



# 東日本大震災を踏まえた エネルギー需給構造の あり方+

(財)エネルギー総合工学研究所  
ポスト311戦略検討チーム  
(平成23年10月)

+

松井(平成24年7月)



The Institute of Applied Energy  
Design Guideline

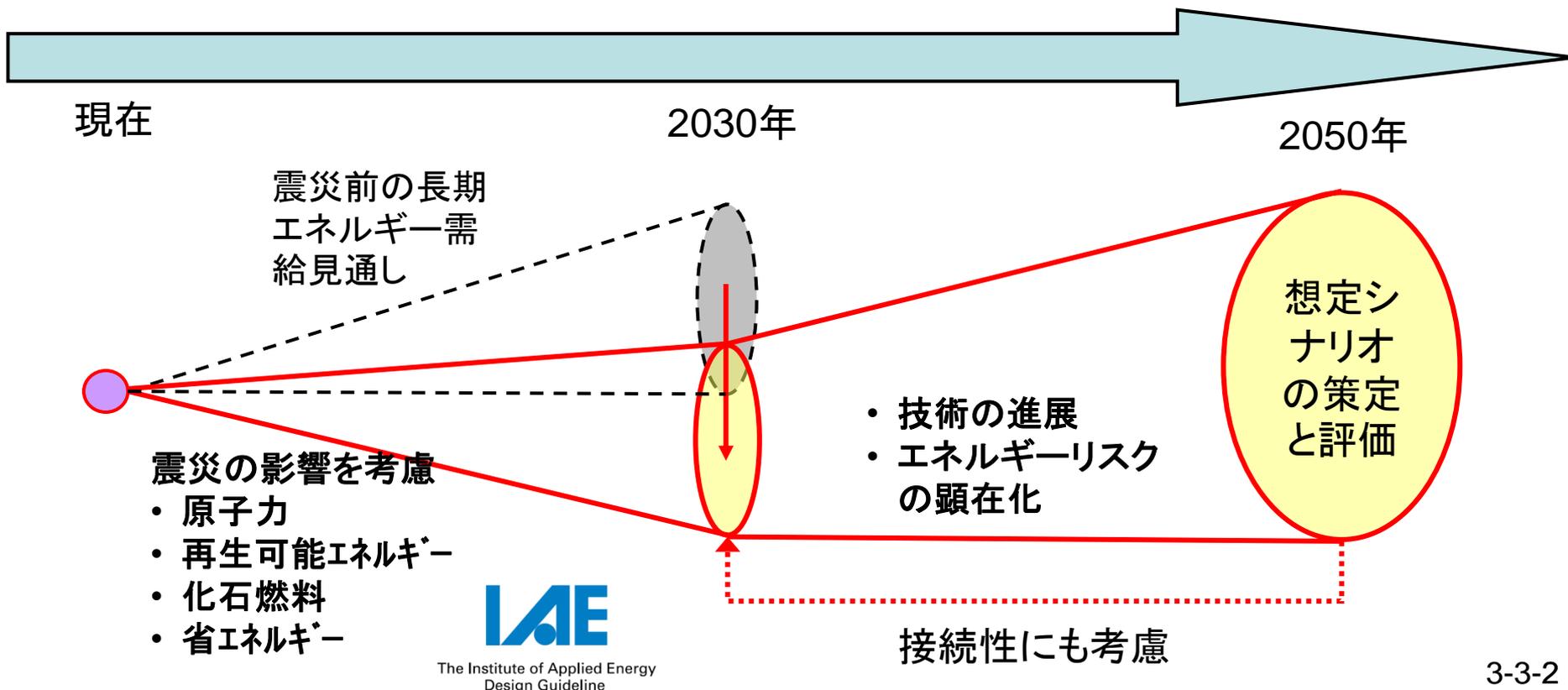
# 本研究の目的、手法

これまでの主要な評価軸である、エネルギー安定供給、環境制約、経済性に震災を踏まえた対応策を考慮しつつ、ロバストな需給構造を検討する。

(1) 2030年は、震災前の需給見通しをベースに、震災の影響を反映

(2) 2050年は技術の進展やエネルギーリスクへの対応を議論

これらの接続性にも考慮しつつ、当面のエネルギー政策を提言する。

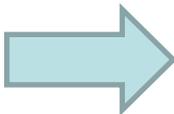


# 2030年までのエネルギー需給分析

## 基本的な考え方と論点

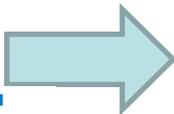
### (1) 最終消費(=省エネの進展)

- 震災を踏まえて、省エネの着実な進展が期待されるが、需給見通しの最終消費シナリオの位置づけや詳細な構造が変わるわけではない。

- 
- ①現状固定: 新たな技術導入なし(古い機器の入替効果のみ)
  - ②努力継続: 効率改善努力と入替に伴う機器導入効果 →標準
  - ③最大導入: 法的規制一步手前の普及政策 →省エネ

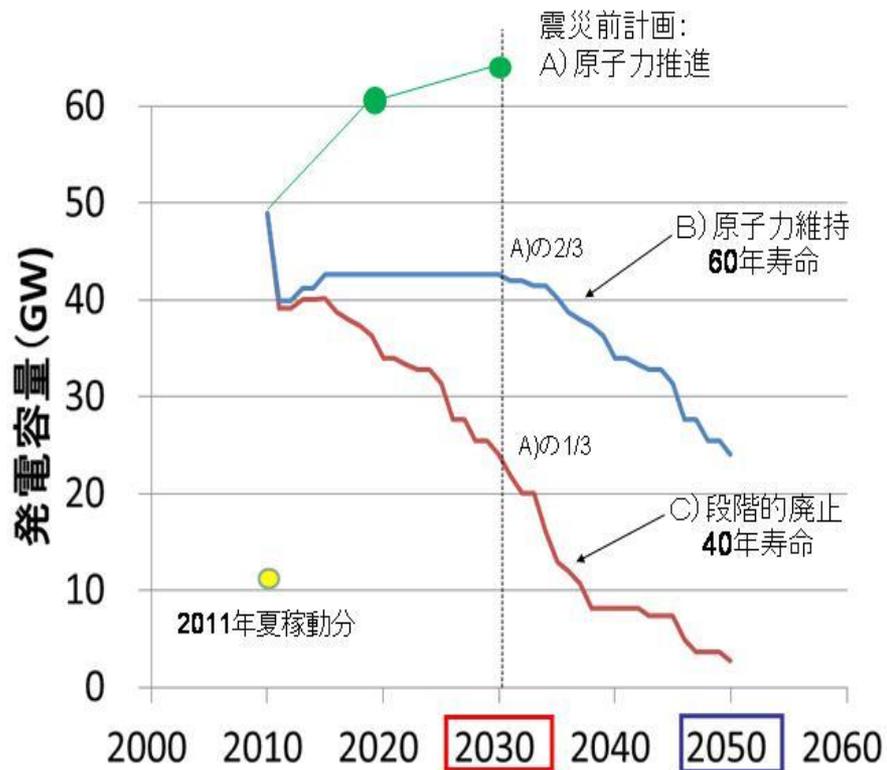
### (2) 電源構成

- 原子力については、震災前の計画からの減少は避けがたい。下げ幅については大きな不確定性を持つ。
- 再生可能エネルギーの導入促進は期待はされるが、原子力代替となる規模での普及は、あまり期待できない
- よって、原子力の減少分は主に火力で代替することになる。

- 
- 3. 1 原子力の減少はどの程度と想定するか?
  - 3. 2 その影響は? ①CO<sub>2</sub>排出と資源量、②設備容量

# 原子力発電の動向の想定

2030年の原子力発電容量は、既設炉の寿命が40年か60年かによって大きな差が出る。



シナリオ	内容	参考事例
A) 原子力推進	既設炉は可能な限り長く使用、新設を推進	震災前の日本
B) 原子力維持	既設炉は可能な限り長く使用(60年寿命) 新設は凍結	米国
C) 段階的廃止	「脱原子力依存」を目指し既設炉を段階的に廃止(40年寿命)・新設なし	ドイツ
D) 脱原子力	即運転停止	かつてのイタリア

