

東京大学 AECE第5回技術フォーラム

AECE Technical Forum, the University of Tokyo

「東日本大震災とエネルギーの動向 -課題と革新的解決-

"Great East Japan Earthquake Disaster and the Future Trend of Energy in Japan ---Lessons Learnt and Innovative Solutions---".

エネルギー需給の将来を考える

－エネルギーインテグレーション－

Future Energy demand and supply

- Energy Integration -

2011年5月27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きたか？ What happened in a power system?
2. 既に何が行われたの？ What has been done?
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, 節電効果
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

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

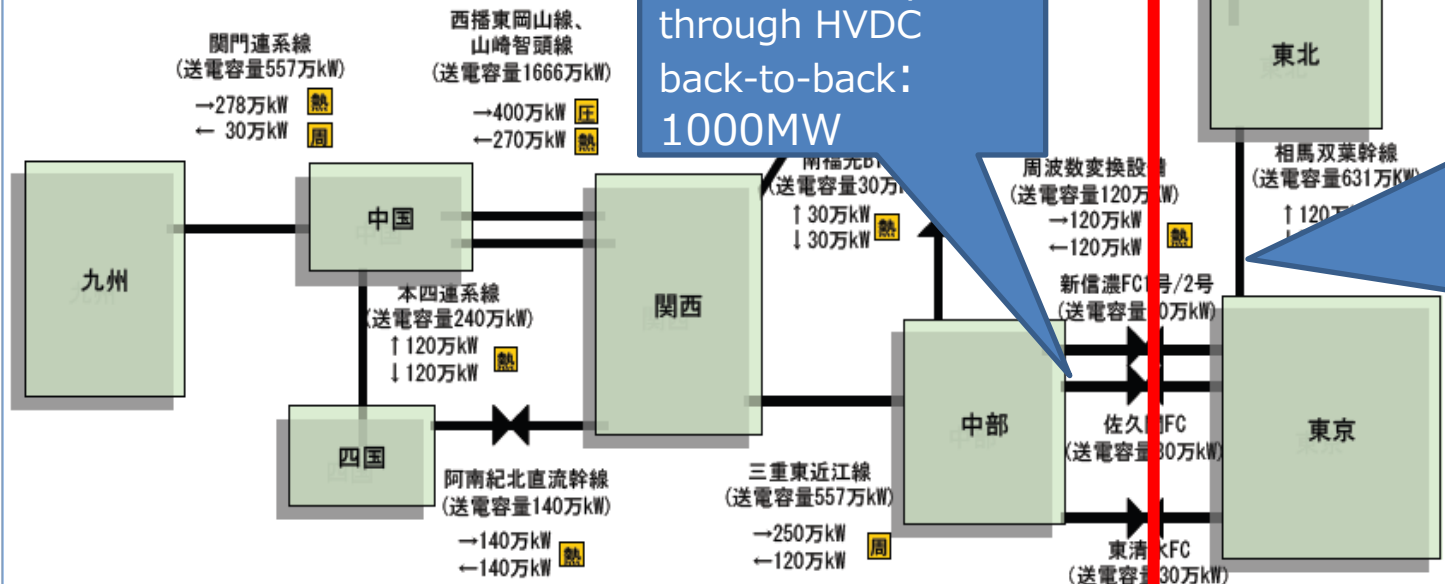
- 3/11は暖房需要の大きい冬季が終わっていない段階で，**需要に対して供給力が不足**
In March, when there were still larger winter demand,
we had a severe shortage of power supply.

2. 既に何が行われたのか？ What have being done?

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)



電力系統利用協議会(ESCJ)の資料に加筆

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.

※ 周波数変換設備には、現状計画に基づく東清水FCの本格
運用を反映

2. 既に何が行われたのか？ What have being done?

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. 既に何が行われているか？ What are being done?

計画停電 Rolling Black-out (1)

- 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.

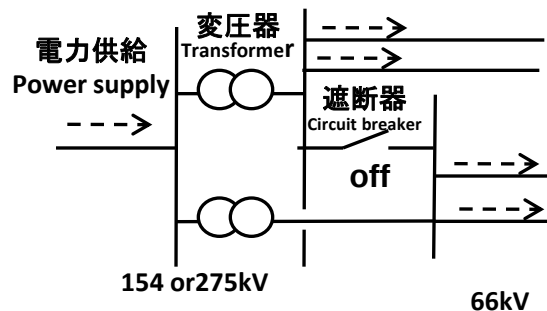
(具体的にはどう操作しているか？ How is it operated?)

- 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

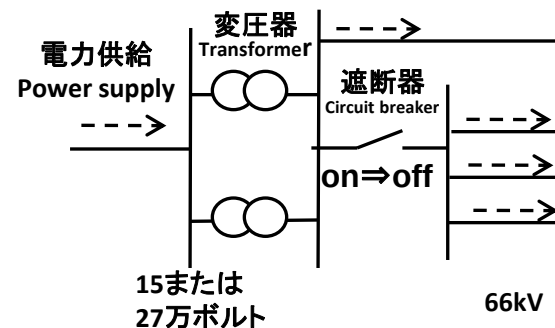
An operator switches-off 66kV transmission lines from 275kV/154kV substations so as to black-out the connected distribution substations.

- 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. 既に何が行われたのか？ What have been done?

計画停電Rolling blackout(2)

- 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. 既に何が行われたの？ What have been done? 計画停電Rolling blackout(3)

□ 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つく

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. これから何が起こるのか? What will happen ?

需要サイド Demand side

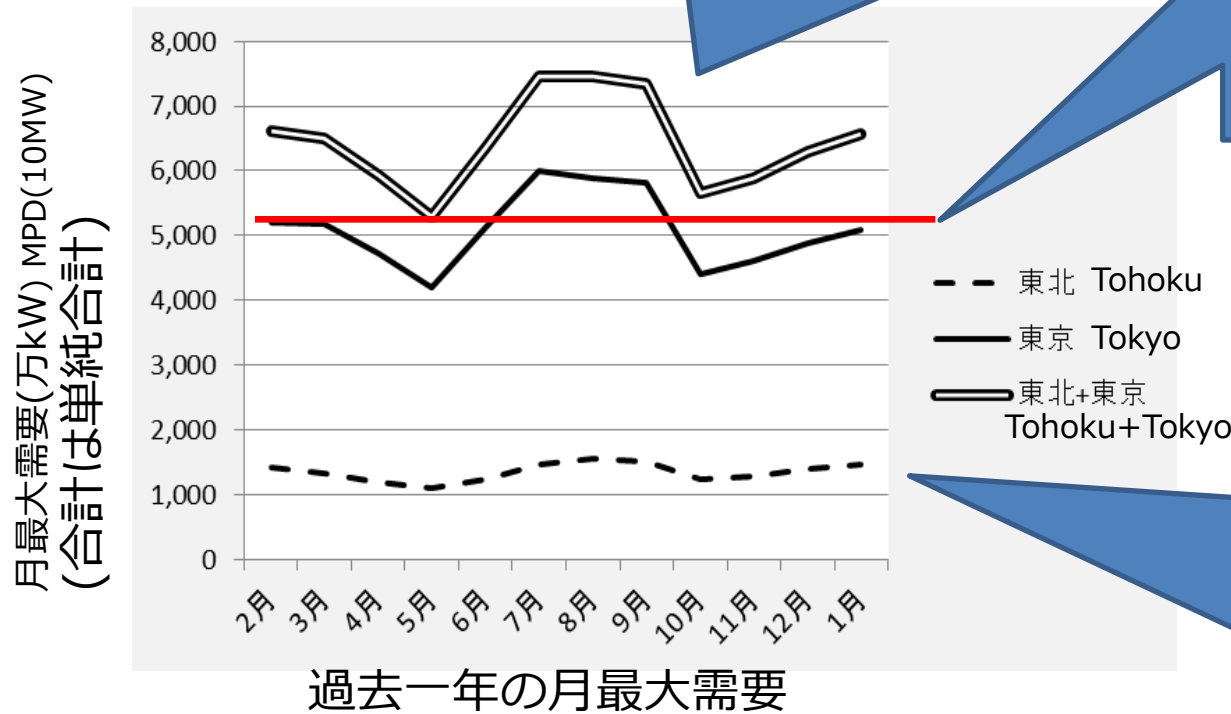
50Hzの交流で連系されている東北、東京の両系統電力の需給において、供給力確保と、省エネ（無理な節電ではなく）を徹底と節電で全体としての安定化が必要

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.



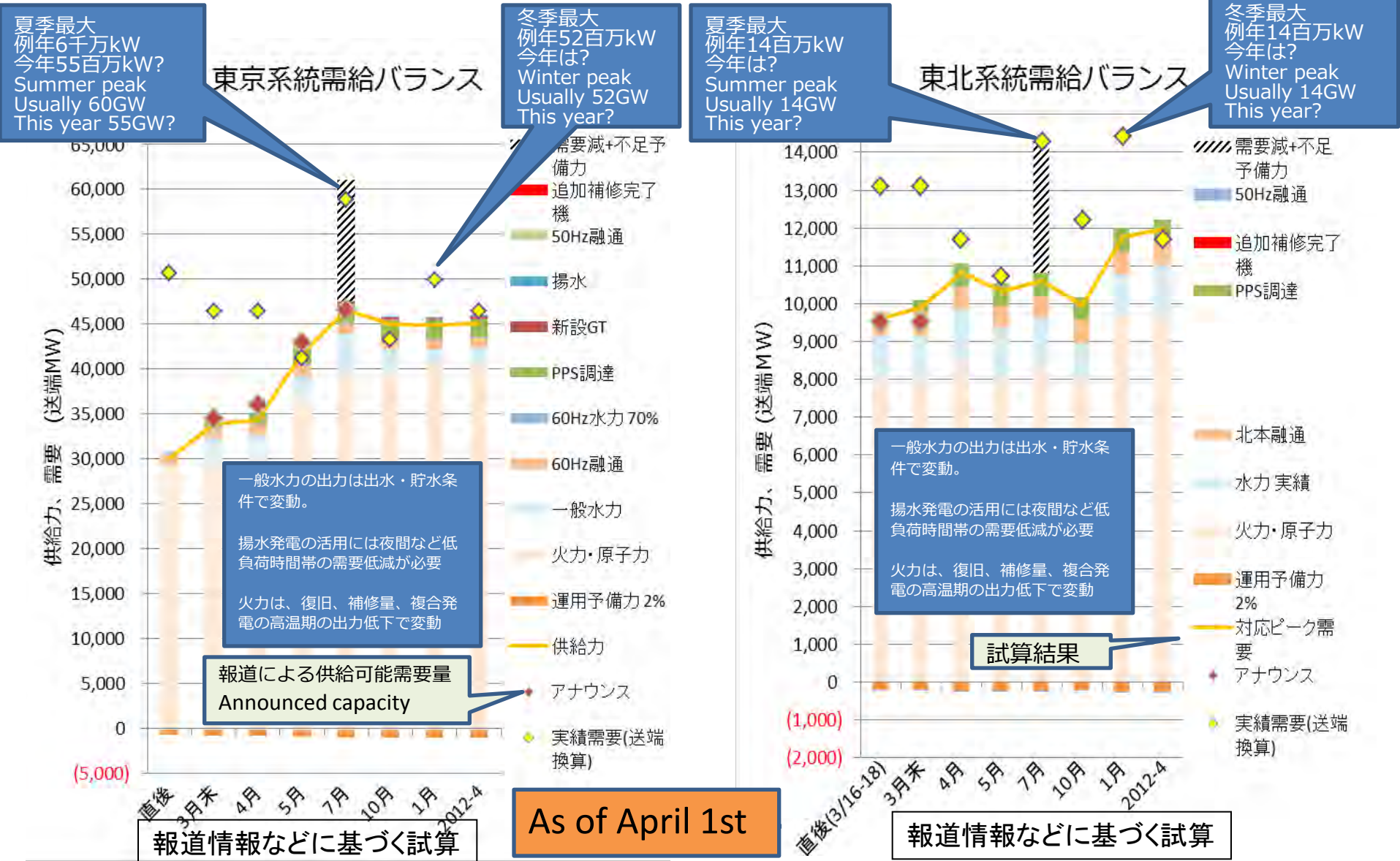
東北系統は震災による需要の減少も含め現状は計画停電には至っていない状況

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.

