

電力システムの柔軟性向上のための デマンドレスポンスの可能性 —ピーク対応型から再エネ統合型へ—

岩船由美子
東京大学生産技術研究所
エネルギー工学連携研究センター

デマンドレスポンスとは

- デマンドレスポンス(DR: Demand Response)とは、「卸市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、電気料金価格の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること」を指す。(Assessment of Demand Response & Advanced Metering, FERC (2011))
- デマンドレスポンスはおおまかに、時間帯別料金等の電気料金ベースのものと需給調整契約等のインセンティブベースのものに分けられる。

デマンドサイドマネジメント(DSM: Demand Side Management)

デマンドレスポンス (DR: Demand Response)

エネルギー効率化 省エネ診断や省エネ機器の導入等

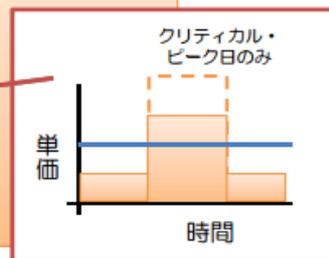


電気料金ベース※1

主体: 電力会社

- ・時間帯別料金(TOU)
- ・ピーク時料金(CPP)
- ・リアルタイム料金(RTP)

※1 Time-based-Programs



インセンティブベース※2

主体: 電力会社、系統運用機関

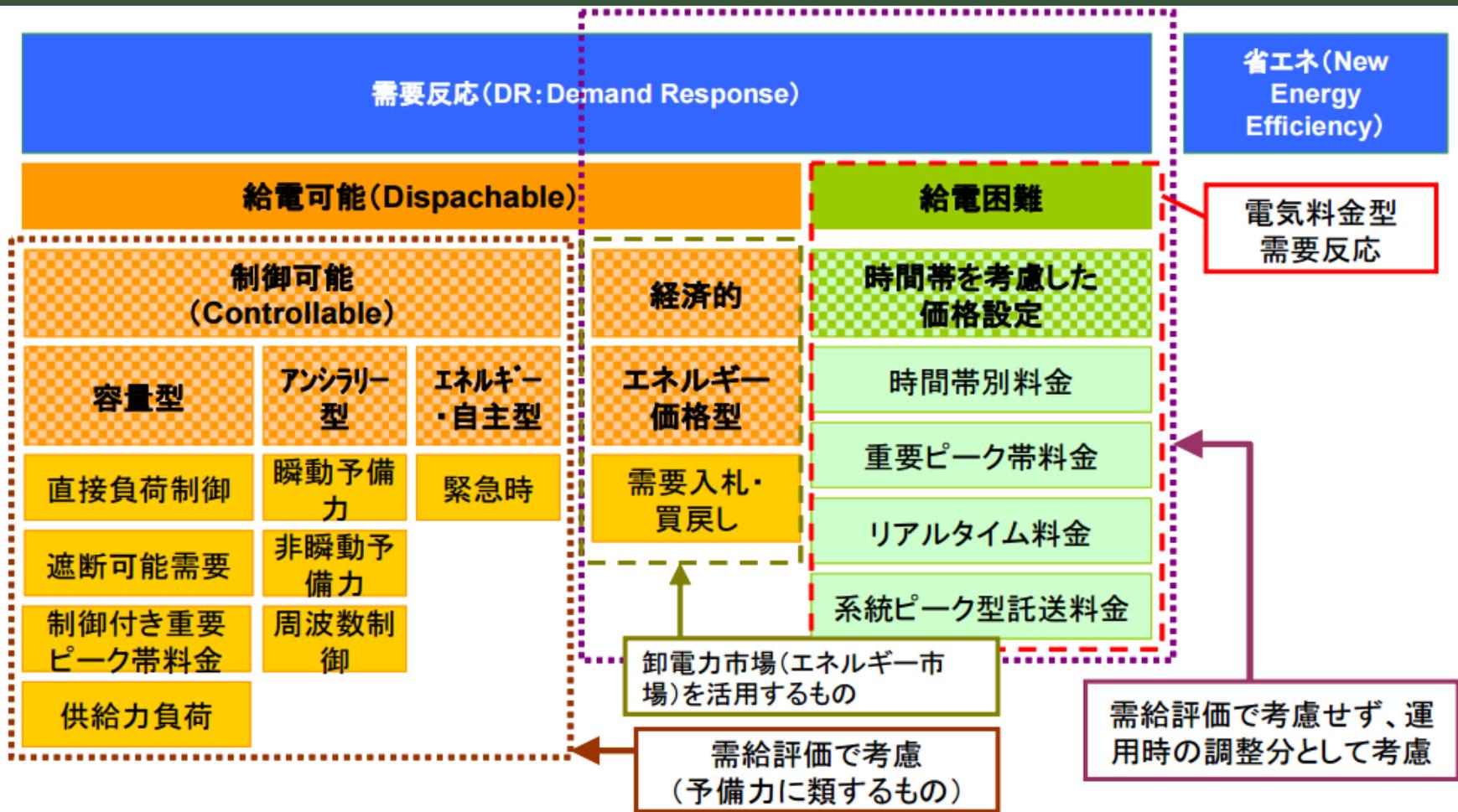
- ・負荷削減への報酬
- ・需給調整契約、直接負荷制御
- ・電力卸売市場
(容量市場、緊急時調整市場等)

※2 Incentive-based-DR-Programs



第2回電力システム改革専門委員会事務局提出資料(平成24年3月6日)

供給力としての価値からのDR分類



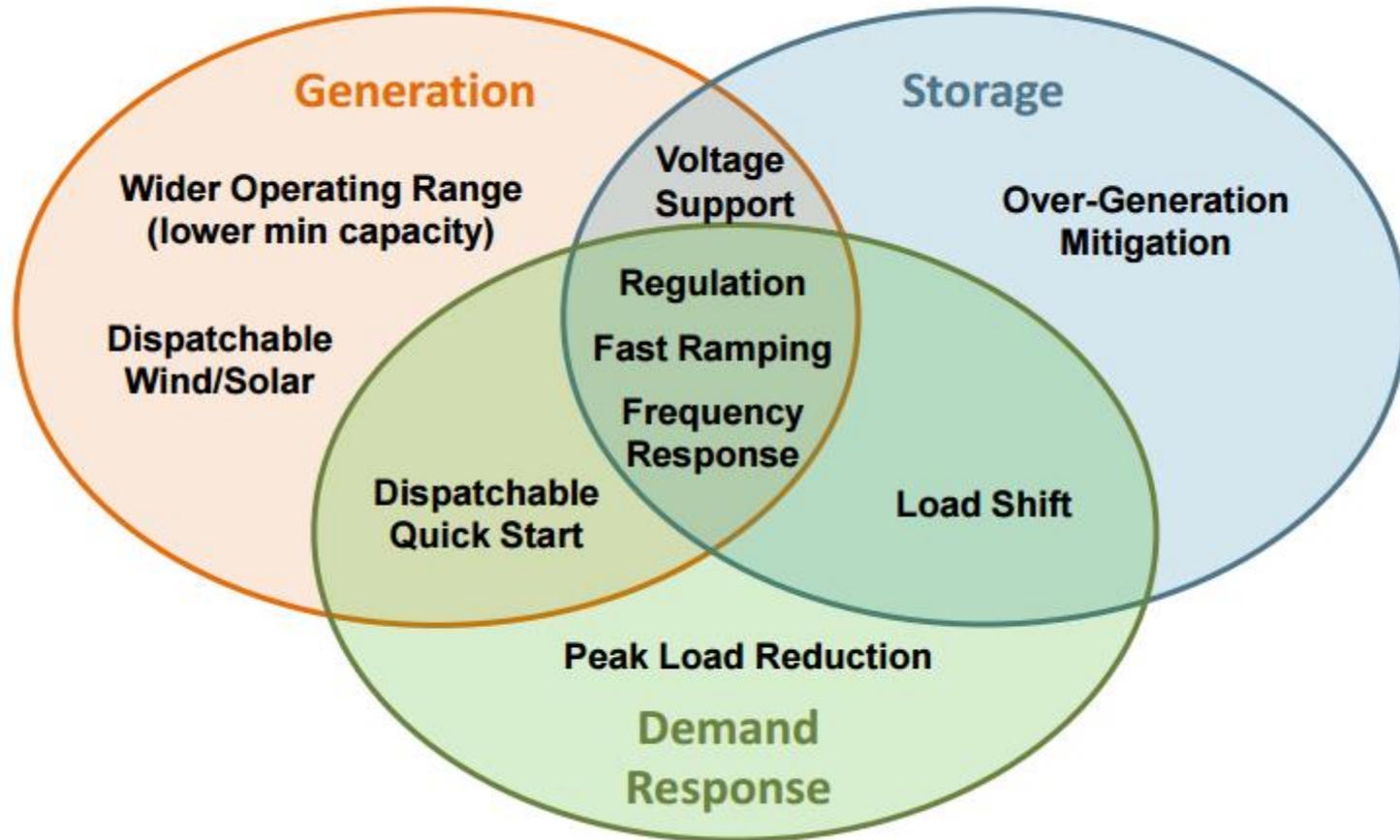
NERC (North American Electric Reliability Corporation) による