## 原子力発電容量の想定シナリオ

# 2030 年における3つのシナリオ (2010 年との比較)

平成24年6月29日エネルギー・環境会議

	2010 年	ゼロシナリオ		15シナリオ	20~25シナリオ
		追加対策前	追加対策後		
原子力比率	26%	0% (▲25%)	0% (▲25%)	15% (▲10%)	20~25% (▲5~▲1%)
再生可能 エネルギー比率	10%	30% (+20%)	35% (+25%)	30% (+20%)	25~30% (+15~20%)
化石燃料 比率	63%	70% (+5%)	65% (現状程度)	55% (▲10%)	50% (▲15%)
非化石電源 比率	37%	30% (▲5%)	35% (現状程度)	45% (+10%)	50% (+15%)
発電電力量	1.1 兆 kWh	約 1 兆 kWh (▲1割)			
最終エネルギー 消費	3.9 億 kl	3.1 億 kl (▲7200 万 kl)	3.0 億 kl (▲8500 万 kl)	3.1 億 kl (▲7200 万 kl)	3.1 億 kl (▲7200 万 kl)
温室効果ガス 排出量 (1990 年比)	▲0.3%	▲16%	▲23%	▲23%	▲25%

# エネルギーミックスの選択肢の原案 (総合資源エネルギー調査会)

[参考: 原子力発電比率の中長期的なイメージ]

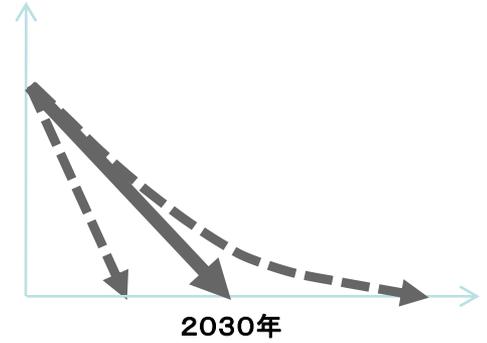
実質成長率は慎重ケース<sup>(注)</sup>(2010年代約1.1%、2020年代約0.8%)

(注: 慎重ケースとは、「財政運営戦略」(平成22年6月閣議決定)における決定(「財政健全化目標の道筋を示すに当たっては、慎重な経済見通しを前提とすることを基本とすべき」)に基づいて試算した慎重な経済見通し))

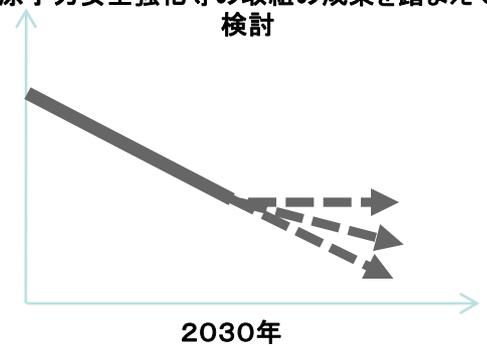
	原子力発電	再生可能エネルギー	火力発電 (石炭、LNG、石油)	コジェネ (天然ガスコジェネ)	省エネ (節電)	エネルギー起源CO2排出量 (電力起源CO2排出量) 【1990年比】(*3)
選択肢(1)	意思を持って原子力発電比率ゼロをできるだけ早期に実現し、再生可能エネルギーを基軸とした電源構成とする。					▲16% (+5%)
	0%(*1)	約35%	約50% (24%、17%、6%)	約15% (12%)		
選択肢(2)	意思を持って、再生可能エネルギーの利用拡大を最大限進め、原子力依存度を低減させる。併せて、原子力発電の安全強化等を全力で推進する。情勢の変化に柔軟に対応するため、2030年以降の電源構成は、その成果を見極めた上で、本格的な議論を経て決定する。					▲20% (▲8%)
	約15%	約30%	約40% (23%、11%、4%)	約15% (12%)		
選択肢(3)	安全基準や体制の再構築を行った上で、原子力発電への依存度は低減させるが、エネルギー安全保障や人材・技術基盤の確保、地球温暖化対策等の観点から、今後とも意思を持って一定の比率を中長期的に維持し、再生可能エネルギーも含めて多様で偏りの小さいエネルギー構成を実現する。					▲23% (▲15%)
	約20%~約25%	約25%~約30%	約35% (21%、8%、4%)	約15% (12%)		
参考シナリオ	不確定な状況の下での幅広い選択肢を確保するため、意思を持って現状程度の原発の設備容量を維持する。(原子力発電比率は2010年度より拡大)					▲28% (▲33%)
	約35%	約25%	約25% (16%、3%、4%)	約15% (12%)		
現行計画 (2010年度策定)	45%(*2)	20%	27% (11%、12%、4%)	8% (4%)	—	▲31% (▲27%)
2010年度	26%	11%	60% (24%、27%、9%)	3% (2%)	—	+6% (+25%)
選択肢(4)	社会的なコストを事業者(さらには需要家)が負担する仕組みの下で、市場における需要家の選択により社会的に最適な電源構成を実現する。 ※本選択肢については、エネルギーミックスの定量的なイメージは提示しないが、原子力発電の保険料及び炭素税について一定の想定の下で実現する電源構成の試算を別途行うことを検討する。					—

【2010年度比】  
省エネ: ▲約2割  
(節電: ▲約1割)  
→発電電力量: 約1兆 kWh

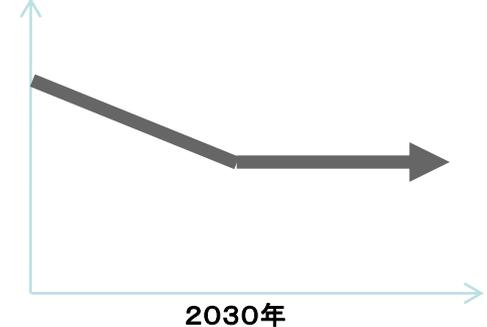
選択肢(1): 意思を持ってゼロにする



選択肢(2): 比率を低減させ、その後は再エネ、原子力安全強化等の取組の成果を踏まえて検討



選択肢(3): 比率を低減させるが、意思を持って一定比率維持



\*1 2030年より早く、例えば2020年で原子力発電をゼロとすべきとの意見や、2030年より遅く、例えば2050年で原子力発電をゼロとすべきとの意見もあったが、ここでは選択肢(1)が想定する電源構成の代表的な数値を示している。

\*2 現行計画では、コジェネ及び自家発(モノジェネ)を含まない発電電力量に占める割合(想定)を示しており、その値は原子力:53%、再生可能エネルギー:21%、火力:26%である。

