

新エネルギー財団
IEA水力実施協定国内報告会

エネルギーシステムインテグレーション -電力システムの進化への水力貢献-

2014年2月25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

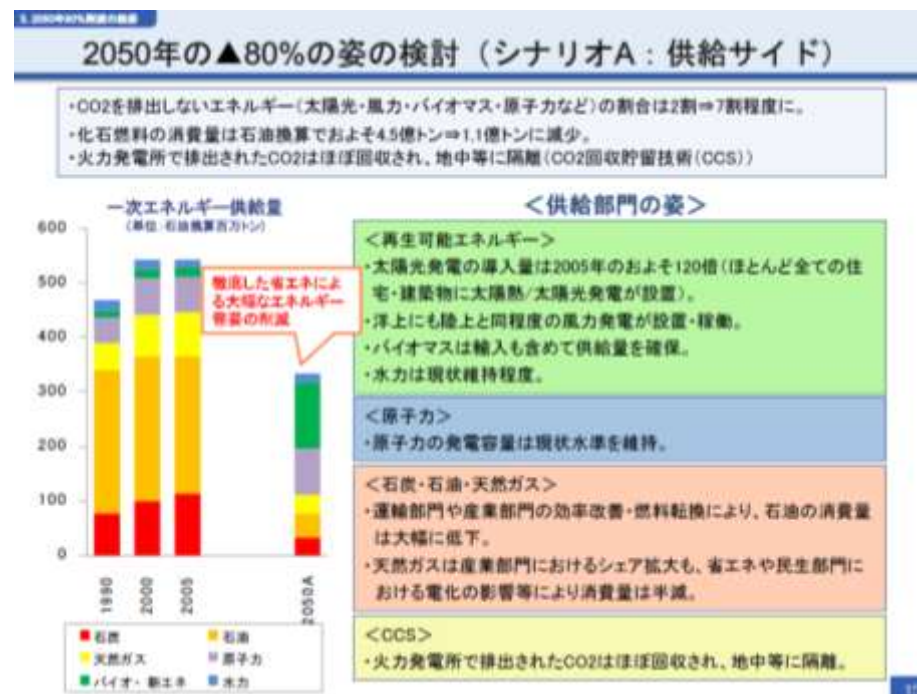
1. シナリオ選択のインパクト
2. Variability : 需給調整力不足の課題
3. Flexibility : 需給調整力向上への挑戦
 - 電源、需要、流通・系統間連系、運用高度化、市場-
- 3.1 需要の能動化
4. 電力市場の課題
5. 水力の新たな取組
6. 他山のソウ

長期のエネルギー需給：ビジョンと計画

- ✓ 10年、20年後を考えるためには、より長期を見通すことが必要。
- ✓ 持続可能性のもと、資源制約、環境制約、国際的な社会経済活動、産業競争力など、広範な視点に基づく方針決定が重要
- ✓ 計画策定と実施にあたっては、エネルギー基本計画などブレない方針が重要



資源エネルギー庁
エネルギー基本計画試算(2010)



環境省
2050年のCO₂▲80%の姿の検討例(2012)

解析条件:需要と電源設備構成

◆解析期間: 2013-2030

◆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

中期的には電力会社の計画など公開情報を参考にし、長期的には独自想定。

需要は、気温による変化、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: 各システムに最小容量を残し、その他は寿命に従い廃止

連系線の運用: 想定による設定

PV、風力は2010年の気象に基づく毎時の変動、水力は毎月の変動を反映

◆解析ツール: ESPRIT

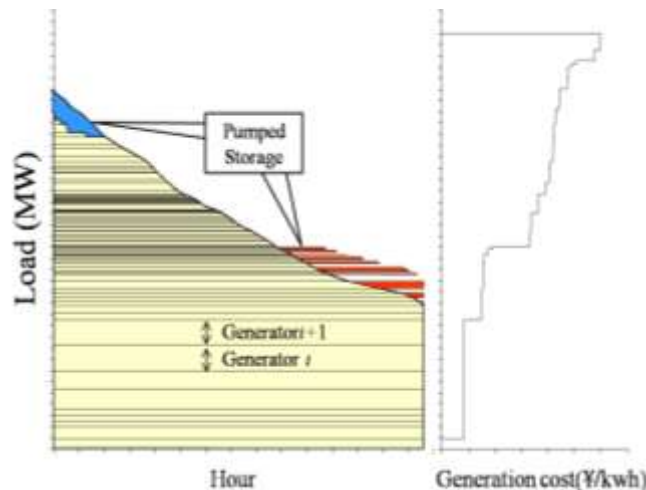
陳,池田,東,石関,境,中村,鈴木,荻本:Benders分解法による連系系統の最適電源開発計画,
電気学会論文誌B,Vol.113-B,No.6,p643-652 (1993)

荻本,大関,植田:太陽光発電を含む長期電力需給計画手法,
電気学会論文誌,Vol.130-B, No.6,p575-583 (2010)など参照

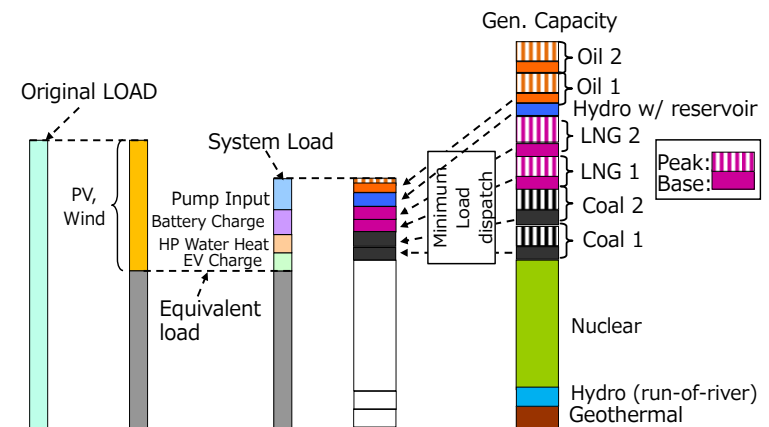
発電機の負荷配分

- 10電力システム別の各月の負荷持続曲線に対し、
 - 発電機の事故の影響を織り込んだ等価負荷持続曲線を作成
 - 等価負荷持続曲線に対して、発電機の投入方法（負荷配分）
 - ◆流れ込み水力、地熱、原子力：ベース電源として優先的に投入
 - ◆火力：発電単価（燃料費など）の安い順に投入
 - ◆貯水池式水力：発電可能電力量を制約として投入
 - ◆揚水：揚水メリットに基づき運転を決定

- 次に、各1日の毎時について、需給調整力の充足をチェックし、発電機の部分負荷運転と追加起動、揚水の稼働を決定して、抑制電力量を低減する。



負荷持続曲線による経済負荷配分



需給調整力評価を含む電源運用分析

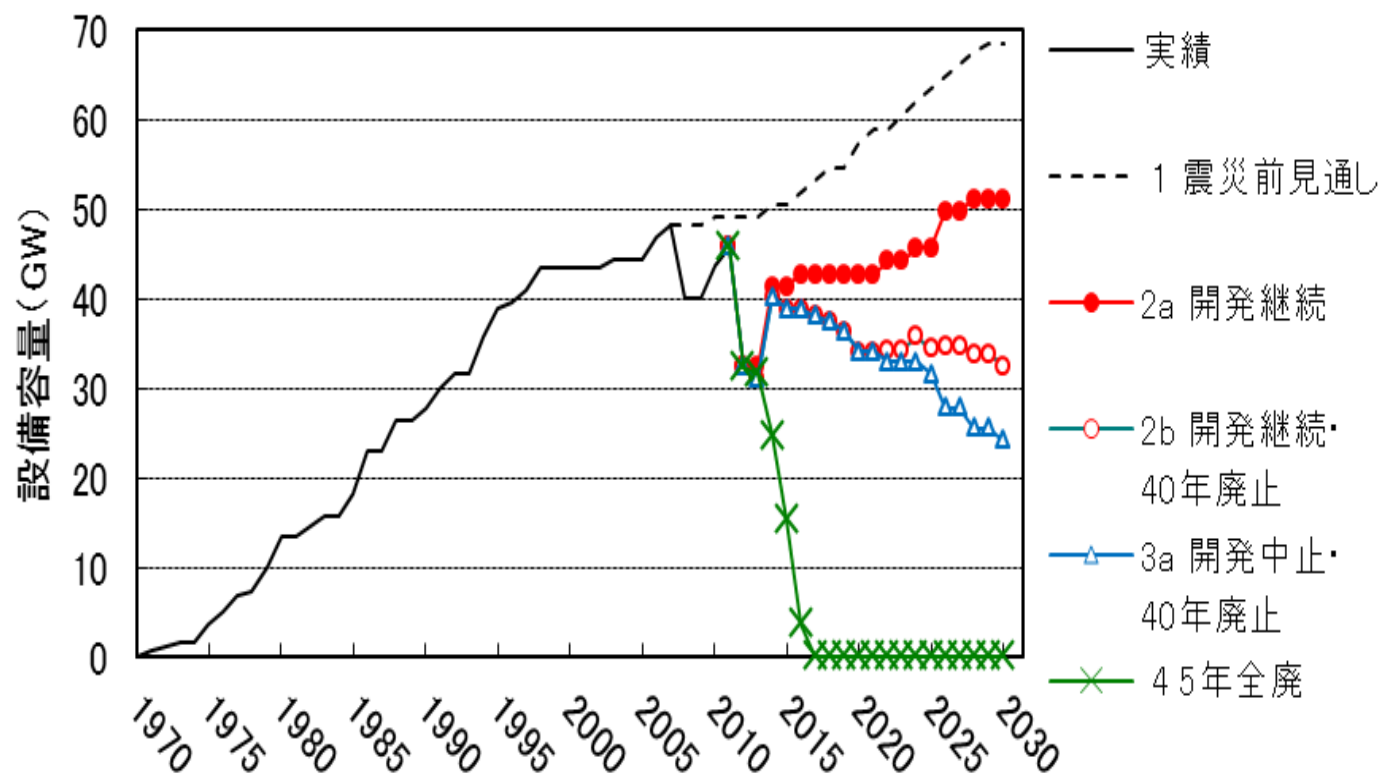
シナリオ設定

- 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、PVは同量、風力は28GW (地域導入量は、資源量ベース)を仮定した。
- 需給バランスは、シナリオ3aで各10電力システムにおいて予備力10%程度を目安とし、2a, 2b, 4aはほぼそれを踏襲した。
- 上記とは別に新規火力制約シナリオを設定した。

No.	シナリオ名	内 容
1	震災前 見通し	2010 年エネルギー基本計画の再現 PV53GW、風力 10GW
2a	原子力 開発継続 40 年廃止	原子力の開発は一定量を見込む。 福島を除く原子力は 60 年廃止 火力の一定増強, PV53GW, 風力 28GW
2b	原子力 開発継続 40 年廃止	原子力の開発は一定量を見込む。 福島を除く原子力は 40 年廃止 火力の一定増強, PV53GW, 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, PV53GW, 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, PV53GW, 風力 28GW

シナリオによる原子力設備量

□ シナリオ別の原子力の設備容量の変化

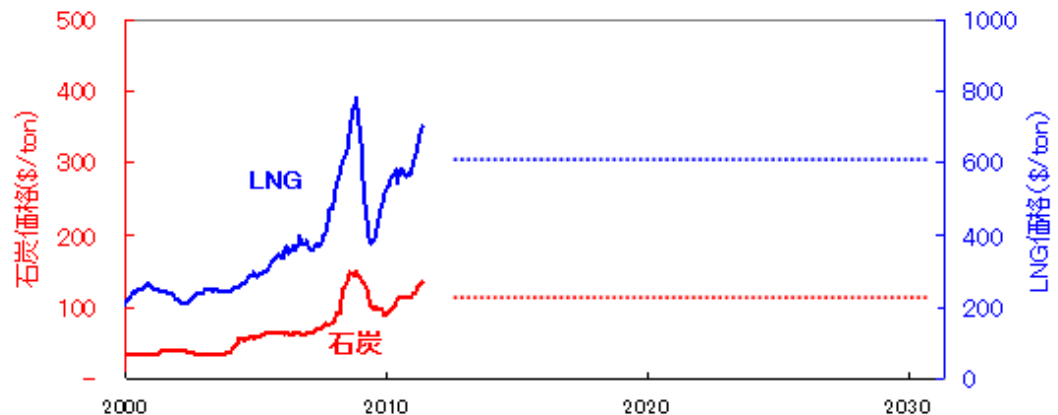


原子力・火力のシナリオ

- 新設原子力の建設費は、35万円/kWを想定
- 原子力の燃料費は、1円/kWhを想定
- 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を想定
- 火力の燃料費は、2012年コスト検証委員会想定単価を使用。（いずれも少し前に比べると極めて高い水準ではあるが

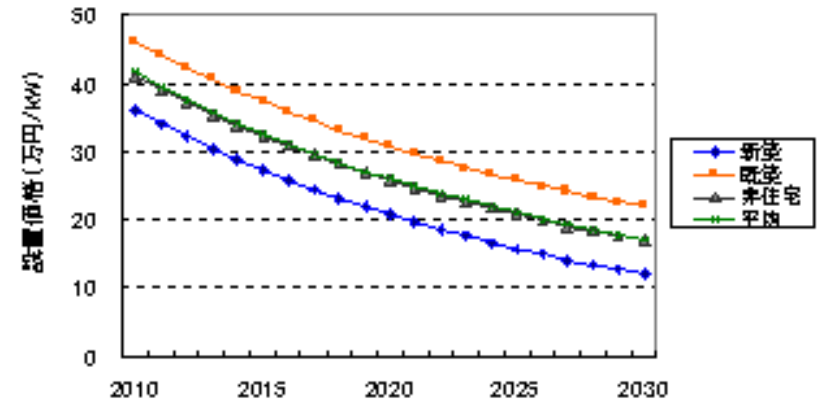
2020年や2030年に向かってさらに高くなるリスクも)

石炭124\$/ton
石油123\$/bbl
LNG734\$/ton
(為替:85.74¥/\$)



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、新築・既築住宅、非住宅の分野でのコストと導入量を想定した。
- コストについては、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、陸上は賦存量ベース、洋上は立地の自由度が上がり、需要地により近い地点の開発が可能と想定した。



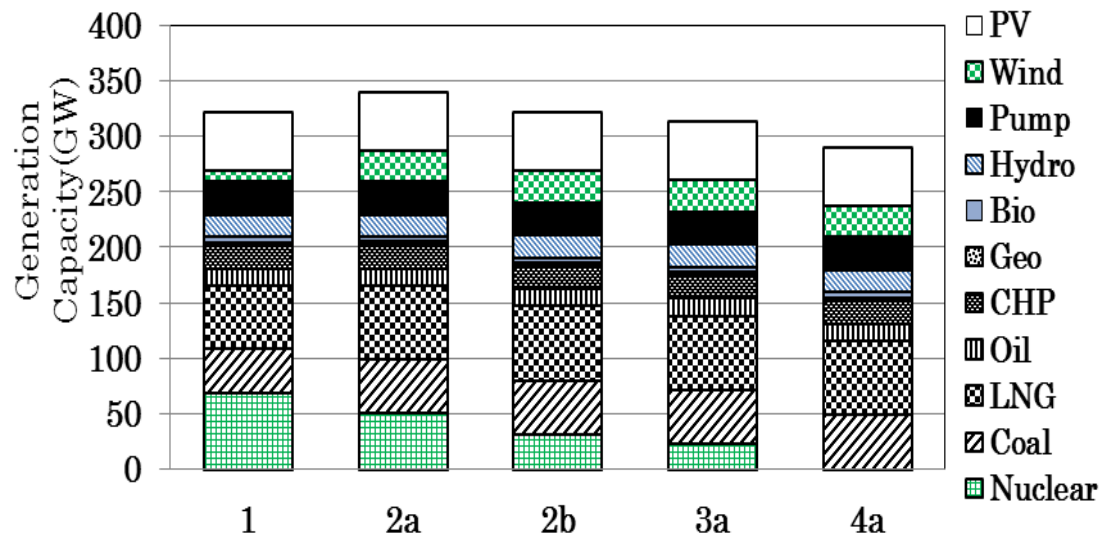
太陽光発電の導入コスト (新築/既築住宅、非住宅)

系統	風力		PV
	1	2a-4a	1-4a
北海道	0.6	1.8	2.1
東北	3.2	9.1	5.1
東京	0.4	1.0	17.5
中部	0.4	1.0	7.9
北陸	0.7	2.0	1.9
関西	1.2	3.3	8.9
中国	0.8	2.3	3.5
四国	0.5	1.3	0.9
九州	2.1	5.8	4.8
沖縄	0.2	0.5	0.4
全国計	10	28	53

表2 PV, 風力発電のシステム別導入量

シナリオ設定：設備容量

- ❑ 火力は50年の寿命を基本とし，2014年以降の石炭火力3.7GW,天然ガス火力28.8GW，石油火力24.0GWの廃止を想定した。
- ❑ コジェネの800億kWhは家庭用,業務用,産業用の導入量を想定し,それぞれを都道府県別の一般世帯比率の世帯人員比率,業務用建物の床面積,産業付加価値額の比率で配分した。
- ❑ バイオマスの300億kWhは需要比例の導入,水力の900億kWhと地熱の170億kWhは資源量ベースの導入（累積）を想定した。



2030の電源設備容量

荻本,片岡,池上,宇田川,赤井:我が国の長期電力需給ベストミックスの検討(3),エネルギー資源学会第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス,1-1 (2014)

解析結果：発電電力量

- シナリオ2a～4aにおける原子力の発電量の減少は一部再生可能エネルギーの導入により補われるが、主として新規開発を含む石炭火力、天然ガス火力稼働増加と、本来低稼働率の石油火力によって補われる。
- PV(PV),風力発電(Wind),地熱(GEOT),バイオマス(Bio)の導入量は各シナリオ共通に想定した発電を行う条件としているため、各シナリオで同じ発電電力量になっている。

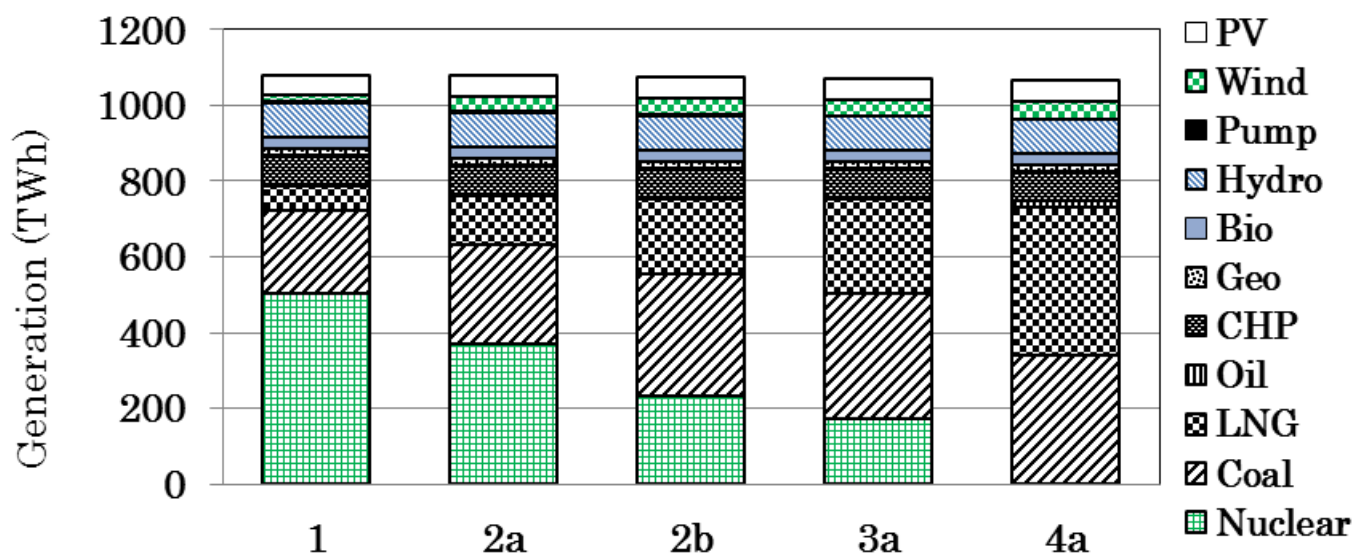
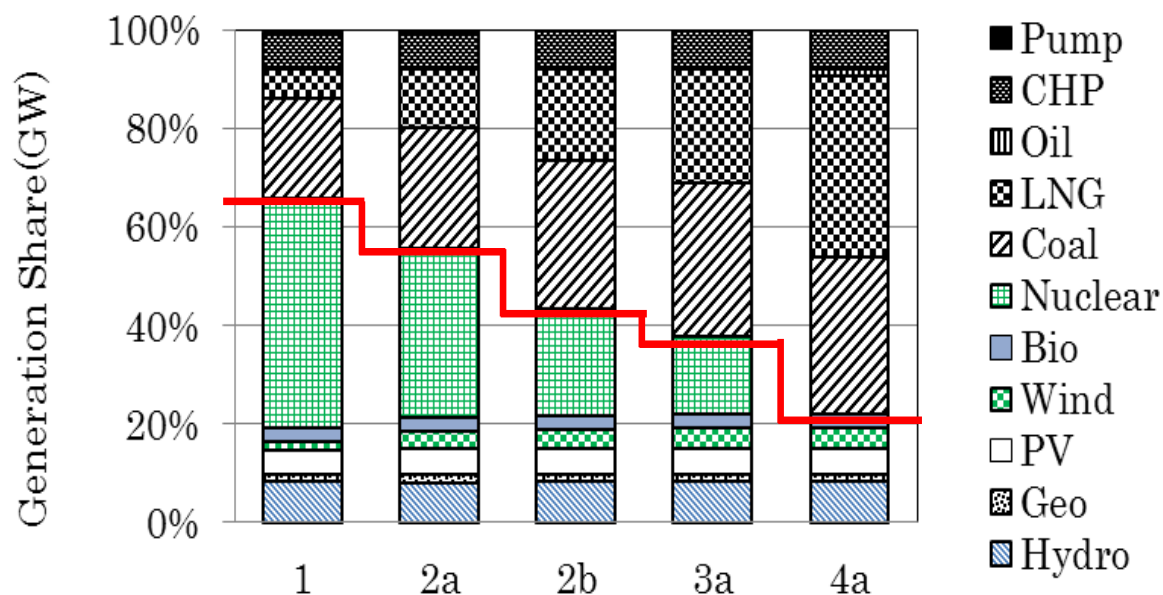


