

原子力を巡る状況について

資料2

1. 原子力発電の歴史	.....	1
2. 原子力利用の現状	.....	11
3. 原子力発電の特性	.....	22
4. 我が国の核不拡散への取組	.....	28
5. 世界の原子力利用の将来見通し	.....	33
6. 核燃料サイクルについて	.....	39
7. 放射性廃棄物の処分について	.....	50
8. 原子力プラントの製造について	.....	59
9. 原子力発電所技術開発・人材について	.....	63
10. 我が国の原子力国際協力について	.....	80

平成24年1月
資源エネルギー庁

1. 原子力発電の歴史

原子力発電の歴史①

1910～1940年代 量子力学・原子核物理学の開花、原子力軍事開発の時代

1913年 ニールス・ボーア(デンマーク)の原子核モデル
(1922年 ノーベル物理学賞受賞)

1932年 ジェームズ・チャドウィック(イギリス)が中性子を発見
(1935年 ノーベル物理学賞受賞)

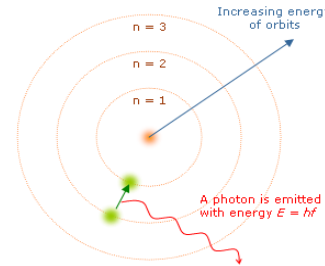
1939年 オットー・ハーン(ドイツ)等がウランの核分裂を発見
(1944年 ノーベル化学賞受賞)
ドイツのポーランド侵攻(第二次世界大戦勃発)

1940年 グレン・シーボーグ(アメリカ)等がプルトニウムの生成・分離に成功
(1951年 ノーベル化学賞受賞)

1942年 米国を中心に原子爆弾開発プロジェクト(マンハッタン・プロジェクト)が始動
米国シカゴ大学で世界初の人工原子炉が臨界

1945年 米国ニューメキシコ州で世界初の核実験(トリニティテスト)
米国が広島・長崎に原子爆弾を投下
終戦

1949年 ソ連による初の核実験
1952年 英国による初の核実験



ボーアの原子核モデル



オットー・ハーンの実験風景

20世紀初頭から中頃にかけて、量子力学・原子核物理学の分野において、目覚ましい発展が遂げられた。第二次世界大戦下、ウランの核分裂・核分裂連鎖反応の発見は核兵器の開発に応用され、1945年には広島・長崎に原子爆弾が投下された。終戦後、米国とソ連を中心に核開発競争が起きると同時に、原子爆弾の有する抑止力に着目した各国が開発を試みた。

原子力発電の歴史②

1950～1960年代 原子力平和利用の草創期

◆「原爆(投下)という暗い背景を持つ米国としては、力を誇示することのみを望むのではなく、平和への願望と期待をも示したいと望んでいる。米国は、恐ろしい原子力のジレンマを解決し、この奇跡のような人類の発明を、人類滅亡のためではなく、人類の生命のために捧げる道を、全身全霊を注いで探し出す決意を、世界の前で誓うものである」(アイゼンハワー大統領、アメリカ、国連総会演説“ATOMS For Peace”、1953年)

◆「外国におきましてはもはや発電を中心に動力炉の実験に入っております。しかしわが国におきましては、これから実験原子炉を入れようという非常な後進性を示しておるのであります。われわれの目標というものは、あくまでも国産の原料で、国産の燃料で、国産の炉を作り、わが国の国民の生活に寄与するのだ、そういう心がまえの上に立って必要なる機械や器具や技術というものは、外国と勇敢に提携協力して進めてゆく、そういう精神が必要ではないかと思えます」(中曽根委員、参・商工委員会(原子力三法・審議)、1955年)

1951年 世界で初めての原子力発電が米国で実施

1953年 米国アイゼンハワー大統領の国連総会演説「ATOMS For Peace」により、世界的に原子力平和利用への注目が高まる

1956年 原子力基本法施行、原子力委員会設立
IAEA(国際原子力機関)憲章に調印

1966年 国内初の商業用原子力発電所として、日本原子力発電(株)東海発電所が営業運転開始

1970年 日本原電敦賀発電所営業運転開始(国内初のBWR)
関西電力美浜一号機営業運転開始(国内初のPWR)

我が国は、高度経済成長期を迎え、電力需要が年平均10%を超える増加。火力発電の増加による**化石燃料への依存が懸念**される。

「将来の電力需要の急速なる増加に対応するため、**エネルギー源確保の安定化の面からもより安価なエネルギー源の開発のおよびその多様化をはかることが必要**である。このため電力供給源として**原子力発電に期待することは、大きな意義**があるものと考える。」(1961年 原子力委員会作成「長期計画」)

原子力発電の歴史③

1970年代 石油危機を契機とした積極導入期

- ◆「国家の独立にはエネルギーの独自確保が不可欠だ」(ポンピドゥー大統領、フランス、1973年)
- ◆「フランスには石炭も、ガスも、石油もない。だが我々には知恵がある」(ジスカール・デスタン大統領、フランス、1974年)

- 1973年 第一次石油危機
- 1974年 電源三法(発電用施設周辺地域整備法等)公布
- 1977年 日米再処理問題交渉
- 1979年 第二次石油危機
- 1980年 石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律が成立

第四次中東戦争等により石油危機が発生。石油資源の有限性や、その供給が国際政治の動向に左右されやすく不安定であること、資源確保を巡って国際的な摩擦や緊張が生まれやすいことが強く意識されるようになり、準国産エネルギーである原子力を推進。発電所の立地促進のため、電源三法が整備された。

1980年代 世界的な原子力利用低迷期

- ◆「原子力発電を放棄し、代替エネルギーを探す検討が必要」(アルフォンス・エグリ大統領、スイス、1986年)
- ◆「今最優先で取り組むべきは、電力の50%を供給している原子力に代わる信頼できる代替電源を確保することである」(Ingvar Carlsson首相、スウェーデン、1987年)

- 1979年 スリーマイルアイランド原子力発電所において事故発生
- 1986年 チェルノブイリ原子力発電所において事故発生

環境保護運動の高まり、TMI事故、チェルノブイリ事故の発生や、エネルギー価格の安定により、米国で原子力発電所の新規建設がなくなるなど、世界における原子力平和利用は停滞。一方我が国では、エネルギー安全保障を高めるため、原子力政策及び原子力発電所の新規建設を堅持。このため、原子力技術に強い国際競争力を持つこととなった。

原子力発電の歴史④

1990～2000年代

諸外国の原子力発電への回帰

- ◆「原子力は、最も環境に優しいエネルギーの形と考えている」(サッチャー首相、イギリス、国連総会・気候変動会議、1989年)
- ◆「原子力発電は資源問題と環境問題を同時に解決する点で、私たちには非常に適切な選択だ」(金大中大統領、韓国、1998年)
- ◆「もしこのまま放置すれば2025年には、CO2削減量は目標にはるかに届かず、ガスへの依存度は80-90%にもなり、しかもその80-90%が中東・アフリカ・ロシア等からとなる。従って、新規原子力の建設、新エネ・省エネに注力しなければならない」(ブレア首相、英国、2006年)
- ◆「原子力なしの地球温暖化問題への挑戦は幻想」(サルコジ大統領、フランス、環境グルネル会議、2007年)
- ◆「再生可能エネルギーは原子力を放棄するために十分には開発されていない。原子力に関する懸念はあるが、再生可能エネルギーがより現実的になるまでの「橋渡しの技術」である」(メルケル首相、ドイツ、2010年)

1991年 湾岸危機

1993年 日本原燃(株)六ヶ所再処理施設着工

1994年 気候変動枠組条約が発効

1997年 COP3で京都議定書が採択

2003年 エネルギー基本計画「原子力を基幹電源として推進」

2005年 ブッシュ大統領、包括エネルギー法案に署名 原子力発電所の建設再開や次世代原子力発電炉開発を支援

2013年 エネルギー基本計画(第三次改定)にて、原子力発電比率を50%超に。

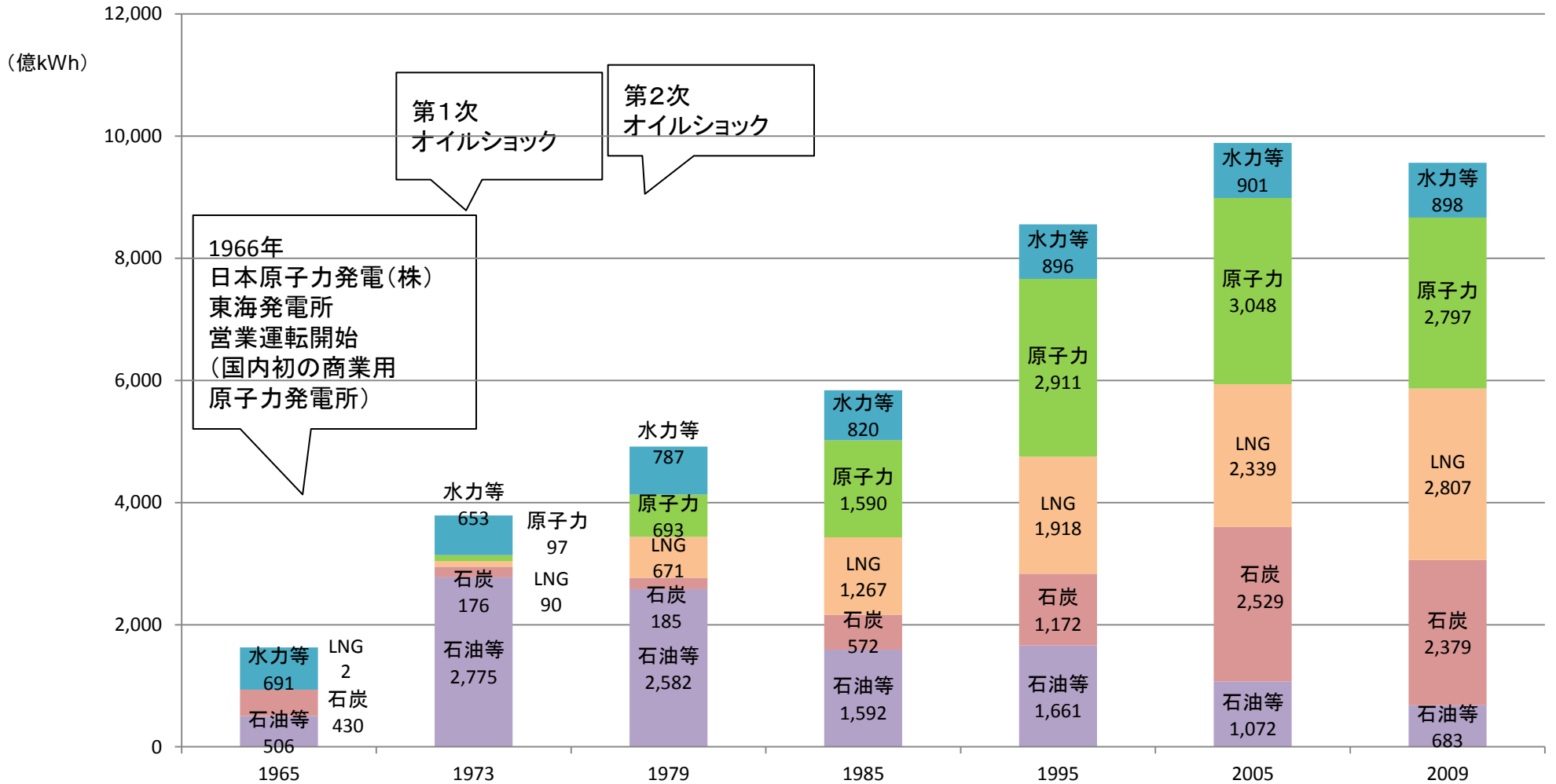
アジア地域の急速な経済成長などを背景に、**世界のエネルギー需要が急増**する一方、原油資源の供給は伸び悩み、エネルギーの構造的な需給逼迫が顕在化。また、**地球温暖化対策への取組に対する要請**が高まり、米国、イギリス等の先進主要国や中国、インド等の新興国において原子力新設機運が高まり、ドイツ、スイス、スウェーデン等、脱原子力志向だった国においても、原子力見直し議論が活性化。

原子力発電の歴史⑤

2011年 東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故

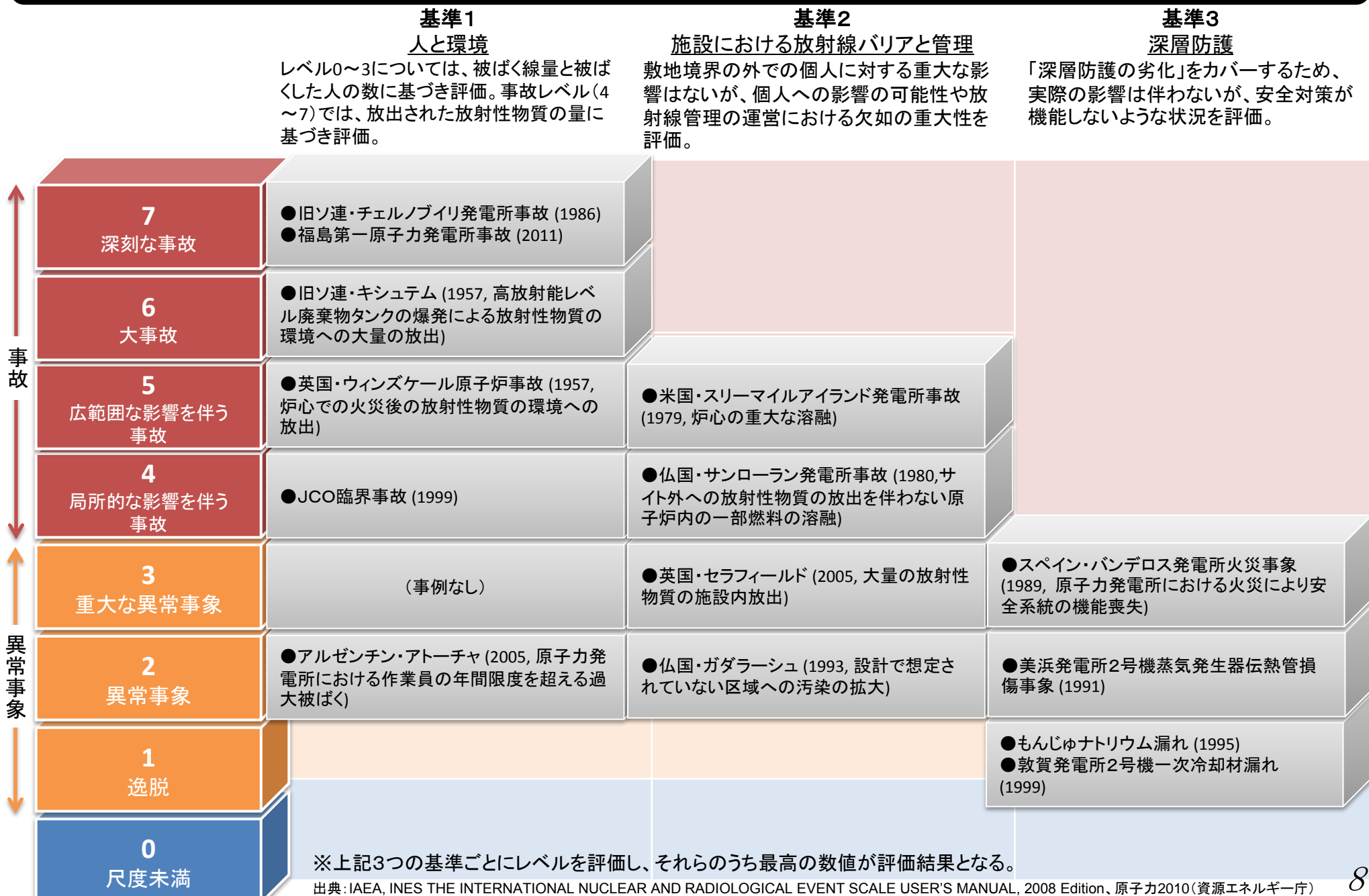
- ◆「リサイクル可能なエネルギーを導入したとしても、原子力エネルギーで得られるエネルギー量を代替することはできない」(サルコジ大統領、フランス、福島事故後、訪日時、2011年3月)
- ◆「お金持ちの国だけが脱原子力を議論できる」(アザロフ首相、ウクライナ、2011年3月)
- ◆「強い地震や津波が発生しうる地域での原発建設を国際的に規制するべきだ」「原発は最も経済的な発電方法であり、設計、建設、運用上のしかるべき規則を遵守すれば安全だ」「規則や基準は(各国に)共通のものでなくてはならない」(メドベージェフ大統領、ロシア、2011年3月)
- ◆「福島事故は、これまでとは異なる方法でリスクに対処する必要があることを教えてくれた」「われわれが再生可能エネルギーの新たな時代を切り開く先駆者になれると信じている」(メルケル首相、ドイツ、2011年5月)
- ◆「再生可能でクリーンな地熱、太陽熱など原発以外のエネルギー源を開発できれば、私はそちらを選ぶ」「原発建設には、全ての要因を考慮し、国民の支持が得られなければならない」(ユドヨノ大統領、インドネシア、2011年6月)
- ◆「重要なのは、今、始めるということ。国民は政府を信頼してほしい。(脱原発が)未来に向けての正しい道であり、責任感あるすべての国民の支援と共に、これを成し遂げることができるはずだ」(ドリス・ロイタルト環境エネルギー相、スイス、2011年9月)
- ◆「原子力エネルギーを開発しない限り、我々は50-60GWの電力不足を解消できない。石炭はクリーンではなく、風力や太陽光の量はnegligible。我々はクリーンで安全、そして石炭エネルギーを補える原子力エネルギーを必要としている」(ナラヤナサミー閣外相、インド、2011年12月)

我が国の電源構成(原子力発電)の推移



原子力発電所 基数(累積数)	0	3	18	29	47	52	54
水力等	42.4%	17.2%	16.0%	14.0%	10.5%	9.1%	9.4%
原子力	-	2.6%	14.1%	27.2%	34.0%	30.8%	29.2%
LNG	0.1%	2.4%	13.6%	21.7%	22.4%	23.7%	29.3%
石炭	26.4%	4.6%	3.8%	9.8%	13.7%	25.6%	24.9%
石油等	31.1%	73.2%	52.5%	27.3%	19.4%	10.8%	7.1%

国際原子力・放射線事象評価尺度 (INES) と主な過去の事故



原子力発電所事故の比較

	スリーマイルアイランド 原子力発電所2号機	チェルノブイリ原子力発電所 4号機	福島第一原子力発電所
炉型等	PWR (95.9万kW)	黒鉛減速軽水冷却チャンネル型炉 (100万kW)	1号機 BWR (46.0万kW) 2号機 BWR (78.4万kW) 3号機 BWR (78.4万kW) 4号機 BWR (78.4万kW)
事故の発生日	1979年3月28日	1986年4月26日	2011年3月11日
INES	レベル5 (広範な影響を伴う事故)	レベル7 (深刻な事故)	レベル7 (深刻な事故) ※暫定評価
炉心の損傷割合	45%※1	ほぼ100%	1号機100%、2号機97%以上、 3号機97%以上 ※2
事故のきっかけ	作業員による誤操作	計画の不備・違反実験	地震・津波による全交流電源の喪失
事故の概要	機器の故障（冷却水ポンプが停止等）や誤操作（非常用炉心冷却系の手動停止）による冷却水喪失事故。	低出力実験中に発生した反応度事故。運転員の規則違反と、設計上の欠陥（自己制御性※3がなくなる場合があること、不十分な制御棒挿入速度等）が主な事故原因。水蒸気爆発、水素爆発及び黒鉛火災による放射性物質の大量飛散。	地震・津波による送電線の断線、非常用発電機の停止に起因する全交流電源喪失、冷却機能喪失事故。
水素爆発	格納容器内で発生した可能性	原子炉内	原子炉建屋内で発生
避難範囲	避難5mile (8km) (幼児と妊婦のみ、知事による勧告) 屋内待避10mile (16km) (知事による勧告)	30kmの住民約135,000人が避難。	避難: 20km (総理指示) 屋内待避: 30km → 計画避難: 一部地域 (総理指示)
環境中に放出された放射性物質	希ガス: 9.25×10^{16} Bq ヨウ素: 5.55×10^{11} Bq	5.2×10^{18} Bq ※4 (放射性物質の外部放出量は福島の大 約10倍)	保安院概算 7.7×10^{17} Bq ※4 ※5 原子力安全委員会発表値 6.3×10^{17} Bq ※4 ※5

※1 IAEA, Regulatory control of nuclear power plants, Training Course Series No. 15, 2002

※2 東京電力の評価では、露出炉心（本来の燃料の位置に留まっている燃料）が3%程度以下と評価されている。（東京電力株式会社：東京電力福島第一原子力発電所1～3号機の炉心損傷状況の推定について、平成23年11月30日）※3 自己制御性：核分裂反応の極端な増減を自ら抑制する特徴

※4 ヨウ素131とセシウム137(ヨウ素に換算したもの)の合計値 ※5 大気への放出量

(参考)原子力発電所事故の比較

	スリーマイルアイランド 原子力発電所2号機	チェルノブイリ原子力発電所 4号機	福島第一原子力発電所
炉型	PWR (95.9万kW)	黒鉛減速軽水冷却チャンネル型炉 (100万kW)	1号機 BWR (46.0万kW) 2号機 BWR (78.4万kW) 3号機 BWR (78.4万kW) 4号機 BWR (78.4万kW)
構造	圧力容器内で1次系冷却水を高温・高圧にし、蒸気発生器で2次系冷却水を沸騰させ、タービンを回す構造。	黒鉛ブロックを積み重ね、そこに多数の圧力管を通し、その圧力管内に燃料集合体を入れ、圧力管内で冷却水が沸騰し、発生した蒸気でタービンを回す構造。	圧力容器内で冷却水を沸騰させ、発生した蒸気で直接タービンを回す構造。
概念図			
冷却材	水	水	水
減速材※1	水	黒鉛	水
格納容器	あり	なし	あり

※1: 減速材: 高速中性子を核分裂を起こしやすい熱中性子に減速させるための材料。

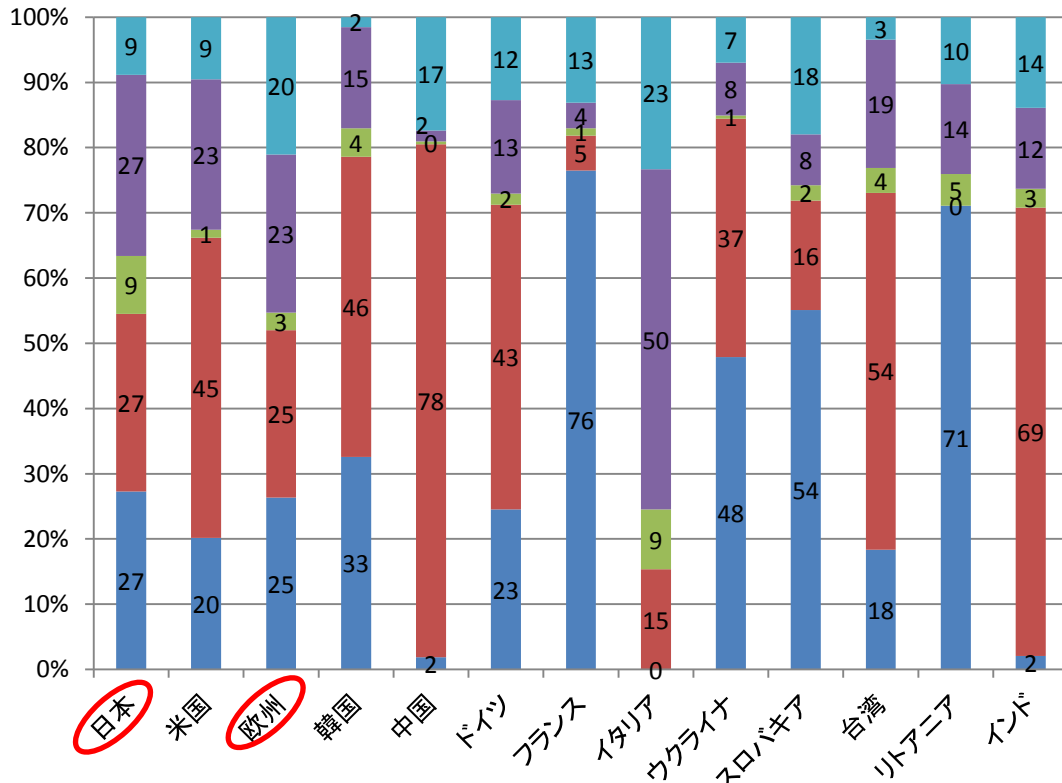
2. 原子力利用の現状

各国におけるエネルギー戦略とエネルギーミックス

- 各国は、供給安定性・環境適合性・経済効率性を考慮して、戦略的にエネルギー政策を展開。
- 欧州各国のエネルギーミックスは国毎に差異があるが、電力・ガス管網で相互につながっているため、欧州全体のエネルギーミックスに着目する必要。(欧州全体の電源別供給構成は日本とほぼ同様)
- エネルギー自給率の低い国や地域、供給リスクの高い国(東欧諸国)、エネルギー需要の急増が見込まれる国(中・印)は、原子力を戦略上重要なオプションと位置づけ。

各地域における電源別電力供給構成の比較

■ 原子力 ■ 石炭 ■ 石油 ■ 天然ガス ■ 再生可能エネ他



出典:IEA 「Electricity Information 2011」

エネルギー自給率と原子力発電比率

	日本	米国	欧州	韓国	中国	ドイツ	フランス
エネルギー自給率(%)	4	68	46	3	2	29	9
原子力発電比率(%)	24	20	25	33	2	23	76

	イタリア	ウクライナ	スロバキア	台湾	インド	リトアニア
エネルギー自給率(%)	16	48	13	2	74	16
原子力発電比率(%)	0	48	54	18	2	71

※エネルギー自給率については原子力を除いた数字

出典:IEA 「Electricity Information 2011」, 「Energy Balances of OECD/Non-OECD Countries 2011」

供給リスクの高い国(東欧諸国)

リトアニア

「国内の電力需要の60%を他国に依存しているリトアニアの状況は、安全保障上の懸念であるのみならず経済収支にも不均衡をもたらしており、ビサギナス新原発計画はこれらの懸念を解消しリトアニアの競争力を強化するための最も経済的な手段である」(クビリウス首相、2011年)

エネルギー需要の急増が見込まれる国(中国、インド)

中国

29基(計約3005万kW)の新規建設を計画中(原子力発電中長期発展観測(2007年)において、2020年までに4000万kWまで拡大する計画あり。)


