

太陽光発電工学研究センター成果報告会

# エネルギーインテグレーション

—変わったことと変わらないこと—

2011年6月30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 Contents

1. 震災で電力供給に何が起こったか？ What happened in a power system?
2. 直後の対応？ What was done immediately?  
連系線の活用, 他社から応援, 計画停電 Interconnection
3. 今後何が行われるのか？ What are being/will be done?  
供給サイド, 需要サイド Supply side and demand side
4. 今何をすべきか？ What should we do now?  
需給ギャップの解消, 方針の策定
5. 短期的取り組みは？ What are short-term countermeasures?  
できないことは？ できることは？ What can be done?  
電力使用状況, 節電の方法, 節電の効果と実行
6. 中長期的取り組みは？ What are mid/long-term countermeasures?  
最大範囲で最適化 Optimization under maximum alternatives
7. シナリオ選択のインパクト Impacts of decisions  
電力シナリオによる安定性、経済性、環境性の評価例
8. エネルギーインテグレーション Energy Integration
9. 持続可能な社会へ Energy Integration
10. 実証試験 Demonstration test

# 1. 震災で電力供給に何が起こったか？ What happened to the power supply?

- 千葉以北の太平洋沿岸を中心とする火力・原子力電源が揺れと津波により停止，大きな設備被害 Generation plants along the pacific seacoast have been heavily damaged by the quakes and the tsunami.



- 被災したプラントはThe damaged plants are:

- 東北系統では  
In the Tohoku area

八戸	25万kW
仙台	44万kW
新仙台	95万kW
原町	200万kW
新地(共)	200万kW

(共):共同火力

- 東京系統では  
In the Tokyo area

福島第一	470万kW
福島第二	440万kW
広野	380万kW
勿来(共)	163万kW
常陸那珂	100万kW
鹿島	440万kW
鹿島(共)	140万kW
住金鹿島	63万kW

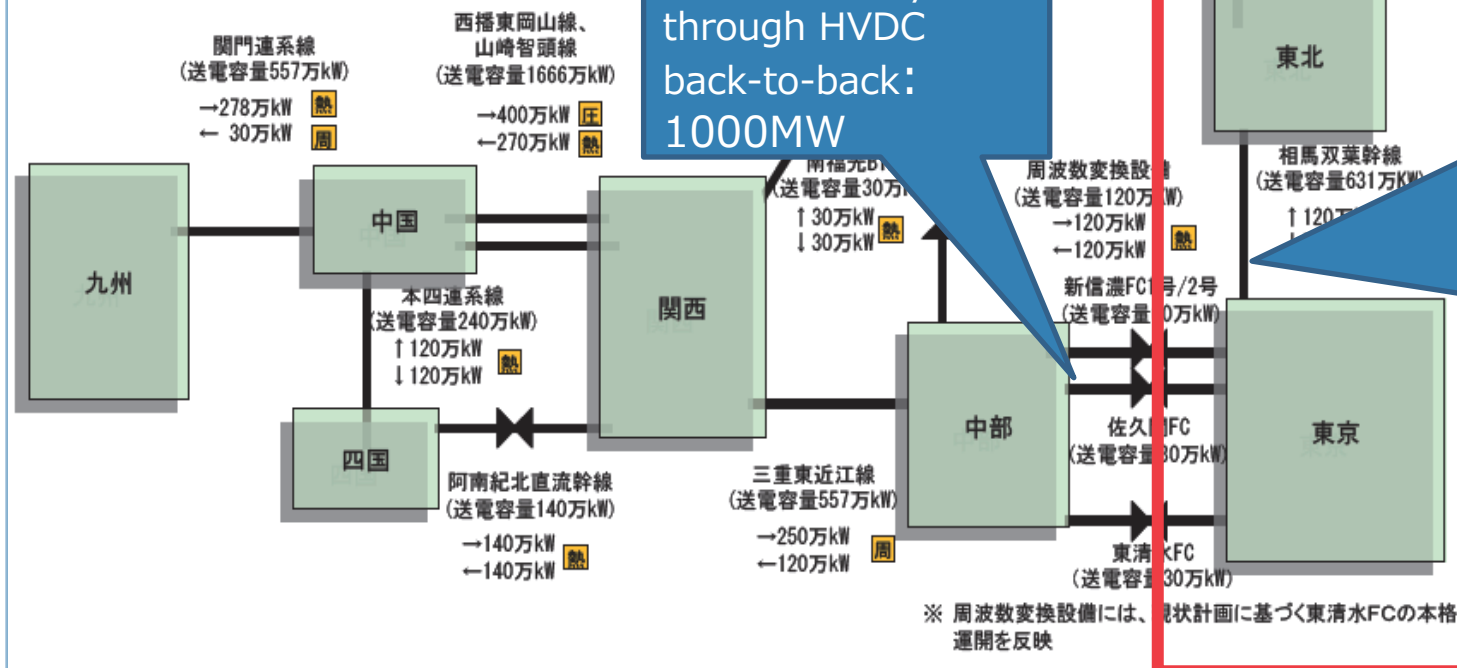
- 3/11は暖房需要の大きい冬季が終わっていない段階で，需要に対して供給力が不足  
In March, when there were still larger winter demand, we had a severe shortage of power supply.

## 2. 直後の対応

# 連系線の活用 Support through Interconnections

会社間連系線の整備状況および連系線の運用容量  
(平成18年度における平成27年度需要ピーク時)

※四角内は運用容量制約要因  
(**熱**熱容量、**周**周波数、**圧**電圧、**安**安定度)



北海道からは直流送電で:  
From Hokkaido through HVDC transmission:  
600MW

60Hz系からは周波数変換所で:  
From 60 Hz system through HVDC back-to-back:  
1000MW

東北-東京間の連系容量は当面十分だが互いの電力供給が不足する中で安定な運用は難しい状況  
Although the tie-line between Tokyo and Tohoku is in operation, the stable operation is quite difficult.



## 2. 直後の対応？

### 他社から応援 Additional Generation

#### □ 50Hz/60Hzの境界地域にある 通常60Hz運用の水力機の50Hzでの運転

Hydro power plants, which are normally in 60Hz operation, are connected to Tokyo system in 50Hz operation.

- 佐久間発電所（静岡） 17.5万kW（1,2号機）
- 秋葉第一・第二・第三発電所（静岡） 13万kW
- 御岳発電所・寝覚発電所（長野） 7万kW
- 泰阜（やすおか）発電所（長野） 2万kW

（いずれも、供給力は水量に依存するため、上記は最大値）



#### □ 電力会社による地域内の自家発電設備など余裕のある供給力の調達（当初100万kW，現在数百万kW）

Purchase of existing major generations for self-supply in each power system.  
(In the first week, 1000MW, several million kW in April)

#### □ 需要側での多数の自主的な電源の調達・使用 （一台あたり数kW, 数十kW, 数百kW）

Purchase of existing numerous small-, medium self-generations

## 2. 直後の対応

### 計画停電 Rolling Black-out

- 大停電を回避するため、毎日の需要と供給見込みのもとで、設定された地域毎により輪番で停電させる

In order to avoid unmanageable blackout, power supply to the areas in a power system are alternatively stopped.

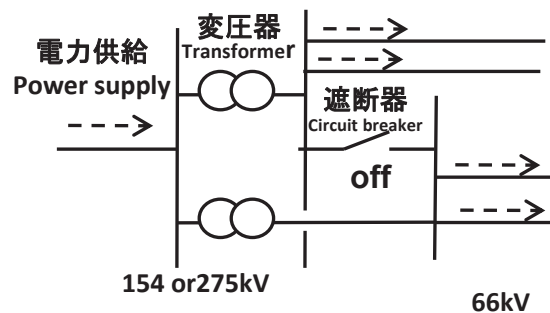
(具体的にはどう操作しているか? How is it operated?)

- 給電所からの操作で、275kVや154kVの超高圧変電所の66kV送電線を停止し、配電用変電所以下を停電する

An operator switches-off 66kV transmission lines from 275kV/154kV substations so as to black-out the connected distribution substations.

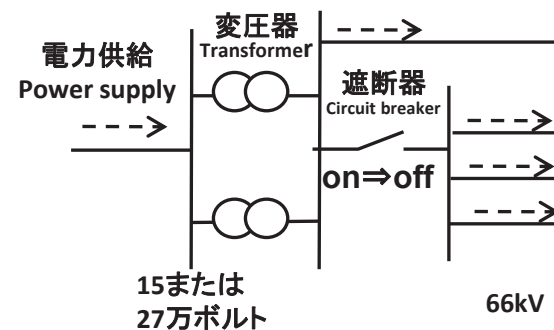
- この結果、配電用変電所からの6.6kV配電線（いわゆる「電柱」）とそこから電気を受けている需要が、一括して停電となる

As a result, 6.6kV distribution lines on poles are de-energized and all the power supply to the demand are suspended.



[平常運用時の変電所]

S/S during normal Op.



[計画停電運用時の変電所]

S/S during Rolling-blackout

## 2. 直後の対応

### 計画停電の反省

### Lesson learned from Rolling blackout

- 配電用変電所の受け持ち区域が、行政区分と必ずしも一致しないこと、なるべく回避する努力をするために予定通りに実施されないことなど、需要家にとっていつ停電するかという予見性が不足しがち

A supply area of a distribution substation is often a little/sometimes largely different from an administration area. The power company tries to avoid a rolling blackout. Those reduce the predictability of a blackout for the demands.

- 計画停電の継続は、交通機関、工場の操業に影響し、経済活動を大きく阻害し、在宅医療などに代表される健康への影響も大きい

The rolling black out, even being managed, heavily damage all the social and economic activities including medical facilities in hospitals and houses.

- 計画停電の開始当初は、操作を確実に行うことや需給の安定化が最優先で、精一杯であったが、計画停電の実施方法の変更のアナウンスにもあるように、今後は少しずつきめ細かい運用も期待できる

At the beginning, the operation of a rolling black-out and The rolling black out, even being managed, heavily damage all the social and economic activities including transportation, industry, shops and medical facilities in hospitals and houses.

- 計画停電（rolling black-out, 輪番停電と呼ぶことが多い）は欧米、発展途上国などでも行われた実績はあるが、一日数時間、限られた日数の場合がほとんどで、今回の東京の場合のような期間・規模のものは稀

The scale and duration of the rolling blackout in the Tokyo area is much larger than many of those which are ever experienced

## 2. 直後の対応What have been done?

### 計画停電の反省Lesson Learned from Rolling blackout(2)

#### □ 計画的ではない停電とは？ What is an unmanageable black-out?

- 供給力が不足し、その結果通常50Hzの周波数が低下すると系統全体の崩壊を防ぐために「周波数低下保護リレー」が自動的に動作し、保護リレーの設定と周波数低下の状況の関係により、**時間的、地域的に予見できない**停電が発生する

When power supply is smaller than demand and the frequency of a power system reduces, under-frequency relays subsequently automatically disconnect demands in the system. This is an unpredictable and large scale black out.

- 大規模な停電により**復旧に長い時間がかかるという事態も**発生する
- When unmanageable blackout happens, many demands and sometimes many generators are disconnected. The restoration will sometimes requires tens of hours.

### 3. 今後何が行われるのか？ What are being/will be done?

## 供給サイド Supply side

(東京電力管内の場合 In Tokyo area)

- 火力の戦列復帰は、定期点検中、休止（長い期間停止している状態）、震災からの復旧など、それぞれの状況に応じて、1週間、1か月、数か月、長いものでは年単位の時間軸で実現

The thermal power plants are/will be on-lined from maintenance work and long-term cold reserve, and through restoration from quake damage in weeks, months and years.

復旧のスピード：鹿島が早く、常陸那珂などが続く

個別の状況によるが、長期の戦列復帰は、現段階では不確定要素大

- 5月に入り暖冷房需要のない期間は供給が追い付く

In May, when air-conditioning load is minimum, the supply will cover the demand.

- 夏季には冷房需要が増加し通常では最大6000万kW程度

In Summer, when air-conditioning load is maximum, the peak demand will rise to 60GW.

- 夏季に当初6500万kWを予定していた供給力は、現在停止中の原子力と復旧の終わらない火力を含め 1500万kW以上が使用できない状況

7月末 最大需要5500万kW > 供給力5200万kW(含揚水400万kW)

8月末 最大需要5500万kW > 供給力5070万kW(柏崎原子力の点検入り)

This summer, when around 15GW will be unavailable due to the quake, the supply capacity will reduce around 10GW even with restoration of long-term cold reserve units.

- 冬季には暖房需要が増加し、平年並みなら供給不足発生

In May, when air-conditioning load is minimum, the supply will cover the demand.

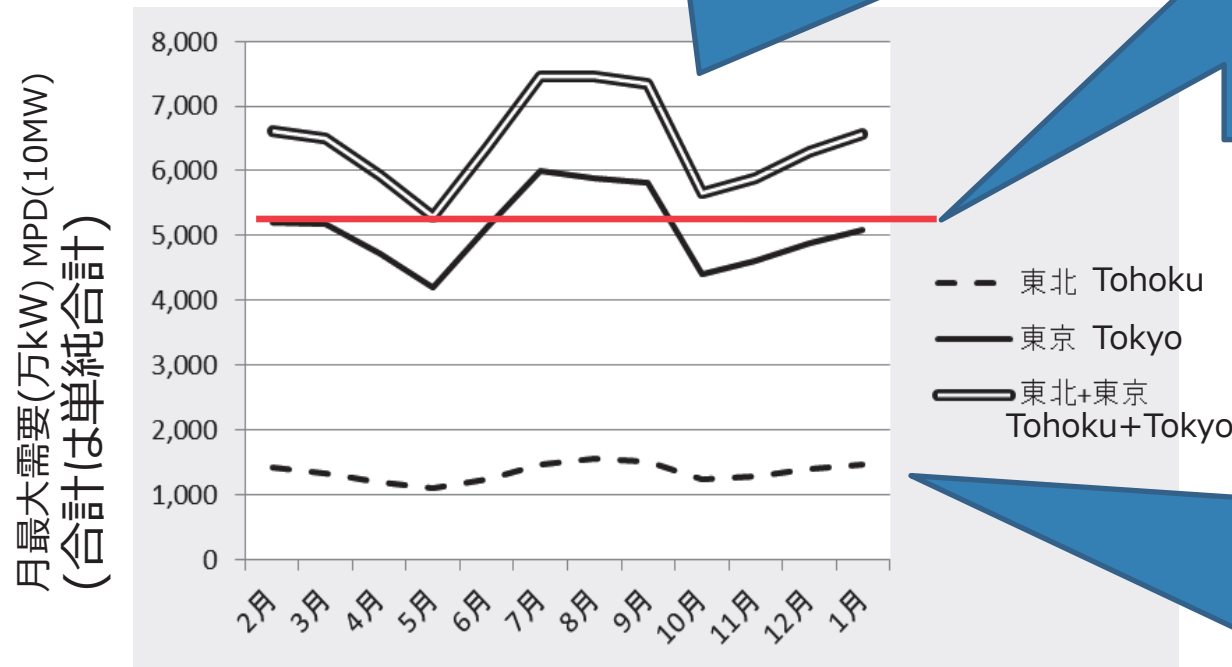


# 3. 今後何が行われるのか？ What are being/will be done?

## 需要サイド Demand side

50Hzの交流で連系されている東北、東京の両系統電力の需給において、供給力確保と、省エネ（無理な節電ではなく）を徹底と節電で全体としての安定化が必要  
The total operation of the two interconnected power systems needs to be stabilized through restoration of supply capacity and energy efficiency and demand suppression.

東京系統既発表の今夏の**東京系統の供給力**の想定確保量  
不測の電源事故や調整容量の確保要。揚水の運用には夜の安定供給力要。  
TEPCO's Announced supply capacity in this July, including reserve capacity for balancing and unpredicted failure. For pumped storage, operation during night time should be secured.



過去一年の月最大需要

Monthly peak demand of last one year

東北系統は震災による需要の減少も含め現状は計画停電には至っていない状況  
今後の復興と経済活動の立て直しによる需要増がどう影響するかは予断を許さない状況か  
Tohoku system, where there is large demand loss due to the quake, did not experienced black out. However, load restoration and coming summer and winter peak is critical.



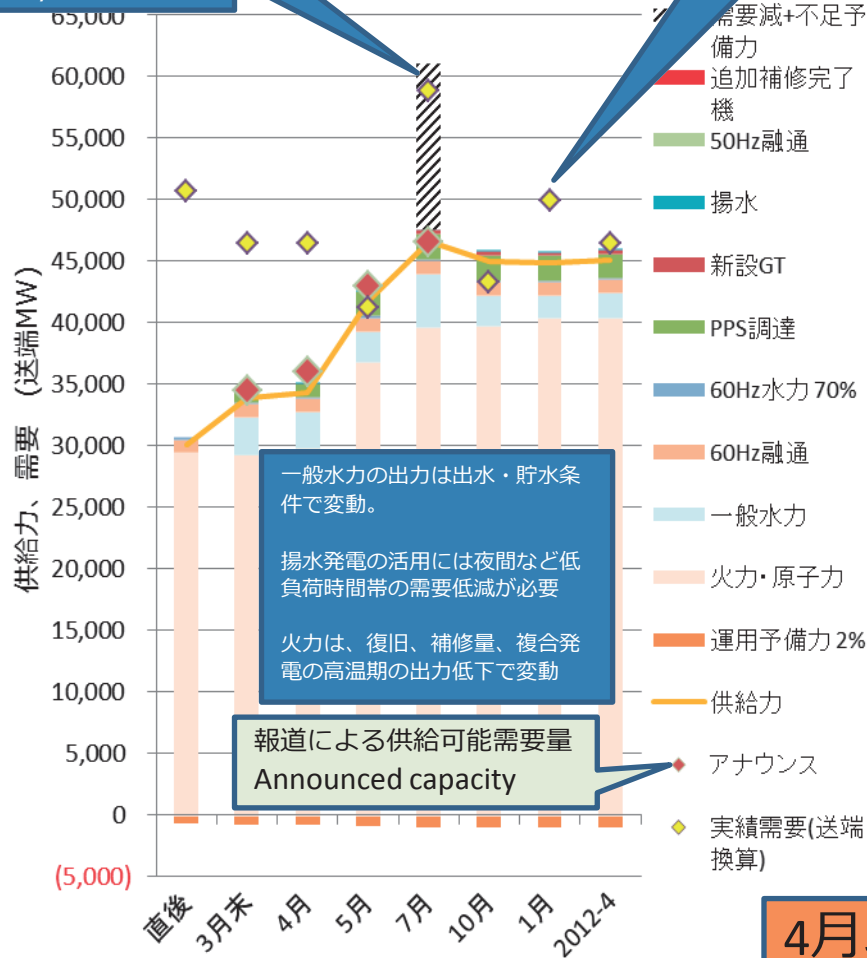
# 4. 何をすべきか？ What is to be done?

## 需給バランスの回復と維持 Restoration and Maintenance of d-s balance

夏季最大  
例年6千万kW  
今年55百万kW?  
Summer peak  
Usually 60GW  
This year 55GW?

東京系統需給バランス

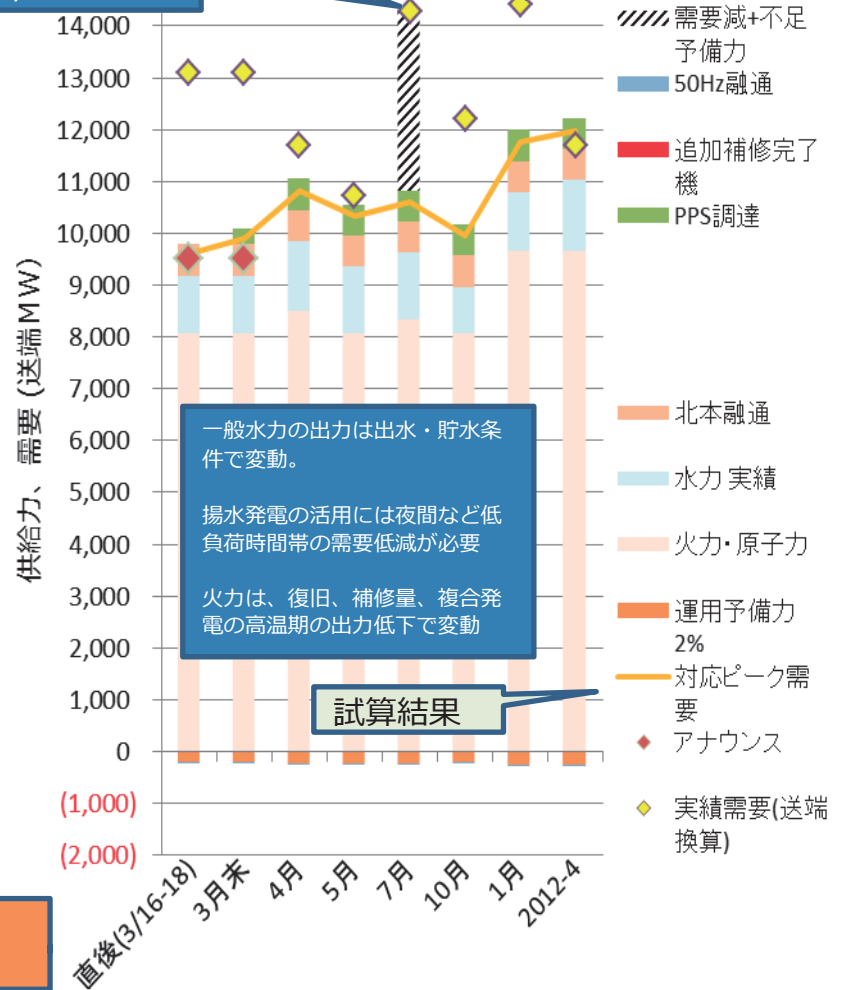
冬季最大  
例年52百万kW  
今年は?  
Winter peak  
Usually 52GW  
This year?



夏季最大  
例年14百万kW  
今年は?  
Summer peak  
Usually 14GW  
This year?

東北系統需給バランス

冬季最大  
例年14百万kW  
今年は?  
Winter peak  
Usually 14GW  
This year?



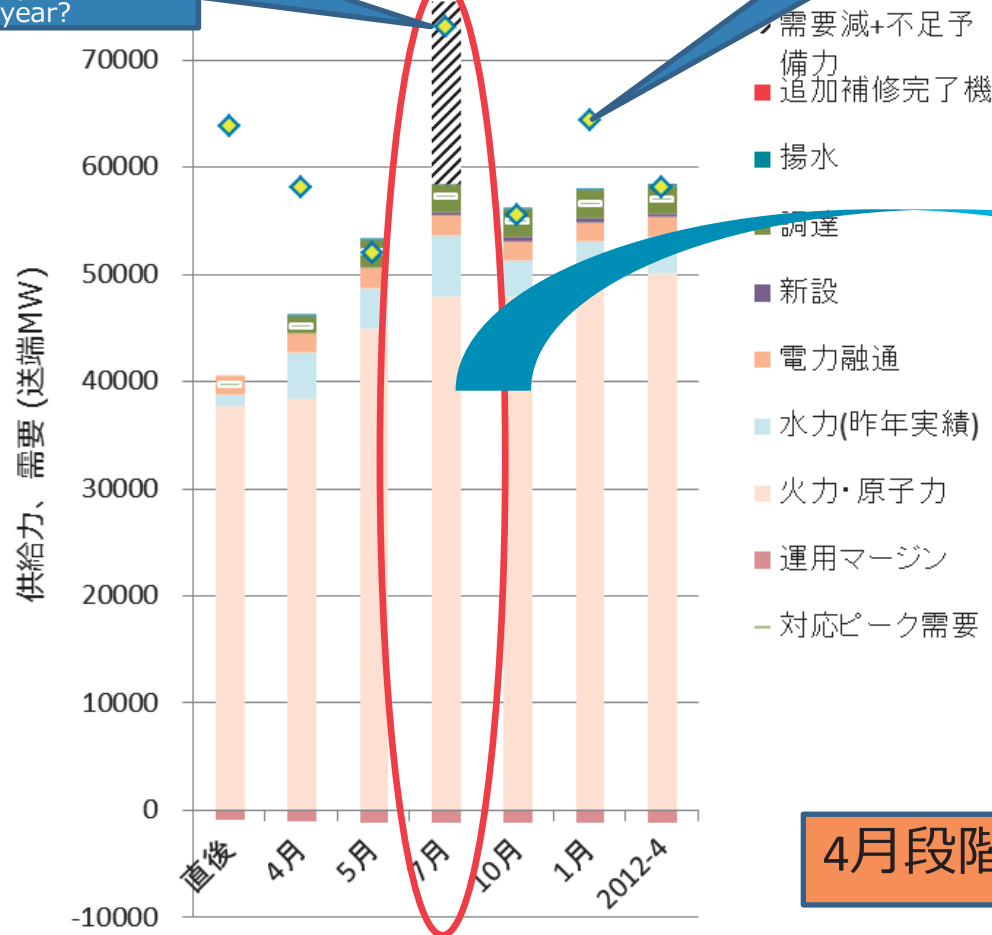
# 4. 何をすべきか？ What is to be done?