\*3 エネルギー起源CO2排出量、電力起源CO2排出量は暫定値(精査中)。

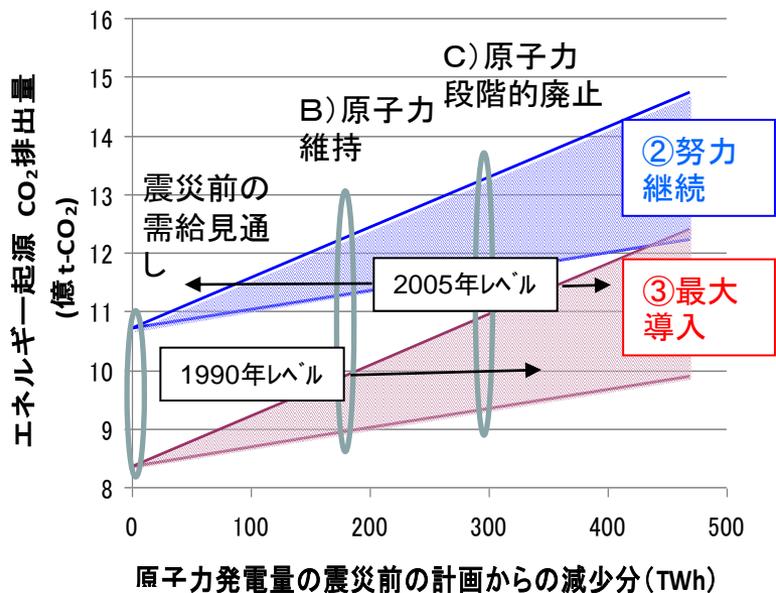
# 影響評価 ①CO2排出と資源量

再生可能エネルギーは最大限導入した上、省エネルギー×原子力の4つのシナリオで試算

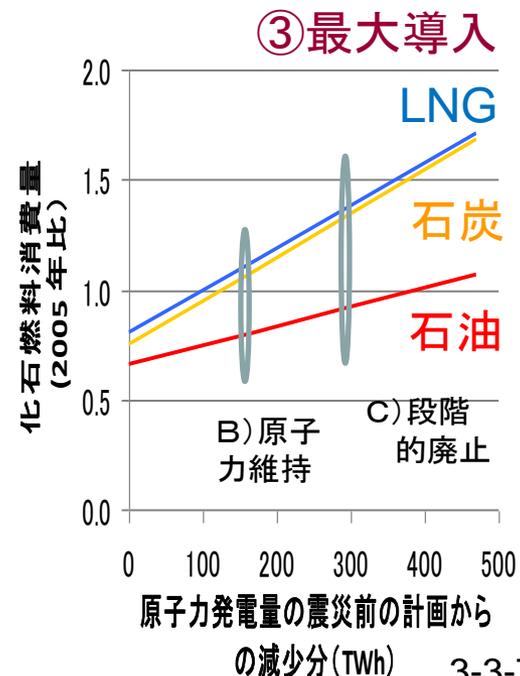
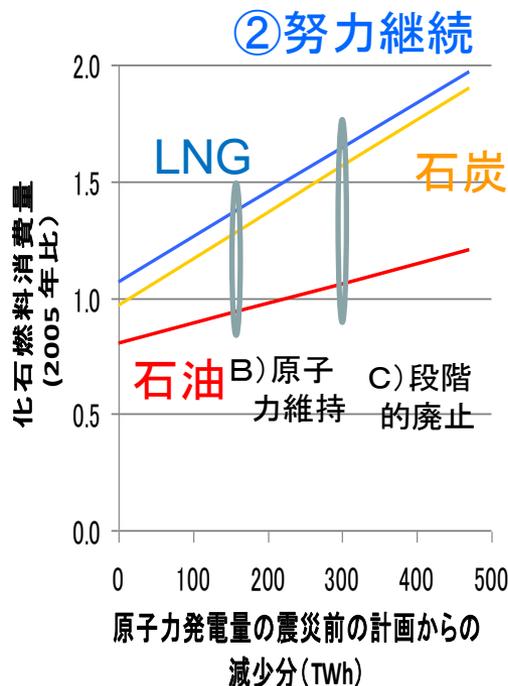
省エネ	原子力	B)原子力維持	C)段階的廃止	評価事項
②努力継続		2005年レベル	LNG代替0.5トﾝ～石炭代替1億トﾝ増加	CO <sub>2</sub> 排出量
		2005年の1.4倍*	2005年の1.7倍*	化石燃料消費量
③最大導入		1990年レベル	LNG代替0.5トﾝ～石炭代替1億トﾝ増加	CO <sub>2</sub> 排出量
		2005年の1.1倍*	2005年の1.3倍*	化石燃料消費量

(注) \*は、原子力減少分をLNGのみで代替する場合の試算値

CO<sub>2</sub>排出量の見通し



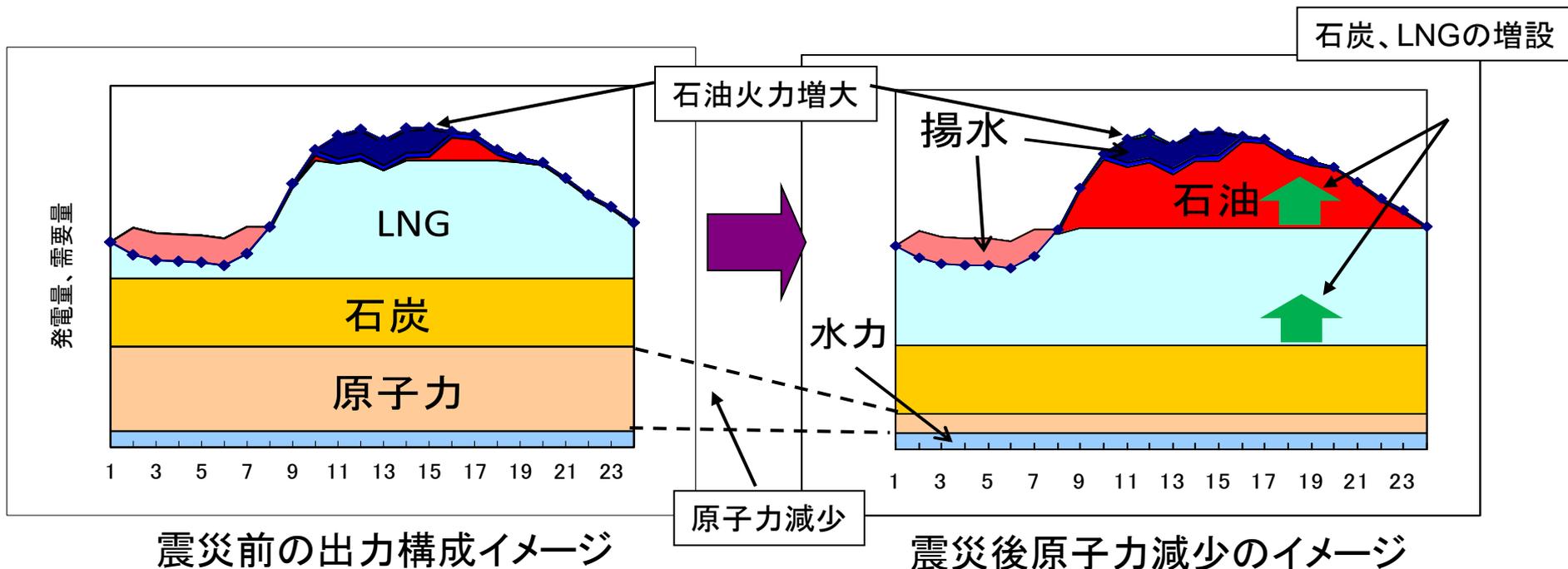
化石燃料消費量の見通し



# 影響評価 ②火力発電の発電設備容量

## (1) 発電構成のイメージ

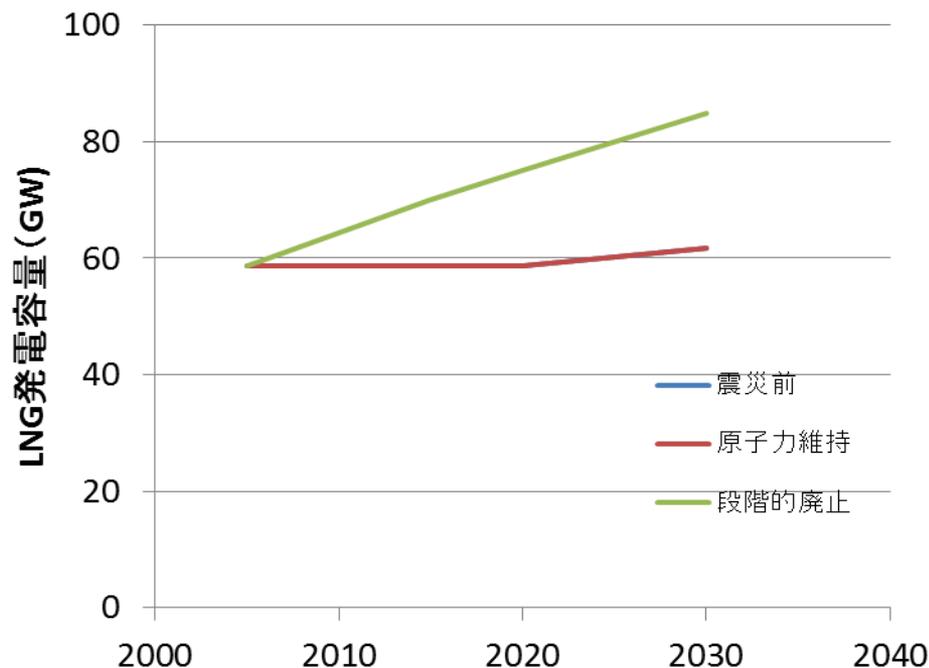
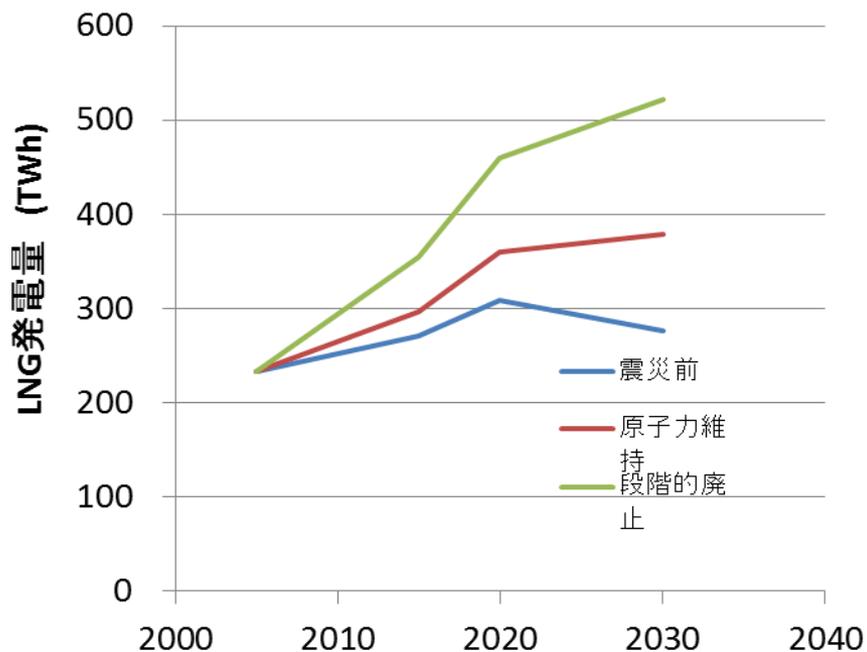
- 震災前は、水力・原子力・石炭をベース、LNGをミドル、石油・揚水をピークとして使用
- ベースである原子力が減少した場合
  - ・減少分が少ないうちは、LNGの設備利用率向上で対応可能
  - ・ある程度大きい場合、短期的には石油火力の利用、中長期的にはLNG・石炭火力の増強が必要