出典：平成24年度国際エネルギー使用合理化等対策事業スマートコミュニティ推進に向けたデマンドレスポンスに関する海外動向調査、平成25年3月

日本のDRに関する状況

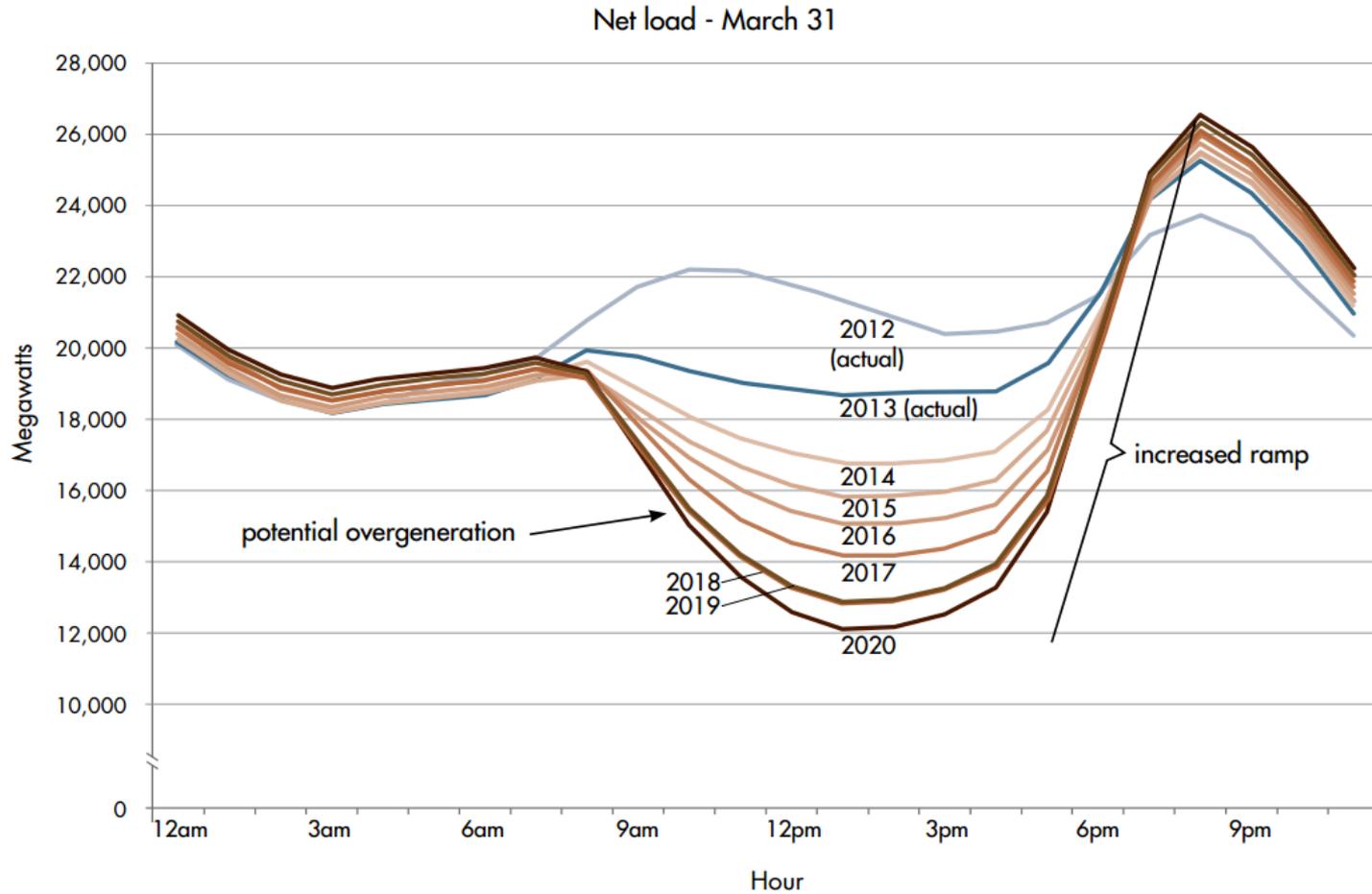
- 現在：DRの目的はピーク削減
 - 電気料金型 4 地域実証におけるピーク別料金の評価
 - インセンティブ型 ネガワット取引
- 今後：再エネの導入増加にともない、よりフレキシブルなDRが要求される
 - いつがピークなのかわからない（気象条件に依存）
 - 急峻な変動への対応
 - DRが必要な時間・量が把握しにくい
 - 下げ方向だけではなく、上げ方向のDRも重要
 - マニュアルDR→自動DRへ
 - 屋根置きPVとの連携など、家庭部門の取り込みも重要

DRの位置づけ



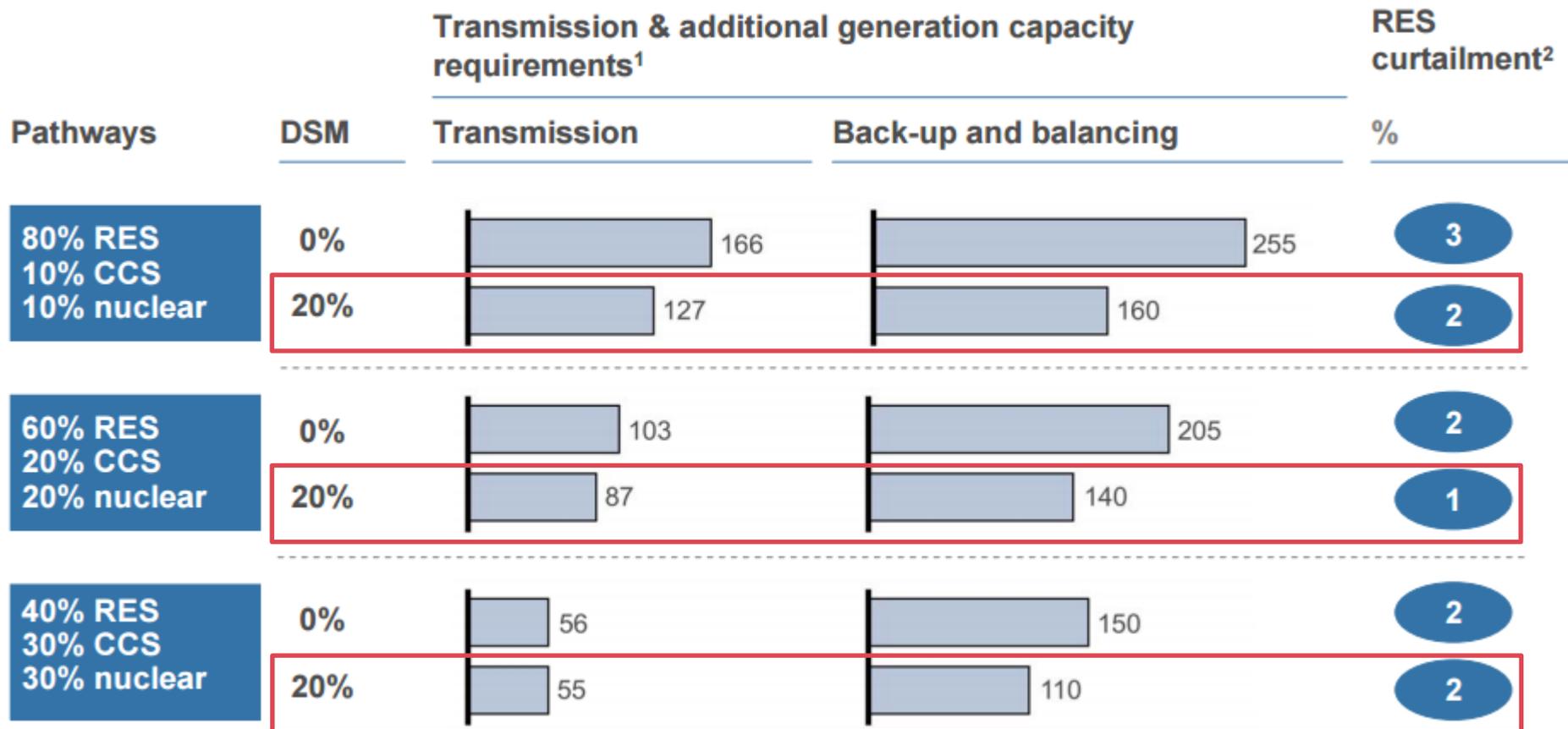
System Flexibility for Integrating 33% Renewable Generation in California ISO
For Clean Energy Regulatory Forum Workshop 4 November 8-9, 2012

ダックカーブ



CAISO DEMAND RESPONSE AND ENERGY EFFICIENCY ROADMAP(2013)

DRの効果



Demand flexibility reduces grid and related investments, minimizes low-carbon resource curtailment, minimizes cost by 2050

