

電気学会公開シンポジウム
大切な電力の需給を考える

エネルギーシステムインテグレーション —電力システムのインフラ構築に向けて—

2012年11月26日

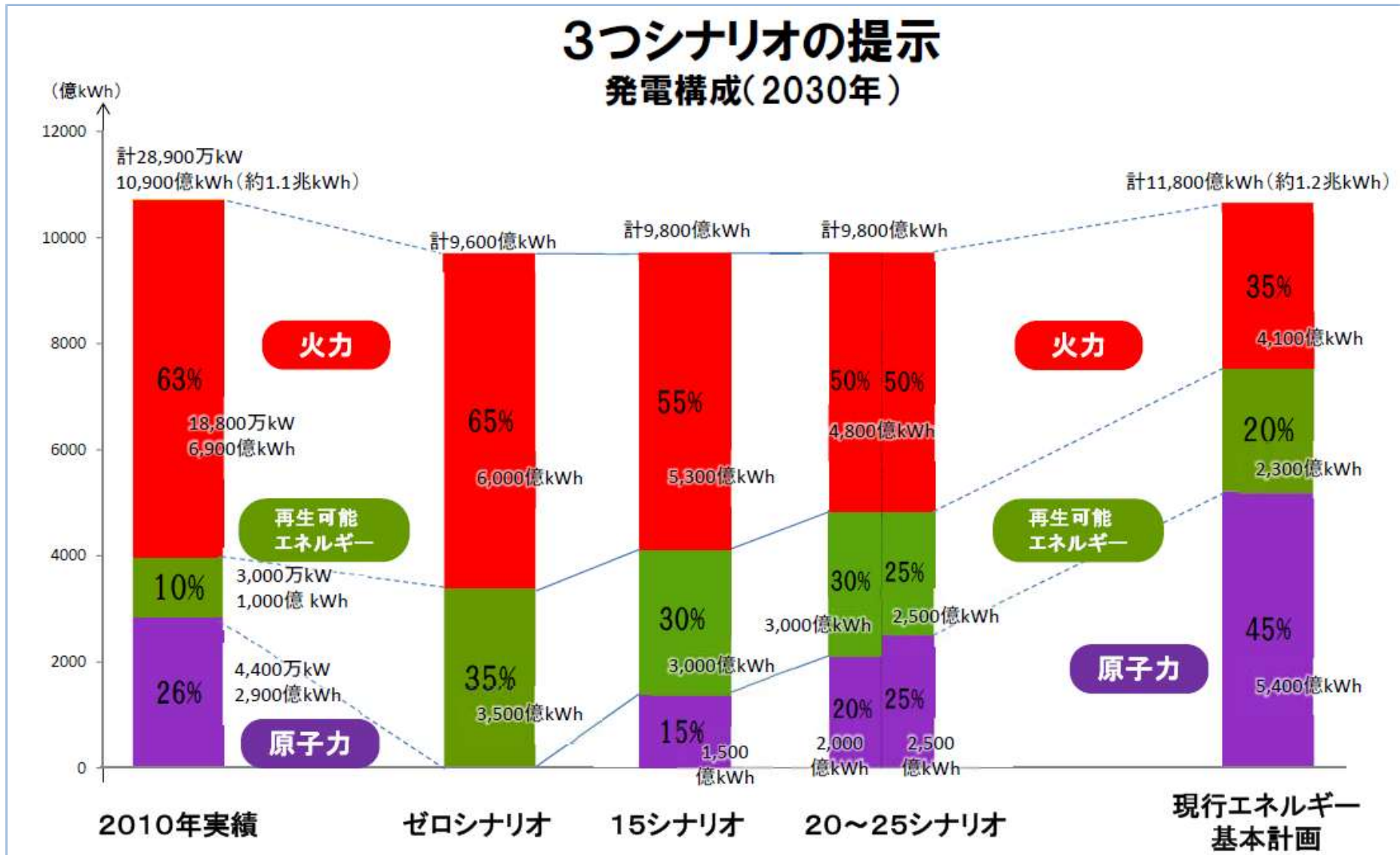
荻本 和彦

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

本日の内容

0. 革新的エネルギー環境戦略
1. シナリオ選択のインパクト
2. 需給調整力確保の課題
3. 需要の能動化からスマートハウス
4. エネルギーシステムインテグレーション
5. 実証試験、その他の取り組み

3つのシナリオの提示



各シナリオに対する支持

ゼロ シナリオ

- マスメディアの世論調査: 3~5割
- 討論型世論調査 : 3~5割

NGOや消費者団体が支持。

※パブコメ: 9割

即ゼロが8割。ただし、意見の分布が偏る可能性が高い。

15 シナリオ

- マスメディアの世論調査: 3~5割
- 討論型世論調査 : 1~2割

(※)15シナリオでは以下の3種類の意見あり

- ① 原発ゼロを目指す意見
- ② 原発をある程度利用し続けるという意見
- ③ その時々状況を見極めて決めるべきという意見

20~25 シナリオ

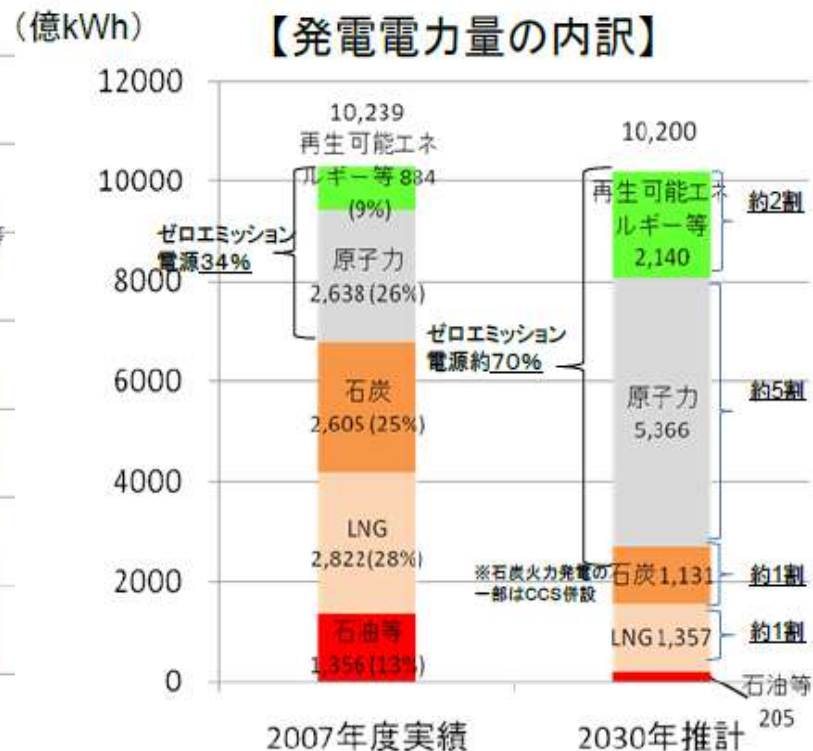
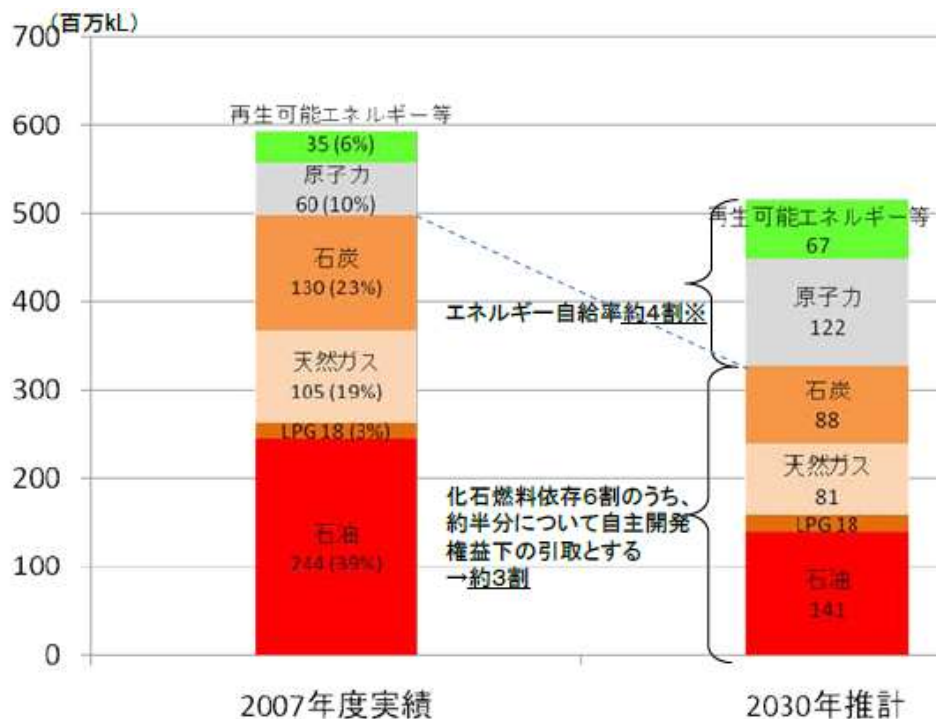
- マスメディアの世論調査: 1~2割
- 討論型世論調査 : 1割

経済団体が支持。
原発立地自治体の提言でも、25%を支持する意見あり。

2030年のエネルギー需給

□ 資源エネルギー庁エネルギー基本計画試算より

一次エネルギー供給

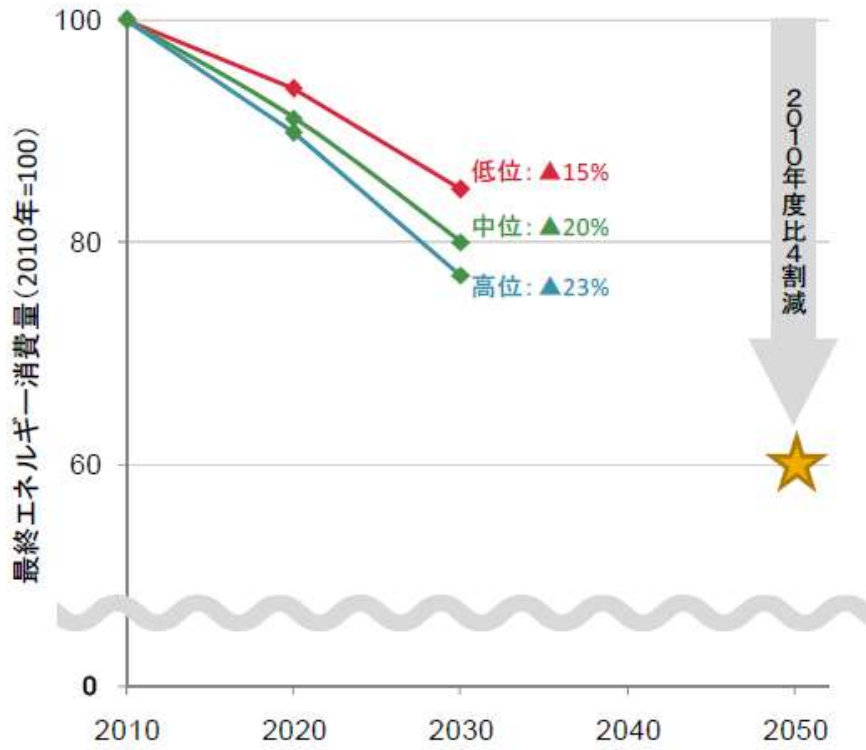


10年20年では、抜本的な変化は難しい
エネルギーの基本計画などブレない方針が重要

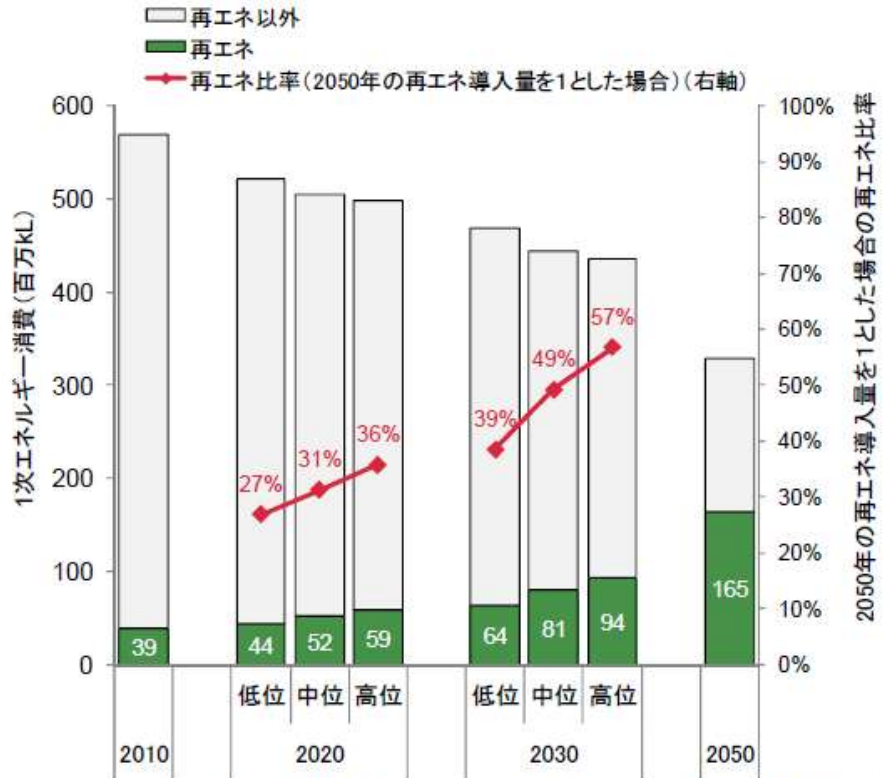
環境省による日本のエネルギー需給想定

- 2050において二酸化炭素排出量の80%削減を実現するためには、最終エネルギー消費の40%削減と再生可能エネルギーの50%導入が必要。

● 最終エネルギー消費量



● 再生可能エネルギー比率 (1次エネルギー比)



※2020、2030年は慎重シナリオの値。2050年の1次エネルギー消費量は技術WGより。

解析条件(1):需要と電源設備構成の考え方

◆解析期間: 2011-2030

◆基本的な需給条件

2008.3に発表され, 2008.8に再検討された「長期エネルギー需給見通し」の「最大導入ケース」、2010.6の「エネルギー基本計画」の試算結果

◆設備構成・運用の想定

2009～2019年の期間は「電力供給計画の概要」を参考にした。

需要は、気温よる変化、EV、HP給湯、バッテリーの導入効果を取り込む。

石炭火力, 天然ガス火力: 寿命は運開後40年、予備力などを基準に適宜追加。

石油火力: 新設が制限されており, 公表されているもの以外の廃止なしで想定

連系線の運用: 想定による設定

PV、風力は毎時、水力は毎月の変動を反映

◆解析ツール: ESPRIT

詳細は参考文献「荻本ほか:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電学電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9」参照

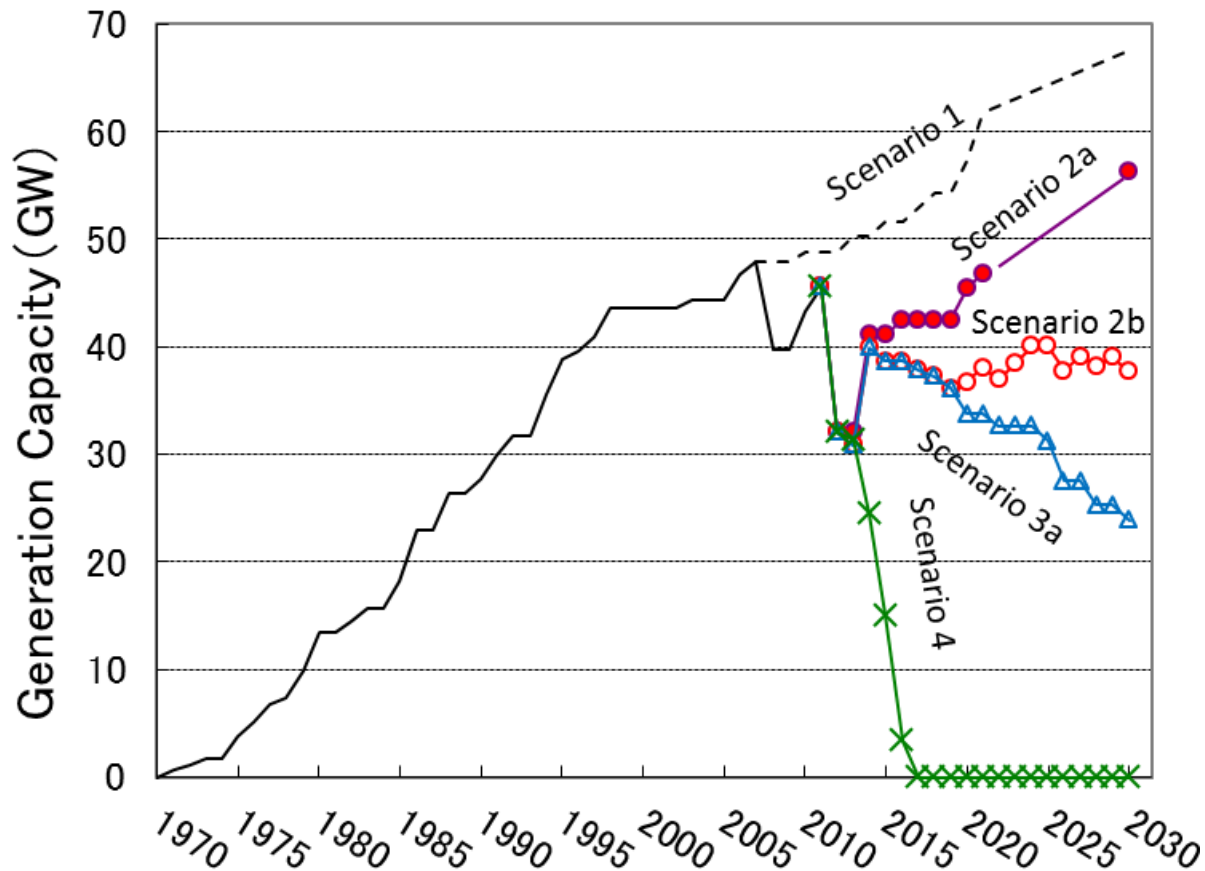
解析条件(2) シナリオ設定

- 検討シナリオとしては以下の表に示す通り、「震災以前の見通し」に対し原子力発電の扱いよりに4シナリオを設定した。
- 太陽光発電と風力発電については、導入促進として、2020年において震災前見通しの28GW、6GWに対し風力のみ10.6GW、2030年においては震災前見通しの53GW、10GWに対し、それぞれ80GW、28GW (地域導入量は、資源量ベース)を仮定した。
- シナリオ4b、4cは、4aの原子力の全廃に対し、火力37.5GW増設、PV160GWおよび風力160GWにまで積極導入した。

No.	シナリオ名	内 容
1	震災前見通し	震災前の供給計画、長期需給見通し、エネルギー基本計画に準拠（原子力は2020年までに+9基、2030年までに+14基） PV53GW、風力10GW
2a	原子力開発継続	原子力の開発は一部遅れを見込むが継続。福島を除く原子力は今後も計画通り運用。火力の一定増強、PV80GW、風力28GW
2b	原子力開発継続 40年廃止	原子力の開発は一部遅れを見込むが継続。福島を除く原子力は40年経過で順次廃止。火力の一定増強、PV80GW、風力28GW
3a	原子力開発中止 40年廃止	原子力の開発は工事中2基のみ。原子力は運開後40年で順次廃止。火力の一定増強、PV80GW、風力28GW
4a	原子力5年内廃止	原子力を5年で全廃。火力の一定増強、PV80GW、風力28GW
4b	原子力5年内廃止 火力増強	原子力を5年で全廃。火力の原子力代替37.5GW。PV80GW、風力28GW
4c	原子力5年内廃止 PV/風力増強	原子力を5年で全廃。火力の一定増強。PV160GW、風力160GW