インド

第11次5カ年計画(2007年)において、2032年までに約6300万kWに拡大する計画あり

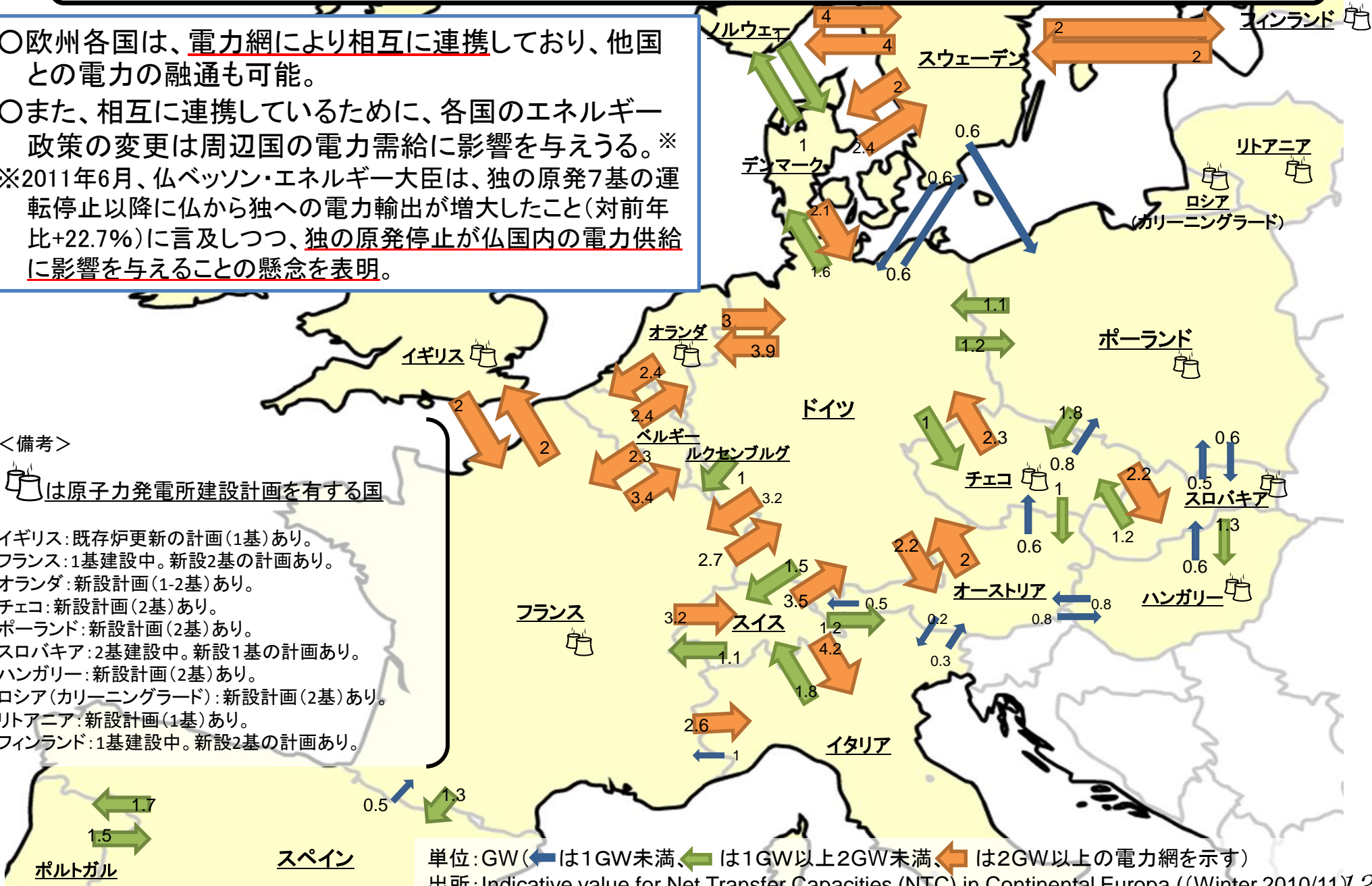
欧州における電力網

- 欧州各国は、電力網により相互に連携しており、他国との電力の融通も可能。
- また、相互に連携しているために、各国のエネルギー政策の変更は周辺国の電力需給に影響を与える。*
- ※2011年6月、仏ベッソン・エネルギー大臣は、独の原発7基の運転停止以降に仏から独への電力輸出が増大したこと(対前年比+22.7%)に言及しつつ、独の原発停止が仏国内の電力供給に影響を与えることの懸念を表明。

<備考>

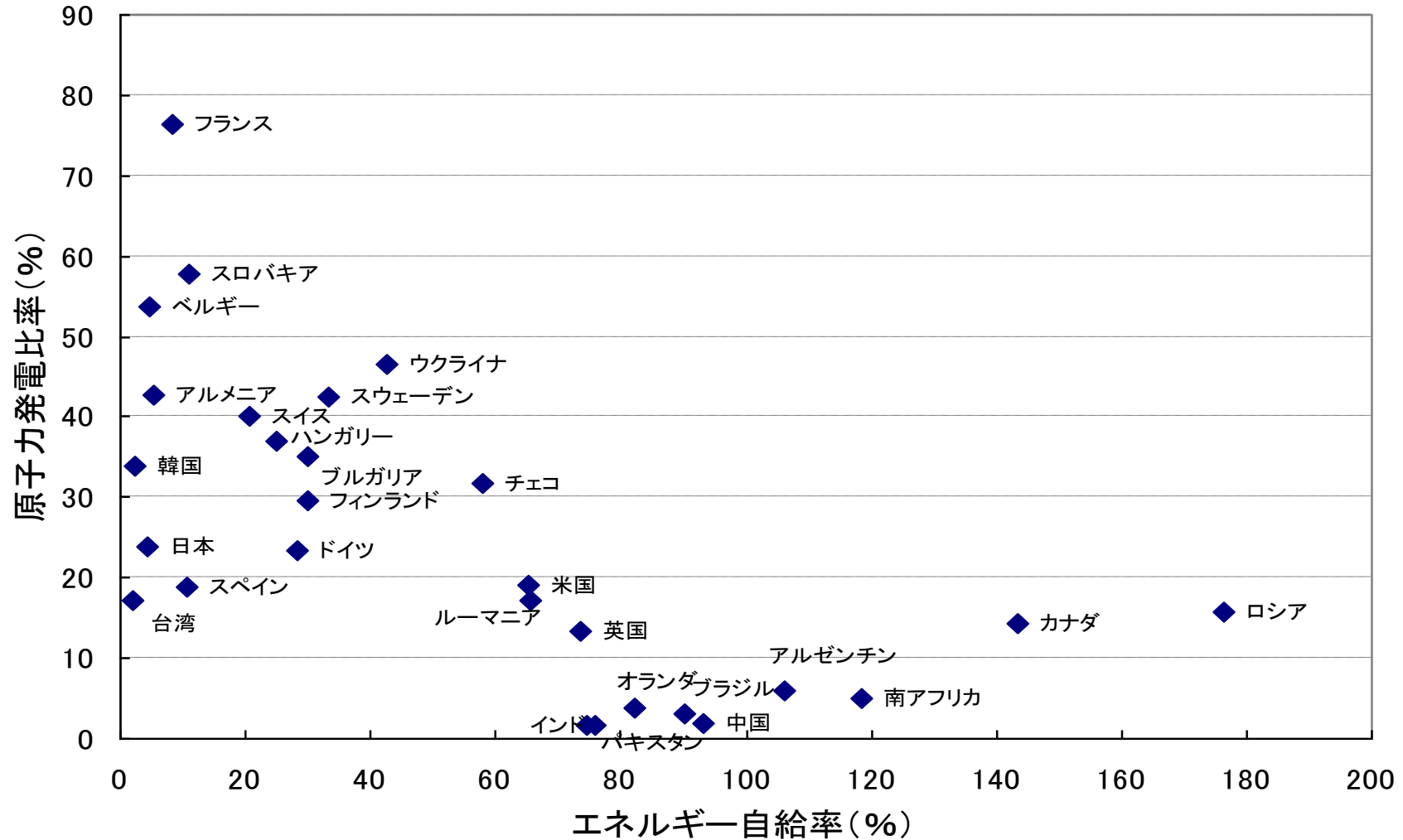
 は原子力発電所建設計画を有する国

イギリス: 既存炉更新の計画(1基)あり。
 フランス: 1基建設中。新設2基の計画あり。
 オランダ: 新設計画(1-2基)あり。
 チェコ: 新設計画(2基)あり。
 ポーランド: 新設計画(2基)あり。
 スロバキア: 2基建設中。新設1基の計画あり。
 ハンガリー: 新設計画(2基)あり。
 ロシア(カリーニングラード): 新設計画(2基)あり。
 リトアニア: 新設計画(1基)あり。
 フィンランド: 1基建設中。新設2基の計画あり。



エネルギー自給率と原子力発電比率

○概ね、エネルギー自給率と原子力発電比率は、反比例の関係にある。



エネルギー自給率 = (原子力を除くエネルギー供給合計 / 一次エネルギー供給合計) × 100
出典: IEA Energy Balances of OECD and Non-OECD Countries 2008、
IEA Electricity/Heat in OECD and Non-OECD Countries 2008

エネルギー基本計画の概要(平成22年6月18日閣議決定)

2030年に向けた目標

- エネルギー自給率(約18%)及び化石燃料の自主開発比率(約26%)を**倍増**
- ゼロ・エミッション電源比率を34%→**約70%に引き上げ**
- 「暮らし」(家庭部門)のCO₂を半減
- 産業部門において、世界最高のエネルギー利用効率の維持・強化
- エネルギー製品等の国際市場で我が国企業群がトップクラスのシェア獲得

(※この結果、自主エネルギー比率は38%→70%程度まで向上)

目標実現のための取組

資源確保・安定供給強化への総合的取組

- 官民一体となった資源国との戦略的関係の深化
- 戦略レアメタルの自給率50%以上

等

自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現

- 再生可能エネルギー固定価格買取制度の拡充、規制緩和
- 原子力発電の推進**
 新增設： 2020年+9基、2030年+14基以上
 設備稼働率： 2020年85%、2030年90%
- 石炭火力発電の高効率化

等

革新的なエネルギー技術の開発・普及拡大

低炭素型成長を可能とするエネルギー需要構造の実現

- 世界最高水準の省エネ水準の維持・強化(産業部門)
- 新築住宅・建築物を2030年までにネット・ゼロ・エネルギー化
- LED等の高効率照明を、2020年までに販売の100%シェア、2030年までに普及の100%シェア
- 新車販売に占める次世代車の割合を2020年最大50%、2030年最大70%

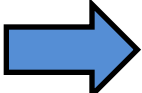
等

新たなエネルギー社会の実現

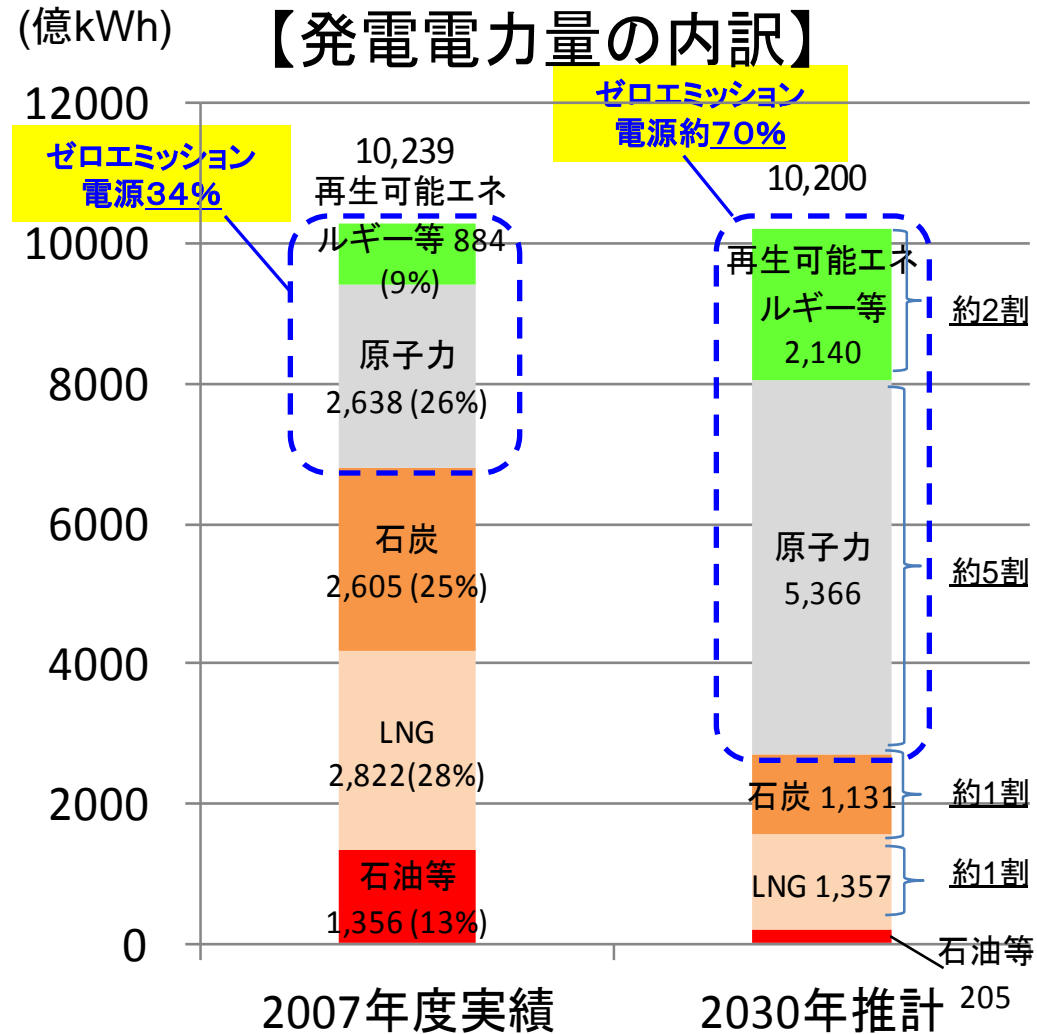
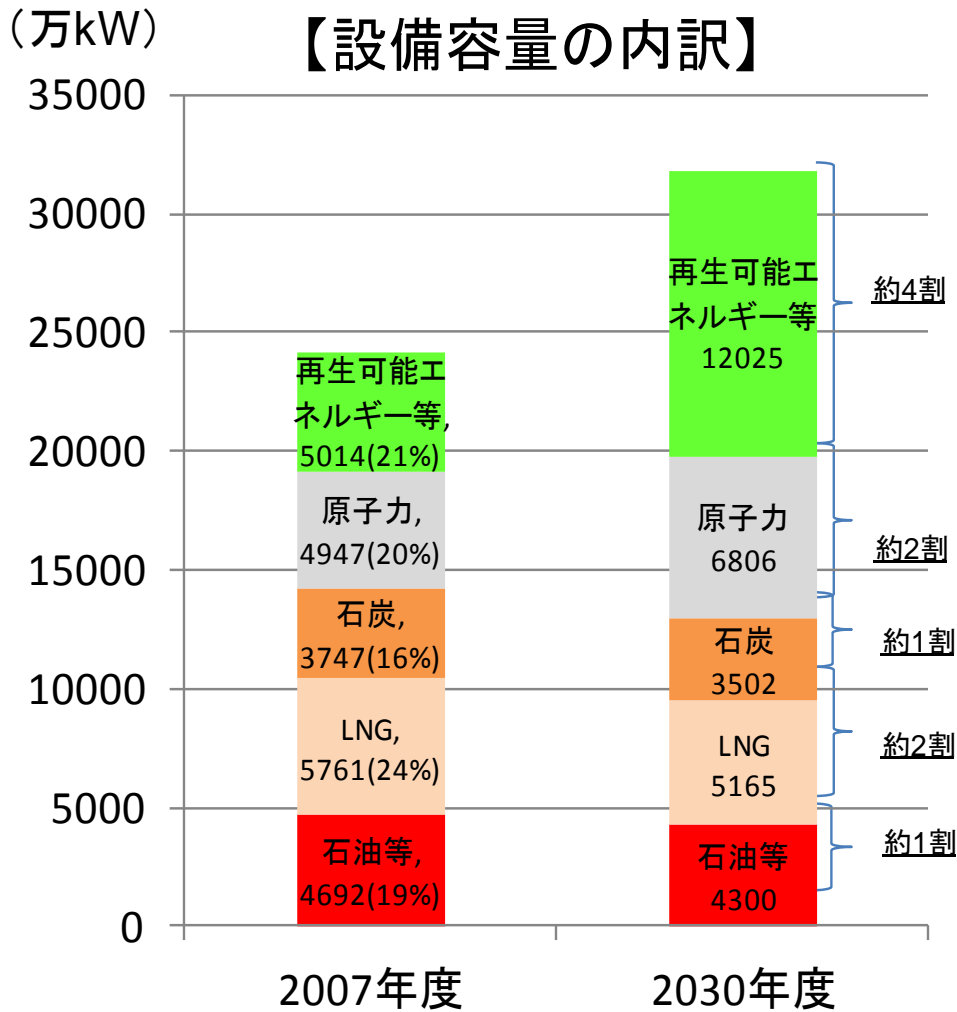
- スマートグリッドやスマートコミュニティの国内外での実証

等

エネルギー・環境分野における国際展開の推進

- 
- 以上の対策を強力に推進することで、エネルギー起源CO₂排出量について、**2030年に90年比▲30%程度**もしくはそれ以上の削減を見込む。

エネルギー基本計画におけるエネルギー供給の絵姿(試算)



※2030年の「再生可能エネルギー等」には、家庭等での発電量も含む

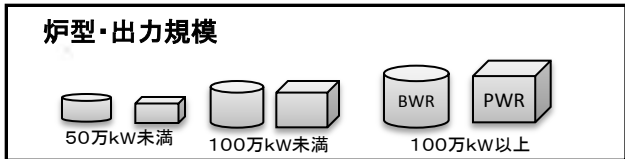
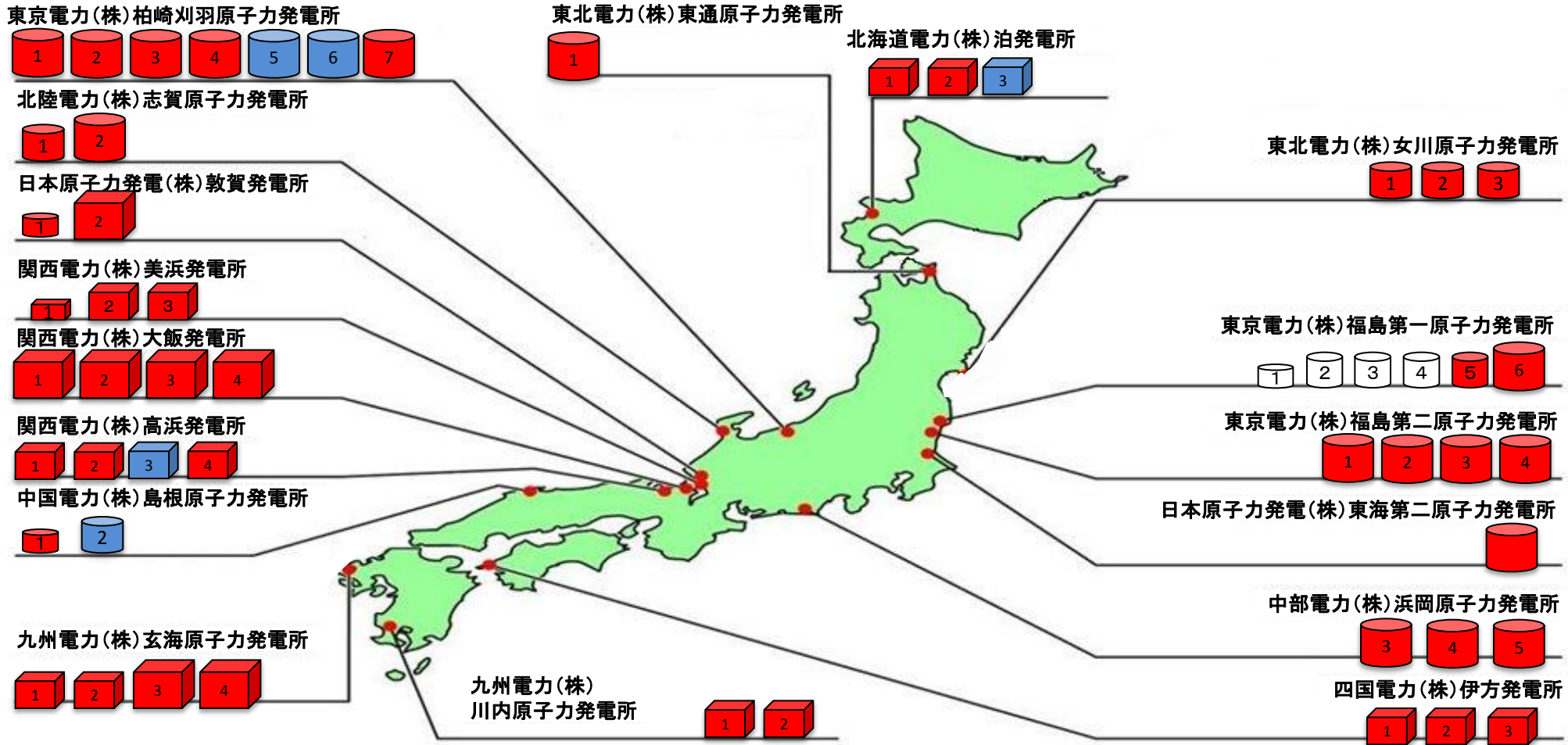
※大幅な省エネルギーや、立地地域を始めとした国民の理解及び信頼を得つつ、安全の確保を大前提とした原子力の新增設(少なくとも14基以上)及び設備利用率の引き上げ(約90%)、並びに再生可能エネルギーの最大限の導入が前提であり、電力システムの安定度については別途の検討が必要である。

※石炭火力については、商用化を受けて、リプレース時には全てCCSを併設すると想定。今後の技術開発やCO2の貯留地点の確保等によって変動しうる点に留意が必要。

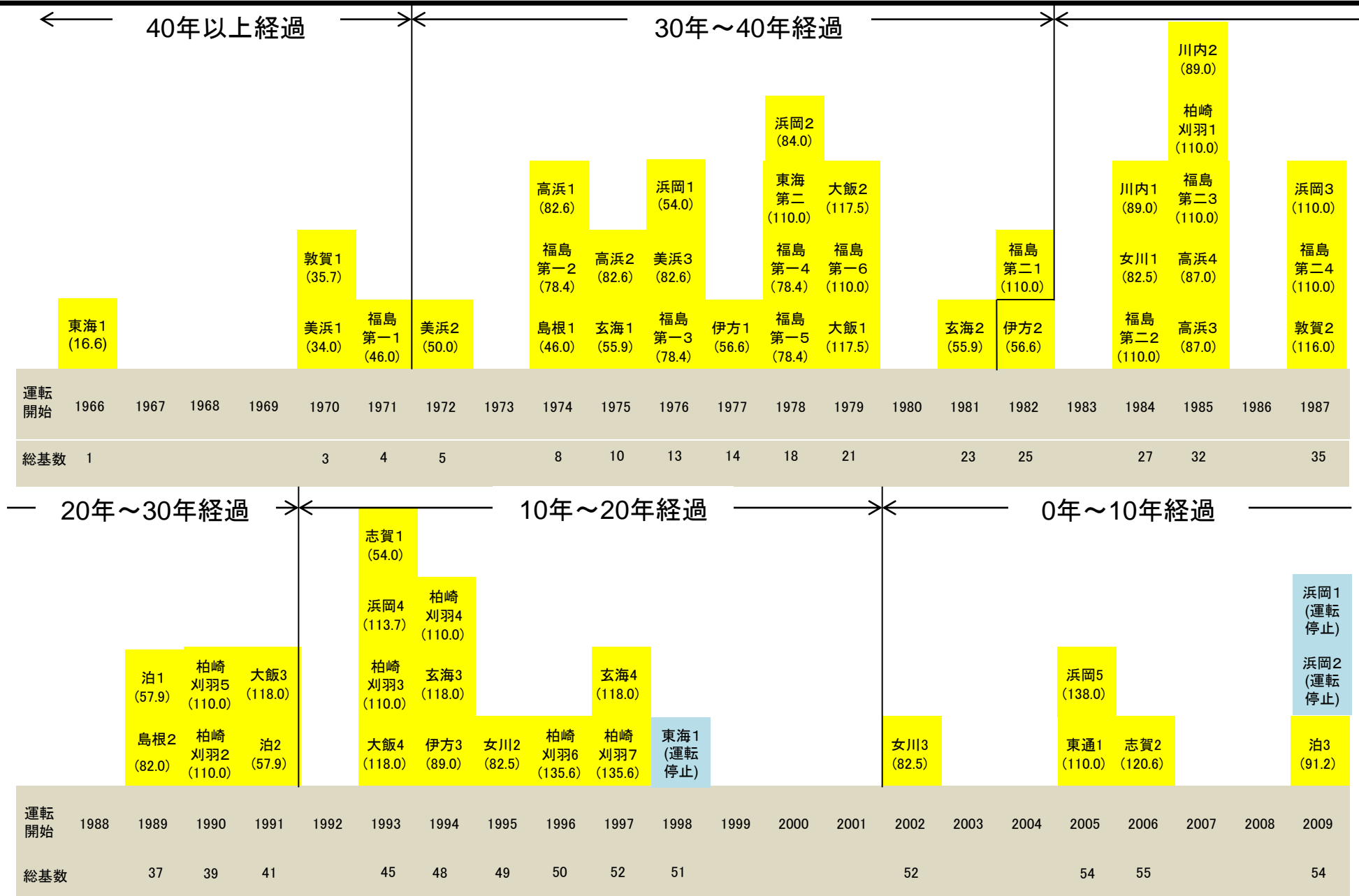
※ゼロエミッション電源約70%には、再生可能エネルギー等のうち、廃棄物発電及び揚水発電を除く。

原子力発電所の運転状況について(1月24日時点)

○国内の原子力発電所54基(ただし、東京電力は、福島第一原子力発電所1~4号機の廃炉を決定)のうち停止中のもの(赤)が45基、運転中(青)が5基。



既設発電所の運転年数と高経年化の状況(2012年1月時点)

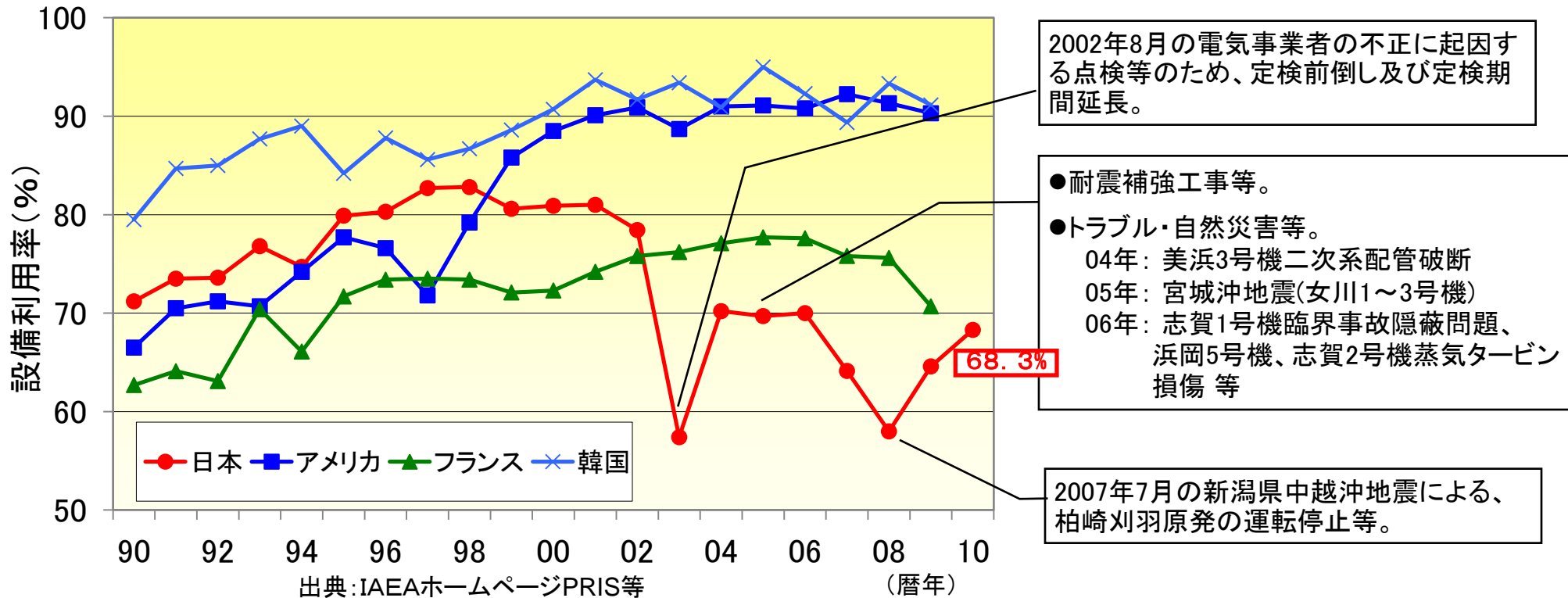


注) 括弧内は出力(万kW)

