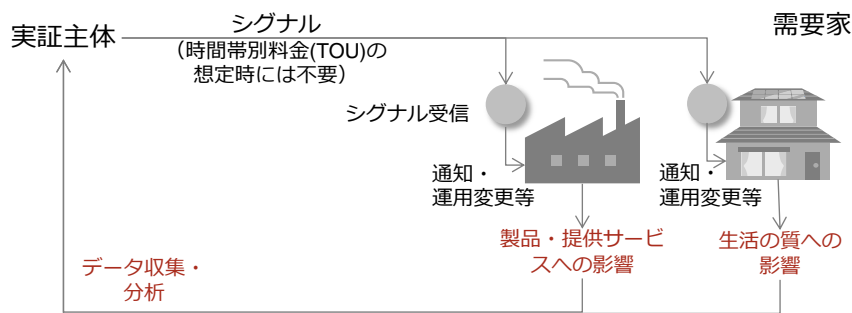


図 3-95 需要家のデマンドレスポンス対応可能性の実証のイメージ

(2) 小売事業者に対する再生可能エネルギー対応時間帯別料金等の導入支援

施策の背景	再生可能エネルギーの大量導入時に発生する余剰電力問題への対応として、需要を夜間や夕方から昼間にシフトさせることが有効である。時間帯別料金を導入することで、このシフトを自発的かつ持続的に誘発することができる。また、ダイナミックプライシングではそれをより機動的に行うことができる。
施策の目的	小売事業者が時間帯別料金やダイナミックプライシングといった料金制度を導入するための、必要な検討事項や導入手順をガイドラインとして示す。
施策の導入時期	2020 年ごろ～
施策の具体化に向けて必要な検討	ガイドラインへの掲載項目の検討 実際の小売事業者に対するケーススタディ（料金設計変更による収支への影響等）、 パイロットプログラムの実施
他の施策との連携	—
参考	カリフォルニア州での家庭用 TOU デフォルト化に向けた議論

(3) 時間帯別料金等に反応するデマンドレスポンスの技術実証

施策の背景	前述のように、再生可能エネルギーの大量導入時に発生する余剰電力問題への対応としての需要シフトを、時間帯別料金やダイナミックプライシングといった価格シグナルで誘発することができる。 その効果を強めるためには、機器自体に価格シグナルに応じた自動制御機能を持たせることが有効と考えられる。
施策の目的	デマンドレスポンス資源としてのポテンシャルが大きい技術（ヒートポンプ式給湯機等の汎用機器）について、価格シグナルに応じた自動制御機能の実証を通じて、その実用化を支援する。
施策の導入時期	短期的～
施策の具体化にあたって必要な検討	実証主体としての技術提供者の募集
他の施策との連携	前述した「需要家のデマンドレスポンス対応可能性の実証」と組み合わせることも考えられる。

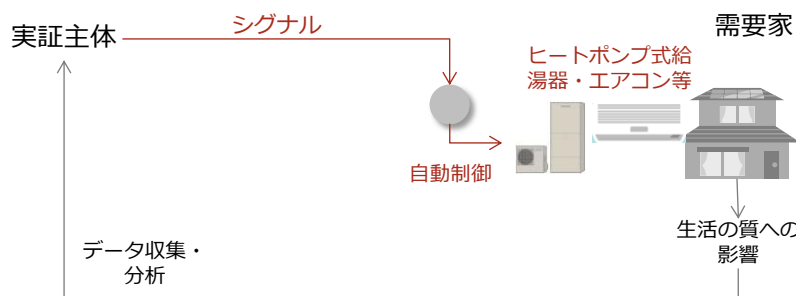


図 3-96 時間帯別料金等に反応するデマンドレスポンスの技術実証のイメージ

注) 画像出典：<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/gel/ghg-guideline/house/>

(4) フィーダ単位でのデマンドレスポンスの集中利用による効果の実証

施策の背景	離島などをはじめ、再生可能エネルギーの接続・出力に関して、ローカルな電力システムの制約が顕在化している地域が増えつつある。
施策の目的	ローカルな電力システムの制約が顕在化している地域について、自治体等の主導によりデマンドレスポンス資源の集中利用を進めたときに、どの程度の効果が見込まれるかを実証する。
施策の導入時期	短期的～
施策の具体化にあたって必要な検討	実証主体としての自治体・地域新電力等の募集
他の施策との連携	前述した「需要家のデマンドレスポンス対応可能性の実証」「時間帯別料金等に反応するデマンドレスポンスの技術実証」と組み合わせることも考えられる。

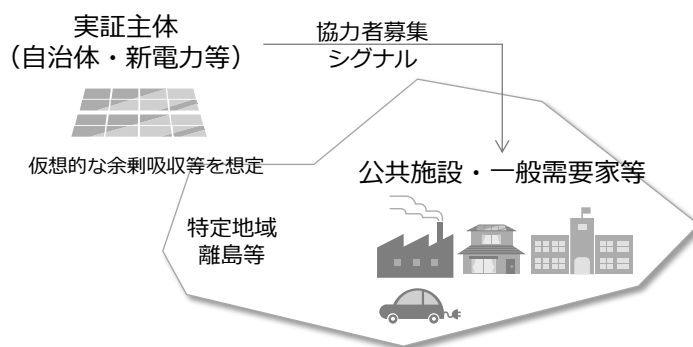


図 3-97 フィーダ単位でのデマンドレスポンスの集中利用による効果の実証

3.7 再生可能エネルギーの導入に伴う効果・影響分析

本項では、日本における再生可能エネルギーの導入に伴う経済波及効果を産業連関分析の手法に基づいて試算する。試算にあたっては、再生可能エネルギー技術・事業・政策などの効果や影響を分析することを目的に作成された再生可能エネルギー部門拡張産業連関表⁶²（REFIO：Renewable Energy-Focused Input-Output Table（以下、「REFIO」という。））を用いた。また、日本における再生可能エネルギーの導入見込量は、平成 26 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討委託業務をベースに、2013 年、2014-2020 年、2021-2030 年を対象に推計した。なお、導入見込量推計の区分は REFIO の技術区分と異なるため、一定の仮定を置いて対応させている。

(1) REFIO を用いた産業連関分析の概要

波及効果の計測に当たっては、経済波及効果計測においてスタンダードな手法となっている産業連関分析モデルを活用する（図 3-98）。

推計に用いる産業連関表は、現時点で最新となる REFIO Ver.1.0 を用いる。REFIO Ver.1.0 は、「平成 23 年（2011 年）産業連関表」をベースとしながら、再生可能エネルギー関連部門を対象とし、全国各地の再生可能エネルギー施設や関連事業所などから得た膨大なデータを活用して推計されているものである。なお、REFIO Ver.1.0 は「固定価格買取制度（FIT）導入後の状況を反映した分析の実施」及び「小規模地熱発電など、2011 年時点ではまだ導入されていない技術を表に組み込む」ことを目的に 2013 年を対象として作成された。

⁶²森泉 由恵,本藤祐樹,中野 諭, 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用, 日本エネルギー学会誌, Vol. 94 (2015) No. 12 p. 1397-1413 ,<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jie/94/12/94_1397/pdf>

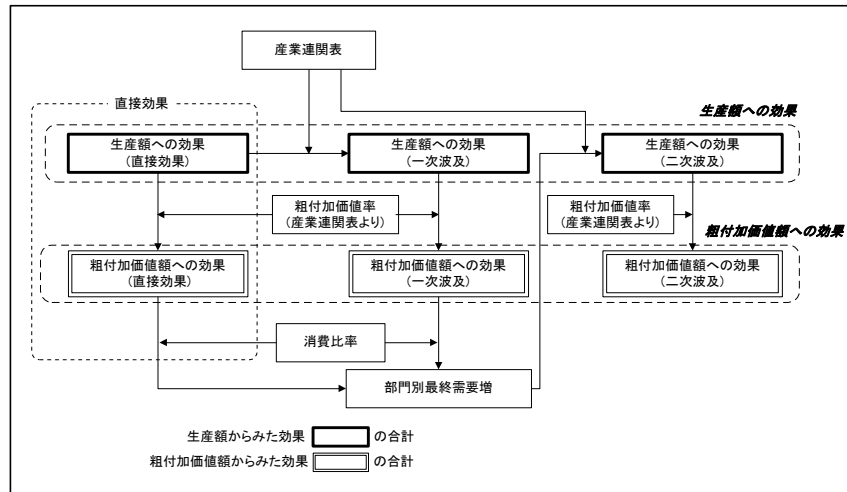


図 3-98 波及効果の経済フロー

(2) 本分析の方法

本分析は、次項に示す再生可能エネルギー技術を対象に 2013 年から 2030 年の最終需要増加額を推計し、REFIO に金額を与えることで経済波及効果を分析した。なお、推計した最終需要増加額は、輸移入分を除き国内で生じる最終需要増加額とした。

1) 対象技術

本分析で対象とする技術区分を表 3-122 に示す。

太陽光発電（メガソーラー）は、REFIO において「大規模産業用太陽光発電（屋根設置）」と「大規模産業用太陽光発電（地上設置）」の 2 部門があるが、本分析においては全量を地上設置と仮定し、「大規模産業用太陽光発電（地上設置）」に部門格付けした。洋上風力発電、地熱発電（温泉）は、REFIO に対応部門がないため比較的近い構造である「風力発電」、「小規模地熱発電」にそれぞれ部門格付けした。また、バイオマス発電は、本業務において区分を一括計上し推計したことから、本項においては REFIO の部門に対応させて、バイオマス発電（木質）、バイオマス発電（下水汚泥）、バイオマス発電（家畜排せつ物）、バイオマス発電（食品廃棄物）に分割した。

表 3-122 本分析における技術区分

NO.	本分析における技術区分	本業務において推計した技術区分	REFIO Ver.1.0における技術区分(部門)
1	太陽光発電(住宅)	太陽光発電(住宅)	住宅用太陽光発電
2	太陽光発電(非住宅)	太陽光発電(非住宅)	小規模産業用太陽光発電(屋根設置)
3	太陽光発電(メガソーラー)	太陽光発電(メガソーラー)	大規模産業用太陽光発電(地上設置)
4	風力発電(陸上)	陸上風力発電	風力発電
5	風力発電(着床洋上)	洋上風力発電(着床)	風力発電
6	風力発電(浮体洋上)	洋上風力発電(浮体)	風力発電
7	水力発電(中小水力)	中小水力発電	小水力発電
8	地熱発電(大規模)	地熱発電(大規模)	大規模地熱発電
9	地熱発電(小規模)	地熱発電(小規模)	小規模地熱発電
10	地熱発電(温泉)	地熱発電(温泉)	小規模地熱発電
11	バイオマス発電(木質)	バイオマス発電	木質バイオマス専焼発電
12	バイオマス発電(下水汚泥)	バイオマス発電	メタン醗酵ガス化発電(下水汚泥)
13	バイオマス発電(家畜排せつ物)	バイオマス発電	メタン醗酵ガス化発電(家畜排せつ物)
14	バイオマス発電(食品廃棄物)	バイオマス発電	メタン醗酵ガス化発電(食品廃棄物)

2) 最終需要増加額の推計

再生可能エネルギーの導入に伴う最終需要増加額は、REFIO の構造に合わせて施設建設と施設運用に分けて導入見込量や経済産業省の調達価格等算定委員会の情報から推計を行った。

施設建設における最終需要増加額は、各年の導入見込量の出力フローに対し各技術の出力当たりの施設建設単価を乗じて推計した。施設運用は、各年の発電量に対し各技術の該当年の買取価格を乗じて推計した FIT による売電収入を最終需要増加額とみなした。なお、施設運用に伴う最終需要増加額は、該当年に FIT による売電収入を得ている施設を対象とし、FIT 認定期間が終了した施設は評価対象から除いた。

3) 輸入係数の作成

現段階で REFIO における再生可能エネルギー部門の輸入係数は公表されていない。そのため、別途報告書⁶³や論文⁶⁴から各再生可能エネルギーの輸入係数を設定した。

輸入係数を用いた推計方法は、各再生可能エネルギー部門に需要が生じた際に、該当設備の投入係数に輸入係数を乗じることとした。

4) 本分析の前提条件

本分析においては、現状導入されている施設からの情報取得の限界や将来予測の困難な産業を対象とすることから、以下のような前提条件を設定している。そのため、分析結果が実態から乖離する可能性がある。

⁶³ 一般社団法人太陽光発電協会、日本における太陽電池出荷統計

⁶⁴ 松本、本藤、拡張産業連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析、日本エネルギー学会誌、Vol.90 (2011) No. 3 p. 258-267, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jie/90/3/90_3_258/_pdf

全体に関する前提条件

- 2014年以降の産業構造は、2013年の産業構造から大きく変わらないと仮定し、REFIOの産業構造を固定して推計する
- 最終需要増加額及び生産誘発額がマイナス計上される場合は、波及が生じない(=0円)として再計上する
- FIT認定年と再生可能エネルギー導入年の遅れは0年(認定年に導入される)と仮定し、施設運用時のFITによる売電収入を推計する

各発電技術に関する前提条件

- 太陽光発電(非住宅)と太陽光発電(メガソーラー)は出力抑制装置の導入に必要な金額を含めて推計する
- メタン醗酵ガス化発電は、既存の廃棄物処理施設を利用すると仮定する(再生可能エネルギーのために廃棄物処理施設を新規建設しないと仮定する)

(3) 分析結果

1) 太陽光発電（住宅）

2013年から2030年までの太陽光発電（住宅）の導入による経済波及効果を表3-123、図3-99に示す。

太陽光発電（住宅）では、FIT導入直後の2013年の経済波及効果が大きく計上された。これは、FIT導入時の住宅向けの買取価格が高く設定されていたことから一時的な需要が生じたものだと考えられる。2020年以降に経済波及効果が減少しているが、これはFITによる初期投資の誘発が小さくなったことが要因だと考えられる。

また、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.29、施設運用段階が1.20と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-123 太陽光発電（住宅）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	611,888	123,744	384,267	277,425	224,215	290,393
	②中間投入額	456,826	8,969	286,888	20,107	167,395	21,047
	粗付加価値額(直接)	155,062	114,776	97,379	257,317	56,819	269,346
【1次波及効果】	③国内自給額	246,953	5,652	155,087	12,670	90,491	13,263
	④生産誘発額(1次)	483,377	11,496	303,562	25,773	177,125	26,978
	粗付加価値額(1次)	175,497	4,831	110,212	10,832	64,308	11,338
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	271,504	4,619	170,505	10,356	99,488	10,840
	⑥消費誘発額	850,708	10,381	534,247	23,273	311,726	24,361
	⑦国内消費誘発額	417,156	12,712	261,975	28,499	152,859	29,831
	⑧生産誘発額(2次)	307,444	13,059	193,076	29,276	112,657	30,645
	⑨雇用者所得額(2次)	244,398	8,604	153,483	19,289	89,555	20,191
	粗付加価値額(2次)	467,986	13,059	293,897	29,276	171,485	30,645
	⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧	1,402,709	148,299	880,905	332,474	513,997	348,016
波及倍率		2.29	1.20	2.29	1.20	2.29	1.20

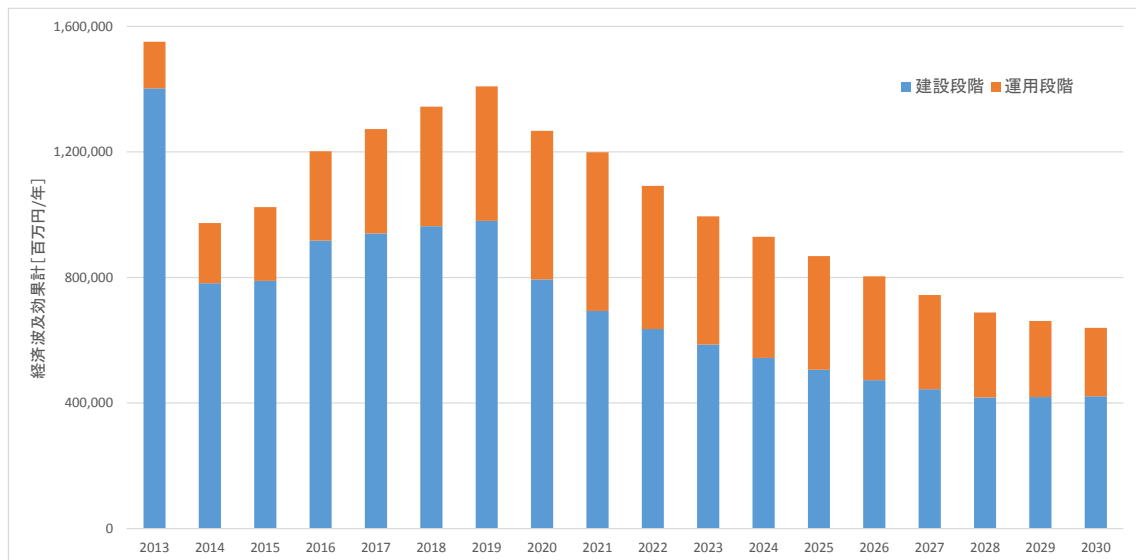


図 3-99 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

太陽光発電（住宅）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-100 に示す。なお、生産誘発額の内訳は、REFIO の 441 部門を、産業連関表における 13 部門と再生可能エネルギー関連部門 1 部門に分類して示している。また、REFIO の 441 部門中、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-101 に示す。

太陽光発電（住宅）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 42% となった。これは、モジュール等の製造に伴う「半導体素子」への誘発や、設置時の架台などによる「その他の産業用電気機器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）としては、「太陽電池モジュール」が最も大きい結果となった。

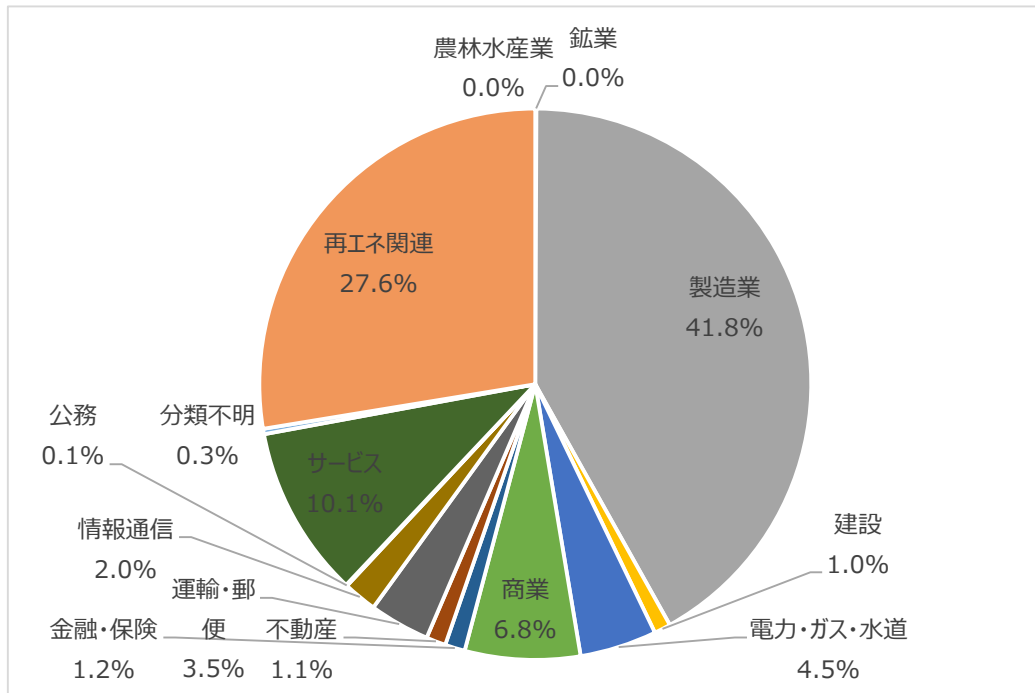


図 3-100 太陽光発電（住宅）の施設建設における生産誘発額の内訳

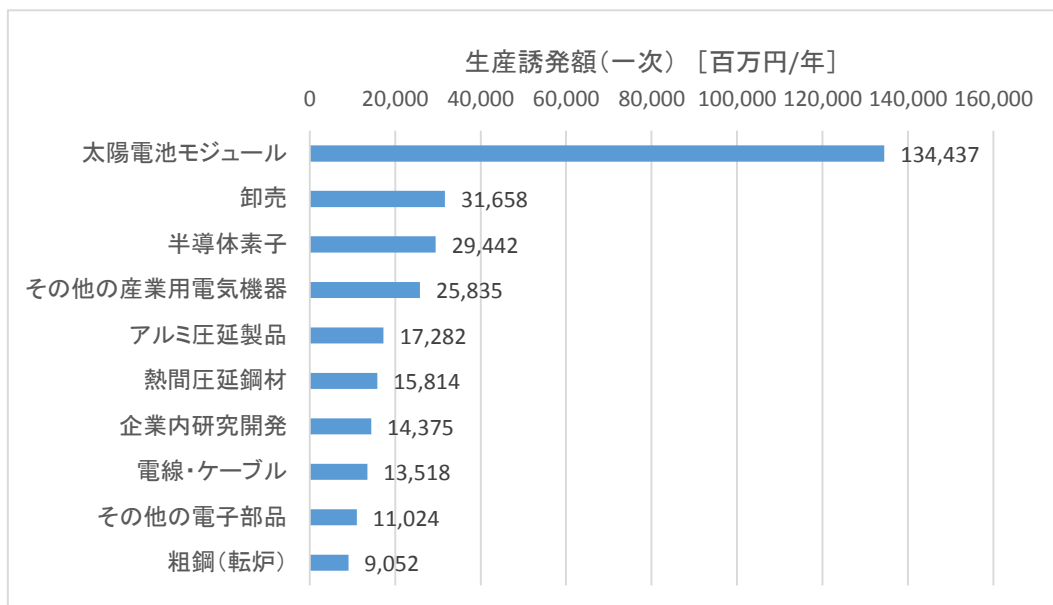


図 3-101 太陽光発電（住宅）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、太陽光発電（住宅）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-102 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-103 に示す。

太陽光発電（住宅）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 64% となった。これは、運用及びメンテナンスに必要な「その他の産業用電気機器」や「電気計測器」などの工業品への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）としては、「その他の産業用電気機器」が最も大きい結果となった。

