



平成25年9月17日 SNW対話イン鹿児島大学

(基調講演)

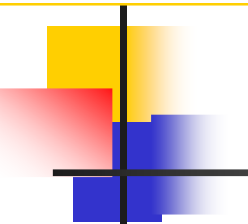
日本のエネルギーはどの方向へ向かうのか

－エネルギー最貧国日本のエネルギー選択とその条件－

金氏 顯

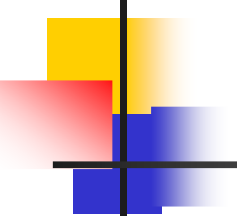
(かねうじ あきら)

北九州産業技術保存継承センター館長
九州工業大学産学連携推進センター客員教授
元三菱重工業常務



自己紹介

- ・1944年3月生まれ、1962年小倉高校卒業
- ・1968年九州大学動力機械工学専攻修士修了、三菱重工業入社
- ・1968年～1999年(31年間)三菱重工PWRプラントエンジニアとして、米国技術の国産化、改良標準化、APWR開発、現地駐在、燃料技術部長、プロジェクト部長
- ・1999年～2004年(5年間)三菱重工取締役神戸造船所長、常務取締役機械事業本部長として原子力以外の火力発電、造船、環境装置、交通など製品事業を経験
- ・2004年～現在(9年～)原子力学会シニアネット等代表幹事として大学生との対話、大学非常勤講師、一般市民への講演など理解促進、リスクコミュニケーション活動
- ・2012年～現在(1年～)北九州産業技術保存継承センター館長、九州工業大学産学連携推進センター客員教授



この講演の内容

1. 世界のエネルギー事情と我が国の状況
 - ・人類の発展とエネルギー消費、過去・現在・将来
 - ・我が国はエネルギー最貧国
2. 基幹エネルギーの必要条件と適合性
3. 我が国の原子力建設の歴史、世界の動向
4. 東電福島第一事故の推移、原因、要因、対策
5. まとめ

人類の文明発展とエネルギー消費の関係

最近50年は安くて豊富な石油の大量消費で人口急増、文明発達、一方で環境破壊を引き起こした。

一人当たり消費量(二〇〇〇キロカロリー/日)・棒グラフ

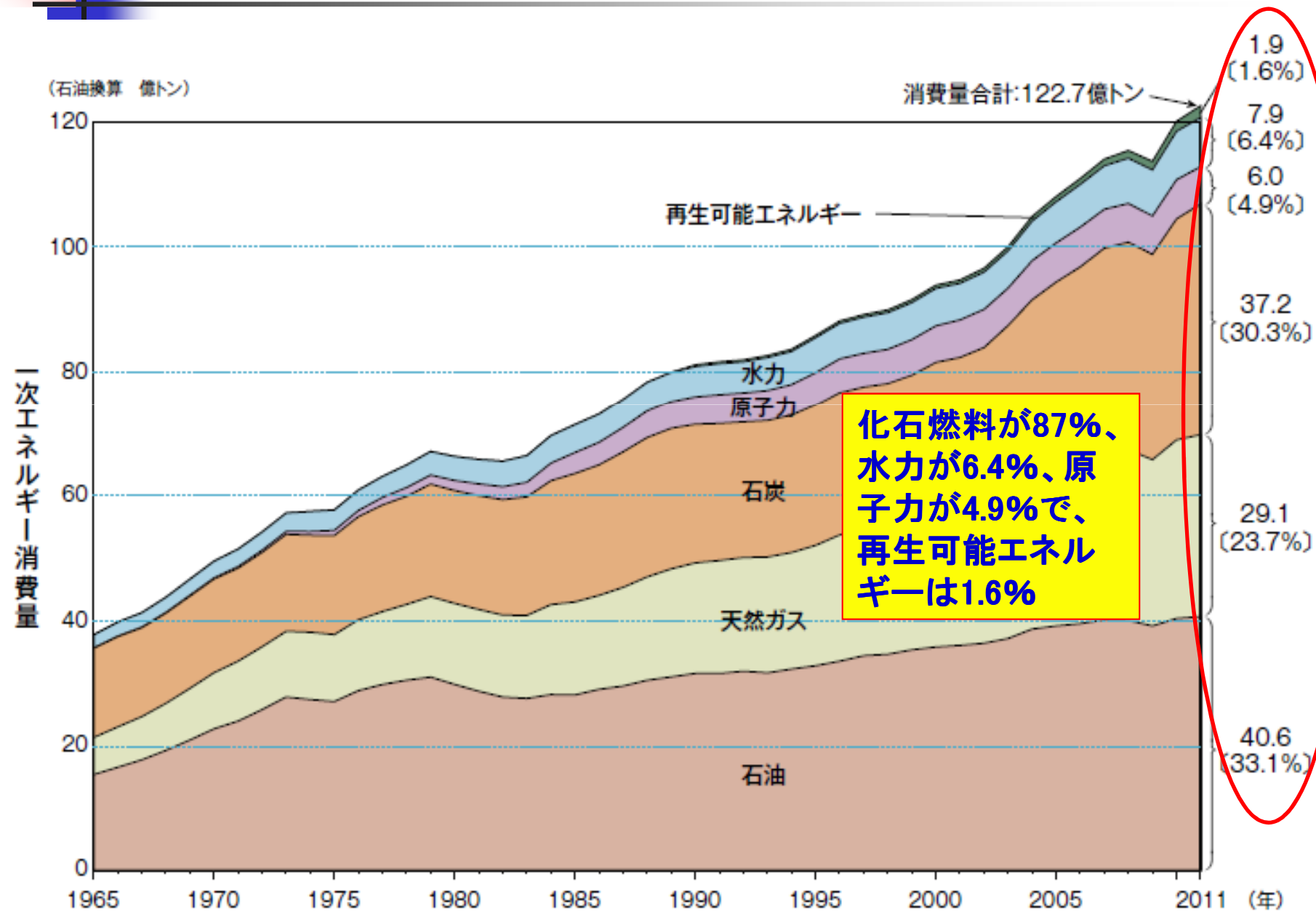


石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

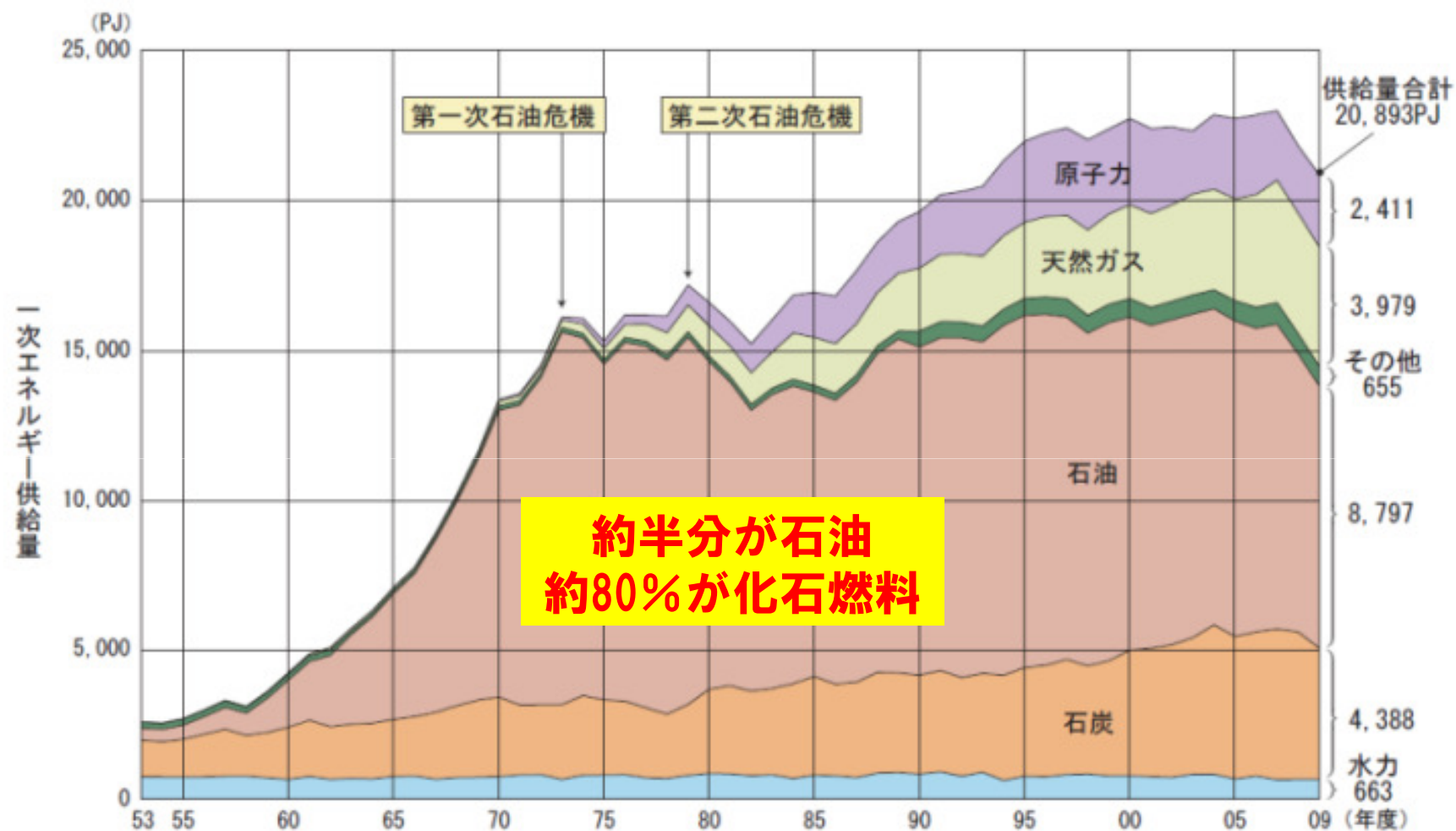
原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。
 狩猟人 十万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業者 B.C.5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業者 1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
 産業人 1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。
 技術人 1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

エネルギー資源をどのように利用してきたか？



日本の一次エネルギー供給実績



1次エネルギーの約40%が電気として利用。
原子力、水力は電気専用、石炭も大部分電気に。

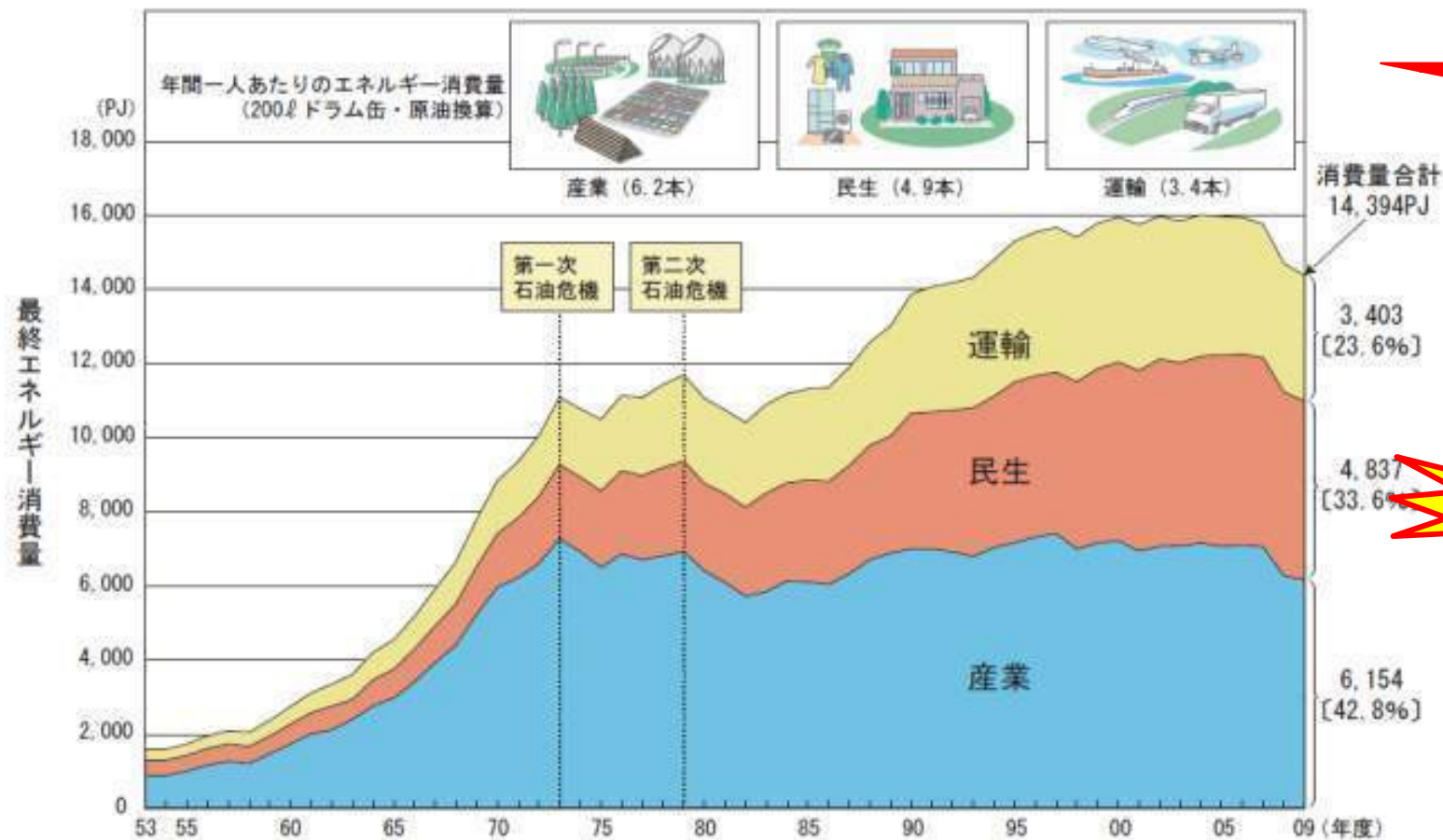
エネルギー消費はどのように増えて行ったのか？

一人当たり毎日8.2リットル(石油換算)のエネルギーを消費している

最近40年間で

- …国全体のエネルギー消費量は、3.5倍に…
- …国民一人あたりでは、2.7倍に…

どの部門が最も大きく伸びているか？



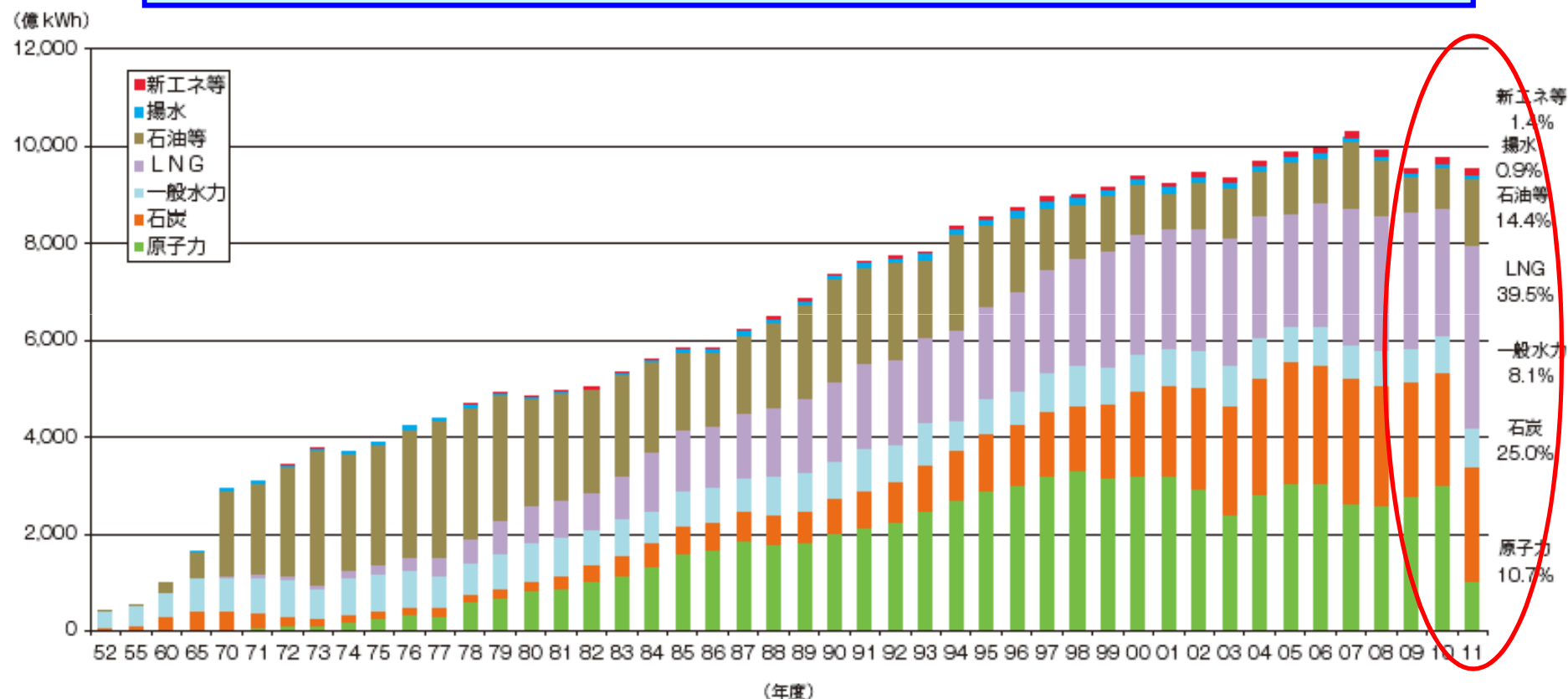
1.2倍

1.4倍

1.0倍

わが国の発電電力の多様化の推移

1973年度の第一次オイルショックを契機として、原子力、石炭火力、LNG火力等、電源の多様化を推進、高度経済成長。



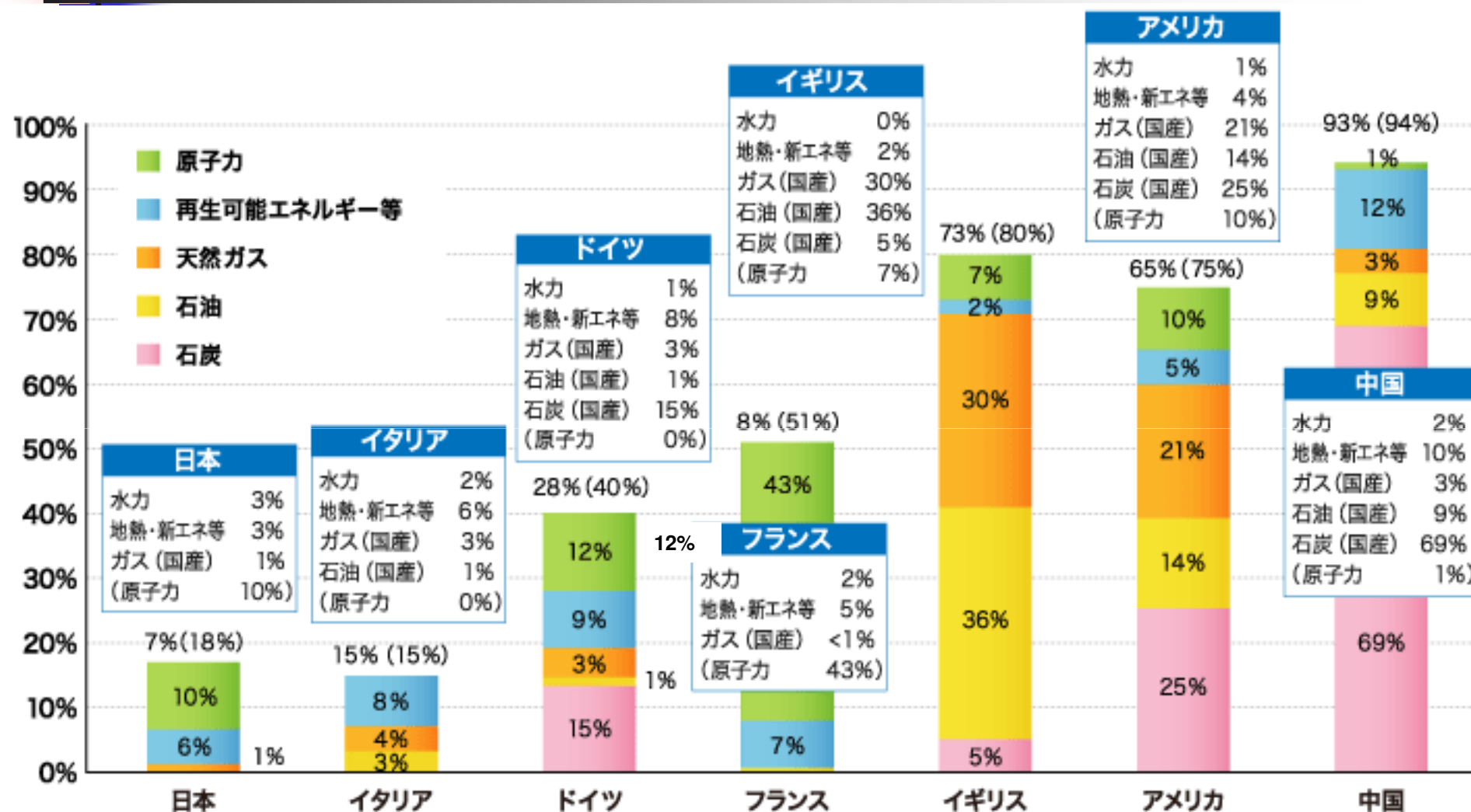
2010年度と2011年度の電源構成を比べると、原子力の代替は主にLNGと石油であることが分る。

