

次世代グリッド技術:需要サイドを中心に

浅野 浩志

(財)電力中央研究所 社会経済研究所
東京大学生産技術研究所兼工学系研究科

2009年11月17日

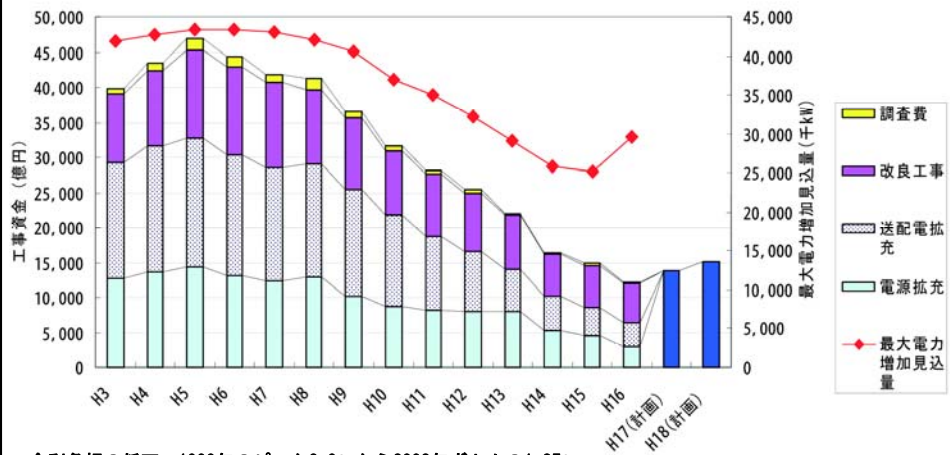
エネルギーベストミックス研究会

- 需要特性とDSM, デマンドレスポンス
- コージェネレーションの評価
- マイクログリッド制御技術
- 太陽光発電の大量導入時の課題とその需要側対策:需給一体制御

これからの電力のベストミックスと エネルギーベストミックス

- 従来、需要(電力量と電力負荷曲線)を所与とし、資源制約、安定供給、供給信頼度、環境性、経済性を総合的に判断して、電源構成、ネットワーク構成を最適化。
- 今後、熱需要の電化、運輸部門の電化と再生可能エネルギーの利用を通して、資源構成(需要側資源も含む)やネットワークを再考
 - 例:グリーン電力(PV、風力)のPHV, EV充電

一般電気事業者の設備投資額と最大電力増加見込量の推移



金利負担の低下：1990年のピーク8.9%から2003年ボトム1.25%へ

最大電力増加見込量：各年度供給計画での第10年度の最大電力見込量と、前年度の最大電力実績の差分

出典：経済産業省資料を元に作成

これからの電力・エネルギー計画・運用

- 規制緩和によりプレイヤーが増加：多数の意思決定者
- 効率化のため、供給サイドと需要サイドが協調する必要
- 全体の目標（効用、安定供給、経済性、環境負荷など）と制御が必要
- 資源の多様性の中からロバストな需給構造に
 - － 自律分散系へ
 - － IT活用：膨大なデータマネジメントが必要

デマンドサイド・マネジメント(DSM)とは

- 消費側と供給側が互いに協調し、負荷率向上と省エネルギーを推進し、社会発展、環境改善に寄与するための活動。
- 目的は大きくエネルギー効率改善(省エネルギー)とロードマネジメント(負荷管理)に分けられる。
- エネルギー効率改善は、機器や建物のエネルギー効率を高め、エネルギー利用による利便性や快適性を損なわないように、エネルギー消費量を節減すること。
- ロードマネジメントは、伝統的な負荷平準化、すなわち、ピークカット、ピークシフト(ピーク時からオフピーク時への需要の移行)、谷間需要創成(深夜電力利用が典型)の三つの負荷曲線変化を目的とする。

DSMの方法

- TOU(time-of-use)、RTP(real-time pricing)等料金制度による需要誘導。
- 蓄熱式機器普及のための夜間料金割引制度、普及奨励金。
- 計画調整契約
- 省エネルギー機器普及支援。情報提供
- エアコンなどピーク負荷の原因となる機器を電力会社から直接通信媒体を通じてオン・オフ制御する「直接負荷制御」
- 需要家との契約により需給逼迫時に自動的にあるいは需要家側の判断で需要調整を行う「負荷遮断可能料金」
- 信頼度調整型DSM: 供給する電力品質により料金を可変とするプライオリティ・サービス(品質別電力供給)。配電システムの革新(需要地系統) 情報通信・制御技術の進展とともにその拡大が検討されている。