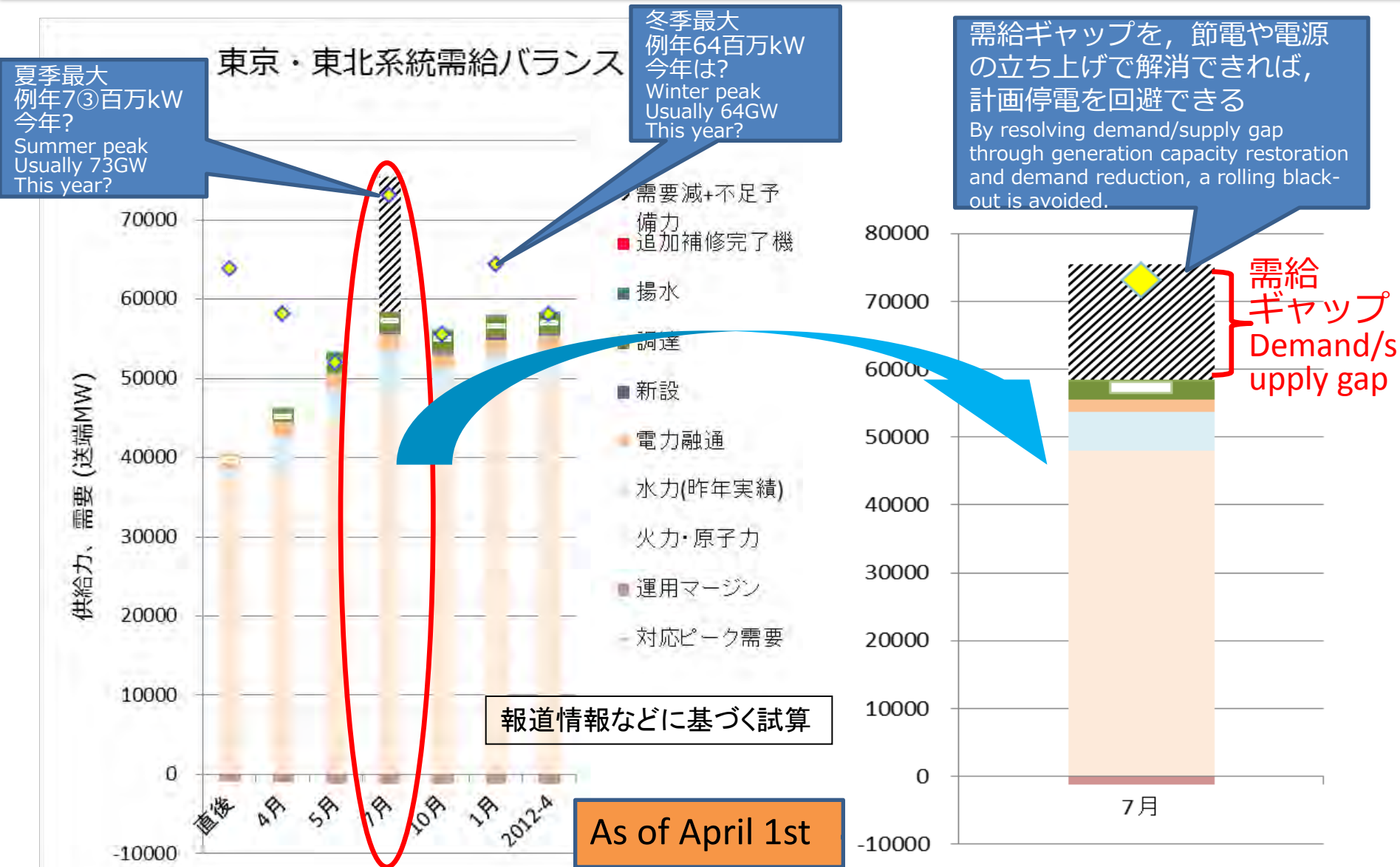
4. 何をすべきか？ What is to be done?

需給バランスの回復 Restoration of demand-supply balance



4. 何をすべきか？ What is to be done?

需給バランスの回復 Restoration of demand-supply balance



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 loosing 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

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

Examples of 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 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,

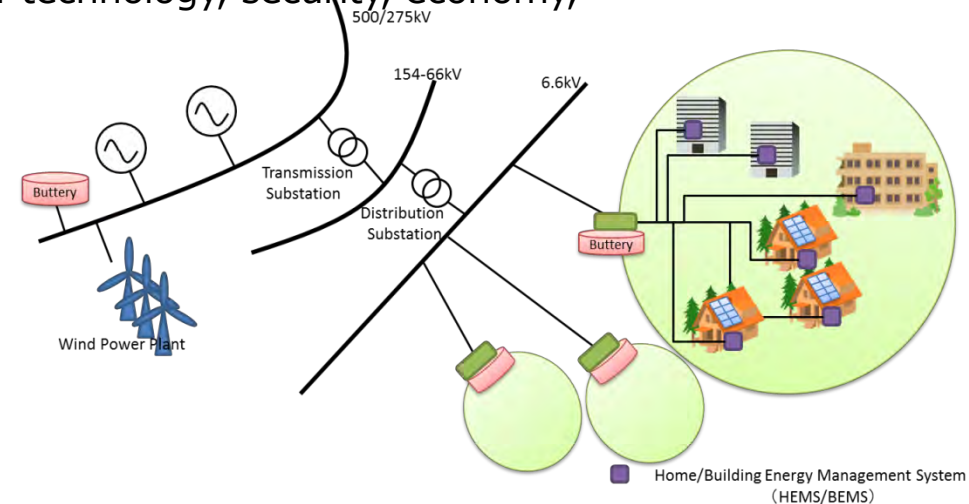
家⇒コミュニティ⇒ネットワーク⇒日本⇒世界

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.

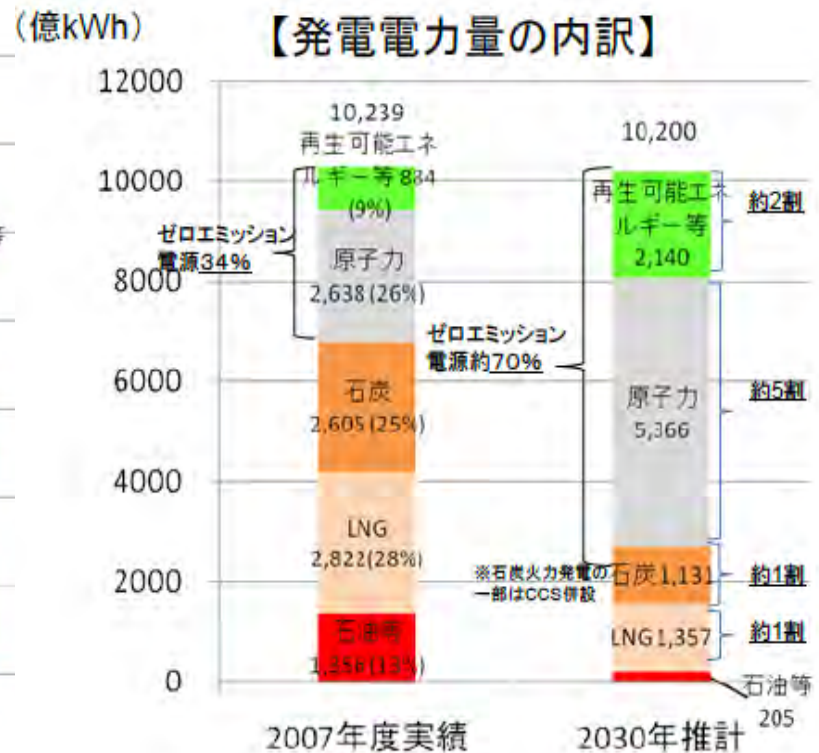
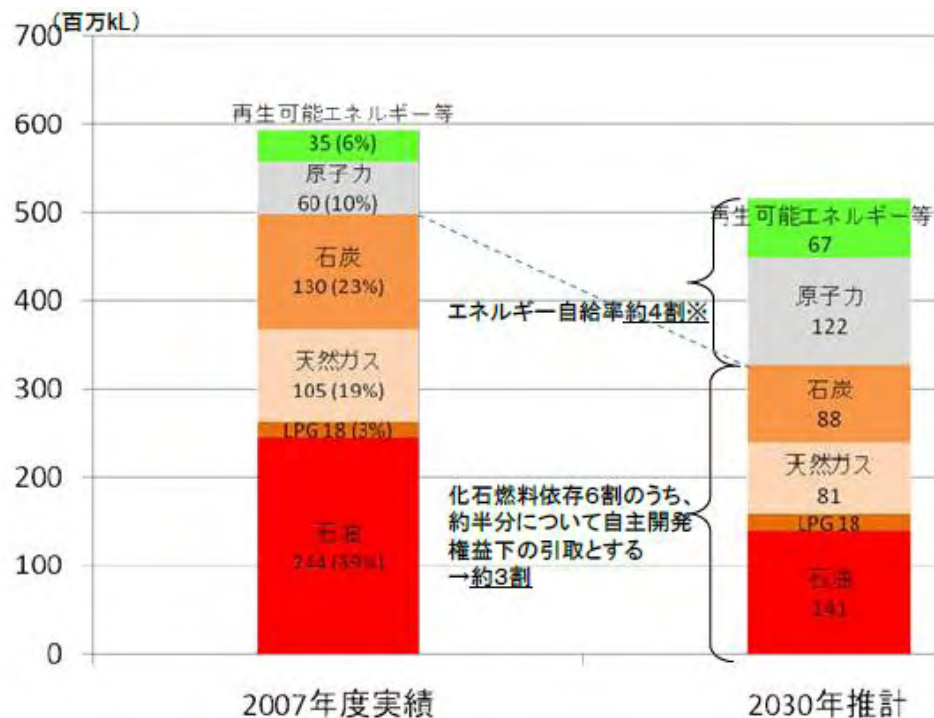
長期的視野に基づく送電網の増強や需要の能動化も今後力を注ぐべき目標ではないか
Reinforcement of transmission system and demand activation should be important targets.