# 火力発電の発電量・発電容量の推移

原子力の減少分を天然ガスで代替した場合、

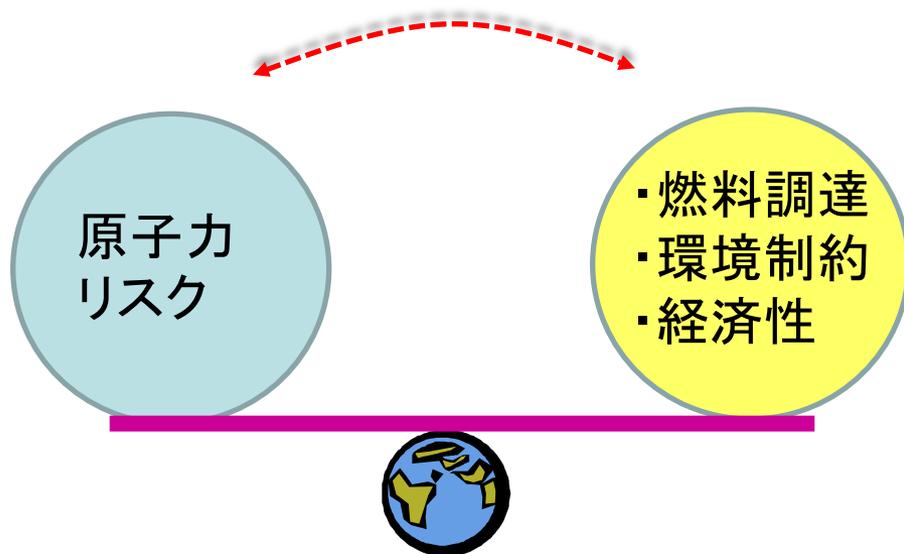
- 1) 原子力維持シナリオであれば、設備利用率の向上にて対応可能
- 2) 原子力を段階的に廃止する場合、20GW程度発電所の新增設が必要



# 2030年までのエネルギー需給分析まとめ

原子力をC)段階的廃止し、LNG火力を中心に代替※した場合、B)原子力維持と比較して下記の影響がある。

- ① CO<sub>2</sub>排出: 約0.5億t-CO<sub>2</sub>の増加(1990年比+5%相当)
- ② LNG消費量:
  - ✓ B)原子力維持: 2005年比1.3前後
  - ✓ C)段階的廃止: 2005年比1.5前後
- ③ 火力発電所: 20GW程度増設



※石炭中心の代替の場合、CO<sub>2</sub>は約1億t-CO<sub>2</sub>、燃料消費の増分はLNGの場合と同様。

石油火力による代替は、中長期的対応としては考慮しない。

# 2050年までのエネルギー需給分析

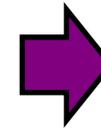
## 2050年シナリオ設定の検討方針

4. 1 期待の大きい技術の開発見通し・課題 (Step1)
  - 再生可能エネルギーの大規模導入
  - 省エネルギーの大幅な進展
  
4. 2 技術動向を踏まえたリスク対応シナリオ検討・評価 (Step2)
  - 原子力社会不受容
  - 温暖化影響顕在化、CO<sub>2</sub>制約
  - 化石燃料の需給逼迫・高止まり
  
4. 3 重要技術の整理・解釈 (Step3)

# 太陽光を原子力の代替となる規模で導入した場合のイメージ

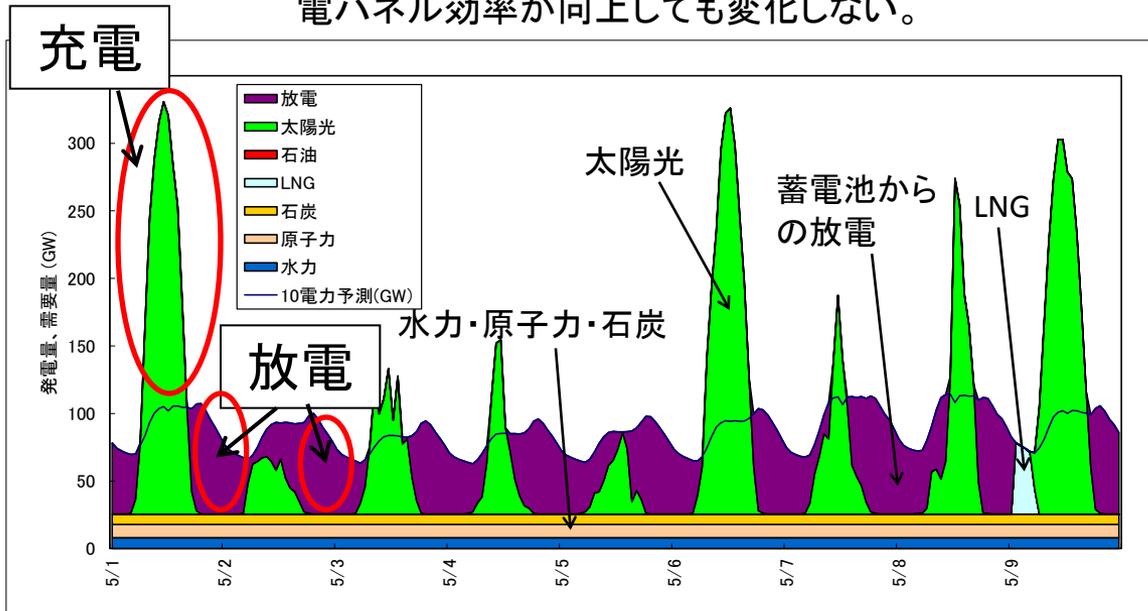
太陽光発電は稼働率※が低いので、総電力量の数10%程度以上(下記は50%)を供給しようとする場合、ピーク電力を大幅上回る発電容量が必要