原子力発電のシナリオ

- これまでの原子力発電容量の実績と、各シナリオにおける原子力発電の設備容量の想定を以下に示す。



PVと風力導入シナリオ

- 太陽光発電の導入については、既設/新設住宅、住宅以外の業務用ビル、産業、メガソーラーの一括の3分野について想定した。
- シナリオ2~4Bの2030年時点の80GW導入にむけては、各分野での導入量と価格を想定した。
- 導入費用については、2030年において新築住宅は建材一体型で増分工事費なし、既築は設置資材、工事費で10万円/kW増、その他は規模のメリットがありその中間とした。
- 風力は15万円/kWを一定とした。
- 地域別導入量は、PVはピーク需要比例、風力は28GWシナリオは賦存量考慮、160GWシナリオは、洋上の導入も大きいケースとしてピーク需要比例。

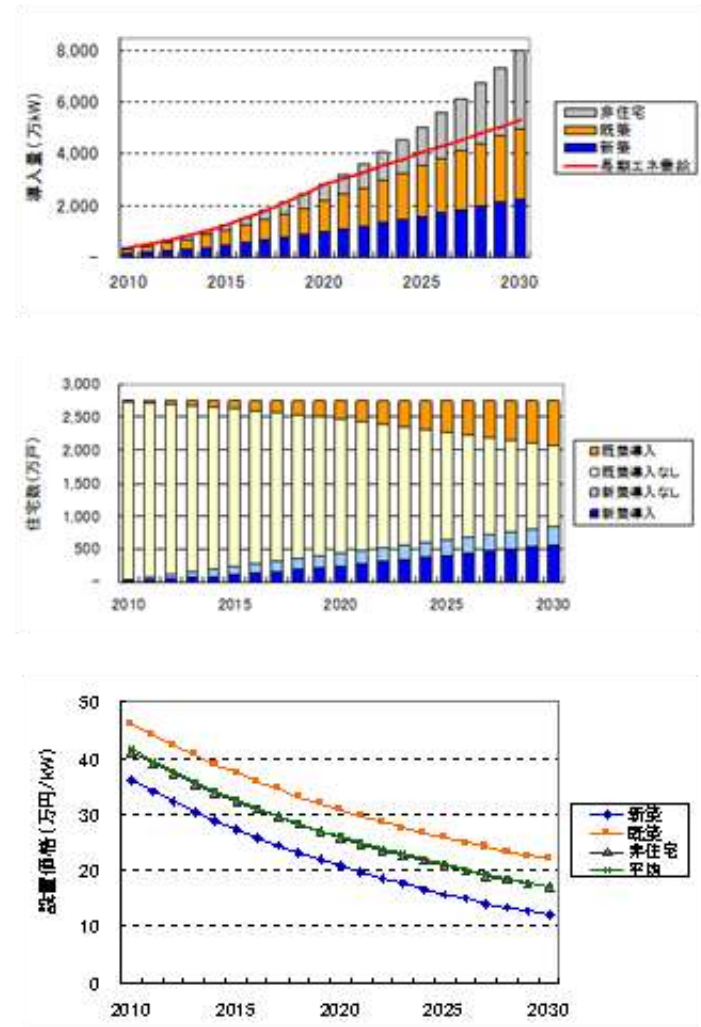
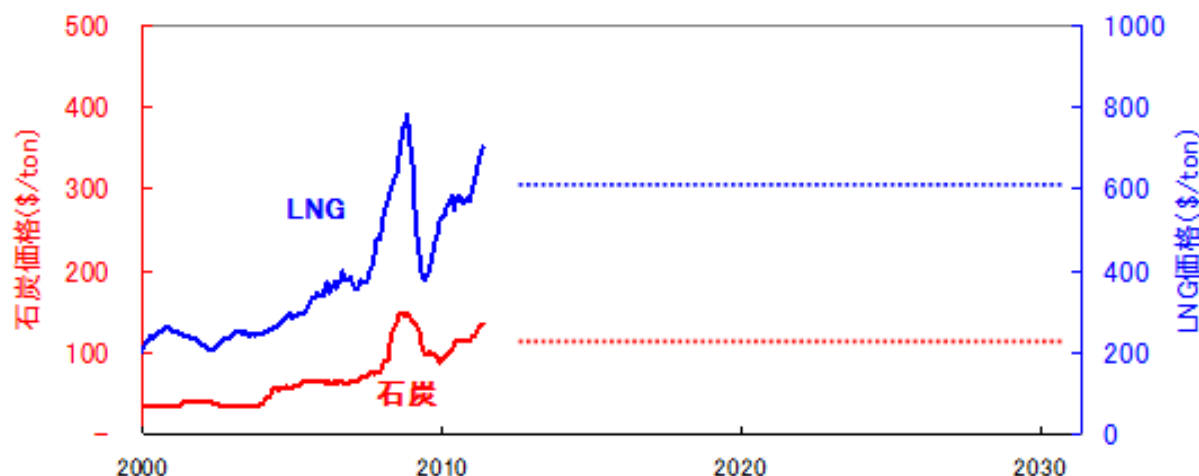


図3 太陽光発電の導入条件の想定
(上から：導入量、住宅のうち既築新築の導入割合、システム費用)

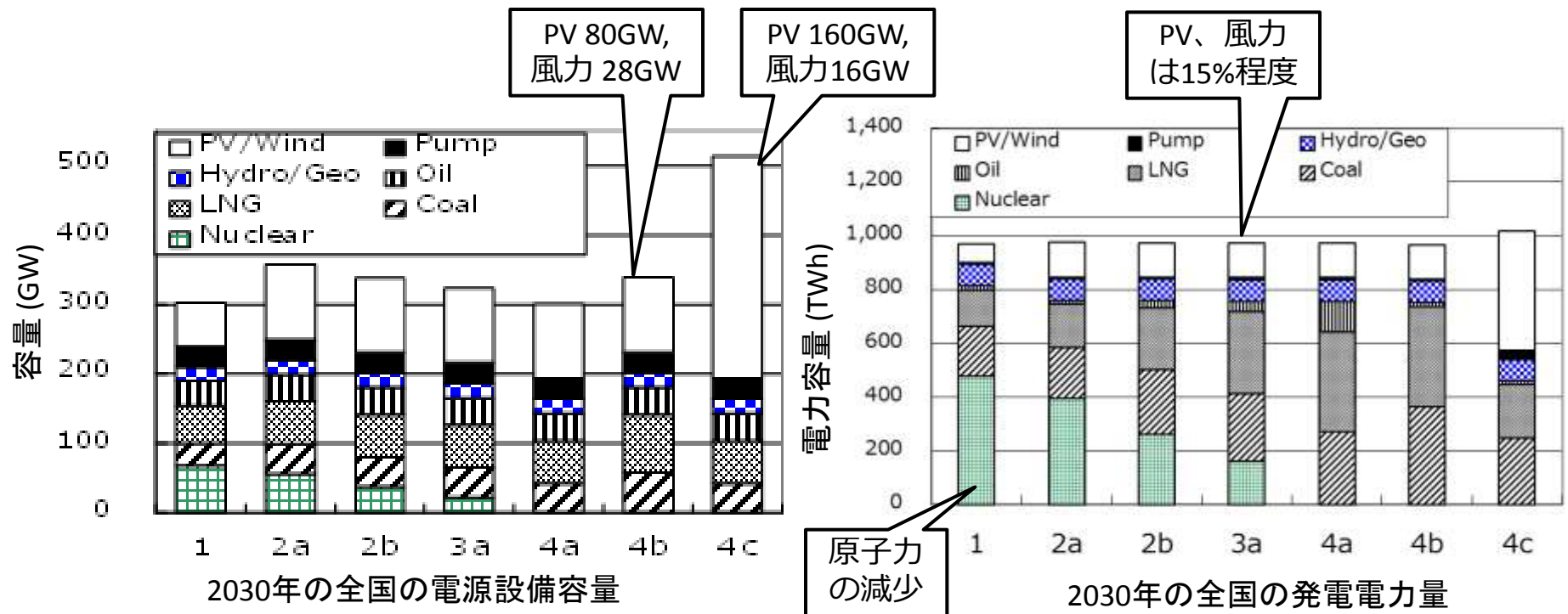
火力・原子力発電の条件シナリオ

- 新設原子力の建設費は、35万円/kW(40年均等で年費用化)を想定した。
- 原子力の燃料費は、1円/kWを想定した。
- 新設火力の建設費は、石炭火力は25万円/kW、LNG火力は15万円/kW（いずれも40年均等で年費用化）を想定した。
- LNG、石炭の燃料費は、本年春の以下の単価が継続すると想定した。いずれも少し前に比べると極めて高い水準ではあるが、2020年や2030年に向かってさらに高くなるリスクも考えられる。
- なお、コスト等検証委員会では、燃料価格をWEO2011の世界全体の現行シナリオと新政策シナリオを参照し、価格の増加を見込んでいる。



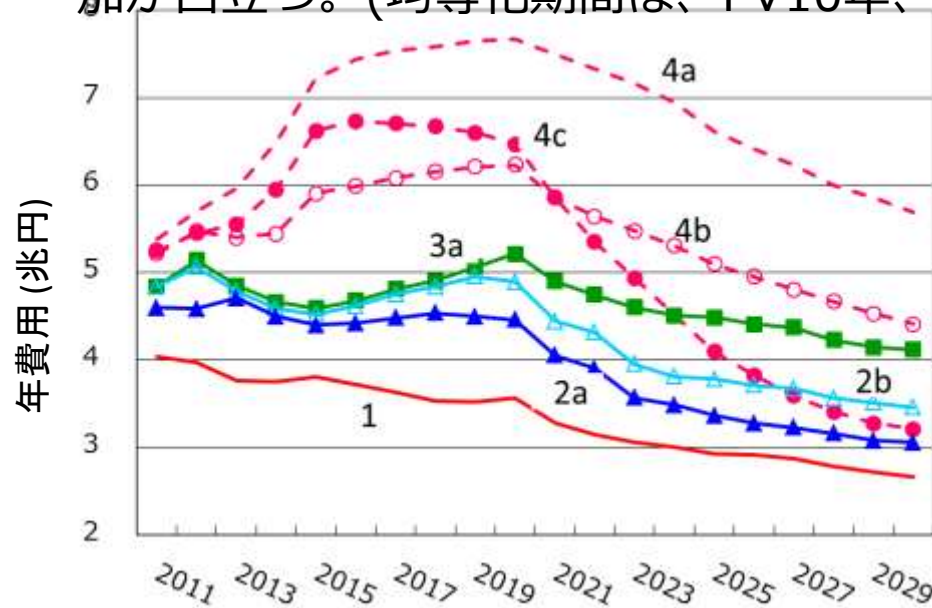
電源と発電電力量

- 原子力発電からの供給量が減少する場合、短中期的には省エネと既存火力の稼働拡大が実質的対策の中心で、中長期的には新設火力、再生可能エネルギー導入促進などの効果が期待できる。
- シナリオ2a、2b、原子力の発電量が減少する場合、一部は80GW、10GWに増加した風力で、しかしその大半は天然ガス、石炭、石油により賄われる。

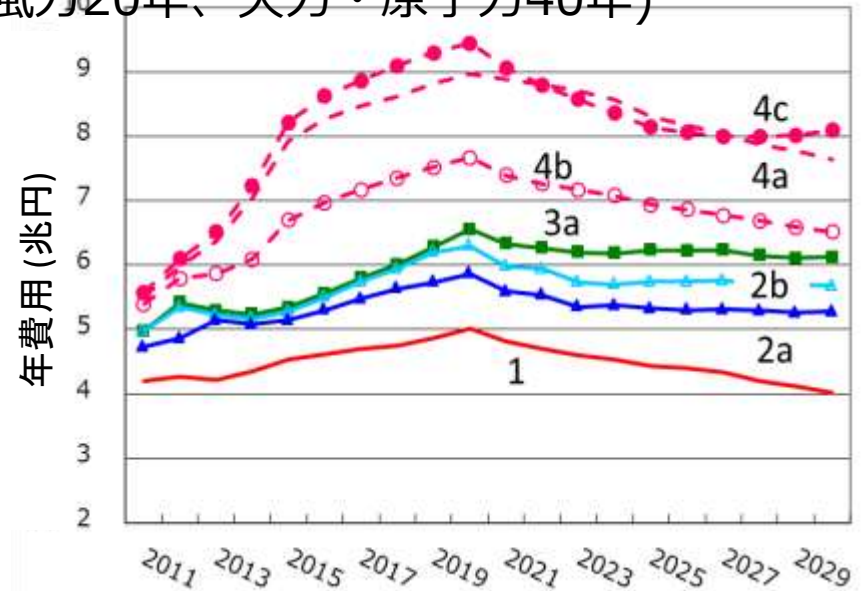


年間の発電費用

- 燃料費は、震災前シナリオ1と比較して、2a~3aの原子力の利用量の低下のシナリオに従い、2030年で0.5~3兆円増加する。4bの火力増強、4c再生可能エネルギー増強には大きな低減効果が見られる。
- 2011以降の新規電源のコストを均等化して燃料費に加えた年費用は、設備費が加わったことにより、シナリオ1と比較して2030年で1~4兆円増加する。燃料費のみの場合と比較すると、再生可能エネルギー大規模導入を想定したシナリオ4cの増加が目立つ。(均等化期間は、PV10年、風力20年、火力・原子力40年)



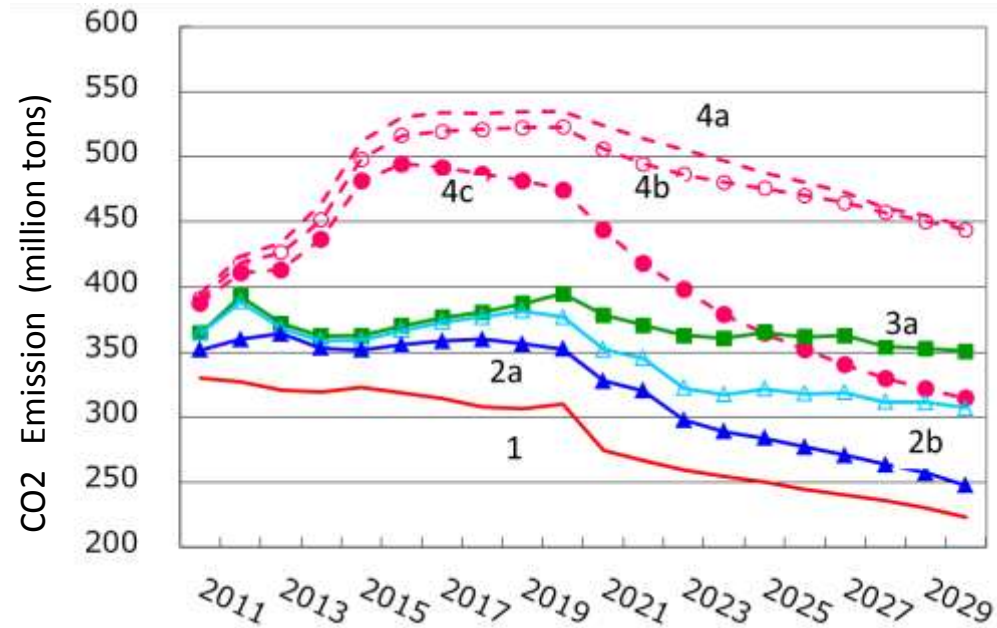
10システム合計の燃料費



10システム合計の燃料費+均等化開発費

CO2排出量

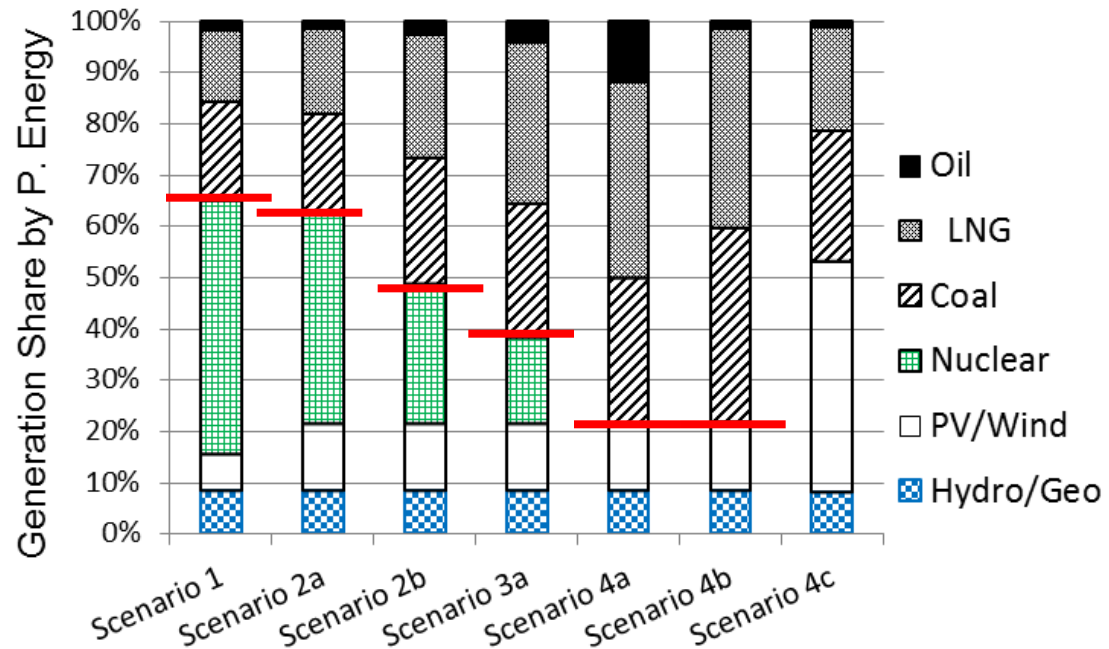
- 2020年では、シナリオ1の震災前の見通しと比較して、原子力の発電量の減少を補う火力の稼働量増により、各ケース0.5~2.5億トンの増加となる。
- 2030年では、シナリオ4bや2aでは排出量は減少するが、それ以外のケースではシナリオ1と比較して1.5~4億トンの増加となる。高効率火力の積極投入の4bにおいても、石炭とLNGの内訳に応じた増加量となり、大きな効果CO2削減のためには、単価の高い天然ガスの大量使用とのトレードオフとなる。



10システム合計のCO2排出量

エネルギー自給率

- 電力量を輸入資源である火力発電と、国産・準国産とされる再生可能エネルギー+原子力で分けると、2aから4bにかけて原子力の発電量の減少により、国産・準国産の電力量が減少する。
- 2aでは再生可能エネルギーの追加導入が、福島第一、第二の減少分をほぼ補うことができるが、他のケースではエネルギーの自給率が大幅に低下する。
- 4cは自給率が挙がるが、2030年でのPVと風力発電320GWの導入の見込みは現実的ではなく、原子力を減少で電力部門のエネルギー自給率は大幅低下となる。
- エネルギー全体での自給率は、更に低いものとなる。