我が国のエネルギー安全保障の脆弱性

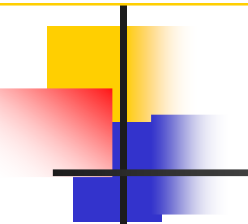
1. エネルギー自給率は約5%、原子力を含めても20%弱である。
2. 一次エネルギーの約50%を依存している原油の90%は、政治的に不安定で危険航路を通る中東諸国から輸入。
3. 島国であり、欧州のように天然ガスパイプラインや電力網で他国と繋がってない。更に9電力間の電力融通は50/60サイクル変換容量、連係ケーブル容量等から制限がある。
4. 国土の約70%が山地、平地は人口密度が高い。
太陽光発電は個人住宅や小規模メガソーラー。
風力発電は東日本、南九州等、山地や島嶼で建設・電線・保守困難。
発電不安定でバックアップの火力発電か蓄電池が必要。経済性は悪い。
5. 水力や地熱などの自然エネルギーに恵まれているが、大規模水力は既に開発し尽くしている。地熱は国立公園内で景観の問題、温泉業者との利害対立、公害などで開発は障害多い。
6. 火力発電や原子力発電は地震、台風、津波などの自然災害の脅威に曝される。また原子力は強固な岩盤の上に設置、広い敷地が必要等から消費地（砂州）から遠い過疎地に立地せざるを得ない。

世界第3位の経済大国でありながら、エネルギー最貧国である！

世界各国のエネルギー自給率(2008年)



原子力はなぜ準自給エネルギーでしょうか？



この講演の内容

1. 世界のエネルギー事情と我が国の状況
2. 基幹エネルギーの必要4条件と適合性
 - ・必要量を必要な時に確保
 - ・経済性(ライフサイクルコスト)
 - ・環境性(地球温暖化対策)
 - ・安全性(放射線被ばく、高レベル放射性廃棄物)
⇒福島事故は第4章で
3. 我が国の原子力建設の歴史、世界の動向
4. 東電福島第一事故の推移、原因、要因、対策
5. まと

社会の発展とエネルギーに必要な4条件

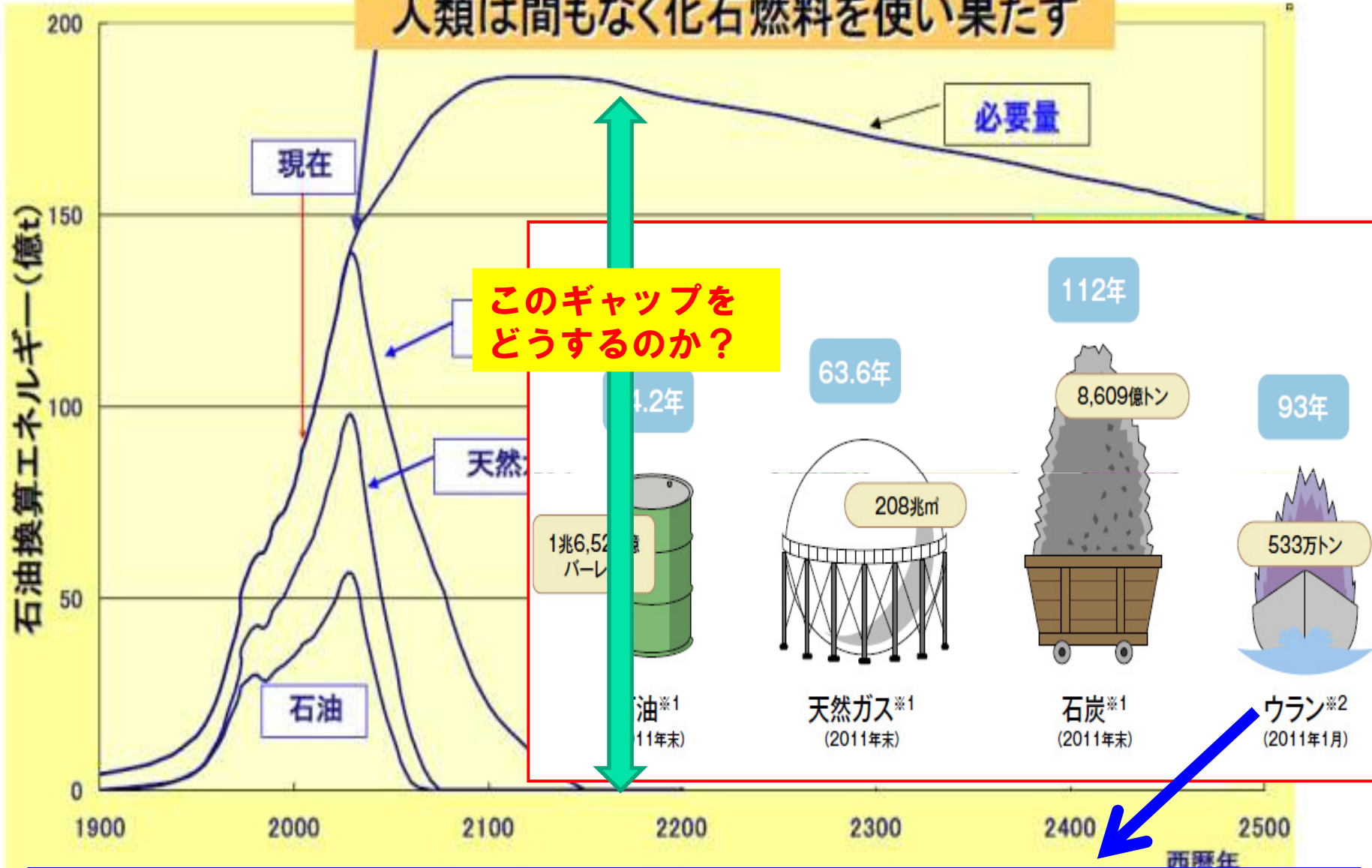
社会の発展は“3E＋安全”の同時実現



《基幹エネルギーに必要な4条件》

1. 量と質(必要な質の電力を必要な量、必要なときに確保できること)
2. 経済性(ライフサイクルコスト)が良いこと
3. 対環境性(大気・水質汚染防止、地球温暖化対策など)
4. 安全性(事故リスクの極小化、国民の健康を脅かさない)

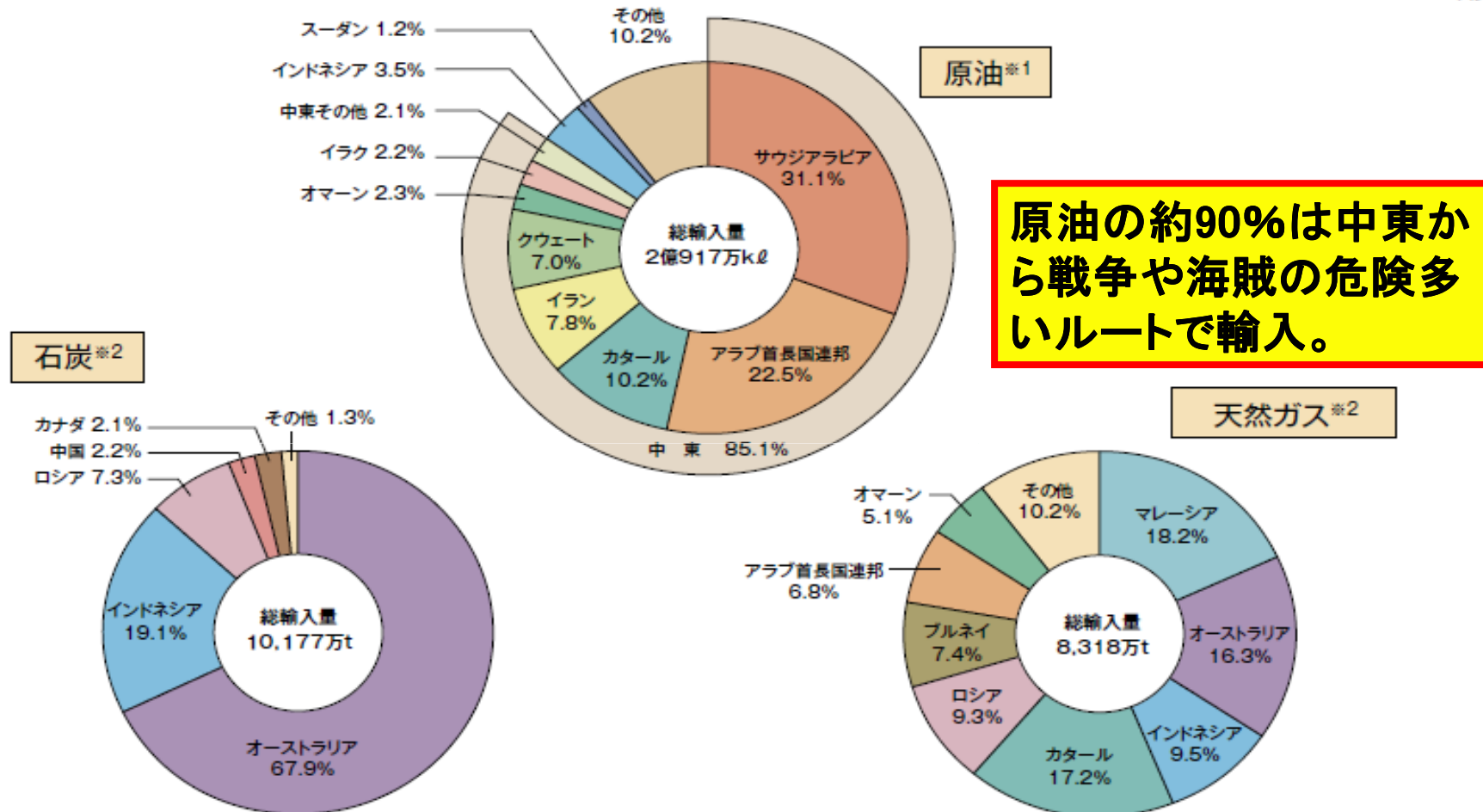
人類は間もなく化石燃料を使い果たす



使用済み燃料再処理でプルトニウム生産により燃料として2000年以上、
海水中ウラン(3mg/t)の回収が実用化するとほぼ無尽蔵となる可能性がある

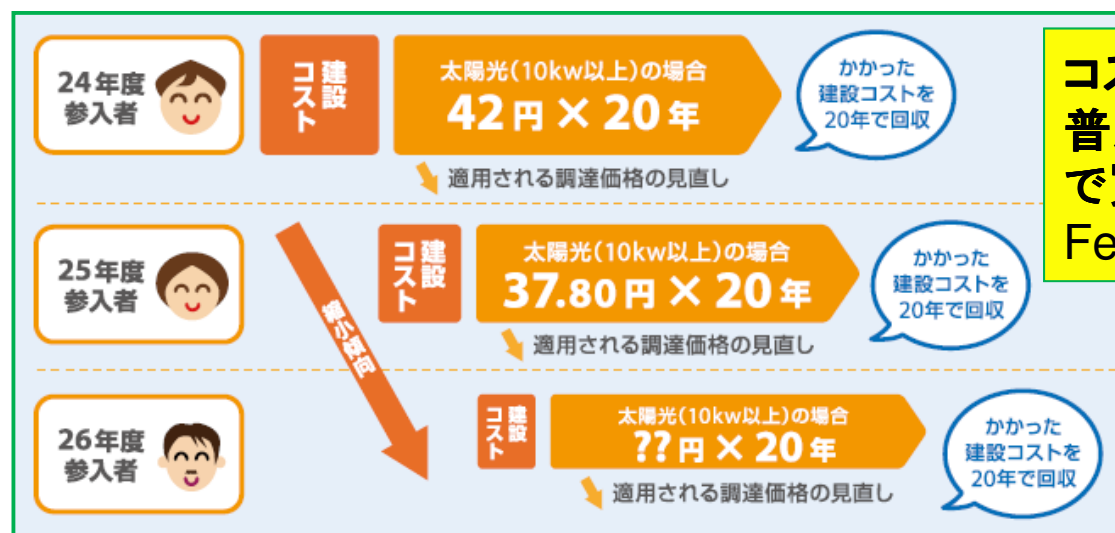
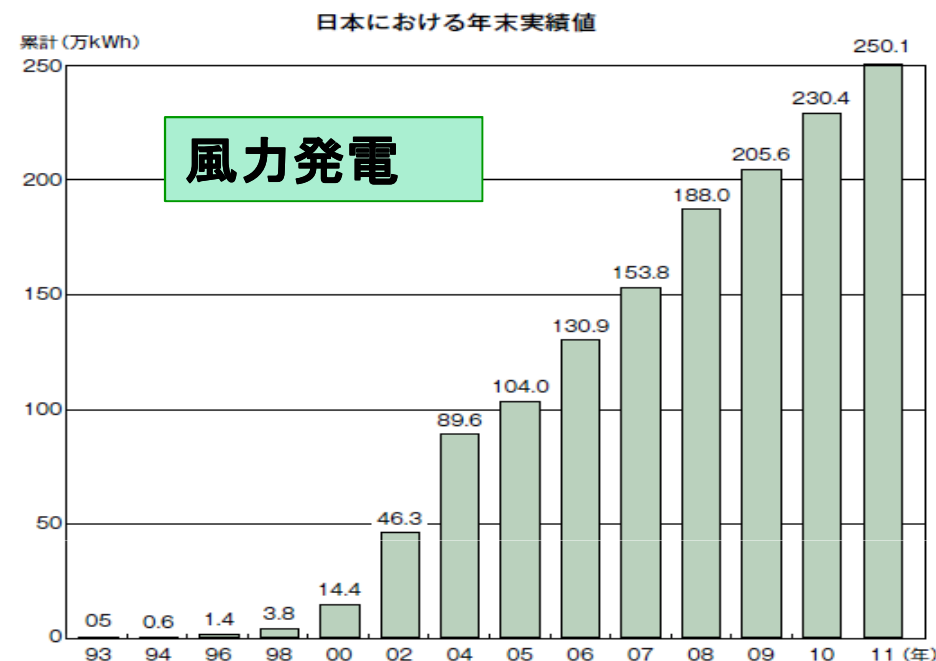
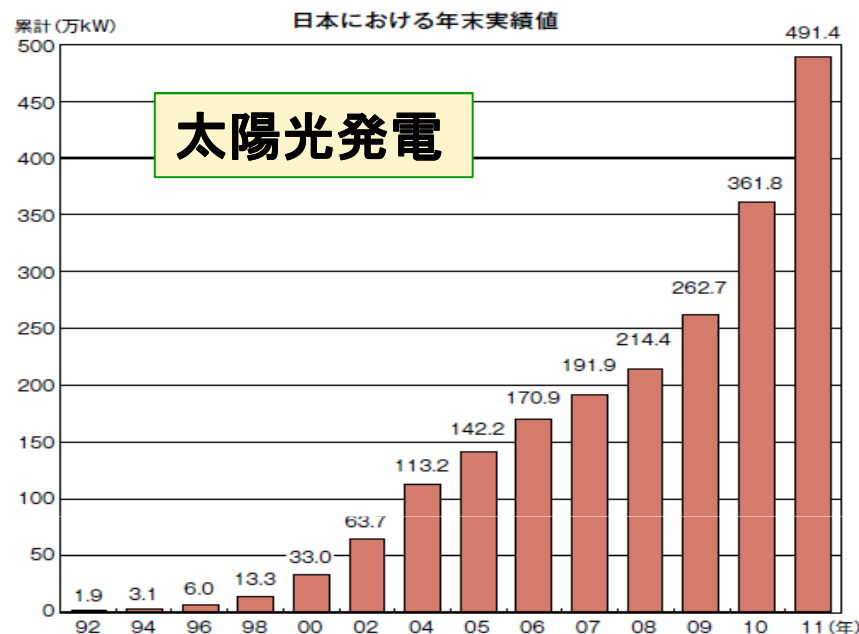
化石燃料の輸入先と国内備蓄量

2011年度実績



石油備蓄(2011年12月現在): 203日分、LPガス備蓄(同): 85日分
天然ガス(LNG): 2週間分、石炭: 約40日分

再生可能エネルギー実績と普及政策効果



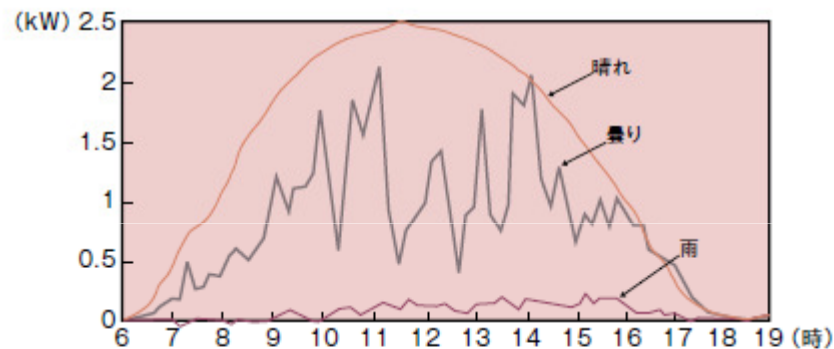
コストの高い再生可能エネルギーの普及を進める為に原価より高い価格で買い取る固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff) を24年7月開始。

24年度～25年5月末まで

- ◆太陽光は321.5万kW
- ◆風力は6.5万kW増加

太陽光も風力もお天気次第で発電量が変化

太陽光発電の出力変動(春季)



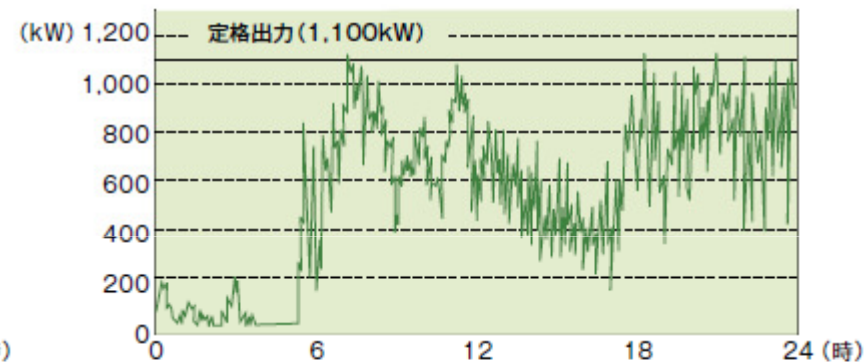
容量3.2kW、北緯34.4°、東経132.4°、方位角0(真南)、傾斜角30°の場合

年間稼働率=約12%

現在の年間発電量=851万kW×365
日×24h×0.12=89.5万kWh

約0.9%

風力発電の出力変動(冬季)



年間稼働率=約20%(場所による)

現在の年間発電量=266.5kW×365
日×24h×0.2=46.7万kWh

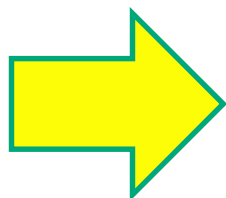
約0.5%

日本全体の年間発電量=約1兆kWh

再生可能エネルギー普及政策の初年度成果

狙い:

- (1) 国産エネルギーとして、エネルギー自給率をアップ
- (2) CO₂の排出が少なく、地球温暖化対策を推進
- (3) 日本の未来を支える産業を育成



効果評価(太陽光発電で評価):

- (1) 約0.2%自給率アップ
- (2) 約0.1%CO₂削減
- (3) 太陽光パネルの約8割は中国製

設備認定容量は2109万kW、うち1割しか導入されていない?、何故?