## 需給バランスの回復と維持 Restoration and Maintenance of d-s balance

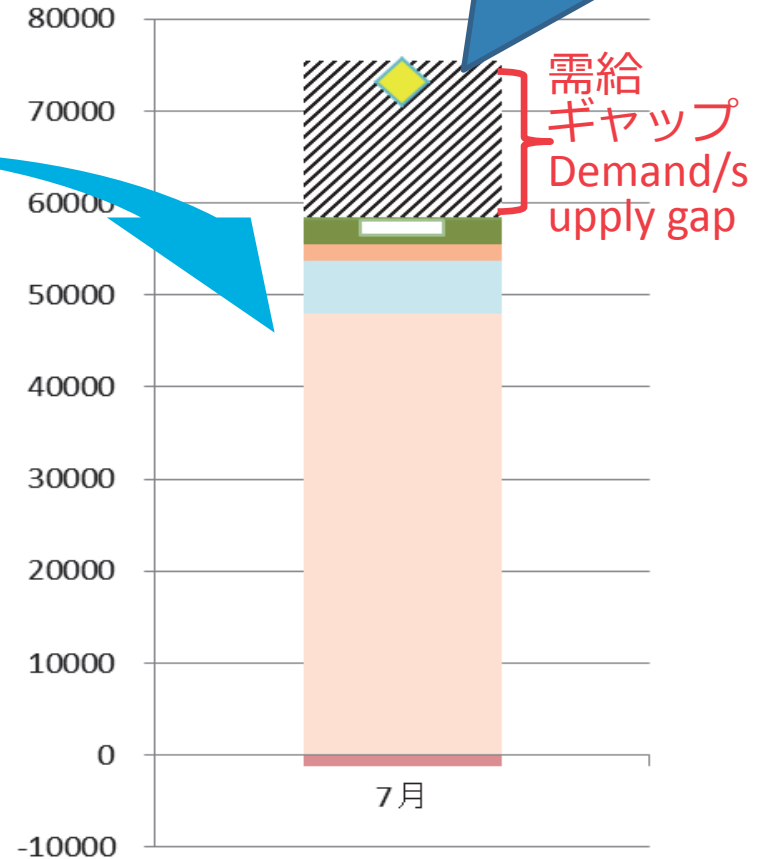
夏季最大  
例年7③百万kW  
今年？  
Summer peak  
Usually 73GW  
This year?

東京・東北系統需給バランス

冬季最大  
例年64百万kW  
今年？  
Winter peak  
Usually 64GW  
This year?



需給ギャップを、節電や電源の立ち上げで解消できれば、計画停電を回避できる  
By resolving demand/supply gap through generation capacity restoration and demand reduction, a rolling black-out is avoided.



4月段階

## 4. 何をすべきか? What to do ?

### 方針の策定 Establishment of Strategy

- 短期（今年・来年の夏の電力需要のピークまで）, 中期（数年）, 長期にやるべきことの方針を明確にする  
Short and Mid-/Long-term strategy
  - 短期にできないことをいくら議論し, また実施しても結果は得られない
  - 緊急避難以上に, 中長期的方向からはずれたことを行うのは, ムダなばかりではなく, 将来への弊害も大きい
  
- 出血状態からの脱却方針を策定する  
Removal of blood losing situation
  - 社会経済活動の破たん回避のため, まずは最大電力需要に対する供給力を回復し, 計画停電を解消する
  - 計画停電を解消しても, 原子力発電の喪失が石油火力で補われている状況では, 原子力1基（110万kW）あたり年間約1000億円を越す国富が流出してしまう  
Loss of one 1350MW nuclear requires 100 billion yen of annual fuel cost.

## 5. 短期的取り組みは？ Short term Efforts できないことは？ What cannot be done?

- 60Hz系からの応援の増加，50Hz系の60Hz化など周波数に関すること  
(周波数変換所の増強，需要の60Hz化は短期には無理)  
To increase the interconnection capacity between 50Hz and 60Hz or others relating changing system frequency.

- 新規の大規模火力などの電源の建設  
(単体では低効率のG/T以外，火力建設には数年かかる)  
To construct a new major thermal plant which takes several years, excluding low efficiency G/T

- 太陽光発電，風力発電などの「緊急」増設  
(導入は加速できるが短期的効果は限定的)

To emergently deploy new distribution generation including PV and wind for major supply capacity



- 135万kWの原子力を補うには電力量全体が不足する現状では約1000万kWのPVが必要

One 1350MW nuclear unit is comparable with 10GW PV. Existing PV deployment in Japan is 2GW.

- 需給状況が改善して昼のピークが不足する段階になれば，日射量と需要のマッチングに応じた供給力が期待できる  
When the demand-supply balance as a total is improved, the kW of PV will be effective to reduce a summer peak load.



## 5. 短期的取り組みは？ Short term Efforts できることは？ What can be done?

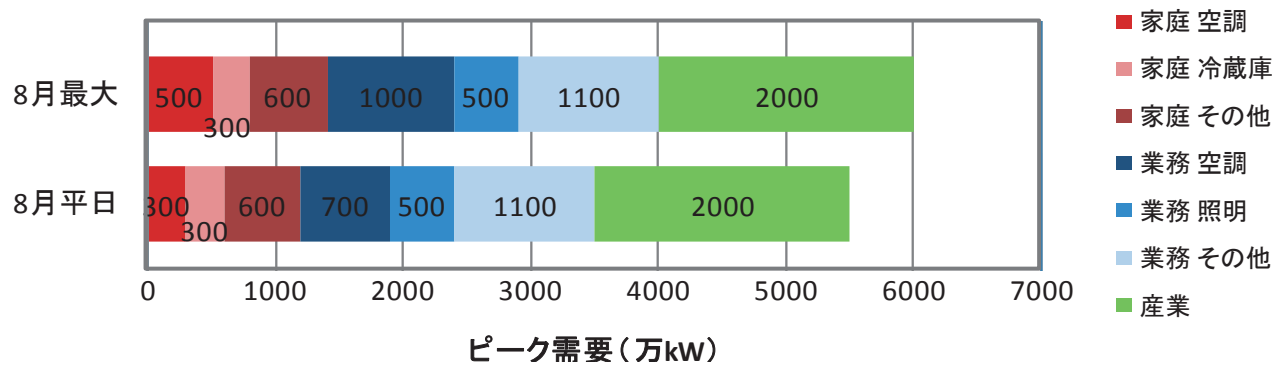
- 需要の削減：省エネと節電  
Reduction of demand: energy efficiency and demand suppression
- 必要な場所，必要な量の緊急の電源の新規確保  
(ただし，ガスタービン発電や内燃機関エンジン発電など今夏など早期に稼働できるものに限る・経済性は良くない)  
New generation: limited to emergently deliverable ones such as G/Ts and combustion engines
- 通常使われていない自家発・非常用電源など中小の電源の活用  
(ただし，総量は限定される・経済性は良くない)  
Utilization of existing self-generators
- 中長期目標に沿った仮設ではない恒久設備としての  
PVや風力を含めた分散電源設置の加速  
New deployment of distributed generation including PV and wind, in line with long-term optimization
- 建設途上の新設電源の前倒し運開  
Advanced commissioning of planned new generation, if any.
- 生産・業務拠点の一時的な移動など需要の再配分  
Temporary hand-over of works to outside 50Hz area.
- 停止中の原子力の活用  
Utilization of existing nuclear plants

揚水発電所と組合せた運用で，自らの出力以上の供給力ともなる  
柏崎刈羽：2, 3, 4号炉 計330万kW

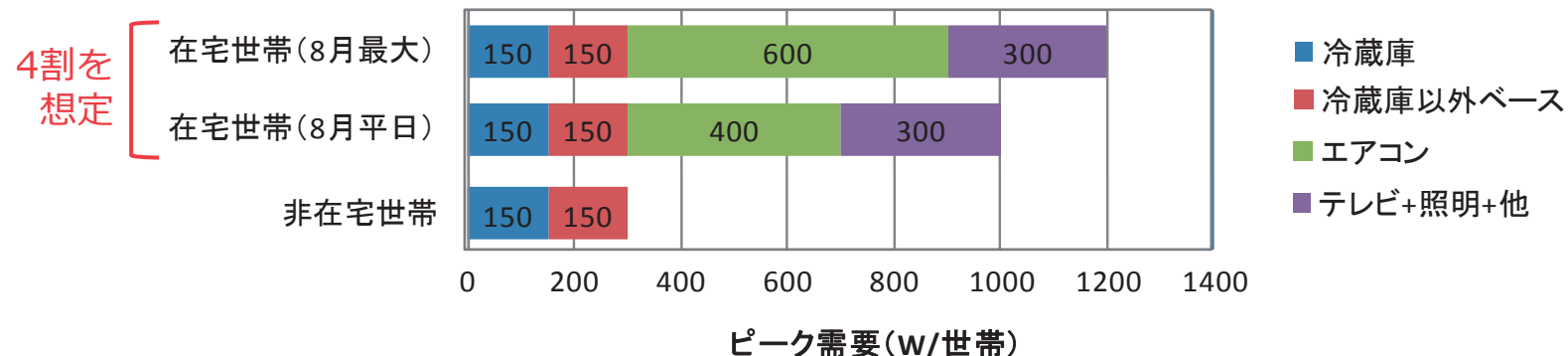
# 5. 短期的取り組みは？ 電力使用状況

私たちはどのように電気を使っているのか？

## □ 平年夏季ピーク時（13-16時）の電力需要の内訳



## □ 家庭における夏季ピーク時の電力需要の内訳





# 5. 短期的取り組みは？節電から省エネ(1)

どのような節電/**省エネ**を行うべきか？

計画停電を避けるとともに経済活動を維持できるように  
生産量や活動量を抑制しない節電/**省エネ**

## □ 産業部門では

- 操業の制約が避けられないものとして方針を決定すれば節電/省エネ可  
⇒ ~~省エネ対策が既に進んだ工場での対応には限界がある~~  
いくつもの業務改善による対応事例が報告された。横展開へ。
- 夜間や週末の操業など、生産量を下げない工夫もある  
⇒ 生産計画への影響や従業員への負担は避けられない

## □ 家庭部門・業務部門

- 一つ一つは小さくてもまとまると大きいですが、現状ではこれを組織的に管理して行うことは困難であり、多くの人々の理解と協力が必要  
⇒ ~~参加意識を高める仕組みづくりと早期の開始が必要~~  
継続できる工夫の共有が有効

管理しやすい分野中心の取り組みは実施の目途はついても業績への負担大  
業務・家庭を含めた全分野の参加による**省エネの継続**が大切

# 5. 短期的取り組みは？節電から省エネ(2)

## いつ節電/省エネをすべきか？

### □ 時間に関係なく節電/省エネすることが重要

- 低効率の老朽の石油火力なども最大限運転させざるを得ず，大量の燃料を消費している(原子力1基あたり600-1000億円/年)
- 日々消費される火力の高い燃料費は日本の誰かが負担することになる
- 燃料費削減のため時間に関係なく節電することが重要
- 夜間電力の節約により，揚水発電所を運転させる電力を確保できる

### □ 夏季ピーク時間帯（13-16時）は特に重要

- 時間に関係なく，まずは痛みの少ない対策を実施し，夏季ピーク時間帯には，より積極的な節電方策を用意する

積極的な節電/省エネにより  
生産活動，経済活動と社会全体の安定性を確保し，  
日本全体としての震災からの復興に大きく貢献できる

# 5. 短期的取り組みは？ 節電/省エネの効果

## □ 家庭部門における節電/省エネ効果 (対象世帯の半分が実施の場合)

- 在宅世帯 (全体の4割)
  - 痛みの少ない対策
    - エアコン冷房 1℃上げる 16-24万kW (40-60W/世帯)
    - テレビ輝度調整 8万kW (20W/世帯)
  - より積極的な対策
    - エアコン冷房消す 160-240万kW (400-600W/世帯)
    - テレビ消す 40万kW (100W/世帯)
- 全世帯
  - 温水洗浄便座 (暖房 - 温水消す) 20-30 万kW (20-40W/世帯)
  - 炊飯器保温 20-30 万kW (20-30W/世帯)
  - 冷蔵庫設定温度 (中→弱) 10% 15万kW (15W/世帯)
  - モデム・ルータ等の不在時OFF 10万kW (10W/世帯)
  - 局所換気扇の不在時OFF 10万kW (10W/世帯)



## □ 業務部門における節電効果

- 照明：3割削減 150万kW  
(内部負荷削減により + 空調50万kWの削減効果)
- 空調：内部負荷削減と合わせ3割削減 210 - 300万kW
- その他の対策 10万kW
  - デスクトップPC→ノートPC

今後、実績を  
総括し、将来  
に向けて整理  
する

## 5. 短期的取り組みは？ 節電/省エネの実行(1)

節電は、本来実施しているはずの「平常時にも実施できる省エネ」と電力の不足した緊急時に対応する「我慢する電力使用の抑制」を**可能にする技術的あるいは制度的な仕組み**の組み合わせ。

小売業や飲食店で白熱球(ハロゲンランプ)が明々とついていて、「LEDへの交換で省エネができ、ランプ代も18か月程度(使用時間やランプの仕様による)で元が取れる」ということを説明した場合の答え:

### □ 「店の雰囲気を出すために使っています」

本来の目的を認識して、そのために使っているのであれば、どうしてもLEDにする必要はない。⇒エネルギーを使う目的・効用の認識が重要

### □ 「小さな電球でそんなに使っているとは知らなかった」

どこに省エネ、節電の可能性があるかを知っていることが重要⇒情報提供

### □ 「わかったけど、自分に権限がない」

従業員の場合。⇒組織として機会を吸い上げる仕組みが必要。⇒組織の対応

### □ 「そうかもしれないけど、電気代はかわらないので」

テナントの場合、電気代が固定の共益費になっているなど。⇒制度・仕組みの変更

### □ 「担当者が計画を立ててやっています」

組織が大きく、意思決定、予算の組み替えなどに時間がかかる⇒、予算の変更どこに省エネ、節電の可能性があるかを知っていることが重要⇒情報提供

## 5. 短期的取り組みは？ 節電/省エネの実行(2)

電気の利用はその形態が極めて多様であり、家庭、業務、産業など各々の使用状況による節電/省エネ機会の発見が重要。

家庭の場合：

- 「電子レンジは大きな電力を使うので使用を控えています」  
需要の合計は極めて多数の個別の需要の合計であり、電力は大きくても使用時間の短いものを過大に考える必要はない。
- 「ずっと電気を使っているのは使用量の小さな除湿機です」  
常時使うものは使用量大。1日の使用量で見ると、  
除湿機：100W×24時間=2.4kWh, 電子レンジ4回：1.5kW×3/60×4=0.3kWh
- 「パソコンを都度切るのは面倒だ」  
100Wをつけっぱなしにした場合の電気代は0.1kW×8760時間/年×23円/kWh=2000円。小電力モードへの自動移行の機能を使って、ボタン一つでの復帰すれば、利便性は落とさずに電気代の節約可。
- 「うちが電気を使っているのは冷蔵庫とテレビくらいだよ」  
冷蔵庫の温度設定、テレビの明るさの設定など、簡単な操作で節電と電気代の節約可。

電気を使う目的・効用、実際何に電気を使っているかの再確認が重要

## 6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term Efforts

中期（数年） 長期（10～20年）での対応策例 mid- and Long-term countermeasures

### <供給サイドSupply side>

- 震災からの教訓を含めた計画検討 Planning including lessons learned
- 50/60Hz間の周波数変換所と必要な送電線の増強  
Reinforcement of the interconnection between 50Hz and 60Hz
- 50/60Hzにまたがる揚水発電所等の新設（既存例：新豊根揚水）  
Deployment of 50Hz/60Hz generator between 50Hz and 60Hz systems.
- 電源の多様化(太陽光、風力などの増強)  
Diversification of generation including PV and wind.
- 多様な電源を受け入れることができる流通設備の整備  
Reinforcement of transmission system to support generation diversification.

供給側だけで対応することは経済性に不利で社会的負担大

### <需要サイドDemand side>

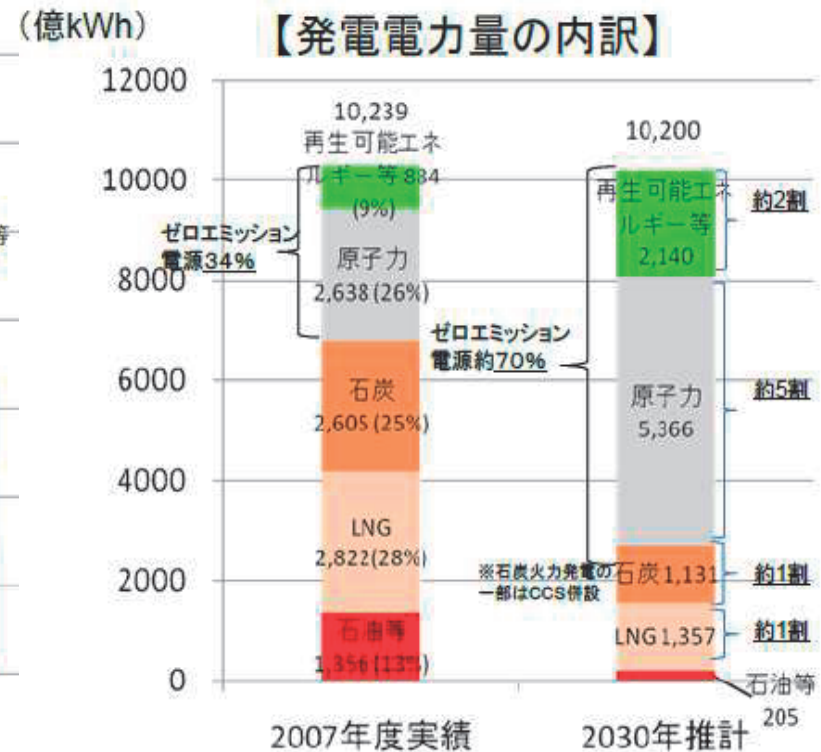
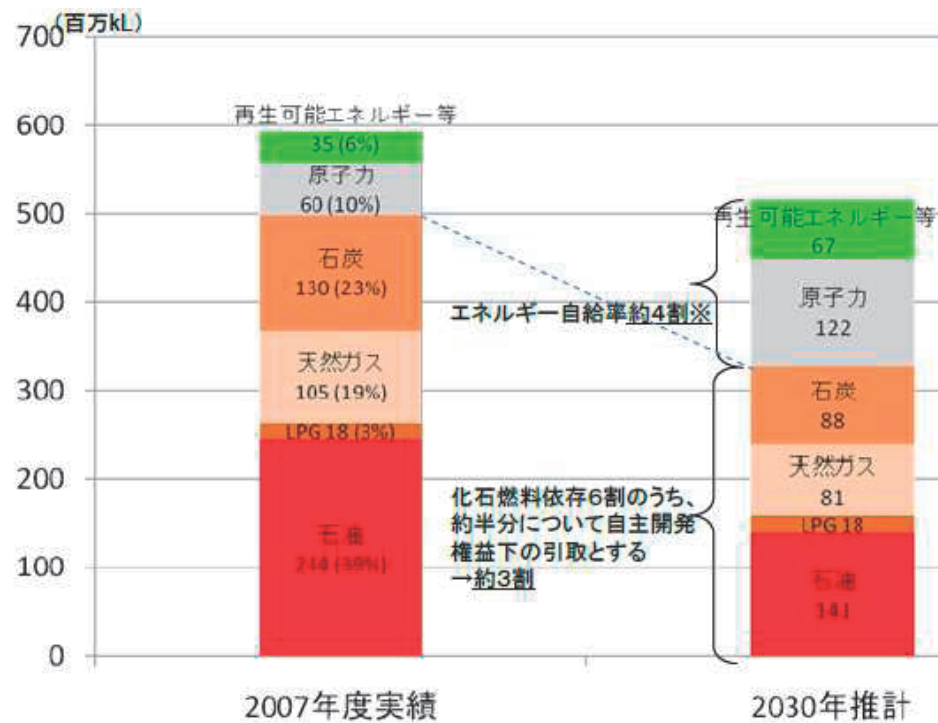
- 震災からの教訓を含めた計画検討 Planning including lessons learned
- 不要な需要の発見・廃止と省エネルギー設備、機器の導入
- 省エネ、節電モードの設置 Energy saving mode
- 分散エネマネによるモニタリング Energy monitoring by dEMS
- 需要の能動化 Demand activation by dEMS



# 6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term target 2030年のエネルギー需給Energy Outlook by METI

## □ 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

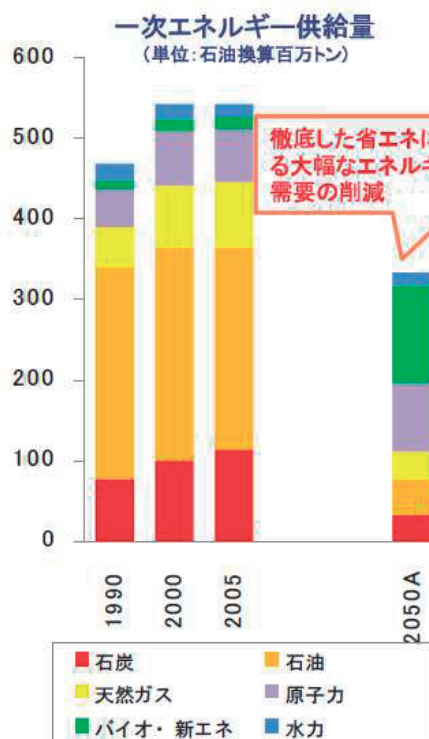
# 6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term target 2050年のエネルギー需給 Energy Outlook by MOE

## □ 環境省中長期ロードマップ小委員会資料より

3. 2050年80%削減の検査

### 2050年の▲80%の姿の検討（シナリオA：供給サイド）

- ・CO2を排出しないエネルギー（太陽光・風力・バイオマス・原子力など）の割合は2割⇒7割程度に。
- ・化石燃料の消費量は石油換算でおよそ4.5億トン⇒1.1億トンに減少。
- ・火力発電所で排出されたCO2はほぼ回収され、地中等に隔離（CO2回収貯留技術（CCS））



### <供給部門の姿>

#### <再生可能エネルギー>

- ・太陽光発電の導入量は2005年のおよそ120倍（ほとんど全ての住宅・建築物に太陽熱/太陽光発電が設置）。
- ・洋上にも陸上と同程度の風力発電が設置・稼働。
- ・バイオマスは輸入も含めて供給量を確保。
- ・水力は現状維持程度。

#### <原子力>

- ・原子力の発電容量は現状水準を維持。

#### <石炭・石油・天然ガス>

- ・運輸部門や産業部門の効率改善・燃料転換により、石油の消費量は大幅に低下。
- ・天然ガスは産業部門におけるシェア拡大も、省エネや民生部門における電化の影響等により消費量は半減。

#### <CCS>

- ・火力発電所で排出されたCO2はほぼ回収され、地中等に隔離。

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

15

## 6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term target 最大範囲で最適化 Optimization under maximum alternatives

- どの範囲でエネルギーシステムの最適化を行うか？ Scope of Opt.

⇒地理的, 調整対象について最大範囲でのシステムの最適化

Optimization with maximum alternatives, geologically, technologically, . . . .

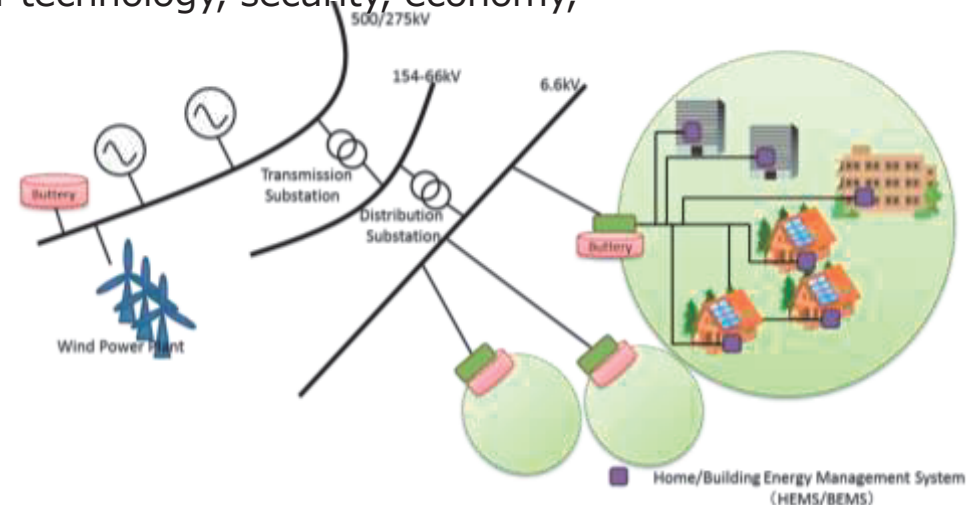
家⇒コミュニティ⇒ネットワーク⇒日本⇒世界

A house->a community -> an area -> a country->the world

しかし実際には, 機器の制御性の制約・送電線など流通設備の制約・セキュリティの制約などがある

However, there are some constraints of technology, security, economy, controllability and so on.