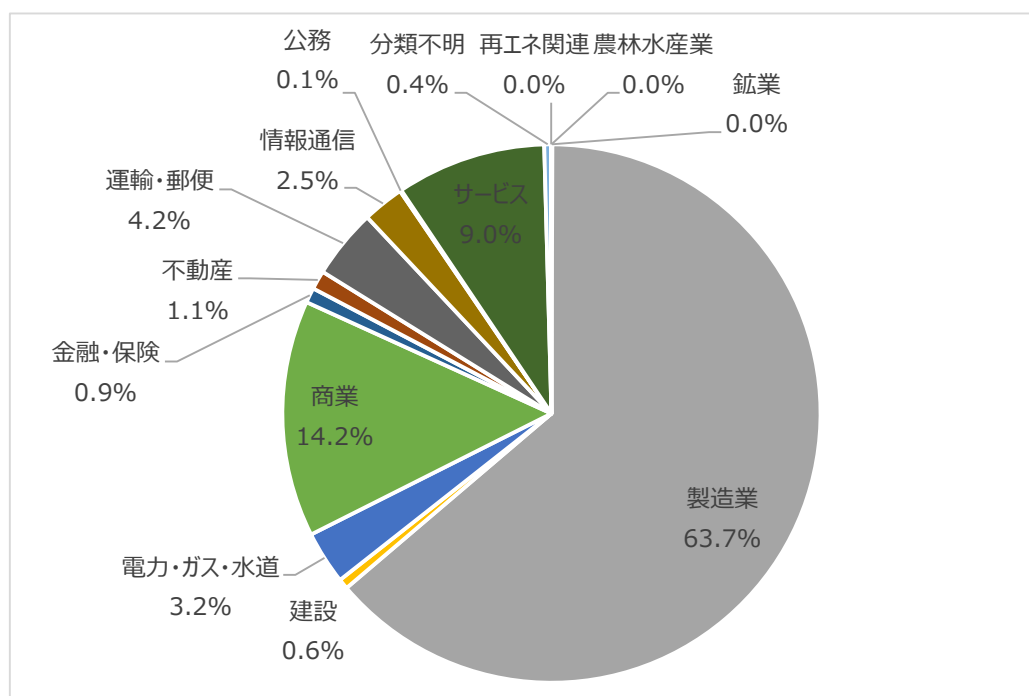


図 3-102 太陽光発電（住宅）の施設運用における生産誘発額の内訳

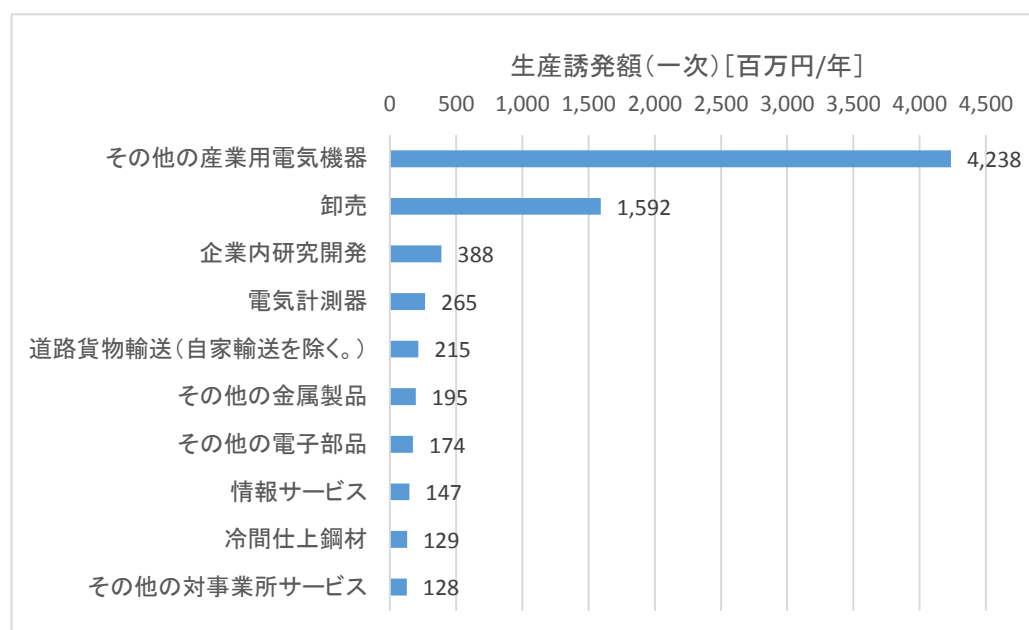


図 3-103 太陽光発電（住宅）の施設運用における生産誘発額の上位部門

2) 太陽光発電（非住宅）

2013 年から 2030 年までの太陽光発電（非住宅）の導入による経済波及効果を表 3-124、図 3-104 に示す。

太陽光発電（非住宅）では、FIT 導入直後の 2014 年の経済波及効果が大きく計上された。これは、FIT 導入による需要の向上が生じたものだと考えられる。住宅と比してピークが 1 年遅れているのは、導入までの準備期間によるものだと考えられる。2020 年以降に経済波及効果が大きく減少しているが、これは FIT による初期投資の誘発が小さくなったことが一因だと考えられる。

また、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.48、施設運用段階が 1.24 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きいこと。

表 3-124 太陽光発電（非住宅）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	1,249,234	179,043	949,209	856,808	72,694	538,459
	②中間投入額	949,361	18,338	721,355	87,755	55,244	55,150
	粗付加価値額(直接)	299,874	160,705	227,854	769,053	17,450	483,309
【1次波及効果】	③国内自給額	564,973	13,689	429,285	65,509	32,876	41,169
	④生産誘発額(1次)	1,162,417	25,846	883,243	123,686	67,642	77,730
	粗付加価値額(1次)	428,763	12,416	325,788	59,417	24,950	37,340
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	672,369	33,412	510,888	159,893	39,126	100,484
	⑥消費誘発額	1,854,875	41,748	1,409,395	199,785	107,937	125,554
	⑦国内消費誘発額	937,385	14,750	712,256	70,584	54,547	44,358
	⑧生産誘発額(2次)	690,853	17,639	524,933	84,411	40,201	53,048
	⑨雇用者所得額(2次)	567,251	9,589	431,016	45,890	33,009	28,840
	粗付加価値額(2次)	1,150,098	17,639	873,882	84,411	66,925	53,048
⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧		3,102,505	222,528	2,357,384	1,064,905	180,538	669,237
波及倍率		2.48	1.24	2.48	1.24	2.48	1.24

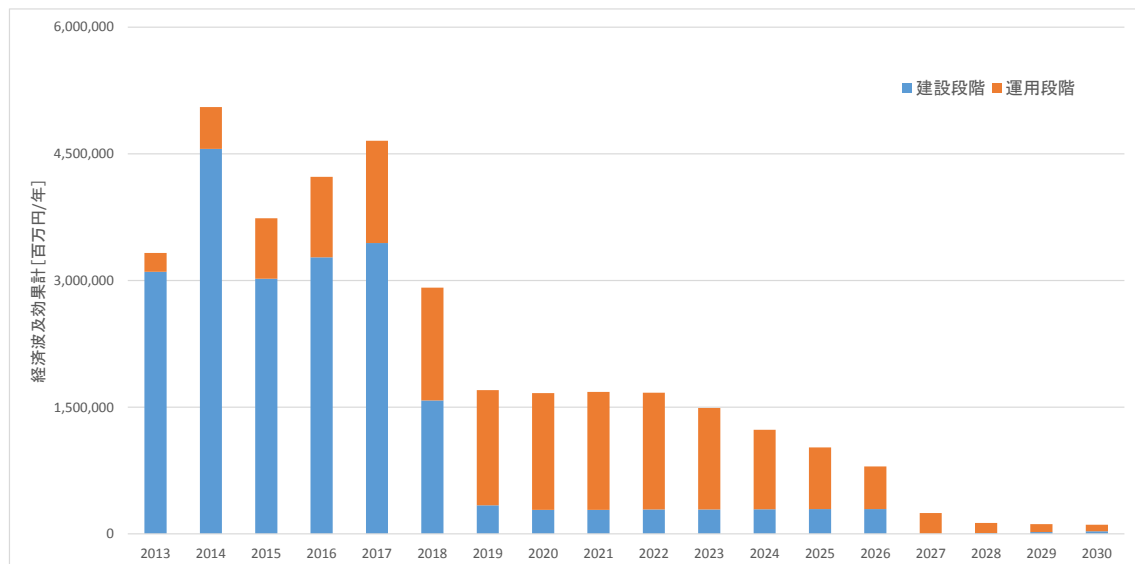


図 3-104 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

太陽光発電（非住宅）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-105 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-106 に示す。

太陽光発電（非住宅）の施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 46% となった。これは、住宅同様にモジュール製造等に用いる「半導体素子」や、架台設置などによる「その他の産業用電気機器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「太陽電池モジュール」が最も大きい結果となった。

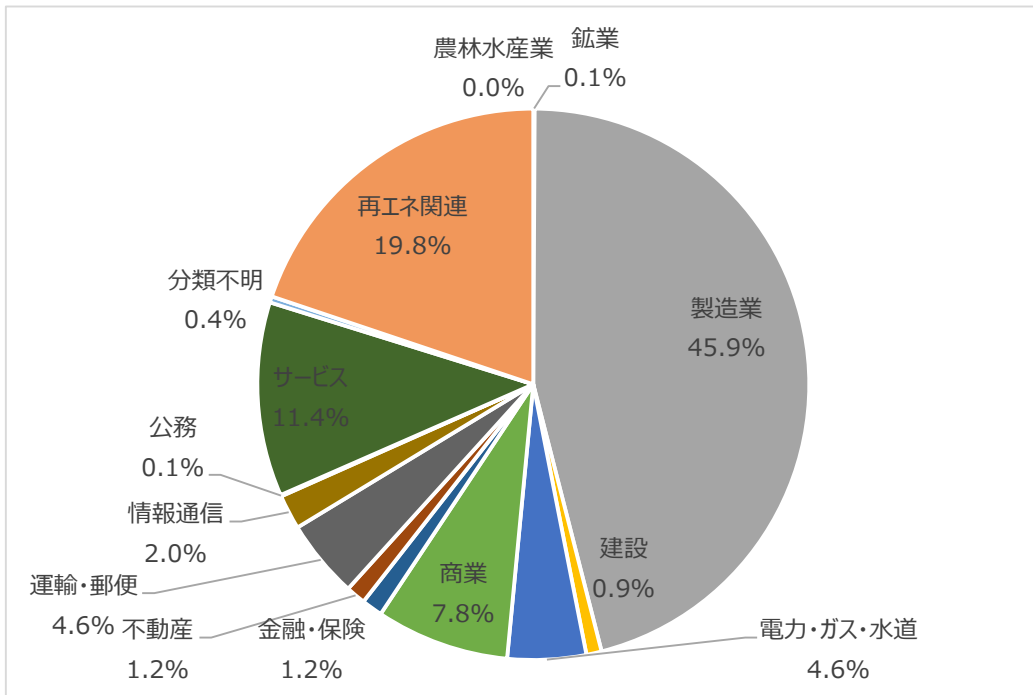


図 3-105 太陽光発電（非住宅）の施設建設における生産誘発額の内訳

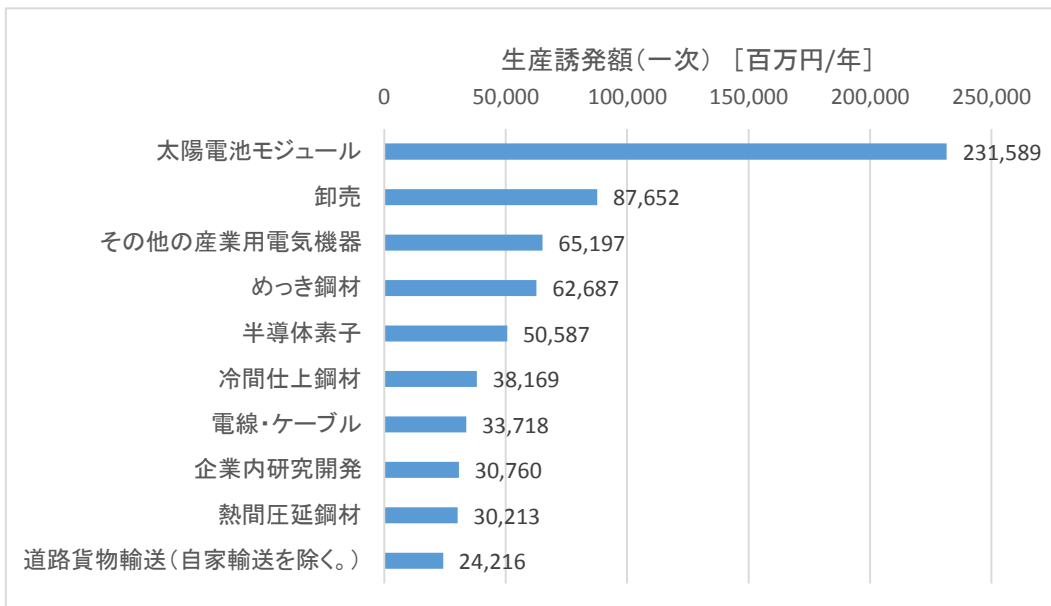


図 3-106 太陽光発電（非住宅）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、太陽光発電（非住宅）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-107 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-108 に示す。

太陽光発電（非住宅）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 42% となった。施設運用に伴う波及も住宅と同様に、運用やメンテナンスに伴う「その他の産業用電気機器」や「電気計測器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「その他の産業用電気機器」が最も大きい結果となった。

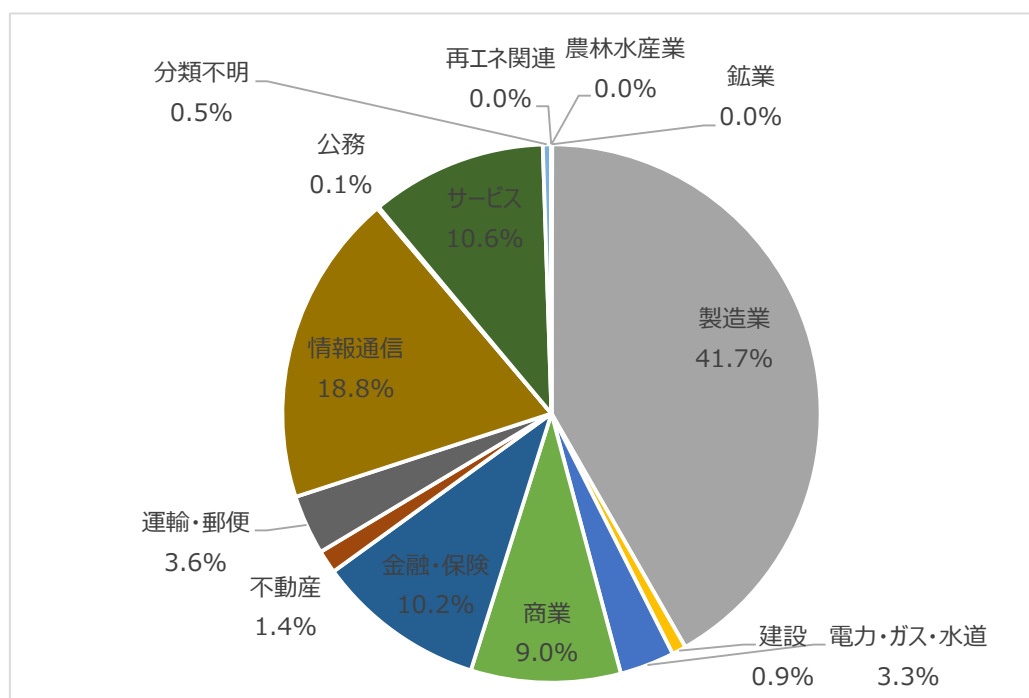


図 3-107 太陽光発電（非住宅）の施設運用における生産誘発額の内訳

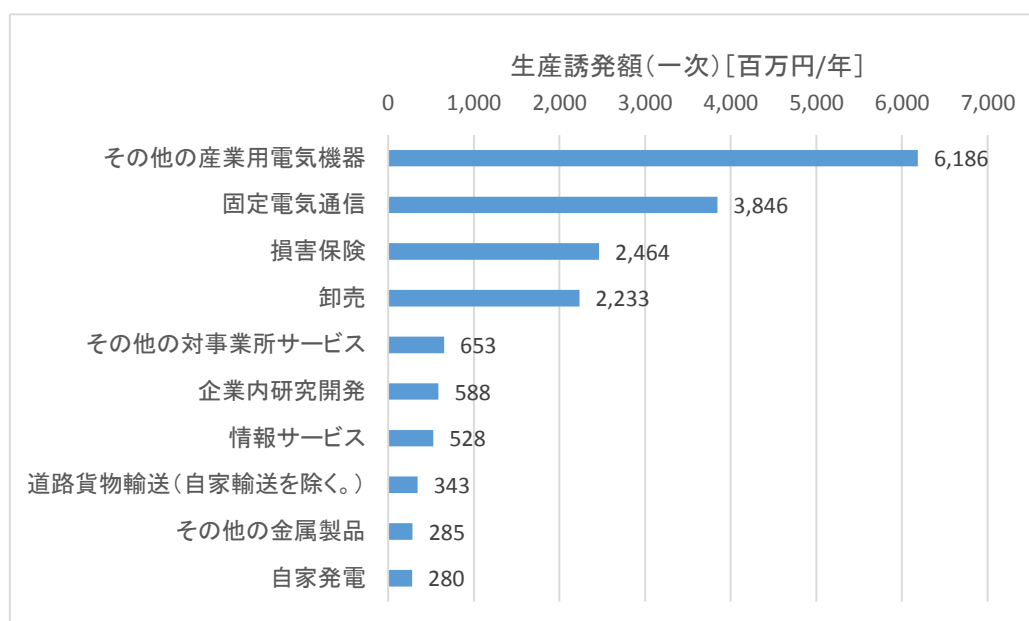


図 3-108 太陽光発電（非住宅）の施設運用における生産誘発額の上位部門

3) 太陽光発電（メガソーラー）

2013 年から 2030 年までの太陽光発電（メガソーラー）の導入による経済波及効果を表 3-125、図 3-109 に示す。

太陽光発電（メガソーラー）では、FIT 導入直後の 2016 年の経済波及効果が大きく計上された。これは、FIT の価格設定に伴うメガソーラー導入への駆け込み需要によって、施設建設段階の一時的な波及が生じたものだと考えられる。2018 年以降に FIT による初期投資の誘発が小さくなり経済波及効果が減少したと考えられる。他方で、太陽光発電（住宅）や太陽光発電（非住宅）と比べて、出力が大きいことや FIT の認定年数が長いことから、施設運用の波及効果のみでも継続して高い経済波及効果がある。

また、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.50、施設運用段階が 1.22 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-125 太陽光発電（メガソーラー）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	599,949	102,301	859,432	597,619	40,449	814,107
	②中間投入額	441,404	4,747	632,315	27,733	29,760	37,779
	粗付加価値額(直接)	158,545	97,553	227,117	569,886	10,689	776,328
【1次波及効果】	③国内自給額	281,110	3,896	402,692	22,759	18,953	31,003
	④生産誘発額(1次)	559,175	7,180	801,023	41,946	37,700	57,142
	粗付加価値額(1次)	213,250	3,558	305,482	20,787	14,377	28,318
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	301,386	15,904	431,738	92,908	20,320	126,564
	⑥消費誘発額	999,499	20,667	1,431,792	120,732	67,387	164,468
	⑦国内消費誘発額	460,716	17,462	659,980	102,009	31,062	138,961
	⑧生産誘発額(2次)	339,547	15,422	486,405	90,090	22,892	122,725
	⑨雇用者所得額(2次)	276,136	12,539	395,568	73,250	18,617	99,786
	粗付加価値額(2次)	547,488	15,422	784,282	90,090	36,912	122,725
	⑩経済波及効果の合計額(①+④+⑧)	1,498,671	124,903	2,146,860	729,655	101,041	993,974
	波及倍率	2.50	1.22	2.50	1.22	2.50	1.22

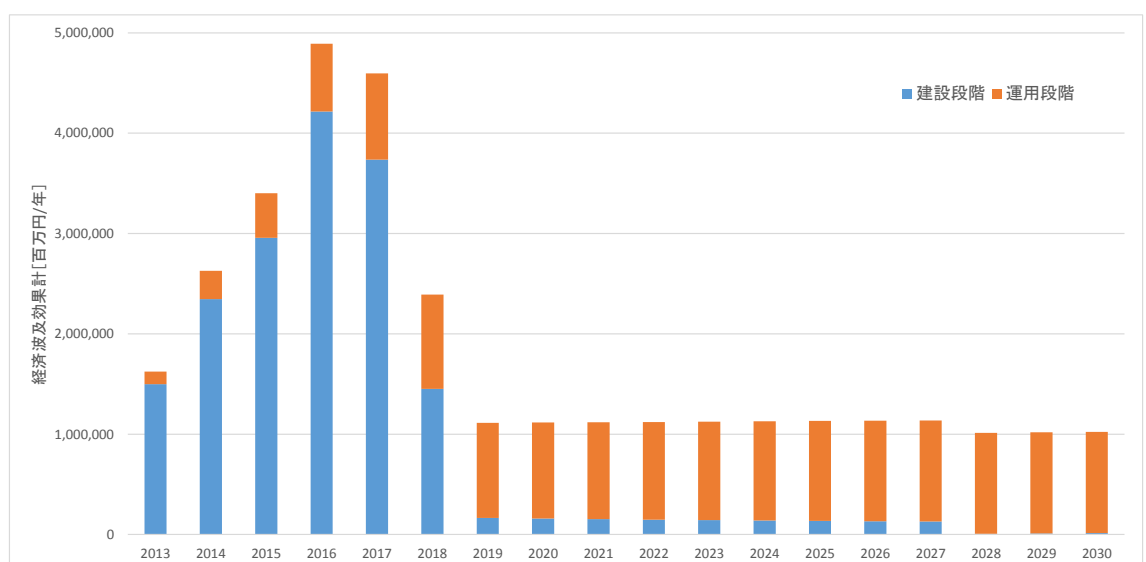


図 3-109 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

太陽光発電（メガソーラー）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-110 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-111 に示す。

太陽光発電（メガソーラー）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 48% となった。製造業の波及効果が大きい要因は、太陽光発電（住宅）や太陽光発電（非住宅）と異なり、接続による「電線・ケーブル」や架台設置による「その他の産業用電気機器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「太陽電池モジュール」が最も大きい結果となった。