- 晴天時: 充電
- 夜間および雨天時: 放電



蓄電設備の活用が必須

※夜間や悪天候時に発電できないことによる。日照条件によって決まるものであり、太陽光発電パネル効率が向上しても変化しない。

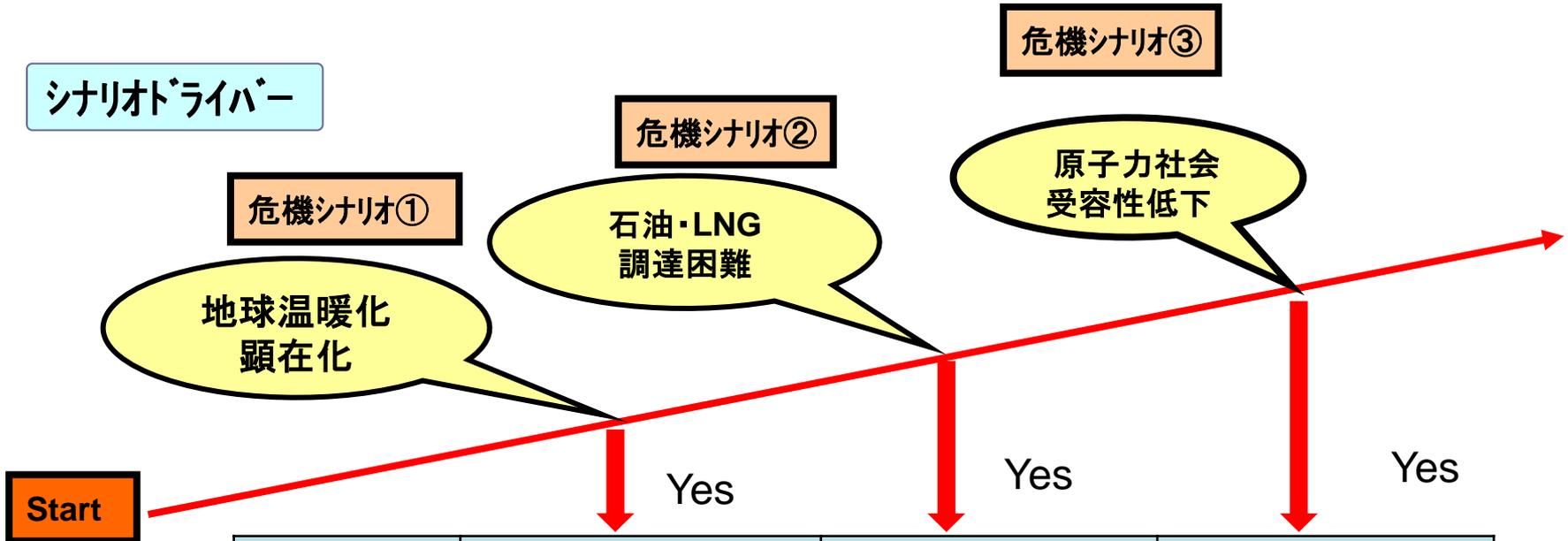


PV導入量500GWの発電量と需要量

太陽光の出力はNEDOが公開している全国日射関連データマップを利用し、東京における水平面全天日射量を代表した。

# 2050年に向けたシナリオ分岐とシナリオ評価 (Step2)

## 主要な想定リスクおよび対応シナリオ



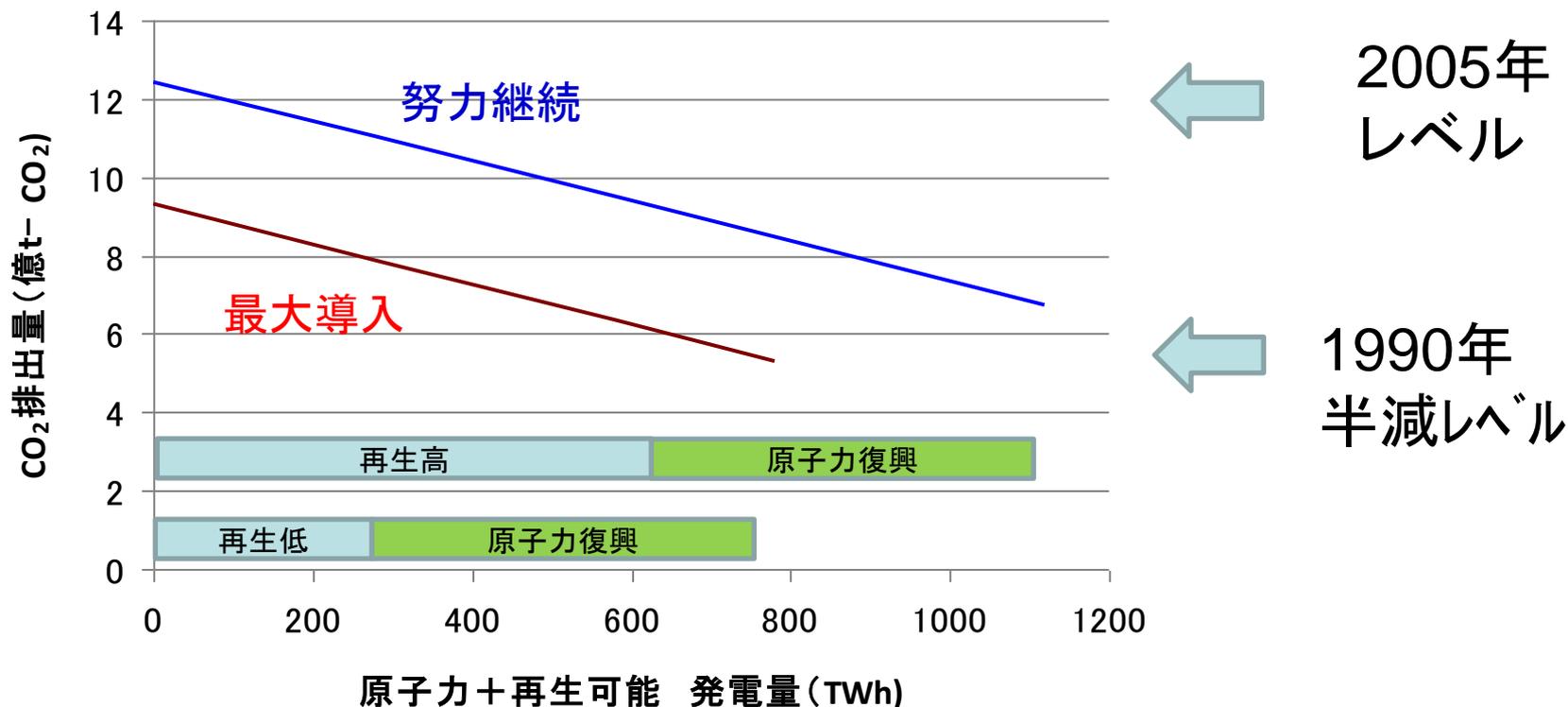
シナリオ	(1) CO <sub>2</sub> 徹底削減	(2) 脱石油・ガス	(3) 脱原子力
原子力	両者の和をなるべく多く	両者の和をなるべく多く	廃止
再生可能エネルギー			・状況に応じたバランス ・火力に頼ったシナリオも可
火力	低減/CCS (CO <sub>2</sub> 回収貯留)	石炭の高度利用	
省エネ	必須	必須	

# CO<sub>2</sub>徹底削減シナリオ(地球温暖化顕在化)

1990年半減レベルを達成するには、省エネの徹底に加え、原子力+再生可能エネルギーの最大限の利用が必須となる。

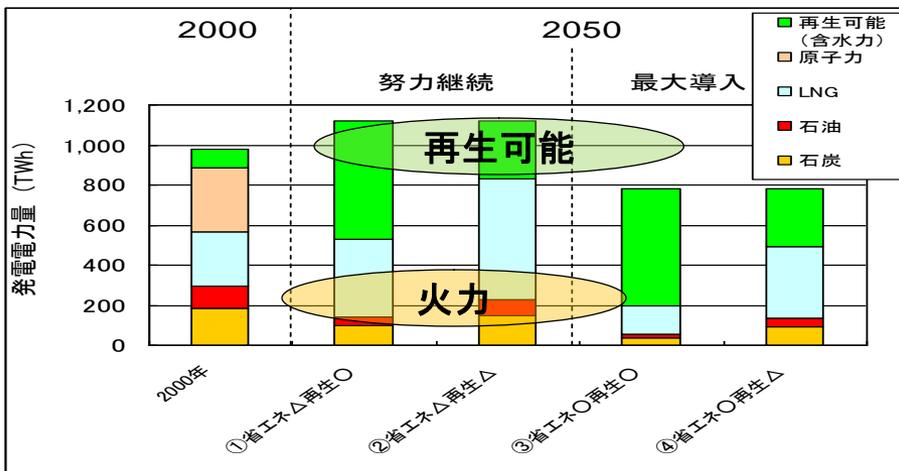
省エネ最大導入+再生普及 : 原子力が無くてもほぼ半減  
再生or省エネ停滞 : 原子力が重要なオプション

非化石電源発電電力量とCO<sub>2</sub>排出量との相関(熱及び運輸需要は固定)