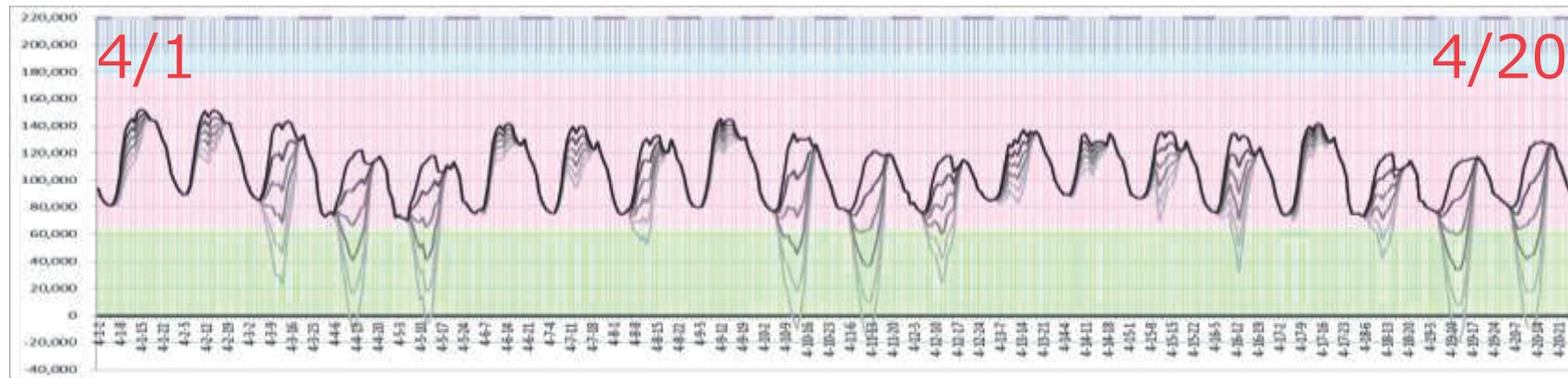
長期的視野に基づく送電網の増強や需要の能動化も今後力を注ぐべき目標ではないか  
Reinforcement of transmission system and demand activation should be important targets.





## 6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term target 極端ケースからの示唆 Implication from extreme cases

- 2030年の想定需給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

# 7. シナリオ選択のインパクトImpacts of Decision 長期電力需給解析ツールESPRITと解析モデル

長期電源計画解析プログラムESPRITをベースとして開発

## 【ESPRIT】

確率的需給シミュレーションと連系線潮流最適化に基づく連系系統の経済負荷配分と最適電源計画の評価・策定ツール

### (1) 解析期間

より長期の解析が必要となることから、**30年間を対象**とするモデル。  
エネルギーモデルと電力需要、燃料費などの連携で、**より長期を対象**。

### (2) 検討対象と特徴

**負荷持続曲線による確率的経済負荷配分**と**時系列負荷曲線による連系線潮流最適化**  
データが想定できた範囲で**日本全体の電力需給**を対象とした。  
**一般電気事業者の需給データ**による検証結果に基づく。  
ヒートポンプ温水器、PHEV/電気自動車を含めた**長期の需要想定に基づく解析**  
太陽光発電、水力などの**各月の出力変動を可能な限り忠実に模擬**。

# 7. シナリオ選択のインパクト Impacts of Decision 長期電力需給解析ツールESPRIT

## [需要]

- (1) 公開情報を基に、平日と休日24時間の需要カーブを想定
- (2) 随時の需要の変化を各月、各時間の温度依存性で近似
- (3) 過去の年間の気温データによりベースの8760時間の需要カーブを想定
- (4) 将来の想定する最大電力、年間電力量から対象年の負荷持続曲線を作成
- (5) PVの出力変動、ヒートポンプやPHEF/EFなどは、個別の特性に基づき需要に反映

## [電源]

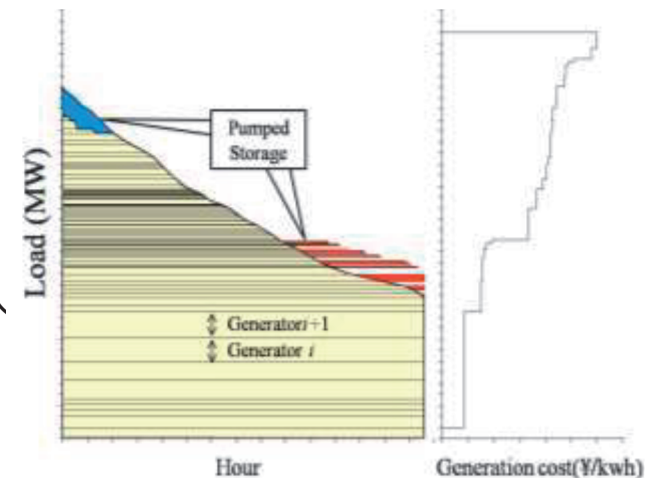
ユニット毎に定格容量、所内率、効率、燃料種別、補修日数、補修可能期間、事故率などにより定義する。

## [補修計画]

年間の供給予備率の最小値の最大化するよう補修スケジュールを決定 (線形計画法による)

## [経済負荷配分]

- (1) 発電機の事故の影響を織り込んだ等価負荷持続曲線の使用
- (2) 1年を期間分割してシミュレーション (12月など)
- (3) 再生可能エネルギー水力などの供給力は、期間別に定義。
- (4) 発電機の投入方法 (負荷配分)
  - ◆ 流れ込み水力、PV、風力、原子力：ベース電源として投入
  - ◆ 火力：発電単価の安い順に発電投入
  - ◆ 貯水池式水力：発電可能電力量を制約として投入
  - ◆ 揚水機：揚水メリットに基づき運転を決定
- (5) 将来課題となる需給調整力の評価機能

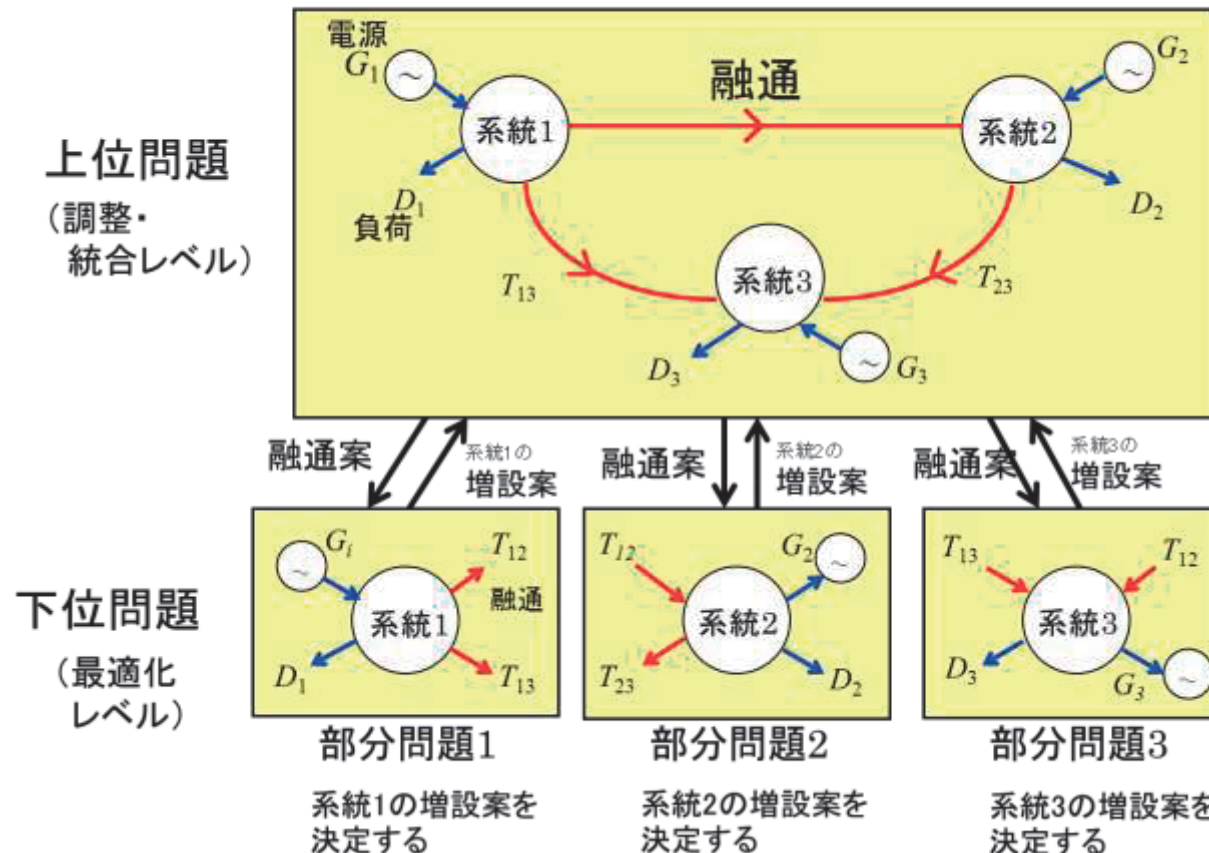




# 7. シナリオ選択のインパクト Impacts of Decision 長期電力需給解析ツールESPRIT

- 50Hz/60Hz連系を含む電力システム間連系の供給信頼度，経済性などを，電源構成の最適化を含め解析・評価することができる。

Benders分解法により融通修正の線形計画問題を生成する。  
各期間の運用総コストを最小化するように，系統間の融通を決定する。



# 解析条件(1):需要と電源設備構成の考え方

## ◆モデルの対象

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「努力継続ケース」, 「最大導入ケース」の一般電気事業者の発電電力量を参考に条件を設定。

### 【努力継続ケース】

「2030年までに効果を発する主要なエネルギー技術のうち, これまで効率改善に取り組んできた機器・設備について, 既存技術の延長線上で今後とも継続して効率改善を行う」

### 【最大導入ケース】

「努力継続ケースに加え, 実用段階にある最先端技術で高コストであるが省エネ性能の格段の向上が見込まれる機器・設備について, 国民や企業に対して更新を法的に規制する一手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させた場合」

## ◆将来の設備の廃止・運開・運用

2009～2019年の期間は「[電力供給計画の概要](#)」を参考にした。

石炭火力, 天然ガス火力: [運開後40年](#)を経過した発電ユニットは順次廃止。

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: 両方向の運用容量制約のもとで[燃料費最小の最適運用](#)

PV, 風力については, 現状, [出力制限や出力抑制は未考慮](#)

# 7. シナリオ選択のインパクト Impacts of Decision

## シナリオ設定 Scenarios

- 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, 30TWhおよび6GW, 10TWhに対し風力のみ10.6GW, 20TWh, 2030年においては震災前見通しの53GW, 55TWh, 10GW, 18TWhに対し、それぞれ80GW, 80TWh, 28GW, 50TWh (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の原子力の全廃を、火力37.5GW、PV160GWおよび風力160GWで積極的に対応した。

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）
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。原子力は運転後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

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## 原子力発電のシナリオ Scenarios of nuclear generation

- 「震災以前の見通し」と原子力の扱いによる2a～4の各シナリオにおける原子力発電の設備容量を以下に示す。

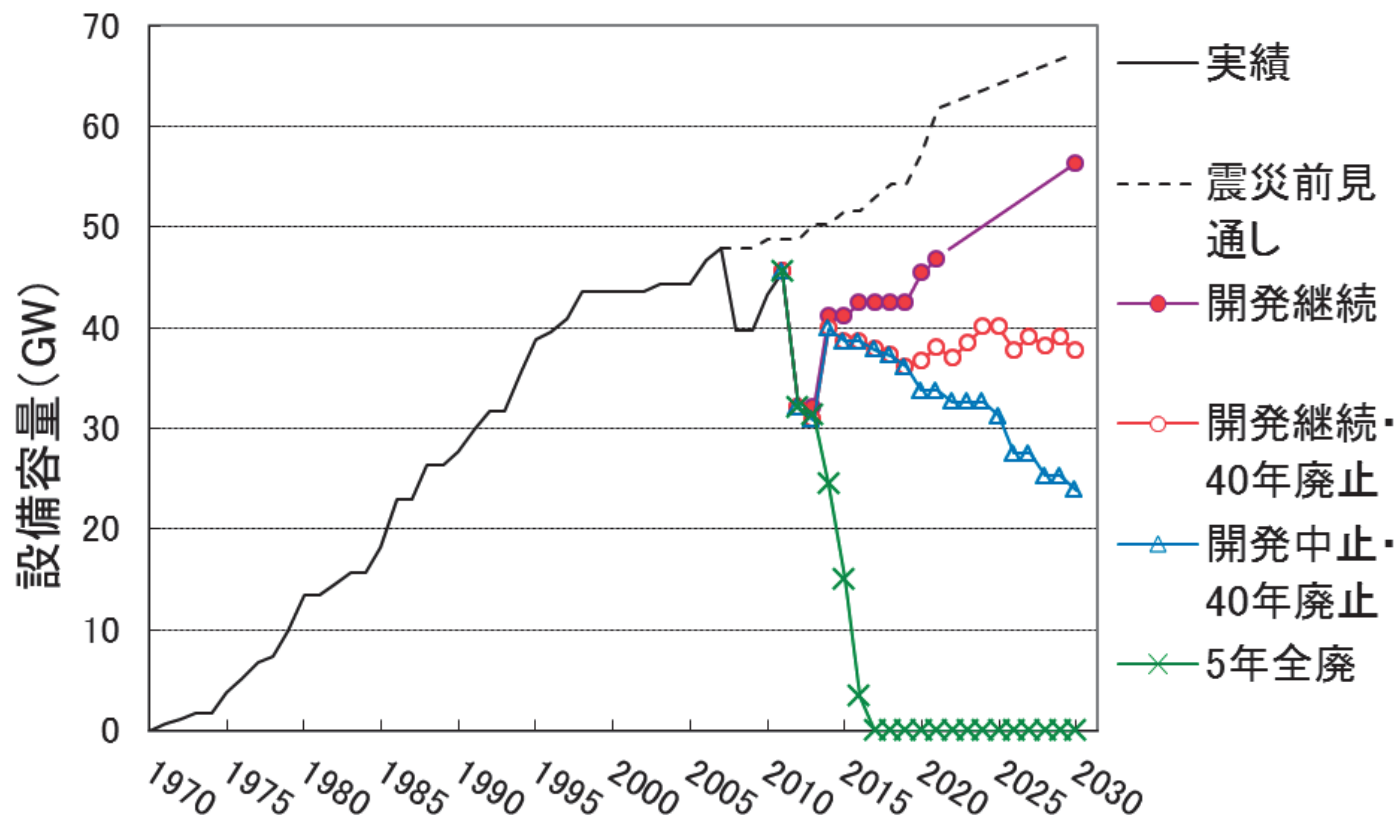


図3 シナリオにおける原子力設備容量の比較

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

# 7. シナリオ選択のインパクト 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。

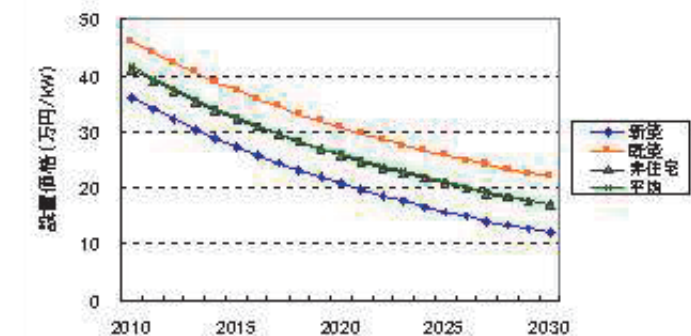
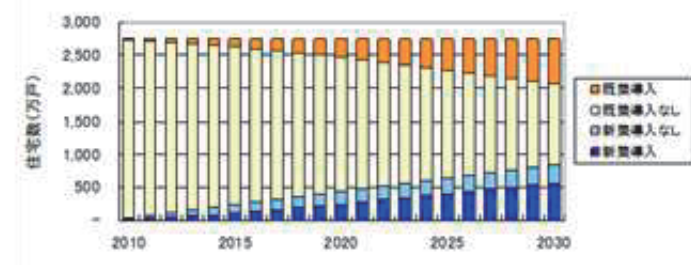
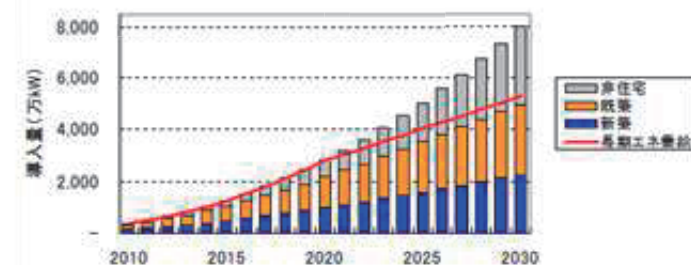


図3 太陽光発電の導入条件の想定

(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)

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9



## 7. シナリオ選択のインパクト 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。

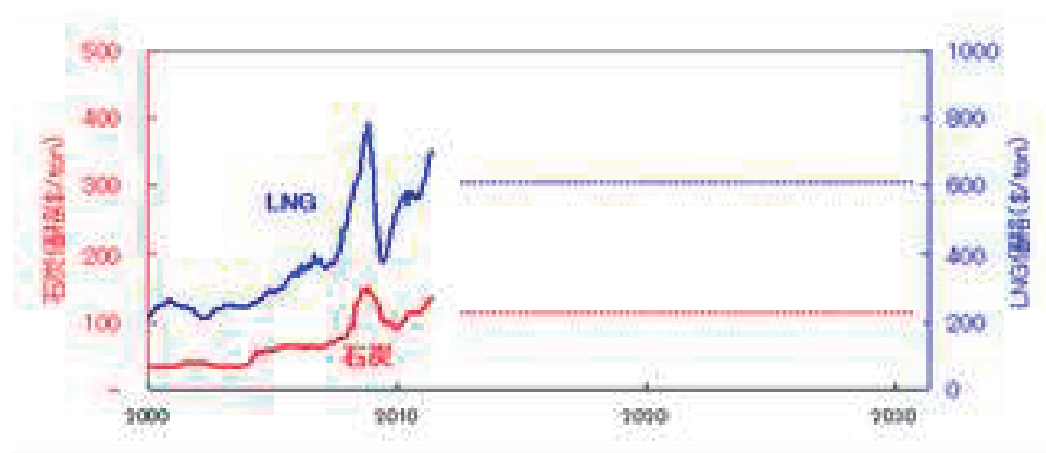


図 4 燃料費の想定

Fig. 4 Fuel Cost Assumption

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9



# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## 電源と発電電力量の内訳 Asset and production by generation type

- 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。

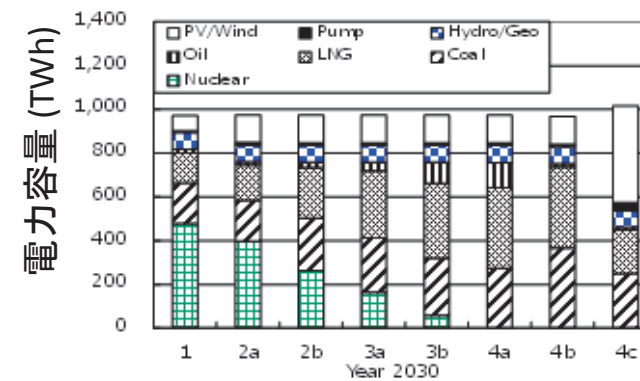
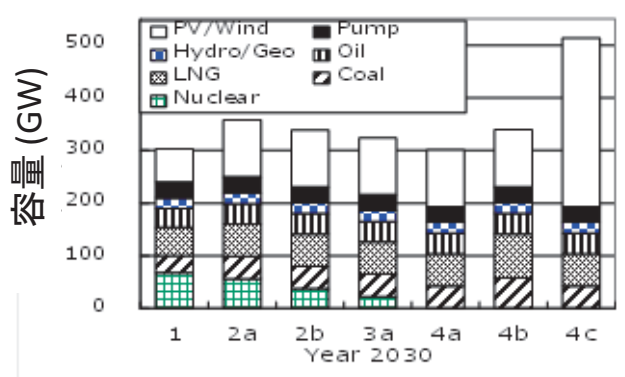
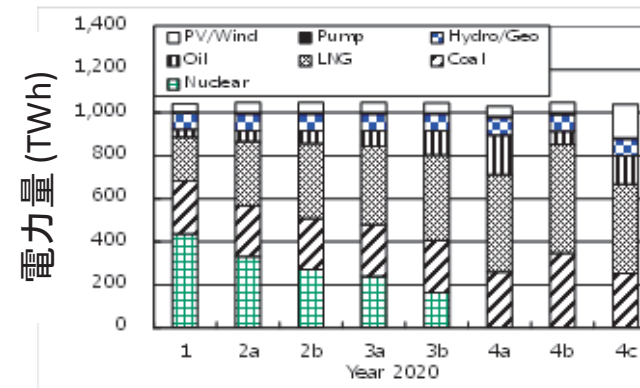
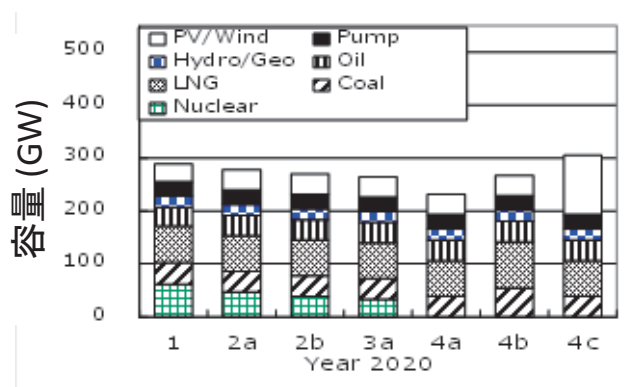


図 5 電源設備容量(上:2020, 下:2030)

図 7 発電電力量(上:2020, 下:2030)

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision 安定供給 と発電抑制量 Secured Supply and curtailment

- 安定供給を不足電力量EUE、不足する時間LOLPで見ると、原子力の利用が厳しいケースほど大きな値が発生する。
- 再生可能エネルギーの導入量の増加と、ベース電源の大きさにより、電力システムの需給調整力の制約から、これらの発電を利用できず抑制しなければならない量が増加する。シナリオ4cにおいては、この抑制量は20%に登り、燃料費の削減効果を小さくしてしまう。

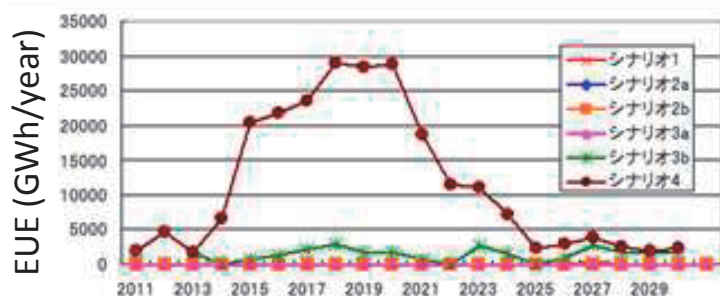


図 6 供給信頼度(上: EUE, 下: LOLP)

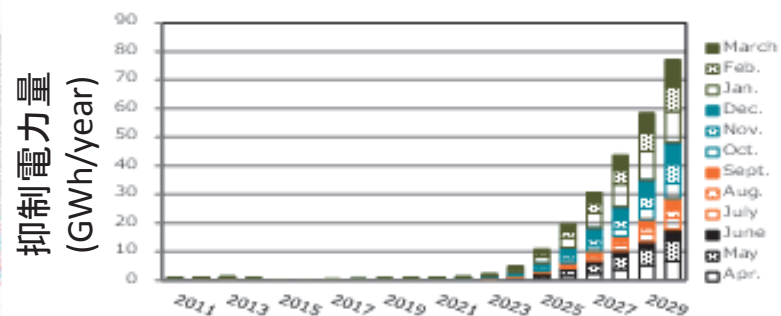


図 8 需給調整力不足による抑制電力量

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## 年間の発電費用 Fuel and capital cost

- 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)

