

原子力・エネルギー図面集

Graphical Flip-chart of Nuclear & Energy Related Topics



目次

第1章 世界および日本のエネルギー情勢

〈世界のエネルギー情勢〉

- 1-1-1 人類とエネルギーのかかわり
- 1-1-2 世界の人口予測
- 1-1-3 世界の人口とエネルギー消費量
- 1-1-4 一人あたりの一次エネルギー消費量
- 1-1-5 一人あたりのGDPと一次エネルギー消費量
- 1-1-6 世界のエネルギー資源確認埋蔵量
- 1-1-7 世界の一次エネルギー消費量の推移
- 1-1-8 主要国の一次エネルギー構成
- 1-1-9 主要国の発電電力量の推移(伸び率)
- 1-1-10 主要国の一人あたりの電力消費量
- 1-1-11 主要国のエネルギー輸入依存度
- 1-1-12 ヨーロッパにおける天然ガスのパイプライン網

〈日本のエネルギー情勢〉

- 1-2-1 エネルギーの使われ方
- 1-2-2 日本の一次エネルギー供給構成の推移
- 1-2-3 日本の一次エネルギー供給実績
- 1-2-4 日本が輸入する化石燃料の相手国別比率
- 1-2-5 原油輸入の中東依存度の推移
- 1-2-6 原油輸入価格の推移
- 1-2-7 電源別発電電力量の実績
- 1-2-8 発電設備容量の実績
- 1-2-9 一次エネルギーに占める電力の比率(電力化率)
- 1-2-10 最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移
- 1-2-11 需要の変化に対応した電源の組み合わせ(例)
- 1-2-12 家庭部門用途別エネルギー消費量
- 1-2-13 一世帯あたりの電力消費量の推移

第2章 地球規模の環境問題

〈温暖化問題〉

- 2-1-1 温室効果のしくみ
- 2-1-2 温室効果ガスの地球温暖化への寄与度
- 2-1-3 化石燃料等からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化
- 2-1-4 世界のCO₂排出量の推移
- 2-1-5 平均気温の変化
- 2-1-6 CO₂増加による気温上昇の実績と予測
- 2-1-7 地球温暖化問題に対する取組み
- 2-1-8 京都議定書の約束値と温室効果ガス排出状況
- 2-1-9 各種電源別のライフサイクルCO₂排出量
- 2-1-10 CO₂排出量とエネルギー資源調達の安定性から見た各種電源
- 2-1-11 部門別CO₂排出量の推移
- 2-1-12 日本の温室効果ガス排出量の推移
- 2-1-13 部門別CO₂排出量の増減の推移
- 2-1-14 エネルギー起源CO₂発生量の推移
- 2-1-15 電気事業におけるCO₂排出抑制対策
- 2-1-16 発電に伴うCO₂排出量等の推移
- 2-1-17 火力発電設備の熱効率(低位発熱量)・送配電ロス率の推移
- 2-1-18 CO₂排出原単位(発電端)の各国比較

〈酸性雨問題〉

- 2-2-1 酸性雨の発生
- 2-2-2 主要国の発電電力量あたりのSO_xとNO_x排出量

目次

第3章 新エネルギー

〈新エネルギー〉

- 3-1-1 新エネルギーの定義
- 3-1-2 新エネルギーの評価と課題
- 3-1-3 太陽光・風力発電の出力変動
- 3-1-4 日本の太陽光発電導入量(出力)の推移
- 3-1-5 日本の風力発電導入量(出力)の推移
- 3-1-6 燃料電池のしくみ
- 3-1-7 CO₂冷媒ヒートポンプ給湯器のしくみ
- 3-1-8 電気自動車のしくみ
- 3-1-9 メガソーラー発電
- 3-1-10 日本におけるスマートグリッド概念図
- 3-1-11 再生可能エネルギーの固定価格買取制度の概要

第4章 原子力発電の現状

〈日本の現状〉

- 4-1-1 100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料
- 4-1-2 ウラン資源埋蔵量と確保状況
- 4-1-3 日本の原子力発電所の運転・建設状況

〈主要国の現状〉

- 4-2-1 主要国の原子力発電設備
- 4-2-2 主要国の電源別発電電力量の構成比
- 4-2-3 主要国の発電電力量と原子力発電の割合
- 4-2-4 フランスを中心とした電力の輸出入

第5章 原子力発電の安全性

〈原子力発電のしくみ〉

- 5-1-1 火力発電と原子力発電の違い
- 5-1-2 沸騰水型炉(BWR)原子力発電のしくみ
- 5-1-3 改良型沸騰水型炉(ABWR)の構造上の特徴
- 5-1-4 改良型沸騰水型炉(ABWR)の特長
- 5-1-5 加圧水型炉(PWR)原子力発電のしくみ
- 5-1-6 原子炉圧力容器断面図
- 5-1-7 燃料集合体の構造と制御棒
- 5-1-8 天然ウランと濃縮ウラン
- 5-1-9 原子力発電と原子爆弾の違い
- 5-1-10 放射性物質を閉じ込めるしくみ

〈安全を守るためのしくみ〉

- 5-2-1 原子炉の固有の安全性(自己制御性)
- 5-2-2 安全確保のしくみ
- 5-2-3 非常用炉心冷却装置等の例(BWR)
- 5-2-4 非常用炉心冷却装置等の例(PWR)
- 5-2-5 原子力発電所の定期検査の目的
- 5-2-6 設備の健全性評価の方法
- 5-2-7 原子力安全規制体制の変更
- 5-2-8 原子力安全規制体制
- 5-2-9 定期検査制度の概要
- 5-2-10 原子力発電所の定期安全レビューと高経年化対策
- 5-2-11 原子力発電所の地震対策
- 5-2-12 地震の知識
- 5-2-13 原子力発電所と一般建築物の揺れの差
- 5-2-14 運転責任者の選任
- 5-2-15 実用発電用原子炉に対する規制の流れ
- 5-2-16 発電所建設までの環境アセスメント制度

目 次

〈運転実績〉

- 5-3-1 原子力発電所のトラブル件数の推移
- 5-3-2 トラブル発生時の対応
- 5-3-3 主要国の原子力発電所の計画外自動スクラム割合
- 5-3-4 主要国の原子力発電所設備利用率の推移

〈チェルノブイリ事故〉

- 5-4-1 チェルノブイリ原子力発電所の構造
- 5-4-2 チェルノブイリ原子力発電所事故の経過
- 5-4-3 チェルノブイリ原子力発電所事故の原因

〈スリーマイルアイランド事故〉

- 5-5-1 スリーマイルアイランド原子力発電所事故の概要

〈国内事故〉

- 5-6-1 美浜発電所2号機事故の概要
- 5-6-2 美浜発電所3号機二次系配管破損事故の概要
- 5-6-3 浜岡原子力発電所1号機配管破断事故の概要
- 5-6-4 高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故の概要
- 5-6-5 高速増殖原型炉「もんじゅ」改造工事の概要
- 5-6-6 (株)ジェー・シー・オー ウラン加工工場臨界事故の概要

〈原子力事故に対する国際対応〉

- 5-7-1 国際原子力・放射線事象評価尺度 (INES)
- 5-7-2 世界原子力発電事業者協会 (WANO)

〈防災対策と賠償制度〉

- 5-8-1 国の原子力防災体制
- 5-8-2 原子力災害対策特別措置法に基づく通報基準
- 5-8-3 原子力防災指針
- 5-8-4 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI)
- 5-8-5 原子力損害賠償制度

第6章 放射線

〈放射能・放射線〉

- 6-1-1 放射能と放射線
- 6-1-2 放射線に関する単位
- 6-1-3 電磁波の仲間
- 6-1-4 放射線の性質
- 6-1-5 放射線の種類
- 6-1-6 放射線の種類と透過力
- 6-1-7 放射能の減り方

〈日常生活と放射線〉

- 6-2-1 日常生活と放射線
- 6-2-2 自然放射線から受ける線量
- 6-2-3 自然放射線レベルの違い
- 6-2-4 体内、食物中の自然放射性物質
- 6-2-5 放射線のいろいろな利用

〈放射線の人体への影響〉

- 6-3-1 放射線防護の基本
- 6-3-2 放射線の人体への影響
- 6-3-3 放射線を一度に受けたときの症状
- 6-3-4 放射線を受けたときの人体への影響
- 6-3-5 放射線防護の考え方
- 6-3-6 被ばくと汚染の違い
- 6-3-7 グレイとシーベルトの関係
- 6-3-8 内部被ばく線量(預託線量)への換算方法
- 6-3-9 内部被ばくの評価(預託線量の概念図)
- 6-3-10 食品の暫定規制値の国際比較
- 6-3-11 放射線防護における線量の基準の考え方
- 6-3-12 放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

目 次

〈発電所の放射線管理〉

- 6-4-1 放射線業務従事者が受けている放射線量
- 6-4-2 原子力発電所の区域区分
- 6-4-3 放射線業務従事者の放射線管理
- 6-4-4 線量限度について
- 6-4-5 放射性物質の環境における移行
- 6-4-6 原子力施設周辺の環境放射線モニタリング
- 6-4-7 環境放射線モニタリング(例)

〈放射線の測定〉

- 6-5-1 放射線計測器の測定原理
- 6-5-2 放射線測定の種類
- 6-5-3 表面汚染の測定
- 6-5-4 空間放射線量の測定
- 6-5-5 個人被ばく線量の測定
- 6-5-6 食物等に含まれる放射能の測定

第 7 章 原子燃料サイクル

〈ウランの特徴〉

- 7-1-1 原子の構造
- 7-1-2 ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂
- 7-1-3 軽水炉内でのウラン燃料の燃焼による変化
- 7-1-4 ウラン資源のリサイクル利用(資源の有効活用)

〈原子燃料サイクル〉

- 7-2-1 原子燃料サイクル
- 7-2-2 原子燃料サイクル(FBRを含む)
- 7-2-3 加工・再処理・廃棄・中間貯蔵施設位置図
- 7-2-4 試験研究用および研究開発段階にある原子炉施設位置図
- 7-2-5 原子燃料サイクル施設の概要
- 7-2-6 原子燃料サイクル施設の位置

〈ウラン転換・濃縮・加工〉

- 7-3-1 世界のウラン転換工場
- 7-3-2 遠心分離法のしくみ
- 7-3-3 世界のウラン濃縮工場
- 7-3-4 世界のウラン再転換工場
- 7-3-5 ウラン燃料加工工程
- 7-3-6 世界のウラン燃料加工工場(軽水炉燃料)

〈再処理〉

- 7-4-1 再処理の工程
- 7-4-2 世界の再処理工場

目 次

〈プルトニウム利用〉

- 7-5-1 プルサーマルのしくみ
- 7-5-2 MOX燃料
- 7-5-3 燃料物性へのプルトニウムの影響
- 7-5-4 燃料核特性へのプルトニウムの影響
- 7-5-5 世界のMOX燃料加工施設
- 7-5-6 世界の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績

〈高速増殖炉〉

- 7-6-1 高速増殖炉(FBR)のしくみ
- 7-6-2 原子炉の比較

〈使用済燃料の貯蔵〉

- 7-7-1 各原子力発電所の使用済燃料の貯蔵量
- 7-7-2 使用済燃料の中間貯蔵方式(例)
- 7-7-3 使用済燃料の中間貯蔵施設

〈原子燃料の輸送〉

- 7-8-1 原子燃料の輸送に係わる安全規制の流れ
- 7-8-2 輸送容器の安全性
- 7-8-3 放射性輸送物の分類
- 7-8-4 放射性輸送物の具体例
- 7-8-5 使用済燃料輸送容器(キャスク)
- 7-8-6 使用済燃料専用輸送船の特徴

第 8 章 放射性廃棄物

〈放射性廃棄物〉

- 8-1-1 廃棄物の区分
- 8-1-2 日本で発生する廃棄物の量
- 8-1-3 原子力発電所の廃棄物処理方法
- 8-1-4 放射性廃棄物の種類
- 8-1-5 放射性廃棄物の種類と処分の概要
- 8-1-6 クリアランス制度

〈低レベル放射性廃棄物〉

- 8-2-1 低レベル放射性廃棄物埋設設備の構造と覆土
- 8-2-2 低レベル放射性廃棄物埋設後の段階管理

〈高レベル放射性廃棄物〉

- 8-3-1 ガラス固化体ができるまで
- 8-3-2 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)輸送容器
- 8-3-3 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)輸送船
- 8-3-4 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の貯蔵概念図
- 8-3-5 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)返還・受入実績
- 8-3-6 高レベル放射性廃棄物多重バリアシステム
- 8-3-7 高レベル放射性廃棄物の地層処分の概念図
- 8-3-8 高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰
- 8-3-9 高レベル放射性廃棄物処分の取組み体制
- 8-3-10 高レベル放射性廃棄物処分地の選定プロセス
- 8-3-11 世界の高レベル放射性廃棄物処分計画

目 次

第 9 章 その他

〈原子力発電所の廃止〉

- 9-1-1 原子力発電所の廃止措置のプロセス
- 9-1-2 廃止措置に伴って発生する廃棄物の量と種類

〈核不拡散〉

- 9-2-1 原子力の平和利用と核物質防護
- 9-2-2 日本における保障措置実施体制
- 9-2-3 NPT締約国とIAEA保障措置協定締結国

〈電源開発の制度〉

- 9-3-1 電源三法制度

〈その他〉

- 9-4-1 取水方式の概要
- 9-4-2 放水方式の概要
- 9-4-3 発電所温水利用養魚事業所一覧表(原子力発電関係)
- 9-4-4 核燃料税率の推移
- 9-4-5 核融合と核分裂
- 9-4-6 1kWhあたりの発電コスト
- 9-4-7 原子燃料サイクル費用

第 10 章 東日本大震災による原子力発電所事故

〈東北地方太平洋沖地震〉

- 10-1-1 東北地方太平洋沖地震の概要
- 10-1-2 東北地方太平洋沖地震による津波の高さ

〈事故状況〉

- 10-2-1 東日本大震災の影響を受けた原子力施設の現状
- 10-2-2 福島第一原子力発電所の事故概要
- 10-2-3 福島第一原子力発電所に到達した津波の大きさと浸水状況

〈安全対策〉

- 10-3-1 福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策の概要
- 10-3-2 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
- 10-3-3 ストレステストの概要

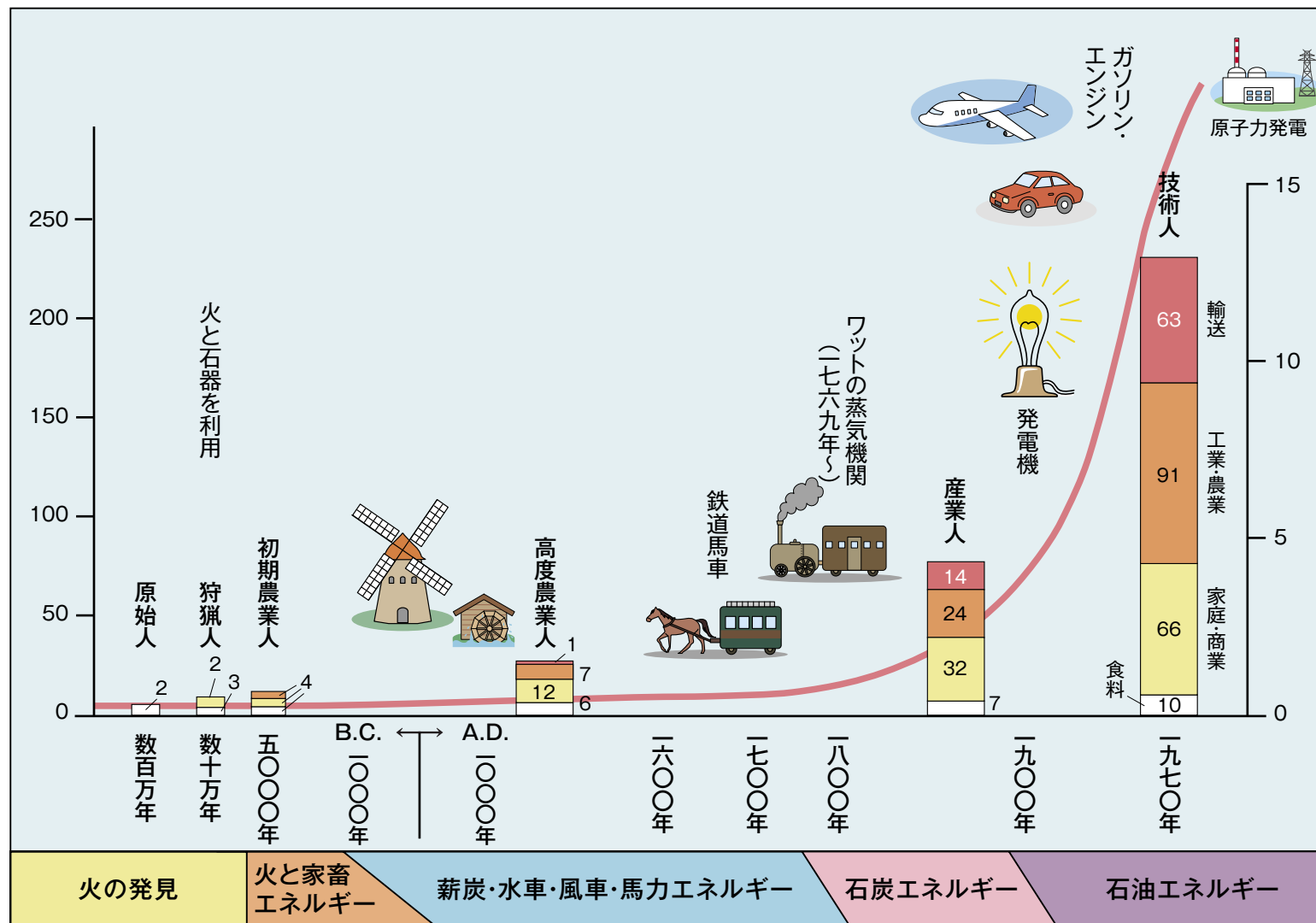
〈その他〉

- 10-4-1 原子力損害賠償支援機構による賠償支援の概要

付 録 説明のポイント

人類とエネルギーのかかわり

一人あたり消費量(二〇〇〇キロカロリー／日)・棒グラフ

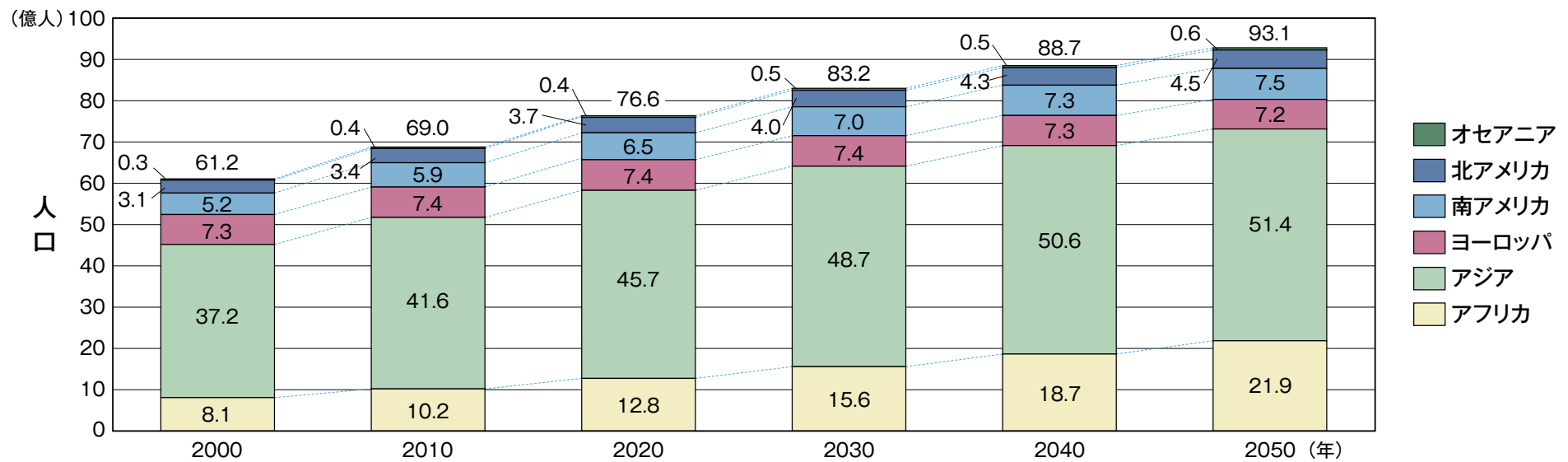
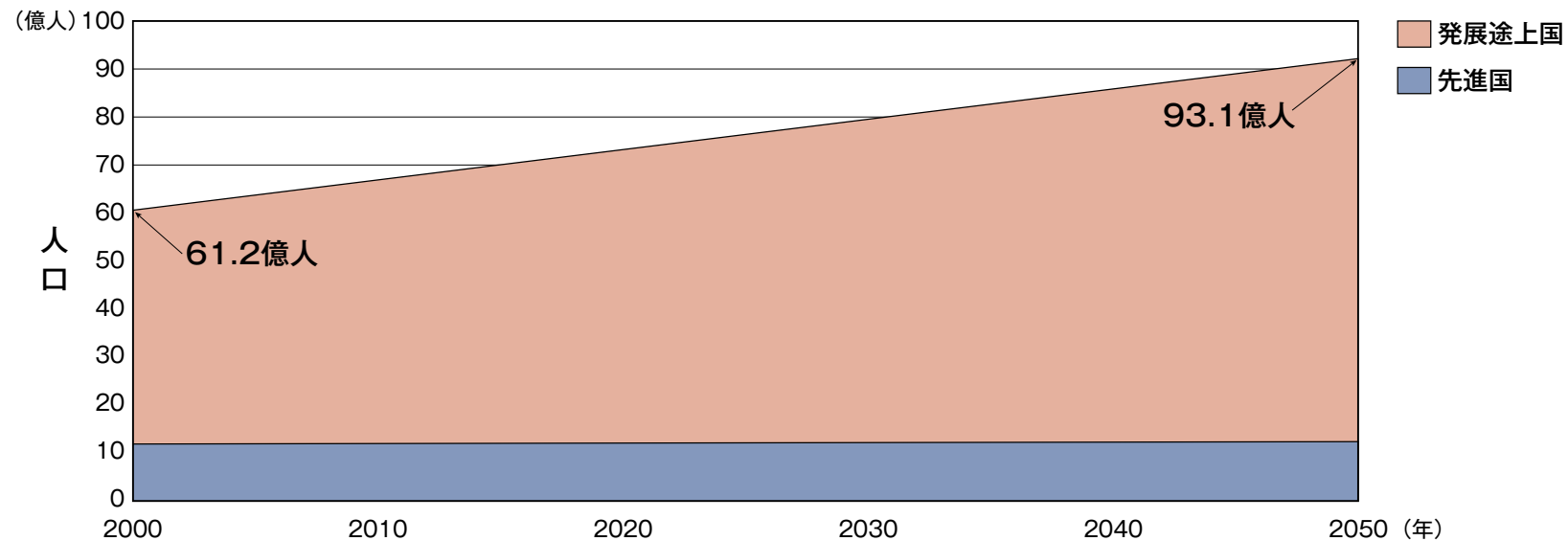


石油換算消費量(二〇〇万キロリットル／日)・曲線グラフ

原始人 百万年前の東アフリカ、食料のみ。
 狩猟人 十百万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
 初期農業人 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。

高度農業人 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。

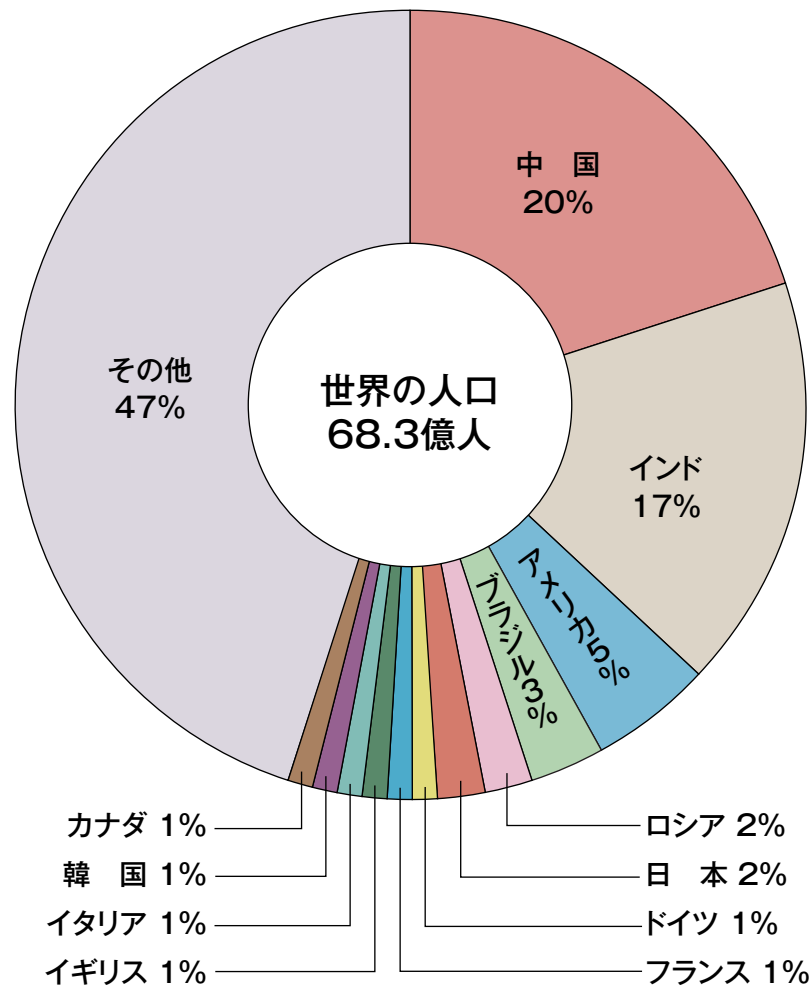
世界の人口予測



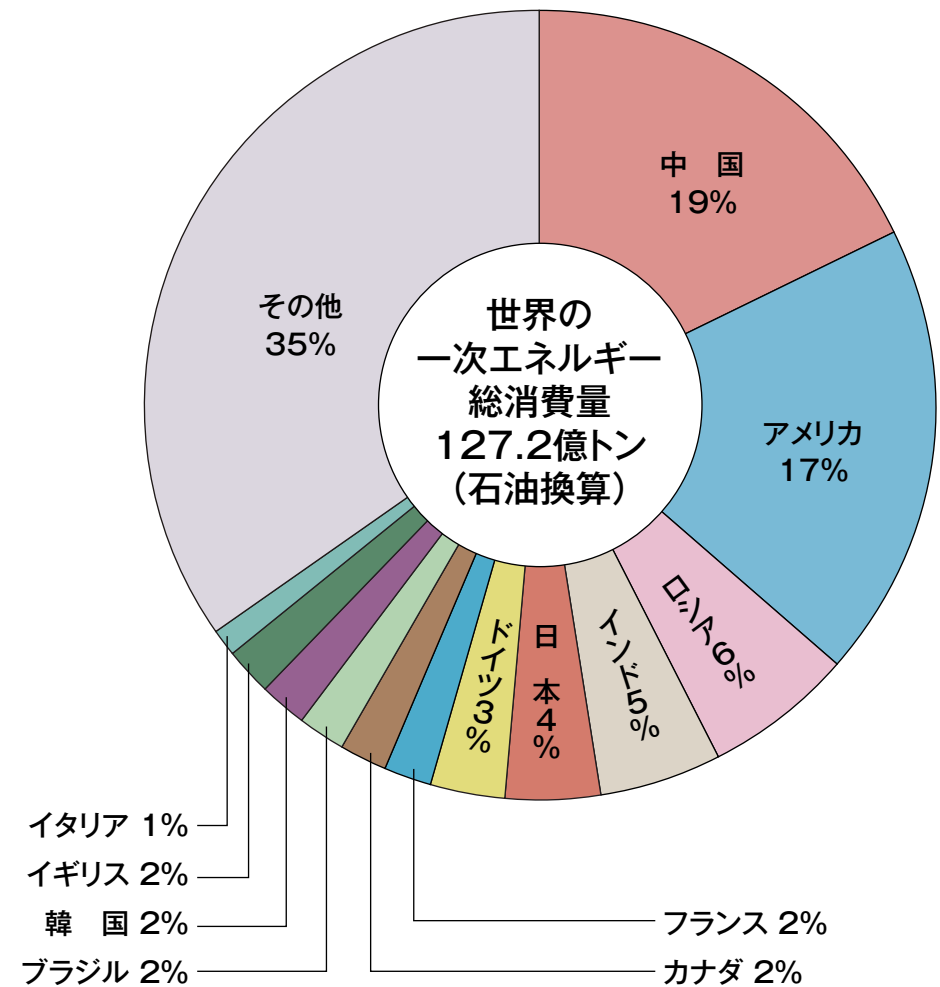
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

世界の人口とエネルギー消費量

世界の人口(2010年)

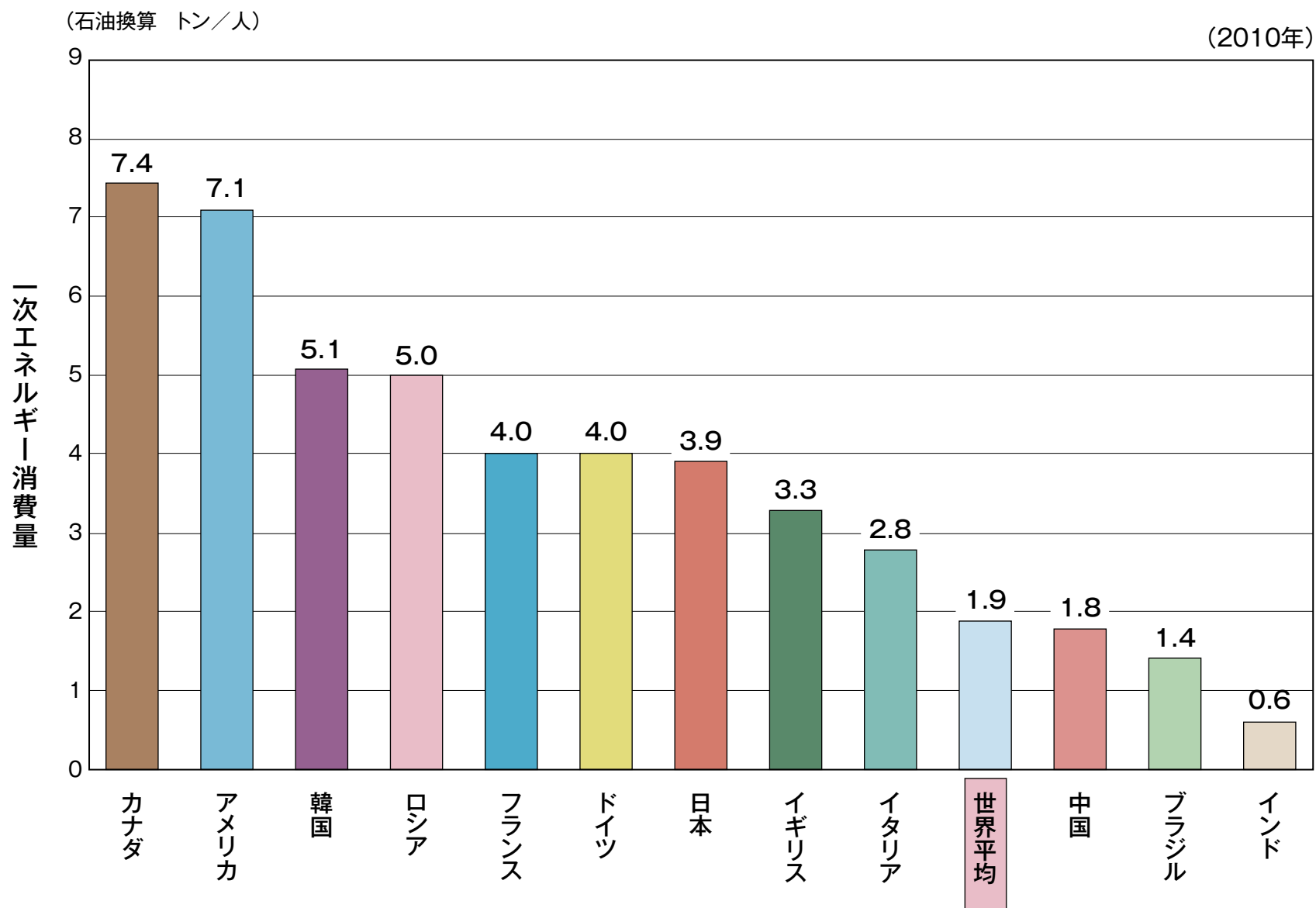


世界の一次エネルギー消費量(2010年)

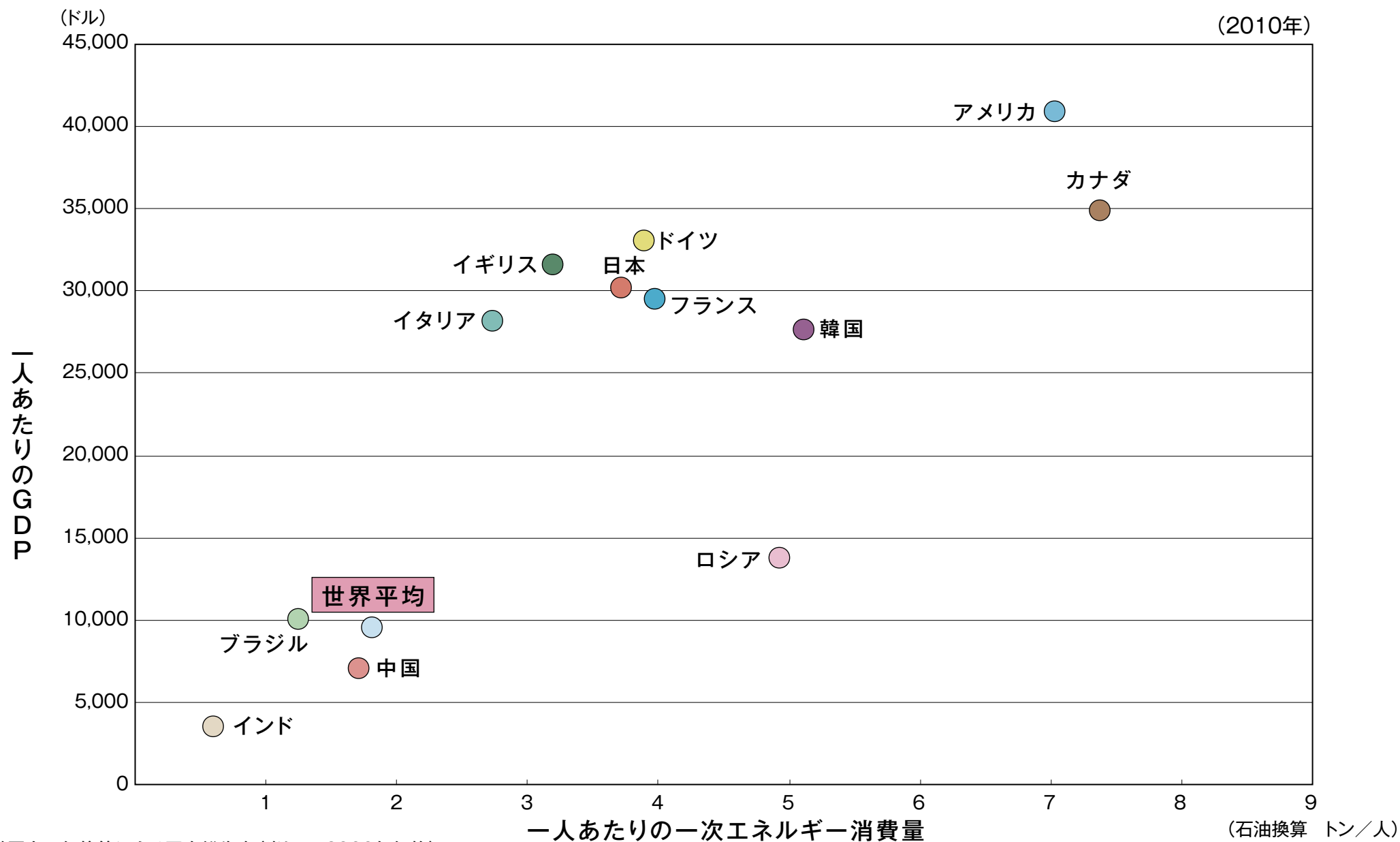


(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

一人あたりの一次エネルギー消費量

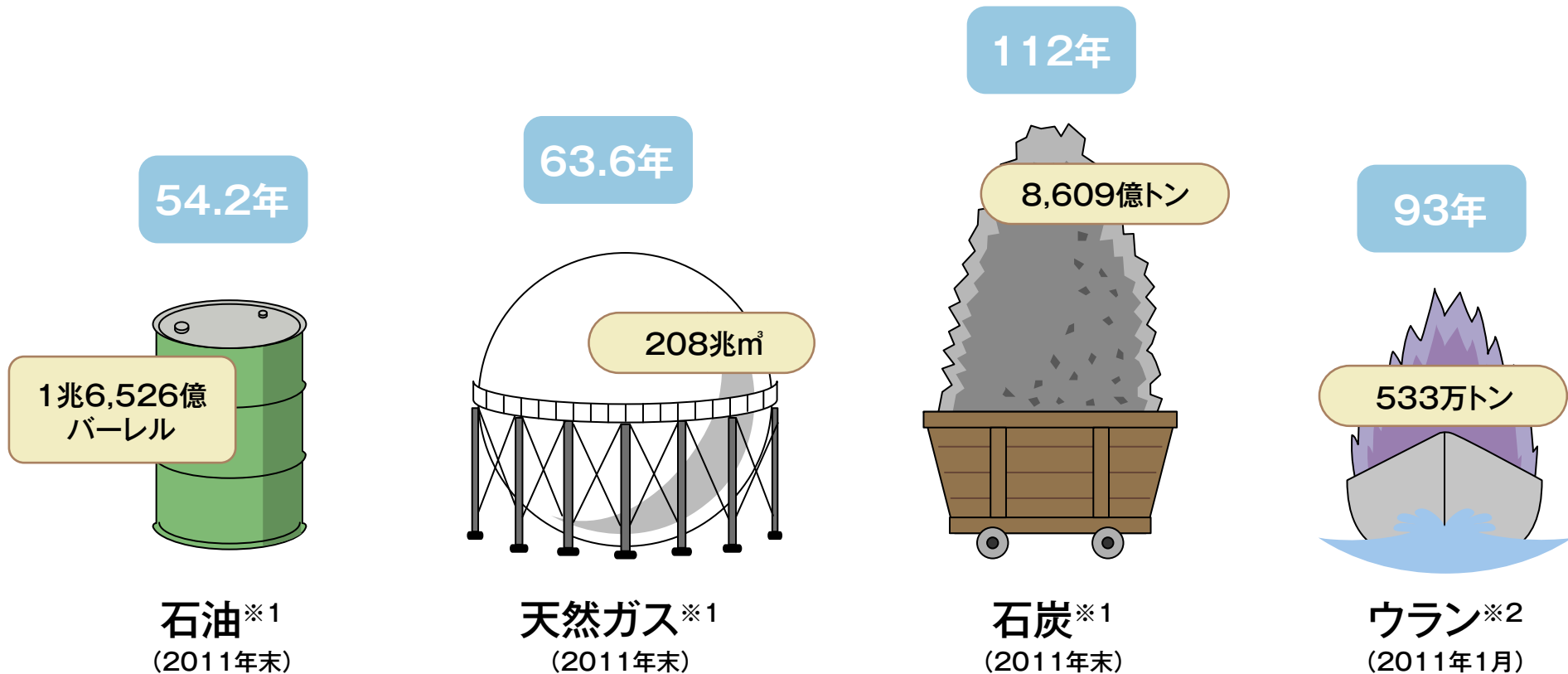


一人あたりのGDPと一次エネルギー消費量



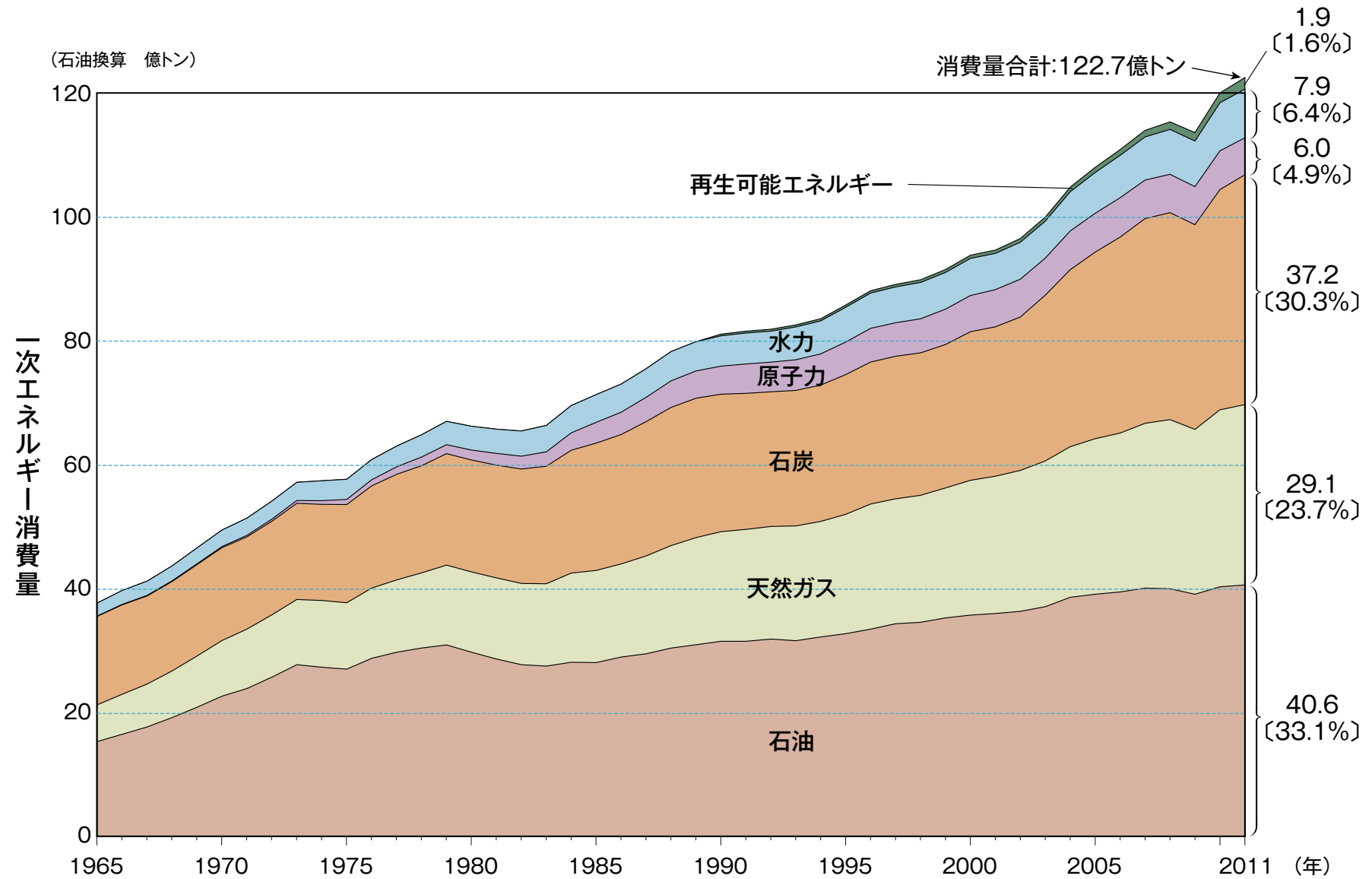
(注) 購買力平価換算による国内総生産 (米ドル、2000年価格)