家庭用DSMの価格効果

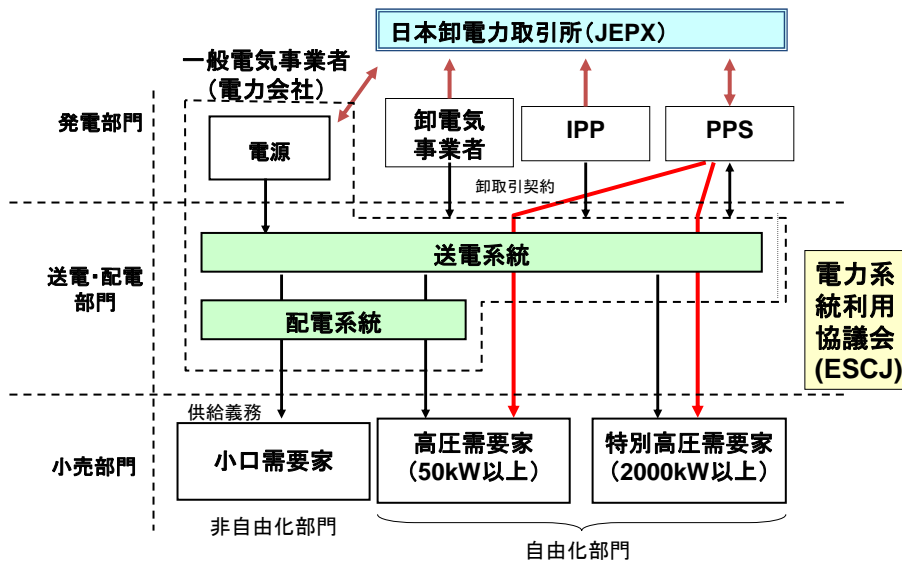
- NEDO負荷集中制御試験: 1994-98年度、福岡市、約200-400世帯にピーク帯料金(92円/kWh)
- 間接負荷制御(情報提供+価格インセンティブ)によるピーク帯削減電力

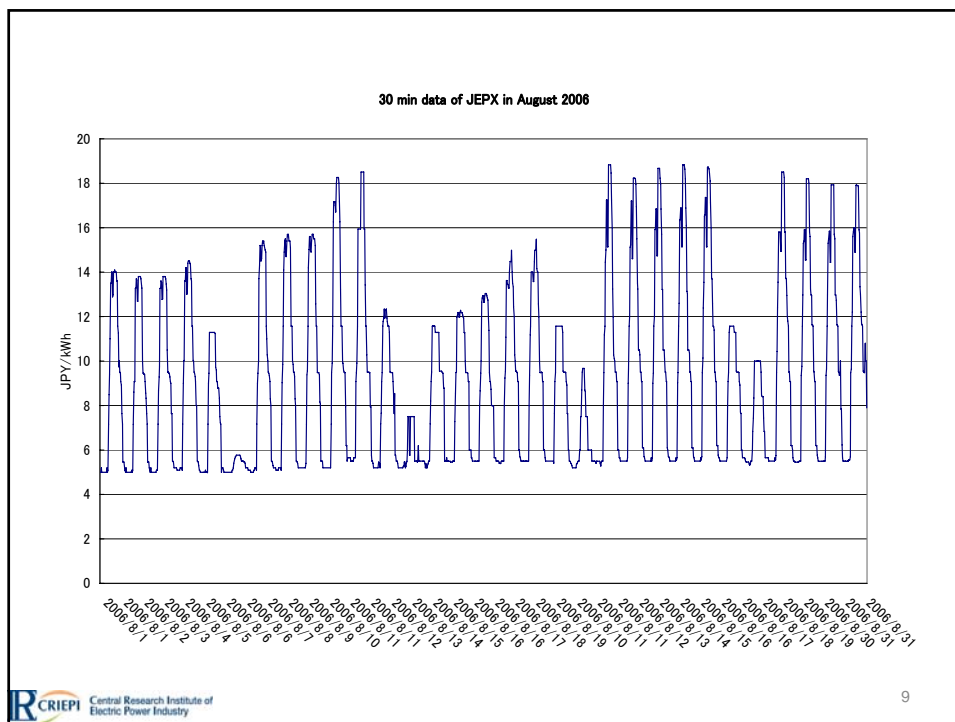
| | 削減効果(W) | 価格効果(%) | 価格効果(W) | 節電情報提供効果(W) |
|------|---------|---------|---------|-------------|
| 1995 | 100 | 4.4 | 35 | - |
| 1996 | 80 | 3.9 | 19 | 130 |
| 1997 | 80 | 5.2 | 31 | 140 |
| 1998 | 50 | 4.0 | 20 | 110 |

註: 価格効果(%)は、グループ平均電力消費に対する比率。

- ✓ 自動化DRシステムなしでも、ピーク帯電力削減率で、4-5%と効果は持続的。

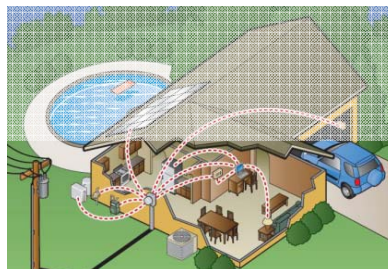
2005年以降のわが国の電力供給体制





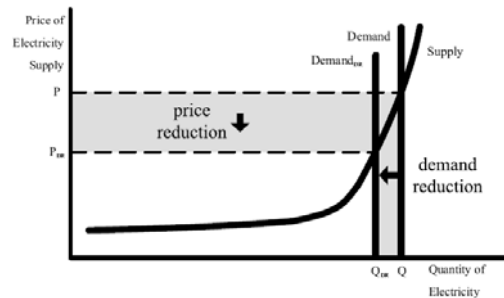
スマートメーター

- 1時間毎(それ以下も)の電気使用の計測(と電力会社等との双方向通信)
- 電力使用量やCO₂排出量のリアルタイム見える化
- 価格信号などのインセンティブに対応した家電機器の制御やPHEV/EVの充電制御(自動化や携帯端末での自由な制御も含む)