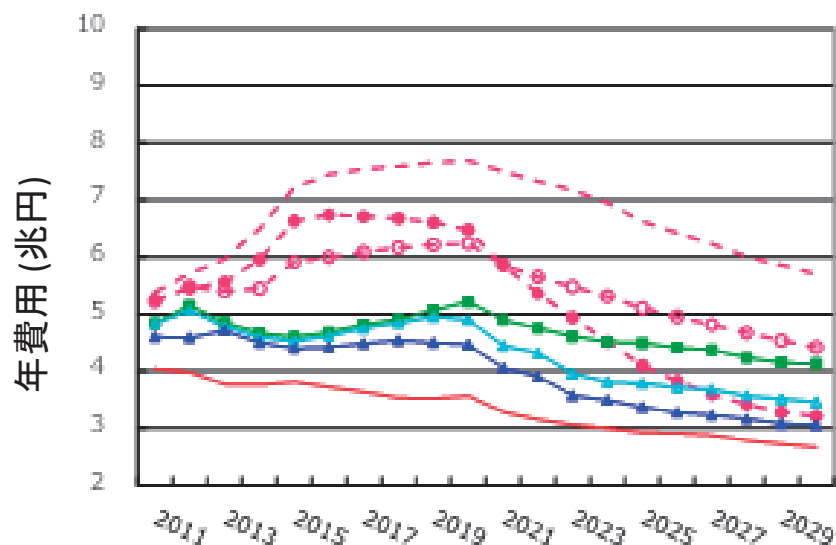


図 9a 10システム合計の燃料費

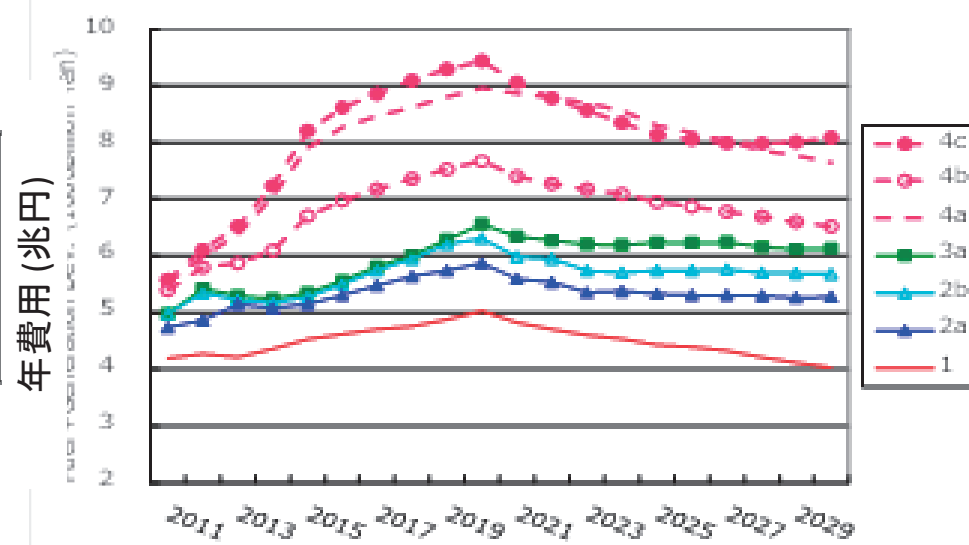


図 9b 10システム合計の燃料費+均等化開発費

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## CO2排出量 CO2 Emission

- 2020年の段階で、震災前の見通しと比較して既設の稼働率増によるCO2排出量増は、原子力の利用がすくなくなるにつれ、各ケース5000万トンから2億5000万トンと増加する。
- 2030年に向け、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。4bで火力効率増加でも石炭とLNGの内訳に応じた増加量となり大きな効果を望むのは燃料費とのトレードオフとなる。

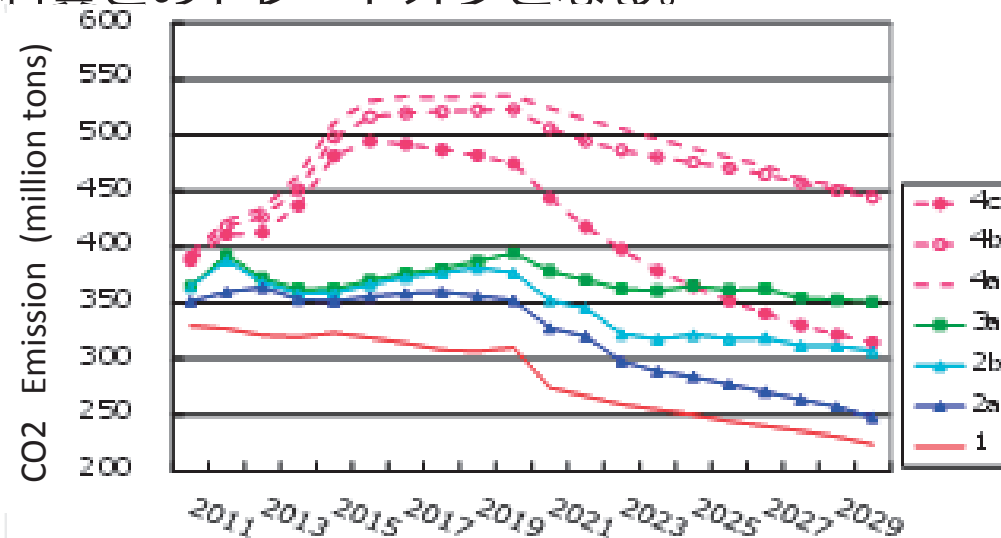


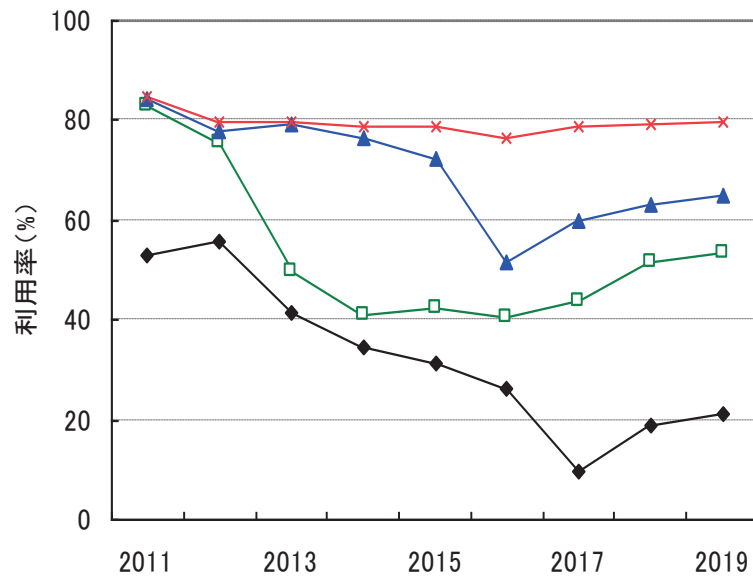
図 10 10システム合計のCO2排出量

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

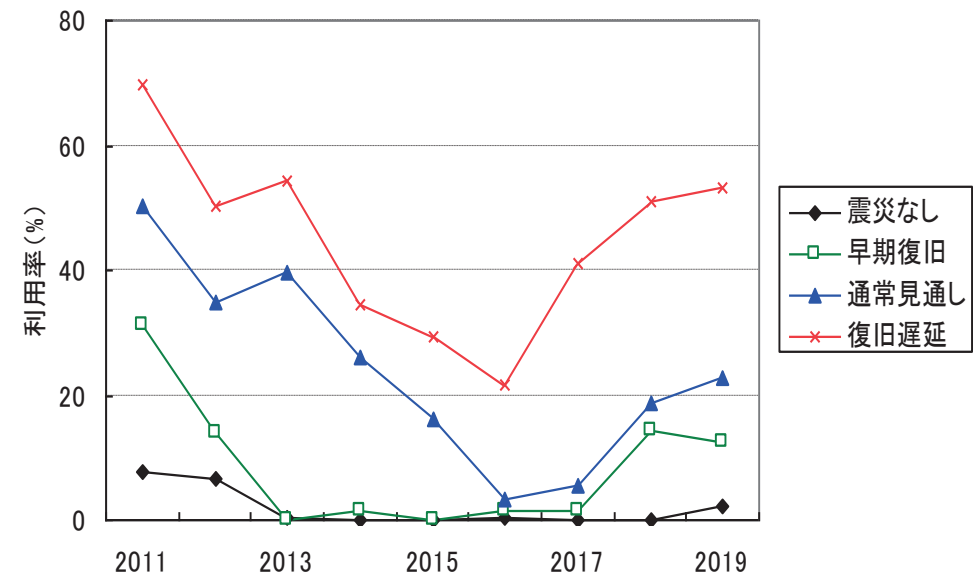
# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## ユニットの稼働率 Energy production by generation type

- 短中期的に原子力の発電量の減少を既設火力で補う場合、すでに高稼働率のLNG複合発電に加え、発電効率と燃料単価の面から経済性、環境性の劣るLNG汽力、石油汽力の火力発電の稼働率が増加する。
- 省エネルギーを始めとし、中長期的には高効率火力の新設、長期的には再生可能エネルギー導入量の増加により、不利な条件の火力発電の稼働率を下げることで、経済性、環境性を改善するポイントとなる。



LNG汽力ユニット



石油火力ユニット



# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## 需給調整力の確保 System Balancing Capability

- 需要変動、供給力の変動に太陽光発電など再生可能エネルギー発電の発電量の変動を加え、系統電源の発電シェアが低下する状況において、電力システムの需給バランスを保つために必要な調整容量が確保できるか？
- PVや風力の発電の変動特性と需要変動との相関、将来の系統電源、需要特性の変化、需要の能動化による新たな調整力を含めた総合的な検討が必要。

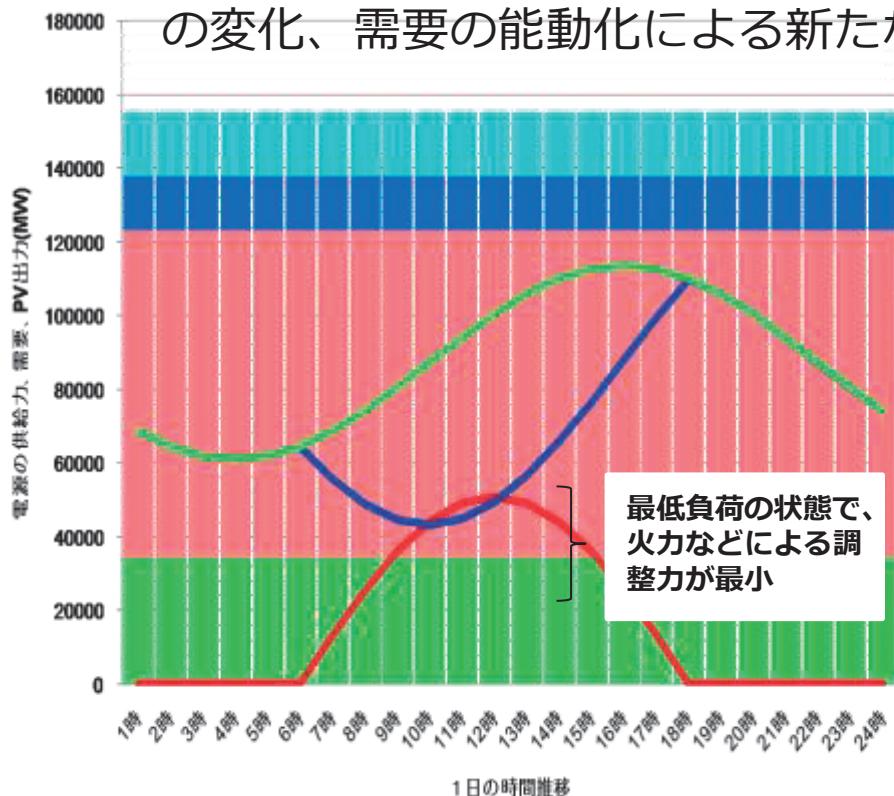


表1 シナリオと変動量パラメタによる需給調整力不足時間と抑制電力量

	シナリオ	地域	5-3-5	5-5-5	5-7-5	5-5-7	5-5-10	
抑制電力量 (GWh)	震災前見通し	50Hz	140	137	316	399	1,734	
		60Hz	198	235	303	379	974	
		合計	338	372	619	778	2,708	
	震災後見通し	50Hz	76	123	231	219	1,407	
		PV,風力加速	60Hz	1,169	1,264	1,420	1,672	2,660
		合計	1,245	1,387	1,651	1,891	4,067	
	震災後見通し 原子力40年廃止	50Hz	82	137	258	168	1,223	
		60Hz	17	30	63	121	630	
		合計	99	167	321	289	1,853	

太陽光発電導入の需給バランスに与える影響(1日、中間期)



# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision 需給調整力の確保 System Balancing Capability

- PV、風力の発電量、能動化需要を含めた通常の経済負荷配分での能動化需要を含めた需給調整力の確保量を算出し、需要、PVと風力の変動に対応するための需給調整力の必要量と比較する。
- 需給調整力が不足する時間帯は、系統電源の最低負荷運転により需給調整力を増加し、それでも不足する場合、追加確保に必要な需要増の値を「発電抑制必要量」として算出する。

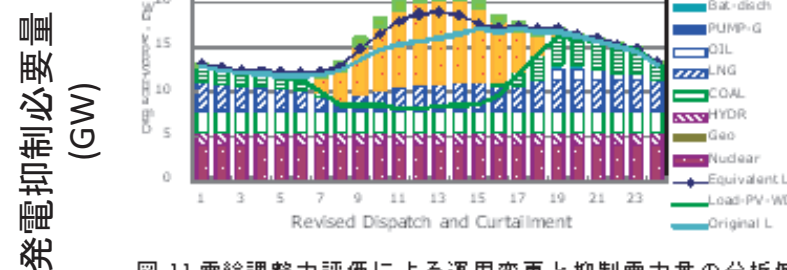
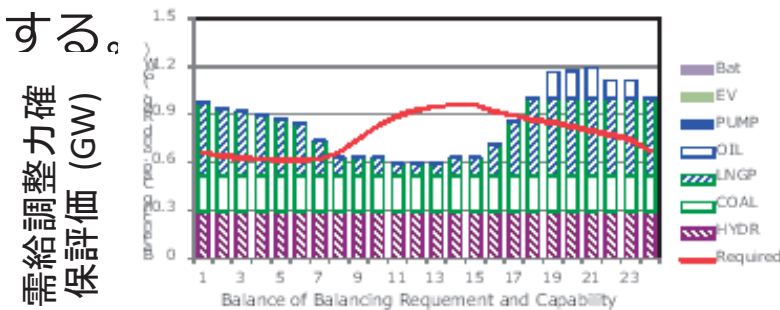
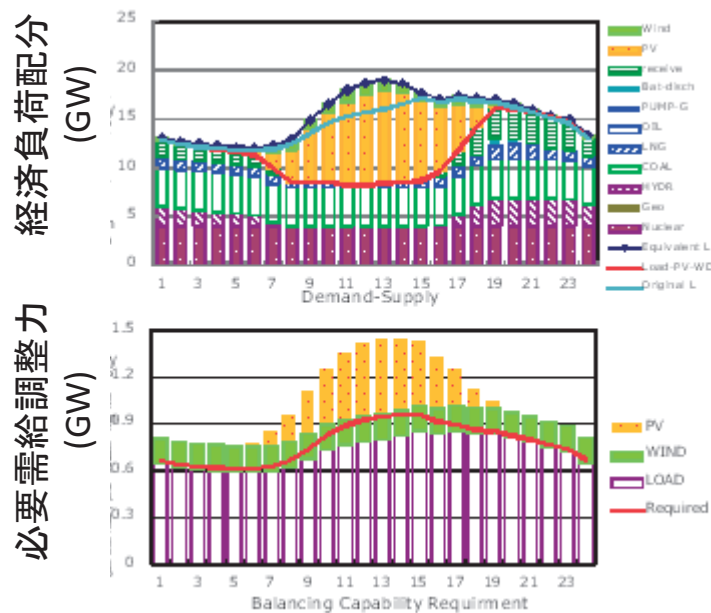


図 11 需給調整力評価による運用変更と抑制電力量の分析例 (上から当初負荷配分, 必要調整力, 調整力バランス, 負荷再配分)

Fig.11. Example of Balancing Capability, modified dispatch and curtailment

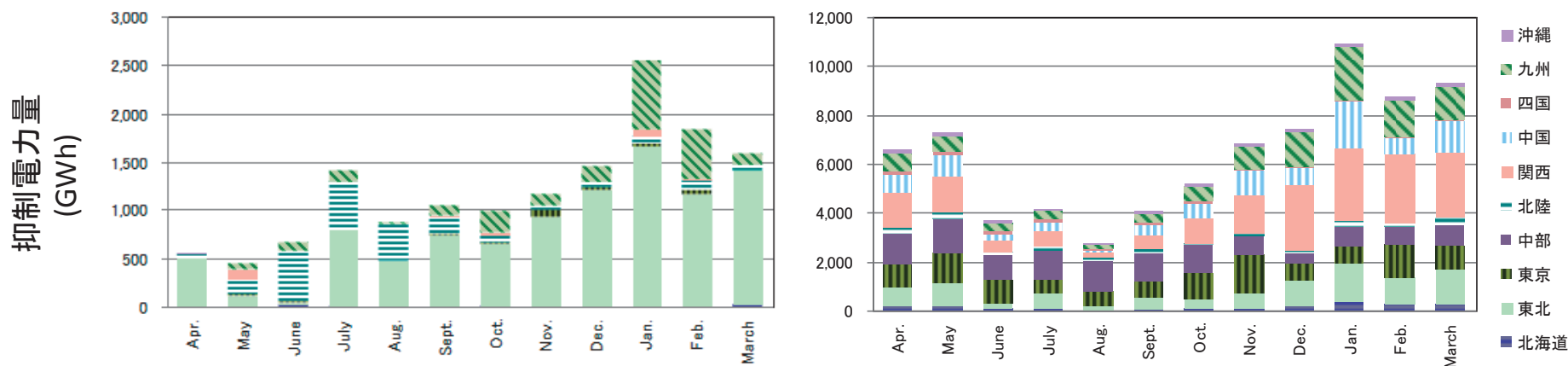
需要変動率5%, PV変動率5%, 風力変動率5%を想定

荻本和彦,片岡和人,池上貴志:我が国の長期の電力需給ベストミックスの予備検討,電気学会電力技術・系統技術合同研究会PSE-11-152, PE-11-136,2011.9

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

## 需給調整力の確保 System Balancing Capability

- 需給調整力の評価結果は、需要の変動、PV・風力の出力変動、需要の変動、既存電源の調整力などの条件により大きく変化する。
- 需給調整力の課題に対しては、系統発電機の活用、再生可能エネルギーの発電抑制が、当面、経済的な対応方法。
- 再生可能エネルギー、ベース電源の導入の進展などにより、系統電源の活用や再生可能エネルギーの発電抑制が技術的、経済的に適用難になるのに合わせて、需要の能動化(スマートグリッドのコア技術)を適用する準備をすることが必要ではないか。



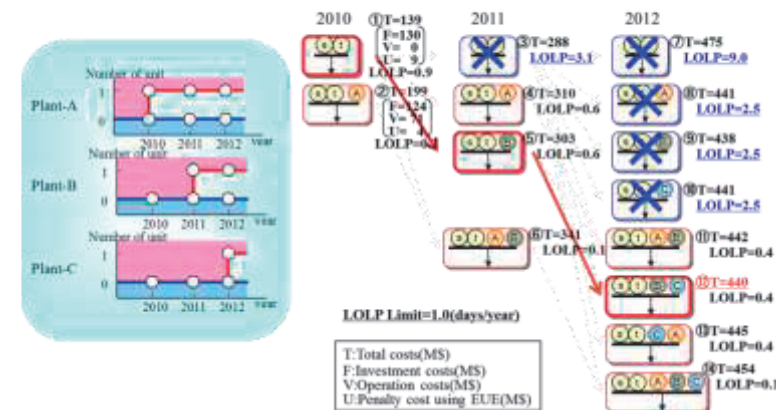
月別、システム別の発電抑制必要量(左シナリオ2b, 右シナリオ4c)

# 7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

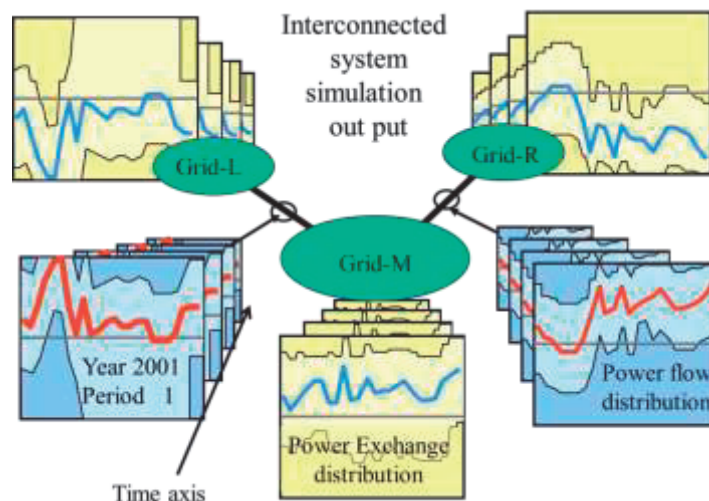
## 今後の検討課題 Ongoing and future study

- 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	TOTAL	LOLP (DAYS/ YEAR)	RESERVE (%)
CAP	400	400	400	400	1600		
2005	0	0	0	0	0	8.113	22.3
2006	0	0	0	1	400	2.998	28.6
2007	0	0	0	1	400	2.394	20.2
2008	0	0	1	1	800	1.818	24.8
2009	0	1	1	1	1200	1.633	28.3
TOTAL	0	1	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

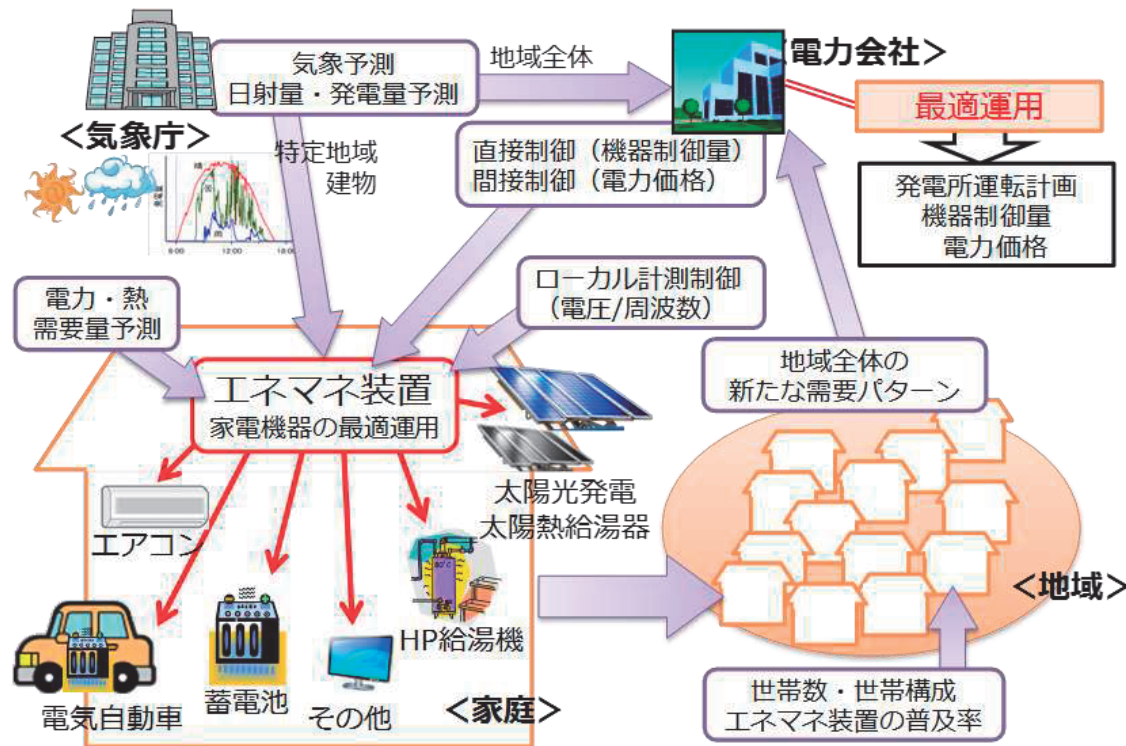




# 8. Energy Integration

## 革新的要素: 需要の能動化 Innovation: Demand activation

- 電気自動車の充電やヒートポンプ給湯など新たな需要
- 広範囲での最適化のもと、家・コミュニティ・自動車など様々な需は、それぞれの目的のために働く**分散エネルギーマネジメント**のもとで能動化され、新たな需給調整力になる可能性がある