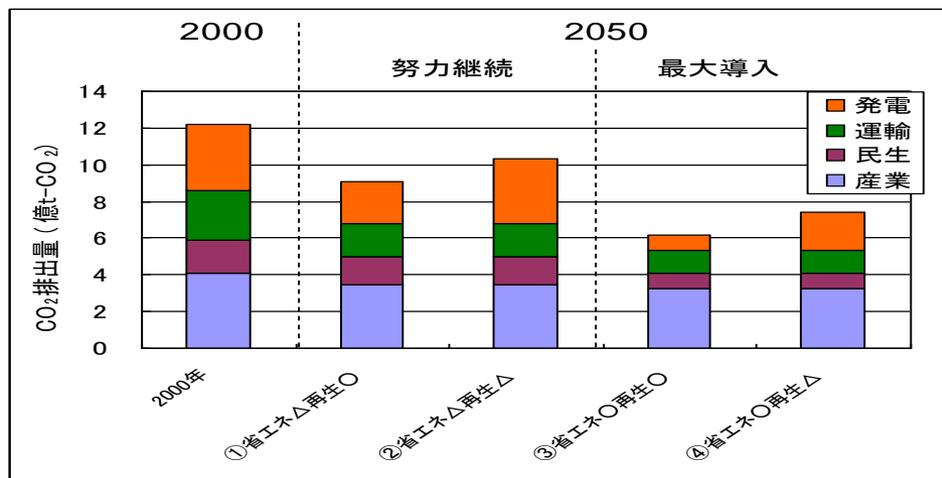


# 脱原子カシナリオの試算

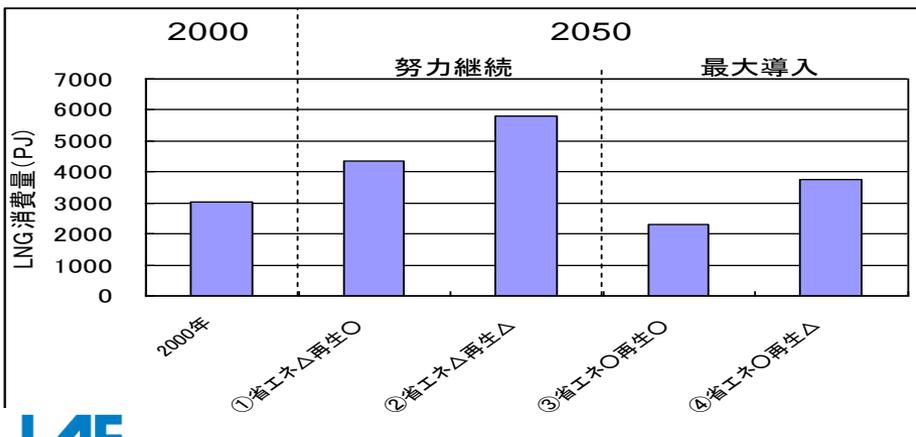
	再生低:200GW	再生高:500GW
努力継続	① 省エネ△、再生△	② 省エネ△、再生○
最大導入	③ 省エネ○、再生△	④ 省エネ○、再生○



① 電源別発電電力量



② 部門別CO<sub>2</sub>排出量



③ LNG消費量

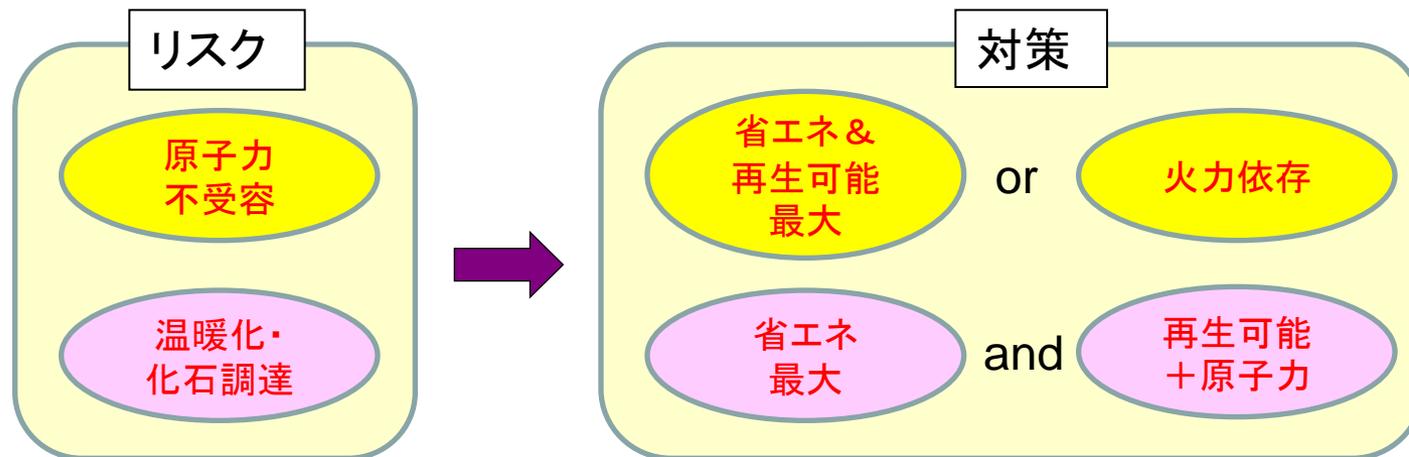
再生可能と省エネが両方  
進展したシナリオ以外は  
火力に強く依存

# 2050年に向けたシナリオ分析から得られる示唆

2050年に向けた主要な想定リスクである、

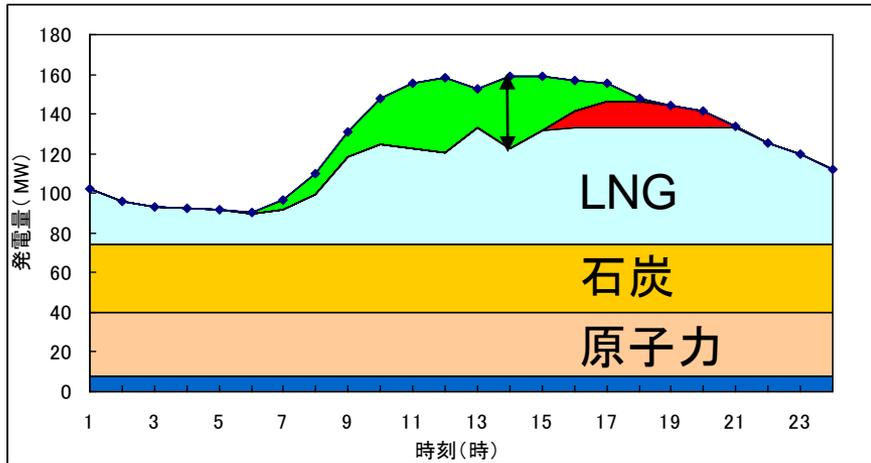
- ① 石油・LNG調達困難、
- ② 地球温暖化顕在化、
- ③ 原子力社会不受容 に対応するには、下記の技術が重要である。

- 1) **再生可能エネと省エネの技術開発と普及**: いずれのリスクに対しても有効
- 2) **原子力技術基盤の維持**: 再生可能エネや省エネは導入規模に不確定性が大きい  
ため、原子力は保持すべきオプションである。
- 3) **幅の広い技術開発**: CO<sub>2</sub>フリー水素利用や、CCS、石炭高度利用、バイオマス等  
も重要である。