設備利用率の各国比較

○我が国の原子力発電所の設備利用率は、1990年代後半から2002年までは80%程度で推移していたものの、近年特に、トラブルや自然災害(中越沖地震等)の影響により70%台に低迷。他方、米国は、1990年代まで80%以下で推移していたものの、2000年以降は90%前後に改善。

世界の設備利用率との比較 (※東日本大震災前のもの)



※原子力依存度が約8割と極めて高いフランスでは、電力需要に応じて出力を低下させる負荷追従運転が取り入れられているため、設備利用率が相対的に低い。

(注) 設備利用率 =
$$\frac{\text{発電電力量 [kWh] の合計}}{(\text{定格電気出力 [kW]} \times \text{暦時間 [時間]}) \text{ の合計}} \times 100 [\%]$$

平成23年度原子力関係予算

省庁名	23年度当初予算額(単位:億円)
文部科学省	2,441億円 (うち、一般会計 1,092億円、エネ特会 1,349億円)
経済産業省	1,812億円 (全てエネ特会分)
内閣府	16億円 (全て一般会計分)
総務省	0.1億円 (全て一般会計分)
外務省	59億円 (全て一般会計分)
国土交通省	0.3億円 (全て一般会計分)
合計	4,330億円 (うち、一般会計 1,169億円、エネ特会 3,161億円)

※エネ特会：エネルギー対策特別会計

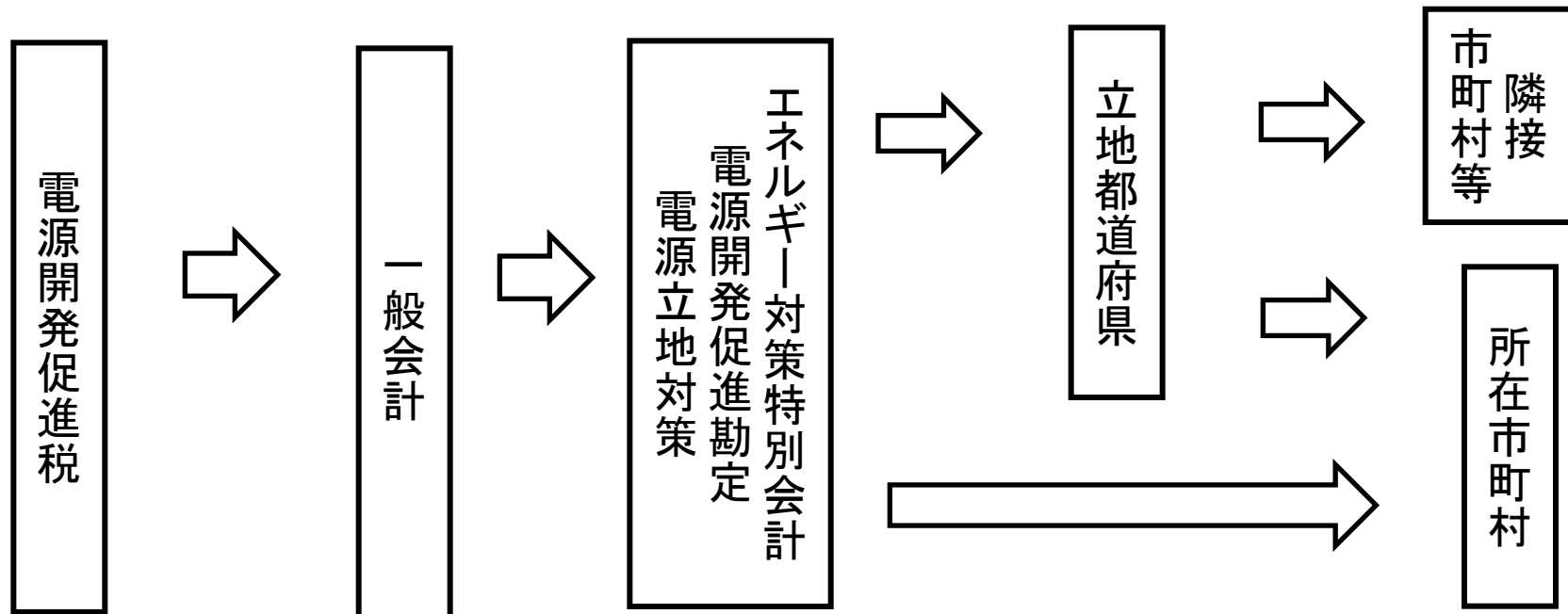
出典：平成23年第2回原子力委員会定例会資料

電源立地地域対策交付金制度の概要

- 電源立地地域対策交付金は、発電用施設等の立地及び運転の円滑化のため、電源立地地域に交付されるもの。
- 電源立地自治体の裁量により、公共用施設の整備等のハード事業から福祉対策等のソフト事業まで、幅広い事業の実施が可能。

スキーム図

平成23年度予算額 1,110億円



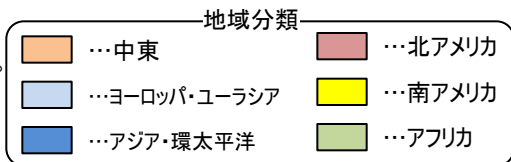
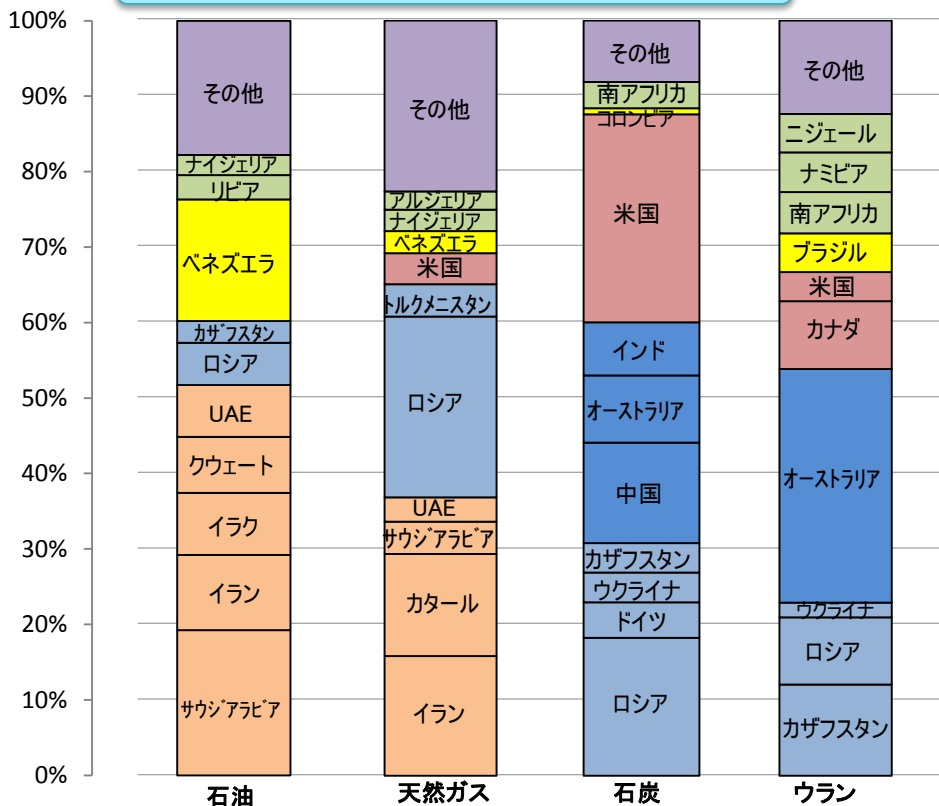
3. 原子力発電の特性

原子力発電の特性①

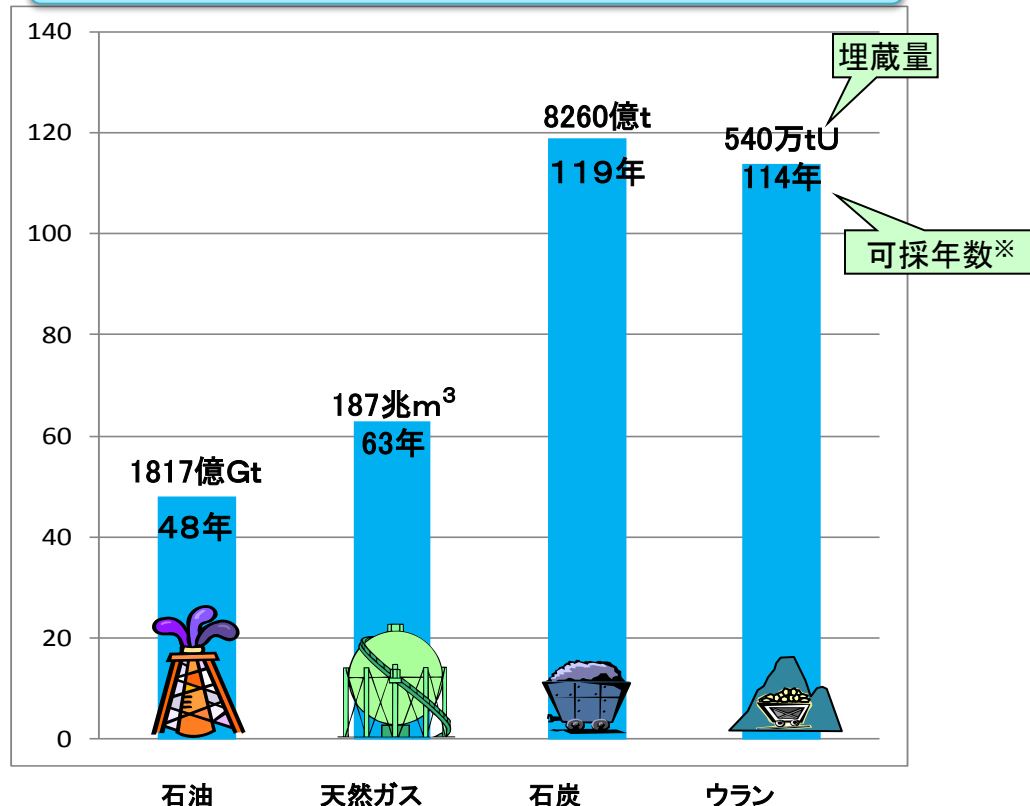
(1)原子力発電の燃料となるウランは石油、天然ガスと比較して、特定地域への強い偏在が少ないため、供給安定性に優れている。

(2)ウランは石油、天然ガスに比べ、可採年数が長いため、燃料の調達という観点から、持続性に優れている。

国別ウラン埋蔵量



世界のエネルギー資源確認可採埋蔵量と可採年数



※:可採年数は、埋蔵量を年間使用量で除したものの。
 なお、今後の世界における需要増加見通しについては考慮されていない。

出典:原油、天然ガス、石炭:「BP統計2010」
 ウラン: OECD/NEA&IAEA, Uranium 2009

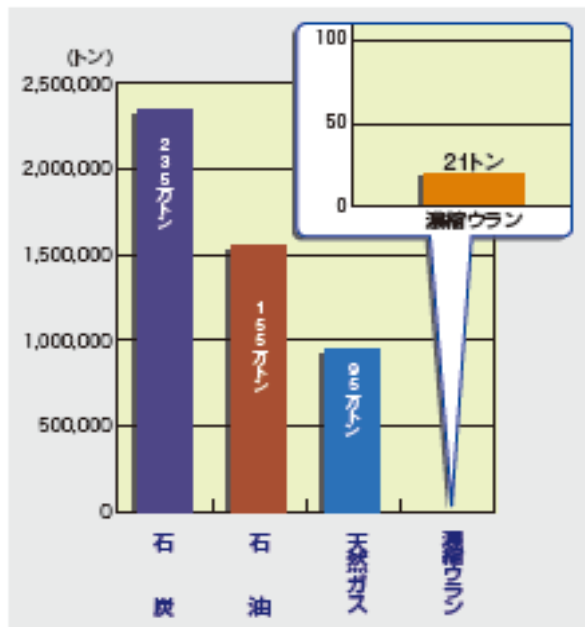
出典:原油・天然ガス・石炭:「BP統計2011」、ウラン: OECD/NEA&IAEA, Uranium2009

原子力発電の特性②

- (3)原子力発電は、石油、石炭、天然ガスと比較して、同じ発電量を得るために必要となる燃料が少なく、また、燃料交換後1～2年間は発電を継続できるなど**備蓄効果**が高い。
 - (4)原子力は石油、天然ガス、石炭と比較して発電コストに占める燃料費の割合が小さいため(次頁以降参照)、**発電コストは燃料の価格変動の影響を受けにくい**。
 - (5)原子力は再生可能エネルギーと同様に発電過程において**二酸化炭素を排出しない**。
 - (6)原子力は**大事故が起きた際の被害が大きく**、また、大規模電源であるため、**停止した場合の電力供給に与える影響が大きい**。
- (※東京電力福島第一原子力発電所事故の分析と安全対策については次回会合において集中的に審議予定)

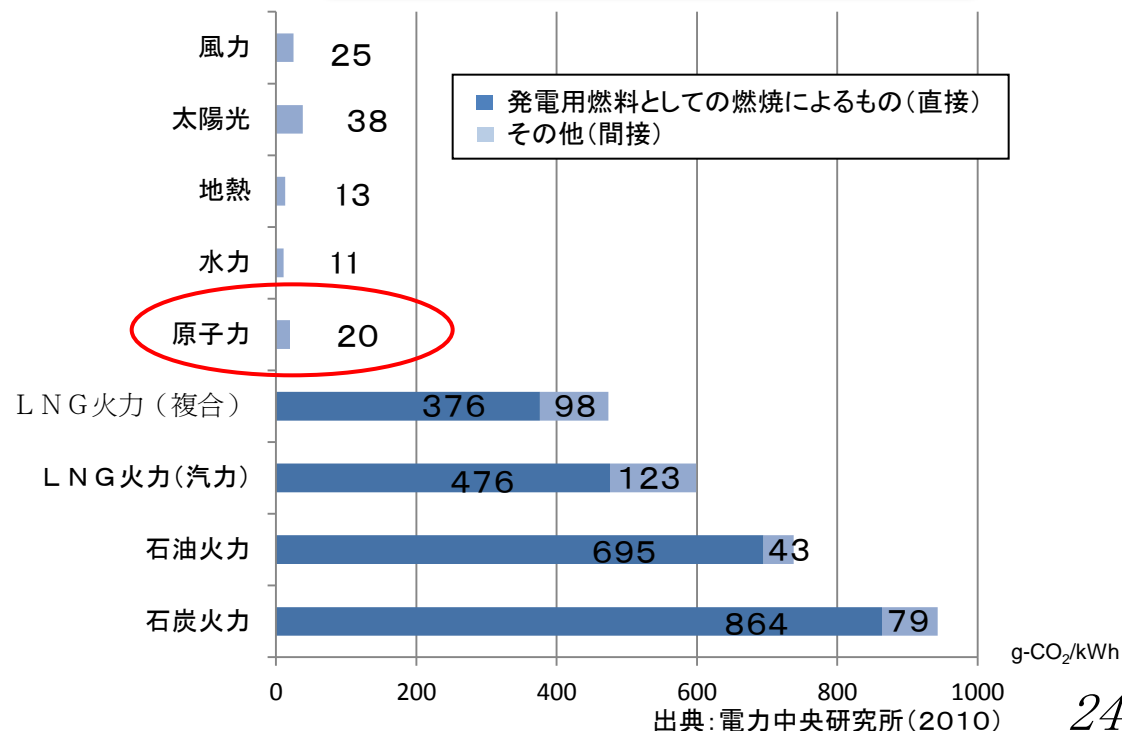
100万kWの発電所を1年間
運転するために必要な燃料

■ 100万キロワットの原子力発電所が1年間で発電する電力量を他の発電方式で代替した場合に必要な燃料



出典: 資源エネルギー庁「原子力2010」

各種電源の発電量当たりの
温室効果ガス排出量(CO2換算)



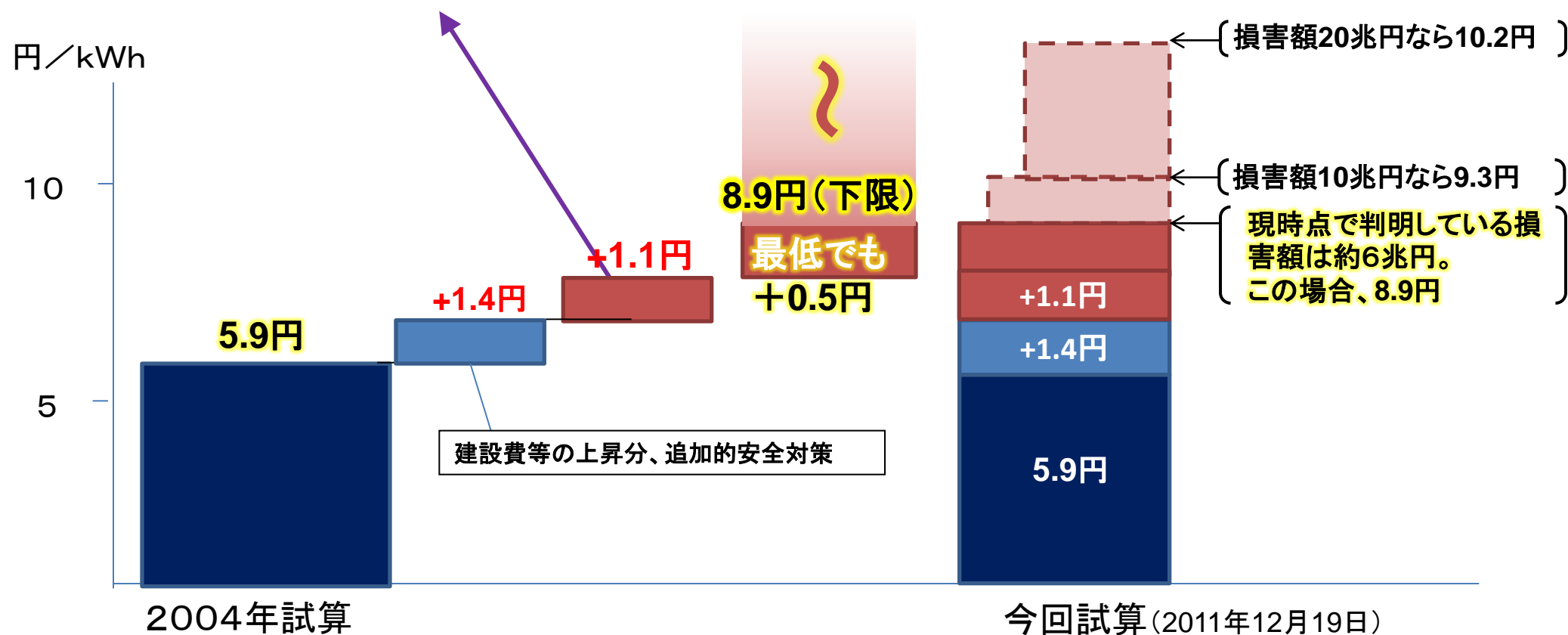
原子力発電コストの徹底検証(コスト等検証委員会)

【ポイント1】政策経費の加算

立地交付金(約1278億円)やもんじゅ等の研究開発費(約1402億円)も含めて(約3183億円)、コスト試算に上乘せ。
 (3183億円÷2882億kWh=1.1円/kWh)

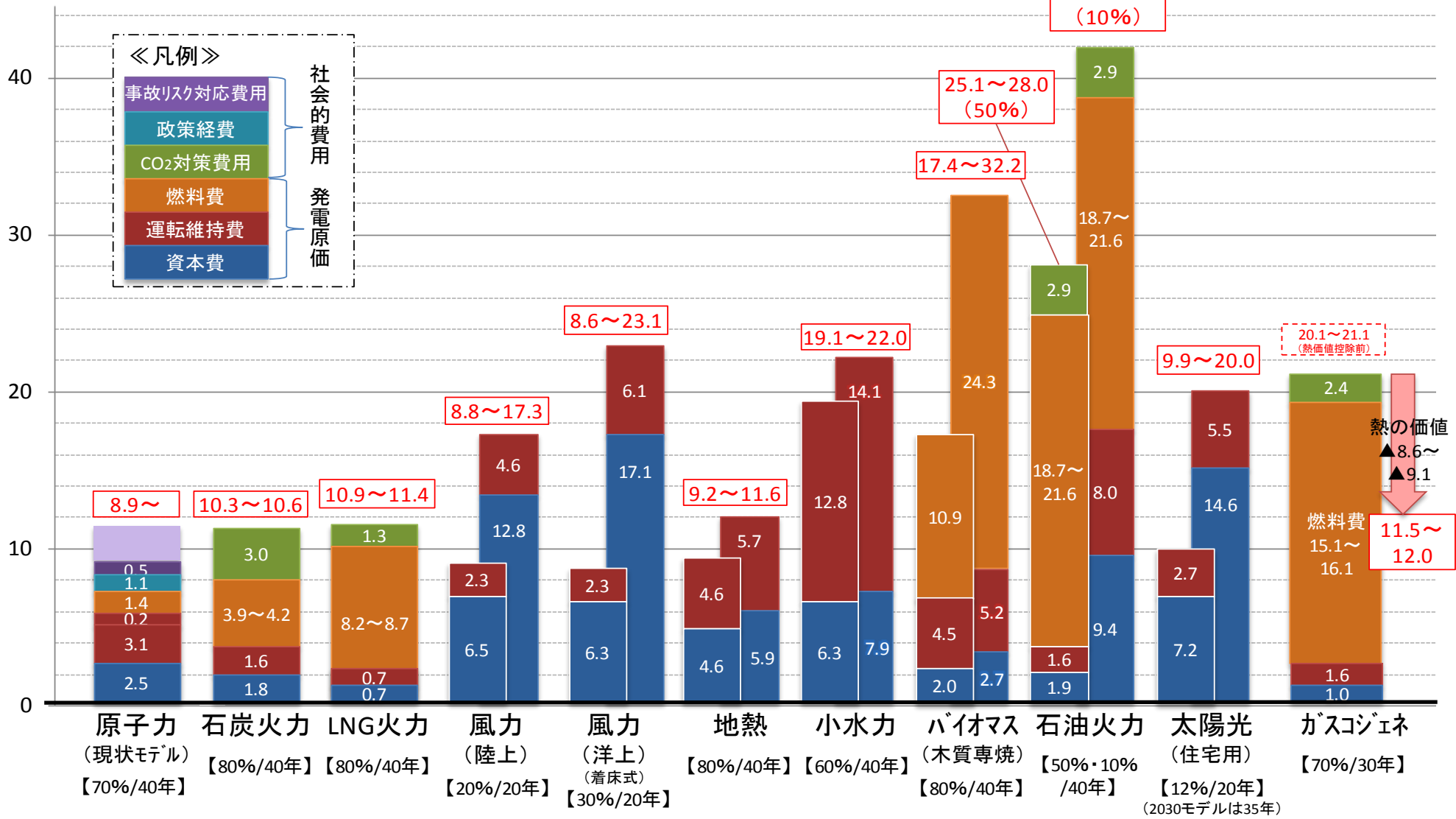
【ポイント2】事故リスク対応費用(賠償・除染・廃炉費用)

福島原発事故による損害は、現時点で約8兆円。モデルプラントにあわせて補正し約6兆円。その場合0.5円/kWhに相当。ただし、損害額は増える可能性があるため、下限として提示し、損害想定額が1兆円増えると0.1円/kWh上昇と記載。



発電コストの比較(2030年モデルプラント)

〔円/kWh〕



【設備利用率(%) / 稼働年数(年)] (割引率3%)

(再生可能エネルギーは、下限(左)と上限(右)。石油火力は、設備利用率50%(左)と設備利用率10%(右)。

※2030年モデルプラントの発電コストでは、技術革新の効果や量産効果、燃料費の将来見通し等を見込んで試算。

出典:コスト等検証委員会報告書

なお、原子力については、次世代軽水炉による合理化は定量的に見込まず。

※核燃料サイクルコストについては現状モデル(使用済燃料全量を適切な期間貯蔵しつつ再処理していく現状を考慮したモデル)を採用

我が国の原子力損害賠償制度

【原子力損害の賠償に関する法律】

○原子炉の運転等により生じた原子力損害は、原子力事業者が賠償責任を負う。(無過失責任、責任集中、無限責任)

※「原子力損害」とは、核燃料物質の原子核分裂の過程の作用又は核燃料物質等の放射線の作用 若しくは毒性的作用により生じた損害をいう。

○原子力事業者に、原子力損害を賠償するための措置(賠償措置)を義務付け。

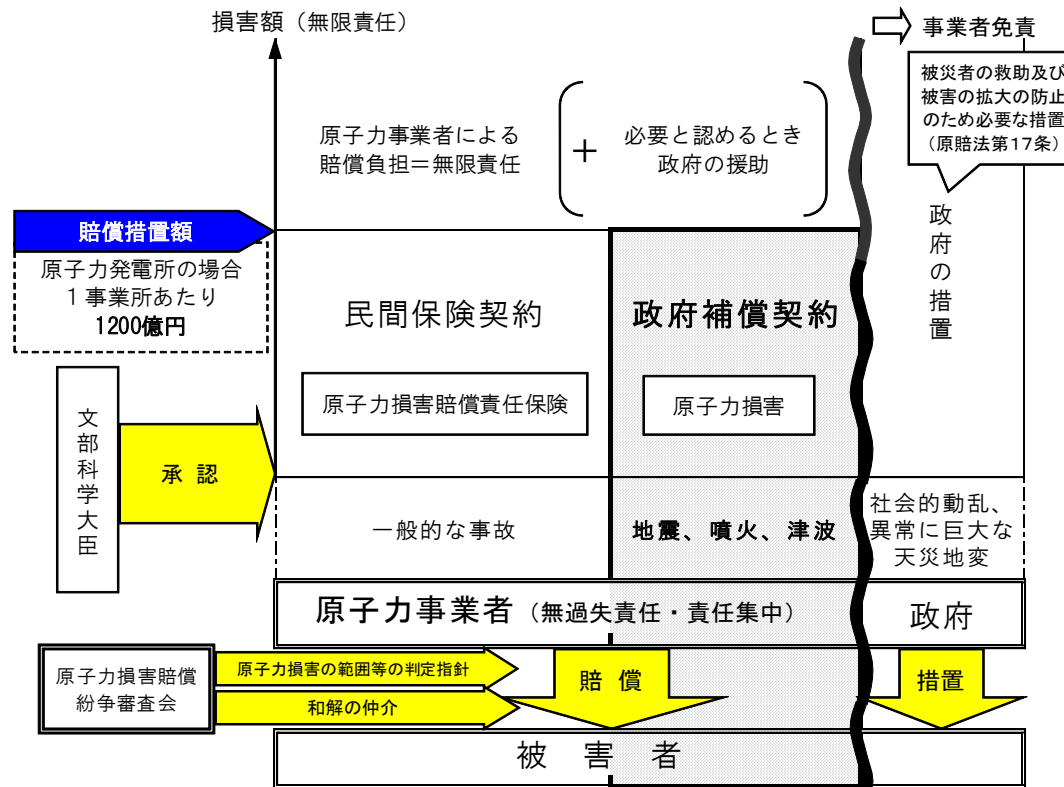
= { 原子力損害賠償責任保険 (民間保険契約) の締結
 原子力損害賠償補償契約 (政府補償契約) }