Demand Response Programs: Definitions

- DOE: Demand Response (DR)
 - *Changes in electric usage by end-use customers from their normal consumption patterns in response to changes in the price of electricity over time, or to incentive payments designed to induce lower electricity use at times of high wholesale market prices or when system reliability is jeopardized.*



DOE, 2006, Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them.

需要反応プログラムの分類

| | 緊急プログラム (Emergency Program) | 経済プログラム (Economic Program) |
|--------|---|--|
| 米国での事例 | Emergency DRP, Installed Capacity Special Cases Resources (NYISO) Emergency Program (PJM) Real-Time Demand Response (ISO-NE) | Day-Ahead DRP (NYISO) Economic Program (PJM) Real-Time Price Response, 前日市場参加オプション (ISO-NE) |
| 特徴 | 電力系統全体の信頼度を維持する | 前日市場への参加 |
| 要件 | 遮断可能負荷と予備電源 | 負荷削減のみ |
| 報酬 | リアルタイム市場の卸電力価格で行われる場合が多いが、\$500/MWhあるいは\$350/MWhの最低保証価格が用意されている場合もある。 | 前日市場の約定価格 (地点別電力価格) |
| 罰金 | 容量を登録したものの負荷削減ができない場合には、ペナルティが科せられる。一方、容量を登録しない場合には、削減した電力量の分だけ報酬が支払われる自発的なプログラムとなっている。 | リアルタイム市場による精算など |

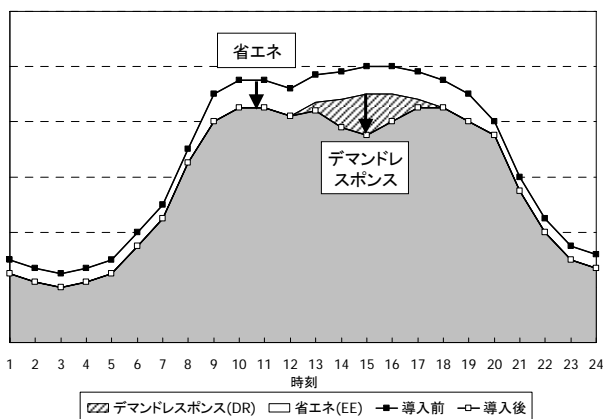
DSM, EE, DRとの比較

| | DSM | EE (Energy Efficiency) | DR |
|-------------|---|--|--|
| 動機と電力需給との関係 | 電力需給(設備) ↓ 電力需要(対策) ⋮ 主に固定的な料金* | エネルギー・環境問題 (長期的視点) ↓ 年間を通じた省エネルギー | 電力需給(変化) ↕ 電力価格(動的) ↕ 電力需要(反応) 特定時間帯における ピークカット、 ピークシフト |
| 実施 | 静的 | 静的 | PX,ICTの積極的な活用:動的価格 |
| 発電設備の削減 | 計画による | 省エネによる | 運用による |

*当時の技術では動的価格は、メータリングコストが高むため

13

需要反応(DR)と省エネルギー(EE)の違い



EE: トップランナー機器の普及

DR: 自家発、蓄エネルギー装置、エネルギーマネジメント、スマート機器

自家発にはdispatchable, non-dispatchableがある。

•給電可能なガスエンジン発電機など

•間欠性のPVの場合は蓄電池(自動車、定置)、スマート機器が必要

14

DRの方法

- 間接制御: 需要家が系統運用者からの信号(価格シグナル、緊急時イベント)を受けて自主的に制御する。プログラム可能なサーモスタット、エネルギーマネジメントシステム(EMS)を用いて、需要家の選好に応じて制御を行う。
- 自動化DR、負荷遮断リレー、無線制御などによる直接負荷制御

