

# エネルギー危機と原子力の役割

シニアネットワーク東北 阿部勝憲

石巻専修大学 学生とシニアとの対話会 2023.7.10

# 自己紹介

原子力との出会い  
漫画「鉄腕アトム」



東北大(原子力材料、教育研究)1968~2007

東海発電所 1965

国産原子炉 1962

福島第一原子力発電所 1971

女川原子力発電所 1984

八戸火力発電所 1958

八戸工大(原子力教育)2007~2015

六ヶ所核燃料サイクル施設1992

国際核融合研究センター2007

東通原子力発電所2005

現在 2015~

シニアネットワーク東北  
(対話活動)

# 内容

1. 最近のエネルギーと環境の問題
2. S + 3E
3. 準国産エネルギーとしての原子力
4. 原子力発電のしくみと安全対策
5. 我が国の方針
6. 結び

付録 ALPS処理水関係

# 1. 最近のエネルギーと環境の問題

## エネルギー問題

- 世界的な人口増加と産業発展に対応してエネルギー消費が増加してきた
- ロシアのウクライナ侵略（2022年2月）により、エネルギー資源大国のロシアからのヨーロッパ諸国への天然ガス供給が途絶えるなど、国際的なエネルギー危機となった
- 化石燃料の国際的な取り合いが続いている
- 我が国はエネルギー資源が乏しく輸入に頼ってきたので厳しい状況

## 環境問題

- 世界的に平均気温の上昇が観測されてきた
- 猛暑や寒波あるいは豪雨や洪水などの異常気象が目立ってきた
- 地球の大気にわずかに含まれる二酸化炭素CO<sub>2</sub>の増加が続いている
- 二酸化炭素などの温室効果ガスの増加は赤外線などの吸収などにより温暖化や異常気象を引き起こしている可能性がある

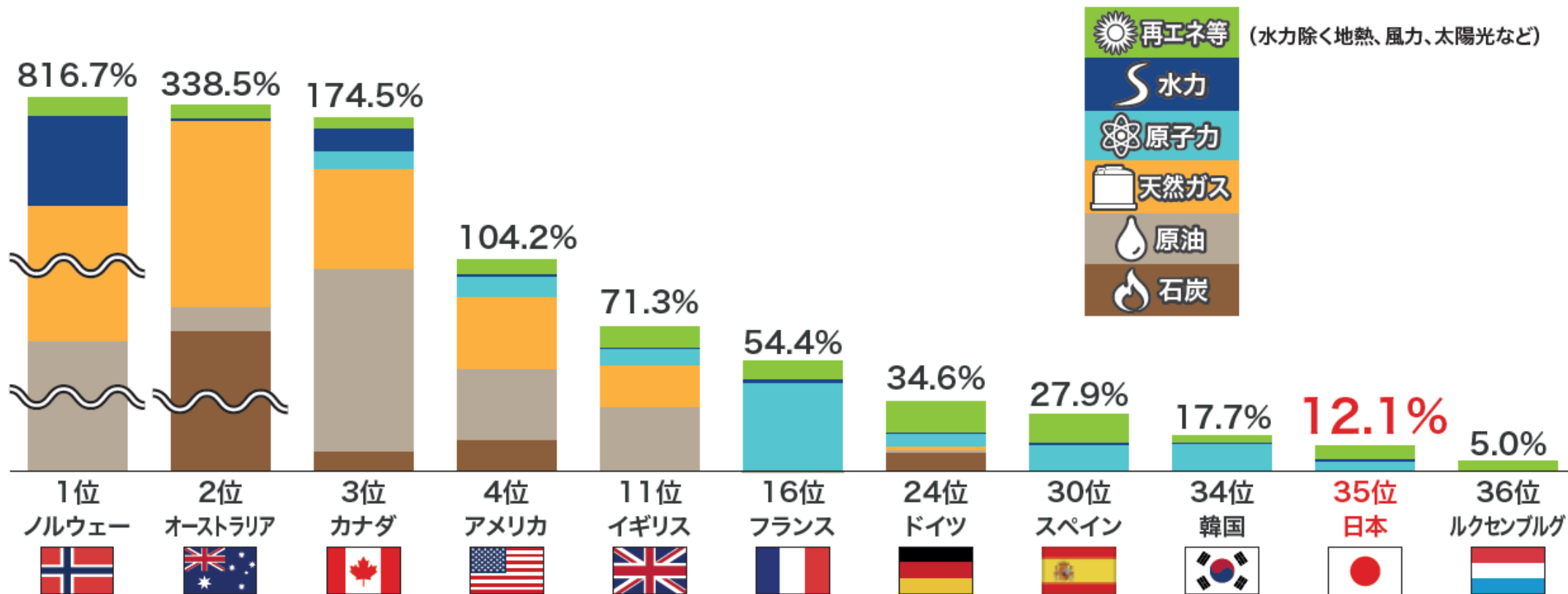
# ○ 我が国のエネルギー自給率は非常に低い

一次エネルギー（加工変換していないエネルギー）

- ・化石エネルギー（石炭、石油、天然ガスなど）
- ・再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力、地熱など）
- ・原子力エネルギー（ウランによる核分裂）

二次エネルギー（一次エネルギーを加工変換して得る）

電気、都市ガス、灯油、ガソリンなど



主要国の一次エネルギー自給率比較（2019）

出典：資源エネルギー庁資料

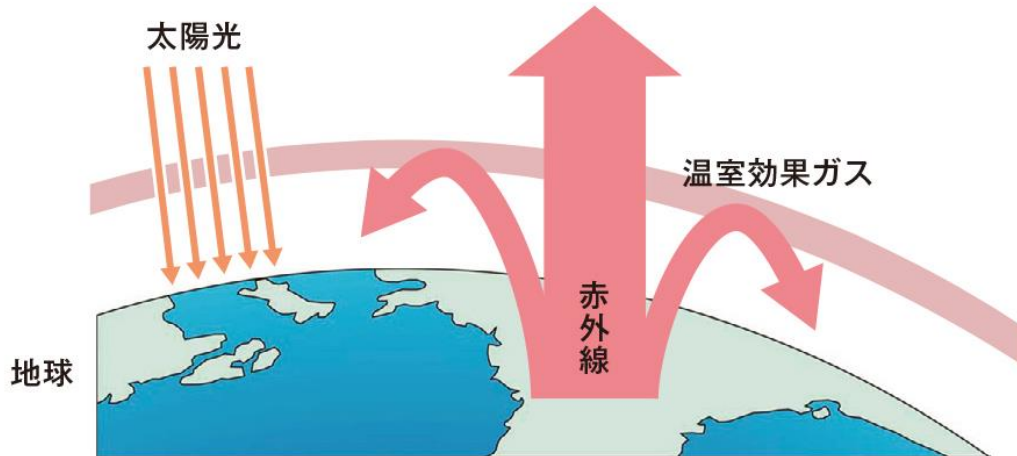
# ○ ヨーロッパ諸国や日本はロシアの化石燃料に依存していた

## 【第121-1-3】ロシアによるウクライナ侵略前のG7各国の一次エネルギー自給率とロシアへの依存度

国名	一次エネルギー自給率 (2021年)	ロシアへの依存度 (輸入量におけるロシアの割合) (2020年) ※日本の数値は財務省貿易統計2021年速報値		
		石油	天然ガス	石炭
日本	13% (石油:0% ガス:2% 石炭:0%)	4% (シェア5位)	9% (シェア5位)	11% (シェア3位)
イタリア	23% (石油:12% ガス:4% 石炭:0%)	11% (シェア4位)	31% (シェア1位)	56% (シェア1位)
ドイツ	35% (石油:3% ガス:5% 石炭:51%)	34% (シェア1位)	43% (シェア1位)	48% (シェア1位)
フランス	54% (石油:1% ガス:0% 石炭:0%)	0%	27% (シェア2位)	29% (シェア2位)
英国	61% (石油:75% ガス:43% 石炭:12%)	11% (シェア3位)	5% (シェア4位)	36% (シェア1位)
米国	104% (石油:96% ガス:113% 石炭:110%)	1%	0%	0%
カナダ	186% (石油:288% ガス:138% 石炭:235%)	0%	0%	0%

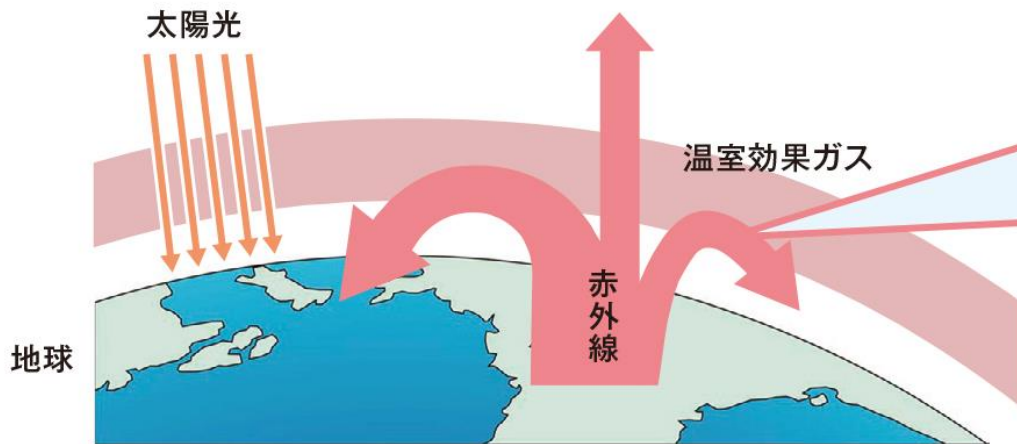
資料：World Energy Balances 2022 (自給率)、BP統計、EIA、Oil Information、Cedigaz統計、Coal Information (依存度)、貿易統計(日本)を基に経済産業省作成

# 温室効果のしくみ

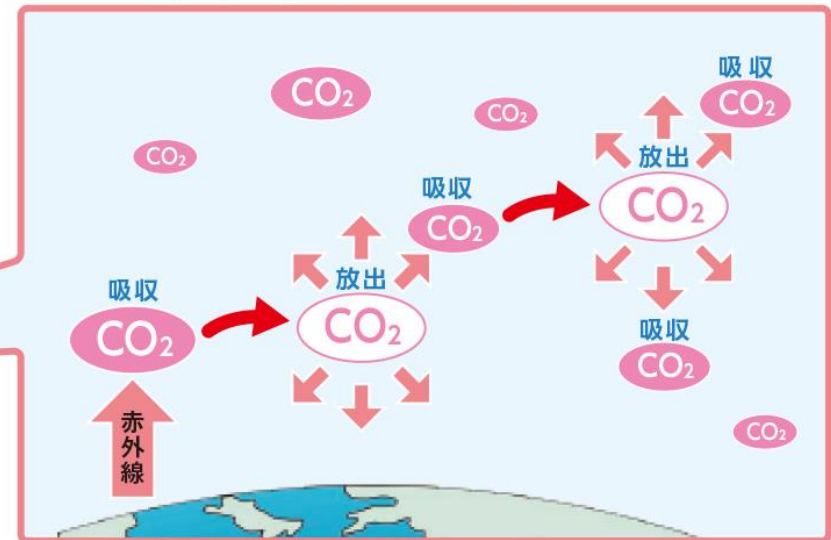


地球の大気にわずかに含まれる二酸化炭素などの温室効果ガスは、赤外線を吸収し、再び放出する性質があります。この性質により、太陽からの光で暖められた地球の表面から外に向かう赤外線は、温室効果ガスに吸収・放出される場合があります。地表に向かう一部の赤外線の熱作用により再び地球の表面を暖めます。大気中の温室効果ガスが増えると、この吸収・放出のプロセスが増え、結果として温室効果が強まり地球の表面の気温が高くなります。