○賠償責任が賠償措置を超える場合の政府の援助や異常に巨大な天災地変又は社会的動乱により原子力損害が生じた場合の政府の措置を規定。

○和解の仲介や原子力損害の範囲等の判定指針を行う原子力損害賠償紛争審査会について規定。

【原子力損害賠償補償契約に関する法律】

○民間保険契約で補てんできない損失を補償するため、政府と原子力事業者が締結する原子力損害賠償補償契約の手續や補償金の支払等について規定。



4. 我が国の核不拡散への取組

原子力の平和利用と核兵器不拡散条約(NPT)体制

NPT加入国(190ヶ国)

核兵器保有国(疑惑国も含む)

NPT非加入国

インド
パキスタン
イスラエル

NPT上の核兵器国

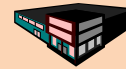
米、露、英、仏、中

非核兵器国(185ヶ国)

日本



商業再処理施設

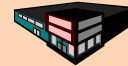


商業濃縮施設



原子力発電所

ドイツ、オランダ、
ブラジル、
アルゼンチン等



商業濃縮施設



原子力発電所

韓国、カナダ、ウクライナ、スウェーデン、
スペイン、ベルギー、チェコ、スイス、
ブルガリア等



原子力発電所

南アフリカ(濃縮放棄・核兵器廃棄)

ベトナム、UAE、ヨルダン等

原子力発電所計画中

リビア(核兵器等開発放棄)

原子力発電所なし:153ヶ国

31ヶ国

154ヶ国

出典:「核不拡散と原子力平和利用の現状と将来の課題」日本原子力研究開発機構 千崎雅生, 2006年9月に基づき経済産業省が作成

原子力平和利用と核不拡散を巡る国際的な動向

1957年
1970年
1974年

- IAEA設立
- 核兵器不拡散条約発効(日本は1977年に加盟)
- インドの核実験を契機として、米国、カナダなどの原子力供給国が核不拡散強化に方針転換。

核不拡散体制強化の流れ

(参考)米国カーター大統領声明ポイント(1977年)
・商業用再処理とプルトニウム・リサイクルの無期限延期
・高速増速炉の開発計画変更と商業化延期
・濃縮、再処理の施設及び技術の輸出禁止

1977年～

- 米国の提唱によりINFCE(国際核燃料サイクル評価)設立**:米国の意向に反し、原子力の平和利用(特に濃縮・再処理の利用)と核拡散防止は両立可能との結論(1980年)。
- ロンドン・ガイドライン成立**:核物質や原子力資機材・技術を輸出する際には相手国から核拡散防止のための約束をとりつけることで合意。
- 日米原子力協定**:核不拡散強化方針を打ち出していた米国との間で10年にわたる交渉の結果再処理にかかる包括同意を取り付けた(1988年)。

「わが国は、核拡散防止のための国際的努力には、世界の平和及び我が国自らの安全のためにも積極的に協力するが、他方わが国の原子力平和利用に対する不当な制約は排除するとの基本方針に従って活発な外交活動を行った」(1980年版外交青書)

わが国は、こうした外交活動や国内の保障措置の徹底(後述)の結果、現在では、非核兵器国の中で唯一、濃縮・再処理技術を含むフルセットの核燃料サイクルの保有を国際的に認知された地位を獲得。

1990
～2000
年代

- 世界的に原子力新規導入・拡大の動きが本格化。他方、1990年代に入り、イラクや北朝鮮による秘密裏の核開発疑惑を契機として、「原子力平和利用と核不拡散の両立」を図ることが国際的な課題として一層重要に。
- これを受け、IAEAは従来の保障措置を強化し、未申告の核物質や原子力活動の探知を可能とするための**モデル追加議定書**を作成。わが国は1999年に締結して以来その普遍化を推進。

その後も原子力平和利用と核不拡散を両立させるため、原子力資機材・技術の輸出規制の強化、保障措置の徹底、核燃料供給・引取サービスの枠組みづくり等について国際的な議論が活発化。

(オバマ大統領が2009年4月にプラハで掲げた「核無き世界」という目標を達成するために)「世界は、日本の知見、リソース、高潔なリーダーシップを求めている。私は、核燃料サイクルセキュリティのために実現性のある国際システムを発展させ、このような方策を世界に広めるという、日本がこれまで果たしてきた主導的役割を称える。我々は、このビジョンに向かって、引き続き共に取り組んでいくことが必要である。」

我が国の核不拡散への取組

- 我が国は、1957年のIAEA設立当初から、IAEAを通じてカナダから購入した天然ウランにIAEAの保障措置を適用するなど、IAEA保障措置システムの確立に貢献。1987年には、大型再処理施設の保障措置適用に関する技術的検討の国際会合を我が国の特別拠出金により設立。1990年代に入り、追加議定書の枠組み作りにも貢献。
- 我が国自身は、IAEA保障措置が確立する前から、米、英との二国間原子力協定に基づいて、相手国による査察を受入れていたが、これらの国による保障措置をそれぞれ協定に基づきIAEAに移管した後、1977年にはIAEAとの間で包括的保障措置協定を締結し、また、1999年には商業規模の核燃料サイクルを有するNPT非核兵器国としては、世界で最も早く追加議定書を締結。さらに、2004年のIAEA理事会では、「全ての核物質が平和的活動の中にとどまっている」との評価を得て、商業規模の核燃料サイクルを有する非核兵器国として初めて統合保障措置の適用を受けるにいたった。

※保障措置とは、核物質が平和目的だけに利用され、核兵器等に転用されないことを担保するために行われる検認活動。具体的には、核物質の計量管理、カメラ等による監視、査察が行われる。

※IAEA追加議定書とは、従来の保障措置を強化するために、締約国に、①現行の保障措置協定において申告されていない原子力に関連する活動に関し申告を行うこと、②現行の保障措置協定においてアクセスが認められていない場所等への補完的なアクセスを認めることを義務付けるもの。

※統合保障措置とは、保障措置協定と追加議定書を一定期間に亘って受け入れ、IAEAにより「保障措置下にある核物質の転用」及び「未申告の核物質及び原子力活動」が存在しない旨の結論が得られた国に適用される措置。従来の計量管理を基本としつつ、短期通告査察又は無通告査察を強化することで、査察回数を削減するなど効率化を図ることが可能。

六ヶ所再処理施設の保障措置について

●法律上及び保障措置協定上の義務

- 原子炉等規制法に基づき、計量管理規定を定め、文部科学大臣の認可を受けることを義務づけ。
- 計量管理規定に基づき、施設における核物質在庫量等のデータは、国を通じてIAEAに申告され、国及びIAEAは、査察により検認を行うとともに、必要な評価を行い、保障措置上問題がないことを確認

●六ヶ所再処理施設における追加的な取組

- 大型商用再処理施設における保障措置のあり方について、仏、独、日、英、米、ユーラトム（欧州原子力共同体）及びIAEAが検討した結果を踏まえ、効率的かつ効果的な保障措置適用のための技術をIAEAと協力しつつ整備（Large Scale Reprocessing Plant Safeguards = LASCAR）
 - ・施設を運転した状態でプルトニウム在庫量を計量するシステム
 - ・プルトニウム溶液等の液位、密度、温度等を連続的にモニタリングし、申告どおりの運転が行われていることを確認するシステム
 - ・非破壊分析装置
 - ・封じ込め・監視装置
- 再処理工場の一画に工程からの試料を採取し分析するIAEAと共同利用の保障措置分析所（OSL）を設置。
- 再処理工場等に対する査察やOSLにおける分析業務の拠点として、六ヶ所保障措置センターを施設近傍に設置し、国の査察官及び指定保証措置検査等実施機関職員が常駐。
- IAEAの査察官の常駐（24時間監視）

日米原子力協定における日本での再処理実施に関する過去の経緯

○1974年のインドの核実験を契機としたカーター米大統領による核不拡散政策の強化により、旧動力炉・核燃料開発事業団(現日本原子力研究開発機構)東海再処理施設(1971年建設開始)の運転にかかる日米原子力協定に基づく米国の同意取り付けが難航。

○我が国は、原子力利用が我が国エネルギー安全保障及び経済発展によって不可欠との認識の下、

- ・核拡散防止の強化に積極的に協力
- ・原子力平和利用の推進と核拡散防止の両立
- ・NPTにおける非核兵器国の原子力平和利用の権利 等を主張

○交渉は1977年4月から1977年8月まで実施され、東海再処理施設において2年間、一定量の使用済燃料の再処理を実施すること等に合意。

○その後、核不拡散上の配慮から、東海再処理施設に建設されるプルトニウム転換施設をウランとの混合転換法に変えて本格運転にいたった。

○1981年に発足したレーガン政権(共和党)は、核拡散のおそれのない国の再処理には柔軟に対処する姿勢に転じ、東海再処理施設の処理量と新規再処理工場に関する制約は撤廃。

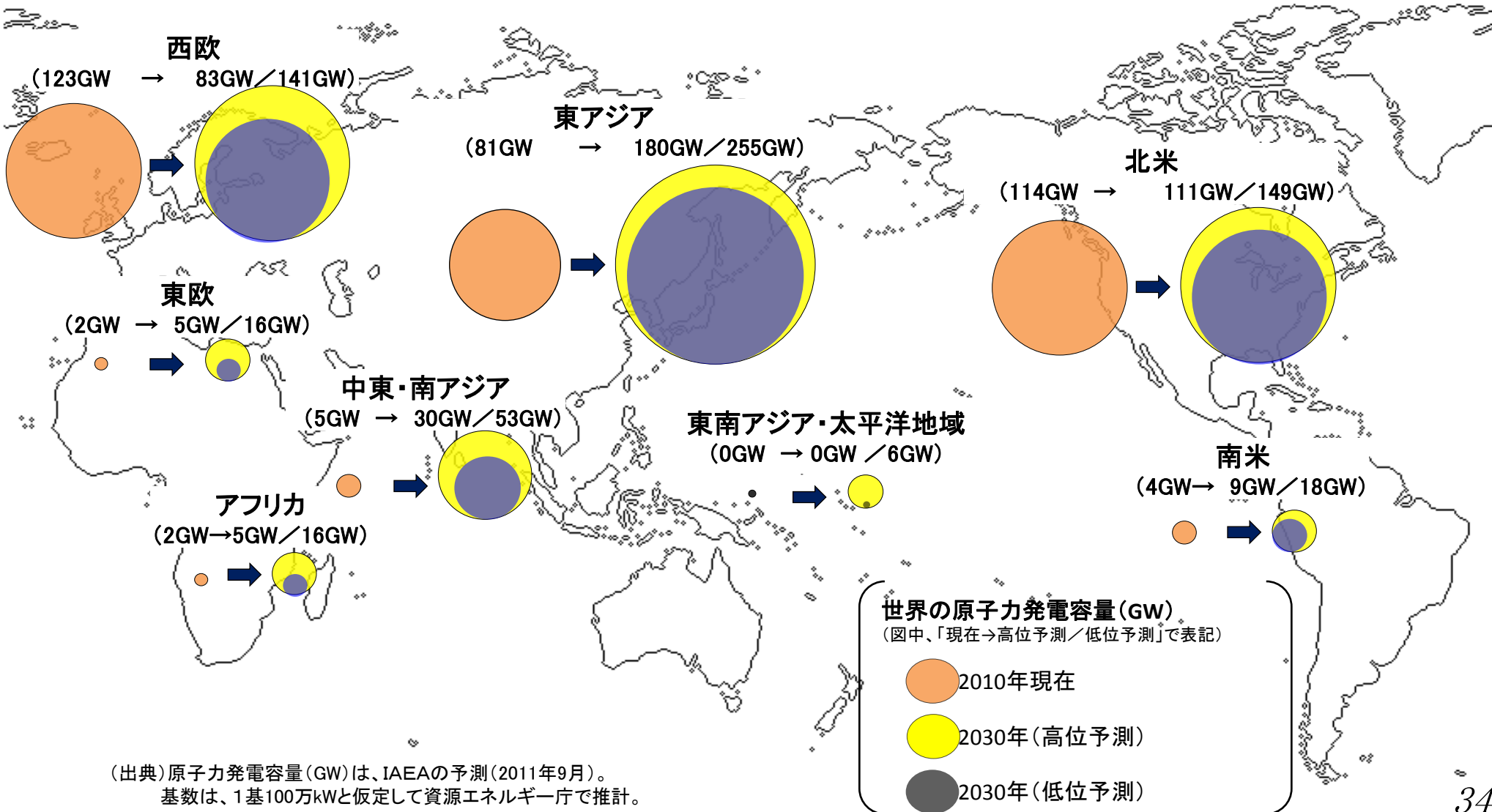
○1982年8月、日米間の対等性・規制権の双務性の確保、再処理の実施等にかかる「包括同意方式」の導入等を目指し、日米原子力協定改定交渉を開始し、15回にわたる協議等を経て1987年1月に実質合意。1988年7月に発効。

5. 世界の原子力利用の将来見通し

世界の原子力発電の見通し

○IAEAは、2030年までに、世界の原子力発電所の設備容量は30～100%増加すると予測。
 (原子力発電所(100万kW級)の基数換算で、130～370基程度増加(年間7～20基建設)(2011年9月))

○東アジア、東欧、中東・南アジア等で大きな伸びが予想される。



事故後の各国原子力政策・計画の状況(欧州①)

	原子力政策・計画の状況	備考
ベルギー	○2011年10月、新政権(同年12月発足済)は、2003年の脱原子力法(既存原発は運転開始後40年で閉鎖)の方針を踏襲することで合意。	・運転中7基、建設中0基、計画中0基 ・2006年日ユーラトム協定発効
チェコ	○6基(旧ソ連製)運転中。2020~25年運転開始にて、2基建設計画あり。 ○2011年10月、入札開始。2013年炉型選定予定。	・運転中6基、建設中0基、計画中3基 ・2006年日ユーラトム協定発効
フィンランド	○4基運転中、1基建設中。2020年運転開始にて、TVO社とフェンノボイマ社各々で1基ずつ建設計画あり。 ○TVO社は2014年中頃、フェンノボイマ社は2012年末頃炉型選定予定。	・運転中4基、建設中1基、計画中3基 ・2006年日ユーラトム協定発効
フランス	○当面は安全性能の強化を図り耐用年数の延長を目指すことを重視。 ○2011年4月、サルコジ大統領は、現時点で原子力を代替するエネルギーはない、原子力利用の賛成・反対ではなく安全性を議論すべきと発言。	・運転中58基、建設中1基、計画中2基 ・1972年原子力協定発効
ドイツ	○2011年6月、2022年末までに全原子力発電所の段階的停止を決定。	・運転中9基、建設中0基、計画中0基 ・2006年日ユーラトム協定発効
ハンガリー	○パクシュ原子力発電所に2基(5号機及び6号機)増設計画あり。	・運転中4基、建設中0基、計画中2基 ・2006年日ユーラトム協定発効
イタリア	○2011年6月、国民投票により原子力発電導入計画の中止を決定。	・運転中0基、建設中0基、計画中0基 ・2006年日ユーラトム協定発効
リトアニア	○2020年運転開始にて、ビサギナスに130万kW級2基(当面1基)建設計画あり。 ○2011年7月、日立を戦略的投資家として優先交渉企業に選定。	・運転中0基、建設中0基、計画中2基 ・2006年日ユーラトム協定発効
ポーランド	○2020年に運転開始にて、2基(計300万kW)建設計画あり。 ○2011年11月、サイト候補地をバルト海沿岸の3ヶ所に絞り込み。	・原発新規導入国:運転中0基、建設中0基、計画中6基 ・2006年日ユーラトム協定発効
ロシア	○2011年6月、キリエンコ・ロスアトム社長は、IAEA閣僚会議のステートメントで、福島 <small>の</small> 教訓を踏まえつつ、原子力の利用を継続する旨発言。	・運転中32基、建設中10基、計画中44基 ・原子力協定発効予定(2011年国会承認済)

事故後の各国原子力政策・計画の状況(欧州②、北中南米)

	原子力政策・計画の状況	備考
スペイン	○前政権は脱原子力の方針であったが、2011年11月総選挙で国民党に政権交代したことを受け、2012年1月、前政権が決めたガローナ原発の閉鎖期限を見直すべく、原子力安全委に安全性確認を要請する方針を発表。	・運転中8基、建設中0基、計画中0基 ・2006年日ユーラトム協定発効
スイス	○スイス議会は、新規原発建設の禁止を決定(リプレースを行わず段階的に原子力発電から撤退)。	・運転中5基、建設中0基、計画中0基
ウクライナ	○ロシア型15基運転中。2015～16年運転開始にて、2基建設計画あり。	・運転中15基、建設中0基、計画中13基
英国	○政府は、原子力白書(2008年)において、新規の原子力発電所が、英国の気候変動及びエネルギー安全保障に関する目的達成を助けると結論。 ○2023年までにPWR1基を除く18基を閉鎖予定。 ○2011年6月、2025年までの新設サイト候補地として8ヶ所を発表。	・運転中19基、建設中0基、計画中4基 ・1998年原子力協定発効
カナダ	○現在のところ原子力政策見直しの動きはない。	・運転中17基、建設中3基、計画中6基 ・1960年原子力協定発効
米国	○2011年3月、オバマ大統領は、原子力は温暖化対策のために重要なエネルギー源である旨表明。(エネルギーセキュリティに関する大統領声明) ○19件の新規建設プロジェクトが、米国規制当局に許認可申請中。(うち東芝グループが7件、三菱重工が2件、受注又は受注見込)	・運転中104基、建設中1基、計画中34基 ・1968年原子力協定発効
メキシコ	○現在のところ原子力政策見直しの動きはない。	・運転中2基、建設中0基、計画中2基
アルゼンチン	○アトーチャ2号機の建設再開及び4基目の建設計画あり。	・運転中2基、建設中1基、計画中3基
ブラジル	○2030年までに100万kW級4基を建設する計画あり。	・運転中2基、建設中1基、計画中4基 ・原子力協定交渉中
チリ	○福島原発事故を踏まえ、計画推進に慎重。 (2011年10月、エネルギー大臣より、熟慮なくしてあらゆるエネルギー源を排除することはないとしつつ、「現政権下では、原子力エネルギー政策に関しては、何も構築せず、計画せず、また決定することはない。」との発言あり)	・原発新規導入国:計画中4基

事故後の各国原子力政策・計画の状況(アジア①)

	原子力政策・計画の状況	備考
中国	<ul style="list-style-type: none"> ○原子力発電は依然としてエネルギー不足や地球温暖化に対応するための重要な選択肢の一つとの立場。 ○原子力発電中長期発展規則(2007年)において、2020年までに4000万kWまで拡大する計画あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転中14基、建設中28基、計画中29基 ・1986年原子力協定発効
韓国	<ul style="list-style-type: none"> ○2011年11月、原子力輸出大国をめざすことを柱に掲げるとともに、2016年までに6基の国内新規原発建設を計画。(第4次原子力振興総合計画(2011年)) 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転中21基、建設中5基、計画中6基 ・原子力協定発効予定(2011年国会承認済)
インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> ○福島原発事故を踏まえ、計画推進に慎重。 (2011年6月、ユドヨノ大統領は、インドネシアは日本同様、いろいろな自然災害が起こりうるが、日本から教訓を学び、その上で賢明な選択をして未来のエネルギー源を選んでいく旨発言。) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中2基 ・2007年11月、原子力協力文書署名
マレーシア	<ul style="list-style-type: none"> ○2021年に100万kW級2基の運転開始を目指し、2011年にFSの実施を予定していたが、同計画は遅れる見込み。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中2基 ・2010年9月、原子力協力文書署名
タイ	<ul style="list-style-type: none"> ○福島原発事故を踏まえ、計画推進に慎重。 (2011年4月、エネルギー大臣は、国家エネルギー政策委員会において原子力発電所建設計画の3年延期が決定された旨発言。) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中5基
ベトナム	<ul style="list-style-type: none"> ○ニントアン省の2サイトに各々100万kW級2基ずつ建設予定。 ○第1サイトは2020年、第2サイトは2021年に運転開始目標。 ○第1サイトはロシアを、第2サイトは、2010年10月の日越共同声明で、日本を建設パートナーに決定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中14基 ・2012年原子力協定発効
モンゴル	<ul style="list-style-type: none"> ○震災後も引き続き、将来の原発導入を検討中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国 ・2009年7月原子力協力文書署名

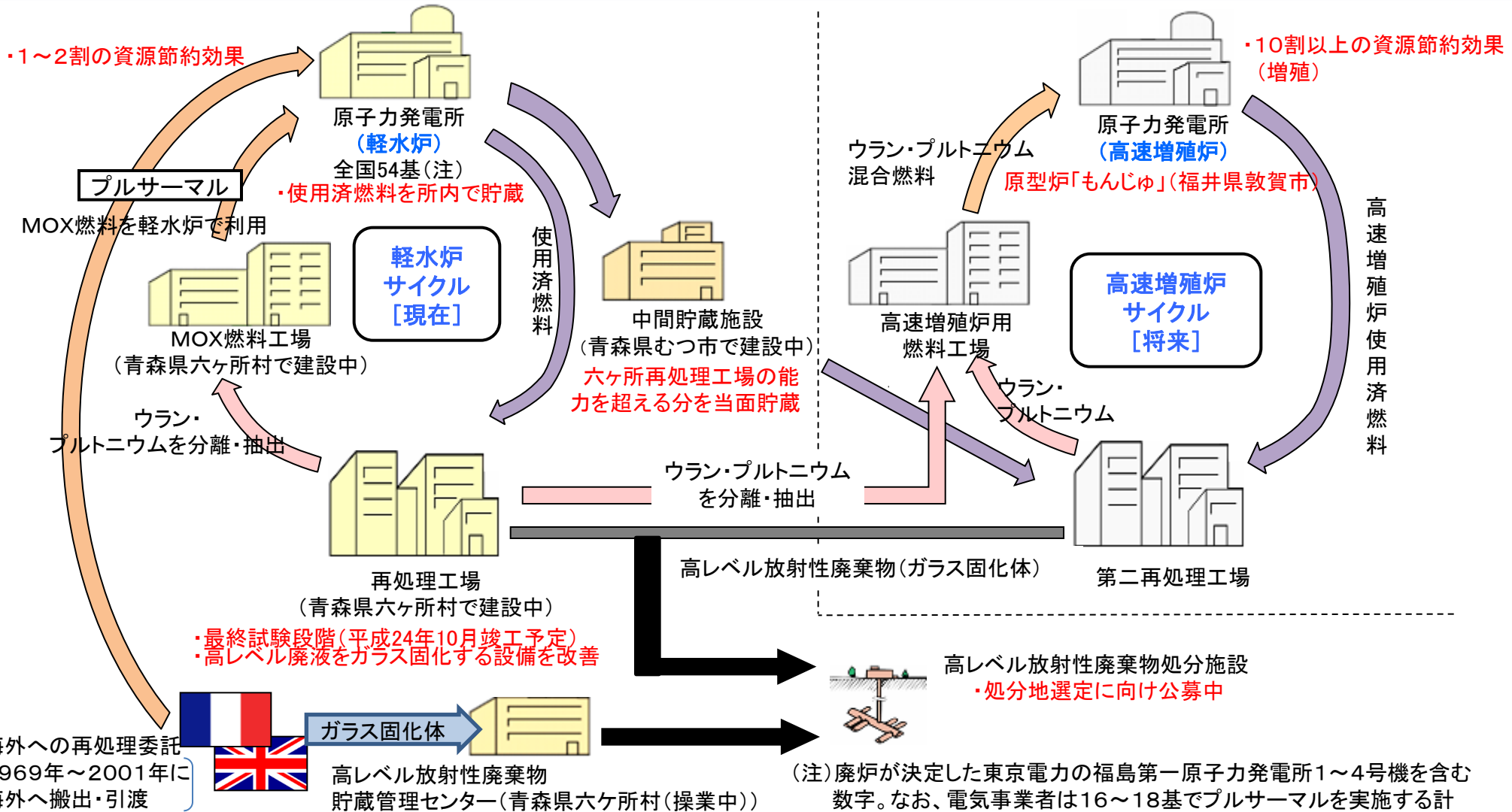
事故後の各国原子力政策・計画の状況(アジア②、アフリカ)

	原子力政策・計画の状況	備考
インド	<ul style="list-style-type: none"> ○第11次5カ年計画(2007年)において、2032年までに約6300万kWに拡大する計画あり。 ○米国に2サイト(最大12基)、ロシアに2サイト(最大12基、うち2基建設中)、フランスに1サイト(最大6基)を割り当て済。 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転中20基、建設中6基、計画中57基 ・原子力協定交渉中
ヨルダン	<ul style="list-style-type: none"> ○2019年に初号機(100万kW)を運転開始目標。 ○優先交渉権獲得に向け、日仏連合(アトメア社)、ロシア、カナダの3チームが競合中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中2基 ・原子力協定締結国会承認済
サウジアラビア	<ul style="list-style-type: none"> ○今後20年の間に16基を導入するとの計画あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中16基
トルコ	<ul style="list-style-type: none"> ○アキュ・サイト(120万kW級4基)、シノップ・サイト(規模未定4基)の2サイトで建設を計画。 ○アキュ・サイトはロシアと合意。シノップ・サイトは日本と交渉中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中8基 ・2010年原子力協力文書署名、原子力協定交渉中
アラブ首長国連邦	<ul style="list-style-type: none"> ○2017年初号機運転開始が目標。 ○2009年12月、韓国電力公社が4基の建設を受注。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国:計画中14基 ・2009年原子力協力文書署名、原子力協定交渉中
チュニジア	<ul style="list-style-type: none"> ○エネルギー多様化の観点から原発導入を検討中。 ○原子力分野の人材育成の協力要請あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・原発新規導入国
南アフリカ	<ul style="list-style-type: none"> ○2029年までに160万kW級6基建設する計画あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・運転中2基、建設中0基、計画中6基 ・原子力協定交渉中

6. 核燃料サイクルについて

核燃料サイクルについて

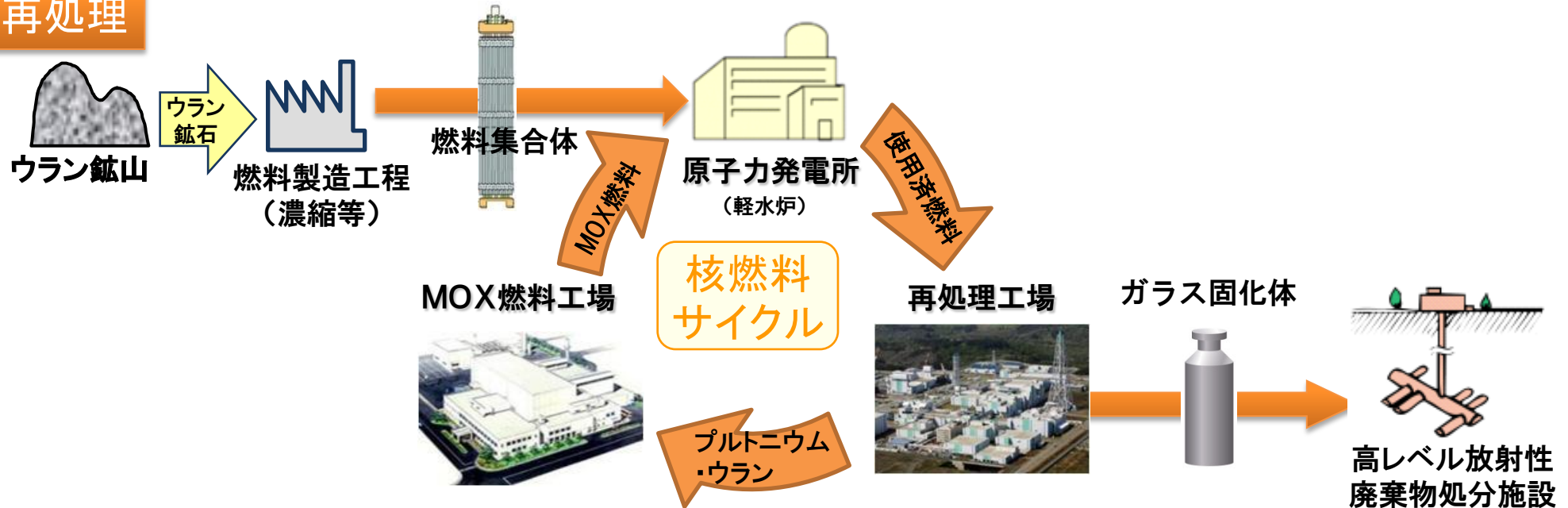
- (1) 「核燃料サイクル」は、原子力発電所の使用済燃料を再処理し、取り出したウランとプルトニウムを再利用するもの。廃棄物は処分。
- (2) 現在は軽水炉サイクル(プルサーマル)であるが、将来は、高速増殖炉サイクルを目指してきた。