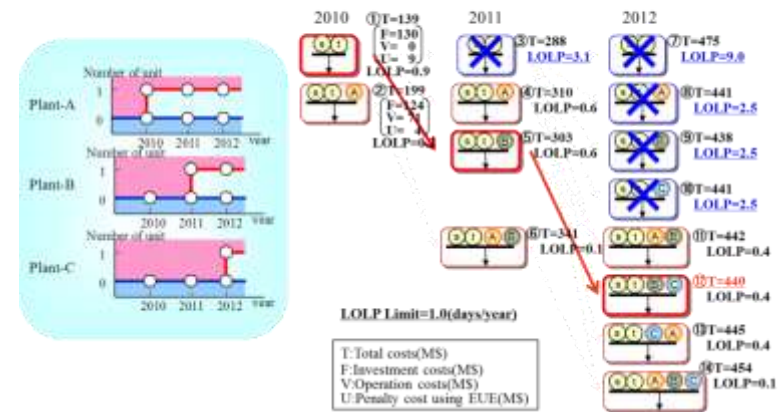


2030年の電力量シェアと電力部門のエネルギー自給率

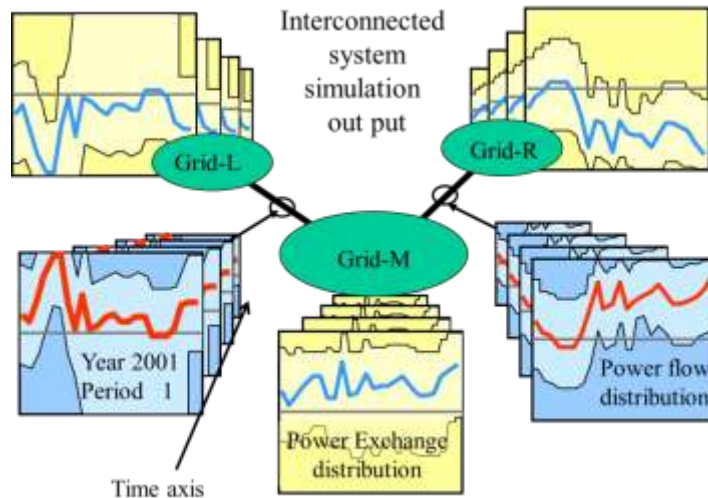
今後の検討課題

- 電力需給における需要想定と電源確保方法についての解析・評価
- 50Hz/60Hz間連系を含む送電網などの流通設備の課題の発見と対応策の解析・評価
- 需要の能動化による電力システムの需給調整力の確保、向上
- 2020年, 2030年, その後に向けたベストミックス方針決定
- 実行可能な移行プロセスの方針決定

需給最適化手順 最小費用経路の選定



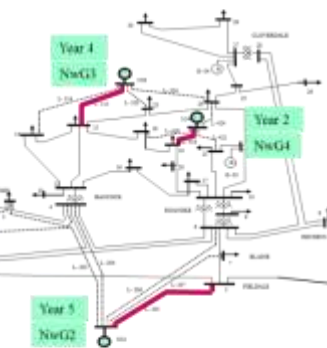
電力システム間連系の最適化



電源と流通設備の統合解析・評価

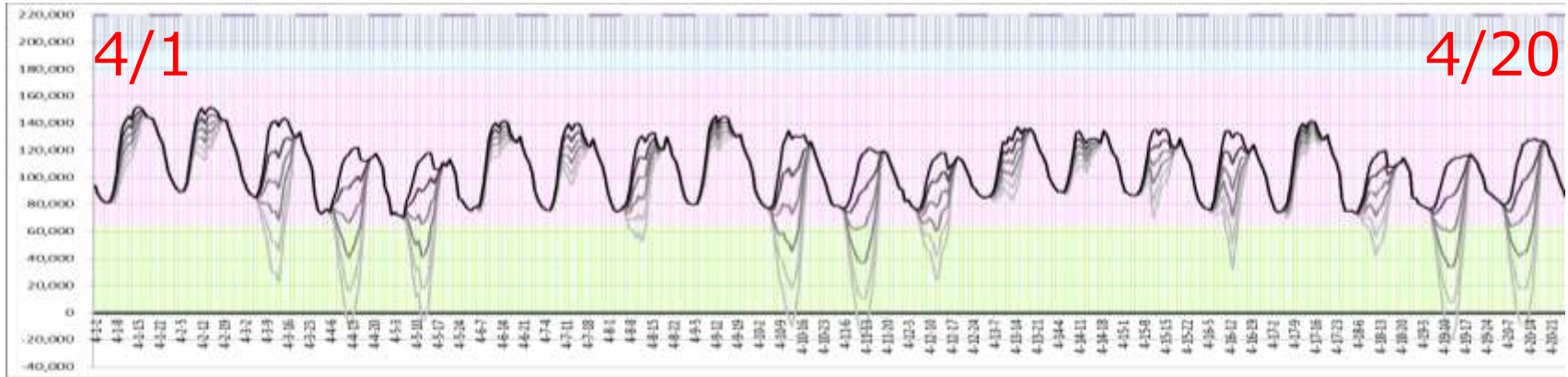
NAME: NwG1	NwG2	NwG3	NwG4		LOLP	RESERVE
CAP : 400	400	400	400	TOTAL	(DAYS/	(%)
YEAR				DEV	YEAR)	
2005	0	0	0	0	8.113	22.3
2006	0	0	0	400	2.998	28.6
2007	0	0	0	0	6.394	20.2
2008	0	0	1	400	2.918	24.8
2009	0	1	1	400	1.633	28.3
TOTAL	0	1	1	1200		

- 電源投入地点
 - N34(2年目): 需要地に近い
 - N33(4年目): 同上
 - N32(5年目): N31より需要地に近い
- 送電設備
 - L-419(2年目): 重負荷地点に接続
 - L-315(4年目): 重負荷地点に接続
 - L-205(5年目): 重負荷地点に接続



極端ケースからの示唆 Implication from extreme cases

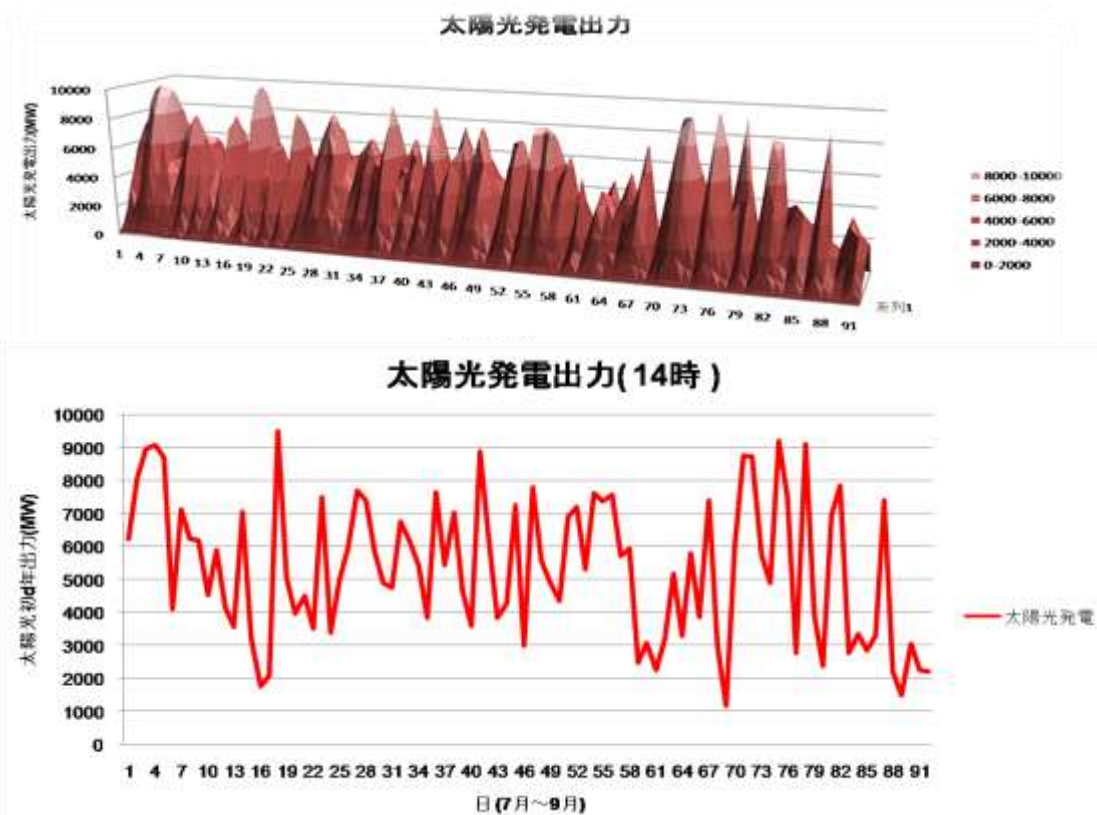
- 2030年において総発電量に占めるPV発電の割合が4,8,12,16,20%と増加した場合の系統からみた需要



- 再生可能エネルギー発電，ベース電源の導入割合が増加するに従い，**需給バランスの課題解決が難しくなる**
- 課題の解決には，既存設備や新たな設備の運用による**対策が「段階的」に必要**となる
- 火力発電，揚水発電，水力発電など既存の設備による**柔軟な需給調整ニーズは今後大きくなり**将来は需要の能動化バッテリーも注目される
- エネルギーセキュリティ**は震災で再認識すべき視点

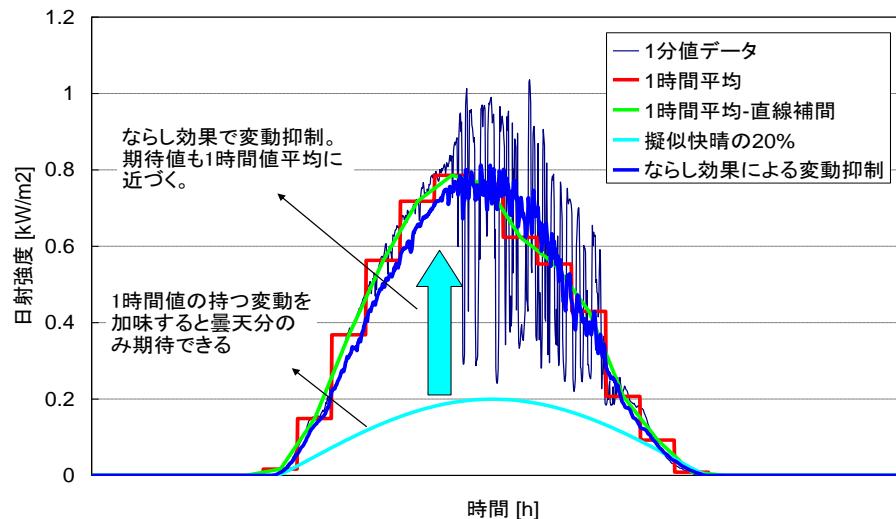
再生可能エネルギーの出力変動

- 再生可能エネルギーをエネルギー源として導入することは、かつての水主火従時代の水力の場合と類似して、その出力変動特性を分析・把握し、かつ運用の中で予測を行うなど、きめ細かな運用と設備形成が必要となる。
- 太陽光発電、風力発電など、出力変動特性を分析し、送配電システムの電圧・潮流問題に加え、系統全体での需給調整の課題を解決する必要がある。



ならし効果と発電予測

- PVの出力は、広範囲の多くのシステムを対象として合計すると、速い周期の変動が打ち消しあい、「ならされる」ことで、変動の周期が穏やかになる。
- PVの合計出力の変動は、エリアの合計日射量の変動に近く、複数の県などの広い地域の場合、短い変動性分(1時間未満など)は相対的に小さくなり、予測の精度が上がるのが期待される。
- 「ならし効果」を含めた発電量の変動特性把握、周波数変動と需給計画に与える影響の評価と、これを含めた発電予測は、今後の電力システムの設備計画と運用計画に必須の技術となる。



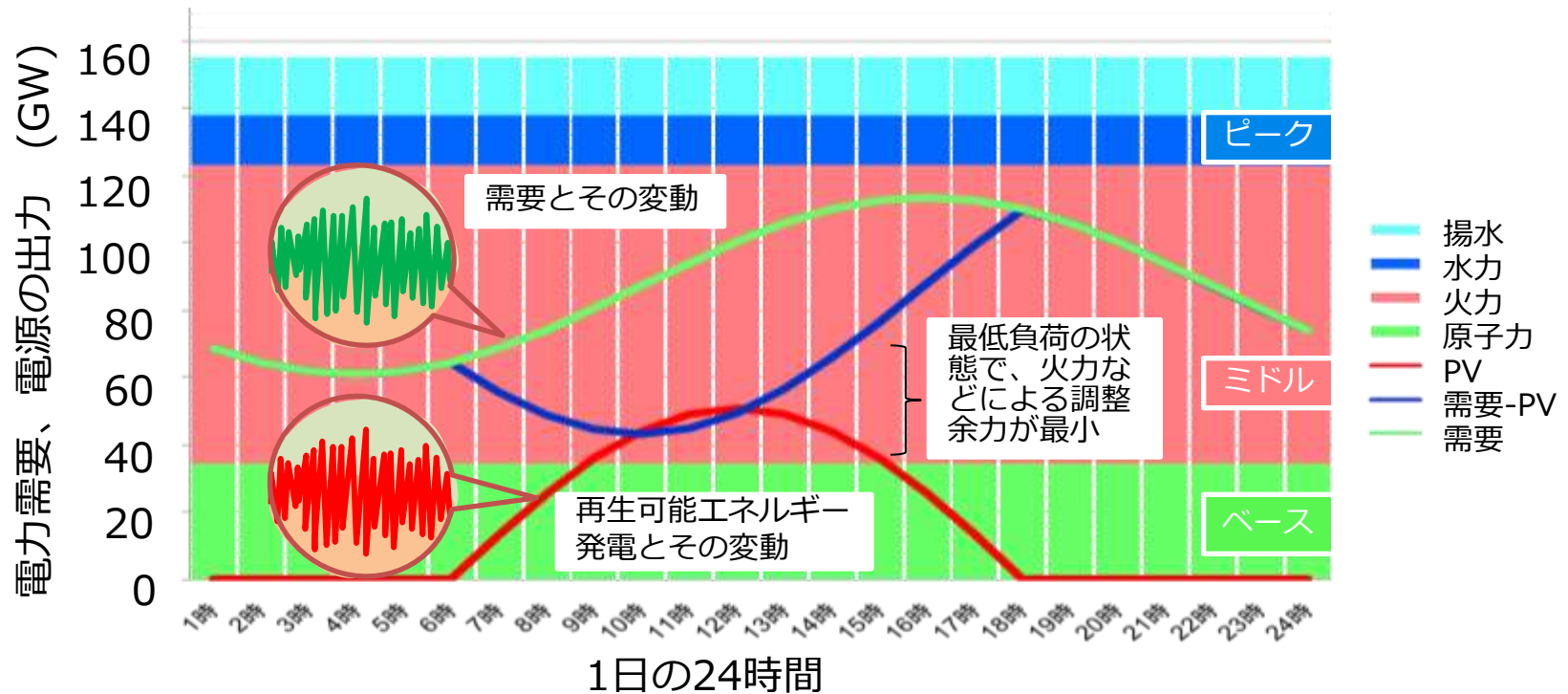
ならし効果のイメージ

出典：荻本、大関、植田「太陽光発電のならし効果による発電特性分析と電力需給への影響(2009エネ資研究会)」

需給調整力不足問題の2つの要素

再生可能エネルギーの導入量の増加により、電力システム全体の需給調整問題が発生する理由は、

- 再生可能エネルギーの発電量の変動による、変動要素の増加
- 火力など従来システムの需給調整を担う発電方式の運用量の減少



実際のバランスは、各時刻で、各電源の出力調整特性を含めた評価が必要
日間の電力需要は日本全国を想定したイメージ

再生可能エネルギー導入だけではない需給調整の課題

- 原子力や、石炭火力、天然ガス火力などの大規模系統電源は、経済性、環境性などの優れた特性を有するが、その特性を最大限に発揮するためには、ベース電源として一定出力の運転を行うことが望ましい。
- そもそも、低炭素化、化石資源の制約は、出力調整の容易な火力発電の利用の低減を意味し、電力システムの供給側の需給調整力の低下は世界共通の課題。



先進的原子力発電



IGCC, IGFC



高効率天然ガス複合発電



図の出典：CoolEarthエネルギー革新技术計画報告書

持続可能な社会へ：需給調整力確保の対応策

- 再生可能エネルギー発電量とその変動、原子力発電量の増加により、従来需給バランスを担ってきた水火力の需給調整容量の不足の問題が発生する可能性がある。
- 系統側の対応例としては以下のものが挙げられる：
 - 揚水の昼間利用
 - 揚水の可変速化による昼間・夜間の揚水時の調整力向上
 - 火力機の最低運転電力制約の緩和、負荷調整能力の向上
 - 水力の運用の高度化

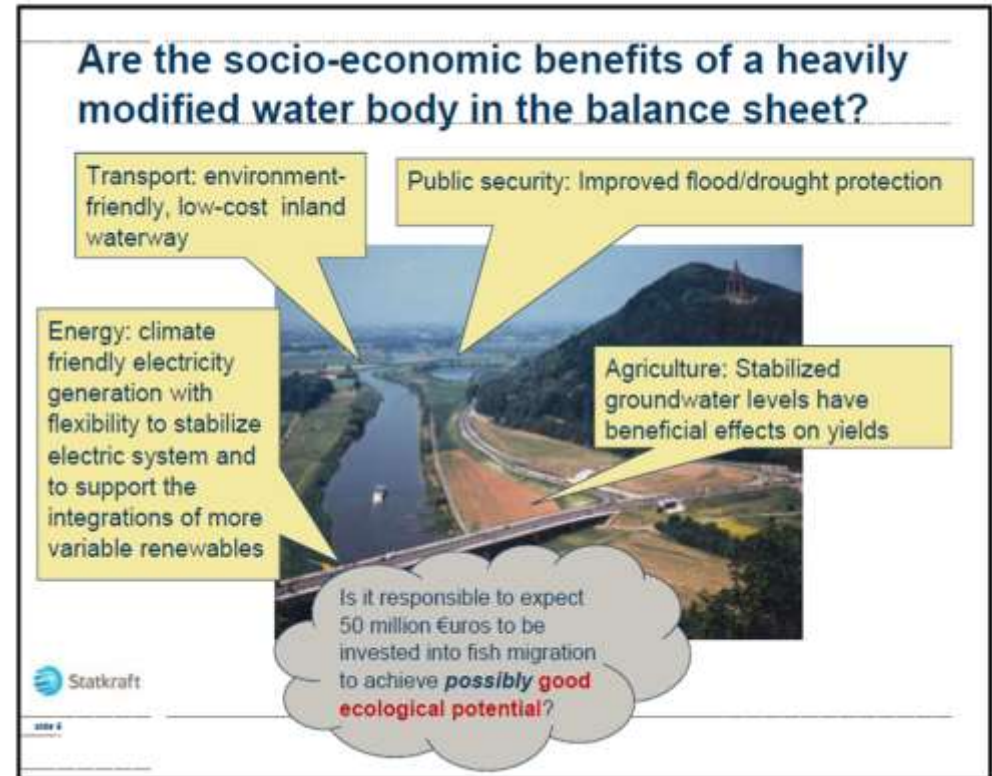
現在新たに検討が進められているスマートグリッド的対応策

- 需要側の将来の対応例としては以下のものが挙げられる：
 - 民生・業務の建物を中心とした需要の能動化
スケジューリング、リアルタイム制御(ELD,LFC)
 - PHEV/EVの充電需要(G2V)の能動化、V2Gの活用
スケジューリング、リアルタイム制御(ELD,LFC)
 - 新たな電力貯蔵技術の導入
- PV、風力の発電予測と出力抑制の積極的活用は、経済的なオプションとして重要