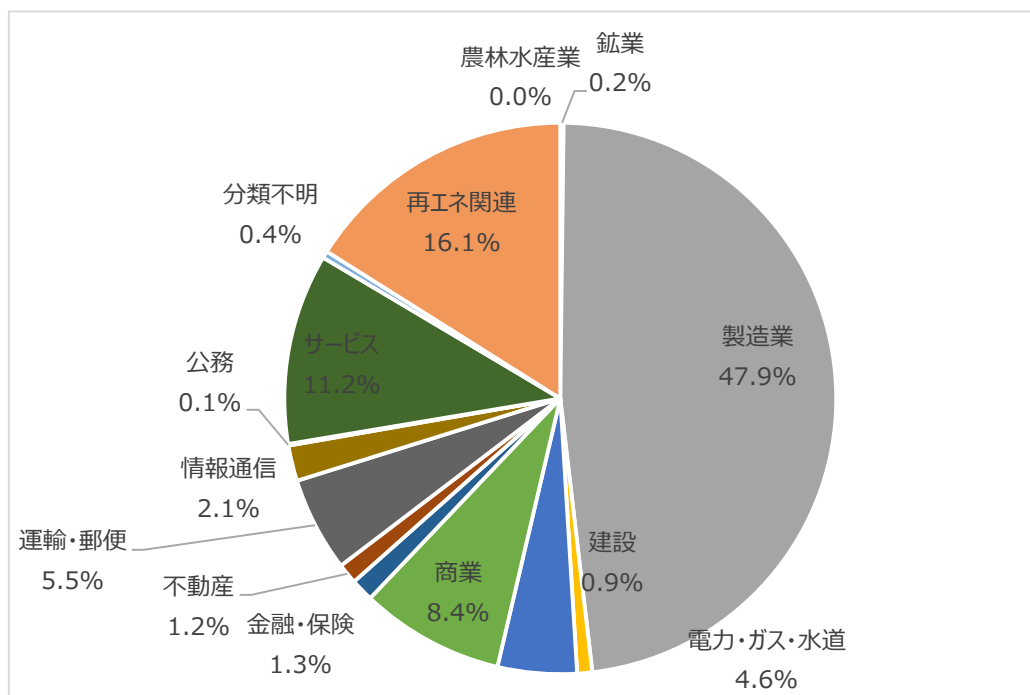


図 3-110 太陽光発電（メガソーラー）の施設建設における生産誘発額の内訳

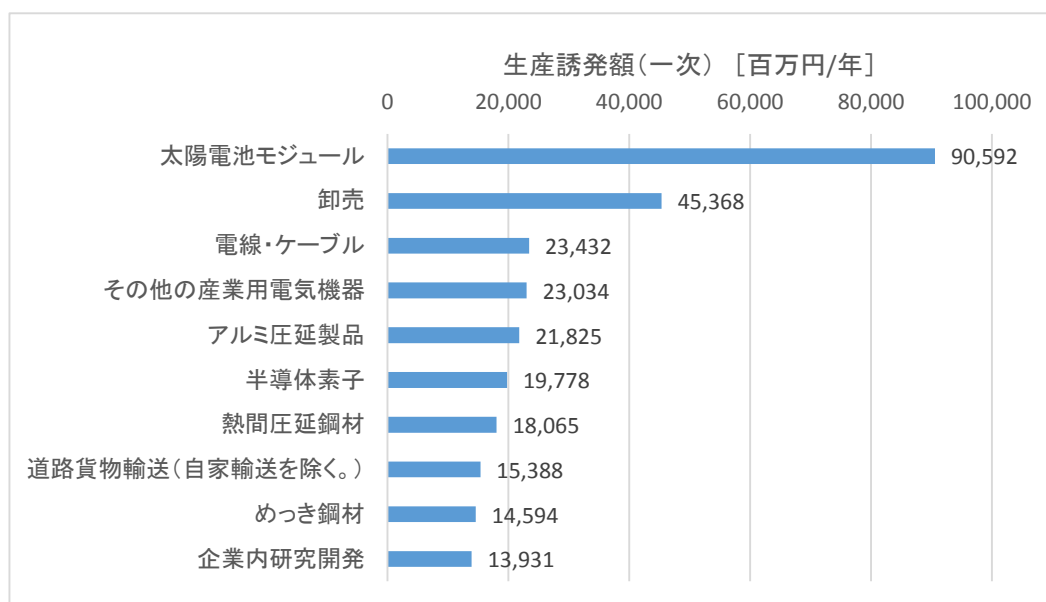


図 3-111 太陽光発電（メガソーラー）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、太陽光発電（メガソーラー）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-112 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-113 に示す。

太陽光発電（メガソーラー）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 36% となった。施設運用に伴う波及も住宅と同様に、運用やメンテナンスに伴う「その他の産業用電気機器」や「電気計測器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「損害保険」が最も大きい結果となった。

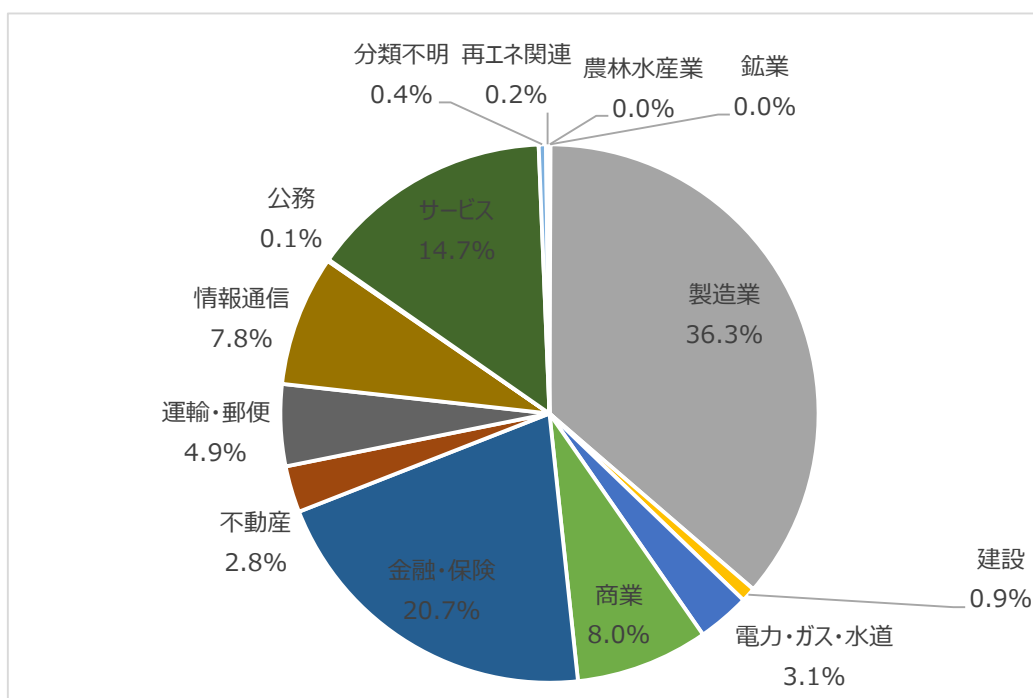


図 3-112 太陽光発電（メガソーラー）の施設運用における生産誘発額の内訳

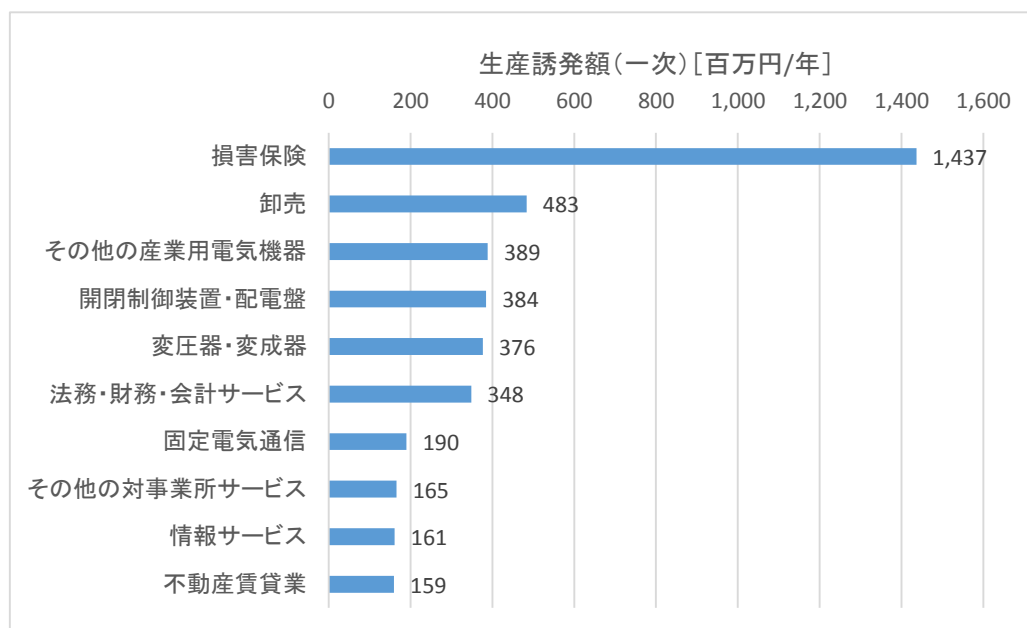


図 3-113 太陽光発電（メガソーラー）の施設運用における生産誘発額の上位部門

4) 風力発電（陸上）

2013 年から 2030 年までの風力発電（陸上）の導入による経済波及効果を表 3-126、図 3-114 に示す。

風力発電（陸上）では、2018 年以降の経済波及効果が大きく計上された。風力発電（着床洋上）では、計画から導入までの間に環境アセスメントなどで多くの時間を要するため、FIT 制度の導入から数年遅れて需要が生じたものだと考えられる。

また、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.04、施設運用段階が 1.53 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-126 風力発電（陸上）の経済波及効果

百万円/年	2013		2014-2020		2021-2030		
	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	
【直接効果】	①直接効果	4,654	3,686	101,235	50,309	92,535	199,417
	②中間投入額	3,635	577	79,076	7,879	72,279	31,232
	粗付加価値額(直接)	1,019	3,108	22,160	42,430	20,255	168,185
【1次波及効果】	③国内自給額	1,632	502	35,503	6,857	32,452	27,182
	④生産誘発額(1次)	3,148	960	68,470	13,098	62,586	51,917
	粗付加価値額(1次)	1,441	449	31,351	6,136	28,657	24,321
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	2,472	877	53,774	11,965	49,152	47,428
	⑥消費誘発額	7,887	1,048	171,574	14,307	156,828	56,713
	⑦国内消費誘発額	2,306	898	50,170	12,255	45,858	48,578
	⑧生産誘発額(2次)	1,700	979	36,975	13,369	33,797	52,991
	⑨雇用者所得額(2次)	1,515	605	32,959	8,265	30,127	32,760
	粗付加価値額(2次)	2,859	979	62,190	13,369	56,846	52,991
	⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧	9,501	5,624	206,681	76,775	188,918	304,325
波及倍率	2.04	1.53	2.04	1.53	2.04	1.53	

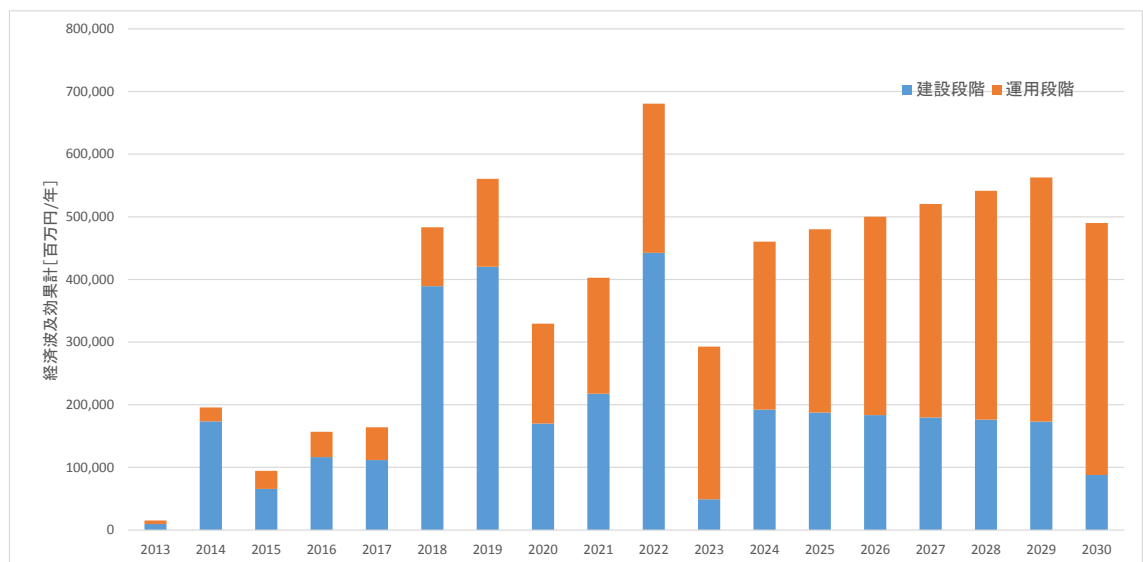


図 3-114 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

風力発電（陸上）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-115 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-116 に示す。

風力発電（陸上）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 36% となった。これは、ナセル製造に伴う「その他のはん用機械」や、タワー製造に伴う「熱間圧延鋼材」への誘発などが一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「ナセル（風力発電）」が最も大きい結果となった。

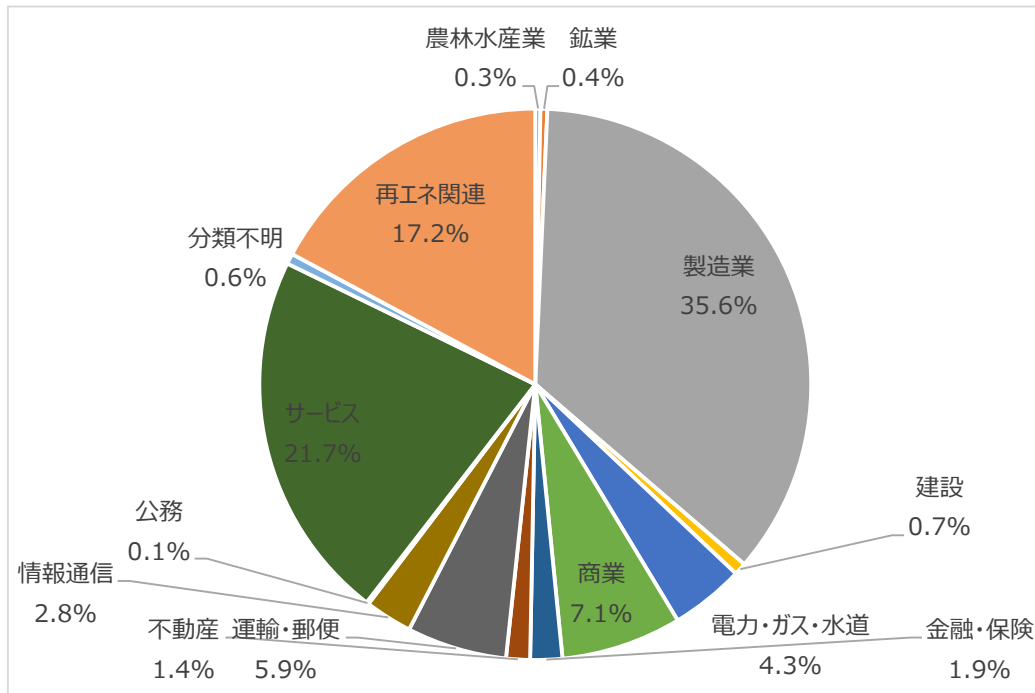


図 3-115 風力発電（陸上）の施設建設における生産誘発額の内訳

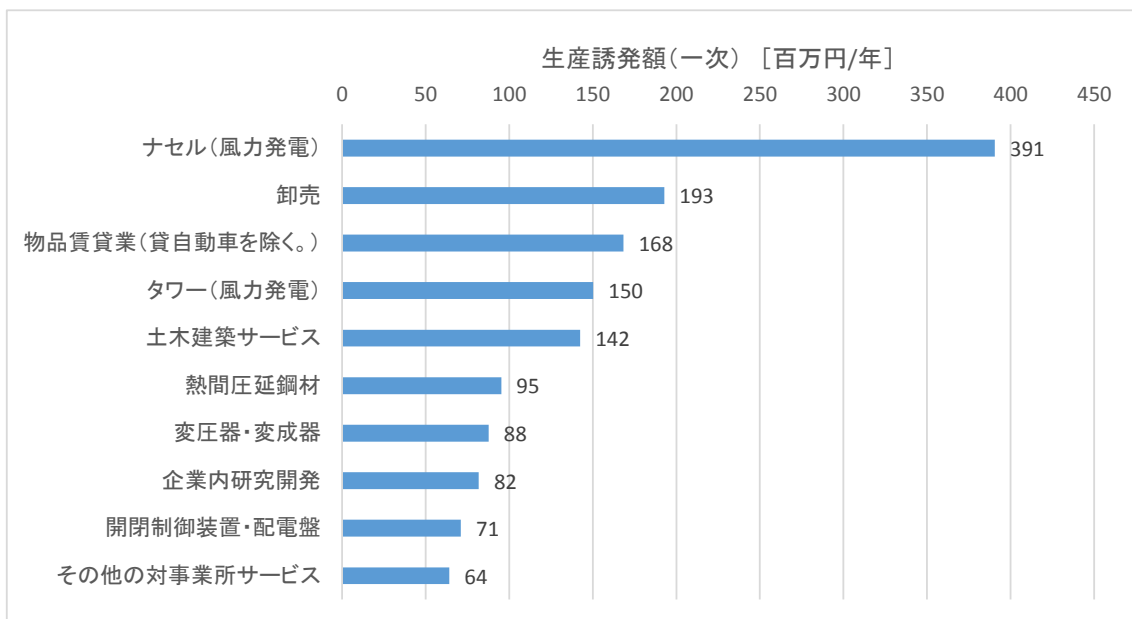


図 3-116 風力発電（陸上）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、風力発電（陸上）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-117 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-118 に示す。

風力発電（陸上）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 37% となった。これは、ヨーシステムによる「その他の産業用電気機器」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「損害保険」が最も大きく、次いで「卸売」「物品賃貸業（貸自動車を除く。）」である。

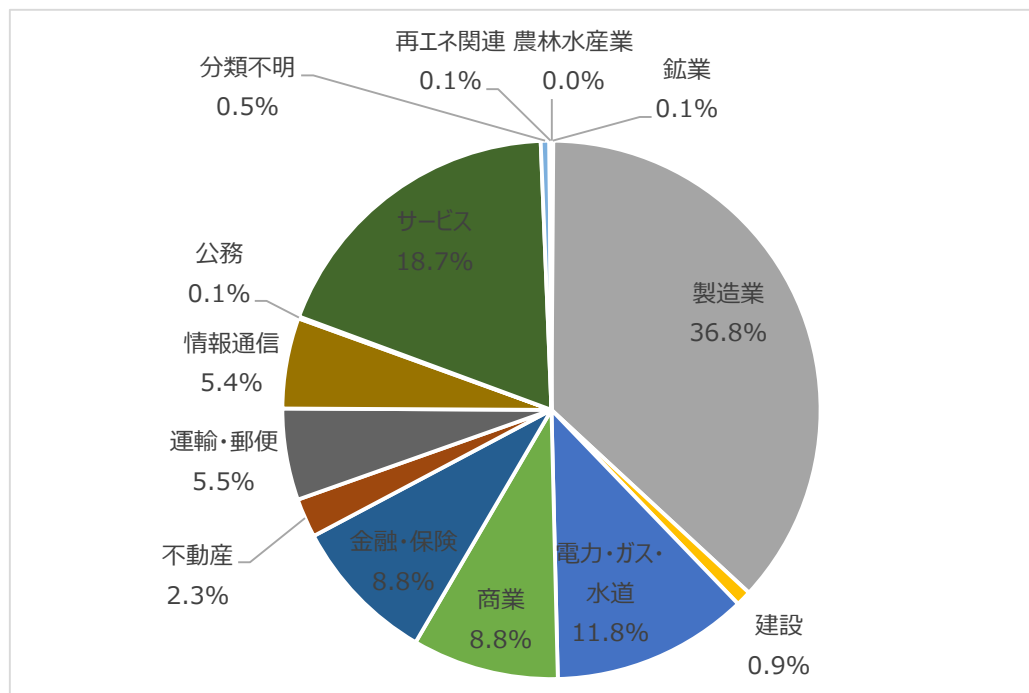


図 3-117 風力発電（陸上）の施設運用における生産誘発額の内訳

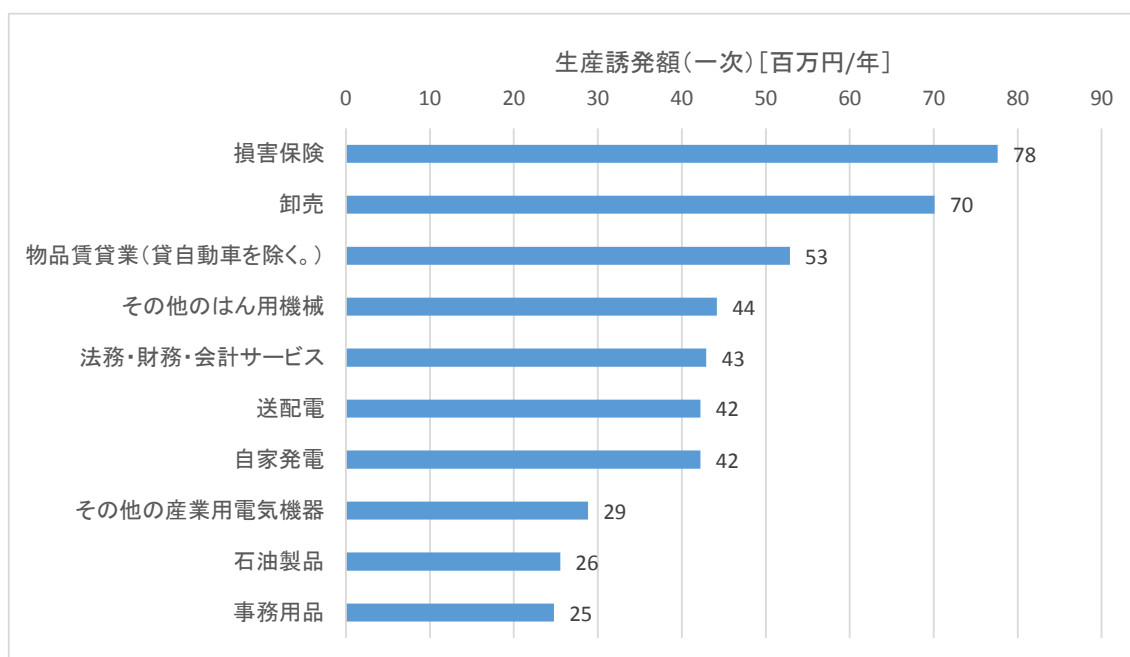


図 3-118 風力発電（陸上）の施設運用における生産誘発額の上位部門

5) 風力発電（着床洋上）

2013年から2030年までの風力発電（着床洋上）の導入による経済波及効果を表3-127、図3-119に示す。

風力発電（着床洋上）では、2020年以降の経済波及効果が大きく計上された。風力発電（着床洋上）では、計画から導入までの間に環境アセスメントなどで多くの時間を要するため、FIT制度の導入から数年遅れて需要が生じたものだと考えられる。また、2020年後半になるにつれて、施設運用に伴う波及効果の割合が大きく計上された。

また、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.04、施設運用段階が1.53と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