図4 2030年の発電電力量の比較

荻本,片岡,池上,宇田川,赤井:我が国の長期電力需給ベストミックスの検討(3),エネルギー資源学会第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス,1-1 (2014)

検討結果：安定供給-自給率

- エネルギー需給に電力需給の占める割合は着実増加するため、電力需給のエネルギー自給率を見ることには一定の意義がある。
- 電源の自給率は、再生可能エネルギーの最大限の導入を仮定しても、原子力の発電量の低下する場合、大幅に低下する。
- 石油、天然ガス、石炭は、発電所には1ヶ月分そこそこの貯蔵しかないことを認識する必要がある。



原子力の発電量の低下により、自給率が大幅に低下する。

図4 電力部門のエネルギー自給率

検討結果：燃料費

- ❑ 火力発電の燃料費は、原子力の発電量の減少を補うために、シナリオ1に対し、4aで最大2.7兆円と大幅に増加する。
- ❑ 原子力の発電量の低下は、一定程度の石炭火力と天然ガス火力の増強の想定の下でも、天然ガス、石油の燃料費の大幅な増加につながる。

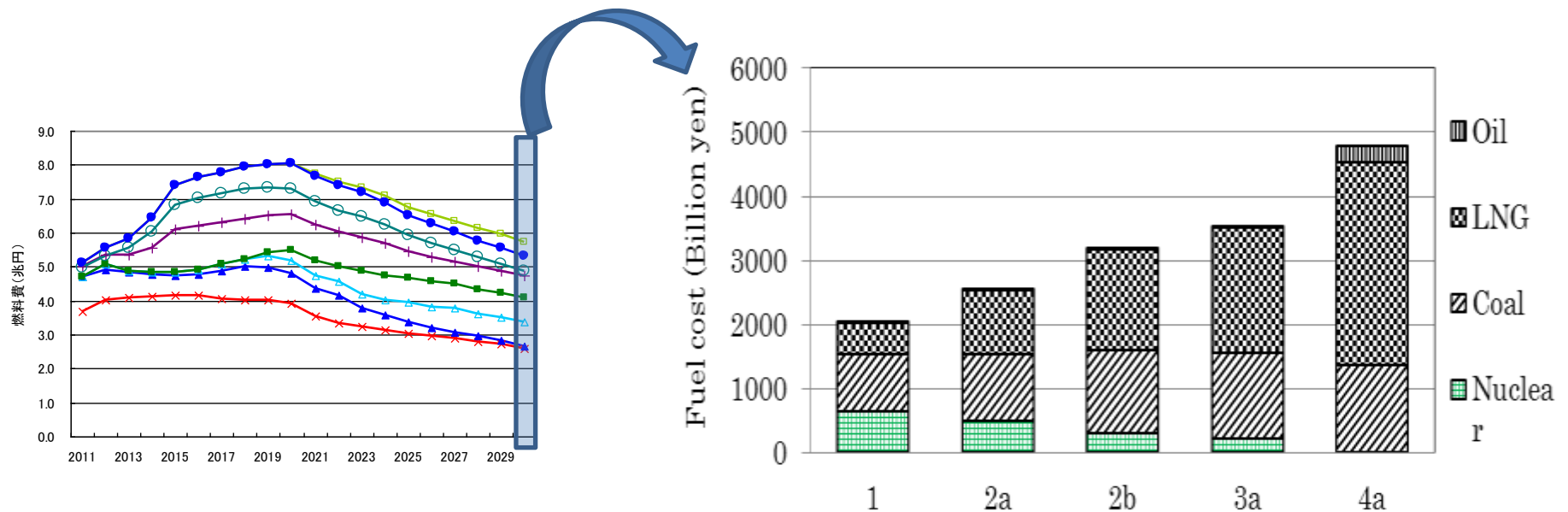
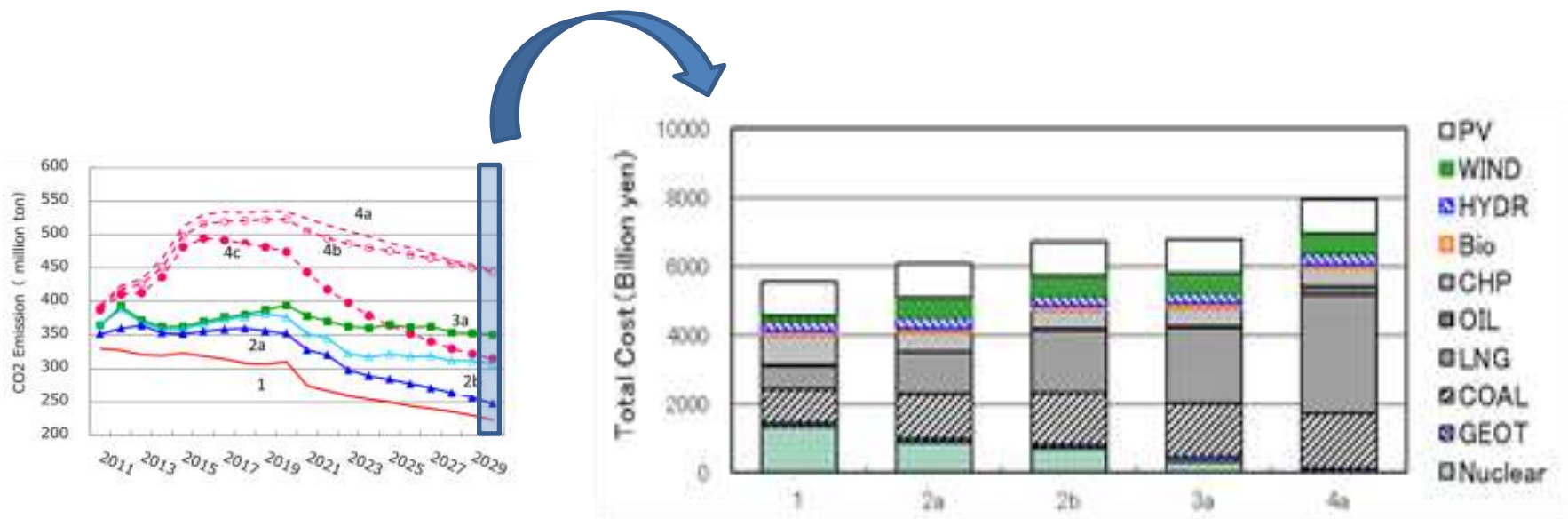


図4 2030年の年間の 燃料費

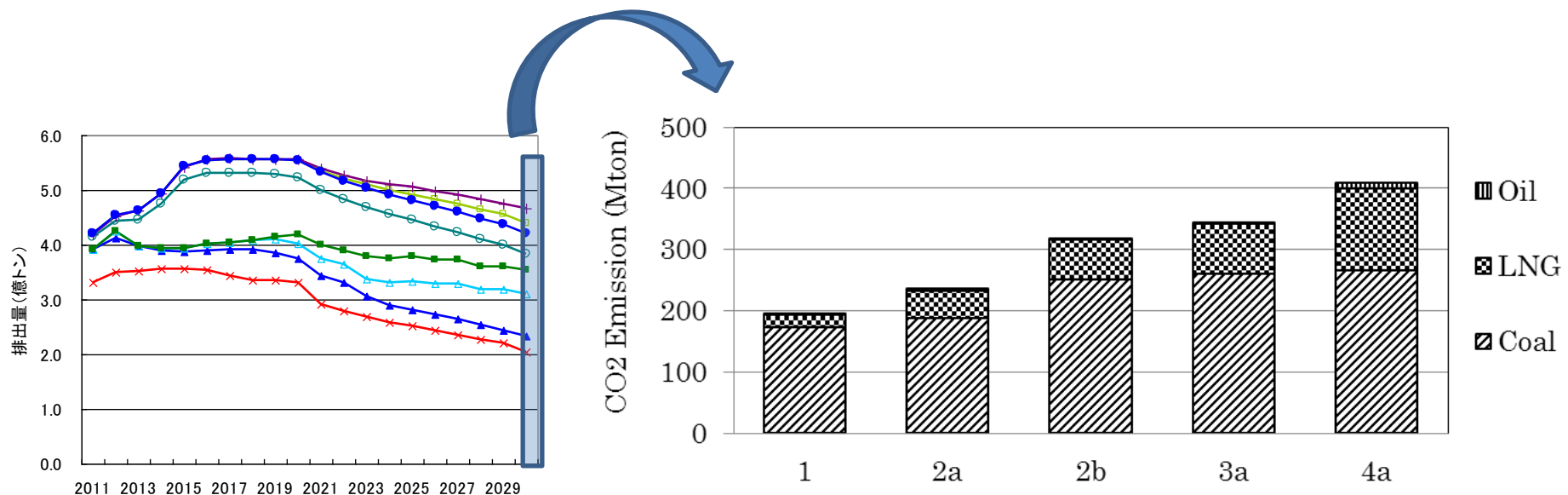
検討結果：燃料費＋設備費

- ❑ 設備費を含めた経済性として、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を見る
(割引率は5%，均等化期間はPV10年，風力20年，火力・原子力40年)
- ❑ PVや風力の設備が国内で供給される否かで、日本の経済への影響は異なる。
- ❑ 今後再生可能エネルギー発電の増加で化石燃料発電の稼働率の減少が想定される状況で、2030年以降の設備費の負担の考え方は今後整理要。



検討結果：CO₂排出量

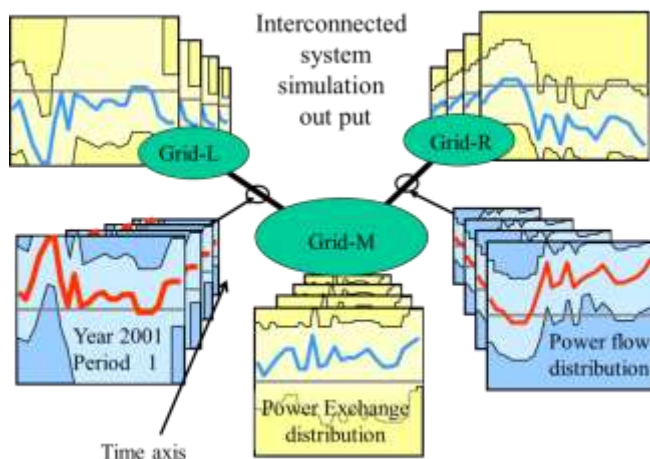
- 2030年に向け、原子力の利用が制約されるシナリオではCO₂排出量は大幅に増大する。
- 火力発電における石炭火力の発電量の増加はCO₂の排出量を増加する。



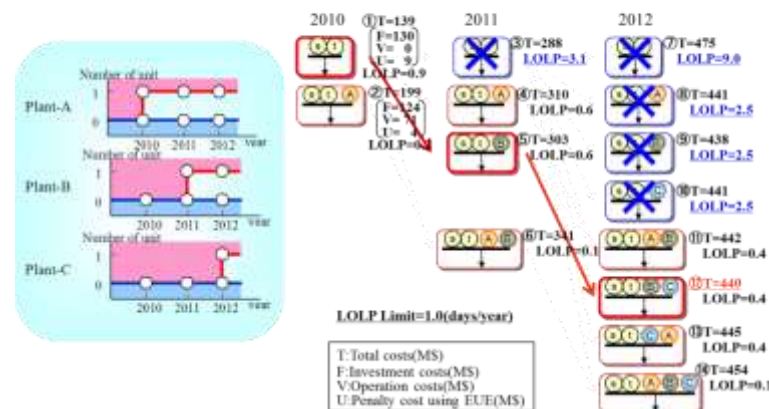
エネルギー/電力システム：実施可能な計画策定

- 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 **S+3E** など目標の再確認
- 実行可能な移行プロセスの実践

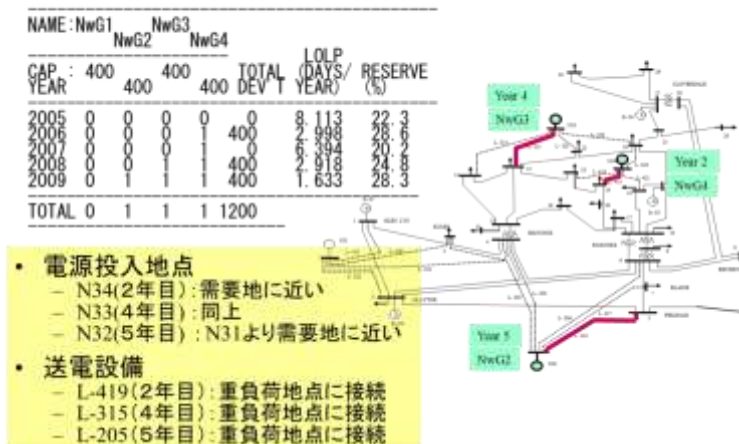
電力システム間連系の最適化



需給最適化手順 最小費用経路の選定



電源と流通設備の統合解析・評価



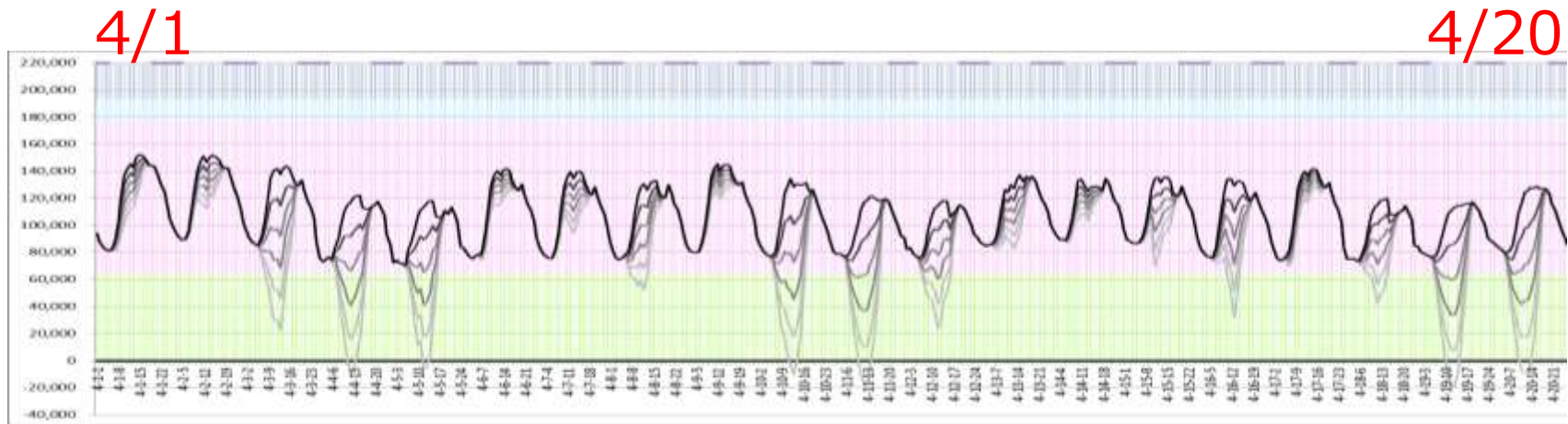
荻本和彦: 論壇 日本の長期エネルギー需給戦略, 日本エネルギー学会誌Vo.91, pp141-145(2012)

荻本和彦: 時論 長期エネルギー需給計画とインテグレーション, 原子力学会誌Vol. 54, No. 7, p02-03 (2012)

荻本和彦: 総論 わが国における電力需給の展開と課題, 電気評論12月号_p7-12 (2012)

極端ケースからの示唆

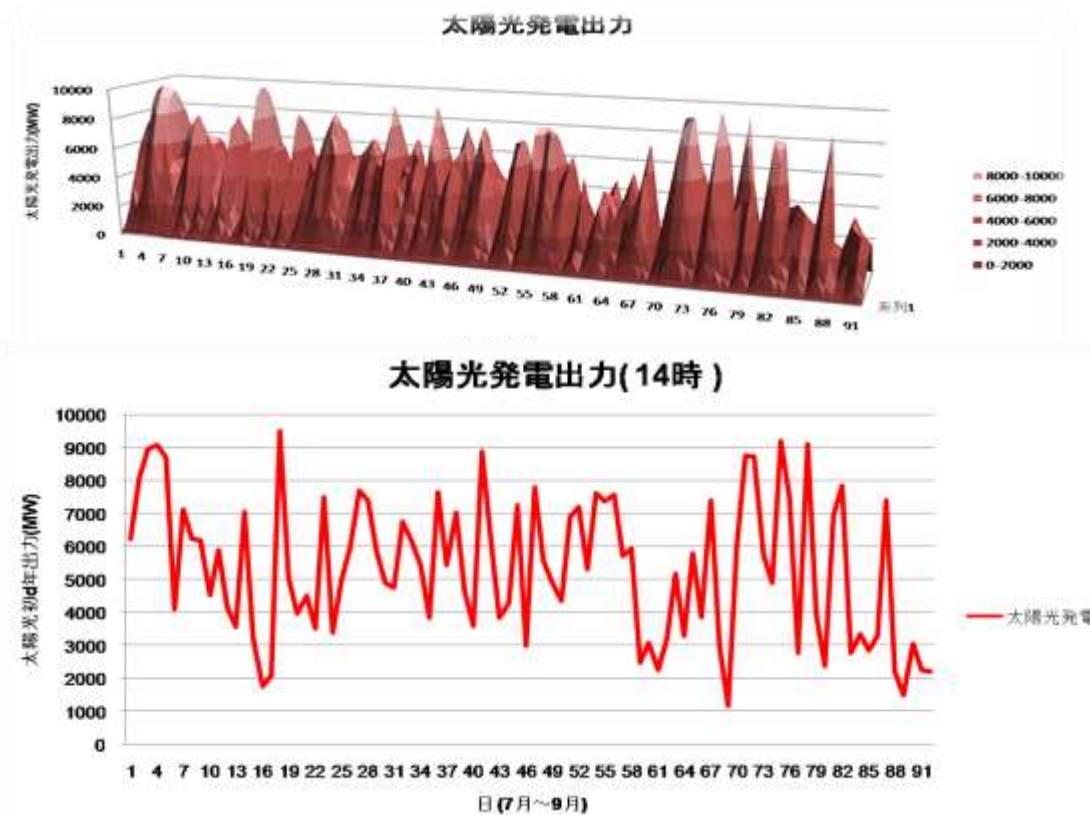
- 2030年において総発電量に占めるPV発電の割合が4,8,12,16,20%と増加した場合の系統からみた需要



- 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，変動(Variability)が増加し、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
- 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

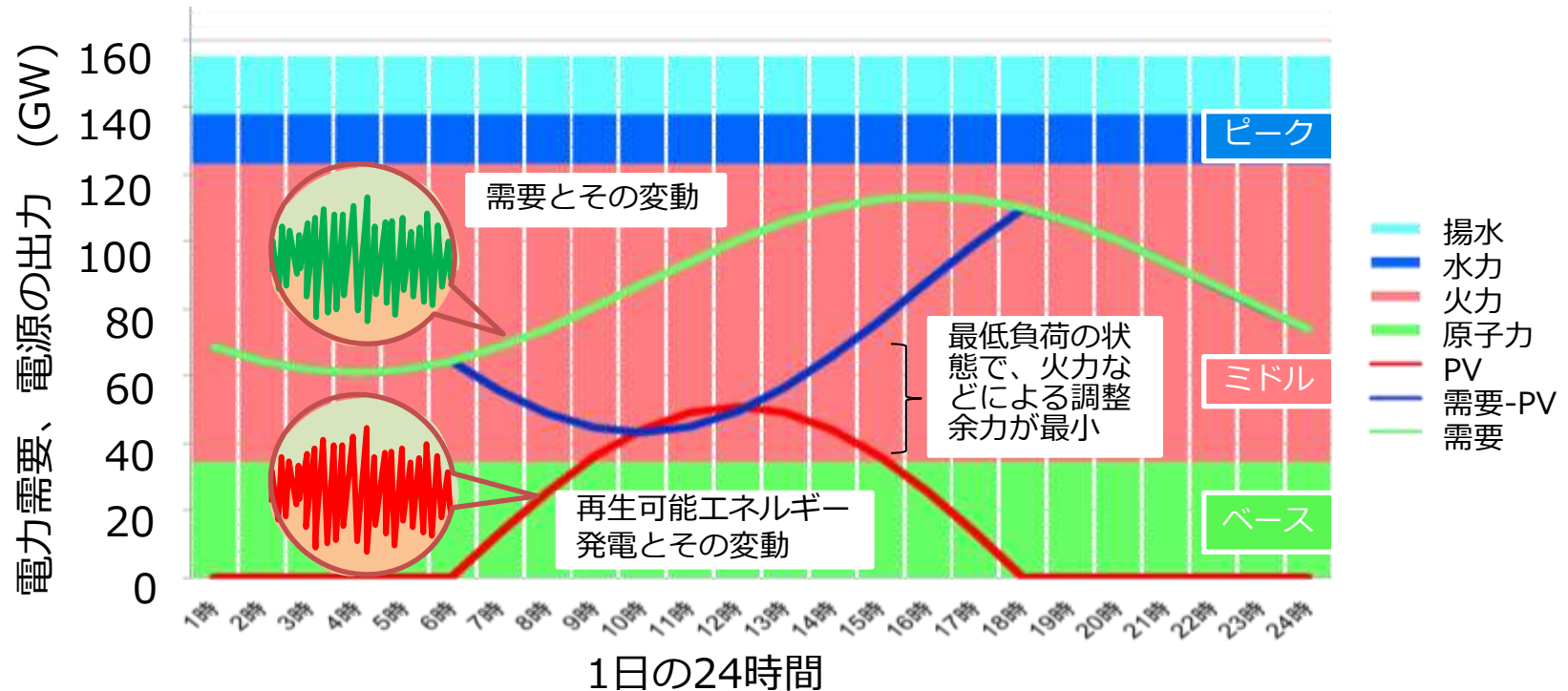
- 再生可能エネルギーをエネルギー源として導入することは、かつての水主火従時代の水力の場合と類似して、その出力変動特性を分析・把握し、かつ運用の中で予測を行うなど、きめ細かな運用と設備形成が必要となる。
- 太陽光発電、風力発電など、出力変動特性を分析し、送配電系統の電圧・潮流問題に加え、系統全体での需給調整の課題を解決する必要がある。