日本の現行制度は多くの不備があり、実態を把握して見直しが求められる。

水力、地熱発電、バイオの可能性

水力

- ・明治時代から全国各地の河川を開発、戦後間もなくまで基幹電源（水主火従）。
- ・現在1935箇所、2788万kWで電力の約9%を賄っている。
- ・今後は大規模水力に適した地点の開発はほぼ終了、中小規模の開発が中心。

地熱

全国18箇所、20プラント、
最大出力53.4万KWe、全
電力の0.3%、

固定価格買取制度
公園法等規制緩和
技術開発

経産省試算

2020年 120万kW
2030年 190万kW

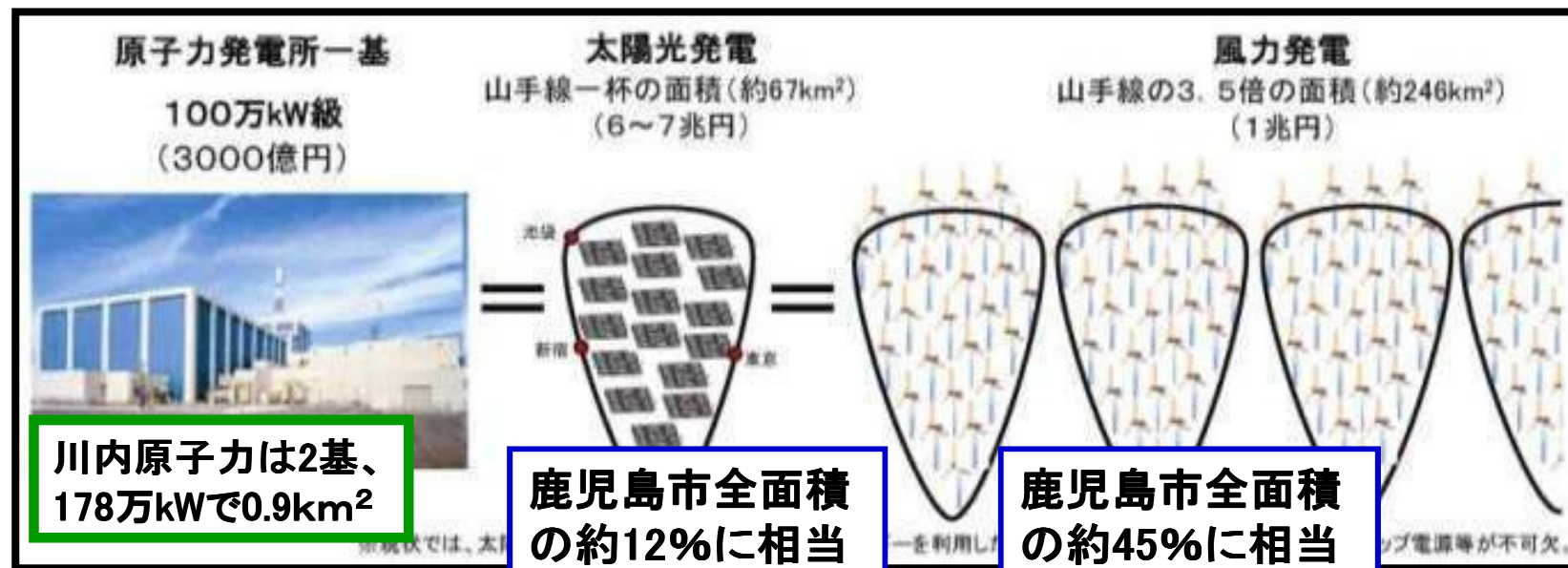
環境省H22年度
「シナリオ別導入可能量」
108～518万kW
(温泉発電を含む)

バイオマス

- ・2008年3月「改定京都議定書目標達成計画」で、2010年度に廃棄物・バイオマス発電（ごみ発電等）で449～586万kl導入拡大計画。
- ・現状はゴミ発電主体に230万kW
- ・今後は下水汚泥、家畜糞尿、未利用木材、一般木材などの利用を固定価格買取制度活用で推進。

原子力を太陽光や風力で代替した場合

発電に要する土地面積、設備投資額が原子力に比べ膨大



稼働率が悪く、出力が不安定である

太陽光は天候と時間の影響で平均12%程度しか発電できない
風力は風況に左右され平均20%程度しか発電できない

⇒電気を蓄えるか、バックアップの火力発電設備が必要

ドイツの脱原発政策策の実態

豊富な自国産石炭とロシアからの天然ガス、また隣国との電力融通で成立。原子力は17基中8基閉鎖、運転中9基は2022年までに閉鎖する政策だが、稼働率は90%超、うち6基の発電量は世界10位以内。

Wind 風力

Photovoltaik 太陽光

Biomasse und sonst. erneuerbare Energien
バイオマス、他再生可能エネルギー

Öl, Pumpspeicher und Sonst.
石油、揚水水力、その他

Erdgas 天然ガス

Steinkohle 無煙炭

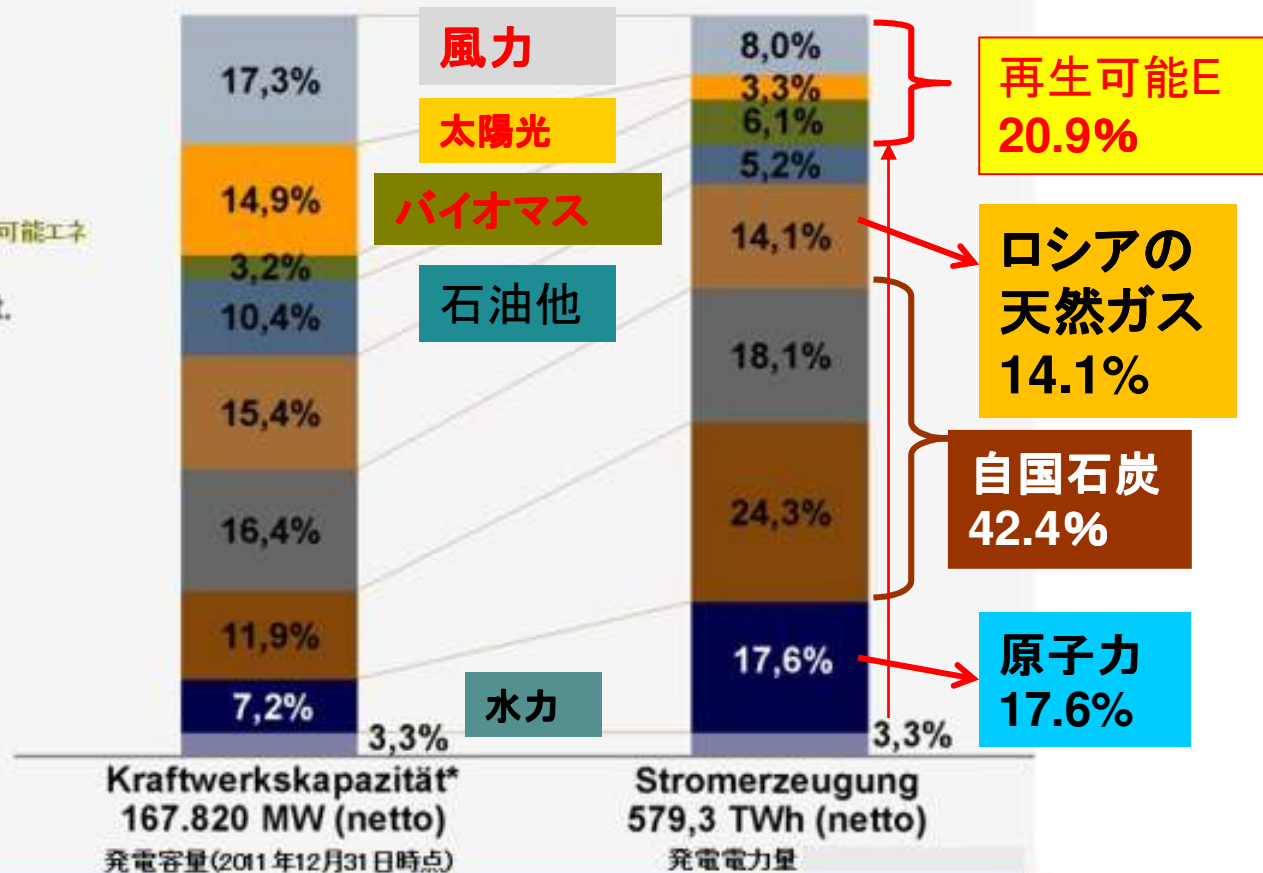
Braunkohle 褐炭

Kernenergie 原子力

Wasserkraft (ohne Psp.)
水力(揚水除く)

Quelle: BDEW, Stand 02/2012

BDEW Bundesverband der
Energie- und Wasserwirtschaft e.V.



日本とEUの電力系統構成の相違

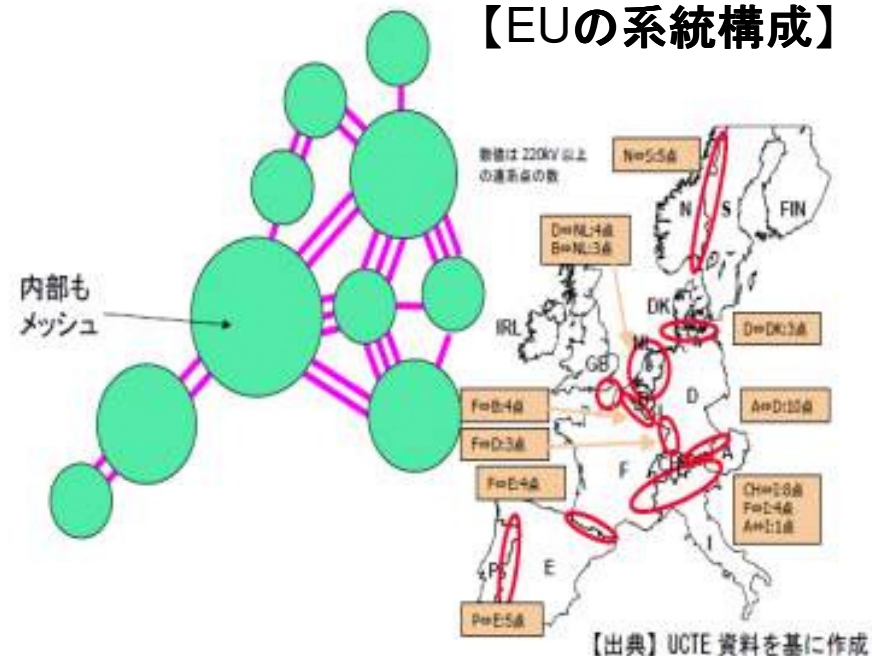
- 日本は隣国と繋がっていない。
- 日本は東西に串型の系統構成で、地域間連系線は交・直流1点連系を基本
- 9電力会社間の融通電力は非常に少ない。
(例) 東日本/西日本間は50Hz/60Hz変換は100万kW、北海道電力/東北電力: 60万kW
- 自然エネルギーの大量導入は容易ではない。

- 欧州はメッシュ型の系統構成で連携
- 各国間は複数の連系点がある(イタリアの場合、スイスと8点、フランスと4点で連系)。
- 自然エネルギーの大量導入も容易

【日本の系統構成】

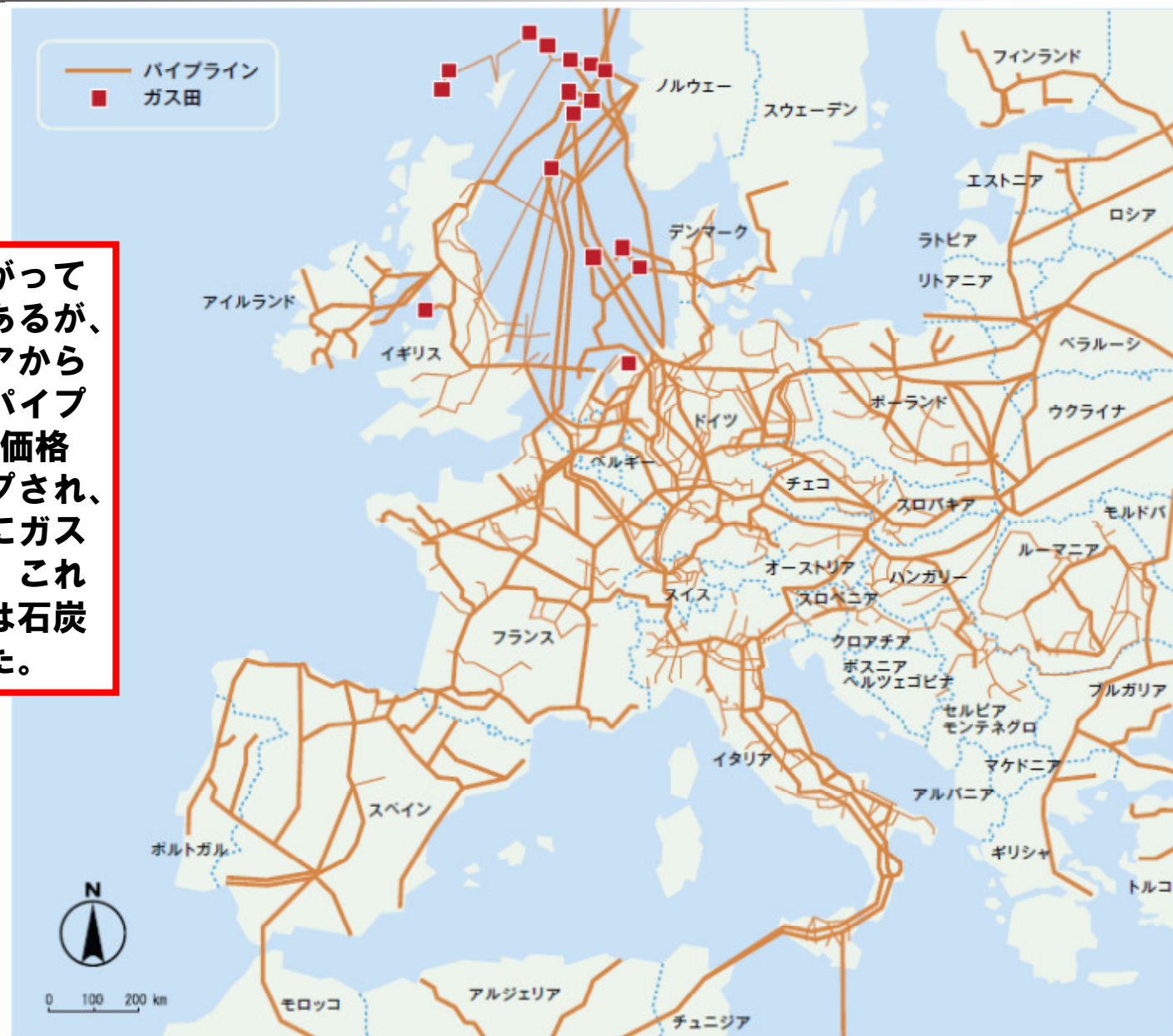


【EUの系統構成】



EUの天然ガスパイプライン網

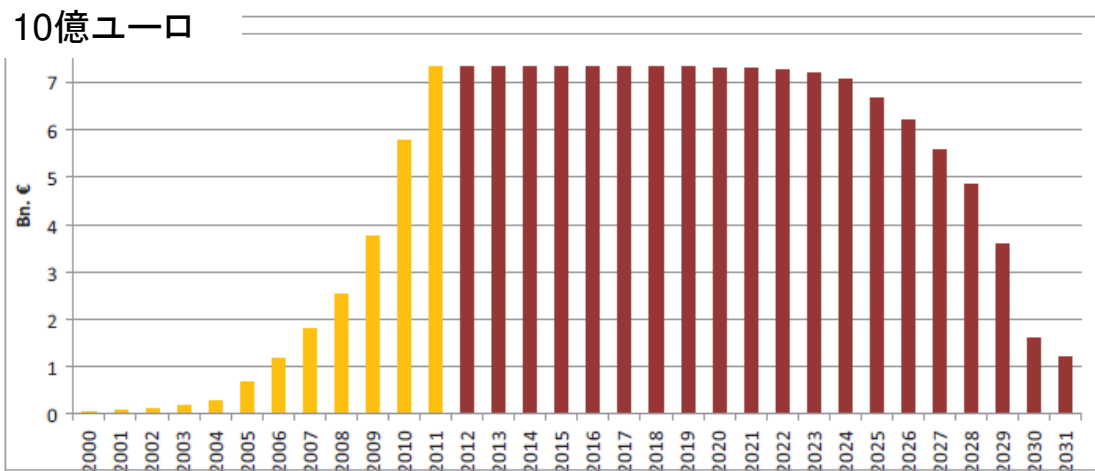
パイプラインで繋がっているのは強みではあるが、弱みもある。ロシアからウクライナ経由のパイプラインが2009年1月に価格問題で一時ストップされ、ドイツなどEU諸国にガスショックを与えた。これを反省し、ドイツは石炭火力発電を増設した。



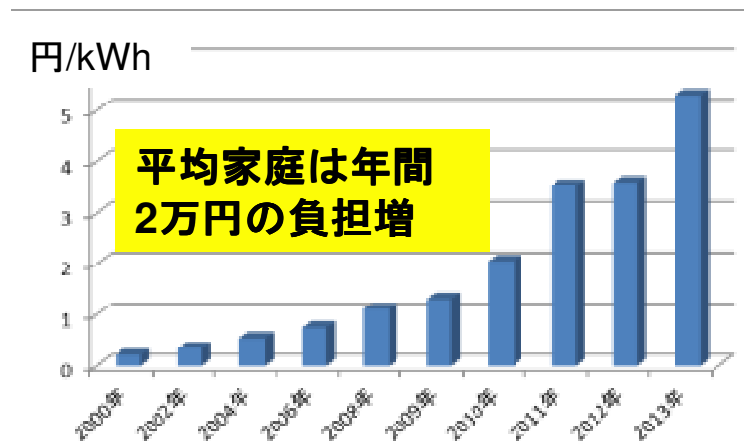
ドイツの再生可能エネルギー政策の実態

- ・固定価格買取制度(FIT)を2000年から導入、太陽光の超過負担額は年間約70億ユーロ(2011年約7000億円)、今止めても将来20年間負担が続く。電気代は13年間で2倍に。
 - ・政府は2012年4月に太陽光発電買取価格を20%(以降毎年12%づつ)引き下げ、10,000kW以上のメガソーラーを買取対象から外した。
 - ・過去世界一の生産量を誇っていたドイツの太陽電池メーカーQセルズ社が安い中国製に席巻され2012年4月に破産、他にも中堅5社が破産。
 - ・陸上風力はほぼ飽和。洋上風力に期待、北部から南部消費地への3800km送電線建設計画は住民反対運動などで90km程度しか実現しておらず、風力拡大の最大のネック。
- ⇒ドイツの再生可能エネルギー政策は今後維持か、限界かの分岐点にある。

ドイツ太陽光による超過負担額(年間)



再生可能エネルギー全体による超過料金(kWh当たり)