なお、施設建設及び施設運用に伴う部門別の波及効果は、風力発電（陸上）と同様の投入係数を用いていることから同じ傾向となる。

表 3-127 風力発電（着床洋上）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	23,106	4,314	43,047	13,866	19,932	71,950
	②中間投入額	18,048	676	33,624	2,172	15,569	11,268
	粗付加価値額(直接)	5,058	3,638	9,423	11,695	4,363	60,681
【1次波及効果】	③国内自給額	8,103	588	15,097	1,890	6,990	9,807
	④生産誘発額(1次)	15,627	1,123	29,115	3,610	13,481	18,732
	粗付加価値額(1次)	7,155	526	13,331	1,691	6,172	8,775
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	12,273	1,026	22,866	3,298	10,587	17,112
	⑥消費誘発額	39,159	1,227	72,956	3,944	33,780	20,462
	⑦国内消費誘発額	11,451	1,051	21,333	3,378	9,878	17,527
	⑧生産誘発額(2次)	8,439	1,146	15,723	3,685	7,280	19,119
	⑨雇用者所得額(2次)	7,522	709	14,015	2,278	6,489	11,820
	粗付加価値額(2次)	14,194	1,146	26,445	3,685	12,244	19,119
⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧		47,172	6,584	87,885	21,161	40,692	109,801
波及倍率		2.04	1.53	2.04	1.53	2.04	1.53

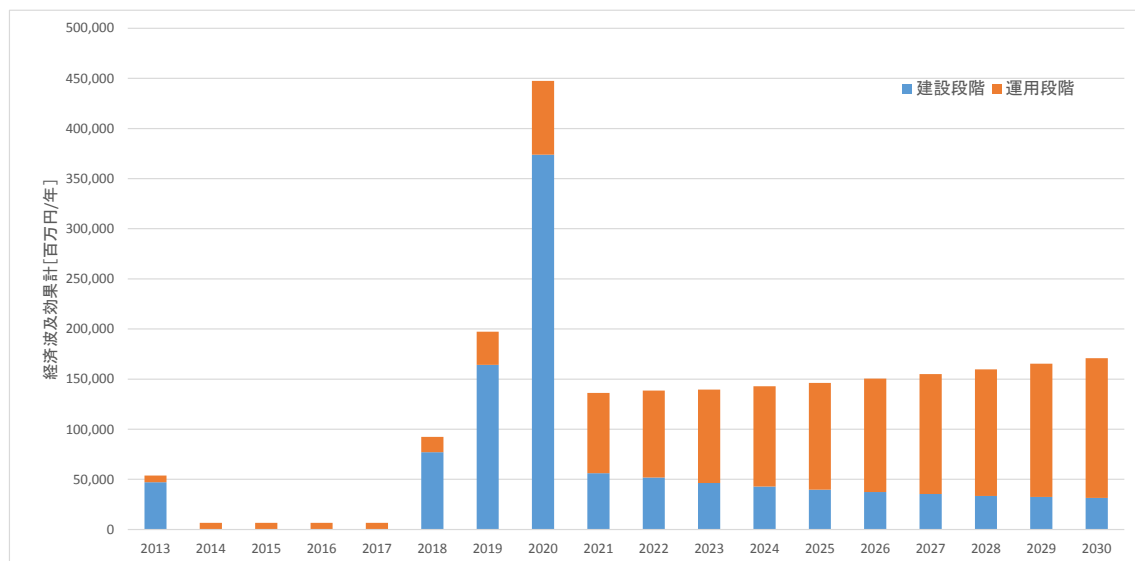


図 3-119 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

6) 風力発電（浮体洋上）

2013年から2030年までの風力発電（浮体洋上）の導入による経済波及効果を表3-128、図3-120に示す。

風力発電（浮体洋上）では、2020年、2022年の経済波及効果が大きく計上された。これは、導入見込量の推計としてアセス案件の積上げによる推計を実施しているためである。よって、今後の導入計画によっては、施設建設に伴う波及効果が計上される年が変動する可能性がある。

また、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.04、施設運用段階が1.53と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

なお、施設建設及び施設運用に伴う部門別の波及効果は、風力発電（陸上）と同様の投入係数を用いていることから同じ傾向となる。

表 3-128 風力発電（浮体洋上）の経済波及効果

百万円/年	2013		2014-2020		2021-2030		
	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	
【直接効果】	①直接効果	2,511	378	1,944	649	470	2,812
	②中間投入額	1,962	59	1,518	102	367	440
	粗付加価値額(直接)	550	319	426	548	103	2,372
【1次波及効果】	③国内自給額	881	52	682	89	165	383
	④生産誘発額(1次)	1,698	99	1,315	169	318	732
	粗付加価値額(1次)	778	46	602	79	146	343
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	1,334	90	1,033	154	250	669
	⑥消費誘発額	4,256	108	3,295	185	797	800
	⑦国内消費誘発額	1,244	92	963	158	233	685
	⑧生産誘発額(2次)	917	101	710	173	172	747
	⑨雇用者所得額(2次)	818	62	633	107	153	462
	粗付加価値額(2次)	1,543	101	1,194	173	289	747
	⑩経済波及効果の合計額(①+④+⑧)	5,127	578	3,969	991	960	4,292
波及倍率	2.04	1.53	2.04	1.53	2.04	1.53	

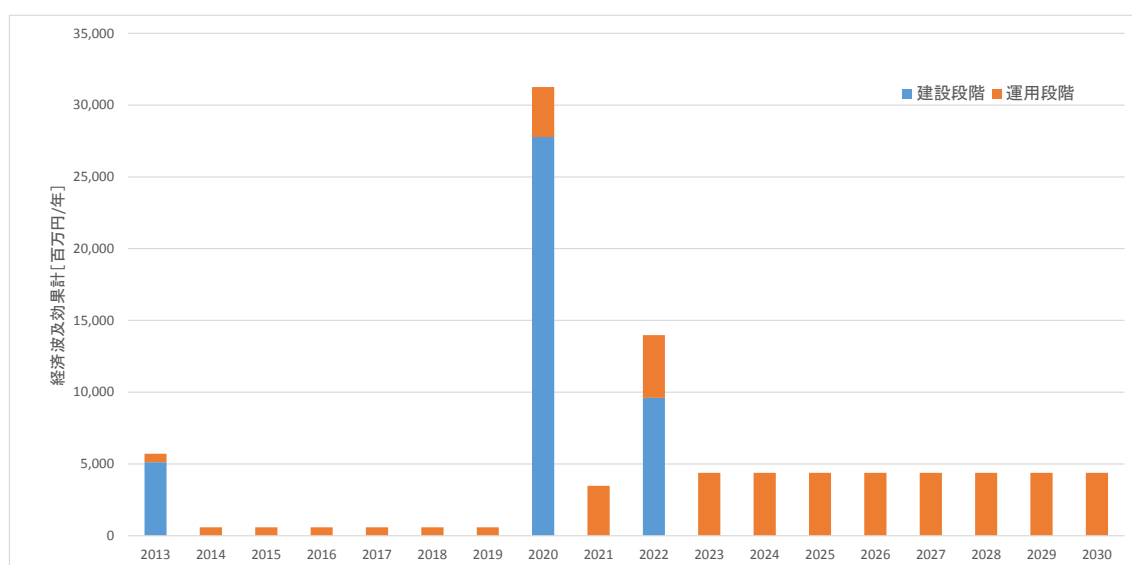


図 3-120 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

7) 水力発電（中小水力）

2013年から2030年までの水力発電（中小水力）の導入による経済波及効果を表3-129、図3-121に示す。

水力発電（中小水力）は、2013年から2030年まで経済波及効果が増加傾向にあるが、2019年時に一度、施設建設に伴う波及が減少している。

また、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.90、施設運用段階が1.11と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-129 水力発電（中小水力）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	2,162	429	9,007	5,037	9,882	17,097
	②中間投入額	1,437	12	5,988	143	6,570	486
	粗付加価値額（直接）	725	417	3,019	4,894	3,313	16,611
【1次波及効果】	③国内自給額	1,292	10	5,383	119	5,906	405
	④生産誘発額（1次）	2,618	18	10,911	206	11,971	699
	粗付加価値額（1次）	1,135	9	4,730	111	5,190	377
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	1,538	61	6,409	715	7,032	2,426
	⑥消費誘発額	2,837	81	11,821	949	12,970	3,222
	⑦国内消費誘発額	2,023	33	8,431	386	9,250	1,311
	⑧生産誘発額（2次）	1,491	29	6,213	340	6,817	1,154
	⑨雇用者所得額（2次）	1,336	24	5,569	276	6,110	938
	粗付加価値額（2次）	2,762	29	11,508	340	12,626	1,154
	⑨経済波及効果の合計額①+④+⑧	6,271	475	26,131	5,584	28,670	18,951
波及倍率		2.90	1.11	2.90	1.11	2.90	1.11

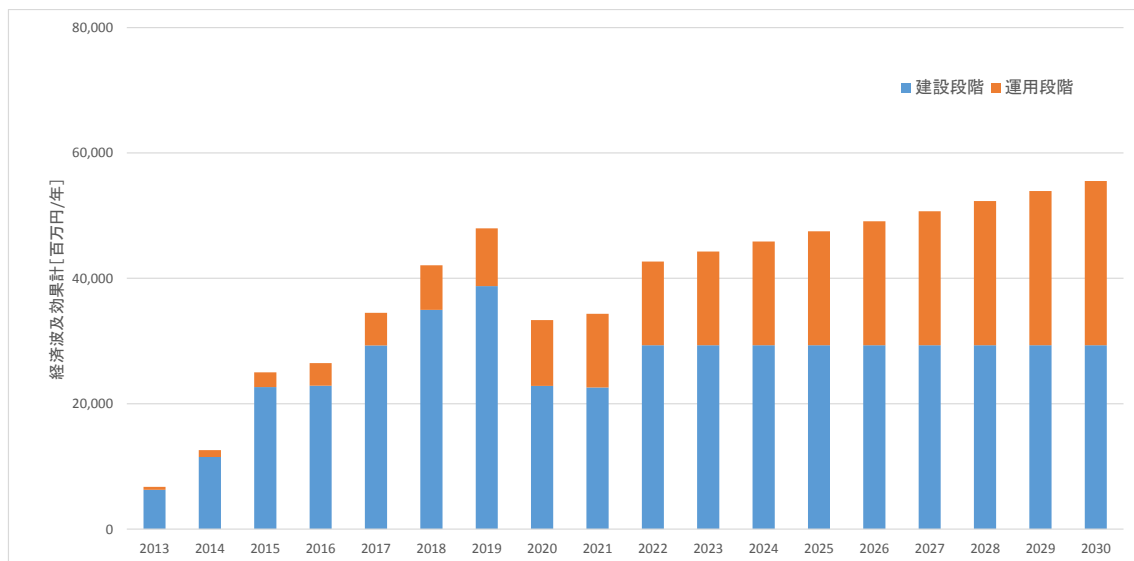


図 3-121 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

水力発電（中小水力）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-122 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-123 に示す。

水力発電（中小水力）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 55% となった。これは、「タービン」やその製造に伴う「その他のはん用機械」への誘発が一因だと考えられる。また、水圧管路の製造に伴う「プラスチック製品」への誘発がみられる。また、生産誘発額（一次）は、「卸売」が最も大きい結果となった。

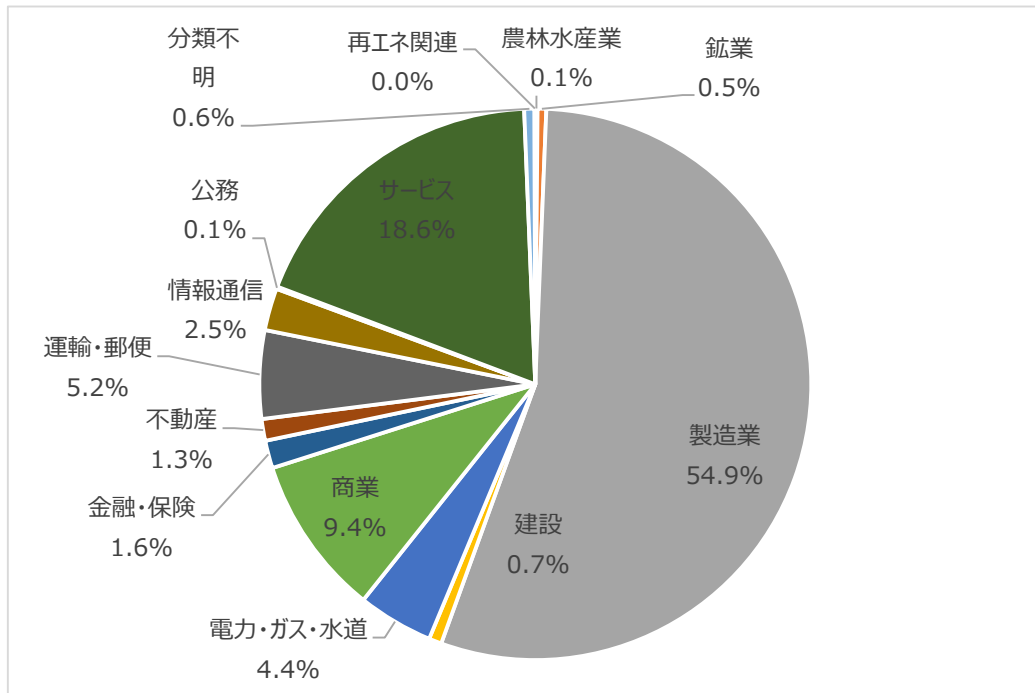


図 3-122 水力発電（中小水力）の施設建設における生産誘発額の内訳

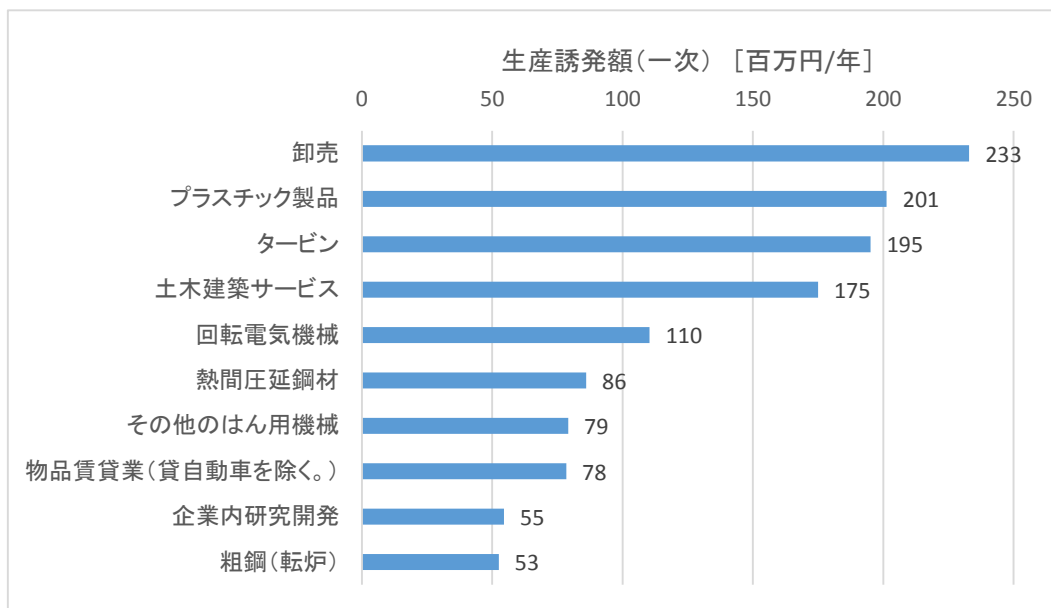


図 3-123 水力発電（中小水力）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、水力発電（中小水力）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-124 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-125 に示す。

水力発電（中小水力）の施設運用における生産誘発額（一次）は、金融・保険業への波及効果が全体の 35% となった。これは、小水力発電の運用における「損害保険」への誘発が主な要因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「損害保険」が最も大きい結果となった。

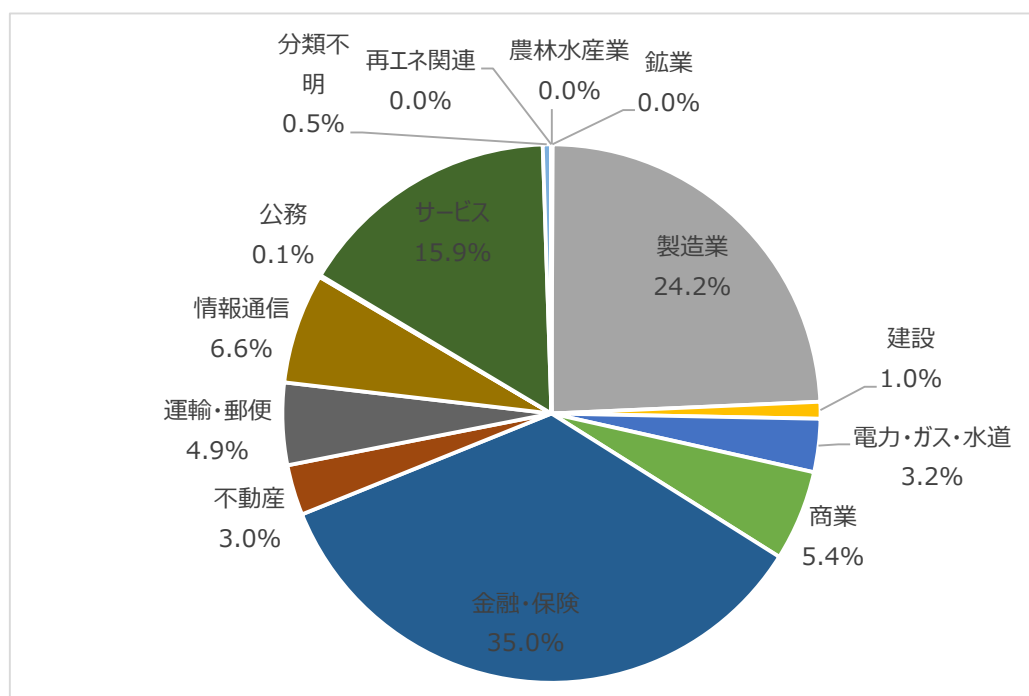


図 3-124 水力発電（中小水力）の施設運用における生産誘発額の内訳

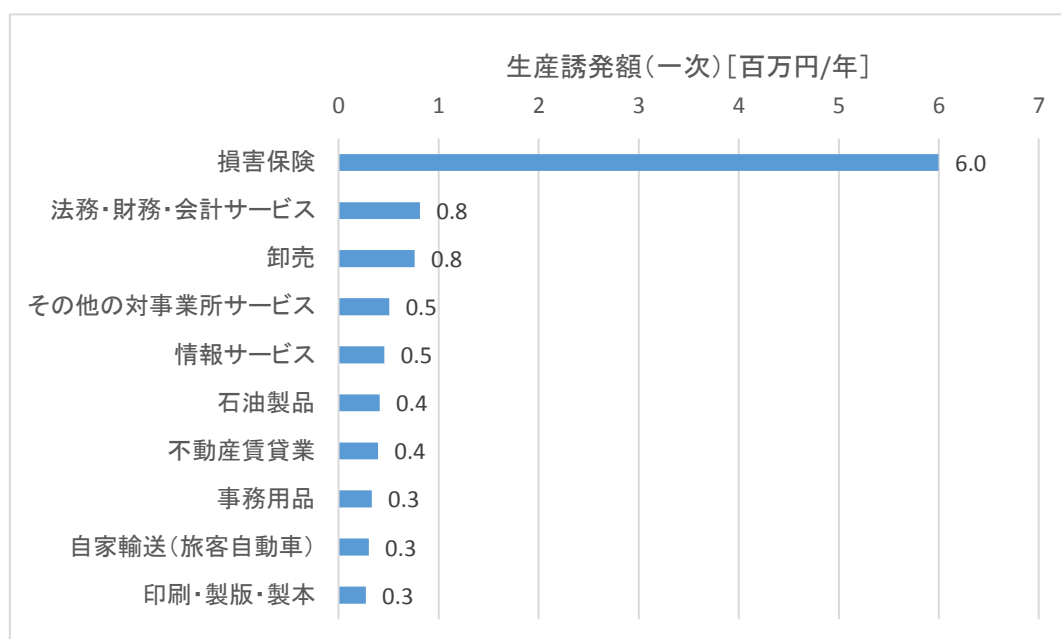


図 3-125 水力発電（中小水力）の施設運用における生産誘発額の上位部門

8) 地熱発電（大規模）

2013年から2030年までの地熱発電（大規模）の導入による経済波及効果を表 3-130、図 3-126 に示す。

地熱発電（大規模）では、2020年以降の経済波及効果が大きく計上された。地熱発電（大規模）は、計画から導入までの間に資源調査や環境アセスメントなどで多くの時間を要するため、FIT制度の導入から数年遅れて需要が生じたものだと考えられる。また、太陽光発電や風力発電と比べて稼働率が高いことから、導入が進んだ2020年代後半では施設運用に伴う経済波及効果も大きい。なお、地熱発電（大規模）は2013年に導入されていないため、2014年以降の波及効果について分析を行う。

波及倍率については、2014年の施設建設段階が3.32、施設運用段階が1.23と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-130 地熱発電（大規模）の経済波及効果

百万円/年	2013		2014-2020		2021-2030		
	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	
【直接効果】	①直接効果	0	0	4,740	2,988	30,020	41,641
	②中間投入額	0	0	3,504	179	22,195	2,501
	粗付加価値額(直接)	0	0	1,236	2,808	7,825	39,139
【1次波及効果】	③国内自給額	0	0	3,313	171	20,984	2,376
	④生産誘発額(1次)	0	0	7,154	348	45,307	4,856
	粗付加価値額(1次)	0	0	2,842	148	18,001	2,064
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	0	0	3,736	332	23,659	4,633
	⑥消費誘発額	0	0	7,942	471	50,300	6,571
	⑦国内消費誘発額	0	0	5,183	288	32,824	4,020
	⑧生産誘発額(2次)	0	0	3,820	327	24,192	4,559
	⑨雇用者所得額(2次)	0	0	3,386	192	21,447	2,672
	粗付加価値額(2次)	0	0	7,277	327	46,090	4,559
	⑩経済波及効果の合計額(①+④+⑧)	0	0	15,713	3,663	99,519	51,055
波及倍率	-	-	3.32	1.23	3.32	1.23	

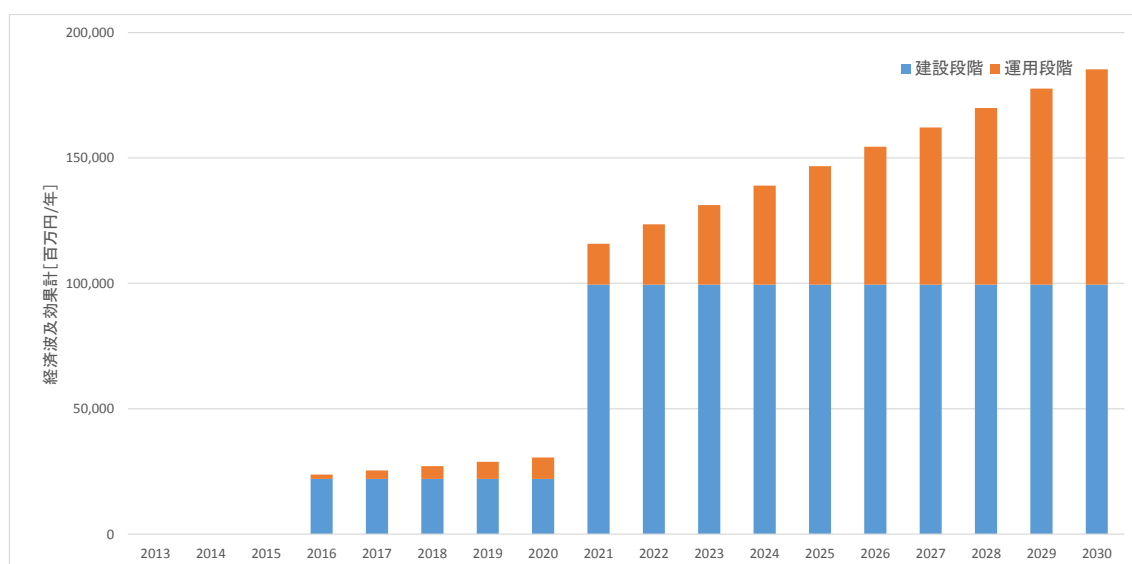


図 3-126 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

地熱発電（大規模）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-127 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-128 に示す。