Variabilityを厳しくする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、

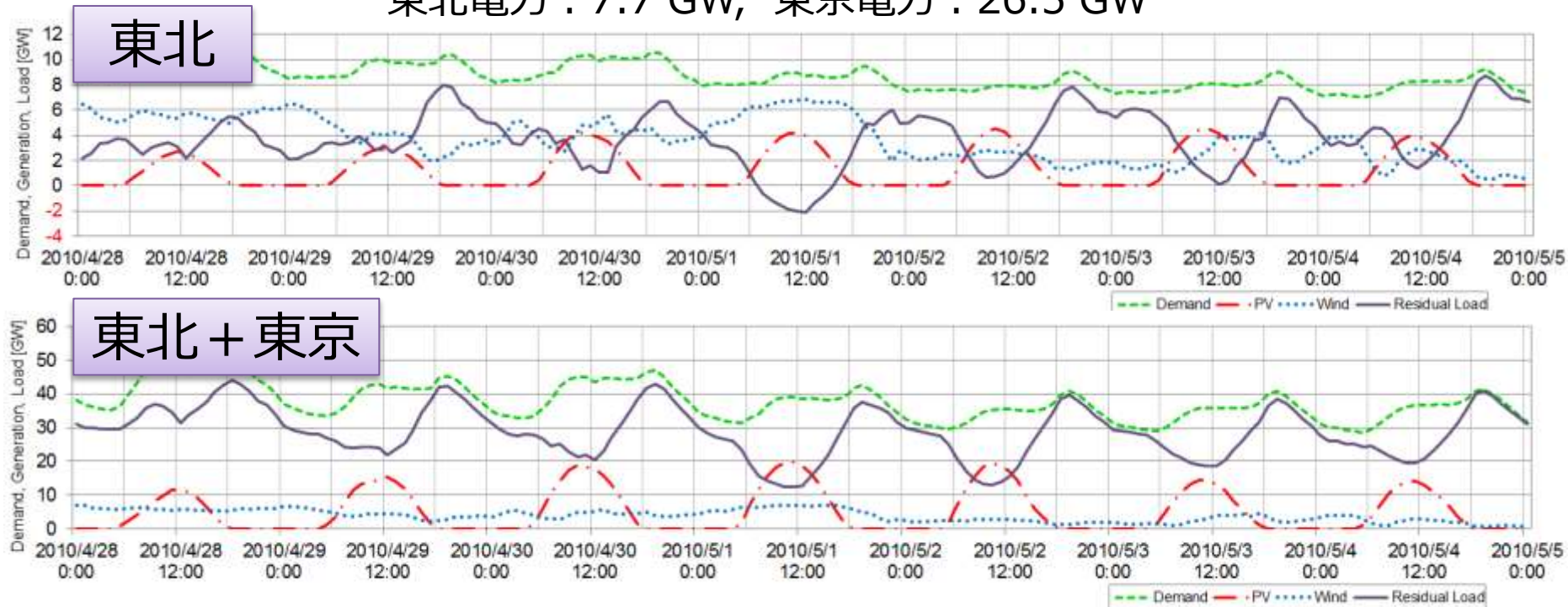
- 変動する再生可能エネルギーの導入による、変動量の増加
- 火力など調整可能な電源の運用量の減少による、需給調整力低下



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

2. Variability: 需給調整力不足の課題 毎時の残余需要分析

- 風力発電 全国28 GWを想定
東北電力：9.1 GW, 東京電力：1.0 GW
- 太陽光発電 全国80 GWを想定
東北電力：7.7 GW, 東京電力：26.5 GW



最小残余需要の発生日およびその前後3日間の残余需要

片岡和人, 池上貴志, 宇田川佑介, 荻本和彦, 大関崇, 斉藤哲夫: 再生可能エネルギー発電と需要の変動特性の分析・評価, 電気学会新エネルギー・環境, メタボリズム社会・環境システム 合同研究会, FTE-12-052, MES-12-023 (2012)

Variabilityの最過酷事象：Ramp

- 現状の電力システムではn-1基準による最大ユニット容量の脱落を想定しており、その最大値は原子力の1350MW。
- 大きな天候の変化にともなう継続した出力減少、上昇は、定格容量の数割と言われ、稀頻度でも、電力システムの運用に深刻な影響を与える。
- 様々なRESの変動から発生する正味(残余)需要のRamp (発電量低下と需要増の同時発生など)の特性分析、予測が重要。

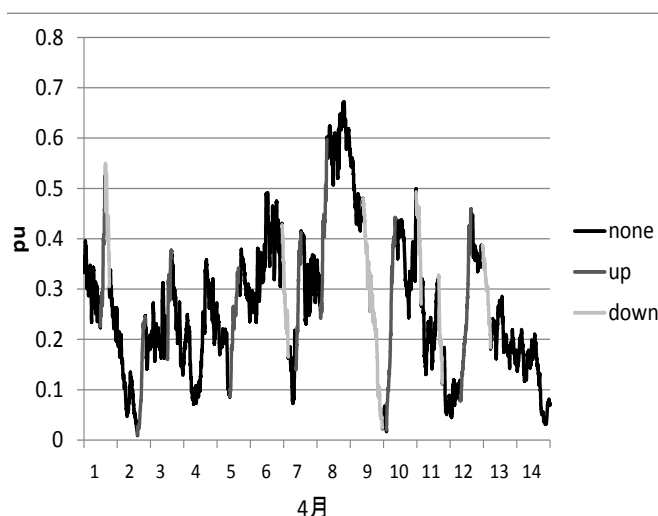


図1 風力発電ランプ

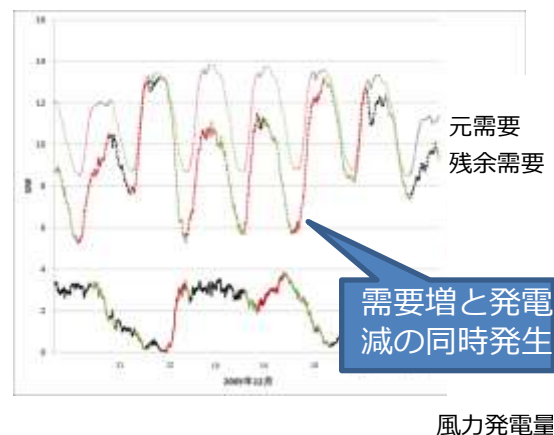


図3 残余需要ランプ

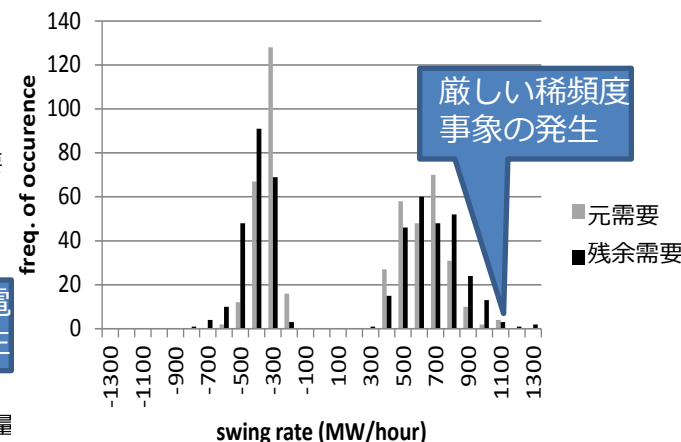


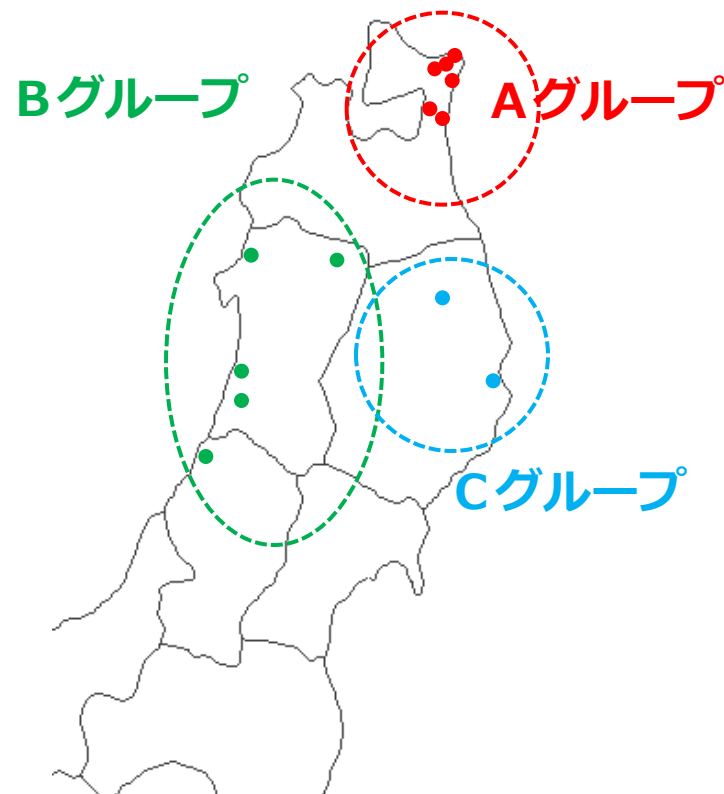
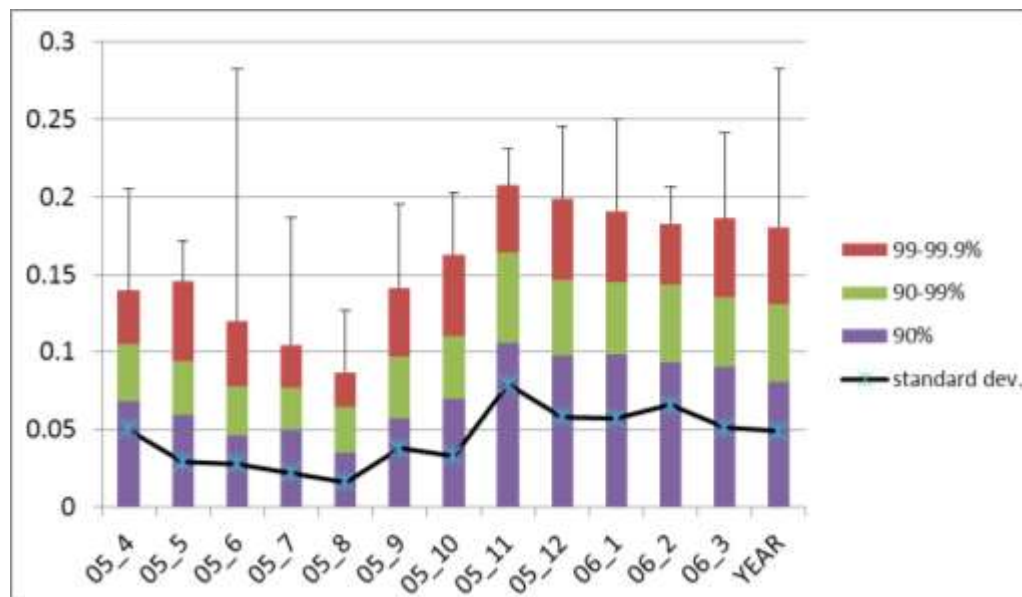
図5 ランプ変化率頻度

片岡,池上,宇田川,荻本,斉藤:風力発電ならびに残余需要のランプの予備的分析,電気学会全国大会 (2013)

風力発電の短時間出力変動（20分窓）

- 東北システム 13ウインドファーム（291.95MW）_10秒サンプルデータの分析によれば、風力の短時間変動(20分窓)は定格容量の20%に登る。
- 電力システムの現状のLFC調整容量（需要の2%程度）を仮定し中間期の最小需要を仮定すると、東北システムの最小需要8GWでは0.8GW、東京・東北連系システムの最小需要を30GWでは3GWに風力の連系容量が制限される厳しさ。

風力発電出力変動分布



片岡和人, 池上貴志, 宇田川佑介, 荻本和彦, 大関崇, 斉藤哲夫: 再生可能エネルギー発電と需要の変動特性の分析・評価, 電気学会新エネルギー・環境, メタボリズム社会・環境システム 合同研究会, FTE-12-052, MES-12-023 (2012)

どこに課題と可能性があるか

- ❑ 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。
- ❑ 電力システムにおけるニーズに応じて、
調整力の価値は、大きさ、速さ、継続時間、確実性で決まる。



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エネルギー革新技術計画報告書

Flexibility向上とVariability低減:

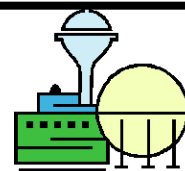
足元の現状から、将来のニーズと可能性を見通して、設備と運用の双方による段階的対応が必要かつ有効

- 新しいニーズの反映による、**従来電源の需給調整力の最大活用**:
 - 火力発電の最低運転電力低減、負荷調整能力の向上、起動時間短縮
 - 揚水の積極運用、可变速化による揚水運転時の調整力向上
 - 水力の運用の高度化
- 新たに導入される**RESの発電の調整力の積極的活用**
 - 風力のピッチ角制御などによる出力抑制、発電制御
 - PVのインバータ制御の高度化
- 民生・業務の建物、PHEV/EVの充電需要に分散型の電力貯蔵を含む**需要の能動化(自動デマンドレスポンス)**
- **送電線、系統連系の拡充**による電力システムのリソースの最大活用の環境整備
- PV、風力など出力の変動する**再生可能エネルギー発電の出力把握・予測**を含めた**運用の高度化と最適設備形成による電力システムの進化**

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

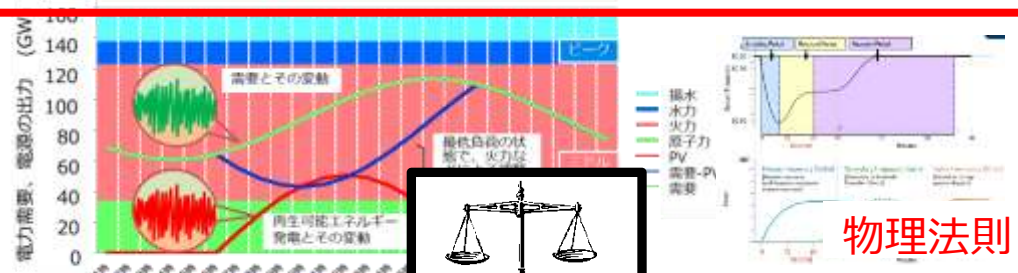
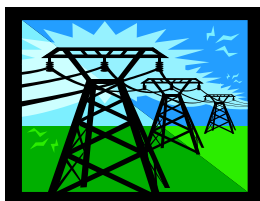
需給運用におけるFlexibility向上の体系

3. 需要の能動化(auto-demand response)



電力貯蔵技術

4. 送配電網と系統連系



需給運用

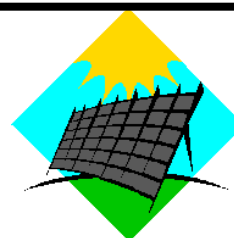
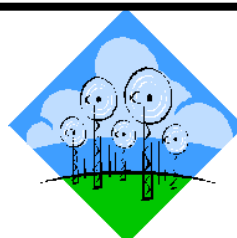
物理法則

経済原理

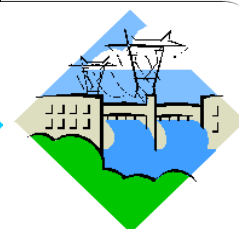
5. 電力システム運用高度化



2. RESの最適配置と調整力向上



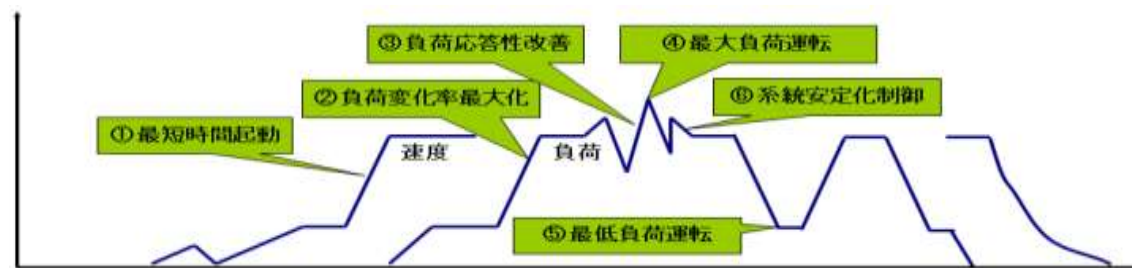
1. 系統電源の調整力強化



Flexibility向上：火力発電

- 電力系統に並列される火力発電機の台数減少にあっても最大の調整力が発揮できるよう，従来および今後建設される発電プラントには，負荷調整能力の更なる向上として以下が求められる：

- 負荷変化速度の向上，
- 最低負荷の低減，
- 起動時間の短縮など負荷調整能力の更なる向上が求められている



VOG	運用性向上/運転範囲拡大	負荷応答性向上	系統安定化
向上内容	①最短時間起動 ④最大負荷運転 ⑤最低負荷運転	②負荷変化率最大化 ③負荷(周波数)応答性改善	⑥系統安定化制御
技術要件	①熱応力予測最適化演算 ④主蒸気温度制御改善 ⑤変圧化、BFP切替自動化	②中域過熱器変圧運転 ③AFC/GF能力向上	⑥パワエレ高速応答による回転体慣性の活用、 ⑥FRT: Fault Ride Through
備考	海外新設火力: 変圧+OLV/ヒーターカット 既設火力: 変圧化、BFPT-EHC化	欧州火力: 復水調整運転 欧州風力: デルタ制御	水力: 可変速揚水 風力、太陽光: FRT

図1 発電プラント運用性向上のポイント

荻本,石井,北内,黒石,戸根,船橋:火力発電などによる電力システムの柔軟性向上の可能性,電気学会全国大会 (2013)

Flexibility向上：火力発電

- ❑ 火力発電の近年の実績としては、タービンの起動時の熱応力の高度管理、過熱器変圧運転の導入、復水調整運転によるタービン低圧抽気の絞り運転などで、起動時間短縮、負荷変化速度の向上の例がある。
- ❑ 今後は、既設火力では、変圧運転範囲拡大と大型補機切替自動化による負荷変化率向上、新設の石炭火力やコンバインド火力では、それぞれの技術特性に着目し更なる最適化により、運用特性改善の可能性がある。
- ❑ 部分負荷運転時の効率低下や機器劣化防止など、経済性、保守性などの総合的な視点からの検討が必要。

(Plant Type) (Load Response) (Min. Load)

Steam power Gen. (Dram boiler 350MW Class)	1~4%	25% approx.
Steam power Gen., Gas and Oil (One through boiler , 1,000~600MW Class)	3~5%	15~30%
Steam power Gen., Coal (One through boiler , 1,000~600MW Class)	3~4%	30% approx.
Gas Turbine Combined Cycle (GTCC)	5% approx.	25~50%

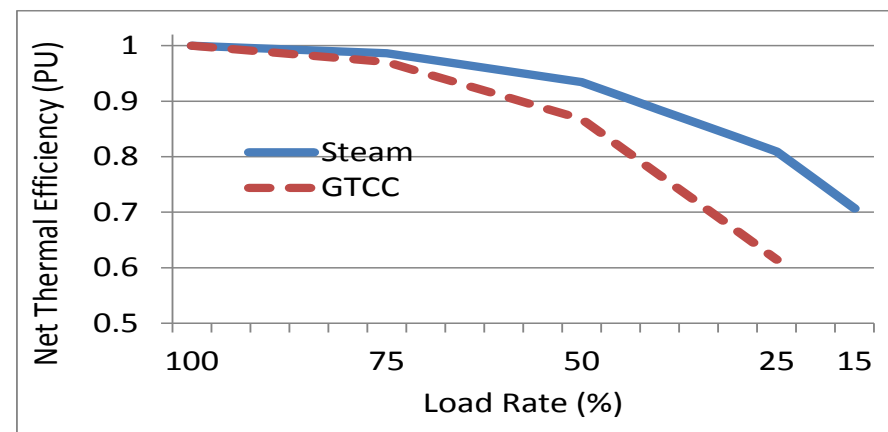


表1 火力発電の負荷変化速度と最低負荷

Table 1 Load response and Minimum load of Thermal Power Plant

図2 部分負荷時の効率低下

Fig.2 Net Thermal Efficiency Decline at a partial Load

荻本,石井,北内,黒石,戸根,船橋:火力発電などによる電力システムの柔軟性向上の可能性,電気学会全国大会 (2013)