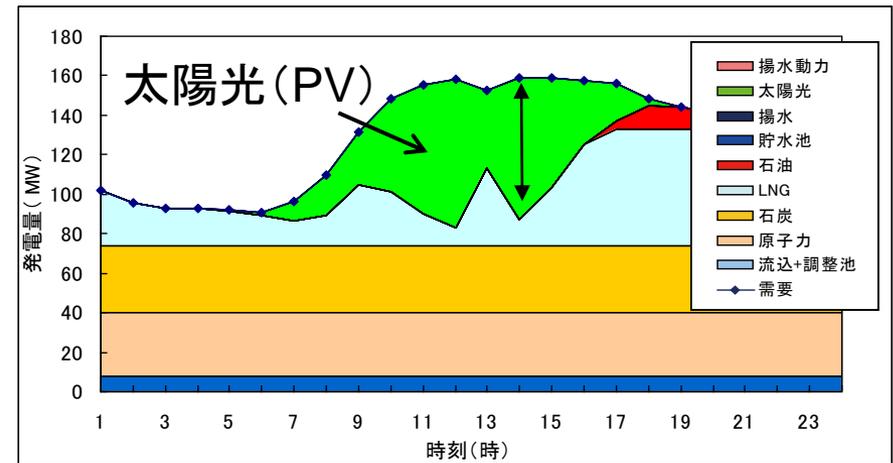


# 再生可能の出力変動調整の観点からの火力発電容量

日照データや電力需要データに基づき、出力変動調整を試算した結果

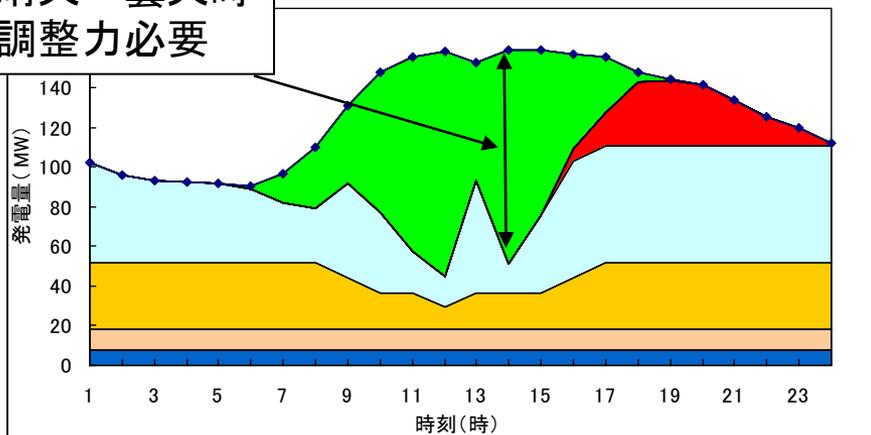


PV導入量: 50GW

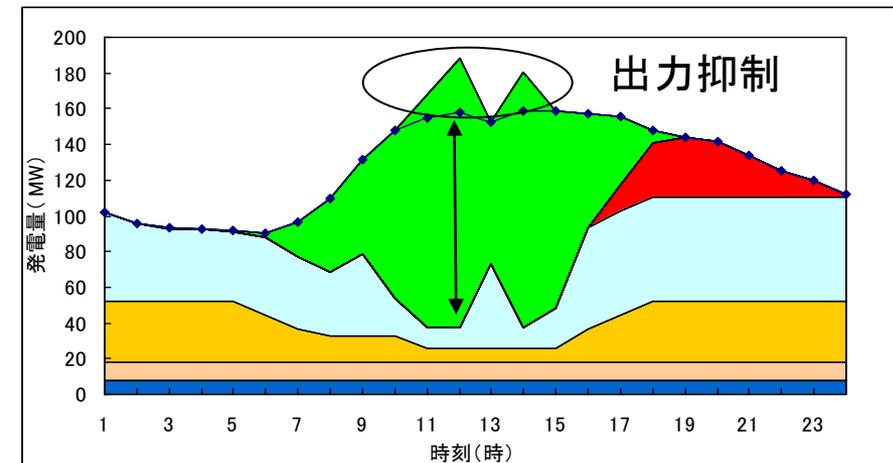


PV: 100GW

晴天→曇天時  
調整力必要



PV: 150GW

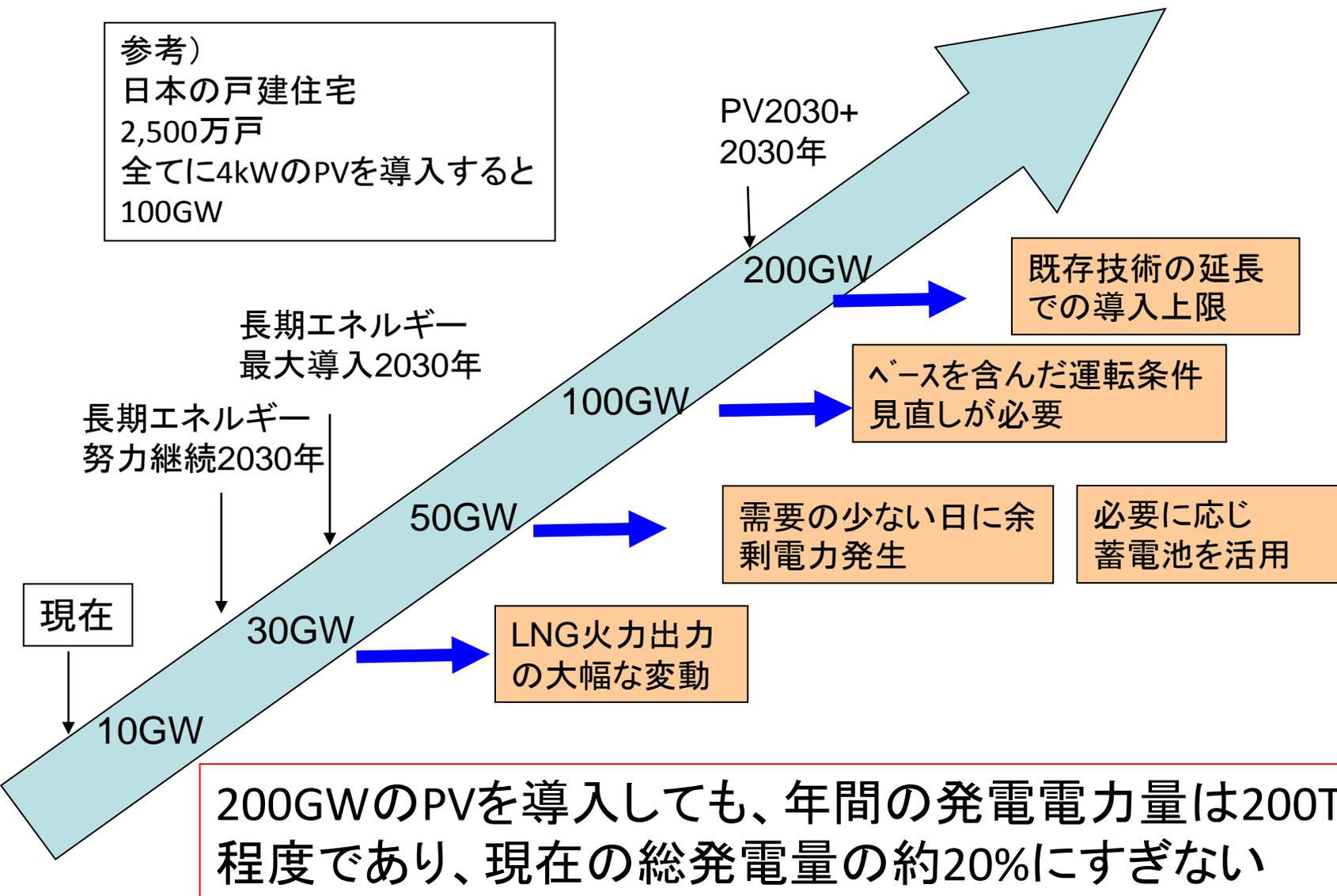


PV: 200GW

既存の設備でも200GW程度までの対応は不可能ではない。

データ出典:  
電力需要は電事連HP原子力・エネルギー図面集2011  
設備利用率は各種統計資料よりIAE  
推定

# 太陽光発電の導入上限に係る火力発電等の運転条件



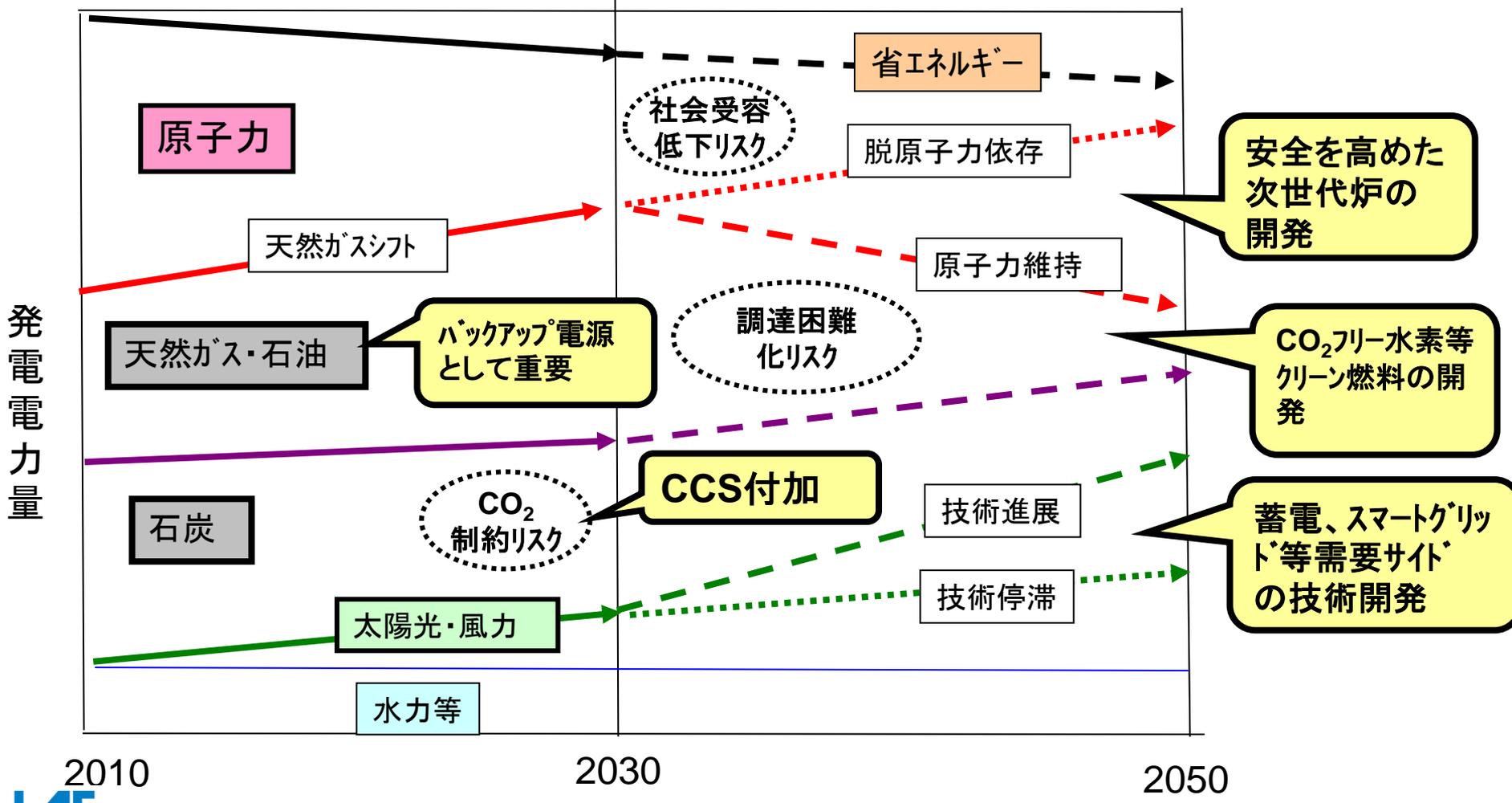
# 結論 ～ロバストな需給構造の実現に向けて

エネルギー	取るべき措置
省エネルギー	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. あらゆるリスクの対策となるため、着実な推進が必要</li> <li>2. 発電部門(寄与1/3)のみならず、エネルギー全般の省エネも重要</li> </ol>
再生可能エネルギー	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 将来の有望なエネルギー源であり、技術開発を推進</li> <li>2. 総発電量のシェアが15~20%を超える場合、蓄電技術が鍵</li> <li>3. 技術的・経済的な見通しが立つ前の無理な普及は非経済的</li> </ol>
原子力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 化石燃料高騰や環境制約等のリスクの顕在化に対し、原子力は必須の対策であり、原子力の技術基盤の維持は極めて重要</li> <li>2. 多様なリスクに対応するため、原子力を推進するシナリオに備え、安全性を高めた次世代の原子炉開発を進める</li> </ol>
火力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 原子力の減少分は火力発電を中心に代替することとなる。発電効率向上はCO<sub>2</sub>削減や化石燃料消費量低減の観点から重要</li> <li>2. 間欠性の再生可能エネルギーのバックアップ、原子力事故対応の観点から、今後も現状程度の発電容量は維持していくべき</li> </ol>

# (参考1) 発電電力量推移(イメージ)

自然エネルギー利用拡大、省エネルギー、天然ガスシフトが進展→原子力は、その供給不足分を賄う(引き算)

化石燃料調達、CO<sub>2</sub>制約、自然エネルギー、省エネ技術停滞等のリスクに対応し得る原子力オプションを維持(足し算)



# 原子力エネルギーの立ち位置《私見》

- 安全：社会的に信頼喪失している、規制、マネージメントそのものも含め。日本では当面回復できそうにない。世界は躍起になって、維持回復に努めているが、日本が足を引っ張っている？
- 経済性：化石燃料市場価格によるが、我が国では圧倒的ではないにしろ有利、多分廃炉、除染費用を含めても。風力、太陽など間歇性再生エネルギーはたとえ発電コストが下がっても、バックアップ、送配電増強のシステムコストが一般的には大きすぎてまともな勝負にはならない。地域的な特性、完結性ゆえの存在理由は正当化できるが。
- 単純に言えば、必要性は主張できるが、安全性を防衛できていない。

# 将来シナリオ

2030年ごろまでは、引き算として、すなわち需給ギャップの調整として、いくつかの原子力発電プラントに対してはお情けで運転再開のお許しが出る？

その間、我が国の社会・産業構造が劇的な転換、エネルギー多消費構造からの決別を達成しているのか？（20年で約4分の一） それでも原子力の本質的存在理由は揺るがないはず。

原子力再興でないシナリオは日本沈没ではないか？  
—ガラパゴスでレクイエムを聞きたくない