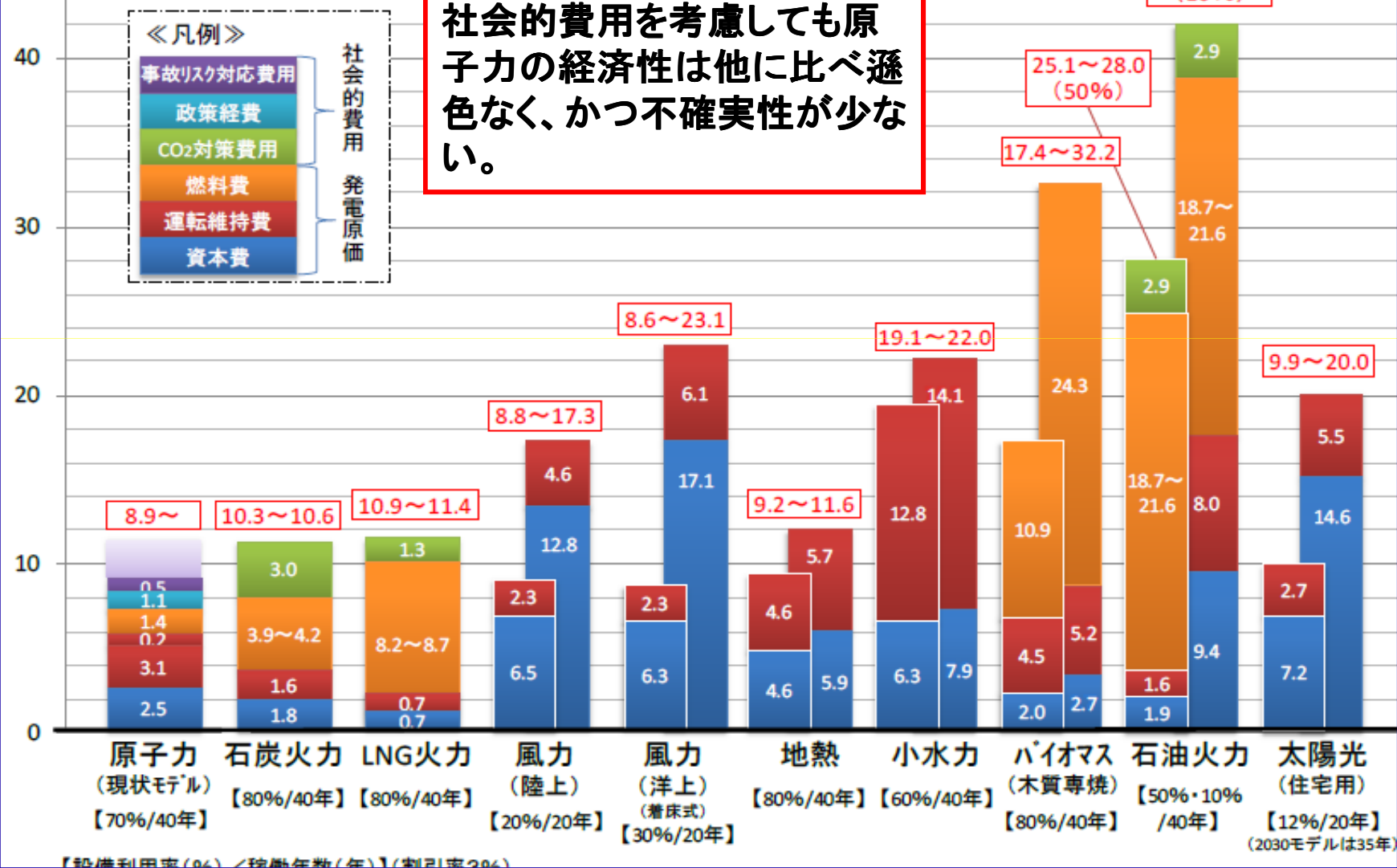


条件2. 経済性(ライフサイクルコスト)が良いこと

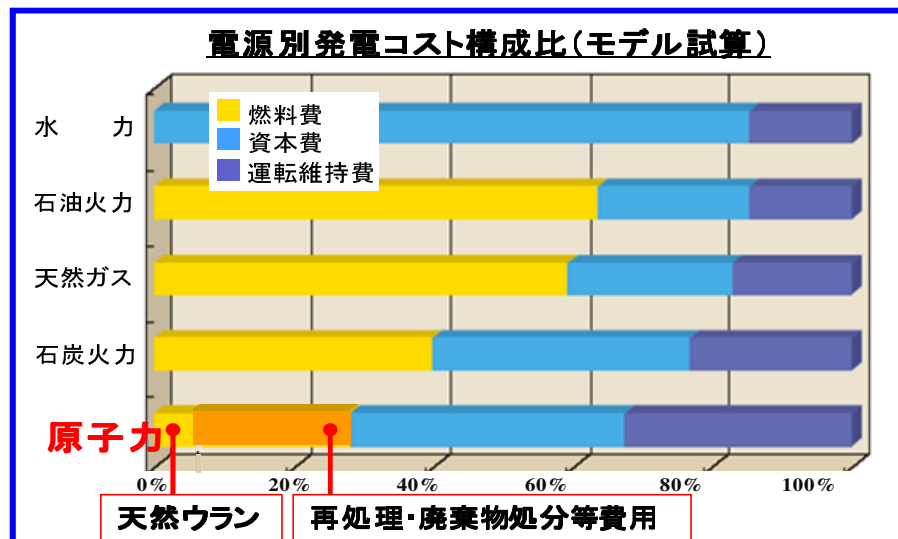
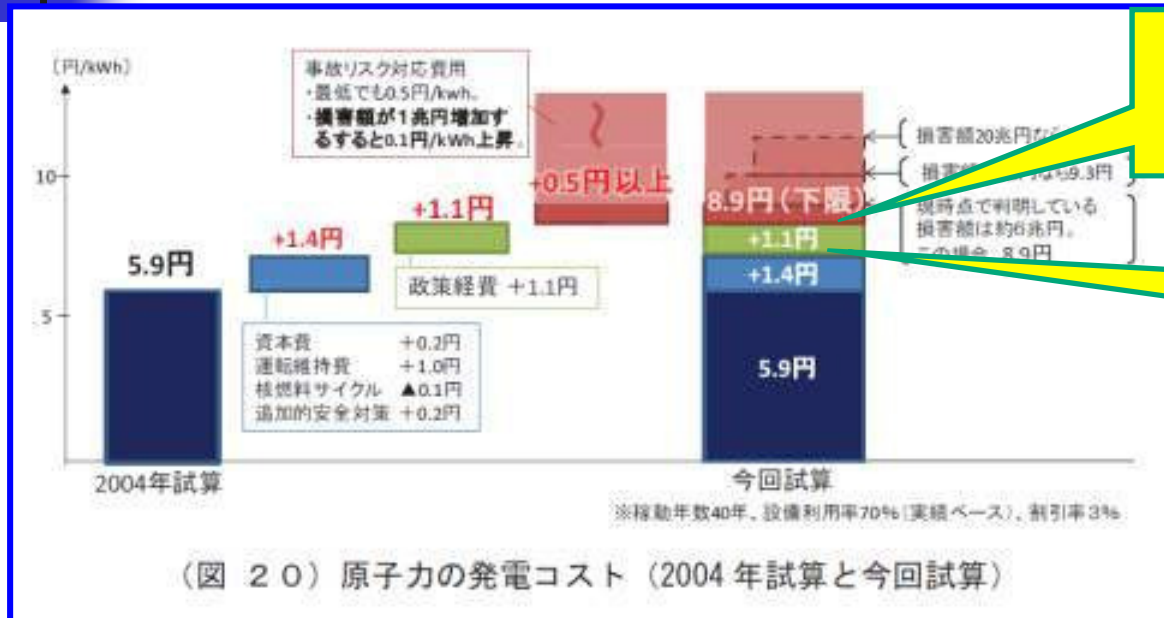
各種電源の発電コスト比較

(2011年12月コスト等検討委員会)

〔円/kWh〕



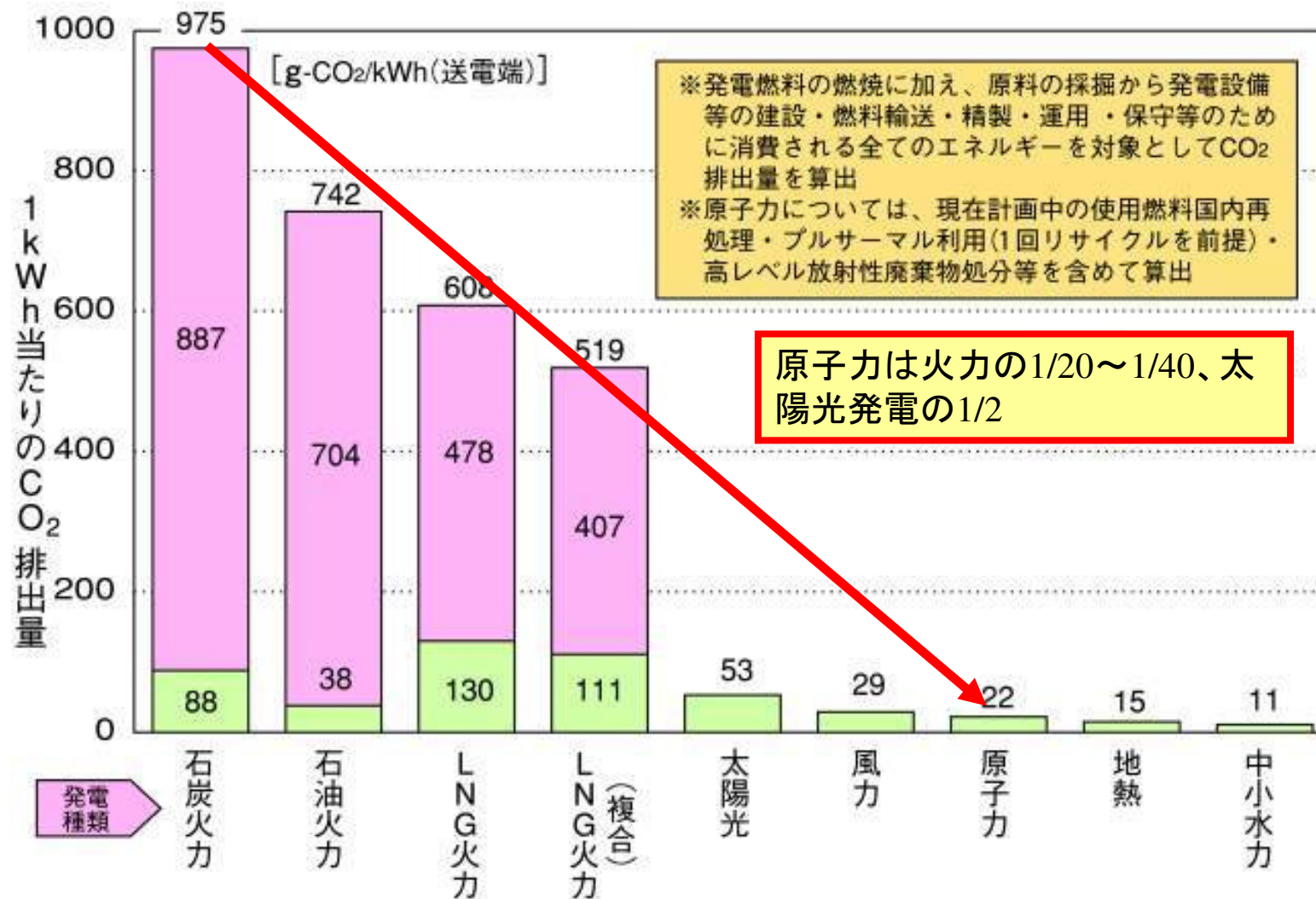
原子力発電コストと燃料費の割合



原子力発電は設備費は高いが、燃料費はコストの10%以下
 火力発電は設備費は安いが燃料費の割合が大きい。
 燃料資源は石油、天然ガスだけでなく、ウラン鉱石代も高騰しているが、その影響は火力発電より小さい。

3. 対環境性(大気・水質汚染防止、地球温暖化対策など)

各エネルギーのCO₂排出量比較



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

【出典:電力中央研究所報告書 他】

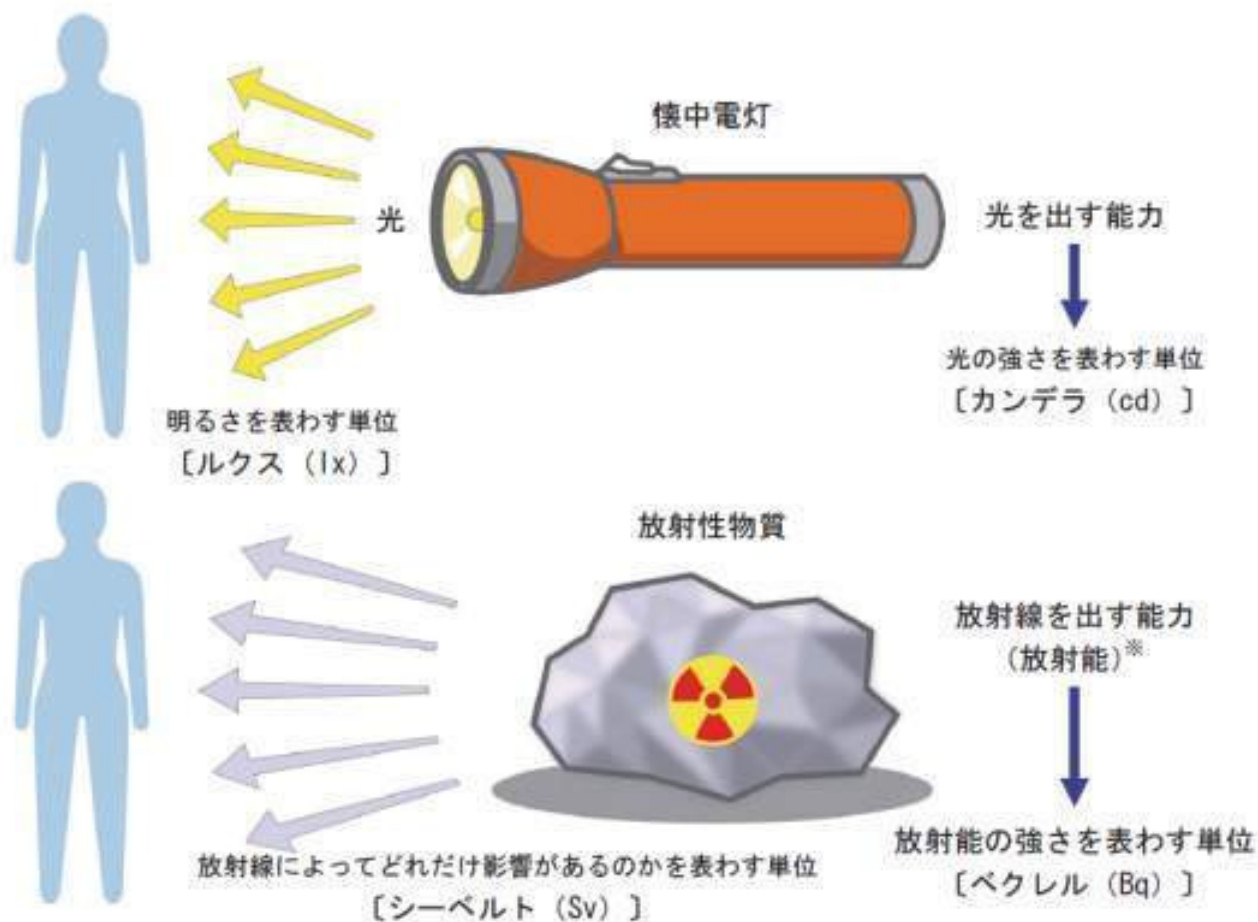
条件4. 安全性(事故リスクの極小化、国民の健康)

放射線、放射性物質、放射能の違い

<放射線>

<放射性物質>

<放射能>



(注)シーベルト(Sv)という単位は人間が放射線を受けた時の影響を表すもの
ベクレル(Bq)は放射性物質から発生する放射能の強さを表すもの。

自然放射線と低線量被ばく

■放射線は自然界に満ちている



宇宙から 0.4mSv
空気中から 1.2mSv
食べ物から 0.3mSv
大地から 0.5mSv
合 計 2.4mSv/年

■ブラジルやイランなどでは岩石や地質などの影響で10ミリシーベルト以上浴びている。



世界の高自然放射線地域における大地放射線量(mSv/y)

地域	平均値	最高値
ラムサール(イラン)	10.2	260
ガラバリ(ブラジル)	5.5	35
ケララ(インド)	3.8	35
陽江(中国)	3.5	5.4
香港(中国)	0.67	1.0

■人間の体内にも放射能がある

土壌中のカリウムや炭素などの極微量の放射性同位元素が野菜、穀物、魚、肉などに含まれ、体内に取り込まれ**一人平均約7,000ベクレルの放射能**が体内に。

■放射線被ばくの人体影響は100mSv以下では他と区別がつかない。

- ✓ 広島、長崎の原爆被爆者やチェルノブイリ事故被ばく者の追跡結果から、**“年間100mSv以下の放射線被ばくでは健康被害の報告は無い”**、**“100mSvの被ばくで癌に罹る確率は野菜摂取不足や塩分の取り過ぎと同等”**、**“(被ばく線量に関係なく)遺伝的影響は無い”**。

条件4. 安全性(事故リスクの極小化、国民の健康)

高レベル放射性廃棄物とは

新燃料

(U235:4.5%、U238:残り)

原子炉で核分裂

使用済み燃料

(核分裂生成物:4.7%、U235:1.1%、Pu239:1%、U238:残り)

再処理

フランス、日本
など

Pu239

U235,238

核分裂生成物

MOX燃料

《原子燃料リサイクル》

高レベル放射性廃棄物

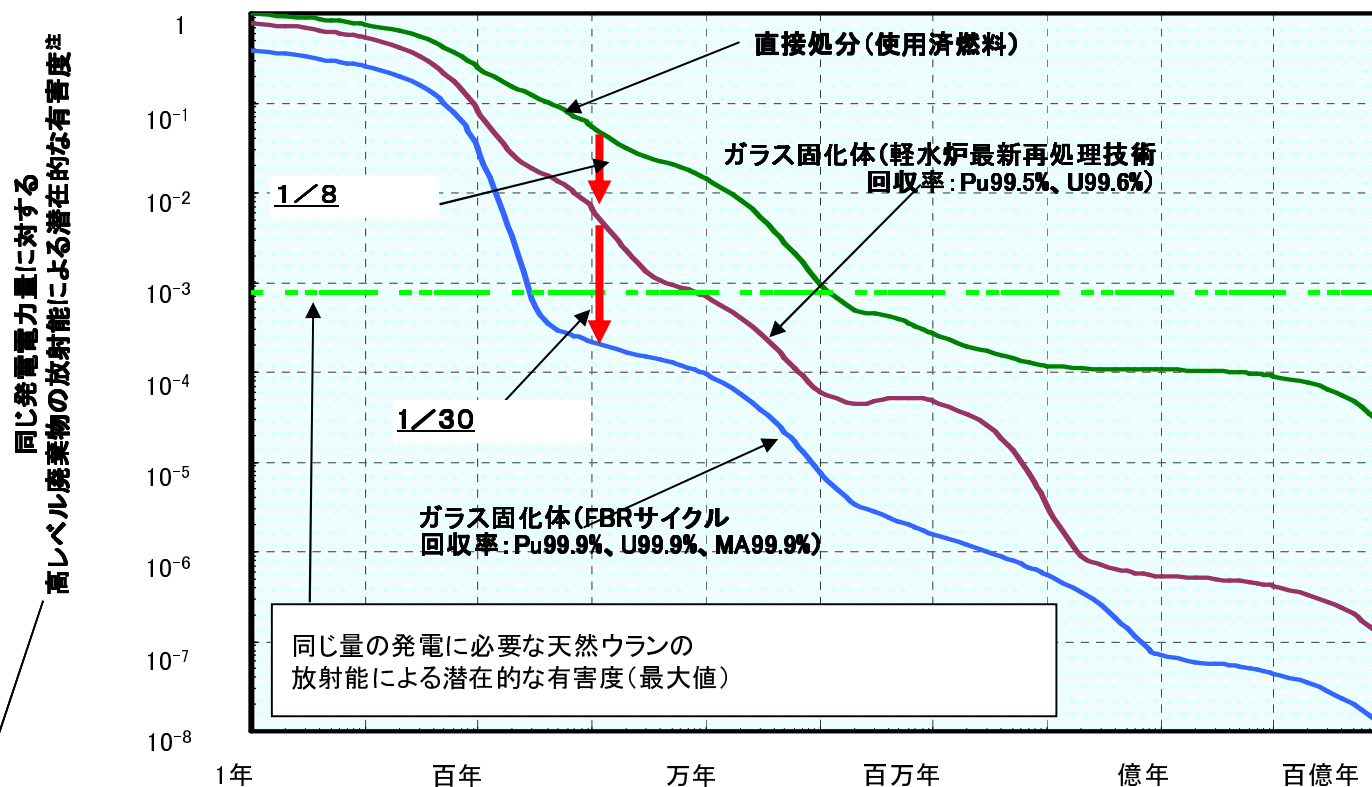
《深地層処分》

フィンランド、
スウェーデン、
米国など

高レベル放射性廃棄物の有害度減少効果

処分される放射能の潜在的有害度は、使用済み燃料を再処理しガラス固化体にすれば減ずる。FBRへ移行すると、その効果はさらに大きくなりうる。

(新計画策定会議(第9回)資料第13号
「核燃料サイクル諸量の分析について(改訂版)」より)



注 高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁を考慮していない潜在的有害度を示している。使用済み燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。

高レベル放射性廃棄物の処分方法

少なくとも数万年以上という長い期間を考慮した対策が必要

人間による監視



長期管理貯蔵

超長期には困難

分離変換技術により

数百年の可能性

有用金属を分離し、原子炉や加速器で核変換させて消滅処理

研究開発に数十年
全量消滅は困難



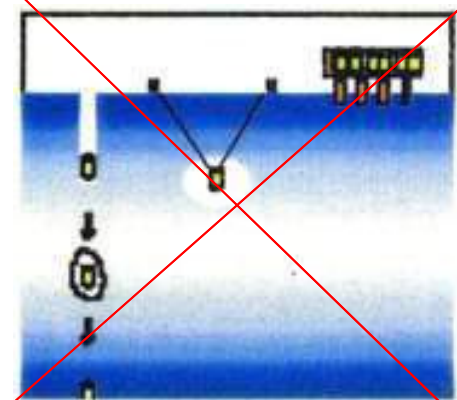
処分（永久隔離）

宇宙空間



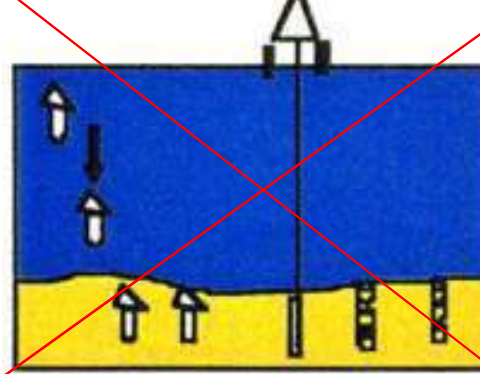
技術的安全性・経済性が課題

極地の氷床



ロンドン条約により禁止
氷床特性の解明が不十分

海洋底下



ロンドン条約により禁止

地層中



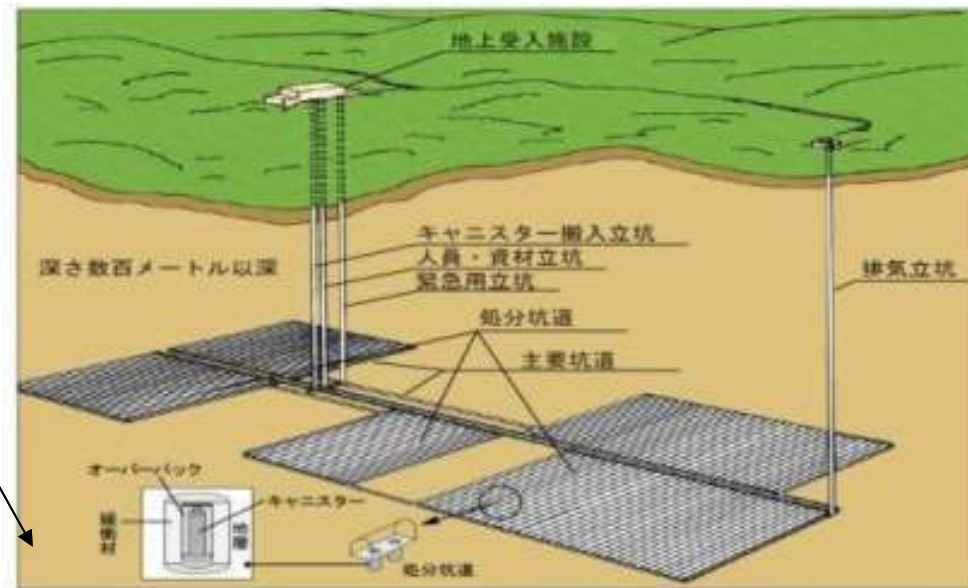
他の方法に比べて最も問題点が少なく実現可能性が高い

地層処分場の概念

高レベル廃棄物をガラス化し、まず約50年地上保管冷却後、オーバーパック、緩衝材（人工バリア）で覆い、地下に半永久貯蔵

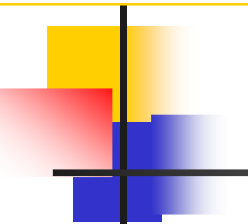


直径43cm、高さ134cm、重量約500kg⇒2020年に約4万本



約40年間分の高レベル廃棄物を貯蔵するに必要な敷地規模(地下:約3km×約2km)