世界のエネルギー資源確認埋蔵量



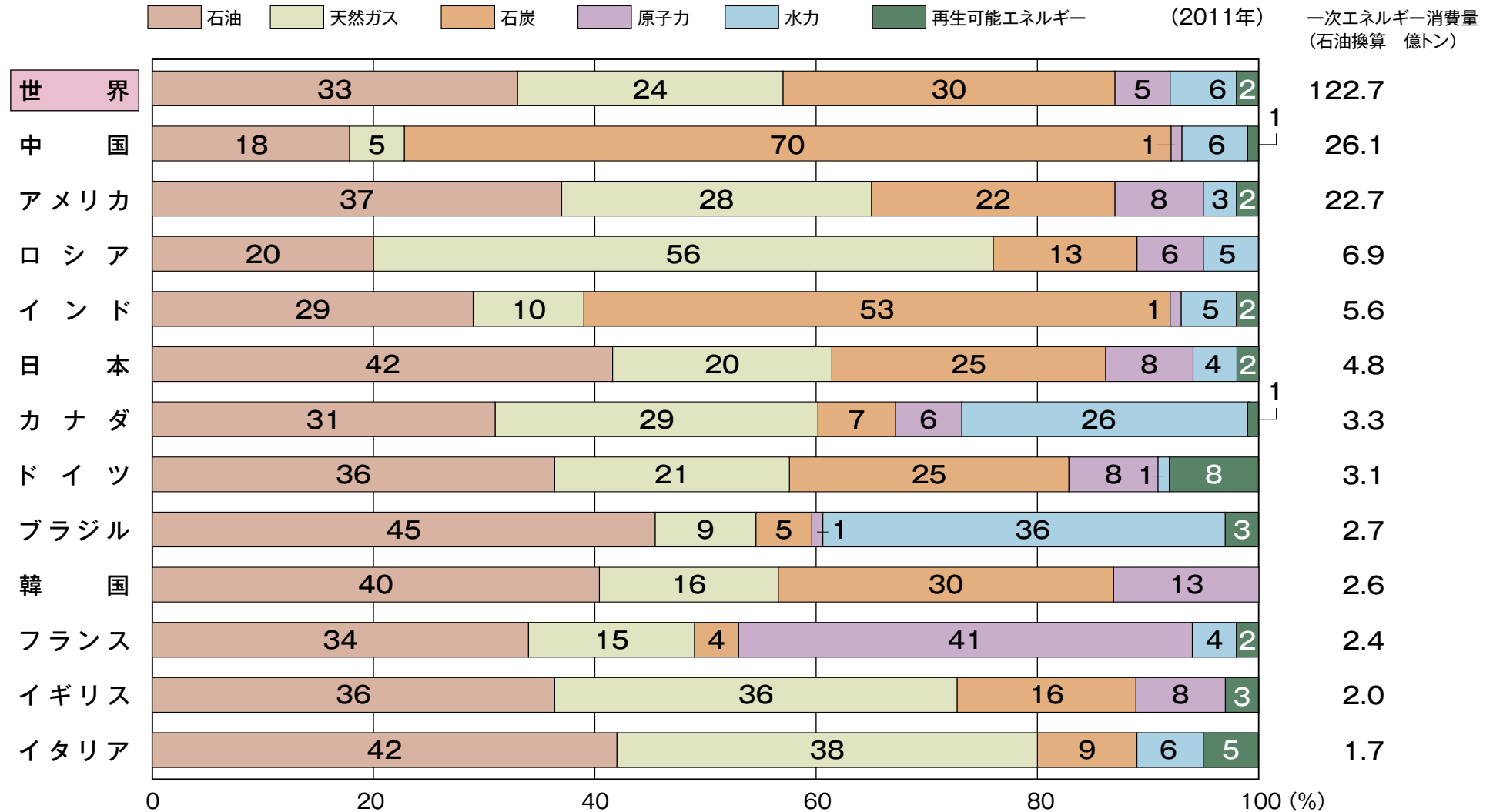
(注) 可採年数=確認可採埋蔵量/年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kg未満

世界の一次エネルギー消費量の推移



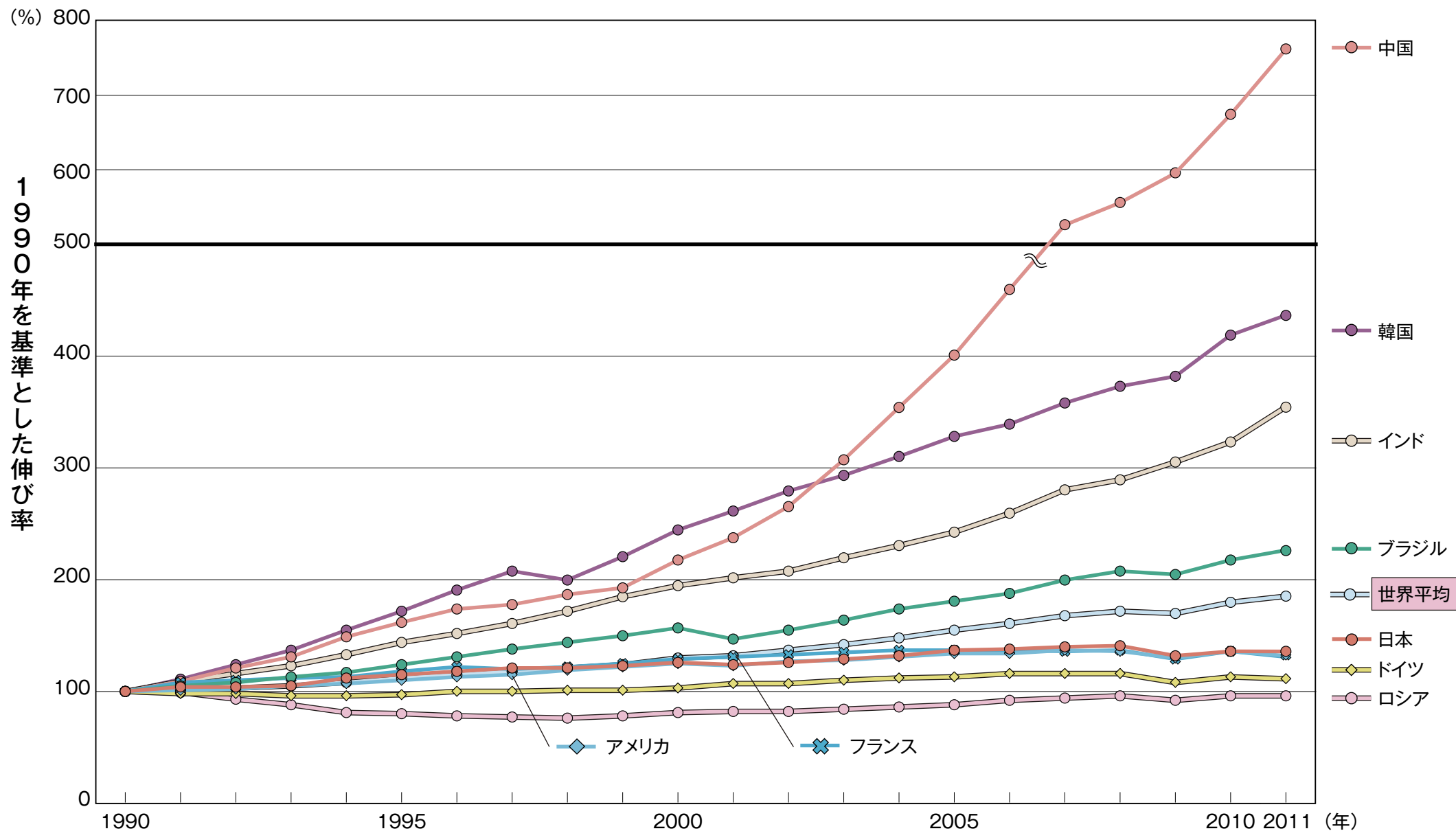
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
〔 〕内は全体に占める割合

主要国の一次エネルギー構成



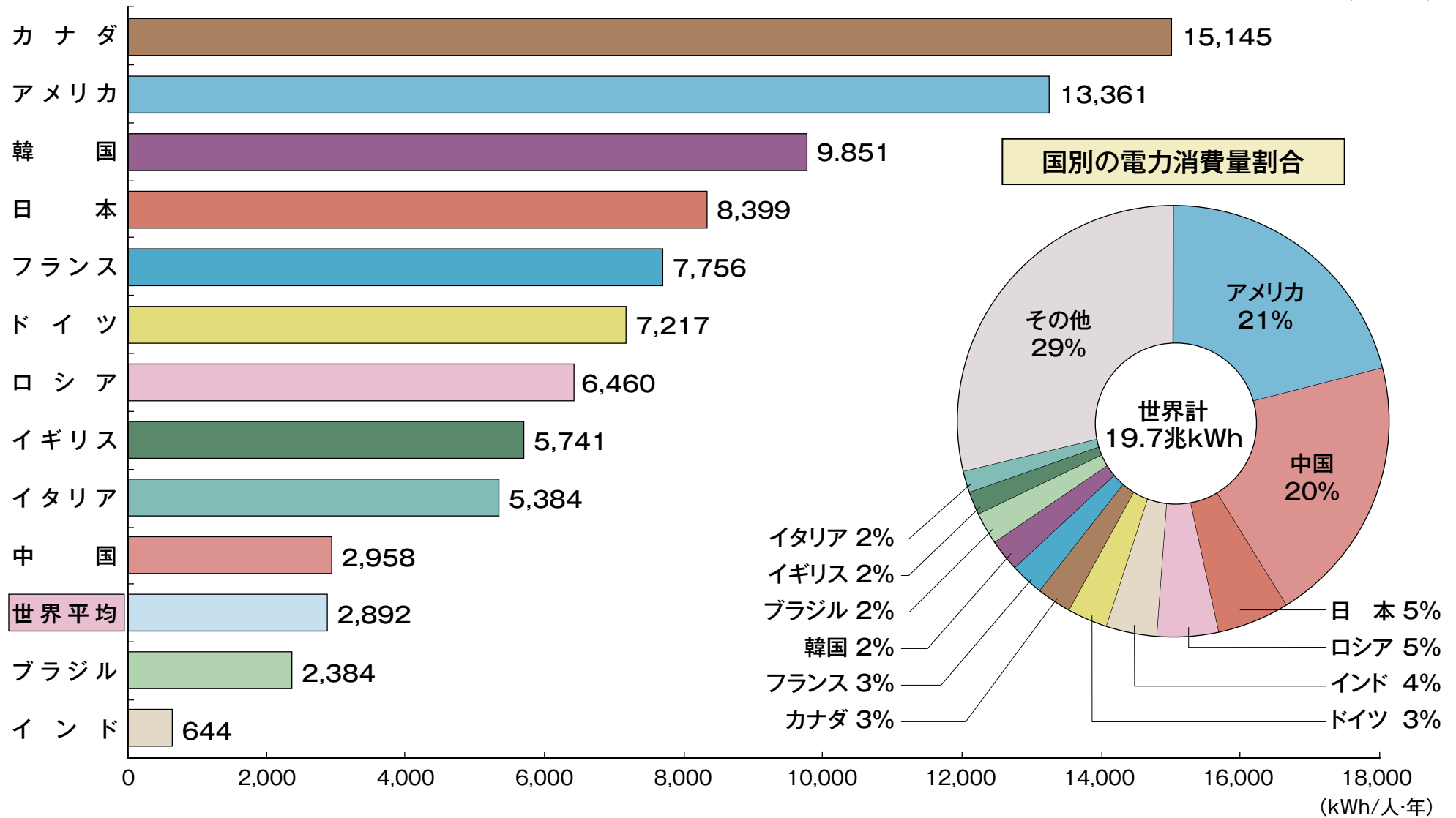
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

主要国の発電電力量の推移（伸び率）



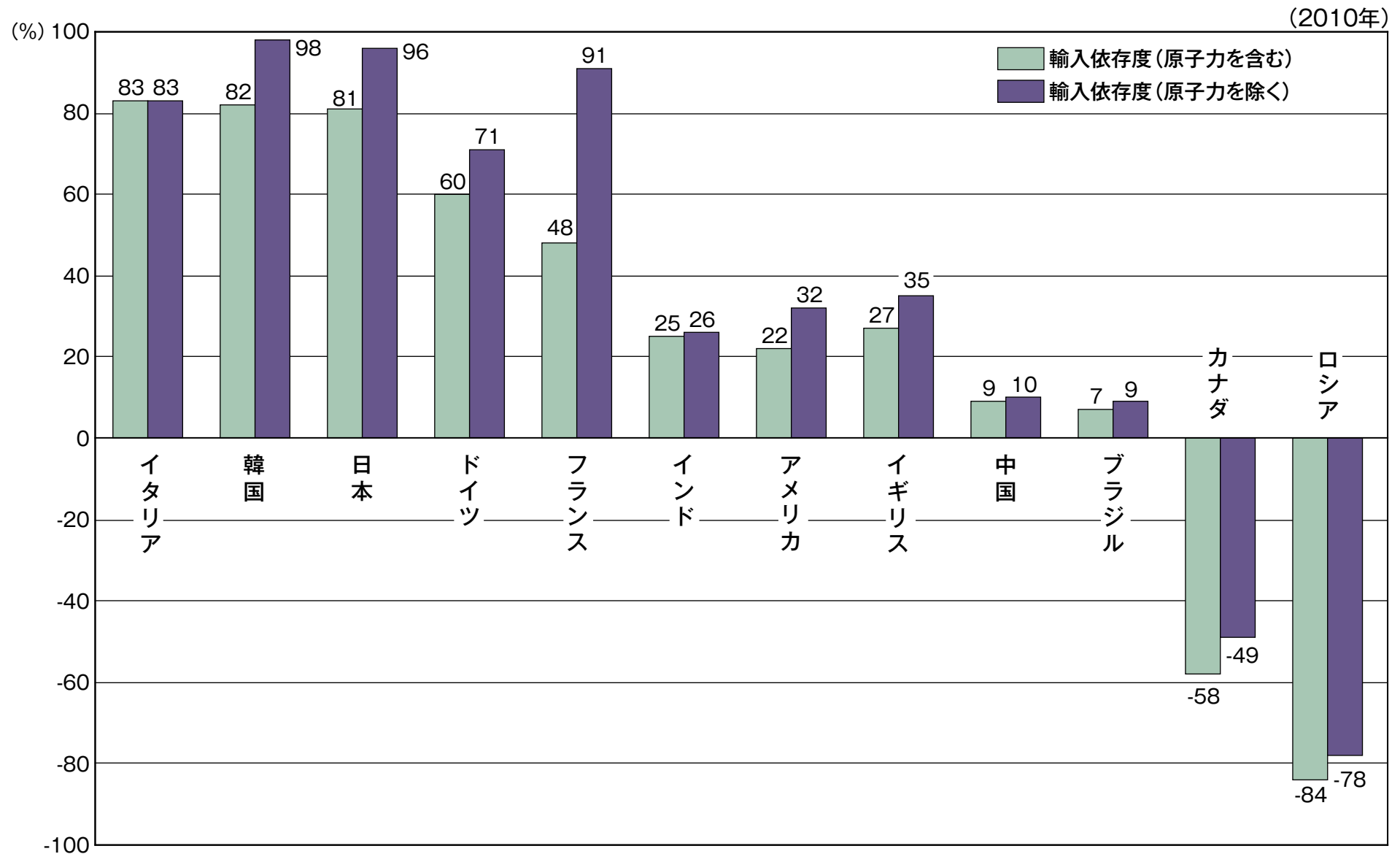
主要国の一人あたりの電力消費量

(2010年)



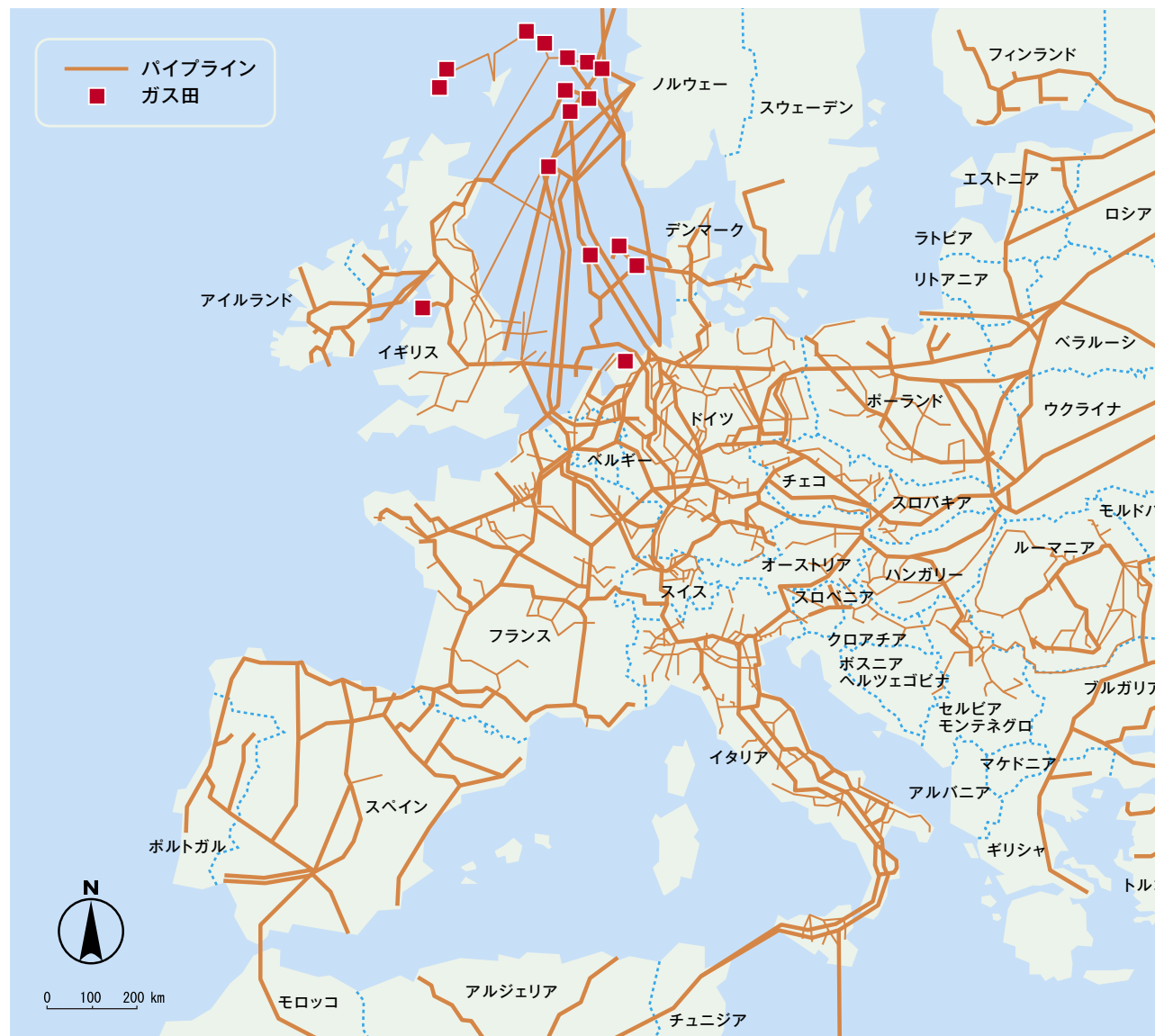
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

主要国のエネルギー輸入依存度

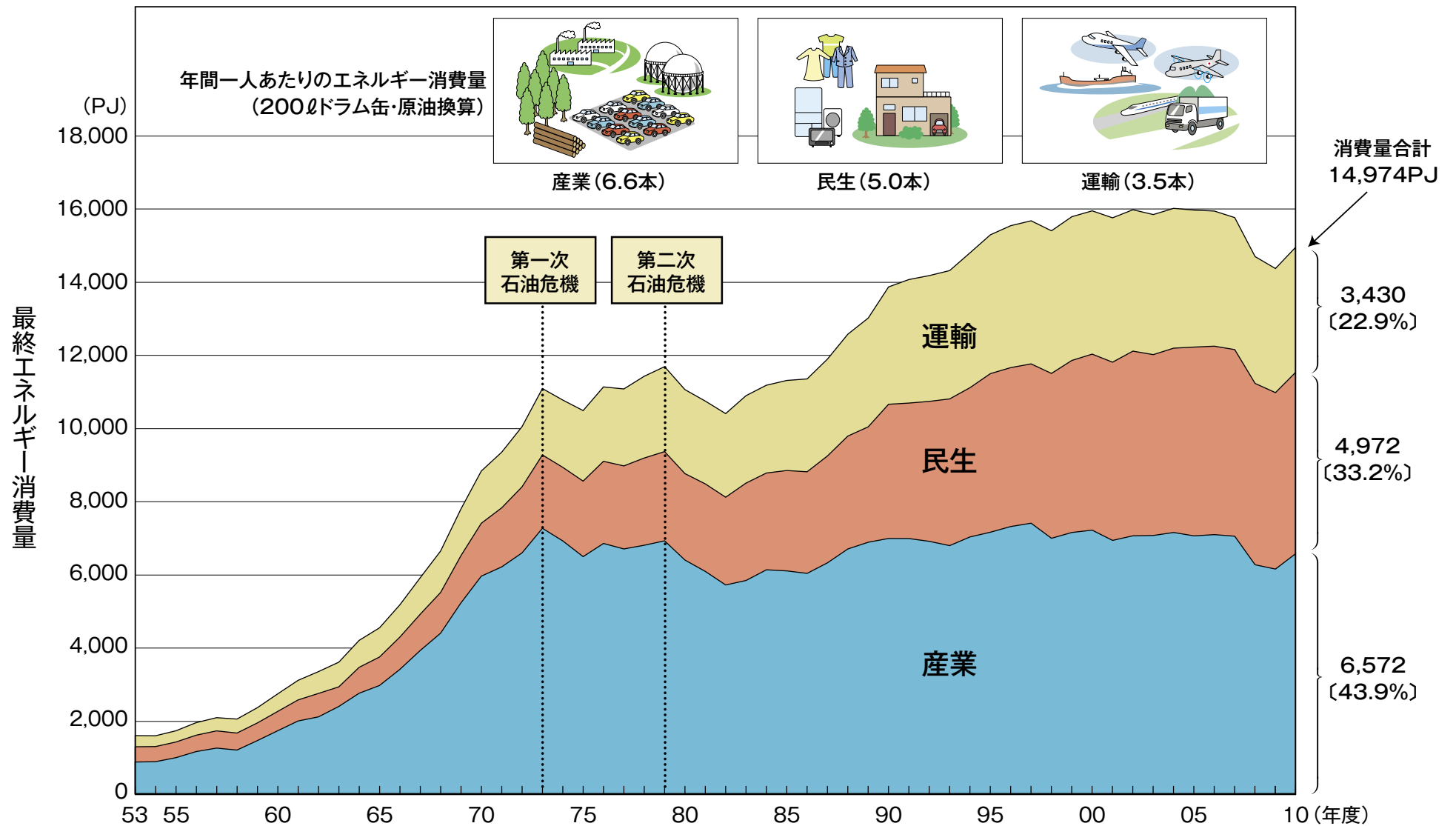


(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

ヨーロッパにおける天然ガスのパイプライン網



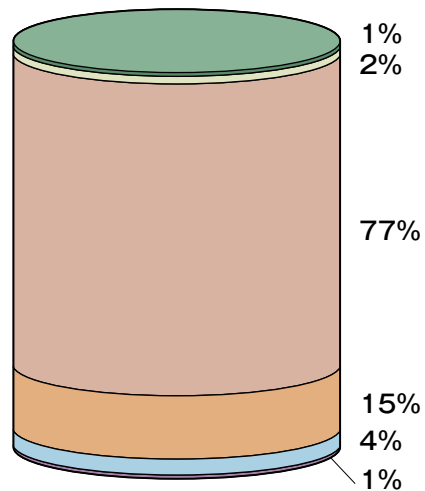
エネルギーの使われ方



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)
 ()内は全体に占める割合

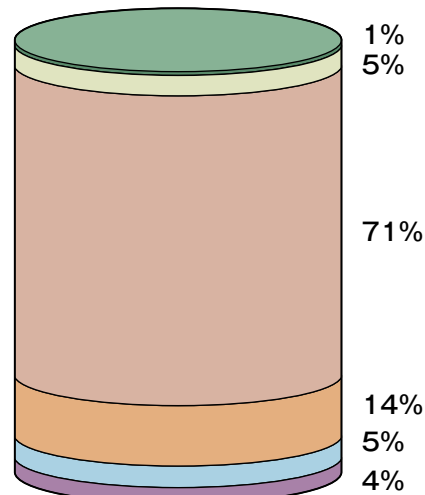
日本の一次エネルギー供給構成の推移

総供給量 16,133PJ



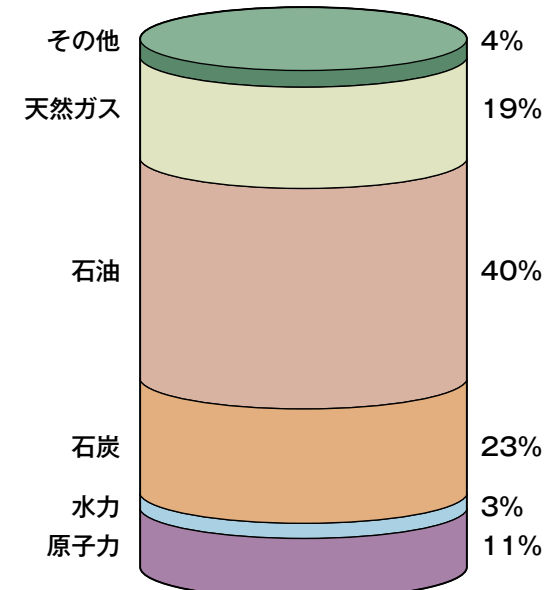
1973年度
(第一次石油危機)

17,210PJ



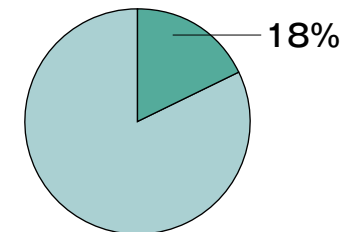
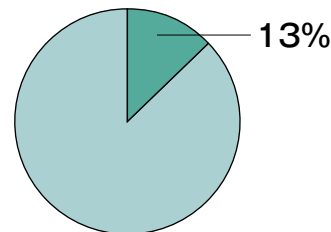
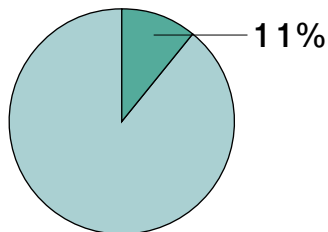
1979年度
(第二次石油危機)

22,091PJ



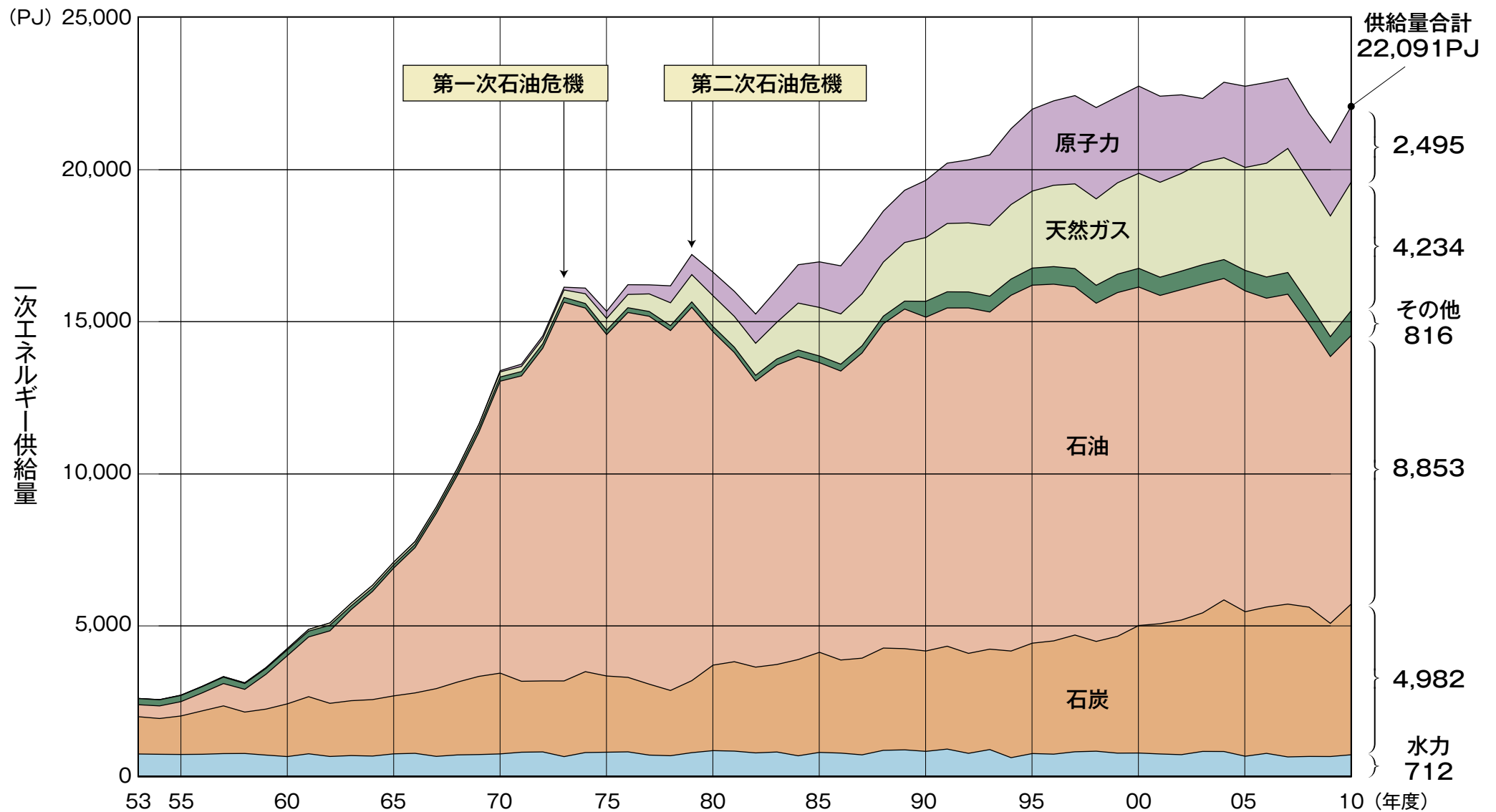
2010年度

国産
エネルギー
比率



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)
 原子力はその特性上準国産エネルギーとして扱われる

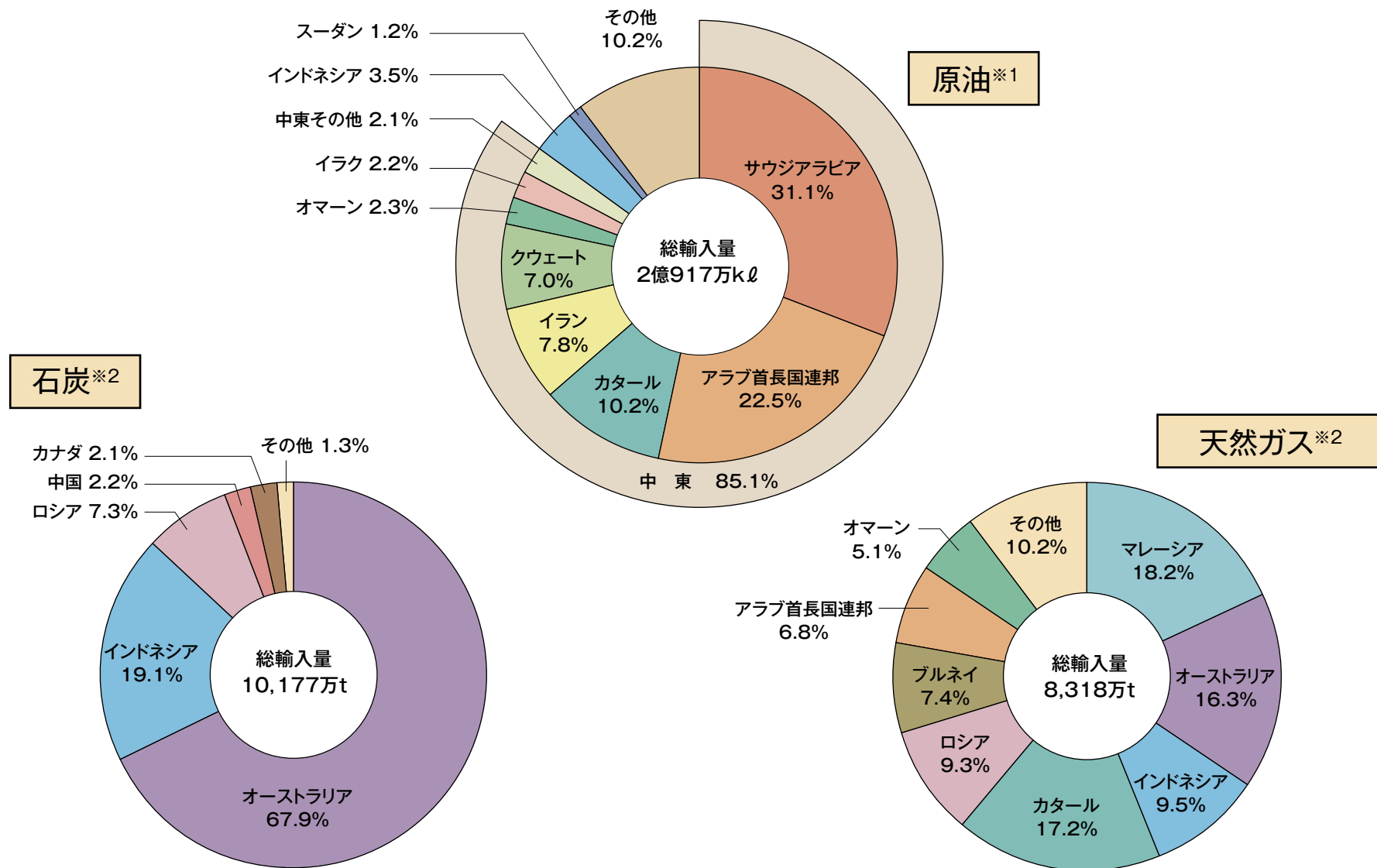
日本の一次エネルギー供給実績



(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

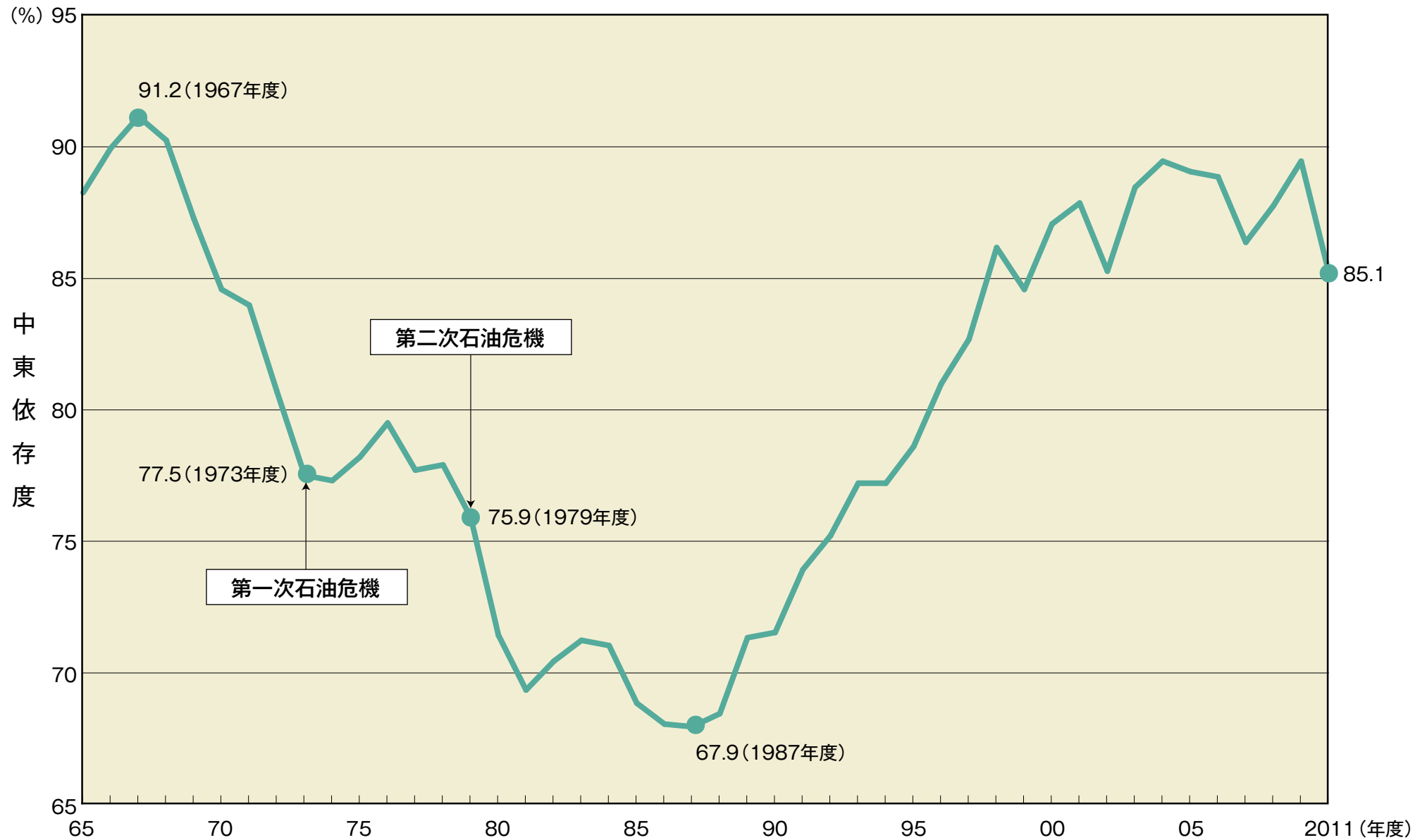
日本が輸入する化石燃料の相手国別比率

2011年度実績

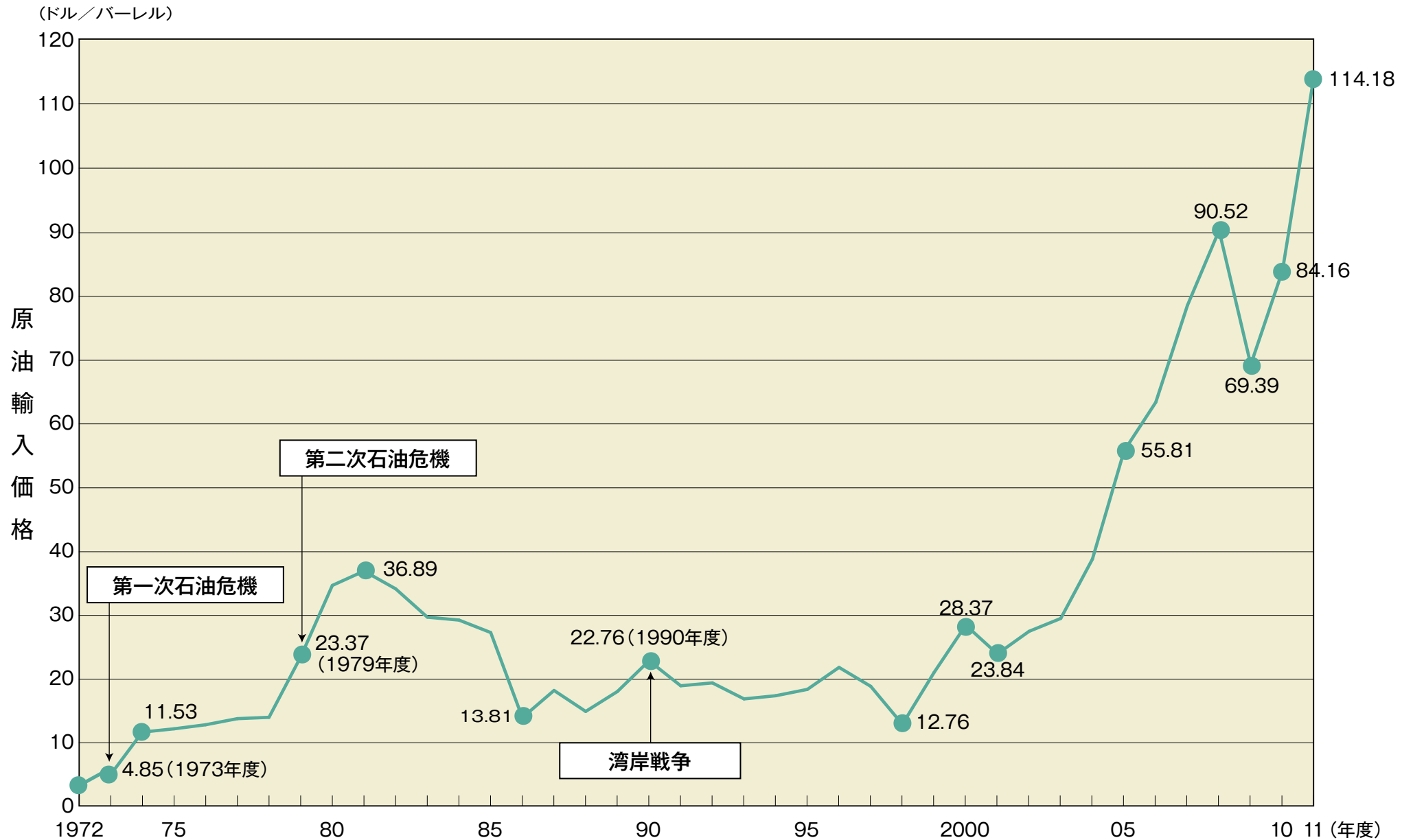


(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

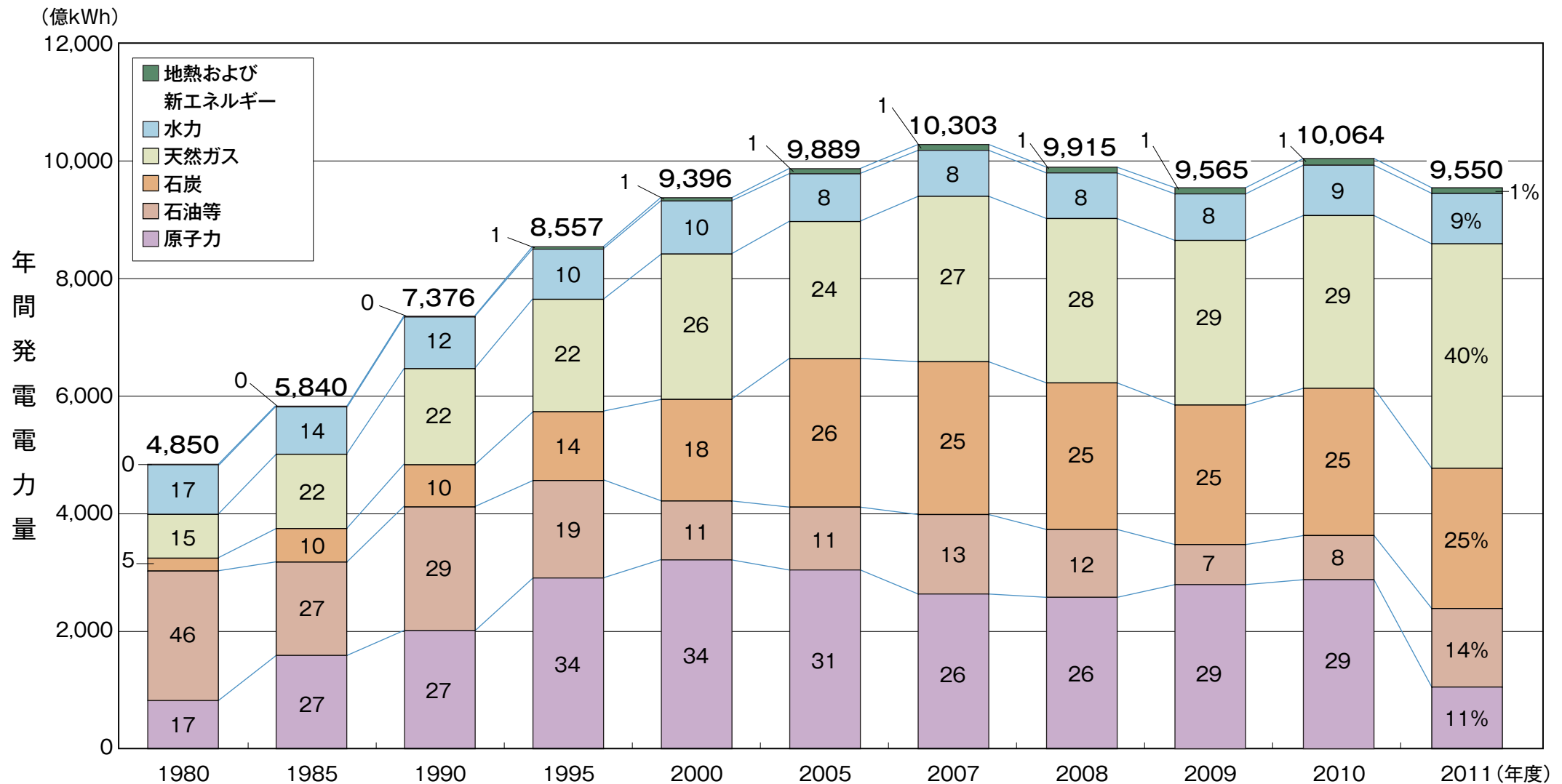
原油輸入の中東依存度の推移



原油輸入価格の推移

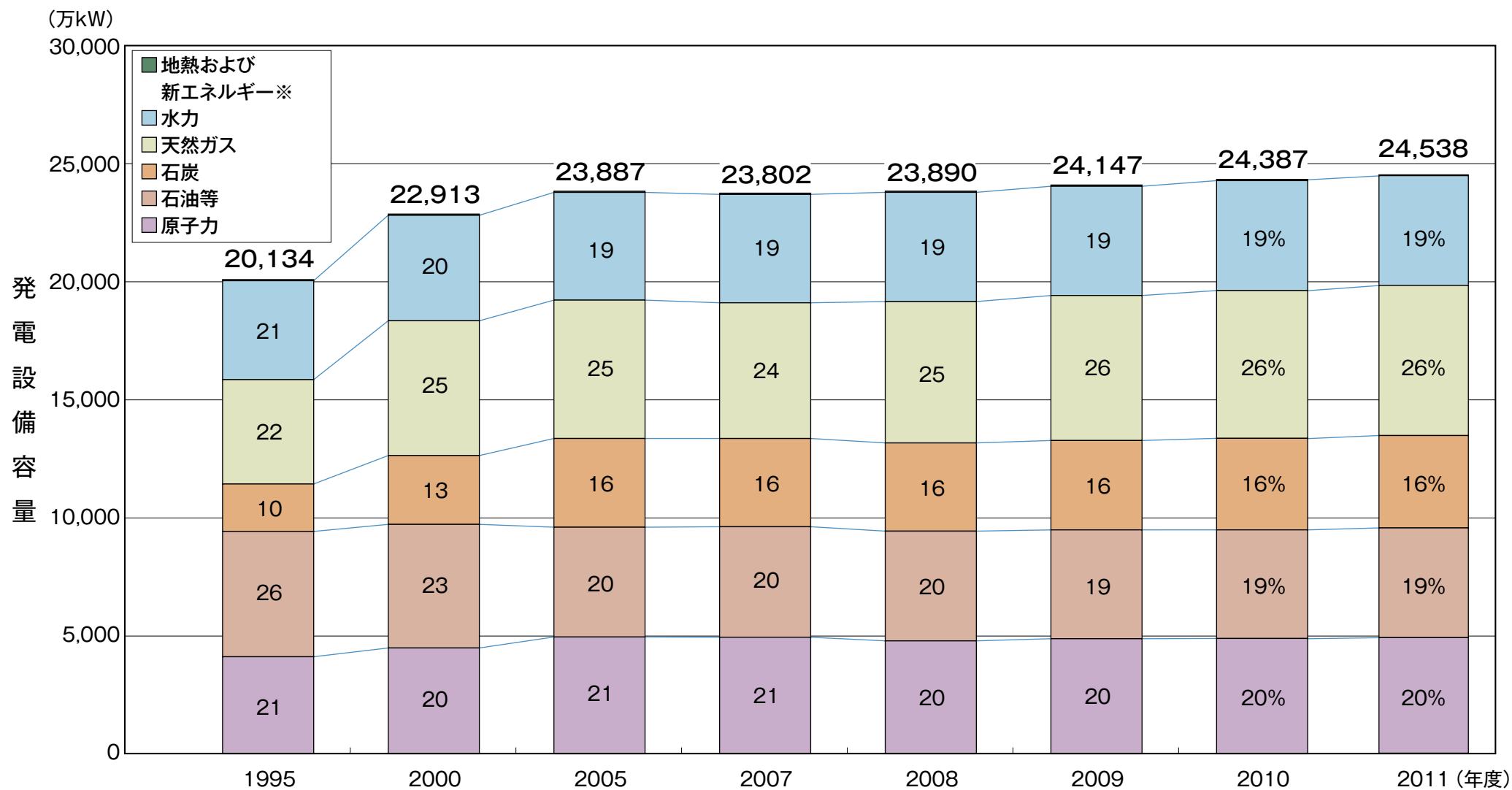


電源別発電電力量の実績



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび瀝青質混合物を含む
 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 発電電力量は10電力会社の合計値(受電を含む)
 グラフ内の数値は構成比(%)