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

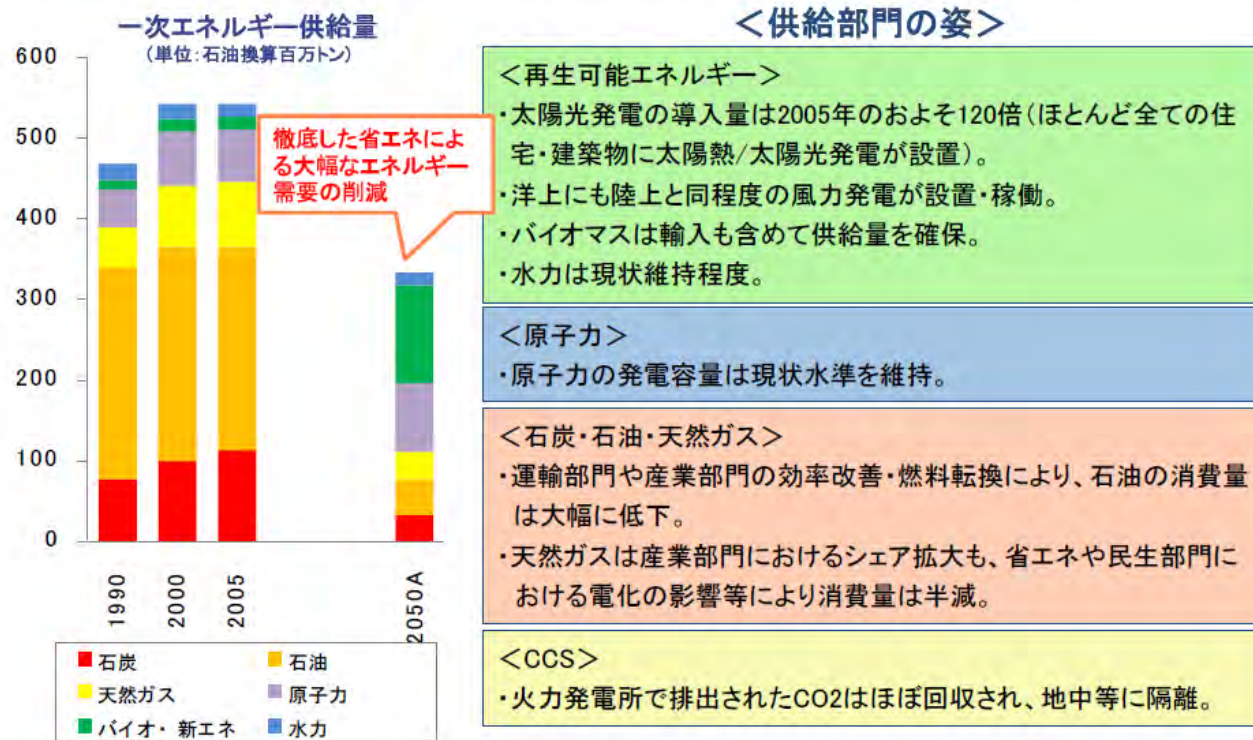
6. 中長期的取り組みは？ Mid and Long term target 2050年のエネルギー需給Energy Outlook by MOE

□ 環境省中長期ロードマップ小委員会資料より

3. 2050年80%削減の試算

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））

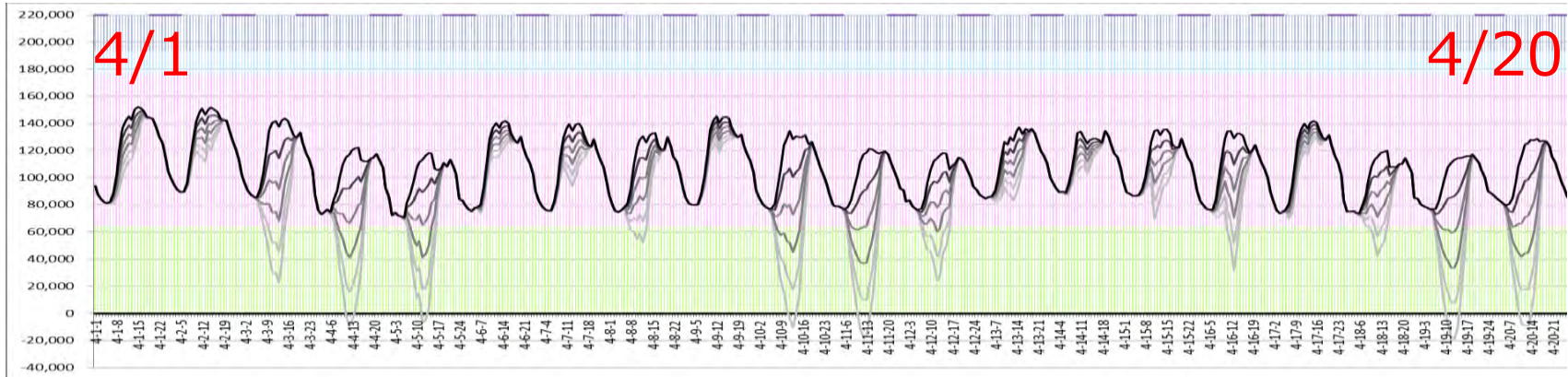


資源制約，環境制約，国際的な社会経済活動，産業競争力など，広範な視点に基づく方針決定が重要

15

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

背景と発表内容

- 低炭素社会に向けた具体的な計画が求められつつある
- 長期的視点で、今後の電力需給構造を検討する手法の重要性は高い。
- これまで、
 - － 長期需給解析手法の2030年までのモデル開発
 - － エネルギー全体モデルとの連携の考え方報告
 - － カーボン価格の変動による火力運用への影響
- 今回は、連系線の潮流の最適化を含めた全国の経済負荷配分解析により、将来の電力システムの需給上の課題の検討について報告

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

長期の解析が必要となることから、20年間程度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。

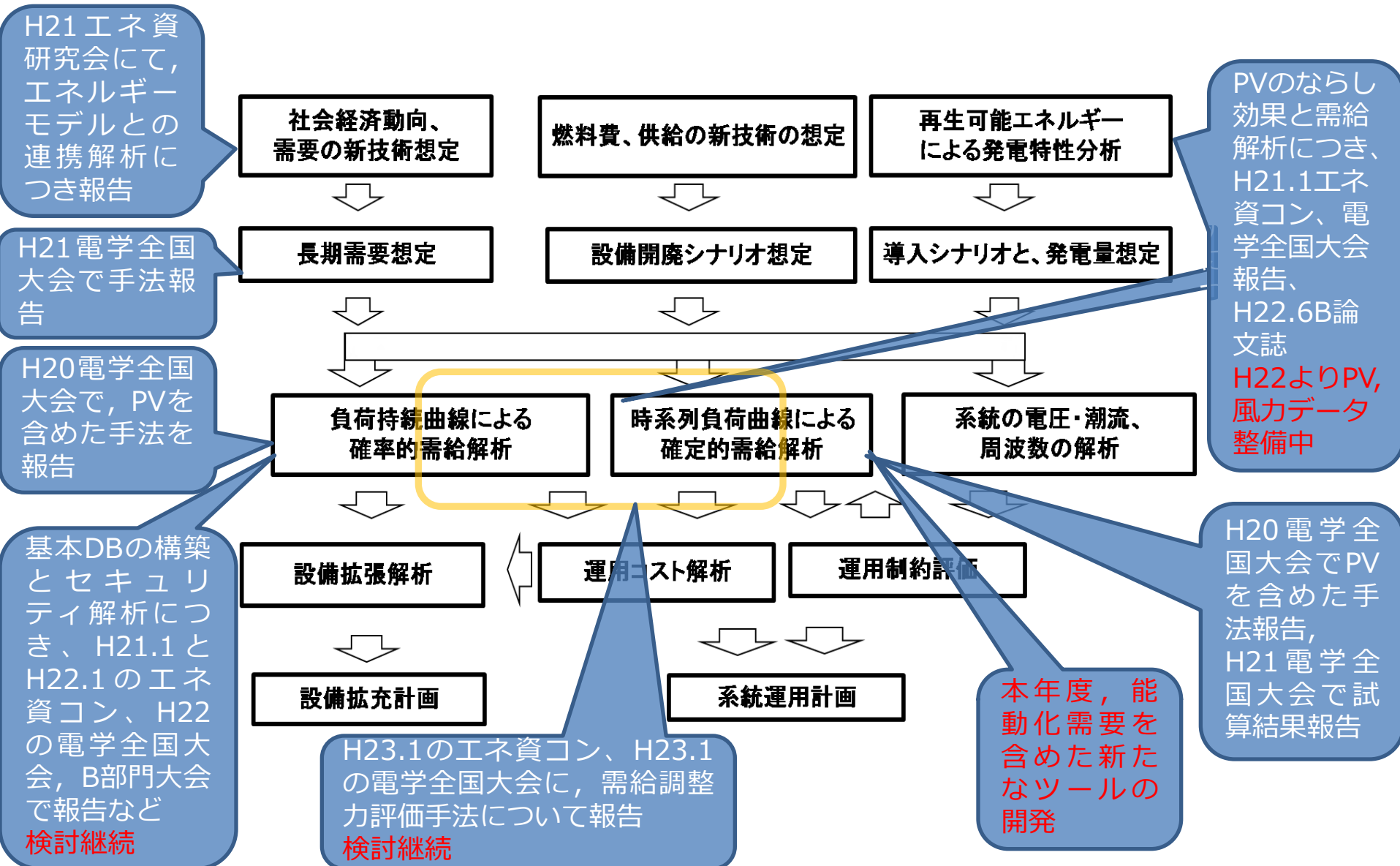
(2) 検討対象と特徴

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



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]

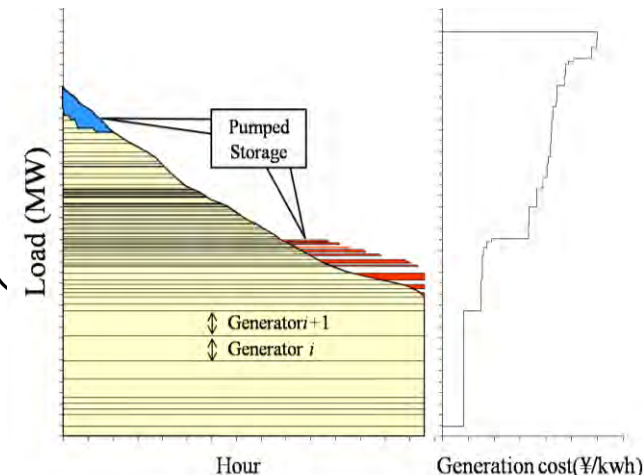
ユニット毎に定格容量、所内率、効率、燃料種別、補修日数、補修可能期間、事故率などにより定義する。

[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]