地熱発電（大規模）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 45% となった。これは、生産井掘削、還元井掘削、蒸気輸送管敷設に伴う「熱間圧延鋼材」や「鋼管」などへの誘発が要因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「生産井掘削」が最も大きい結果となった。

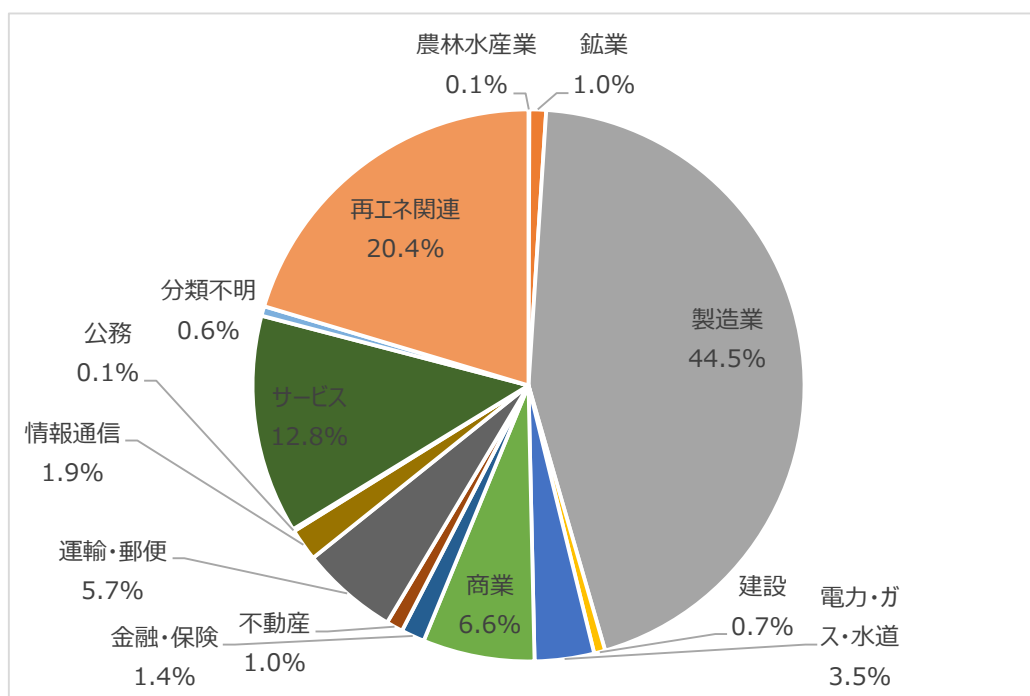


図 3-127 地熱発電（大規模）の施設建設における生産誘発額の内訳

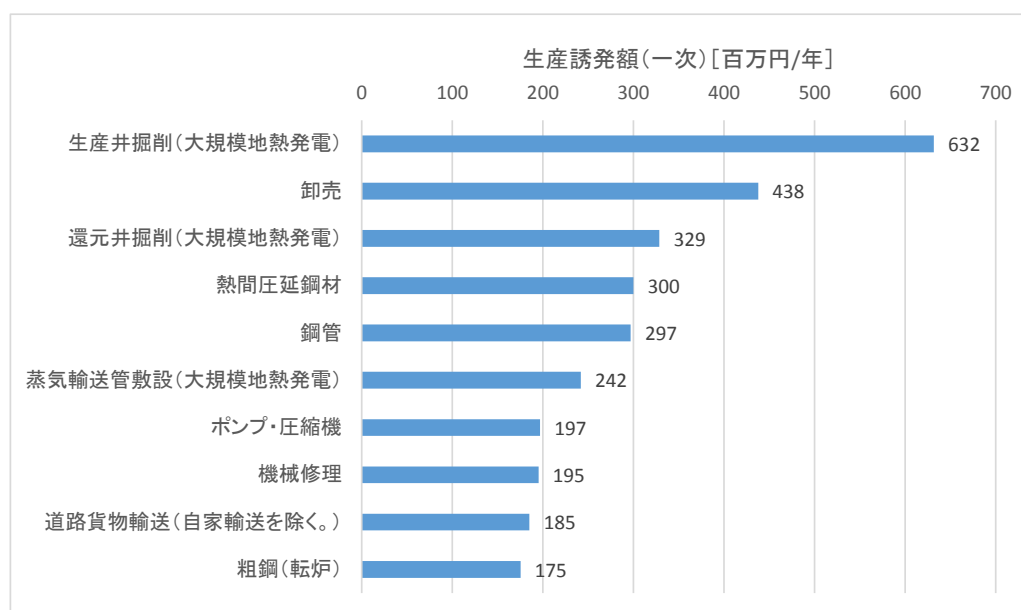


図 3-128 地熱発電（大規模）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、地熱発電（大規模）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-129 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-130 に示す。

地熱発電（大規模）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 28% となった。これは、蒸気の衰退に伴う追加的な生産井掘削、還元井掘削による「鋼管」や「熱間圧延鋼材」への誘発が主な要因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、施設建設と同様に「生産井掘削」が最も大きい結果となった。

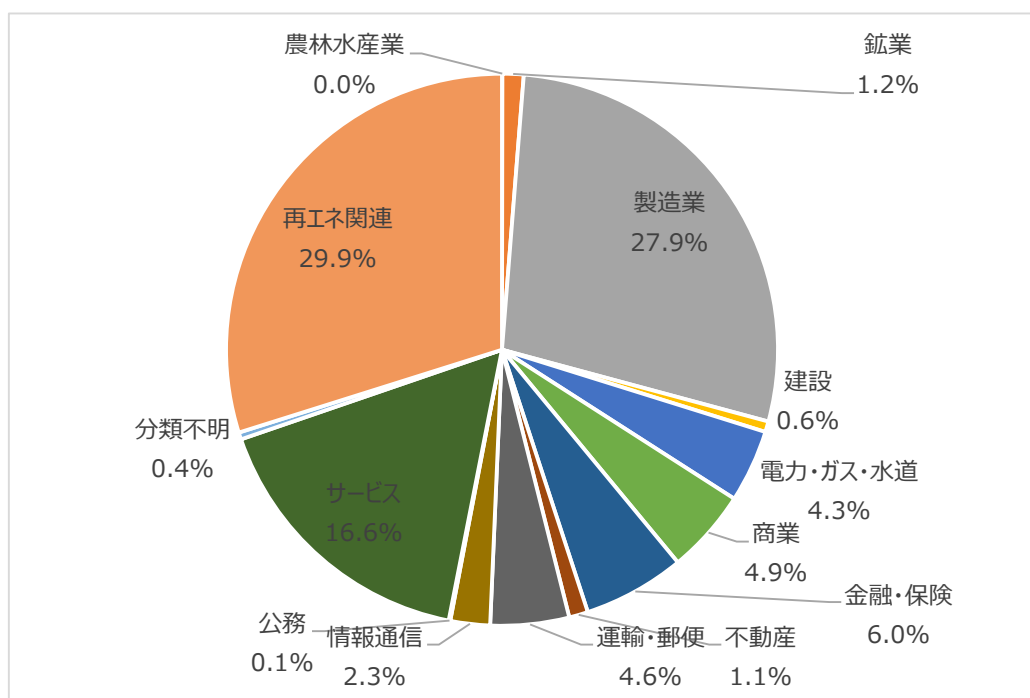


図 3-129 地熱発電（大規模）の施設運用における生産誘発額の内訳

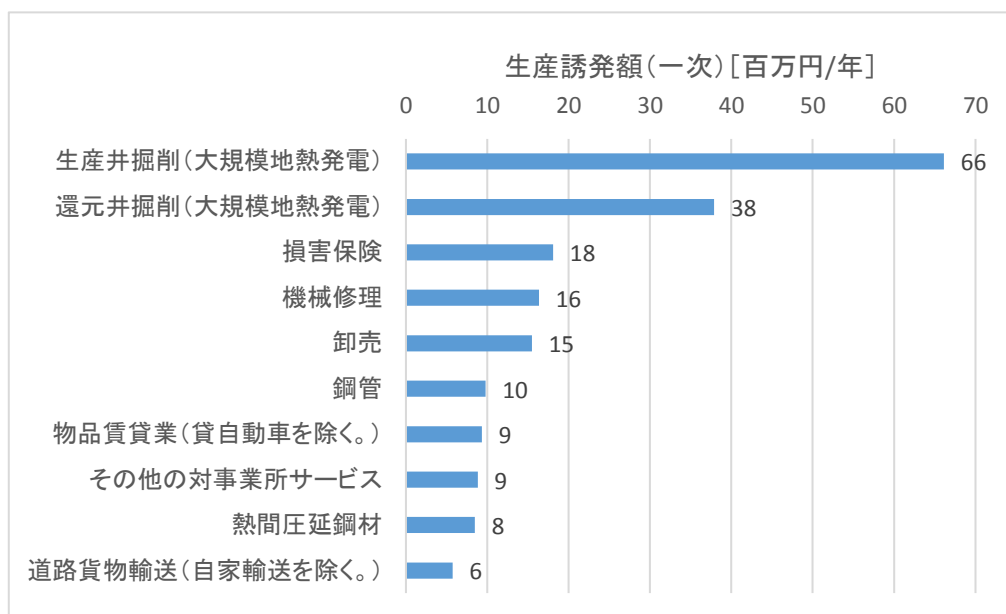


図 3-130 地熱発電（大規模）の施設運用における生産誘発額の上位部門

9) 地熱発電（小規模）

2013年から2030年までの地熱発電（小規模）の導入による経済波及効果を表 3-131、図 3-131 に示す。

地熱発電（小規模）では、FIT 導入後の 2015 年の経済波及効果が大きく計上された。これは、地熱発電（小規模）の導入を行う際に、生産井掘削等で 1、2 年の遅れが生じるため、FIT 制度の導入年から遅れて需要が生じたものだと考えられる。

また、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.87、施設運用段階が 1.09 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-131 地熱発電（小規模）の経済波及効果

百万円/年	2013		2014-2020		2021-2030	
	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】						
①直接効果	59	12	2,597	2,694	3,229	7,205
②中間投入額	39	0	1,702	69	2,116	184
粗付加価値額(直接)	20	12	895	2,625	1,112	7,021
【1次波及効果】						
③国内自給額	35	0	1,527	62	1,899	165
④生産誘発額(1次)	70	1	3,073	118	3,821	315
粗付加価値額(1次)	30	0	1,342	56	1,668	150
【2次波及効果】						
⑤雇用者所得額計	57	1	2,521	184	3,134	491
⑥消費誘発額	126	1	5,559	309	6,911	827
⑦国内消費誘発額	55	1	2,403	137	2,988	367
⑧生産誘発額(2次)	40	1	1,771	133	2,202	354
⑨雇用者所得額(2次)	36	0	1,590	94	1,977	251
粗付加価値額(2次)	75	1	3,305	133	4,109	354
⑩経済波及効果の合計額(①+④+⑧)	169	13	7,441	2,944	9,252	7,875
波及倍率	2.87	1.09	2.87	1.09	2.87	1.09

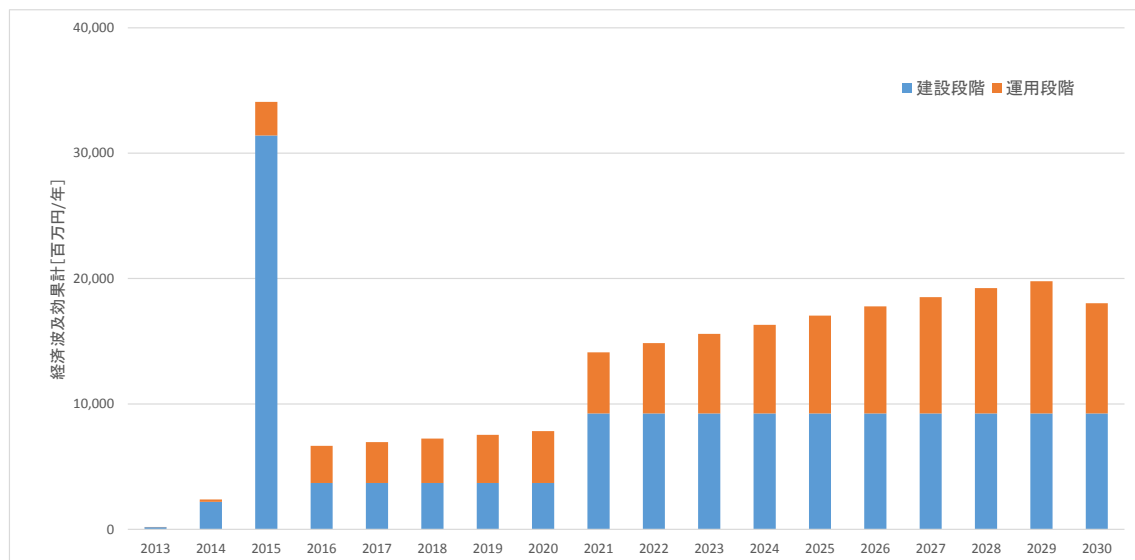


図 3-131 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

地熱発電（小規模）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-132 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-133 に示す。

地熱発電（小規模）の施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 55% となった。これは、施設建設に伴う「熱間圧延鋼材」や「金属製容器・製缶板金製品」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「卸売」が最も大きい結果となった。

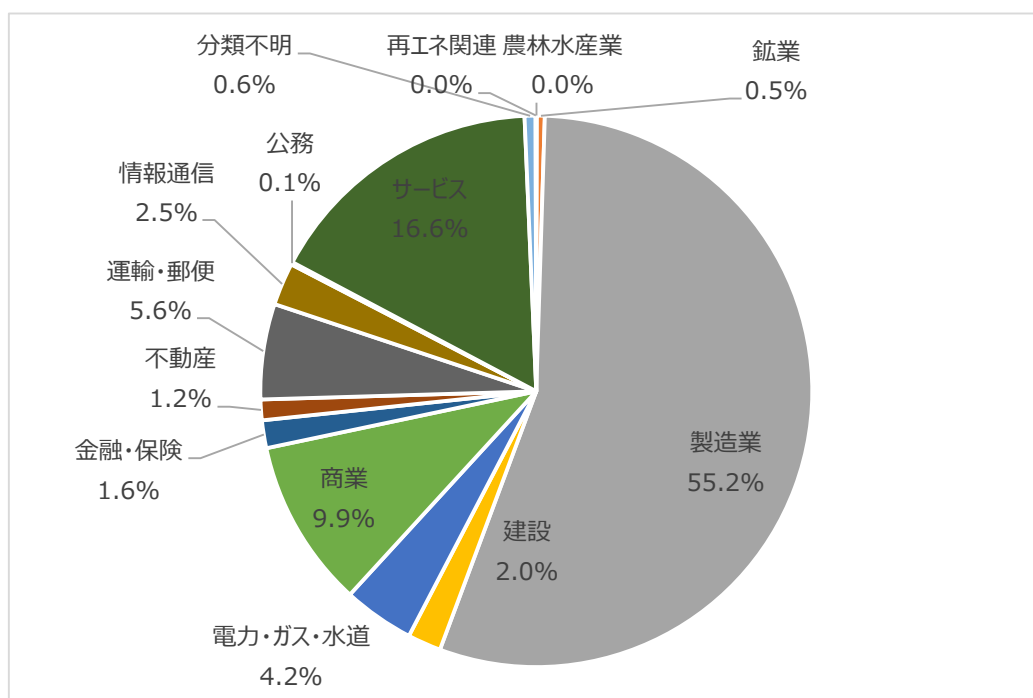


図 3-132 地熱発電（小規模）の施設建設における生産誘発額の内訳

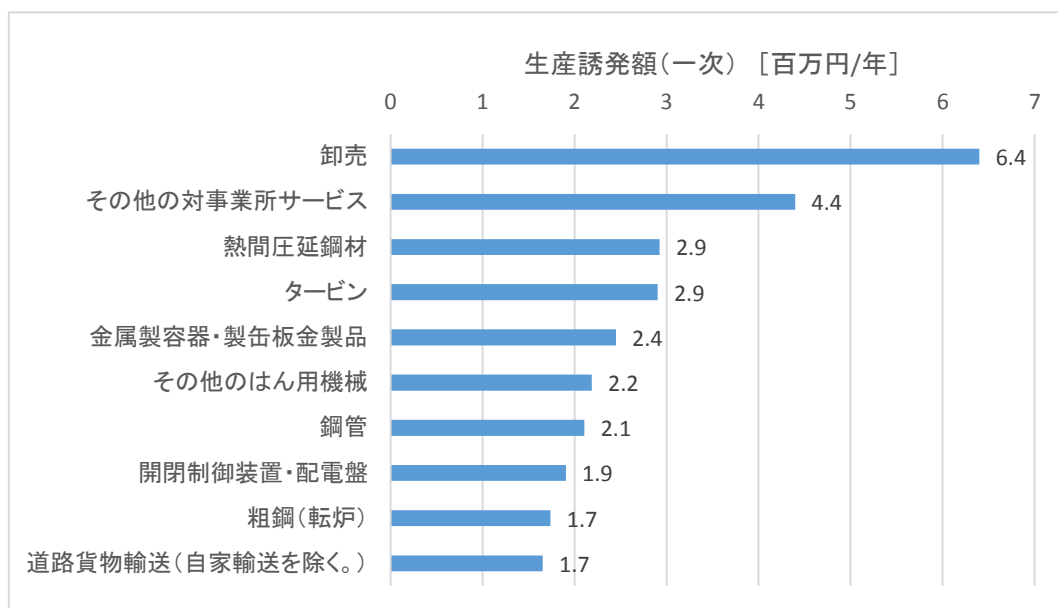


図 3-133 地熱発電（小規模）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、地熱発電（小規模）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-134 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-135 に示す。

地熱発電（小規模）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 38% となった。これは、運用時に蒸気による腐食やスケールを防止するための薬剤に伴う「ソーダ工業製品」などが一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「損害保険」が最も大きい結果となった。

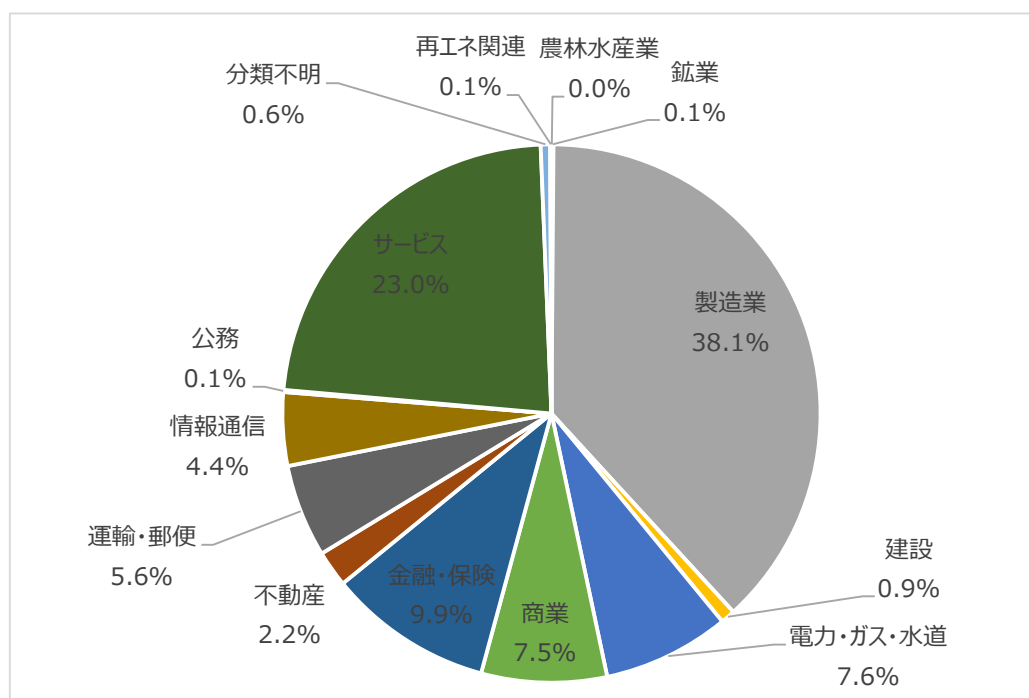


図 3-134 地熱発電（小規模）の施設運用における生産誘発額の内訳

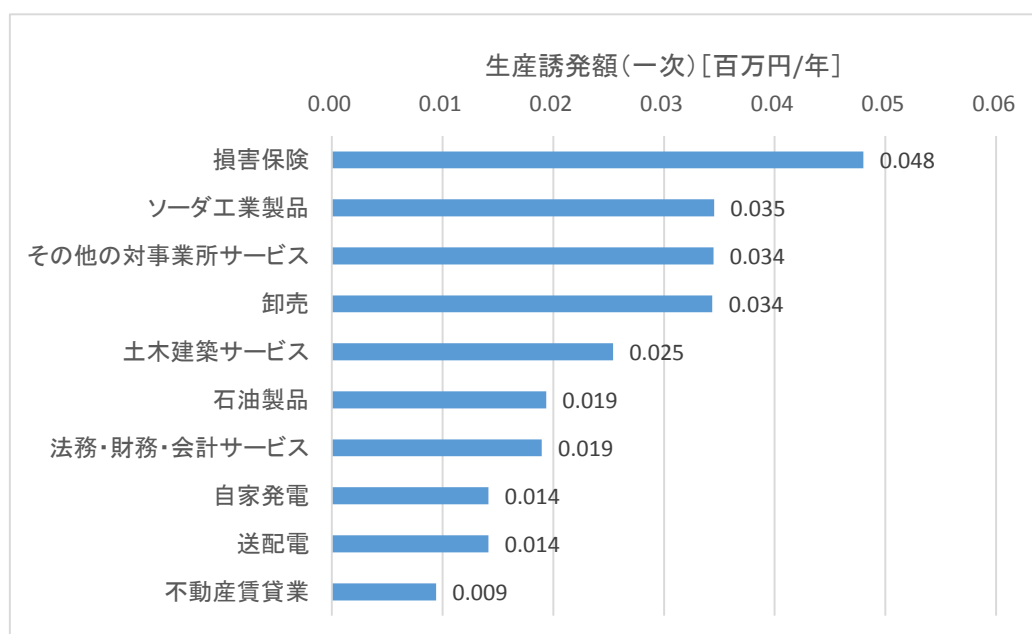


図 3-135 地熱発電（小規模）の施設運用における生産誘発額の上位部門

10) 地熱発電（温泉）

2013 年から 2030 年までの地熱発電（温泉）の導入による経済波及効果を表 3-132、図 3-136 に示す。

地熱発電（温泉）では、FIT の 2020 年以降の経済波及効果が大きく計上された。これは、導入見込量の推計において、2020 年以降を環境省ゾーニング調査⁶⁵の値から見込みで推計しているためである。