化石燃料の集中/分散電源の位置づけ

- ❑ 化石燃料を使う火力発電は、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、設備費が安価であるが燃料費が総費用の大きな割合を占める。
- ❑ 化石燃料は、大半を輸入に依存し安定供給、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し、必要な備蓄と組み合わせることで、突発的な災害や紛争、短期的な需給調整、天候不順や電源不足などの中期的な供給力不足などへの対応が可能である。
- ❑ 大型火力による集中発電は、発電効率の徹底追及と機動的な需給運用が可能である。一方、分散電源は、熱需要との組み合わせた熱併給発電（コージェネ）により、全体での効率向上の追求ができる。
- ❑ 分散の化石燃料発電は、需要側に設置することで、燃料の確保量に応じて、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。
- ❑ コージェネレーションは、高効率運転は熱利用の範囲に限られるが、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。

Flexibility向上：水力・揚水

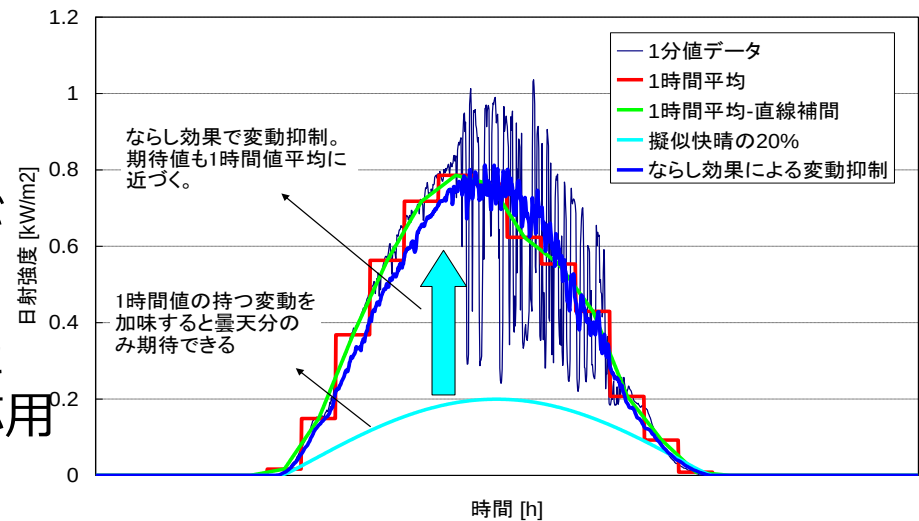
- 火力発電と比較して、起動停止時間が短く(火力の数時間に対し数分)、負荷変化速度も大きい(火力の数%/分に対し、～100%/分)一般水力、揚水など水力の需給調整力の価値は大きい。
- 揚水発電は、需要を等価的に増加することで火力などの運用量を増加し需給調整力を高めるとともに、発電時および、可変速揚水の場合は揚水時の需給調整力の増加することができ、効果的な運用が可能となる。
- 今後、電力システムの運用ニーズの見通しのもと、貯水池運用を含めた最適化、設備増強・新規開発による水力/揚水の既設設備の一層の活用、今後の電力システムの需給調整力確保への貢献が期待される。
- 一般水力/揚水によるFlexibilityの向上への期待は大きいが、運用については河川の運用からの制約、新規開発については開発地点の制約も大きい。
- 一般水力/揚水については、kWあたりの実現可能量が火力の約10倍であることを再認識し、個別の技術開発、電力システム全体の最適化の見地から、運用高度化、新規開発を考えることが必要であろう。

IEA_Hydropower_Technology Roadmap (2012)

	China	United States	Europe	Japan	Rest of world	Total
下位想定						
VRE % total energy	21%	24%	43%	18%		
Hydro % total energy	14%	6%	13%	12%		
PSP/total capacity	4%	4%	6%	11%	2%	
GW	119	58	91	35	109	412
上位想定						
VRE % total energy	34%	37%	48%	33%		
Hydro % total energy	15%	6%	11%	13%		
PSP/total capacity	5%	8%	10%	12%	3%	
GW	179	139	188	39	164	700

Variability低減：変動性のRESのならし効果

- 天気などにより変動する再生可能エネルギー発電の出力は、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、変動の周期が穏やかになるという「ならし効果」がある。
- 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る。
- ならし効果は、風力発電でも見られるが、地形など地域特性により個別の出力変動特性が大きくことなるといった特徴がある。
- さらに、PV、風力など異なった原理による変動性の再生可能エネルギー発電の変動はそれぞれ独立であり、適切な導入量の配分により更なる「ならし効果」が得られる。
- 「ならし効果」を十分に考慮した発電特性の分析、発電予測への応用は今後重要な検討課題である。

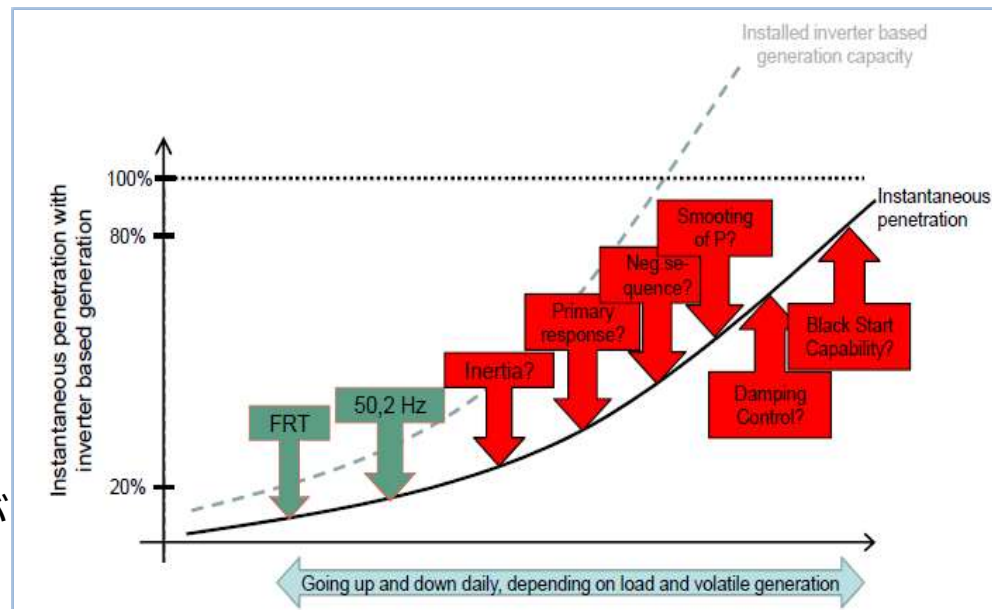


太陽光発電のならし効果のイメージ

荻本和彦,大関崇,植田譲:太陽光発電を含む長期電力需給計画手法,電気学会論文誌,Vol.130-B, No.6,p575-583 (2010)

Variability低減からFlexibility向上：風力・PV

- 出力の変動する風力発電や太陽光発電においても、発電出力(有効電力)の抑制方向の制御、機器の電流定格の範囲において無効電力の制御を行うことができる。
- ヨーロッパの風力発電では、系統連系要件の整備と並行して、優先給電ルールのもので風力発電の需給運用、電圧制御、周波数異常時の主力制御が行われている。
- 系統の電圧・周波数変動時には、機器の設計により運転継続の特性が決定されることから、系統連系要件、機器仕様、系統運用との組み合わせが重要になる。
- ヨーロッパにおいては、一定の将来、同期化力を模した慣性制御、電力動揺制御、高調波電流吸収、ブラックスタート機能など、様々な機能が新たに求められる可能性がある。
- PVについても、ドイツの系統連系要件において、小規模を含め遠隔制御の要件が定められ、例外規定としてパネル出力の70%のインバータ容量が推奨されるなど、新しい動きが現れている。

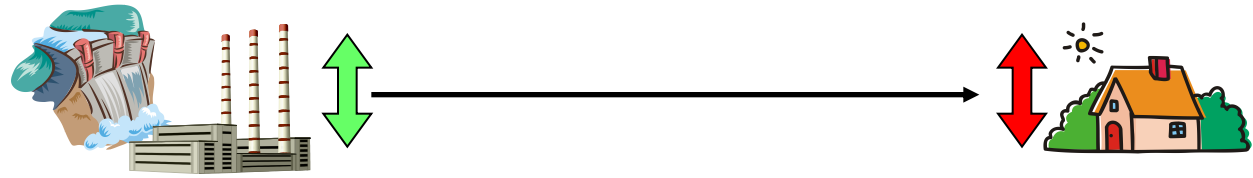


E. Quitmann, ENERCON: Ancillary services from WT and related Grid Codes, IRED (2012)

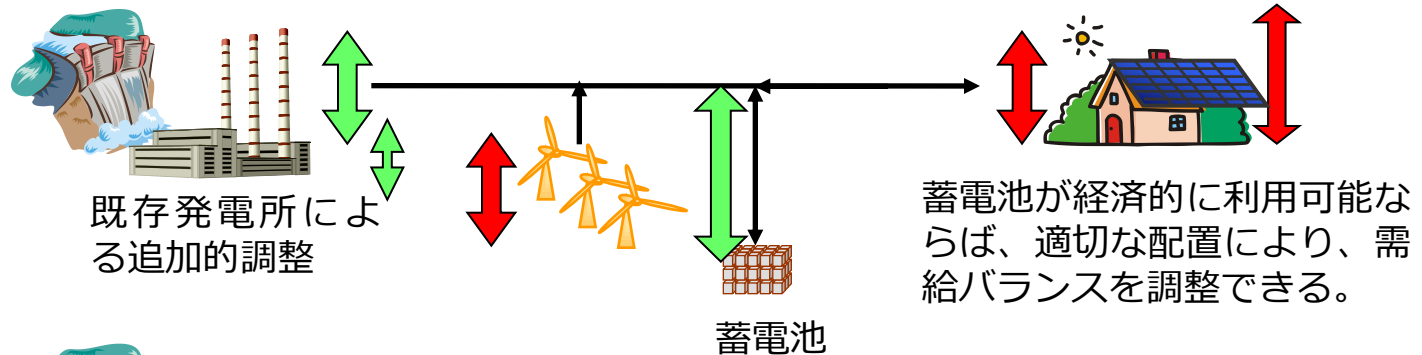
Flexibilityの向上：需要の能動化

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。

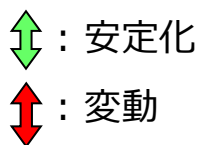
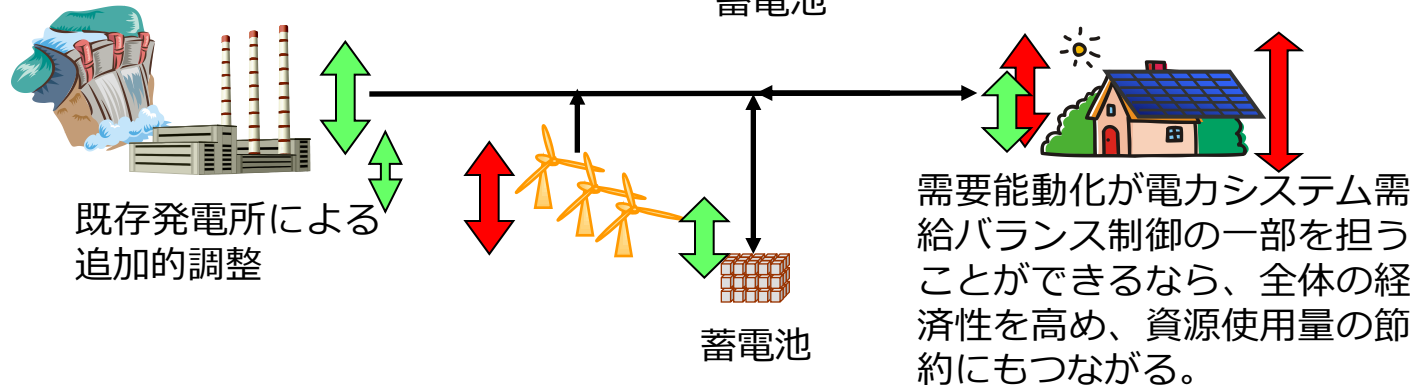
現在の
需給バランス制御



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



需要の能動化：集中/分散エネマネの協調

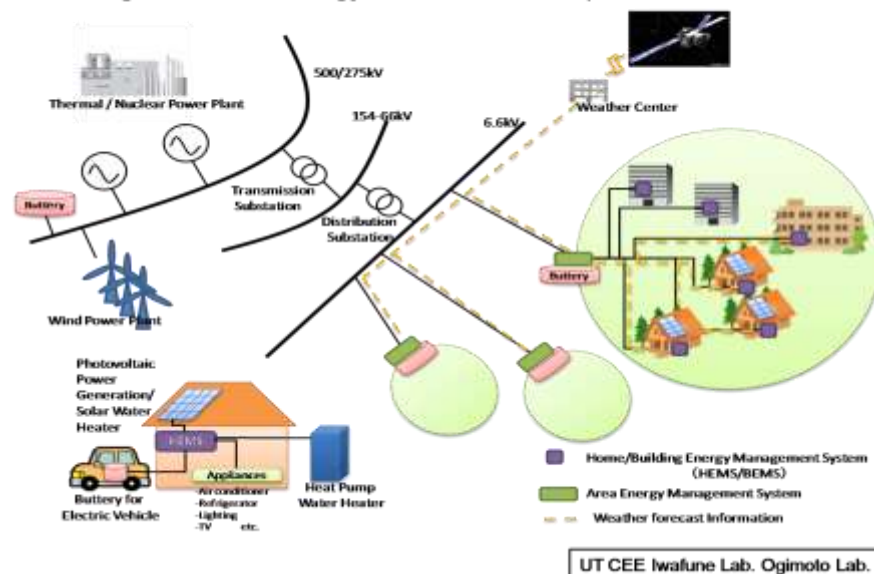
電力システム全体を管理する集中エネルギーマネジメントと、需要側の分散エネルギーマネジメントが協調する需要の能動化で、電力システムの需給調整力を向上することができる。

□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。

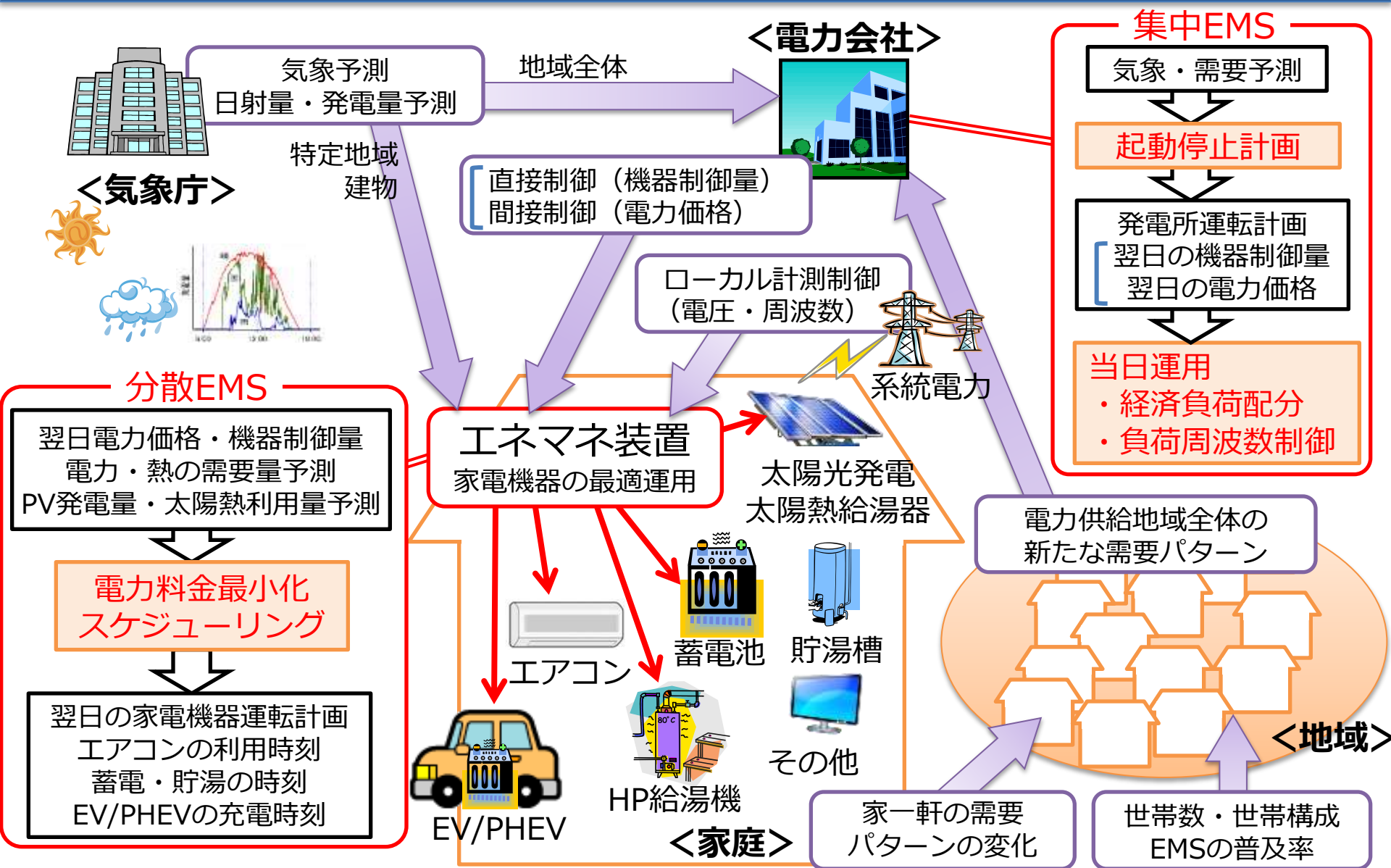
□集中エネルギーマネジメントは、系統の電源、揚水を含むエネルギー貯蔵設備に加え、一部の需要を直接制御することで、需給調整力を向上する。

□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



集中/分散エネルギーマネジメントの協調



Flexibilityの向上：地域内流通設備と連系線

- 再生可能エネルギーの導入を含め、新しい地点への電源立地に当たっては、その電源立地地点からの電源送電線、ネットワークの増強が必要。
- 広い範囲の再生可能エネルギー発電を含む需給運用を可能とするための送配電網を整備することにより、再生可能エネルギー発電量の変動について、多数地点の変動が相互に打ち消しあう「ならし効果」を享受し、Variabilityを低減することができる。
- 複数の電力システムをつなぐ系統間連系線の整備を進め運用を高度化することで、これらの地域に分かれて存在するFlexibility資源を統合して運用し最大活用することができる。
- 送電線の建設は、発電所の場合の点の開発ではなく線の開発であり、利害関係者の数も多数となることから、技術的な制約、費用に加え、送電線の社会的受容性に代表される社会的な問題の解決も必要であり、開発には相当な時間とコストを要する場合が多い。

3. Flexibility: 需給調整力向上への挑戦

Flexibilityの向上：地域間連系線等の強化に関するMP 中間報告

○ 安定供給確保や再生可能エネルギー導入促進等の観点から、地域間連系線等の強化について、今後、我が国において特に優先的に実行に移すべき施策について検討・整理を行ったところ、以下の方針のもとに増強等を図ることとする。

<FC(周波数変換設備)の増強>

- 2020年度を目標に、容量を90万kW(210万kWまで)増強する。
- それ以降、できるだけ早期に300万kWまで増強する。

<北本連系設備の増強>

- 現行の増強計画(60万kW→90万kW)については、可能な限り早期に実現する。
- 風力発電の導入状況等を見つつ、必要となる地内系統の整備等ともタイミングを合わせながら、更なる強化について検討を行う。