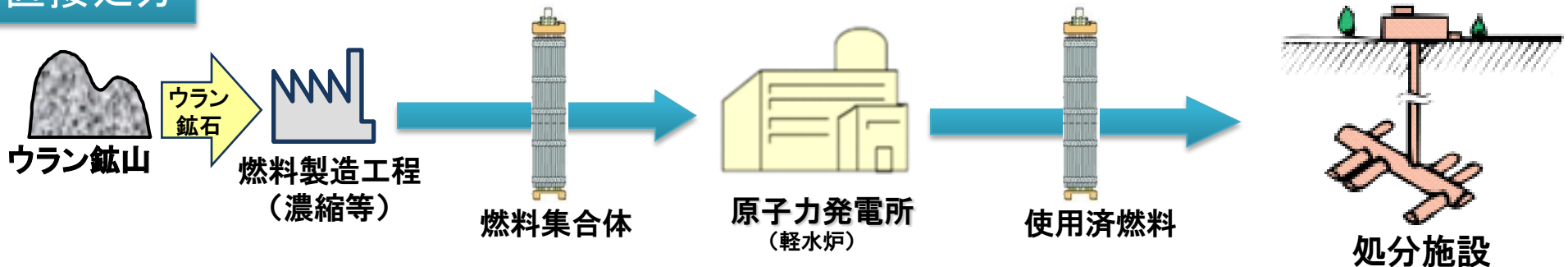
使用済燃料の再処理と直接処分について

- (1) 使用済燃料の取扱いは、原子力利用国共通の課題。
- (2) 国の方針として再処理を進める国(英・仏・露・中等)と、直接処分を基本とする国(米・フィンランド・カナダ・スウェーデン等)とがある。

再処理



直接処分



(参考)再処理の意義と批判

原子力委員会において検討が進められているところではあるが、従来、使用済燃料の再処理については、直接処分する場合に比較し、以下のような意義の指摘や批判がなされてきたところ。

<意義>

①エネルギーの安定供給に寄与

→回収したプルトニウム・ウランは準国産エネルギー。軽水炉再処理で1~2割のウラン資源節約。さらに、将来高速増殖炉(FBR)サイクルが実現すれば、半永久的な活用の可能性

②高レベル放射性廃棄物の体積を1/3~1/4に低減(減容効果)

③放射性廃棄物の有害度を低減

→軽水炉再処理で千年後に約1/8の有害度、FBRサイクルでさらに約1/30の有害度

<批判>

①経済性の面で直接処分に劣る

→約1.0円/kWh高い。「約19兆円」の再処理関連費用が発生

- ・平成16年 1月 総合エネ調で六ヶ所再処理費用(高レベル廃棄物処分を含む)を試算(約19兆円)
- ・平成17年10月 原子力委員会再処理、直接処分の場合のコストを試算し比較
- ・平成23年11月 原子力委員会再処理、直接処分の場合のコストを試算し比較

②核兵器に転用されるリスク。

(→ただし、現・原子力政策大綱策定に至る議論では、再処理でも直接処分でも、国際社会の懸念を招かないようにする必要があり、有意な差はないとの評価。また、わが国はIAEAの保障措置を厳格に適用するなど、核拡散防止を徹底している。)

③再処理の工程で大量の放射性物質が外部環境に放出される。

(→ただし、現・原子力政策大綱策定に至る議論では、再処理でも直接処分でも、適切な対応策を講じることにより所要の水準の安全確保が可能[※]であり、有意な差はないとの評価。)

[※]「直接処分する場合には、現時点においては技術的知見が不足しているため、その蓄積が必要である。再処理する場合には放射性物質を環境に放出する施設の数が増えるが、それぞれが安全基準を満足する限り、その影響は自然放射線による被ばく線量よりも十分に低くできる」(原子力政策大綱)

(参考)原子力委員会における検討状況

(1)原子力委員会は、従来の在り方に関わらず、原子力発電・核燃料サイクルの選択肢を幅広く提示し、その得失、選択の根拠、実現への課題などを整理する作業に着手。(1月11日の第5回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会にて今後の進め方を議論。第6回は本日開催。)

- 第1ステップ:核燃料サイクルの**選択肢を構成する要素**の特性(技術、安全性等)及び評価軸の整理
 - 核燃料サイクル(再処理・直接処分・長期貯蔵)
 - FBRとその他の研究開発
- 第2ステップ:核燃料サイクルの**政策選択肢の評価軸毎の分析**
- 第3ステップ:エネルギーミックスの**選択肢を踏まえた核燃料サイクルの政策選択肢の定量的評価と課題提示**

出典 原子力委員会 2011年度第5回原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会資料第2号より抜粋

米国の核燃料サイクル政策について

- 米国は、使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の貯蔵・処理・処分及び核燃料サイクルを含めたバックエンド政策の包括的な評価を行うため、科学者、産業界、元議員等計15名からなるブルーリボン委員会を設置。
- 2011年7月に中間報告書を公表。本年1月末に最終報告書を提出予定。

中間報告における核燃料サイクルに関する記述

- 現在の政策(軽水炉/ワンスルー政策)と3つの先進的な原子力エネルギーシステムについて米国の視点で比較検討を実施。
 - ・3つの先進的な原子力エネルギーシステム:「ワンスルーの高温ガス炉」、「修正オープンサイクルの軽水炉(MOX燃料を1回だけ使用し、その後は処分)」、「クローズサイクルの高速炉(継続的にアクチノイドをリサイクル可能)」
 - ・それぞれのオプションについて、①安全性、②費用、③ウラン使用量、④気候変動への影響、⑤エネルギーセキュリティ、⑥核不拡散、⑦テロ対策、⑧処分時の安全性(毒性と寿命)、⑨廃棄物の量、⑩貯蔵に必要なスペース、の視点で評価。
- 中間報告では、特定のサイクルをコミットするのは早計とし、原子力の廃棄物のプログラムや原子力エネルギーシステムが、状況の変化に効果的に適応できるようにオプションを維持し、発展させること、そのためにも核燃料サイクルの研究開発は継続していくべきと指摘している。

英国のプルトニウム管理方針

- 英国は、現在、約112トン(うち約28トンは、再処理契約の海外顧客分)の民生プルトニウムを保管。
- セキュリティ上のリスクや核不拡散に対する国際社会からの要請に応え、かつ将来の世代に負担を残さないために、英国政府はこれらのプルトニウムの長期的な管理についての検討を実施。2011年12月にDECC(英国エネルギー・気候変動省)がプルトニウム管理方針を公表。

○DECCの管理方針のポイントは以下のとおり。

- プルトニウムはMOX燃料へ再利用することが最も信頼性が高く技術的にも確立した選択肢。他のオプションも残しつつ、MOX燃料への再利用を最優先に、今後実施に必要な調査等を進める。
- 今後進められる検証作業の結果、MOX燃料としての利用が実行可能性、費用対効果、安全などの面で要件を満たす場合にのみ最終的な管理方法として確定されること。
- MOX燃料に利用できないプルトニウムは、当分貯蔵される。これらのための廃棄オプションは引き続き研究される。
- 英国にある海外の所有者のプルトニウムについても英国政府が受け入れられる商業ベース等の条件付で、英国のプルトニウムと同様に扱うことが可能。
- MOX燃料加工施設の建設に係る今後のステップは以下のとおり。
 - ・2011～2014 経済的妥当性確認、商業的・技術的リスクの低減、正当性の評価
 - ・2015～2018 プラント設計
 - ・2019～2024 プラント建設
 - ・2025～ プラント運転(2060まで)
 - ・2029～ 原子力発電所にMOX燃料装荷

各原子力発電所(軽水炉)の使用済燃料の貯蔵状況について

- (1) 原子力発電所は、使用済燃料を各発電所内(使用済燃料プール等)に貯蔵。
- (2) 一部では貯蔵余地がひっ迫。短いもので数年程度で使用済燃料の置き場がなくなる。
- (3) こうした観点からも、六ヶ所再処理工場や中間貯蔵施設の役割が位置づけられてきた。

(平成23年9月末時点)【単位:トンU】

発電所名		1炉心	1取替分(A)	使用済燃料貯蔵量(B)	管理容量(C)	管理余裕(C)-(B)	管理容量を超過するまでの期間(年) ((C)-(B)) / ((A)*12/16)
北海道	泊	170	50	380	1,000	620	16.5
東北	女川	260	60	420	790	370	8.2
	東通	130	30	100	440	340	15.1
東京	福島第一	580	140	1,960	2,100	140	1.3
	福島第二	520	120	1,120	1,360	240	2.7
	柏崎刈羽	960	230	2,300	2,910	610	3.5
中部	浜岡	410	100	1,140	1,740	600	8.0
北陸	志賀	210	50	150	690	540	14.4
関西	美浜	160	50	390	680	290	7.7
	高浜	290	100	1,180	1,730	550	7.3
	大飯	360	110	1,400	2,020	620	7.5
中国	島根	170	40	390	600	210	7.0
四国	伊方	170	50	590	940	350	9.3
九州	玄海	270	90	830	1,070	240	3.6
	川内	140	50	870	1,290	420	11.2
原電	敦賀	140	40	580	860	280	9.3
	東海第二	130	30	370	440	70	3.1
合計		5,070	1,340	14,200	20,630	6,710	

注) 管理容量は、原則として「貯蔵容量から1炉心+1取替分を差し引いた容量」。なお、中部電力の浜岡1・2号機の管理容量は、運転終了により、貯蔵容量と同量。

参考: 六ヶ所再処理工場の使用済燃料貯蔵量: 2,834トンU(最大貯蔵能力: 3,000トンU)

むつりサイクル燃料貯蔵センターの使用済燃料貯蔵量: 0トンU(最大貯蔵能力: 3,000トンU(※))

※平成24年7月操業予定。将来的に5,000トンUまで拡張予定。

プルサーマル計画の状況

- (1) 電気事業者は、平成27年度までにMOX燃料を軽水炉で利用する「プルサーマル」の16～18基での実施を計画。(営業運転開始は4基(東電福島第一3号機を含む。))
- (2) 震災後、福島第一3号機は廃炉の方針。

営業運転開始済※1

地元了解済※2

地元了解前

※1) 過去に電気事業者が海外(仏・英)で再処理委託して回収したプルトニウムによるMOX燃料を利用

※2) MOX燃料加工契約前、契約後、更には搬入済みまで現状は様々

平成23年12月末現在

日本原子力発電
敦賀(1基)(福井県敦賀市)

関西電力
大飯(1~2基)(福井県おおい町)

関西電力
高浜3号機(福井県高浜町)

※平成23年1月21日に3号機営業運転開始

関西電力
高浜4号機(福井県高浜町)

※発電所内にMOX燃料搬入済。
なお、一部MOX燃料の加工を延期

中国電力
島根2号機(島根県松江市)

※MOX燃料の加工契約締結済

九州電力
玄海3号機(佐賀県玄海町)

※平成21年12月2日に営業運転開始

北海道電力
泊3号機(北海道泊村)

※MOX燃料の加工開始の延期

北陸電力
志賀1号機(石川県志賀町)

※平成22年6月28日に地元申し入れ

電源開発
大間(青森県大間町)(建設中)

※MOX燃料の加工契約締結済

東北電力
女川3号機(宮城県女川町、石巻市)

※MOX燃料の加工契約締結前

東京電力福島第一3号機は、平成22年10月26日に営業運転を開始したが、平成23年東北地方太平洋沖地震により停止。5月20日に東京電力は3号機の廃止を公表

日本原子力発電
東海第二(茨城県東海村)

中部電力
浜岡4号機(静岡県御前崎市)

※発電所内にMOX燃料搬入済

四国電力
伊方3号機(愛媛県伊方町)

※平成22年3月30日に営業運転開始

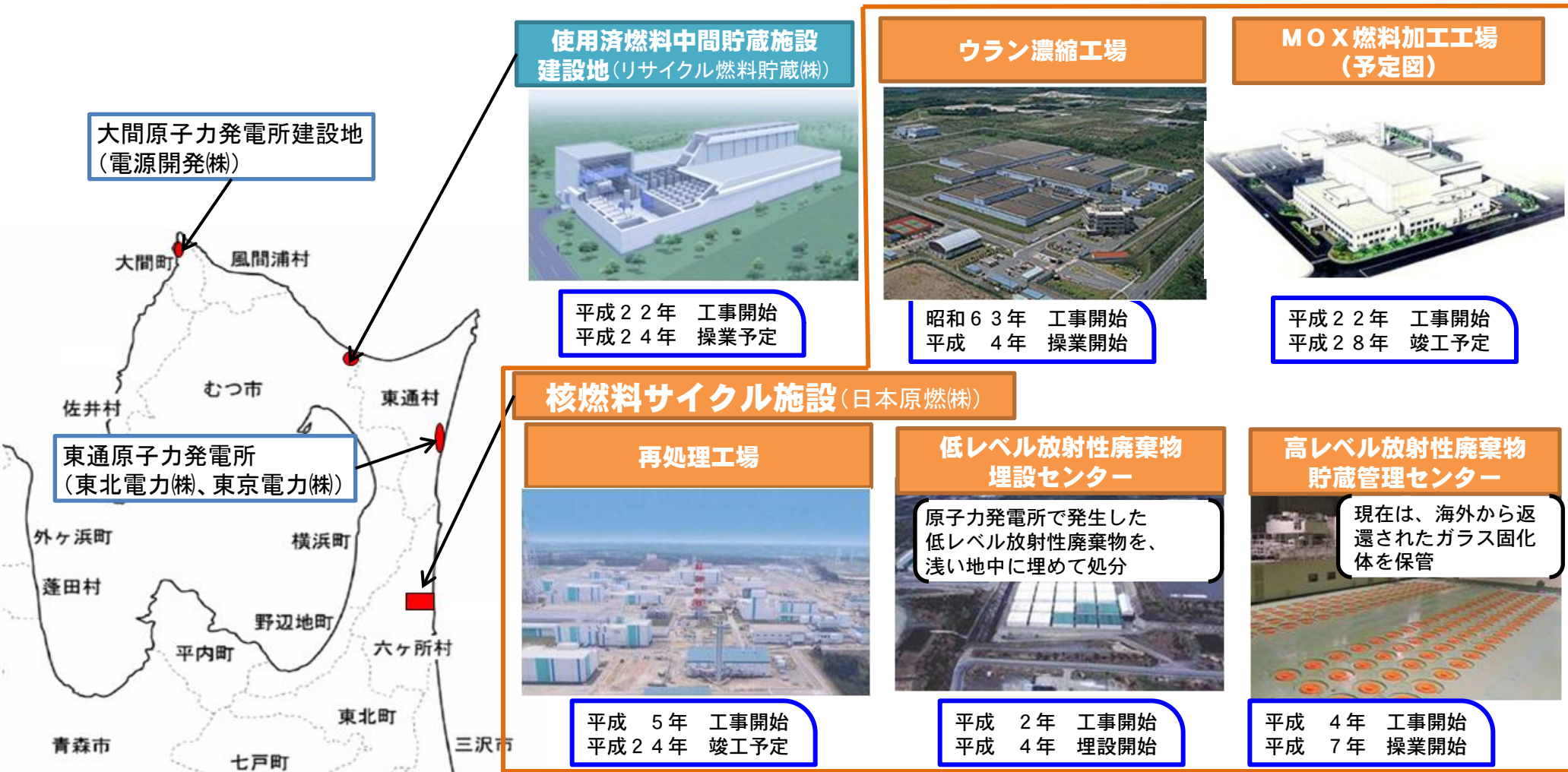
核燃料サイクル関連施設を巡る過去の経緯

- (1) 国及び電気事業者は、これまで約25年にわたり、青森県の理解と協力のもと、青森県内に核燃料サイクル施設の建設を進めてきた経緯あり(六ヶ所再処理工場、むつ市中間貯蔵施設等)。
- (2) 青森県、六ヶ所村、日本原燃(株)の間では、「再処理事業の確実な実施が困難となった場合には、青森県、六ヶ所村、日本原燃株式会社が協議のうえ、日本原燃株式会社は、使用済燃料の施設外への搬出を含め、速やかに必要かつ適切な措置を講ずるものとする。」との覚書が締結されている(1998年)。
- (3) 仮に六ヶ所再処理工場を廃止する場合、このような覚書との関係や、既に投資している金額(約2.2兆円)の扱いについても検討することが必要。

核燃料サイクル関連施設を巡る過去の経緯

- | | |
|----------|--|
| 1984年 4月 | 電事連会長、青森県知事に原子燃料サイクル事業の包括的協力要請 |
| 1985年 4月 | 「原子燃料サイクル施設の立地への協力に関する基本協定」締結
(青森県・六ヶ所村・日本原燃サービス(株)及び日本原燃産業(株)) |
| 1993年 4月 | 再処理工場着工(六ヶ所村) |
| 1995年 4月 | 第1回高レベル放射性廃棄物(海外から返還されたガラス固化体)の受入
(六ヶ所村「高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター」) |
| 1998年 7月 | 再処理事業困難時の使用済燃料の取扱いに関する覚書締結
(青森県、六ヶ所村、日本原燃(株)) |
| 2005年10月 | 「使用済燃料中間貯蔵施設に関する協定」締結
(青森県・むつ市、東京電力(株)及び日本原子力発電(株)) |
| 2006年 3月 | 再処理工場アクティブ試験開始 |
| 2010年 3月 | 直嶋経産大臣より、海外から返還される低レベル放射性廃棄物の受入要請 |
| 2010年 9月 | 三村知事、海外から返還される低レベル放射性廃棄物の受入了解 |
| 2011年 8月 | 使用済燃料中間貯蔵施設着工(むつ市) |
| 2011年10月 | MOX工場着工(六ヶ所村) |

(参考)青森県に立地する核燃料サイクル関連施設



7. 放射性廃棄物の処分について

放射性廃棄物の処分(種類と処分方法)

発生元

放射性廃棄物の種類

処分方法

※廃棄物の種類、処分方法については、代表的なものを記載している。

原子力発電所

使用済燃料

再処理施設

低レベル放射性廃棄物

(1) 廃止措置で発生する鉄骨・コンクリート等

(2) 通常の運転に伴い発生する廃液、フィルター、消耗品(手袋等)等

(3) 廃止措置に伴い発生する制御棒、炉内構造物等

(4) 再処理等の過程で発生するTRU廃棄物※の一部(放射能レベルの高いもの)
 ※TRU(Trans Uranium)元素(ウランより原子番号が大きく半減期が長い放射性元素(ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウム等))を含む廃棄物

高レベル放射性廃棄物

(5) ガラス固化体(再処理により、ウラン・プルトニウムを分離・回収した後に残ったものをガラスで固めたもの)

浅地中トレンチ処分

浅地中ピット処分

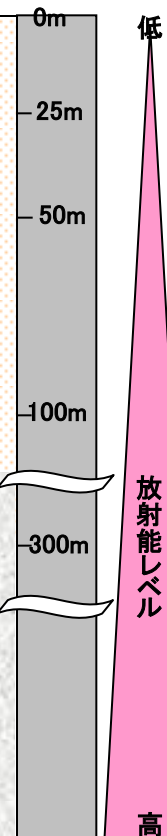
地下数m

余裕深度処分

地下50m~100m

地層処分

地下300mより深い地層



地上施設で貯蔵管理
 (30年~50年)
 ※現在、国内で1780本貯蔵(注)

※再処理施設から発生する地層処分対象以外の廃棄物は記載していない。

(注) 六ヶ所村(日本原燃)で1533本、東海村(JAEA)で247本貯蔵

(参考)高レベル放射性廃棄物について

- (1)核分裂する成分はほとんど含まれておらず、爆発の危険性はない。
- (2)厚さ約2mのコンクリートの床で遮蔽すれば、その上で人間が作業可能。
- (3)ガラス固化体は、30～50年間、冷却のため、青森県六ヶ所村で貯蔵管理される。



高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)

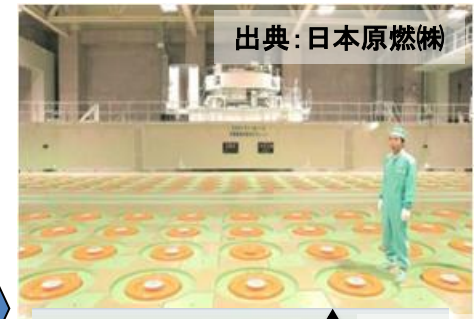
ガラス固化体の貯蔵



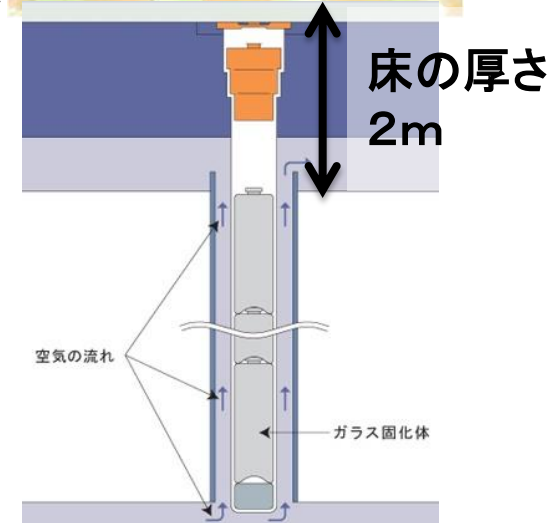
出典:日本原燃株

高レベル放射性廃棄物
貯蔵管理センター
(青森県六ヶ所村)

青森県を最終処分地にしないとの約束の下、過去に海外で再処理したガラス固化体を含め貯蔵・管理。

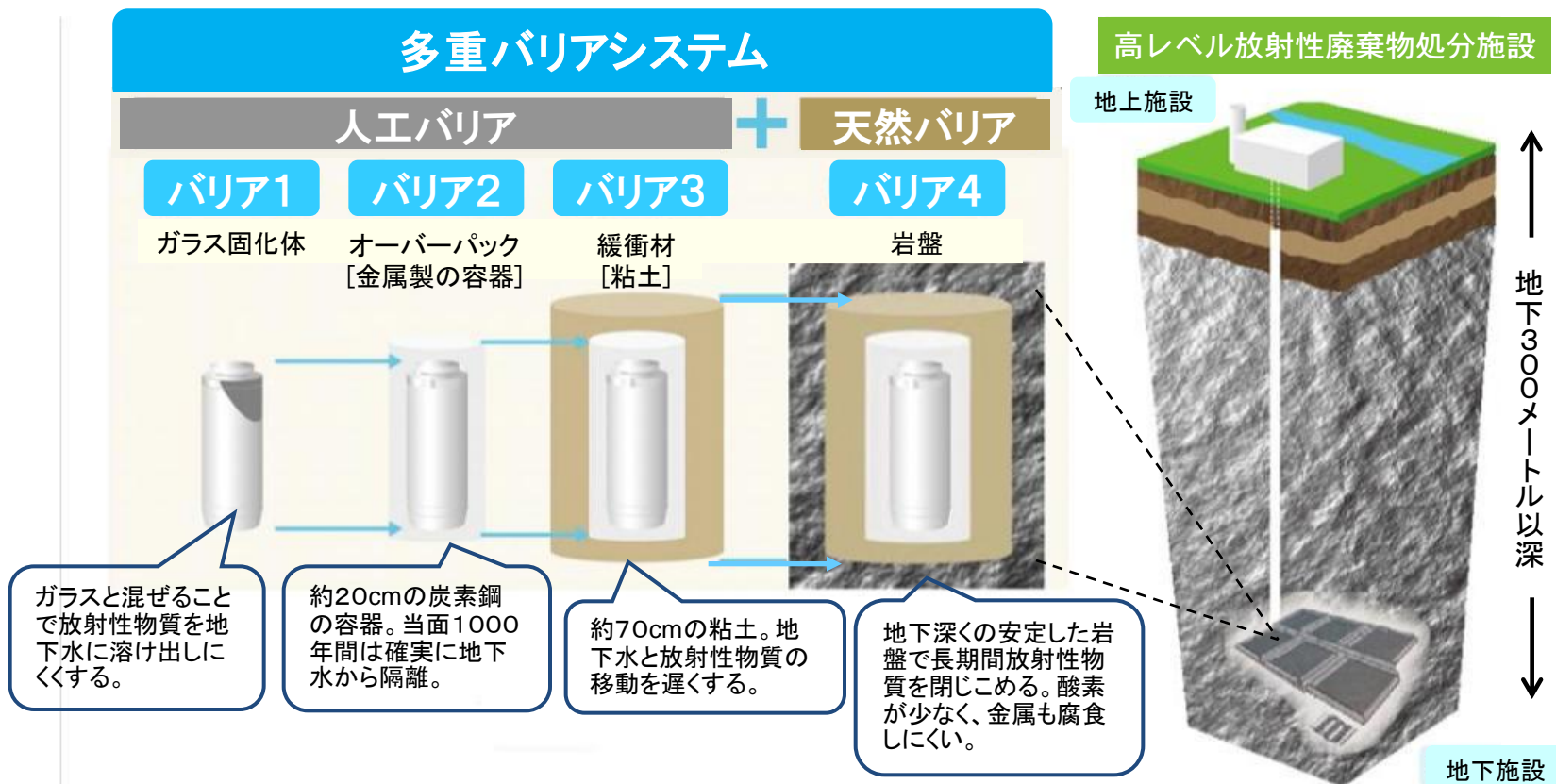


出典:日本原燃株



高レベル放射性廃棄物の最終処分 ～基本的な考え方～

- (1) ガラス固化体は30～50年間貯蔵管理された後、地下300m以深に埋設処分する。
- (2) 製造後1,000年間で放射能は約3,000分の1になり、数万年後にはそのもとになった燃料の製造に必要な量のウラン鉱石の放射能と同程度になる。
※1,000年間でガラス固化体表面の放射線量も1,500Sv/h→20mSv/hに低下。
- (3) この数万年間の安全を確保するため、人工バリアと天然バリアの組合せにより、人間の生活環境への影響を十分小さくする。



地層処分と処分場閉鎖後の制度的管理について

- 地層処分については、人間の制度的な管理に頼ることなく、長期間にわたり廃棄物を人間の生活環境から安全に隔離できる最も現実的な方法である、との国際的なコンセンサスがある。
(The Environmental and Ethical Basis of the Geological Disposal of Long-lived Radioactive Waste, OECD/NEA 1995)
- 一方、制度的管理は、人間による意図しない廃棄物への干渉や、地層処分の安全性の低下を起こすおそれのある人間の活動を防ぐことによって安全性に寄与したり、地層処分に対する公衆の受容性の向上に寄与したりすることもある。(IAEA特定安全要件 No.SSR-5「放射性廃棄物の処分」2011年)