また、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.87、施設運用段階が 1.09 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

なお、施設建設及び施設運用に伴う部門別の波及効果は、地熱発電（小規模）と同様の投入係数を用いていることから同じ傾向となる。

表 3-132 地熱発電（温泉）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	59	9	83	91	29,566	24,709
	②中間投入額	39	0	54	2	19,379	632
	粗付加価値額（直接）	20	9	29	89	10,186	24,077
【1次波及効果】	③国内自給額	35	0	49	2	17,386	567
	④生産誘発額（1次）	70	0	98	4	34,987	1,081
	粗付加価値額（1次）	30	0	43	2	15,274	516
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	57	1	81	6	28,698	1,685
	⑥消費誘発額	126	1	178	10	63,285	2,836
	⑦国内消費誘発額	55	0	77	5	27,363	1,259
	⑧生産誘発額（2次）	40	0	57	4	20,166	1,215
	⑨雇用者所得額（2次）	36	0	51	3	18,108	860
	粗付加価値額（2次）	75	0	106	4	37,627	1,215
	⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧	169	10	238	100	84,719	27,005
波及倍率		2.87	1.09	2.87	1.09	2.87	1.09

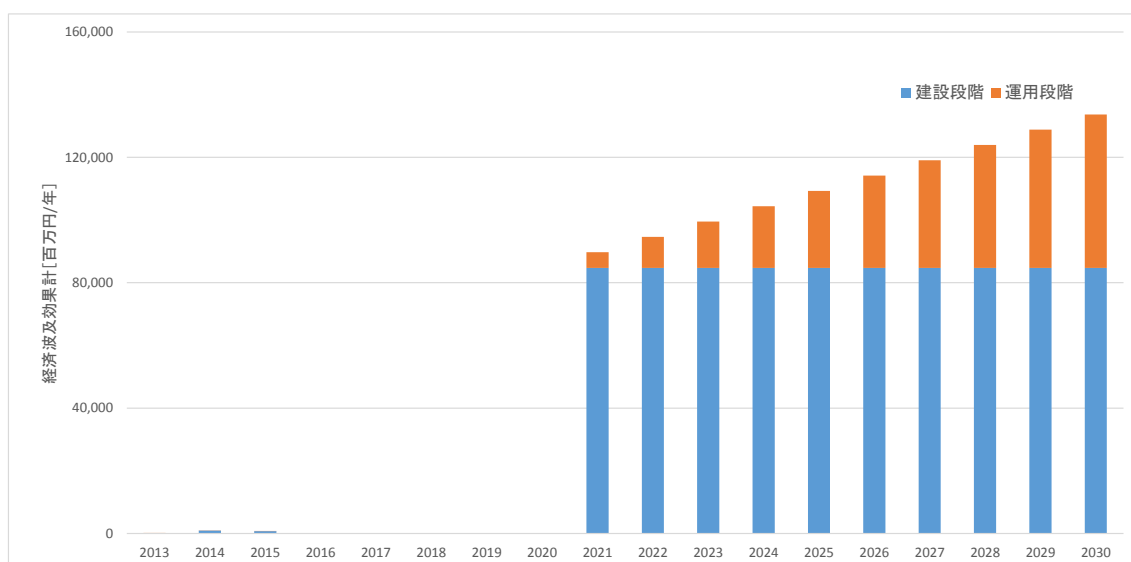


図 3-136 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

⁶⁵ 環境省,平成 24 年再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書,(2012)

11) バイオマス発電（木質）

2013年から2030年までのバイオマス発電(木質)の導入による経済波及効果を表 3-133、図 3-137 に示す。

バイオマス発電（木質）では、FIT 導入後から 2030 年にかけて経済波及効果が増加傾向にあった。また、2020 年以降は、施設運用に伴う波及効果が施設建設に比べて大きい。これは、他の再生可能エネルギーと比べて、バイオマス発電（木質）の施設運用段階の波及倍率が大きいことが一因だと考えられる。なお、波及倍率については 2013 年の施設建設段階が 2.79、施設運用段階が 2.01 と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-133 バイオマス発電（木質）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	4,130	1,859	4,130	9,063	15,710	49,779
	②中間投入額	2,668	1,034	2,668	5,042	10,148	27,693
	粗付加価値額(直接)	1,462	825	1,462	4,021	5,562	22,086
【1次波及効果】	③国内自給額	2,324	583	2,324	2,842	8,841	15,611
	④生産誘発額(1次)	4,693	1,044	4,693	5,093	17,853	27,971
	粗付加価値額(1次)	2,047	520	2,047	2,536	7,785	13,927
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	2,817	877	2,817	4,278	10,717	23,496
	⑥消費誘発額	4,937	924	4,937	4,503	18,779	24,733
	⑦国内消費誘発額	3,685	741	3,685	3,613	14,019	19,842
	⑧生産誘発額(2次)	2,716	840	2,716	4,094	10,332	22,485
	⑨雇用者所得額(2次)	2,446	481	2,446	2,345	9,303	12,879
	粗付加価値額(2次)	5,004	840	5,004	4,094	19,036	22,485
⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧		11,539	3,743	11,539	18,250	43,895	100,236
波及倍率		2.79	2.01	2.79	2.01	2.79	2.01

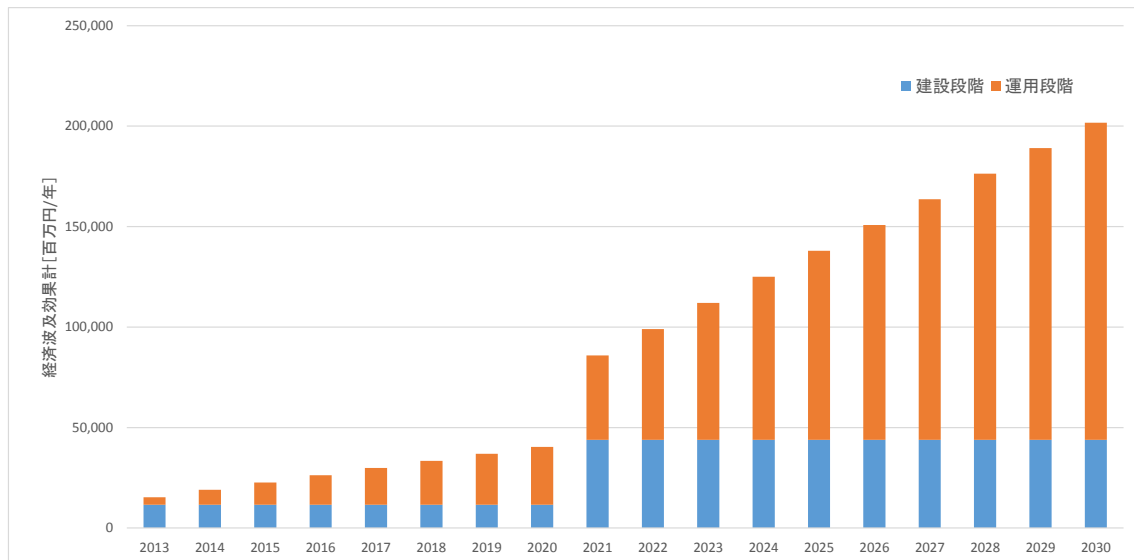


図 3-137 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

バイオマス発電（木質）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-138 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-139 に示す。

バイオマス発電（木質）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 58% となった。これは、発電施設における「ボイラ」や「熱間圧延鋼材」、コンベア製造に伴う「運搬機械」などへの誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「ボイラ」が最も大きい結果となった。

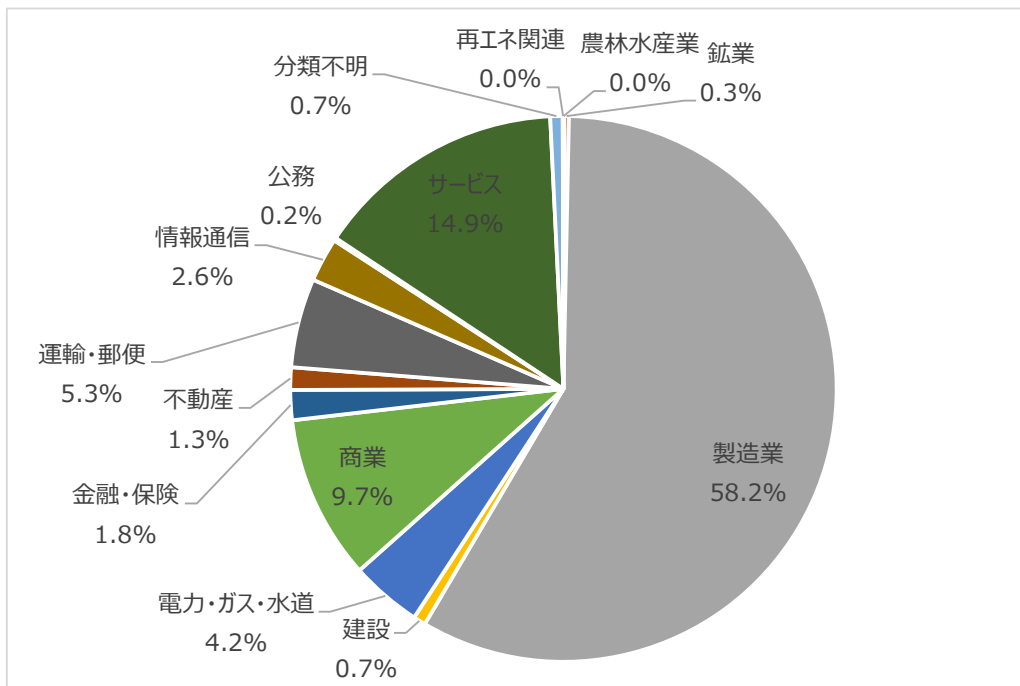


図 3-138 バイオマス発電（木質）の施設建設における生産誘発額の内訳

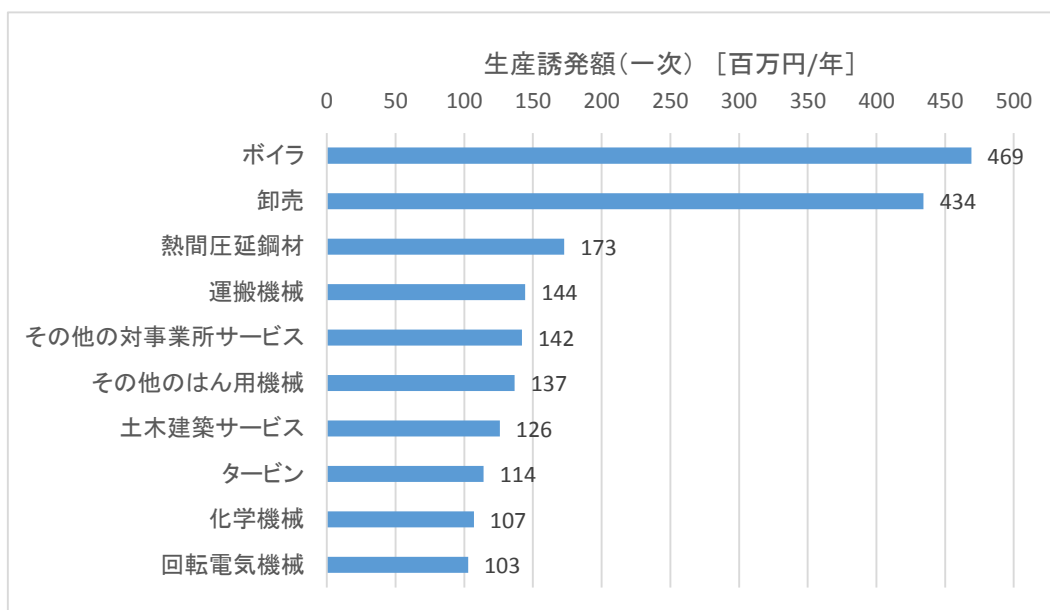


図 3-139 バイオマス発電（木質）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、バイオマス発電（木質）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-140 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-141 に示す。

バイオマス発電（木質）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 32% となった。これは、発電の燃料として用いる「木材チップ」製造への誘発によるものだと考えられる。また、施設運用における「運輸・郵便」や「電力・ガス・水道」など木材の輸送や乾燥に伴う誘発効果が高いと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「木材チップ」が最も大きい結果となった。

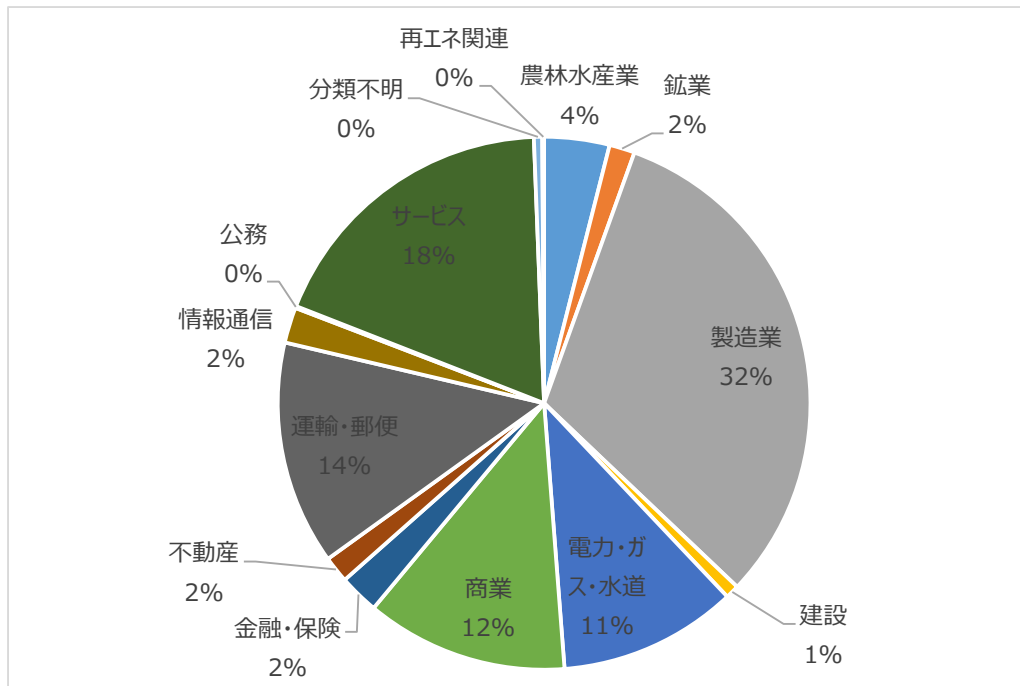


図 3-140 バイオマス発電（木質）の施設運用における生産誘発額の内訳

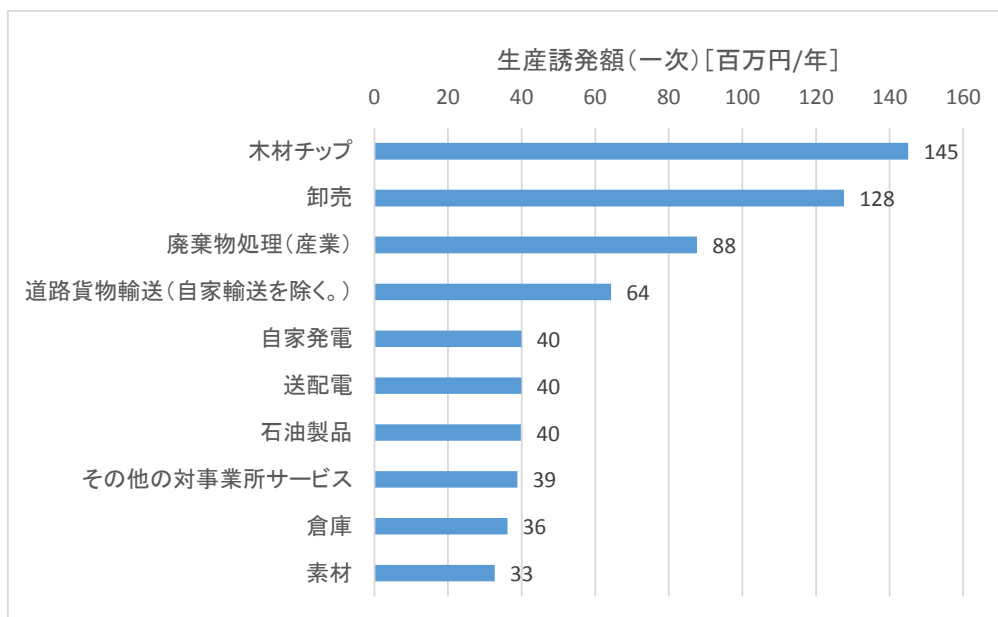


図 3-141 バイオマス発電（木質）の施設運用における生産誘発額の上位部門

12) バイオマス発電（下水汚泥）

2013年から2030年までのバイオマス発電（下水汚泥）の導入による経済波及効果を表3-134、図3-142に示す。

バイオマス発電（下水汚泥）では、2013年から2030年まで経済波及効果が増加傾向にあった。内訳をみると、施設建設に伴う波及は、2020年以降減少傾向にある。一方で施設運用に伴う波及効果が増加している。これは、バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用において、施設の稼働率が高いことや、FITの認定期間が長いことが要因であると考えられる。また、他のバイオマス発電と同様に、バイオマス発電以外の再生可能エネルギーと比べて、バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用段階の波及倍率が大きいことも一因だと考えられる。なお、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.94、施設運用段階が2.38と建設段階に伴う波及効果が運用に比べて大きい。

表 3-134 バイオマス発電（下水汚泥）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	1,086	807	1,086	4,036	754	9,543
	②中間投入額	789	274	789	1,371	548	3,242
	粗付加価値額(直接)	297	533	297	2,665	206	6,301
【1次波及効果】	③国内自給額	684	254	684	1,272	475	3,007
	④生産誘発額(1次)	1,380	580	1,380	2,903	959	6,863
	粗付加価値額(1次)	597	226	597	1,129	415	2,670
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	872	471	872	2,356	606	5,571
	⑥消費誘発額	1,430	760	1,430	3,802	993	8,991
	⑦国内消費誘発額	987	446	987	2,231	686	5,276
	⑧生産誘発額(2次)	727	533	727	2,666	505	6,304
	⑨雇用者所得額(2次)	643	288	643	1,443	447	3,412
	粗付加価値額(2次)	1,317	533	1,317	2,666	915	6,304
⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧		3,193	1,920	3,193	9,604	2,218	22,710
波及倍率		2.94	2.38	2.94	2.38	2.94	2.38

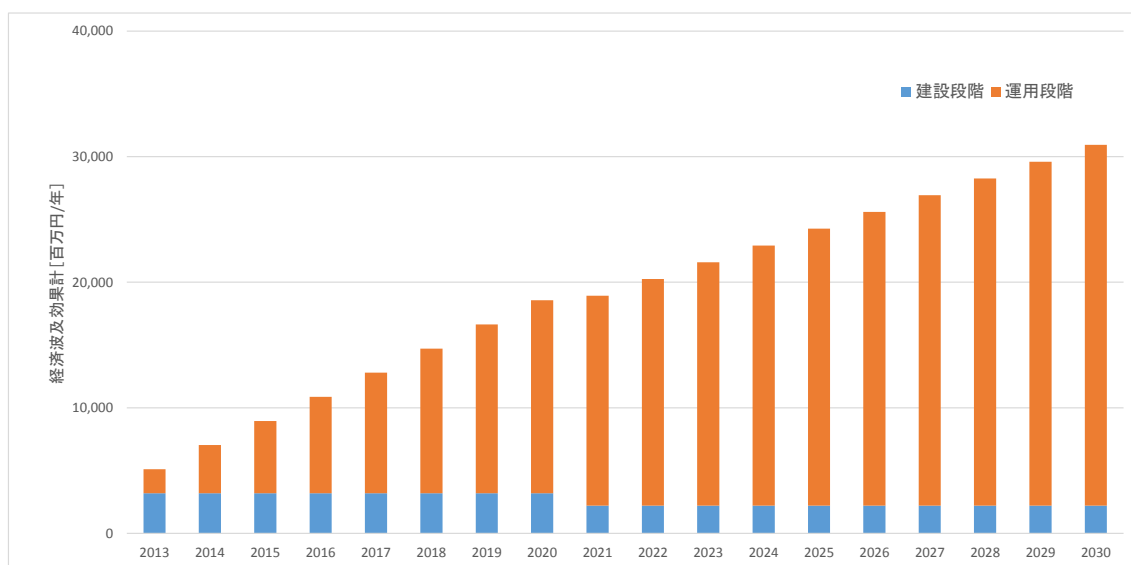


図 3-142 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

バイオマス発電（下水汚泥）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-143 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-144 に示す。

バイオマス発電（下水汚泥）の施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 57% となった。これは、設備製造に伴う「開閉制御装置・配電盤」や「回転電気機械」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「卸売」が最も大きい結果となった。