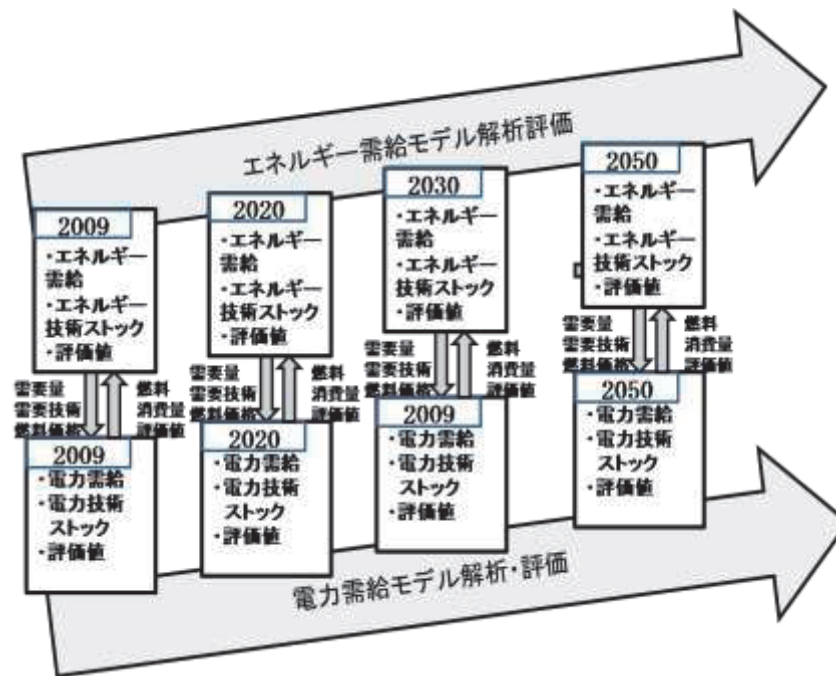


- スマートメータ
- HEMS, BEMS
- EVの充電制御
- 蓄電池

⇒需給調整力向上による電力システムの緊急時の節電など新しい要素を含めたシステム全体の需給調整力の向上が可能となる。

# 8. エネルギーインテグレーション Energy Integration エネルギー/電力連携 Collaboration between energy and power models

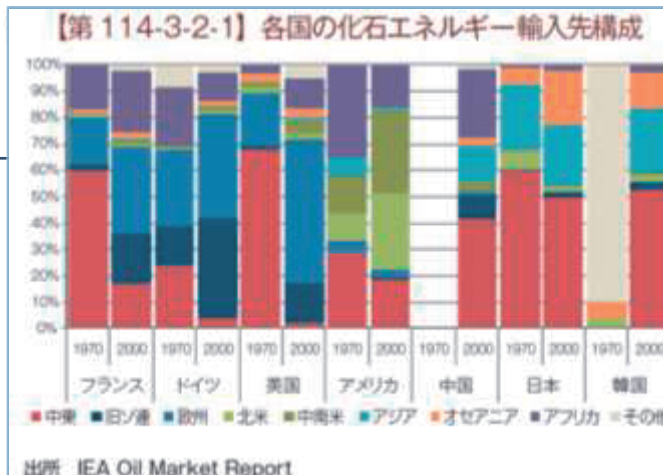
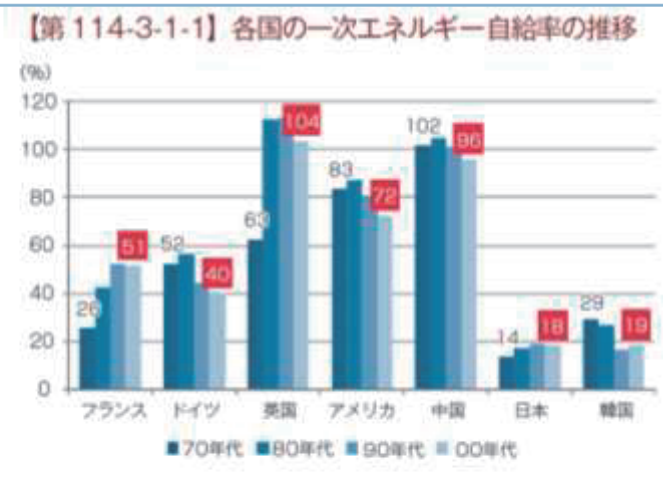
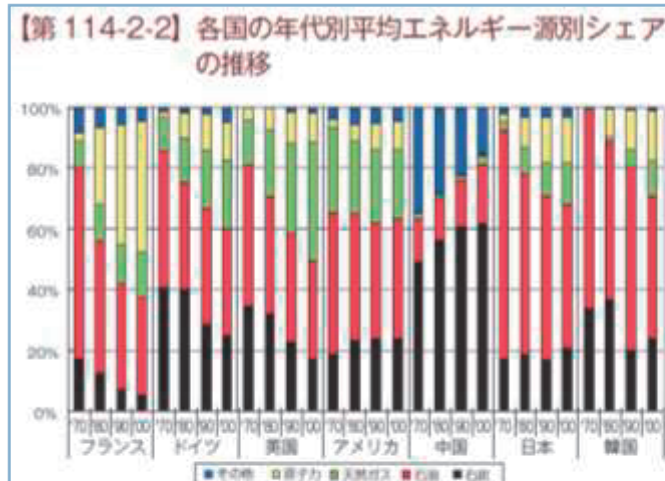
- ✓ エネルギー需給に占める電力需給の割合が増加する中で、エネルギーの課題解決では、各時点の需給バランスが必要な電力システムの条件を反映すべく、電力需給解析・評価を取り込むことが不可欠。
- ✓ 翻って、電力需給では、エネルギー需給の見通しから得られる燃料価格、電気自動車など新たな電力需要についての条件を取り込むことが不可欠である。
- ✓ 従って、長期のエネルギー需給/電力需給の課題解決に当たっては、両者を連携して、総合的な検討と実際の取り組みを行うことが重要。



荻本,赤井,近藤,末広,黒沢:電力需給計画モデルとエネルギー計画モデルの連携による長期電力需給解析,エネルギー資源学会第28回研究発表会,15-4,2009  
 荻本和彦,片岡和人,池上貴志,東仁,赤井誠:長期の電力需給計画における低炭素化実現の予備検討,エネルギー資源学会第28回研究発表会,32-6,2011.1

# 8. エネルギーインテグレーション Energy Integration 一次エネルギー供給のセキュリティ Security of primary energy supply

- ✓ エネルギーの安定供給の達成には、国内および世界の両方の視点が重要。





## 8. エネルギー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
- 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、**持続性 (Sustainability)**に加え、**安定性(Stability)**、**安全性(Security)**と**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、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

# 8. エネルギーインテグレーション Energy Integration 指標体系 Indicators

実際の取り組みにおいては、様々な視点を総合的に取り込むため、指標体系を合意、策定することが重要。

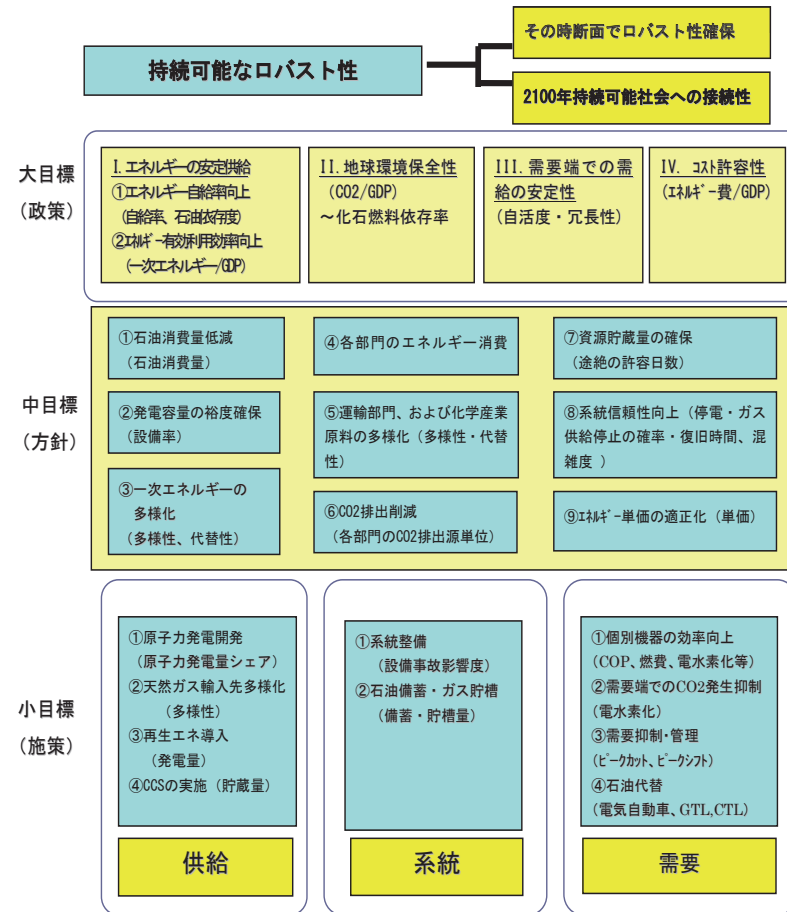
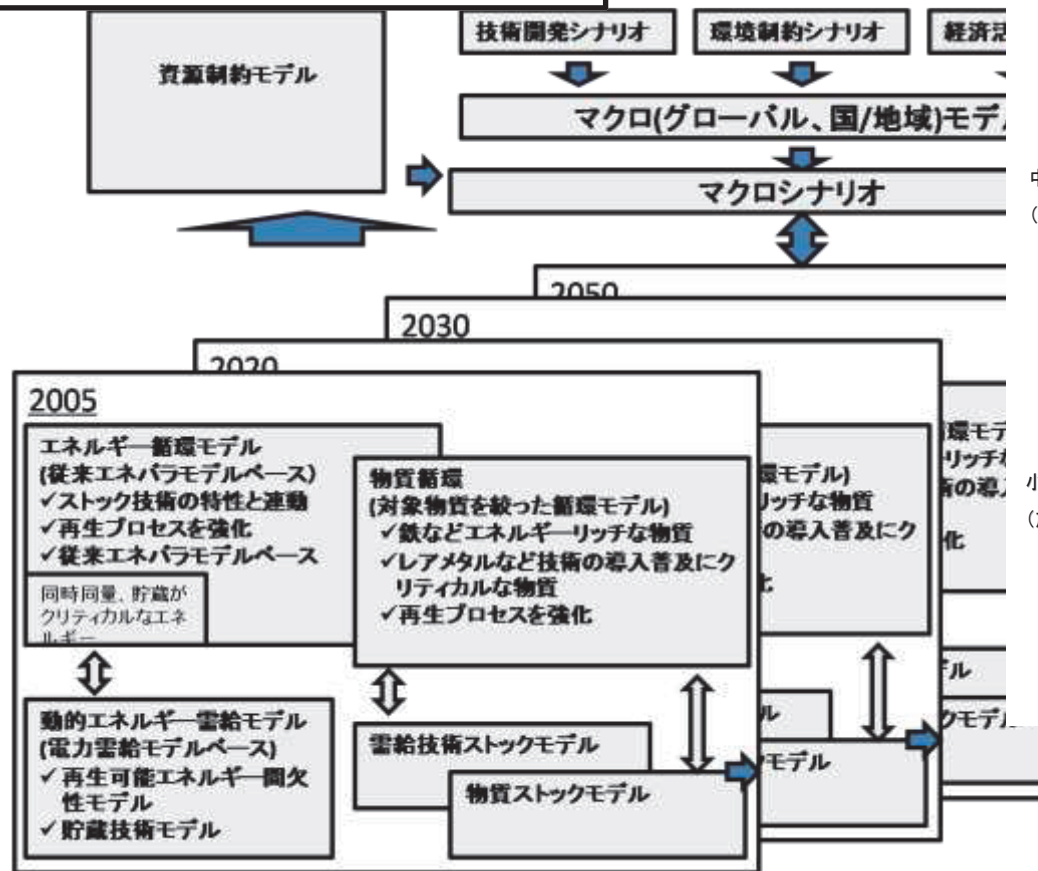


図 持続的エネルギー需給構造の目標/指標体系

都筑和泰, 赤井誠, 近藤康彦, 荻本和彦: ロバストなエネルギー需給構造に向けた指標体系, 日本エネルギー学会第17回大会, 8-20, 2008

## 9 持続可能な社会へ：スマートグリッドとは？

- 適用地域の社会・経済、資源などの条件から、**さまざまな実現形態**の可能性を持ち、技術、社会インフラ、制度改編を含み**段階**で内容は異なる。実現形態と段階の組み合わせから、たどる**道筋は多様**である。
- 考え方のコアは、直接制御あるいは間接制御により需要を能動化により、エネルギー需給の低炭素化で不可欠となる電力系統の需給調整能力を確保すること。
- 将来技術としては、機器間の通信、分散エネルギーマネジメント、電力貯蔵等が**重要**
- **分散エネルギーマネジメント**は、機器設備のエネルギーの利用目的を損なわず、生活環境と経済性の維持向上、新しいサービスへの展開の可能性
- 欧米では、以下のもスマートグリッドの中に入れて議論される場合もある：
  - ✓ 米国の中部の大規模太陽光発電あるいは風力発電の電力の送電のための東西方向などのいわゆる“green transmission highway”
  - ✓ ヨーロッパにおける洋上風力を需要に結ぶ送電線
  - ✓ 環地中海連系など、super -Grid

Smart grid, a catch-all term that means different things to different people, has become the latest buzzword in the electric power industry. Everybody is for it, even if nobody is sure what it means.

GE and Google Team To Promote Smart Grid, The Electricity Journal, Volume 21, Issue 9, November 2008

# 9 持続可能な社会へ：超長期エネルギー技術ビジョン

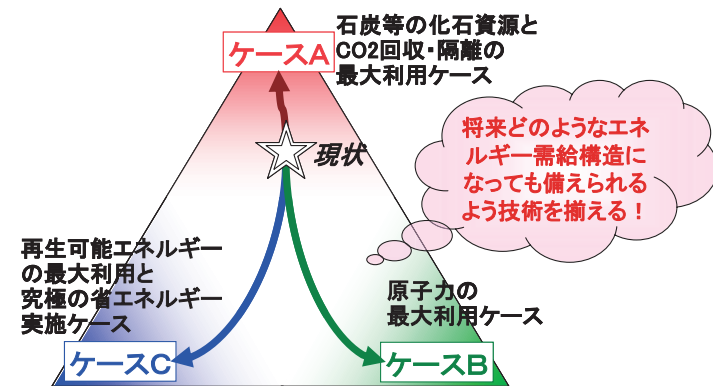
- ▶ 2100年からのバックキャスト
  - 資源制約
  - 環境制約
  - 長いリードタイム

	2050年	2100年
資源制約	石油生産量ピーク	天然ガス生産量ピーク
CO2/GDP	1/3	1/10以下
GDP(日本)	1.5倍	2.1倍
(世界)	3倍	10倍

- ▶ セクター別アプローチ (転換/産業/民生/運輸)
- ▶ 原単位アプローチ (CO2/GDP、セクター別原単位)

民生(家庭)分野 : t-CO <sub>2</sub> /世帯	=	t-CO <sub>2</sub> /MJ	× MJ/世帯
民生(業務)分野 : kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	=		× MJ/m <sup>2</sup>
運輸分野 : g-CO <sub>2</sub> /km	=		× MJ/km
産業分野 : t-CO <sub>2</sub> /生産量	=		× MJ/生産量
転換分野* : t-CO <sub>2</sub> /MJ	=		

- ▶ 3つの極端ケースでの検討
  - A : 石炭等の化石資源とCO2回収・隔離の最大利用ケース
  - B : 原子力の最大利用ケース
  - C : 再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施ケース



ケースA: 資源埋蔵量が比較的多い石炭、非在来型化石資源等の化石資源によってエネルギー供給を賄いつつ、化石資源の利用に伴って発生するCO2を回収・隔離するケース。

ケースB: CO2が排出されない原子力によって全分野のエネルギー供給を行うケース。エネルギーキャリアとしては、運輸分野、産業分野も含め、電気および水素を想定。

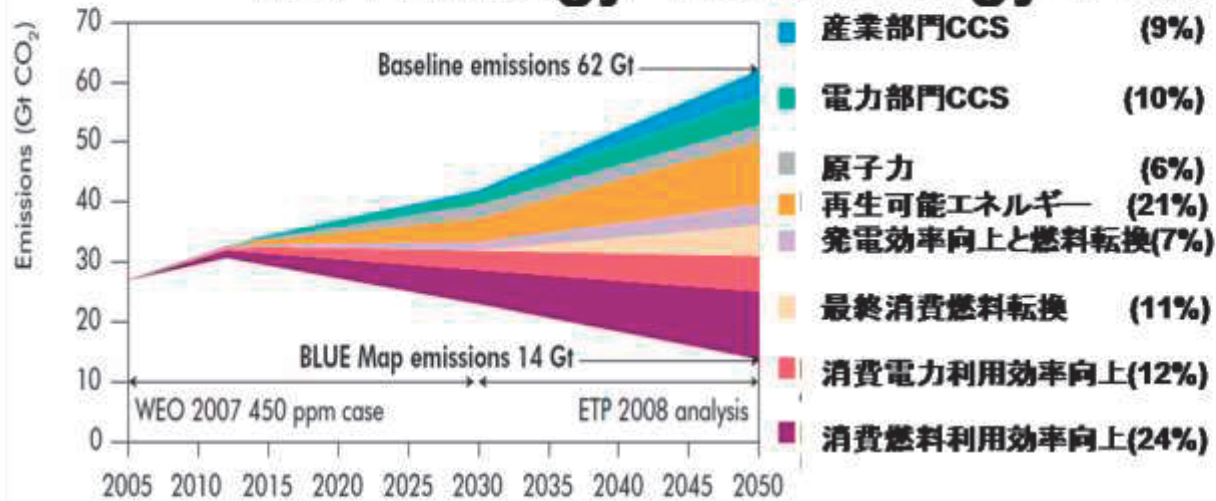
ケースC: 再生可能エネルギーを最大限に利用するとともに、省エネ・高効率利用・自立化、転換効率向上によってエネルギー需要の低減を究極的に押し進めることによって、生活の質の維持・向上を図りつつ、必要なエネルギー供給量を抑えるケース。

エネルギー総合工学研究所報告書より



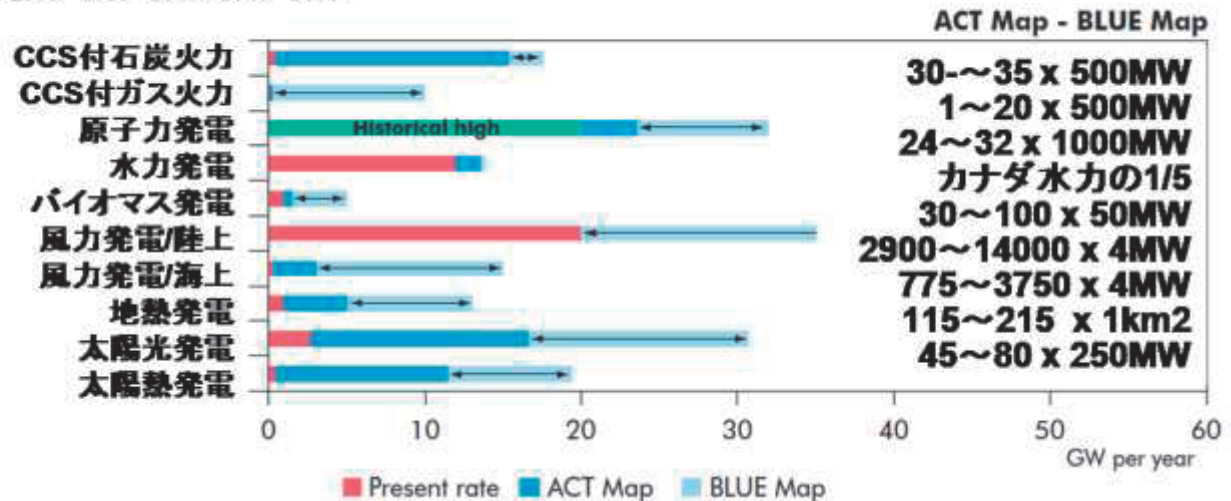
# 9 持続可能な社会へ：IEAの見通し

## 2050年に向けたCO2削減へのエネルギー技術の貢献 — IEA Energy Technology Perspective —



2050年に向けたCO2削減への各技術の寄与度

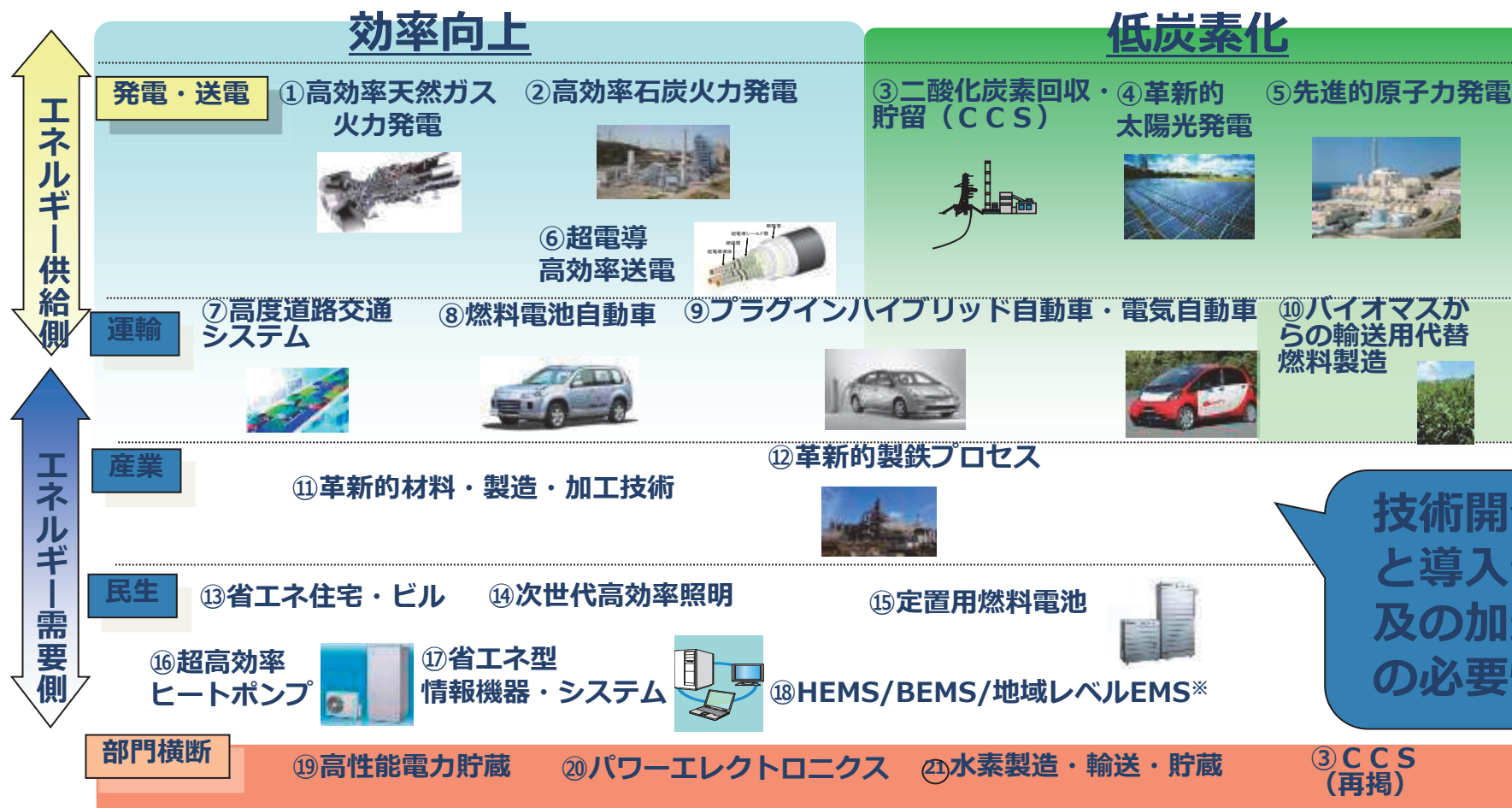
2050年に向けた  
発電部門の  
年間追加投資





# 9 持続可能な社会へ：Cool Earthエネルギー技術革新計画

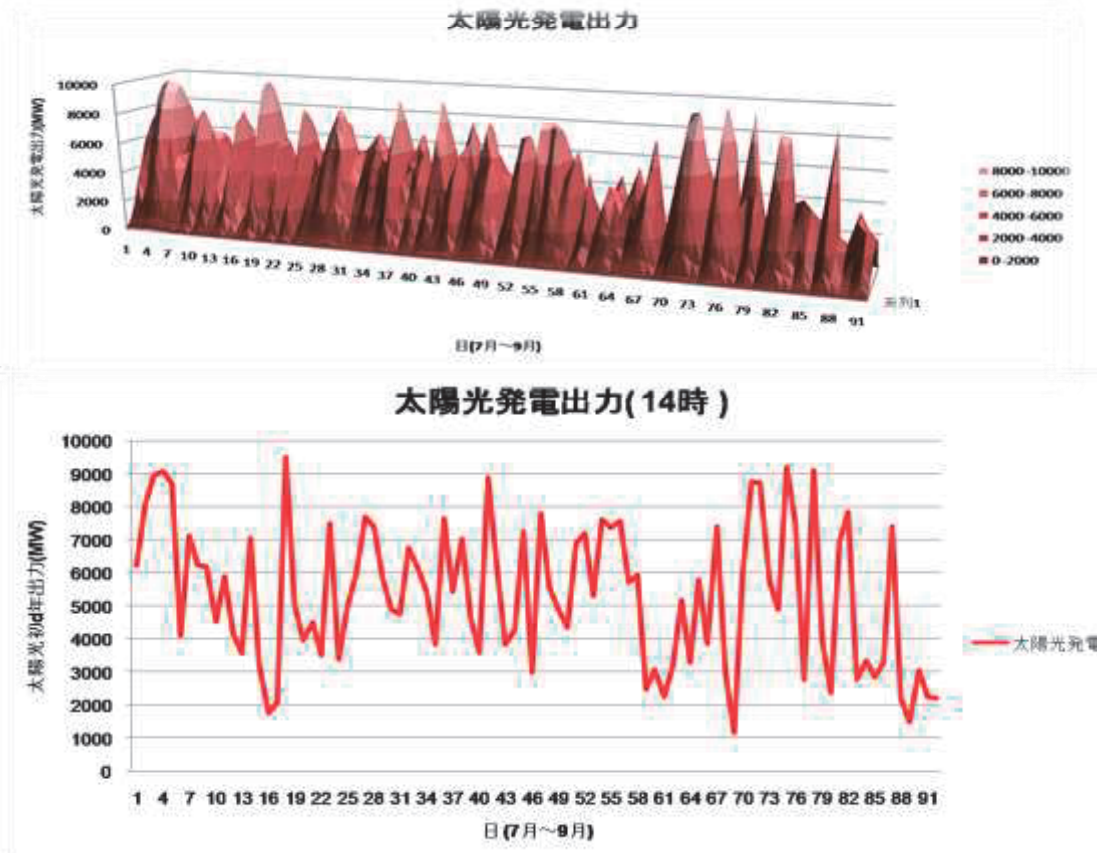
エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO<sub>2</sub>大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