国際的な取組

- 国際原子力機関(IAEA)は、「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」(2001年効力発生)において、放射性廃棄物管理の安全のための閉鎖後の制度的な措置(第17条)として、処分施設の閉鎖後に当該施設の所在地、設計及び在庫目録に関する記録であって、規制機関が要求するものが保存されることを確保するため、適当な措置をとることを求めている。
- 経済協力開発機構／原子力機関(OECD/NEA)では、放射性廃棄物管理委員会(RWMC)において、「世代を超えた記録、知識、記憶の保存」に係るプロジェクト(2011～2014年)が進行中。

地層処分に関する記録の長期保存について

諸外国での取組例

- 米国：国防関係のTRU廃棄物の地層処分場である隔離パイロットプラント(WIPP)の許可申請書において、**処分場位置のマーカ**(7種類の言語でメッセージ等が刻まれた花崗岩のモニュメント)の設置、**国内外や国際機関での記録の保存方法**(公文書館や図書館等の記録センターにおける文章の保管)などを提示。

我が国での取組

- 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律上での取扱
経済産業大臣は、法令に基づき最終処分施設閉鎖時に実施主体から提出される**最終処分施設に関する記録を、永久に保存しなければならない**と規定。
- 国の委託事業における記録保存方法の検討(2000～2008年)
 - 記録の保存、更新、伝達を行なう制度を社会の中で維持する「リレーシステム」と、人間の管理・伝承等に依存しない永続的な記録保管庫や媒体等を設置する「永続システム」という2つの概念を示し、文書及びマーカ・モニュメントによる記録保存システムを事例的に検討。
 - 電子媒体や紙に比べて長期耐久性のある記録保存技術として、炭化ケイ素(SiC)版に文字や図表等の情報をレーザー刻印する方法が実用的であることを提示。



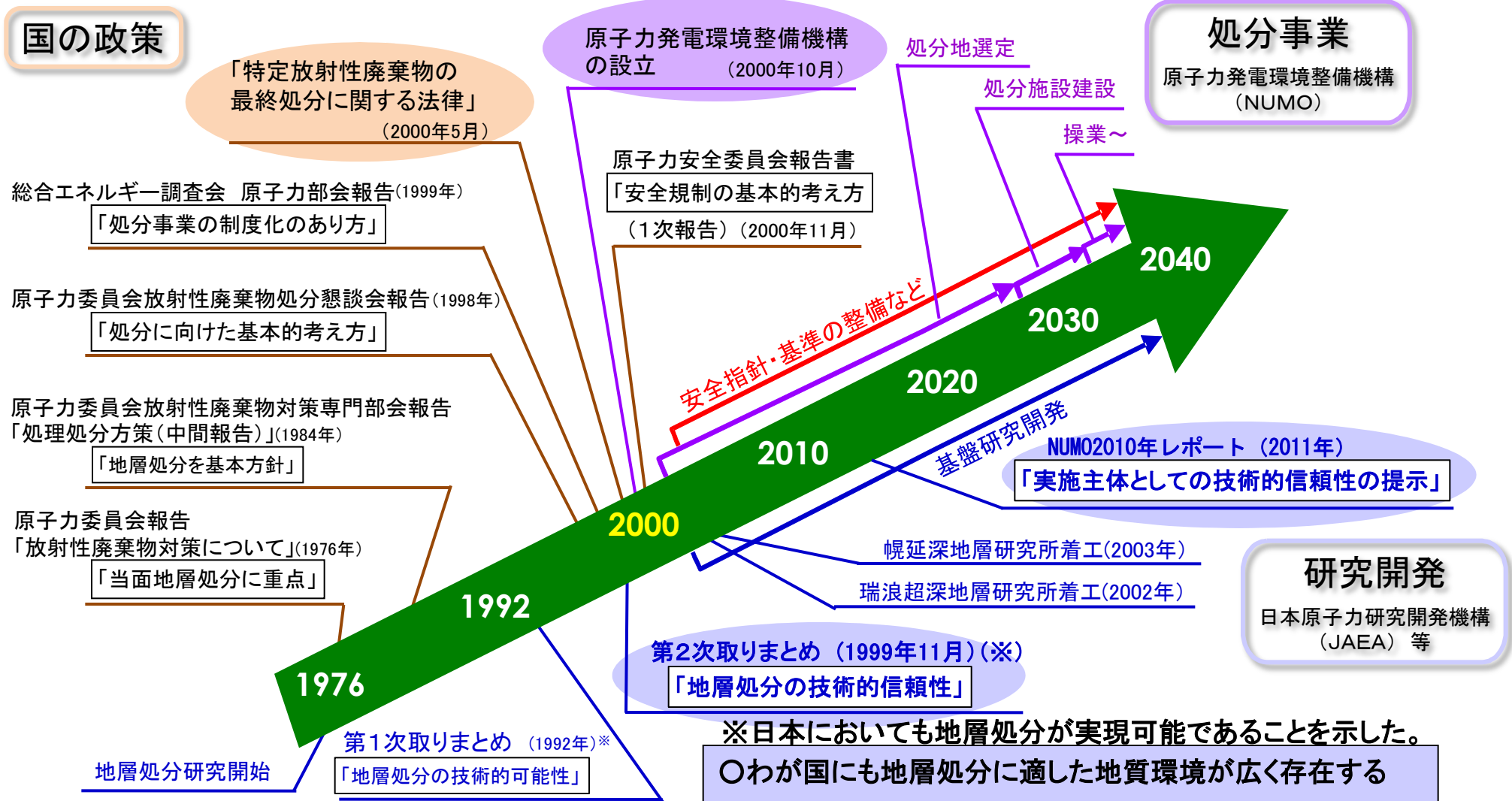
レーザーによる刻印状況例



炭化珪素版への刻印結果例

(参考)我が国における地層処分に関する取り組み

○地層処分に関する政策及び研究開発は段階を追って進められてきた。



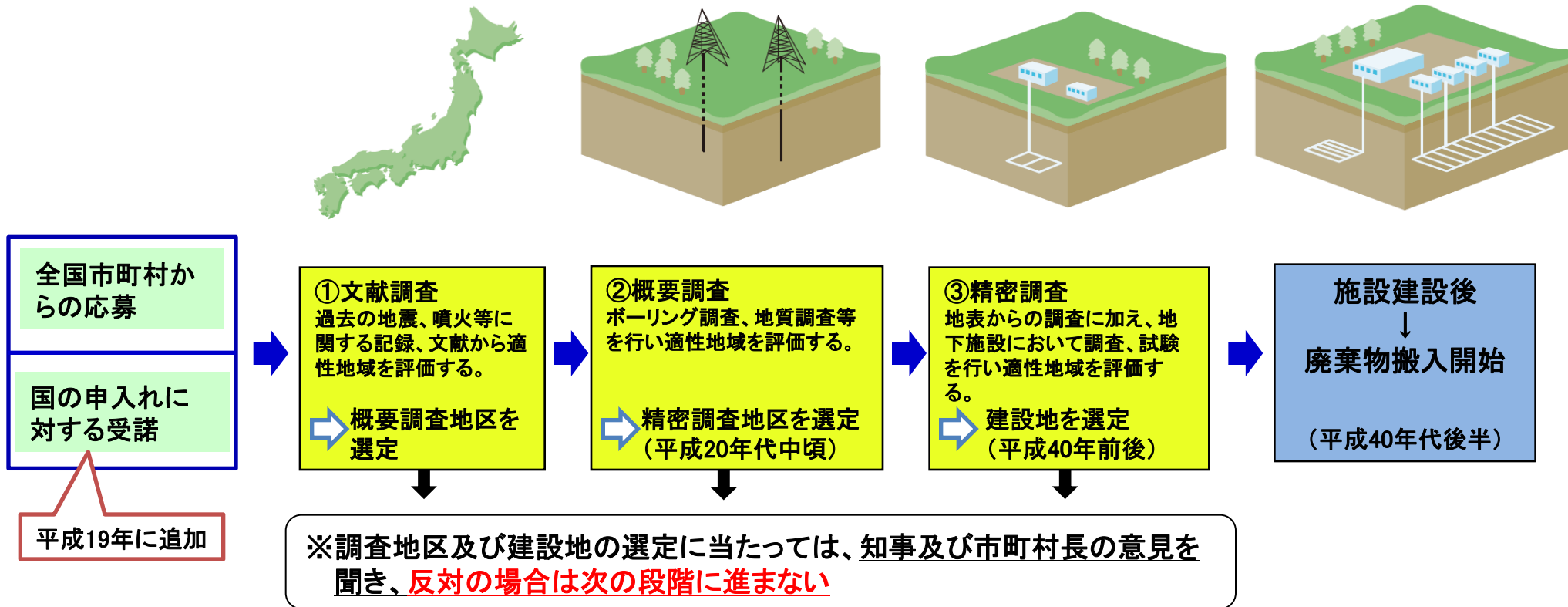
※日本においても地層処分が実現可能であることを示した。
 ○わが国にも地層処分に適した地質環境が広く存在する
 ○処分施設を適切に設計・施工することが可能
 ○地層処分の長期的な安全性を予測的に評価・確認

→原子力委員会により評価 (原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会, 2000)

最終処分地選定プロセスと処分スケジュール

- (1) 処分地の選定は、3段階の調査を経て行われる。
- (2) 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」に基づき、原子力発電環境整備機構 (NUMO) が処分の実施主体となっている。

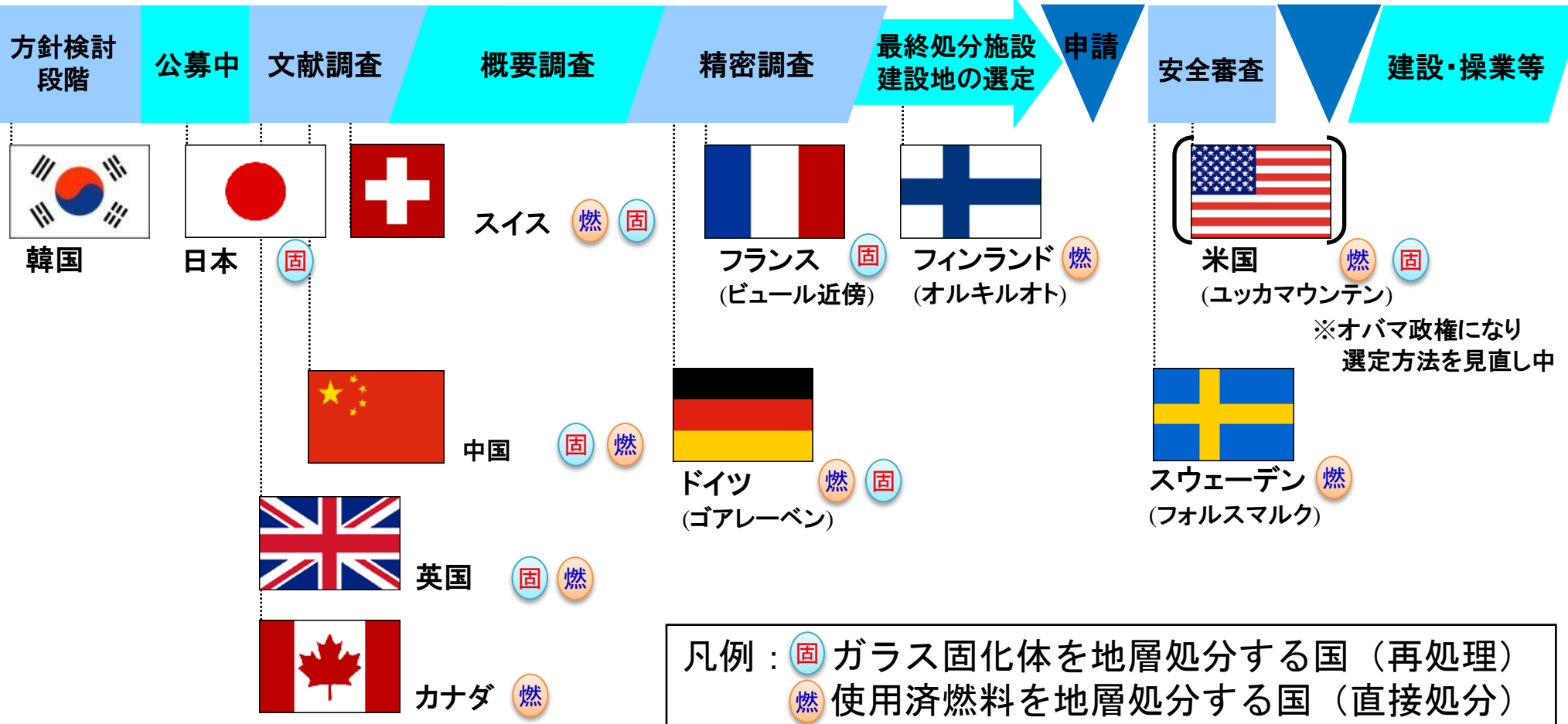
「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成12年施行)に基づく立地選定プロセス



諸外国の高レベル放射性廃棄物処分の進捗状況

(平成23年12月現在)

- (1) 自国で発生した放射性廃棄物は、発生した国で処分するのが原則。
- (2) これまで様々な処分方法が検討されたが、現在では地層処分が世界各国の共通した考え方。各国で処分地選定のための取組も進められている。



8. 原子カプラントの製造について

日本の原子カプラントメーカーと最新鋭炉

は日本企業(部品産業も含む)が関与する炉型

	100~120万kW級	130~170万kW級
B W R		<p>ABWR メーカー 東芝、日立GE サイズ 135~150万kW 主な特徴 インターナルポンプによる再循環系 建設実績 国内4基 建設予定 国内3基、台湾2基建設中。国内5基、米国2基建設予定。</p> <p>ESBWR メーカー GE日立 サイズ 160万kW 主な特徴 自然循環方式のシンプル構造、安全系のパッシブ化 建設実績 なし 建設予定 米国6基、インド最大6基建設予定</p>
P W R	<p>ATMEA1 メーカー ATMEA(三菱重工・アレバ合併) サイズ 100~115万kW 主な特徴 パッシブ安全系の導入、柔軟な運転性 建設実績 なし 建設予定 ヨルダンに提案中</p> <p>AP1000 メーカー 東芝・WH サイズ 110~120万kW 主な特徴 パッシブ安全系の導入、炉のコンパクト化 建設実績 なし 建設予定 米国14基、中国4基、インド最大6基建設予定。</p> <p>VVER1000/VVER1200 メーカー ロシア(ロスアトム) サイズ 100~120万kW 主な特徴 パッシブ安全系の導入 建設実績 ロシア10基、ウクライナ7基、アルメニア・チェコ2基、スロバキア3基等(400~1000万kW) 建設予定 インド2基建設中。ベトナム2基、トルコ2基、インド最大12基建設予定。</p>	<p>APWR メーカー 三菱重工 サイズ 150万kW 主な特徴 大型化、炉心改良 建設実績 なし 建設予定 国内3基建設予定</p> <p>EPR メーカー 仏(アレバ) サイズ 160万kW 主な特徴 4重安全系 建設実績 なし 建設予定 フィンランド1基、仏1基建設中。米国8基、中国2基、インド最大6基建設予定。</p> <p>US-APWR EU-APWR メーカー 三菱重工 サイズ 170万kW 主な特徴 APWRの大型化 建設実績 なし 建設予定 米国3基建設予定。</p> <p>APR1400 メーカー 韓国(ドゥーサン) サイズ 140万kW 主な特徴 パッシブ安全系の導入、低コスト 建設実績 なし 建設予定 UAE4基建設予定。</p> <p>VVER1500 メーカー ロシア(ロスアトム) サイズ 150万kW 主な特徴 パッシブ安全系の導入 建設実績 なし 建設予定 なし(中国やレニングラードで導入が検討されたが採用されておらず)</p>

日本の原子力関連部品メーカー

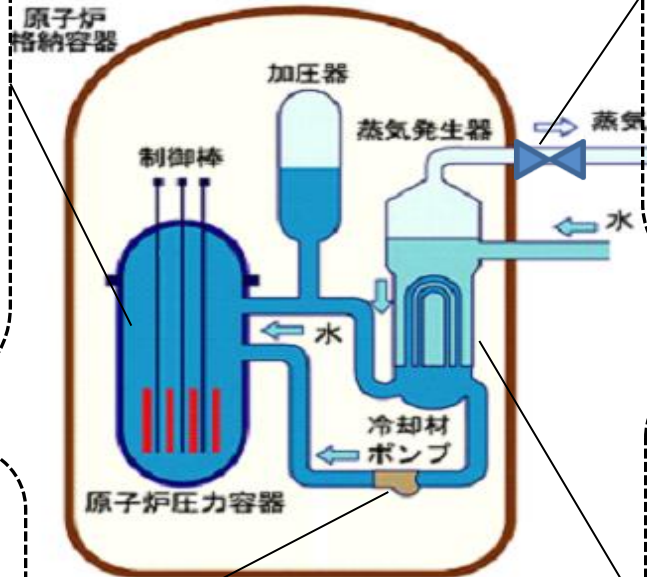
※原子炉压力容器

原子炉の炉心部を収納する容器。高温高圧、中性子の照射に耐える構造。

【A社】

原子炉压力容器と蒸気発生器の大型鍛鋼品で世界シェアの約8割を占める。

鋼(ハガネ)の命である製鋼(精錬及び鋳込)と熱処理技術が競争力の源泉。



※主蒸気隔離弁(バルブ)

蒸気発生器を必要に応じてタービン設備から隔離する弁。

【C社】

BWR用バルブのうち「主蒸気逃がし安全弁」で国内シェア100%。

鋳造技術の蓄積と一貫生産による信頼性の高い製品製造が強み。

※冷却材ポンプ

原子炉の熱が蒸気発生器に伝わるよう、冷却材(水)を循環させる。

【B社】

「キャンドモーターポンプ」で世界シェアの約4割を占める。

不断の研究開発により完全無漏洩ポンプを製品化。

※蒸気発生器

1次冷却水の熱により2次冷却水を加熱し蒸気を発生させる。PWRで用いられる。

【D社】

PWR用蒸気発生器用伝熱管で、世界シェアの約3割を占める。

金属の溶解制御技術と高精度加工技術に強み。

9. 原子力発電所技術開発・人材

軽水炉の仕組み

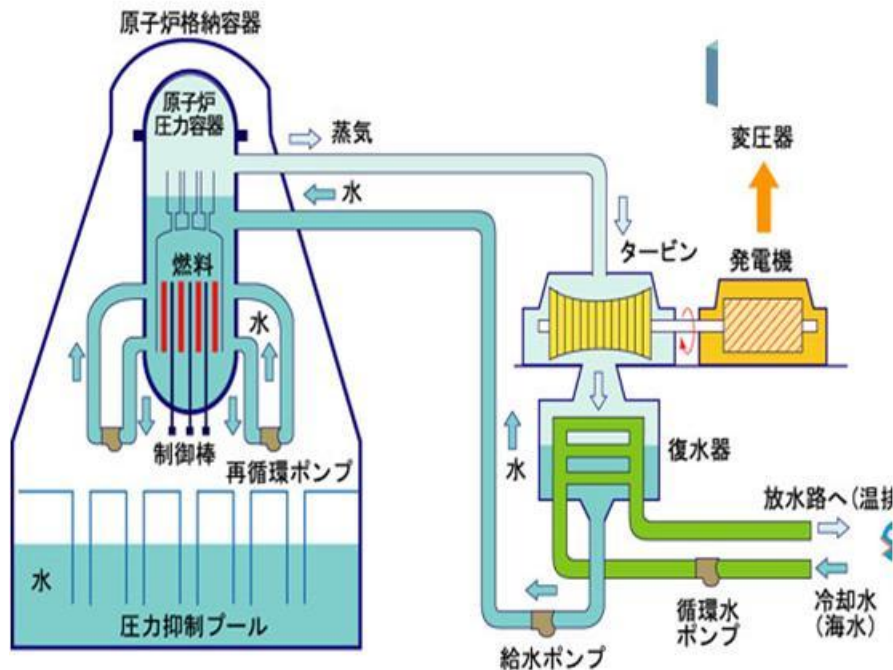
(沸騰水型原子炉: BWR)

圧力容器内で冷却水を沸騰させ、発生した蒸気で直接タービンを回転させる構造。

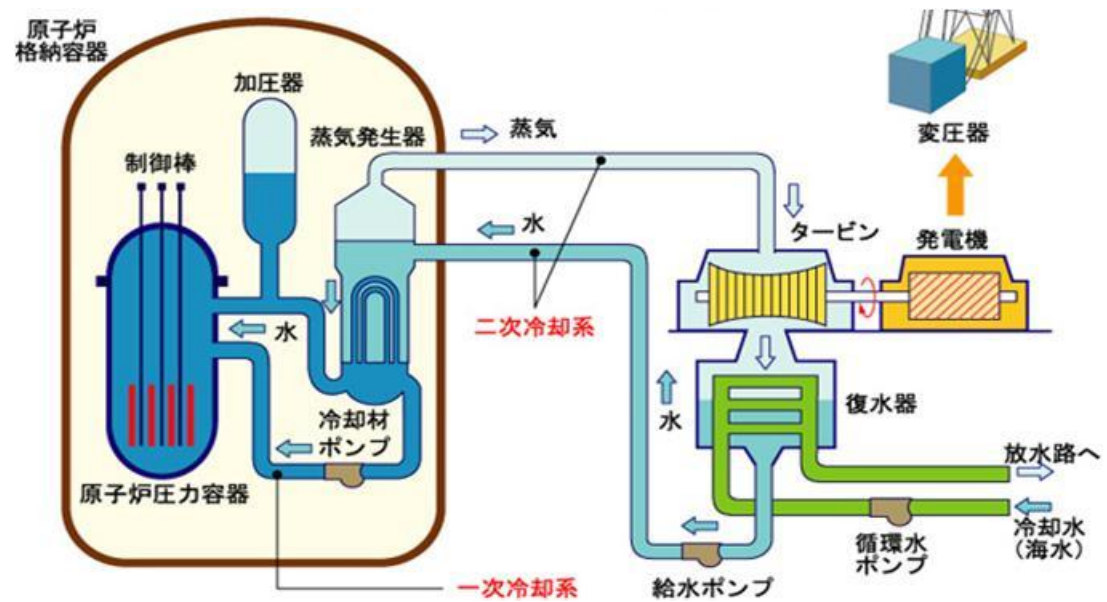
(加圧水型原子炉: PWR)

圧力容器内で1次系冷却水を高温・高圧にし、蒸気発生器で2次系冷却水を沸騰させ、その蒸気でタービンを回転させる構造。

(BWRの構造)



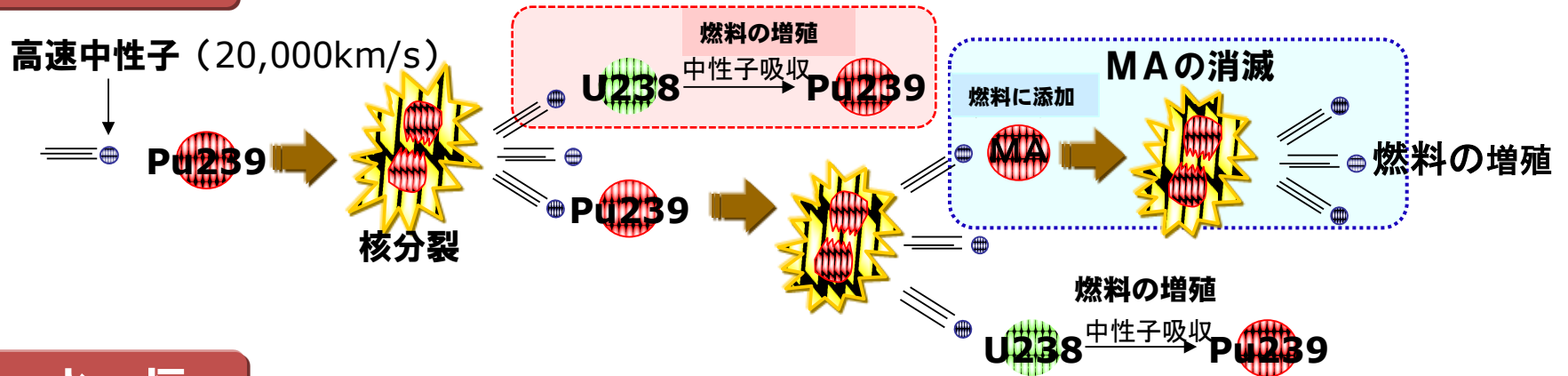
(PWRの構造)



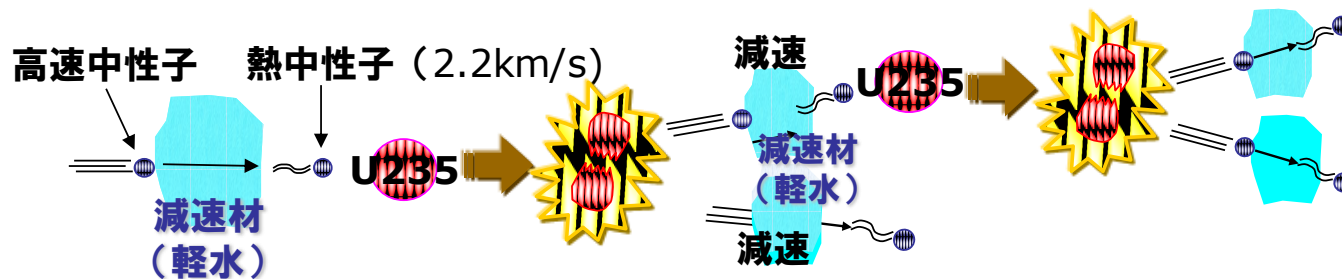
高速増殖炉の仕組み

- 高速増殖炉は燃料にPuを使用し、その周辺にU238を配置することでPuの分裂による熱エネルギーを発電に用いると同時に、U238→Pu239の核反応により新たな燃料を生産する仕組み。
- 使用済燃料に存在する、PuやU238より寿命が長く、長期にわたって発熱し続ける核種であるマイナーアクチニド(MA) (注)を燃料に加え、消滅させる。結果として放射性廃棄物中の発熱量が低減。
- 発熱量の低減により、1本のガラス固化体に充填できる放射性廃棄物の量が増加し、高レベル放射性廃棄物全体の低減が可能。

高速増殖炉



軽水炉



(注)マイナーアクチニド(MA):ウラン、プルトニウム以外の重元素(ネプツニウム、アメリシウム、キュウリウム等)の総称で、数百万年以上の長期間にわたり放射線を発生するものがある。