温室効果ガスが増加すると



例：二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の赤外線吸収・放出の過程

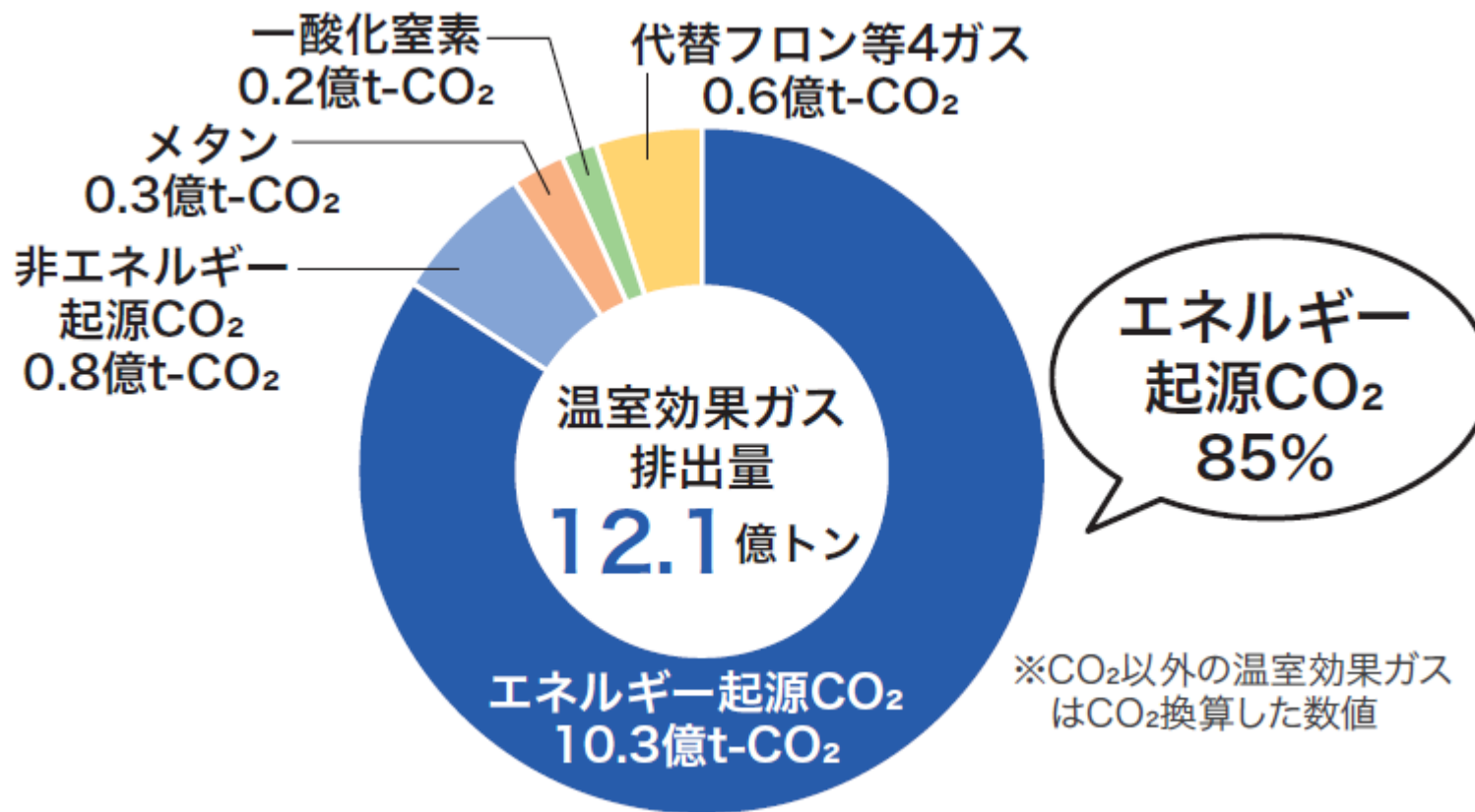


二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が増えることにより地表に向かう赤外線が増える。

2-1-1

出典：日本原子力文化財団、原子力・エネルギー図面集

○ 我が国の温室効果ガス排出ではエネルギー起源が多い



日本の温室効果ガス排出量 (2019年)

出典：資源エネルギー庁資料



## 2. S + 3E とは

- Safety (安全性)  
安全が前提 (原子力の安全対策については後述)
- Energy Security (安定供給) (エネルギー安全保障)
- Economic Efficiency (経済効率性)
- Environment (環境適合)

○ エネルギー安全保障： 日本は自給率が低く、島国のため他国とパイプラインも送電線も連結していない

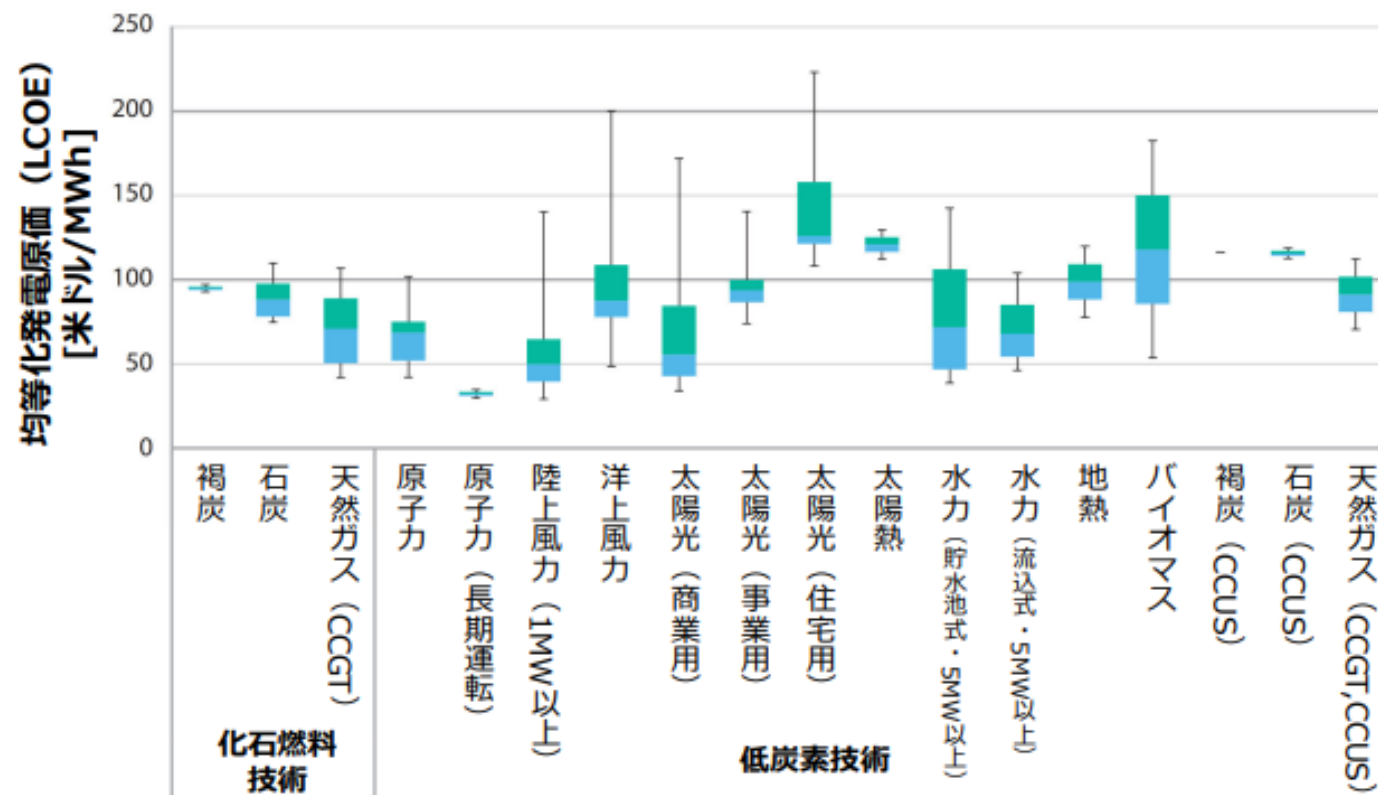
<b>(参考) 日本の島国特有のエネルギー事情</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>● ヨーロッパのように<u>地続きの国々</u>は、天然ガスのパイプラインや送電線を国際的に連結し、<u>需給のバランスに応じて互いにエネルギーの売買を行っている</u>。</li> <li>● 一方、<u>日本は島国</u>であるため、地理的にガスパイプラインや国際送電線により、他の国と連結することが困難。現状では、<u>必要な電力需要の全てを国内で発電する必要がある</u>。</li> </ul>							
	日	仏	中	印	独	英	米
自給率(2019年) <small>※中・印は2018年</small> 【主な国産資源】	12% 〔無し〕	54% 〔原子力〕	80% 〔石炭〕	62% 〔石炭〕	35% 〔石炭〕	71% 〔石油 天然ガス〕	104% 〔天然ガス 石油・石炭〕
国際パイプライン	×	○	○	×	○	○	○
国際送電線	×	○	○	○	○	○	○

出典：資源エネルギー庁資料（令和2年2月）

# ヨーロッパにおける天然ガスのパイプライン網



## ○ 経済効率：国際的な電源ごとの発電コスト比較

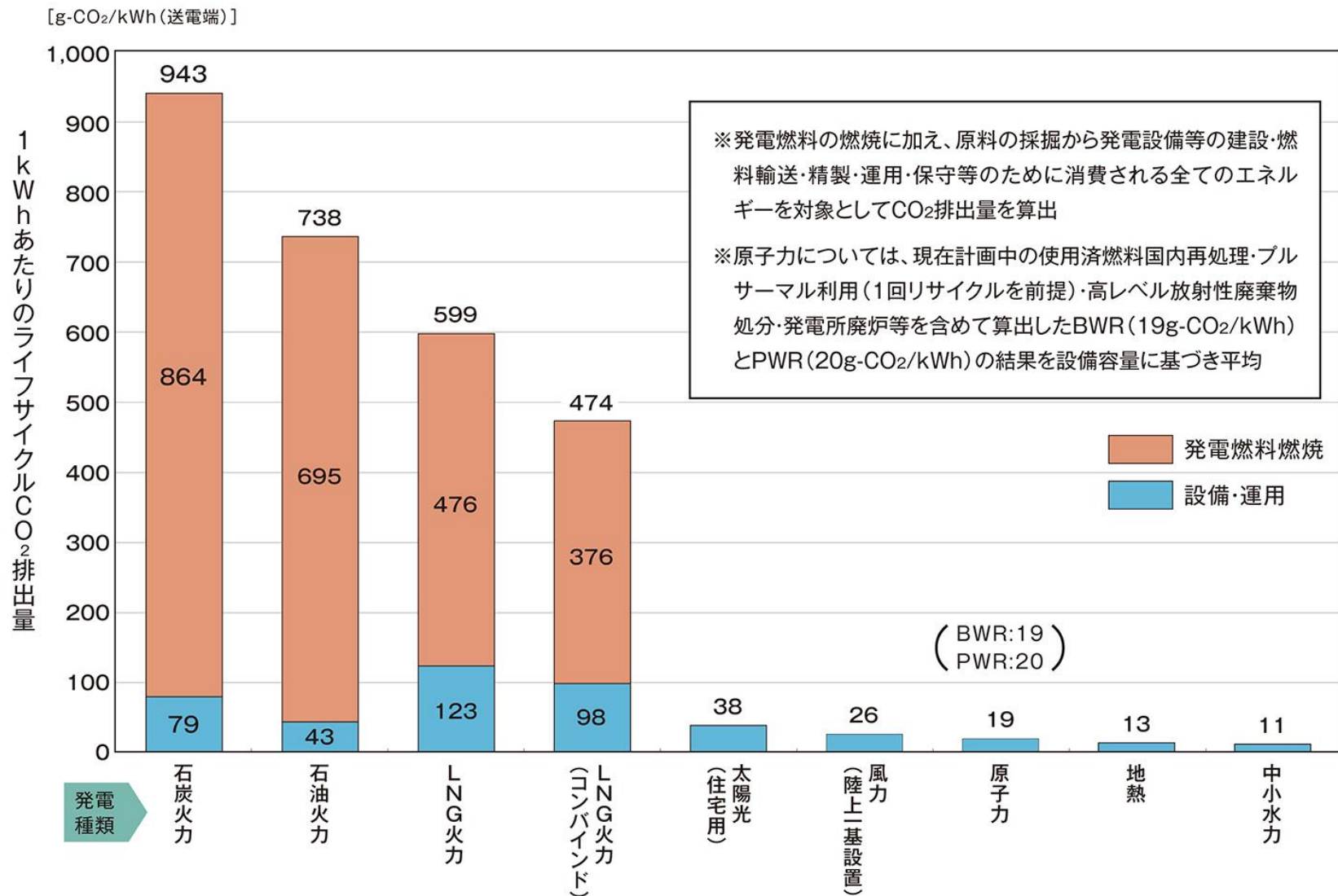


出典：IEA, "Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition"(2020).