短長期の経済性、運用性、その他を総合して最適な対応策の検討が必要

水力発電の新たな役割

- 周波数制御領域、経済負荷配分領域に加え、相当速度での発電出力の継続的な上昇/低下(ramp up/down)減少、天候の大きな変化による予測はずれなどへの対応が求められる。
- 発電以外の役割を担う水力発電においても起動停止時間が短く、負荷変化速度も大きい水力の価値は高まる。
- 揚水発電は、需要を等価的に増加することで火力などの運用量を増加し需給調整力を高めるとともに、発電時および、可変速揚水の場合は揚水時の需給調整力の増加することができ、効果的な運用が可能となる。
- 今後、水力の既設の高度活用、既設揚水設備の可変速化を含む水力の設備対応、新規開発は、今後の電力システムの需給調整力向上に大きく貢献すると期待される。



Eurelectric, Flexible Generation :Backing up Renewables (2011)

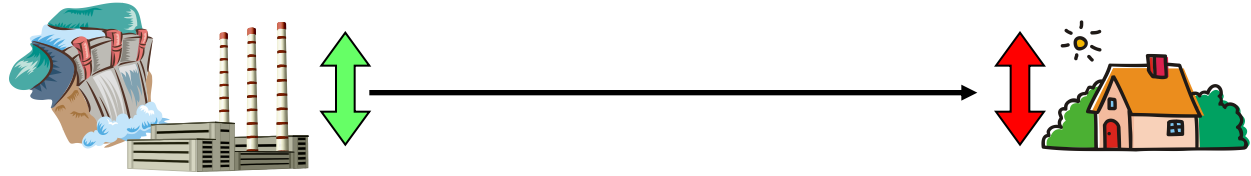
化石燃料の集中/分散電源の位置づけ

- ❑ 化石燃料発電は、再生可能エネルギー発電、原子力発電などのCO₂フリーな電源と比較して、設備費が比較的安価であるかわりに燃料が必要な電源である。
- ❑ 化石燃料発電における燃料は、安定供給、経済性などの課題を持つが、一定の設備量を確保し、必要に応じて購入量を調整することで、短期的な需給調整、天候不順や設備事故などの中期的な供給力不足、さらには供給設備の導入遅延などへの対応が可能である。
- ❑ 化石燃料発電のうち、集中発電は発電効率の徹底追及が可能である一方、分散電源は産業プロセス、熱需要などと組み合わせることで総合効率の追求が可能である。
- ❑ 分散の化石燃料発電は、需要側に設置することで、燃料を確保量に応じて、震災など集中電源、送配電網などの不具合に対応して電力供給を継続できる可能性を持つ。
- ❑ 分散の化石燃料発電のうち、コージェネレーションは熱を利用できる範囲に高効率運転が限られるが、一部需給調整に貢献する余地も有する。この実現には、経済性、設備費増、制度などの課題の解決が必要である。

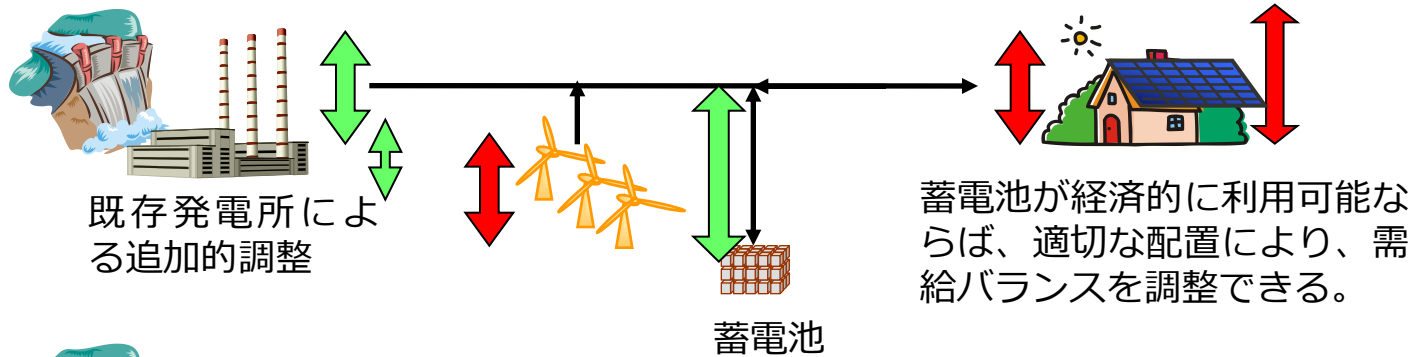
持続可能な社会へ：需要の能動化

電力システムの需給バランスは現在、主要な発電設備を利用した集中エネルギーマネジメントによって管理されている。将来、再生可能エネルギーによる発電がシステムに組み込まれた際には、需要能動化を利用した分散エネルギーマネジメントによる電力システムの需給調整の分担が期待されている。

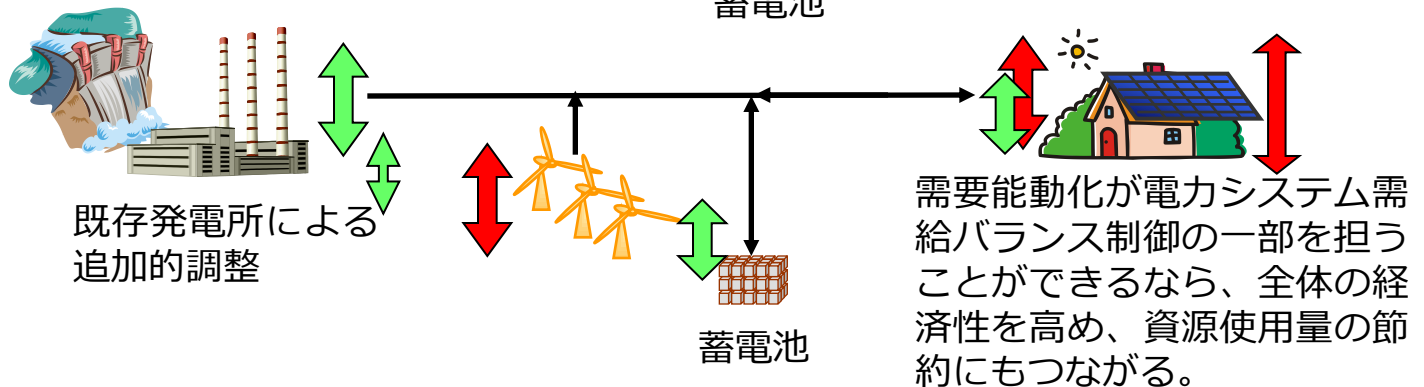
現在の
需給バランス制御



蓄電池
による
需給バランス制御



蓄電池 + 需要能動化
による
需給バランス制御



↕ : 安定化
↕ : 変動

集中/分散エネルギーマネジメントの協調

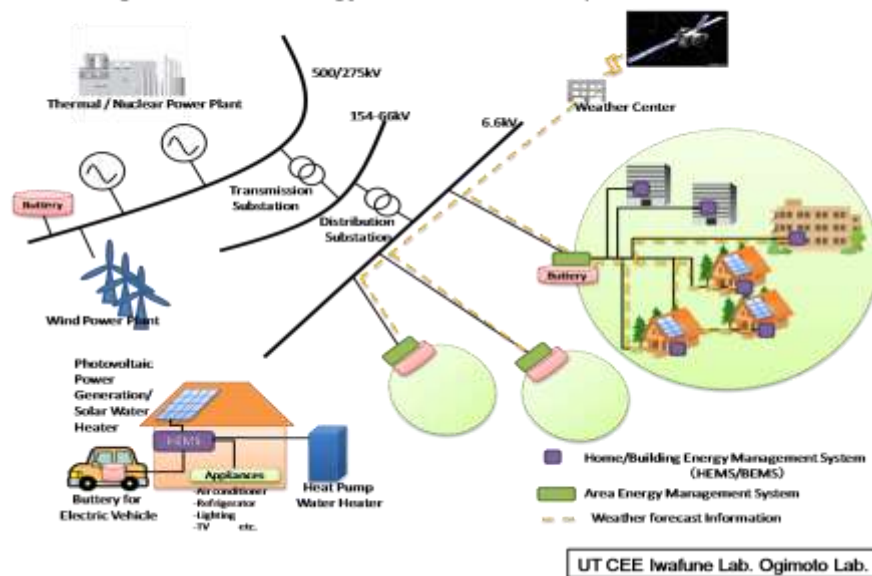
電力システム全体を管理する集中エネルギーマネジメントと、需要側の分散エネルギーマネジメントが協調する需要の能動化で、電力システムの需給調整力を向上することができる。

□再生可能エネルギー発電量の変動は、多数地点の変動が相互に打ち消しあい(ならし効果)緩和され、気象予報に基づく発電予測、PV、風力、需要など異なる変動の相関などにより、電力システム全体で最適な需給調整が可能となる。

□集中エネルギーマネジメントは、系統の電源、揚水を含むエネルギー貯蔵設備に加え、一部の需要を直接制御することで、需給調整力を向上する。

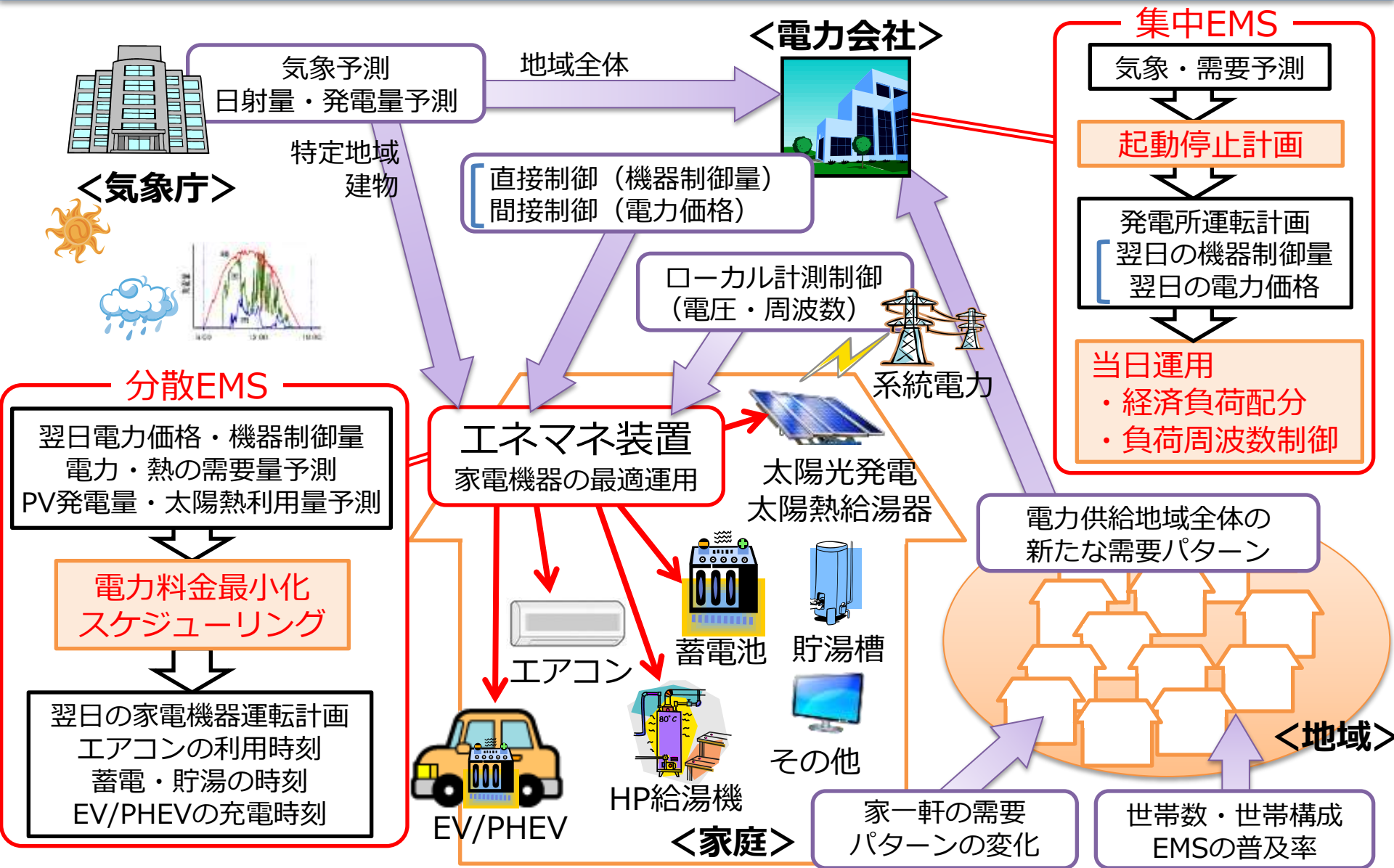
□分散エネルギーマネジメントはダイナミックプライシングなどのインセンティブ情報対応した個別の機器運用を行い、エネルギーシステム全体として需給の最適化に貢献する。

Autonomic Cooperative Energy Management System
Including Renewable Energy Resources and Sophisticated Batteries



3. 需要の能動化

集中/分散エネルギーマネジメントの協調の実現方法



持続可能な社会へ：スマートメーター

スマートメーターとは、従来の一定期間の電力使用量を記録するメータにかわり、以下の機能を実現するプログラム可能な装置：

- 多様な料金メニューに対応した料金積算
- 需要家および電力会社のための電力使用量把握
- 需要反応などによる需要調整
- 需要機器の遠隔制御
- 家庭の需要機器との交信
- ネットによる遠隔検針
- 停電および復電の検知
- 料金の事前支払い
- 電力品質監視
- 盗電の検知



この装置を活かすシステム *Figure 5: A Modern Solid State Smart Meter (left) and an older Electromechanical Watt hour Meter*
として、AMI :Advanced Metering Infrastructureがある。

2008.2 NETL Modern Grid Strategy Powering our 21st-Century Economy ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE

持続可能な社会へ：AMIとMDMS

AMIは単なるメーターリングではなく、双方向の情報伝達に基づく公共サービスの体系、空調設定、スマートメーター、その背後の通信ネットワークとデータ処理システム(MDMS)など多様な目的と要素を含む。

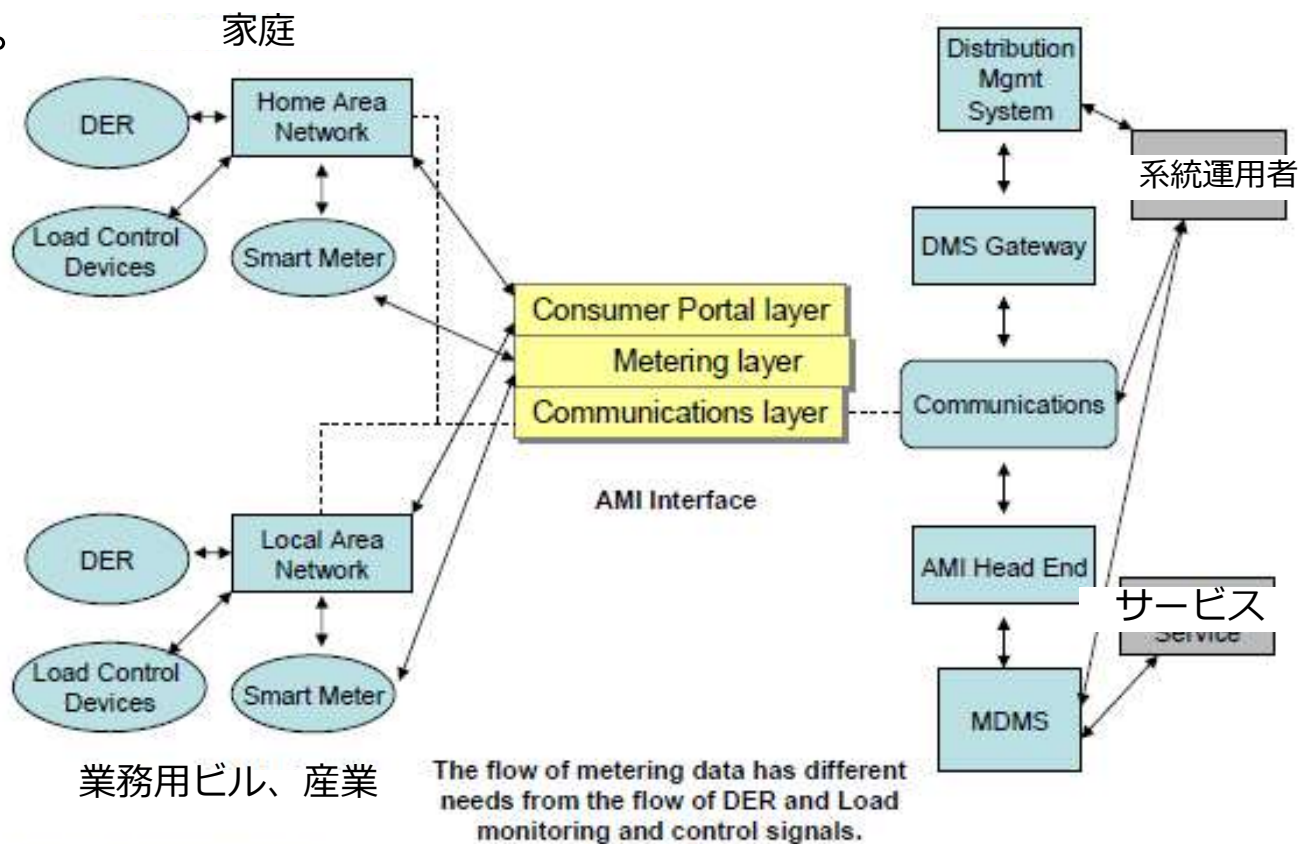
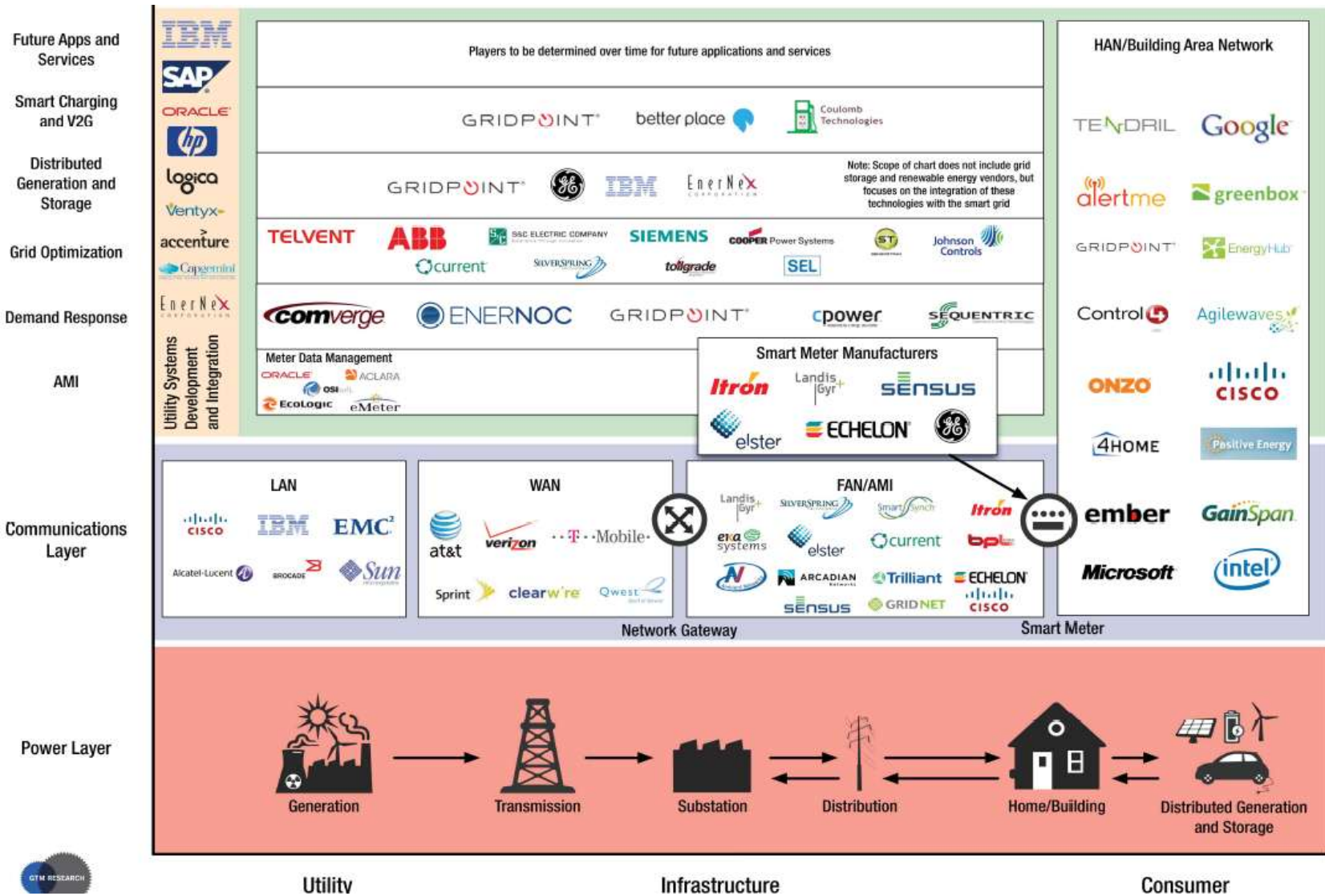