※EMS : Energy Management System、HEMS : House Energy Management System、BEMS : Building Energy Management System

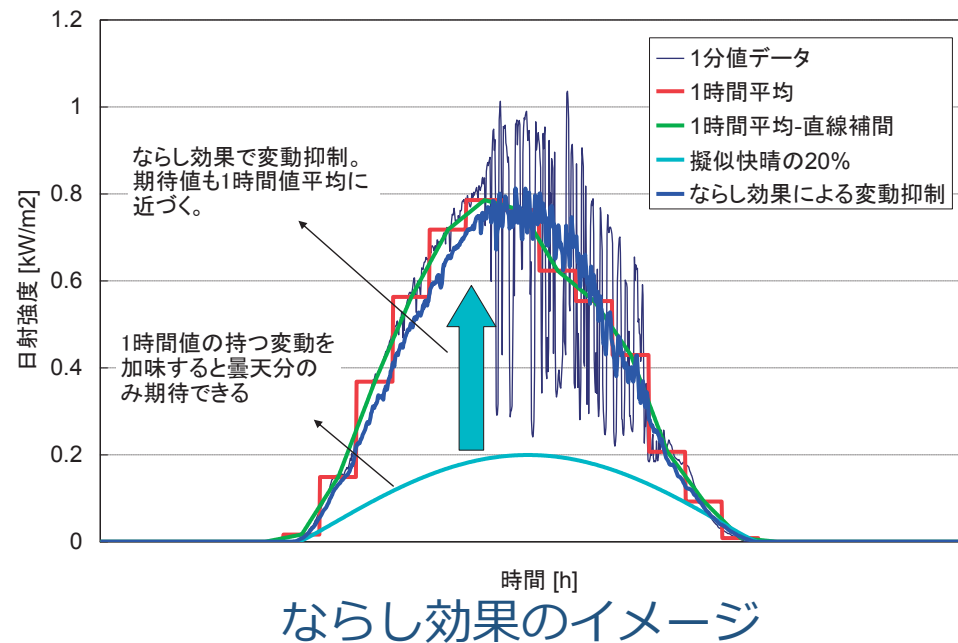
## 9 持続可能な社会へ：再生可能エネルギーの出力変動

- ✓ 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、かつての水主火従の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、きめ細かな運用とそれらを支える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。



## 9 持続可能な社会へ：ならし効果と発電予測

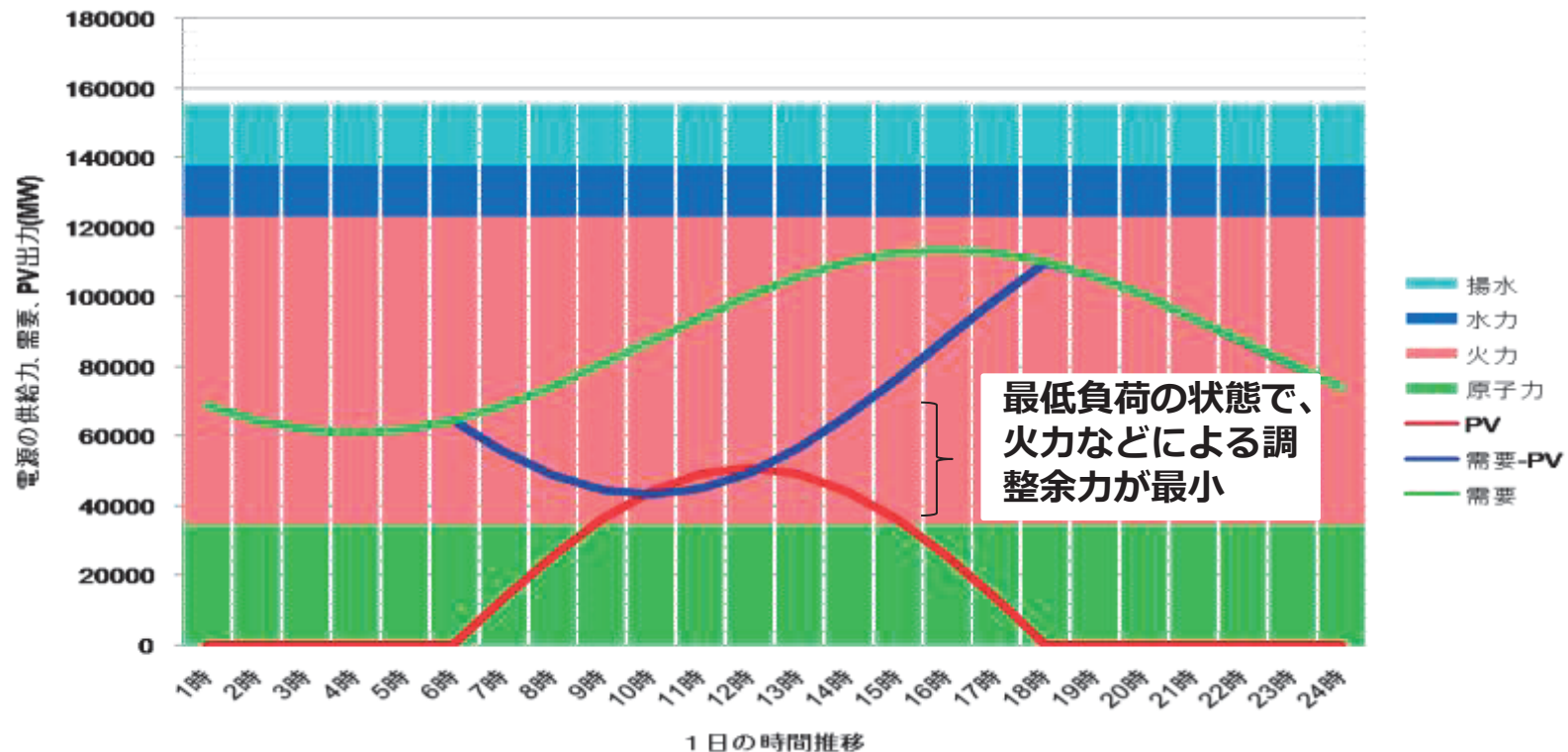
- ✓ PVの出力は、広範囲の多くのシステムを対象として合計すると、速い周期の変動が打ち消しあい、「ならされる」ことで、変動の周期が穏やかになる。
- ✓ PVの合計出力の変動は、エリアの合計日射量の変動に近く、複数の県などの広い地域の場合、短い変動性分(1時間未満など)は相対的に小さくなり、**予測の精度が上がる**ことが期待される。
- ✓ 今後、「ならし効果」の特性把握と、周波数変動と需給計画に与える影響の評価の確立とその実施が重要と考えられる。



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)」

# 9 持続可能な社会へ：PV導入による需給調整力の減少

系統電源の需要が減少する状況において、需要変動、供給力の変動に太陽光発電の変動を加え、需給バランスを保つための調整容量が確保できるか。



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  
太陽光発電は、各月の最大値のイメージ。



## 9 持続可能な社会へ：再生可能エネルギー導入の課題と対策

太陽光発電，風力発電などの大きな常時の出力変動に対し、系統側の対策と将来の需要側の対策(建物の分散EMSの活用など)を組み合わせることで、効果的な補償が可能。

注)EMS:Energy Management System

[自律度向上によるネットワークへの負担軽減]

- 電圧変動：PVの出力変動に設置点近傍の配電系統に発生
  - ⇒(配電システム対策、出力抑制)
  - ⇒需要側EMSによる有効電力・無効電力調整の自律度向上
- 潮流変動他：フィーダーより上位での逆潮、系統事故時一斉解列/単独運転など
  - ⇒配電システム対策、インバーター制御保護、ネットワークとの協調
- 周波数変動：PVの出力変動による系統全体での需給のアンバランスにより発生
  - ⇒(系統電源による周波数調整力 - 出力増/減余力- 確保)
  - ⇒広い地域のならし効果の評価、活用
  - ⇒需要側のEMSにより出力変動を緩和
- 需給計画・調整：系統電源の需要の不確定性により発生
  - ⇒ならし効果と需要側EMSによる系統需要の予測の確度向上

配電レベル  
系統レベル

その他，系統事故時の太陽光発電や風力発電の一斉脱落のほか，電圧・潮流・周波数の変動要因としては、発電所事故、送電線事故など再生可能エネルギー以外の要因があることは注意が必要



# 9 持続可能な社会へ：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、石炭、天然ガスなどの大規模系統電源は、エネルギーの安定供給と経済性、環境性の向上のため、高い負荷率で安定した運転を行うことが望ましい。
- ✓ 需要変動、電源事故などの需給変動に対応するために、各電源は、より柔軟な運用が求められる。



## エネルギーインテグレーション

系統、電力貯蔵技術、需要反応、分散電源を含め、  
設備、運用など多方面からの取りくみが重要。



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

## 9 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  
スケジュールリング、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  
スケジュールリング、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

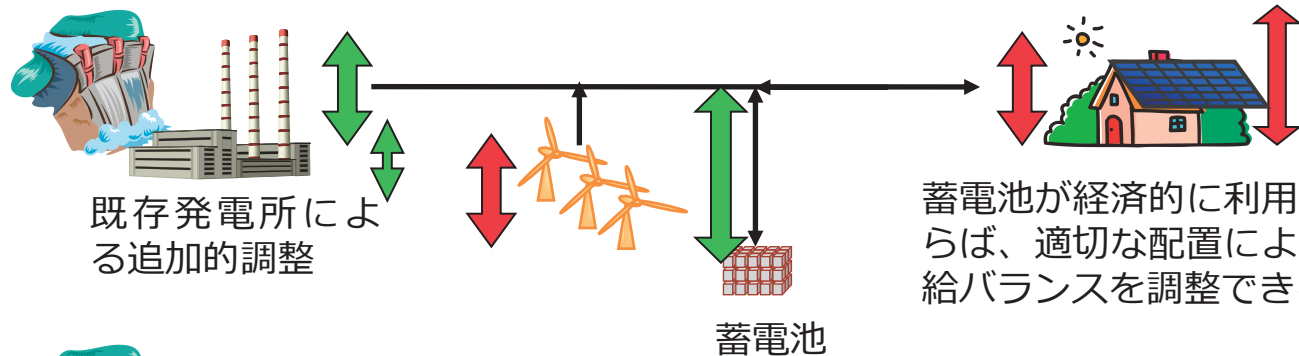
# 9 持続可能な社会へ：需要の能動化

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

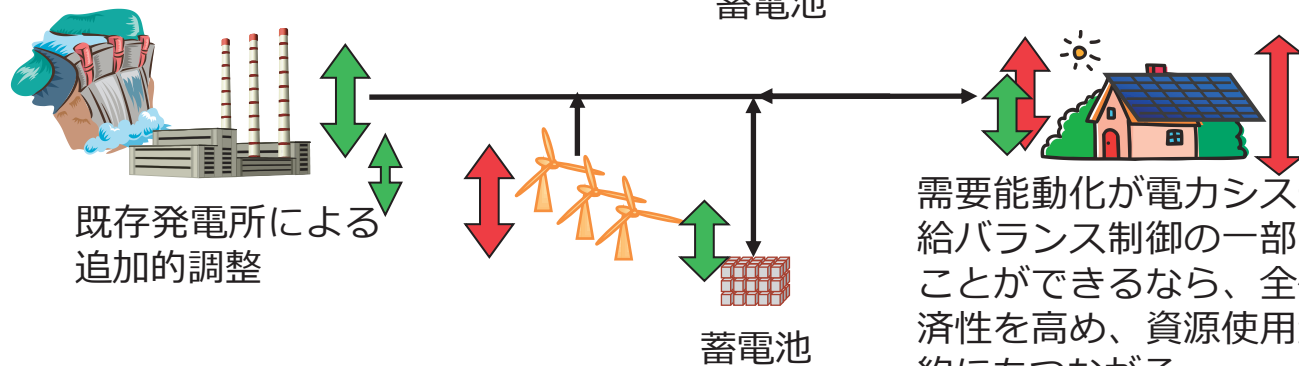


蓄電池  
による  
需給バランス制御

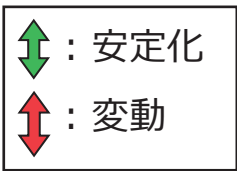


蓄電池が経済的に利用可能ならば、適切な配置により、需給バランスを調整できる。

蓄電池 + 需要能動化  
による  
需給バランス制御



需要能動化が電力システム需給バランス制御の一部を担うことができるならば、全体の経済性を高め、資源使用量の節約にもつながる。



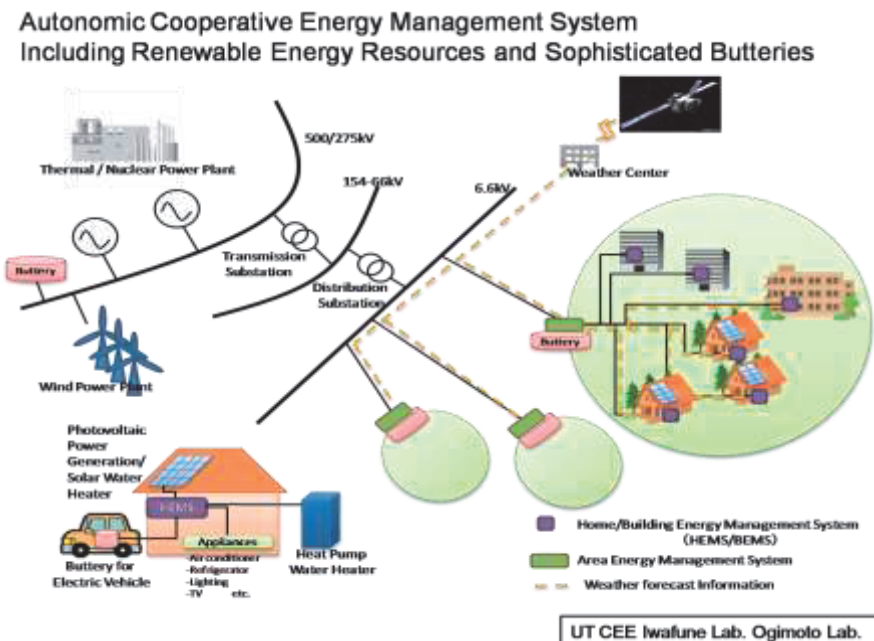
# 9 持続可能な社会へ：需要の能動化による集中/分散エネルギーマネジメントの協調

ネットワーク側の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ことで、電力システムの需給調整力の向上が期待される。

✓ 広い地域のPVなど、再生可能エネルギー発電の合計出力の変動は、多数地点の変動成分が打ち消しあい(ならし効果)、天候予測に基づく出力予測の精度向上、需要などとの相関などにより、需給調整に与える影響が異なる。

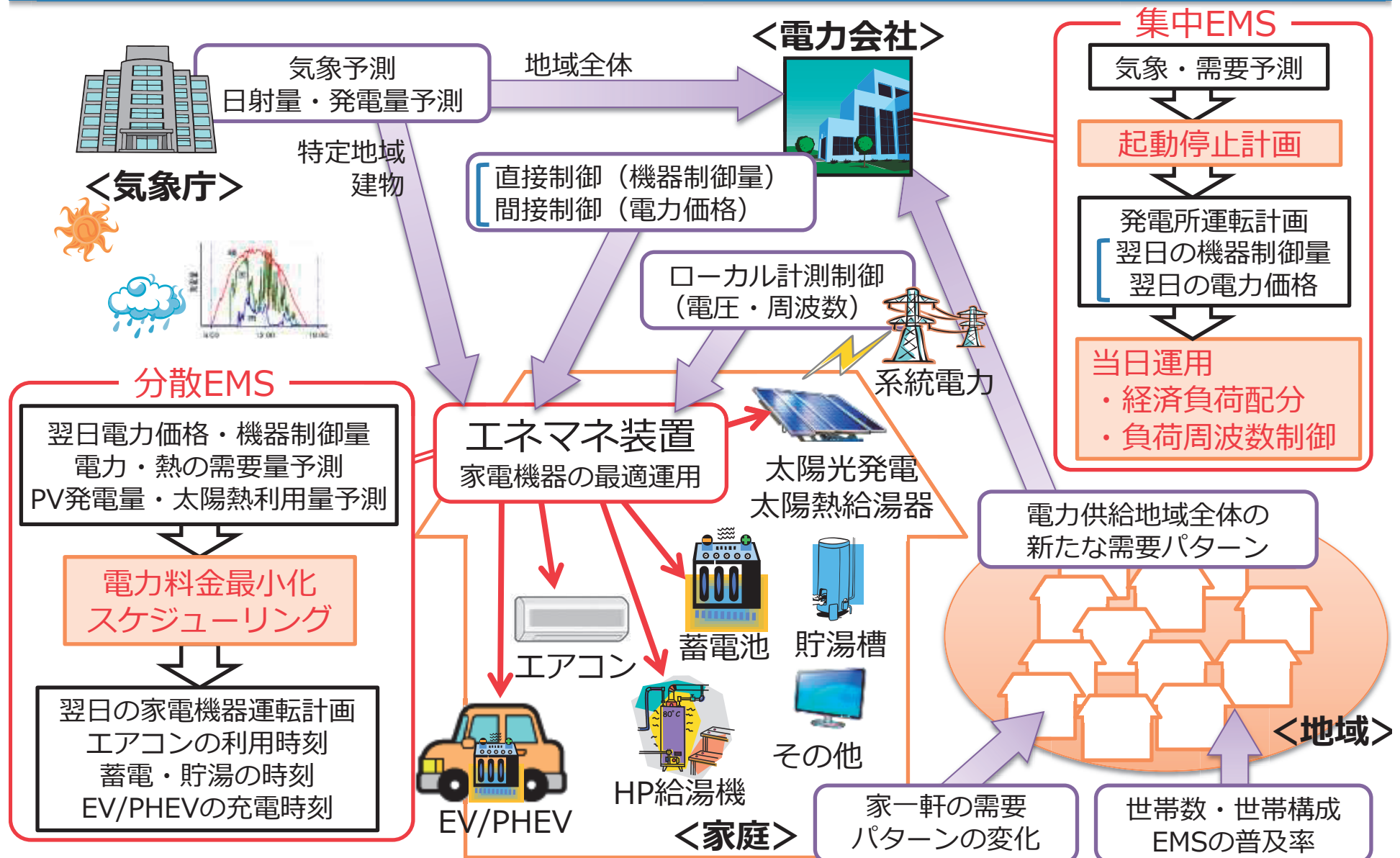
✓ 集中エネルギーマネジメントは、系統の電源、揚水を含むエネルギー貯蔵設備に加え、一部の需要を直接制御することで、需給調整の効果を上げることができる。