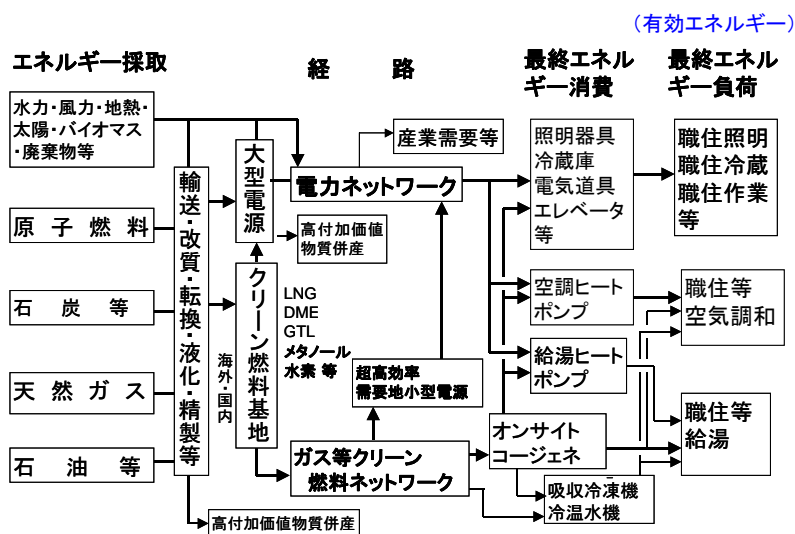
日本におけるDRの可能性

- DSMの現状
 - 需給調整契約: 主なターゲットは工場など大規模需要家
 - 季時別料金制度(TOU): 季節・時間帯毎の供給コストを料金単価に反映し、価格効果によって負荷移行を促す。
 - DSM機器の普及: 蓄熱式空調, エコキュートなど
- DRの可能性
 - 情報通信技術の進歩に伴い、DRを中小規模需要家に適用できる可能性が出てきた。
 - 需要の急激な増加や大規模電源の計画外停止など予期せぬイベントに伴う需給逼迫に対応できる需要サイドの制御手段(信頼度プログラム)
 - PVなど再生可能エネルギー大量導入時の需要側での需給調整手段
 - スマート機器(ヒートポンプ給湯機など)の最適運用方式

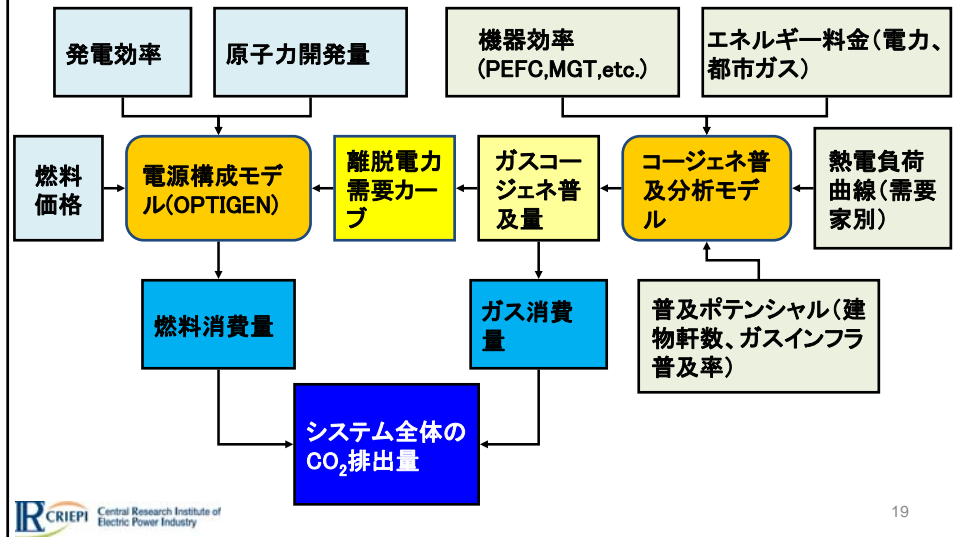
需要調整量の技術的ポテンシャル

- 東京電力管内の事務所ビルと小売店舗を対象に、デマンドレスポンスの需要調整量の技術的ポテンシャルを試算した。
- DRオプションとして、
 - (1) 冷房設定温度の変更、
 - (2) ペリメータと共用スペース・バックヤード・バックオフィスの照明の消灯、
 - (3) 内蔵バッテリー・UPS を用いたノートPC・サーバ用電力ピークシフトの3種類を考慮した。
- 需要調整ポテンシャル量は129万kW。これは2020年度の供給予備力513万kW(推定)の約25%に相当する。