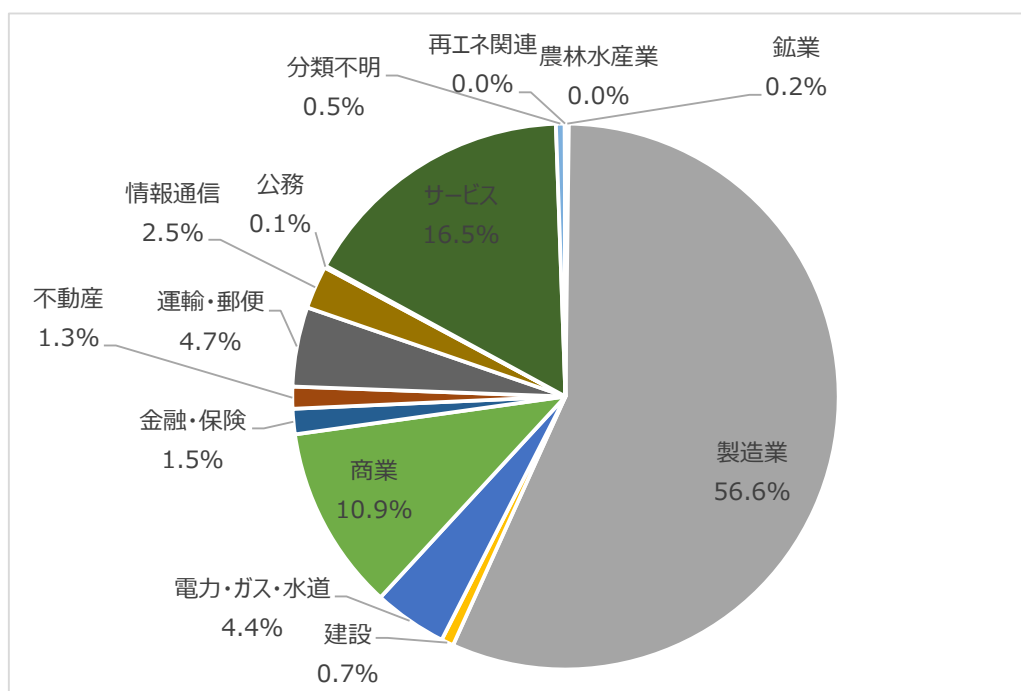


図 3-143 バイオマス発電（下水汚泥）の施設建設における生産誘発額の内訳

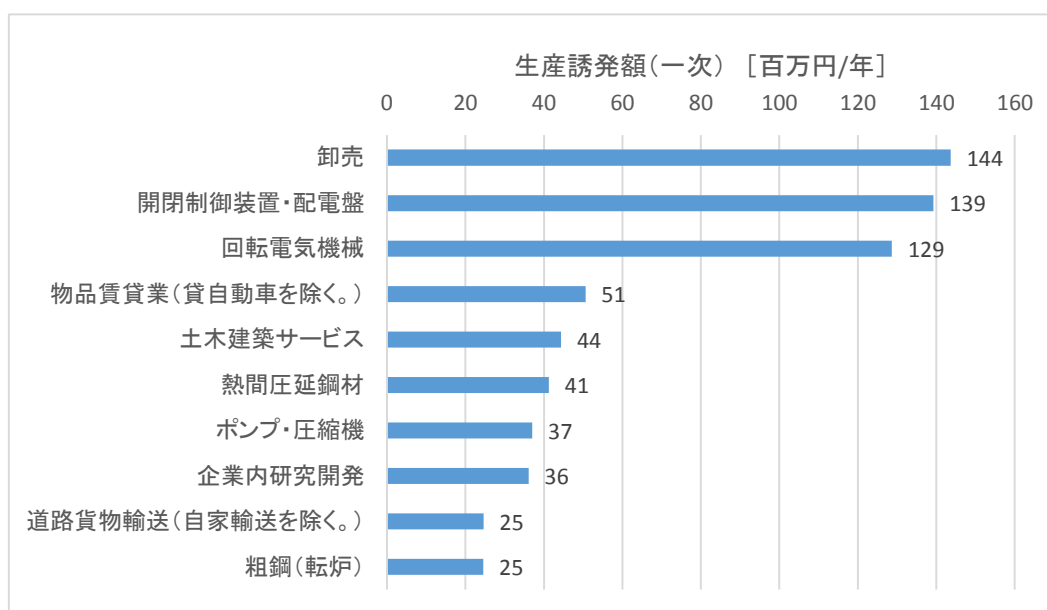


図 3-144 バイオマス発電（下水汚泥）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-145 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-146 に示す。

バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用における生産誘発額（一次）は、電気・ガス・水道への波及効果が全体の 36%となった。これは、下水汚泥処理に伴う下水処理サービスによって誘発される「下水道」の影響が大きい。また、生産誘発額（一次）は、「下水道」が最も大きい結果となった。

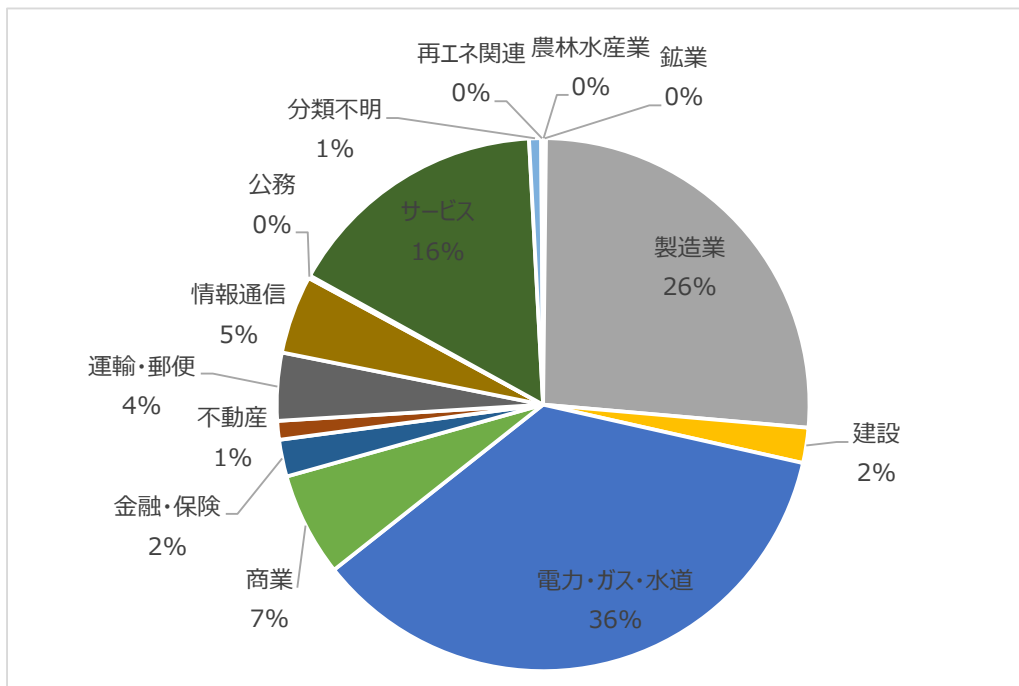


図 3-145 バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用における生産誘発額の内訳

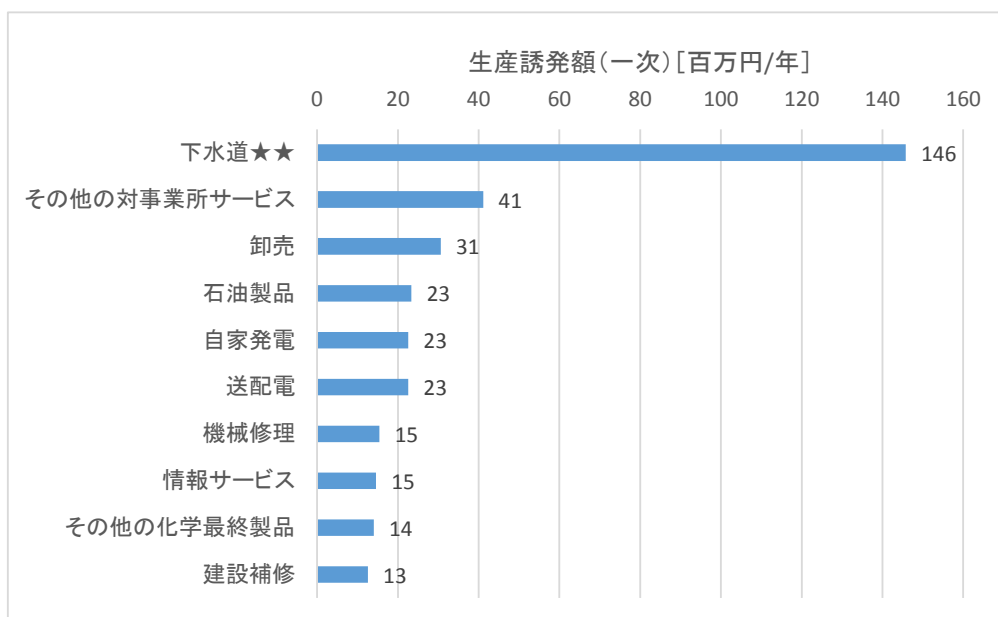


図 3-146 バイオマス発電（下水汚泥）の施設運用における生産誘発額の上位部門

13) バイオマス発電（家畜排せつ物）

2013年から2030年までのバイオマス発電（家畜排せつ物）の導入による経済波及効果を表3-135、図3-147に示す。

バイオマス発電（家畜排せつ物）では、2013年から2030年まで経済波及効果が増加傾向にあった。内訳をみると、施設建設に伴う波及は、2020年以降減少傾向にある。一方で施設運用に伴う波及効果が増加している。これは、バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用において、施設の稼働率が高いことや、FITの認定期間が長いことが要因であると考えられる。また、他のバイオマス発電と同様に、バイオマス発電以外の再生可能エネルギーと比べて、バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用段階の波及倍率が大きいことも一因だと考えられる。なお、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.80、施設運用段階が3.18と他の再生可能エネルギーと異なり、建設に比べて施設運用に伴う波及効果大きい。

表 3-135 バイオマス発電（家畜排せつ物）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	1,783	1,325	1,783	6,628	1,834	18,107
	②中間投入額	1,168	574	1,168	2,873	1,201	7,850
	粗付加価値額(直接)	615	751	615	3,754	633	10,257
【1次波及効果】	③国内自給額	999	539	999	2,696	1,027	7,365
	④生産誘発額(1次)	2,029	1,465	2,029	7,330	2,087	20,027
	粗付加価値額(1次)	875	532	875	2,661	900	7,269
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	1,457	543	1,457	2,714	1,499	7,416
	⑥消費誘発額	2,372	1,017	2,372	5,090	2,440	13,906
	⑦国内消費誘発額	1,609	1,212	1,609	6,061	1,655	16,558
	⑧生産誘発額(2次)	1,186	1,421	1,186	7,107	1,220	19,416
	⑨雇用者所得額(2次)	1,064	731	1,064	3,659	1,094	9,996
	粗付加価値額(2次)	2,178	1,421	2,178	7,107	2,240	19,416
⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧		4,998	4,211	4,998	21,065	5,142	57,550
波及倍率		2.80	3.18	2.80	3.18	2.80	3.18

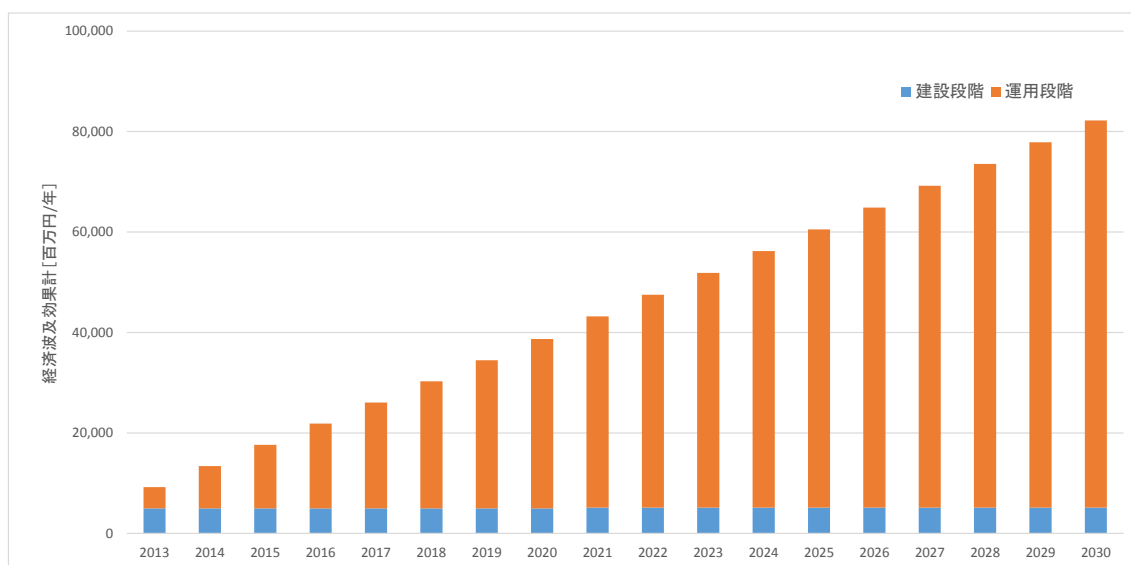


図 3-147 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-148 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について

図 3-149 に示す。

バイオマス発電（家畜排せつ物）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 58% となった。これは、設備製造に伴う「回転電気機械」「ボイラ」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「回転電気機械」が最も大きい結果となった。

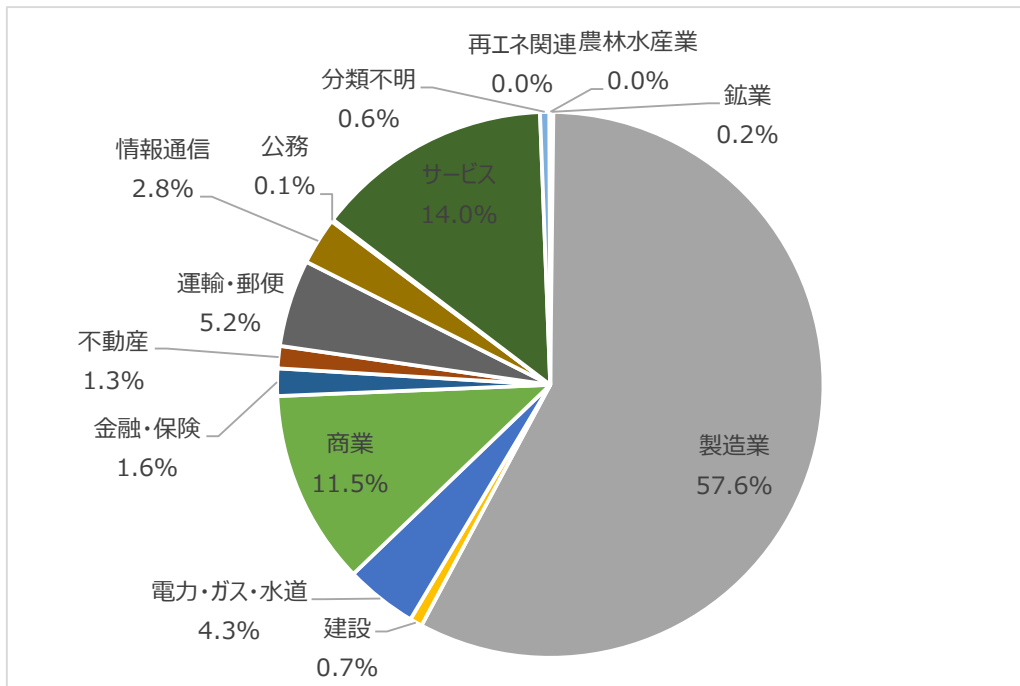


図 3-148 バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設建設における生産誘発額の内訳

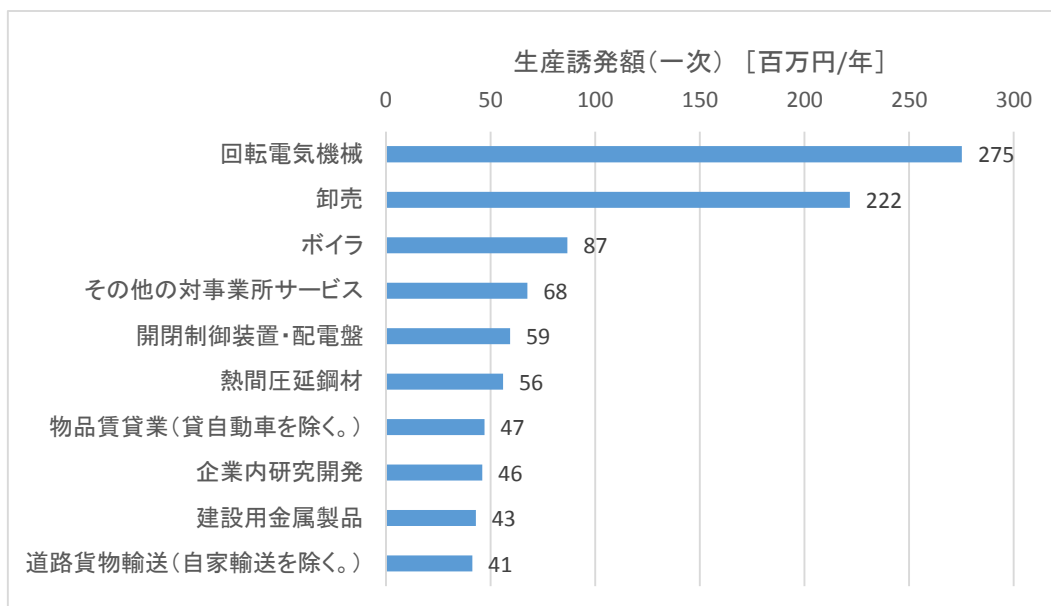


図 3-149 バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-150 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-151 に示す。

バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用における生産誘発額（一次）は、「電気・ガス・水道」への波及効果が全体の 30% となった。これは、廃棄物処理（家畜排せつ物）の活動における電力使用に伴う「自家発電」や「送配電」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「廃棄物処理（家畜排せつ物）」が最も大きい結果となった。

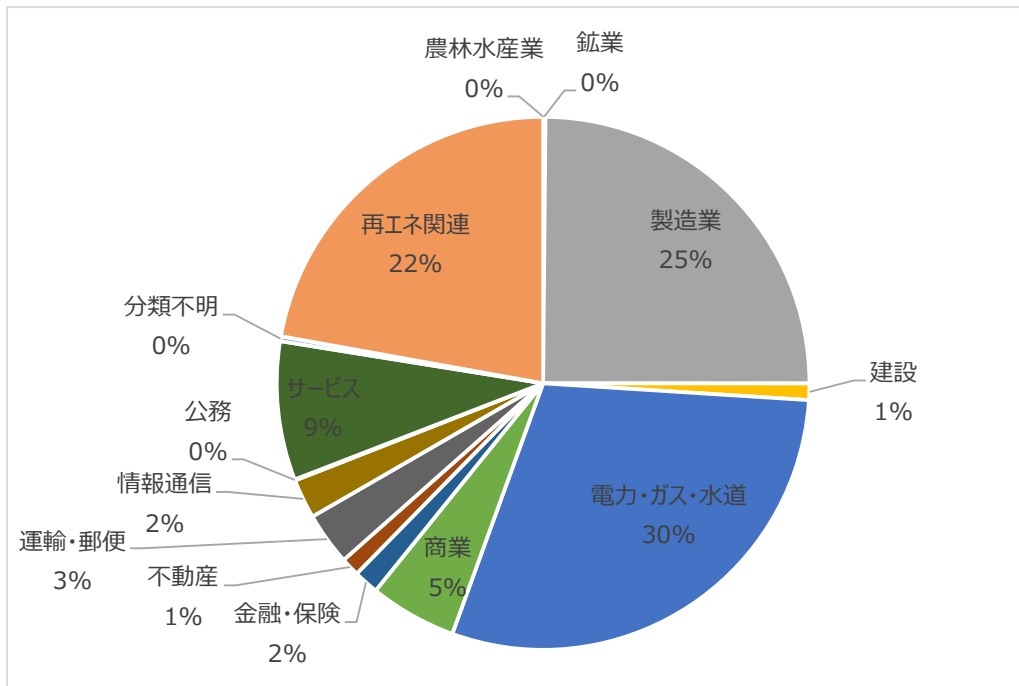


図 3-150 バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用における生産誘発額の内訳

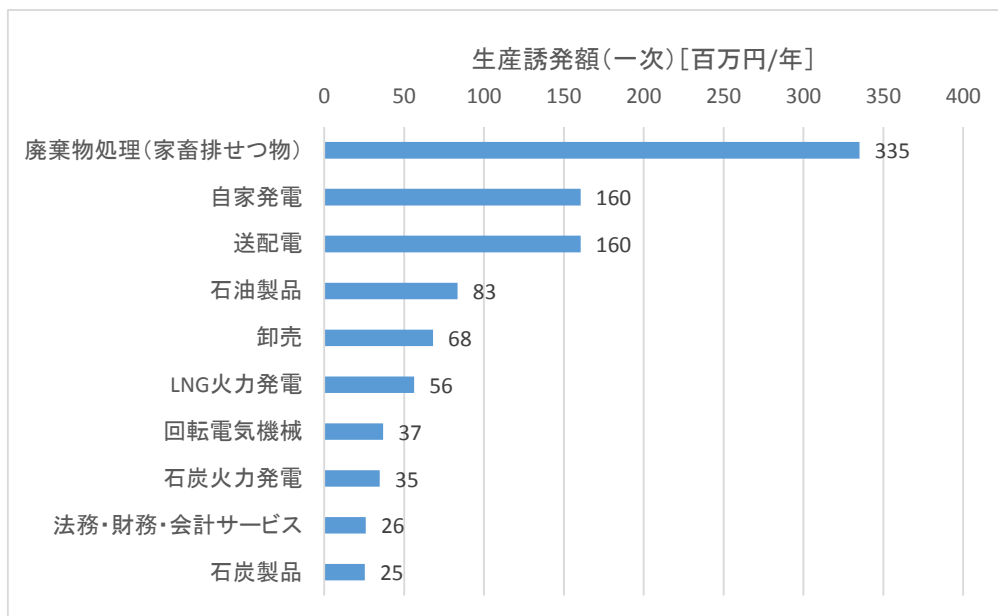


図 3-151 バイオマス発電（家畜排せつ物）の施設運用における生産誘発額の上位部門

14) バイオマス発電（食品廃棄物）

2013年から2030年までのバイオマス発電（食品廃棄物）の導入による経済波及効果を表3-136、図3-152に示す。

バイオマス発電（食品廃棄物）では、2013年から2030年まで経済波及効果が増加傾向にあった。特に施設運用に伴う経済波及効果が大きく、施設の稼働率が高いことや、FITの認定期間が長いことが要因であると考えられる。また、他のバイオマス発電と同様に、バイオマス発電以外の再生可能エネルギーと比べて、バイオマス発電（食品廃棄物）の施設運用の波及倍率が大きいことも一因だと考えられる。なお、波及倍率については2013年の施設建設段階が2.90、施設運用段階が4.02と他の再生可能エネルギーと異なり、建設に比べて施設運用に伴う波及効果が大きい。

表 3-136 バイオマス発電（食品廃棄物）の経済波及効果

百万円/年		2013		2014-2020		2021-2030	
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	施設建設	施設運用
【直接効果】	①直接効果	2,238	1,663	2,238	8,320	5,307	35,013
	②中間投入額	1,540	628	1,540	3,141	3,651	13,219
	粗付加価値額(直接)	698	1,035	698	5,179	1,656	21,794
【1次波及効果】	③国内自給額	1,319	592	1,319	2,962	3,126	12,464
	④生産誘発額(1次)	2,729	2,291	2,729	11,459	6,471	48,222
	粗付加価値額(1次)	1,156	480	1,156	2,401	2,742	10,106
【2次波及効果】	⑤雇用者所得額計	1,706	1,312	1,706	6,563	4,044	27,620
	⑥消費誘発額	1,810	1,389	1,810	6,951	4,291	29,250
	⑦国内消費誘発額	2,082	2,082	2,082	10,416	4,935	43,835
	⑧生産誘発額(2次)	1,534	2,732	1,534	13,666	3,637	57,512
	⑨雇用者所得額(2次)	1,373	1,319	1,373	6,596	3,254	27,759
	粗付加価値額(2次)	2,864	2,732	2,864	13,666	6,789	57,512
	⑩経済波及効果の合計額①+④+⑧	6,502	6,686	6,502	33,445	15,415	140,747
波及倍率		2.90	4.02	2.90	4.02	2.90	4.02