European Climate Foundation, *Roadmap 2050*

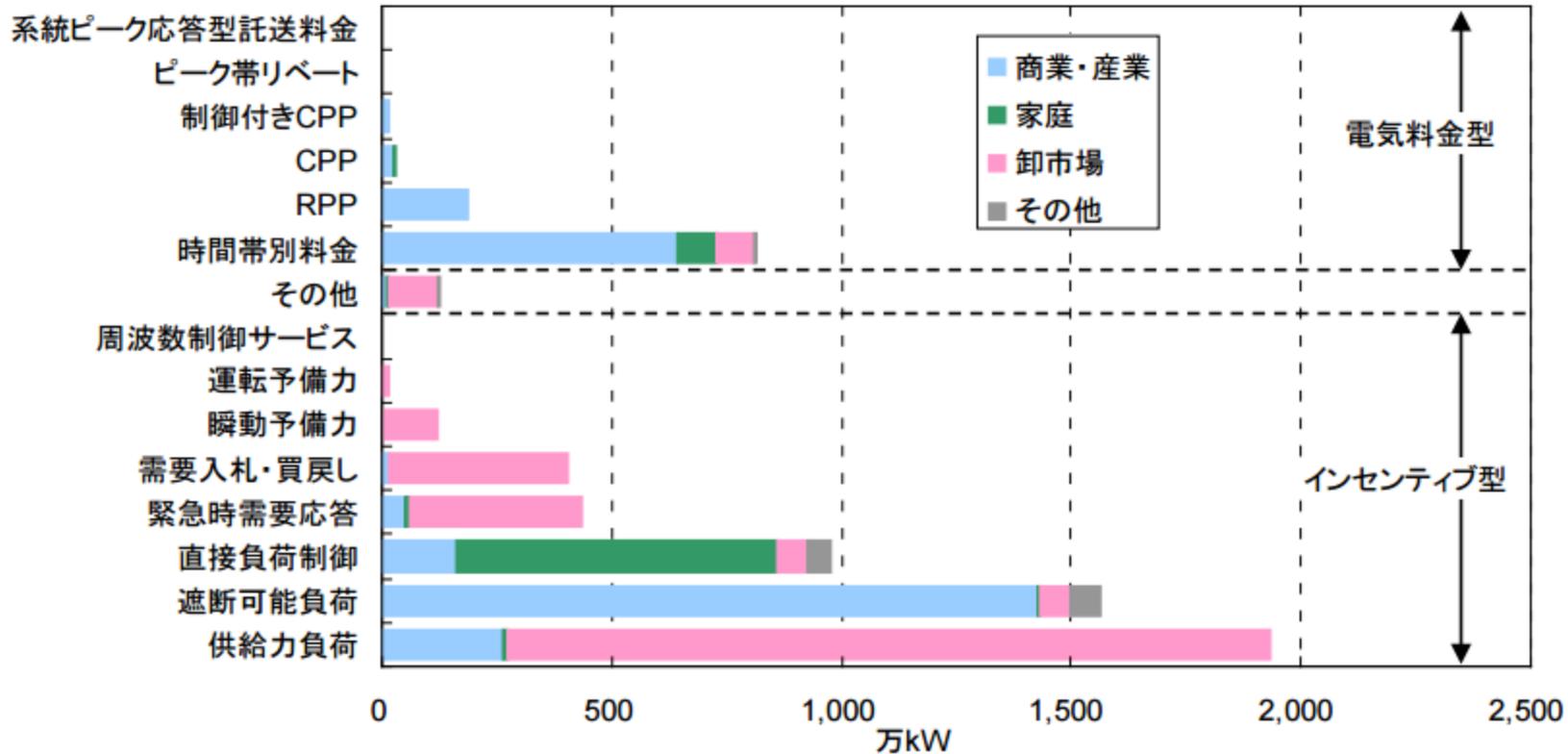
米国におけるDR

- 卸電力価格高騰に対し、需要の柔軟性を拡大する手段として、DRを採用
- ポテンシャルが6600万kW（ピークの10%） 実際の削減量：その30%程度(2012)
- 卸電力市場におけるDRと発電設備の対等評価の制度等法整備が進む
- 多くの州でDSMプログラム実施。長期にわたり需要側の取り組みに対する基盤が整っている
- カリフォルニアなどで再エネ対応DR実証がはじまる

参考：平成24年度国際エネルギー使用合理化等対策事業スマートコミュニティ推進に向けたデマンドレスポンスに関する海外動向調査、平成25年3月



米国DR導入量(削減ポテンシャル)

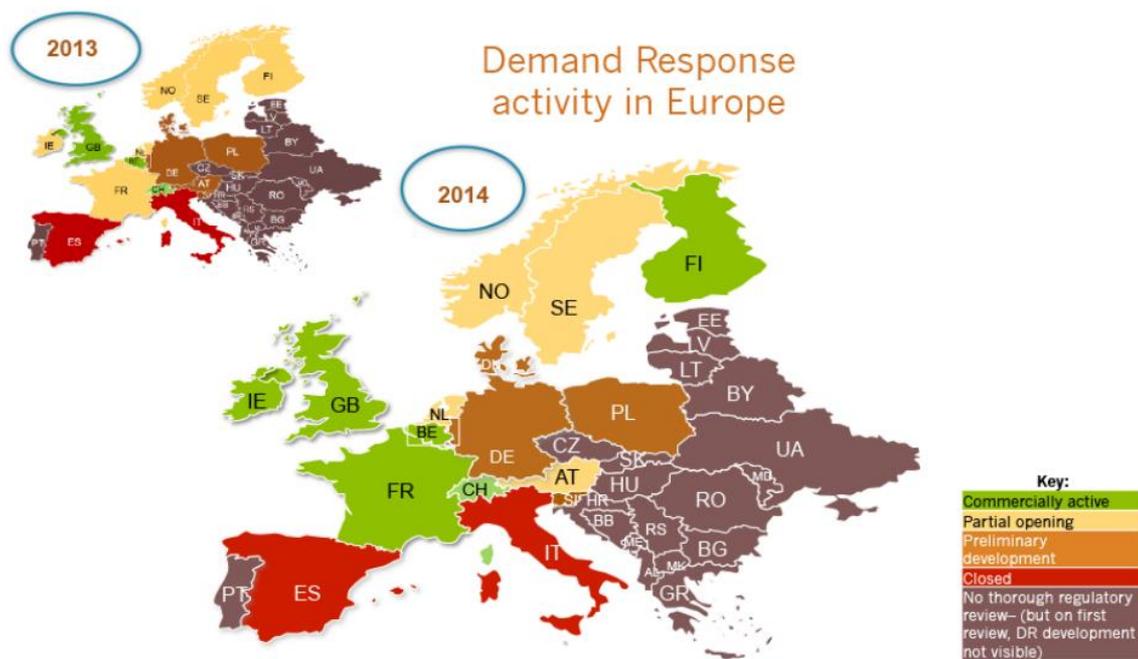


[出典] FERC、“2012 Assessment of Demand Response and Advanced Metering Staff Report”、2012年12月

総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会第6回資料 (2014年10月)

欧州におけるDR

- DRの普及はスローペース(大口の業務、産業のみ)
 - 自由化後も発電設備が過剰な環境にあった
 - 歴史的にエネルギー市場への入札条件が発電事業者に偏る
 - 容量市場が制度化されていない
- 再エネ大量導入への対応策の一つとしてDRが重要に
- DR活用の仕組み 標準化の動き