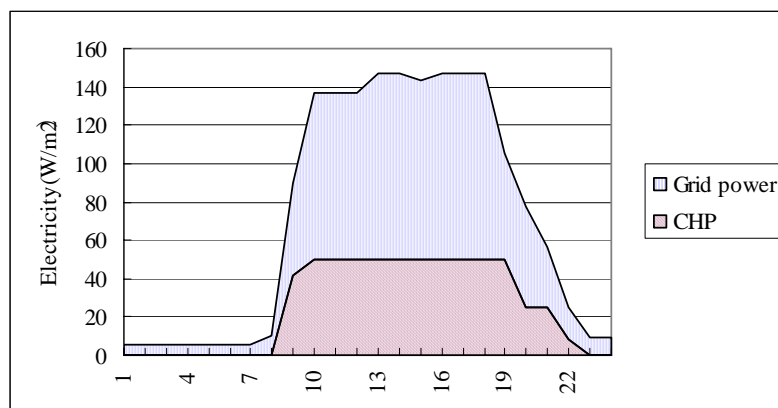
エネルギーチェーンに基づく技術評価



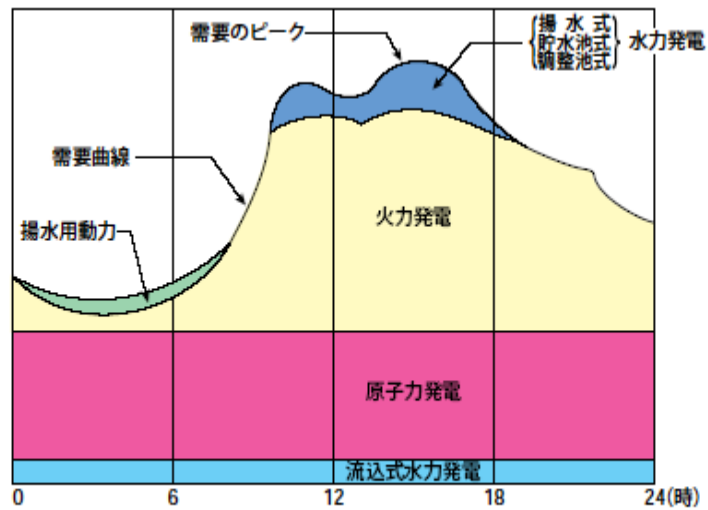
分散型電源と系統電源を含むエネルギーチェーン: 技術積み上げ型モデル



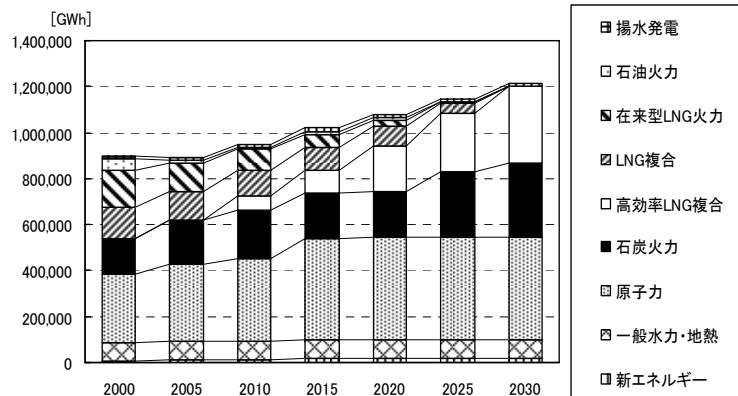
コージェネレーション(CHP)電力と購入電力 (事務所、夏季の例)



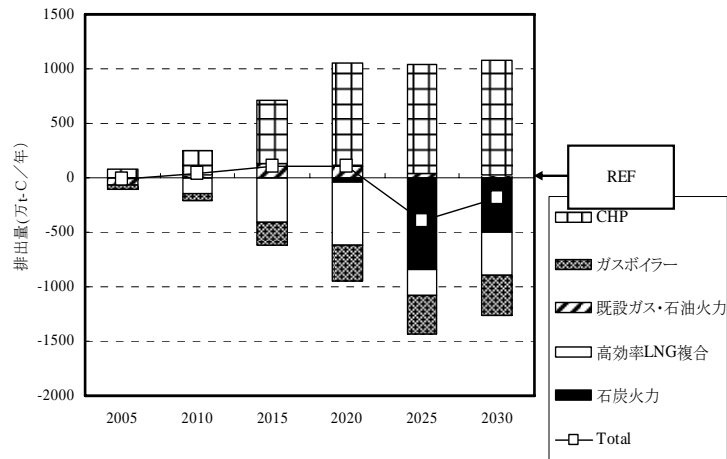
電源の経済負荷配分



発電電力量構成 (基準シナリオ)



コージェネレーション普及による需給両面のCO2排出変化



23

限界CO2原単位 (Marginal Emission Factor of CO2)