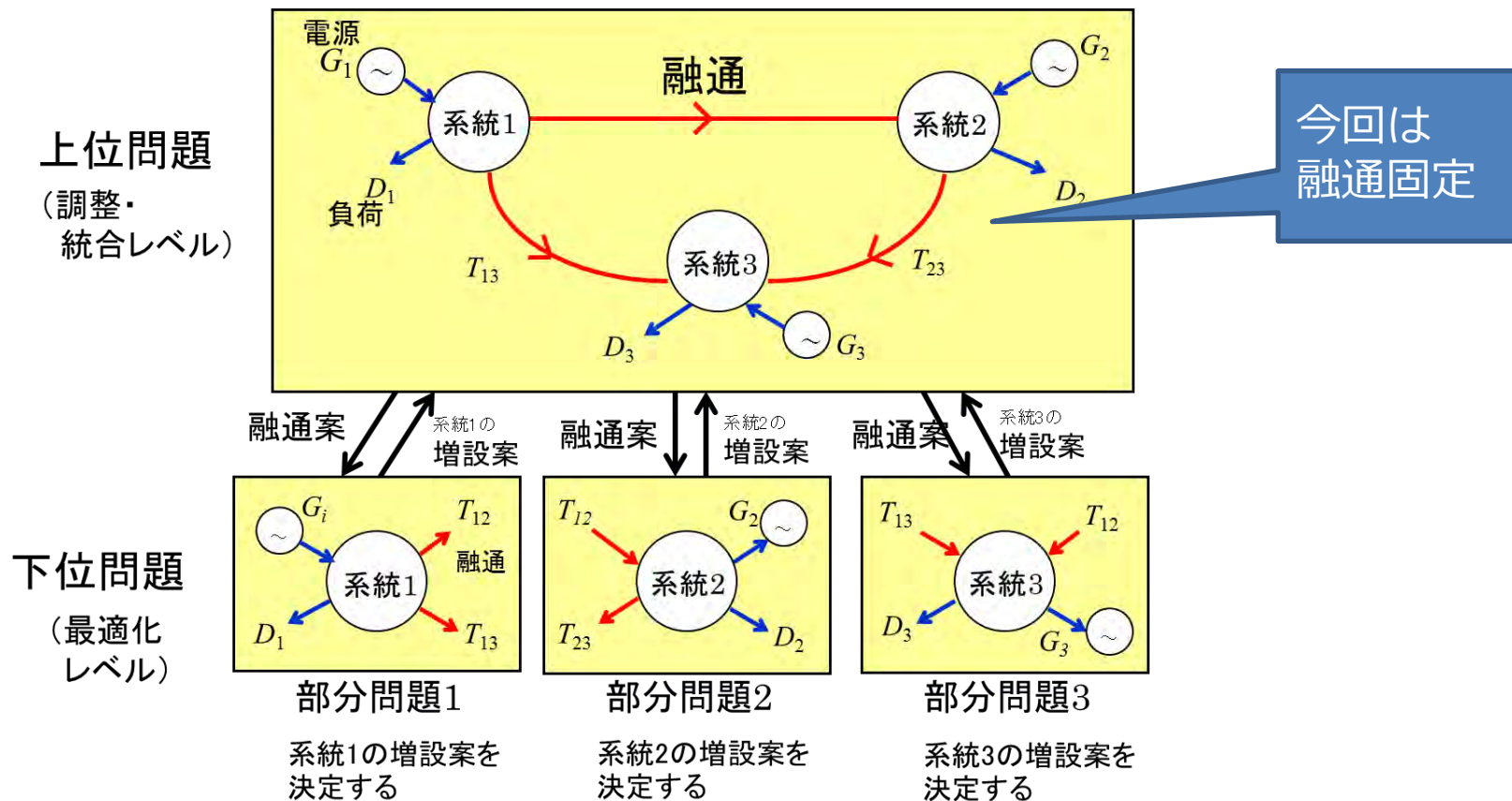
- (1) 発電機の事故の影響を織り込んだ等価負荷持続曲線の使用
- (2) 1年を期間分割してシミュレーション (12月など)
- (3) 再生可能エネルギー水力などの供給力は、期間別に定義。
- (4) 発電機の投入方法 (負荷配分)
 - ◆ 流れ込み水力、PV、風力、原子力：ベース電源として投入
 - ◆ 火力：発電単価の安い順に発電投入
 - ◆ 貯水池式水力：発電可能電力量を制約として投入
 - ◆ 揚水機：揚水メリットに基づき運転を決定
- (5) 将来課題となる需給調整力の評価機能



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

◆解析期間

2011-2030

◆基本的な需給の考え方

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」の試算などを参考に条件を設定。

◆将来の設備構成・運用

2009～2019年の期間は「電力供給計画の概要」を参考にした。

需要は、天候による変化、EVやHP給湯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50年、予備力などを基準に適宜追加。

石油火力：新設が制限されており、公表されているもの以外の廃止なしで想定

連系線の運用：想定による設定

PV、風力については、毎時の変動を反映、出力の抑制は未考慮

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により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。

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。2030年はエネルギー基本計画。 (2020年までに現状+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。
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
3a	原子力開発中止・ 40年廃止	原子力は運開後40年で順次廃止。 新規開発は着工済のみ。
4	原子力5年内廃止	原子力を5年で全廃する。

荻本和彦, 片岡和人, 池上貴志: 2030年に向けた電力需給の低炭素化の予備検討, エネルギー・資源学会第30回研究発表会(2011.6予定)

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4シナリオにおける原子力発電の設備容量を以下に示す。

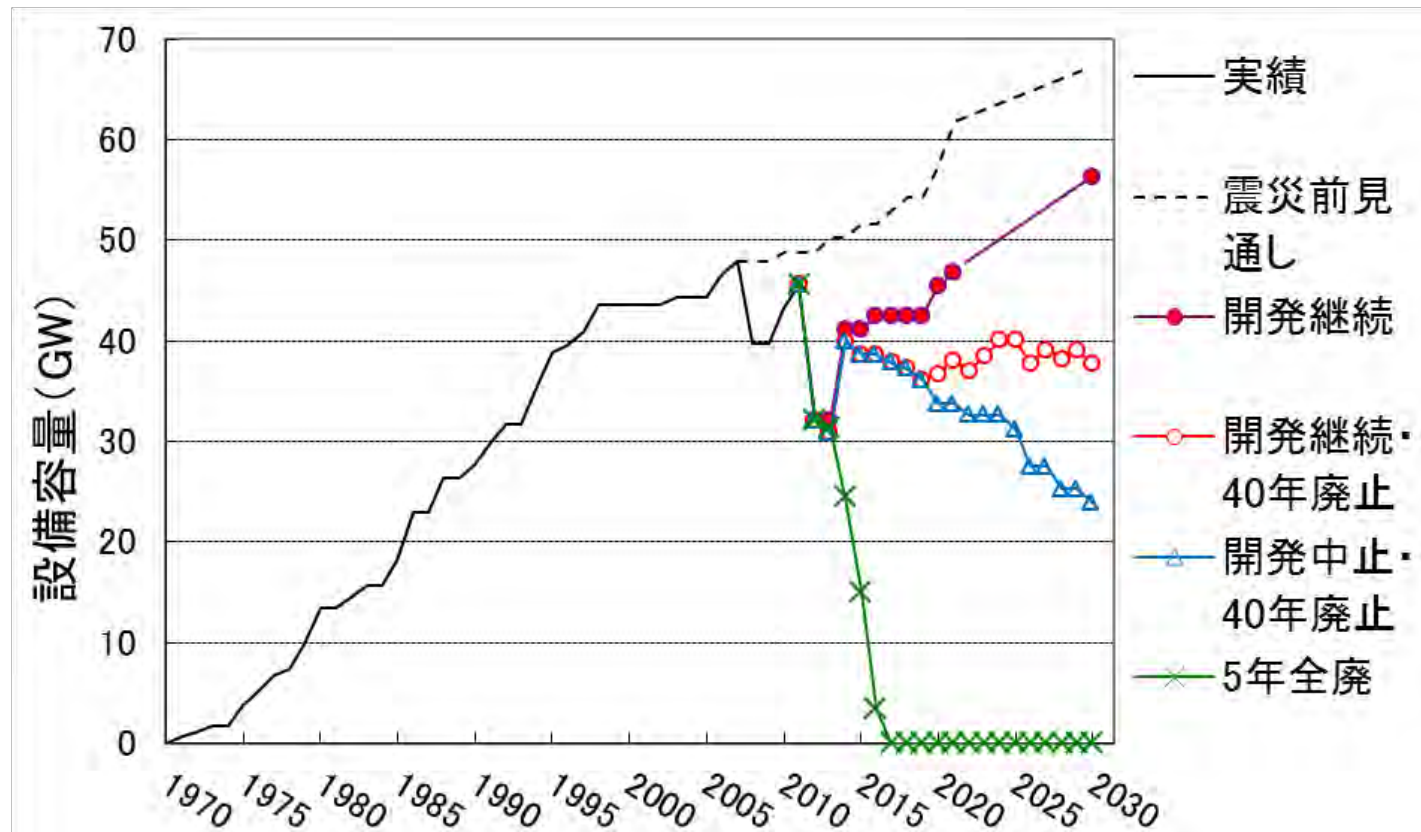
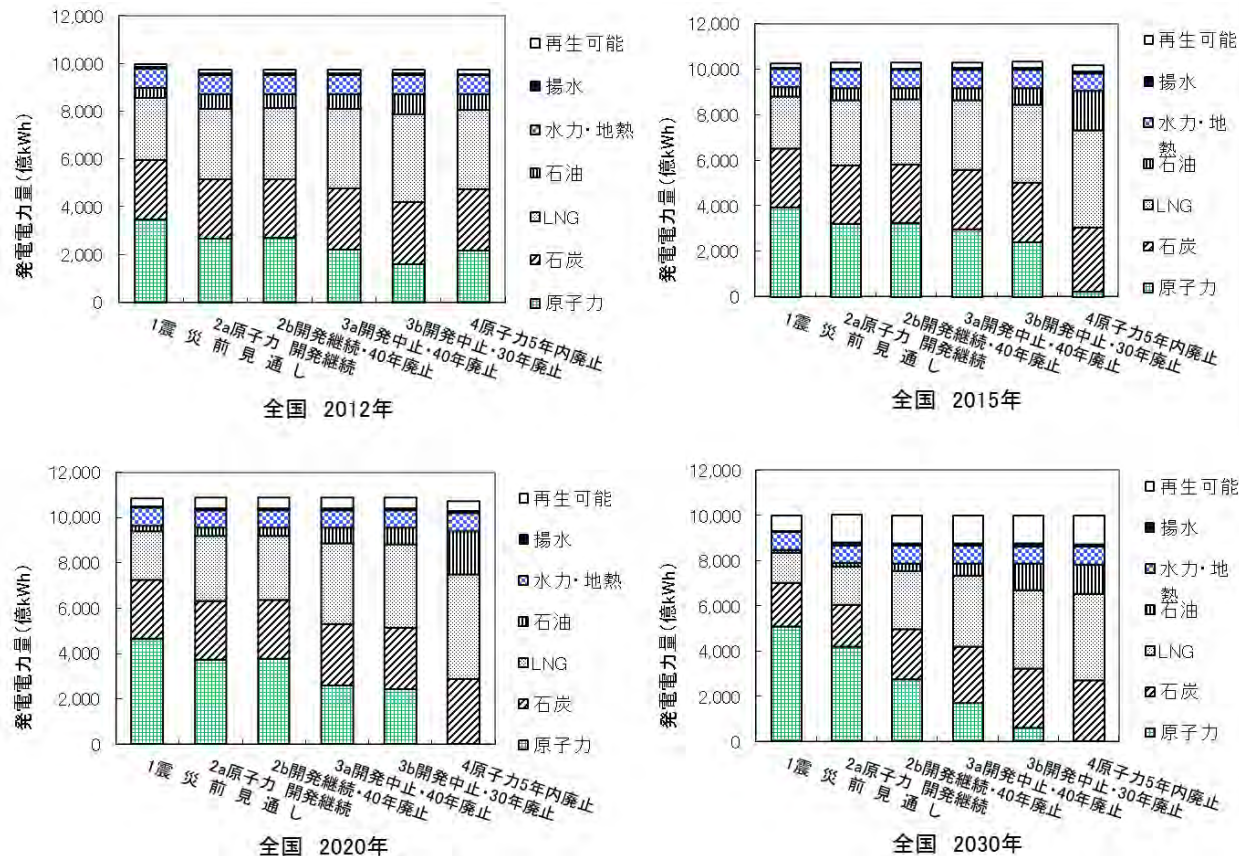


図3 シナリオにおける原子力設備容量の比較

荻本和彦, 片岡和人, 池上貴志: 2030年に向けた電力需給の低炭素化の予備検討, エネルギー・資源学会第30回研究発表会(2011.6予定)

7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision 発電電力量の内訳 Energy production by generation type