## 終わりに(July 12, 2012)

人々は原子力の根源的な危険性に対して恐れを抱いている。リスクはあるが基本的には起こりません、という言葉は通じなくなった。人が死ぬことはないかもしれないが、逃げ出して生活が成り立たなくなるという恐れを払しょくする必要がある。技術的30項目やストレス・テストなどへの対応で可能か十分か？

現原子力発電フリートに対してはフランスのハード・コア計画のように数年にわたる既存技術のより一層の安全性向上を実施する。さらに、本質的安全、例えば退避不要、Evacuation Freeなるイノベティブ・コンセプトを同時に追求する必要があるのではないか？

再生可能と原子力は異なる理由で当てにならないとすると、化石プラントの半端ではない増強を図る必要がある。

# “Safety Objectives for New Power Reactors” WENRA, December 2009, p10より

## O3. Accidents with core melt

- reducing potential radioactive releases to the environment from accidents with core melt, also in the long term<sup>19</sup>, by following the **qualitative criteria** below:

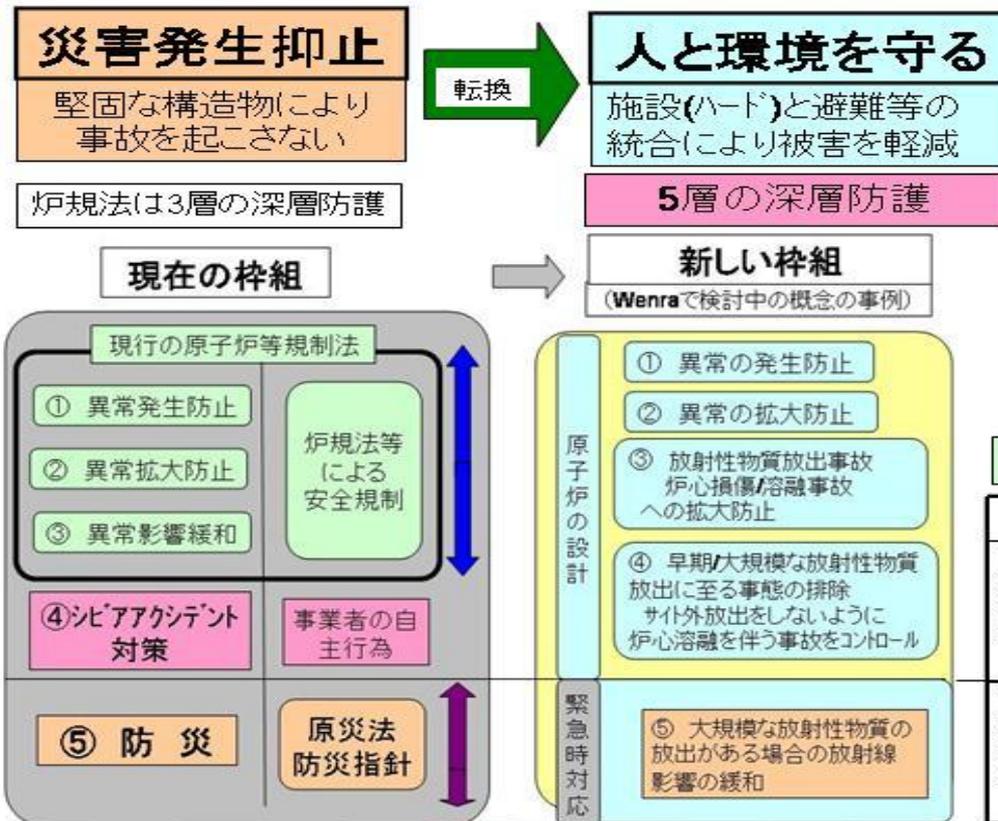
- o accidents with core melt which would lead to early<sup>20</sup> or large<sup>21</sup> releases have to be **practically eliminated**<sup>22</sup> ;

- o for accidents with core melt that have not been practically eliminated, **design provisions** have to be taken so that only limited protective measures in area and time are needed for the public (**no permanent relocation, no need for emergency evacuation outside the immediate vicinity of the plant, limited sheltering, no long term restrictions in food consumption**) and that sufficient time is available to implement these measures.

<sup>22</sup> In this context, the possibility of certain conditions occurring is considered to have been practically eliminated if it is **physically impossible** for the conditions to occur or if the conditions can be **considered with a high degree of confidence to be extremely unlikely to arise** (from IAEA NSG1.10).

# 5層の深層防護

原子力施設の安全確保のためには、従来の「異常発生防止、異常拡大防止、異常影響の緩和」という3層に加え、過酷事故対策、防災も含めて一体的に運用する「5層の深層防護」に基づき、工学的安全施設(ハード)と避難等(ソフト)を総合して、「人と土地、水などの環境」を守る全体システムを再構築するべきではないでしょうか。



第1回公開討論会の岡本先生の講演、第4回公開討論会の河田先生の講演等を基に作成

土木は人命が第一  
原子力は人命と環境

**土木学会の考え方**

	想定	対応方針	対策
レベル1 津波防護	数十～百数十年に1回程度	人命・財産を構造物で守る	海外保全施設整備を推進
レベル2 津波減災	千年に1回程度	人命だけは避難などで守る	避難を軸に最大限の措置