- 系統離脱需要量1単位あたりのCO2排出変化であるため、限界CO2原単位と呼び、次式で記述される。

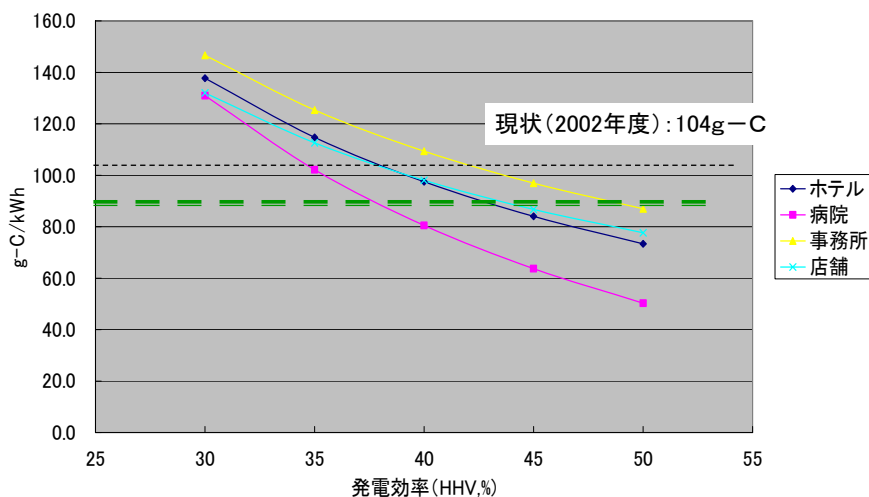
$$MER = \frac{\Delta C}{\Delta E}$$

MER : 限界CO₂原単位

ΔC : CO₂排出変化

ΔE : 離脱需要量

CGS1kW導入によるCO2原単位



◆系統側原単位 (85~90g-C/kWh、2010年度)とブレークイーブンになる発電効率は37-50%

25

将来のPV集中連系への対応

- 国の政策目標: 2020年に28GW, 2030年に53GW のPV設置容量
- 配電系統をActive Networkにする
 - ✓ 系統構成機器 (SVR: Step Voltage Regulator, ループパワコントローラなど)を追加し、運用者は系統構成機器のみ制御
 - ✓ 将来、需要家の機器 (PVなど)まで制御 (契約に基づき) → スマートグリッド
- マイクログリッド
 - PV出力変動を制御可能な分散型電源の負荷追従性を活用することにより、少ない蓄電装置で平準化

各種マイクログリッドの分類と機能

| 導入主体/導入先 | 電力会社 | 産業施設、商業施設 | 非電化地域 |
|---------------|---|---|--|
| | 都市ネットワーク | 複数施設 | 単一施設 |
| 用途 | 都市部 | 工場団地、大学、ショッピングセンター | 商用ビル、マンション |
| 規模 | 数 MW~ | 100kW~数 MW | 数 kW~数 10kW |
| 主な動機 | 供給停止対応、RES の導入 | 電力品質、信頼性、エネルギー効率の向上 | 遠隔地の電化と燃料消費の削減 |
| 利益 | <ul style="list-style-type: none"> GHG 削減 エネルギー源の多様化 混雑管理 設備更新の延期 アンシラリーサービス | <ul style="list-style-type: none"> プレミアム電力品質 サービスの差別化 (信頼性のレベル) CHP 導入 需要マネジメント | <ul style="list-style-type: none"> 供給可能性 RES の導入 GHG 削減 需要マネジメント |
| 運転モード | <ul style="list-style-type: none"> 連系/自律運転 完全自立運転 | <ul style="list-style-type: none"> 連系/自律運転 完全自立運転 | 完全自立運転 |
| 連系運転と自立運転の切替え | 偶発的 事故 (隣接フィーダ上、もしくは変電所) | 計画的 メンテナンス | 計画的 メンテナンス |

系統運用者が各分散型電源の運転状況を監視し、一括で集中制御する方式と各需要家(分散型電源所有者)が自律分散的に制御する方式がある。

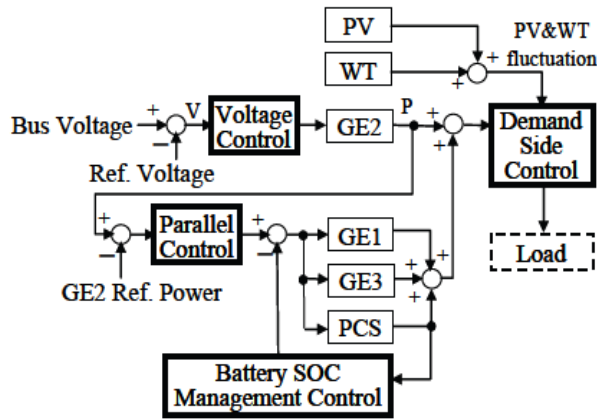
ローカルな周波数と電圧にตอบสนองする**パワエレ機**によって発電機を制御する。

各エージェント(需要家、分散型電源、蓄電装置、系統運用者など)間の通信方式、データ転送速度、データ処理方法などである。ICTにより配電系統制御を需要家との間で実時間に近い速度で能動的に制御する将来系統をスマート配電系統(スマートグリッドの構成要素)と呼ぶこともある。

わが国のマイクログリッド研究

- ・ 間欠性再生可能エネルギー(PV, 風力)の出力平滑化: 系統影響緩和
- ・ 電力系統からの自立、連系潮流一定制御を目指す
- ・ 需給制御手法の確立: 電力貯蔵装置の運用が鍵
- ・ NEDO「新エネルギー等地域集中実証研究」実証試験サイト:
 - 愛・地球博会場/中部臨空都市
 - 青森県八戸市
 - 京都エコエネルギープロジェクト
- ・ NEDO「新電力ネットワーク実証研究 品質別電力供給システム実証試験」: 仙台