凡例 線の下端…最小値、箱の下端…第1四分位数 (25パーセンタイル)、箱内2色の境界…第2四分位数 (50パーセンタイル・中央値)  
箱の上端…第3四分位数 (75パーセンタイル)、線の上端…最大値

出典：IEAによる電源ごとの発電コスト比較 (2020年)

# 各種電源別のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量



# ○ 我が国は多様なエネルギー源をバランスよくミックスして活用を



## 考えよう、エネルギーの未来

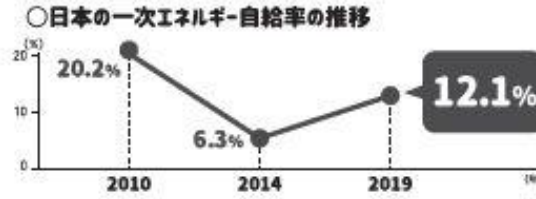
～2050年カーボンニュートラル実現のために①～



### 日本のエネルギーをめぐる現状

### エネルギー政策のポイント

**エネルギー自給率**  
**約1割**  
自給率は  
OECD諸国35/36位



**電気料金**  
**2割上昇**  
燃料費の増加等が  
主な原因



**CO<sub>2</sub>排出**  
**実質0に**  
CO<sub>2</sub>を出さない再エネや  
原子力の活用が有効



**安全性**  
+  
**安定供給**  
+  
**経済効率性**  
+  
**環境適合**

エネルギーの安全性を大前提に  
3つのバランスを取る

再生可能エネルギー  
火力発電

原子力発電

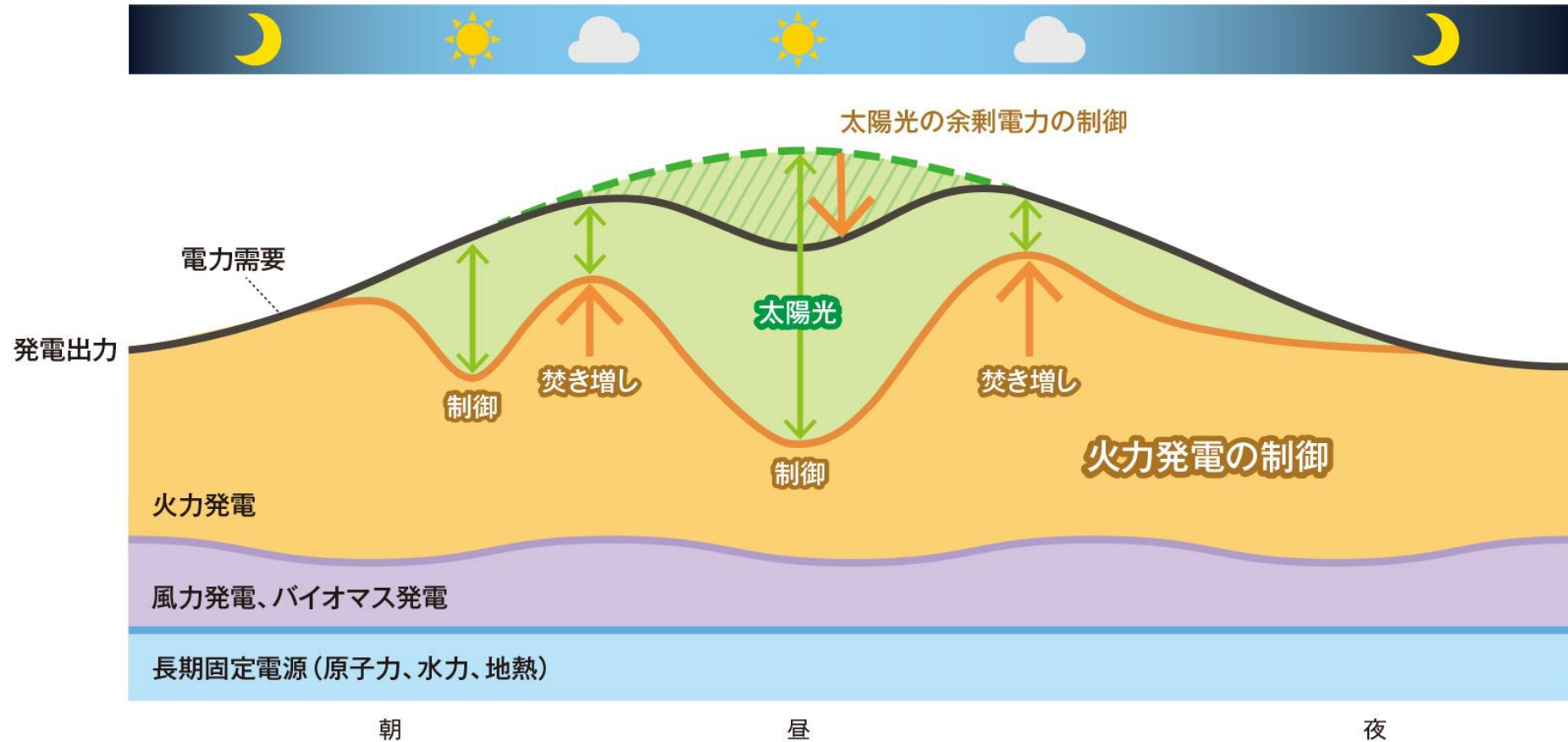
多様なエネルギー源を  
バランスよく活用する

これからのエネルギーについて、もっと詳しく知りたい方はコチラ <https://yab.yomiuri.co.jp/adv/energy/>



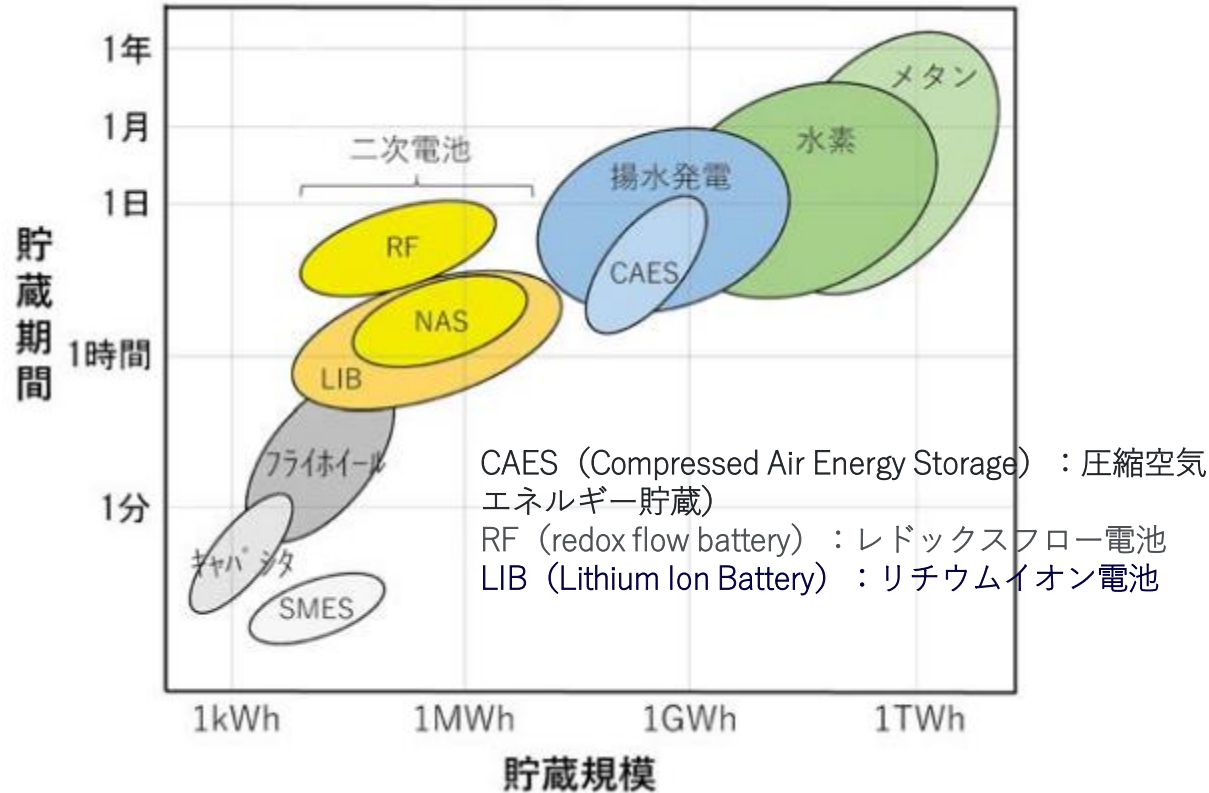
# 電力需要に対応した発電方法の組合せ

最小需要日(5月の晴天日など)の需給イメージ



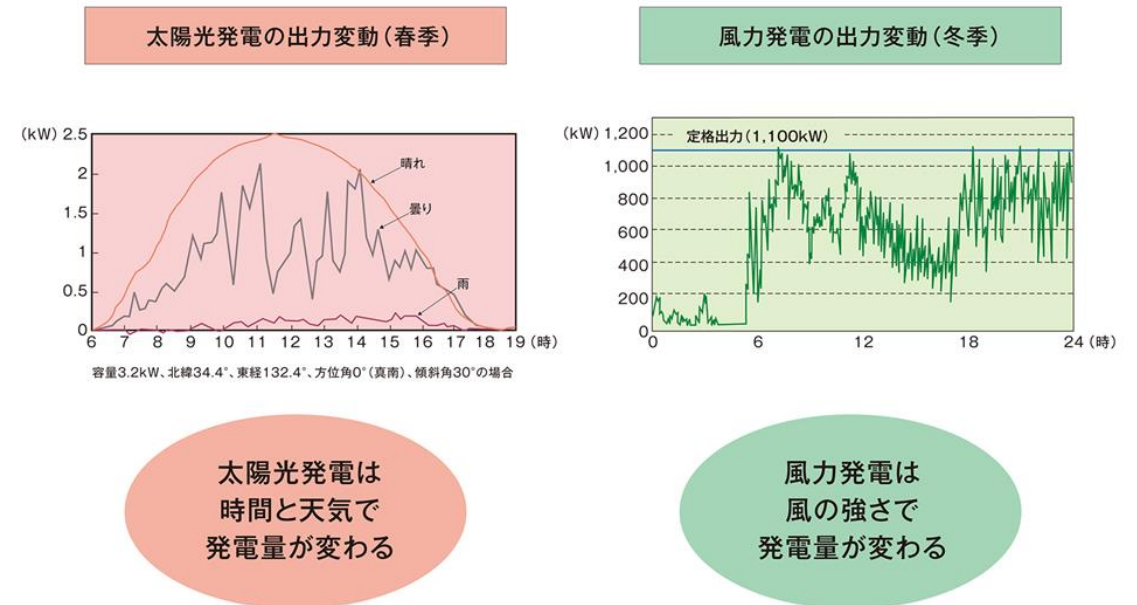
電気を安定して使うには、常に発電量(供給)と消費量(需要)を同じにする必要があります。  
そのため、再エネの出力の上下に対応出来る火力発電などで、発電量と消費量のバランスをとる必要があります。