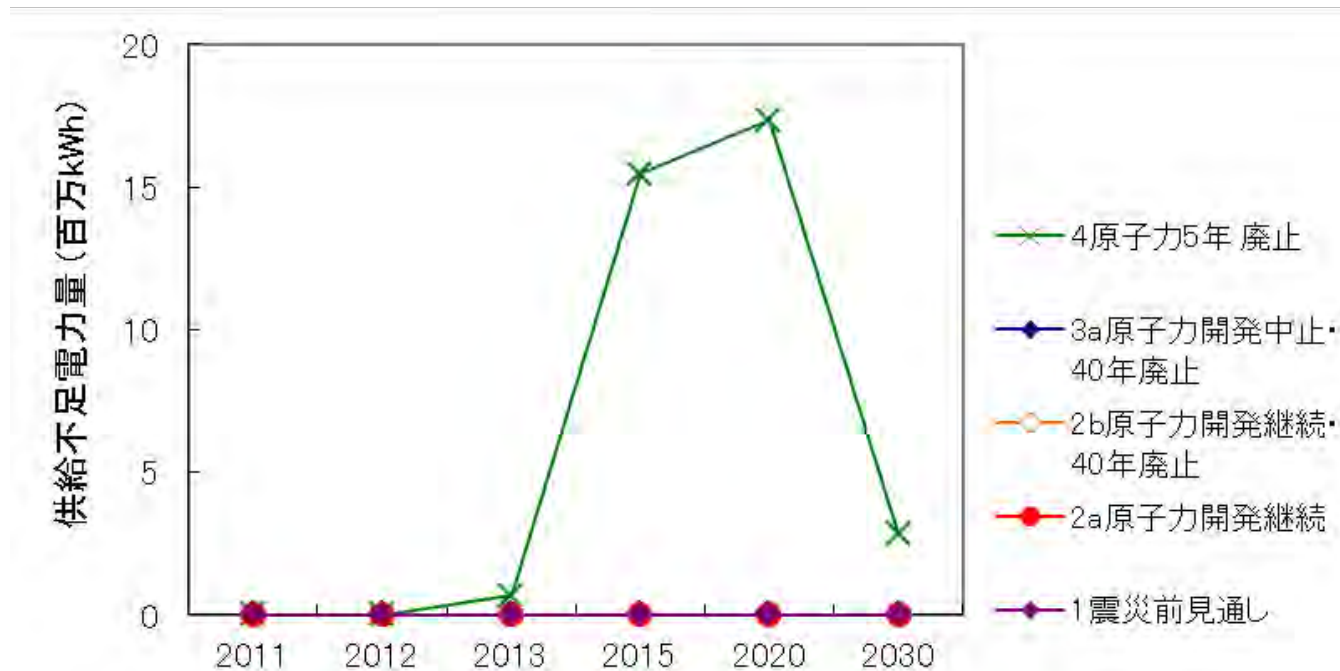
- 原子力発電からの供給量が減少する場合、短中期的には省エネと既存火力の稼働拡大が実質的対策の中心で、中長期的には新設火力、再生可能エネルギー導入促進などの効果が期待できる。



荻本和彦,片岡和人,池上貴志:2030年に向けた電力需給の低炭素化の予備検討,エネルギー・資源学会第30回研究発表会(2011.6予定)

7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision 安定供給 Secured Supply

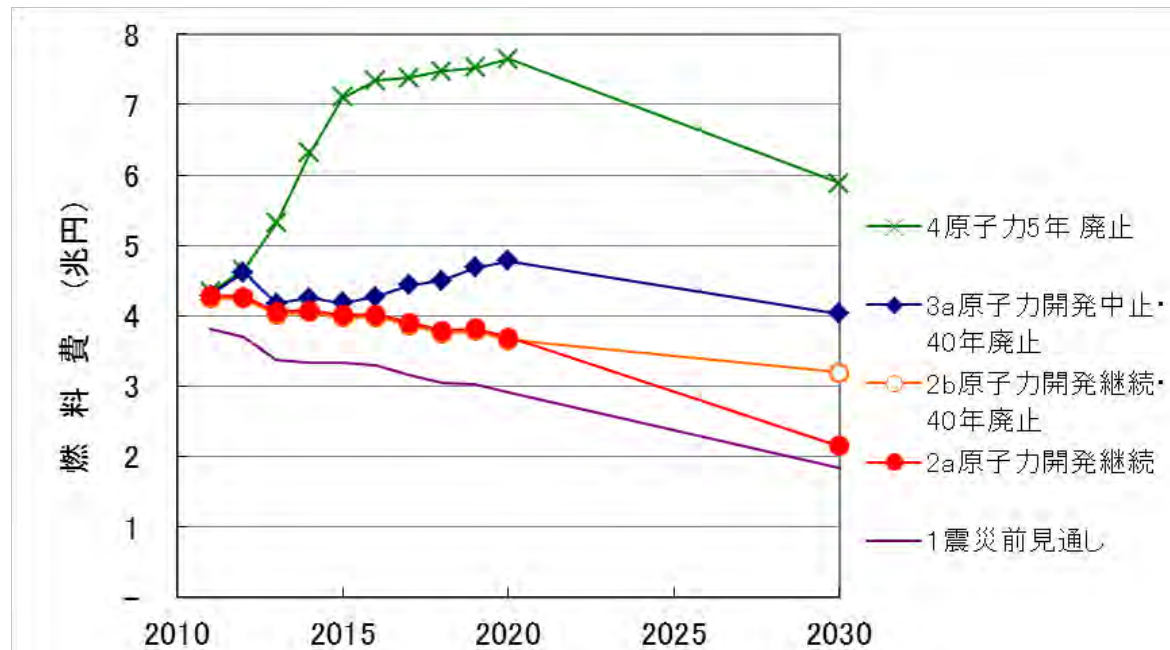
- ❑ 電力が安定に供給されないいわゆる不足電力量については，原子力の5年内の廃止の場合，2015年段階で，大きな値が発生する。
- ❑ 2020年，2030年の供給信頼度は，供給不足電力量でみる場合、火力発電の前倒しを含めた新規開発，再生可能エネルギー発電の着実な導入，省エネルギーの徹底による需要減が実現すれば，各ケースとも改善が期待される。



荻本和彦,片岡和人,池上貴志:2030年に向けた電力需給の低炭素化の予備検討,エネルギー・資源学会第30回研究発表会(2011.6予定)

7. シナリオ選択のインパクトImpact of Decision 火力発電の燃料費Fuel cost of thermal generation

- 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を中心に、原子力開発継続の場合で1兆円、開発中止・40年廃止の場合は2兆円、5年内廃止の場合は4.5兆円増加する。
- 2030年に向け、再生可能エネルギー、高効率火力発電の導入、原子力開発継続の場合は新規開発で減少するが、相対的な差は大きく縮まらない。



荻本和彦,片岡和人,池上貴志:2030年に向けた電力需給の低炭素化の予備検討,エネルギー・資源学会第30回研究発表会(2011.6予定)

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、各ケースとも、5000万トンから2億5000万トンに達する。
- 2030年に向け、再生可能エネルギー、高効率火力発電の導入、原子力開発継続の場合は新規開発で排出量は減少するが、相対的な差は縮まらない。

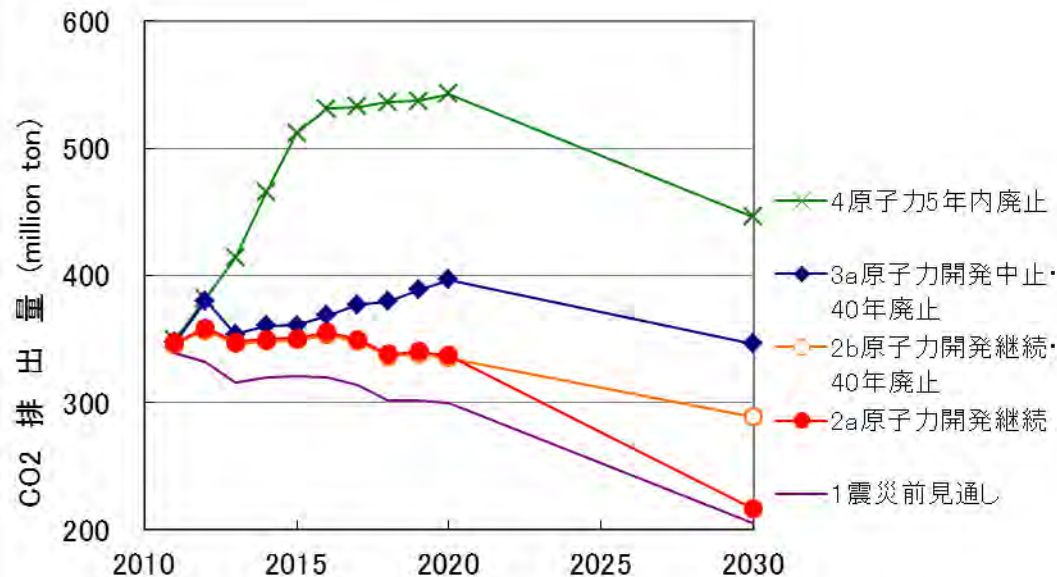
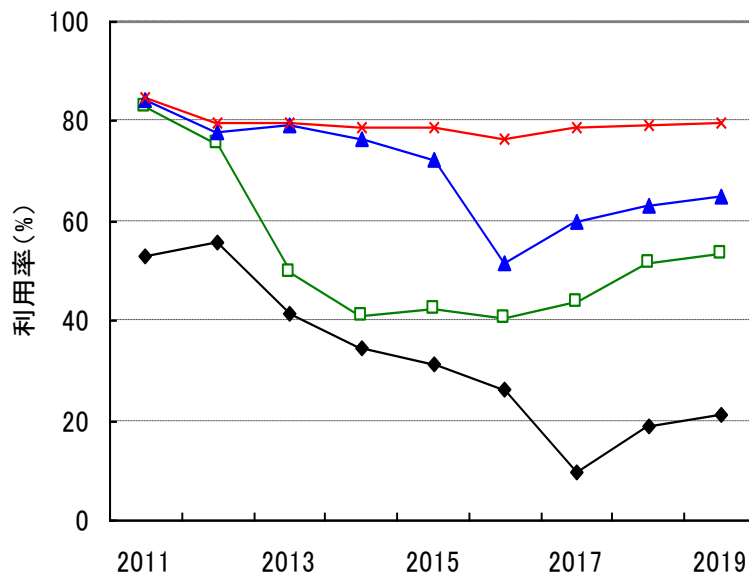


図8 電力部門のCO2総排出量の推移の比較

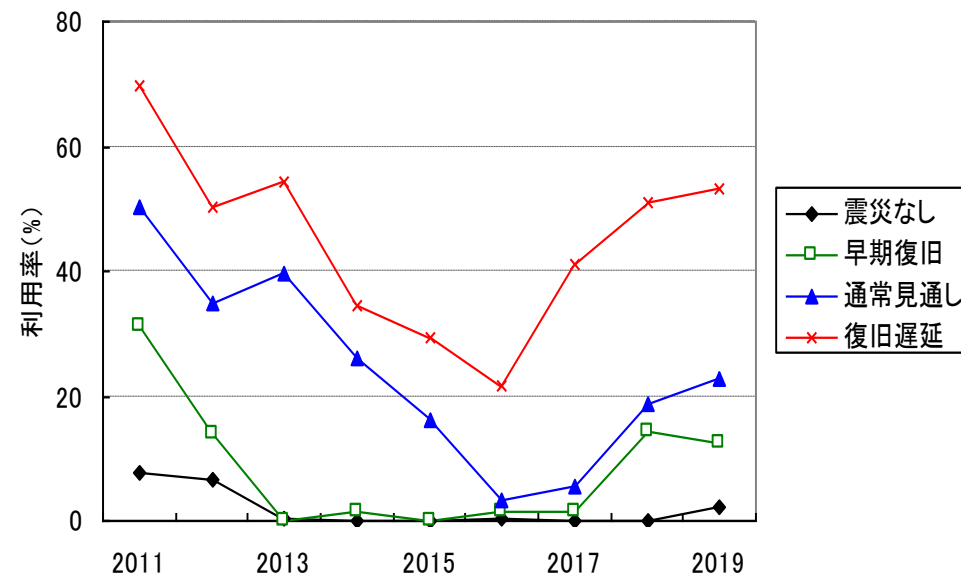
7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