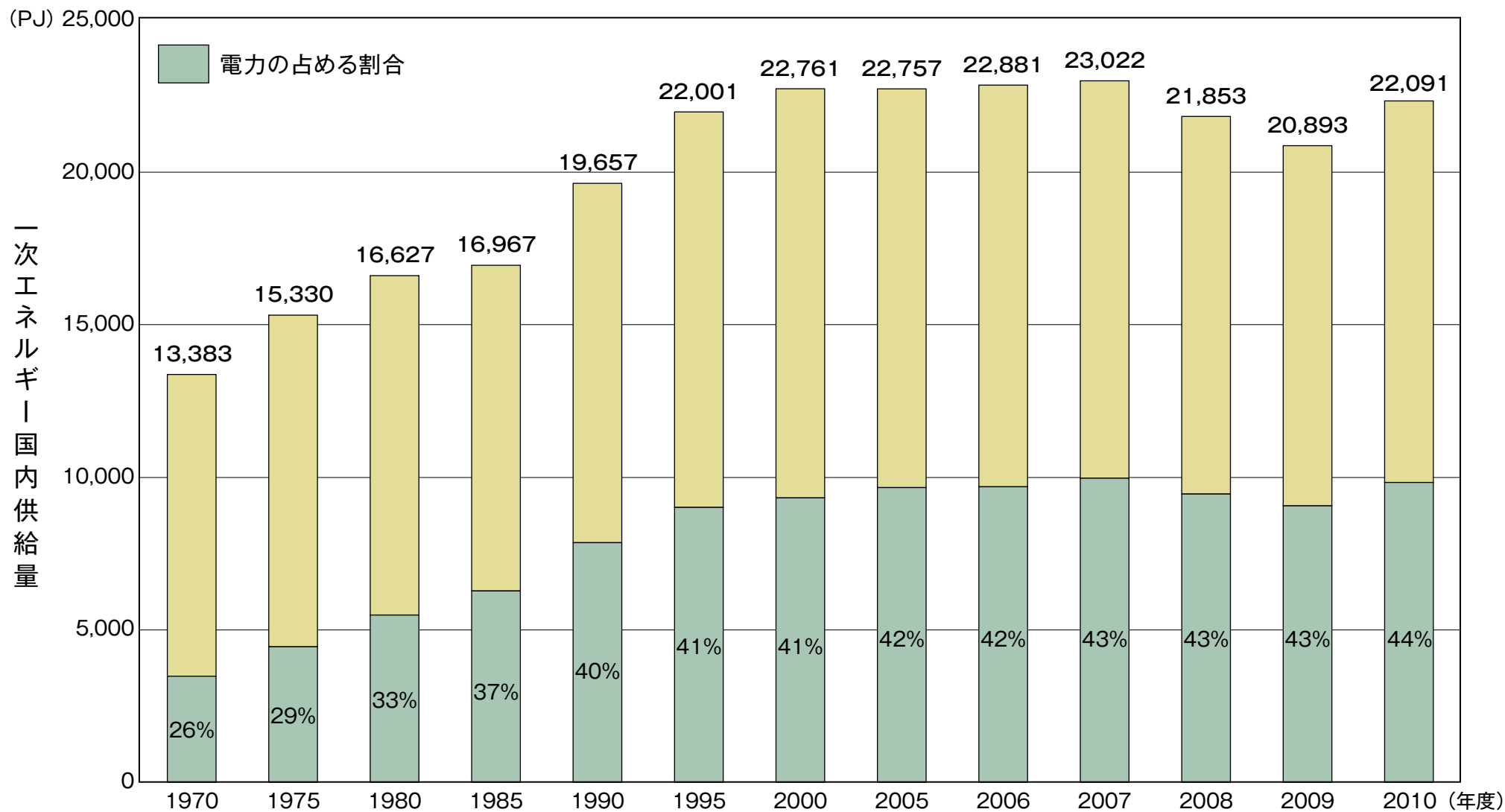
発電設備容量の実績



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

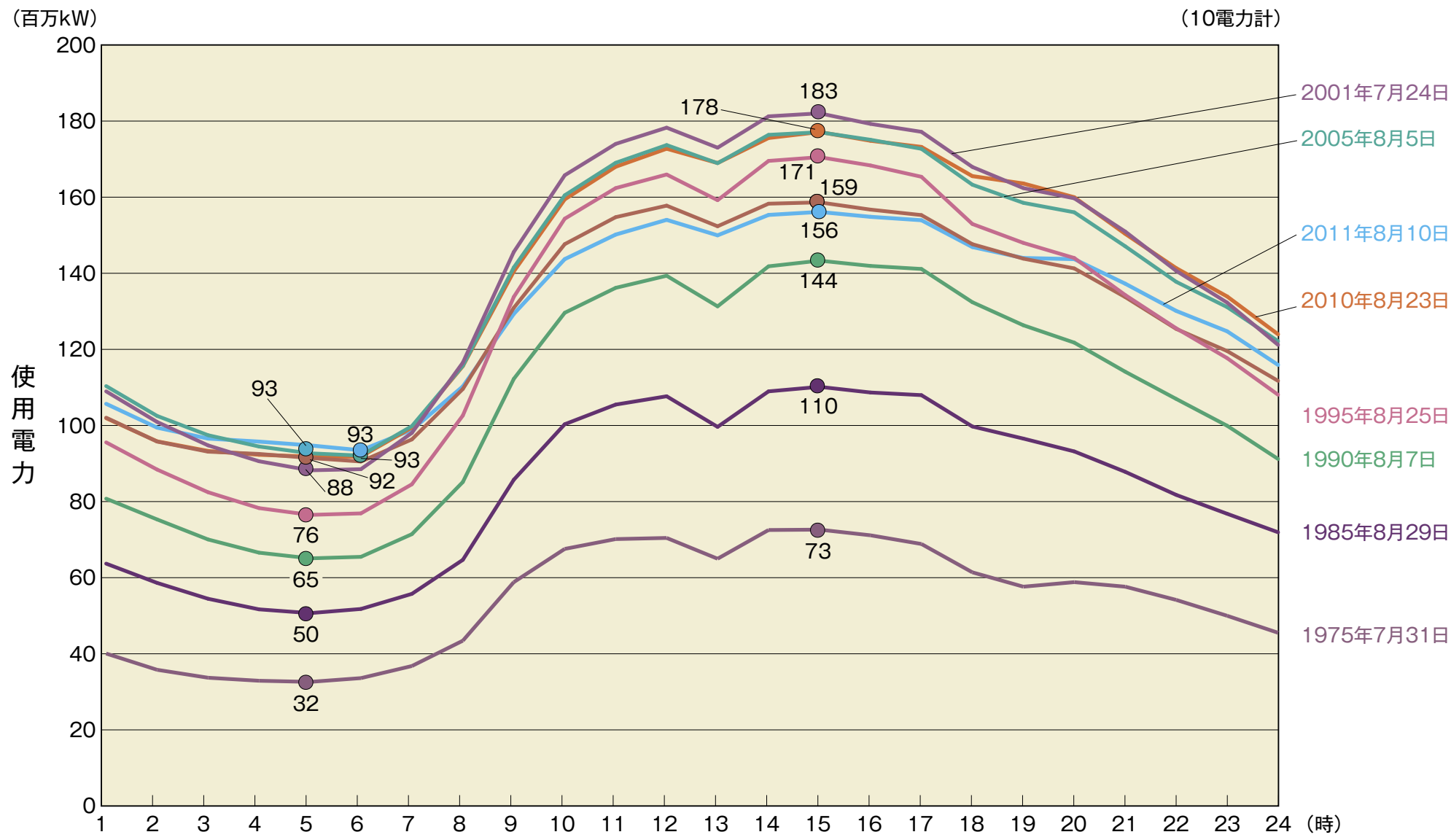
※地熱および新エネルギーは1%未満

一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）



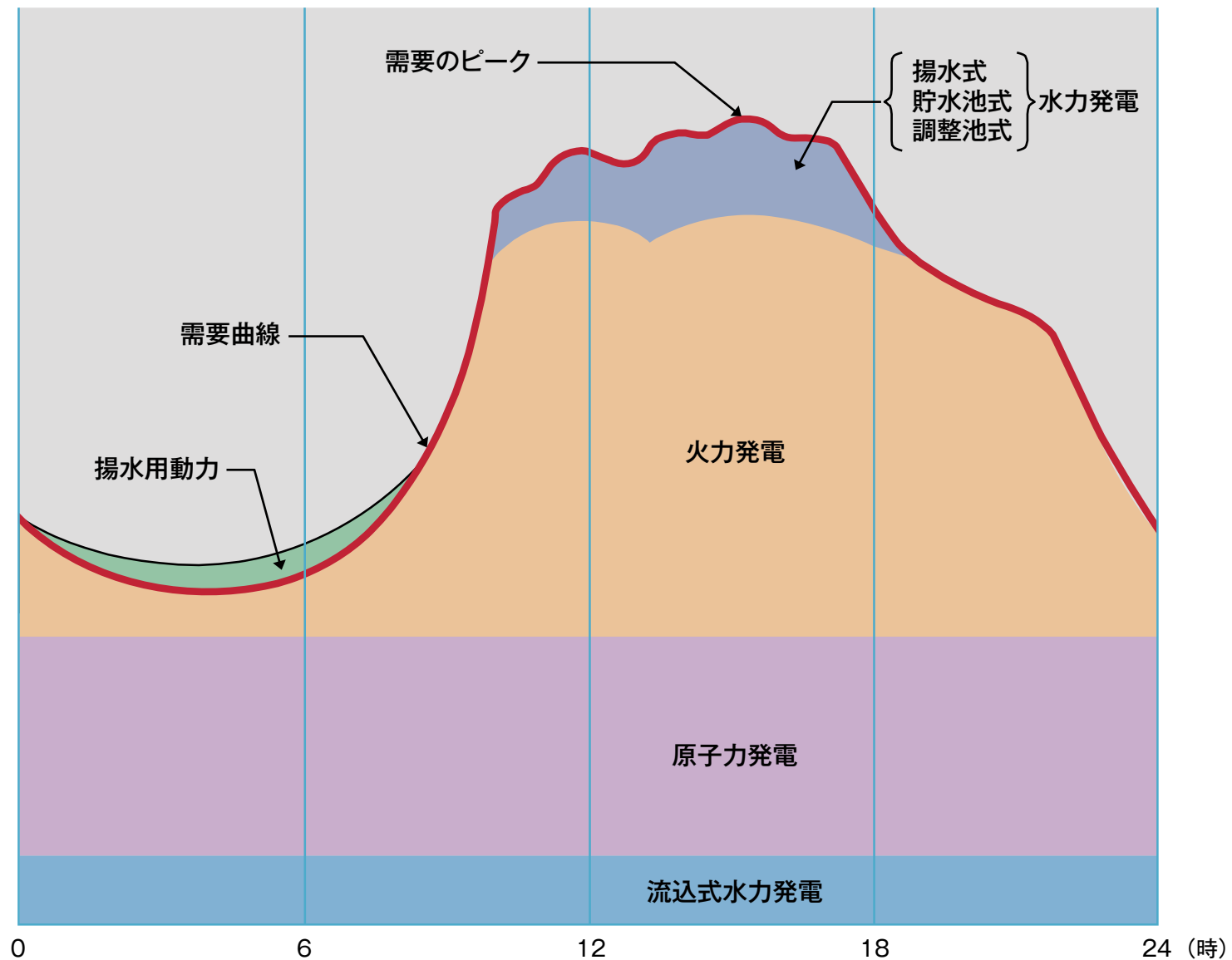
(注) 1PJ(=10¹⁵J)は原油約25,800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移

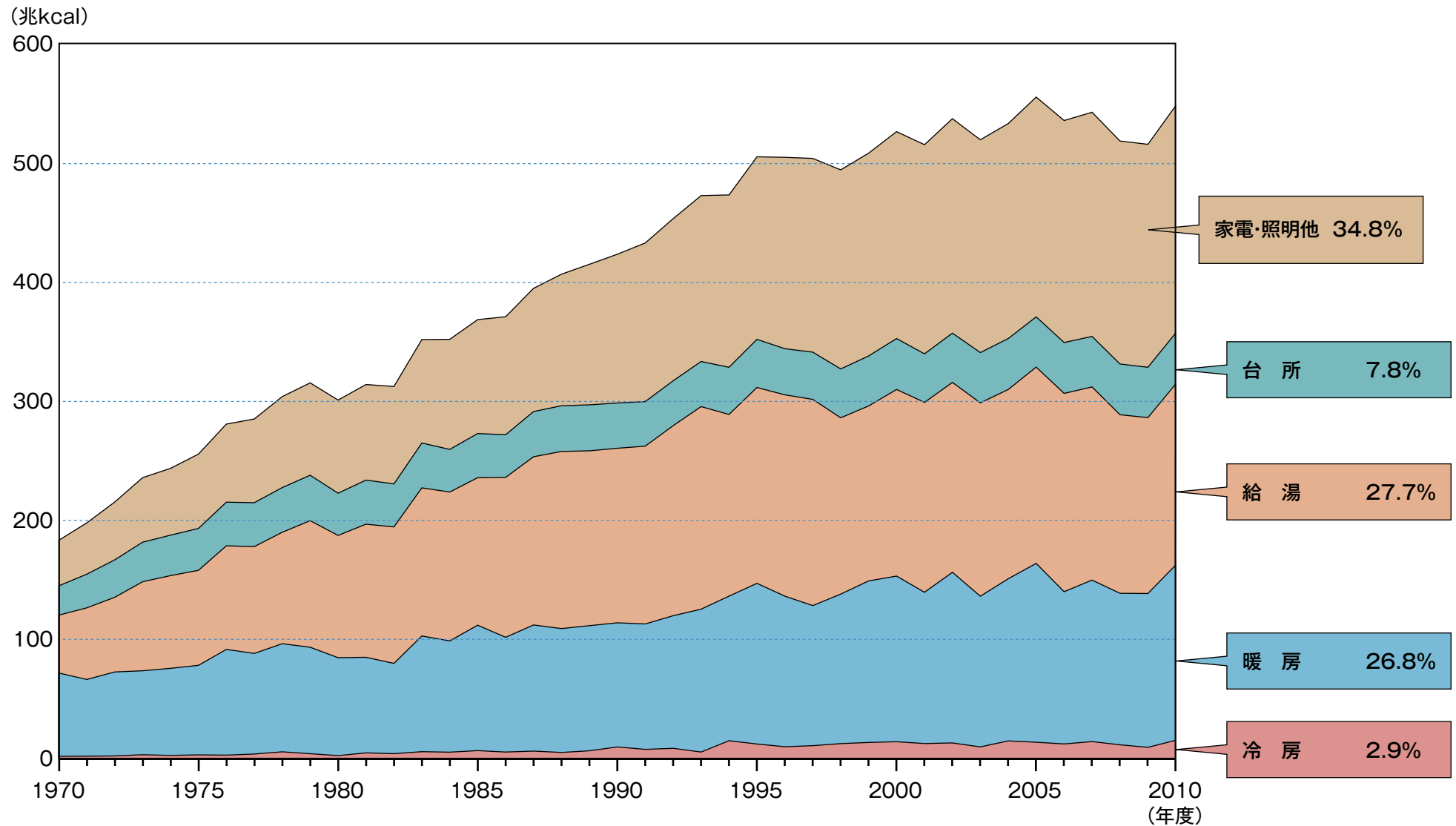


(注) 1975年のみ9電力計

需要の変化に対応した電源の組み合わせ（例）

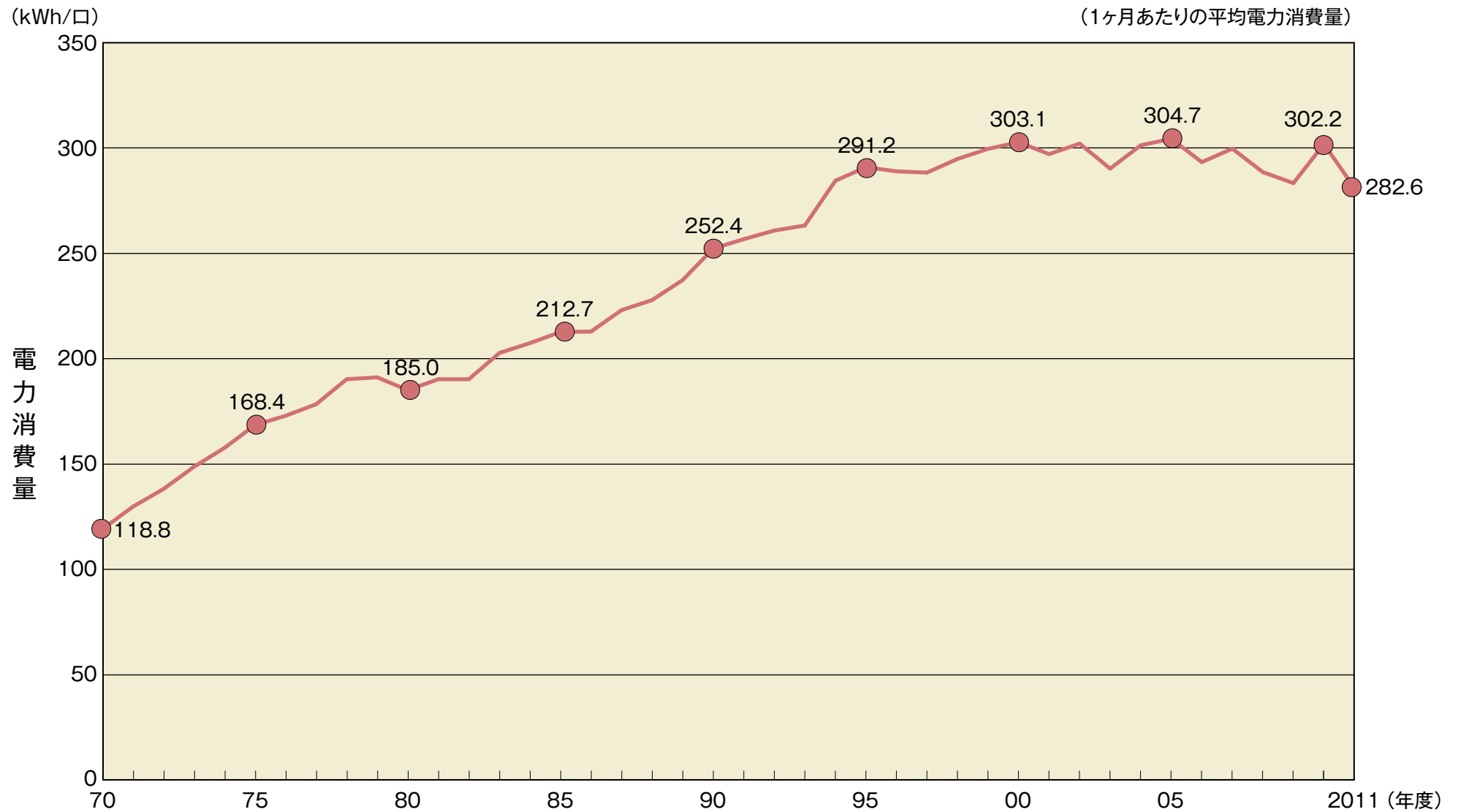


家庭部門用途別エネルギー消費量



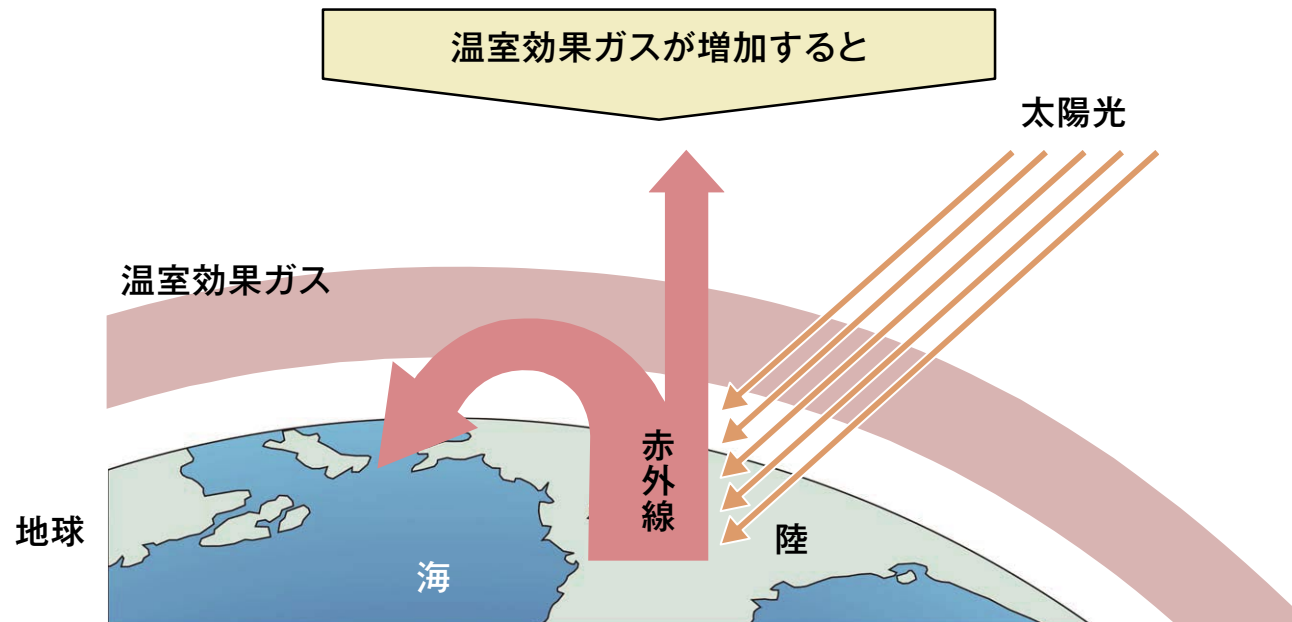
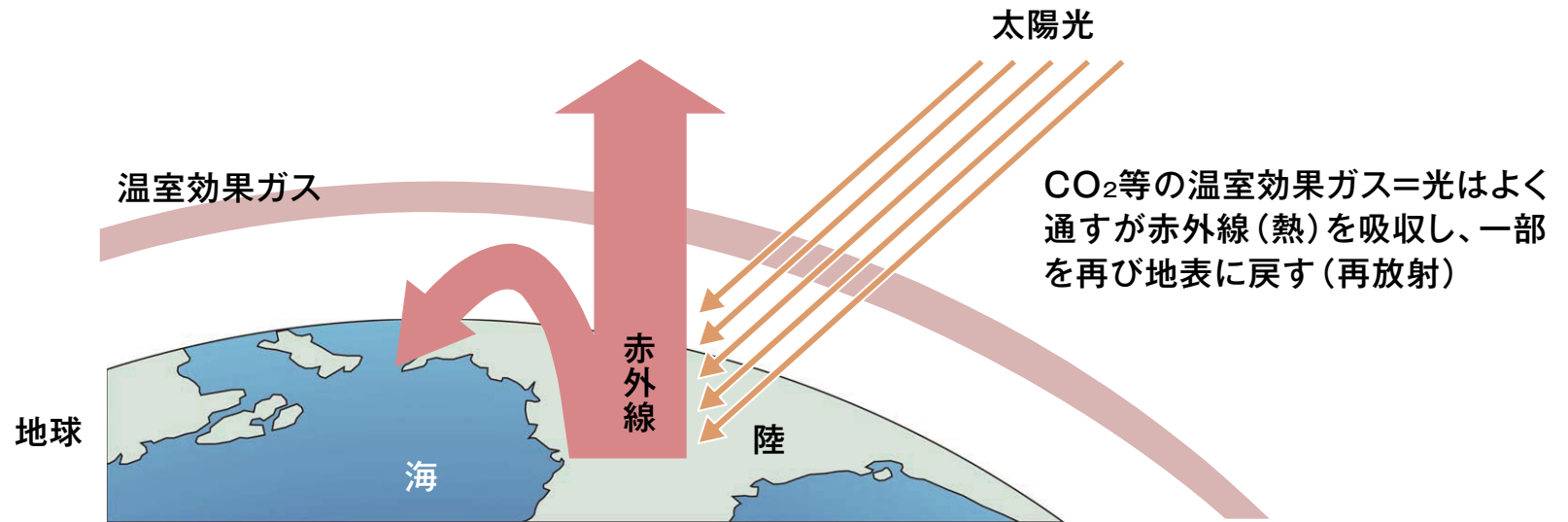
(注) 家電・照明他とは、洗濯機、衣類乾燥機、布団乾燥機、テレビ、VTR、ステレオ、CDプレーヤー、DVDプレーヤー・レコーダー、掃除機、パソコン、温水洗浄便座等

一世帯あたりの電力消費量の推移



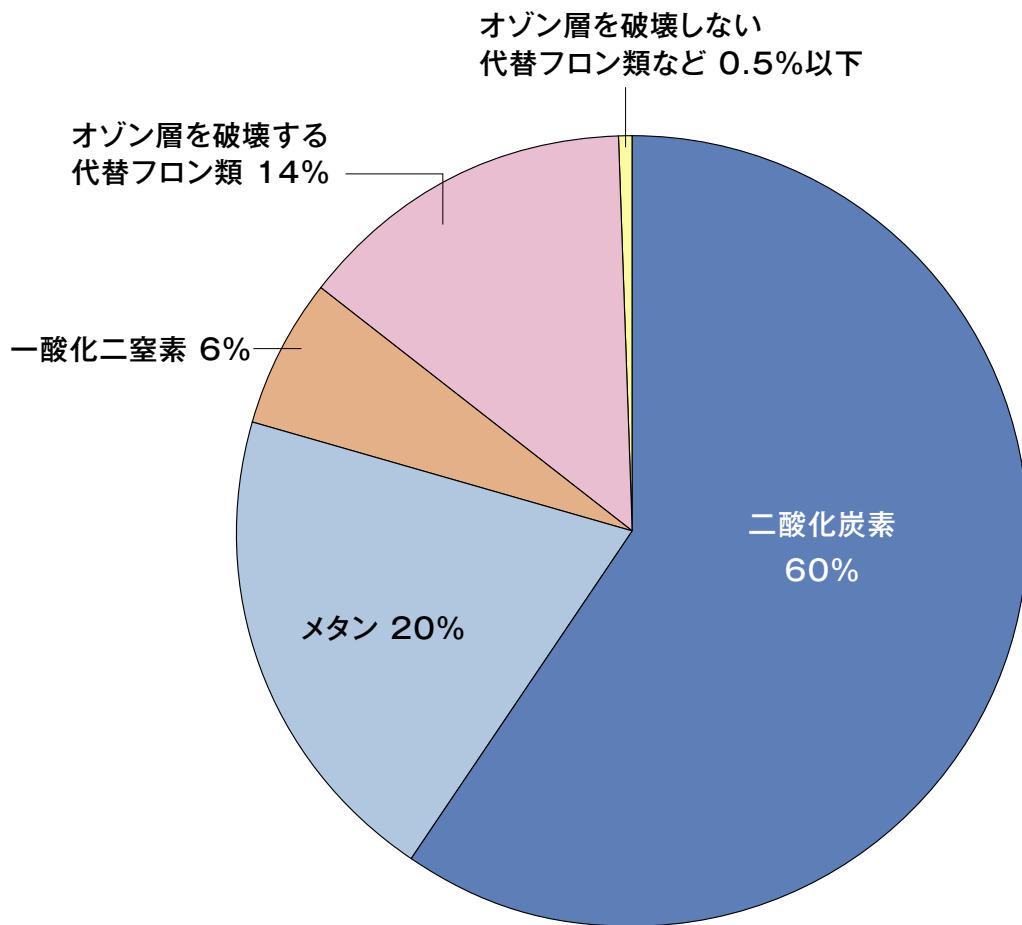
(注) 数値は9電力会社平均値

温室効果のしくみ

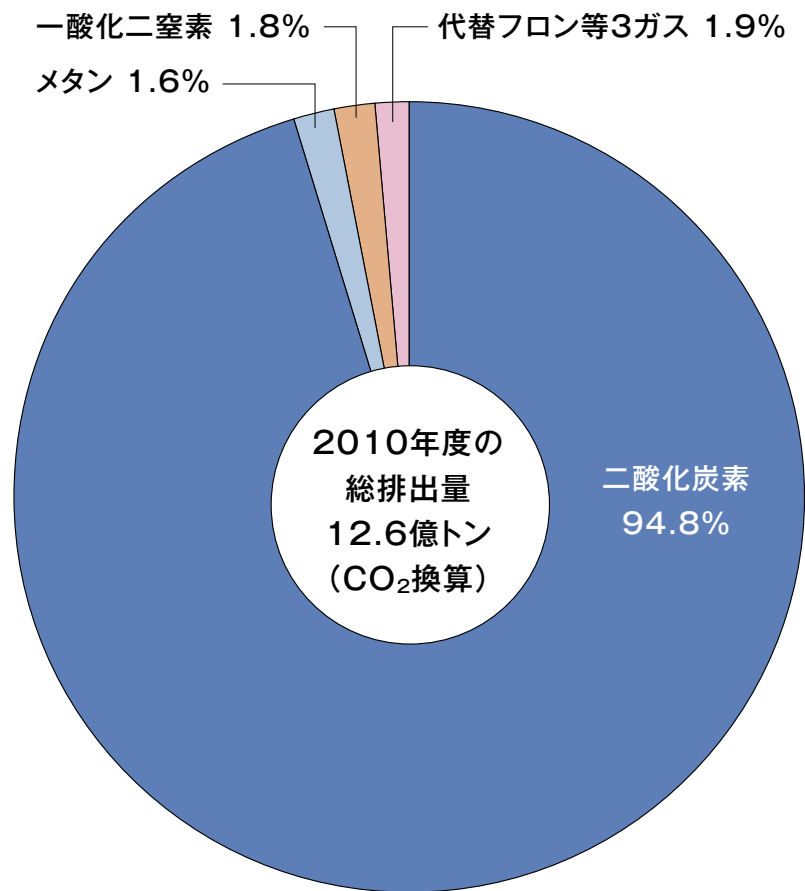


温室効果ガスの地球温暖化への寄与度

産業革命以降人為的に排出された
温室効果ガスによる地球温暖化への寄与度

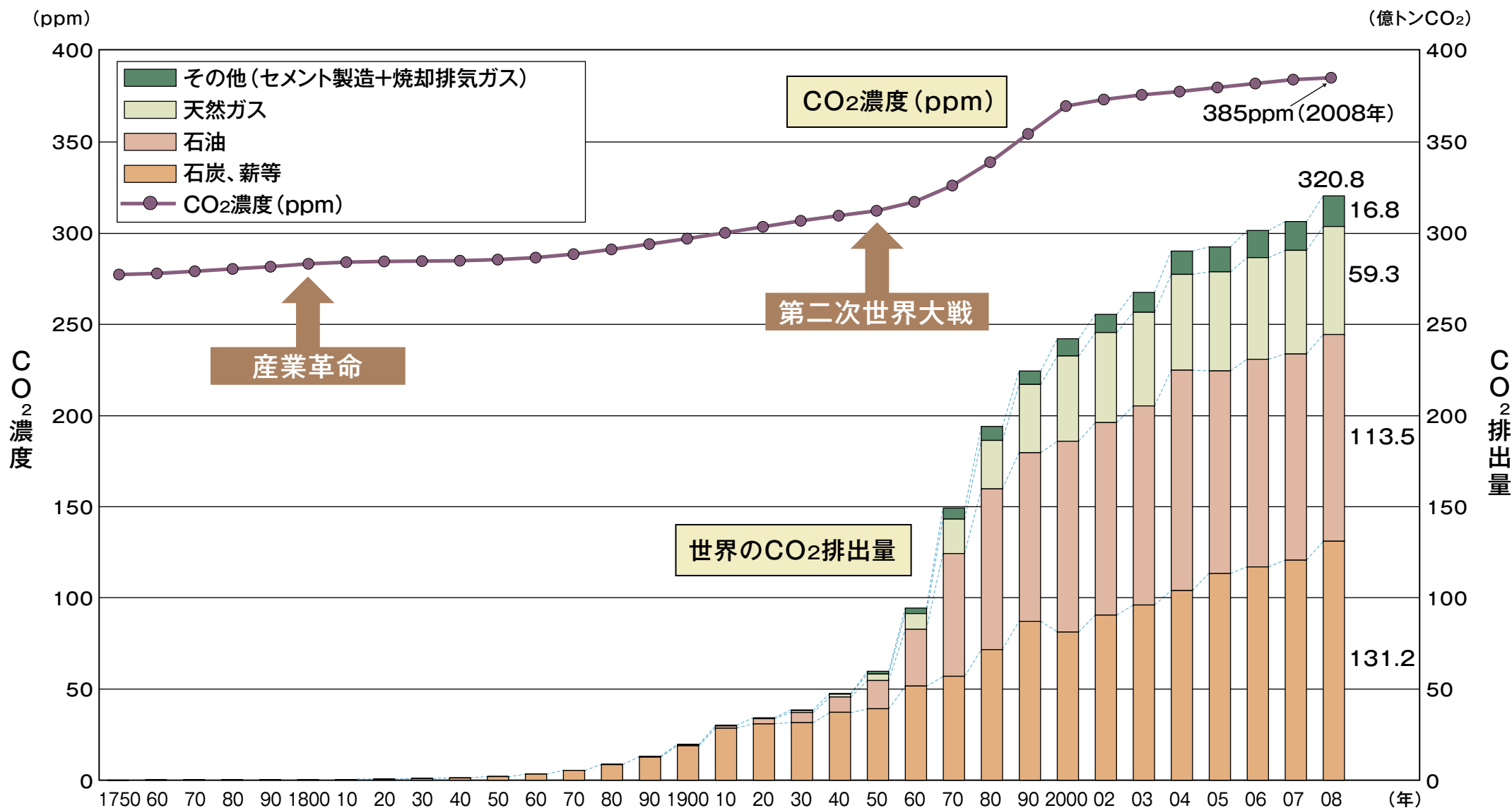


わが国が排出する温室効果ガスの
地球温暖化への直接的寄与度 (2010年単年度)



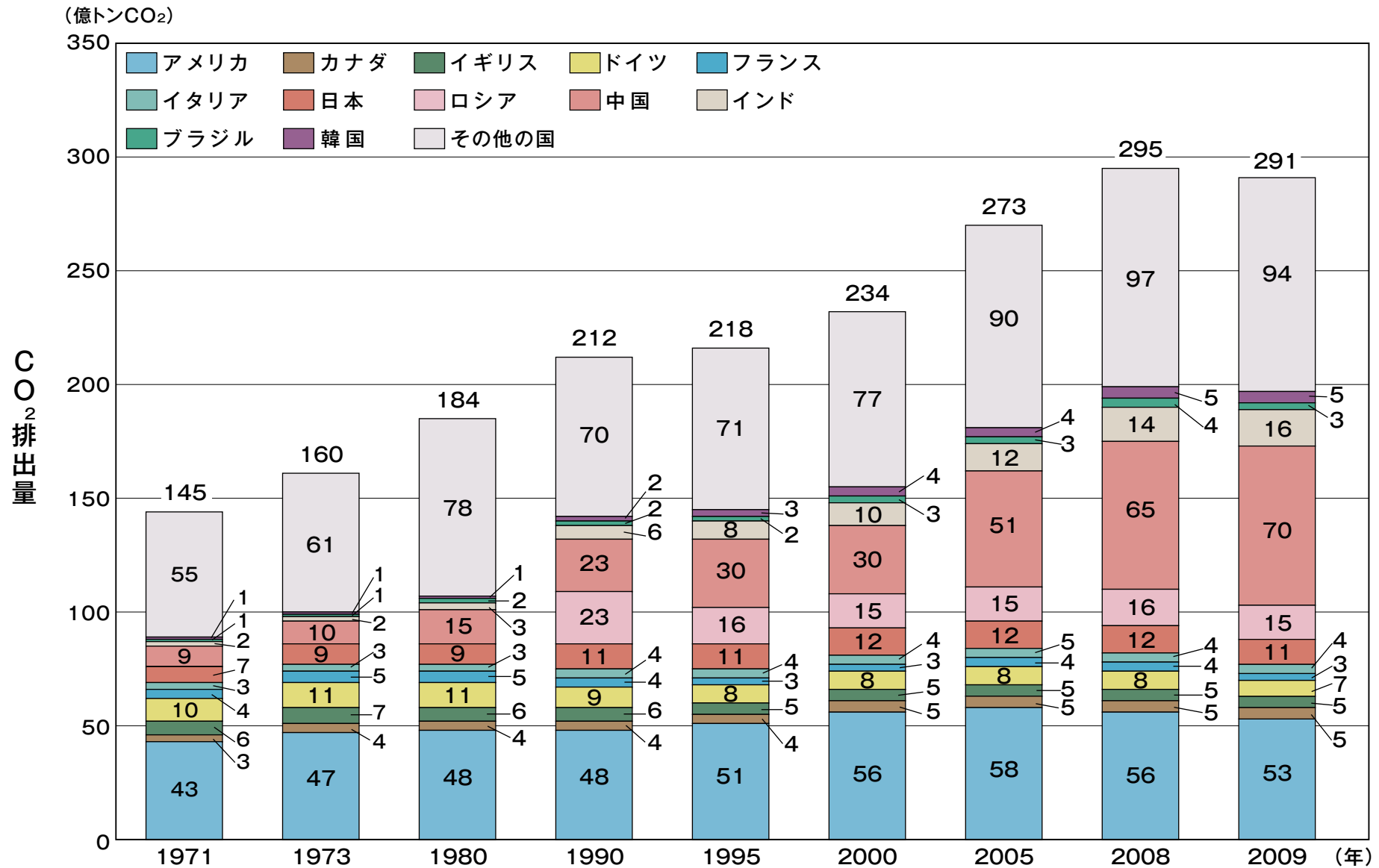
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

化石燃料等からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

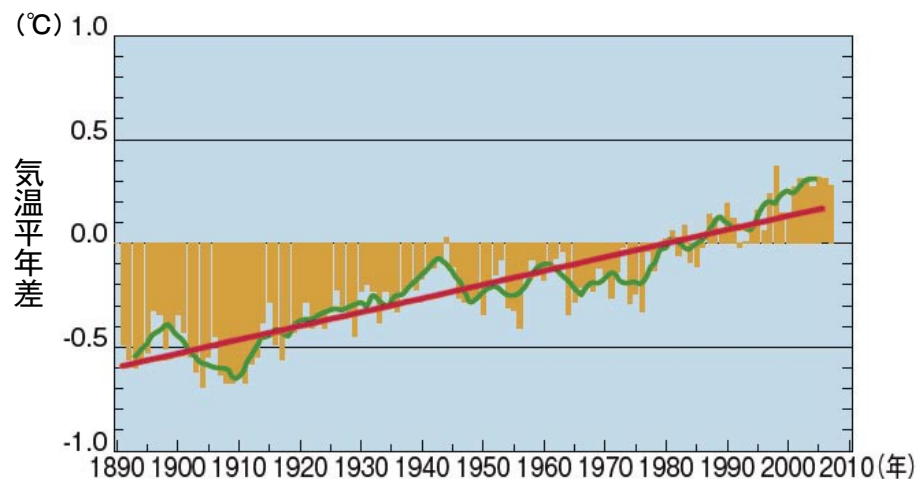
世界のCO₂排出量の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 ロシアについては1990年以降の排出量を記載。1990年以前については、その他の国として集計

平均気温の変化

世界の年平均地上気温の平年差の経年変化(1891~2011年)



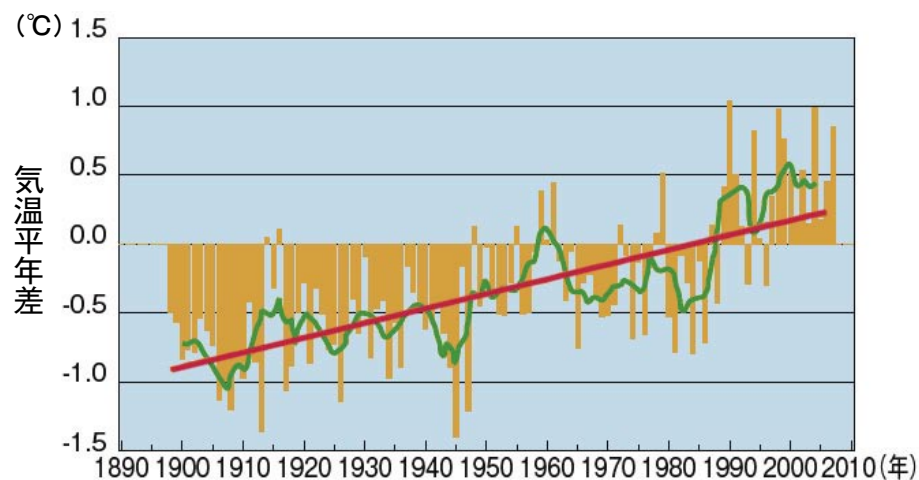
棒グラフ：各年の平均気温の平年差(平年値との差)
(2011年は平年差+0.07°C)