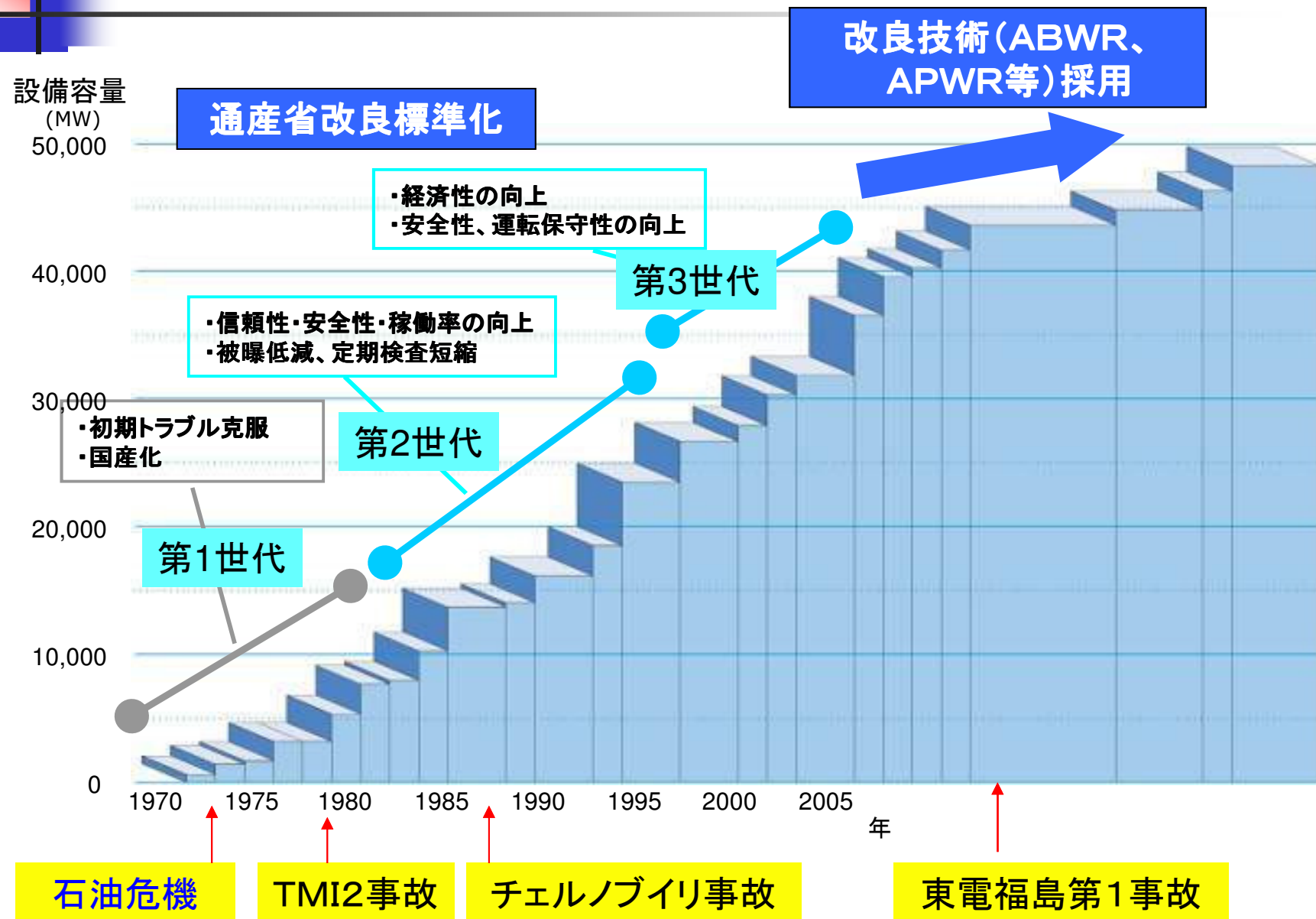
欧州各国では当初激しい反対運動が起き、その反省から市民との対話を積み重ねて、自分達の問題であると認識して立地が進んだ。わが国もこれに学ぶ必要がある。



この講演の内容

1. 世界のエネルギー事情と我が国の状況
2. 基幹エネルギーの必要条件と適合性
3. 我が国の原子力建設の歴史、世界の動向
 - ・我が国の軽水炉改良標準化30年の歩みと功罪
 - ・世界の原子力建設の歴史、動向、メーカー、世代交代
4. 東電福島第一事故の推移、原因、要因、対策
5. まとめ

軽水炉技術向上の推移と原子力発電設備容量の増加



軽水炉改良標準化の歩み（PWRの場合）

以降はPWRを例にお話しますが、BWRの場合もほぼ同様です。

【第1世代】**輸入と国産化**

- 米国Westinghouse社より初号機輸入、2号機以降技術導入、SW,HW国産化
- 初期トラブル多発：蒸気発生器(SG)、炉内構造物(CI)、燃料等に材料腐食、減肉、磨耗、流動振動等。原因究明、研究開発、再発防止対策
- 機器の国産化：原子炉容器、SG、制御棒駆動装置、一次冷却材ポンプ、CI、燃料集合体⇒約10年かけて玄海2号機で100%国産化

【第2世代】**建設経験、運転経験の反映、信頼性の向上**

- SG、CI、燃料等主要機器の設計・材料・構造など改良し信頼性向上⇒第1世代にもバックフィット
- 保守性、運転操作性、耐震性、機器品質向上、建設性、被ばく低減

【第3世代】**経済性、信頼性・安全性の更なる向上**

- SG、インコネル合金溶接部などに経年劣化トラブル発生、原因究明、研究開発、再発防止対策⇒第1、2世代にもバックフィット
- 安全性、経済性、設計合理化、耐震性、運転操作性

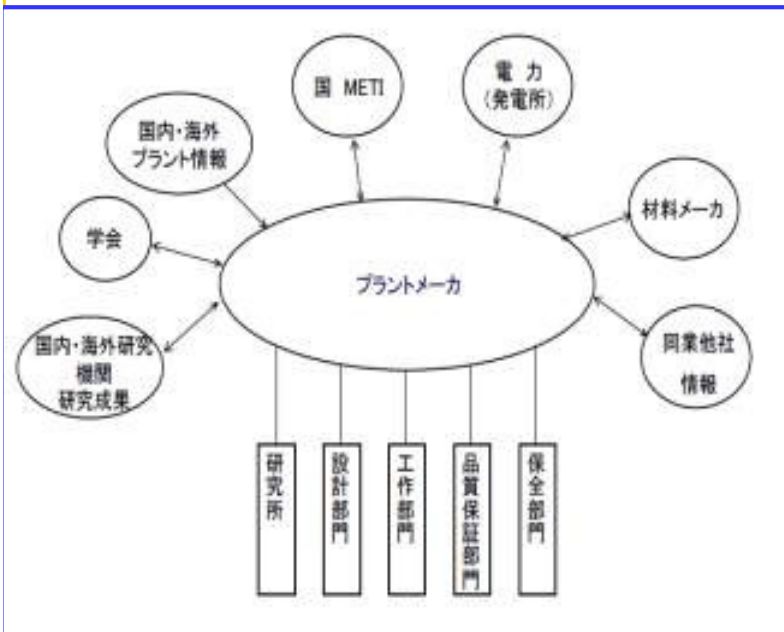
【APWR】**日本型軽水炉集大成**

- 出力増大、安全性、信頼性、経済性など日本型PWR集大成⇒泊3号機に反映（H21年12月運転開始、最新鋭原子力）

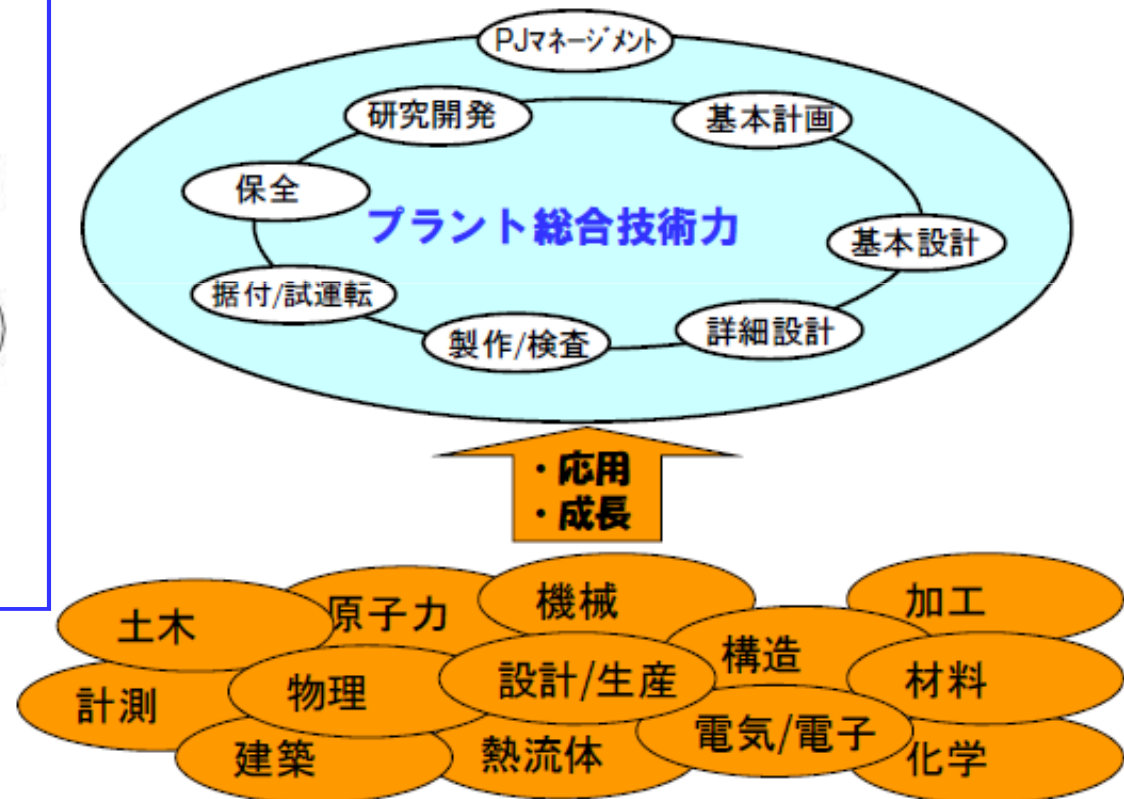
原子力プラントを支える技術体制

運転保守管理は電力会社の
技術責任の範囲

原子力プラントの炉心設計、システム設計、安全評価解析、機器設備設計製造はメーカーの
技術責任の範囲



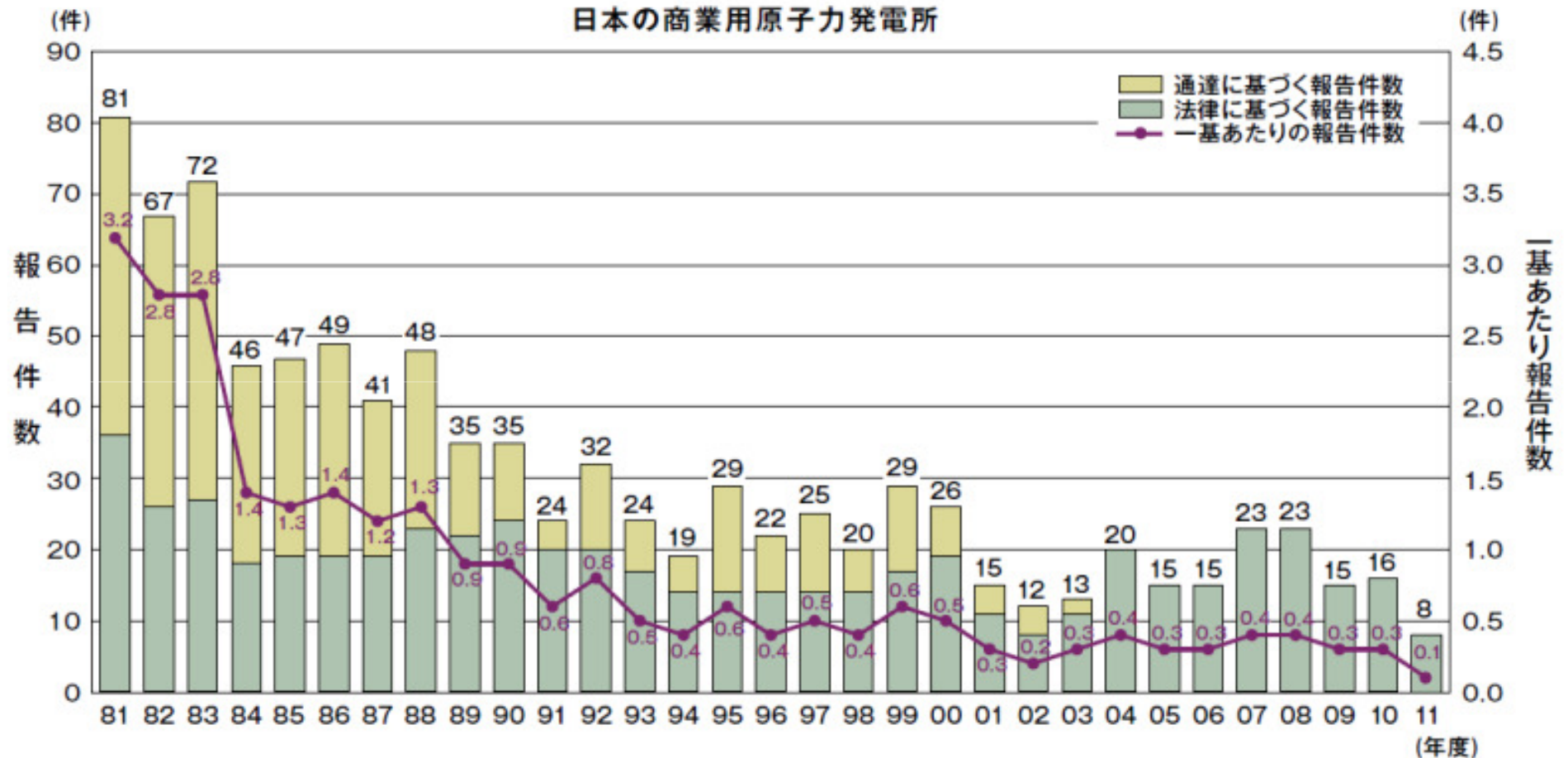
3-5-13



ほぼ全ての工学分野の技術
者、技術力を保有

3-5-14

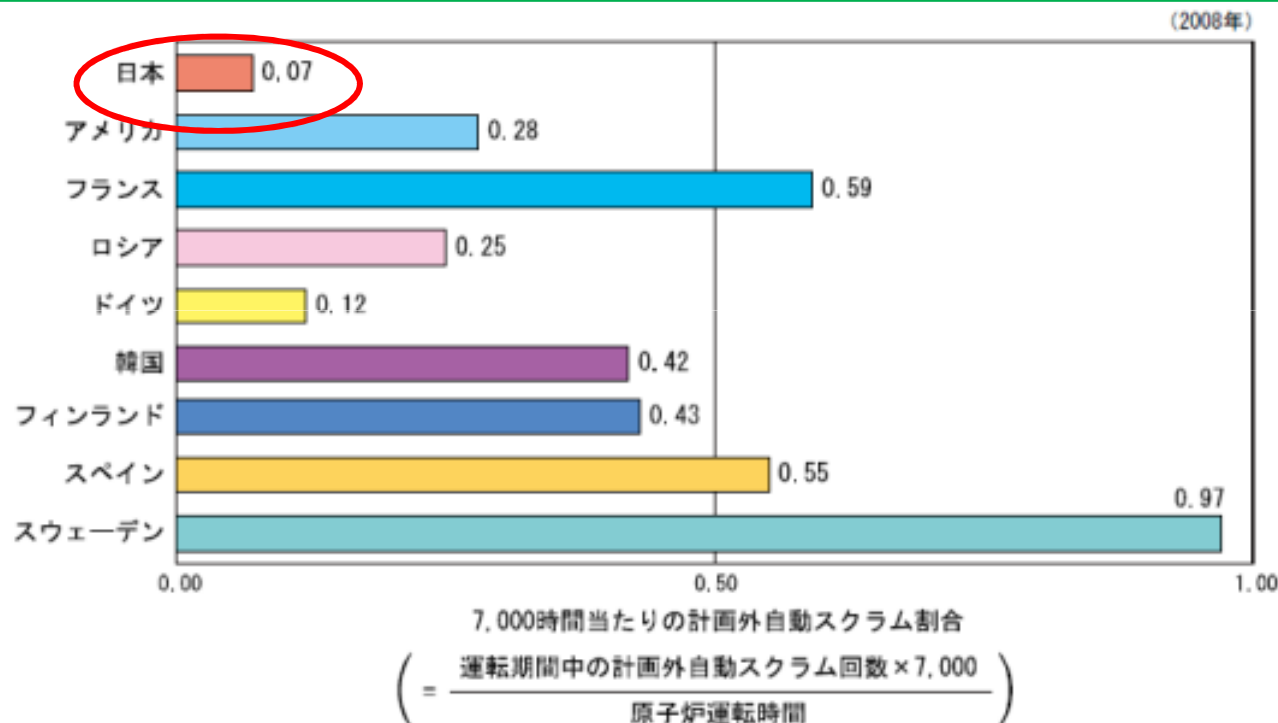
原子力発電所のトラブル発生件数は減少



- トラブルの件数は、プラント基数・運転年数の増加にも拘らず減少
- 徹底した原因究明と対策の反映、きめ細かな予防保全対策の成果

わが国の原子力発電所の計画外停止は世界一少ない

1960年代からの国産化導入の過程での設備信頼性向上の努力により、故障が少なく計画外停止が世界一少ない。従って内部事象による事故発生を未然に防止し、安全性向上に繋がる。⇒日本の技術力、高品質、高信頼性