<相馬双葉幹線の増強>

- 風力発電等の導入状況、北本連系線の強化状況等を見つつ、増強について検討を行う。

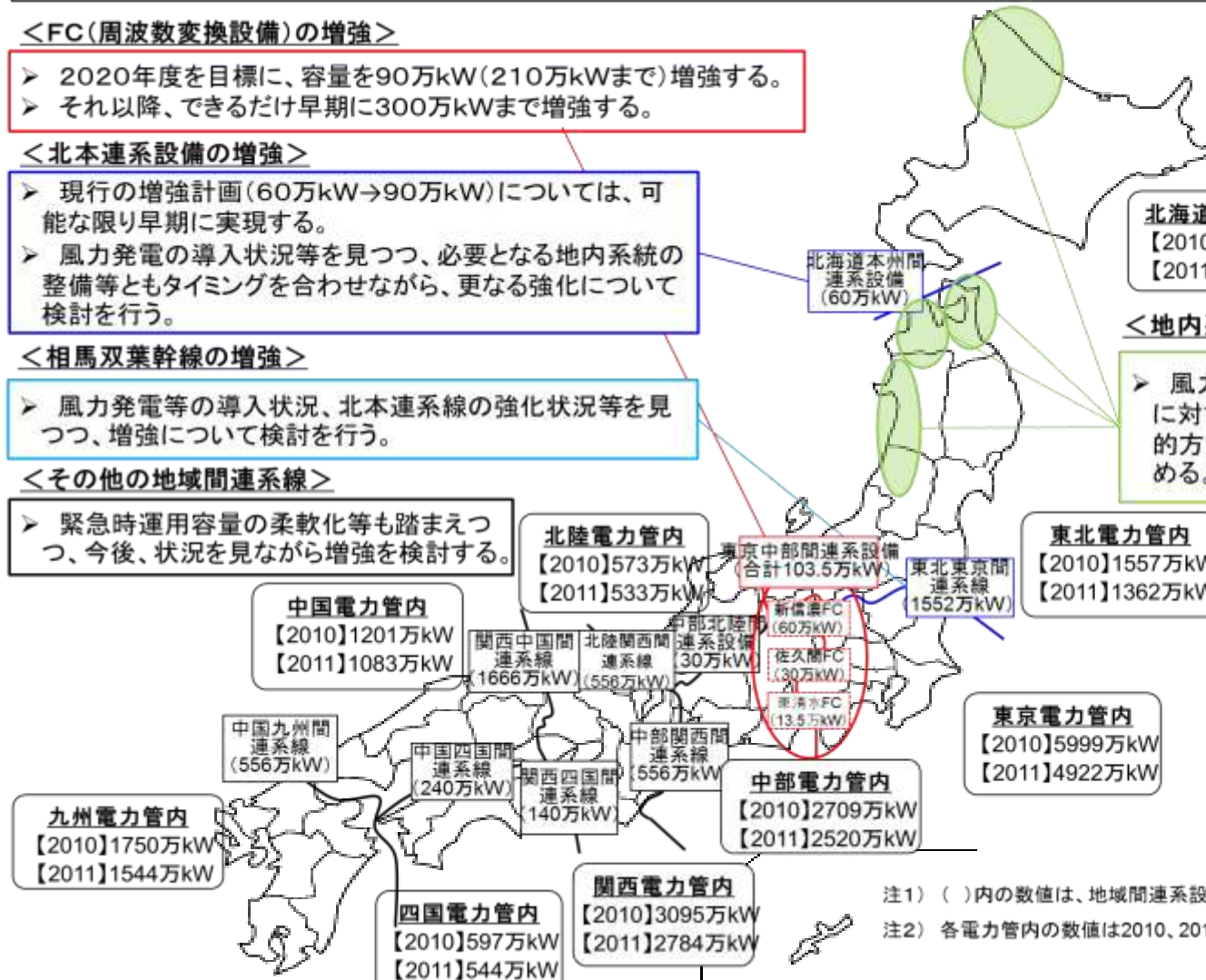
<その他の地域間連系線>

- 緊急時運用容量の柔軟化等も踏まえつつ、今後、状況を見ながら増強を検討する。

北海道電力管内
【2010】579万kW
【2011】568万kW

<地内系統の整備>

- 風力発電の重点整備地区に対する政策的支援の具体的方策について、検討を進める。



注1) ()内の数値は、地域間連系設備(全設備健全時)の熱容量。

注2) 各電力管内の数値は2010、2011年度の最大需要電力(H1)。

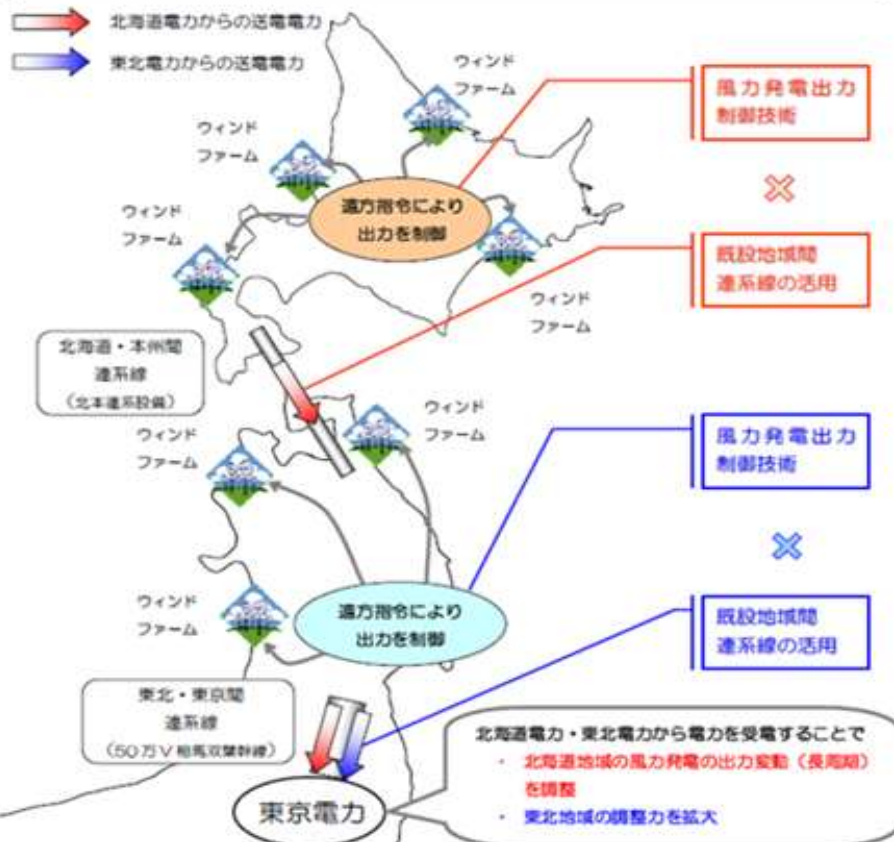
地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会 中間報告書・参考資料集・概要より作成 (2012.4)

3. Flexibility: 需給調整力向上への挑戦

Flexibilityの向上：北海道と東京、東北と東京の実証試験

課題と対策

- 北海道地域、東北地域とも、風力発電が大量導入されると、その出力変動を調整する火力発電等の調整力が不足
- 特に、春秋の夜間等の軽負荷時は、火力発電を最低出力近くまで絞っているため、風力発電の出力が急増した場合、この分の調整力（下げ代）が不足
- さらに、北海道地域では、風力発電の出力変動に対する調整力（調整幅・調整速度）も不足
- 今回の実証試験では、地域間連系線を活用し、東京地域の調整力を利用することにより風力発電を導入拡大



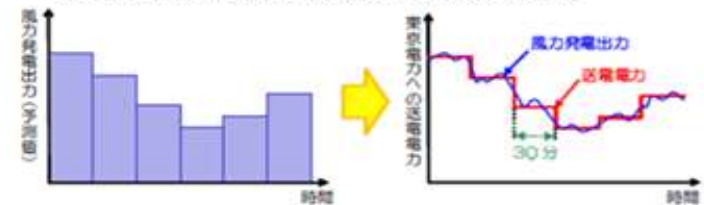
北海道電力と東京電力の実証試験

○既設地域間連系線の活用

- 風力発電出力予測にもとづいて、風力発電の出力変動（長周期）に相当する電力（最大 20 万 kW）を北海道電力から東京電力へ送電することにより、東京電力の調整力を利用
- 北海道電力の長周期変動に対する調整力（調整幅・調整速度）不足を解消し、風力発電の導入拡大が可能

○風力発電出力制御技術の組合せ

- 調整力（調整幅・調整速度）が不足する場合、北海道電力からの遠方指令により、出力上限値を定めることにより、風力発電の出力を制御



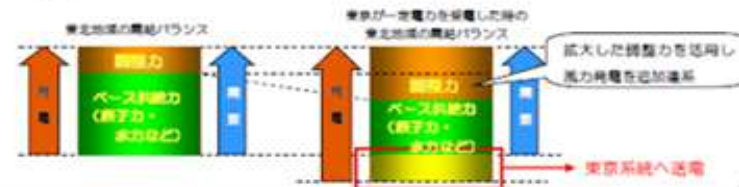
東北電力と東京電力の実証試験

○既設地域間連系線の活用

- 東北電力の調整力（下げ代）に余裕がない時間帯（軽負荷の夜間）に、東北系統の火力発電出力を増加させ、下げ代に余裕がある東京系統に一定電力（最大 24 万 kW）を送電
- 火力発電出力を増加させることで、東北系統の火力発電の調整力（下げ代）が増加することから、風力発電の導入拡大が可能

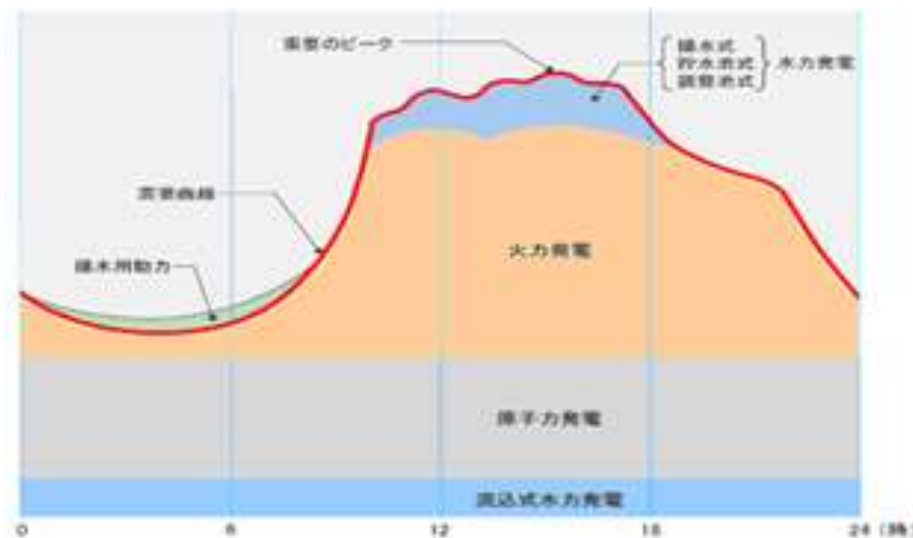
○風力発電出力制御技術の組合せ

- 東京系統に一定電力を送電しても、調整力（下げ代）が不足する場合、東北電力からの遠方指令により、出力上限値を定めることにより、風力発電の出力を制御



Flexibility向上：発電出力把握・予測の必要性

- 再生可能エネルギー発電の出力変動による**影響の緩和**には、出力抑制、電力貯蔵、系統全体での**調整機能**などにより対応することになる。そのためには、出力変動の**特性の把握**とともに、**変動の予測**が必要となる。
- 再生可能エネルギー発電の出力予測の利用者は、それらの運用・制御を行う**発電事業者**、系統全体の需給運用あるいは連系線の運用を行う**系統運用者**などであり、制御、需給管理、補修など**様々な運用管理**に用いられる。
- 出力予測を含めた個別システム、電力システム全体の運用性は、再生可能エネルギー発電、電力システムの**設備計画にも影響**を与える。
- 従って、再生可能エネルギー発電の出力予測においては、これらの**多様な目的、立場のニーズを満たすもの**を用意することが必要となる。



電力システムの日々の需給運用

荻本, 雪田, 秋山, 岡本, 金尾, 周, 和澤: 再生可能エネルギー出力予測に対する現状のニーズ, 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会 FTE-12-038, MES-12-009 (2012)

Flexibility向上：発電出力把握・予測の手法

再生可能エネルギーの発電の出力予測の方式は、入力データ、予測内容、予測方法などで**分類**することができる。

- **入力データ**としては、設備や地形といった静的なデータのほか、過去の発電実績、リアルタイムの単地点・広域の発電状況、気象予報、衛星観測データなどがある。
- **予測内容**としては、時間的には予測スパン、時間解像度と更新頻度、空間的には単一地点、地域、系統全体などの広域がある。
- **予測方法**としては、気象の数値予測モデルのデータに基づく手法、過去の実績や現時点に至る発電量、衛星観測データなどから推定する統計的/ヒューリスティック手法、これらを組み合わせたものなどがある。
- 気象の数値予測に基づく手法は、その予測の内容次第であるが、一定の**長い期間の予測に有効**であり、統計的、ヒューリスティック手法は、**短い期間の予測に有効**であると言われている。
- 災厄の予測の要素の強い気象予測に対し、エネルギー利用に適したニーズを反映し、既存の気象の数値予測から発電出力予測に必要な情報を取り出す、あるいは数値予測により発電予測に適した内容を付加するなどの改善が有効ではないか。

Flexibility向上：発電出力把握・予測の精度

- 電力システムの計画、運用においては、定常状態で需給を確保する観点から system adequacy の評価のため、太陽光発電、風力発電に対しても変動する発電量を考慮した容量価値(capacity value, capacity credit)の評価が行われる。
- 発電機(群)の容量価値の評価方法には同じ信頼度で削減できる従来電源の量とする考え方もあるが、目的により、適切な評価方法を選択することが重要となる。
- 容量価値は、Effective Load Carrying Capability (ELCC)により、ある発電機(群)により同じ信頼度で供給できる需要の増加で評価することができる。信頼度指標としてLOLEを用いる場合、容量価値ELCCはある期間における各時間における既存システムの供給力と需要、追加電源の供給力のもとで同じLOLEを与える量として定義される
- 過去の実績を用いることでその期間における当該電源(群)のELCCを算出することができる。今後の太陽光発電や風力発電の発電予測では、このようなkW価値に変換した値とその精度が実用上重要になると考えられる。

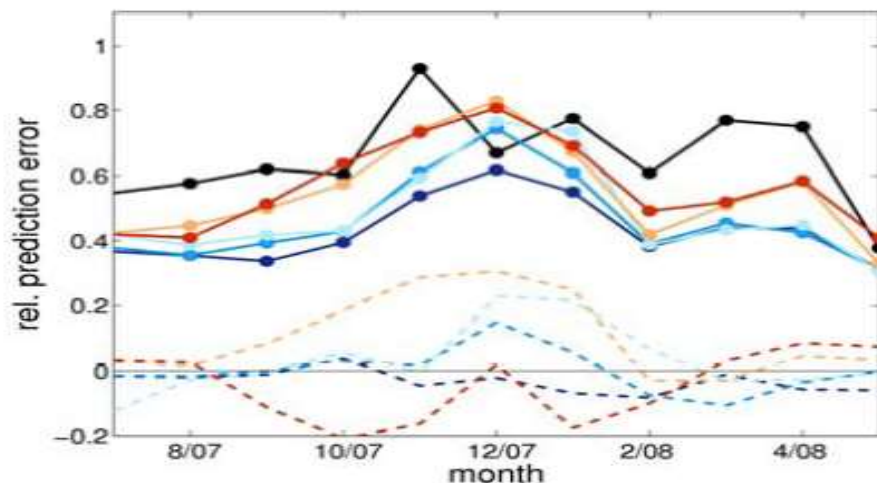


図 10 5つの予測手法の誤差の比較
(Bald line: RMSE, Dashed line: bias)

荻本, 雪田, 秋山, 岡本, 金尾, 周, 和澤: 再生可能エネルギー出力予測に対する現状のニーズ, 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会 FTE-12-038, MES-12-009 (2012)

Flexibility向上：発電出力予測：二ーズが重要

- 変動する再生可能エネルギー発電の導入の拡大にあたり、周波数調整、瞬動予備力、待機予備力などのすでに定義されたアンシラリーサービスへの必要性が高まると予想される。
- 大規模出力低下に対する比較的ゆっくりとした付加追従機能を含め新しいアンシラリーサービス、1時間未満での潮流変更などの連系線運用の検討が行われている。
- 需給調整を行うシステム全体の合計発電量について、期待値ばかりでなく、経済負荷配分より速い領域での定常的な変動の予測、稀頻度ではあっても大きな気象の変化に伴い、合計発電量の一定の時間の比較的緩やかだが、大きな発電量の低下(ramp down)の予測が重要となる。
- Ramp downの予測は、大きな需給問題の発生に直結するため、一定期間に関する統計的な精度ではなく、発生の可能性を逃さないことを基本とし、発生時間、変化速度、変化の大きさの精度が重要となる。

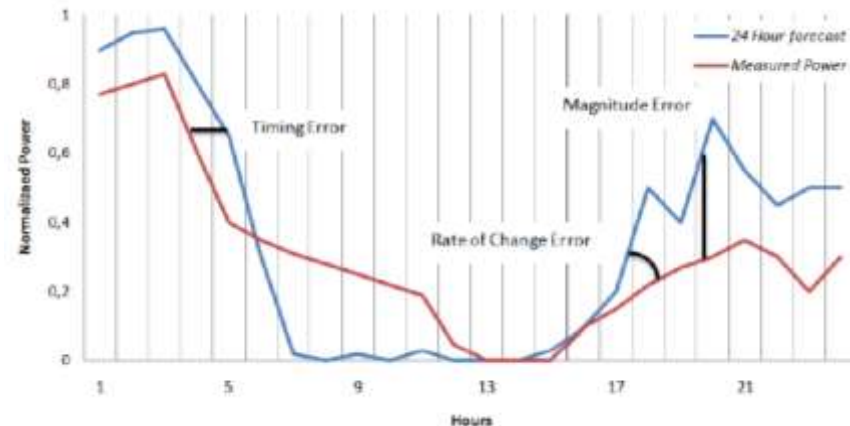
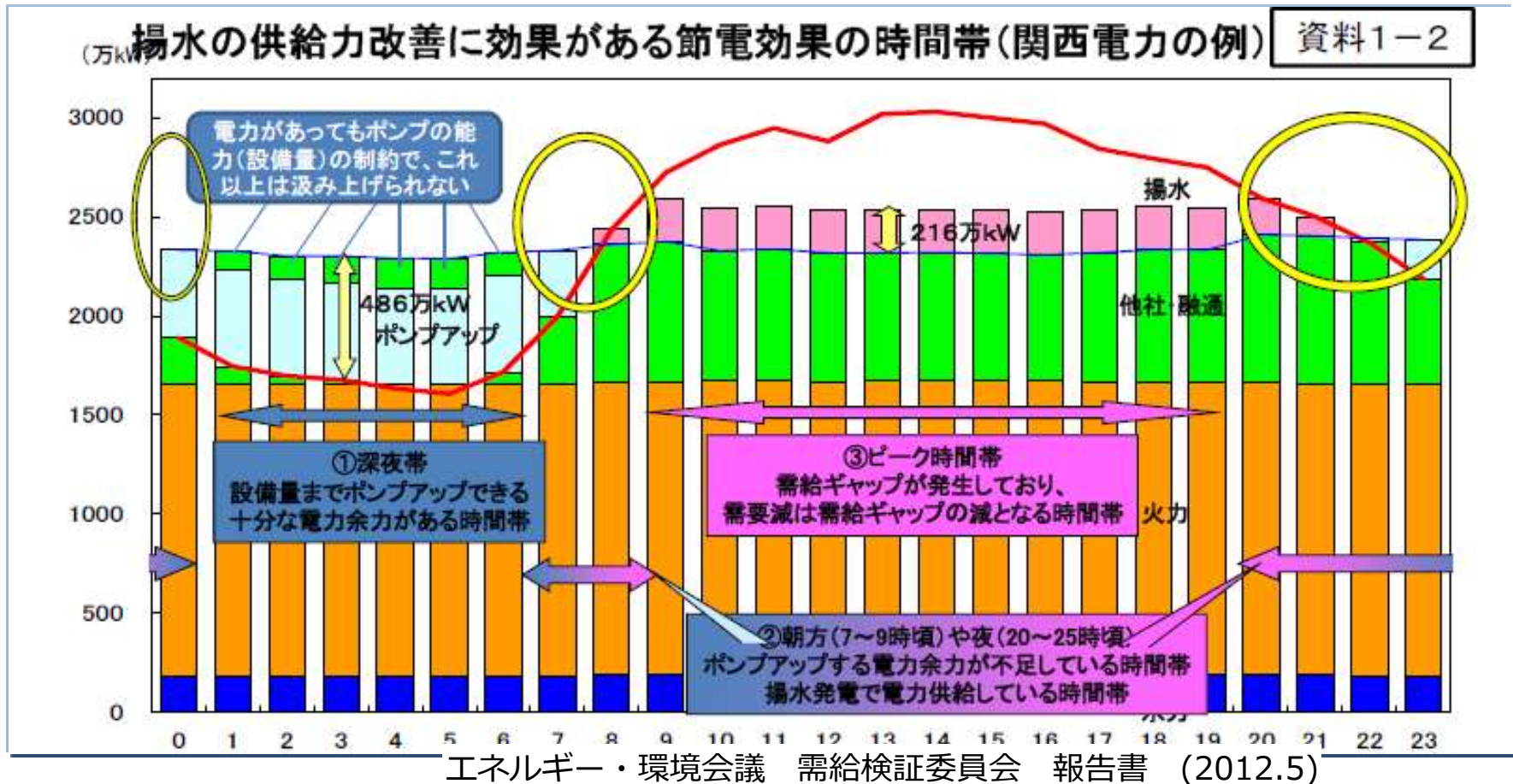


図 11 前日予測の Ramp の予測誤差
(Timing error, Rate of change error, magnitude error)

荻本, 雪田, 秋山, 岡本, 金尾, 周, 和澤: 再生可能エネルギー出力予測に対する現状の二ーズ, 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会 FTE-12-038, MES-12-009 (2012)

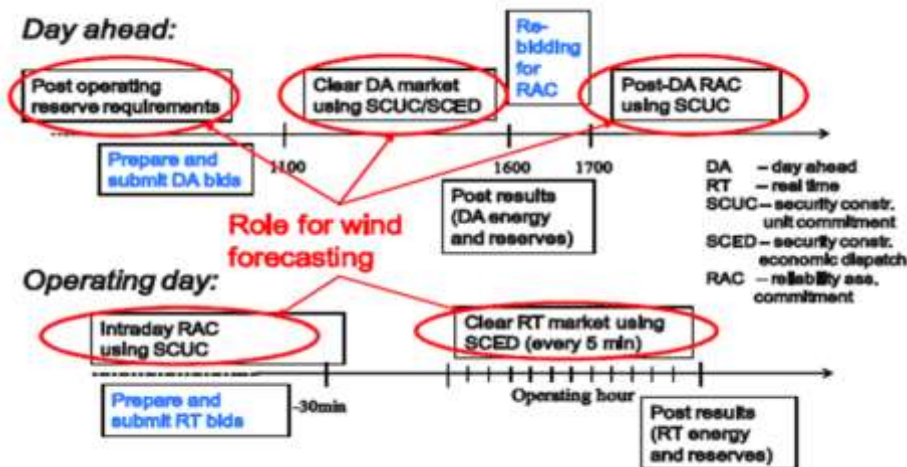
Flexibilityの向上：運用の高度化

- 震災後の原子力の再起動困難化の中で、電力システムの運用の複雑さについての世の中の理解が深まった。
- Flexibility向上のための電力システムの運用の高度化とは、複雑で即時性が求められる電力システムの運用の一層の高度化を意味する。