折れ線：平年差の5年移動平均

直線：平年差の長期的な傾向
(100年あたり0.68°Cの割合で上昇)

平年値は1981~2010年の30年平均値

日本の年平均地上気温の平年差の経年変化(1898~2011年)



棒グラフ：国内17地点※での年平均気温の平年差(平年値との差)を
平均した値
(2011年は平均差+0.15°C)

折れ線：平年差の5年移動平均

直線：平年差の長期的な傾向
(100年あたり約1.15°Cの割合で上昇)

平年値は1981~2010年の30年平均値

※17地点：網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、長野、水戸、飯田、
鉾子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島

CO₂増加による気温上昇の実績と予測

実績	世界	100年あたり0.68℃の割合で上昇※ ¹
	日本	100年あたり約1.15℃の割合で上昇※ ²
予測	世界	21世紀末の平均気温は、20世紀末に比べ約1.8℃ (1.1℃～2.9℃)～約4.0℃(2.4℃～6.4℃)上昇※ ³
	日本	2100年頃に2.0℃～3.0℃(北海道の一部で4.0℃)上昇※ ⁴

地球温暖化問題に対する取組み

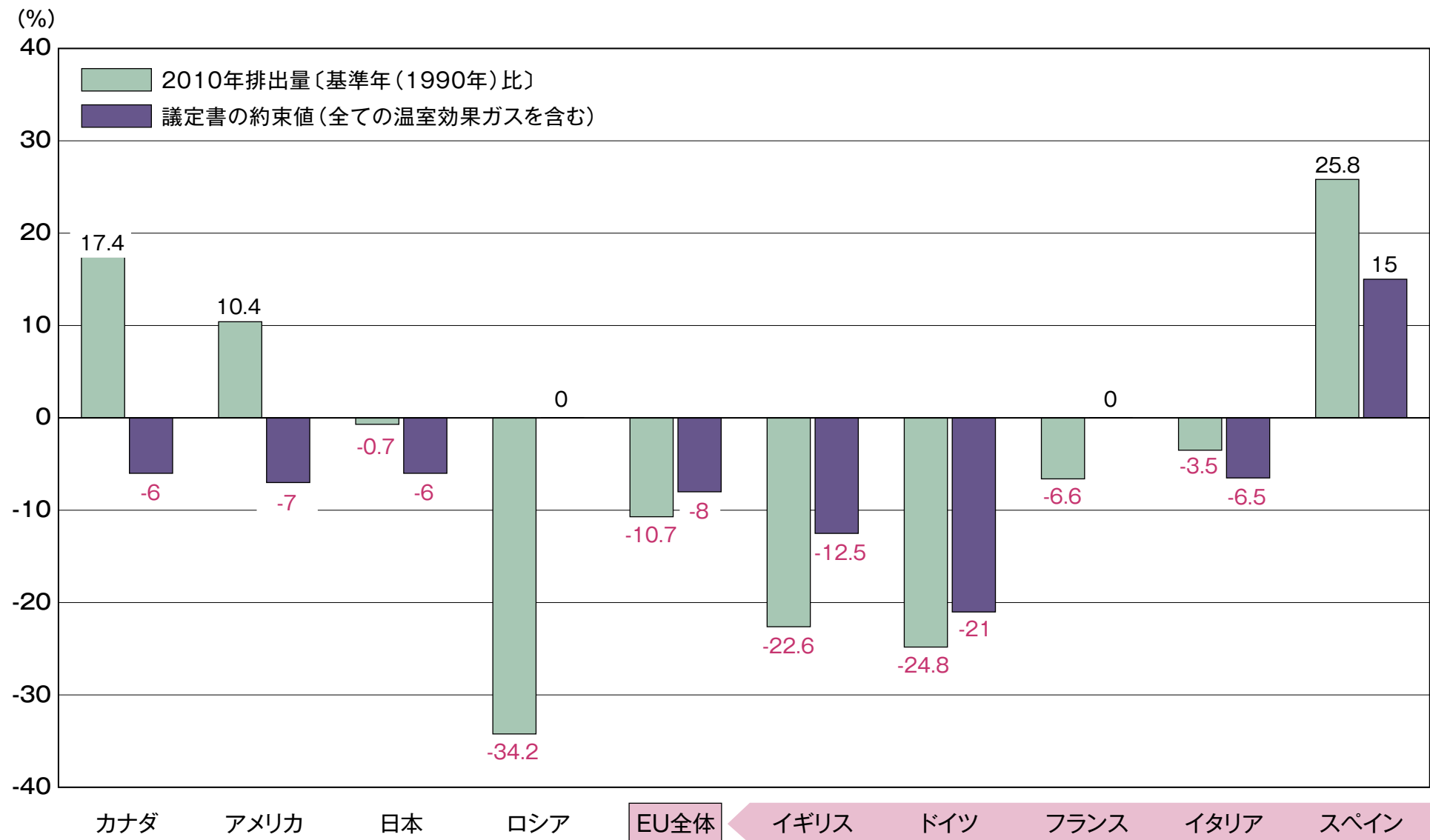
年・月	場 所	会 議 名 等	内 容
1988年11月	スイス（ジュネーブ）	IPCC設置	地球温暖化に関する初めての政府間の検討の場を設置
1995年3月	ドイツ（ベルリン）	COP1	温室効果ガス削減の数値目標の国際約束の検討を決定
1996年7月	スイス（ジュネーブ）	COP2	法的拘束力のある温暖化ガス削減の数値目標をCOP3で採択すべきと宣言
1997年12月	日本（京都）	COP3	温室効果ガス削減第1約束期間の温室効果ガス削減数値目標を決定（「京都議定書」採択）
1998年11月	アルゼンチン（ブエノスアイレス）	COP4	「京都議定書」の課題についてCOP6で決定するための「ブエノスアイレス行動計画」を採択
1999年10月～11月	ドイツ（ボン）	COP5	多くの国が2002年迄に京都議定書の発効が重要と認識
2000年11月	オランダ（ハーグ）	COP6	排出権取引や森林吸収の削減等温暖化対策は不合意
2001年10月～11月	モロッコ（マラケシュ）	COP7	「京都議定書」の運用ルールで最終合意
2002年10月～11月	インド（ニューデリー）	COP8	「京都議定書」早期発効に向けて進展
2003年12月	イタリア（ミラノ）	COP9	「京都議定書」実施のための詳細なルールを議論
2004年12月	アルゼンチン（ブエノスアイレス）	COP10	各締約国が排出削減約束の確実な達成を確認
2005年11月～12月	カナダ（モントリオール）	COP11およびCOP/MOP1	「京都議定書」の運用ルールの完全な確立とCDM等の改善
2006年11月	ケニア（ナイロビ）	COP12およびCOP/MOP2	「京都議定書」後（2013年以降）の将来枠組、途上国支援及びCDMの更なる改善
2007年12月	インドネシア共和国（バリ）	COP13およびCOP/MOP3	2013年以降の枠組、途上国支援等を議論（「バリ・ロードマップ」を採択）
2008年12月	ポーランド（ポズナン）	COP14およびCOP/MOP4	2013年以降の枠組みについて、2009年末の合意に向けた議論
2009年12月	デンマーク（コペンハーゲン）	COP15およびCOP/MOP5	「コペンハーゲン合意」に留意することが決定
2010年11月～12月	メキシコ（カンクン）	COP16およびCOP/MOP6	「コペンハーゲン合意」の内容を正式決定
2011年11月～12月	南アフリカ（ダーバン）	COP17およびCOP/MOP7	「京都議定書」を延長し2020年に新たな法的枠組みを発効させる「ダーバン合意」を採択
2012年11月～12月	カタール（ドーハ）	COP18およびCOP/MOP8	2020年発効の新たな枠組み作りの作業計画や京都議定書の8年間延長を盛り込んだ「ドーハ合意」を採択

（注）温室効果ガス削減第1約束期間：2008年～2012年、2005年2月16日「京都議定書」発効

IPCC：気候変動に関する政府間パネル、COP：気候変動枠組条約締結国会議

COP/MOP：京都議定書締約国会議、CDM：クリーン開発メカニズム

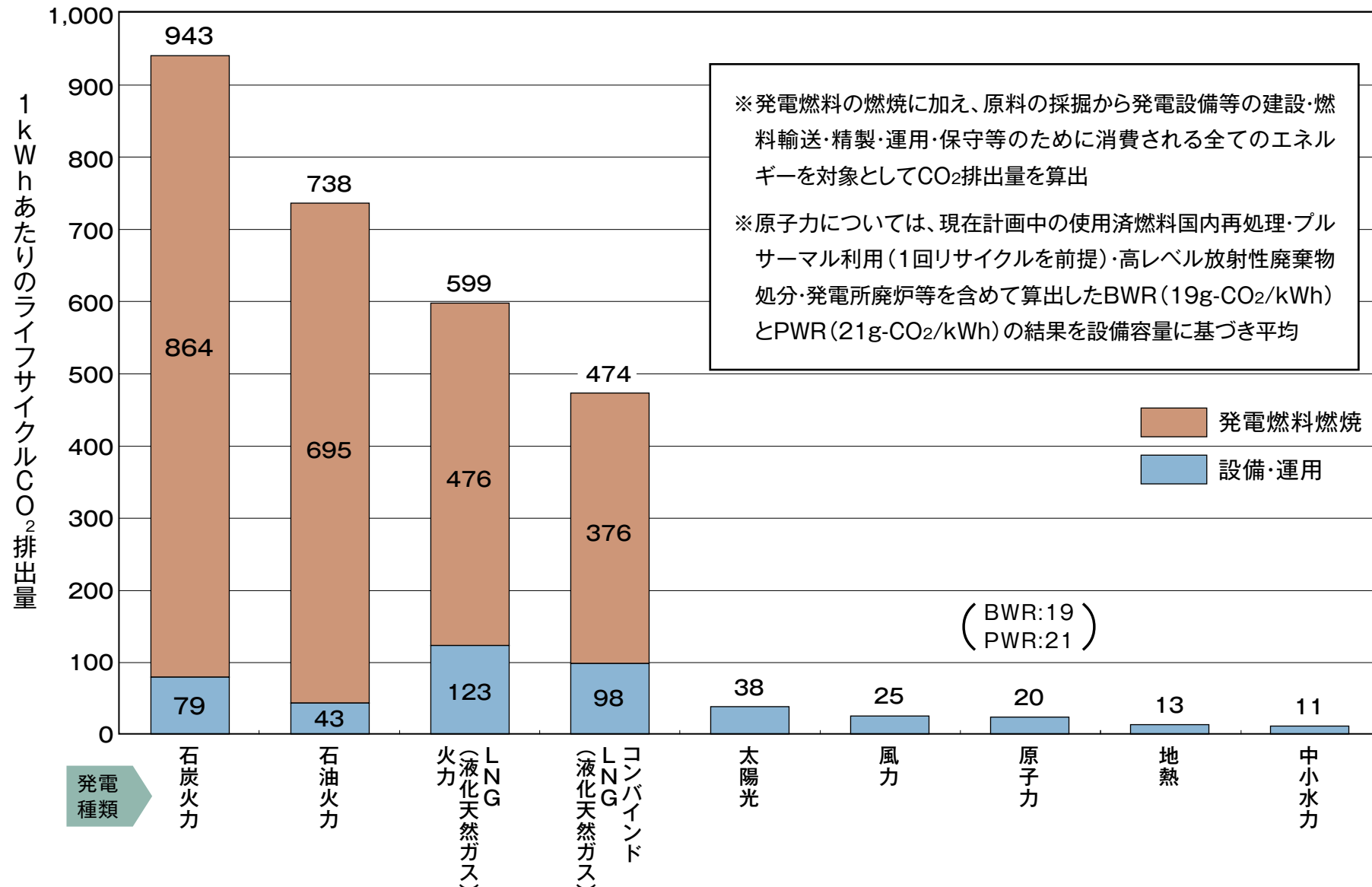
京都議定書の約束値と温室効果ガス排出状況



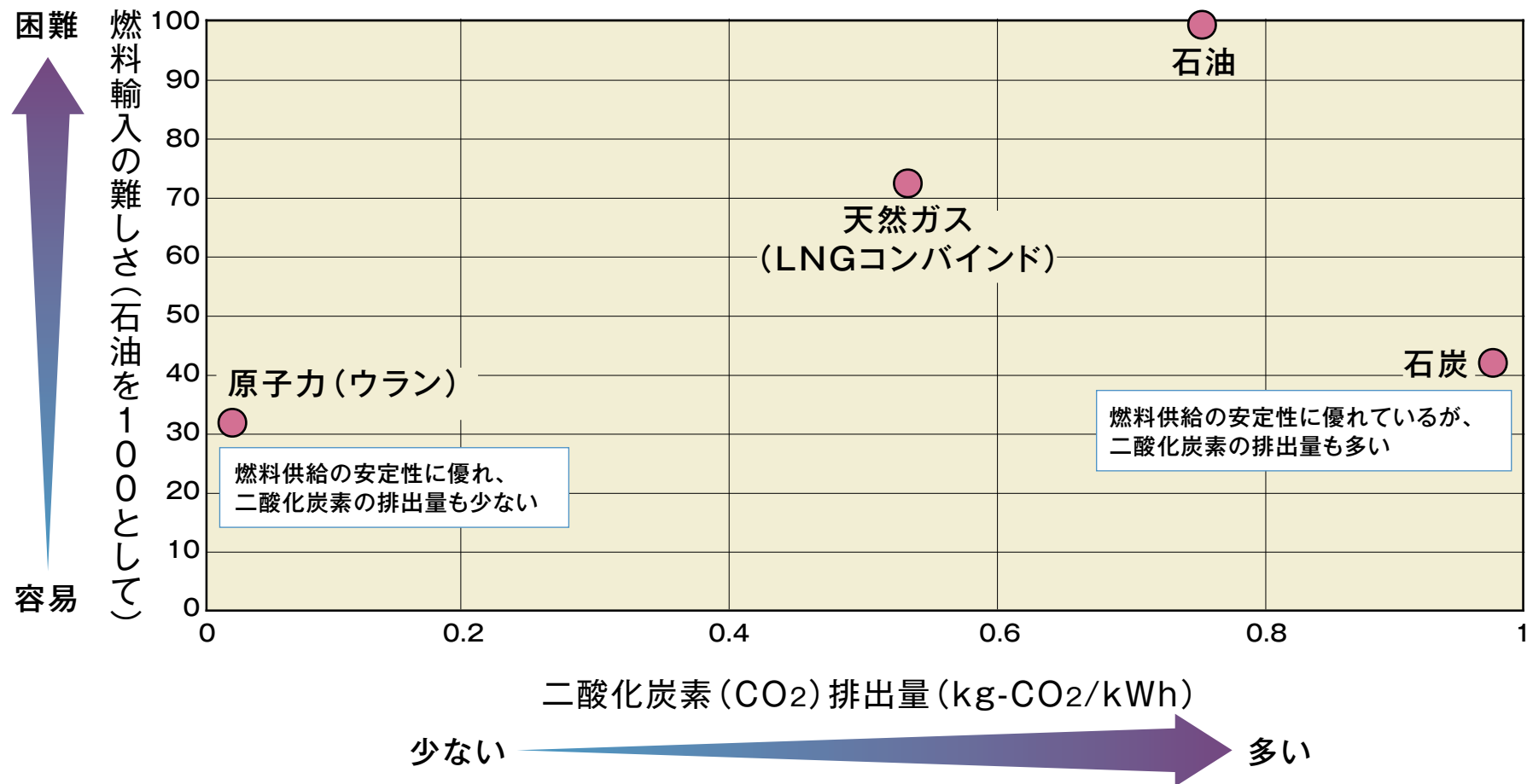
(注) 中国、インド、ブラジル等の発展途上国には、削減数値目標は課せられていない

各種電源別のライフサイクルCO₂排出量

[g-CO₂/kWh(送電端)]



CO₂排出量とエネルギー資源調達の安定性から見た各種電源

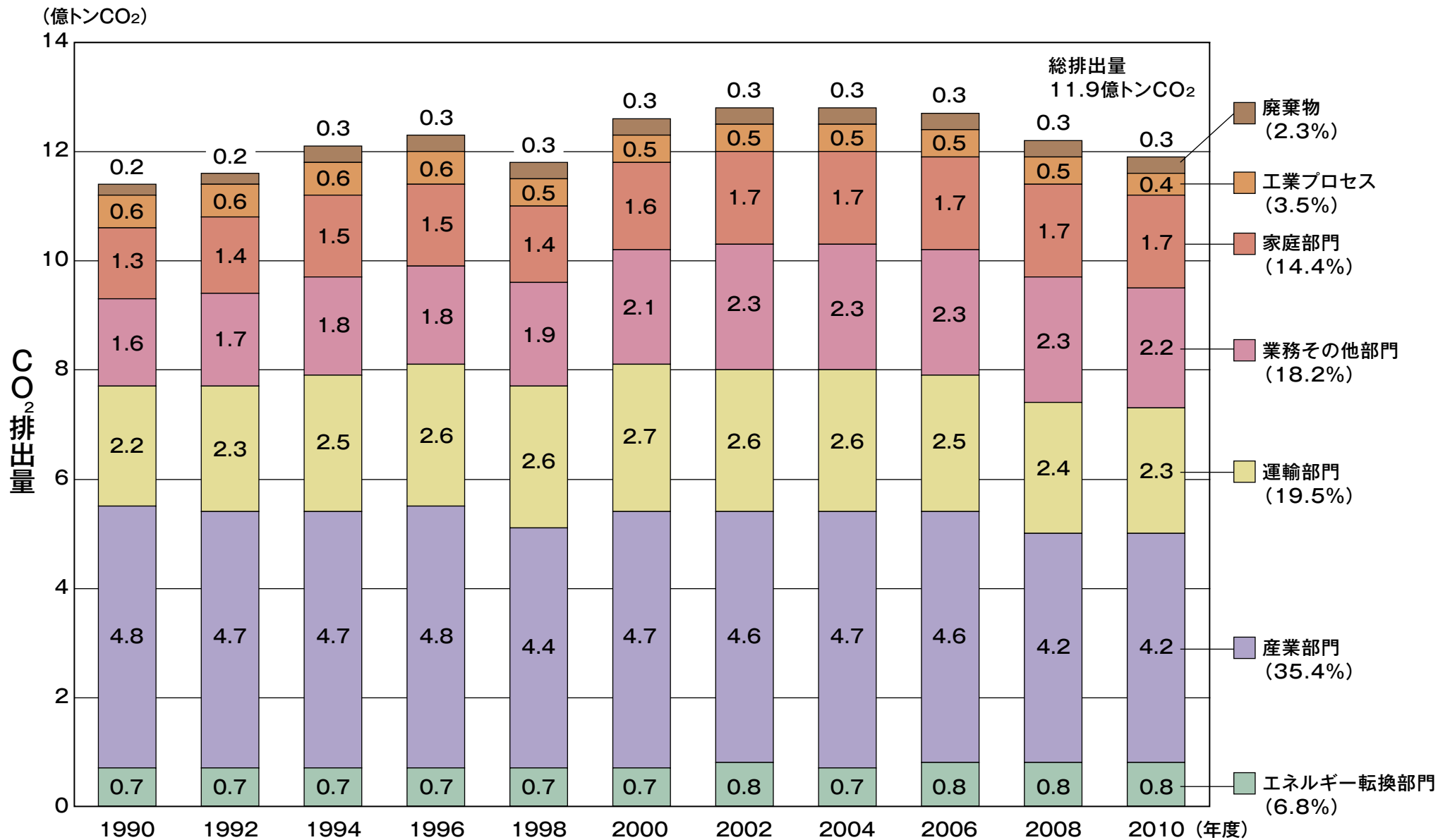


燃料輸入の難しさ度合い = (世界のエネルギー資源確保の難しさ度合い) + (日本の輸入相手先による資源確保の難しさ度合い)

= (資源埋蔵地域の偏り + 輸出量の偏り) × (各国の政治的・経済的な不安定度) + (日本の輸入相手国の偏り) × (各国の政治的・経済的な不安定度)

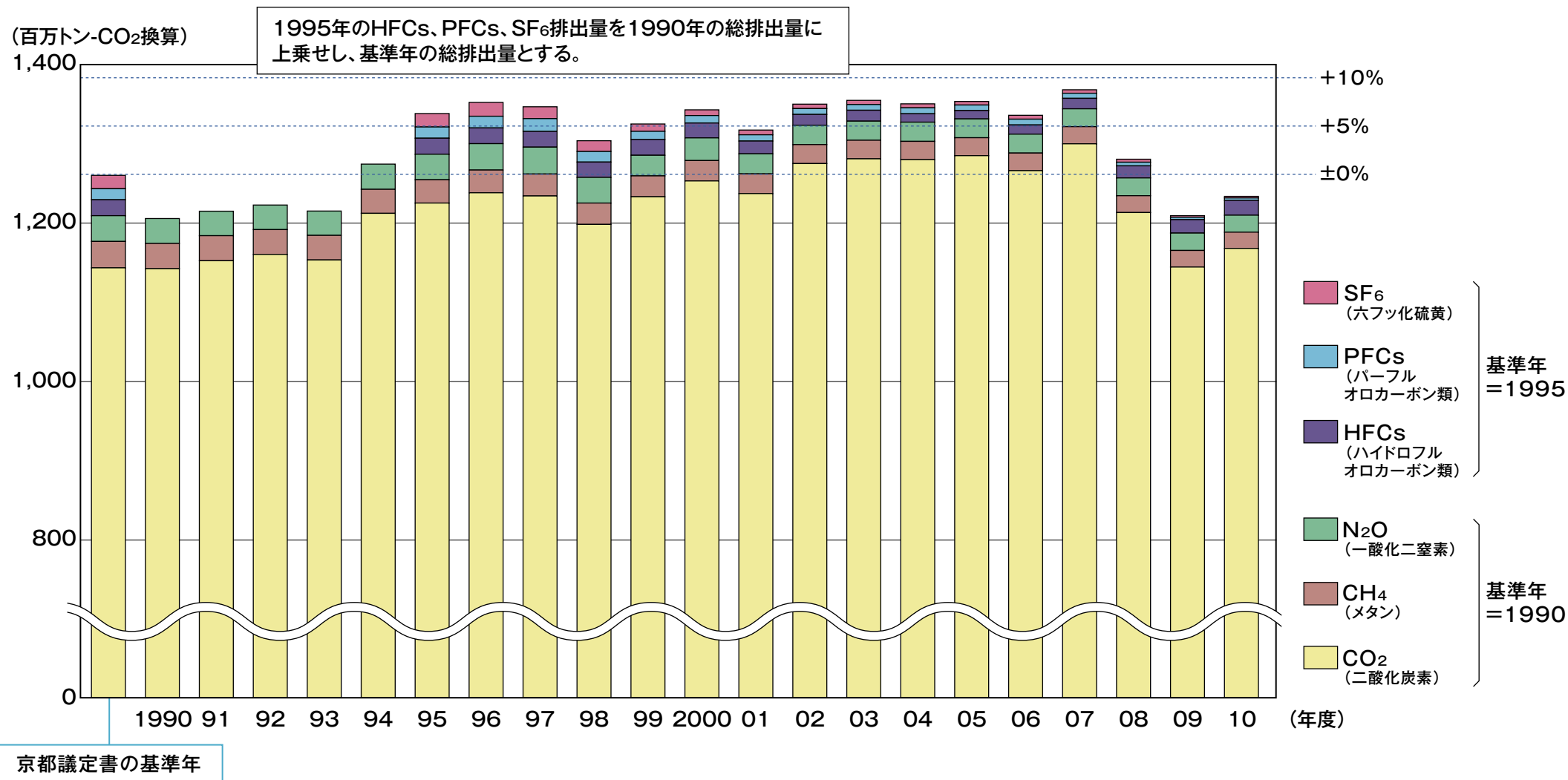
なお、各国の政治的・経済的な不安定度は、(独)日本貿易保険による国の格付けに基づき10段階(0.1~1.0)で評価しており、例えばオーストラリアは0.1、アフガニстанは1.0です。

部門別CO₂排出量の推移



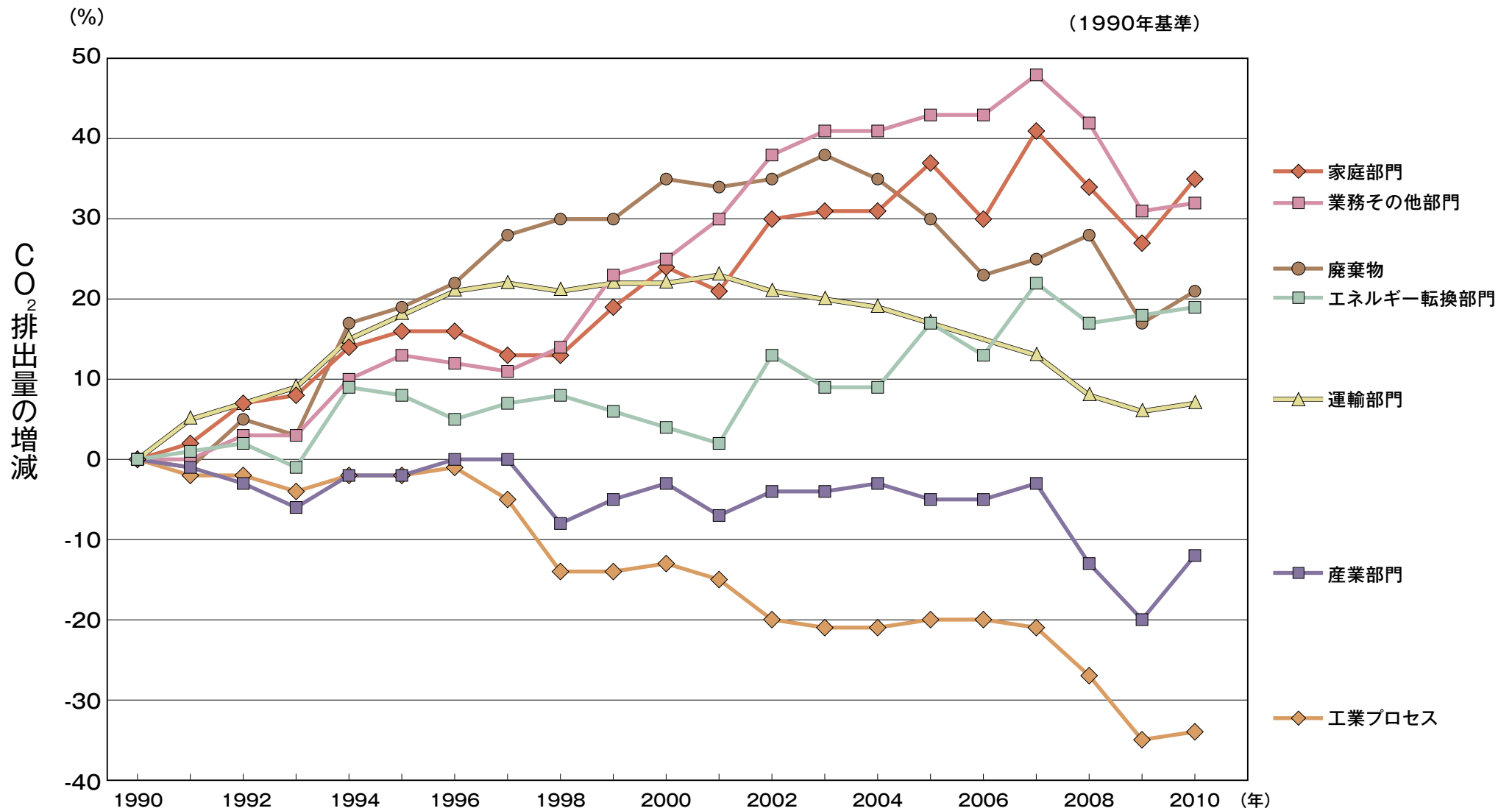
(注) 間接排出量(発電または熱発生に伴うCO₂排出量を、電力または熱消費量に応じて最終需要部門に配分した排出量)を示す

日本の温室効果ガス排出量の推移



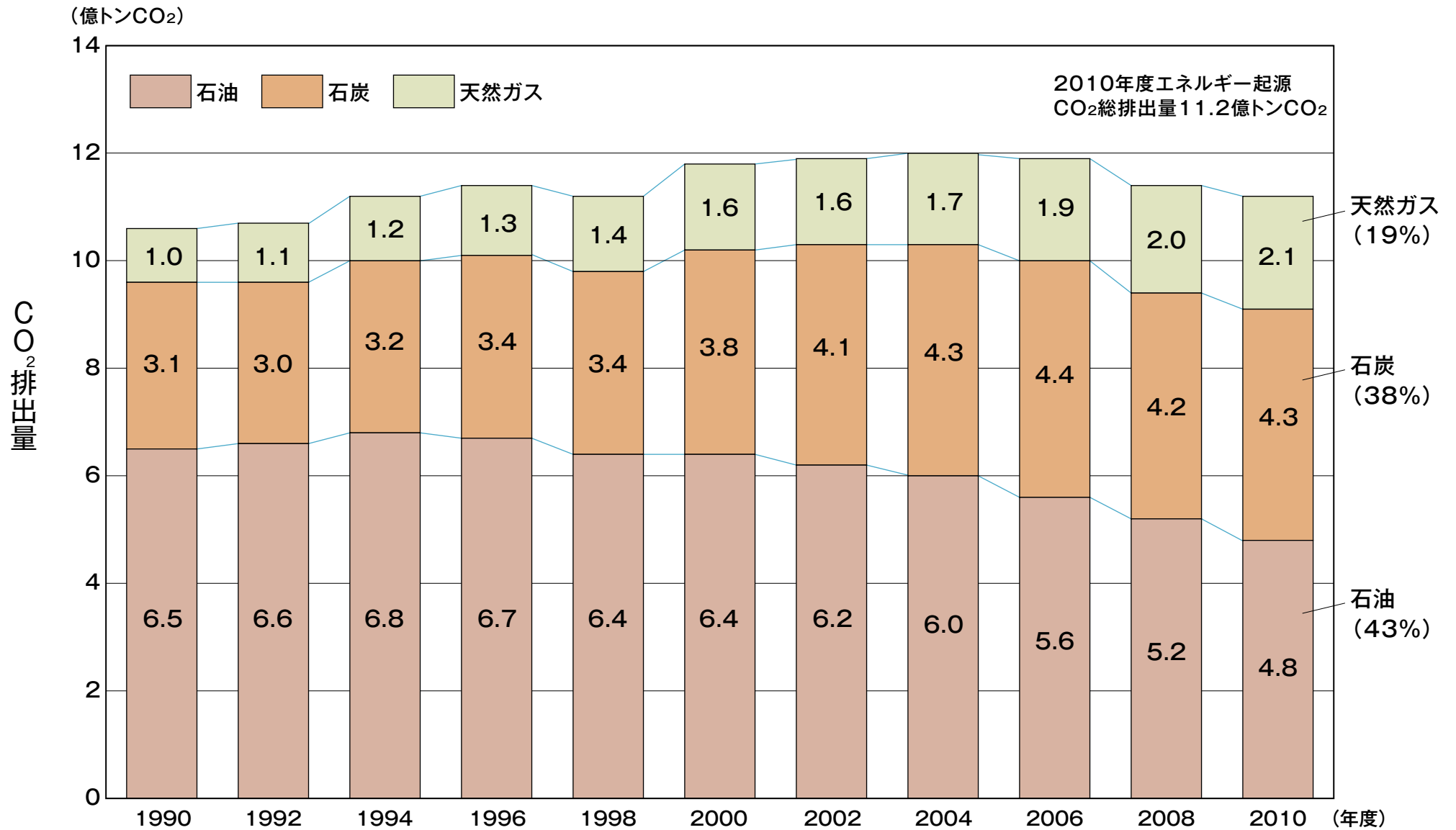
(注) 代替フロン等3ガス (HFCs、PFCs、SF₆)

部門別CO₂排出量の増減の推移



(注) 間接排出量(発電または熱発電に伴うCO₂排出量を電力または熱消費量に応じて最終需要部門に配分した排出量)の増減

エネルギー起源CO₂発生量の推移



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

電気事業におけるCO₂排出抑制対策

■供給側におけるエネルギーの低炭素化(CO₂排出原単位の低減)

非化石エネルギーの利用拡大

安全確保を大前提とした原子力発電の活用

再生可能エネルギーの開発・普及

- 水力、地熱、太陽光、風力、バイオマス

電力設備の効率向上

火力発電熱効率のさらなる向上

- LNGコンバインドサイクル発電の導入、石炭火力の高効率化

送配電ロス率の低減

- 高電圧送電、低損失型変圧器

国際的な取組み

京都メカニズム等の活用

セクター別アプローチへの取組み

- IEP（国際電力パートナーシップ）等

■需要側におけるエネルギー利用の効率化

省エネルギー

高効率電気機器の普及等

- ヒートポンプ（エコキュートなど）、蓄熱式空調等
- 国内クレジット制度を活用した省エネルギー・省CO₂活動への参加

再生可能エネルギー、未利用エネルギーの活用

- 空気熱、河川水、清掃工場や変電所の廃熱等の有効利用

省エネルギー・省CO₂PR活動・情報提供

- 環境家計簿、省エネ機器の展示会、省エネセミナーの開催

負荷平準化の推進

- 蓄熱式空調／給湯等

電気事業者自らの使用者としての取組み

オフィス利用、自社保有車両利用における取組み

- 電気使用量の削減、電気自動車や低燃費型車両の導入

■研究開発等

研究開発等

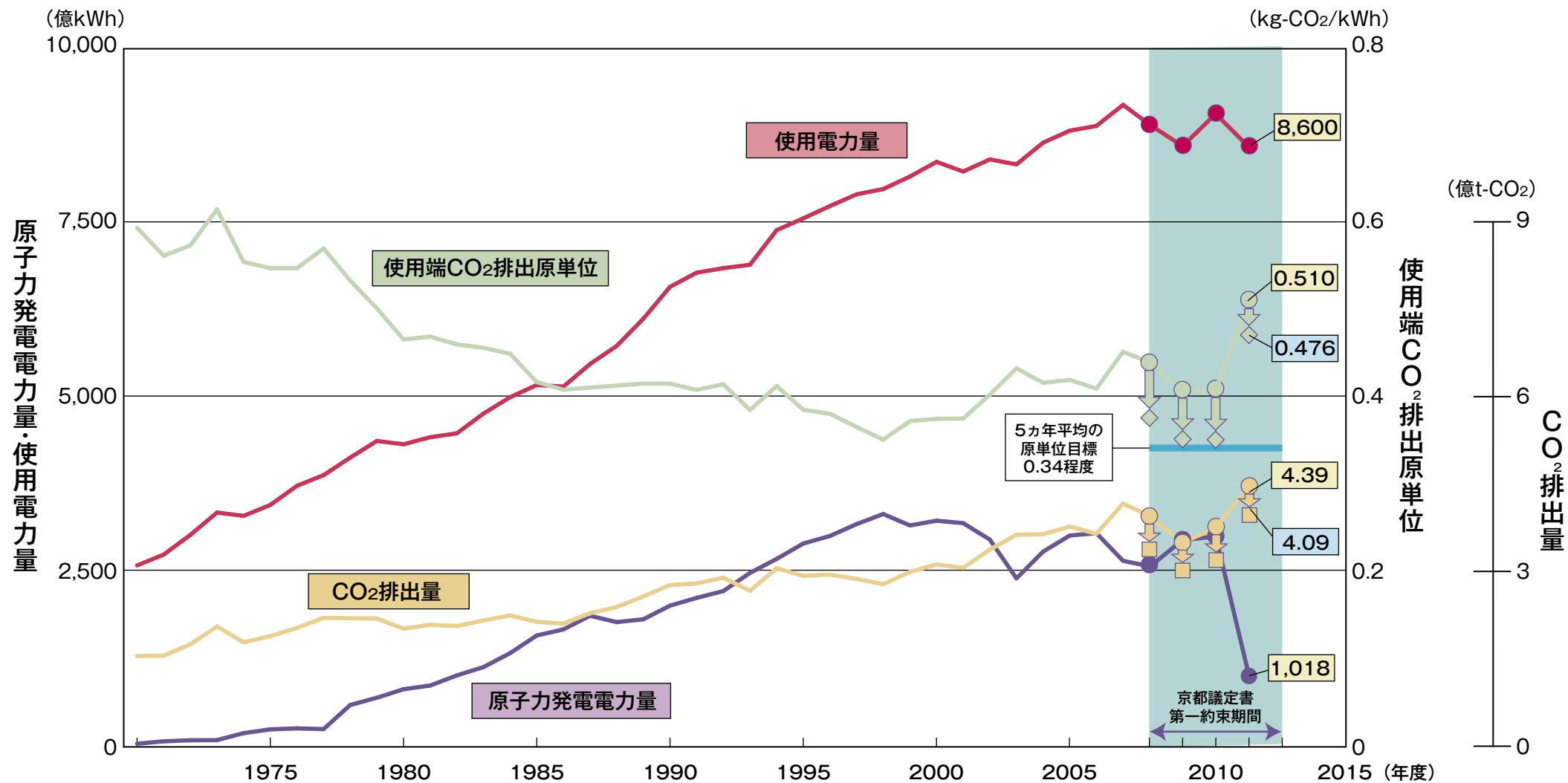
供給側

クリーンコールテクノロジー、次世代送配電ネットワーク（スマートグリッド）、CO₂回収・貯留技術等

需要側

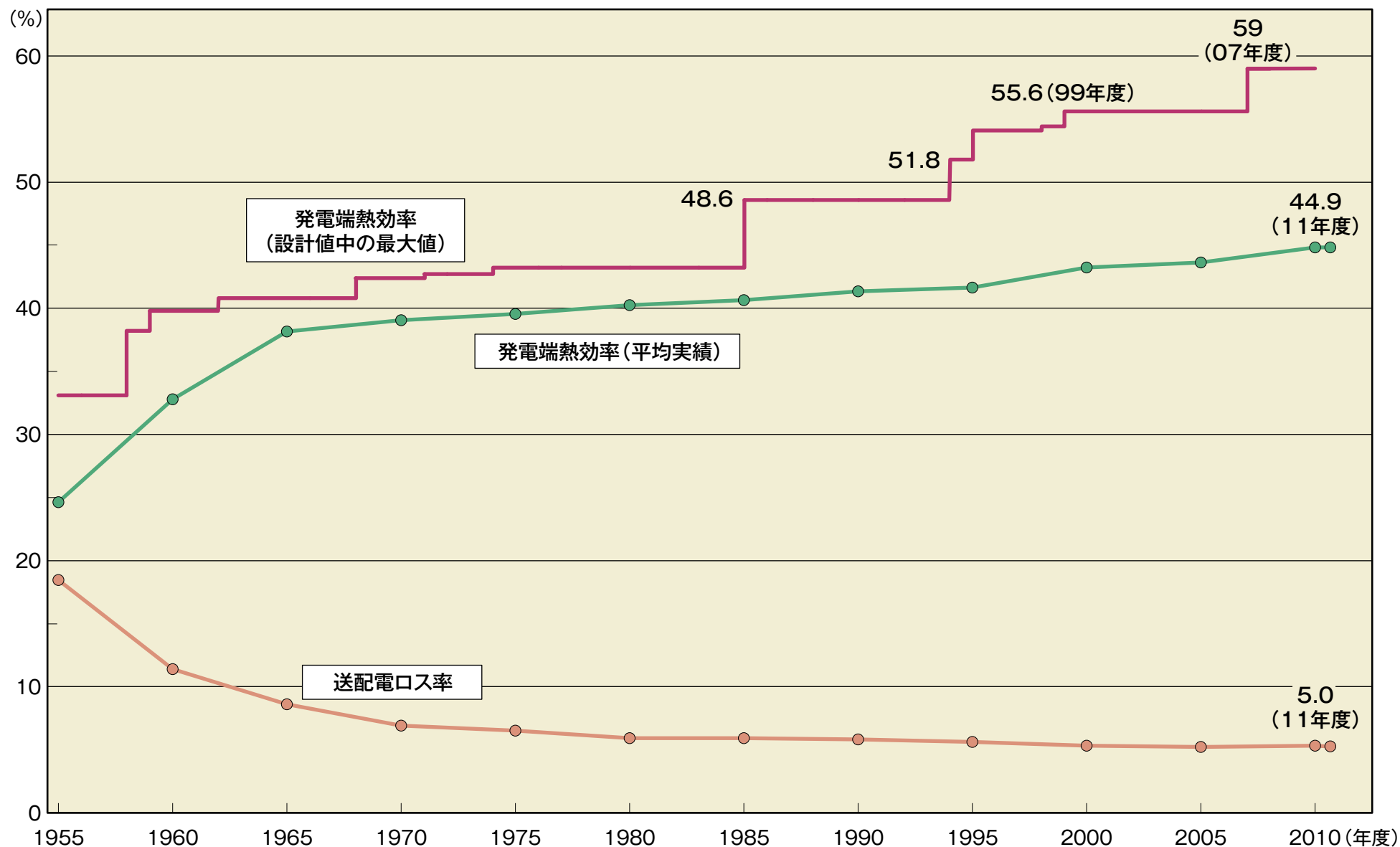
超高効率ヒートポンプ、電気自動車関連技術等

発電に伴うCO₂排出量等の推移



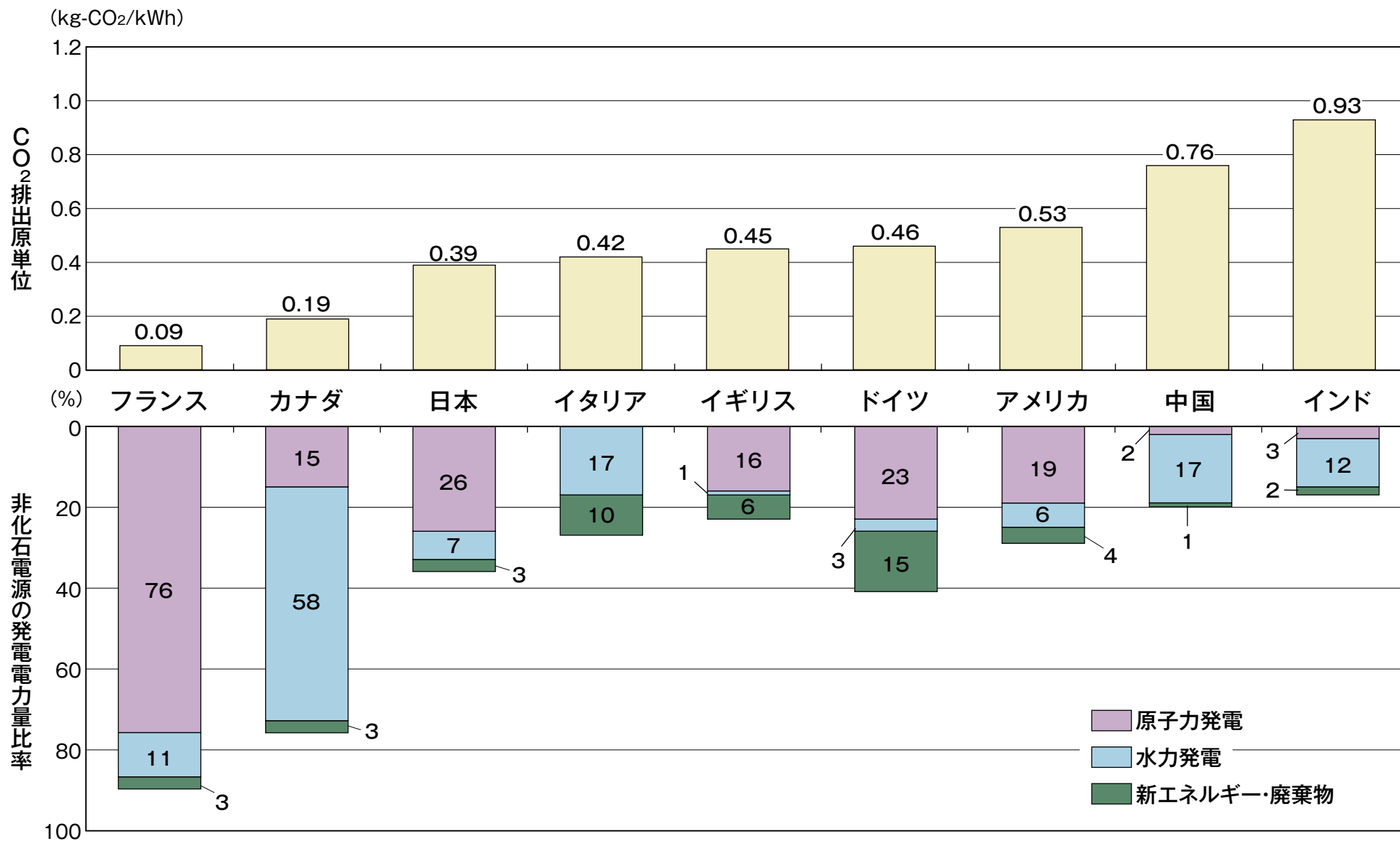
※マーカー(◇、■)は、京都メカニズムクレジットを反映した調整後使用端CO₂排出原単位及びCO₂排出量の実績を示す。電気事業では、2008～2012年度の5ヵ年平均で1990年比20%程度低減(0.34kg-CO₂/kWh程度にまで低減)を目標としている