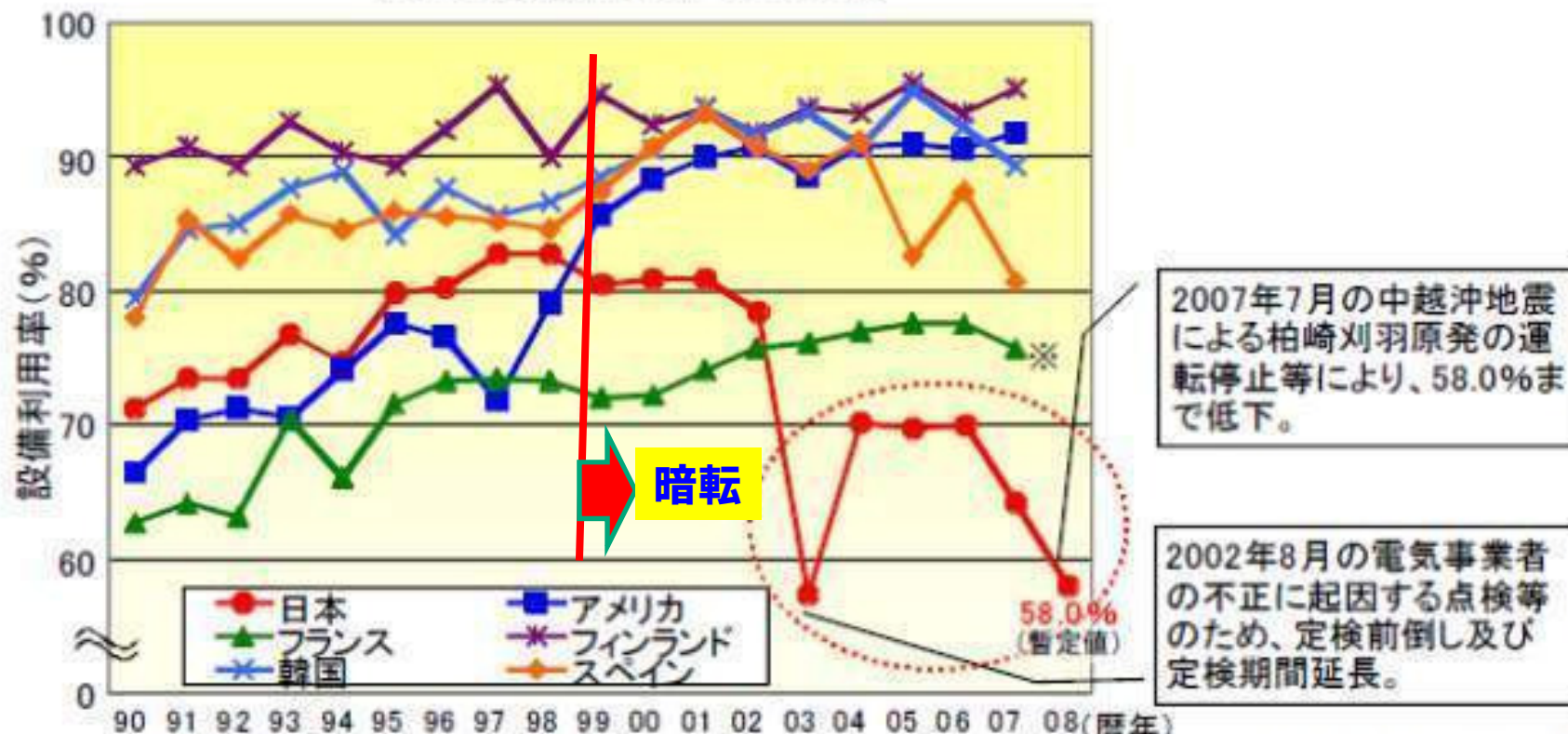


1990年代にわが国の原子力発電所は設備信頼性、電源信頼性共に高く、耐震性もより強化し、十分な安全性を確保していると自信を持った。

⇒1990年以降、“慢心”してしまった。

1990年代後半には設備利用率80%超、その後急落

世界の設備利用率との比較



○我が国の原子力発電所の設備利用率は、**設備信頼性向上の努力**により改善。

1990年代後半には80%台を達成。米国より調査団も来日。

○2002年東電問題、2004年美浜3号機人身事故、2007年中越沖地震等により、**不祥事や国の規制強化の負のスパイラル**により設備利用率は急降下。

○米国、韓国などは規制当局と事業者の良好な信頼関係で90%超。

世界の原子力発電開発の歴史的変遷

1953年国連でのアイゼンハワー大統領のAtoms for Peace宣言により、原子力平和利用開始、1970年代にかけ先進国で原子力発電開発、建設ラッシュ。



1979年TMIや**1986年チェルノブイリ事故**のあと、安価で豊富な石油に頼り、欧米では原子力発電建設が途絶えた。



21世紀に入り、化石燃料高騰、エネルギー安全保障、原子力発電の信頼性・経済性向上、地球温暖化対策を背景に原子力復活
＜原子カルネッサンス＞

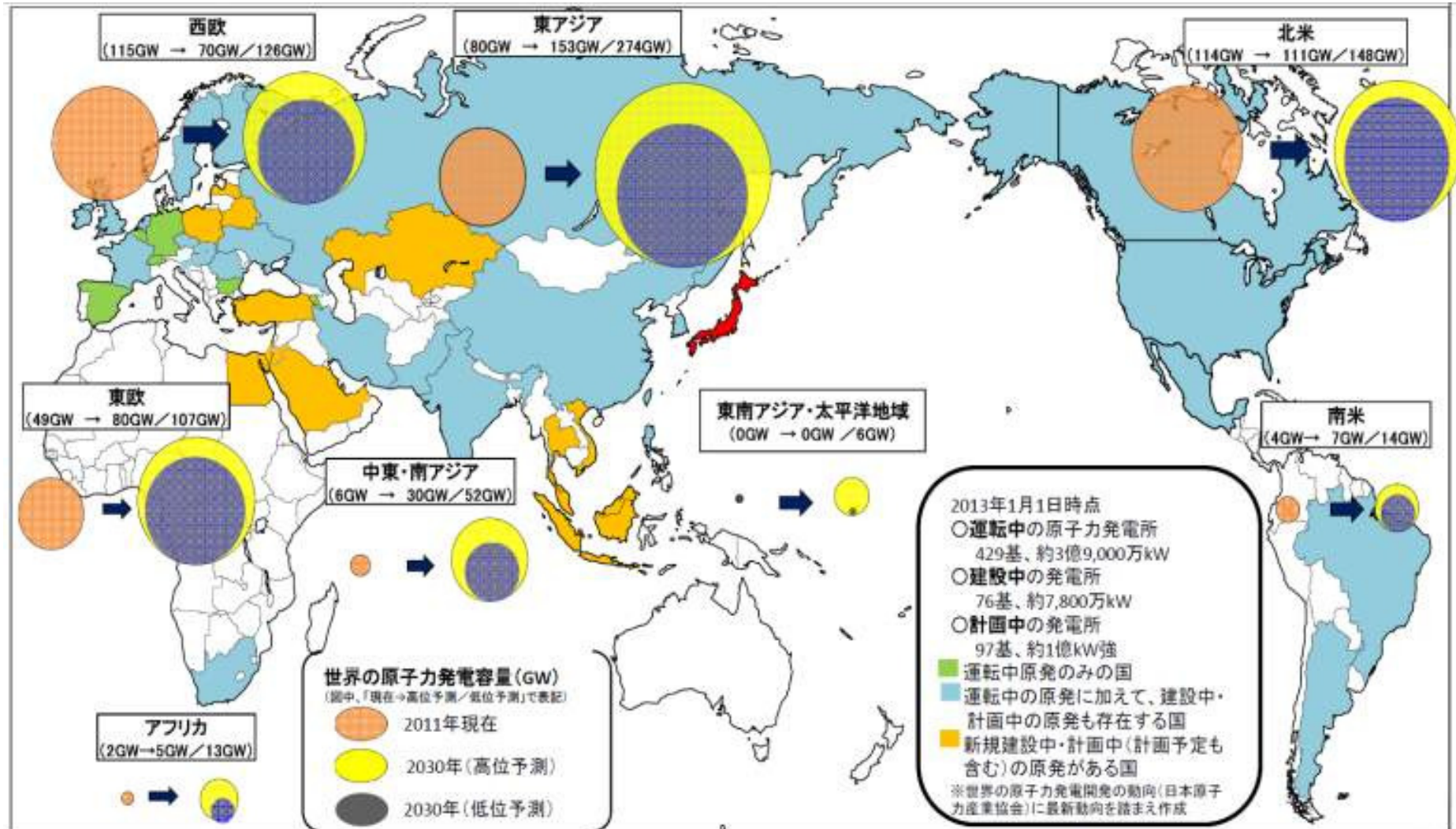


2011.3.11.東電福島事故後、脱原子力に政策変更した国は欧州30カ国のうちのドイツ、スイス等4カ国のみで、その他の世界の国々は安全性確保に留意しながらも原子力推進政策継続。



世界の原子力発電所の現状と2030年の予測

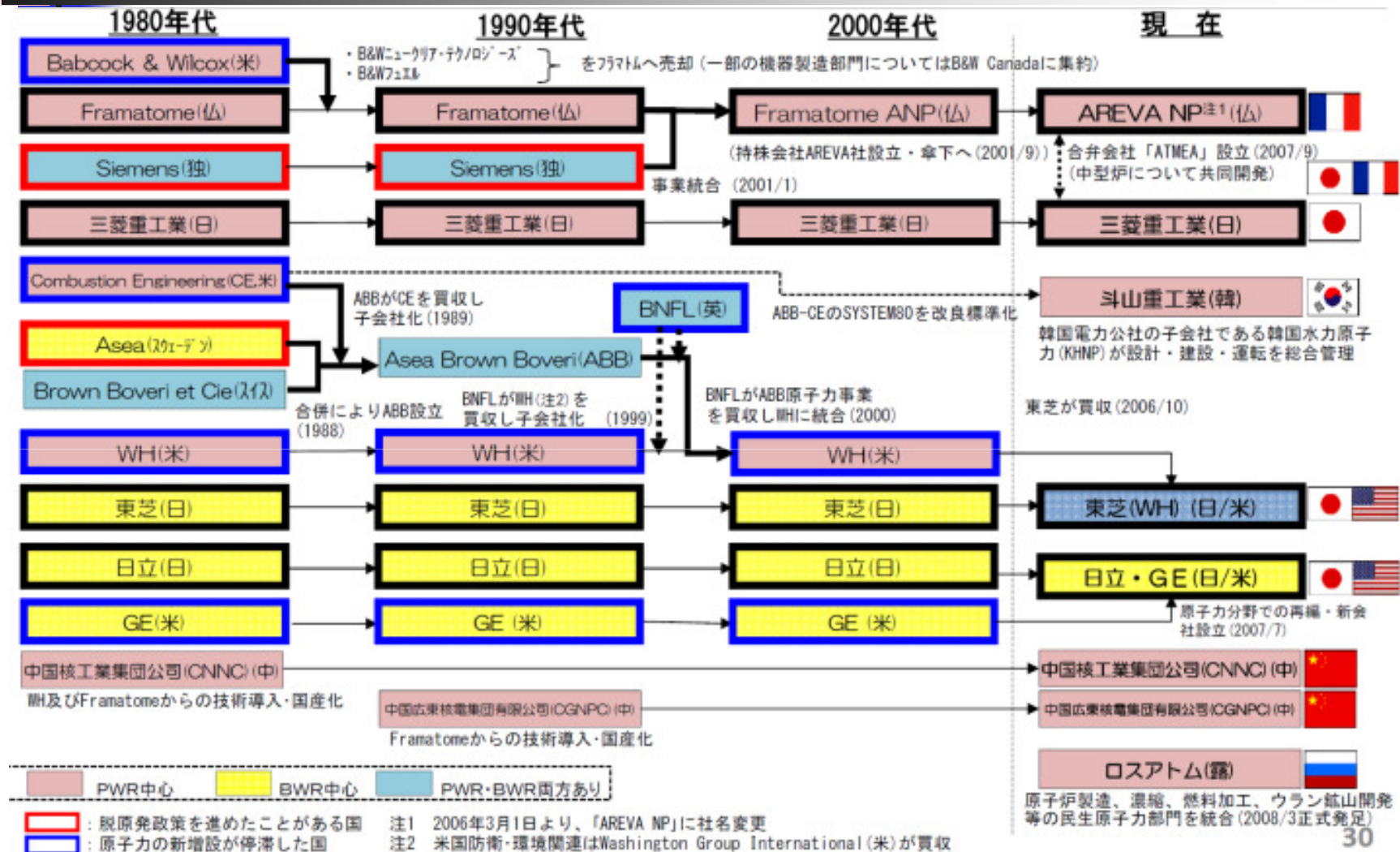
現在429基運転中、2030年には25～100%増加すると予測



(出典)原子力発電容量(GW※)は、IAEAの予測(2012年9月)。※1GW=100万kW 基数は、1基100万kWと仮定して資源エネルギー庁で推計

26

原子力プラントメーカーの変遷



H23年12月、露、韓国、ヨルダン、ベトナムとの原子力協定が国会承認。H25年5月トルコ、UAEと協定調印、インド、南アフリカとも交渉中。更にモンゴル、ブラジル、メキシコ、マレーシア、タイとも交渉準備中。

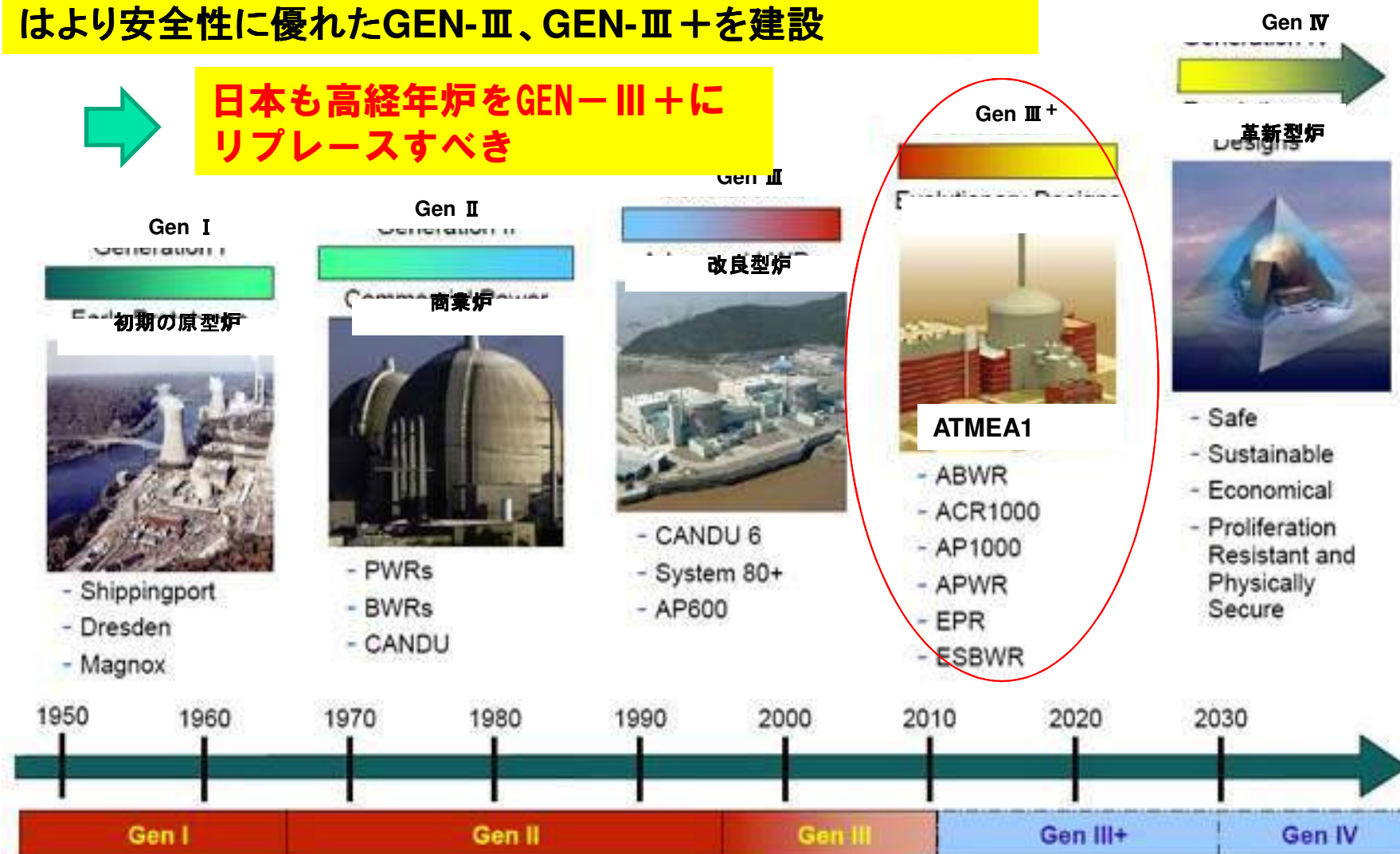
25年8月総合エネルギー調査会基本政策分科会資料より

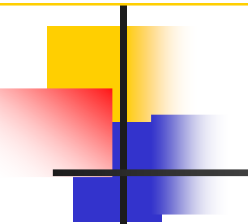
次世代の原子力発電の開発状況

現在運転中の原子炉は大部分GEN- II であり、世界では今後はより安全性に優れたGEN-III、GEN-III+を建設



日本も高経年炉をGEN-III+にリプレースすべき





この講演の内容

1. 世界のエネルギー事情と我が国の状況
2. 基幹エネルギーの必要条件と適合性
3. 我が国の原子力建設の歴史、世界の動向
4. 東電福島第一事故の推移、原因、要因、対策
 - ・事故の経緯をまず技術的に理解
 - ・次に事故の原因、要因、そして対策
 - ・安全に停止した10の発電所
 - ・海外に学ぶ
 - ・「深層防護」とは
5. まとめ

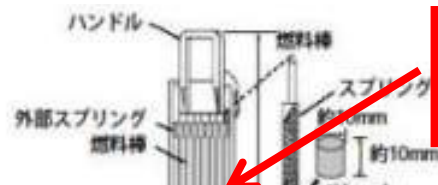
止める

~~冷やす~~

核分裂が止まっても、崩壊熱による発熱を冷却しなければならない。発熱量は停止直後は約7%、徐々に少なくなる。

崩壊熱とは核分裂して出来た不安定な核が安定になる(30℃)時に発熱するもの。

しかし非常用電源が止まってしまった為に冷却に必要なポンプが止まり、冷却出来なくなってしまった。



燃料の温度が急上昇

燃料被覆管の材料であるジルコニウムが水と化学反応して水素発生



ペレット1個で1家庭の約8ヶ月分の電力量(石油1ラム缶(200L)約3缶)

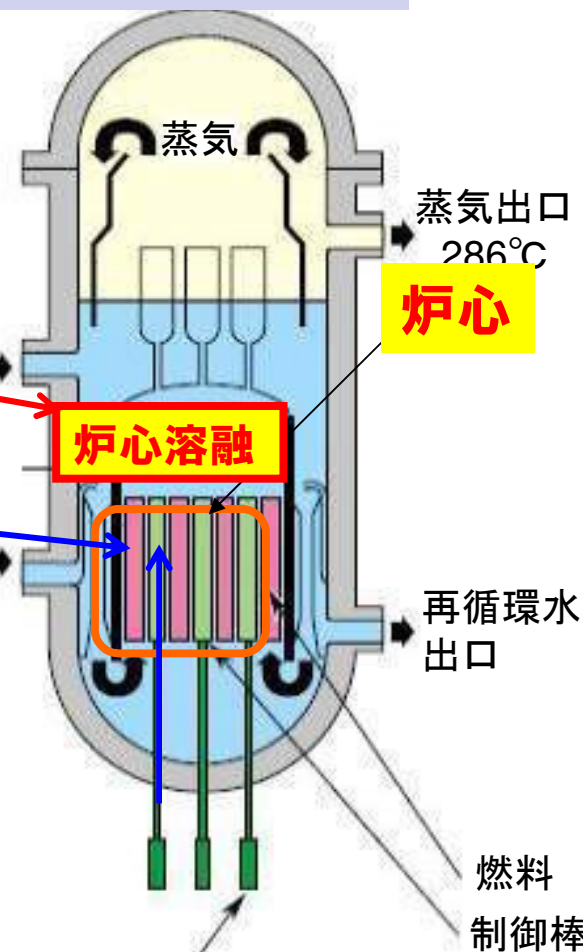
核分裂停止

制御棒が地震により炉心に急速自動挿入

給水入口(冷却材入口) 216℃
シュラウド
再循環水入口

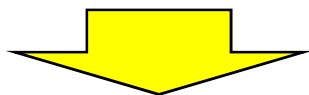
炉心溶融

制御棒駆動機構



~~閉じ込める~~

圧力上昇、水素爆発や炉心溶融熱等により、閉じ込め機能喪失



施設内外へ
放射性物質
放出

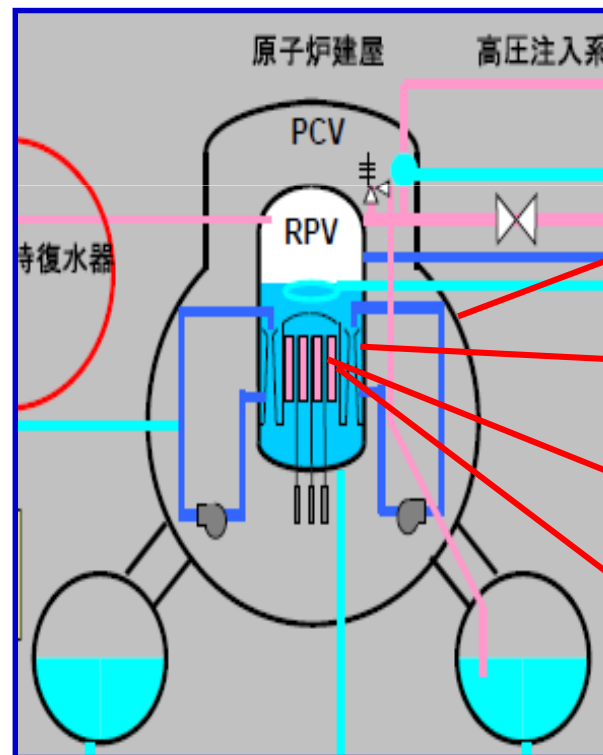


緊急避難、農作物等出荷停止、飲料水制限など規制



原子力・放射線への不安、恐怖、風評被害

5重の壁



~~第5の壁~~
原子炉建屋

~~第4の壁~~
格納容器

~~第3の壁~~
原子炉圧力容器

~~第2の壁~~
燃料被覆管

~~第1の壁~~
燃料ペレット

2013/11/23

東電福島事故の原因、要因と対策（１）

1. 地震で外部電源喪失、制御棒挿入で核反応は停止し、非常用電源(DG)で炉心の緊急冷却。しかし津波で非常用電源も喪失(全電源喪失)し、原子炉を冷却できなくなり、燃料被覆管(ジルカロイ合金)と水の化学反応で水素発生。格納容器から水素が漏れて原子炉建屋で爆発、破損し、放射性物質が環境へ放出。また炉心は溶融し、原子炉底部から漏洩。**“過酷事故”**