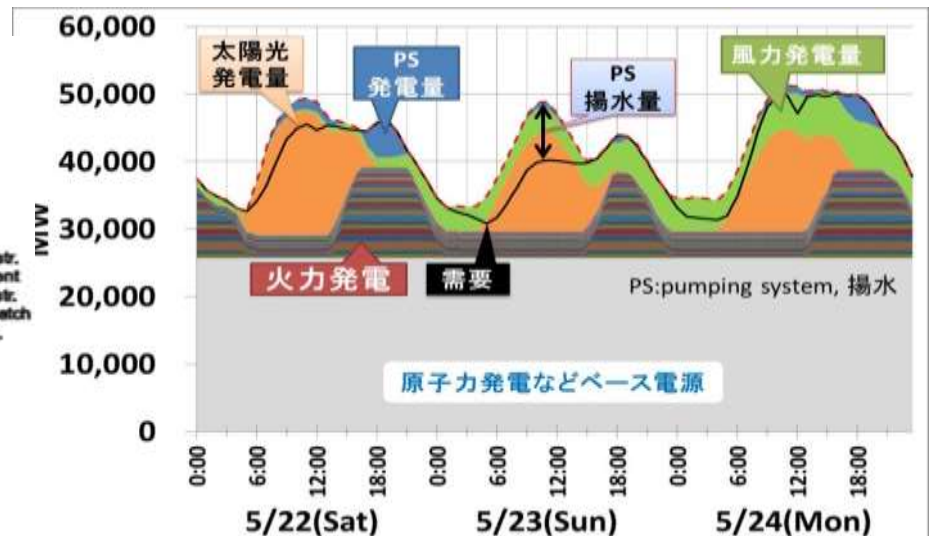


Flexibilityの向上：電力システム運用の進化

- 太陽光発電や風力発電の発電量の変動により、発電機の起動停止計画を含めた、電力システムの運用は徐々に変化する。
- 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より多くの台数の発電機を運転が必要となり、安定運用の確保には、経済性の劣る発電機の追加起動と全体の部分負荷運転による効率低下により運用コスト増が発生する。
- 電源、需要、流通設備の個別の機能向上と、系統間連系、再生可能エネルギーの発電特性分析と予測を最適に組み合わせ、安定性、経済性、環境性を向上する、電力システムの運用と設備形成の進化が必要。



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)



発電予測誤差を含めた東北-東京連系系統の
起動停止計画解析例

なぜスマートメーターか？

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

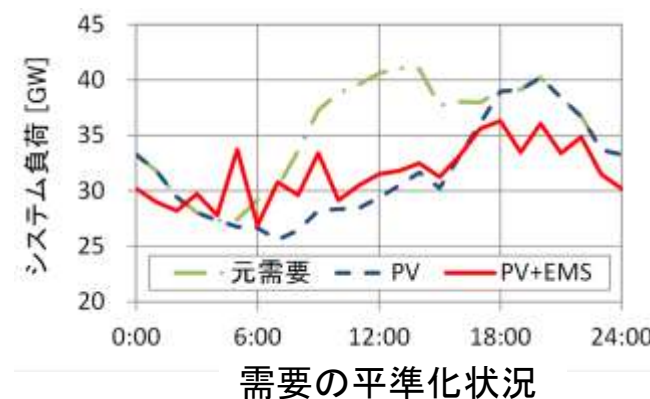
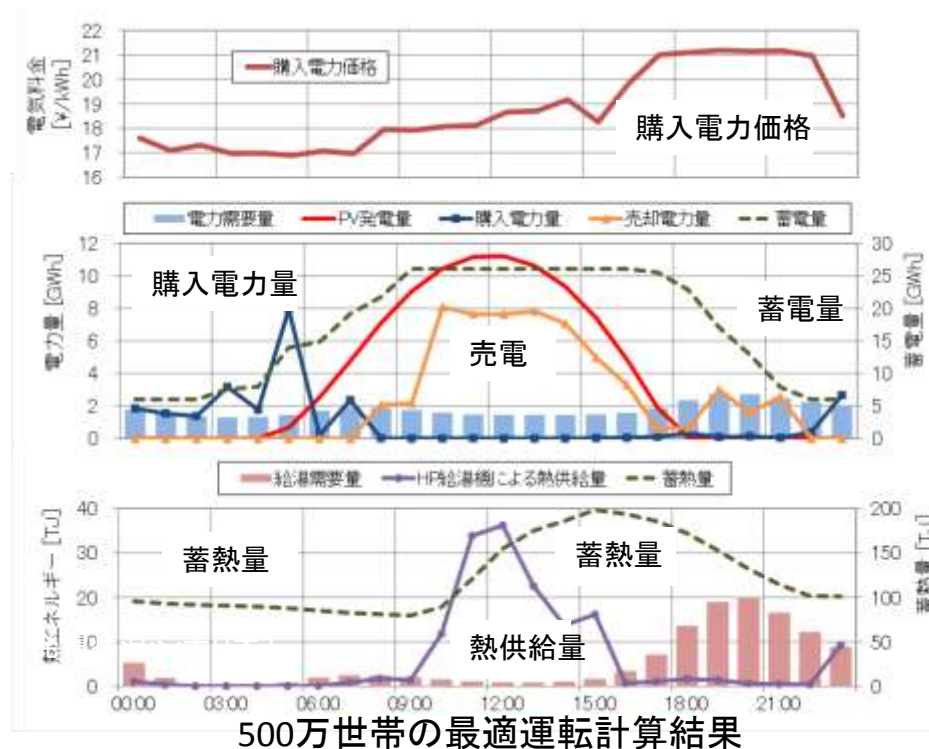


この装置を活かすシステム **Figure 5: A Modern Solid State Smart Meter (left) and an older Electromechanical Watt hour Meter**
 として、AMI :Advanced Metering Infrastructureがある。

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

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、HP給湯の沸き上げ時間を、電気料金が最小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、様々な用途のヒートポンプ需要の合計量を等価需要の平準化に活用することができる。



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。

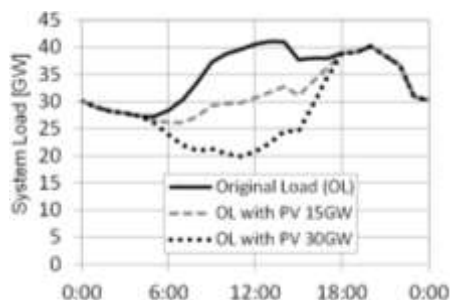
蓄電池は、充放電容量1~2 kW (平均1.5 kW, 地域全体7.5 GW), 蓄電容量2~12 kWh (平均6 kWh, 地域全体30 GWh)、充放電時のロスも15~20% (平均16%)。

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。

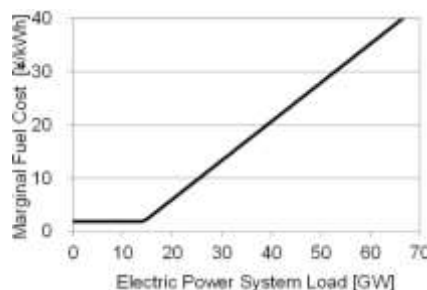
池上, 荻本, 矢野, 工藤, 井口: 再生可能エネルギーの連系と需要の能動化を考慮した電力システムの経済運用モデル, 電気学会全国大会(2012)

EV充電需要の能動化による需給調整

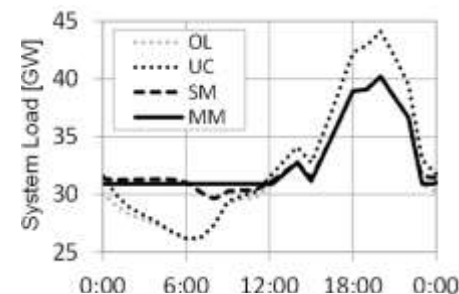
- 変動する再生可能エネルギー発電が導入されると、系統の発電機からみた需要はもとの需要から再生可能エネルギー発電量を差し引いた等価需要となる。
- 等価需要の予測に基づくダイナミックな電気料金のもとで、電気自動車の充電を料金が最低になるように制御する。
- 制御方式を工夫することで、本来の充電ニーズを満たしつつ、様々な用途の電気自動車の充電の合計量を等価需要を平準化に貢献させることができる。



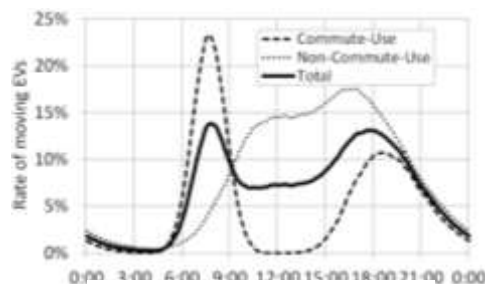
PV15GW, 30GWの発電を含めた等価需要



電力システムの限界燃料費

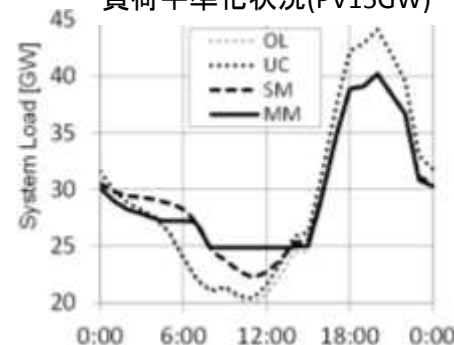


負荷平準化状況(PV15GW)



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。



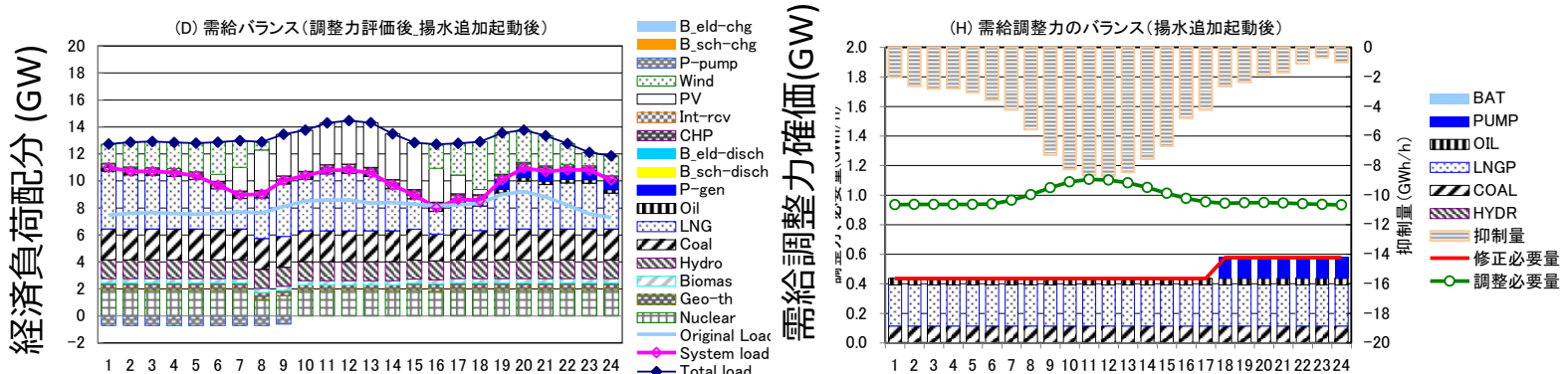
負荷平準化状況(PV15GW)

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)

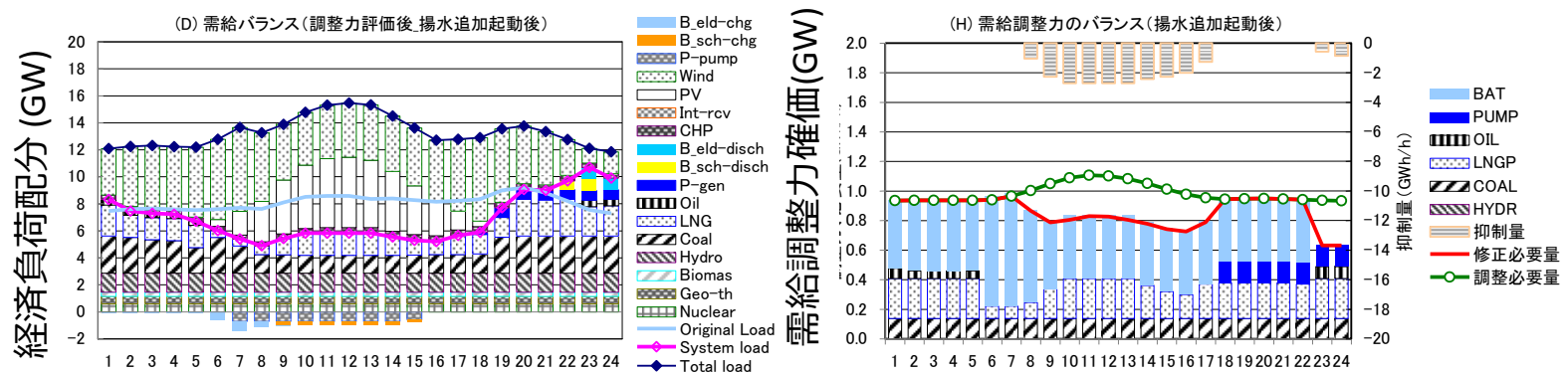
Flexibility向上策を最大活用したRES発電抑制の回避

- PV、風力の発電量の変動を含めた必要需給調整力に対し、能動化需要、系統電源双方の活用による需給調整力を算出し比較する。
- 最大限の運用に基づく需給調整力の追加確保でも賄えない再生可能エネルギー発電量の変動をその抑制により回避する量を、「発電抑制必要量」として算出する。
- 様々なFlexibility資源の最適活用による抑制量の削減と電力システムの設備・運用の全体最適化は、今後の課題。

バッテリーなし



バッテリーあり



シナリオ2b 東北 PV+風力最大日

需要の能動化を越えて：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。

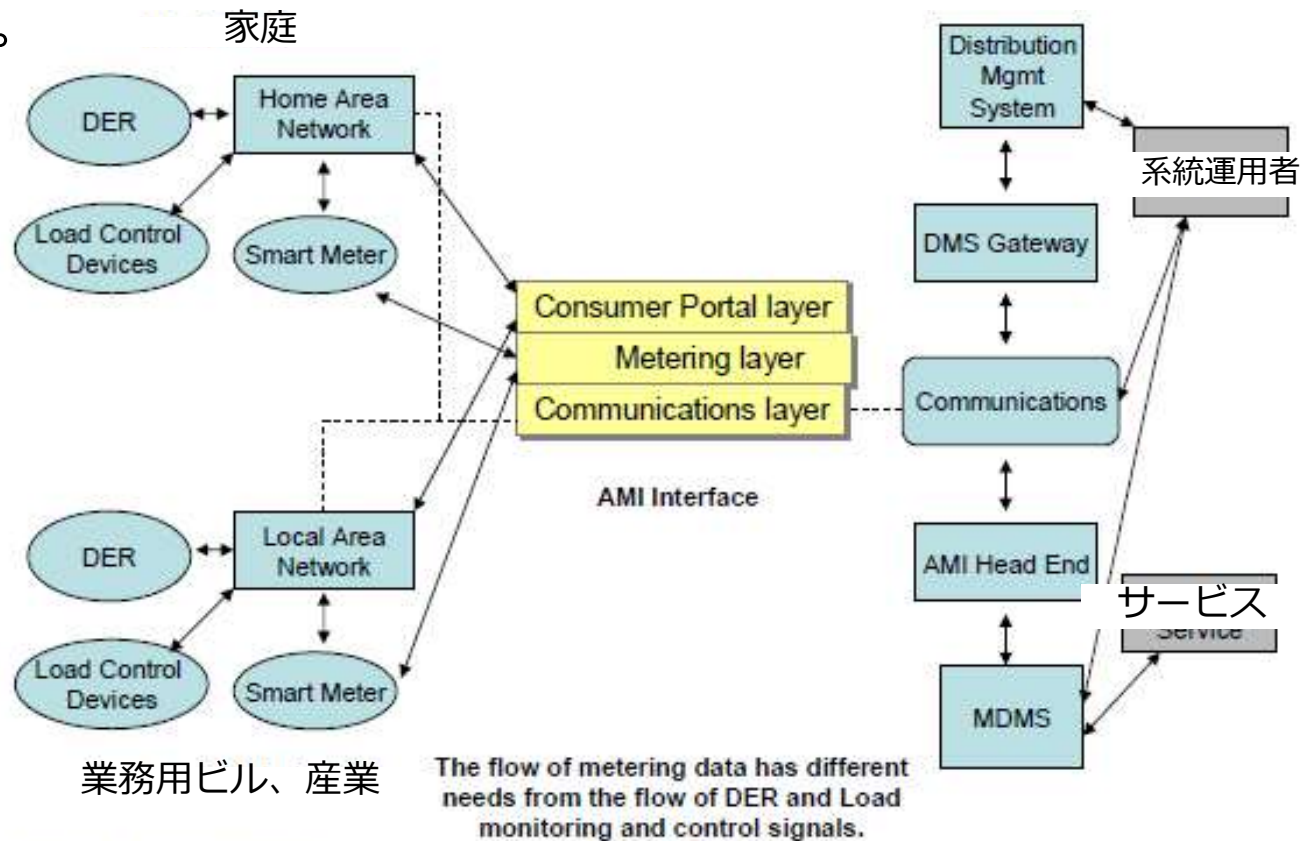
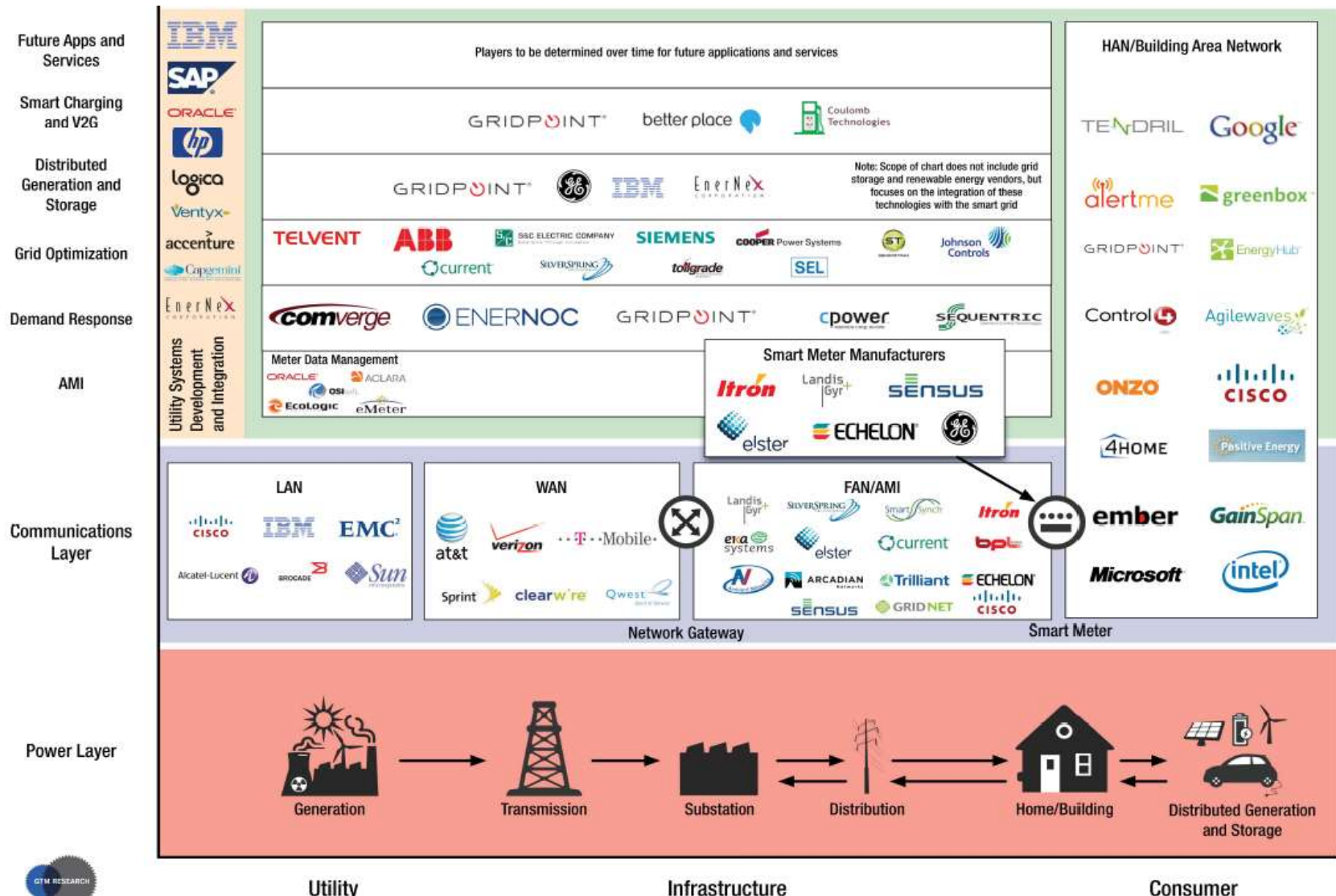