火力発電設備の熱効率（低位発熱量）・送配電ロス率の推移



（注）低位発熱量は総合エネルギー統計の解説（2010年度改定版）の換算係数を用いて、高位発熱量より推定

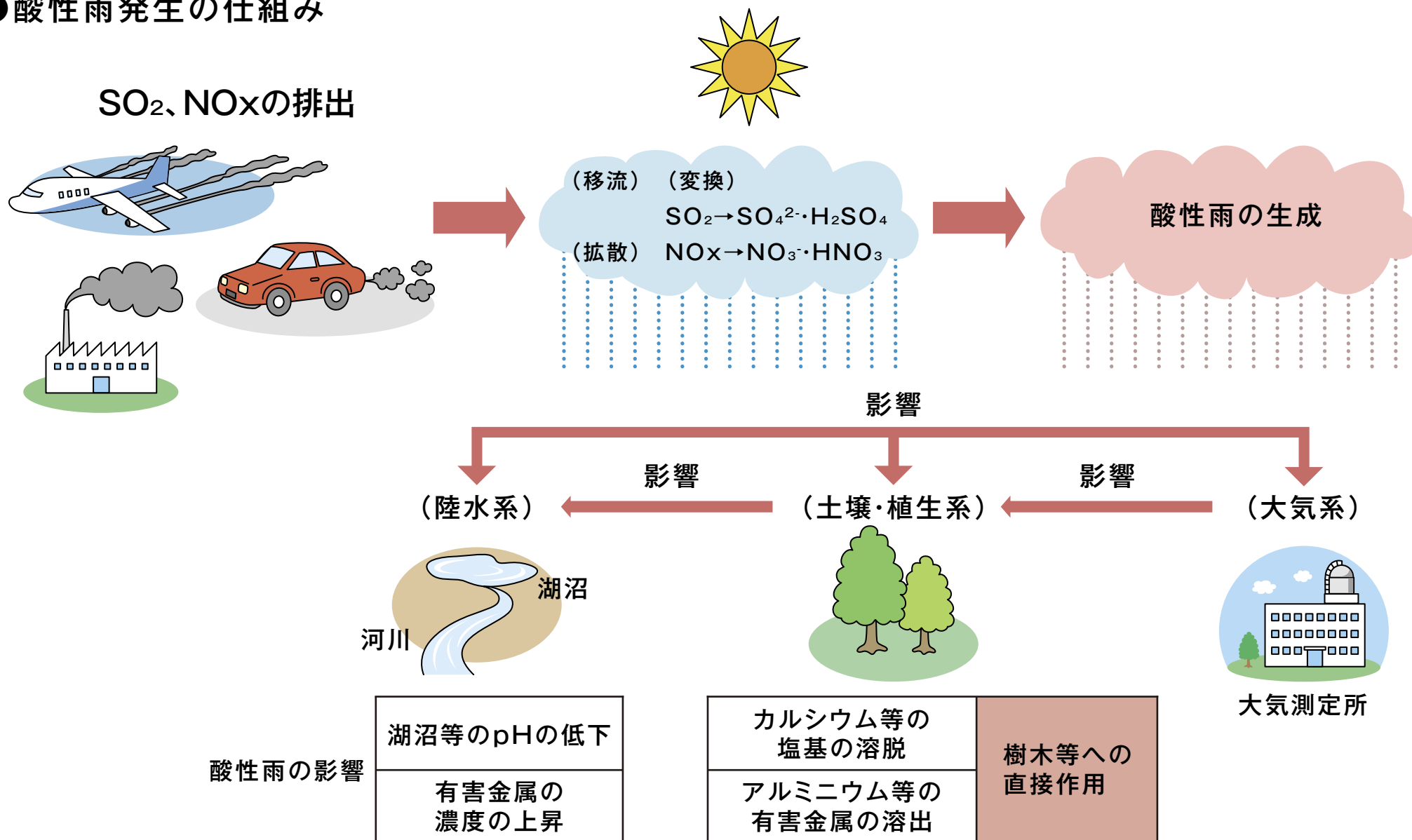
CO₂排出原単位(発電端)の各国比較



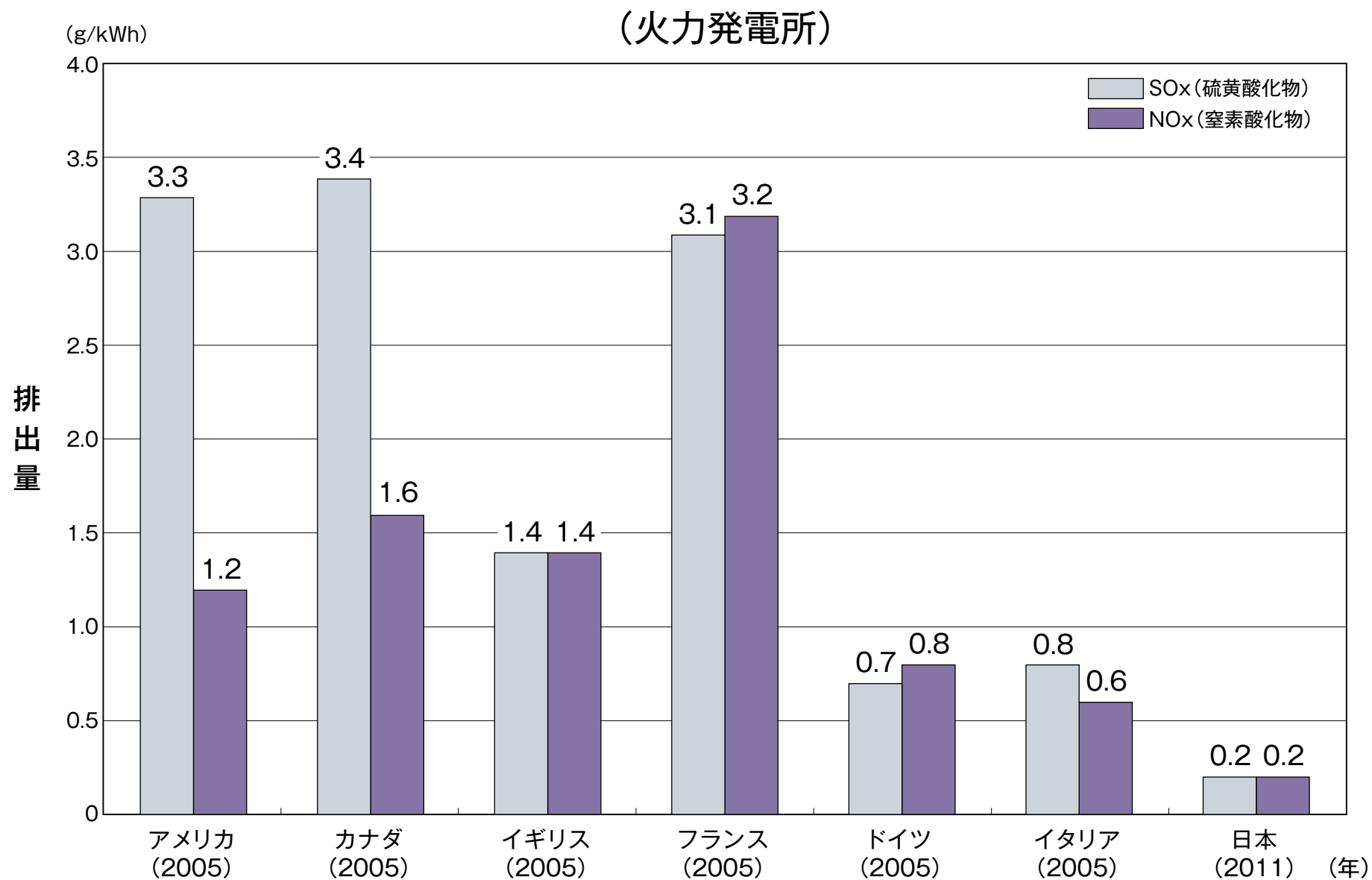
(注) 2010年の値。日本は自家用発電設備も含む。CHPプラント(熱電供給)も含む

酸性雨の発生

●酸性雨発生の仕組み



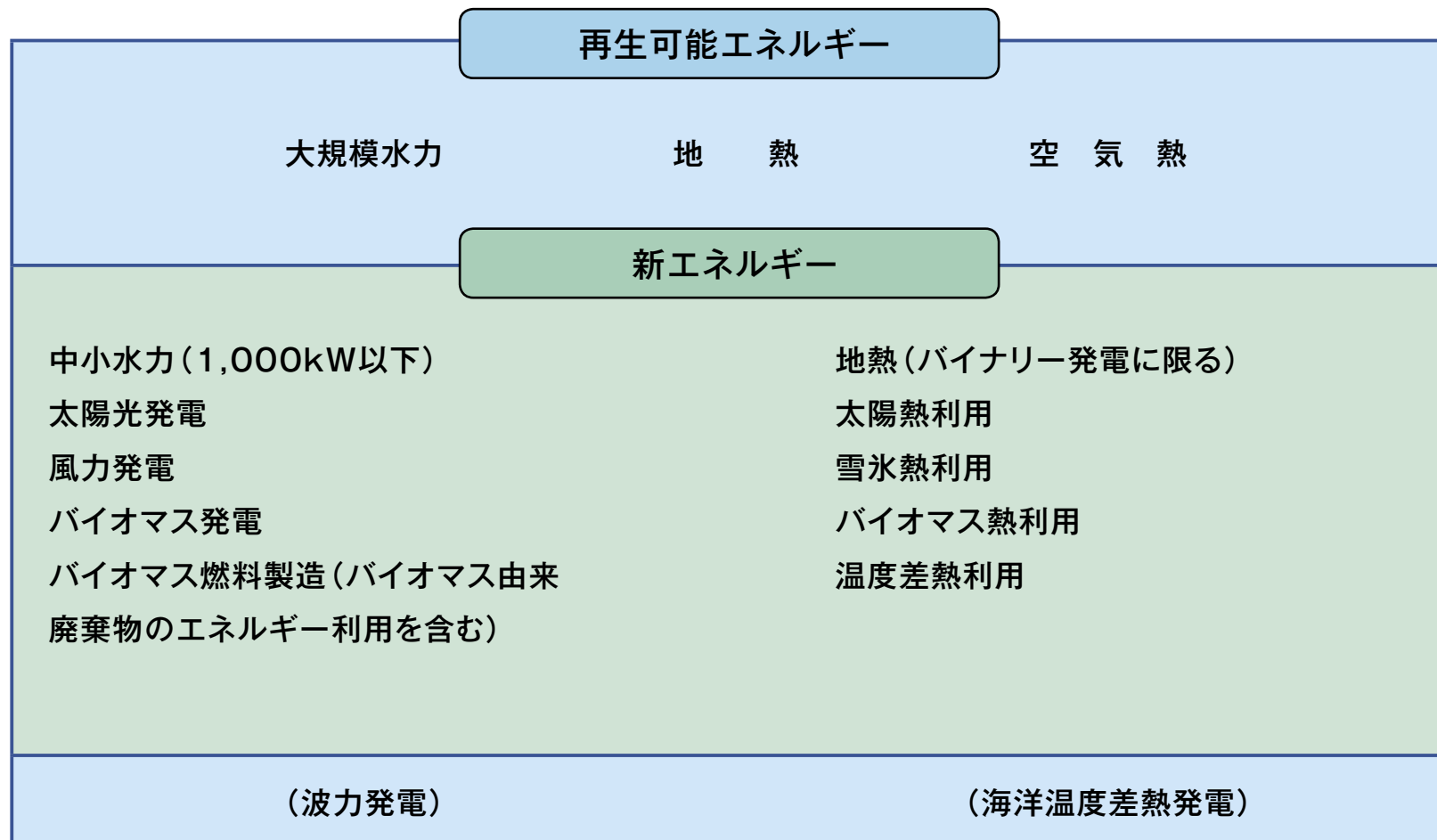
主要国の発電電力量あたりのSOxとNOx排出量



(注) 日本は電気事業連合会調べ(10電力会社+電源開発)

新エネルギーの定義

「新エネルギー」とは、自然のプロセス由来で絶えず補給される太陽、風力、バイオマス、地熱、水力等から生成される「再生可能エネルギー」のうち、技術的には導入段階にあるものの、コストが高いため、その普及に支援を必要とするものを指す。



新エネルギーの評価と課題

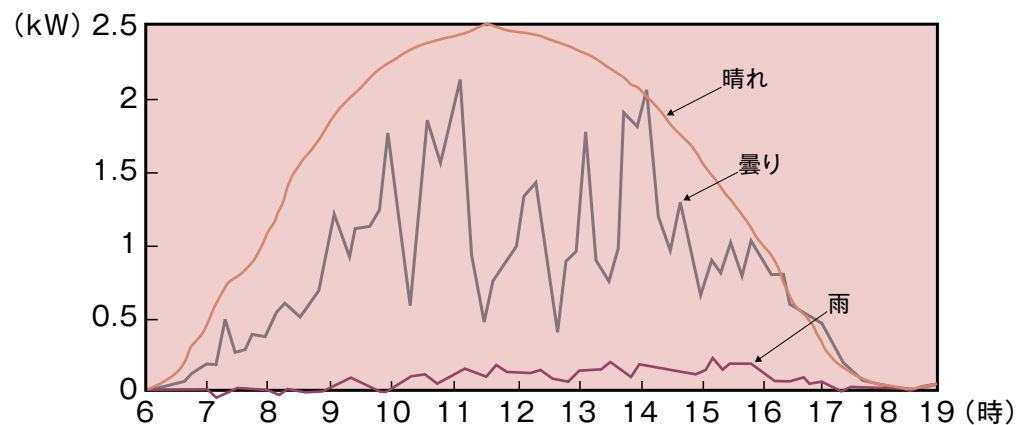
	太陽光発電	風力発電	廃棄物発電（バイオマス発電を含む）
メリット	○枯渇する心配がない ○発電時にCO₂等を出さない ○需要地に近いため送電ロスがない ○需要の多い昼間に発電	○枯渇する心配がない ○発電時にCO₂等を出さない	○発電に伴う追加的なCO₂の発生がない ○新エネルギーの中では連続的に得られる安定電源
デメリット	○エネルギー密度※¹が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○夜間は発電できず、さらに雨、曇りの日は発電出力が低下し不安定 ○設備にかかるコストが高い	○エネルギー密度が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要 ○風向き・風速に時間的・季節的変動があり、発電が不安定 ○風車の回転時に騒音が発生 ○風況の良い地点が偏在 ○設備にかかるコストが高い	○発電効率が低い ○ダイオキシンの排出抑制対策や焼却灰の減量化などの更なる環境負荷低減が必要
必要な敷地面積※ ²	100万kW級原子力発電所1基分を代替する場合		
	約58km ² 山手線の面積とほぼ同じ	約214km ² 山手線の面積の約3.4倍	
設備利用率	12%	20%	

※¹ エネルギー密度:単位面積あたりでどれくらい発電できるかを表す数値

※² 第1回低炭素電力供給システム研究会（平成20年7月）

太陽光・風力発電の出力変動

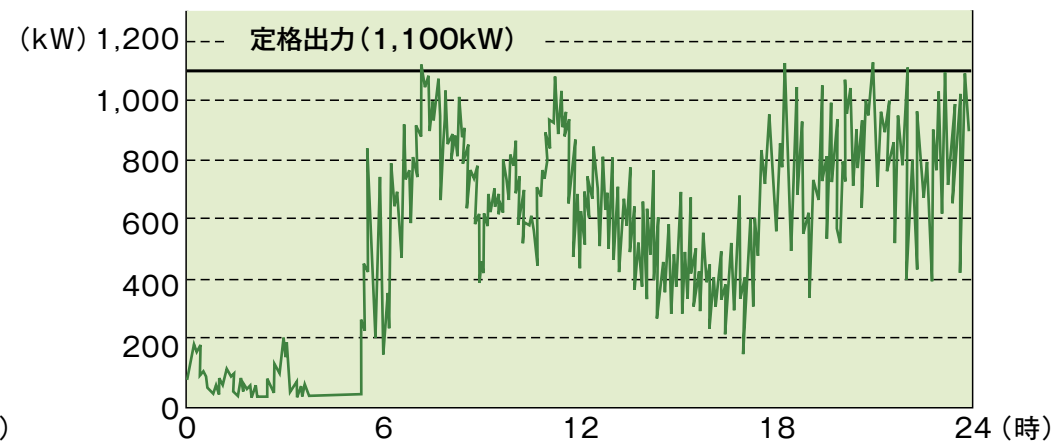
太陽光発電の出力変動(春季)



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

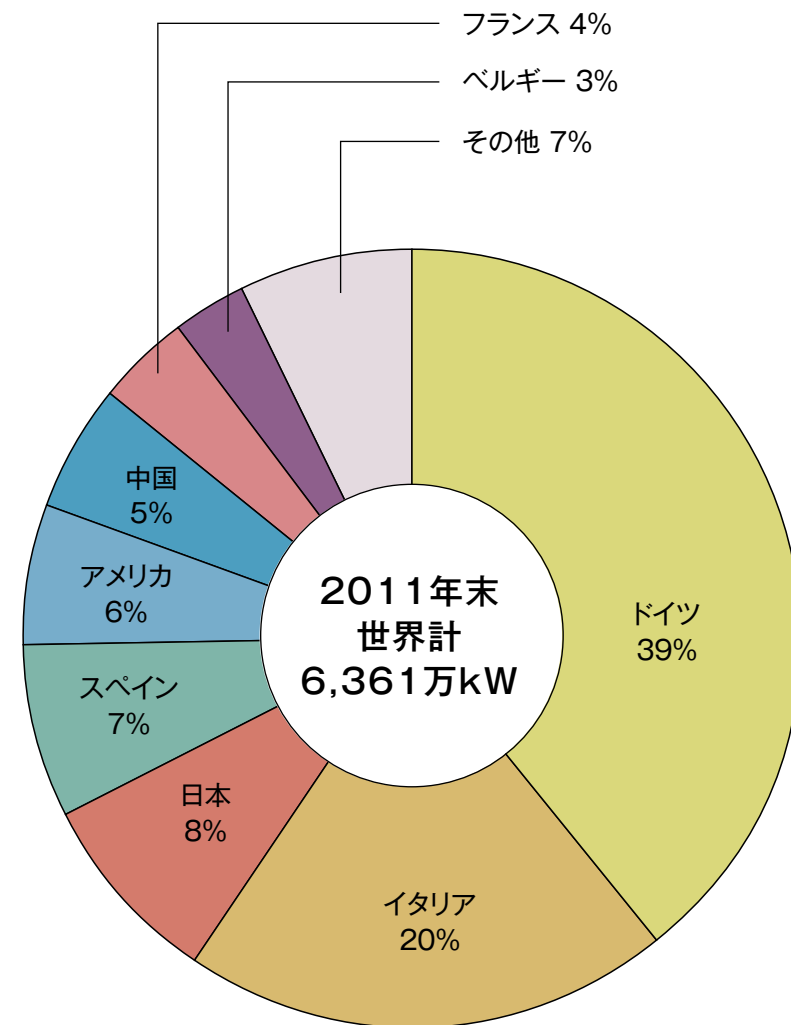
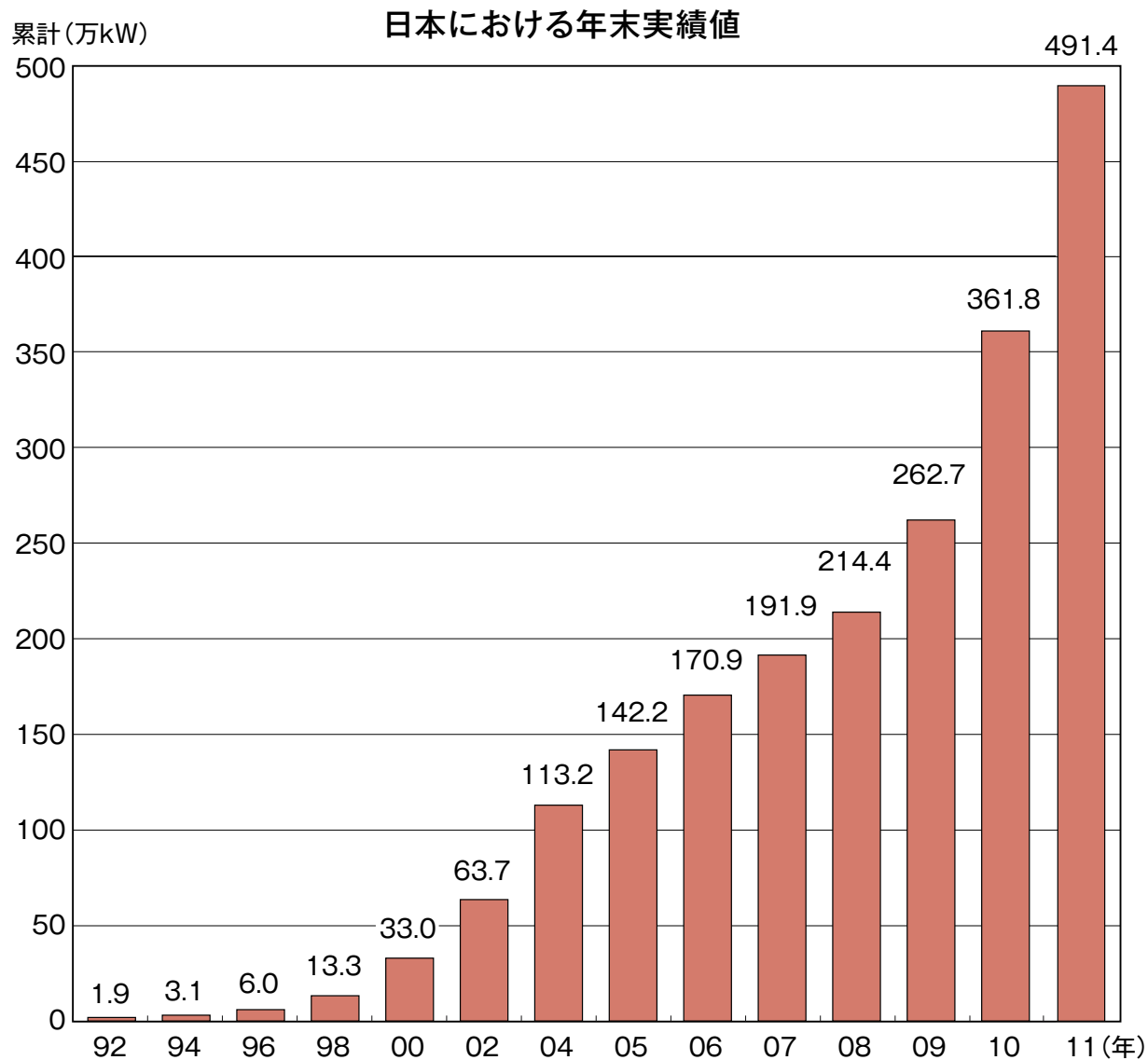
太陽光発電は
時間と天気で
発電量が変わる

風力発電の出力変動(冬季)



風力発電は
風の強さで
発電量が変わる

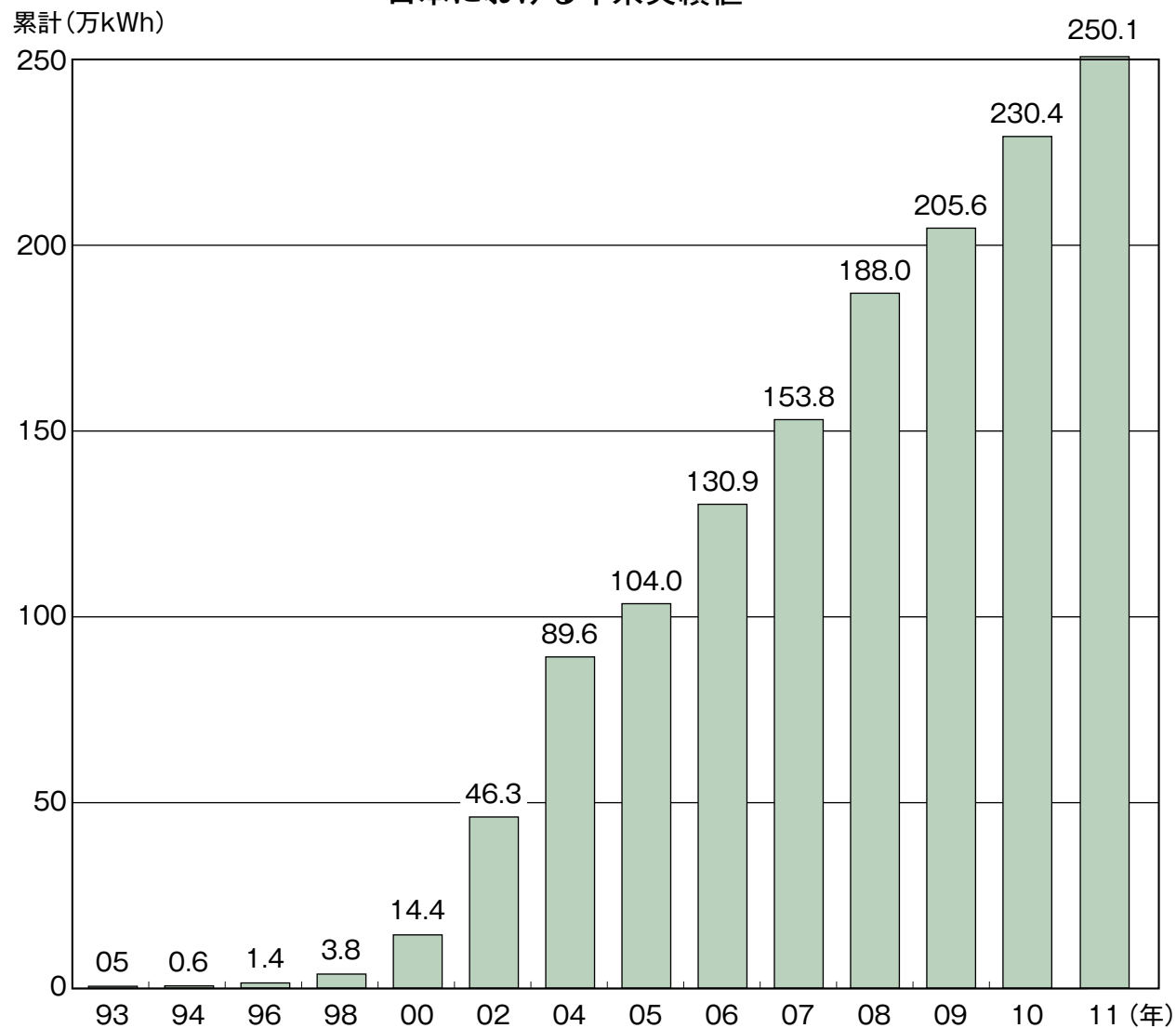
日本の太陽光発電導入量(出力)の推移



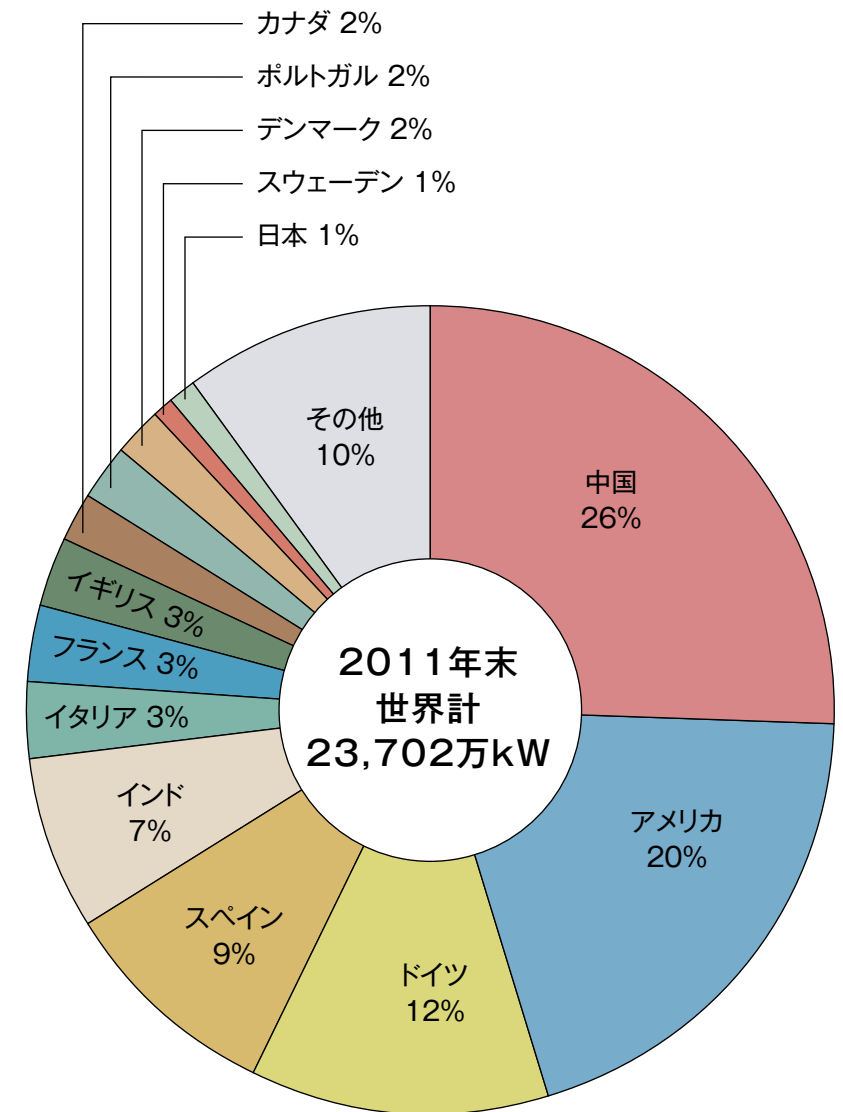
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

日本の風力発電導入量(出力)の推移

日本における年末実績値



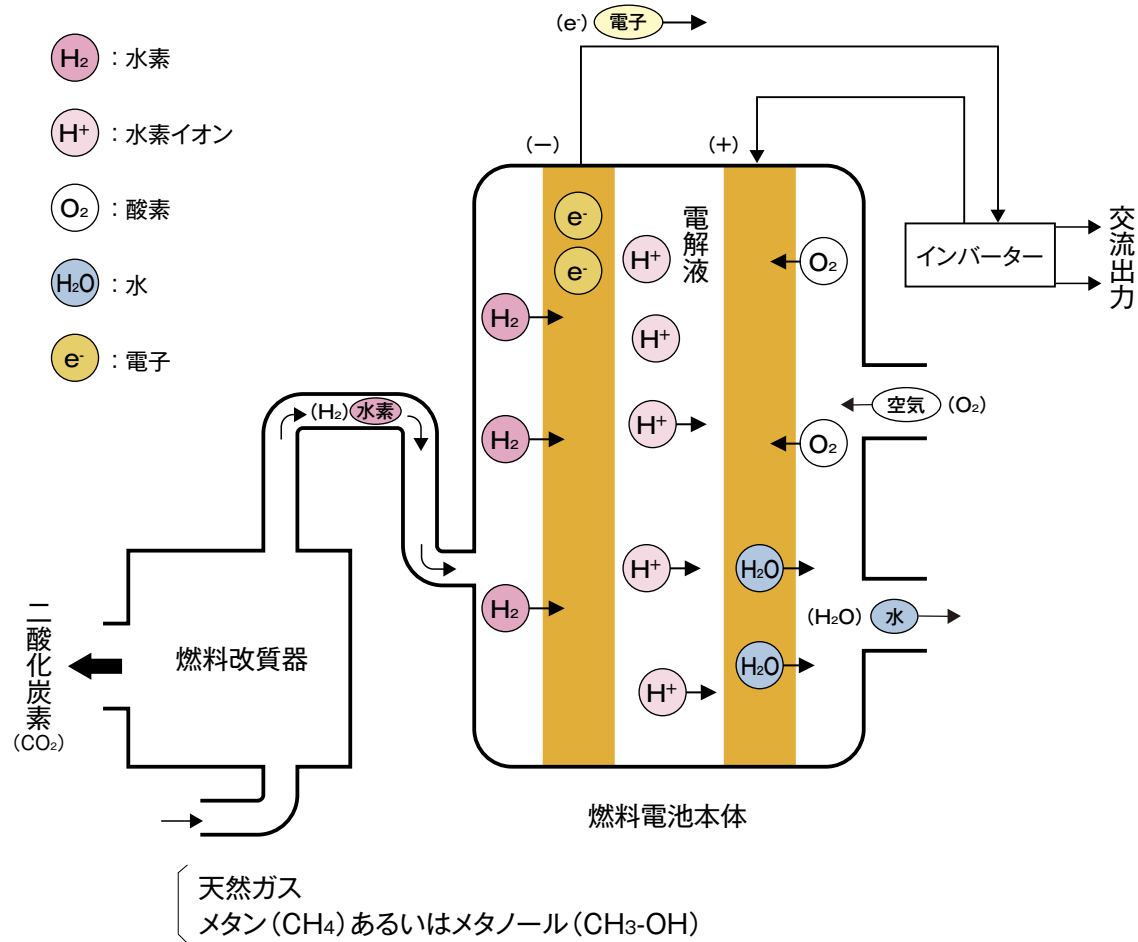
(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある



燃料電池のしくみ

しくみ:水素と酸素を反応させて電気を取り出す。

りん酸形燃料電池発電の概念図



〈メリット〉

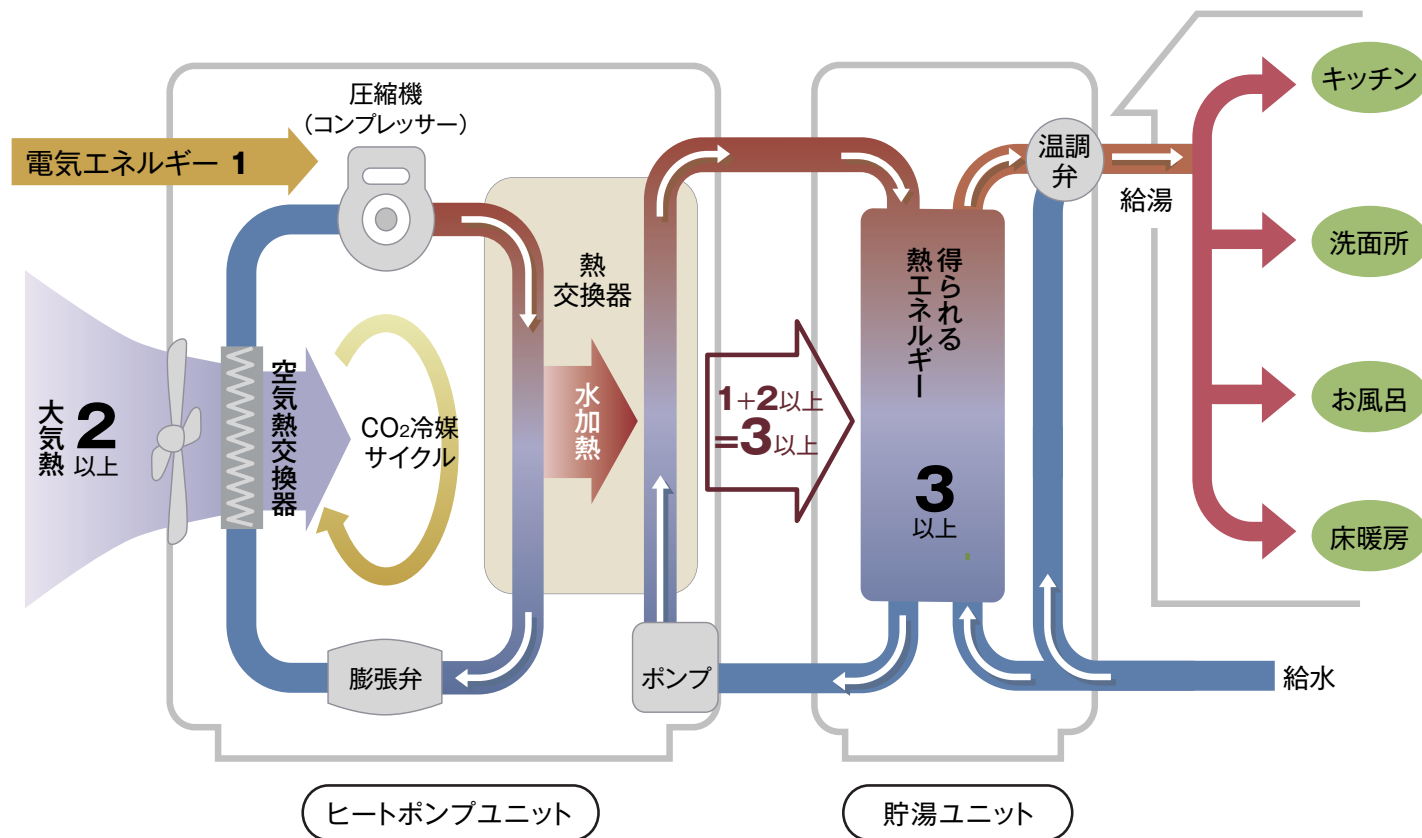
- 排熱利用を組み合わせれば総合熱効率が高い
- 硫黄酸化物 (SO_x) は全く発生せず、窒素酸化物 (NO_x) もほとんど発生しない
- 騒音が少ない
- 需要地に自由に設置できる

〈デメリット〉

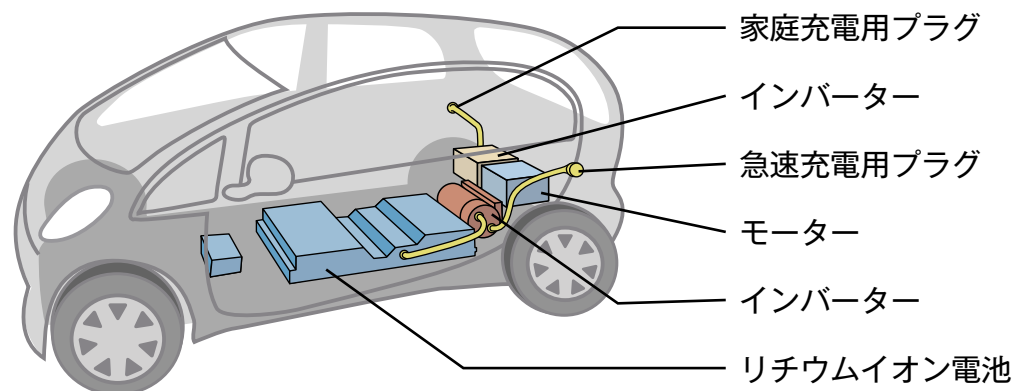
- 水素を供給するしくみが整っていない
- 化石燃料を用いて水素をつくる場合は CO_2 が発生する
- 電池の耐久性と、システムとしての信頼性が低い
- 設備にかかるコストが高い

CO₂冷媒ヒートポンプ給湯器のしくみ

●エコキュート



電気自動車のしくみ



特 長
・ CO ₂ 排出量*が少ない →ガソリン車の3割程度
・ 総合効率*が高い →1km走行あたりの一次エネルギー投入量が、ガソリン車の3割程度
・ 燃費費が安い →ガソリン車の3割程度以下
・ 都市環境の改善 →排気ガスがない、騒音が小さい等

課 題
・ 電池の値段が高い →技術開発・大量生産で価格低下見込み
・ 電池が大きい（重い） →技術開発で小型軽量化の見込み
・ 充電スタンドが少ない →電気自動車の普及と並行して整備が進展

※CO₂排出量、総合効率はエネルギーの生産・供給・消費までの全体を通しての評価

メガソーラー発電

(2012年8月末現在)



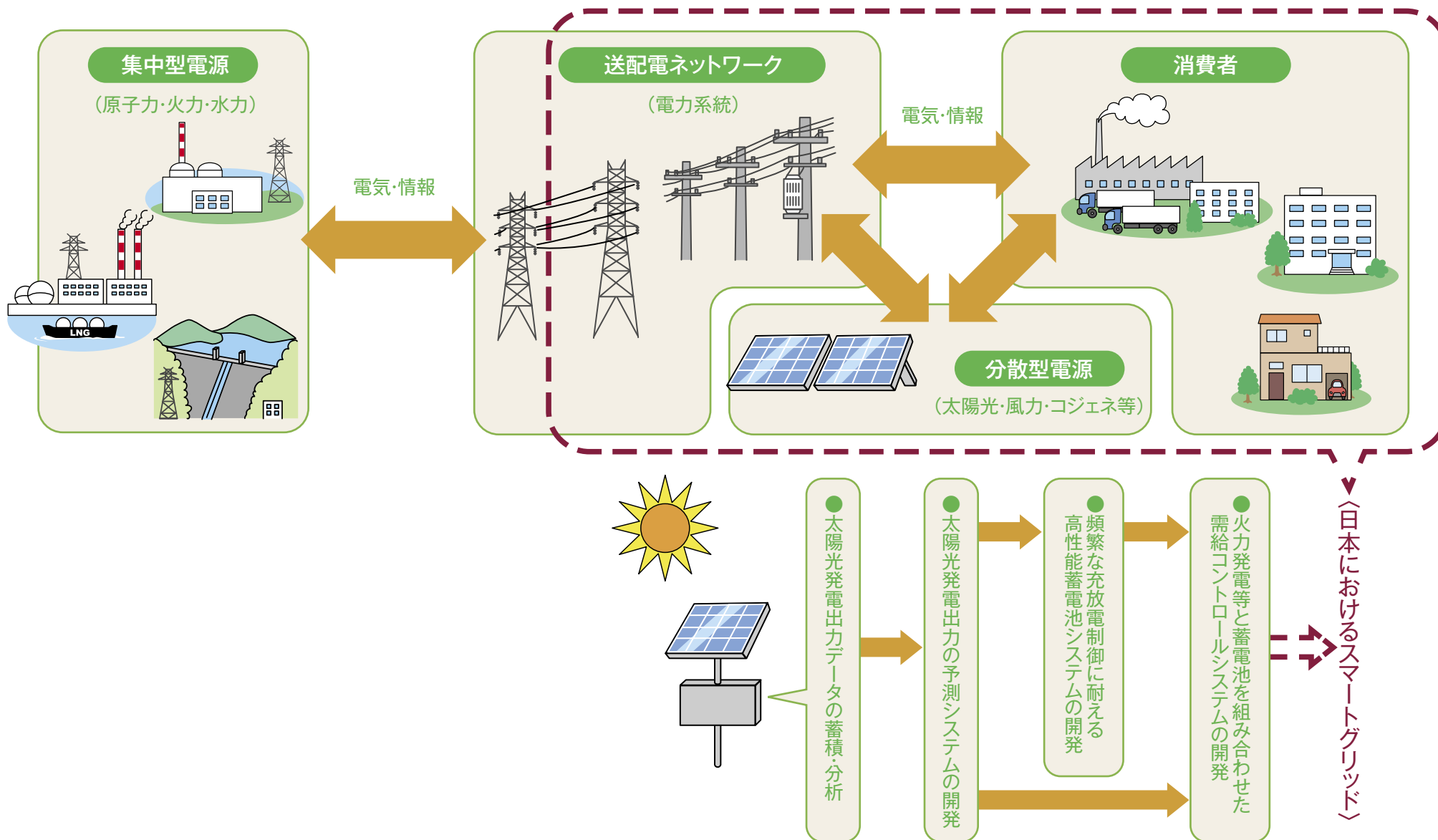
電力	地点数	概算導入量 (千kW)	既運開量 (千kW)	運転開始時期	発電所名(所在地)
北海道	1	1	1	2011.6	伊達ソーラー発電所(北海道伊達市)
東北	3	1.5	1.5	2011.12	八戸太陽光発電所(青森県八戸市)
		2	2	2012.5	仙台太陽光発電所(宮城県七ヶ浜)
		1		2015.1	原町火力発電所構内に建設(福島県南相馬市)
東京	3	7	7	2011.8	浮島太陽光発電所(神奈川県川崎市)
		13	13	2011.12	扇島太陽光発電所(神奈川県川崎市)
		10	10	2012.1	米倉山太陽光発電所(山梨県甲府市)
中部	3	7.5	7.5	2011.10	メガソーラーたけとよ(愛知県武豊町)
		1	1	2011.1	メガソーラーいいだ(長野県飯田市)
		8		2015.2	メガソーラーしみず(静岡県静岡市)
北陸	4	1	1	2011.3	志賀太陽光発電所(石川県志賀町)
		1	1	2011.4	富山太陽光発電所(富山県富山市)
		1		2012.9	三国太陽光発電所(福井県坂井市)
		1		2012.11	珠洲太陽光発電所(石川県珠洲市)
関西	4	10	10	2011.9※1	堺太陽光発電所(大阪府堺市)
		18		未定	大阪府堺市に建設(シャープとJV)
		0.5		2013年度	福井県大飯郡おおい町に建設
		0.5		2014年度	福井県大飯郡高浜町に建設
中国	2	3	3	2011.12	福山太陽光発電所(広島県福山市)
		3		2014.12	宇部太陽光発電所(山口県宇部市)
四国	1	4.3※2	2	2010.12	松山太陽光発電所の一部が運転開始(愛媛県松山市)
九州	2	3	3	2010.11	メガソーラー大牟田発電所(福岡県大牟田市)
		13※3		2012・13年度	長崎県大村市に建設(発電所跡地)
沖縄	2	4	4	2010.10	宮古島メガソーラ実証研究設備(沖縄県宮古島市)
		1	1	2012.3	安部メガソーラ実証研究設備(名護市所有地)
合計	25	116.3	68		