発電電力量の内訳 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、本来低効率で燃料単価と併せ経済性、環境性の劣るLNG生炊き、石油の火力発電の稼働率が増加する。
- 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、条件のよくない既設火力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生焚ユニット



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、需給バランスを保つための調整容量が確保できるか？
- ❑ PVや風力の発電特性、将来の需要特性の変化、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。

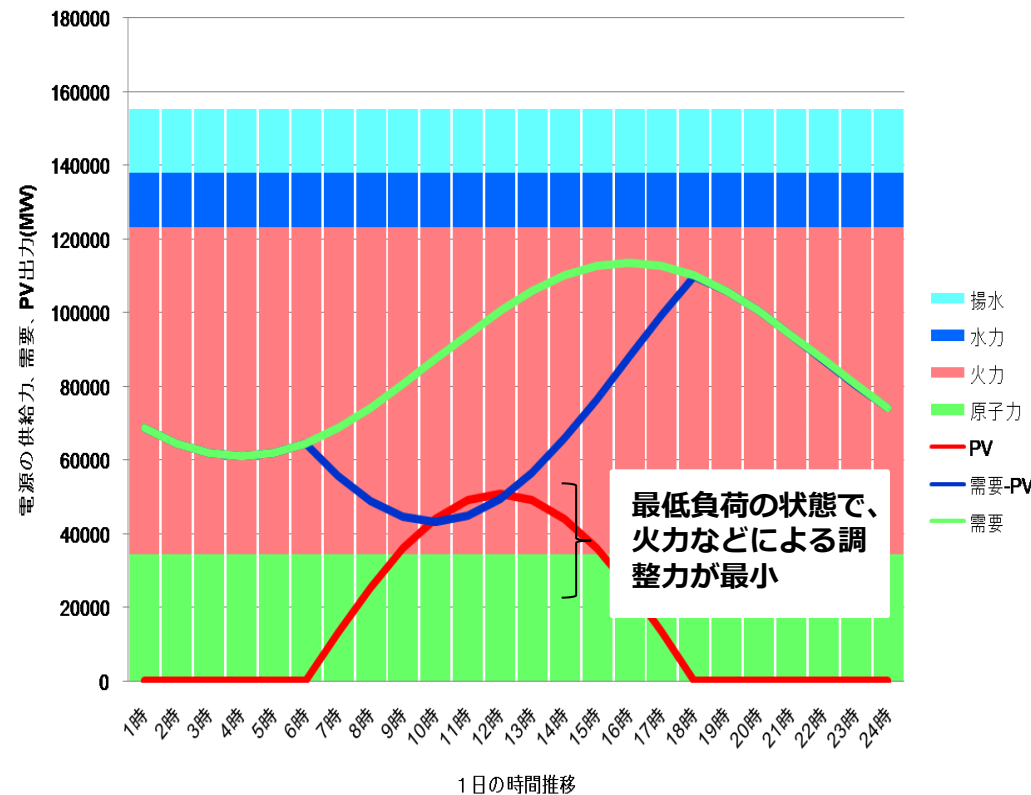
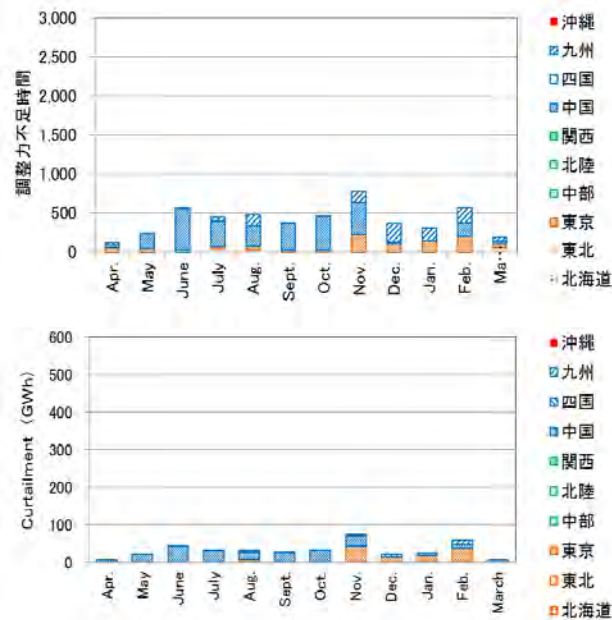


		表1 シナリオと変動量パラメタによる需給調整力不足時間と抑制電力量					
不足時間 (hours)	シナリオ	地域	5-3-5	5-5-5	5-7-5	5-5-7	5-5-10
	震災前見通し	50Hz	1,406	1,039	2,209	3,822	9,417
		60Hz	3,470	3,819	4,426	5,774	9,867
		合計	4,876	4,858	6,635	9,596	19,284
	震災後見通し PV,風力加速	50Hz	744	1051	1614	2714	9616
		60Hz	11072	11457	12034	13054	16134
		合計	11816	12508	13648	15768	25750
	震災後見通し 原子力40年廃止 PV,風力加速	50Hz	713	980	1,417	1,950	9,460
		60Hz	622	917	1,525	2,478	6,210
		合計	1,335	1,897	2,942	4,428	15,670
抑制電力量 (GWh)	シナリオ	地域	5-3-5	5-5-5	5-7-5	5-5-7	5-5-10
	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 PV,風力加速	50Hz	76	123	231	219	1,407
		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
	PV,風力加速	50Hz	99	167	321	289	1,853
		60Hz	99	167	321	289	1,853
		合計	99	167	321	289	1,853

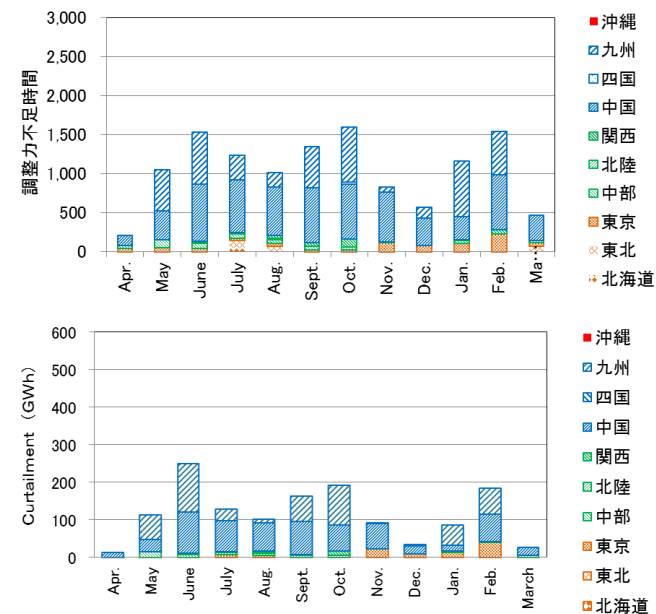
太陽光発電導入の需給バランスに与える影響(1日、中間期)

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

- 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により大きく変化する。
- ただ、需給調整力の課題が顕在化するまでには、時間の余裕あり。
- 既存電源の調整力再評価、再生可能エネルギー発電の出力変動特性、需要の能動化(スマートグリッド)に向けた着実な取組が必要。



震災前見通し、5%-5%-5%



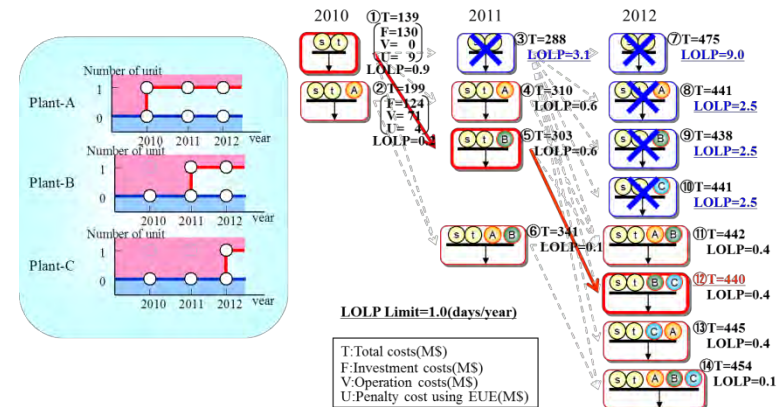
震災後見通し、5%-5%-5%

7. シナリオ選択のインパクト Impact of Decision

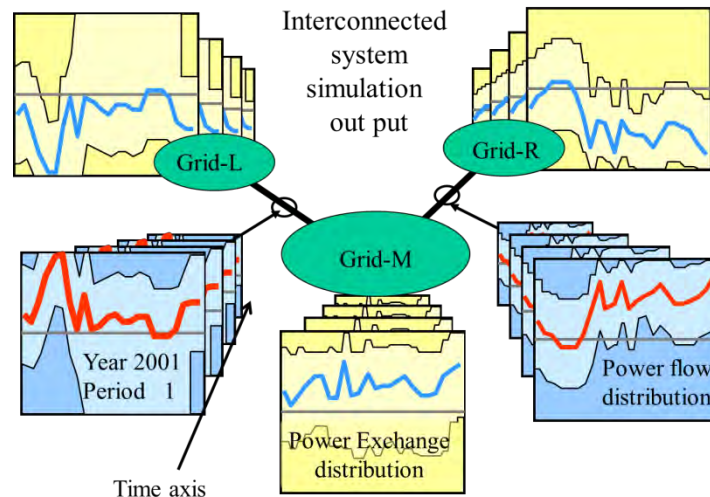
今後の検討課題 Ongoing and future study

- 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
- 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
- 50Hz/60Hz間連系を含む電力システム間連系の解析・評価
- 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

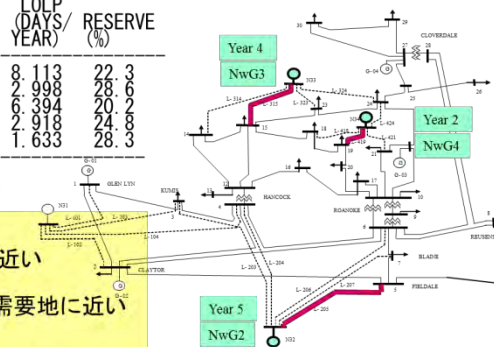
NAME	NwG1	NwG2	NwG3	NwG4			
CAP	400	400	400	400	TOTAL	LOLP	RESERVE
YEAR					DEV	(DAYS/	(%)
					T	YEAR)	
2005	0	0	0	0	0	8.113	22.3
2006	0	0	0	1	400	2.998	28.6
2007	0	0	0	1	0	6.394	20.2
2008	0	0	1	1	400	2.918	24.8
2009	0	1	1	1	400	1.633	28.3
TOTAL	0	1	1	1	1200		