負荷制御を含む統合制御手法



自立運転手法は、複数電源パ
ラレル制御、デマンドサイド制
御、蓄電池残容量(SOC)マ
ネジメント制御から構成される。

複数電源パラレル制御におい
ては、ガスエンジンGE2の出
力を、負荷遮断・投入に対し最
も安定的である負荷率50%に
保持する制御とした。

デマンドサイド制御は、マイク
ログリッド内の電力需給状況
に応じて、特定負荷(EHPと
ヒータ)の運転のON-OFFを行
う制御である。

本手法を適用した自立運転時
の電力品質は、周波数
 $\pm 0.2\text{Hz}$ 、電圧 $202\pm 20\text{V}$ 及び
 $101\pm 6\text{V}$ を目標とした。

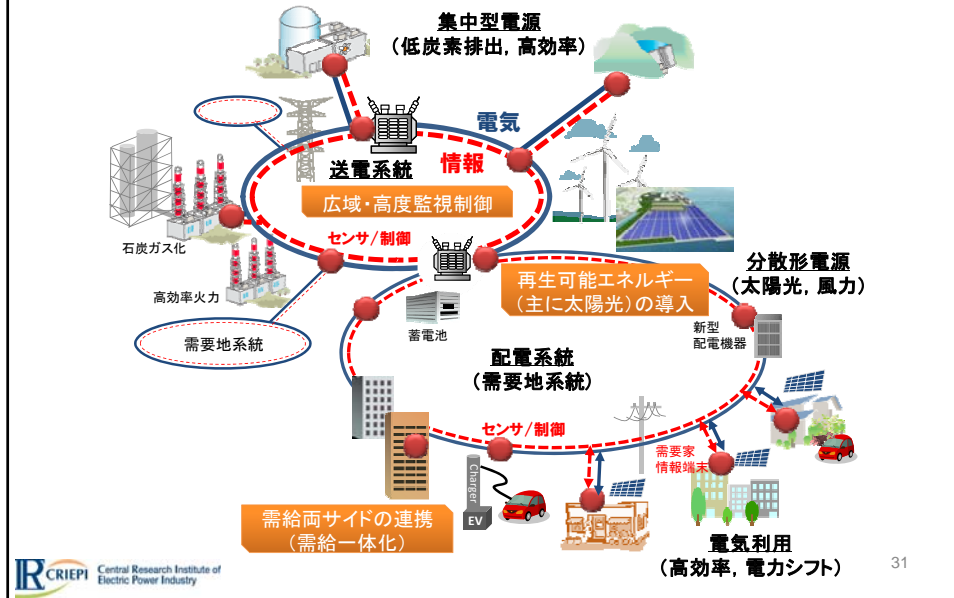
Source: Tagami et al. PSCC,2008

29

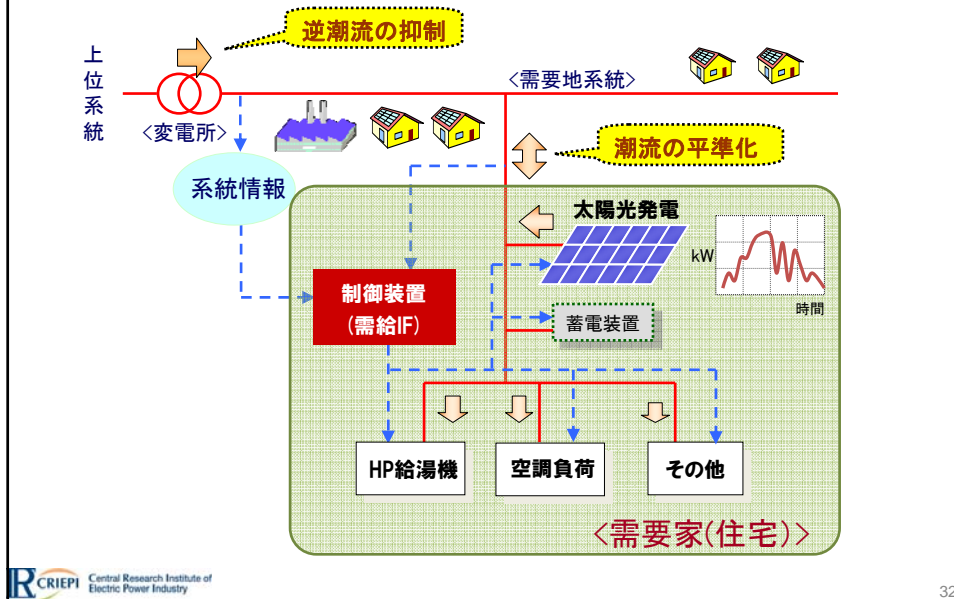
日本型スマートグリッド(TIPS、次世代グリッド)

- **Triple I Power Systems (TIPS): 次世代グリッドの持つ特質は、知的: Intelligent, 相互影響的: Interactive, 統合的: Integrated**
- **需給一体化**
 - 省エネ・エネルギー有効活用を需要家と一体的に実現可能とする。新型メーター、デマンドレスポンスを含む。
- **分散型電源有効活用**
 - 分散型電源大量導入への対応を的確に行える。
- **大規模停電リスク極小化**
 - 系統の状来対応力・修復力、停電回復力に優れ、大規模停電のリスクを極力小さくできる