Figure 4: Overview of AMI

2008.2 NETL Modern Grid Strategy Powering our 21st-Century Economy ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE

3. 需要の能動化

持続可能な社会へ：スマートグリッドの参入企業

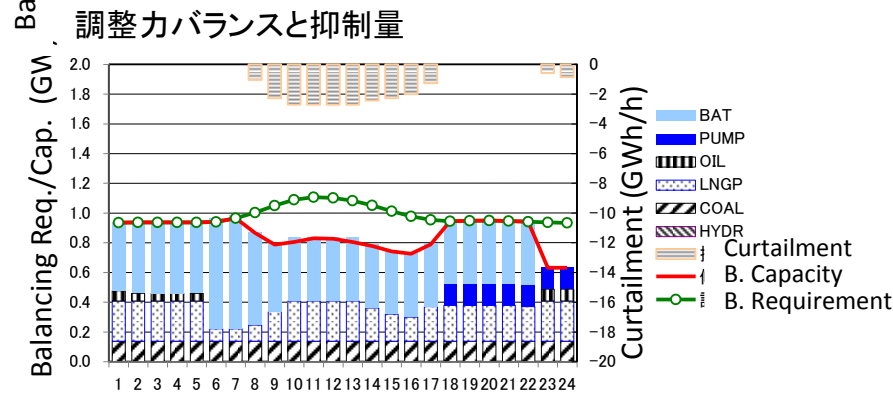
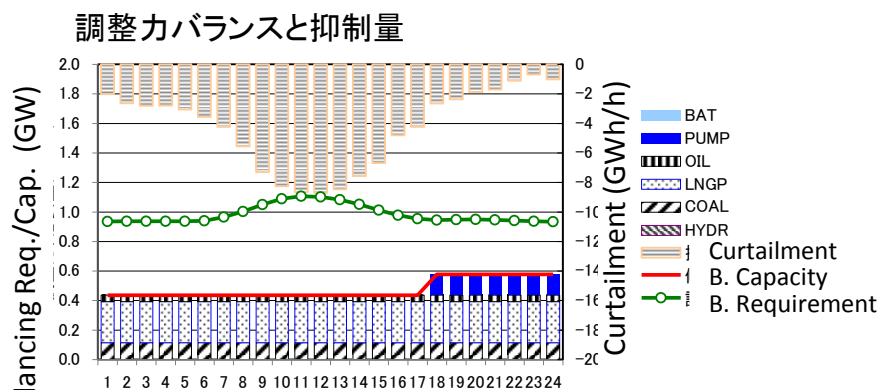
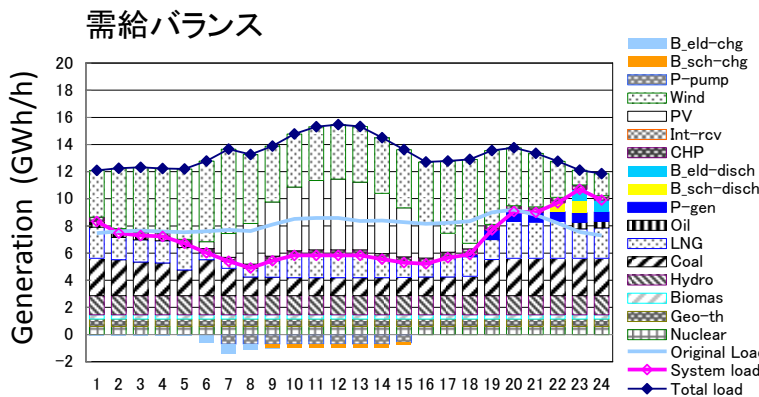
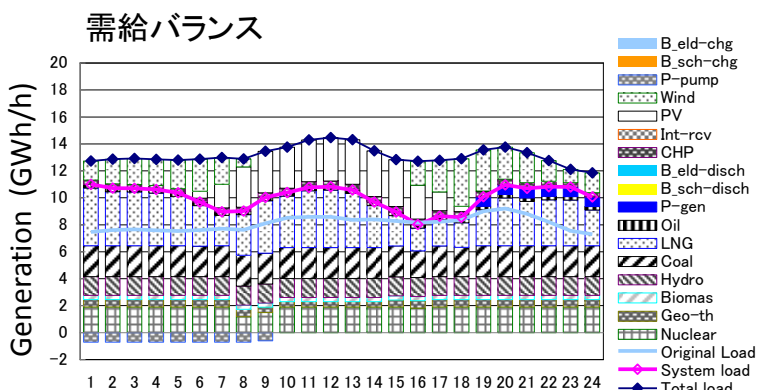


GTM RESEARCH, THE SMART GRID IN 2010: MARKET SEGMENTS, APPLICATIONS AND INDUSTRY PLAYERS, JULY 2009

需給調整力の確保と発電抑制

- 能動化された需要を調整し、発電の負荷配分を行い、PV、風力の発電量の変動を含めた需要に対応する。
- 系統電源、揚水などによる調整力に能動化需要による調整力を加えることで、需給調整力不足による太陽光発電、風力発電などの抑制量の低減に有効である。

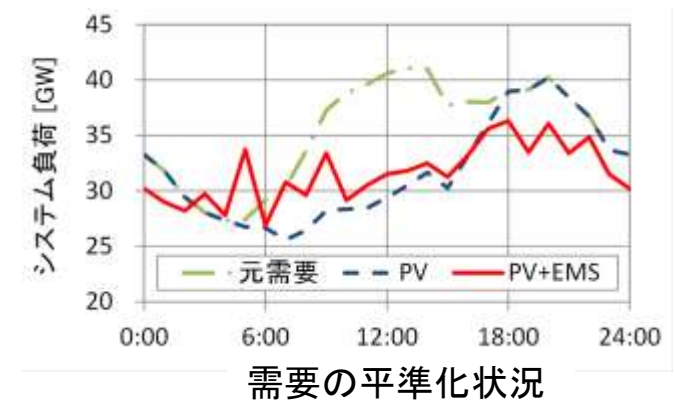
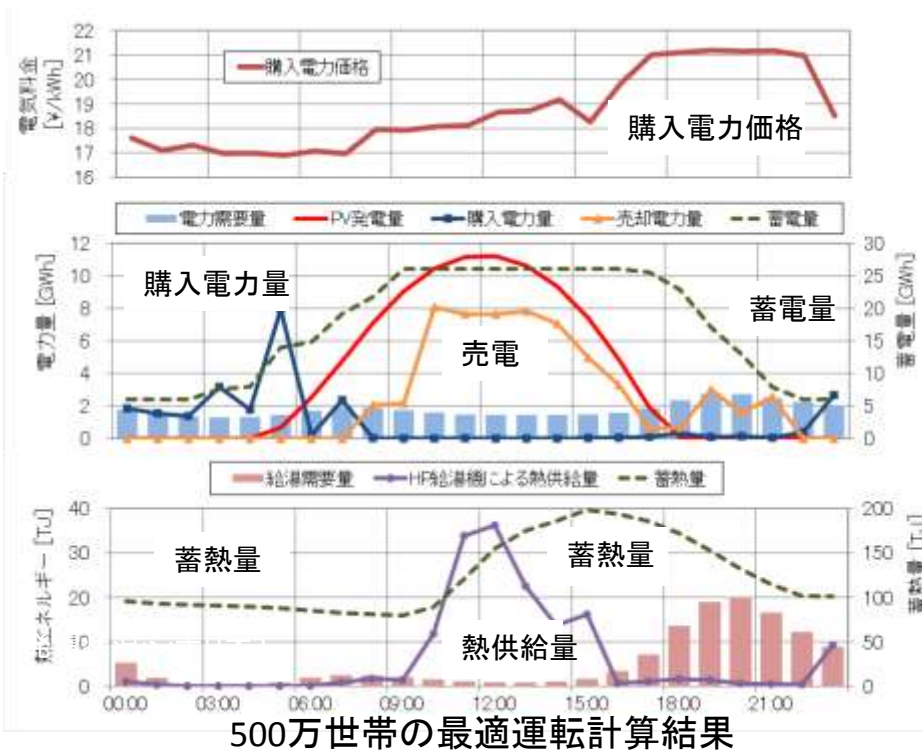
バッテリー無し
バッテリー有



Scenario 2b 東北システム、PV+Wind最大発電量の日の24時間の状況

ヒートポンプ給湯の能動化による需給調整

- 変動する再生可能エネルギー発電が導入されると、系統の発電機からみた需要はもとの需要から再生可能エネルギー発電量を引いた等価需要となる。
- 等価需要の予測に基づくダイナミックな電気料金のもとで、電気自動車の充電を料金が最低になるように制御する。
- 制御方式を工夫することで、本来の充電ニーズを満たしつつ、様々な用途の電気自動車の充電の合計量を等価需要を平準化に貢献させることができる。

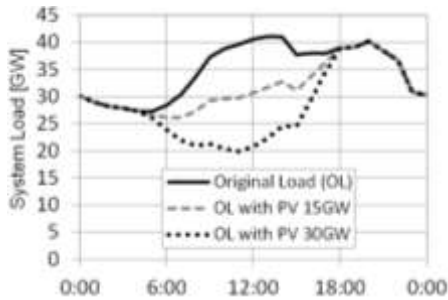


PV: 3~4 kWのシステムが一世帯平均3.4 kW, 地域全体で17 GW導入。
 蓄電池は、充放電容量1~2 kW(平均1.5 kW, 地域全体7.5 GW), 蓄電容量2~12 kWh(平均6 kWh, 地域全体30 GWh)、充放電時のロスも15~20%(平均16%)。
 HP給湯機, 熱出力3, 4, 12 kWの3種類(平均熱出力4 kW, 地域全体熱出力20 GW), 貯湯槽の容量は熱出力12 kWのHP給湯機の世帯は200 L, それ以外は370 L。

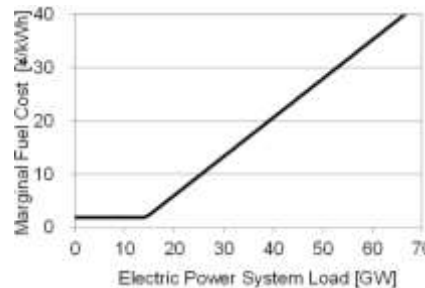
池上, 荻本, 矢野, 工藤, 井口: 再生可能エネルギーの連系と需要の能動化を考慮した電力システムの経済運用モデル, 電気学会全国大会(2012)

EV充電需要の能動化による需給調整

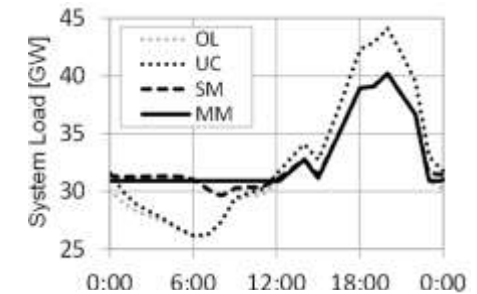
- 変動する再生可能エネルギー発電が導入されると、系統の発電機からみた需要はもとの需要から再生可能エネルギー発電量を差し引いた等価需要となる。
- 等価需要の予測に基づくダイナミックな電気料金のもとで、電気自動車の充電を料金が最低になるように制御する。
- 制御方式を工夫することで、本来の充電ニーズを満たしつつ、様々な用途の電気自動車の充電の合計量を等価需要を平準化に貢献させることができる。



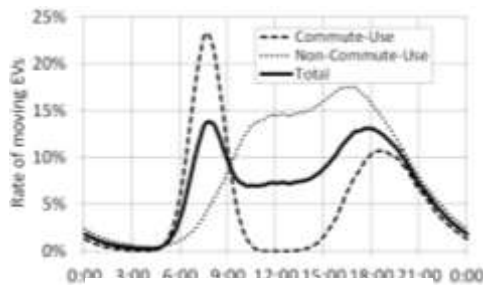
PV15GW, 30GWの発電を含めた等価需要



電力システムの限界燃料費

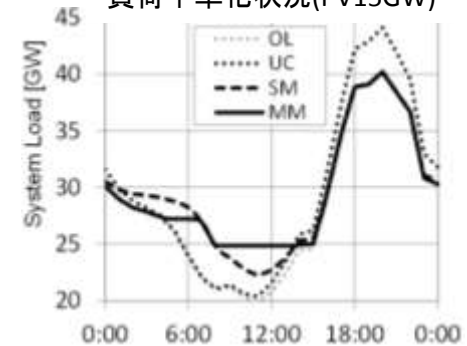


負荷平準化状況(PV15GW)



走行中EVの時刻別割合

1000万台のEVを想定し、その蓄電池容量は24 kWh, 充電容量3.0 kW, EV走行は、平均時速21km/hで、電費10 km/kWhで電力が消費されると仮定した。



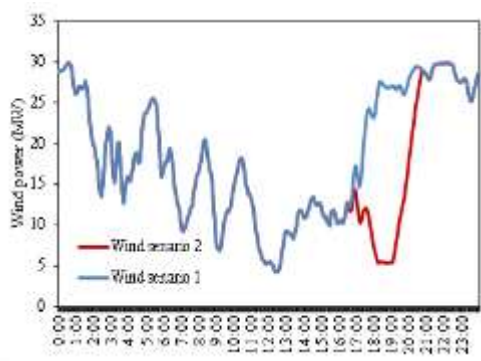
負荷平準化状況(PV15GW)

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)

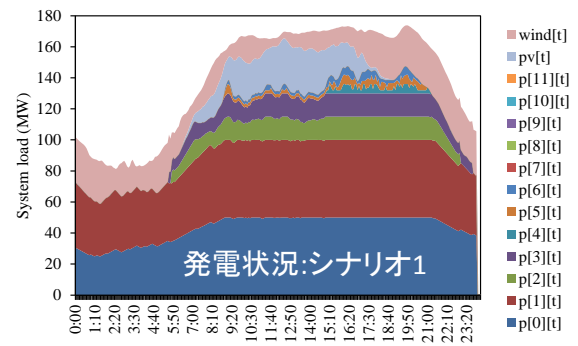
3. 需要の能動化

発電予測と需要の能動化によるシステム運用

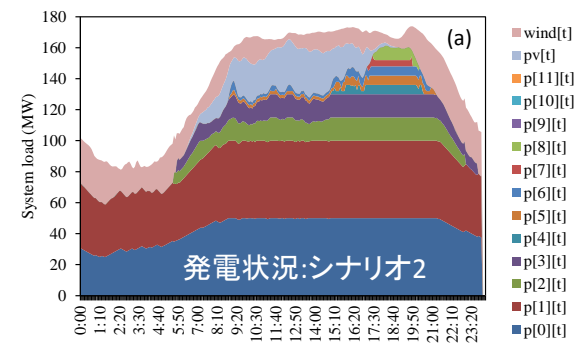
- ❑ 風力発電の発電量の変動により、電力システムの起動停止計画(需給予測にもとづく発電機の運用計画)による発電機の運用は変化する。
- ❑ 発電量が大きく変動する可能性がある場合、その変動に追従するために多数台の発電機を並列することが必要となり、経済性の劣る発電機の運転と、全体の負荷率の低下により運用コスト増となる。
- ❑ 需要の能動化を想定し、需要の調整力を活用することで、発電機の運転台数を減らし、運用コストを下げ、最終的には必要設備容量も節減できる。



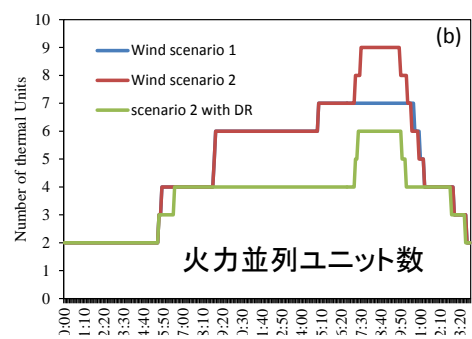
風力発電シナリオ1と2 (1日)



発電状況:シナリオ1



発電状況:シナリオ2



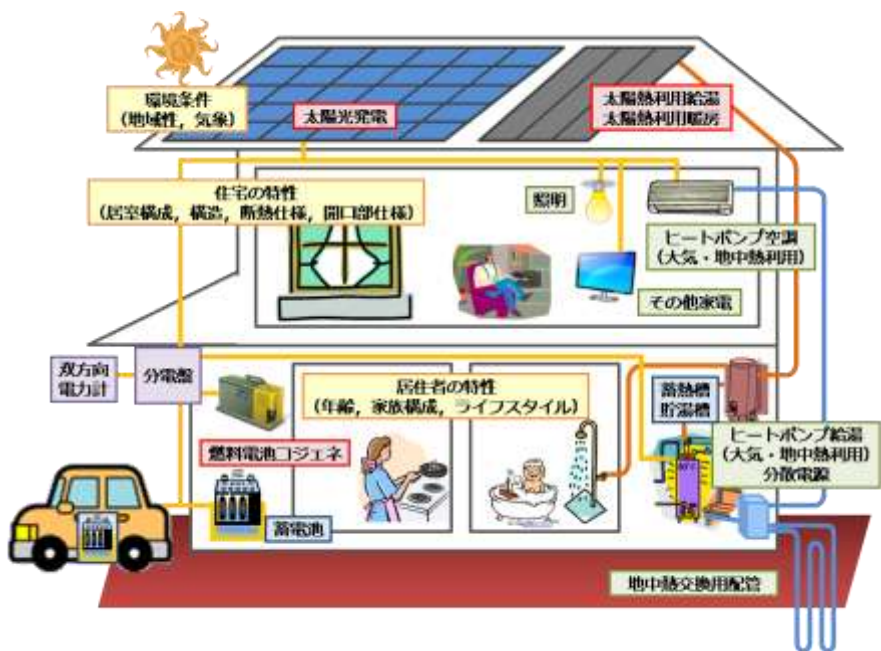
火力並列ユニット数

池田,池上,片岡,荻本: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,エネルギー資源学会第29回研究発表会(2012)