✓ 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できるのではないかと。





# 9 持続可能な社会へ：集中/分散エネマネの実現方法





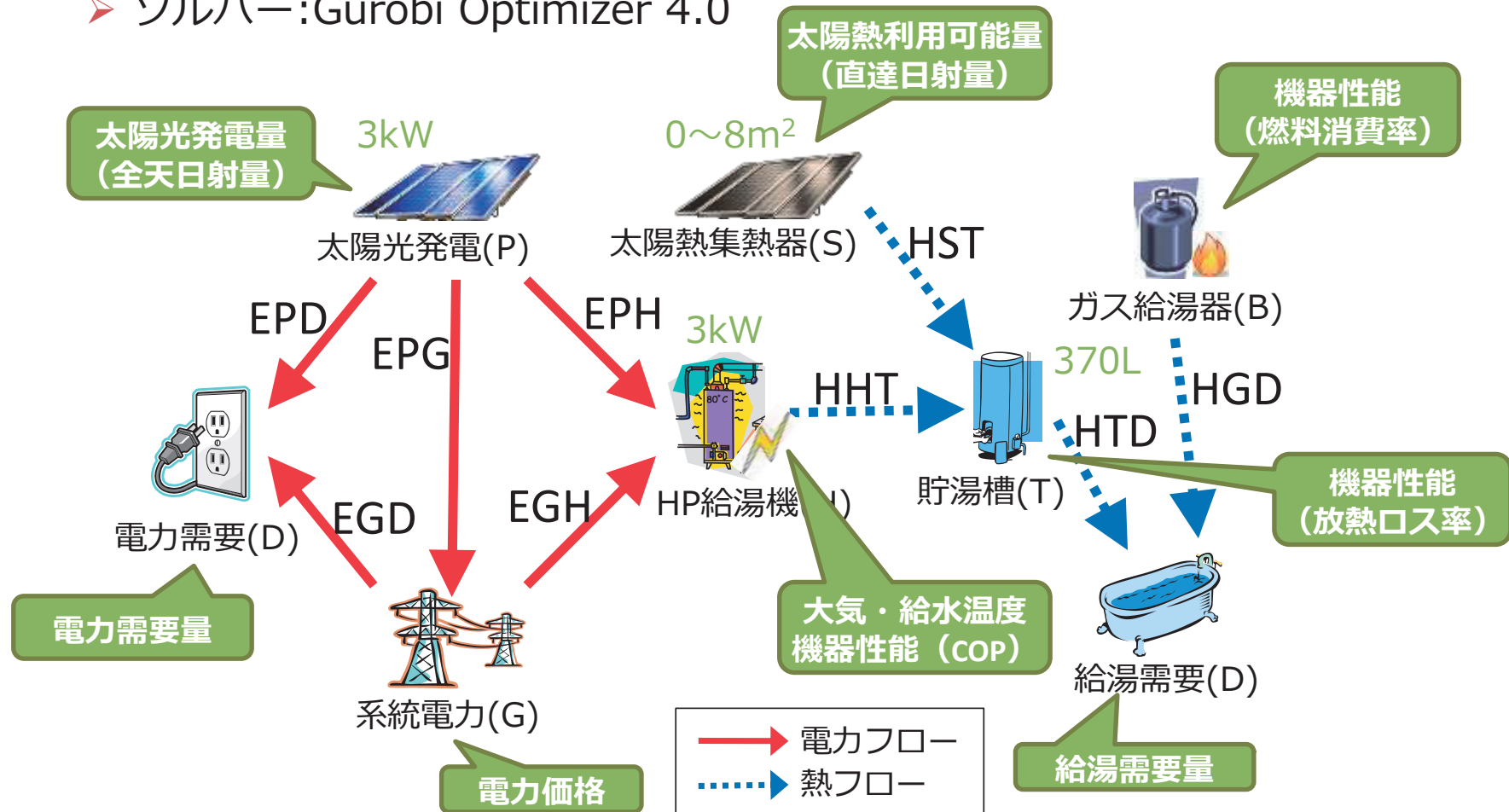
# 9 持続可能な社会へ：需要の能動化の試算例

## □ 混合整数線形計画法

- 家庭内の電気料金を最小化
- ソルバー:Gurobi Optimizer 4.0

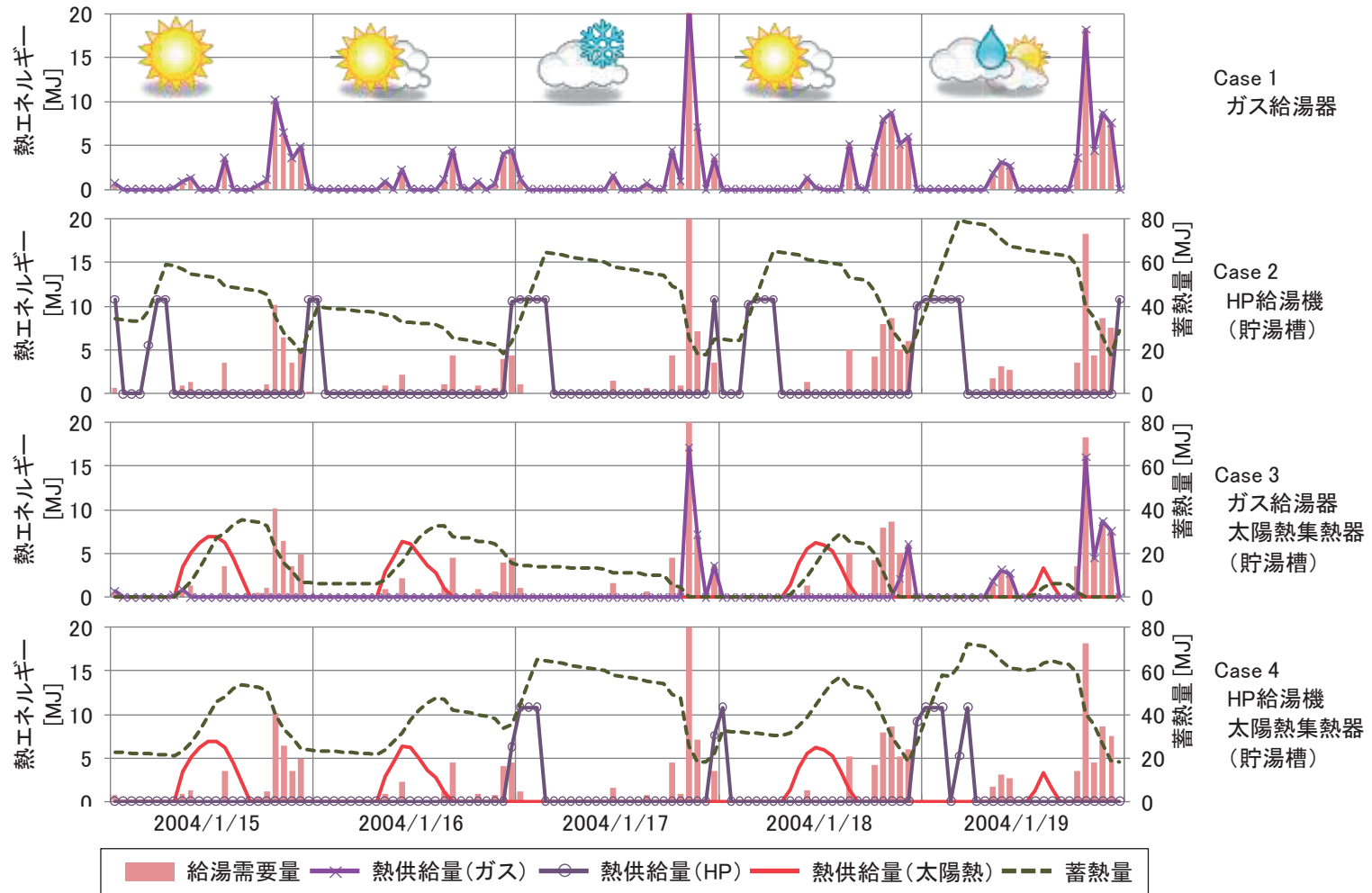
## □ 時間解像度：1時間

## □ 最適化適用期間：2日間



# 9 持続可能な社会へ：需要の能動化の試算例

## □ 太陽熱集熱器4m<sup>2</sup>, 冬期5日間の計算結果



池上, 片岡, 岩船, 荻本, 太陽熱集熱器とヒートポンプ給湯機併用住宅におけるエネルギー需給に関する解析環境システム研究, Vol.39, 2011. (投稿中)

## 9.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ーにかわり、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

# 9.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。

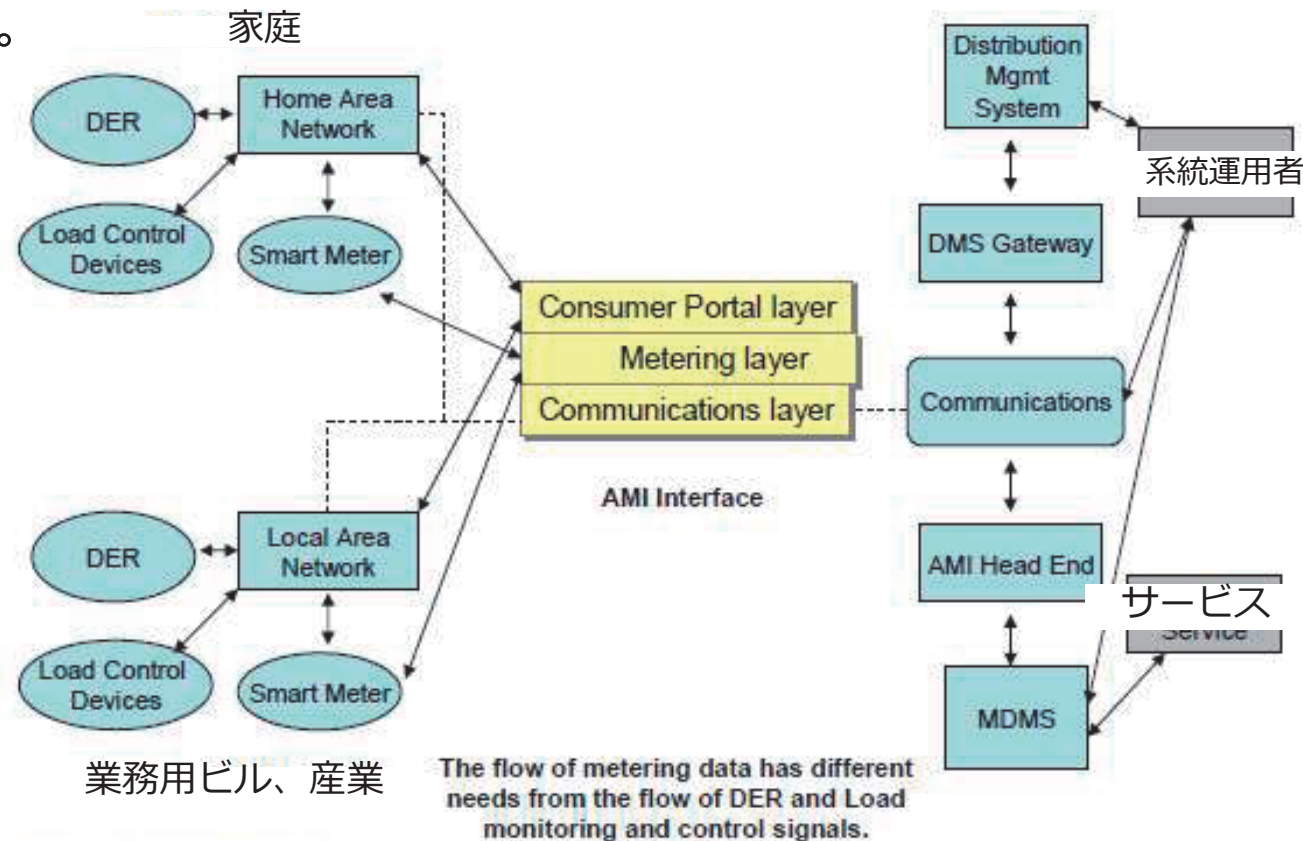


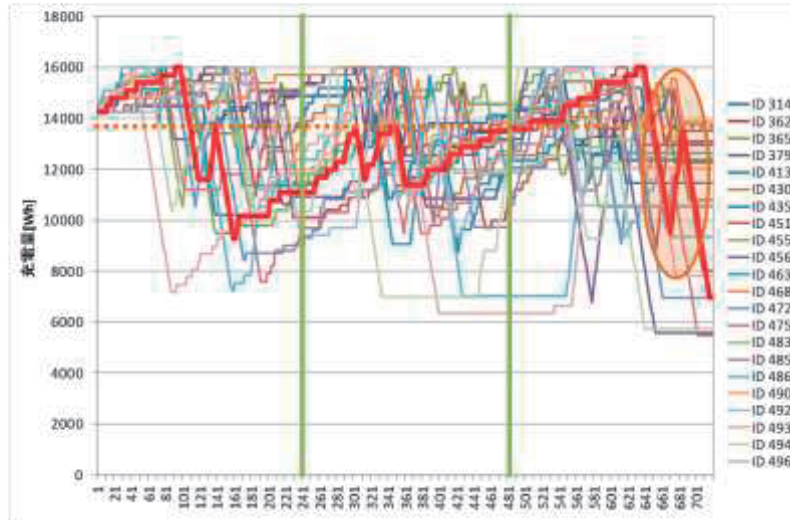
Figure 4: Overview of AMI

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



# 9. 持続可能な社会へ：モビリティの新スタイル

## □ 満充電に到達できない車の充電量の変化

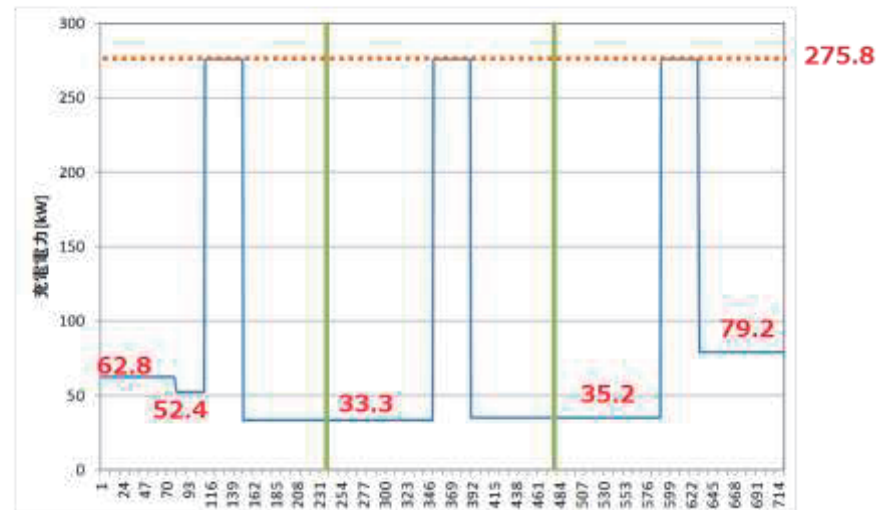


ハイブリッド自動車(HV)、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)へ・・・の自動車の進化の多様化、船舶、鉄道への電池応用の進展は、新しい利用スタイルを含むモビリティの体系を生む。

## □ 昼間の最小充電電力を最大化した場合

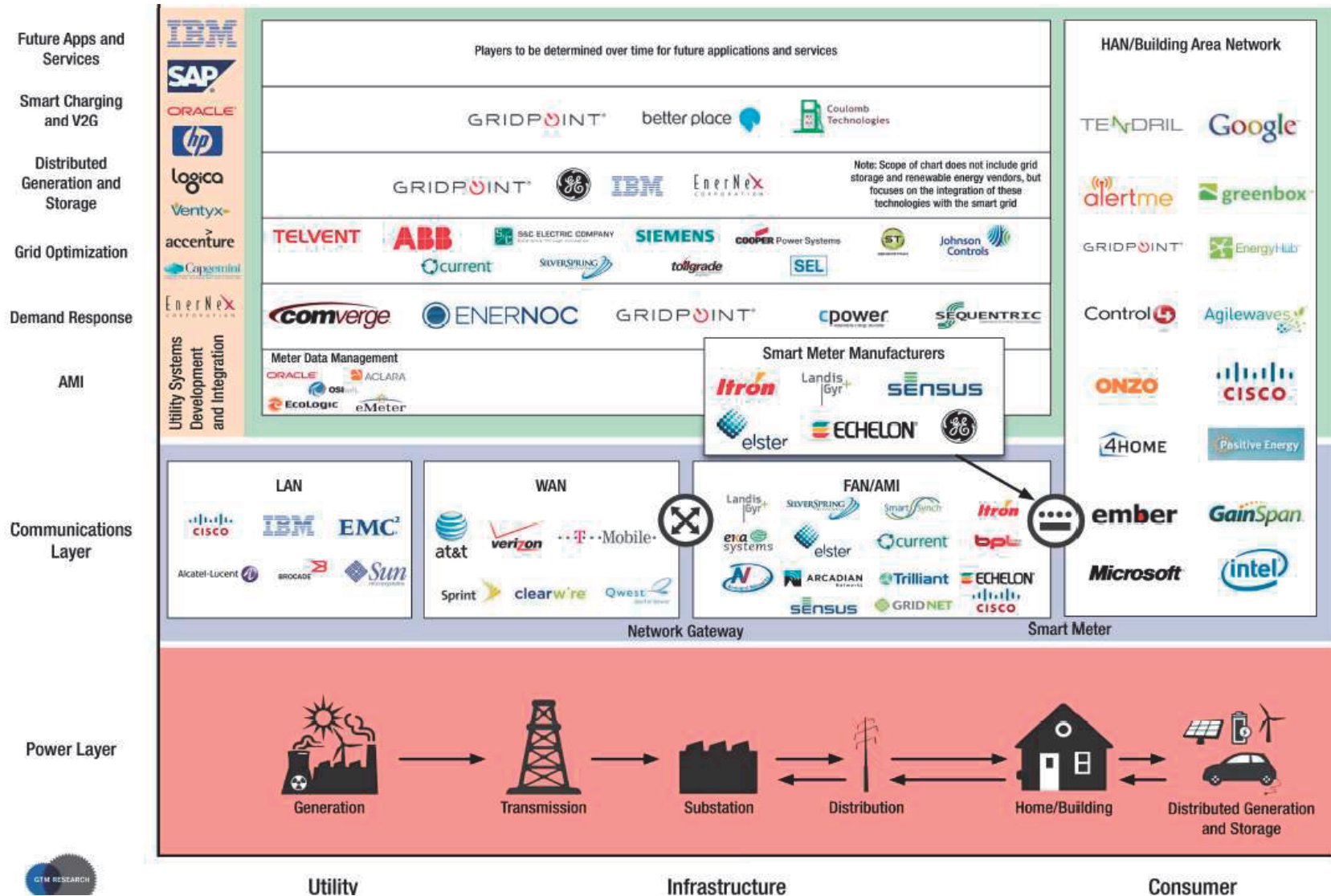
充電制御は、電力システムの需給調整力の向上に貢献することが期待され、エネルギーシステムの柔軟性向上の新たな資源となる。

利用制約を発生せずに電力システムの需給調整への柔軟な活用ができるかが鍵





# 9. 持続可能な社会へ：スマートグリッドの参入企業

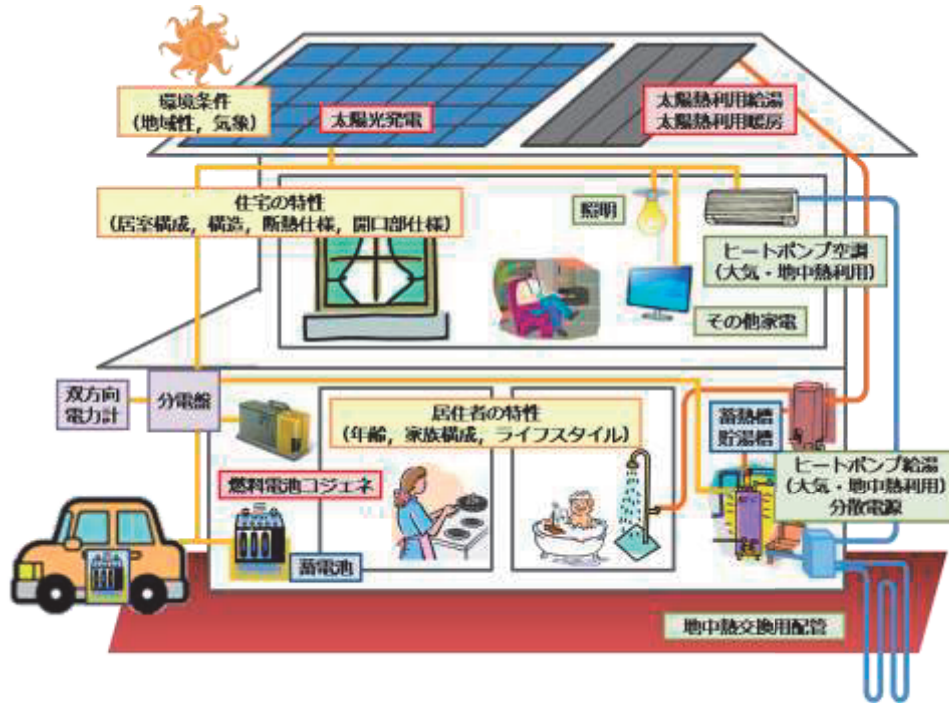


GTM RESEARCH, THE SMART GRID IN 2010: MARKET SEGMENTS, APPLICATIONS AND INDUSTRY PLAYERS, JULY 2009

## 9. 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。

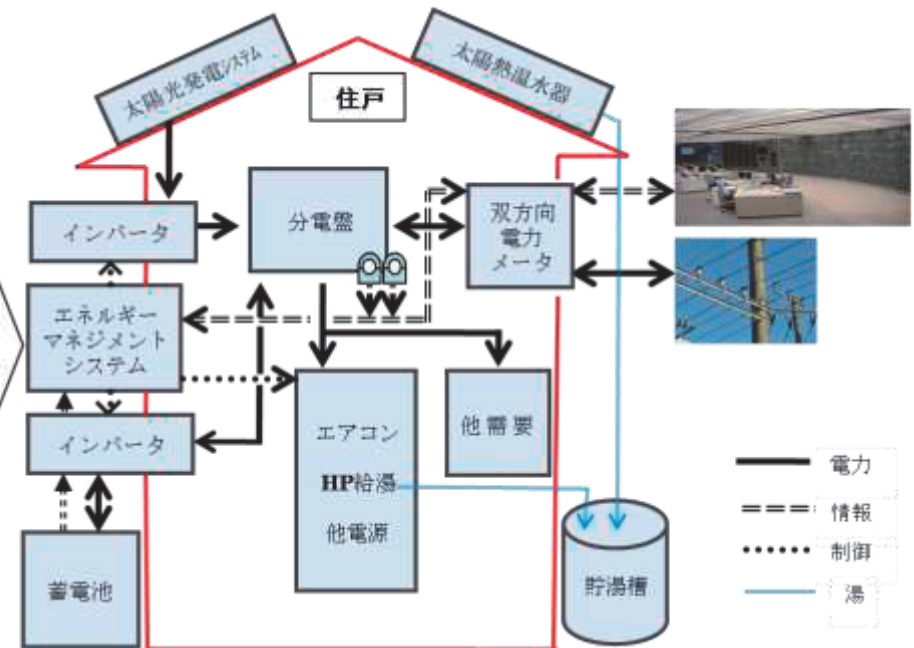
# 9. 持続可能な社会へ：住宅・地域の将来像を描く



- 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

気象予測データ  
(日射、気温、風速等)  
需要予測データ  
(給湯、空調熱負荷等)