※1 2010年10月に一部運転開始。

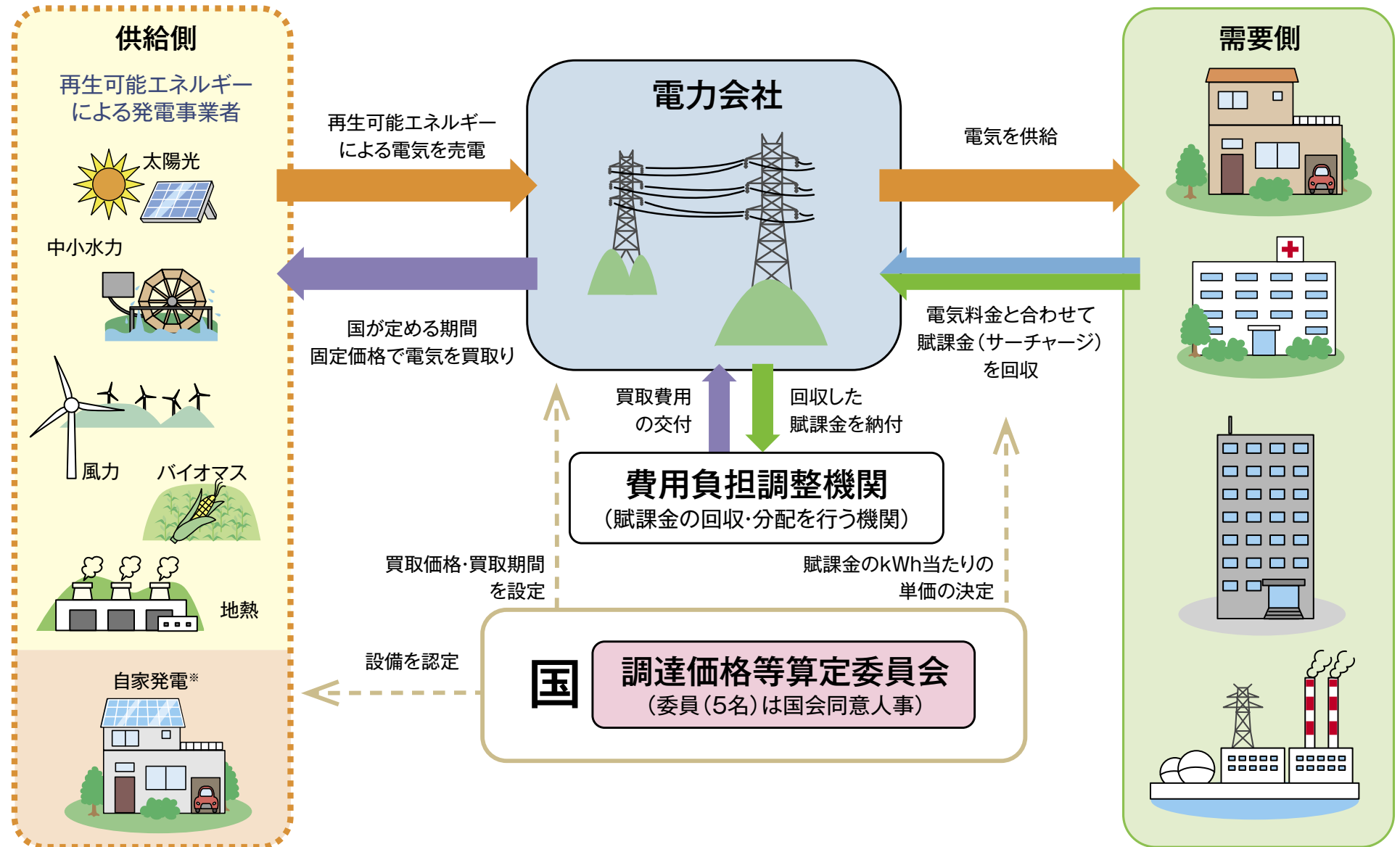
※2 2020年度までに4.3千kW全て運転開始予定。

※3 2012年度に3千kW、2013年度に10千kWを運転開始予定。

日本におけるスマートグリッド概念図

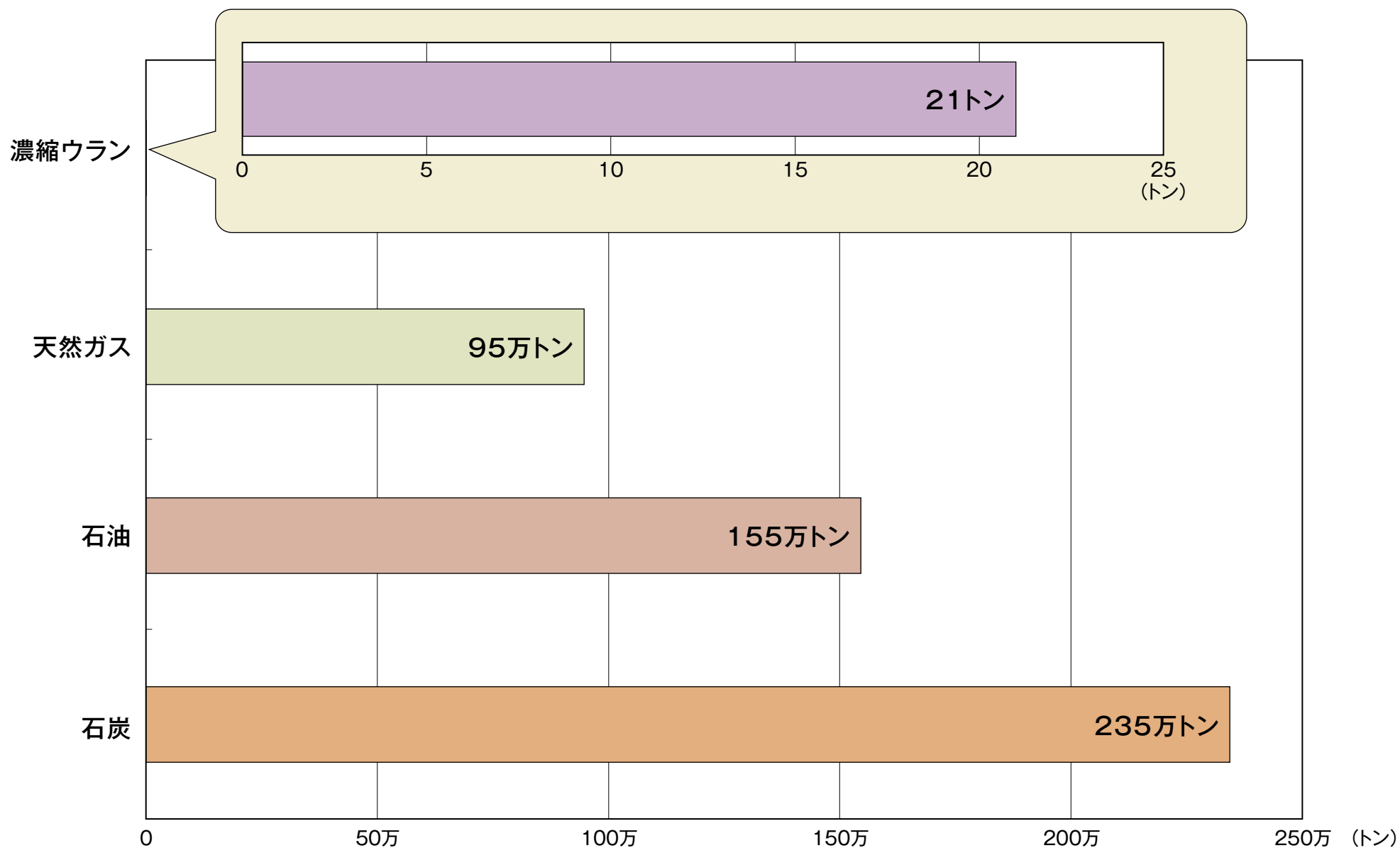


再生可能エネルギーの固定価格買取制度の概要



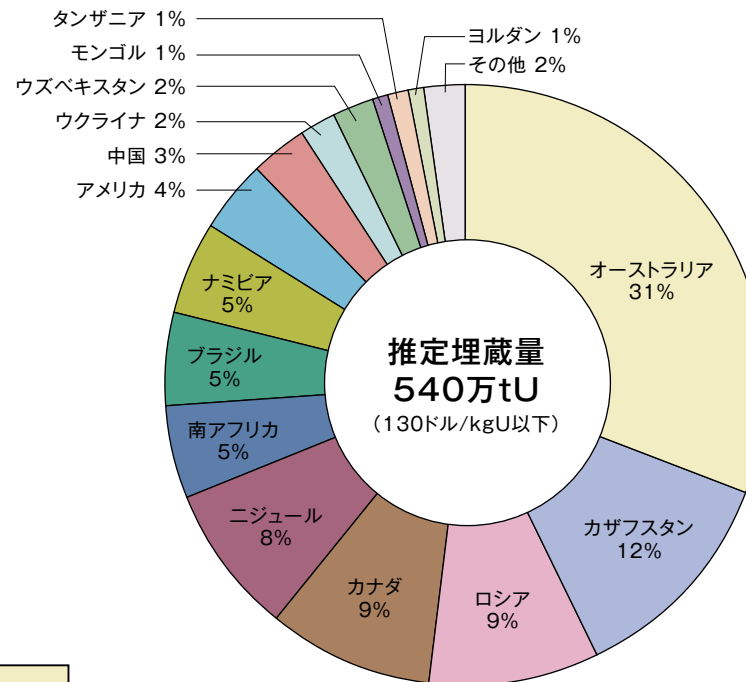
※10kW未満の太陽光は余剰買取

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



ウラン資源埋蔵量と確保状況

ウラン資源埋蔵量



日本のウラン購入契約状況

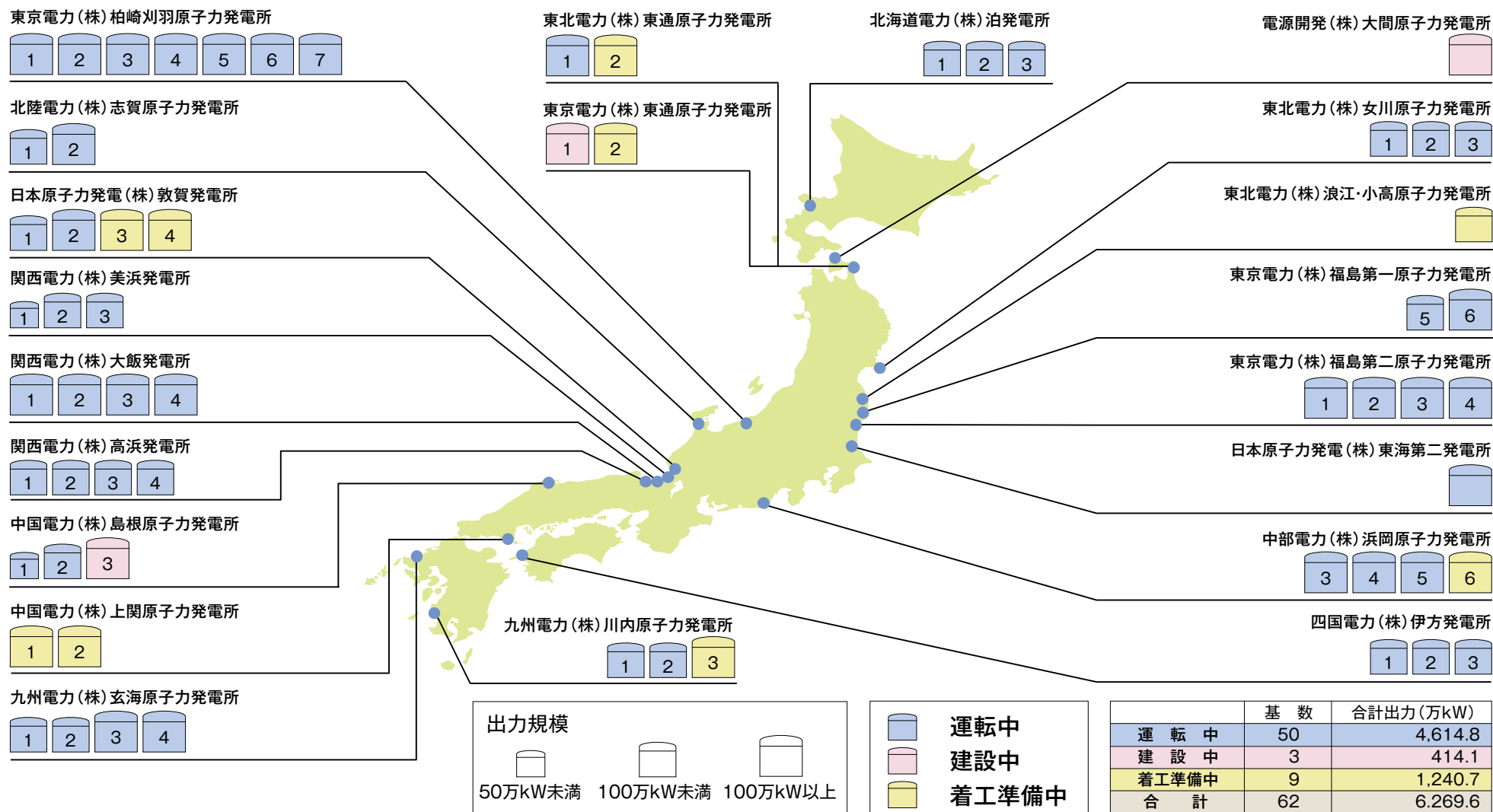
(2011年3月現在)

輸入契約形態	相手先国	契約数量 (U ₃ O ₈ ショート・トン)
長期契約、短期契約および製品購入	カナダ、イギリス、南アフリカ、 オーストラリア、フランス、アメリカ 等	約377,100
開発輸入分	ニジェール、カナダ、カザフスタン 等	約81,600
合 計		約454,700

(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。tU:金属ウランでの重量トン。1ショート・トン= 約0.907トン

日本の原子力発電所の運転・建設状況

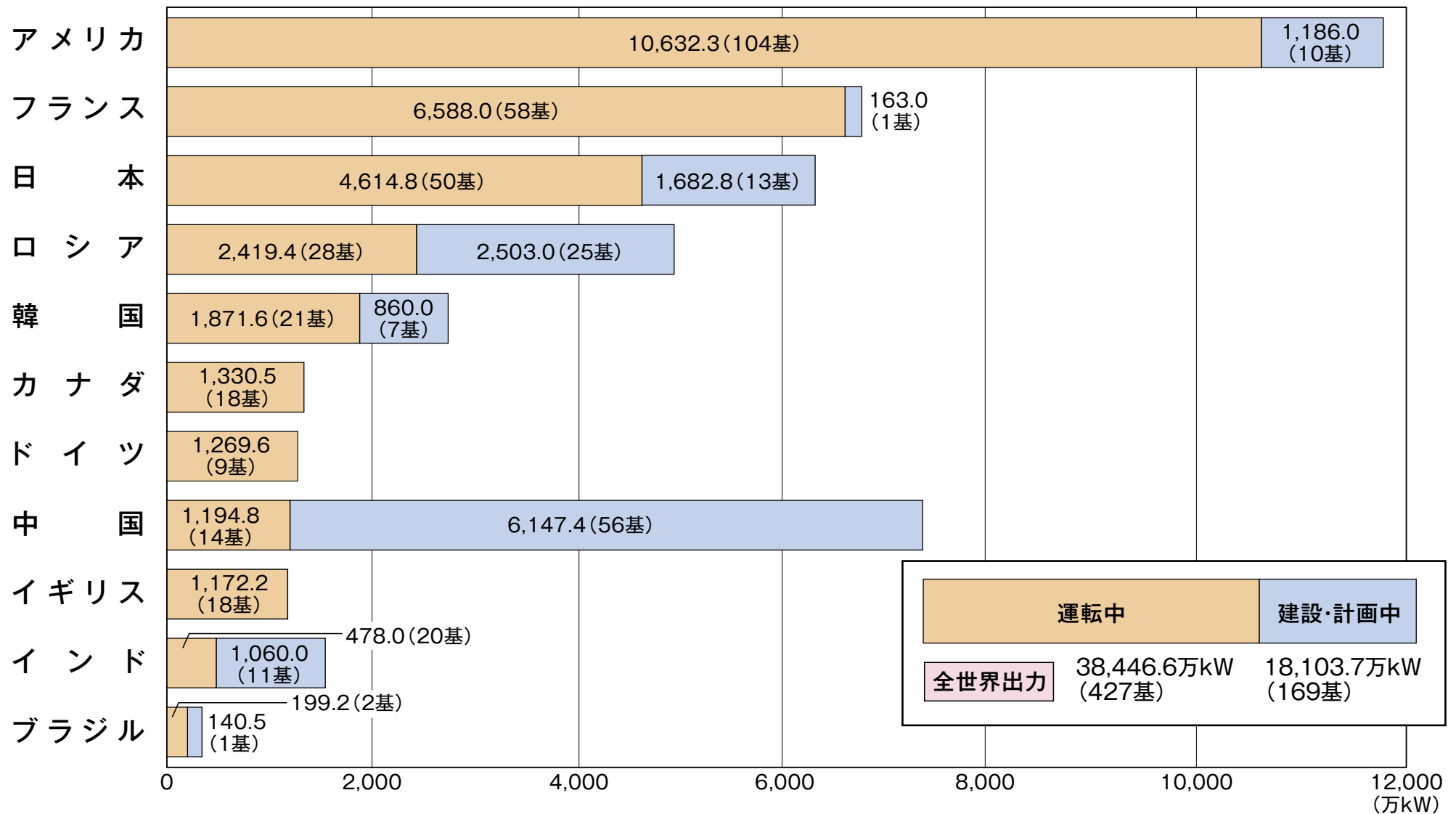
(商業用・2012年4月末現在)



※東京電力(株)福島第一原子力発電所1号機～4号機は2012年4月19日で廃止
中部電力(株)浜岡原子力発電所1、2号機は2009年1月30日で営業運転を終了し廃止措置中
日本原子力発電(株)東海発電所は1998年3月31日で営業運転を終了し廃止措置中

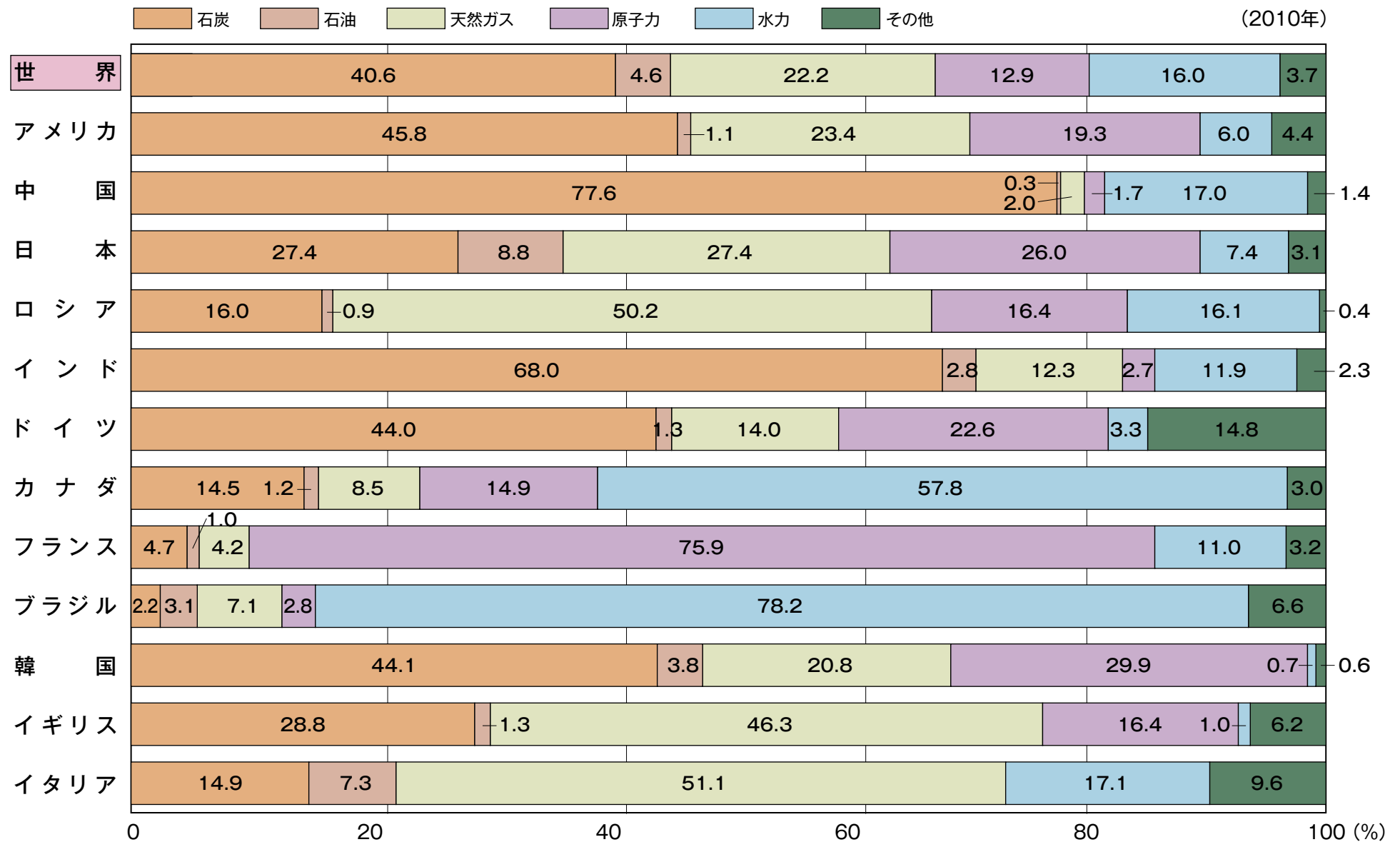
主要国の原子力発電設備

(2012年1月1日現在)



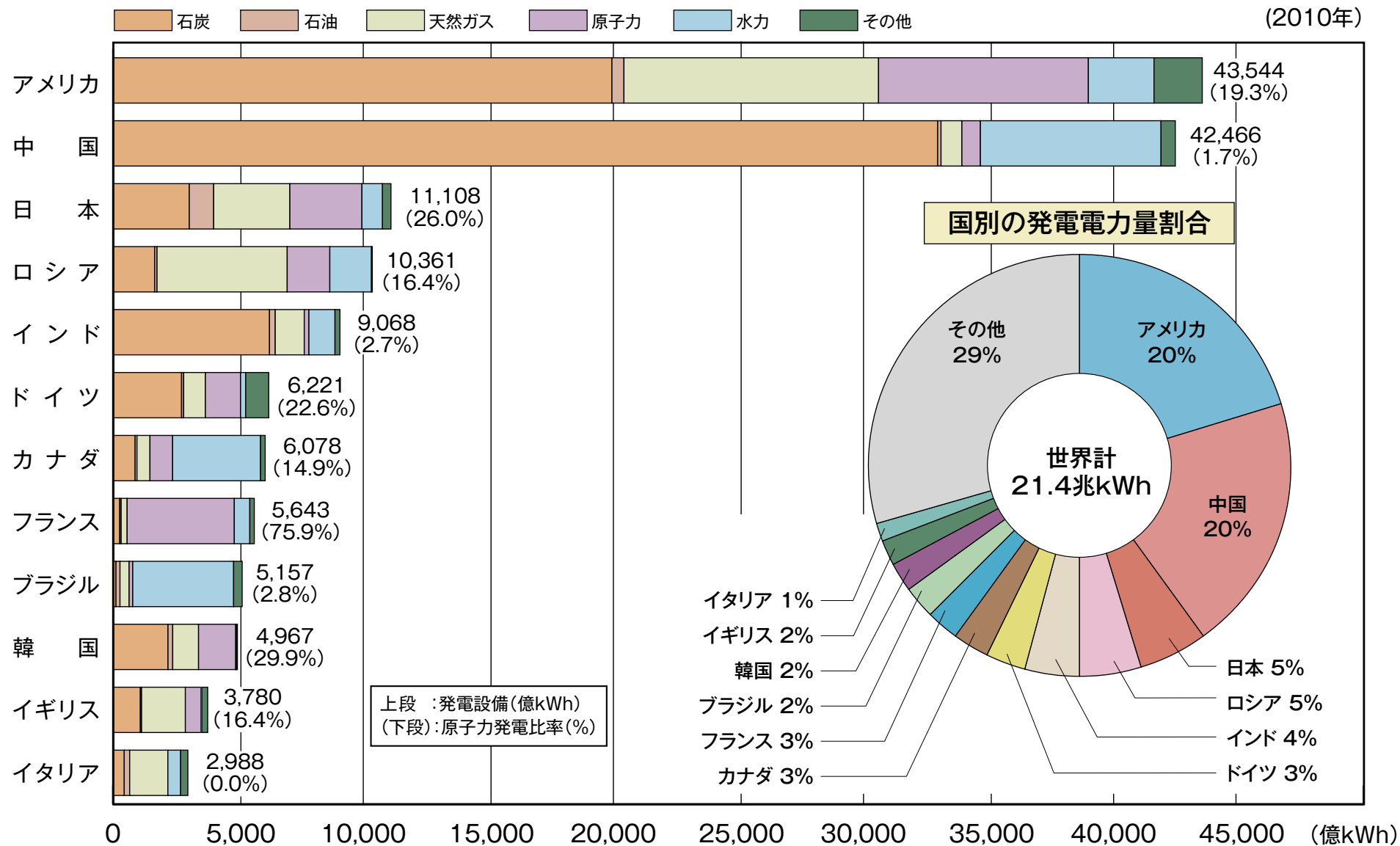
(注) 日本については2012年4月末現在のデータ

主要国の電源別発電電力量の構成比



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

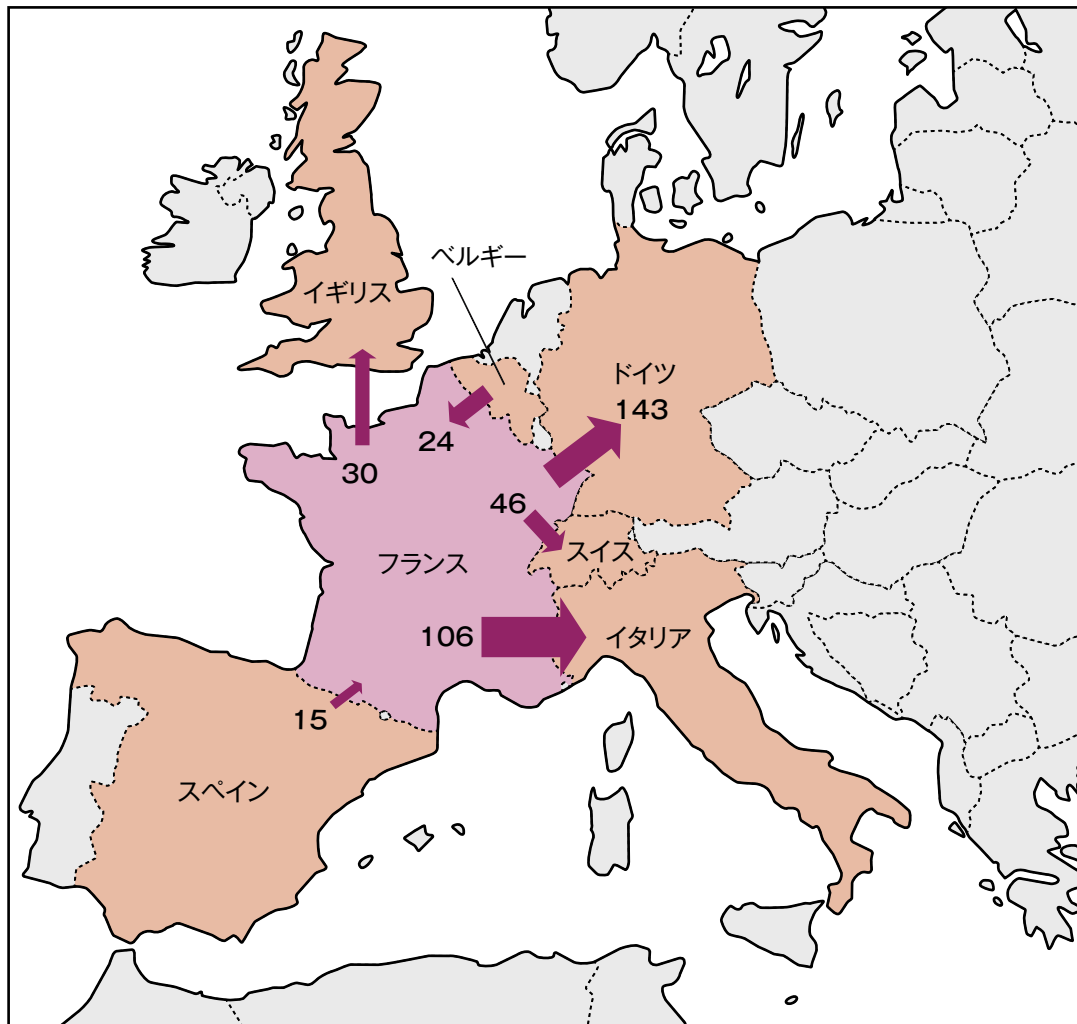
主要国の発電電力量と原子力発電の割合



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

フランスを中心とした電力の輸出入

(単位:億kWh)

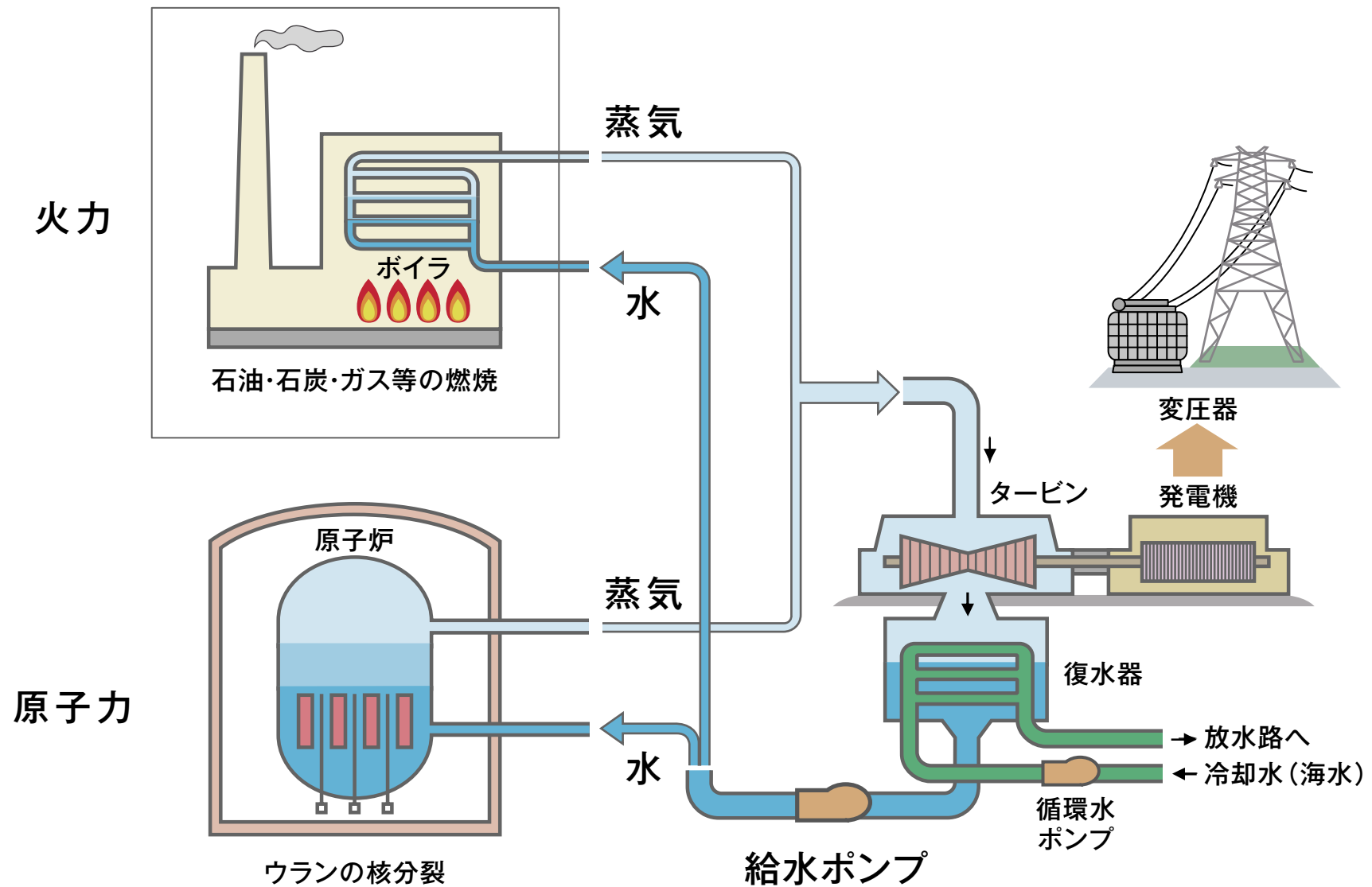


(2010年)

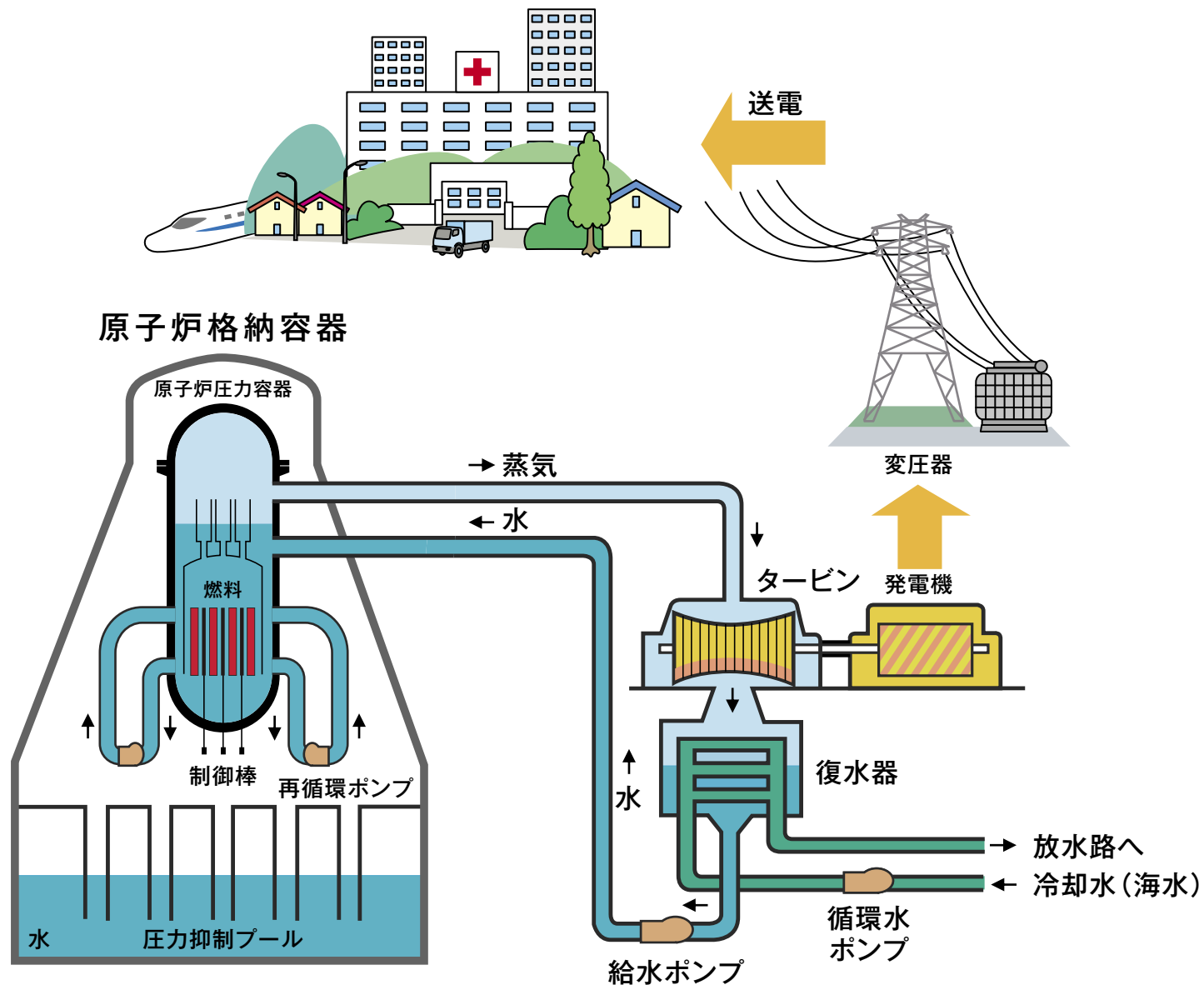
フランスからの輸出電力量(A)	286億kWh
フランスの発電電力量(B) (送電端)	5,502億kWh
輸出比率(A/B)	5%

(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

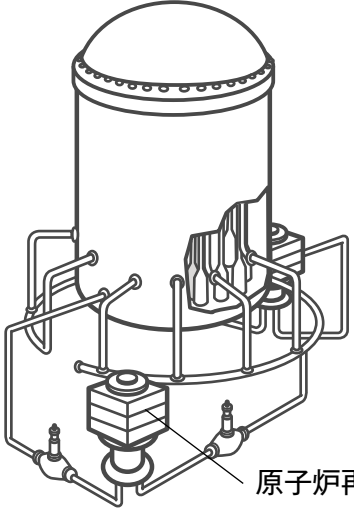
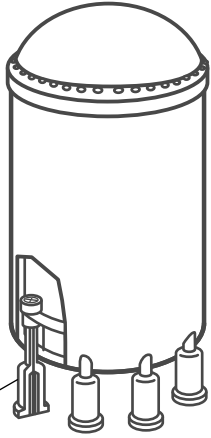
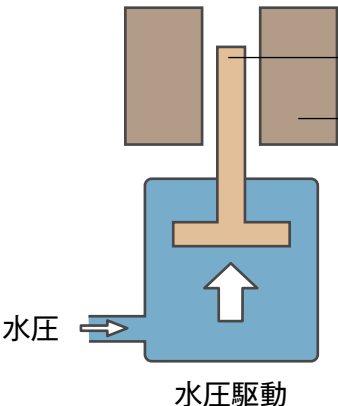
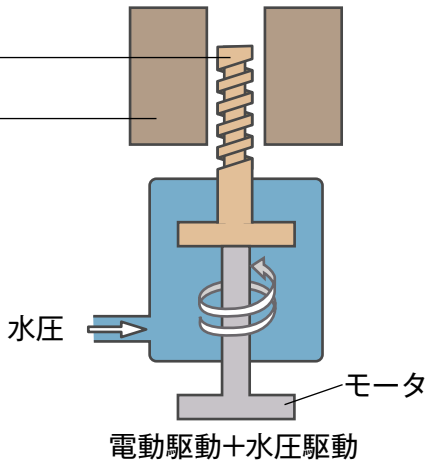
火力発電と原子力発電の違い



沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



改良型沸騰水型炉 (ABWR) の構造上の特徴

	BWR	ABWR
格納容器の小型化 原子炉系の単純化	 原子炉再循環ポンプ	 原子炉内蔵型再循環ポンプ (インターナルポンプ)
制御棒駆動機構の多様化	 水圧 水圧駆動	 制御棒 燃料 水圧 モータ 電動駆動+水圧駆動