持続可能な社会へ：スマートグリッドの概念の拡大

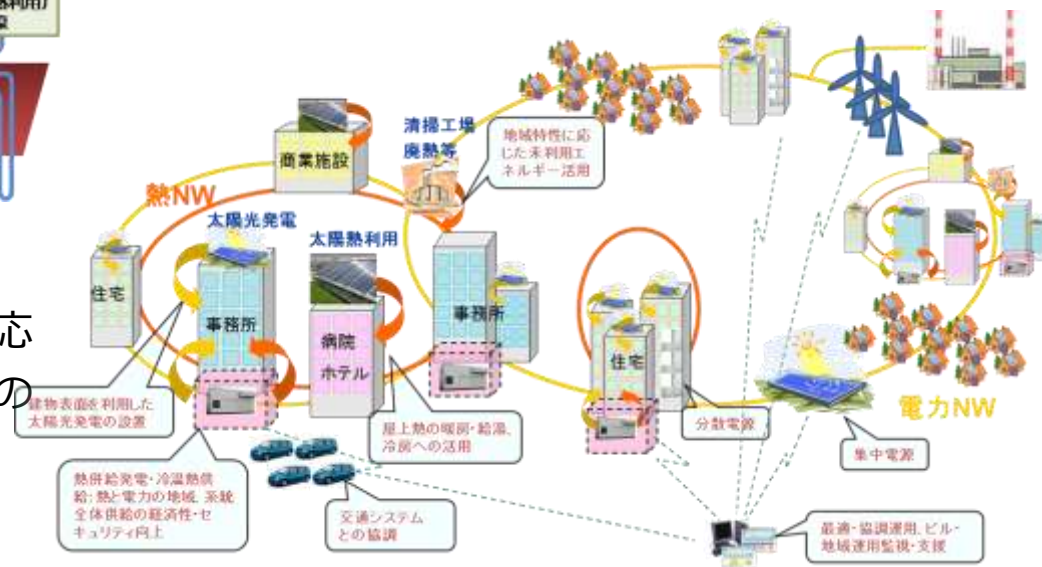
- 従来の電力システムは、発電→送電→配電→**受動的需要**で構成されており、**電力の流れも一方向**である。
- 調整可能な需要、分散電源、プラグイン電気自動車、蓄電池などの導入と、スマート・グリッドの導入により、**需要が能動的、電力の流れも双方向**になる。
- **集中/分散のエネルギーマネジメントの協調**は、電力システムの柔軟性を高め、カーボンフリー、低カーボンのエネルギー供給を可能にする。
- 需要の能動化による新たな情報とデータは、**エネルギー関連および非関連の新しいサービスと新しい製品**を生む。
- しかし、より高度なビジネスの実現のためには、**エネルギーとしての必要仕様を超えたICTインフラの整備**が必要。

持続可能な社会へ：住宅・地域の将来像を描く



- 省エネ、快適性に加えて系統との協調の機能
- PV、太陽熱、地中・空気熱などの最大活用
- 分散エネマネと宅内情報技術の標準化、低価格化がカギ

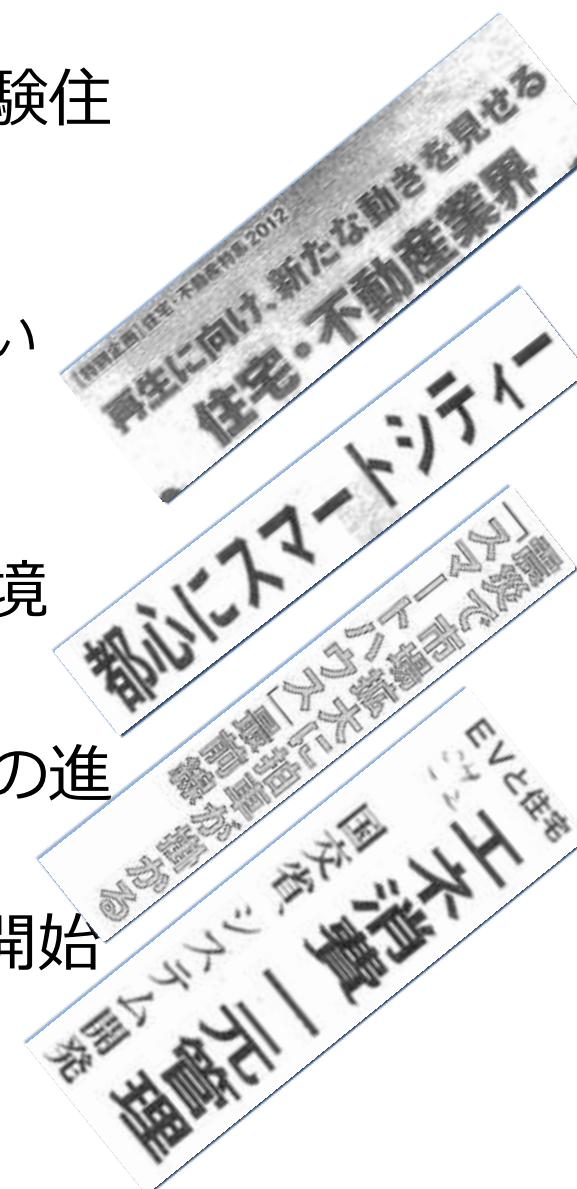
- 自然環境、世帯構成などの多様性への対応
- 多様な技術の最適な組み合わせの考え方の早期確立
- 機器の総合的な運用の考え方の早期確立



スマートハウスに関連する国内の動き

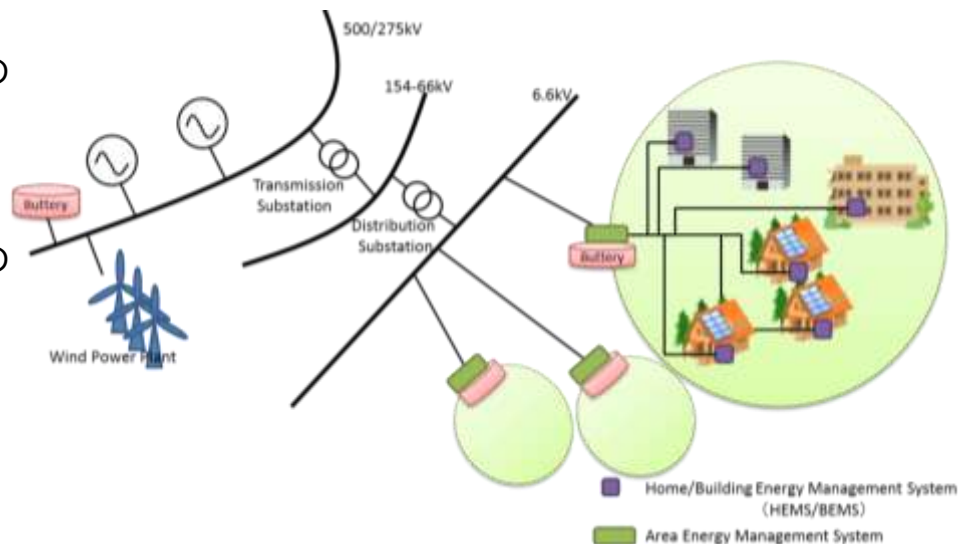
- 住宅メーカー、家電メーカーが多数の実証試験住宅を建築
 - 特定のメーカーの組み合わせが多い
 - 創エネ、省エネ、蓄エネ設備、見える化が多い
- 震災後電池の活用が主に
 - 節電を意識
- 家単体から地域単位あるいはクラウド環境
- 実証から販売へ
- スマートメータ、宅内機器通信の標準化の進展
- 経産省補助事業によるHEMSの設置補助開始
- HEMS, HEMS対応家電の商品化の進展

⇒既築への取り組みも重要



持続可能な社会へ：スマート コミュニティ/シティ

- エネルギー分野で見たSmart Communityとは、エネルギーをコミュニティ単位で管理することを意味する。
- Smart Communityには二つのタイプがある：
 - 1)全体のエネルギーシステムのサブシステム、
 - 2)独立して運用される小規模なエネルギーシステム。
- 理想的には、流通の制約がなければ、領域を広げるほど、エネルギーシステムをより経済的にそして信頼性の高いものにできる。
- しかし、現実には流通設備の制約、機器の制御性の制約、セキュリティなどの制約がある。
- Smart Community は、コミュニティ内の住宅や業務用建物、交通、産業などをエネルギーマネジメントにより管理し、最適化するものである。
- Smart Community は、コミュニティ内のエネルギー資源、外部との輸出入を活用して、エネルギー供給を最適化する。

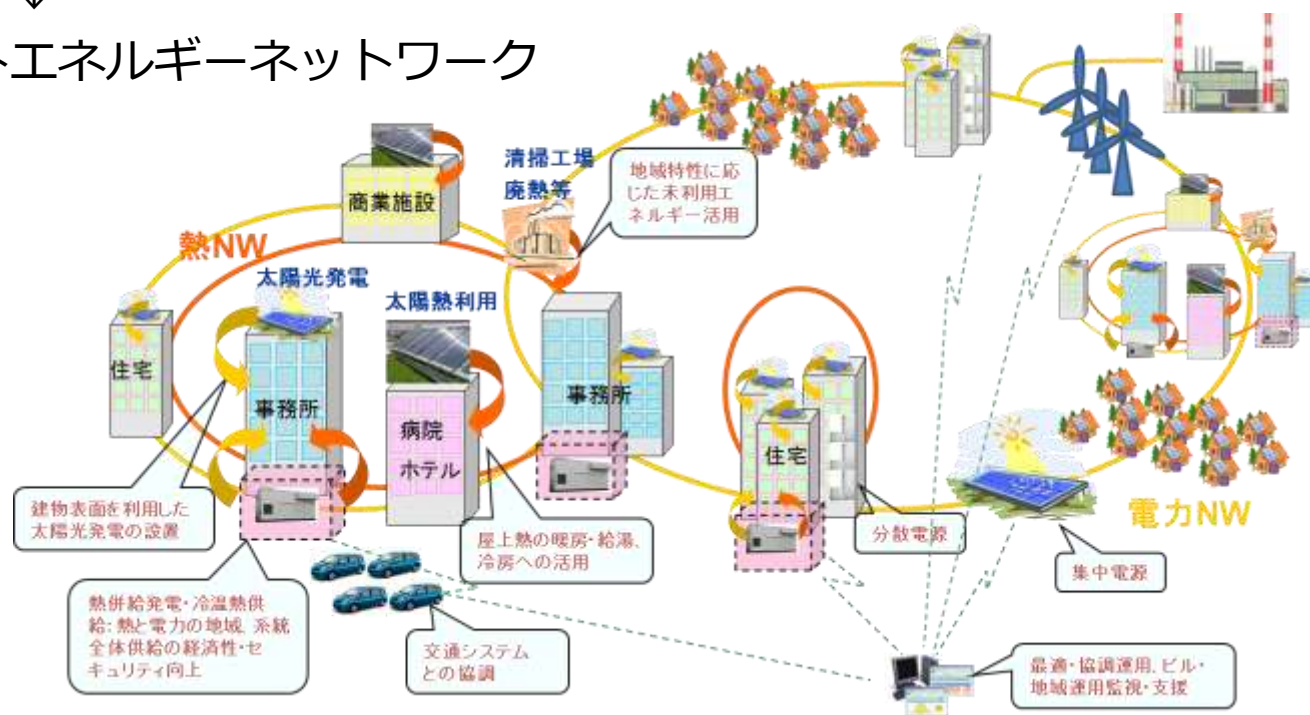


持続可能な社会へ：スマートエネルギーネットワーク

- 再生可能エネルギー、未利用エネルギーの最大活用とエネルギー需給・サービス供給全体での経済性、セキュリティ、効用の最大化を目指す。
- 都市においては、エネルギー/ユーティリティネットワークの構築、ビル・地域運用監視・支援のもと、最適・協調運用を行う。
- 種々の再生可能エネルギー（太陽光・太陽熱）を分散した発生場所から消費場所へ輸送、双方向での輸送・貯蔵、利用、そのための計測、制御が必要



スマートエネルギーネットワーク



4. エネルギーシステムインテグレーション

Energy Integration

- エネルギーは、すべての人類の活動の基礎となる。エネルギーの制約は人類の効用（経済活動，生活の質）レベルに直結する。
- 将来のエネルギー需給構造を考える際には，資源制約，環境制約，技術や社会経済などの不確実性を視野に入れ，**持続可能性のもと、経済性、安定性、安全性の確保**が必要。
- 持続可能なエネルギーの安定な需給構造を実現する鍵は，**技術，制度，人間の対応**の組み合わせ。
- エネルギー技術，制度，ライフスタイルの確立・改善には，研究開発，導入普及，インフラ整備，教育研修など**長期的視野が必要**
- 実際の取り組みでは，各種制約の時期や大きさ，各時点での社会システムの状況などにより様々な選択肢があり，技術，制度，人間の対応のそれぞれの役割には大きな**多様性と不確実性**が存在
- 様々な取り組みを効率的かつ効果的に進めるため，**最大範囲の最適化「エネルギーシステムインテグレーション」**を行うことで、エネルギー技術，制度，人間の対応の将来の姿を描き，その実現に向けて着実に取り組むことが重要

エネルギーシステムの最大範囲での最適化

- エネルギーシステム全体をイメージして、家→コミュニティ→ネットワーク→日本→世界と地理的な拡大、従来の供給側に加え需要側、ネットワークを取り込み、対象とするエネルギーを電気、ガス、燃料とするなど、より範囲の広い最適化で、より有利な解決法が得られる。
- しかし、実際には技術的、制度的、安全上などの制約が存在する：
 - 1)技術的制約：配電網、送電網、系統間連系線、
 - 2)制度的制約：分散電源の連系規則、家庭の契約、配電線の電圧変動、系統全体の需給バランス、系統間の連系線、国外との連系など。
 - 2)セキュリティ制約：自然災害や悪意による妨害などに対し安全であること。
- 家、コミュニティ、自動車など様々な需要クラスター毎の分散エネルギーマネジメントによる需要の能動化と新しい需給構造に向けた流通設備の最適化を導入することは今後の重要なオプション。

震災による計画停電からの教訓も活かすことが重要

- 更に立ち戻るべき点は、人間・社会が必要とするのは、エネルギーそのものではなく、快適な温湿度の空間、や高い生産性など、サービスであるということ。

今後再認識すべき視点：エネルギーネットワーク

- 送配電、ガスパイプライン、燃料輸送網など、エネルギーの形成は、エネルギーインテグレーションに重要。
- 50Hz/60Hz間を含む電力系統間連系、配電電圧など、ネットワークの要件は需給のあり方により変化する可能性あり。
- 電力網、ガスパイプライン、燃料輸送網などは、それぞれ平常時の効率と、非常時のセキュリティ確保など複数の視点からの形成が必要。
- ネットワークは、発電所などの「点」の設備に比較し「線」の設備である。形成に長期を要することや、妨害に対する脆弱性などに留意が必要。

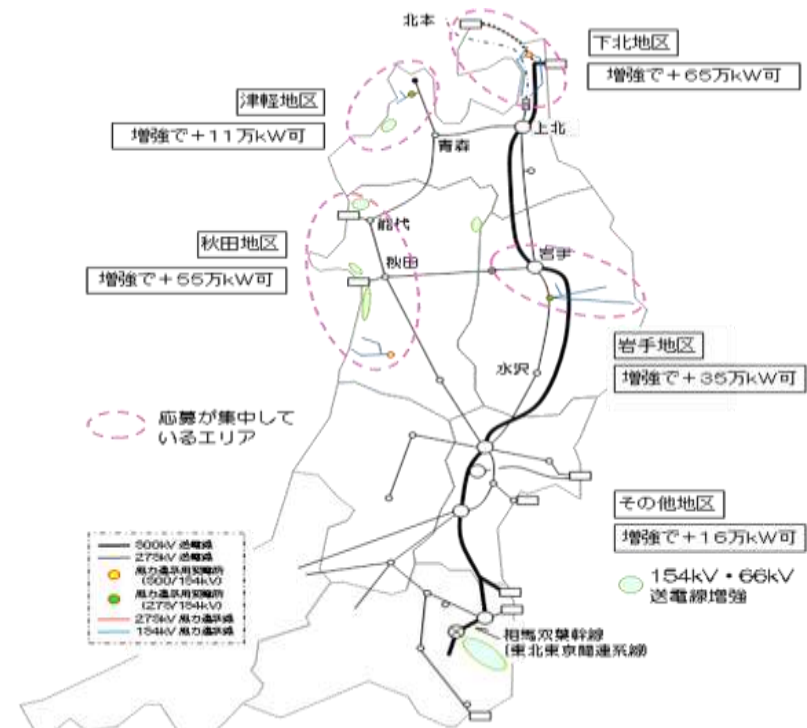


地域間連系線等の強化MP 地域送電網の増強モデル



Option	対象地域	対策後の連系可能量	現在の連系可能量	既連系量	増強費用試算
Option 1	北西部	約217万kW	約20万kW(※)	約10万kW	約1,450億円
Option 2	北東部	約102万kW	約0.5万kW	約0.5万kW	約900億円
Option 3	留萌・オホーツク	約74.5万kW	約8.5万kW	約5.5万kW	約550億円
合計		約393.5万kW	約29万kW	約16万kW	約2,900億円

追加的連系可能量 (約377.5万kW)

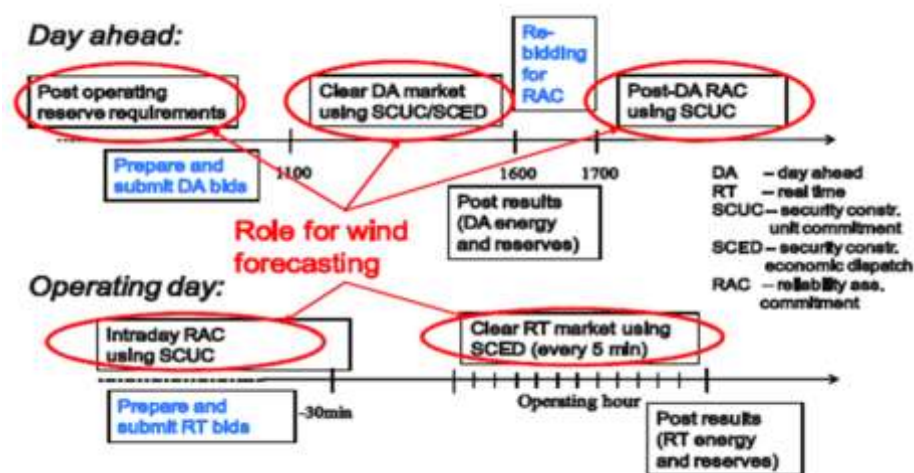


Option	対象地域	対策後の連系可能量	現在の連系可能量	既連系量	増強費用試算
Option 1	下北半島	約84.5万kW	約64.5万kW	約34万kW	約123億円
Option 2	津軽半島	約50万kW	約50万kW	約21万kW	—
Option 3	秋田沿岸、酒田・庄内	約87.5万kW	約79.5万kW	約28万kW	約79億円
合計		約222万kW	約194万kW	約83万kW	約202億円