(要因) 多重化された安全機能が共通要因で同時に失われ、炉心損傷した。

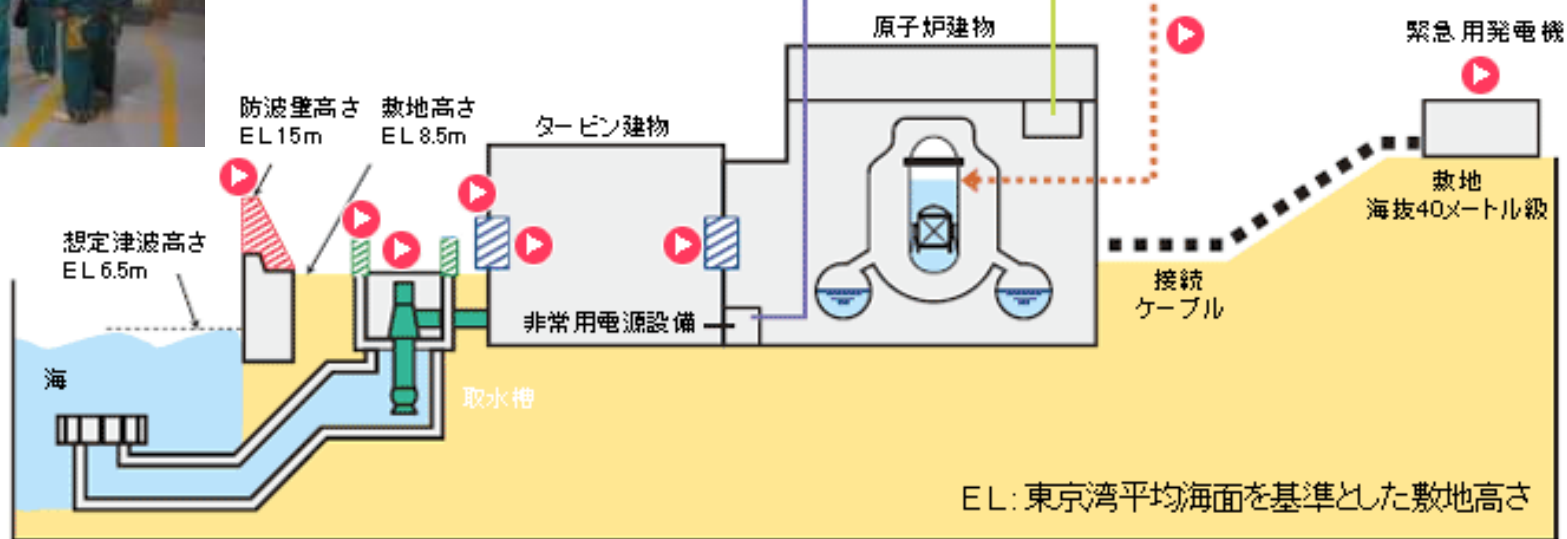
- ①「大規模津波(低頻度災害)」←考慮不要(経営判断?)
- ②「長時間の全電源喪失」←電源信頼性は高いので考慮不要(安全審査指針)

(対策: 新規制基準) **“過酷事故(シビアアクシデント)防止対策強化”**

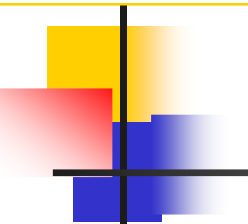
- ①地震・津波想定手法の見直し、津波浸水防止対策(敷地高さ、防潮堤、扉等)、火山、竜巻、森林火災も想定
- ②火災対策、内部溢水対策
- ③電源の確保: 外部電源強化、非常用電源多重化・多様化、電源盤分散配置
- ④冷却水源の確保: 非常用水源多様化
- ⑤モニタリング・通信システム等強化



**密閉扉
(中国電力島根)**



〈イメージ図〉



東電福島事故の原因、要因と対策（２）

2. 過酷事故後対策(万一炉心損傷に至った場合の対策)の不徹底により事故影響拡大

(要因)過酷事故対策は事業者自主判断とした為に、危機対応が十分行われなく、被害が拡大した。

(対策:新規制基準)

過酷事故時にも放射性物質の拡散を抑制できるよう諸対策を強化。

- ①緊急時水源として貯水池、ダムなど。
- ②海水ポンプや海水熱交換機等の代替予備
- ③使用済み燃料プールの冷却機能強化
- ④格納容器破損防止対策(水素再結合装置、ベント機能強化など)
- ⑤放射性物質拡散抑制対策(格納容器ベントフィルター)

更に、航空機落下事故やテロ対策として遠隔(100m以上)から原子炉を安全停止し冷却できる施設の設置

海外に学ぶその1 米国

サンフランシスコのデュアボロキャニオン発電所

乾式使用済み燃料キャスク 94m

淡水貯水槽 94m

発電所敷地高さ 26m

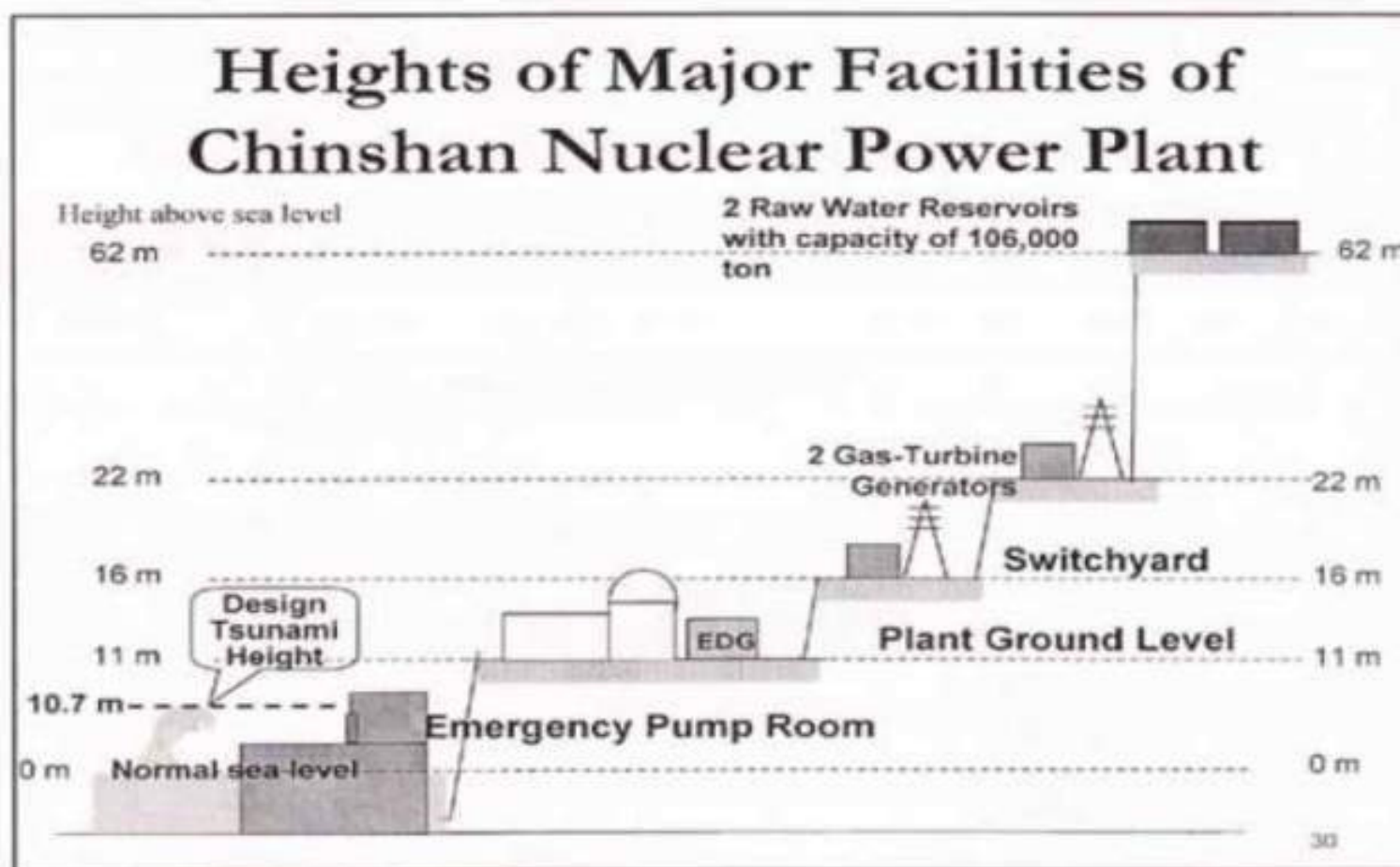
海水ポンプの
シュノーケル

水密扉

海外に学ぶその2 台湾

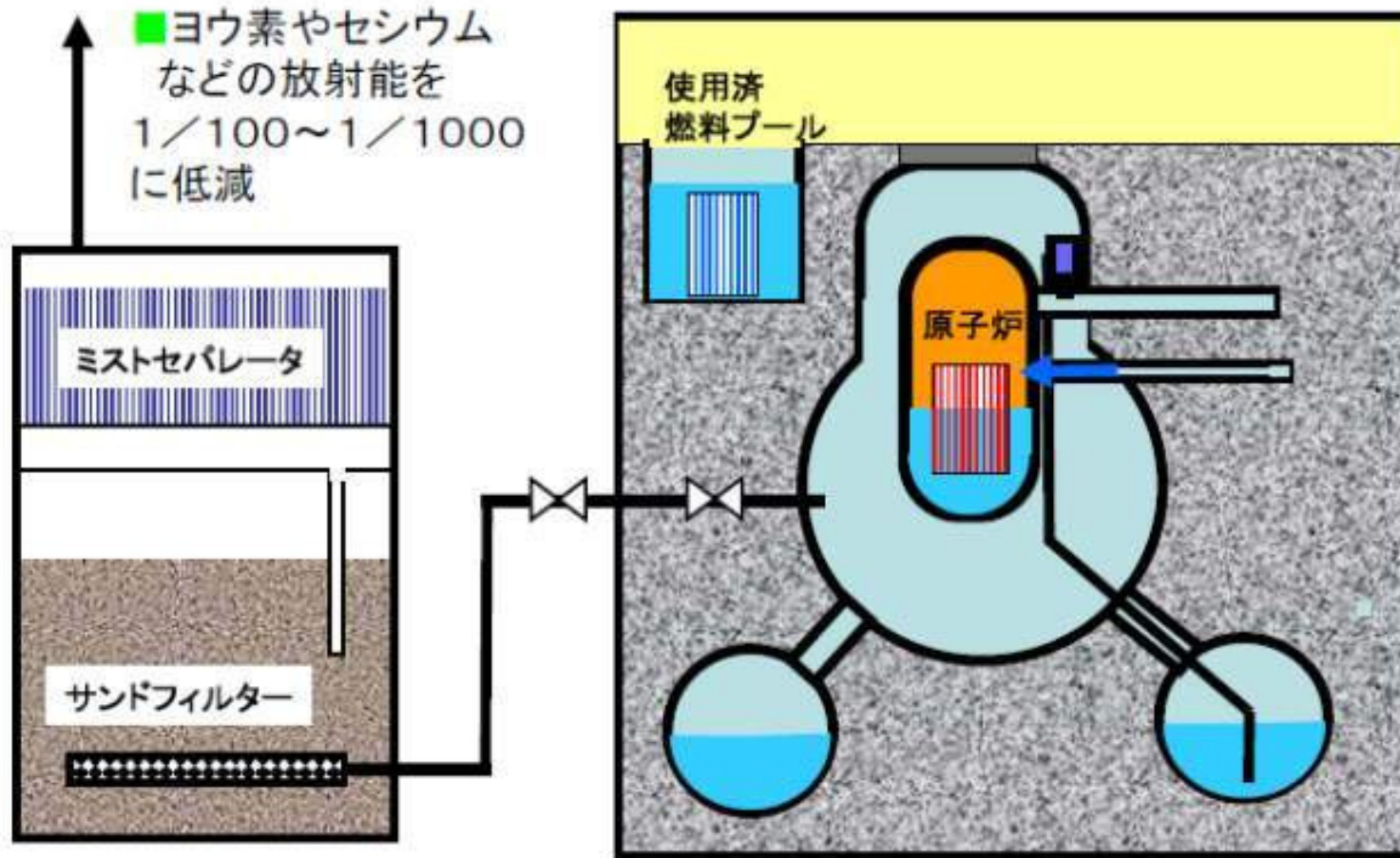
淡水源とガスタービン発電機を高所に配置

金山原子力発電所 (BWR、63 万 6 千 KWe x 2 基、1978&1979 年完成)



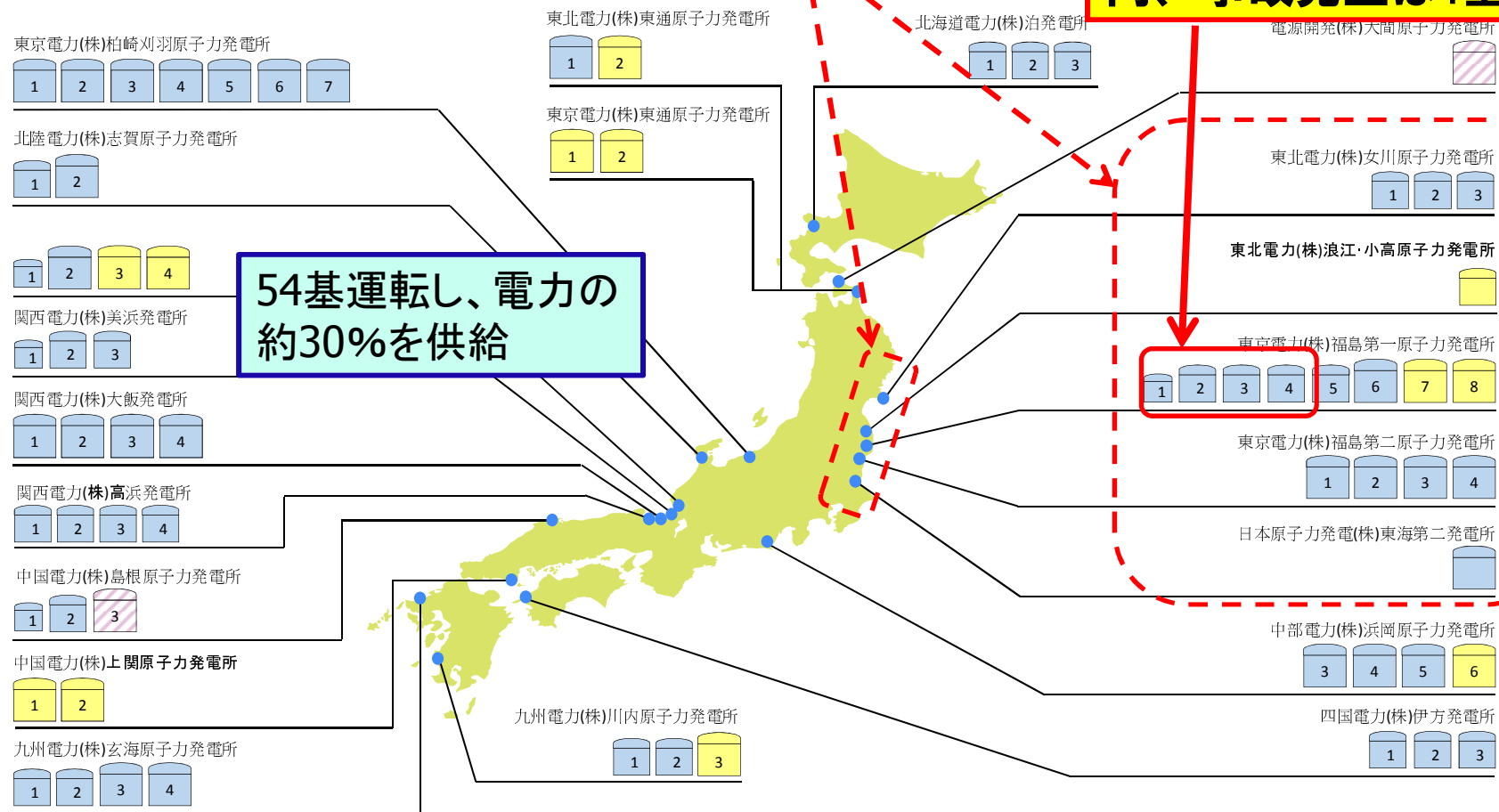
海外に学ぶその3 欧州

- チェルノブイリ事故の教訓:「例え事故が起こっても地元には迷惑をかけません」
(フランス、ドイツ、スイス、フィンランド、ノルウェイの多くの原発に設置)