参考:上田、海外のデマンドレスポンスの動向と新たな課題、2015年4月、第26回スマートネットワーク研究会、生産技術研究所(非公開) 他

Mapping Demand Response in Europe Today
Smart Energy Demand Coalition
2014,4

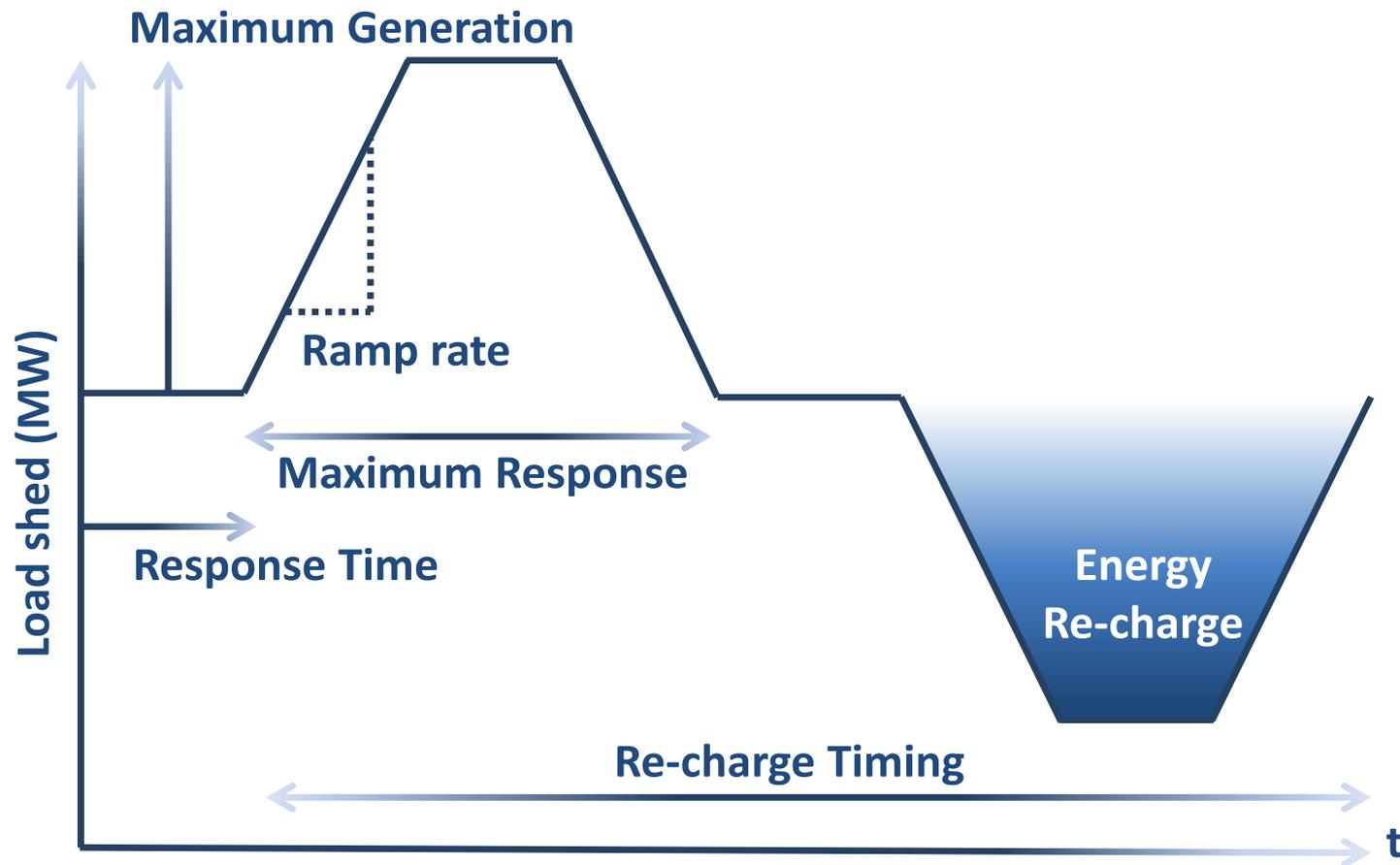
DRが電力システムに貢献するために

- DRポテンシャル
 - どのような需要先でどのくらいの量が利用可能なのか（発現時間帯、反応速度、反応時間、ユーザ受容性....）
- 調整力のニーズ
 - どのような時間断面で、どのような調整力のニーズがあるか？将来の電源MIXに依存、他の柔軟性資源との競合
 - 経済的な合理性があるか？
- 技術
 - どのような制御・通信技術が利用可能か（OpenADR、Echonet Lite）？または開発が必要？
- 制度・政策
 - どのような制度・政策が必要なのか？
 - マネタイズの手法（規制、市場設計、ビジネスモデル）

再エネ対応DR資源ポテンシャル

- 再エネ対応含むDR資源のポテンシャル推計、エネルギー・容量価値、利用可能率などを種類別に推計（米国）
- Sheddability（削減あるいは増加可能な負荷の割合）、Controllability（負荷削減あるいはシフトを実現するために必要な通信と制御を有する負荷の割合）、Acceptability（金銭的なインセンティブの対価としてDRを受け入れられる負荷の割合）を考慮
 - Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)
 - Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part 2: Modeling Demand Response in a Production Cost Model. National Renewable Energy Laboratory (Dec. 2013)

DR発生プロファイル



Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western. Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)



DR の分類

サービス		物理的条件			
種類	概要	反応速度	反応長さ	最大反応までの時間	利用可能頻度
調整 (Regulation)	不規則な計画外の変動への対応	30秒	15分	5分	対象期間内継続的
柔軟性 (Flexibility)	再エネの予測不能な大きなランプ変動への対応	5分	1時間	20分	対象期間内継続的
緊急 (Contingency)	供給支障への緊急対応	1分	≤ 30分	≤ 10分	1日1回以下
エネルギー (Energy)	期間中の負荷遮断・シフト	5分	≥ 1時間	10分	1日に1~2回 (4~8時間前の事前通告あり)
容量 (Capacity)	発電機代替としての容量価値	系統ピークTop20時間に対応			

Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western. Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)



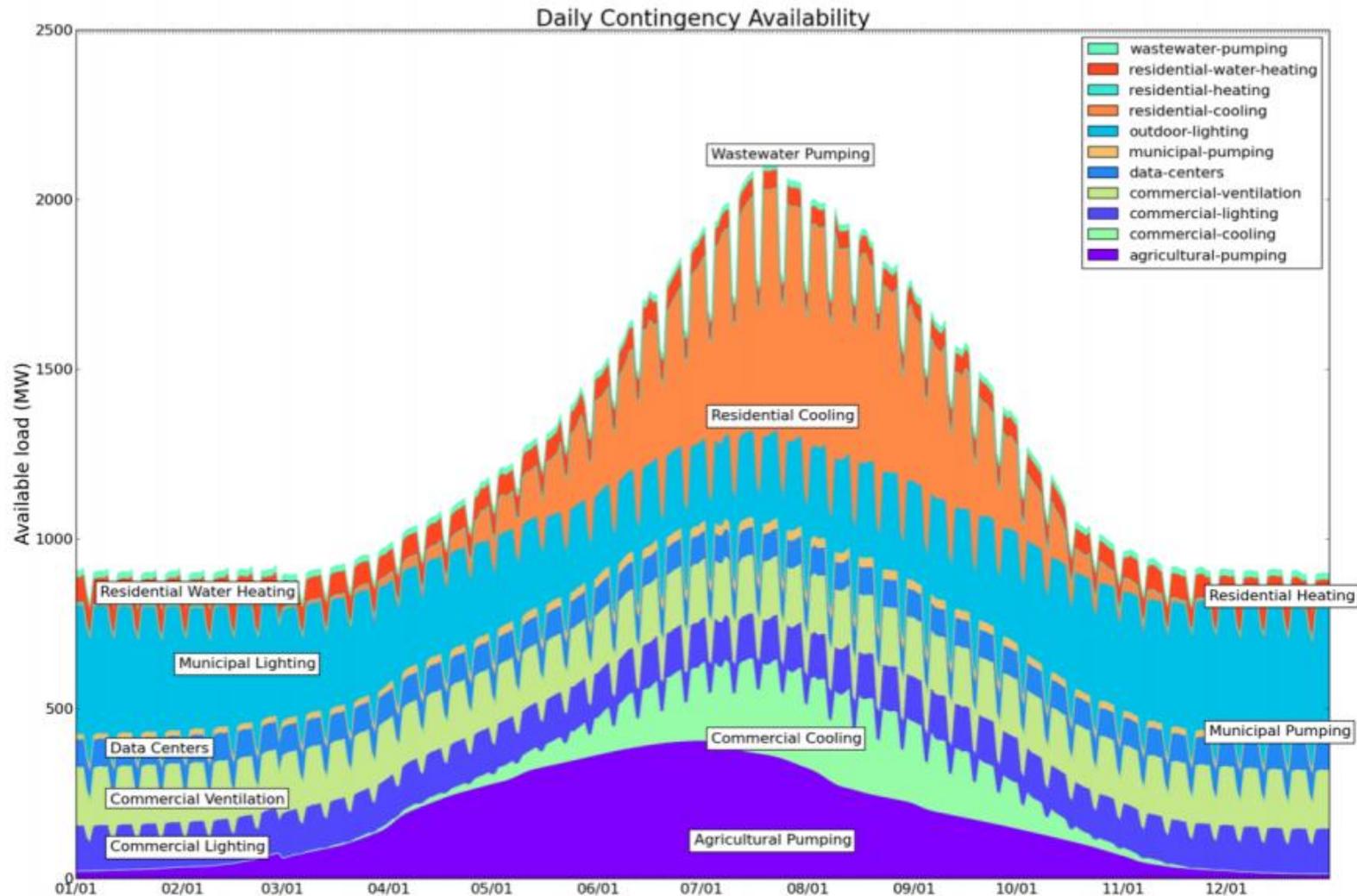
需要種類 × DR資源

Resources	Products				
	Regulation	Flexibility	Contingency	Energy	Capacity
Agricultural Pumping			✓	✓	✓
Commercial Cooling	✓	✓	✓	✓	✓
Commercial Heating				✓	✓
Commercial Lighting	✓	✓	✓		✓
Commercial Ventilation	✓	✓	✓		✓
Data Centers			✓	✓	✓
Municipal Lighting	✓	✓	✓		✓
Municipal Pumping				✓	✓
Refrigerated Warehouses				✓	✓
Residential Cooling	✓	✓	✓	✓	✓
Residential Heating	✓	✓	✓	✓	✓
Res. Water Heating	✓	✓	✓	✓	✓
Wastewater Pumping				✓	✓

Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western. Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)