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. エネルギーインテグレーション Energy Integration

電力送配電網 Power Network

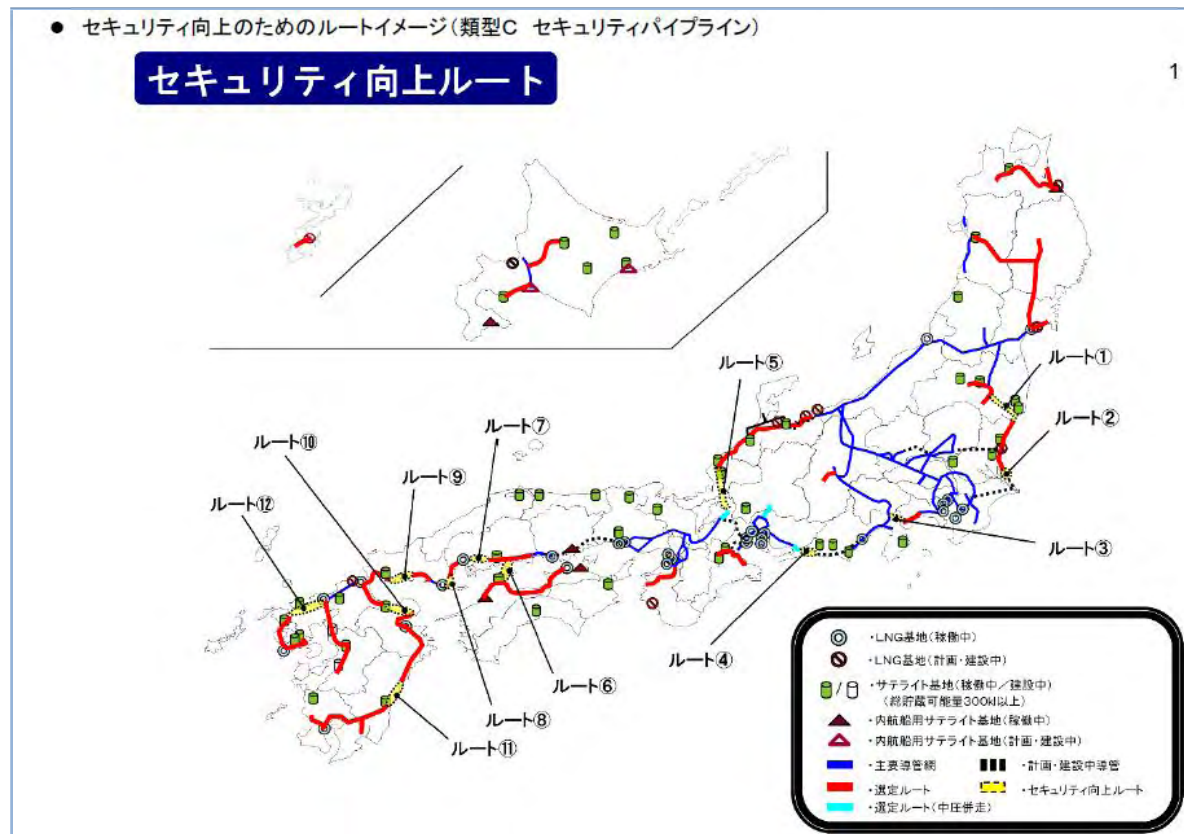
- ✓ 送電網は、再生可能エネルギーを含む電力需給の変化を先取りした整備を進める必要あり。
- ✓ 50Hz/60Hz間を含む電力系統間連系は、個別の需給条件と想定ニーズ(個別電源事故、震災、需給変動の新たな特性)に対し一定の効果を持つ。
- ✓ 配電網については、PVなどの分散電源とEVの新たな電力需要対応など、長期的な視野での設備対応の検討要。配電電圧昇圧(6kV、 $\Rightarrow$ 22kV, 100V $\rightarrow$ 200Vなど)は重要な検討課題。
- ✓ いずれも長い時間を要するため、計画から運用開始まで、着実な取り組みが必要。



8. エネルギーインテグレーションEnergy Integration

天然ガス製造・貯蔵・導管網 Natural Gas Supply Network

- ✓ ガス導管など、インフラ整備は、これまで事業者が潜在需要を見通し、採算性（費用対効果）を勘案して投資判断を進めてきている。
- ✓ 今後は、全体最適及びセキュリティの向上に資するガスインフラの整備に当たって、行政の関与も含め官民一体となって取り組むことが必要とされている。



METI ガスのインフラ整備に向けて、ガスのインフラ整備に関するワーキンググループ報告書, 2011.3

8. エネルギーインテグレーションEnergy Integration

石油配送網と貯蔵 Oil Supply Network and storage

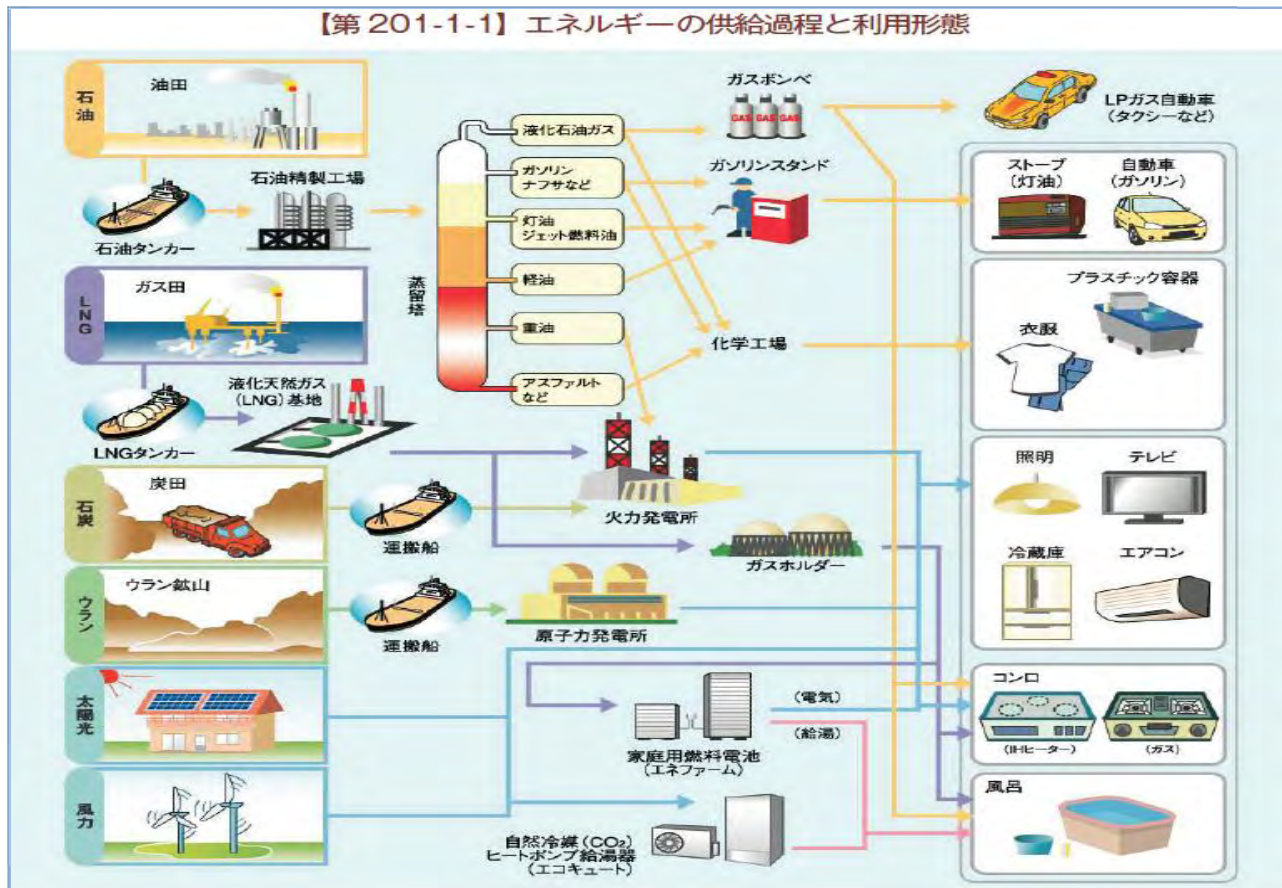
- ✓ 製油所で精製された石油製品は、タンクローリーで給油所（SS）* や工場などへ配送される。一部は、内航タンカーや鉄道のタンク車で、物流の2次基地・中間基地である油槽所に転送される。
- ✓ 石油の国家備蓄は、全国10カ所の国家石油備蓄基地と民間から借上げたタンクに約5,100万klの原油が貯蔵され、また、民間備蓄は、備蓄義務のある民間石油会社等により、約3,700万klの原油及び石油製品が備蓄されており、合計約8,800万klの備蓄は約194日分となる。L Pガスは、国家備蓄・民間備蓄合わせ約90日間分とすることが推察中。



JOGMECホームページより

8. エネルギーインテグレーションEnergy Integration サプライチェーンSupply Chain

- ✓ エネルギーの安定供給に向けては、今回の震災で明らかとなった視点を加え、サプライチェーンについて全方位での取り組みが必要。
- ✓ 更に、計画停電などで明らかになったように、需要側の役割も重要。



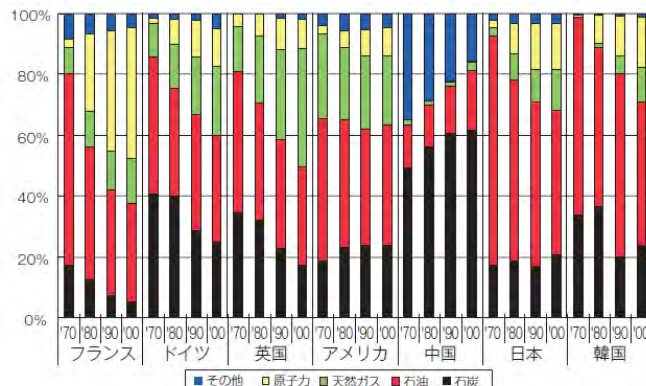
METI エネルギー白書2010

8. エネルギーインテグレーションEnergy Integration

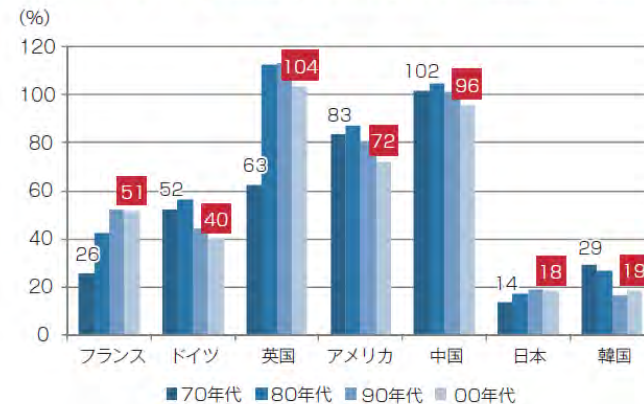
一次エネルギー供給のセキュリティ Security of primary energy supply