Figure 4: Overview of AMI

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

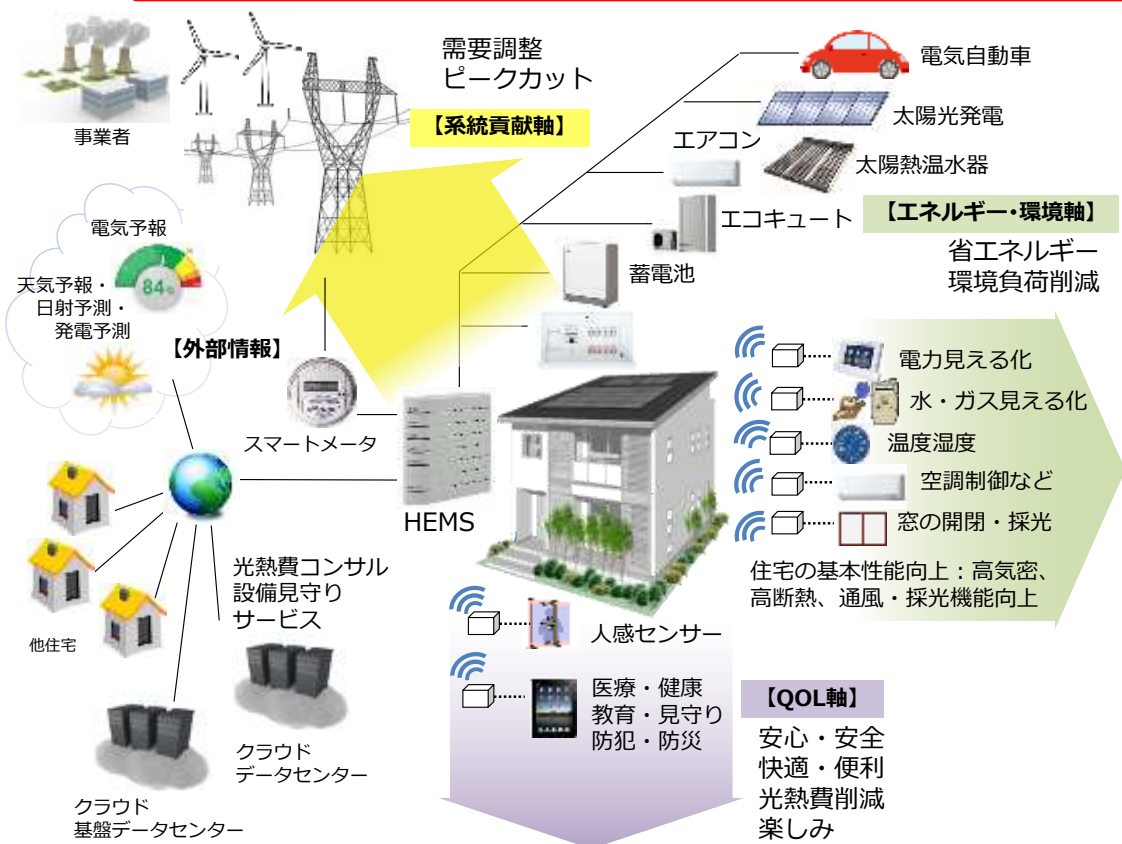
持続可能な社会へ：スマートグリッドの概念の拡大

- 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。

エネルギーだけではないHEMSの拡張性

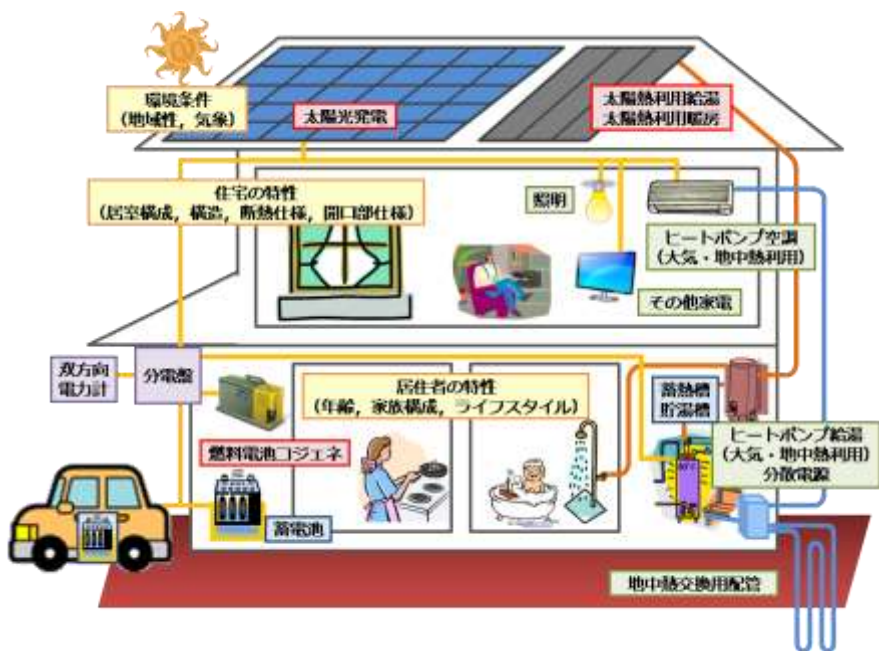
これまでに整備したプラットフォーム、住宅設備と機器との連携、環境情報の取り込み機能を活用して、外気環境、住宅環境、機器情報、系統側の電力需給情報等に基づき、

住宅の省エネルギー、CO₂排出量削減（エネルギー・環境軸）
エネルギーシステム全体の需給調整力の大幅向上（系統貢献軸）
安心・安全などエネルギーを越えたより高い価値（QOL軸）



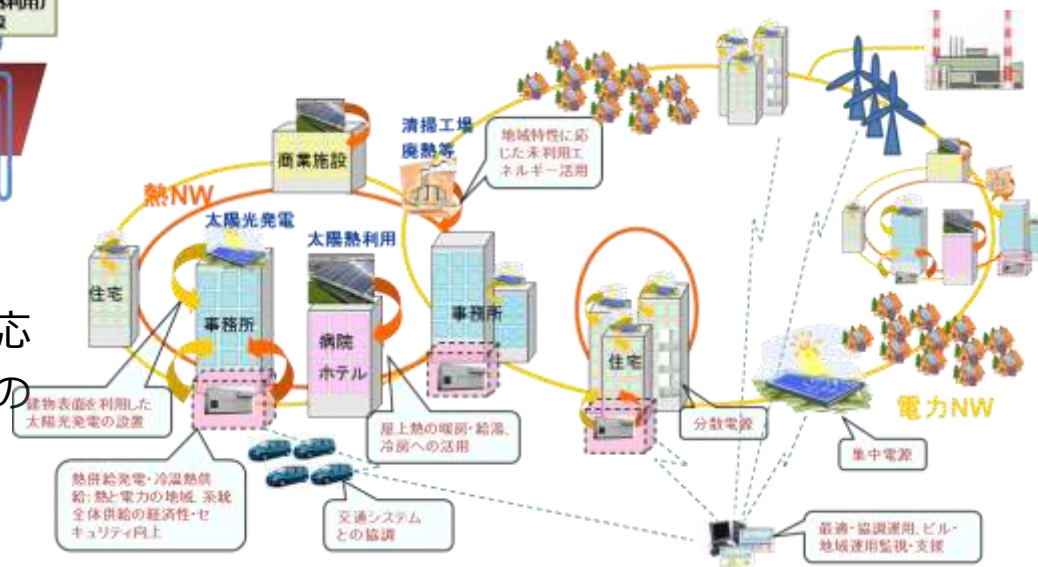
の三軸の高付加価値の実現
を目指し実証実験を続けて
いきます。

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
- P V、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

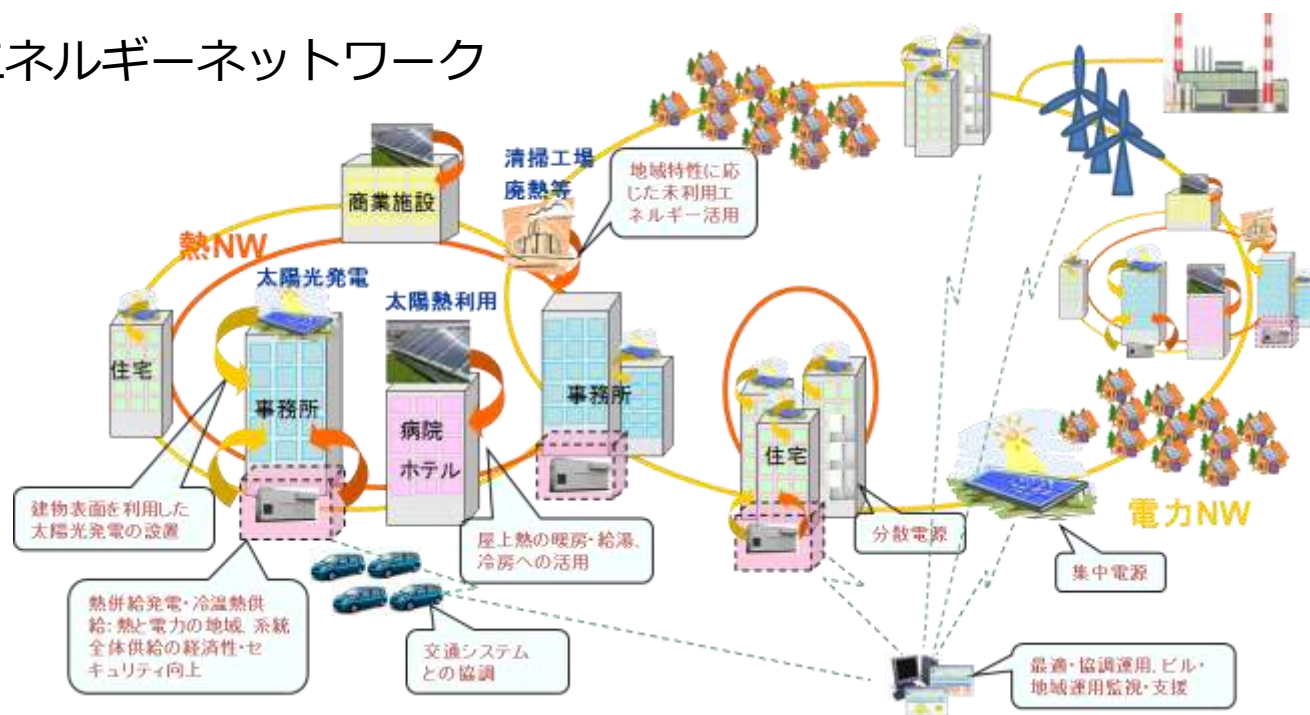


持続可能な社会へ：スマートエネルギーネットワーク

- 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

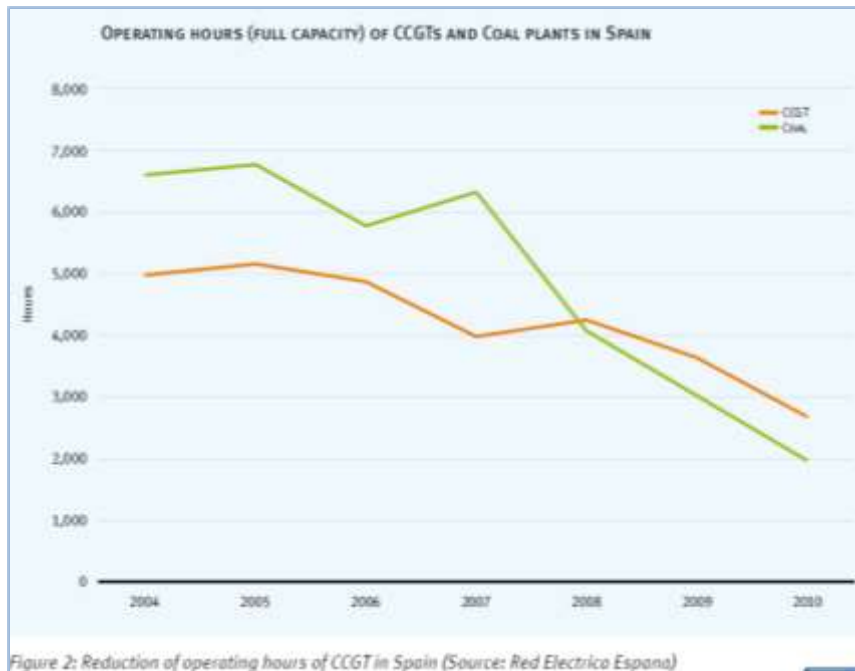


スマートエネルギーネットワーク

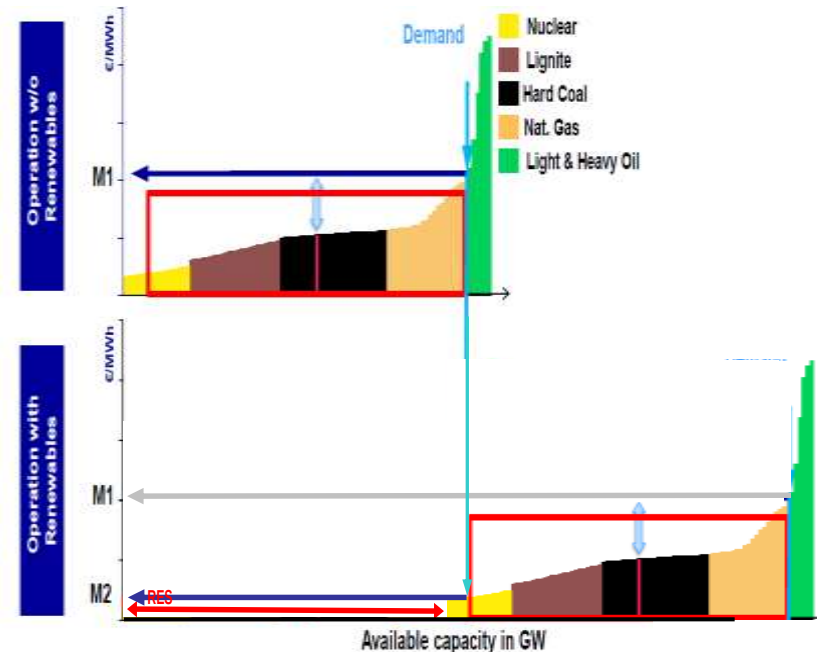


電力市場：V-RESによる運用の変化

- 再生可能エネルギーの大量導入と優先給電により、既設の火力の稼働率は大きく減少するとともに、市場決定価格も大きく落ち込んだ。
- ヨーロッパでは、“Large Combustion Plant Directive：2015年までの低効率の火発の廃止”や“Industrial Emissions Directive：環境負荷への規制強化”などにより火力発電の存続、新設が困難になる。



スペインのガス/石炭火力の運転時間の低下



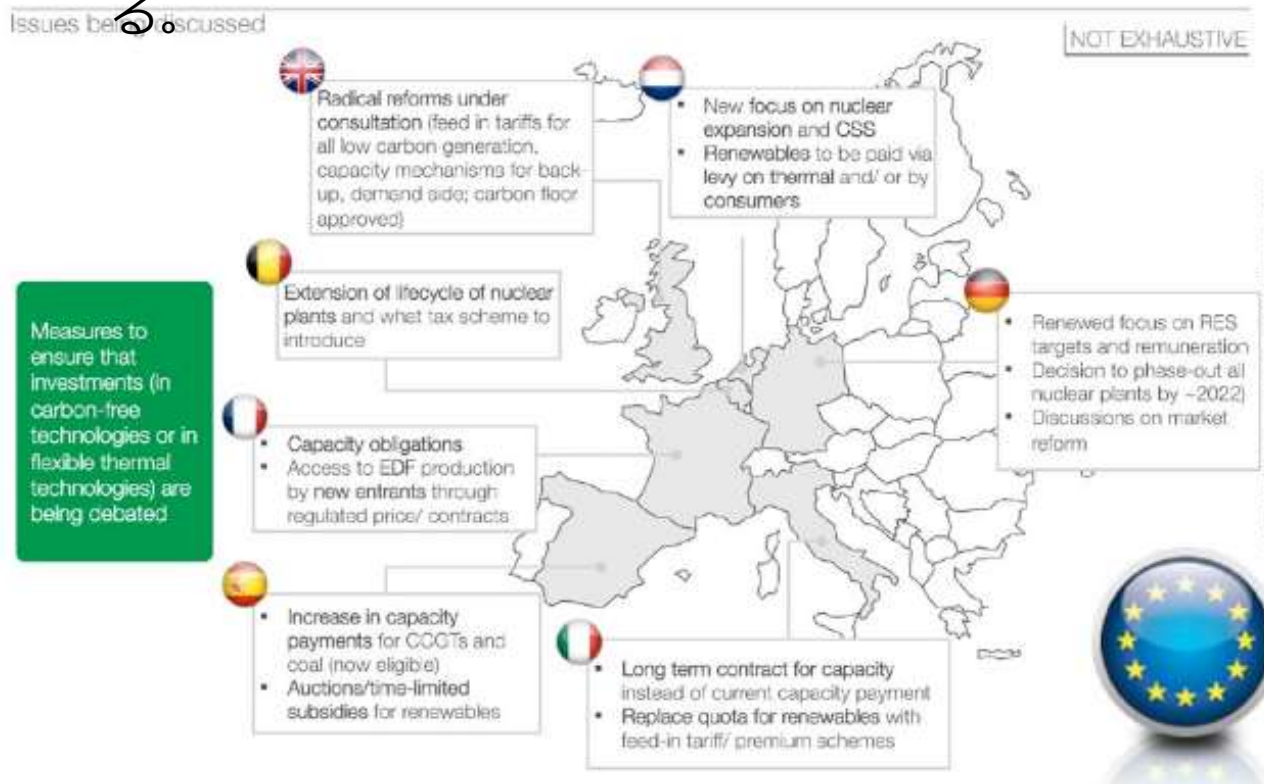
V-RES大量導入途による市場価格への影響

Euelectric, “RES Integration and Market Design: are Capacity Remuneration Mechanisms needed to ensure generation adequacy?” (2011)

EnBW, Siemens Energy, “Economic Operation of Fossil Fuelled Power Plants to ensure security of supply”, VGB Congress (2011)

電力市場：V-RES補完供給力の維持

- 変動性の再生可能エネルギーの導入の拡大に伴い、residual loadの最大/最小の差は拡大し、「V-RES補完供給力」は増加する。
- ドイツでは、補助金の給付を条件に採算上事業者が廃止を希望する発電所の廃止を認めないという制度を開始した。
- 季節電源の活用を含め、電力市場の日々の運用、設備形成の機能については、「容量市場の創設」など、脱炭素化全体の最重要課題として議論が続いている。



ヨーロッパの卸電力市場の要件についての議論

Power Perspectives 2030, A contribution to Roadmap 2050 (2011)

電力市場：EUレベルの諸検討

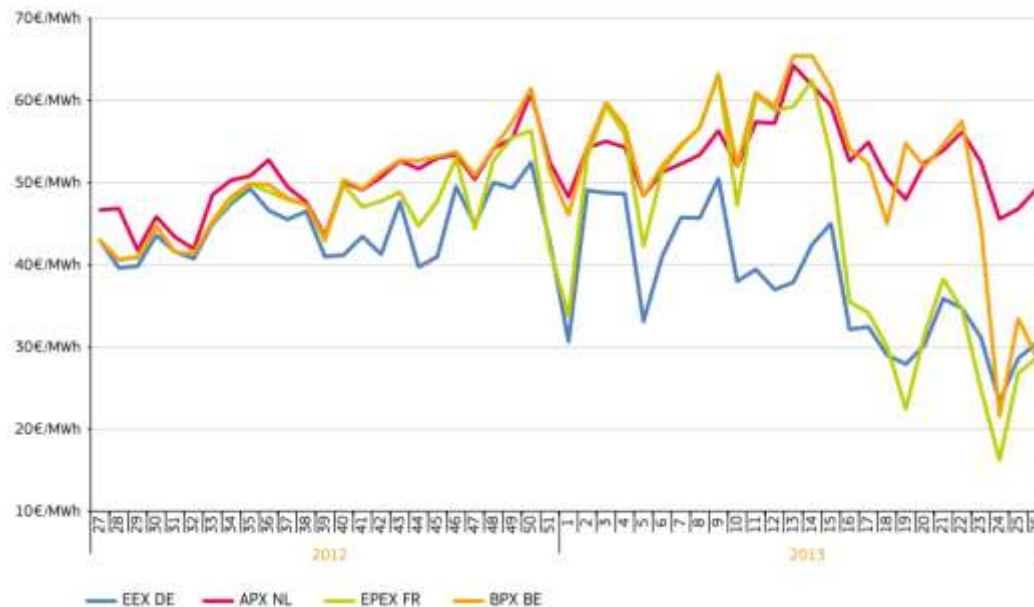
- European Climate Foundation: Power Perspective 2030
- Communication 112: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (2011.8)
- Communication 885: Energy roadmap 2050 (2011.12)
エネルギー市場の再考：電力の新しい管理方法、分散/集中、投資
- Report: Priorities for 2020 and beyond — a blueprint for an integrated european energy network
電力、ガスのネットワーク、貯蔵のインフラ形成
- Communication 271- Renewable energy: a major player in the European energy market (2012.11)
- Communication 663: Making the internal energy market work (2012.11)
域内統合の課題、移行の課題として投資シグナル、ネットワーク
- Council conclusions on Renewable Energy, December (2012.12)
域内統合と開放、RES統合、協力とトレード、インフラ、技術革新と持続性
- European Climate Foundation: Roadmap to Reality
- European Electricity Grid Initiative: Research and Innovation Roadmap 2013-2022 (2013.1)
- ENTSO-E: Draft Network Code on Electricity Balancing (2013.2)
- Forum Generation adequacy, capacity mechanisms and the internal market in electricity (2013.3) アデカシーと容量市場のパブコメのフォロー