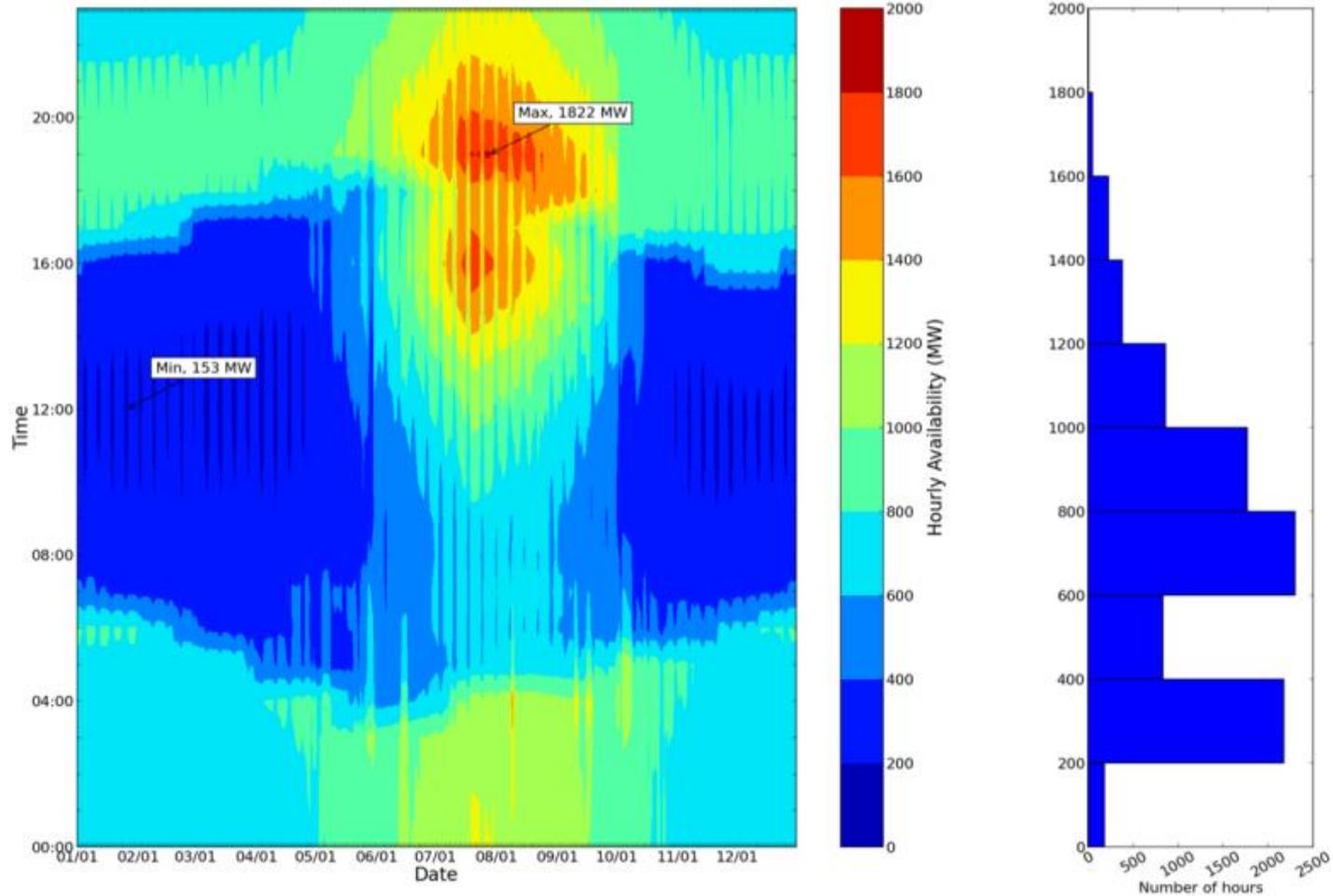
日別DR資源例 (Contingency Availability)



Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western. Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)



時間別DR資源例 (Regulation Reserve)



Grid Integration of Aggregated Demand Response, Part I: Load Availability. Profiles and Constraints for the Western. Interconnection. LBNL, NREL (Sep. 2013)



ポテンシャルがあるとして、実際に制御可能か？

- 家庭・中小規模の商業施設などへの制御・通信システムを構築する必要がある
- アグリゲーションの負担とベネフィットのバランスは？
- ピーク対応DR（米国）でも、インセンティブ型、料金型ともに家庭への普及の困難さ、消費者の教育、参加をさらに促すための施策、研究の必要性が指摘されている
(FERC Staff Issue Assessment of Demand Response and Advanced Metering Report、2014.12)

家庭用DRの事例 - Opower & BG&E

- サーモスタット等による家庭内の機器を制御する直接制御手法初期 投資コストが高く、普及率は 5%程度
- ダイナミック料金プログラム (2013 年)
 - メール等によってピークカットを促し、ベースラインに足して省エネできた場合に対価
 - 20 万件以上の需要家に対して世帯あたり平均約 5% のピークカット 効果
 - 需要家へのインセンティブの支払には、PJM の容量市場を活用

(参考：環境省、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報告)

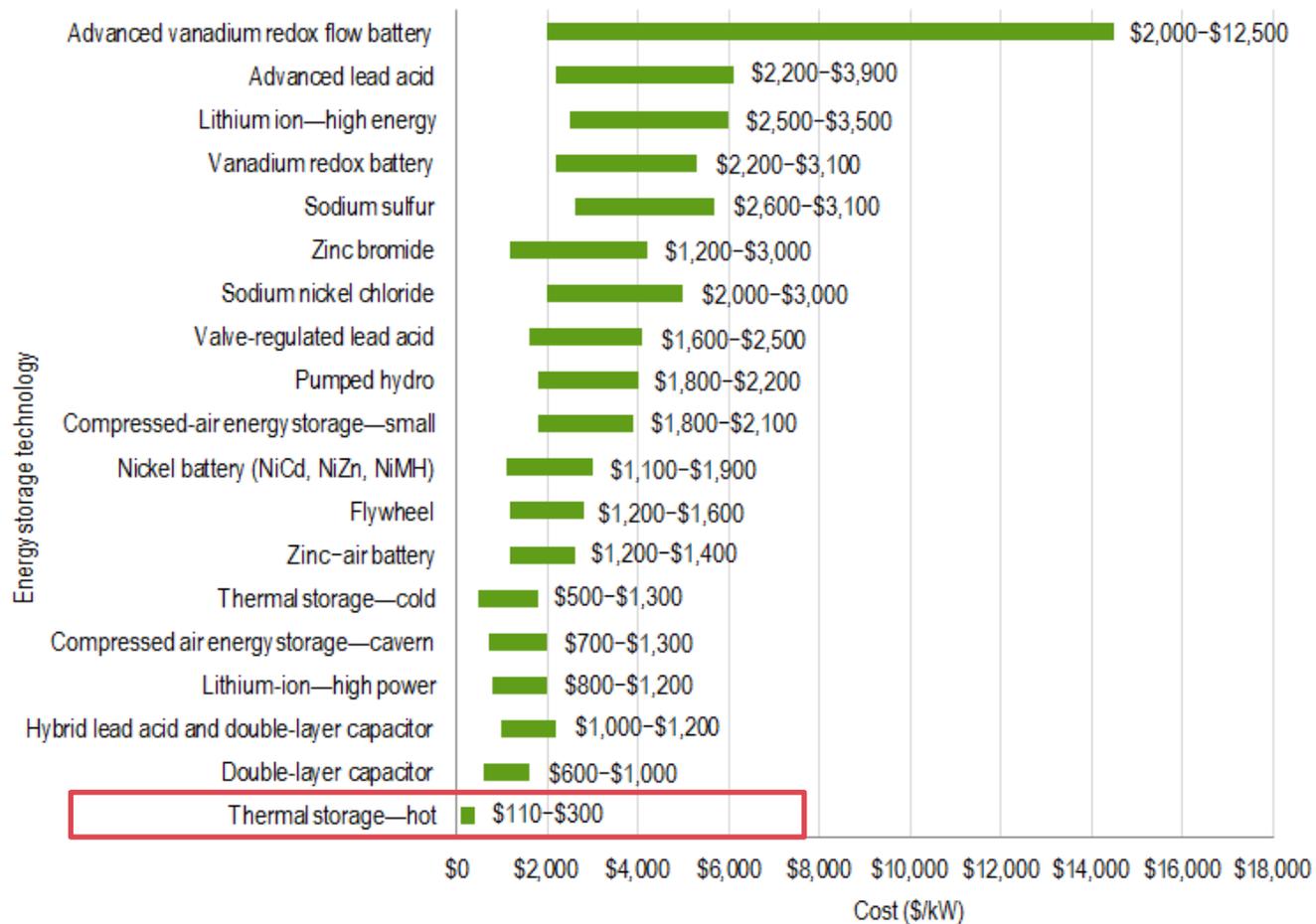
エアコンの直接制御

- BG&E,SCE,SDG&E
 - 夏季(5-10月) のピーク時間帯にエアコンの負荷を抑制するプログラム
 - 調整量50-100%、継続時間 ~6時間
 - 条件：年間制御時間・制御回数上限、対象日限定(平日0r休日)の有無、負荷制限拒否権の有無等
 - 報奨金50-200 \$ /年

電気温水器直接制御

- 最も安い貯蔵要素として期待
- 負荷シフト、周波数調整まで
- 電熱(抵抗器)型 (5kW消費電力) が主
- 電力会社等によるレンタルプログラムあり
- DOEによる55ガロン(200L)以上の電熱型製品の廃止案があったが、2015年4月撤回 (米電気温水器: 約5000万台)

電気給湯器による貯蔵が安い



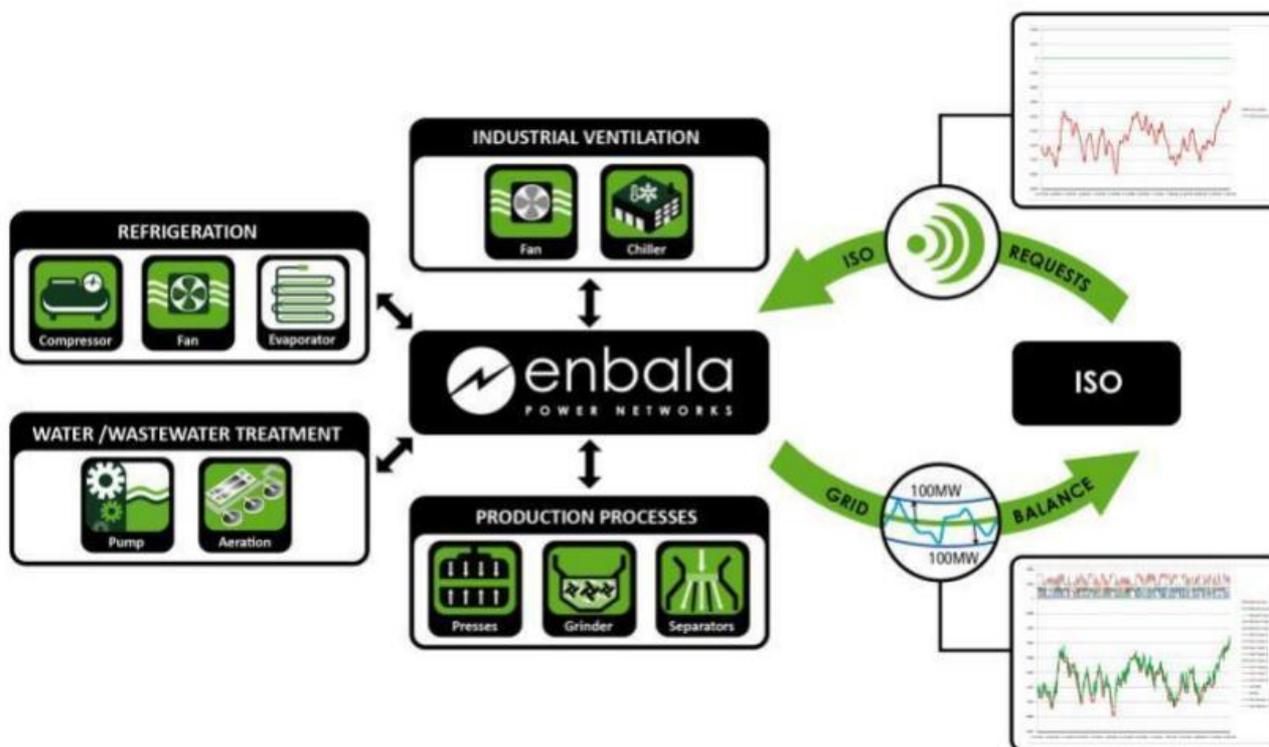
Notes: kW = kilowatt, NiCd = nickel cadmium, NiMH = nickel metal hydride, NiZn = nickel zinc.