- ✓ 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。

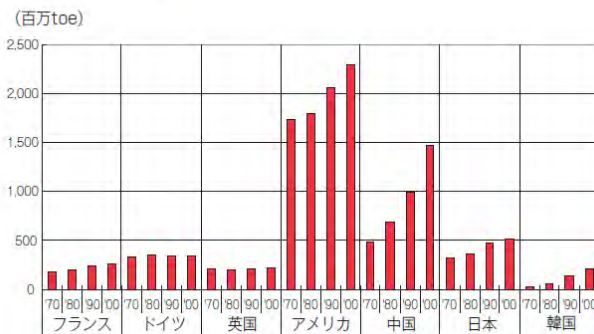
【第 114-2-2】 各国の年代別平均エネルギー源別シェアの推移



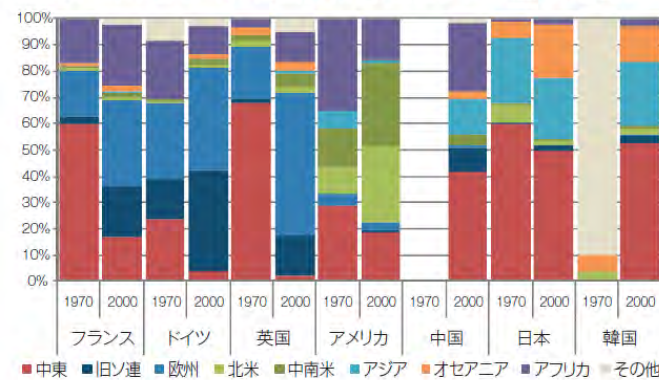
【第 114-3-1-1】 各国の一次エネルギー自給率の推移



【第 114-2-1】 各国の年代別平均一次エネルギー総供給量推移



【第 114-3-2-1】 各国の化石エネルギー輸入先構成

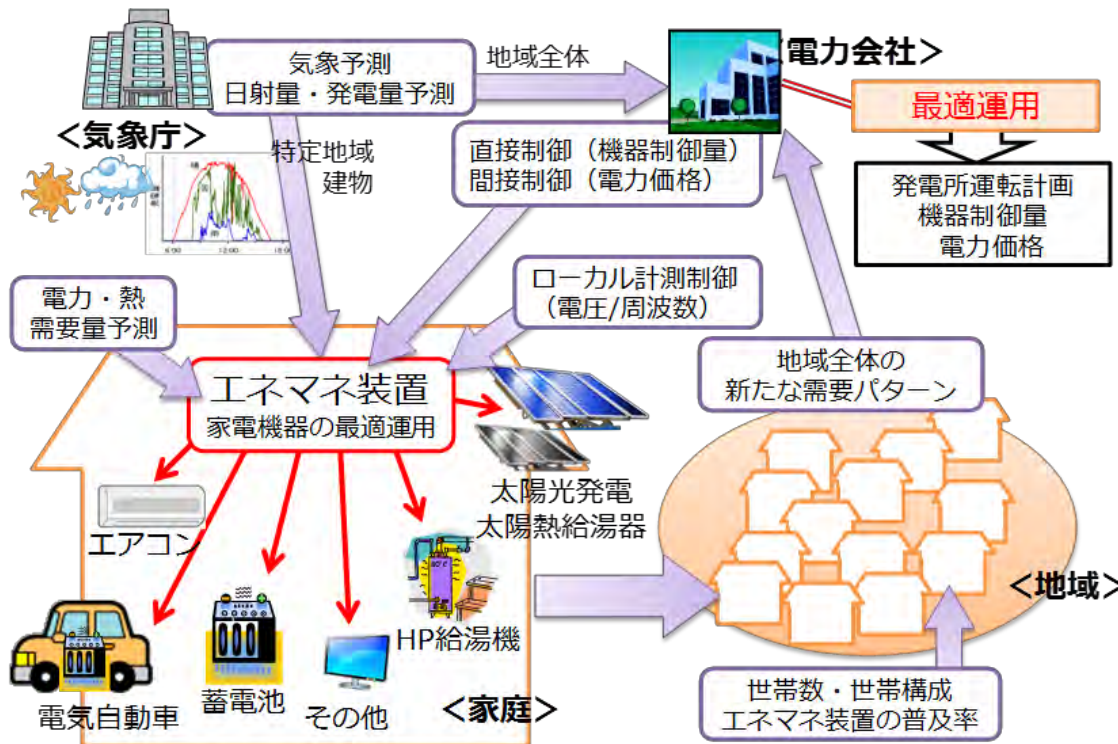


出所 IEA Oil Market Report

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



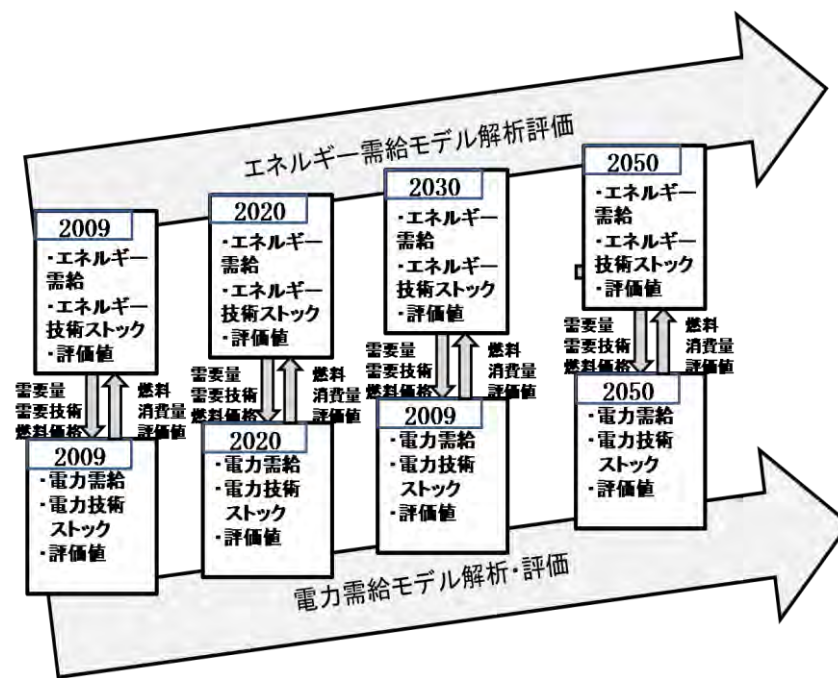
- スマートメータ
- HEMS, BEMS
- EVの充電制御
- 蓄電池

⇒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実行を行うことが重要。



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

- 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。

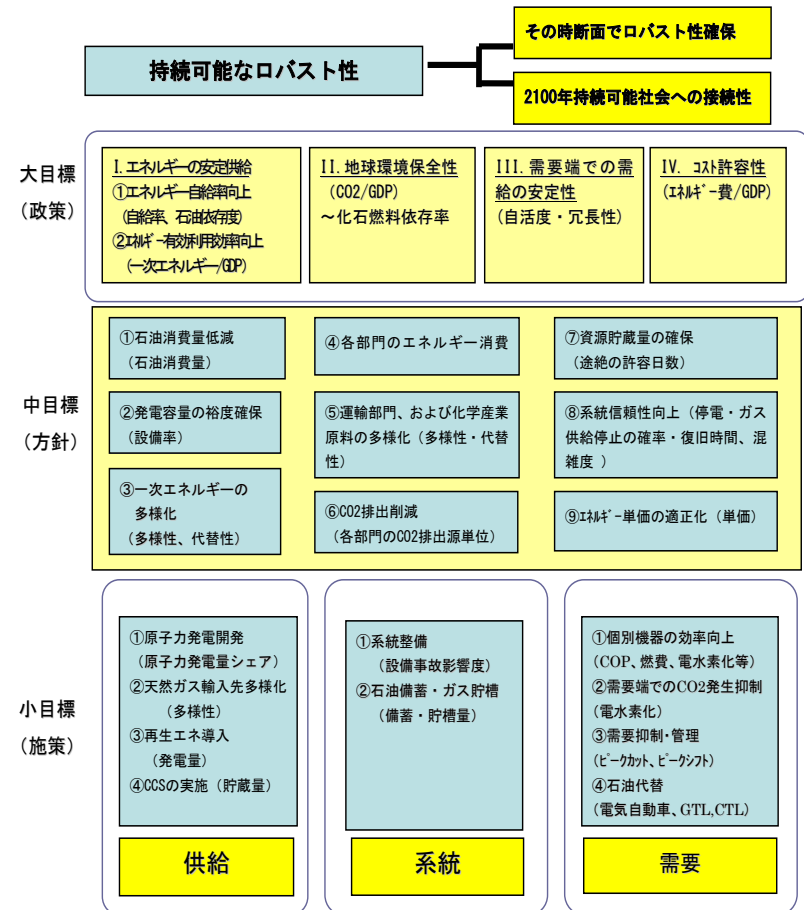
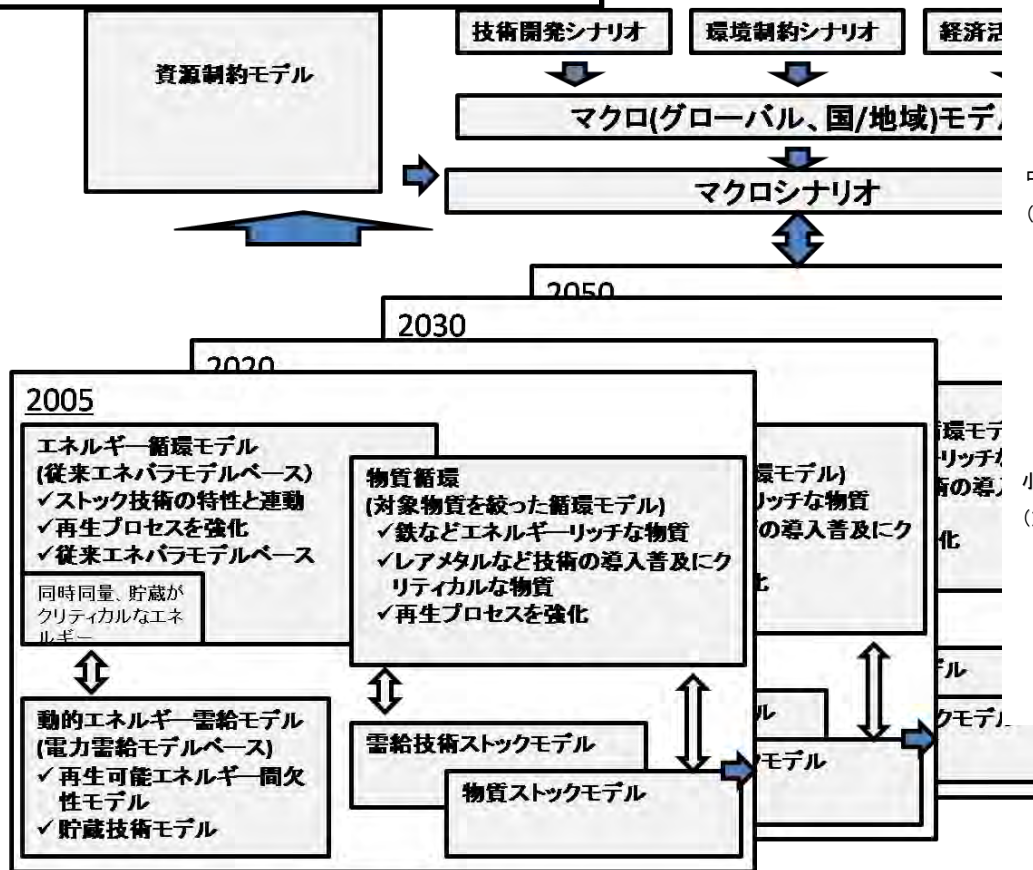


図 持続的エネルギー需給構造の目標／指標体系

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

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/>

緊急節電

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
岩船研究室 作成の【緊急節電サイト】

<http://kinkyusetsuden.jp/>

ご清聴ありがとうございました