○ 変動電源（太陽光、風力）にはバッテリー対応では限界があり  
バックアップ電源としての火力に頼らざるを得ない



各種電力貯蔵方式の貯蔵規模と貯蔵期間のスケール  
 出典：科学技術振興機構資料

太陽光・風力発電の出力変動



3-1-3

原子力・エネルギー図面集

出典：電気事業連合会資料、北海道電力(株)ほりかつら発電所より作成

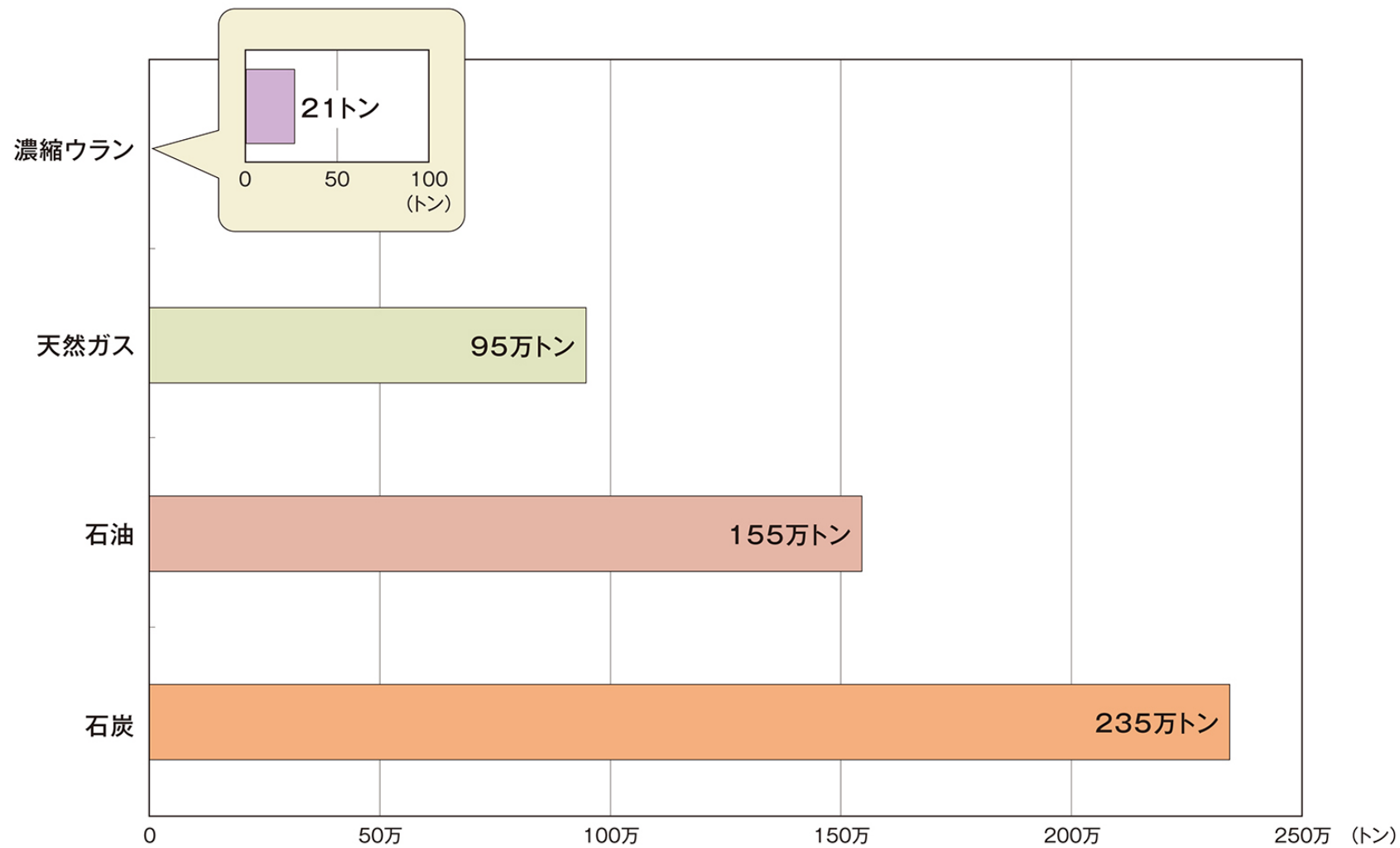
出典：日本原子力文化財団 原子力・エネルギー図面集



### 3. 準国産エネルギーとしての原子力

- 少量のウラン燃料で莫大なエネルギーを取り出す
- 原料のウランは輸入するが、国内の濃縮工場と製造工場が発電所用の燃料となる
- 国内にある原子燃料で発電できる余裕（備蓄効果）が大きい（一度燃料を原子炉に入れると数年間使える）
- 使用済み燃料の再処理により、ウランとプルトニウムを再利用できる

# 100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



4-1-1

出典：資源エネルギー庁「原子力2010」より作成

原子力・エネルギー図面集

出典：日本原子力文化財団 原子力・エネルギー図面集

## ○ 準国産エネルギー源としての特徴

- 天然ウラン原料は輸入
- 国内で濃縮

日本原燃濃縮工場

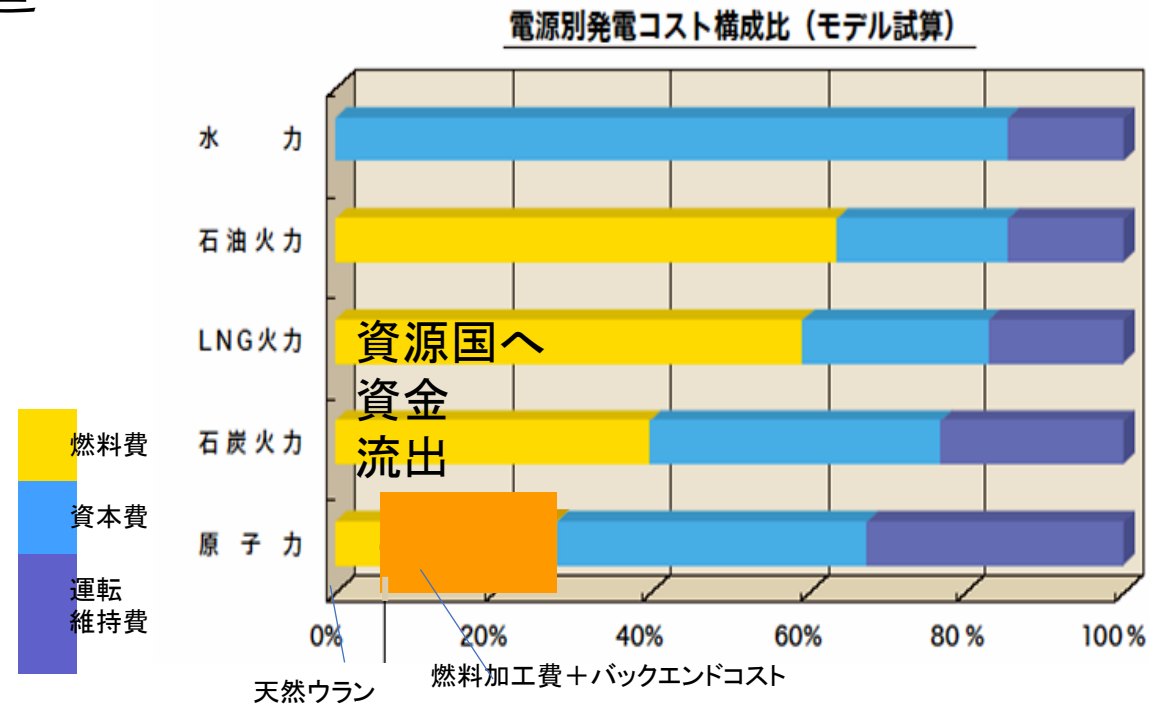
- 国内で燃料集合体製造

原子燃料メーカー

- 備蓄性に優れる

- 国内で使用済み燃料からプルトニウム取出し再利用

日本原燃再処理工場



出典: 資源エネルギー庁資料

# ○ 原子力は燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きい

## ① 安定供給：優れた安定供給性と効率性

- 原子力は、燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく（燃料交換後1年以上、発電の継続が可能）、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる。

**火力・原子力発電所(100万kW)と同量の発電量を得るための面積**

**原子力発電所(100万kW)の年間発電量を代替する場合に必要な燃料**

**国内在庫日数**

原子力	約0.6km <sup>2</sup>	原子力 (濃縮ウラン)	21トン	原子力 (ウラン)	約2.9年分
火力	約0.5km <sup>2</sup>	天然ガス	950,000トン	天然ガス	約20日分
太陽光	約58km <sup>2</sup> <small>※山手線の内側の面積が約63km<sup>2</sup></small>	石油	1,550,000トン	石油	約200日分
風力	約214km <sup>2</sup>	石炭	2,350,000トン	石炭	約29日分

※ウラン在庫については電力中央研究所「原子燃料の潜在的備蓄効果」より  
 ※電力調査統計等より作成  
 (洋上在庫含まず、電力会社の発電用在庫で計算)

## ○ 原子力エネルギーの3Eの特性まとめ 原子力白書（2022）より

<b>① 安定供給</b> (Energy Security)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 優れた安定供給性と効率性（燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる準国産エネルギー源）</li><li>+ 高い技術自給率（国内にサプライチェーンを維持）</li><li>+ レジリエンス向上への貢献（回転電源としての価値、太平洋側・日本海側に分散立地）</li></ul>
<b>② 経済効率性</b> (Economic Efficiency)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 運転コストが低廉（安全対策費用や事故費用、サイクル費用が増額してもなお低廉）</li><li>• 燃料価格変動の影響を受けにくい（数年にわたって国内保有量だけで運転可能）</li></ul>
<b>③ 環境適合</b> (Environment)	<ul style="list-style-type: none"><li>• 運転時にCO<sub>2</sub>を排出しない</li><li>• ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量が少ない</li></ul>