追加的連系可能量 (約139万kW)

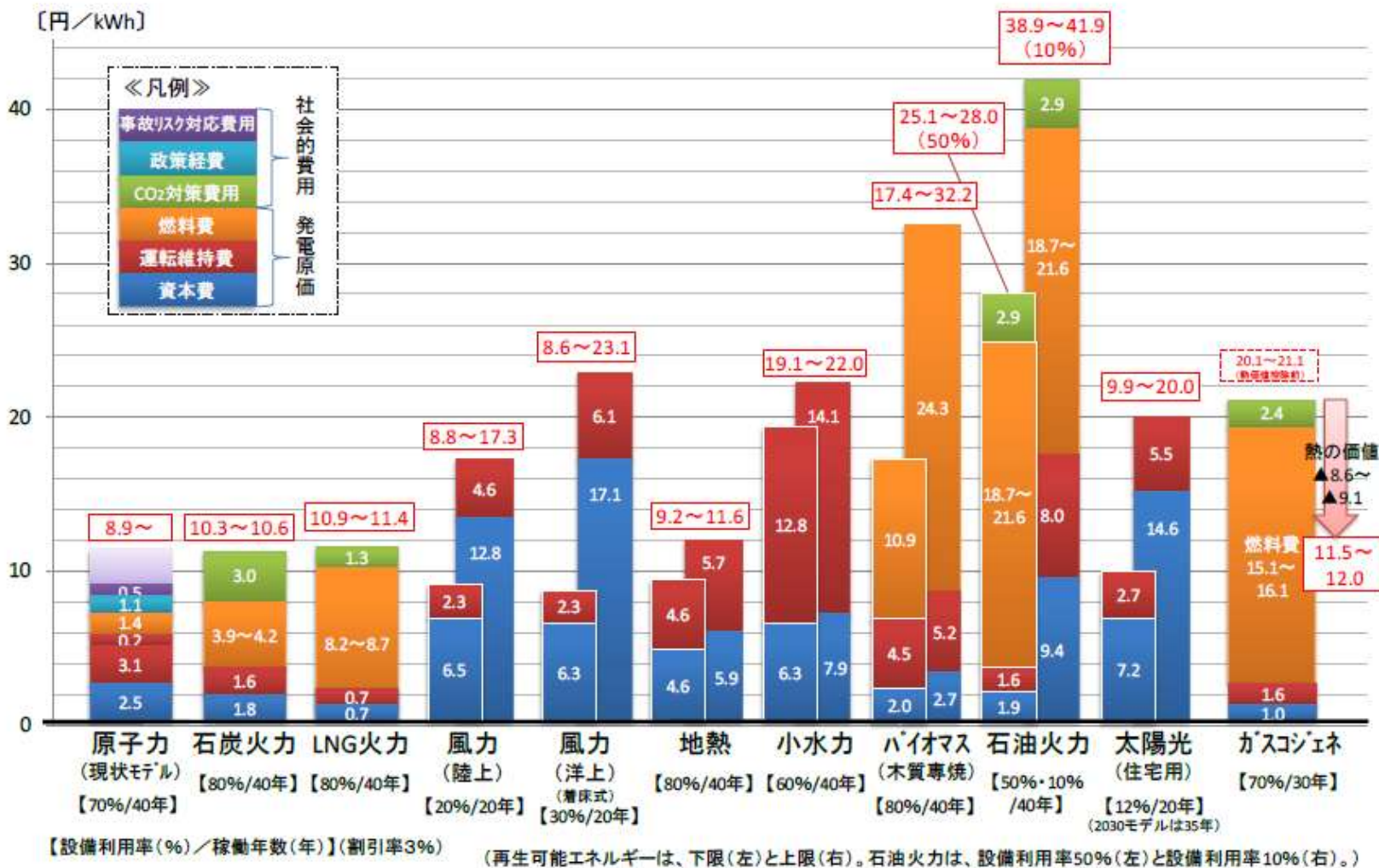
運用の高度化と制度変革の必要性

- 再生可能エネルギー発電、原子力発電などのゼロカーボン電源が増加し、需給調整力に優れる化石燃料発電が減少する電力システムでは、需給調整力確保のため、既存システムの運用の高度化に加え、需要が能動化されるなど、現在とは大きく異なる姿となる。
- 現在日本および欧米のすべての電力市場、システム運用は、電力システムの需給特性の変化に応じ、徐々に変革してゆく必要がある。
- 不確定でかつ変動する再生可能エネルギー発電を大量に導入するためには、それぞれの発電特性を分析し、システム運用に発電量や変動量の予測を取り入れ、多数の需要の調整と再生可能エネルギー発電の抑制制御と連動するなどの高度化が不可避。
- 関連する諸制度は、これらの特性を反映したものでなければ



米国Midwest ISOの市場運用スケジュール
(風力発電予測を取り入れた前日と当日運用)

コスト等検証委員会：おもな 電源の発電コスト



(図 37) 主な電源の発電コスト (2030年モデルプラント)

エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会 報告書 (2011.12)

4. エネルギーインテグレーション

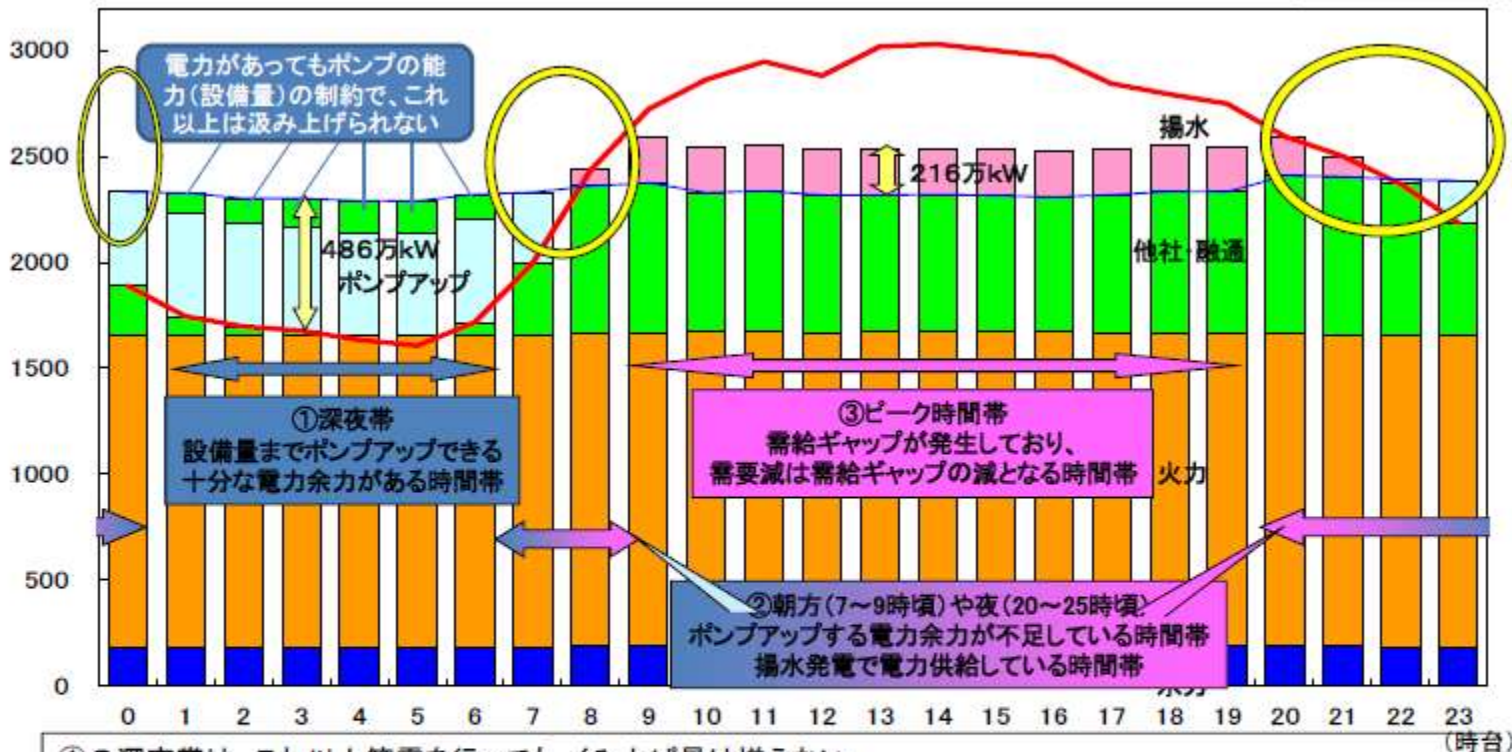
コスト等検証委員会：コストと並んで量が重要

		既設	導入ポテンシャル（既設+新增設）		導入可能量（新增設）	
太陽光	住宅	263万kW	戸建住宅・集合住宅の屋根・屋上 6500万kW	戸建住宅・集合住宅の屋根・屋上・側壁 9100万kW	自家消費が中心で、発電事業の観点からの普及の過程にあることから、実績を積み重ねた段階での試算が望ましい。	
	非住宅	260万kW	公共系建物・業務分野・産業分野の屋根・屋上 2030万kW	公共系建物・業務分野・産業分野最終処分場・交通・運輸分野・耕作放棄地等にできる限り設置（壁面を含む。） 1億5000万kW	FITの導入を前提とした試算例（48円/kWh×20年、事業収益率8%）0kW 発電事業としての検討・実績事例が少ないことから、個別の検討等が進んだ段階でのさらなる試算が望ましい。	
風力	陸上	244万kW	2億8000万kW / 2億9000万kW (自然公園2・3種地域・普通地域・国有林も開発不可とした場合 1億5000万kW)		20円/kWh×15年 事業収益率8%と仮定した場合 1億kW / 1億kW	左記仮定の下での試算に、自治体の導入意欲係数(52%)と社会的受容性係数(75%)を乗じた場合 3900万kW (さらに、自然公園2・3種地域・普通地域・国有林も開発不可とした場合 2300万kW)
	洋上		15億kW / 16億kW (共同漁業権区域のみ設置可とした場合 4億kW)		20円/kWh×15年 事業収益率8%と仮定した場合 17万kW / 4500万kW 水深50mでは 59万円/kW 水深50mでは 45万円/kW	左記仮定の下での試算に、自治体の導入意欲係数(52%)と社会的受容性係数(75%)を乗じた場合 1300万kW (さらに、共同漁業権区域のみ設置可とした場合 600万kW)
中小水力		960万kW (550億kWh)	1400万kW / 2000万kW 建設単価の高い地点を除外		20円/kWh×20年 事業収益率8%と仮定した場合 0万kW	石油火力の経費以下となる地点(事業収益率を見込んでいない) 250万kW
地熱	熱水資源開発	53万kW	150℃以上 国立・国定公園の特別保護地区・特別地域を除く。 430万kW	53℃以上 左記区域を除きつつ、国立・国定公園等の外縁部から内側1.5kmの地下も対象 1400万kW	NEDO調査を基に資源量密度の高い地域に絞り込んだ試算(2009年当時補助金下での発電原価9.2~21.7円/kWh×15年 事業収益率0%) 95万kW	20円/kWh×15年 事業収益率8% 国立・国定公園等の外縁部から内側1.5kmの地下も対象と仮定した場合 360万kW
	温泉	0万kW	72万kW		20円/kWh×15年 事業収益率8%と仮定した場合 68万kW	
バイオマス		154万kW	林地残材・家畜排せつ物・農産物非食用部・食品廃棄物 73万kW		発電事業としての実績事例が少ないことから、個別の検討等が進んだ段階で、試算が行われることが望ましい。	

※表の数字のうち赤字は環境省調査、青字は経産省調査、緑字は農水省試算より引用。これらの数字は、前提の異なる各省の調査結果の一部を引用したものであり、単純に比較することはできないが、分かりやすさの観点から、各省横断的視点で再整理したもの。

需給検証委員会：電力需給に関するリテラシー向上

(万kW) 揚水の供給力改善に効果がある節電効果の時間帯(関西電力の例) 資料1-2



- ①の深夜帯は、これ以上節電を行っても、くみ上げ量は増えない。
- ③のピーク時間帯は、節電による需要減は、需給ギャップの減少とはなるが、揚水の供給力には影響しない。
- ②の朝方(7~9時頃)や夜(20~25時頃)については、節電による需要減が、ポンプアップしている時間帯はくみ上げ量の増加、揚水発電している時間帯は必要発電量の減少(→ピーク時間帯に発電できる量の増加)に寄与する。



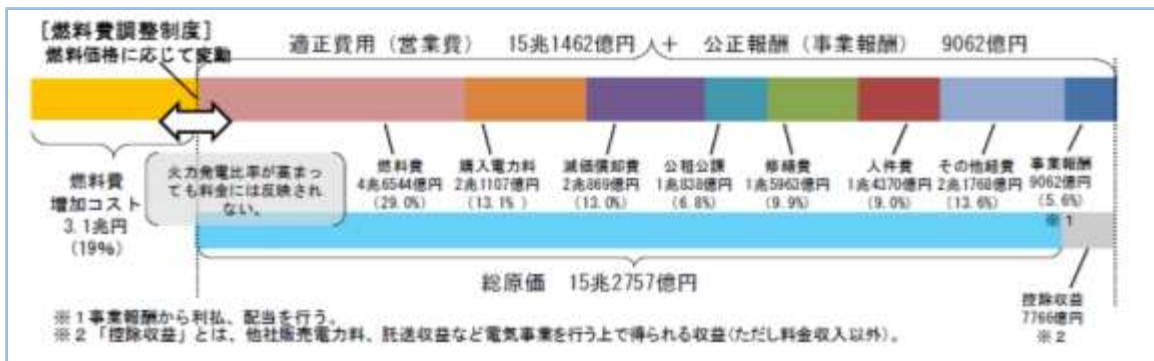
以上から、揚水発電の最大活用を目指す場合、現在の関電、四国を除く各社の揚水供給力の見通しは、上部ダムは満水可能という前提となっており、これ以上の深夜電力での汲み上げは効果がない。但し、朝方(7~9時頃)や夜(20~25時頃)に、いずれの地域でも、節電を行うことにより、融通も組み合わせることで、需給ひっ迫地域のピーク時の需給状況の改善効果が期待できる。これまでにピークシフトを行い、需要を昼から朝方(7~9時頃)や夜(20~25時頃)にシフトしている需要家にとってはさらなる節電を行うことは厳しい。他方、朝方(7~9時頃)や夜(20~25時頃)では、需要の抑制でも、安定した供給力の増加でも、揚水の活用は進むことになる。

需給検証委員会：本当の問題はどこにあるのか

表5-3 燃料費増加の見通し

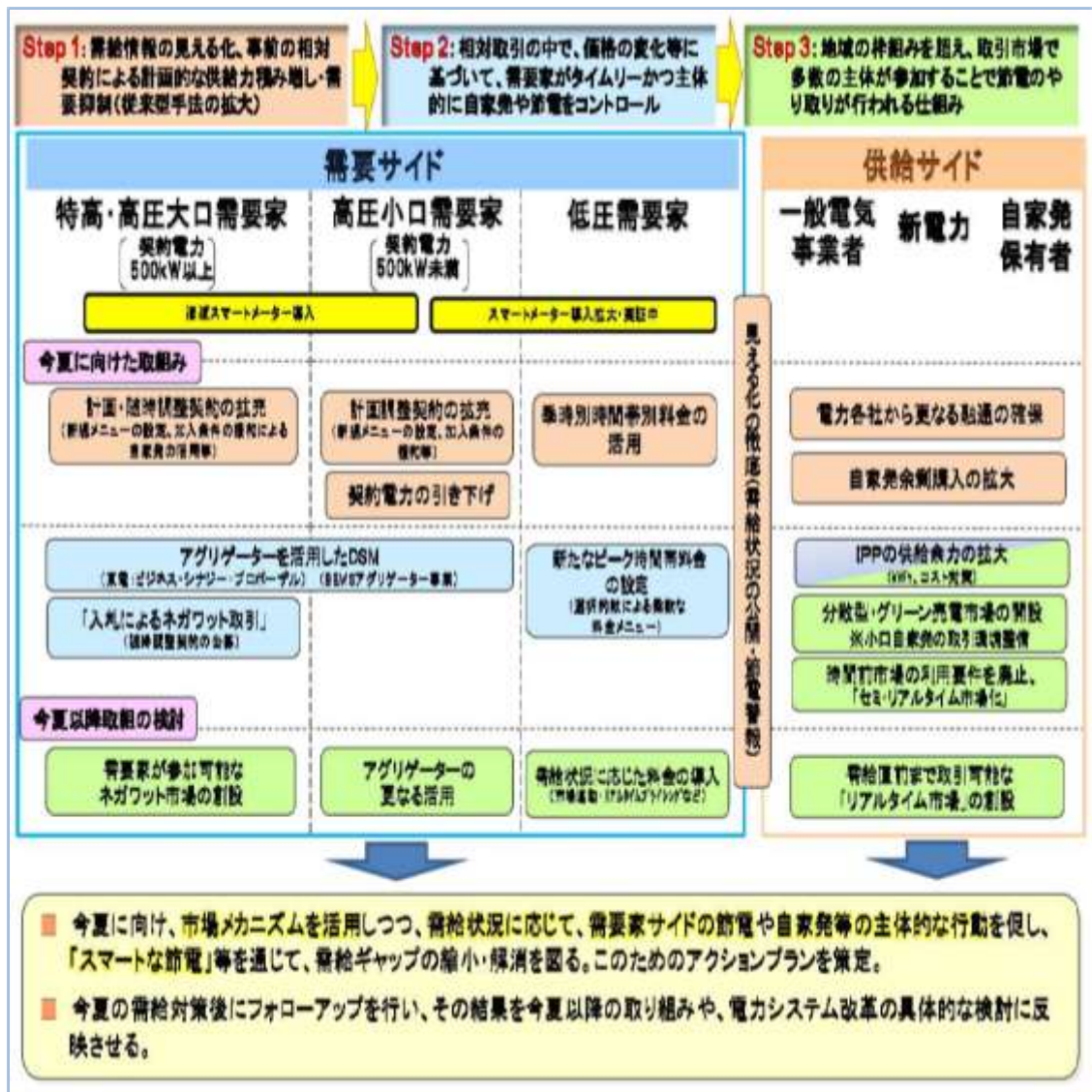
電力9社計	22年度実績	23年度実績	24年度推計	
			燃料価格横ばい	油価上昇の場合
総コスト	約14.6兆円	約16.8兆円	約17.6兆円±α	約17.9兆円±α
燃料費	約3.6兆円	約5.9兆円	約6.7兆円±α	約7兆円±α
うち原発停止による燃料費増	—	+2.3兆円 内訳 LNG +1.2兆円 石油 +1.2兆円 石炭 +0.1兆円 原子力▲0.2兆円 ※発電実績に基づく試算	+3.1兆円 内訳 LNG +1.4兆円 石油 +1.9兆円 石炭 +0.1兆円 原子力▲0.3兆円	+3.4兆円 内訳 LNG +1.5兆円 石油 +2.1兆円 石炭 +0.1兆円 原子力▲0.3兆円
燃料増が総コストに占める割合(%)	—	約14%	約18%	約19%
原子力利用率	66.8%	25%	0.2%	