改良型沸騰水型炉 (ABWR) の特長

原子炉系の単純化・格納容器の小型化・制御棒駆動機構の多様化
耐震性の向上・非常用炉心冷却システムの最適化



安全性・信頼性の向上

放射線量の低減
放射性廃棄物発生量の低減

運転性・保守性の向上

経済性の向上



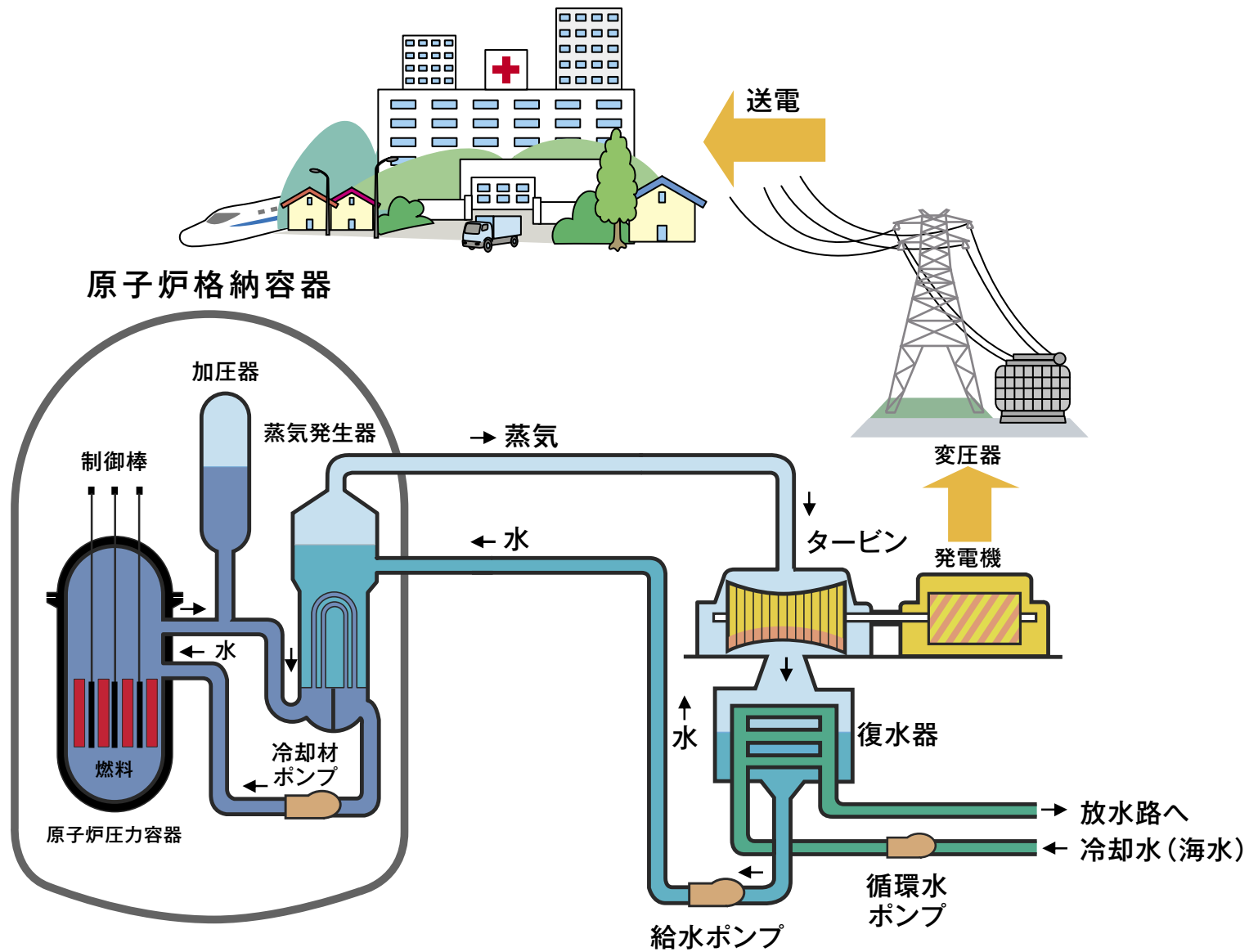
建設費の低減

運転費の低減

建屋容積の低減
建設工期の短縮

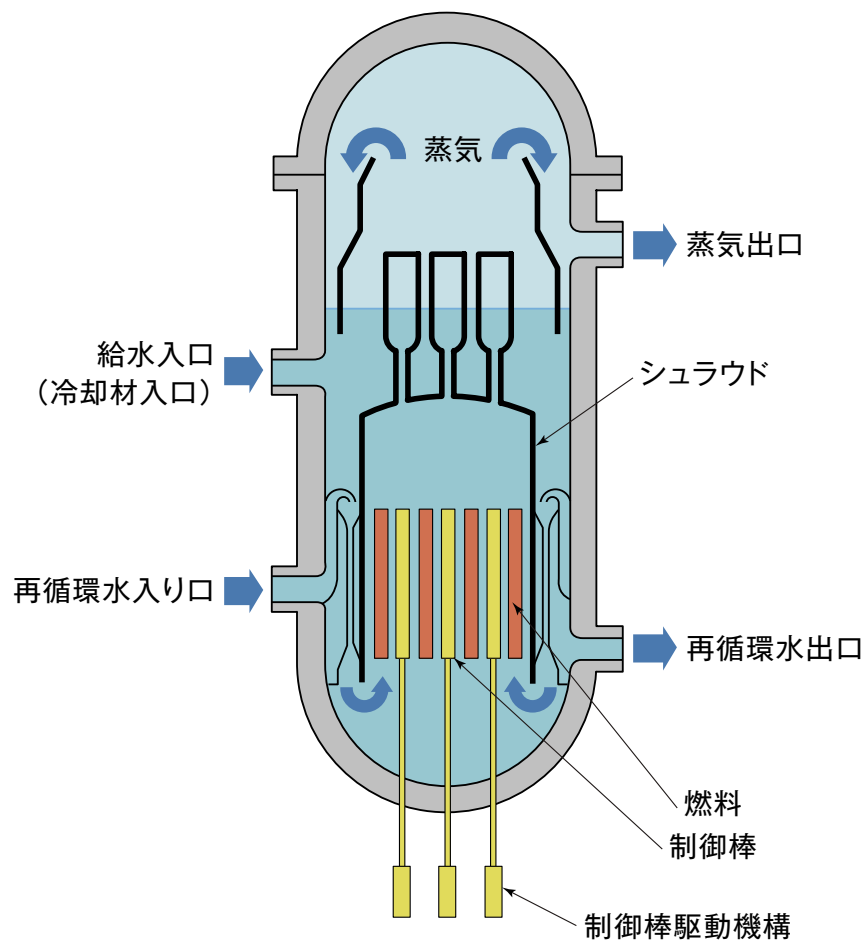
稼働率の向上
熱効率の向上
燃料費の低減
定期検査工程の短縮

加圧水型炉 (PWR) 原子力発電のしくみ

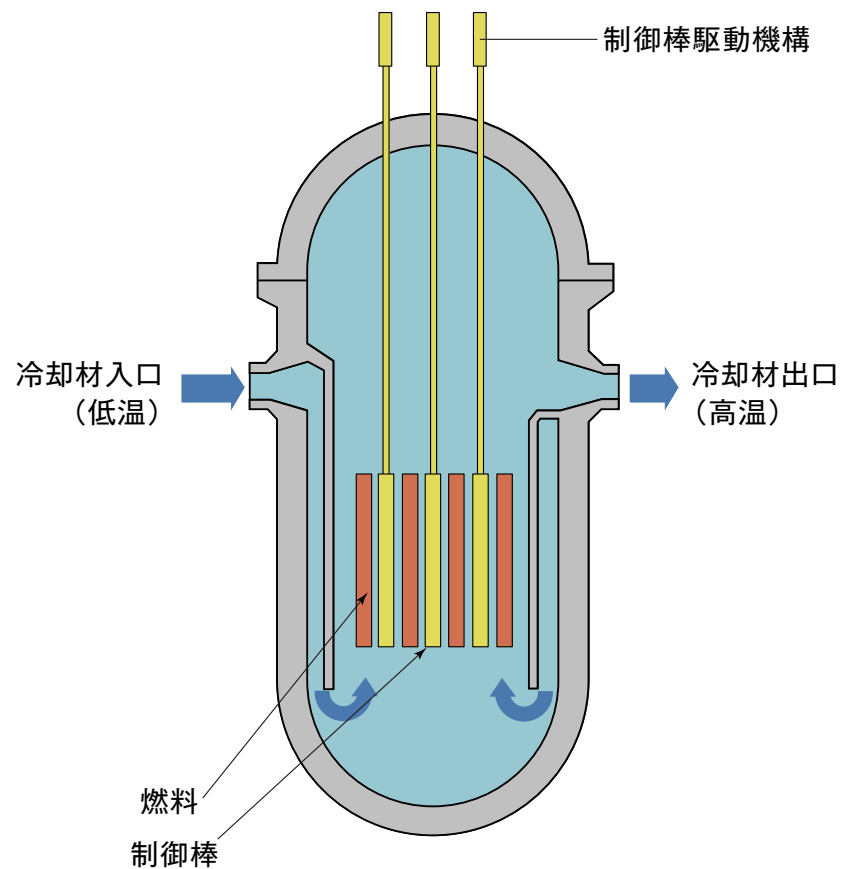


原子炉压力容器断面図

沸騰水型原子炉 (BWR)

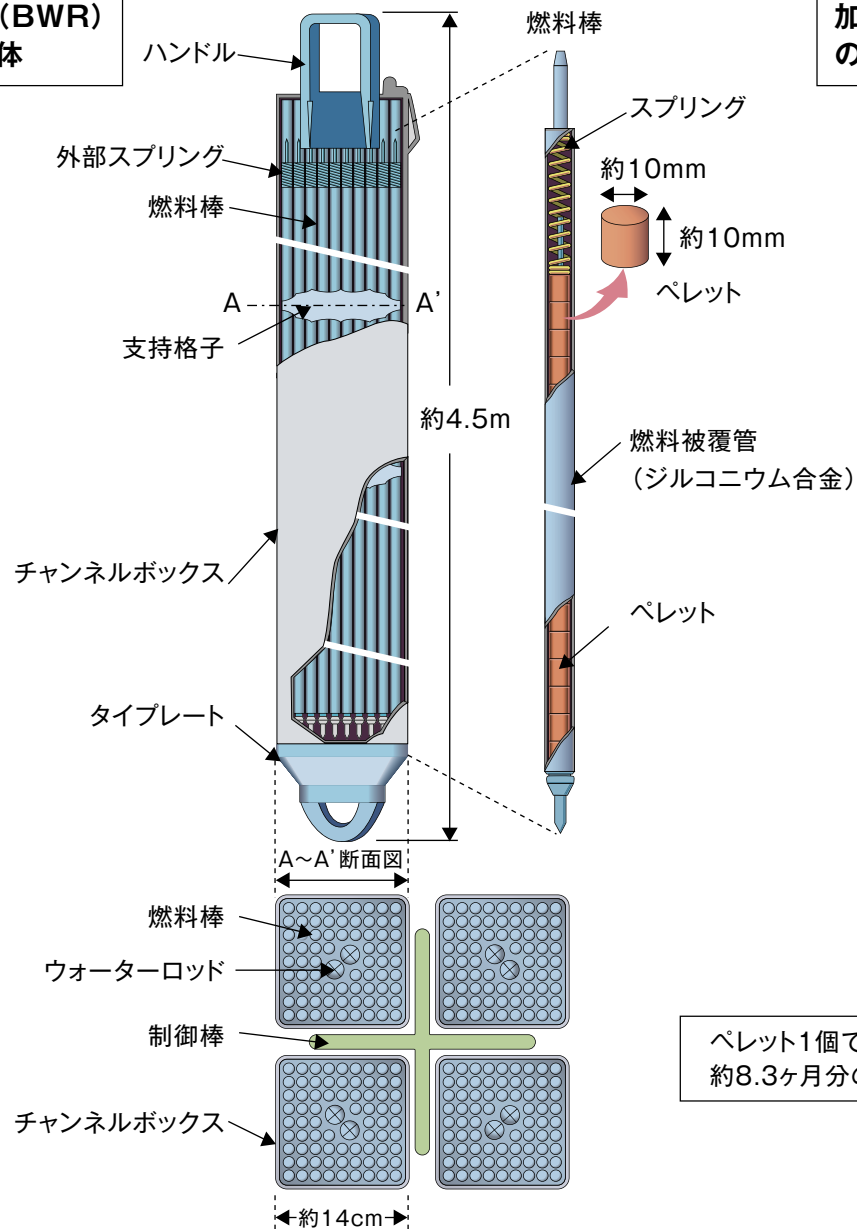


加圧水型原子炉 (PWR)

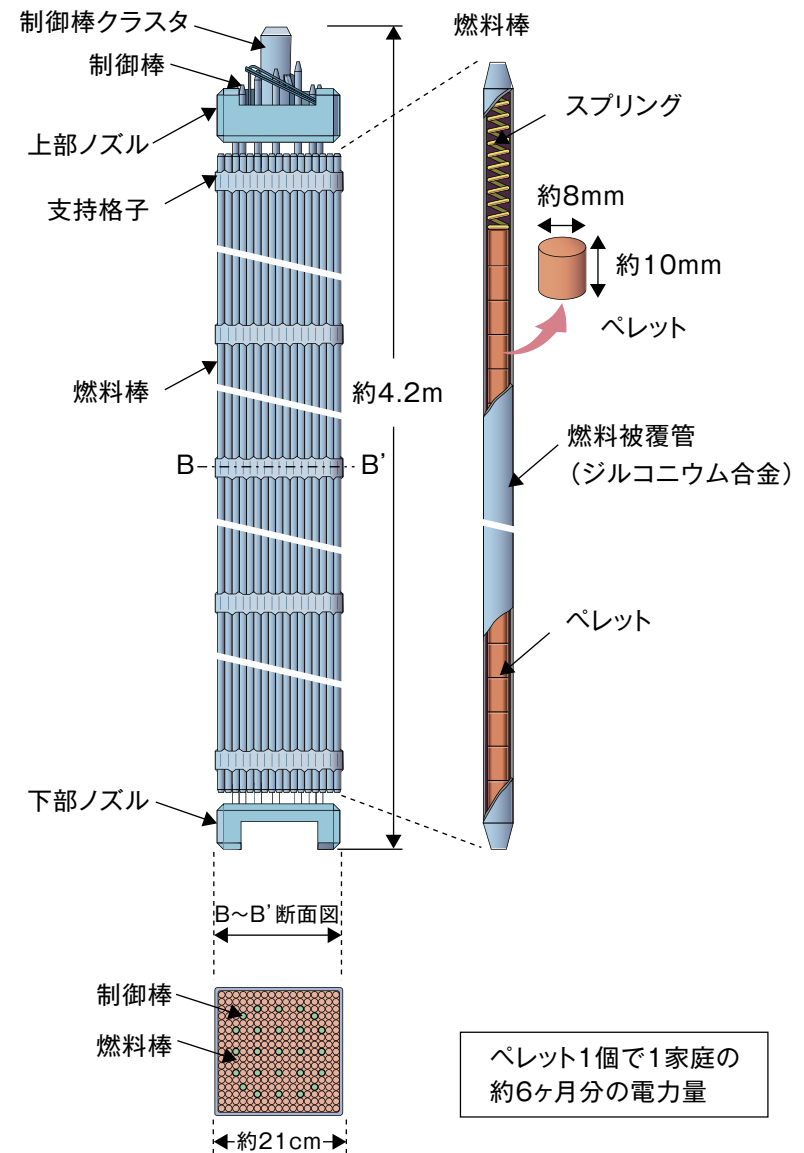


燃料集合体の構造と制御棒

沸騰水型炉 (BWR)
の燃料集合体



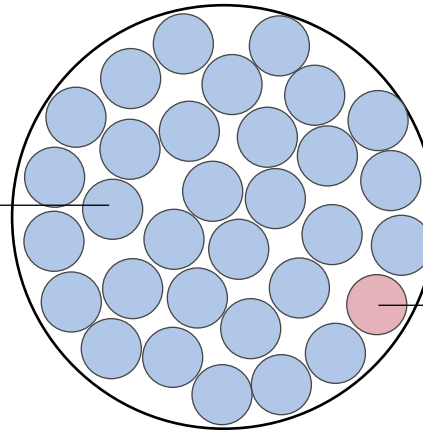
加圧水型炉 (PWR)
の燃料集合体



天然ウランと濃縮ウラン

天然ウラン

ウラン238
99.3%

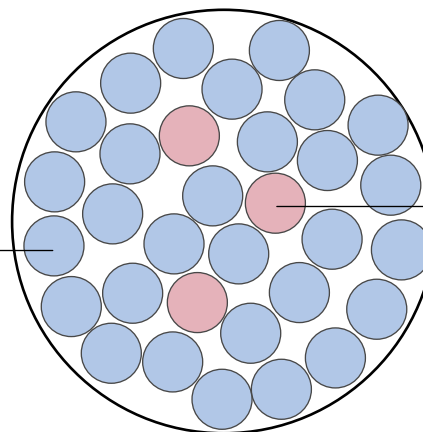


ウラン235
0.7%

濃縮

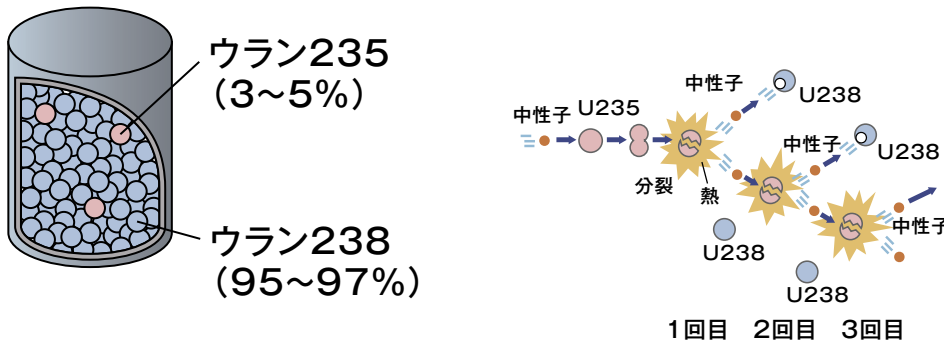
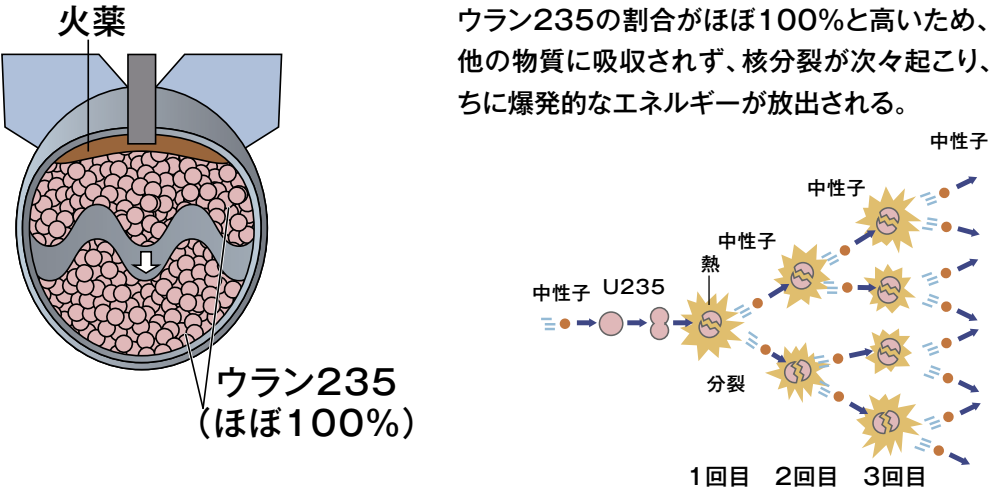
低濃縮ウラン

ウラン238
95~97%

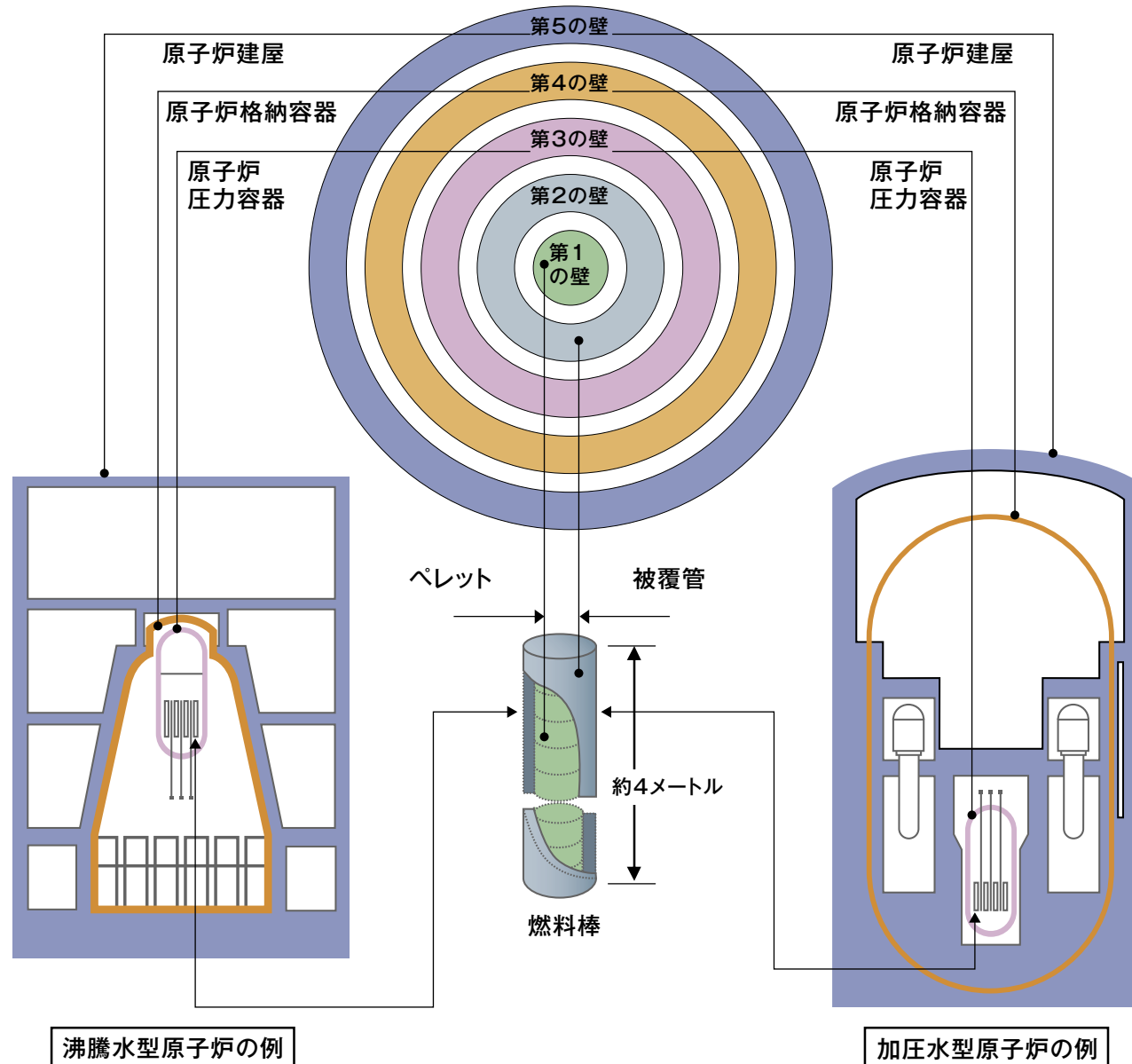


ウラン235
3~5%

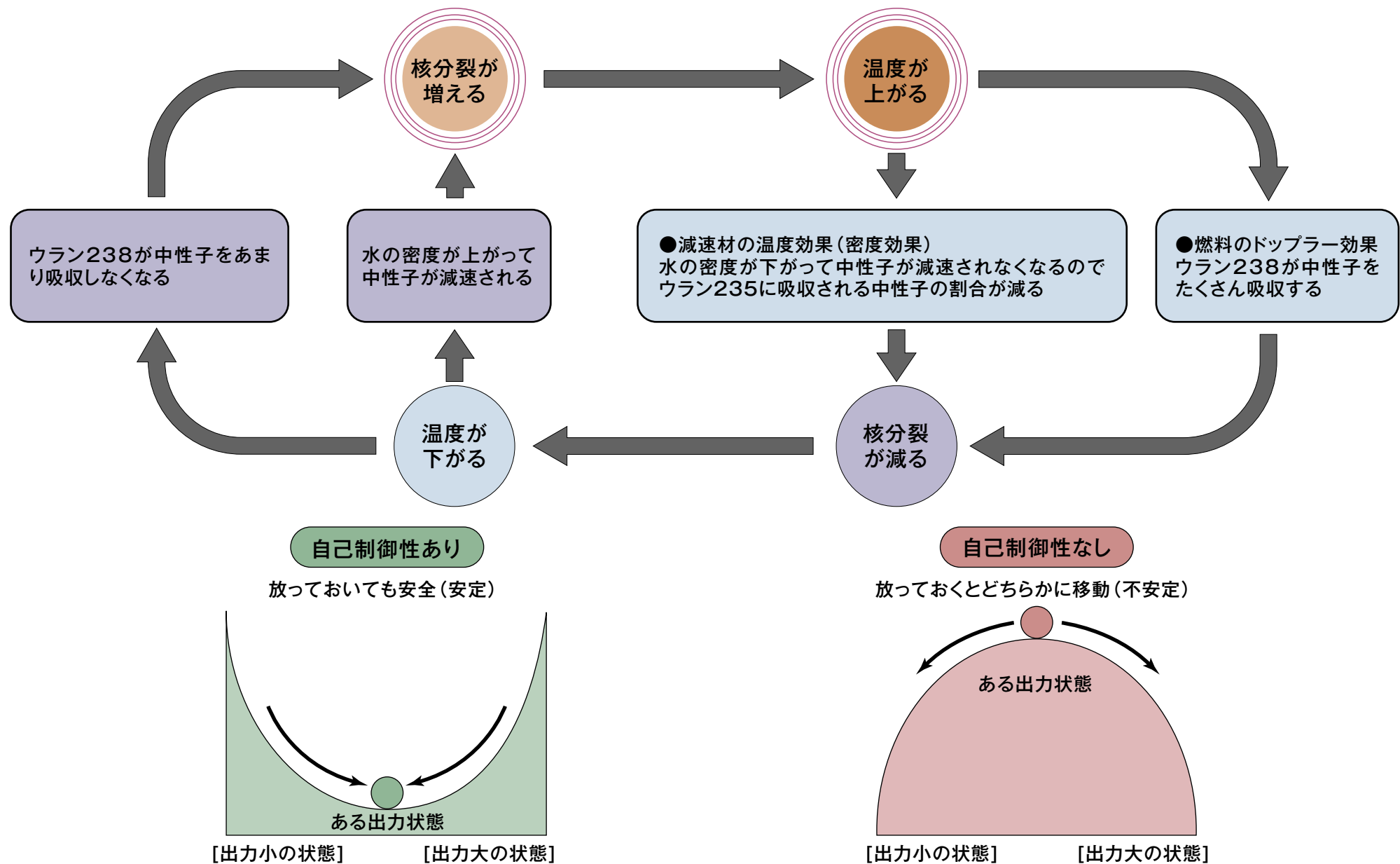
原子力発電と原子爆弾の違い

	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
原子力発電の場合	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。  ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%) 1回目 2回目 3回目	制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない。
原子爆弾の場合	ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される。  火薬 ウラン235 (ほぼ100%) 1回目 2回目 3回目	制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止めることはできない。

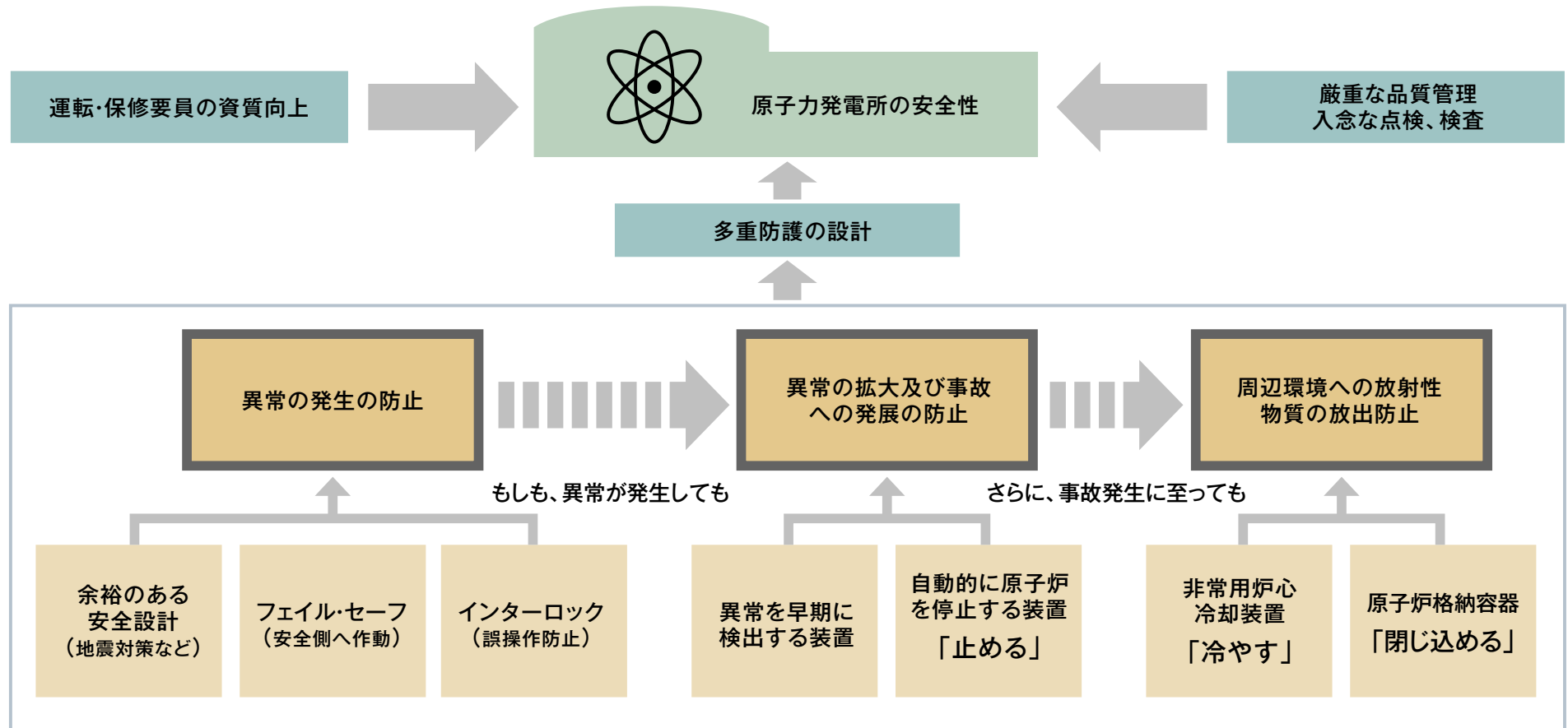
放射性物質を閉じ込めるしくみ



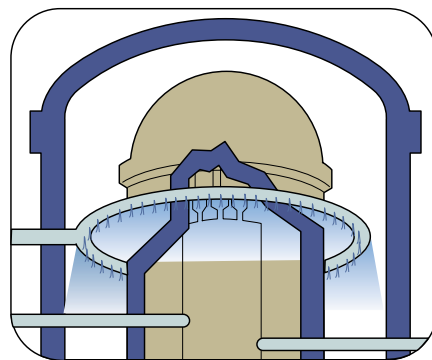
原子炉の固有の安全性（自己制御性）



安全確保のしくみ



非常用炉心冷却装置等の例 (BWR)

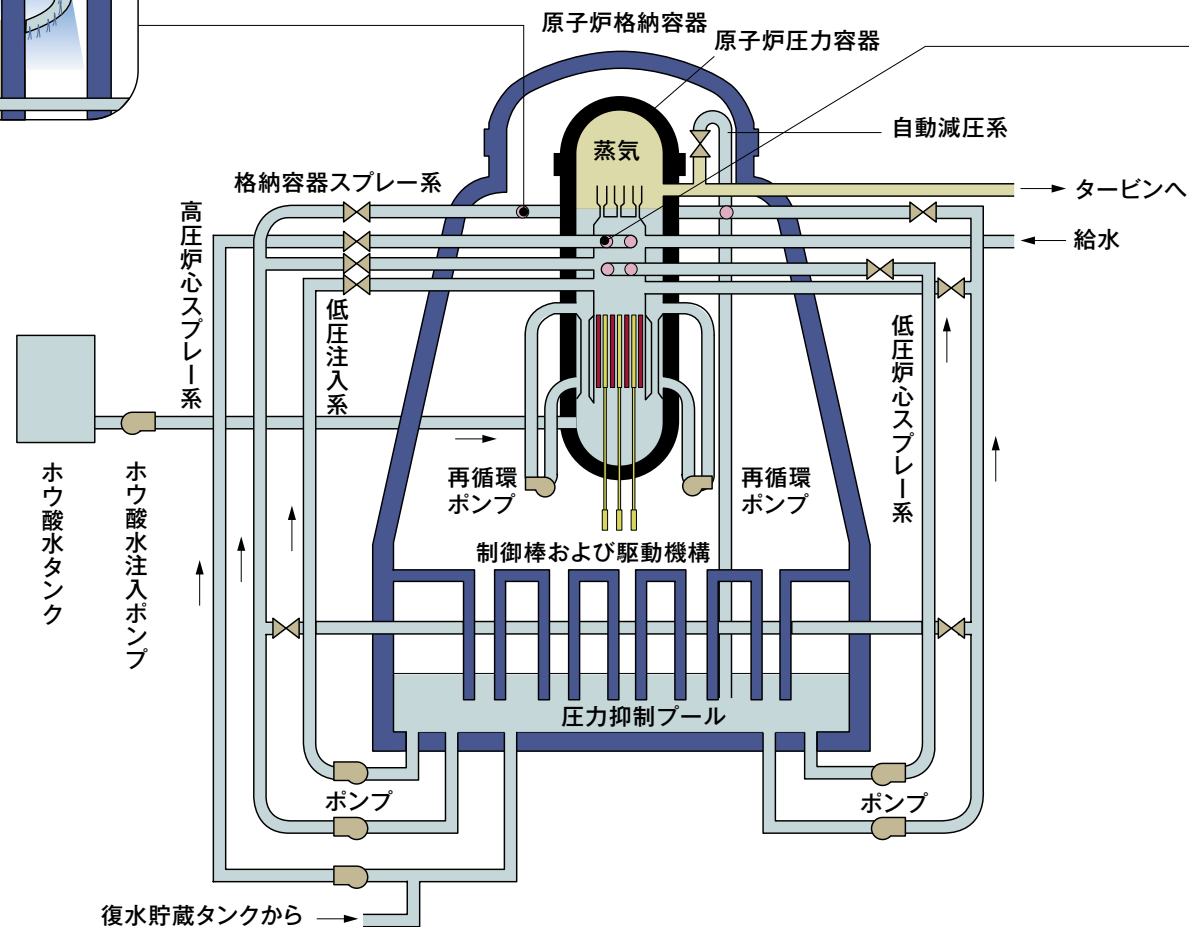
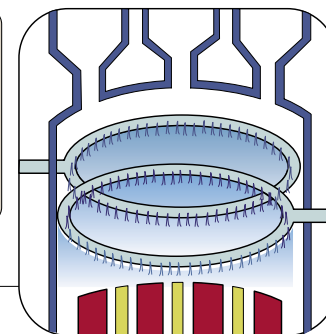


格納容器スプレー装置

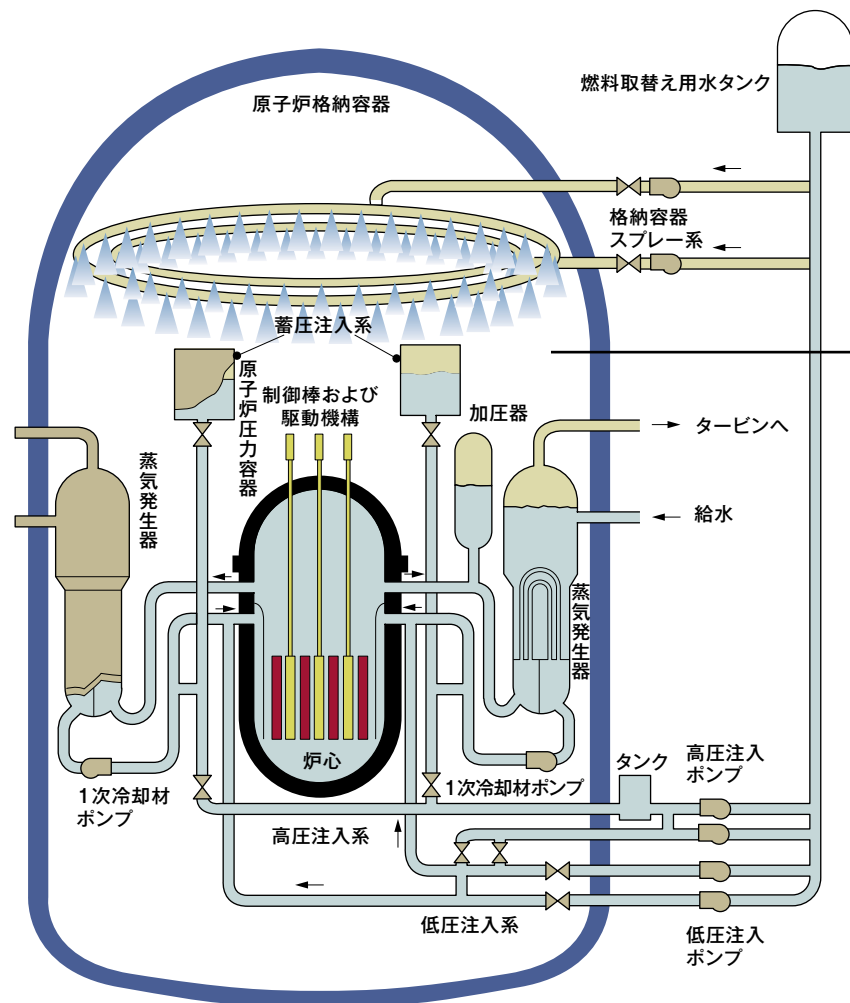
格納容器の内壁に取り付けたドーナツ型の水管からも、水がシャワーのように流れて格納容器の内部を冷やします。これが格納容器スプレーです。

非常用炉心冷却装置

ドーナツ型の穴のあいた水管があって炉心の水が減ると、自動的にスプレーのように放水され燃料を冷やします。これが炉心スプレー系の冷却装置です。



非常用炉心冷却装置等の例 (PWR)



格納容器スプレー装置
格納容器内の圧力が上昇した場合、格納容器内へ水をスプレーし内部の圧力の上昇を抑えます。

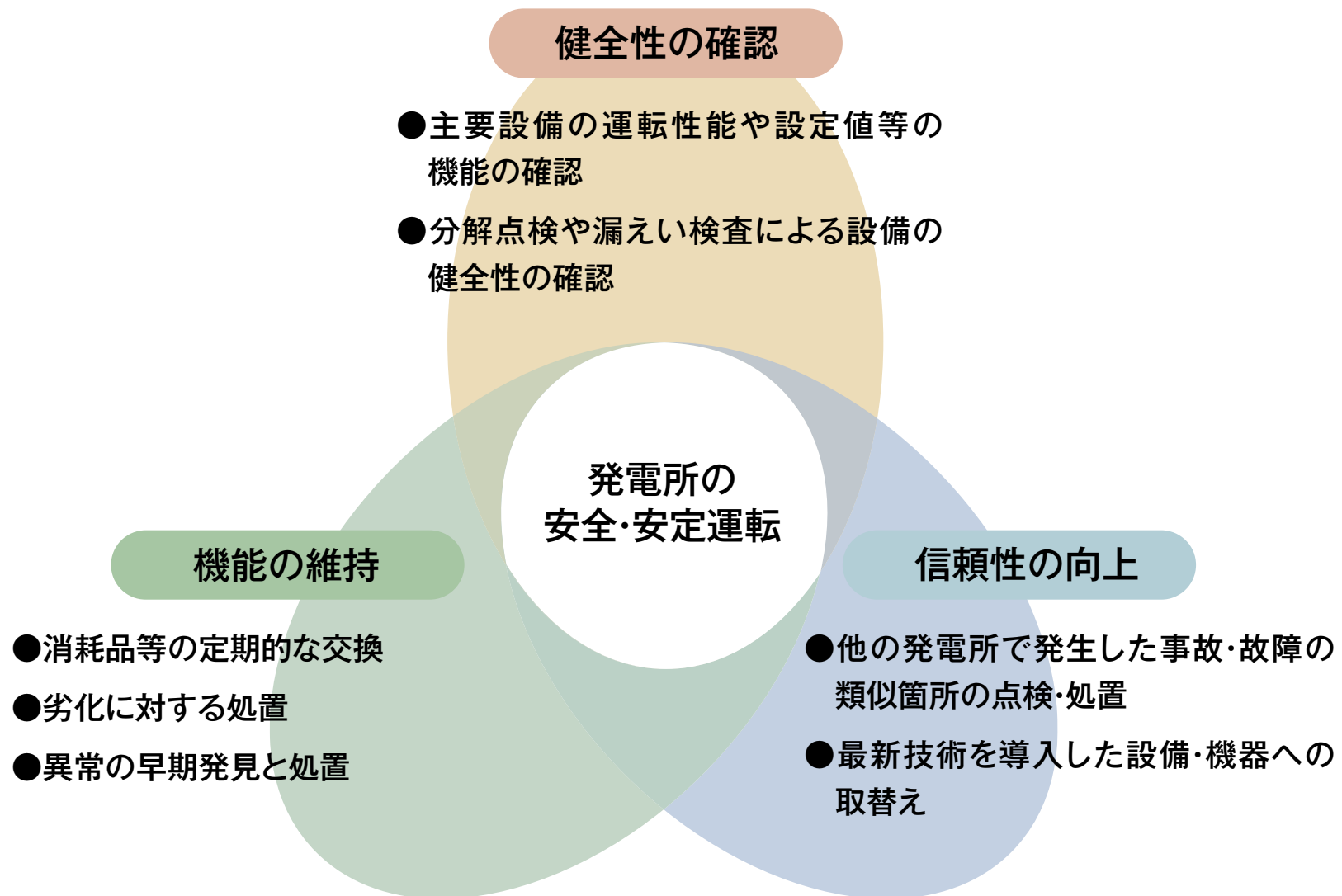
格納容器スプレー系

非常用炉心冷却装置
圧力容器内部の状況に応じ、それぞれの系統を用い炉心に水を注入します。

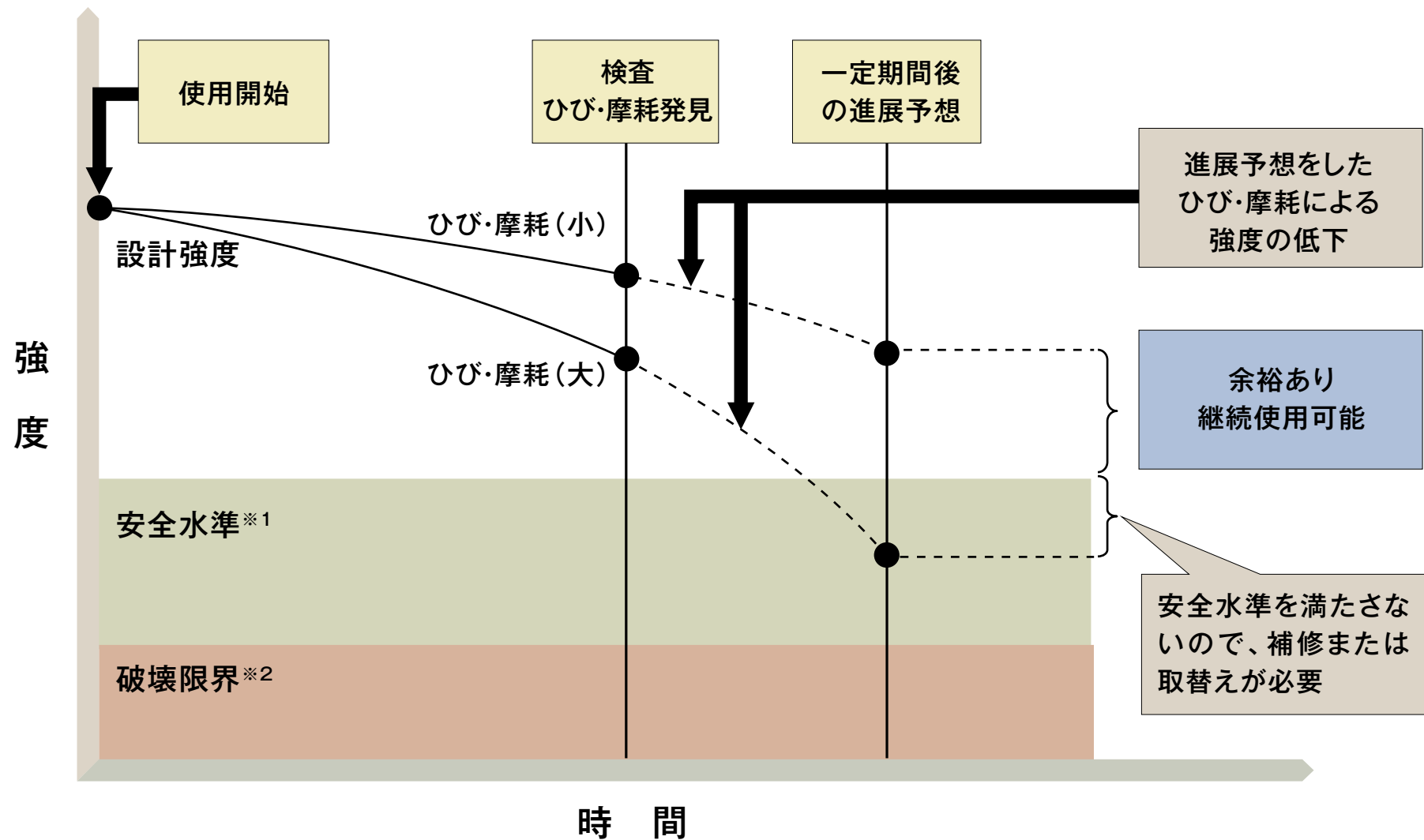
高圧注入系

低圧注入系

原子力発電所の定期検査の目的



設備の健全性評価の方法

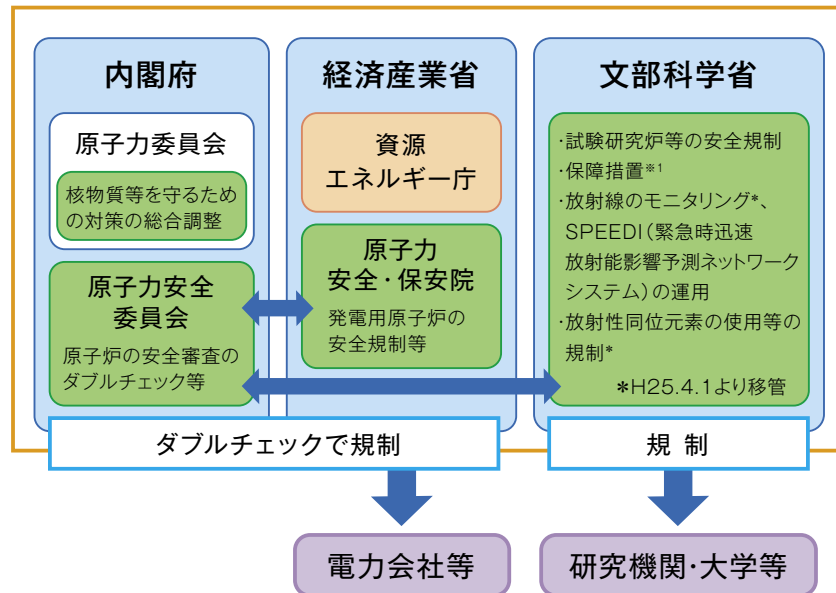


※1 破壊限界に余裕を持たせた安全の水準

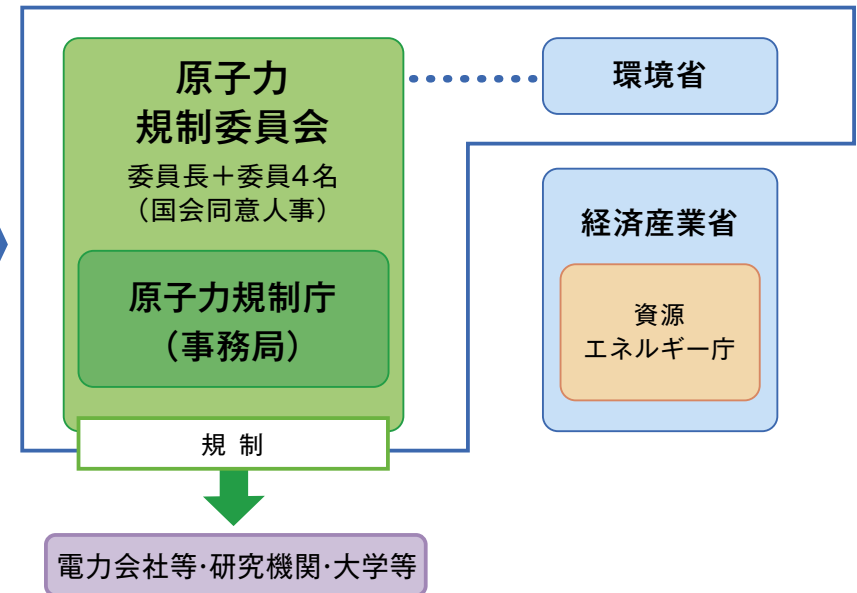
※2 設備が壊れずに持ちこたえられる最小の強度

原子力安全規制の体制変更

【これまでの規制体制】



【新しい規制体制】



経産省の中に、推進組織（資源エネルギー庁）と
規制組織（原子力安全・保安院）が同居

独立性の確保

経産省から分離し、環境省の外局として
「原子力規制委員会」を新設（3条委員会^{※2}）

原子力安全・保安院、
原子力安全委員会、文部科学省に分散

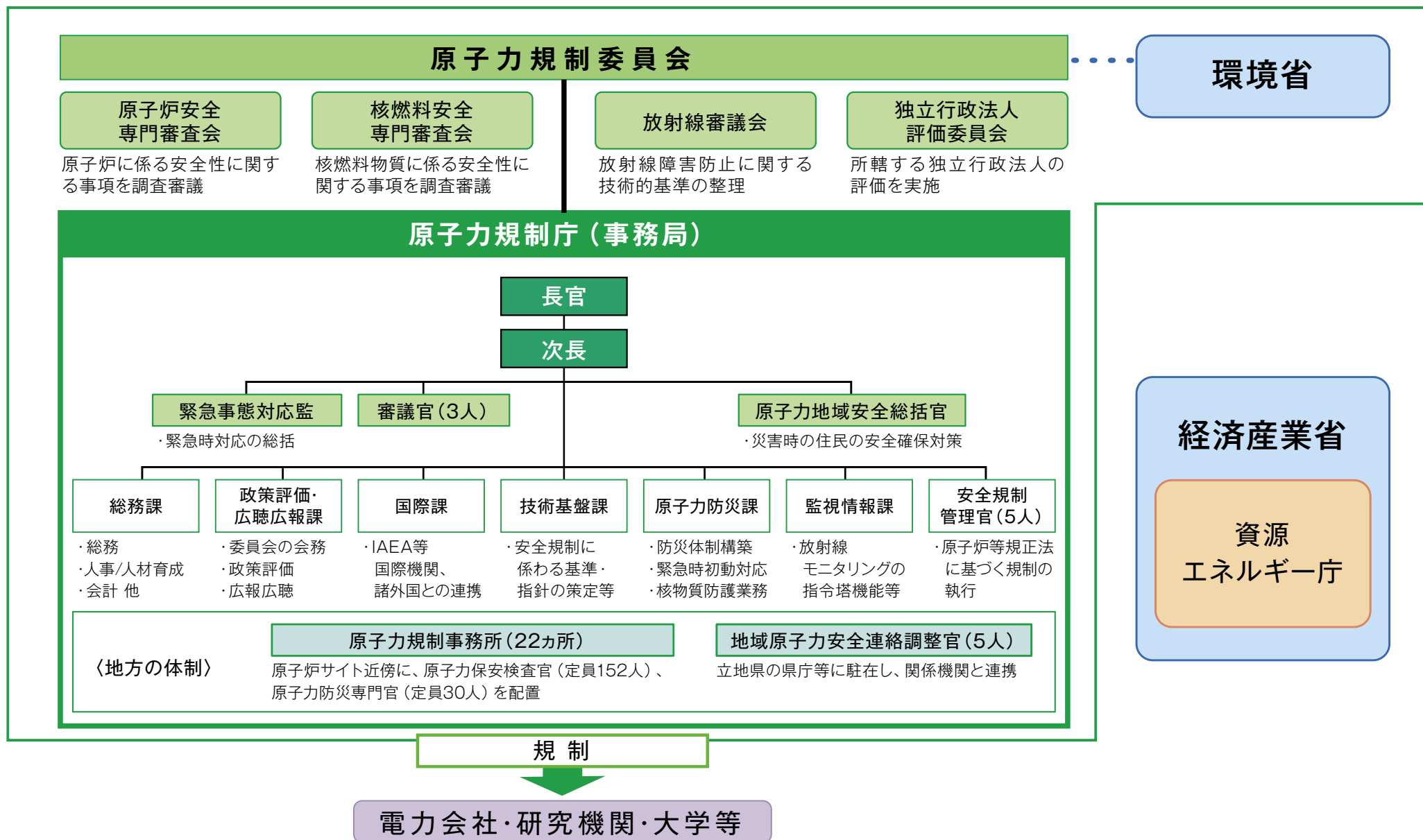
規制事務の一元化

核不拡散の保障措置^{※1}等を含めた機能の一元化
放射線のモニタリング、放射性同位元素の使用

※1 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閲活動のこと

※2 いわゆる3条委員会（国家行政組織法第3条第2項に規定される委員会）とは、上級機関（例えば、設置する府省の大臣）からの指揮監督を受けず、独立して権限を行使することが保障されている合議制の機関のこと