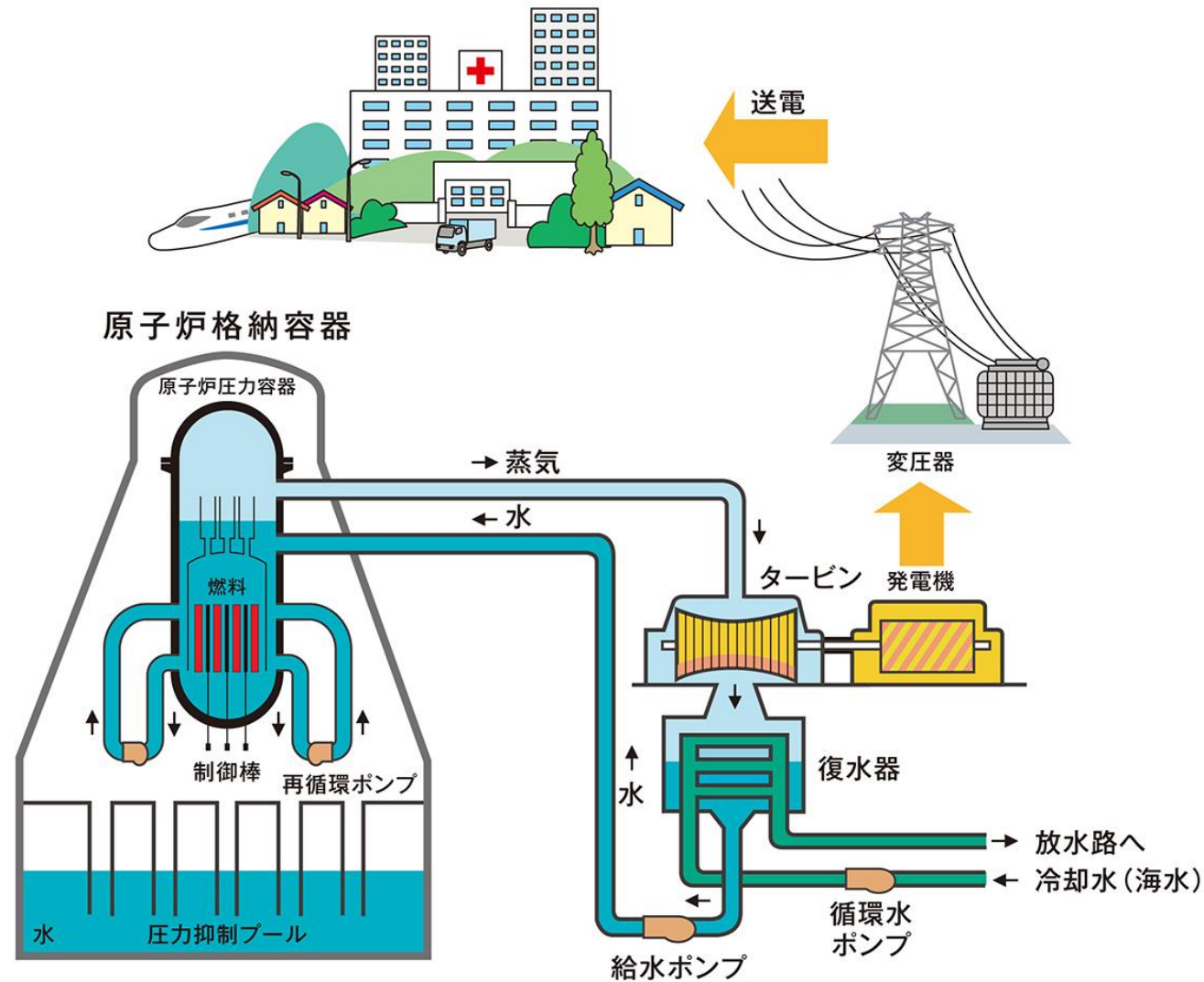
図 2-1 原子力エネルギーの3Eの特性

(出典)資源エネルギー庁「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」(2021年)に基づき作成

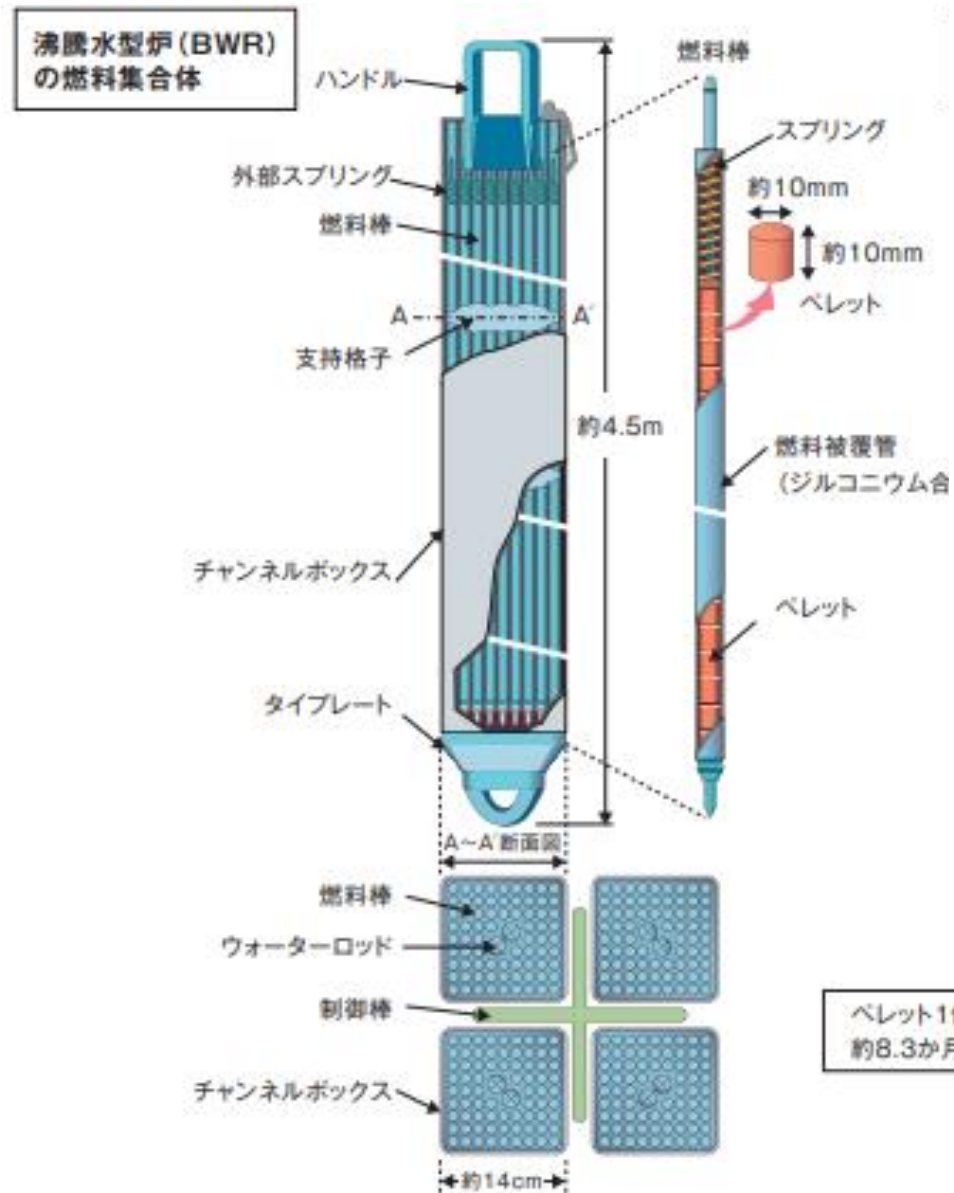
## 4. 原子力発電のしくみと安全対策

- 沸騰水型原子力発電のしくみ
- ウラン燃料と核分裂
- 原子燃料サイクル
- 放射性廃棄物の処分
  
- 原子力発電の安全対策

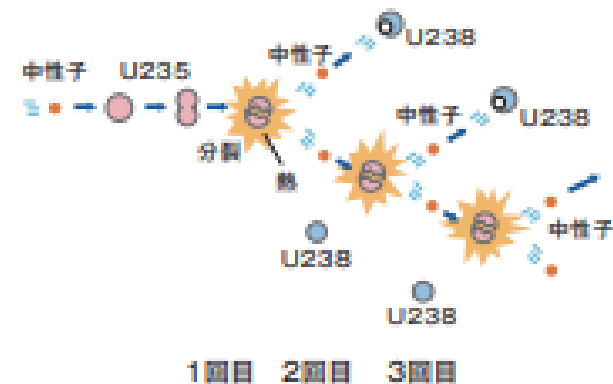
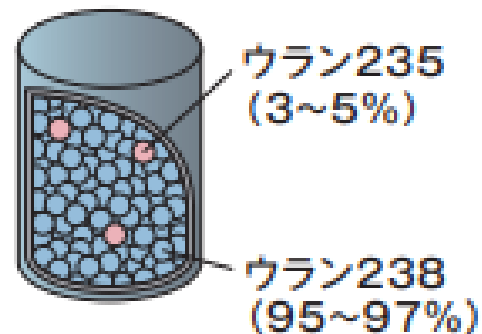
# 沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



# ○ ウラン燃料と核分裂反応



ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する

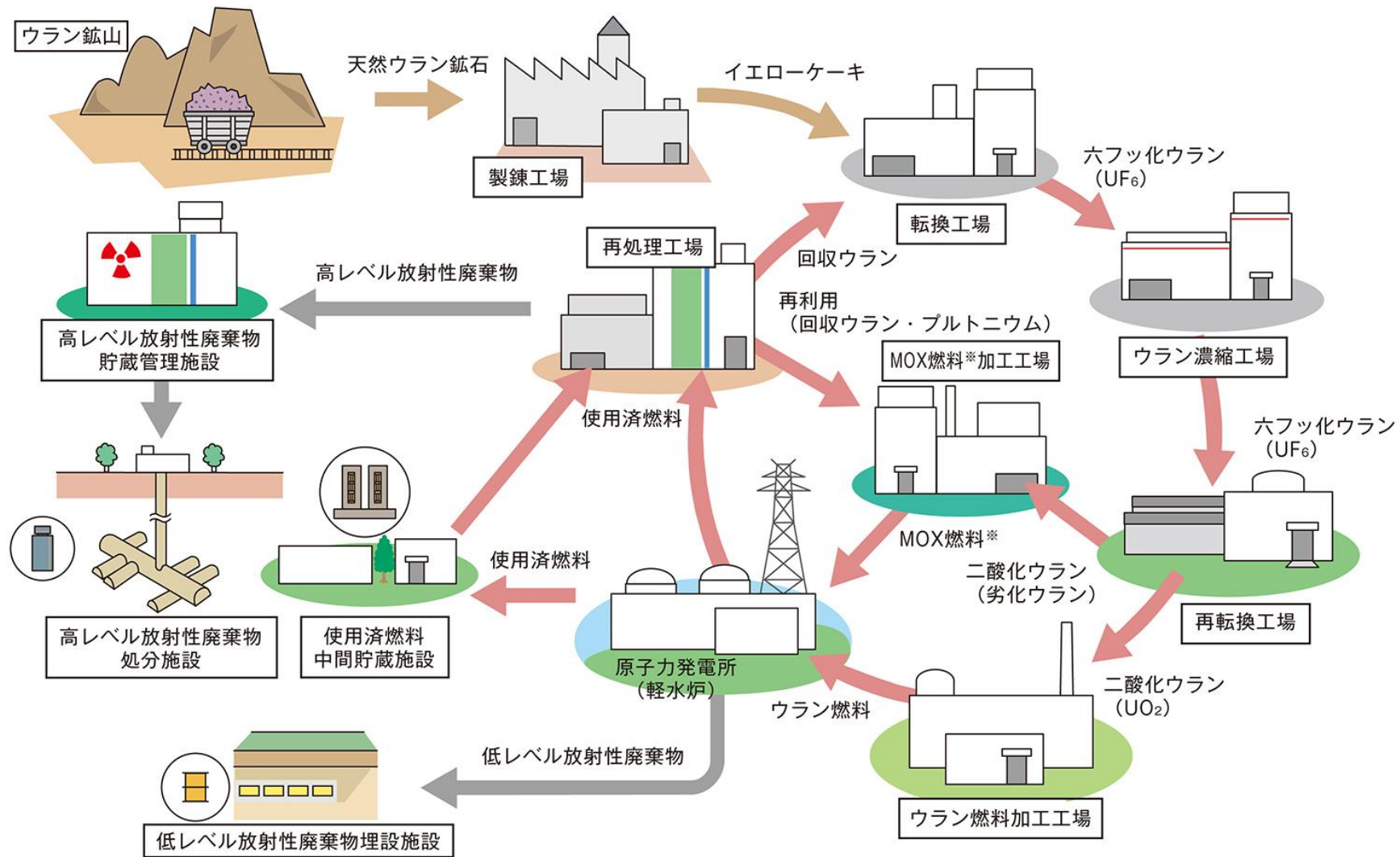


ペレット(ウラン酸化物のセラミックス固体)内で、ウラン235が核分裂して、主に核分裂生成物の運動エネルギーが熱エネルギーとなる。

天然ウラン(U235が約0.7%、U238が約99.3%)から濃縮によりウラン燃料(U235が約3~5%)をつくる。



# 原子燃料サイクル



※MOX (Mixed Oxide) 燃料：プルトニウムとウランの混合燃料

# ○ 放射性廃棄物の処分

- 放射性廃棄物の量は一般廃棄物や産業廃棄物比べて非常に少ないが、放射能をもつために別に管理・処分
- 放射能の高レベルと低レベルを分けて管理
- 高レベルは量が少ないが半減期が長いので特別に地層処分

## 日本で発生する廃棄物の量

	発生廃棄物量(トン/日)		備考
一般廃棄物	主に家庭から排出される生ゴミ、粗大ゴミ およびオフィスから排出される紙くず等	117,057	平成29年度実績
産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、 廃プラスチック、廃酸、廃アルカリ等	1,060,274	平成28年度実績
放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守等に伴って 発生する放射性的の廃棄物	高レベル 1.4	平成12~18年 推定
		低レベル 44	平成29年度実績

# ○ 放射性廃棄物の種類と処分方法 原子力白書（2022）より

発生源	廃棄物の種類	例	
原子力発電所、 研究開発施設等	汚染されていない廃棄物	大部分の廃棄物	
	放射能レベルが基準以下のもの（クリアランス物）	コンクリート、 金属など	
	低レベル 放射性 廃棄物 (注)	放射能レベルが極めて低いもの（L3廃棄物）	コンクリート、 金属など
		放射能レベルが比較的低いもの（L2廃棄物）	フィルター、 廃器材など
放射能レベルが比較的高いもの（L1廃棄物）		制御棒、 炉内構造物	
使用済燃料 再処理施設	高レベル放射性廃棄物	ガラス固化体	