© E Source; data from Sandia National Laboratories

Battery Killers: How Water Heaters Have Evolved into Grid-Scale Energy-Storage Devices(2014.9)

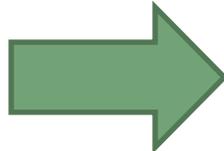
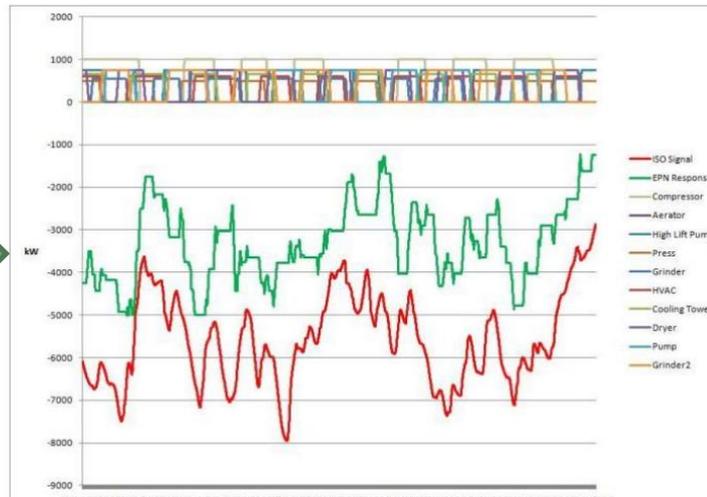
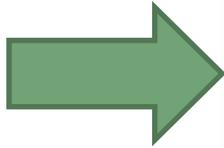
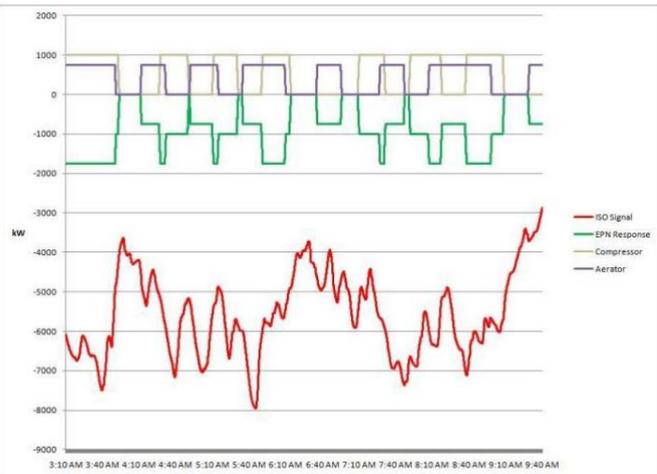
アンシラリー向けDR-Enebala