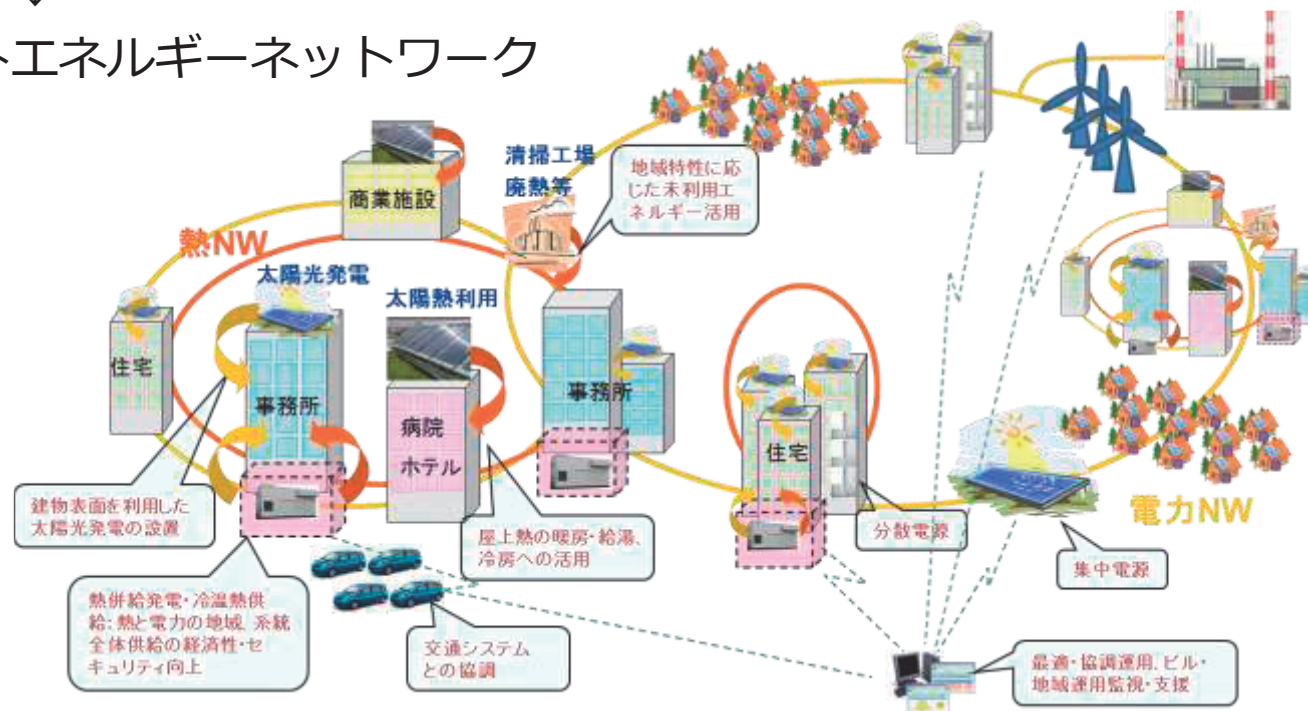


# 9.持続可能な社会へ：スマートエネルギーネットワーク

- 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

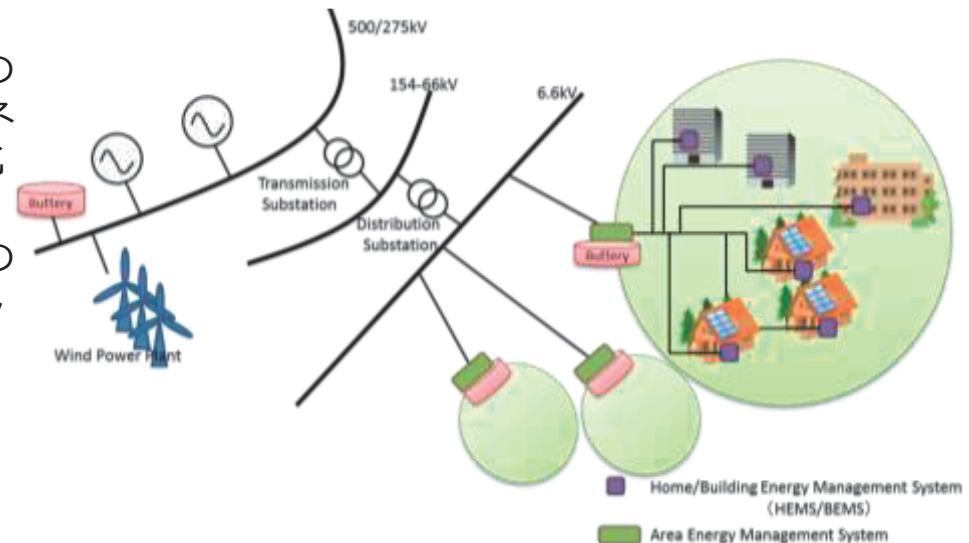




# 9.持続可能な社会へ：スマート コミュニティ/シティ

- 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。





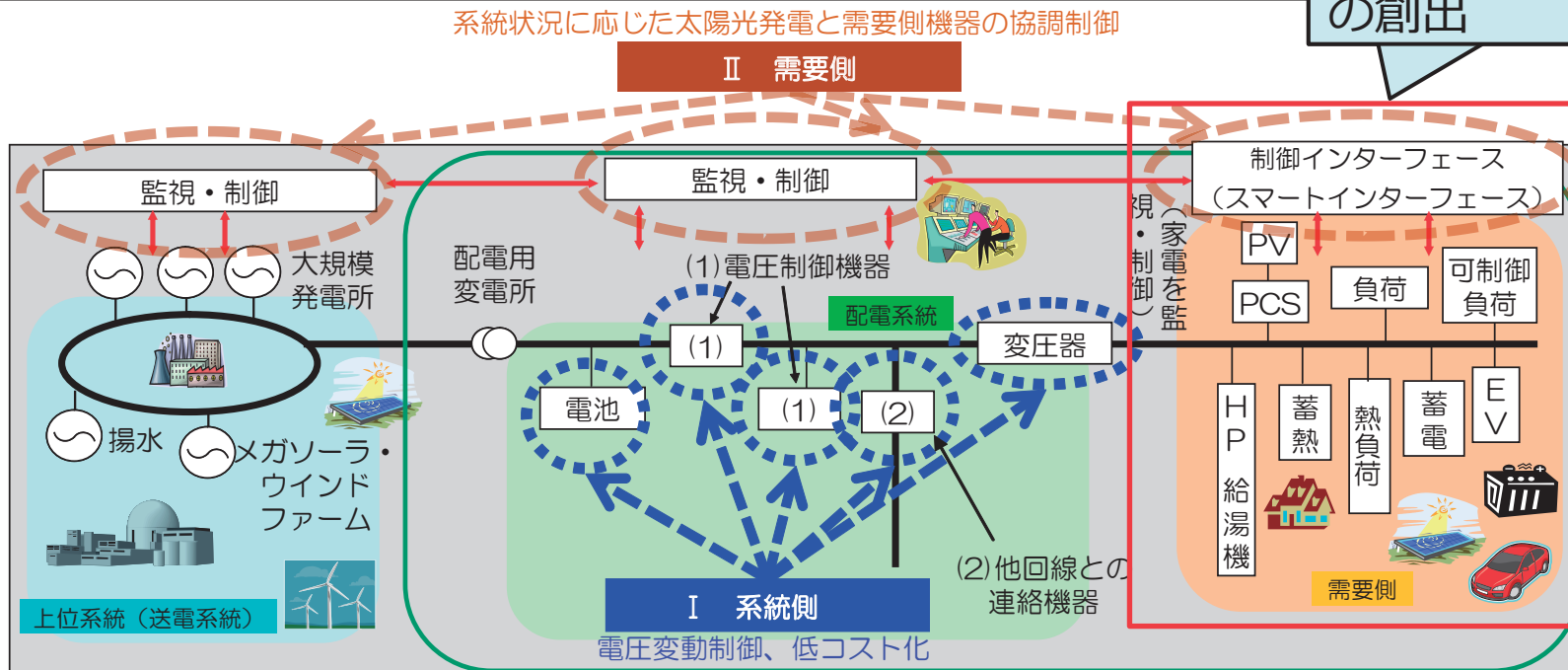
# 10.実証試験：電力中心のスマグリ実証

「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

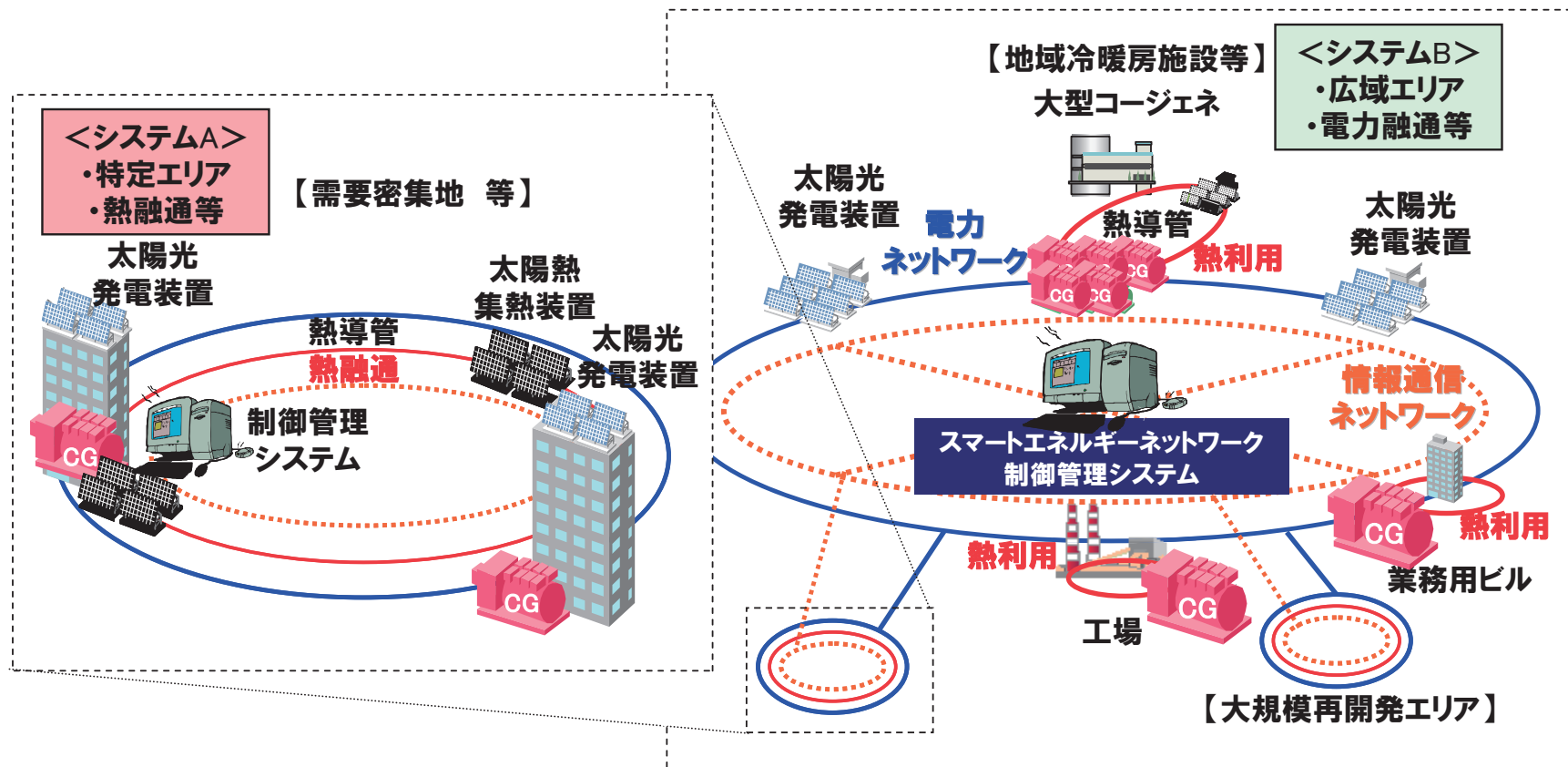


# 10.実証試験：「熱」を加えたスマグリ実証

分散型エネルギー複合最適化実証事業

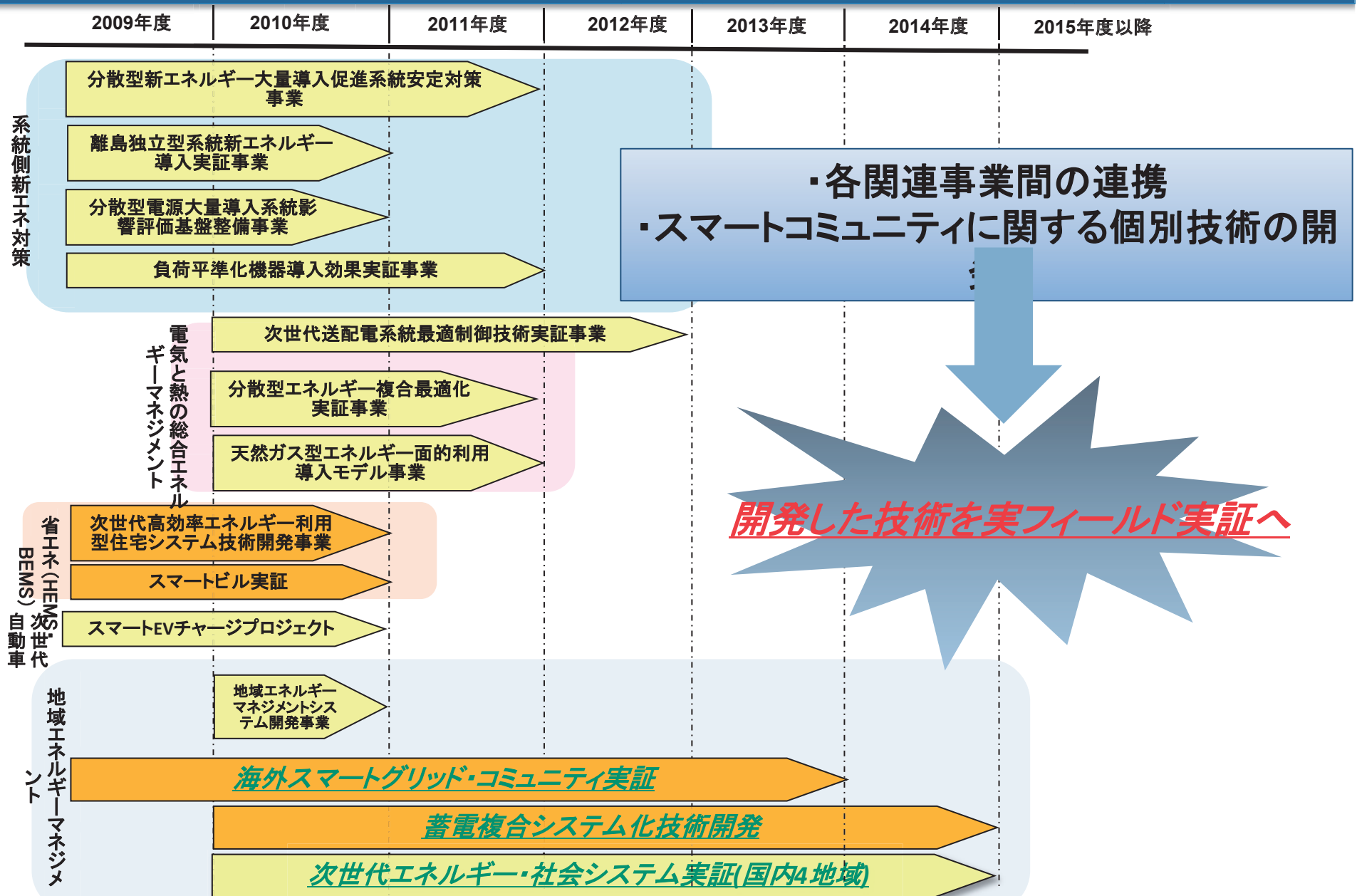
熱の利用に着目したスマートエネルギーネットワーク実証事業

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



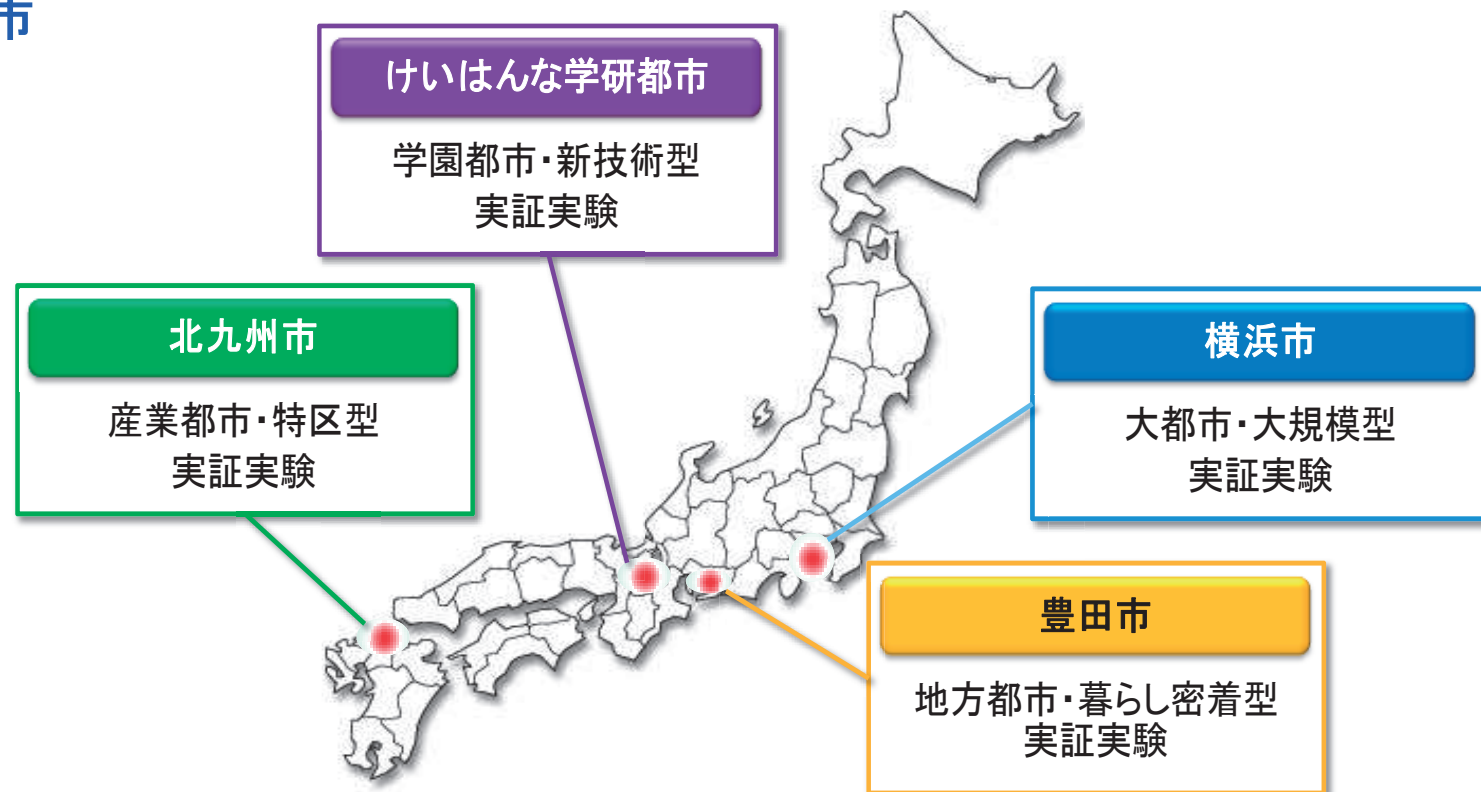
CG:コージェネ

# 10.実証試験：NEDOの国内実証試験



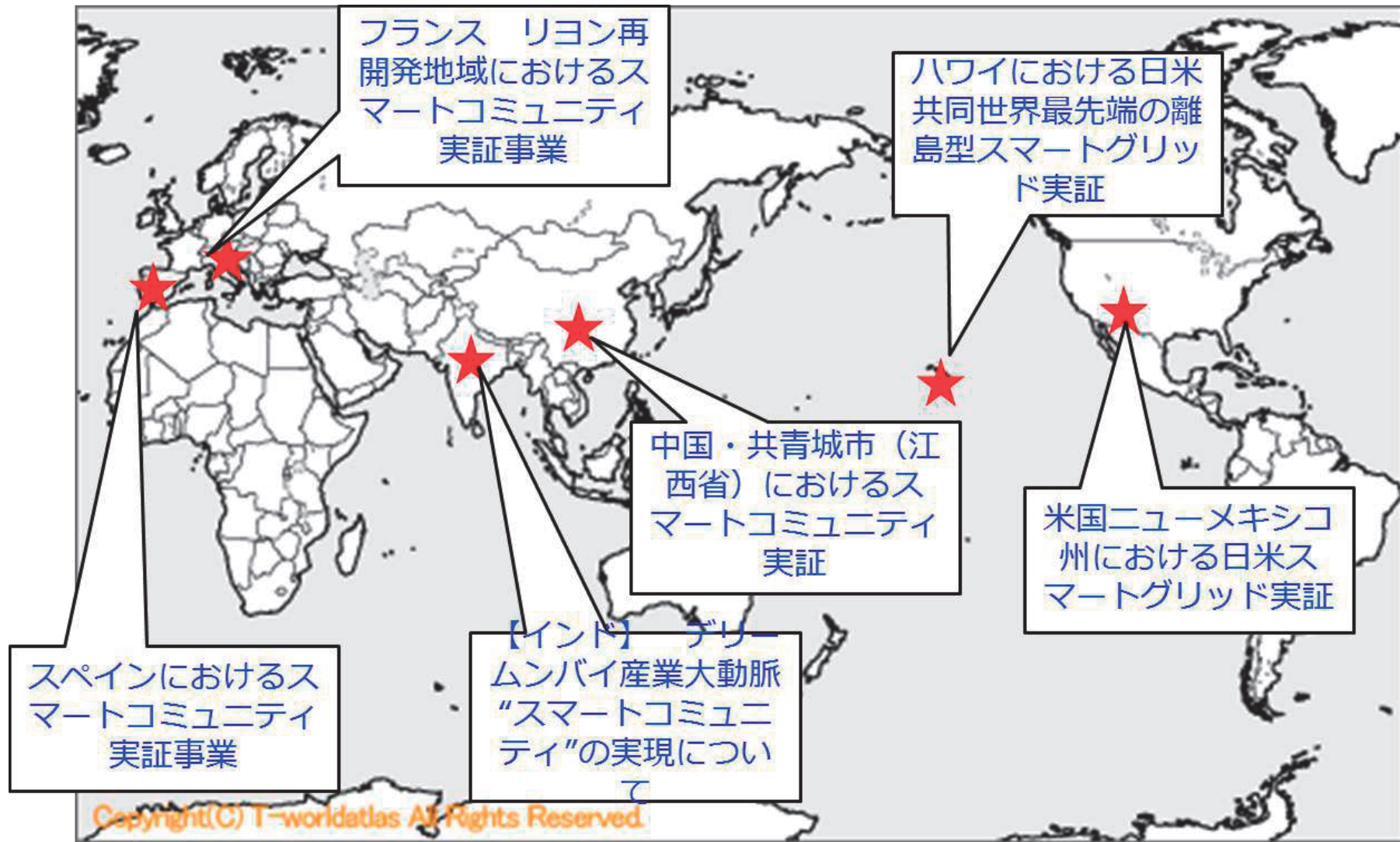
# 10.実証試験：NEDOのスマコミ国内実証

- ・国内4地域スマートコミュニティ実証
  - (Ⅰ)横浜市
  - (Ⅱ)豊田市
  - (Ⅲ)けいはんな学研都市
  - (Ⅳ)北九州市





# 10.実証試験：NEDOのスマコミ海外実証

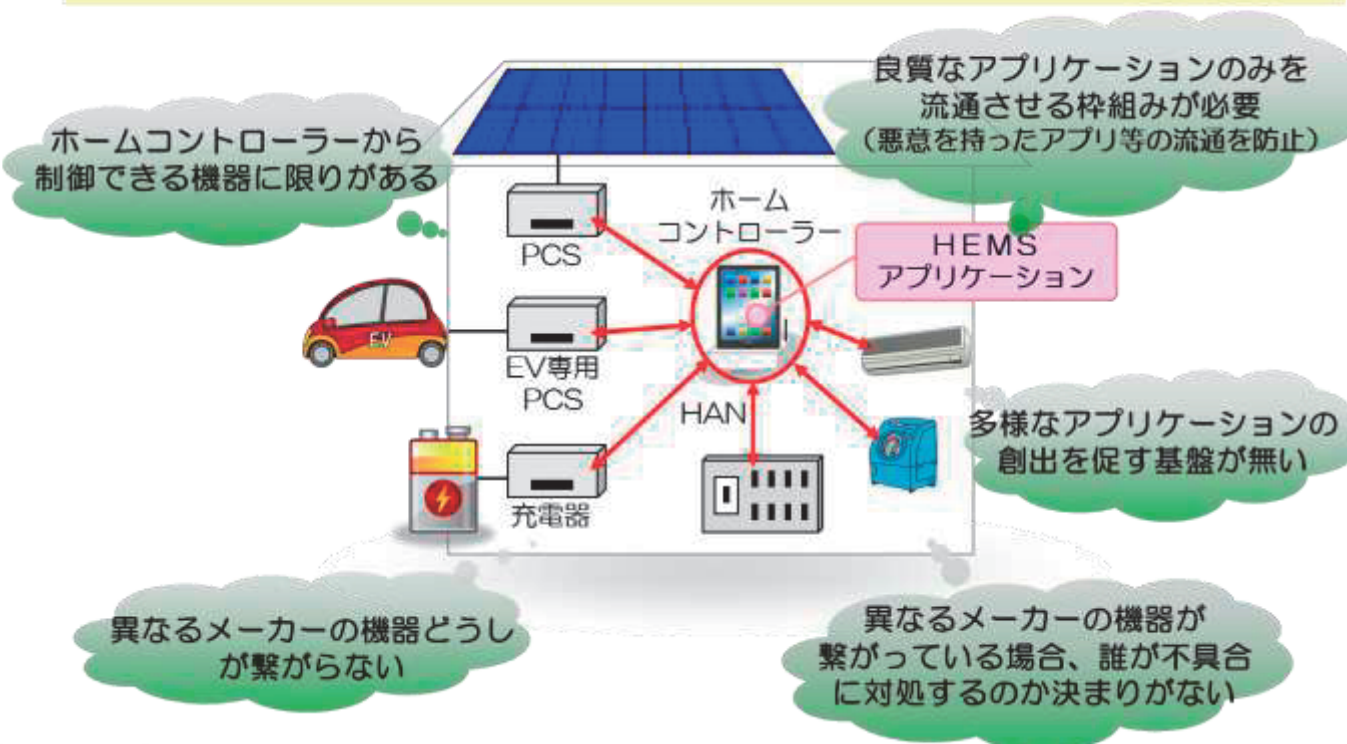




# 10.実証試験：7/12HEMSアライアンス立ち上げ

- 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

# 10.実証試験：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



- 太陽光発電、太陽光集熱器+CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機
- 夏の日差しを避ける深い軒と外付け可動ルーバー
- 高断熱サッシ:サーモスH
- 風を取り入れる採風サッシ
- 気密・断熱・耐震性能に優れたスーパーウォール工法
- 冬の陽射しを入れる広い南面開口



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>



# 次の世代への義務

夢や希望を持ちつつも、定量的な議論に基づきあらゆる時点で持続可能な社会経済の発展の道筋を作ることが必要ではないか

毎日新聞

2011年(平成23年)6月24日(金) 13版 朝日新聞 12

## 論点

### エネルギー政策再考

深刻な被害を生んだ福島第1原発事故が、今後のエネルギー政策に大きな影響を与えそうです。再生可能エネルギーへの期待が高まる一方、原子力はなお重要との意見も根強く残ります。

## 実行可能な計画作れ



萩本和彦

東京大生産技術研究所特任教授  
エネルギー戦略システムセンター

この東京大で1999年から研究員として勤務。2005年から東京大のエネルギー戦略システムセンターの主任研究員として勤務。

限りのある化石燃料のもとでのエネルギーの安定供給は、地球温暖化問題の解決のための二酸化炭素(CO2)排出量の削減が、「持続可能性」を向けたエネルギー分野での最大の課題である。その解決にはエネルギーの需要と供給の両面で導入エネルギーを削減する必要がある。この削減には、再生可能エネルギーや原子力などCO2の排出量がゼロのゼロカーボン発電と燃料電池やヒートポンプ(大気中の熱を生成する蓄熱)などに利用する省エネルギー(省エネ)などの利用技術が、中日本大震災以前と変わらずに必要とされている。

震災後、政府は再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。

再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。再生可能エネルギーの導入は、再生可能エネルギーの導入を促進する政策を打ち出した。



左右に再生可能エネルギーの発電設備建設現場

# 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/>



日経BP社「ECOマネジメント」の「低炭素型エネルギーシステムの将来像」を連載しています。

「第11回 分散電源の導入で“電気の流通”はどう変わる」までを公開中です。