注：低レベル放射性廃棄物には、上記のほか、ウラン廃棄物や更に放射能レベルが高いTRU廃棄物と呼ばれるものも含まれる。

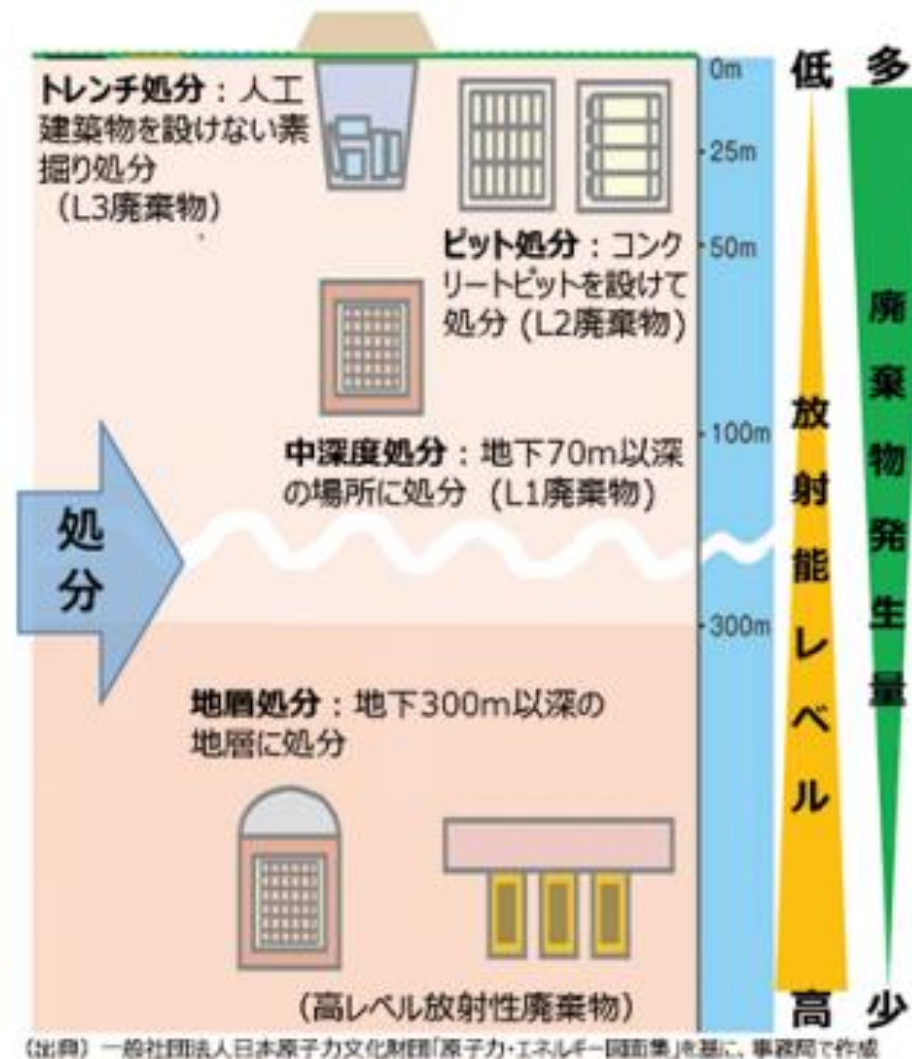


図 6-13 放射性廃棄物の種類と処分方法

（出典）第 43 回原子力委員会資料第 2 号 内閣府「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分を巡る動向等について」（2021 年）に基づき作成

# 原子力発電の安全対策

- 東は止能よ損事故に至った。

東京電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東は止能よ損事故に至った。

東京電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東は止能よ損事故に至った。

東京電力が、福島第一原子力発電所は機に力
- 東北電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東北電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東北電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東北電力が、福島第一原子力発電所は機に力

東北電力が、福島第一原子力発電所は機に力
- 原子力規制委員会が新規規制基準に基

原子力規制委員会が新規規制基準に基

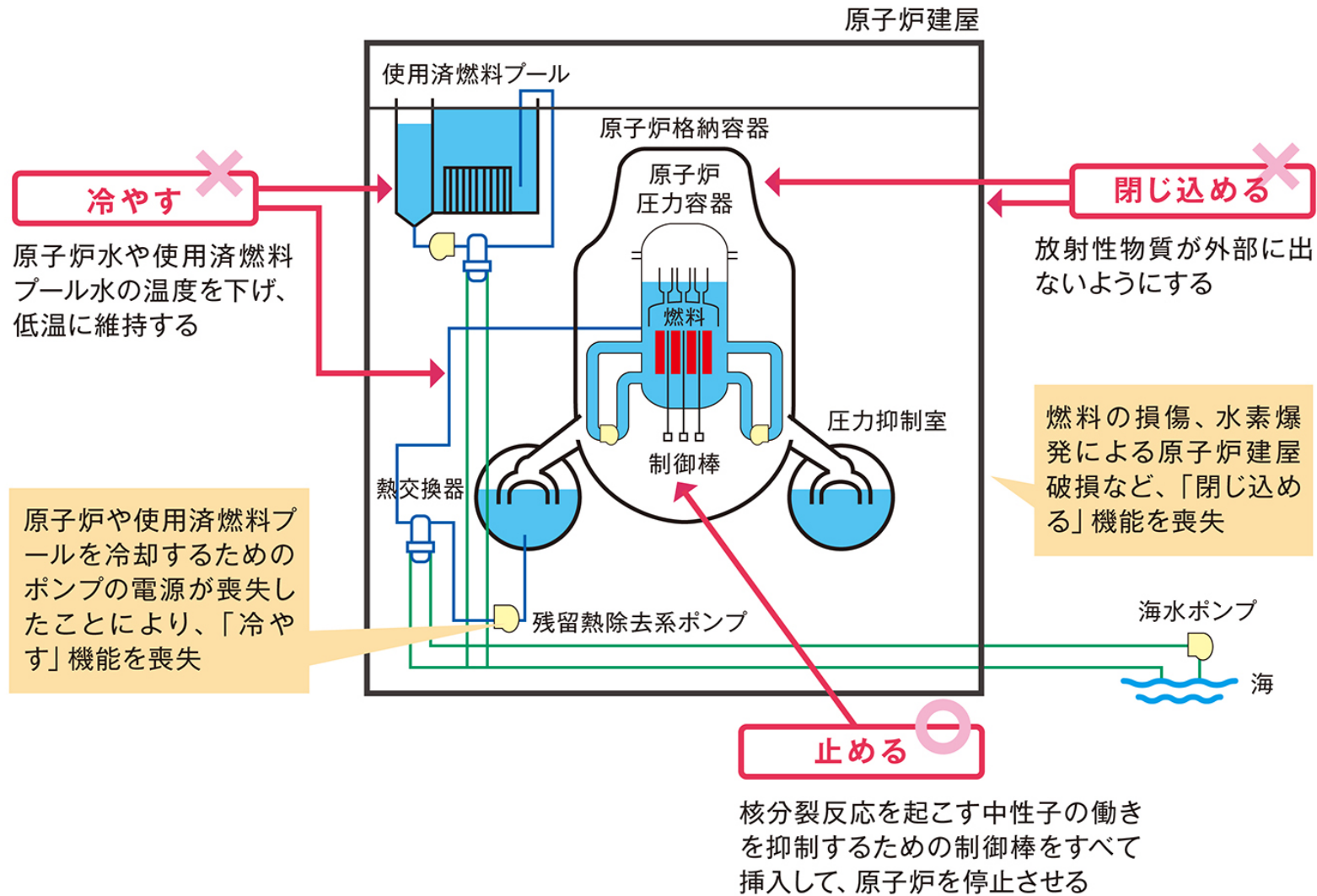
原子力規制委員会が新規規制基準に基

原子力規制委員会が新規規制基準に基

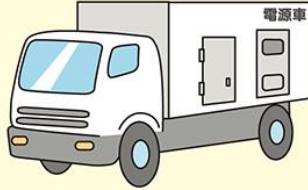
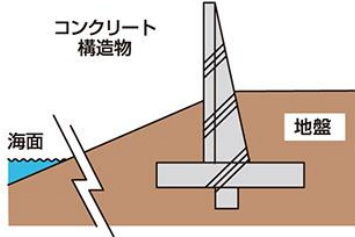
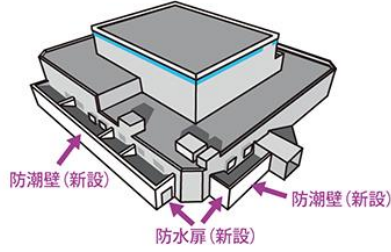
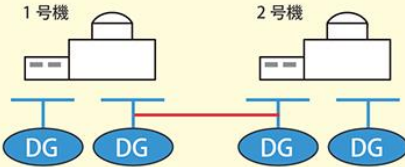
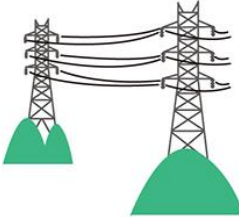
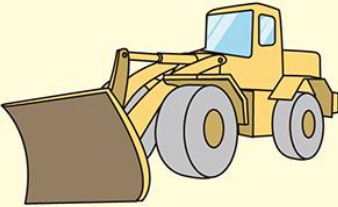
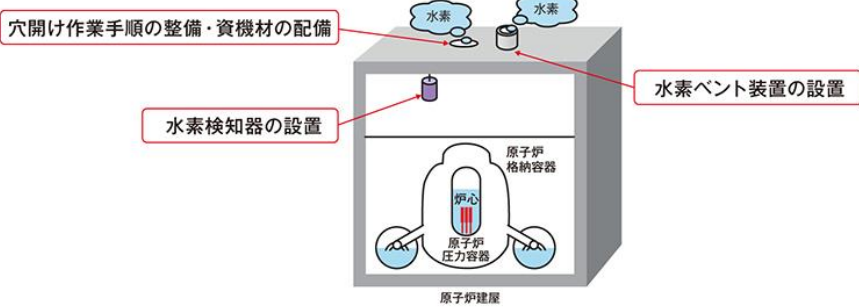
原子力規制委員会が新規規制基準に基

※原子力施設の設計想定を大幅に超えて過酷な状態に至る事故のこと

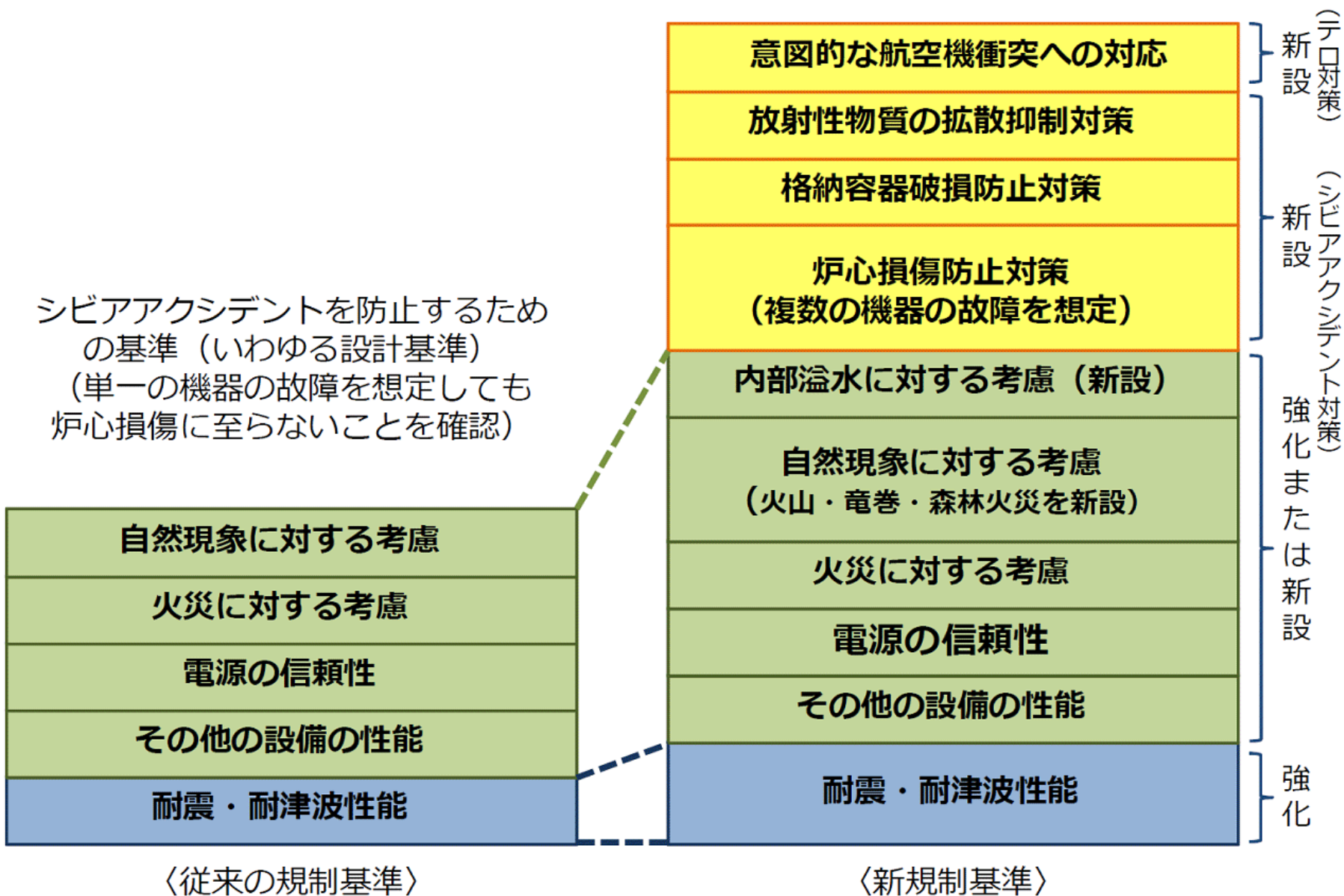
# 福島第一原子力発電所の事故概要



# 福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策の主な具体例

	短期対策（終了）	中長期対策（2～3年以内に実施）
緊急安全対策	<p>非常用電源車の追加配備</p> 	<p>防潮堤の設置</p>  <p>防潮壁の設置</p> 
電源信頼性向上対策	<p>非常用発電機の号機間での融通</p> 	<p>送電鉄塔の点検および地震・津波対策</p> 
シビアアクシデント対策	<p>ホイールローダーの配備</p> 	<p>建屋ベントおよび水素検知器の設置（BWR）</p> 