- 産業や業務部門におけるポンプ、ファン圧縮機、空調機等を制御対象とし、周波数調整サービスを提供

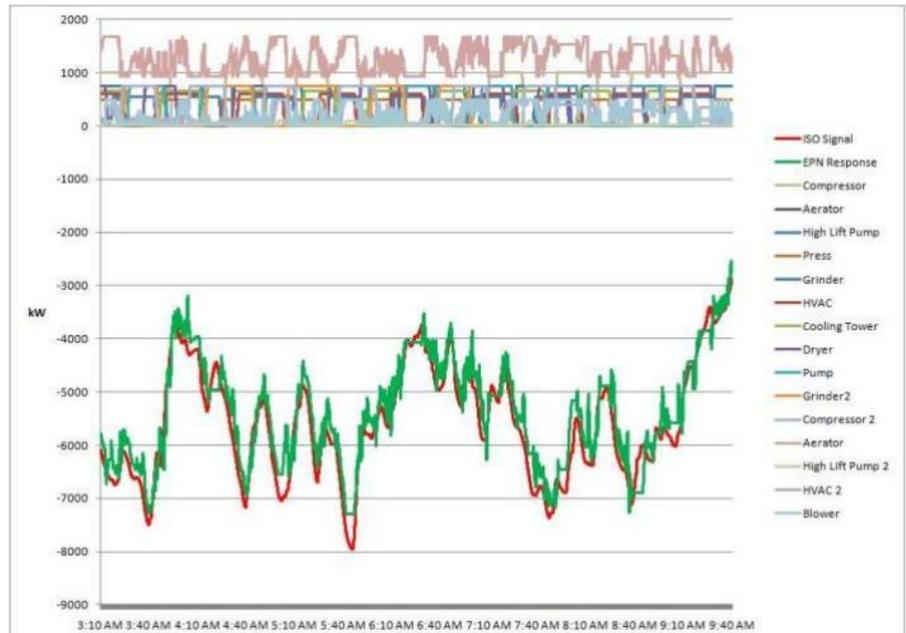


Demand Side Regulation for a Smart Water Grid May 18, 2012

Enebala社のDR

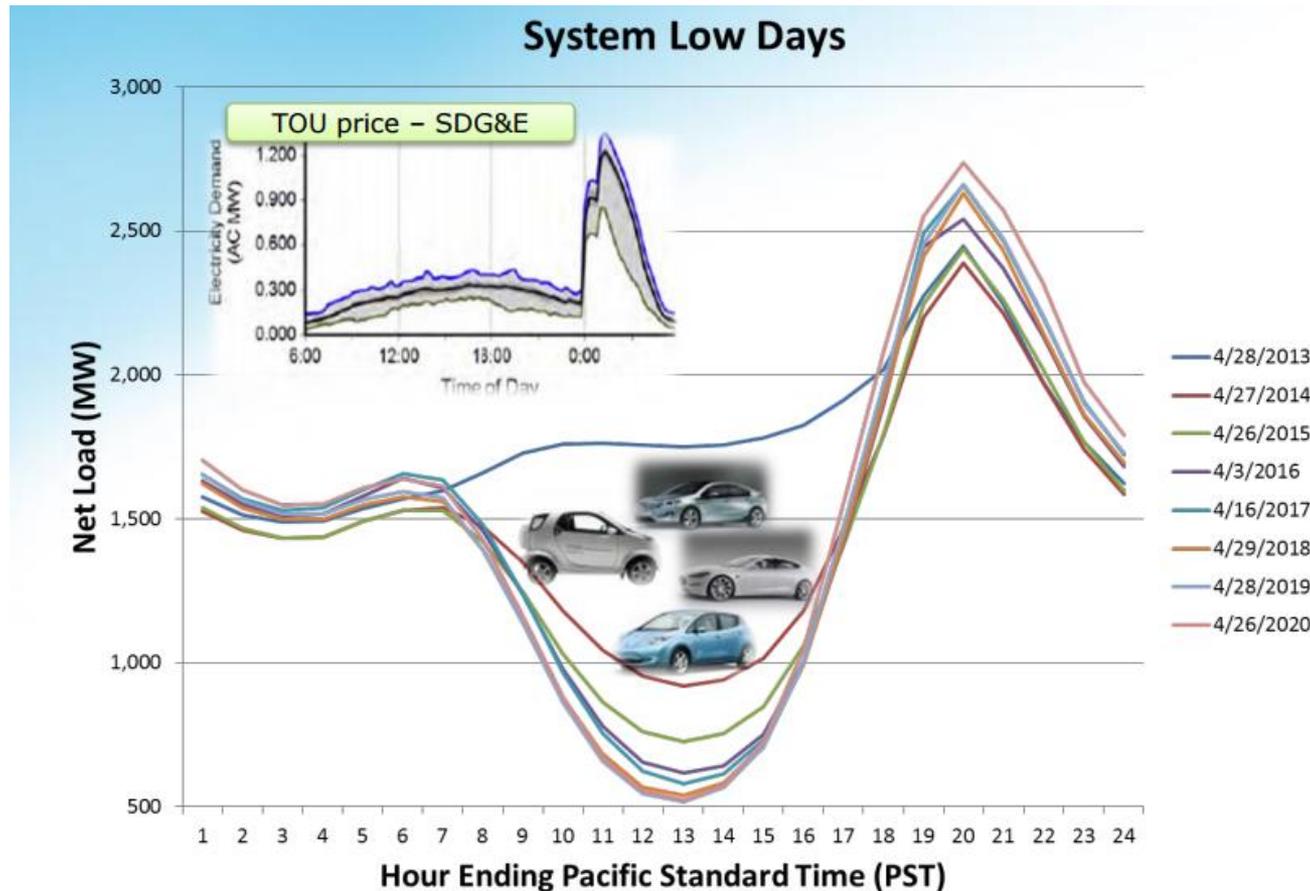


各リソースを集約していき、
ISOの要求シグナルに一
致させていく。

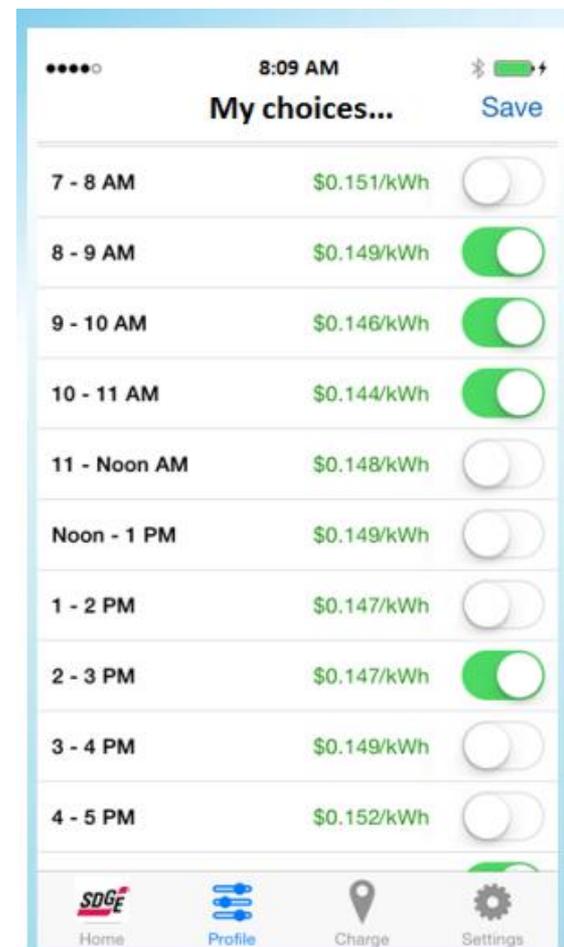
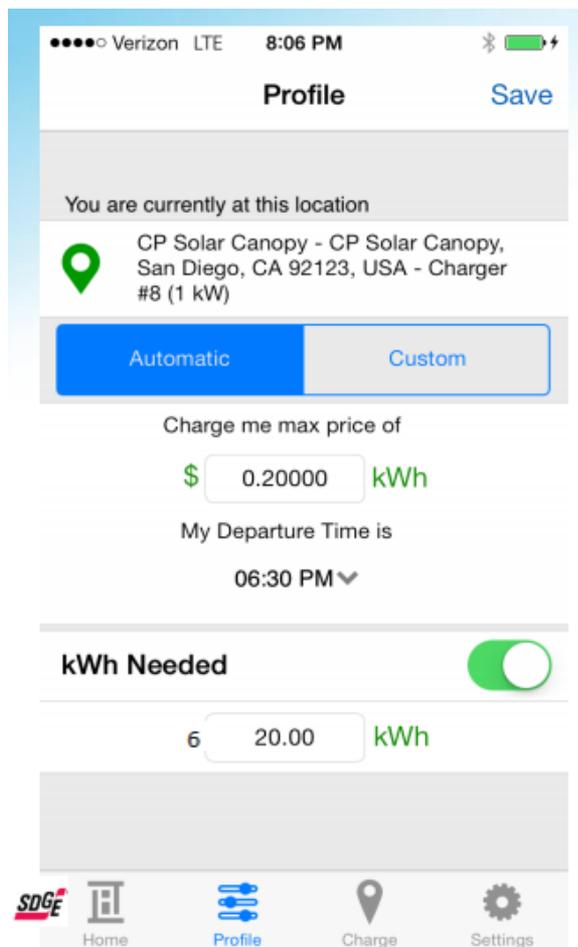


RES対応のためのDR例

- EV Driver Pilot Program (SDG&E) (2014.9~2016.3)
 - CAISO Day ahead price に連動した料金提示、EV用サブメータの設置等の実証試験(500件対象)



EV APP 設定

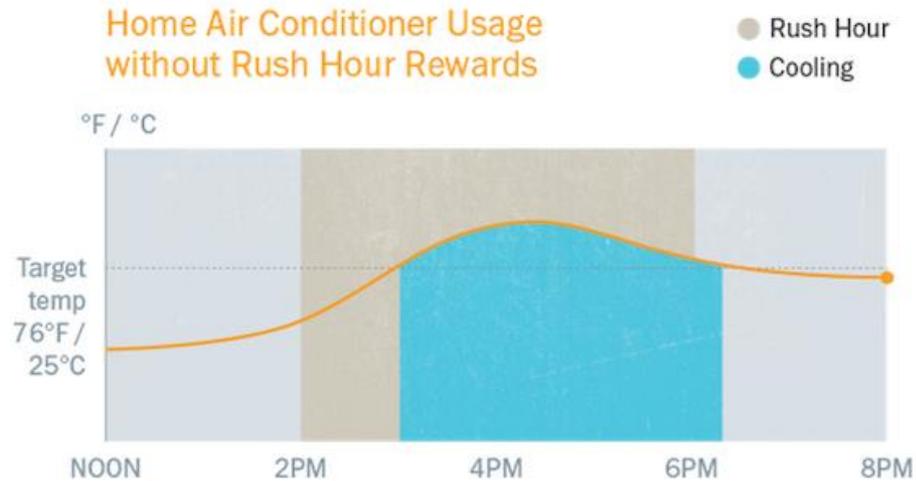


National Town Meeting on Demand Response and Smart Grid 2014
Day ahead pricing for electric vehicle charging, Lee Krevat (Director of Smart Grid, San Diego Gas & Electric)

太陽光発電 + Solar City

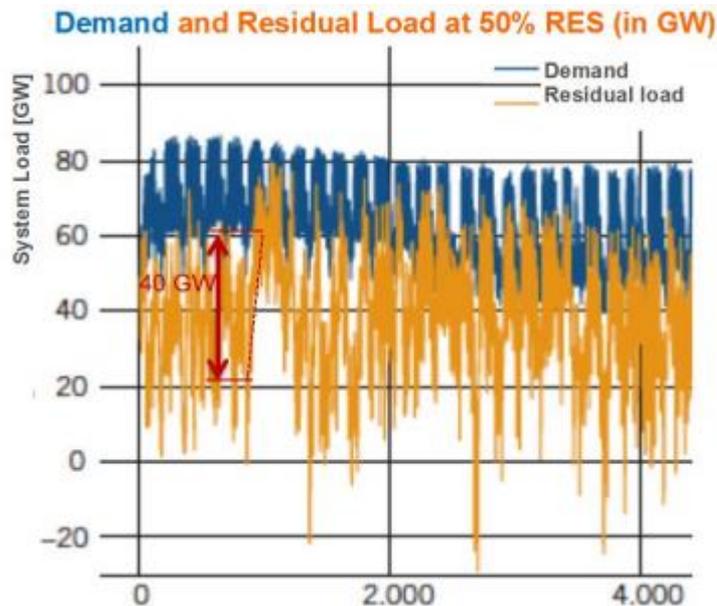
- SolarCity(家庭用太陽光発電事業) が10000件の顧客にNEST社のサーモスタットを提供し、実証開始すると発表(2015.4)
 - エアコンや食洗機をPV発電に合わせて運転させたり、日没後はOFFするなど可能に
 - Work with Nestの枠組みで、空調以外も制御可能
 - NESTサーモスタットでピーク対応DRイベント時、空調ピークの55%を削減できることがすでに確認済み