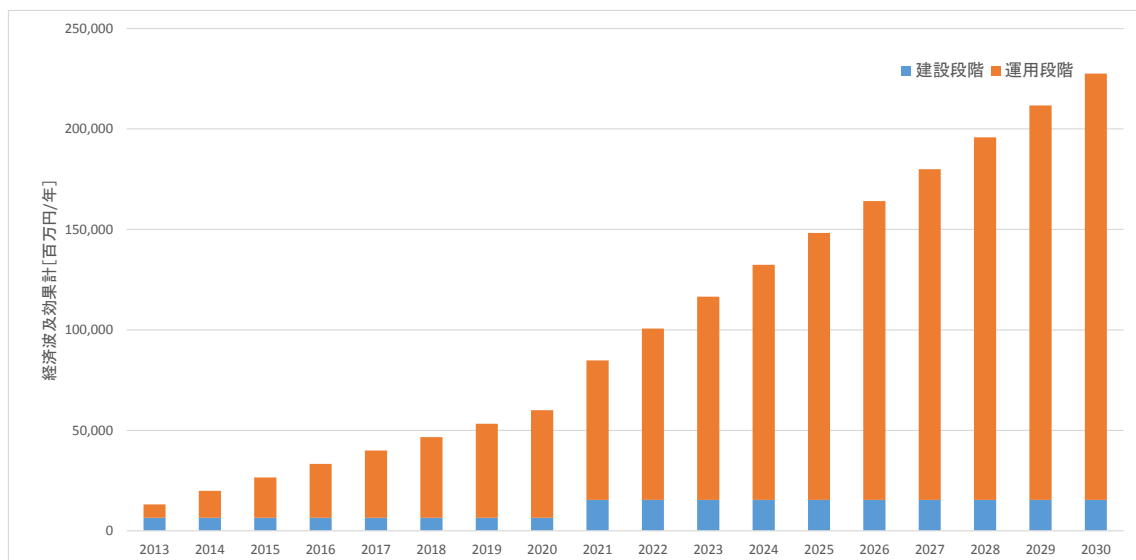


図 3-152 導入見込量に対する経済波及効果の暦年変化

バイオマス発電（食品廃棄物）の施設建設段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-153 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-154 に示す。

バイオマス発電（食品廃棄物）施設建設における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 59% となった。これは、発電設備の製造に伴う「回転電気機械」や「化学機械」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「回転電気機械」が最も大きい結果となった。

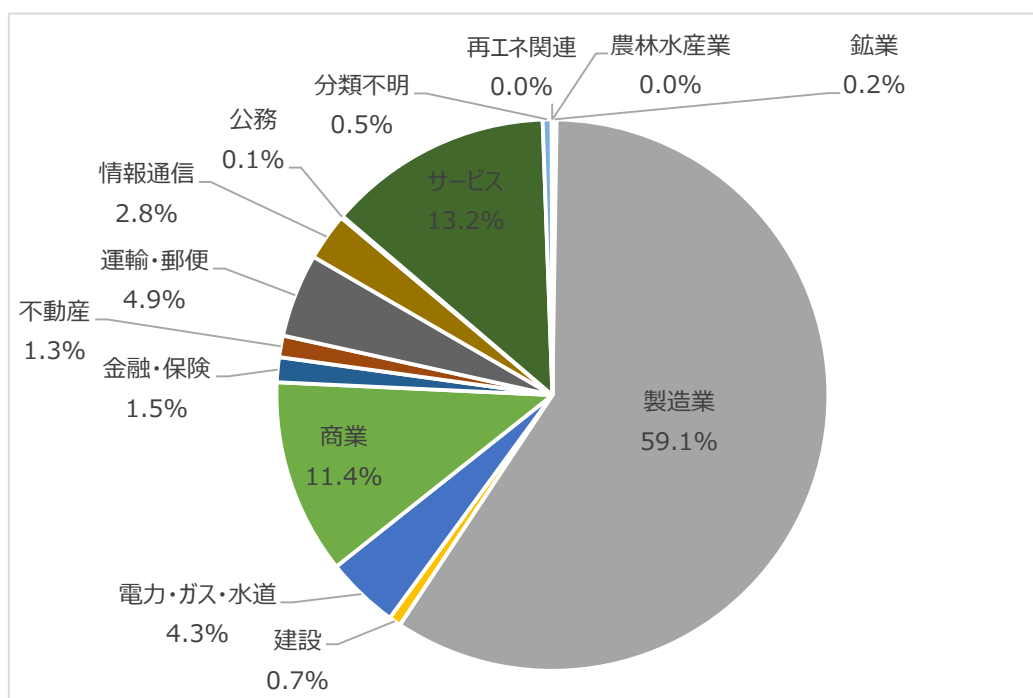


図 3-153 バイオマス発電（食品廃棄物）の施設建設における生産誘発額の内訳

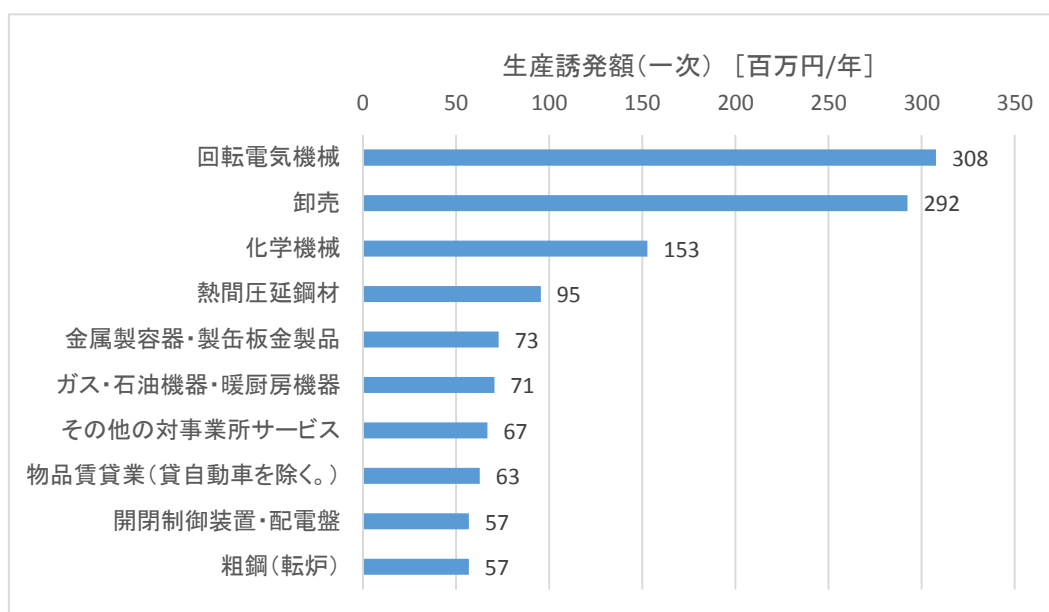


図 3-154 バイオマス発電（食品廃棄物）の施設建設における生産誘発額の上位部門

次に、バイオマス発電（食品廃棄物）の施設運用段階における生産誘発額（一次）について、経済誘発額の部門別の内訳を図 3-155 に示す。また、生産誘発額（一次）の大きい上位 10 部門について図 3-156 に示す。

バイオマス発電（食品廃棄物）の施設運用における生産誘発額（一次）は、製造業への波及効果が全体の 31% と最も大きく、次いで電気・ガス・水道への波及効果が 18% となった。これは、発電設備の製造に伴う「自動車部品」、や廃棄物処理施設（食品廃棄物）の運用に伴う「自家発電」や「送配電」への誘発が一因だと考えられる。また、生産誘発額（一次）は、「廃棄物処理（食品廃棄物）」が最も大きい結果となった。

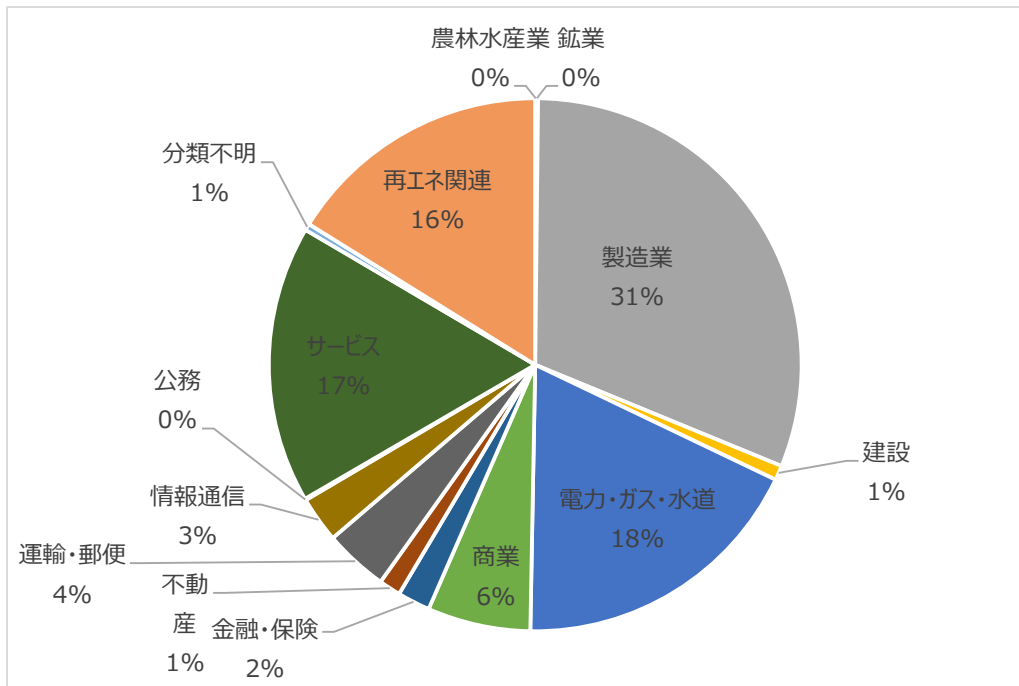


図 3-155 バイオマス発電（食品廃棄物）の施設運用における生産誘発額の内訳

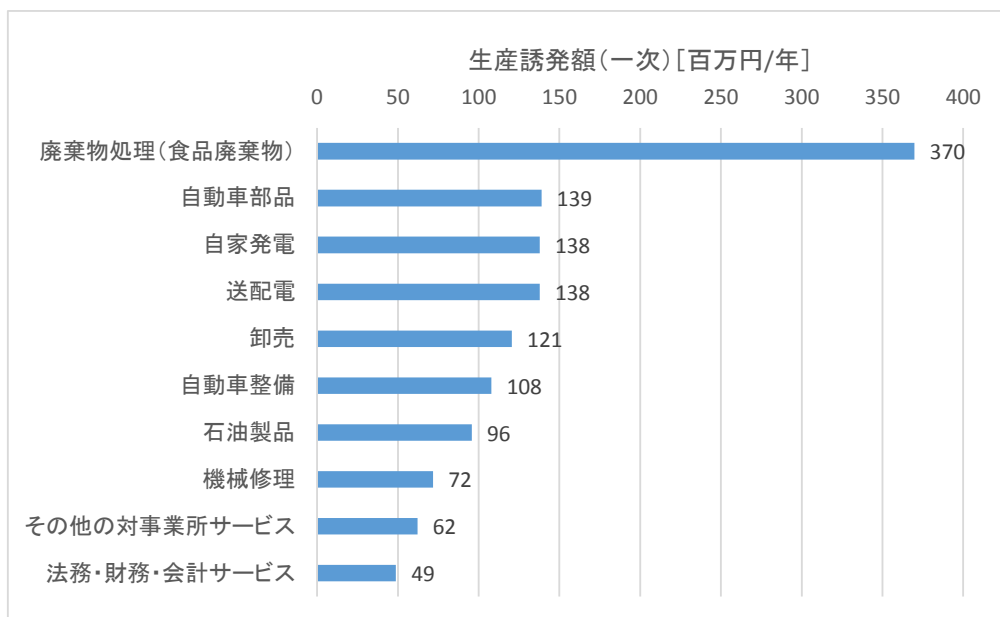


図 3-156 バイオマス発電（食品廃棄物）の施設運用における生産誘発額の上位部門

15) 再エネ技術間の比較

上記で分析した各再生可能エネルギー技術について、2013年の導入見込量当たりの経済波及効果及び波及倍率を比較した。なお、施設運用は、該当年に稼動している発電所全体の波及効果のため、分母は2012年（FIT制度導入）から2013年の積上げ分の出力とした。

導入見込量当たりの経済波及効果は、地熱発電（小規模）及び地熱発電（温泉）が比較的高い値となった。また、波及倍率は全体として施設建設段階が2.04～3.32と高い傾向を示した。一方で、バイオマス発電（家畜排せつ物）及びバイオマス発電（食品廃棄物）は、施設運用段階の波及倍率が施設建設段階に比べて高く、これは運用時に必要となる廃棄物処理施設の運用に伴うものだと考えられる。

表 3-137 本分析における経済波及効果と波及倍率の比較

NO.	本分析における技術区分	経済波及効果[百万円/MW]		波及倍率[-]		
		施設建設	施設運用	施設建設	施設運用	全体
1	太陽光発電(住宅)	1,073	58	2.29	1.20	2.11
2	太陽光発電(非住宅)	817	52	2.48	1.24	2.33
3	太陽光発電(メガソーラー)	774	59	2.50	1.22	2.31
4	風力発電(陸上)	617	59	2.04	1.53	1.81
5	風力発電(着床洋上)	1,034	144	2.04	1.53	1.96
6	風力発電(浮体洋上)	1,282	144	2.04	1.53	1.97
7	水力発電(中小水力)	2,321	127	2.90	1.11	2.60
8	地熱発電(大規模)	1,871	436	3.32	1.23	2.55
9	地熱発電(小規模)	3,524	279	2.87	1.09	2.56
10	地熱発電(温泉)	3,524	204	2.87	1.09	2.63
11	バイオマス発電(木質)	1,118	362	2.79	2.01	2.55
12	バイオマス発電(下水汚泥)	1,176	707	2.94	2.38	2.70
13	バイオマス発電(家畜排せつ物)	1,121	945	2.80	3.18	2.96
14	バイオマス発電(食品廃棄物)	1,162	1,195	2.90	4.02	3.38

※地熱発電（大規模）は、2013年に導入されていないため2014-2020年の平均値とした。

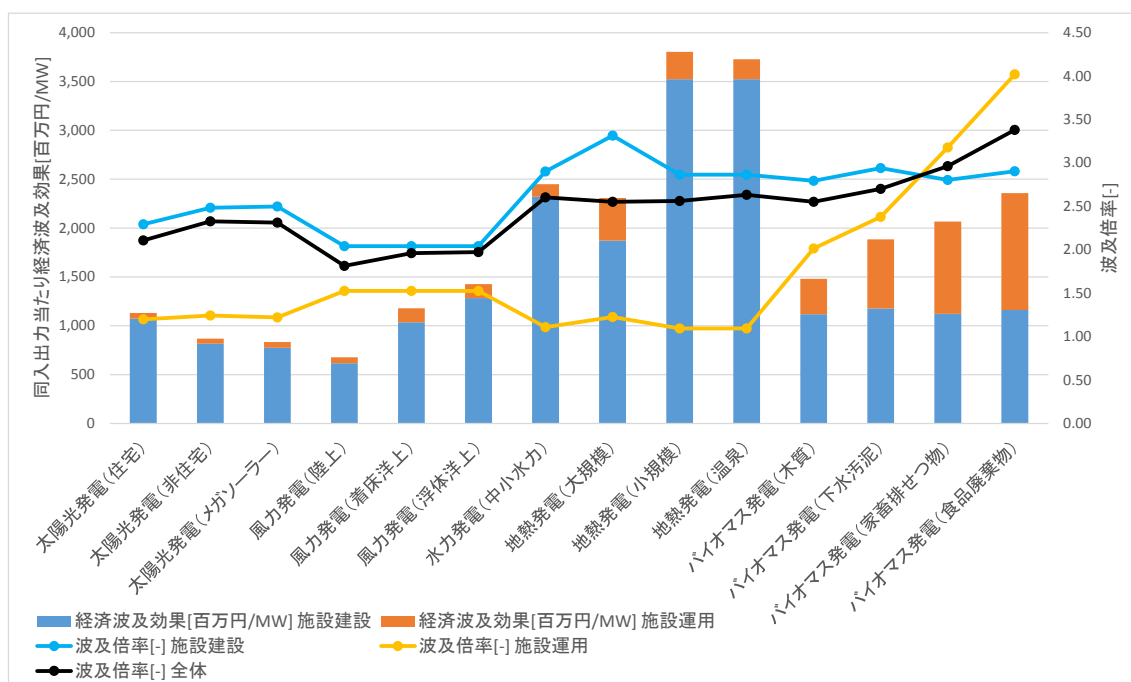


図 3-157 本分析における再生可能エネルギーの経済波及効果比較

(4) 【参考】雇用誘発数の比較

再生可能エネルギー導入に伴う雇用誘発数の推計値の妥当性を確認するために、外界における雇用誘発数の推計結果と比較を行った。

結論として、妥当性を確認することはできなかったが、以下に比較の詳細を述べる。

1) 比較結果

本分析で推計した各発電技術の該当年の雇用誘発数と「a. IRENA, ” Renewable Energy and Jobs Annual Review 2016” ,2016」（以下、IRENA（2016））の比較結果を表 3-138 に示す。なお、比較に用いた雇用誘発数は、IRENA（2016）に合わせて、直接雇用、間接一次雇用、間接二次雇用を対象とし、技術区分は IRENA（2016）の区分に対応させて比較した。

表 3-138 本分析と IRENA の雇用誘発数の比較

IRENAの技術区分	本分析	IRENA(2016)
太陽光発電	2,959	377
風力発電	74	5
地熱発電	1	2
バイオマス発電	23	3

上記の結果から、本分析の雇用誘発数が多く推計された。これは、本分析で用いている各再生可能エネルギーの生産額あたり雇用誘発係数が大きいことが一因だと考えられる。

参考として、本分析で用いた雇用誘発係数と文科省⁶⁶が公表している雇用誘発係数を表 3-139 に示す。なお、現段階で REFIO における各再生可能エネルギー関連部門の雇用誘発係数が公表されていないため、本分析においては各再生可能エネルギー関連部門が対応する平成 23 年産業連関表の該当部門の雇用係数を用いている。

表 3-139 各再エネ技術における雇用誘発係数の比較

雇用誘発係数(人/百万円)		本分析	文科省
太陽光発電	戸建住宅	0.95	0.04
	メガソーラー	1.16	0.10
風力発電	陸上	1.16	0.08
	洋上着床	1.16	0.09
地熱発電	フラッシュサイクル	0.26	0.09
	バイナリーサイクル	2.07	0.07
バイオマス	廃棄物処理施設	0.51	0.11
	メタン醗酵バイオガス	0.51	0.11
	木質バイオマス	0.60	0.11

上記の結果から、今後は REFIO における各再生可能エネルギー関連部門における雇用誘発係数の把握が必要である。なお、文科省の雇用誘発係数は一部しか公表されておらず、IRENA の区分で推計し比較することができない。

⁶⁶出典：文部科学省、拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析（2013）

2) 海外における雇用誘発数の推計事例

本分析で比較の検討を実施した IRENA と「2) Institute for Sustainable Futures, ” ENERGY SECTOR JOBS TO 2030: A GLOBAL ANALYSIS” ,2009」 (以下、ISF (2009)) の概要について、参考資料として以下に記載する。

a. IRENA, ”Renewable Energy and Jobs Annual Review 2016”, 2016

[概要]

国際再生可能エネルギー機関によって再生可能エネルギーが誘発する雇用数の推計が毎年報告されている。世界全体において、再生可能エネルギーの雇用誘発数は 2015 年に 5%増加し 810 万人に及んだ。最も多くの雇用を生み出している国は、中国、ブラジル、アメリカ、インド、日本、ドイツである。日本における太陽光発電事業が誘発する雇用は 2014 年時点で前年より 28%増加し約 38 万人になった。

[雇用の定義]

IRENA による年次報告では、太陽光発電協会が発表している雇用誘発数を参照している。雇用誘発数として、直接雇用、原材料等の中間需要によって起こる生産波及効果を意味する間接 1 次雇用、誘発された雇用者所得のうち消費支出分の生産を意味する間接 2 次雇用を含んでいることが、同協会が公表している「JPEA PV OUTLOOK 2030」及び「太陽光発電の持続的導入に向けて」という表題の資料より判断できる。

[推計方法]

公表資料では推計方法に該当する記述は確認できない。

b. Institute for Sustainable Futures, ”ENERGY SECTOR JOBS TO 2030: A GLOBAL ANALYSIS”, 2009

[概要]

Greenpeace International および European Renewable Energy Council は世界のエネルギー需給見通しを発表し、International Energy Agency が 2007 年に発表した見通しと比較している。本報告書では、エネルギー関連事業の雇用誘発数を 2 つの見通しに基づいて国別に分析している。

[雇用の定義]

本報告書では燃料生産、施設建設、施設運用における直接雇用を推計している。

[推計方法]

再生可能エネルギー導入による雇用誘発数の推計方法は、以下のとおりである。

- ・雇用誘発数＝施設建設における雇用誘発数＋施設運用における雇用誘発数
- ・施設建設における雇用誘発数＝設備容量×出力当たり雇用誘発数×国別の雇用係数
- ・施設運用における雇用誘発数＝累積容量×出力当たり雇用誘発数×国別の雇用係数

(5) まとめ

1) 全体考察

以上のように 14 種の再生可能エネルギー（太陽光発電（3 種）、風力発電（3 種）、中小水力発電、地熱発電（3 種）、バイオマス発電（4 種）について REFIO を用いた経済波及効果を試算した。結果として、各再生可能エネルギー特有の産業への波及効果が見受けられた。また、いずれの再生可能エネルギーにおいても施設運用に伴う経済効果よりも施設建設時の経済効果が高く、直近年では、FIT 導入後に早い段階で導入が見込まれる太陽光発電による影響が大きい。一方で、長期的に見た場合、稼働率が高く継続的な運用が見込める地熱発電やバイオマス発電の施設運用における経済波及効果が大きい。

2) 今後の展開

本分析では、限られた情報で推計を実施するための前提条件をおいたため、より正確な分析を実施するために以下の検討が必要である。

- 推計に含まれていない波及効果の把握
 - ・ 施設運用における FIT 認定期間後の波及効果
 - ・ 施設の撤去工事に伴う波及効果
 - ・ 粗付加価値のうち企業の設備投資等による波及効果

- 再生可能エネルギー関連部門の雇用係数の把握
 - ・ REFIO における再生可能エネルギー関連部門の雇用係数（人・年/百万円）の作成