## 従来の規制基準と新規制基準との比較



女川原子力発電所は、震度6弱の地震と最大13m高さの津波に襲われたが、原子炉は安全に停止した。

出典：東北電力・発電所パンフレット「あの日を、未来へつなぐー女川原子力発電所の備えと教訓ー2011.3.11」

## マグニチュード9.0 国内史上最大の揺れを観測。

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、国内史上最大のマグニチュード9.0が観測され、女川原子力発電所が位置する牡鹿半島全体では約1mにわたって地盤沈下するなど、甚大な被害が引き起こされました。

女川原子力発電所では震度6弱・地震加速度567.5ガルを記録し、最大約13mの高さの巨大津波が押し寄せましたが、原子炉は安全に停止しました。震源地から約130kmと、最も近い原子力発電所だったにも関わらず、なぜ安全を確保することができたのでしょうか。



震度6弱、最大約13mの津波が押し寄せた女川原子力発電所。「止める」「冷やす」「閉じ込める」が機能し、安全に停止した。





被災された住民の方々の避難を受け入れ



体育館での避難生活



発電所構内にある体育館



出典：東北電力・発電所パンフレット「あの日を、未来へつなぐー女川原子力発電所の備えと教訓ー2011.3.11」

## 国際的な原子力機関の評価と受賞

### 国際原子力機関 (IAEA) が「驚くほど損傷を受けていない」と評価

震災翌年の2012年7月に国際原子力機関 (IAEA) による現地調査が行われました。約2週間にわたる調査の結果、「女川原子力発電所は震源からの距離、地震動の大きさ、継続時間などの厳しい状況下にあったが、驚くほど損傷を受けていない」との評価を受けました。

### 世界原子力発電事業者協会 (WANO) 原子力功労者賞を受賞

2013年5月、当社は世界原子力発電事業者協会 (WANO) <sup>※1</sup> から、震災時における女川原子力発電所の以下の取り組みが評価され、原子力功労者賞<sup>※2</sup> を受賞しました。

#### 【受賞理由】

- 女川原子力発電所が日頃から緊急時の対応をはじめとした事前準備に備えてきたこと
- 過去に例をみない巨大地震と津波 にもかかわらず、女川原子力発電所の3基全てを安全に冷温停止に導いたこと
- 震災で被災した地域住民を受け入れ、地域とともに 困難を乗り越えたこと



IAEAによる調査

# 5. 我が国の方針（原子力）

- 2030年までの取り組み

再稼働済みの10基（西日本）に加えて、女川原子力発電所2号機を含めて設置許可済みの7基（東日本含む）の再稼働、さらに審査申請済み10基と未申請9基の取り組み

これにより原子力20～22%目標を実現

- 2050年CN（カーボン・ニュートラル Carbon Neutral）実現に向けて

カーボンニュートラルとは二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させること

- ・ 次世代革新炉の開発・建設
- ・ 運転期間のカウントに関する新しい仕組み
- ・ 核燃料サイクルの推進など

# 原子力発電所の現状

2023年6月22日時点

再稼働  
10基

稼働中 9基、停止中 1基 (起動日)

設置変更許可  
7基

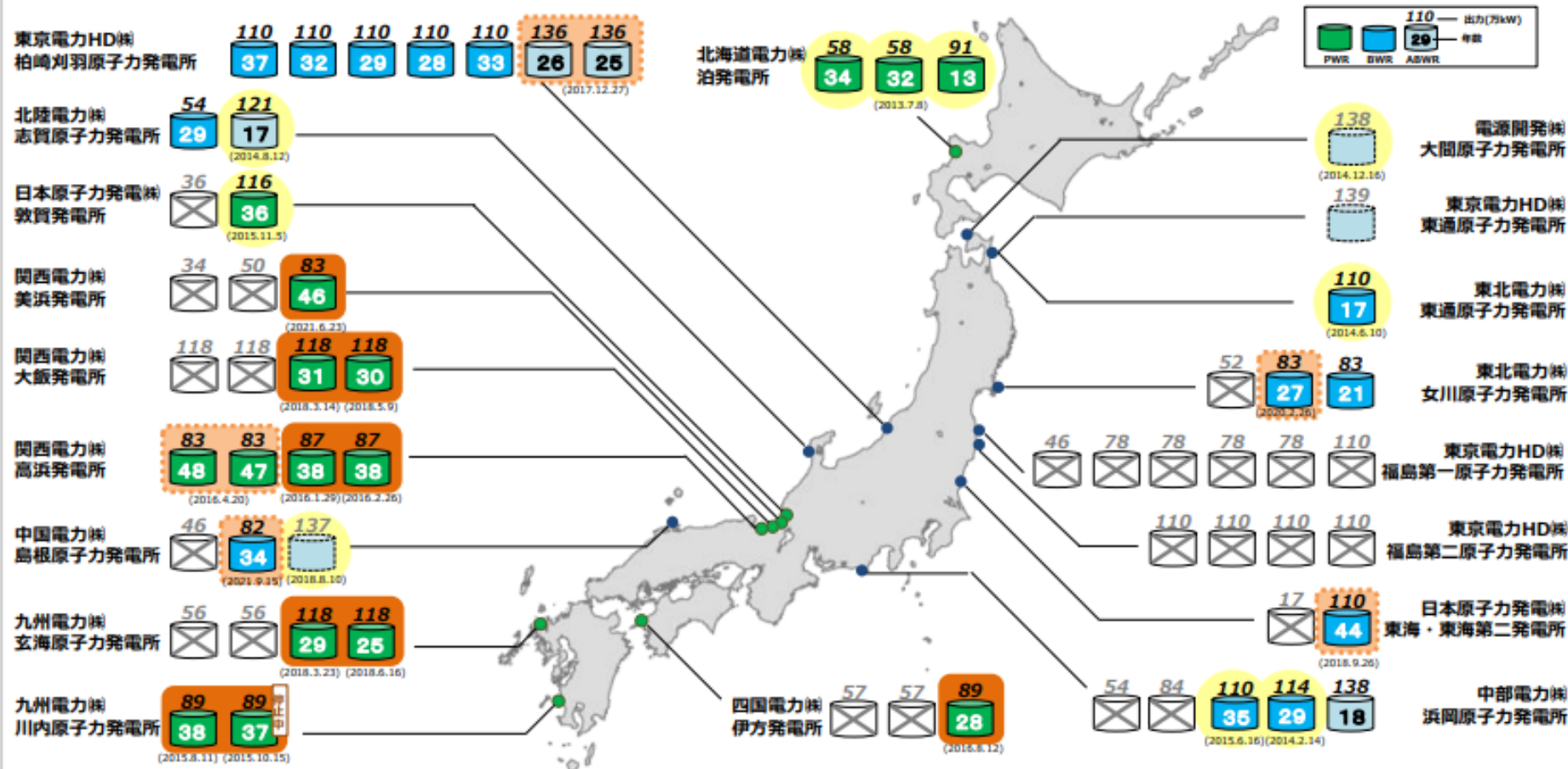
2023年6月22日時点

新規制基準  
審査中  
10基

(申請日)