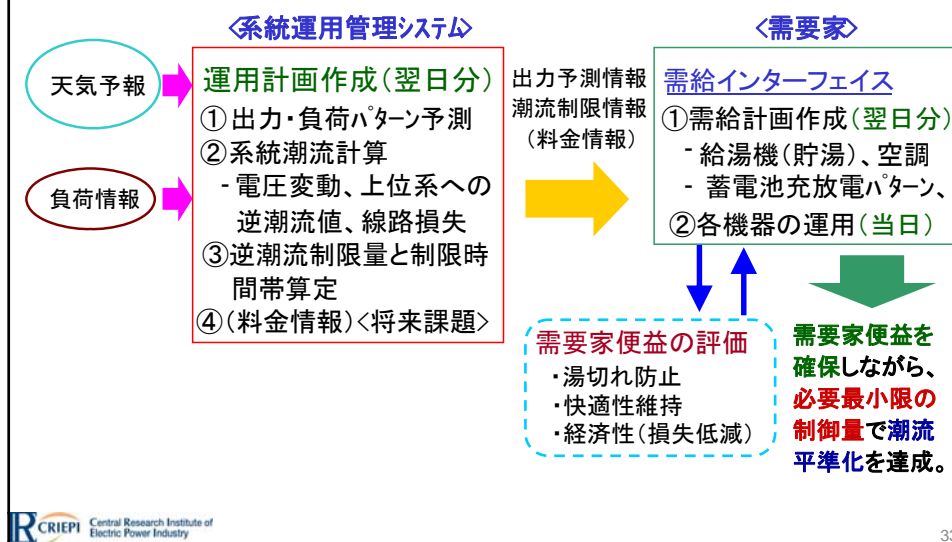
次世代グリッドTIPSのイメージ図



系統と需要家負荷との自律的一体化



需給一体形運用・制御のフロー



PV大量導入への需要家側対応

- ヒートポンプ給湯機などスマート機器の制御
 - 2030年ヒートポンプ給湯機1430万台、需給部会
- 需要側の蓄電池(EVなど)活用
 - 2030年EV・PHV1200万台、新国家エネルギー戦略・自動車の非化石化
 - 環境省:2030年に EV 590万台、PHEV 500万台の普及を目指す。「次世代自動車普及戦略」、2009年5月
- デマンドレスポンス(DR)による負荷シフトや間欠性電源の出力安定化

わが国が目指すべきエネルギーミックスとは

- 原子力は、エネルギーセキュリティ確保、電力価格低下、CO2排出削減策として費用効果的なオプション
- 需要低迷・飽和、電力自由化の進展で原子力への投資はリスク大
- コージェネレーションのCO2削減効果はその発電効率と運用パターンに依存する
- 再生可能エネルギーは、CO2排出削減策としてみると費用効果性低い
 - グリーン電力ビジネスなど産業振興。付加価値が必要
 - PVなどわが国の先進性を活かす
 - 系統調和型の導入が必要
- 将来のエネルギーシナリオを描く際には、実現性、特にユーザーサイドからの評価が重要

文献

- 浅野、今中、電力中央研究所研究報告Y0001、1999年
- 浅野浩志：競争市場における需要側反応プログラムの役割-米国におけるピークロードマネジメントの現状-、電力経済研究 No.46、2001年10月
- 浅野浩志、高橋雅仁、西尾健一郎：電源構成モデルを用いた分散型電源およびヒートポンプ給湯機普及影響の分析、電力中央研究所研究報告Y05014、2006年5月
- 山口順之・今中健雄・浅野浩志・服部徹：電力市場における需要家の役割-米国需要反応プログラムを中心に-、電気学会電子・情報・システム部門大会、2006年9月
- 高橋雅仁、浅野浩志、山口順之：業務部門のデマンドレスポンスによる需要調整の技術的ポテンシャルの評価、電力中央研究所研究報告Y08034、2009年5月
- H.Asano, M.Takahashi, N.Yamaguchi, and S.Bando, Demand participation in the power market by building control and distributed generation of commercial customers, International Conference on Clean Electrical Power, Capri - Italy, June 9th-11th, 2009
- 日渡、他、電力中央研究所報告L05008、2006
- Seiji Tagami, Yuta Sasaki, Tatsuya Tsukada, Tsutomu Tokumoto, Junichi Ichimura, Yuji Watanabe, Hiroshi Asano, Shigeru Bando, Development And Evaluation Of Microgrids Islanded Operation Method With Demand Side Control, the 16th Power Systems Computation Conference 2008, July 14-18, 2008, Glasgow, Scotland
- 浅野浩志：マイクログリッドの研究動向、エネルギー・資源、Vol.29, No.1, pp.15-18,2008年1月
- 八太、他：需要地系統における蓄電池と給湯負荷を用いたエネルギー運用の検討、平成20年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集、2008年