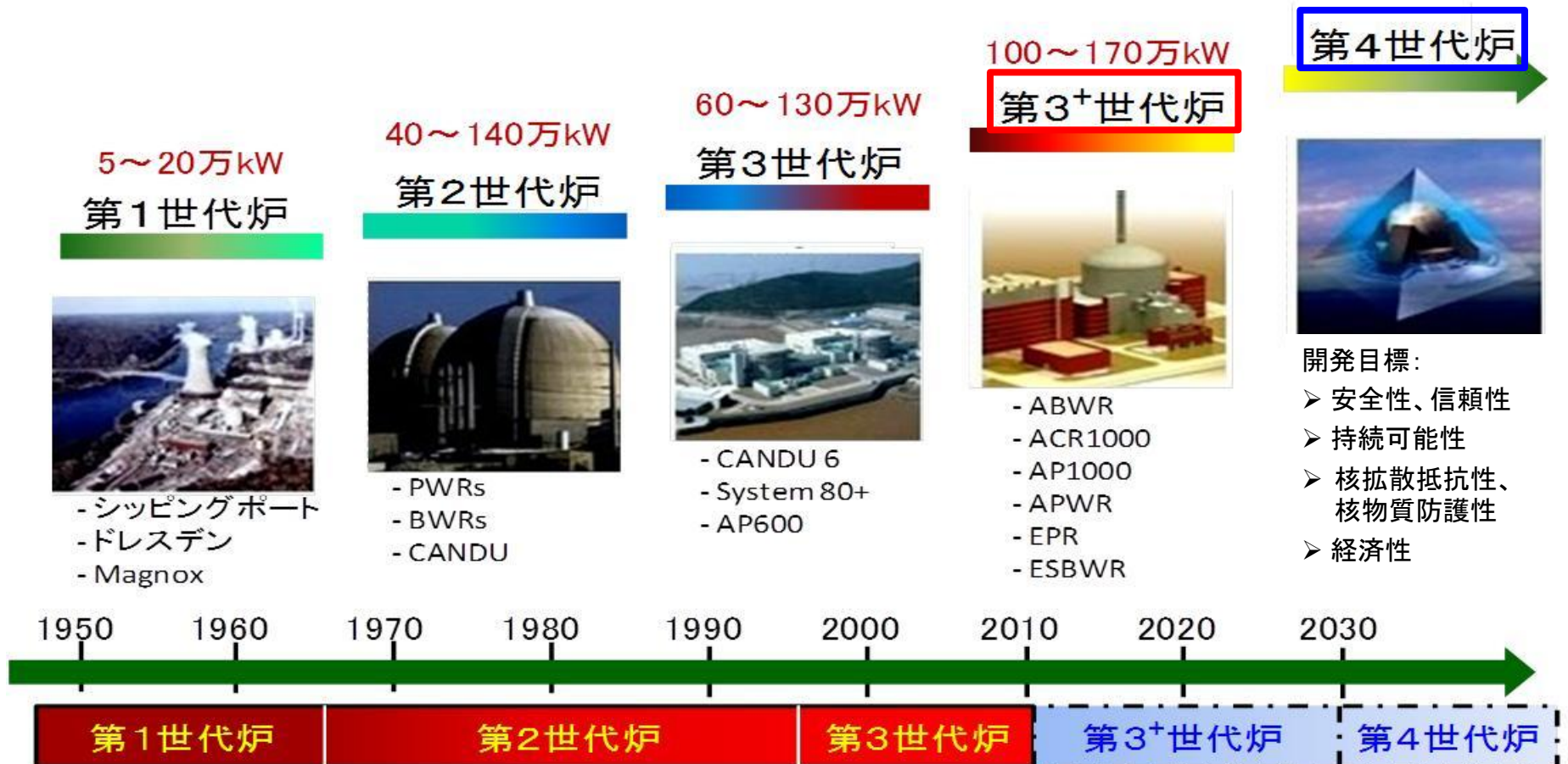
世界の発電用原子炉開発の進展

(1) 現行の発電用原子炉は、概ね第2～第3世代炉。

(2) 今後の次世代炉として、**第3+世代炉**(ABWR、APWR等)や**第4世代炉**がある。

➤ **第3+世代炉**は、第3世代炉に対して静的安全系などより先進的な安全方策を導入。

➤ **第4世代炉**は、2030年頃の実用化を目標として、**第4世代原子力システム国際フォーラム**(GIF: Generation IV International Forum)の場等で開発が進められている。



我が国の軽水炉の発展

○我が国の軽水炉技術は1960年代に米国から導入。1970年代以降、安全性向上等の改良が加えられ我が国の技術として確立。

軽水炉開発

1960年代
米国GE社／
WH社から導入

<電気出力:50万kW以下>

【BWR】敦賀1号機
(1970年、米国GE)
【PWR】美浜1号機
(1970年、WH・三菱)

第一次改良標準化計画 (1975～1977)

【BWR】
・格納容器大型化 等
【PWR】
・燃料の改善
・蒸気発生器の改良
・水質管理の強化 等

<電気出力:約80～110万kW>

【BWR】福島第二2号機(1984年、日立)
【PWR】高浜3号機(1985年、三菱)

第二次改良標準化計画 (1978～1980)

【BWR】
・燃料自動交換機の採用
・応力腐食割れ対策
・制御棒駆動機構改良 等
【PWR】
・蒸気発生器伝熱管材料
改善
・PCCV製格納容器 等

<電気出力:約110～120万kW>

【BWR】柏崎刈羽2号機(1990年、東芝)
【PWR】大飯3号機(1991年、三菱)

第三次改良標準化計画 (1981～1985)

・改良型BWR/PWRの開発
(インターナルポンプ、改良
型制御棒駆動機構、RCCV
による耐震性向上 等)
・従来型BWR/PWRも改良
標準化

<電気出力:約140万kW>

【ABWR】柏崎刈羽6号機(1996年、GE・東芝・日立)
柏崎刈羽7号機(1997年、GE・東芝・日立)
浜岡5号機(2005年、東芝・日立)
志賀2号機(2006年、日立)
島根3号機、大間(建設中)
【APWR】敦賀3、4号機、川内3号機(着工準備中)

次世代軽水炉開発 (2008～)

・自律安全系による冷却シ
ステム
・免震技術開発 等

<電気出力:約170～180万kW>

震災前の計画では、2025年頃の商業
ベースでの導入を目標

(参考)次世代軽水炉における安全対策技術の例

IVR (In-Vessel Retention: 原子炉容器内保持システム)

原子炉内の核燃料が溶融するに至った場合でも、原子炉格納容器に外部から重力による注水を行い、圧力容器を水没させることで、圧力容器を冷却し、破損を回避。

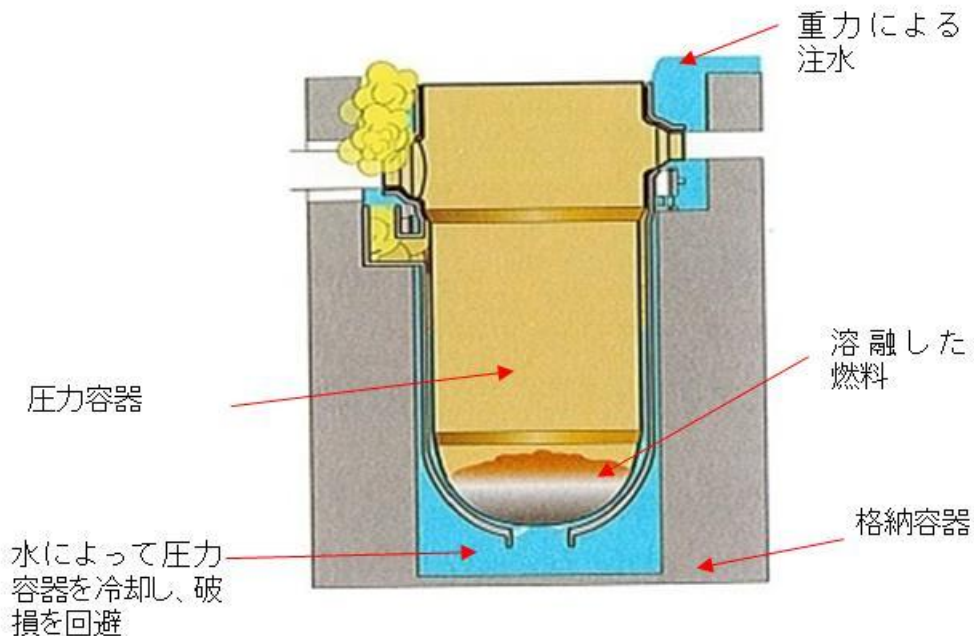
(※PWR用)

静的なアクシデント緩和システム

原子炉内の核燃料が溶融し、圧力容器が破損するに至った場合でも、溶融した燃料を受け止め、冷却水等により冷却することで、格納容器の破損を回避。

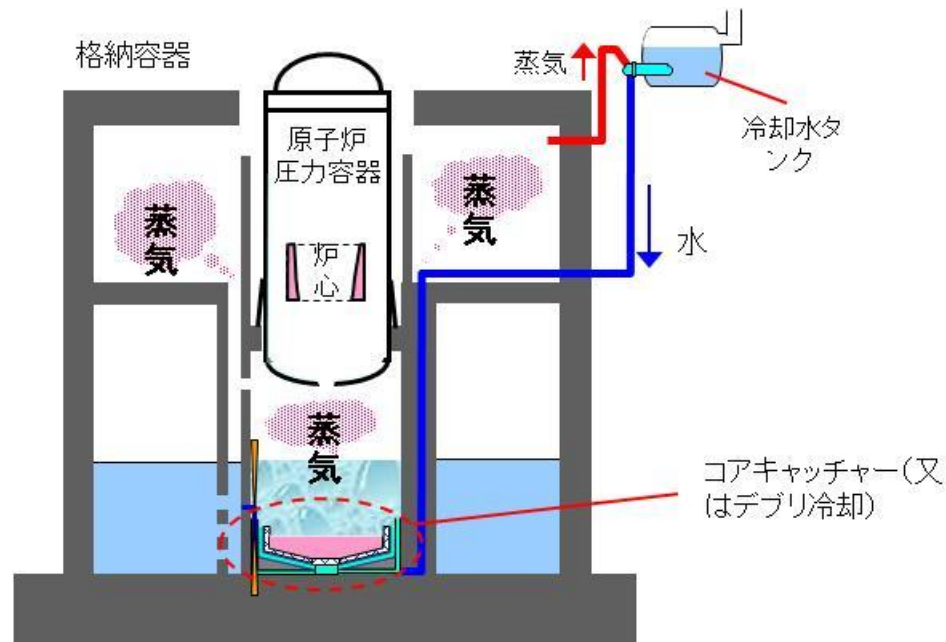
(※BWR用)

IVR概念図



※WH社、AP1000の例

静的なアクシデント緩和システムの概念図



※GE日立社、ESBWRの例

第4世代原子カシステムの類型

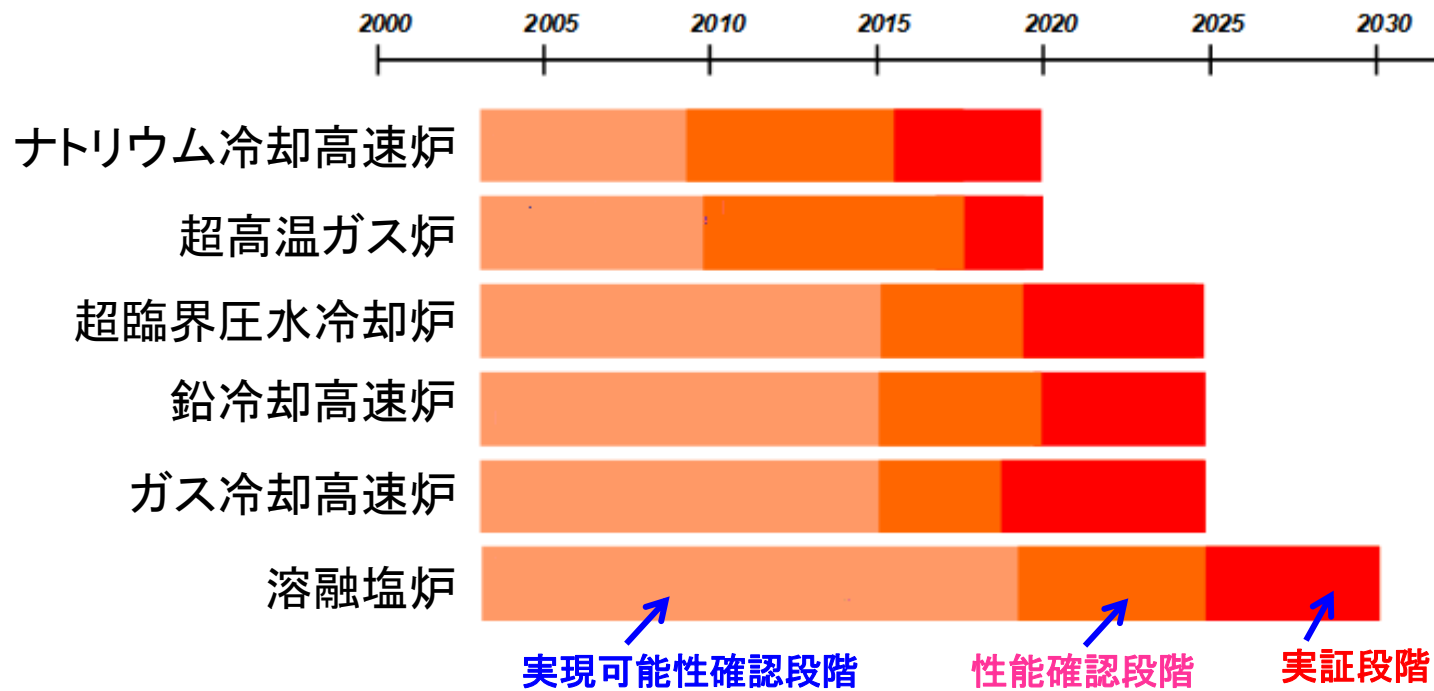
○現在の軽水炉の次の世代(第4世代)の原子カシステムとして以下の炉型が、国際協力^(※)の下、研究されている。

(※) 第四世代原子カシステムに関する国際フォーラム(GIF)

第4世代炉システム	炉型	冷却材 (温度)	減速材	特徴
超高温ガス炉 VHTR	熱炉	ヘリウムガス (900~1000℃)	黒鉛	熱利用、水素製造 高度の受動安全
ナトリウム冷却高速炉 SFR	高速炉	ナトリウム (550℃)	—	廃棄物最小化 ウラン資源の効率的 使用
超臨界圧水冷却炉 SCWR	熱炉または 高速炉	軽水 (510~625℃)	軽水 (熱炉の 場合)	高熱効率、 高経済性
ガス冷却高速炉 GFR	高速炉	ヘリウムガス (850℃)	—	廃棄物最小化 ウラン資源の効率的 使用
鉛冷却高速炉 LFR	高速炉	鉛 (480~800℃)	—	高度の受動安全 長寿命炉心による 核拡散抵抗性
熔融塩炉 MSR	熱炉または 高速炉	フッ化物塩 (700~800℃)	黒鉛	液体燃料、廃棄物最 小化、核拡散抵抗性

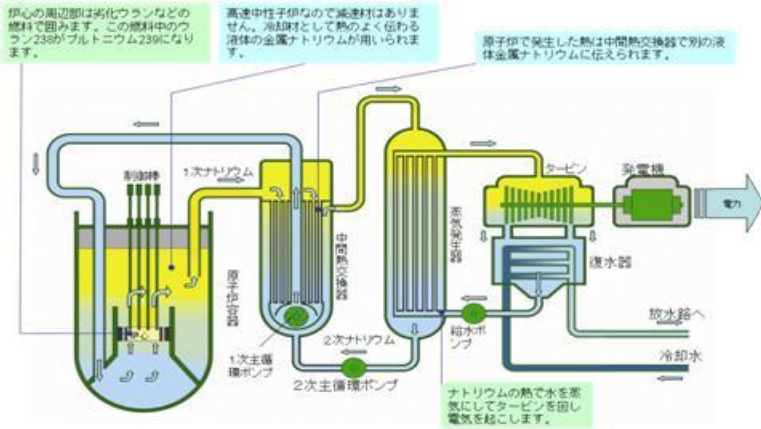
第4世代原子カシステムの開発段階

- (1) 第4世代炉の開発は、候補概念システムや関連枢要技術の成立性を確認する「実現可能性確認段階」、その次に工学的規模での実証等を含めた「性能確認段階」を経て、原子炉システムとしての実証段階に至ると想定。
- (2) GIFでは、当初以下に示す計画で研究開発を進めていたが、研究開発経験の蓄積の差異から、ナトリウム冷却高速炉、超高温ガス炉は比較的早期の実用化が期待されるが、それ以外の概念は更に長期の研究開発期間を要する見通し。

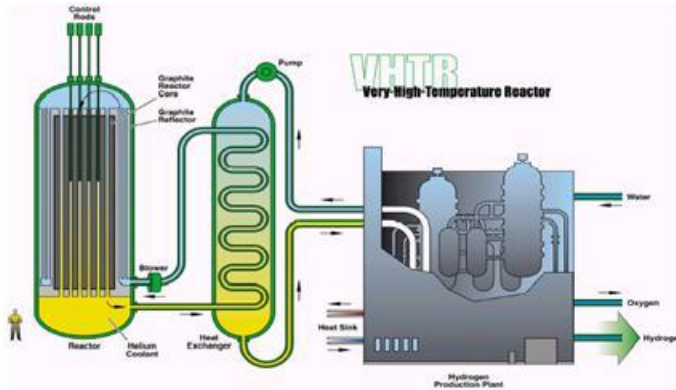


GIFにおける第4世代炉開発の計画

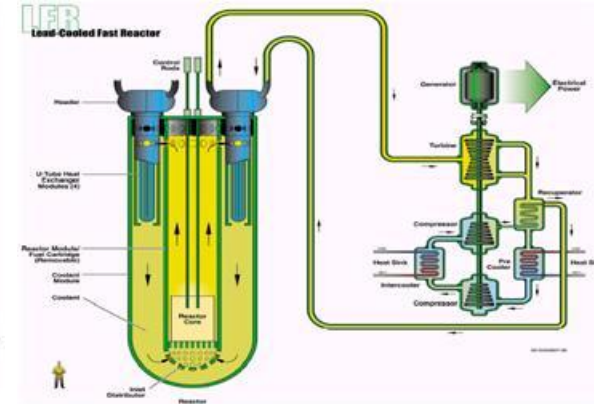
第4世代原子力システムの構造



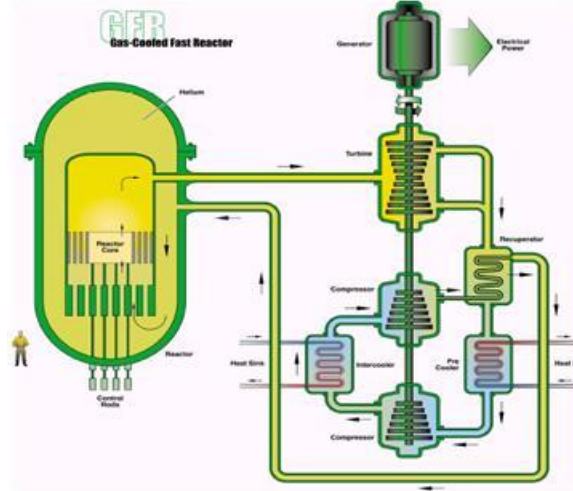
SFR(ナトリウム冷却高速炉)



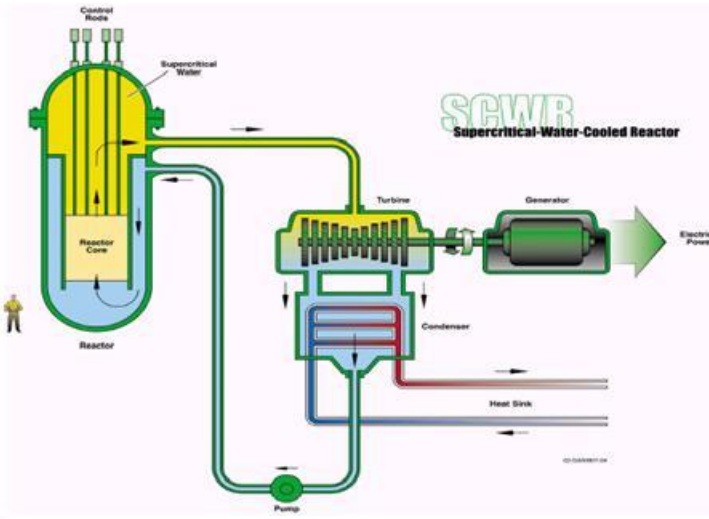
VHTR(超高温ガス炉)



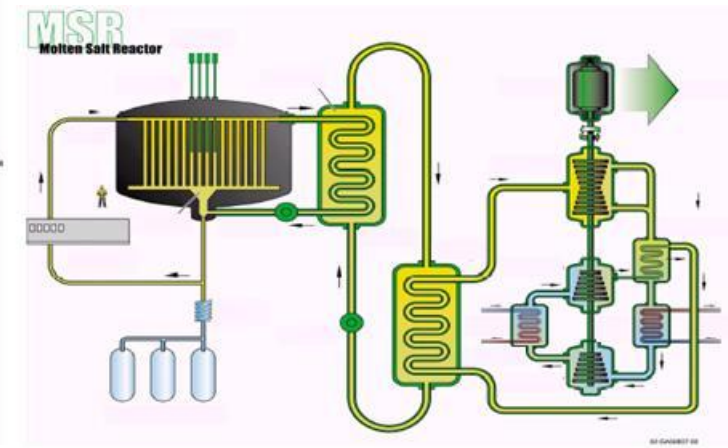
LFR(鉛冷却高速炉)



GFR(ガス冷却高速炉)



SCWR(超臨界圧水冷却炉)



MSR(溶融塩炉)

その他の研究開発段階の原子力システムの例

新型転換炉

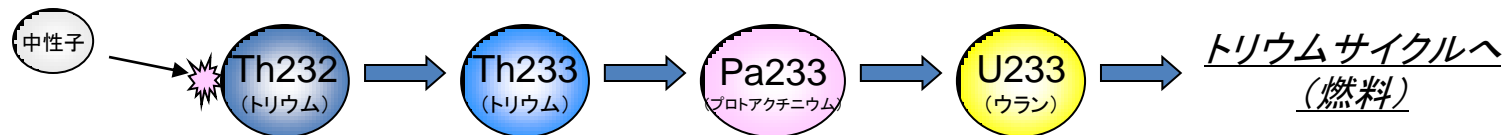
- ・減速材に重水を使用し、プルトニウム、回収ウラン等を柔軟かつ効率的に利用できる原子炉として、1960年代から我が国で自主開発。
- ・新型転換炉の原型炉「ふげん」は、1970年に建設開始、1978年から本格運転（電気出力16.5万kW）
- ・1995年に開発中止を決定。ふげんは2003年に運転終了、現在廃止措置中。

長寿命炉

- ・燃料交換を行うことなく、長期間（10年以上）の運転が可能となる原子炉。
- ・長寿命炉の例としては、小型原子炉の「4S炉」などの概念が存在。
（4S炉）
 - ・小型（電気出力1万kW）のナトリウム冷却高速炉
 - ・最初に装荷した燃料を交換することなく30年間運転可能
 - ・米でライセンス申請を計画中

トリウム燃料炉

- ・トリウム-232に中性子を照射することで生成するウラン-233を新たな燃料として使用する概念。
- ・ウラン資源より豊富なトリウム資源の有効活用という観点から利用が検討されている。
- ・トリウムに対応する新たな核燃料サイクル技術の開発が必要。
- ・溶融塩炉の燃料としてトリウム燃料を使用する概念も存在するが、材料の腐食など多くの技術的課題が存在。

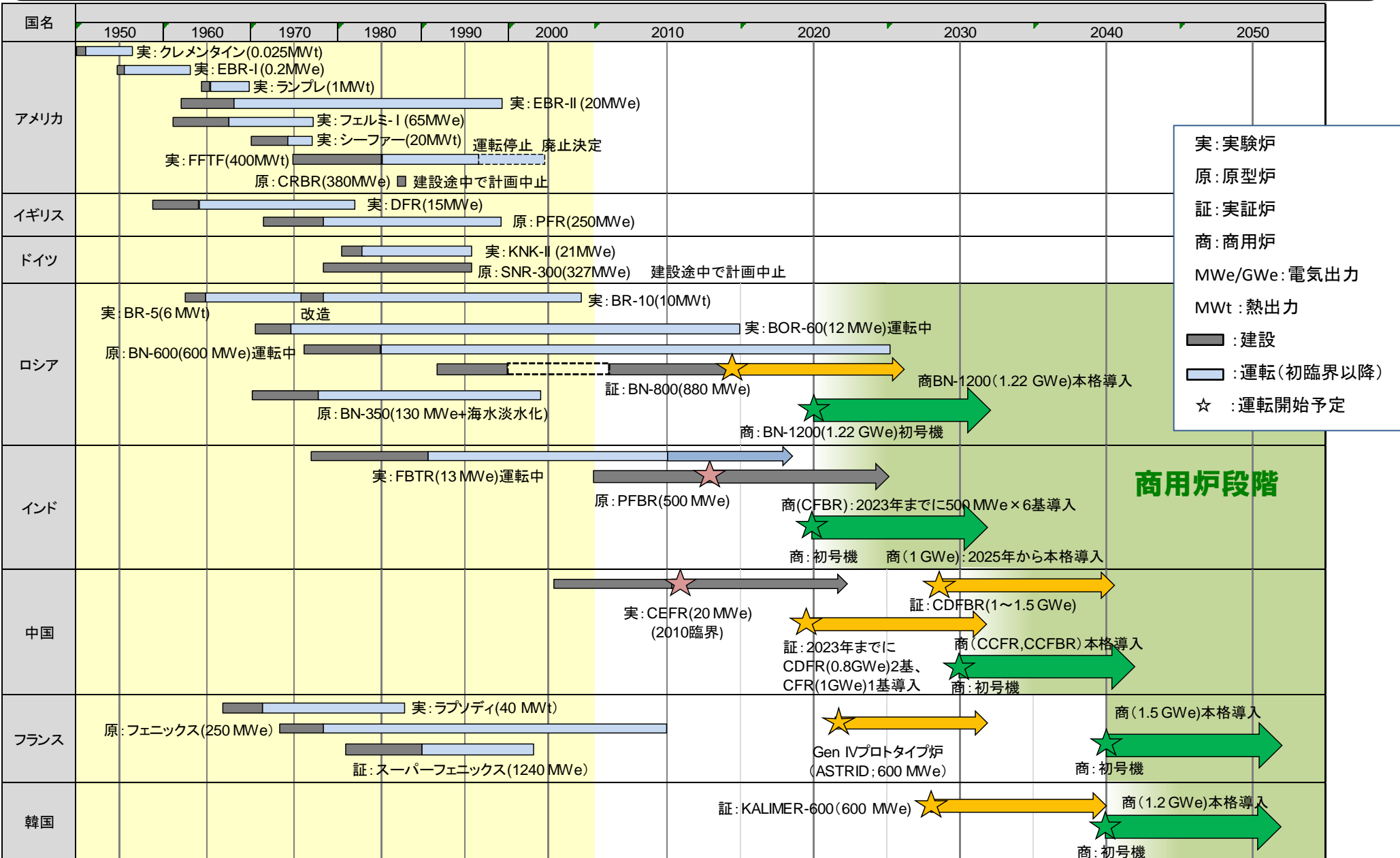


我が国の高速増殖炉開発を巡る過去の経緯

- (1) 我が国では、原子力発電所の導入初期から、将来的な高速増殖炉の導入を目標として、研究開発を実施。
- (2) 高速増殖炉原型炉「もんじゅ」は、ナトリウム漏えい事故等の発生により、計画が大幅に遅延。