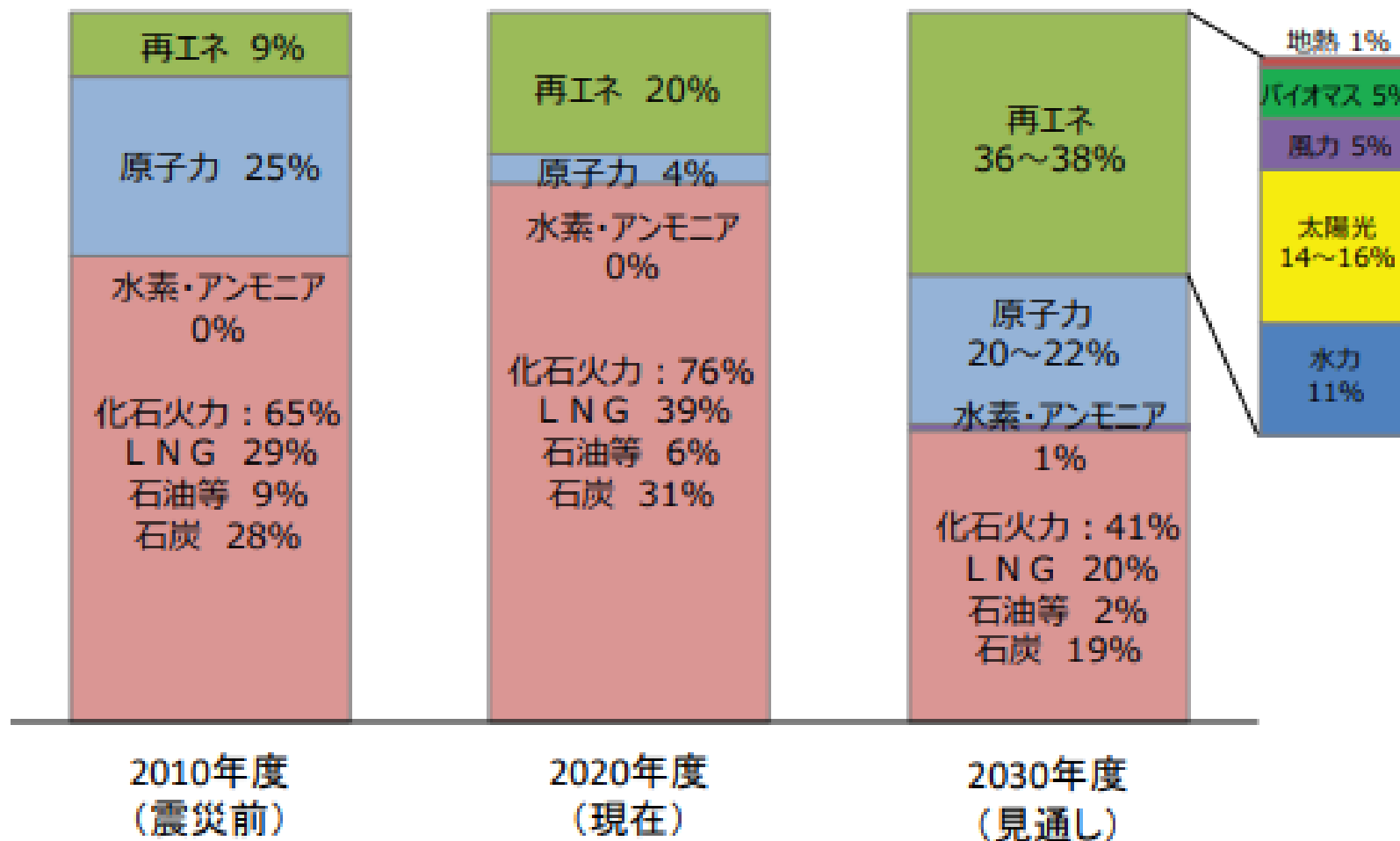
未申請  
9基

廃炉  
24基



出典：資源エネルギー庁資料

# ○ 2030年度の電源構成の見通し



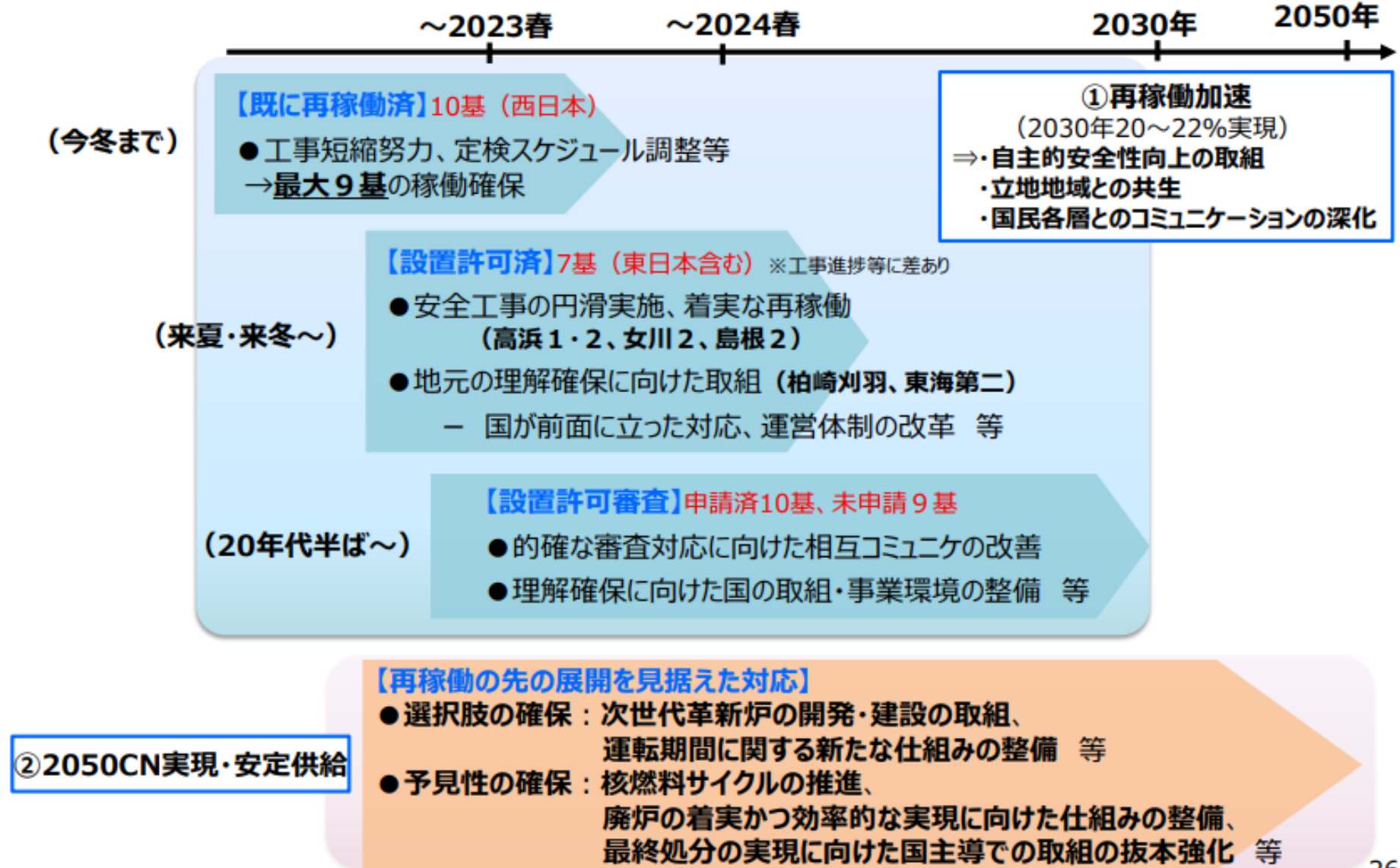
**図 17 我が国の2030年度における電源構成の見通し**

(出典)「総合エネルギー統計」、資源エネルギー庁「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」に基づき作成

# ○ 2050年CN実現に向けて

経済産業省 GX実現に向けた基本方針・参考資料より

## 原子力政策の今後の進め方



## 6. 結び

- 我が国の方針
  - S + 3E を満たすエネルギーミックスが重要
  - 再生可能エネルギーの主力電源化、
  - 準国産エネルギー源としての原子力の最大限の活用、
  - および火力発電の炭素低減技術開発
- 地域における東北電力女川原子力発電所2号機の再稼働に期待
  - 火力発電燃料の節約による電気料金増の抑制
  - メンテナンス業務など地元経済への貢献

ご清聴ありがとうございました

# 付録

## ALPS処理水 [トリチウムを含む処理水] の海洋放出について

### 政府等の広報情報

- 経済産業省ホームページ  
ALPS処理水やその処分方法について、  
簡易版（次頁）と詳細版
- 東京電力ホームページ  
処理水ポータルサイト  
動画でわかるALPS処理水

### トリチウムとは

- 性質：水素の同位体である水素、重水素、トリチウムは質量が異なるが科学的性質は類似
- 半減期：ベータ崩壊の物理的半減期は約12年、体内に取り込まれてからの生物学的半減期は約10日
- 自然界で生成される：宇宙からの放射線が空気中にある窒素や酸素とぶつかり、自然界で日々新たに生成される
- 原子炉で生成される：冷却水に含まれる微量の重水素が中性子を吸収してトリチウムが生成される
- 核融合炉の燃料：重水素とトリチウムが融合してヘリウムと中性子が生成する反応を利用する核融合炉では燃料

出典：経済産業省ホームページ

- ◇ 政府は、東京電力福島第一原子力発電所のALPS処理水を、2年程度の準備期間を経て、**安全性を確保し、政府を挙げて風評対策を徹底**することを前提に、**海洋放出する方針を決定**しました。
- ◇ **福島の復興には、福島第一原発の廃炉の進展が不可欠**。廃炉を**安全に進める**ためには、ALPS処理水の処分が必要です。
- ◇ 処分に当たっては、風評影響が懸念されますが、産業や生業の復興に取り組んできた方々の努力を無にすることのないよう、徹底した**風評影響の払拭**に取り組めます。

トリチウムは水道水や食べ物などにも日常的に存在します。



日本に降る雨に含まれるトリチウム量  
(約220兆ベクレル/年)

福島第一原発で海洋放出するトリチウム量  
(約22兆ベクレル/年)

国外の原子力施設での例  
古里原発(韓) 1978年～  
(約50兆ベクレル/2018年)  
ラアグ再処理工場(仏) 1976年～  
(約1.1京ベクレル/2018年)

世界保健機関 (WHO) の飲料水水質ガイドラインにおけるトリチウム濃度  
(1万ベクレル/リットル)

福島第一原発で海洋放出するトリチウム濃度  
(1500ベクレル/リットル)

参考  
国内規制濃度基準  
(6万ベクレル/リットル)

7分の1

40分の1



人体に含まれるトリチウム量  
(数十ベクレル)



## 風評影響への対応に向けた今後の取組

科学的な根拠に基づくわかりやすい情報発信を行います



国際機関と協力し、モニタリングを拡充・強化します



水産業をはじめ、風評影響を受け得る産業の販路拡大・開拓支援を行います

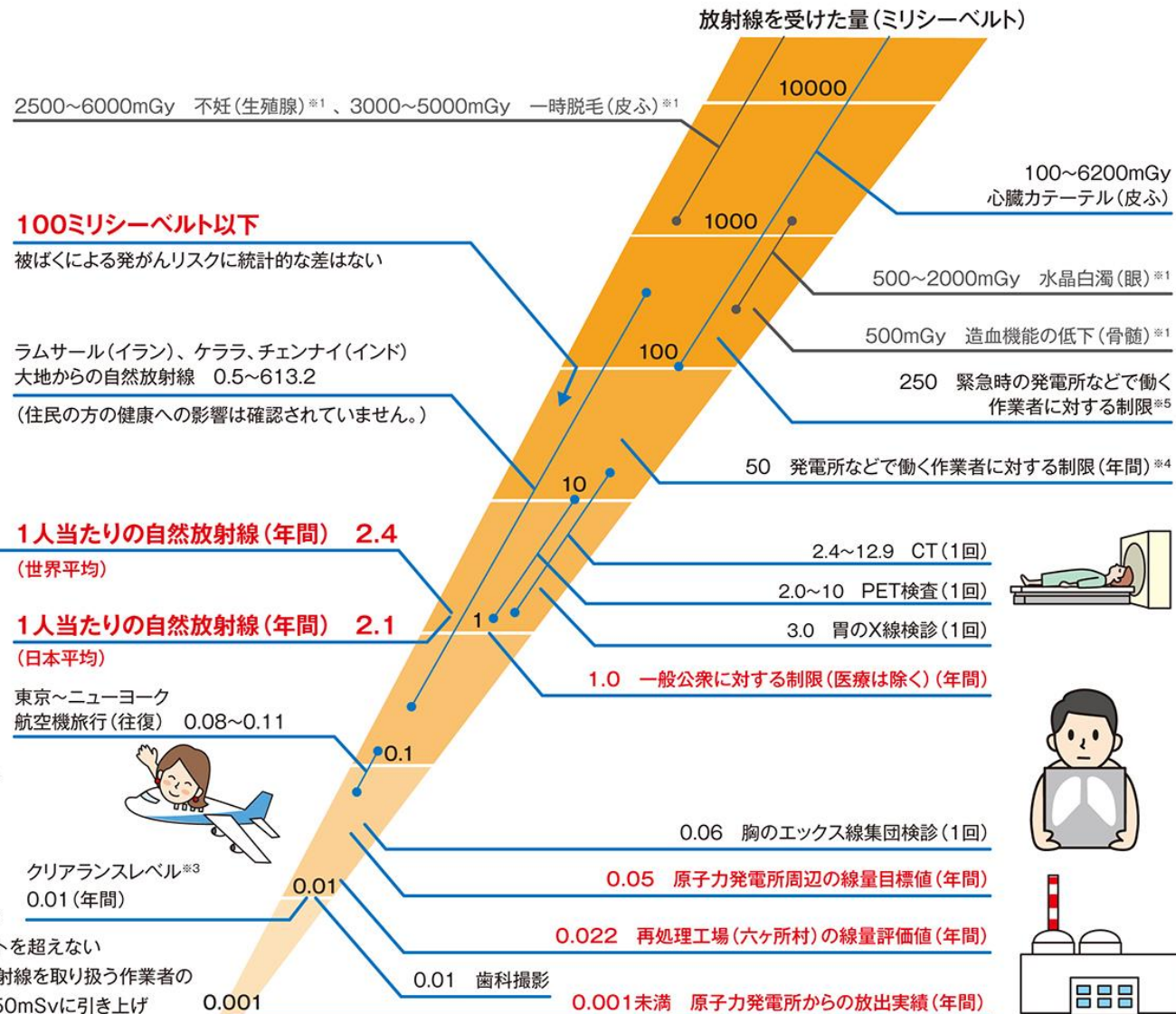
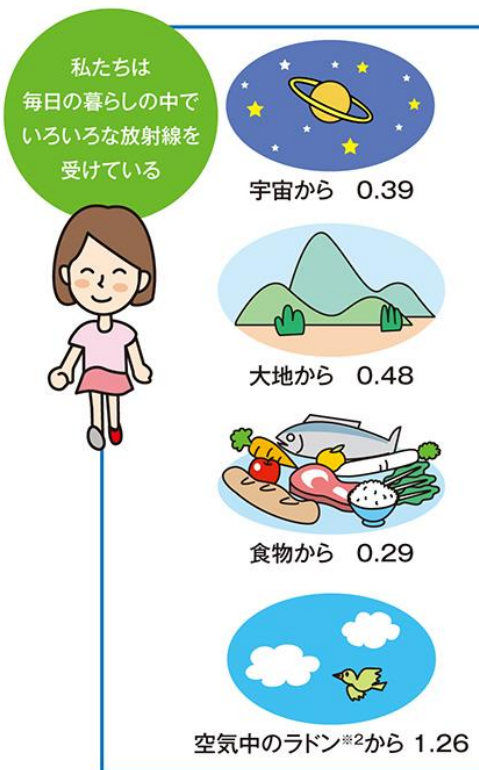


風評被害が生じた場合には、セーフティネットとしての賠償により対応します





# 日常生活と放射線



※1 放射線障害については、各部位が均等に吸収線量1ミリグレイのガンマ線を全身に受けた場合、実効線量1ミリシーベルトに相当するものとして表記

※2 空気中に存在する天然の放射性物質

※3 自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、安全上放射性物質として扱う必要のない放射線の量

※4 発電所などで働く作業者に対する線量は5年間につき100ミリシーベルトかつ1年間につき50ミリシーベルトを超えない

※5 電離放射線障害防止規制等の改正により、緊急時の放射線を取り扱う作業者の緊急作業従事期間中の線量限度を2016年4月より250mSvに引き上げ

# 放射線のいろいろな利用