※油価及び為替については、22年度が1バレル=84ドル、86円/ドル、23年度実績及び横ばいのケースは1バレル=114ドル、79円/ドル。油価上昇ケースでは、24年3月実績が1バレル=121ドル、81円/ドル(23年度実績比+9%)と上昇傾向であることを踏まえ、23年度実績からLNG、石油価格が1割上昇すると仮定。



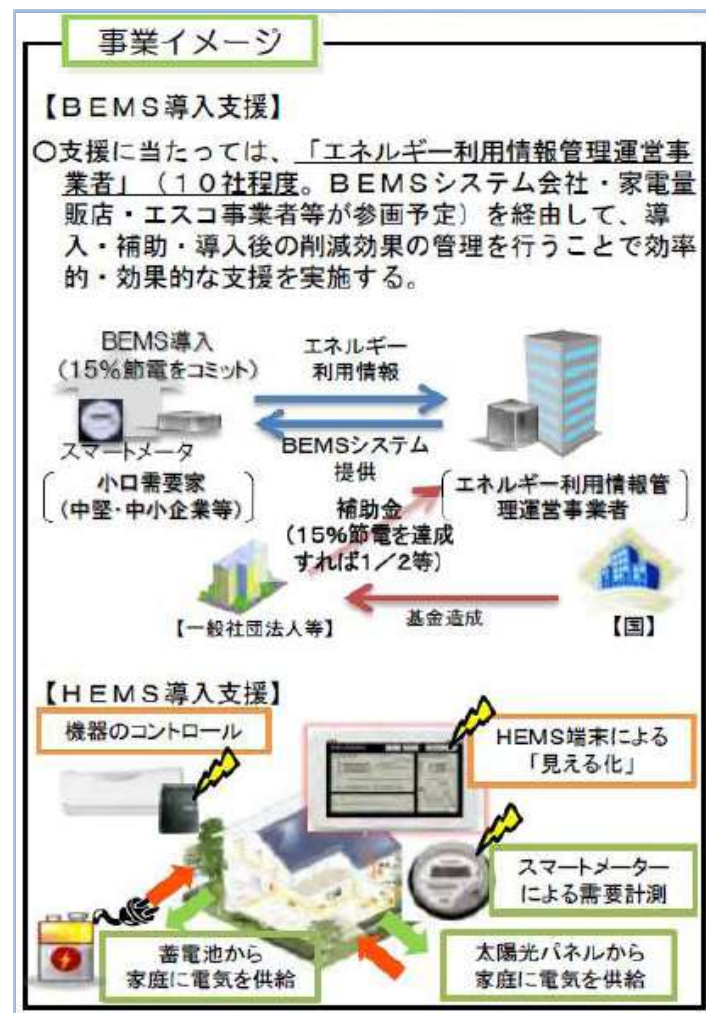
エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会 報告書 (2012.5)

需給検証委員会：ピーク電力対策への今後の取り組み



需要の能動化の実現に向けて

- 工場、ビル、住宅におけるエネルギー需給において、FEMS、BEMS、HEMSにより、見える化や制御による能動化で、快適性・生産性の維持・向上、省エネ、に加え、電力システム全体あるいはローカルな需給調整を行い、平常時あるいは非常時のエネルギー需給を高度化することが志向されている。
- 分散エネマネと機器、スマートメータなどとの通信の規格統一、制御方式の標準化などにより、需要の能動化が進む。
- 現在進められている様々な技術開発、制度整備により、経済性を維持しつつ、電力需給への貢献が期待される。



平成23年度第三次補正
「エネルギー管理システム
(BEMS・HEMS)導入促進事業」

電力分野のスマグリ実証

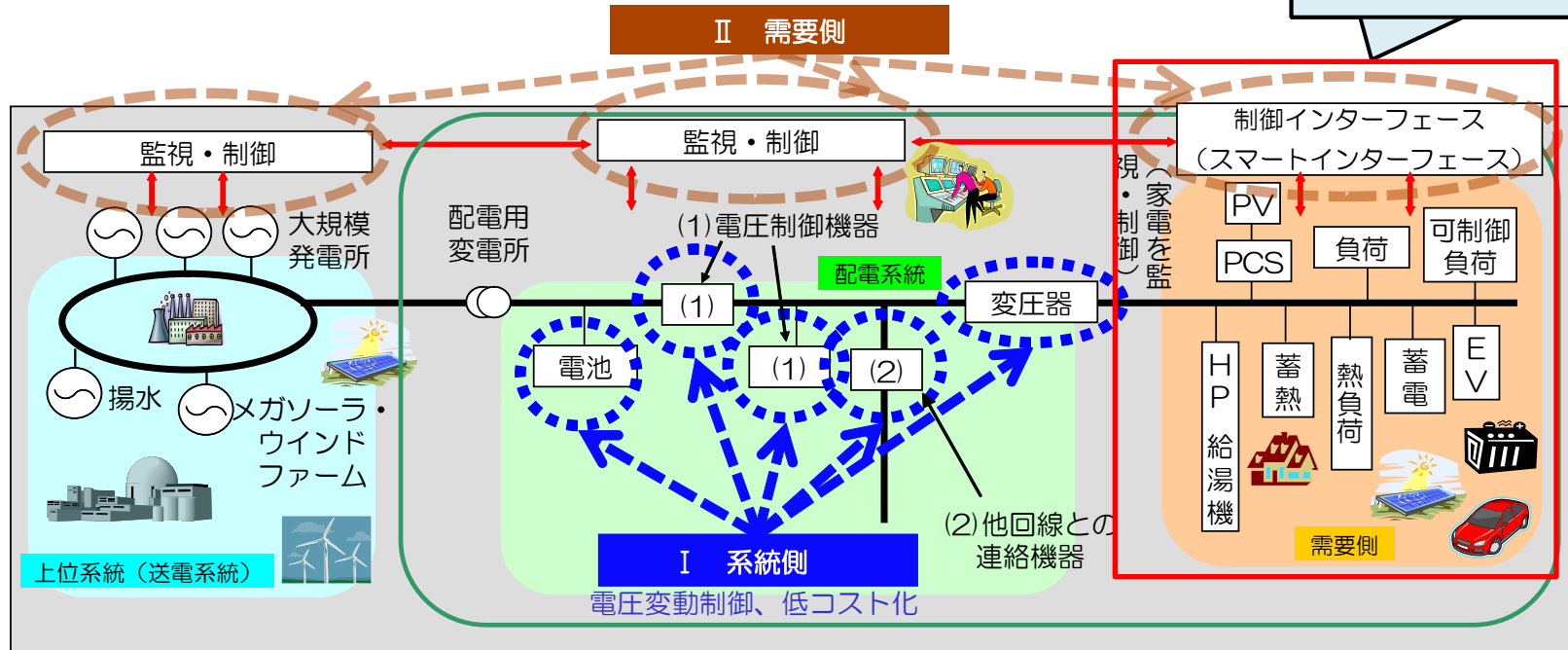
「平成22年度次世代送配電系統最適制御技術実証事業」

経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課公募案件(H22~H24)

- 大規模電源から家庭までの全体制御・協調による高信頼度・高品質の低炭素電力供給システムの実証
- 太陽光発電の大量導入に対応し、下記4つの技術開発課題（系統側，需要側）に取り組む。
 - I 系統側：①配電系統の電圧変動抑制技術の開発
 - ②次世代変換器技術を応用した低損失・低コストの機器開発
 - II 需要側：③系統状況に応じた需要側機器の制御技術の開発
 - ④系統全体での需給計画・制御，通信インフラの検討

日本、世界の住宅、ビルに普及可能な家電など製品体系の創出

系統状況に応じた太陽光発電と需要側機器の協調制御

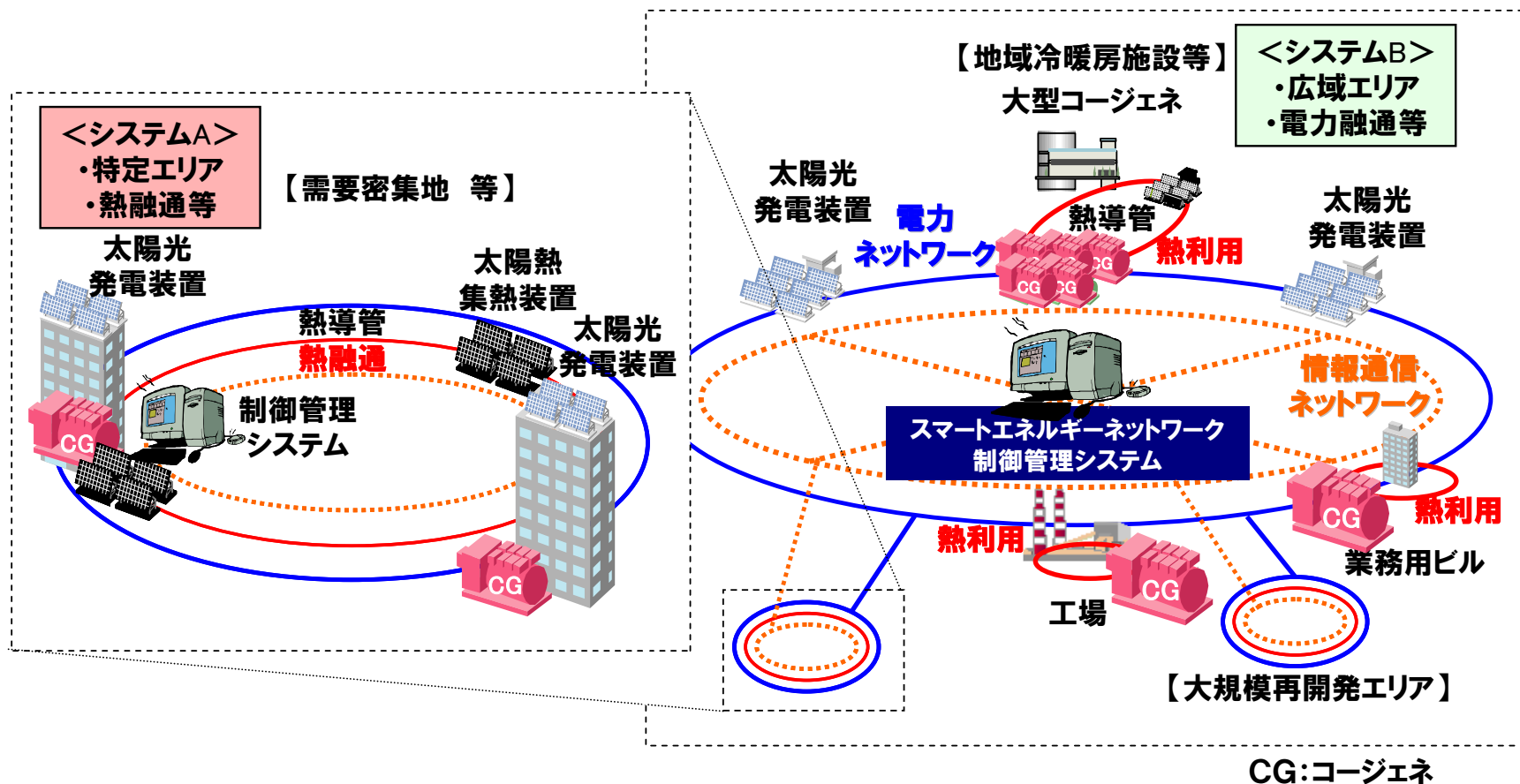


「熱」を加えたガス分野のスマグリ実証

分散型エネルギー複合最適化実証事業

熱の利用に着目したスマートエネルギーネットワーク実証事業

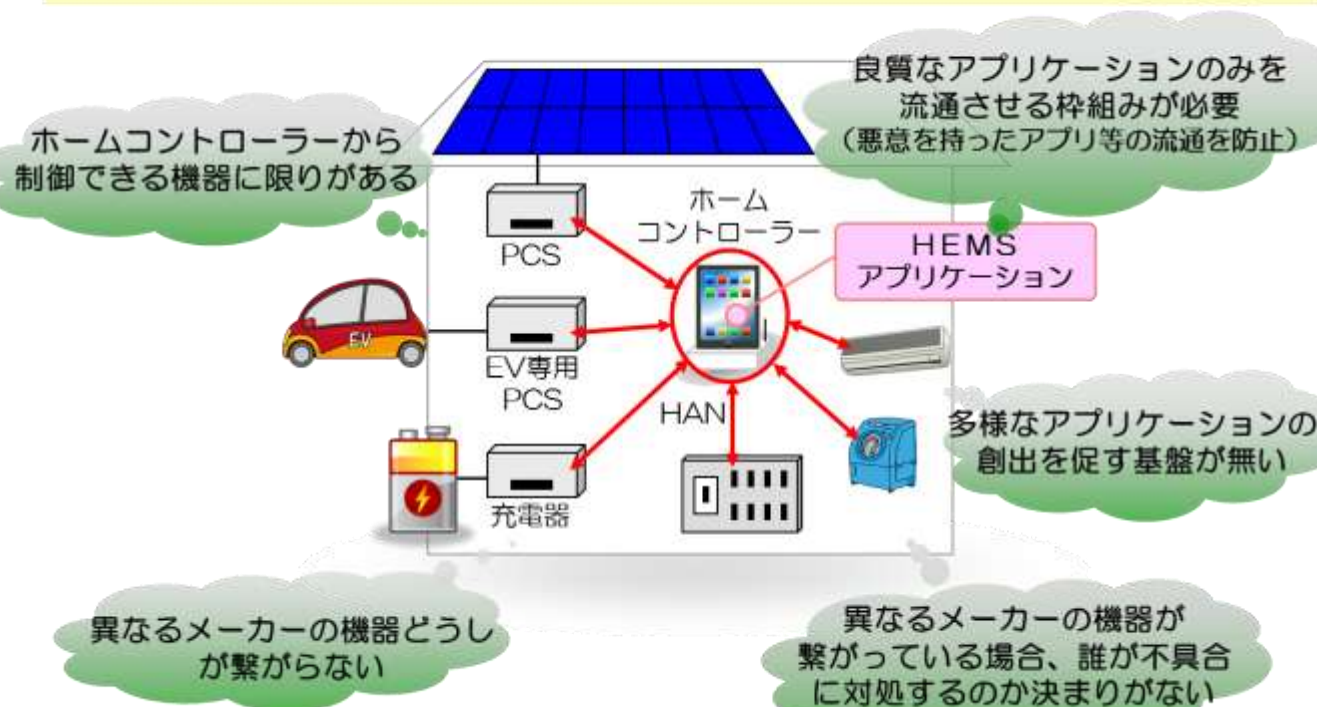
分散型エネルギーシステムに再生可能エネルギー、未利用エネルギーを大幅に導入して情報通信技術の活用によりエネルギー需給を最適に制御



HEMSアライアンス

- 広く家庭内におけるエネルギーの最適利用を促進するためには、今後、メーカー各社が開発する高機能なスマート家電群（EVを含む）を、ホームコントローラーやHEMSアプリケーション（プログラム）などICTを活用することによって相互に接続し、各機器の使用状況の可視化や自動制御を通じた家庭全体での電力需給最適制御の実現が不可欠。
- HEMSアプリケーションからスマート家電群への制御のあり方に関する課題をはじめ、HEMSアプリケーションの開発・流通、スマート家電の保守などに必要な仕組み作りなど、各社共通の課題に関して検討を進めるとともに、“安全”をキーワードとしたHEMS市場確立に向けた課題解決に取り組む。

技術標準規格はもちろん不可欠ですが、スマートハウスの実現には、さらなる課題解決が必要です！



アライアンスメンバー

- KDDI株式会社
 - シャープ株式会社
 - ダイキン工業株式会社
 - 東京電力株式会社
 - 株式会社東芝
 - 日本電気株式会社
 - パナソニック株式会社
 - 株式会社日立製作所
 - 三菱自動車工業株式会社
 - 三菱電機株式会社
- 以上10社（五十音順）

【顧問】

- 荻本和彦 東京大学特任教授
- 稲垣隆一 弁護士

東京大学のスマートハウス実証

・東京大学とLIXILグループは、2020年に広く普及するスマートハウスを目指し、エネルギーマネジメントの実証実験を、実験住宅『COMMAハウス（コマハウス）』（COMfort MAnagement ハウス）にて共同で実施します。『COMMAハウス』とは、いえ・もの・情報・ライフスタイルを統合して、快適性・省エネ性を実現し、持続可能エネルギーの最大導入に貢献する住宅を、2020年に広く普及させることを目指し、さまざまな実験を行なうための住宅です。気密・断熱・耐震機能に優れた構造体に、風・光・熱をコントロールする開口部材や、太陽光発電・太陽熱利用機器・省電力照明（LED・有機EL）・HEMS*1を備えています。

・『COMMAハウス』は、特定メーカーによる機器の利用状況の見える化や省エネルギー制御といった機器中心の考え方にとどまらず、建物そのものの特性やプランニングを活かし、住宅としての性能、意匠性を維持しつつ、そこで暮らす人の快適性を最適なエネルギーコントロールで実現することを狙います。さまざまなメーカー、異業種の機器の協調運用ができるオープンなシステムで実験を行い、蓄積したデータをライフスタイル提案に活用するなど住まい手を巻き込んだ取り組みを進めます。東日本大震災による教訓を活かし、分散電源やエネルギー貯蔵などの自立性の確保についても検討していきます。

*1) HEMS (Home Energy Management System) :センサーやITを活用し、住宅のエネルギー管理を行うシステム



COMMA ハウス外観

【本件に関するお問い合わせ先】

<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/publication/press.html#2011/08/18>

ご清聴ありがとうございました

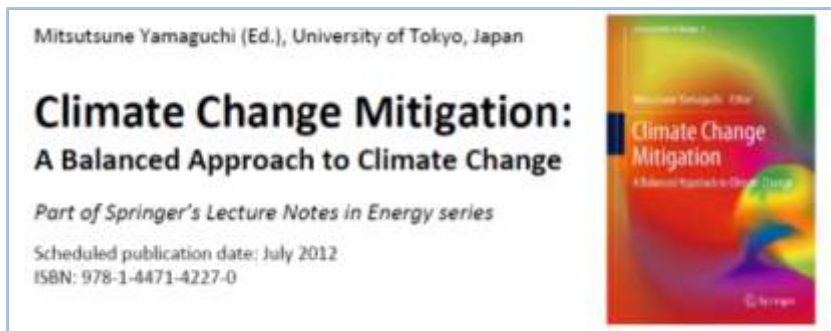
東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター
荻本研究室ホームページ

<http://www.ogimotolab.iis.u-tokyo.ac.jp/>



Nipponn.comで「日本の長期電力需給の可能性とエネルギーインテグレーション」を日英で公開中です。
<http://nippon.com/ja/in-depth/a00302/>

日経BP社 | **ECO JAPAN** で「低炭素型エネルギーシステムの将来像」を連載しました。最終回の「第12回 持続可能な世界を目指すこれからのエネルギー計画」までを公開中です。
<http://eco.nikkeibp.co.jp/article/column/20110328/106234/>



「シナリオ選択のインパクト」を、2012.7発刊のSpringer のLecture Notes in Energyに掲載しました。