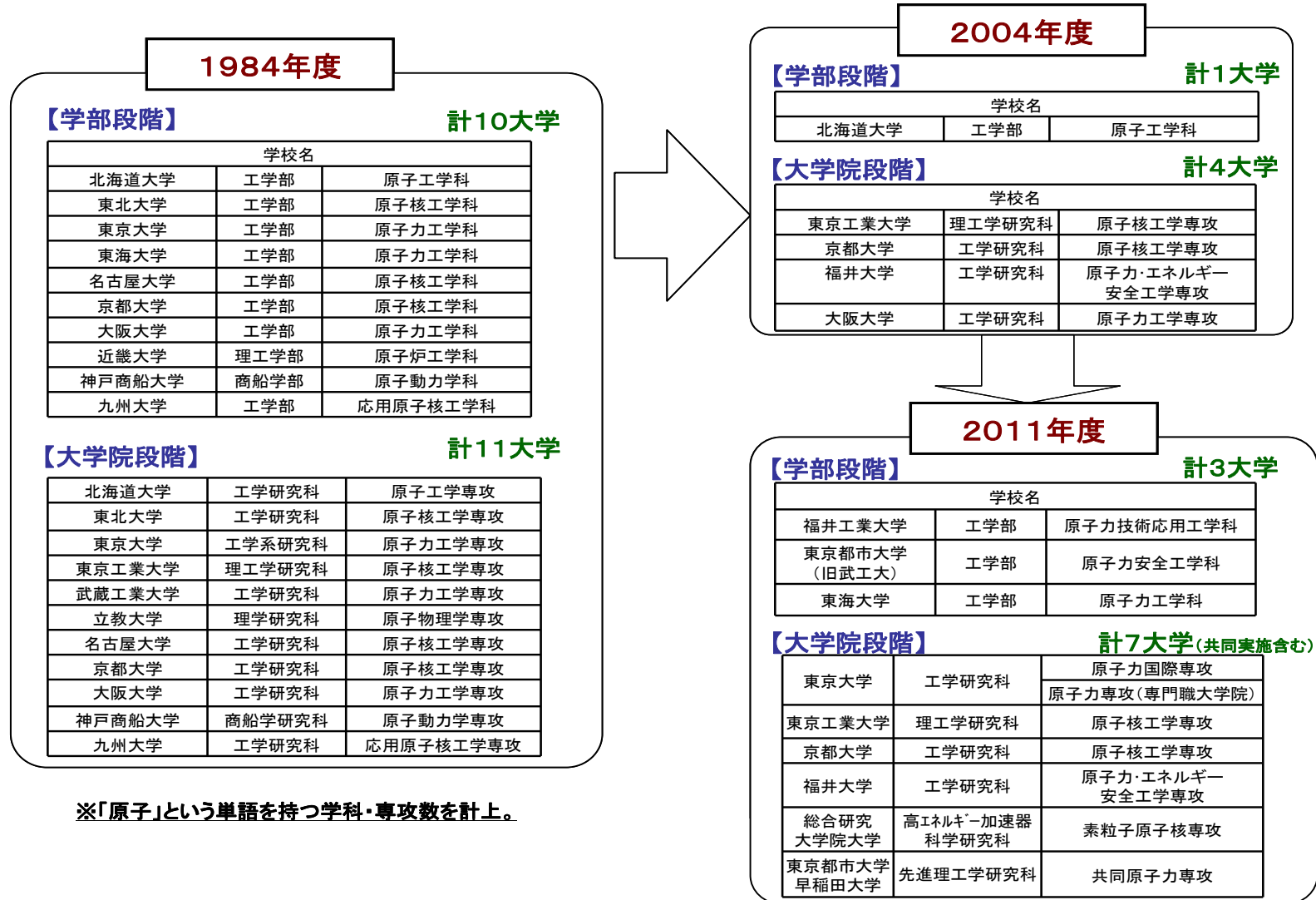
1960年代前半～	日本原子力研究所(原研)にて高速増殖炉の調査研究開始
1963年	原研にて実験炉「常陽」の概念設計を開始
1966年 5月	原子力委員会が動力炉開発基本方針(実験炉及び原型炉の建設方針等)を決定
1967年10月	動力炉・核燃料開発事業団(動燃)が設立、「常陽」概念設計を原研から引継ぎ
1970年 3月	「常陽」の建設を開始
1977年 4月	「常陽」が初臨界を達成
1985年10月	原型炉「もんじゅ」の建設を開始
1991年 4月	「もんじゅ」の機器据付を完了
1994年 4月	「もんじゅ」が初臨界を達成
1995年 8月	「もんじゅ」が初発電(熱出力40%)を達成
1995年12月	「もんじゅ」性能試験中に2次系主配管温度計部にてナトリウム漏えい事故発生
1998年10月	核燃料サイクル開発機構が発足
2005年 5月	「もんじゅ」行政訴訟で最高裁が高裁判決を破棄、国側勝訴の判決
2005年10月	日本原子力研究開発機構が発足
2007年	「常陽」が積算運転時間70,000時間達成
2007年 6月	「常陽」にて照射試験用実験装置の変形による燃料交換機能の一部障害が発生
2010年 5月	「もんじゅ」性能試験の再開
2010年 8月	「もんじゅ」燃料交換片付け作業中に炉内中継装置が落下
2011年 6月	「もんじゅ」炉内中継装置の引き抜き作業を完了

世界の高速炉サイクル開発の歴史と今後の開発計画



原子力関係学科の推移

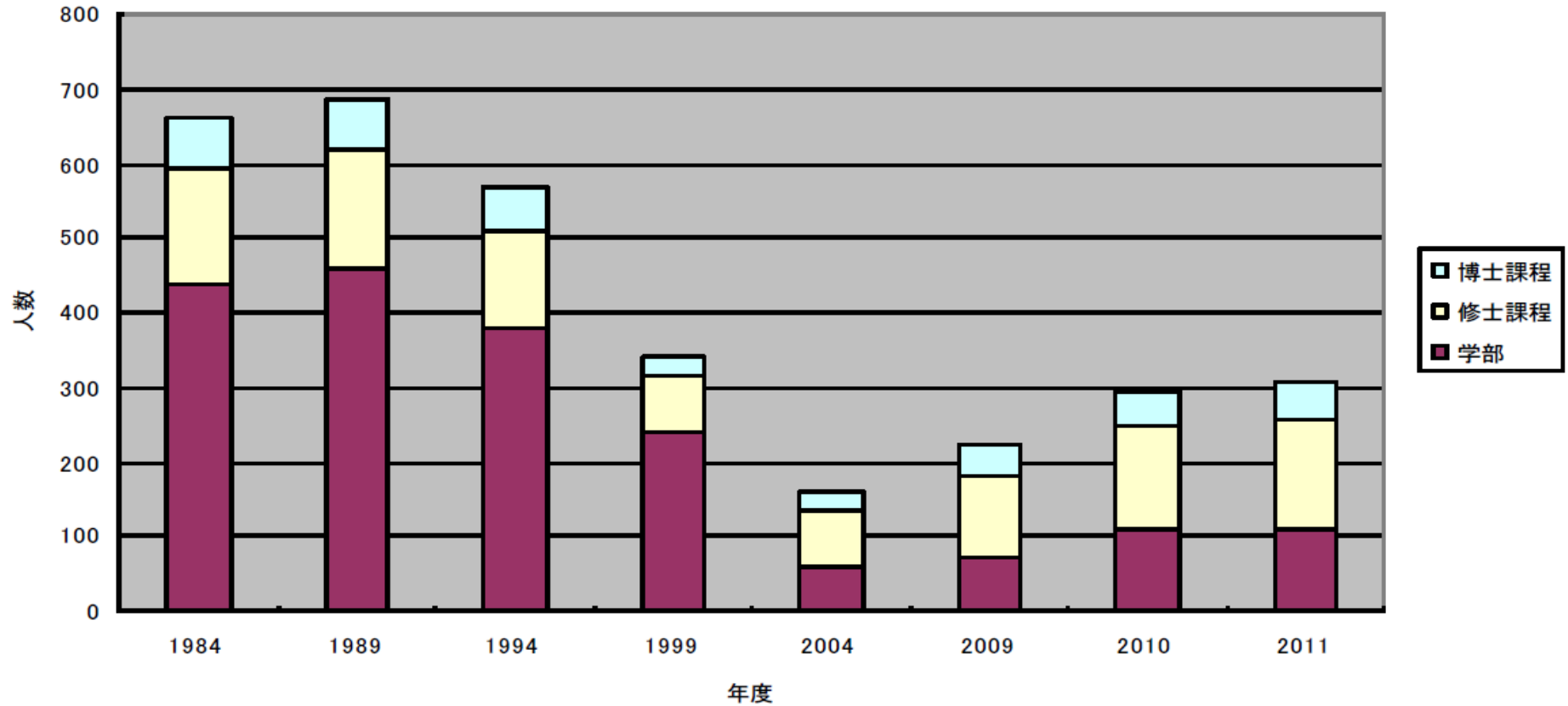
○原子力関係の専攻・学科は、一時期減少したものの、近年は増加。



※「原子」という単語を持つ学科・専攻数を計上。

原子力関係学科の入学定員数

○原子力関係の専攻・学科の入学定員数は、一時期減少したものの、専攻・学科の増加に伴い、近年増加傾向。

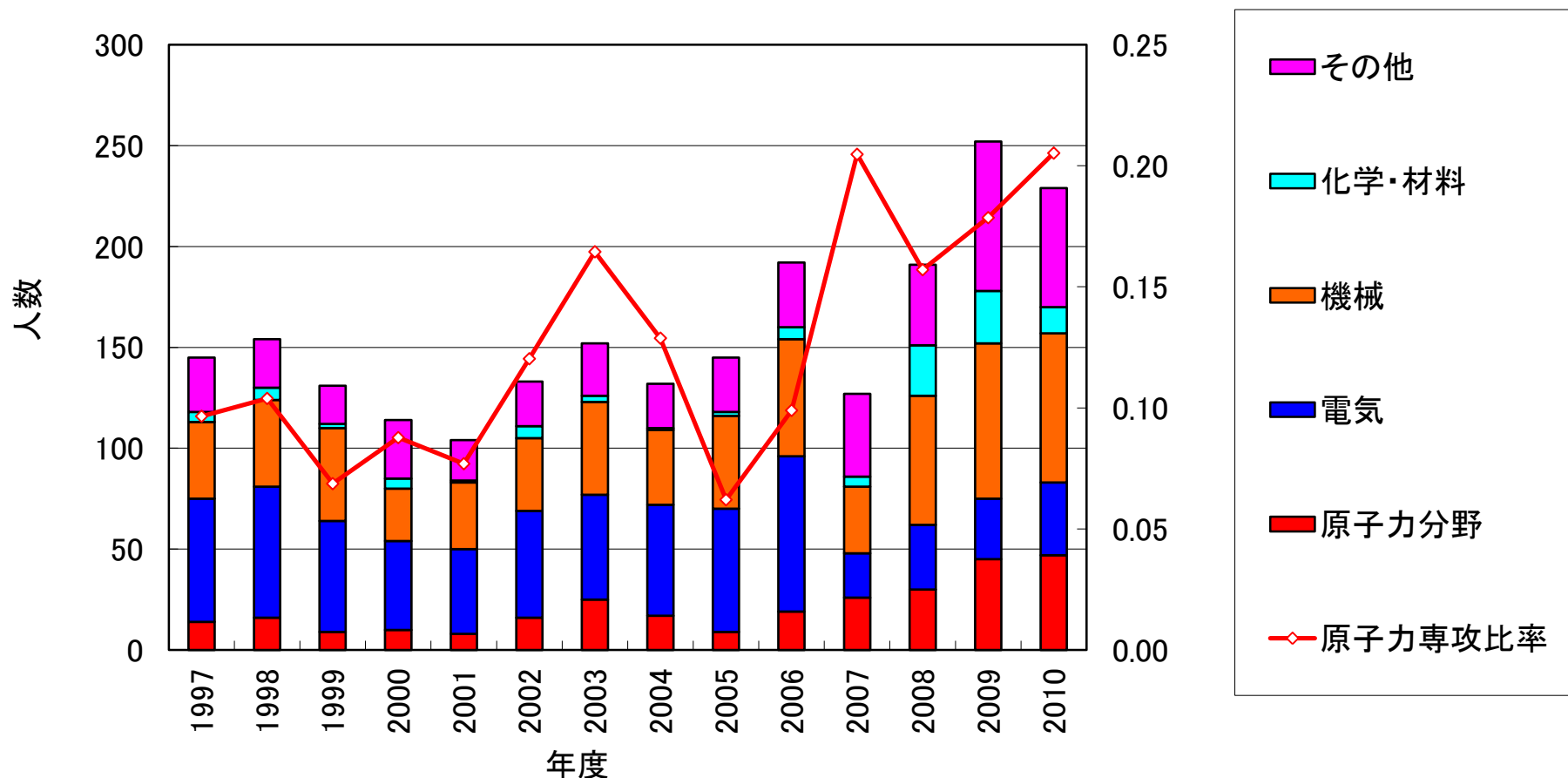


文部科学省調査(2011年)

メーカーへ就職した原子力専攻等学生等の採用状況

○近年は、海外展開、新型炉開発を目的に、原子力専攻の学生の採用数が増加傾向。

メーカー(6社)の採用状況



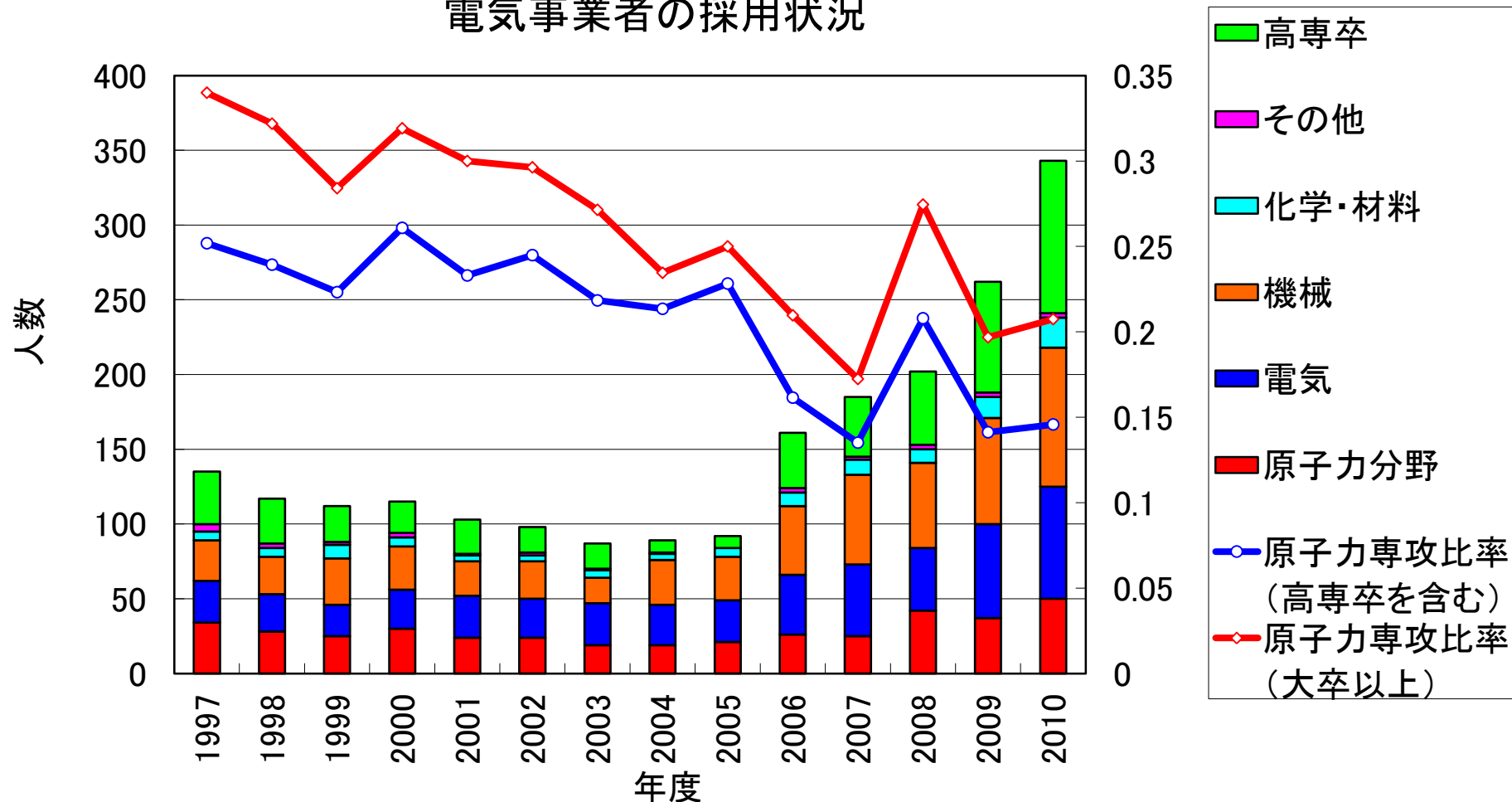
* 原子力専攻比率：
原子力専攻採用者数/全採用者数

メーカー6社:IHI、東芝、日立製作所、富士電機システムズ、三菱重工業、三菱電機
社団法人日本原子力産業協会調べ

電気事業者へ就職した原子力専攻等学生等の採用状況

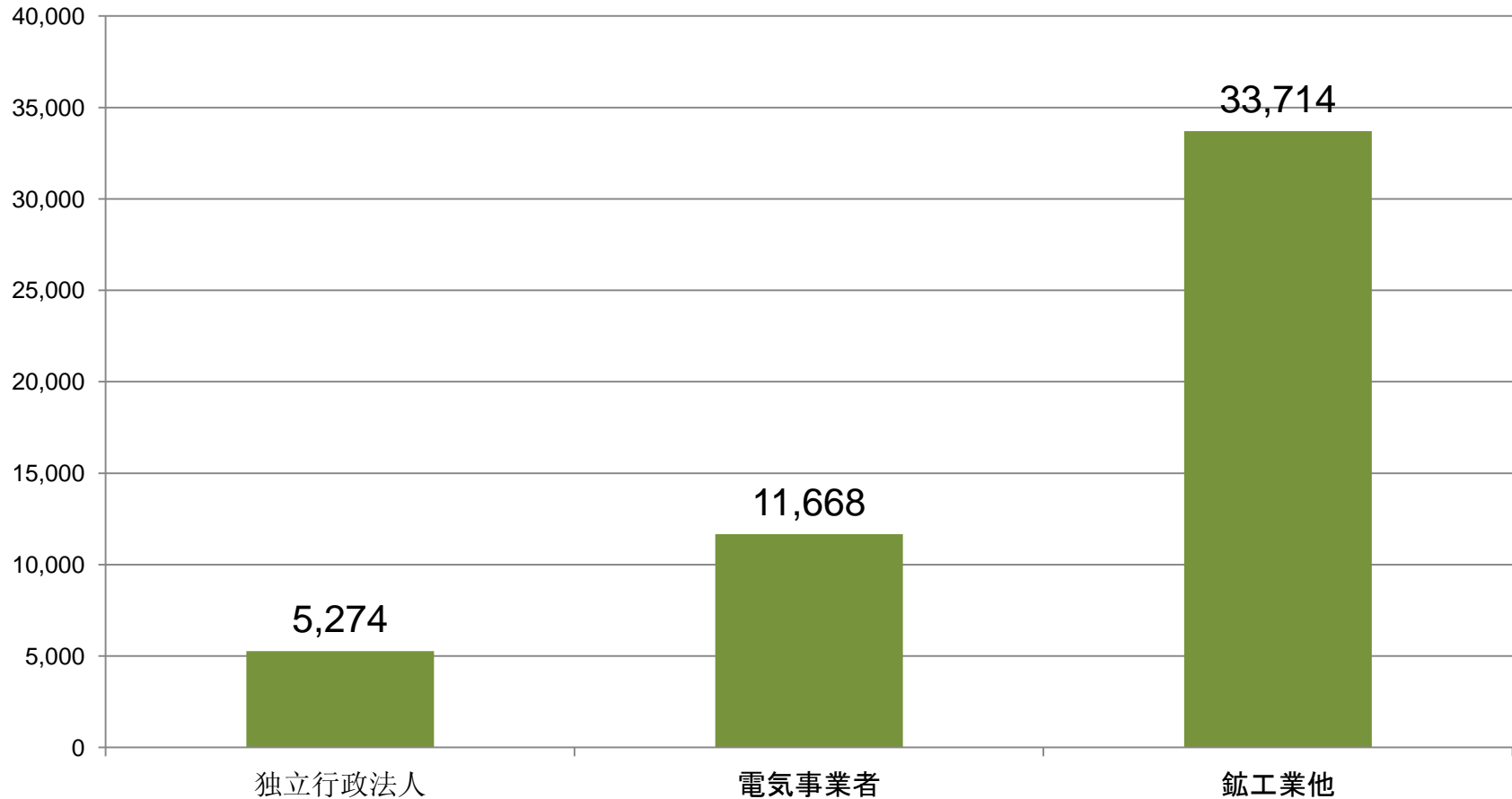
○近年は、採用抑制期の補足のために、原子力専攻の学生の採用数が増加傾向。

電気事業者の採用状況



社団法人日本原子力産業協会調べ

原子力関係従事者数について



独立行政法人: 日本原子力研究開発機構(JAEA)、原子力安全基盤機構(JNES)
電気事業者: 原子力発電所を有する電気事業者
鉱工業他: プラントメーカー等の原子力関連事業者
上記従事者数には事務系等も含む

出展 JAEA、JNESは原子力政策課調べ(2011.11)
電気事業者、鉱工業他は「原子力発電に係る産業動向調査2009 報告書」
社団法人日本原子力産業協会による

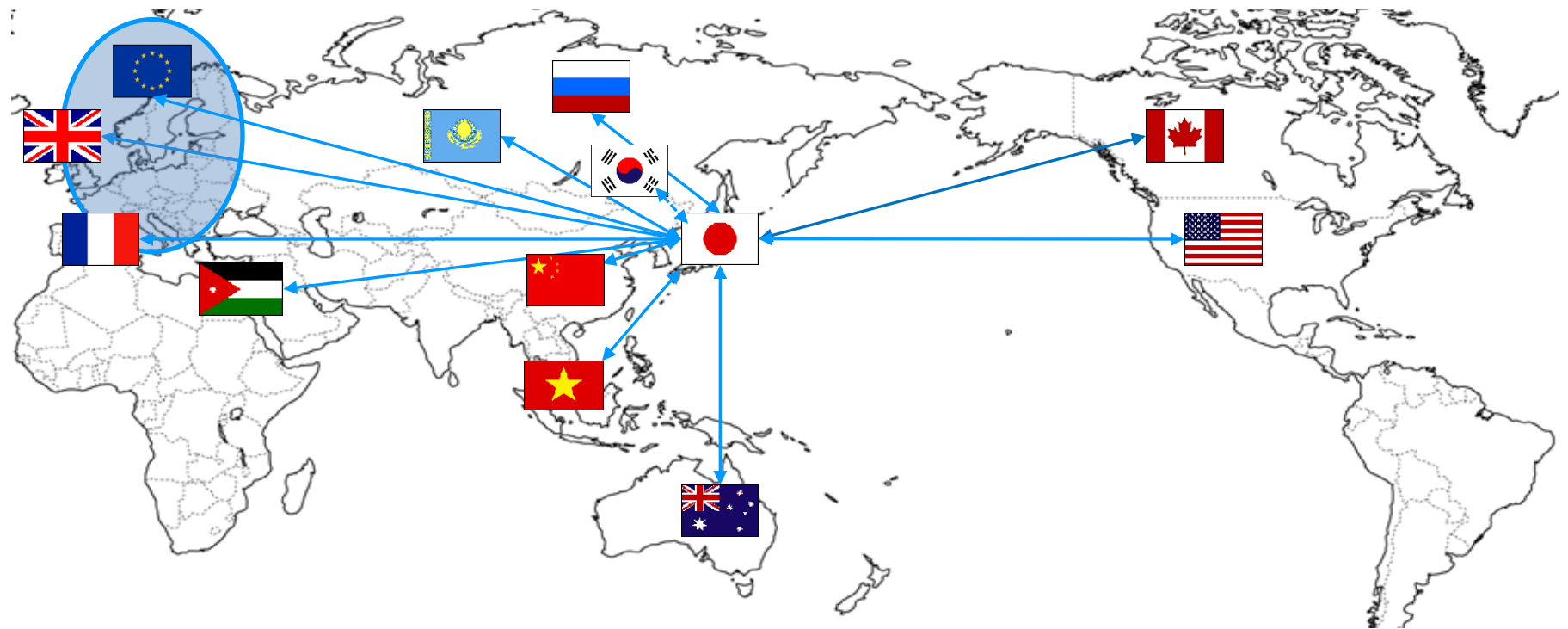
10. 我が国の原子力国際協力について

二国間原子力協定の現状

○二国間原子力協定とは、核物質・原子力資機材等の移転先国における平和的利用や核不拡散等を確保するための法的な枠組み。

- ・締結済：米国、英国、カナダ、豪州、中国、仏国、カザフスタン、韓国、ベトナム、欧州原子力共同体(ユーラトム)
- ・国会承認済：ヨルダン、ロシア
- ・交渉中：ブラジル、インド、トルコ、南ア、UAE 等

二国間原子力協定締結国・機関(2012年1月24日現在)



原子力新規導入国との協力関係

- 現在、経済産業省は11カ国と人材育成等に関する原子力協力文書に署名。
- 原子力協力文書の署名国を中心に、原子力安全確保等に必要な法制度整備や人材育成等、基盤整備に関する協力を実施。

ポーランド
(2010年3月)

カザフスタン
(2007年4月)

モンゴル
(2009年7月)

イタリア
(2009年5月)

※2011年6月、原発導入計画の中止を決定

トルコ
(2010年12月)

ベトナム
(2008年5月)

UAE
(2009年1月)

マレーシア
(2010年9月)

ヨルダン
(2009年4月)

クウェート
(2010年9月)

※11年7月、原子力技術や発電所導入の追求を切望しない旨の声明を発表。

インドネシア
(2007年11月)

原子力新規導入国との原子力協力

- 原子力発電の新規導入国に対して、原子力安全確保に必要な法制度整備や人材育成等、基盤整備に関する協力を実施。
- 海外機関へのインターン等を通じて、将来の原子力分野の国際協力を担う我が国の原子力人材を育成。

海外の人材を対象とした人材育成プログラム

原子力発電導入・拡大国における関連法制度・組織等の整備に資するよう、研修、セミナー、ワークショップ等の開催を通じて人材育成を実施

(具体事例)

○カザフスタン

- ・国立原子力センター等研修生受入
- ・原子燃料公社等研修生受入

○インドネシア

- ・安全規制等セミナー
- ・緊急時対応、PA等ワークショップ
- ・政府関係者招聘

○モンゴル

- ・原子力エネルギー庁研修生受入

○ベトナム

- ・原子力法セミナー
- ・プレFS・FS関連ワークショップ
- ・電力公社等研修生受入
- ・国会議員、政府関係者等招聘

○ヨルダン

- ・サイト選定、耐震評価に関する意見交換

日本人を対象とした人材育成プログラム

国際機関(IAEA)、原子力大学(WNU)、他国の大学(UCバークレーなど)へのインターンシップ派遣、国際機関からの外国人講師の招聘等などを通じて、国際協力を担う我が国の原子力人材を育成

IAEAへの特別拠出と専門家の派遣

○原子力発電を新規に導入または拡大する国に対する基盤整備を支援するため、2008年度からIAEAに特別拠出金を拠出(毎年約1億円規模)。以下の事業を実施。

- ・原子力発電導入基盤整備に係る専門家会合の開催
- ・統合原子力導入基盤整備評価ミッションの実施
- ・各種専門図書の整備 等

各種ワークショップ・技術会合への専門家の出席

○IAEAが開催する基盤整備支援関連の会合へ我が国専門家を出席させ、原子力の導入や拡大を希望する国に対して我が国の経験等を説明。これまで以下の会合に参加。

- ・原子力発電基盤整備のマイルストーンに関する技術会合(2007年11月)
- ・原子力発電基盤整備の評価方法に関する技術会合・ワークショップ(2008年12月)
- ・原子力発電新規参入国と国際協力に関するワークショップ(2009年11月)
- ・原子力発電導入国の基盤整備に関する技術会合・ワークショップ(2010年2月より毎年開催) 等