3. 11東日本大震災に遭遇した原子力発電所は全14基

内、事故発生は4基



出力規模



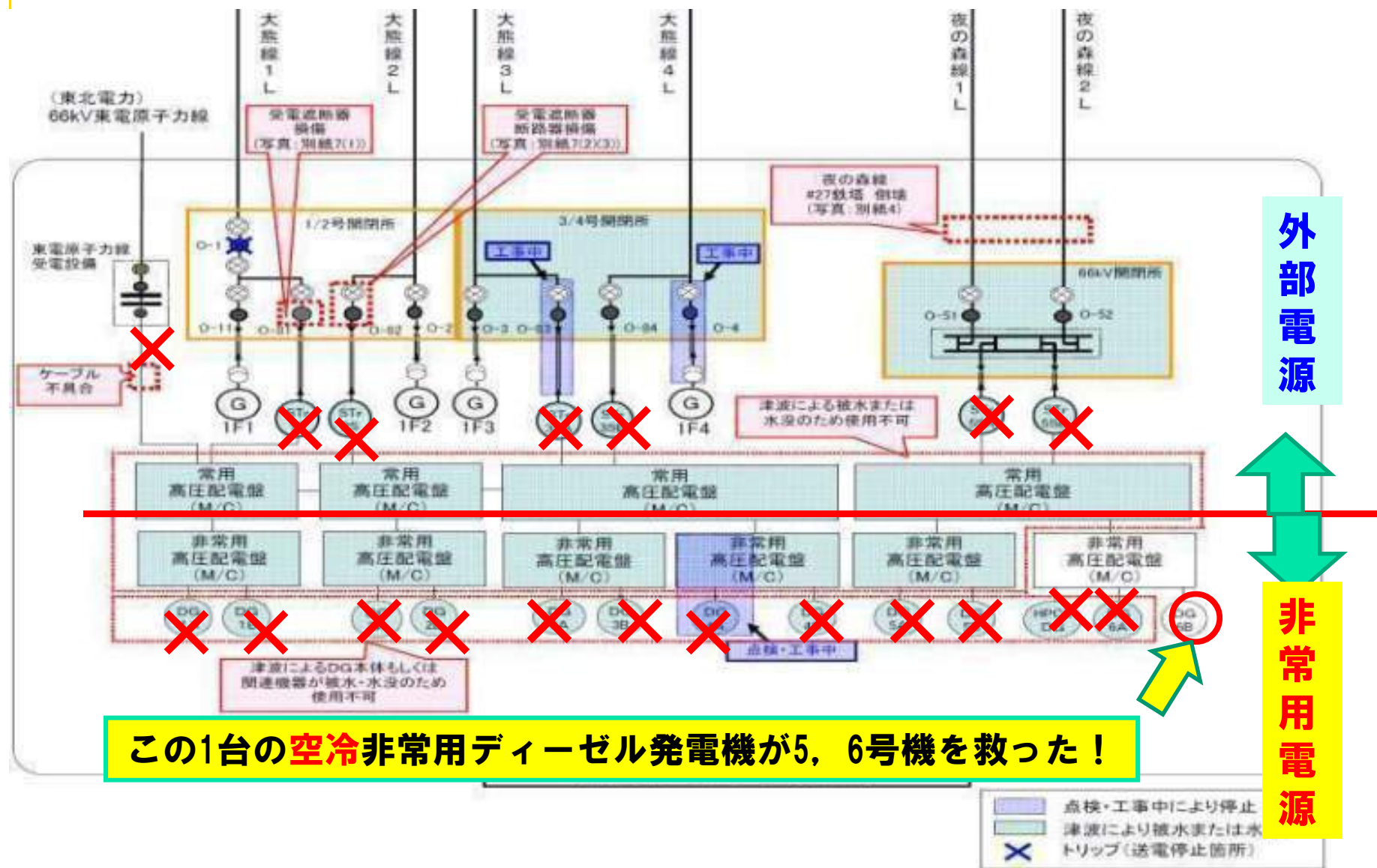
運転中
建設中
着工準備中

	基 数	合計出力(万kW)
運 転 中	54	4884.7
建 設 中	2	275.6
着工準備中	12	1,655.2
合 計	68	6,815.5

運転終了: 日本原子力発電(株)東海発電所 1998.3.31 / 中部電力(株)浜岡原子力発電所1、2号機 2009.1.30

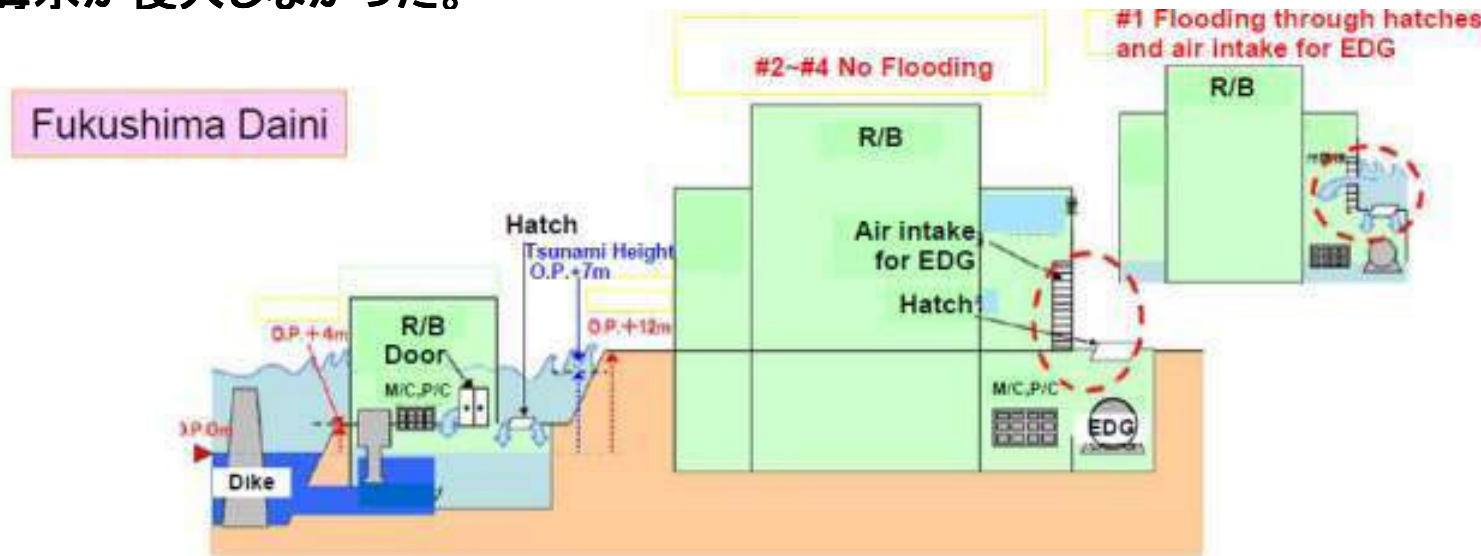
出典: 資源エネルギー庁「原子力2010」

安全停止した他の10基に学ぶ：福島第一5，6号機



福島第二、東北電力女川、日本原電東海2号

○福島第二は整地高さが12mで第一より2m高く、津波高さも第一より低かった為に建屋内に海水が侵入しなかった。



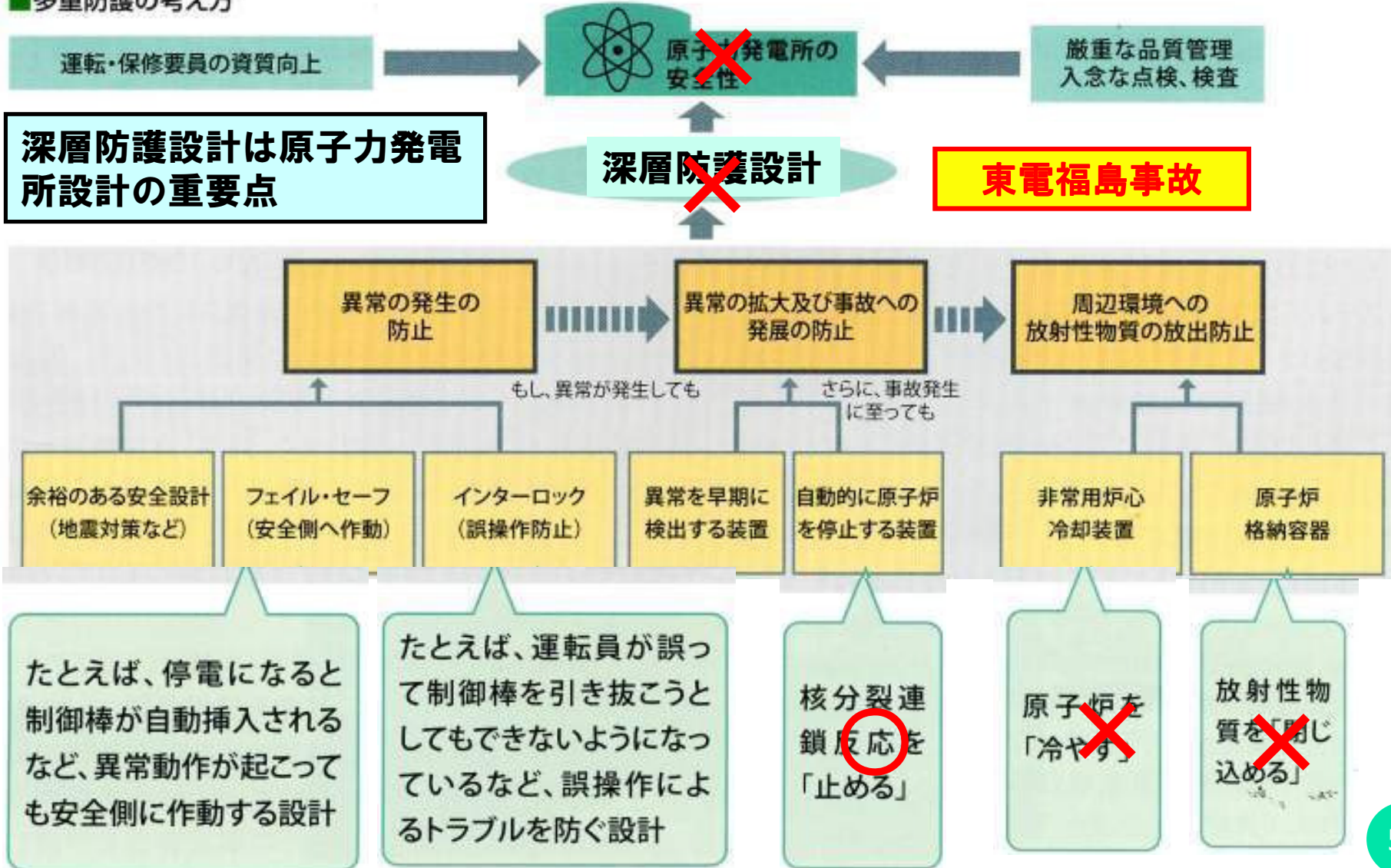
○女川原発は敷地高さが14.8mであったために、13mの津波に耐えた。869年の貞観大津波を詳しく調べていた当時東北電力副社長平井弥之助氏(1986年逝去)は、女川原発の設計段階で高さは「12メートルで充分」とする多数の意見に対して、たった1人で「14.8メートル」を主張し続けていたとのこと。「企業の社会的責任」「企業倫理」を追求しつづけた平井氏の姿勢に敬服する。

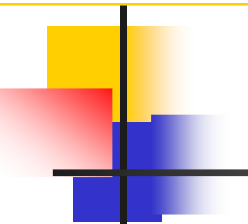
○日本原電の東海2号は防潮堤を増設した直後に大震災が襲来し、間一髪助かった。

原子力の安全確保の基本(これまで)

機械は故障する、人はミスを犯す、ことを前提に設計し検査訓練

■多重防護の考え方





安全確保（深層防護）の強化（これから）

（3層から5層へ）

1. 異常の発生の防止
2. 異常の拡大及び事故への発展の防止 止める、冷やす
3. 周辺環境への放射性物質の放出防止 閉じ込める

+

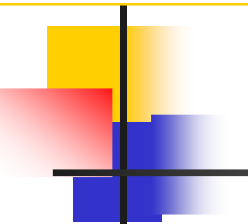
4. 過酷事故時対策(アクシデントマネジメント)の強化
事故の収束と緩和の為の措置
5. 発電所内外での緊急時対応

過酷事故の発生を防止
(堅牢な機器設備と厳重な検査・保守)



人と環境を守る
(影響拡大防止の設備と訓練の備え)

原子力に「想定外」は許されない厳しい心構えとシステムとハードウェア



この講演の内容

1. 世界のエネルギー事情と我が国の状況
2. 基幹エネルギーの必要条件と適合性
3. 我が国の原子力建設の歴史、世界の動向
4. 東電福島第一事故の推移、原因、要因、対策
5. まとめ
 - ・エネルギー政策(私案)
 - ・原子力界の改革
 - ・原子力政策の7つの視点
 - ・東電福島事故をどう生かすか
 - ・永井隆博士の遺言



まとめ:エネルギー政策私案

1. 短中期的な我が国の社会経済再生の為に、安全性が確認された原子力発電所の可及的速やかな再稼働が必要。
2. 中長期的な基幹電力(ベースロード)としては石炭火力発電と原子力発電を2本柱とし、前者は熱効率向上(二酸化炭素排出削減)、後者は既設の更なる安全性向上とより安全な新規プラントへのリプレースが肝要。
3. 天然ガス(シェールガスを含む)火力発電は、当面の原子力発電停止で不足する短期的な電力危機対策として有効。また中長期的には負荷調整電力として重要であり、天然ガス調達先多様化へ継続的取組みが重要。
4. 固定価格買取制度による太陽光発電や風力発電推進は、制度上様々な課題があり、欧州での教訓を踏まえて制度の見直しが必要。なお、中長期的に全発電量の10%増が限度。
5. 地熱や中小水力は稼働率が高いので今後の開発が望まれる。ただし、量的には小規模。

＜以上により、多様なエネルギーのベストミックスを目指すこと＞

6. 最大の課題は原子力(燃料再処理、高レベル廃棄物地層処分を含む)に対する国民の理解と原子力界の信頼回復であり、国、研究機関、事業者、メーカー等全関係者の真摯な反省、福島復興、原子力界の改革、そして市民レベルのコミュニケーションに尽力していくことが重要である。

原子力規制組織の改革（平成24年9月19日発足）

事故の背景には我が国の原子力規制行政の積年の問題があった。

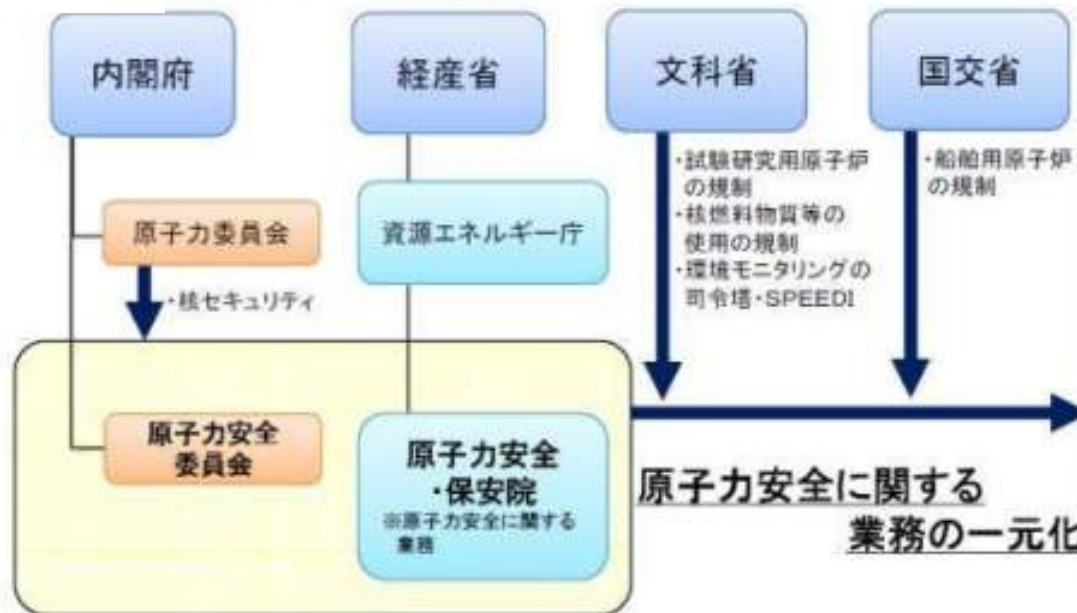
（狙い）

- ①政治からの独立性
- ②規制と利用の分離
- ③原子力安全規制に係る関係業務の一元化
- ④新安全規制と危機管理体制の強化、整備
- ⑤組織文化の変革、優れた人材の養成・確保など専門性

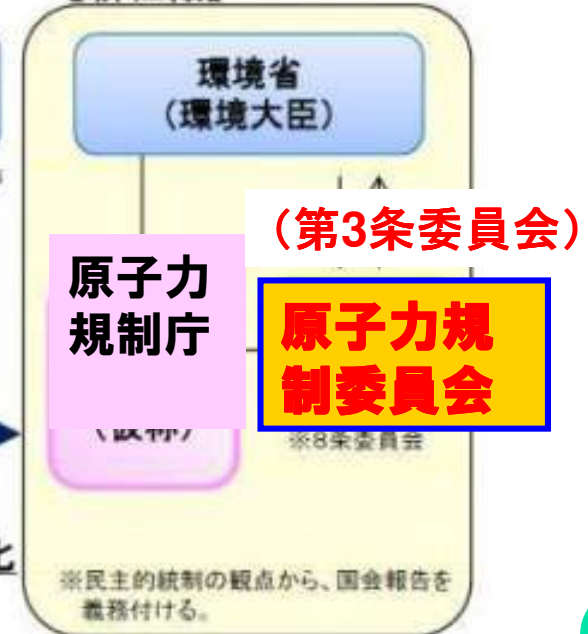
（委員）

田中俊一（委員長）
島崎邦彦
更田豊志
中村佳代子
大島賢三

【今までの原子力安全行政組織】



【新組織】



東京電力の「原子力安全改革プラン」

反省＜福島事故の根本原因分析＞

- ①過酷事故が発生する可能性は小さく更に安全性を高める必要性は低いと考え、これまでの対策は十分と過信。また過酷事故対策の必要性を認めると原子力発電所が安全であることを説明することが困難になると考え、規制事項とすることに強く反対。
- ②想定を上回る津波が来る可能性は低いと判断し、深層防護の備えを行わなかった。
- ③過酷事故や複数号機の同時被災が起こると考えず、事故対応の備えが不十分。

『原子力安全改革プラン』（平成25年3月29日公表）

「対策1」経営層からの改革

「対策2」経営層への監視・支援強化:「原子力安全監視室」を設置（室長 ジョン・クロフツ 元イギリス原子力公社安全・保障担当役員）

「対策3」深層防護の強化:費用対効果の高い安全性向上対策強化の仕組み構築

「対策4」リスクコミュニケーション活動の充実:「リスクコミュニケーター」を設置、5月末現在20名選任

「対策5」発電所及び本店の緊急時組織の改編:米国緊急時組織で採用されている方式に準じ、発電所及び本店の原子力防災緊急時組織を改編

「対策6」平常時の発電所組織の見直しと直営技術力強化

エネルギーのベストミックス

エネルギーに必要な4条件(3E+S)

1. 量と質(必要な質の電力を必要な量、必要なときに確保)、
2. 経済性(ライフサイクルコスト)
3. 安全性(事故リスク、国民の健康を脅かさない)
4. 対環境性(大気・水質汚染防止、地球温暖化対策など)

全てにおいて満点のエネルギーは無い→ベストミックスが必要

原子力と石炭を基幹電源とし、ベストミックスを追及

より安全な
原子力

よりクリーン
な化石燃料

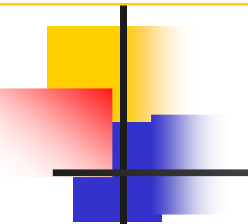
より安価な
再生可能エネルギー

より一層の
省エネルギー

私案: 35% 以上

45%未滿

最大20% ⇒2050年



原子力政策の7つの視点

- ①安全は技術で、安心は信頼とコミュニケーションで
- ②将来に亘るエネルギー安全保障とエネルギー源多様化
- ③エネルギーコストの産業、経済、社会、家庭への影響
- ④原子力平和利用国としての責務と世界への貢献
- ⑤地球温暖化問題への対応
- ⑥マスコミの社会的役割と責任、国民の自覚
- ⑦科学技術立国としての教育と技術伝承、人材育成

東電福島第1原発事故を知る1冊の本



事故調査報告書は、政府事故調、国会事故調、民間事故調、東電事故調、大前研一事故調など様々出ているが、現在のところ、この1冊が最も良く事故のことを知ることができる。

- 主な内容
- 第1章 東日本大震災と福島第一原発事故
原子力安全・災害対策の制度と仕組み／政府事故調の設置と活動 etc.
 - 第2章 福島第一原発で起こったこと
津波襲来から電源喪失までの経緯／事故は避けられたのか etc.
 - 第3章 政府と地方自治体の失敗
事前対策の不備／政府の緊急時対応の問題点 etc.
 - 第4章 東京電力の失敗と安全文化
東京電力の津波評価／東京電力の組織的問題 etc.
 - 第5章 なぜ被害が拡大したか
避難がもたらすもの／除染は可能か etc.
 - 第6章 福島事故の教訓をどう生かすか
委員長所感／再稼働をどう考えるか etc.

「第6章福島事故の教訓をどう生かすか」より

畑村委員長の所感

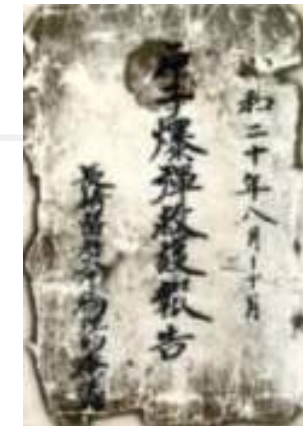
- ①あり得ることは起こる。あり得ないと思うことも起こる。
- ②見たくないものは見えない。見たいものが見える。
- ③可能な限りの想定と十分な準備をする。
- ④形を作っただけでは機能しない。仕組みは作れるが、目的は共有されない。
- ⑤全ては変わるものであり、変化に柔軟に対応する。
- ⑥危険の存在を認め、危険に正対して議論できる文化を作る。
- ⑦自分の目で自分の頭で考え、判断・行動することが重要であることを認識し、そのような能力を涵養することが重要である。

国民一人ひとりが考えなければならないこと:

「原子力に限らず危険なものを危険なものとして議論できる文化の醸成が必要である。そのような議論を通じて、利便と負担の新しいバランス点を見つけ出さなければならない。その際大事なのは、人任せにしないことである。国民一人ひとりが自分の問題としてその為の判断を行うことが求められている。」

永井隆博士

長崎の原爆被災者の救護活動に全精力を傾注された当時の長崎医大永井隆博士の「原子爆弾救護報告」にある永井博士の深い洞察と先見性ある一文を引用する。



「スベテハ終ツタ。祖国ハ敗レタ。吾大学ハ潰滅シ吾教室ハ
烏有ニ帰シタ。余等亦人々傷ツキ倒レタ。住ムベキ家ハ焼ケ、
着ル物モ失ハレ、家族ハ死傷シタ。今更何ヲ云ハンヤデアル。
唯願フ処ハカカル悲劇ヲ再ビ人類ガ演ジタクナイ。原子爆弾ノ
原理ヲ利用シ、コレヲ動力源トシテ文化ニ貢献出来ル如ク更ニ
一層ノ研究ヲ進メタイ。転禍為福。世界ノ文明形態ハ原子エネ
ルギーノ利用ニヨリ一変スルニキマツテキル。サウシテ新シイ
幸福ナ世界ガ作ラレルナラバ、多数犠牲者ノ霊モ亦慰メラレル
デアラウ。」



2011.1.8の開聞岳の夜明け - 気...

ご清聴、有難うございました