NEST Rush Hour Rewards



ドイツDRアグリゲータ：Entelios

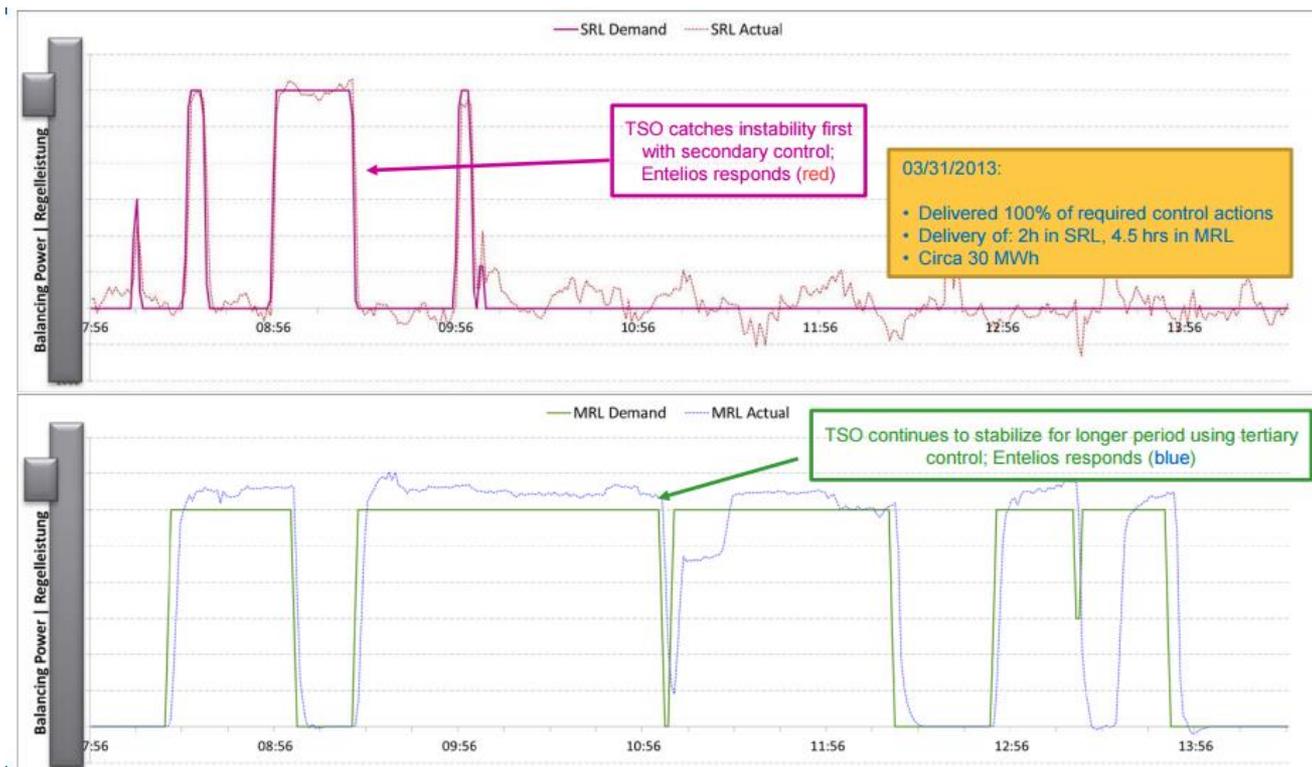
- ドイツ 再エネ導入量83GW（系統規模143GW）
＜3/31/2014のケース例＞
- 太陽光の予測8GWが、実際は下方に大きく外れ3 GW（40%）の不足に（南部の雲が多いため、アフリカからの風がサハラを運び、朝から大きなメガソーラーの不足）
- 複数のバックアップ発電所で計画外の発電停止が発生



Demand Response as a Market Component in Europe, September 12, 2014

Entelios : 複数のreserveへのDR

- Secondary Reserve (SRL):
 - TSOシグナルに対する5分以内の反応(自動運転)
- Minute or Tertiary Reserve (MRL):
 - 15分以内の反応



Secondary

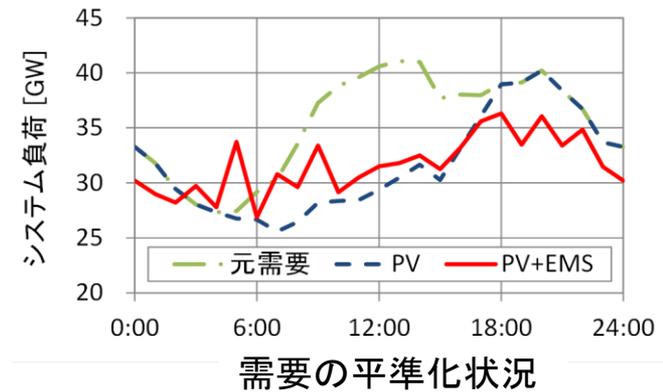
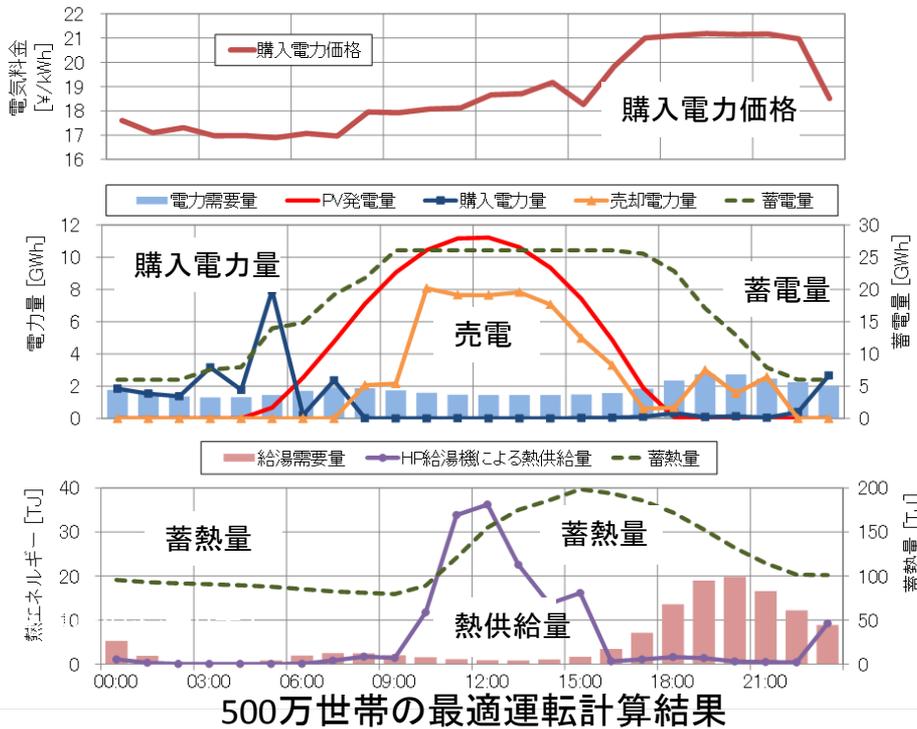
Tertiary

国内の再エネ対応DRポテンシャル 推計例

- アンシラリーサービス型DRの導入可能性の検討
 - 東北電力・東京電力エリアの消費電力
 - 上水道36万kW、下水道事業34万kW、冷蔵冷凍倉庫25万kW
 - ビル空調160万-790万kW(中間期休日～夏季平日、昼間平均)
 - 参考:系統規模 (最大需要) 東京電力5000万kW、東北電力1400万kW
 - 太陽光発電既導入量 合計600万kW弱(2014)

高橋、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、電中研報告Y13030、2014

HP給湯の能動化による需給調整



PV: 3~4 kWのシステムが一世帯平均3.4 kW, 地域全体で17 GW導入。
蓄電池は、充放電容量1~2 kW(平均1.5 kW, 地域全体7.5 GW), 蓄電容量2~12 kWh(平均6 kWh, 地域全体30 GWh)、充放電時のロスも15~20%(平均16%)。
HP給湯機, 熱出力3, 4, 12 kWの3種類(平均熱出力4 kW, 地域全体熱出力20 GW), 貯湯槽の容量は熱出力12 kWのHP給湯機の世帯は200 L, それ以外は370 L。

池上, 荻本, 矢野, 工藤, 井口: 再生可能エネルギーの連系と需要の能動化を考慮した電力システムの経済運用モデル, 電気学会全国大会(2012)

九州電力管内の低負荷期の需要: 800万kW、PV接続可能量817万kW
九州管内760万世帯で、オール電化住宅約60万戸(うちHP給湯器23万戸) (h22)。
HPリプレイスが進んだとしても少なくとも60万kWのPV吸収ポテンシャルに。



我が国の再エネ対応DR資源は？

- 産業、業務（大口）
 - 需給調整契約などですでに織り込み済みか
 - アンシラリー型のファストDRは開拓の余地あり
- 小口業務
 - 業務用空調などのポテンシャルはあり。空調機器メーカーなどによる遠隔監視と連携したアグリゲーション
 - 通年空調がどの程度あるか？季節的に限定される可能性あり
- 家庭
 - HP給湯器、EV電池が主（PHEV含め国内出荷3万台/年レベル）
 - 家庭における調整シロは大きくない（空調、食洗機、衣類乾燥）
 - プールポンプも24時間空調もほとんどない
 - そもそもPV抑制が必要な春は空調需要がない
 - 空調リッチな全館空調住宅のアグリゲーションなどは考えられる（PV/HEMSの受容性も高い）

さらなるDR資源（緊急時含む）は？

- 緊急時対応に適應できる需要はどのくらいあるか？
 - 完全に遮断は受容が困難では
 - スマートメータによる電流制限機能の活用
 - Bルートを活用、EMSと連携した非重要負荷の切り離し
- 効用まで掘り下げた需要の仕分けが必要（効用と需要のバランスの見極め）
 - 冷蔵冷凍システムにおいて短時間のONOFFがどこまで可能か（対象負荷の品質への影響）
 - 家庭用の冷蔵庫は短時間なら切ってもいい？（×50W）
 - 空調等でプレクーリング、ヒーティングがどこまで有効か？
 - 非常時対応で残すべき需要のkW×時間 etc.

省エネとDRポテンシャルは裏表の関係

輸送の電化など、電力需要は増やす方向へ進むべき（電源のクリーン化、全体としての省エネが実現すればいい）

需要を動かす価値はあるのか？

- マネタイズできる（市場）メカニズムが必要
 - カリフォルニアには容量市場のようなDRをマネタイズできる市場が少なく、DR事業が活性化していない（BDG&Eと対照的）
 - ドイツDRアグリゲータ Entelios社、予備力市場でDR事業を展開、価格が安く、需要家の参加インセンティブが低い
 - （環境省、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報告）
 - （平成24年度国際エネルギー使用合理化等対策事業スマートコミュニティ推進に向けたデマンドレスポンスに関する海外動向調査、平成25年3月）
- 再エネ統合DRの価値を正しく評価し、原資に反映されるような全体最適なシステム設計が必要
 - 容量価値自体は高くない
 - FastDRによるアンシラリー価値
 - 他の柔軟性資源にかかる追加コストとの競合