欧州の電力市場の状況

西中央ヨーロッパ市場（独、仏、蘭、ベルギー）の価格動向は、市場統合の不完全性の中で、個別の需給要因での変動と相互の一定の乖離が見られる。

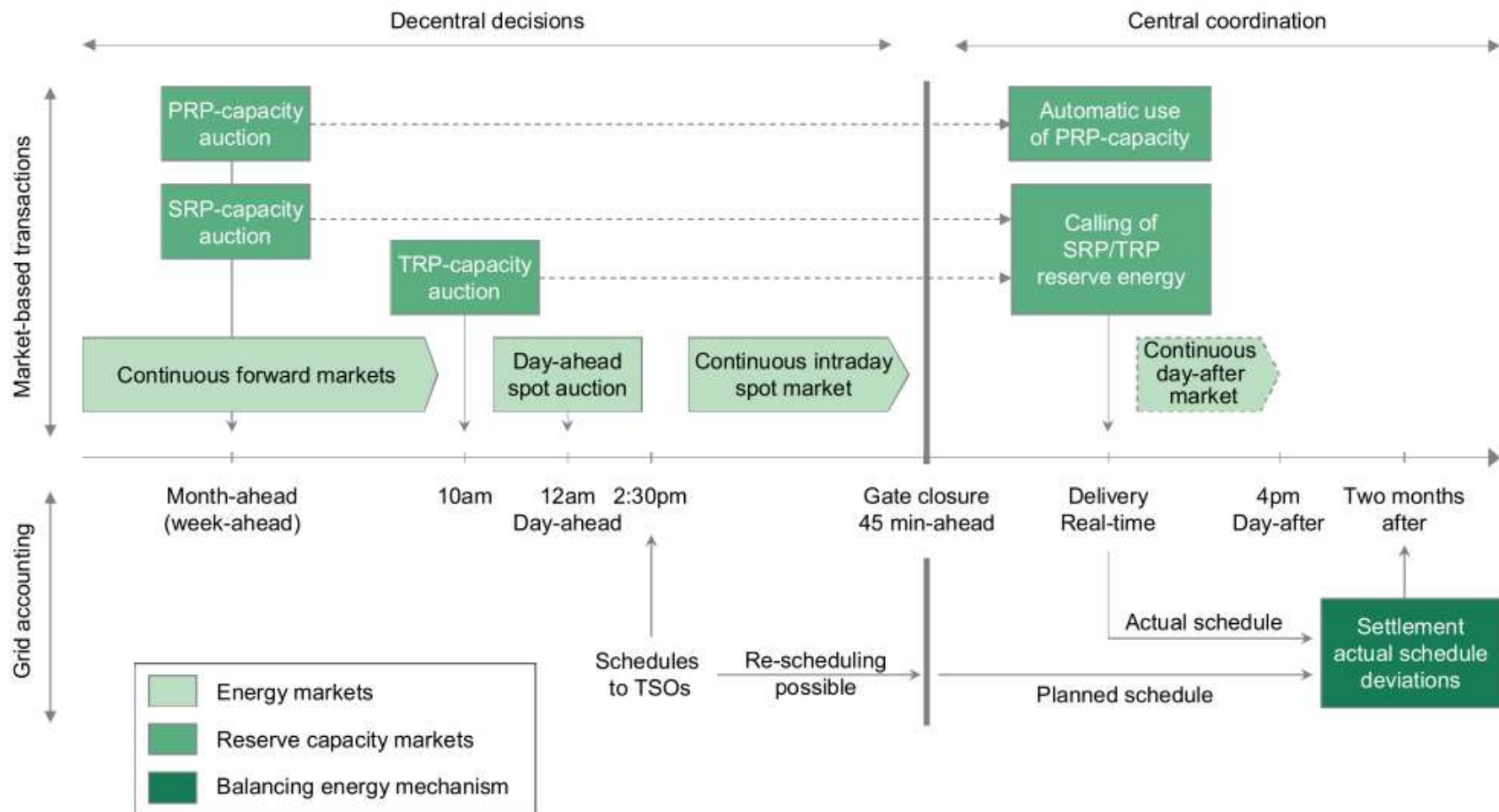
ドイツの電力卸市場EEXでは、再生可能エネルギーの大量導入と連系線の混雑による単独の長期低下傾向が見られ、スポット価格ではベース電源の連続運転（止めることによる不経済）も要因となり、マイナス価格の発生が定常化している。

欧州では、市場価格の低下と稼働率低下により、火力発電所の不採算の状況が広がり、おり、天然ガス火力の廃止、長期停止が増えてきている。



DG Energy: [Quarterly Report on European Electricity Markets](#), Market Observatory for Energy, Vol. 6, issue 1 (2013)

ドイツの電力場運用スケジュール



Sebastian Just and Christoph Weber : Strategic Behavior in the German Balancing Energy Mechanism: Incentives, Evidence, Costs and Solutions, Working Paper , University of Duisburg-Essen (2012)

IEAによる電力システムに関する取り組み

IEAでは、2011.4にIEAより刊行された“Harnessing Variable Renewables: a Guide to the Balancing Challenge”の続編として、2011.12より GIVAR IIIの検討が行われ、再生可能エネルギー発電の大量導入の影響とそれに対する電力システムの柔軟性向上に関する検討が行われた。

2014.1の報告書の、アブダビエネルギーサミット会議での公開を目指している。



<http://www.iea.org/topics/renewables/givar/>

EU ACERによる電力システムに関する取り組み

2013年9月、ECのエネルギー規制共同機関であるACER(Agency for the Cooperation of Energy Regulators)では、「Pre-consultation on “Energy Regulation: A bridge to 2025” set of papers」として、今後の電力・ガス市場のあり方についてのパブコメを実施した。

パブコメにあたっては、事務局が用意した論点ペーパーが掲載されている。



The screenshot shows the ACER website header with the logo and navigation menu. The main content area features a section titled "Pre-consultation on 'Energy Regulation: A bridge to 2025' set of papers". This section includes a list of documents: a cover note, a contracting paper, and three detailed discussion papers on electricity, gas, and consultation. Below this, there is a paragraph explaining the purpose of the papers and a link to the "Green (discussion) Paper". On the left, a sidebar lists various ACER documents and publications. On the right, a "Basic Information" box provides contact details for ACER.

ACER
Agency for the Cooperation of Energy Regulators

WORKING TOWARDS A SINGLE ENERGY MARKET
TO THE BENEFIT OF ALL EU CONSUMERS

THE AGENCY THE EU ENERGY MARKET ELECTRICITY GAS REMIT OFFICIAL DOCUMENTS MEDIA

ACER - Official documents - Public consultations - PC_2013_E_05 - Pre-consultation on "Energy Regulation: A bridge to 2025" set of papers

Board of Regulators
Administrative Board
Board of Appeal
Acts of the Agency
Publications
Public consultations
PC_2013_E_05 - Pre-consultation on "Energy Regulation: A bridge to 2025" set of papers
Closed public consultations
ACER Guidance

Pre-consultation on "Energy Regulation: A bridge to 2025" set of papers

- Cover note describing the background and the next steps
- Contracting paper on "Energy Regulation: A bridge to 2025"
- 3 detailed discussion papers on respectively [electricity](#), [gas](#) and [consultation](#)

These papers aim to identify, in a more holistic way, the key challenges and regulatory responses to 2025. Each of the detailed papers outlines our early thinking and some more technical aspects of our vision to 2025. We welcome the initial views of stakeholders, as part of a 'pre-consultation phase', notably whether we have identified all the key issues. Our next milestone will be a Green (discussion) Paper which we

Basic Information
tel.: +386 (0) 8 205 34 00
fax: +386 (0) 8 205 34 13
mail: feedback@acer.europa.eu

http://www.acer.europa.eu/Official_documents/Public_consultations/Pages/PC_2013_E_05.aspx

ECによる域内統一電力市場を目指す電源確保の取組み

2013年11月、ECは、これまでの電力の域内統一市場を目指す検討の一環として、加盟各国で検討されている**容量メカニズム**、**容量市場**の導入の考え方を発表した。

この発表では、容量市場は、本来市場シグナルにより自主的な投資で行われるはずの供給力の確保を、別のメカニズムあるいは市場の創設により行うもので、その必要量を人為的に設定することを含め、一般市場への公的介入にあたる。

このため、今回の発表では、一般に言われる公的介入の弊害を考慮して制度検討を行う必要があることが述べられている。



http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/internal_market_en.htm

米国 FERCによる電力システムに関する取り組み

2013年9月、米国の連邦エネルギー規制機関であるFERC(FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION)では、**容量市場に関する技術会議**を開催し、今後の容量市場のあり方を議論し、12月までのパブコメを実施した。

会議では、再生化のエネルギー大量導入のもとでの、新たな柔軟性の活用を含めた電力システムの運用、市場、についての、課題、技術、市場制度など、事前に配布された論点についての具体的な議論が行われた。

The screenshot displays the FERC Event Calendar interface. At the top, there's a search bar and filters for Category (All Events), Month (September), and Year (2014). Below this, a navigation bar shows 'MONTH VIEW' and 'LIST VIEW' tabs, with 'MONTH VIEW' selected. The main content area is titled 'Conference - Conference - September 25, 2013'. It contains a table with event details:

Event Name:	Conference
Start Date:	Wednesday, September 25, 2013
End Date:	Wednesday, September 25, 2013
Summary:	Technical Conference on Centralized Capacity Markets in RTOs/ISOs (2013-7-000) (Free webcast available) (Washington, DC)
Description:	The purpose of the technical conference is to consider how current centralized capacity market rules and structures are supporting the procurement and retention of resources necessary to meet future reliability and operational needs. This conference will be held at: Federal Energy Regulatory Commission 888 First Street, NE Washington, DC 20426 A free live webcast is available for this meeting. All webcasts are archived for 3 months. Post technical conference comments are encouraged to give your comments by Monday, December 9, 2013.
Title:	Centralized Capacity Markets in Regional Transmission Organizations and Independent System Operators
* Start Time:	9:00 a.m.
End Time:	2:00 p.m.
Location:	Washington, DC
Contact:	Sarah McKinley
Contact Telephone:	202-502-6934
Registration:	

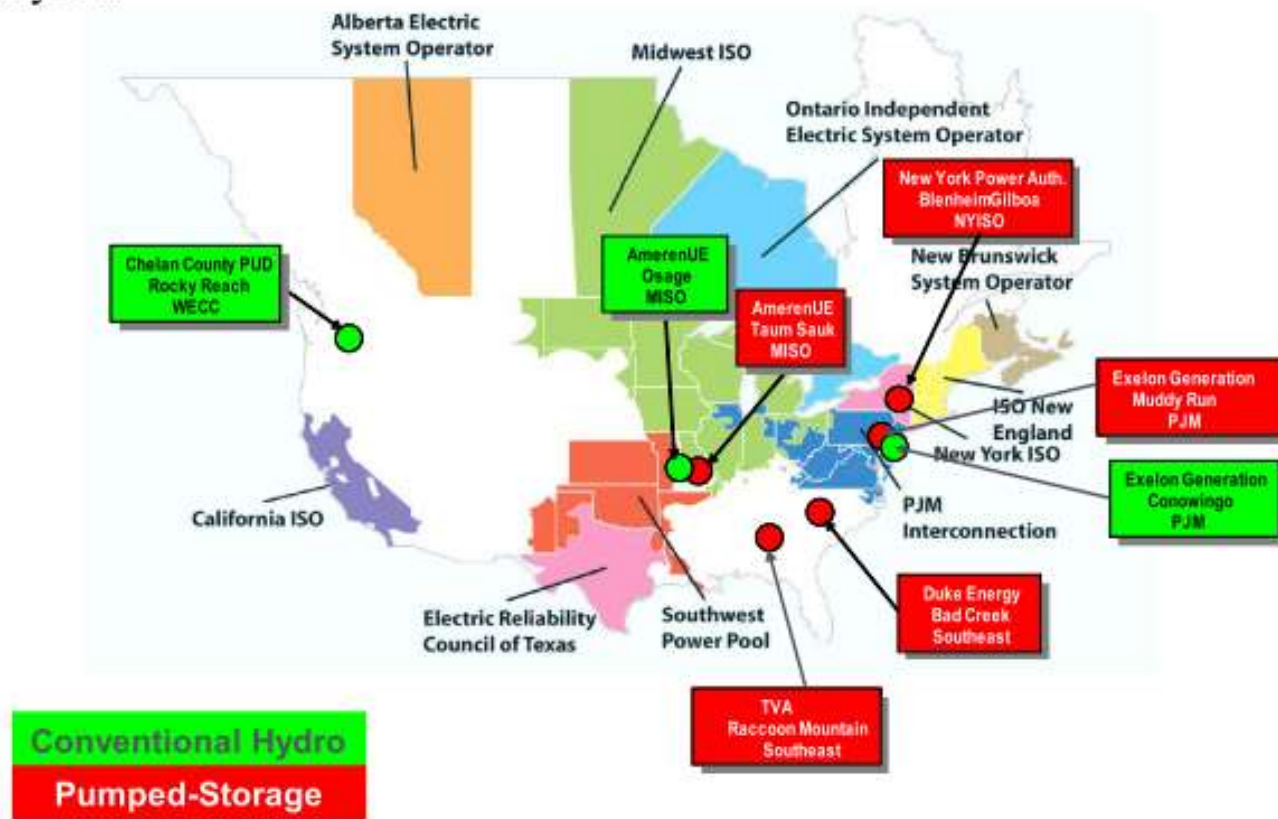
On the right side, there's a 'Related Files' section listing various documents available for download, including Notices, Agendas, Final Agendas, Staff Papers, OK, PDF, Current, Drafts, and various reports and statements from stakeholders.

<http://www.ferc.gov/EventCalendar/EventDetails.aspx?ID=6944&CalType=>

米国の水力ケーススタディ

- 運用の視点では、価値の増加の可能性として、河川の運用と組み合わせた最適化、調整力としての活用による他の電源の劣化防止や効率向上、再生可能エネルギーなど調整力不足の電源の更なる導入などが挙げられている。**

analyzed.



EPRI Quantifying the Value of Hydropower in the Electric Grid: Final Report (2013)

米国での水力の新たな価値検討 (1) 運用

- 運用の視点では、価値の増加の可能性として、河川の運用と組み合わせた最適化、調整力としての活用による他の電源の劣化防止や効率向上、再生可能エネルギーなど調整力不足の電源の更なる導入などが挙げられている。

No.	Value Streams	Ways to Increase Value	Beneficiaries	Potential Value
1	Operational Improvements	Identify and make plant efficiency improvements by modifying hydro unit operations while respecting river system optimizations and constraints	Plant owner	1-3% revenue increase
2	Operational Improvements	Use hydro more frequently to address other generation and load variability in the power system, providing flexible reserves, reducing wear and tear on the thermal fleet, while increasing the efficiency of other generation	System operator or vertically integrated utility	40% annual revenue increase PS
3	Operational Improvements	<i>Recognize hydro for allowing more generation diversity and options, thus enhancing energy security and maintaining power supply reliability in the face of uncertainties in future energy resources</i>	National interest, general public, and NERC	Not quantified

米国での水力の新たな価値検討 (2) 技術

- 技術の視点では、価値の増加の可能性として、最低/最大出力の変更による運転範囲の拡大、可変速一時間未満の需給調整、環境配慮型揚水による開発促進などが挙げられている。

No.	Value Streams	Ways to Increase Value	Beneficiaries	Potential Value
4	New Hydro Technologies	Expand the effective operating range of existing and new hydro units with lower minimum load and higher peak operating capabilities	Plant owner and operator	61% increase annual average income PS
5	New Hydro Technologies	Apply adjustable speed drive electronics in new and selected existing pumped storage units to enable regulation of the pumping power requirements, particularly at night	Plant owner and operator	85% increase annual average income PS
6	New Hydro Technologies	<i>Design new pumped storage plants that minimize environmental impacts such as low profile or closed water supply loop to shorten licensing lead times and public approval process as compared to recent conventional experiences</i>	Plant developers, general public	Not quantified

米国での水力の新たな価値検討 (3) 市場

- 市場の視点では、価値の増加は、一時間未満の需給調整、エネルギー/アンシリリーの運用価値最大化、揚水の貯蔵設備としての最適運用、供給力不足時の予備力などでえられるとしている。

No.	Value Streams	Ways to Increase Value	Beneficiaries	Potential Value
7	Electricity Markets	Settle energy markets sub-hourly, increasing conventional and pumped storage energy arbitrage opportunities with grid demand load leveling benefits	Everybody	5% decrease in electricity prices
8	Electricity Markets	Have the Independent System Operators (ISOs) scheduling hydro to co-optimize energy and ancillary services within a balancing authority	Everybody	63-77% increase in profits PS
9	Electricity Markets	<i>Treat pumped storage as a new storage asset class capturing the full value of services and improving the economics in areas with resource constraints</i>	Developers, owners, and general public	Not quantified
10	Electricity Markets	<i>Credit hydro for its very fast regulation response in situations where resource adequacy is a power system reliability issue</i>	Developers, owners, NERC and general public	Not quantified

欧州の状況：河川利用についての考え方

Are the socio-economic benefits of a heavily modified water body in the balance sheet?

Transport: environment-friendly, low-cost inland waterway

Public security: Improved flood/drought protection

Energy: climate friendly electricity generation with flexibility to stabilize electric system and to support the integrations of more variable renewables

Agriculture: Stabilized groundwater levels have beneficial effects on yields

Is it responsible to expect 50 million Euros to be invested into fish migration to achieve **possibly good ecological potential**?



slide 6

エネルギーシステムインテグレーション

- 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。

ドイツのEnergiewende (1)

日本の福島事故を受け、2011.5よりドイツは従来の路線に原子力廃止を加え、エネルギー構造の転換を進めている

- ◆ 改革の必要性は、エネルギー安定供給、持続可能な成長、RE導入による投資と雇用の促進、地球環境問題、技術革新と産業育成
- ◆ 目標として、温暖化ガス削減、再生可能エネルギー(RES)、省エネルギーの原子力の2022までの段階的廃止(実際の廃止は、2015, 2017, 2019, 2021, 2022)などの計画が掲げられている。
- ◆ 2011の発電電力量におけるREのシェアは風力8%, バイオマス6%, 水力3%, 太陽光発電で3%の合計20%で、石炭火力44%(褐炭25%, 瀝青炭19%), 原子力18%, 天然ガス火力14%である。
- ◆ 2050年にはエネルギー需要を50%削減し、60%をRESで供給し、電力のRESの供給を80%とする、これらに対応し、運輸、熱需要など様々な分野の電化を進める。
- ◆ RESの発電の導入の増加のため、PVや風力の発電量抑制、電源の効果的運用、需要の能動化、発電予測、市場・需給調整運用の高度化、送配電網の整備などを進める。

ドイツのEnergiewende (2)

ドイツのEnergiewendeは、脱原子力、再生可能エネルギー導入のお手本としてマスコミ、専門家の話題でよく取り上げられる。しかし、日本の手本としては、特定のポイントのつまみ食いはなく、全体の理解が必須。

- ◆ 電気料金上昇に関する、産業・業務、家庭への影響
- ◆ 経済性、雇用の視点からの国内の褐炭の利用継続と、褐炭火力の需給調整力の不足の影響（より東側の国に褐炭資源は多い）。
- ◆ 需給調整力不足による毎日の運用の不安定化と抑制電力量の増加。
- ◆ 稼働率低下と電力市場価格の下落による、需給運用上必要な既存火力の不採算に象徴される現行市場制度の改善の必要性。
- ◆ 北部の風力発電と南部の産業を含む需要地を結ぶ送電網の整備に対する市民の反対による実現難。
- ◆ 蓄電、需要の能動化といった変動する再生可能エネルギー発電の20%超の安定導入に必要な技術の展開には一定の時間を要する。

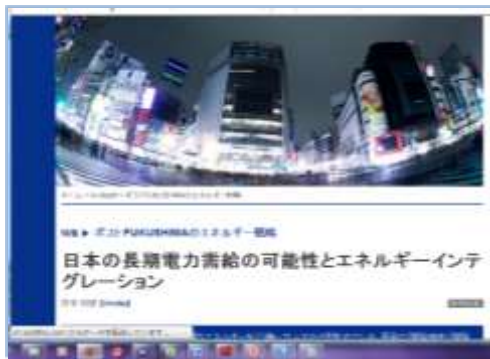
海外にパラダイスを求めても、現実は異なる。

先進事例として本質を理解し、分野によっては協同で解決策を考えるなど、独りよがりにならない自らの努力を含めた取り組みが日本にとって必要であろう。

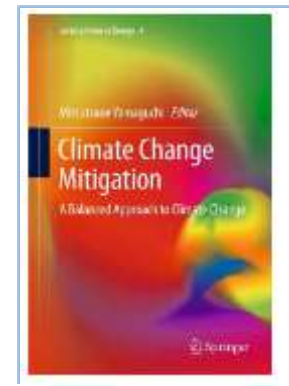
ご清聴ありがとうございました

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/>



「シナリオ選択のインパクト」を、
2012.7Springer発刊のLecture
Notes in Energy “Climate Change
Mitigation”とその和訳である
2013.4丸善発刊の「実現可能な気
候変動対策」に掲載しました。