原子力安全規制体制



定期検査制度の概要

電力会社

技術基準適合義務

●定期事業者検査の実施

定期に実施すべきものとして法定義務化された検査。その結果は、記録・保存が義務付けられている。

【検査項目数】

- 沸騰水型軽水炉 (BWR) : 約150項目
- 加圧水型軽水炉 (PWR) : 約130項目

●定期検査

特に重要度の高い安全機能を有する設備の検査で、原子力規制委員会が立ち会ったり記録を確認する

原子力規制委員会

●定期安全管理審査の実施

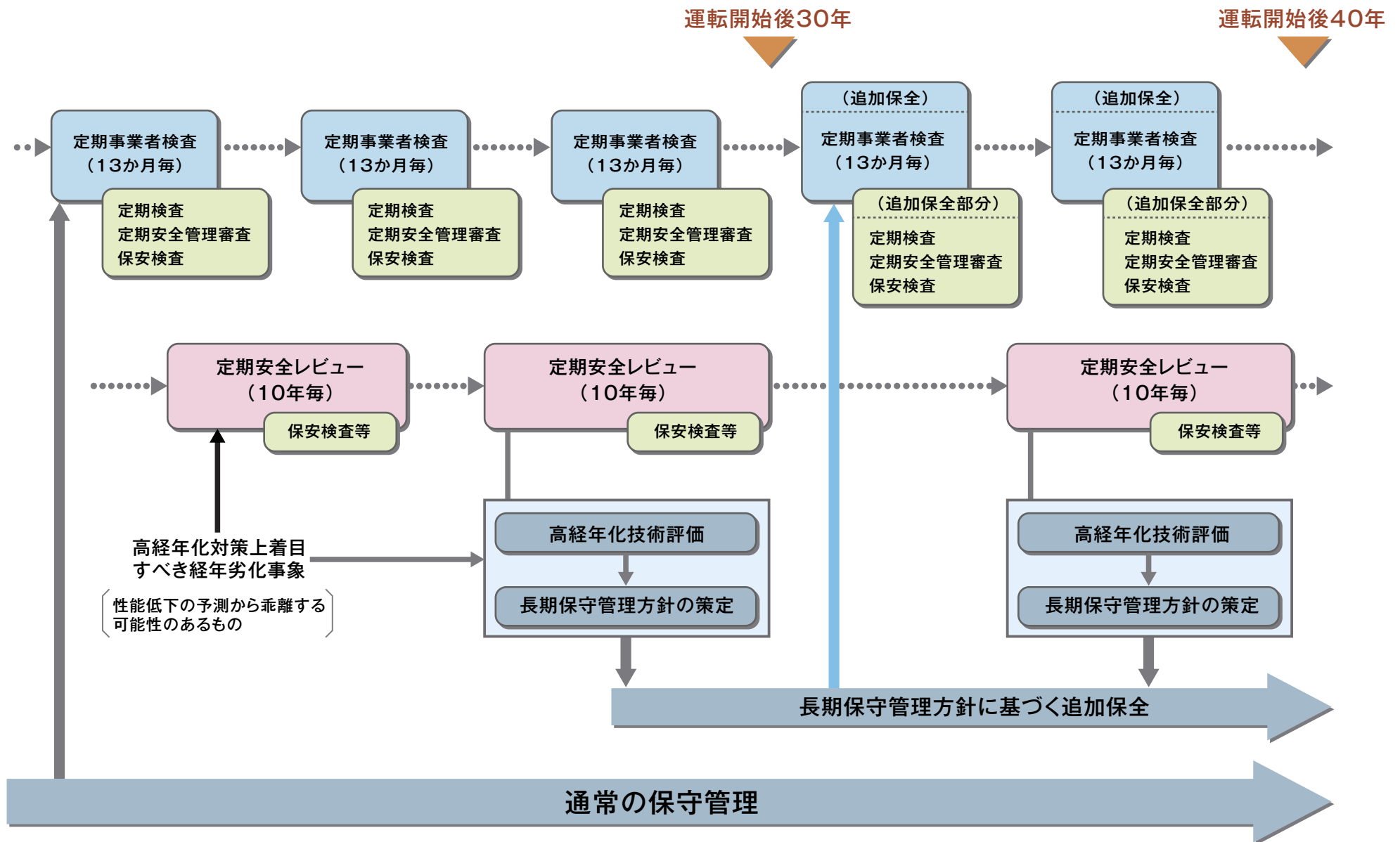
定期事業者検査を実施する電力会社の実施体制（組織・体制・検査方法等）を審査

■文書審査: 定期事業者検査の基本的体制を審査

■実地審査: 立ち会いや記録の確認によって検査項目から抜き打ち的に行う審査

認定・通知

原子力発電所の定期安全レビューと高経年化対策



原子力発電所の地震対策

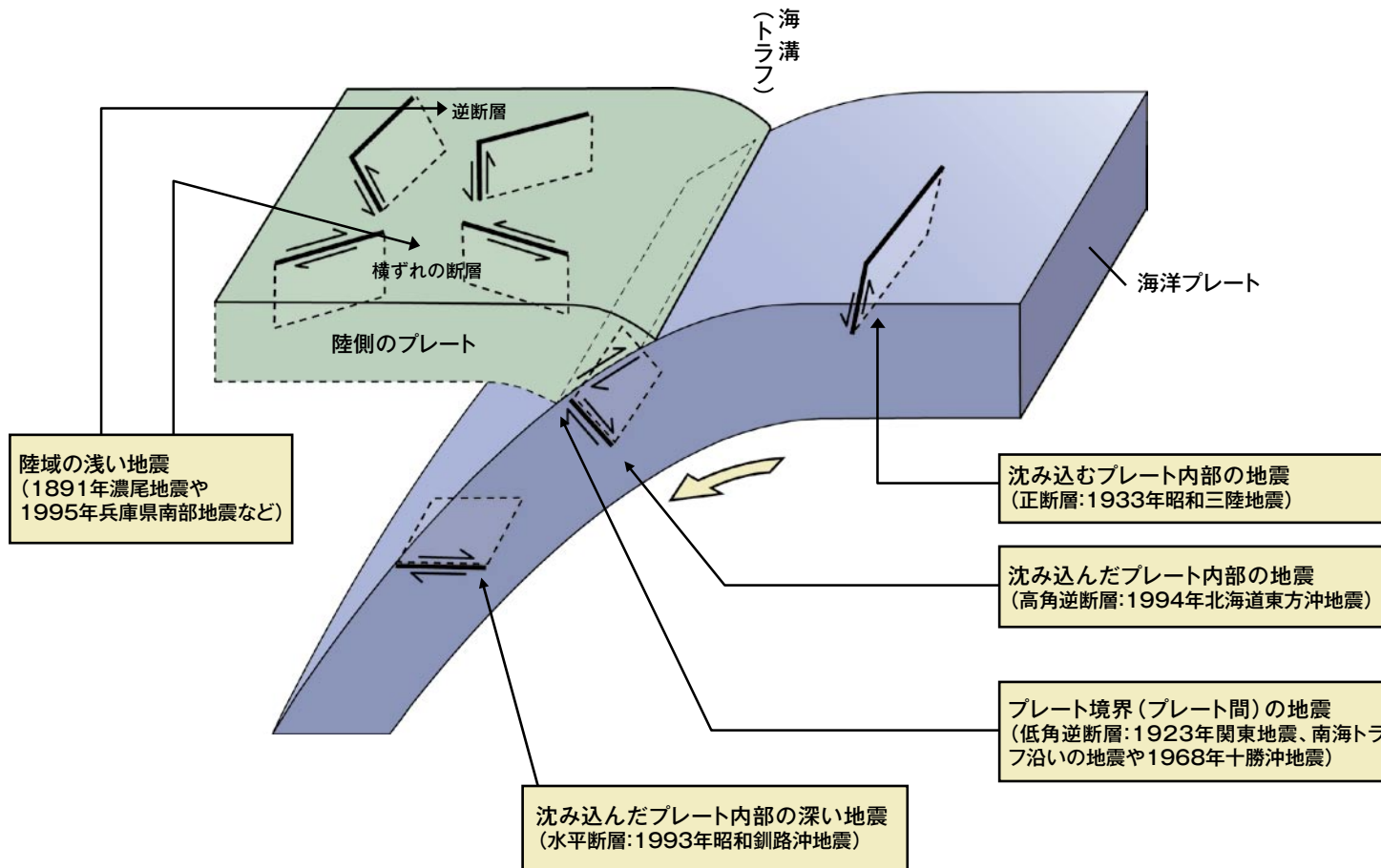
【安全確保のための8つのポイント】

段 階	対 策	説 明
設計段階における 安全性の確認	①徹底した調査	敷地の地質・地質構造はもとより、周辺部を含め活断層や過去に発生した地震等を詳細に調査
	②極めてまれな地震動をも 考慮した設計	極めてまれながら供用期間中に発生すると想定される水平方向と鉛直方向の2方向の地震動に対しても、安全上重要な機能は失われないような設計
	③詳細な解析評価	信頼性の高いコードを用いて、想定した地震動が発生した時の重要な建物・機器等の複雑な揺れについて解析し、耐震安全性を詳細に確認
	④支持地盤および周辺斜面の 安全性を確認	耐震安全上重要な施設を設置する地盤が、地震に対して十分な支持力を有していることを試験や解析を実施して確認するとともに、地震随伴事象として想定される施設の周辺斜面の崩壊等によっても、原子炉施設の安全機能に重大な影響を与えないことを確認
	⑤津波に対する安全性の確認	過去の津波に係る調査や想定される津波について詳細な数値シミュレーション等を実施して津波に対する発電所の安全性を確認
建設、運転段階に おける安全性の確保	⑥十分な支持性能を有する 地盤に建設	地震による揺れの振幅が小さく、十分な支持性能があり、すべりや有害な沈下等を生ずる恐れがない地盤に建設
	⑦自動停止機能	一定以上の揺れを検出したときには、速やかに原子炉を自動停止させるシステムを装備
	⑧振動台や加振機による 耐震性の実証および 耐震限界の把握	振動台や加振機を用いて、実機や実機相当の試験体に設計を上回る地震力を加え、施設の耐震性の実証、設計裕度の把握、設備機能の維持および解析に用いたコードの妥当性を確認

地震の知識

◎地震のメカニズム

日本列島周辺には4つのプレートが存在しており、そのプレートは長い年月をかけて少しずつ移動し、その際に、プレート境界部やプレートの内部に大きな力が加わり、そこがずれるときに地震が発生するといわれている。



◎活断層とは…

最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動する可能性のある断層のこと。

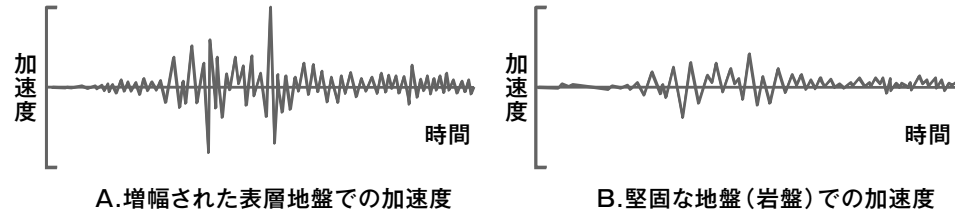
◎地震の大きさ

マグニチュード	マグニチュード(地震規模)とは、地震が放出したエネルギーの大きさを示す尺度。
ガル	ガルとは、加速度の単位(cm/sec^2)で地震の揺れの強さを数値として表現したもの。一般にはガル数が多いほど震度も大きくなる。
震度	震度とは、観測点における地震の揺れの強さを示す尺度で、0~7までの10段階に分かれている。気象庁等は全国の約4,200地点で観測している。

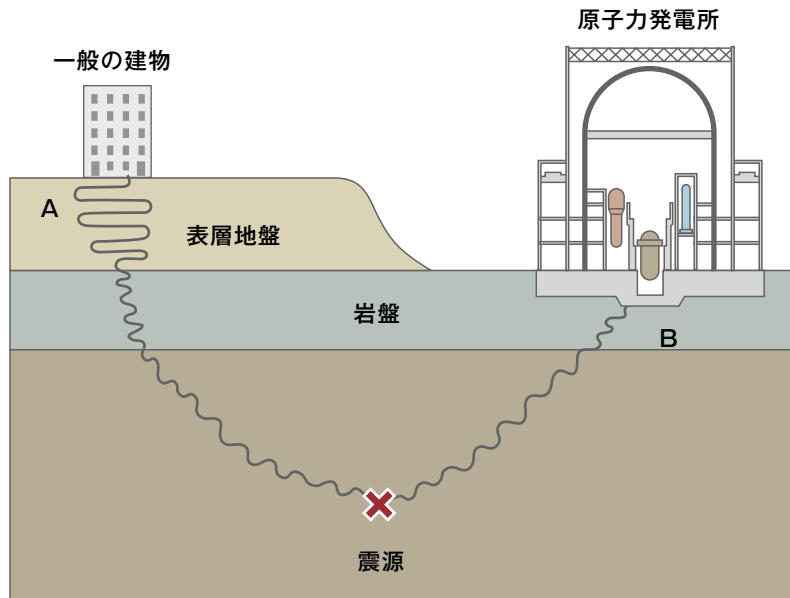
(1995年兵庫県南部地震は、神戸海洋気象台発表でマグニチュード7.3、最大水平加速度818ガル、震度7でした。)

原子力発電所と一般建築物の揺れの差

堅固な地盤（岩盤）上に設置した原子力発電所と
一般の建物の揺れの伝わり方

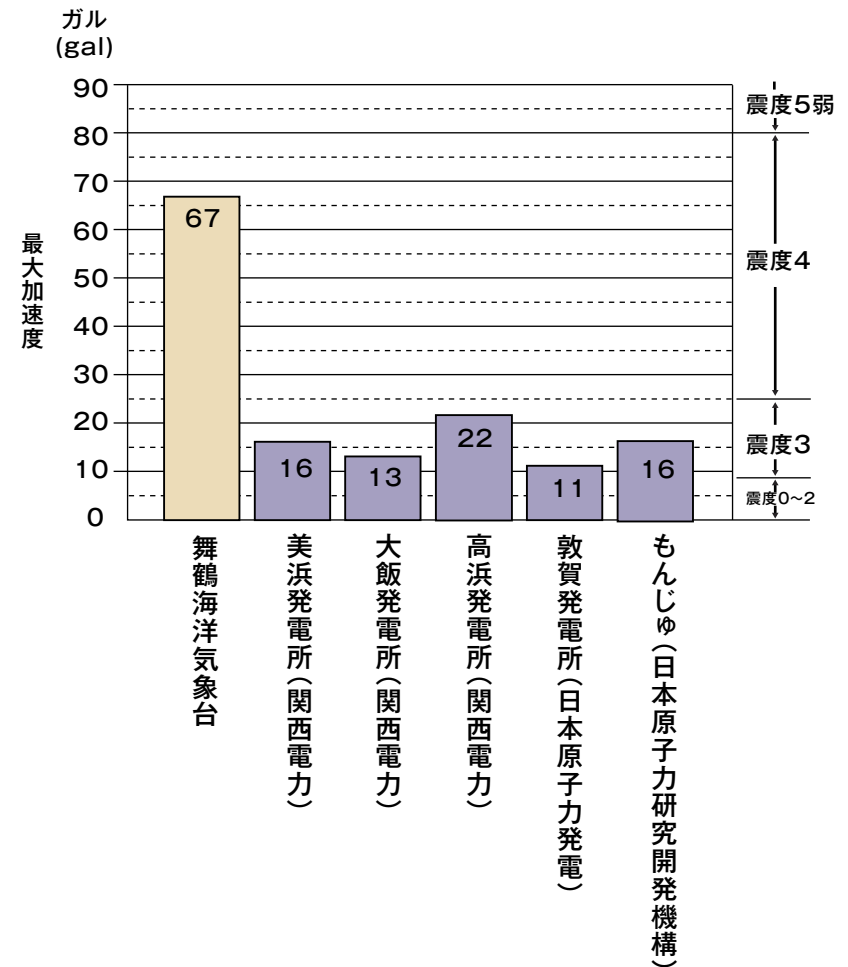


(注) 地震波形は模式図

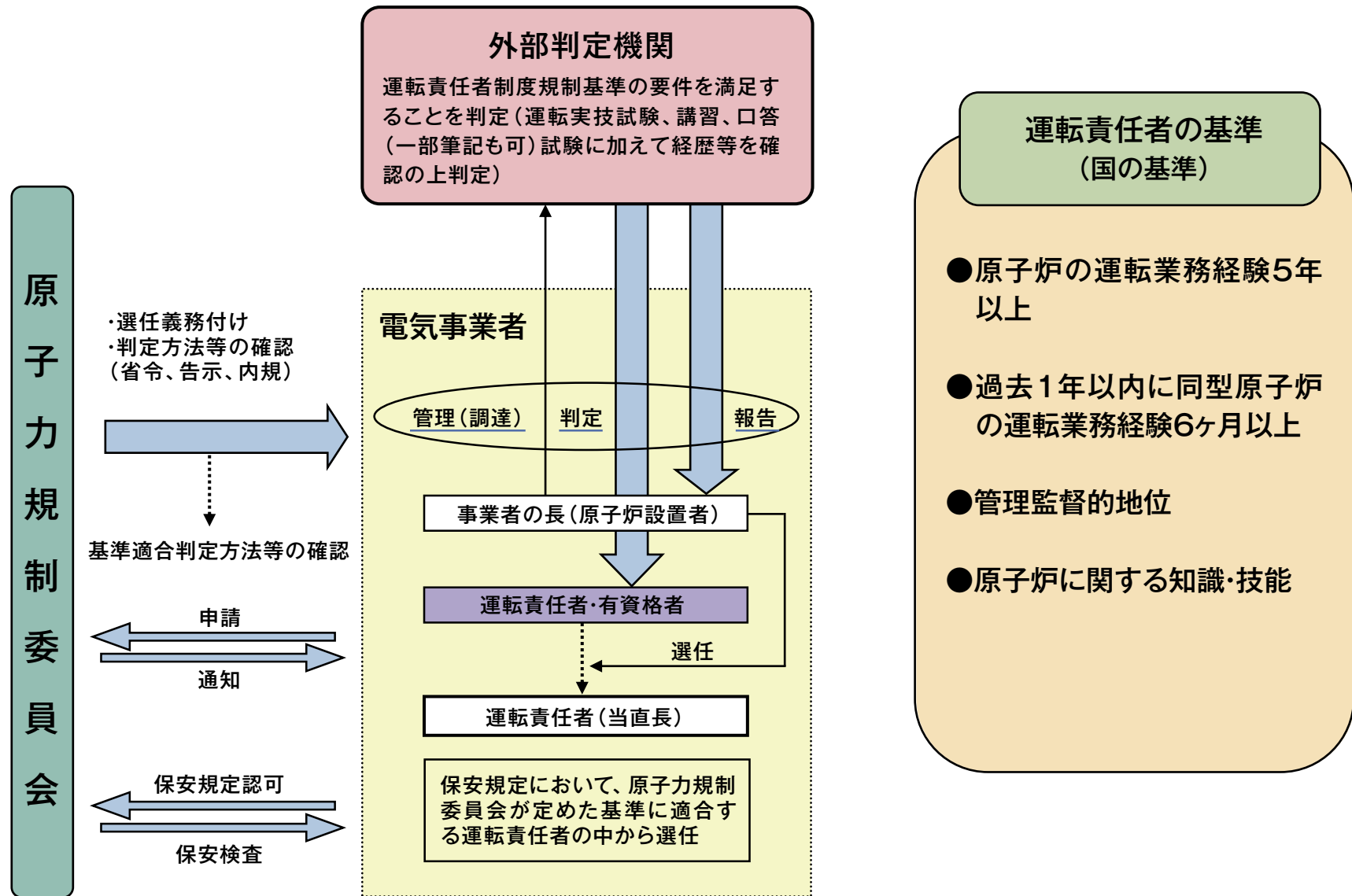


堅固な地盤（岩盤）での揺れは表層地盤に比べ1/2～1/3程度

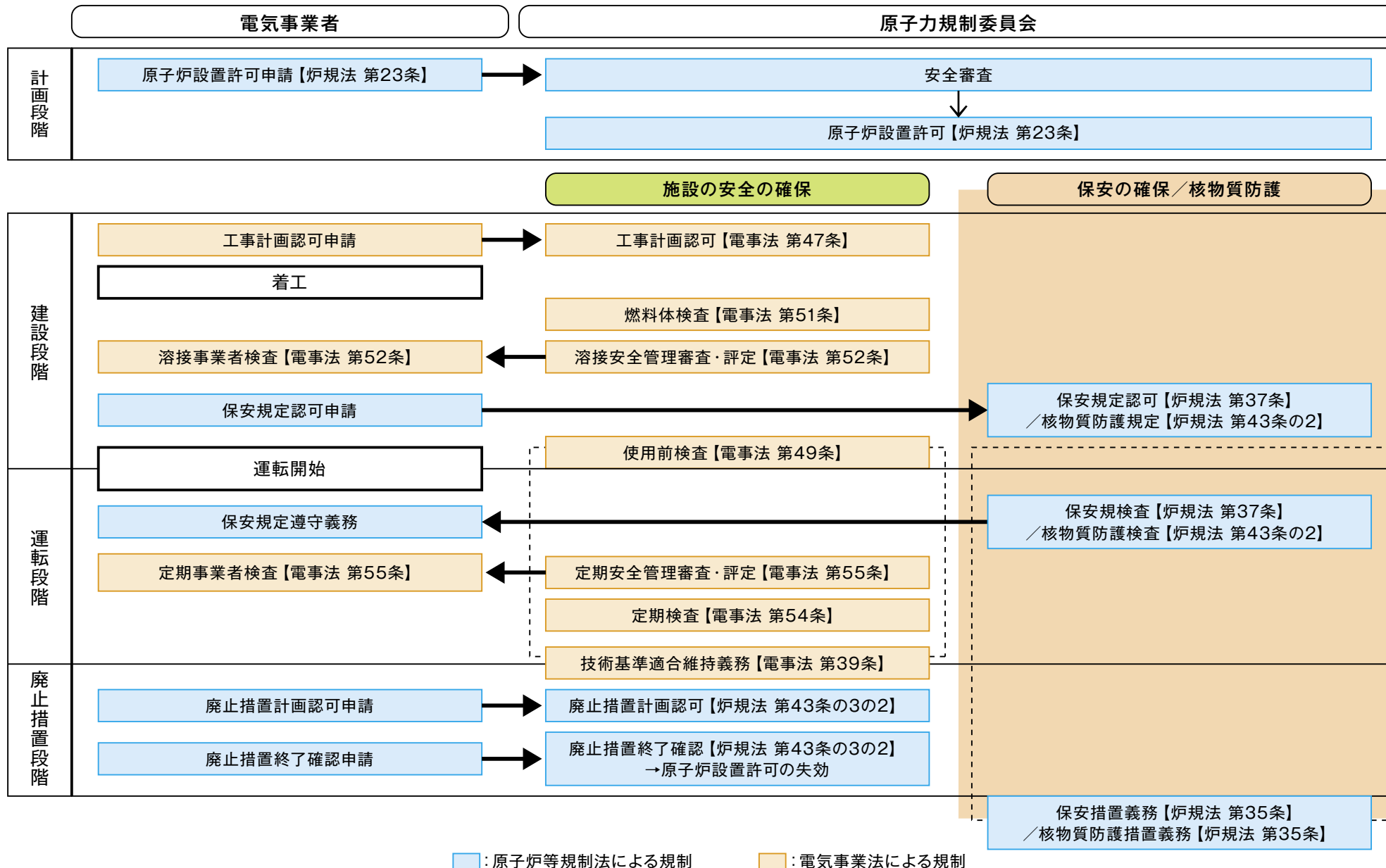
1995年兵庫県南部地震による
若狭湾周辺の最大加速度観測値



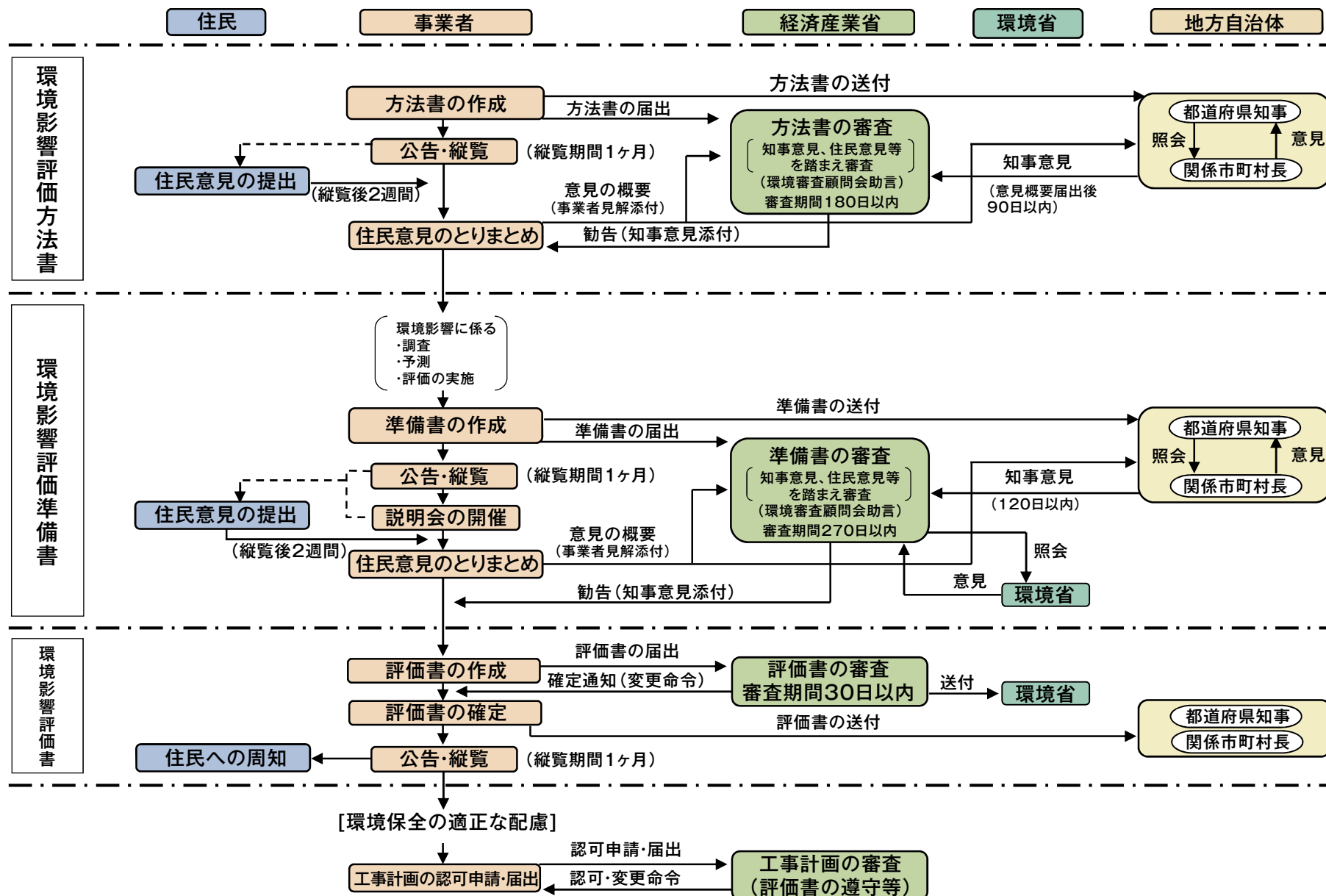
運転責任者の選任



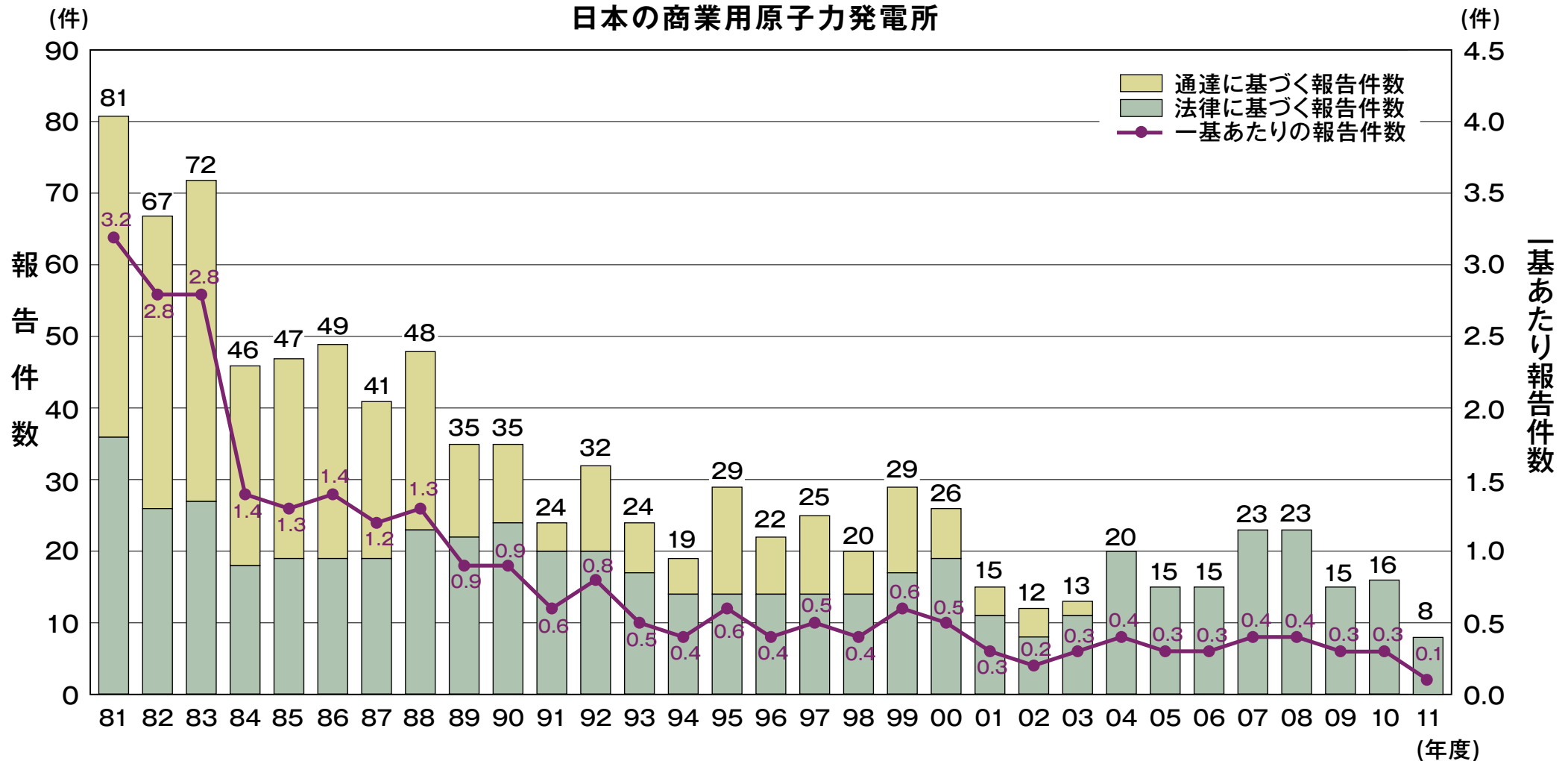
実用発電用原子炉に対する規制の流れ



発電所建設までの環境アセスメント制度



原子力発電所のトラブル件数の推移



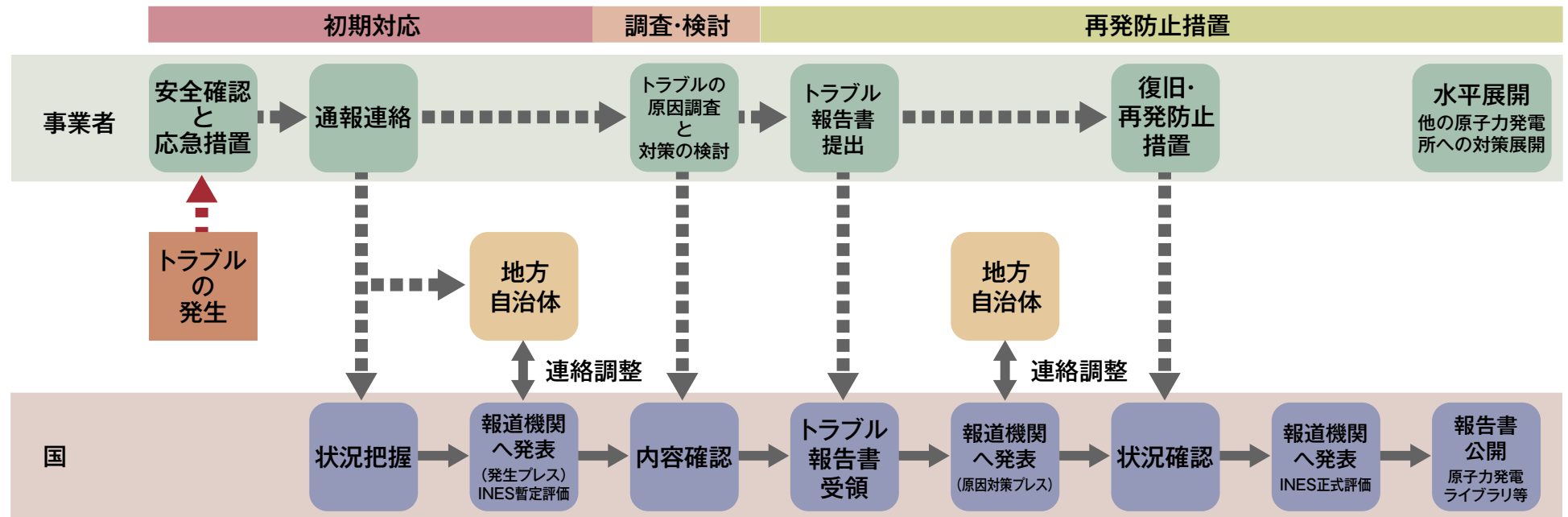
(注1) 報告件数は試運転中及び建設中のものを含む

(注2) 一基あたりの報告件数は、営業運転中の報告件数を年度末営業運転基数で除した値

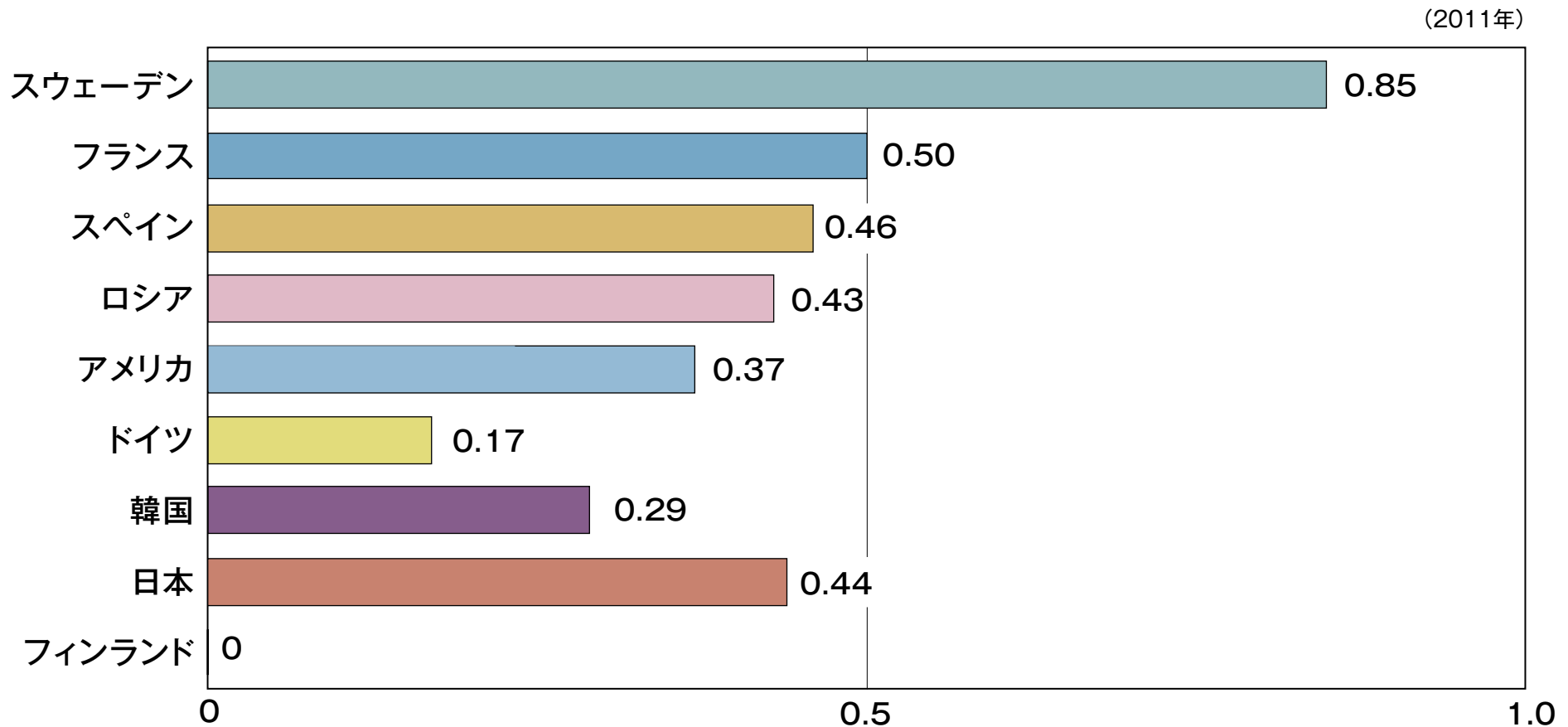
ただし、1999年度は、営業運転を停止している日本原子力発電(株)東海発電所で発生したトラブルを含んでいることから、当該原子炉を加えた52基で除している

(注3) 原子炉等規制法の規則改正(2003年10月)に伴い、通達に基づく報告は法律に基づく報告に一本化された

トラブル発生時の対応



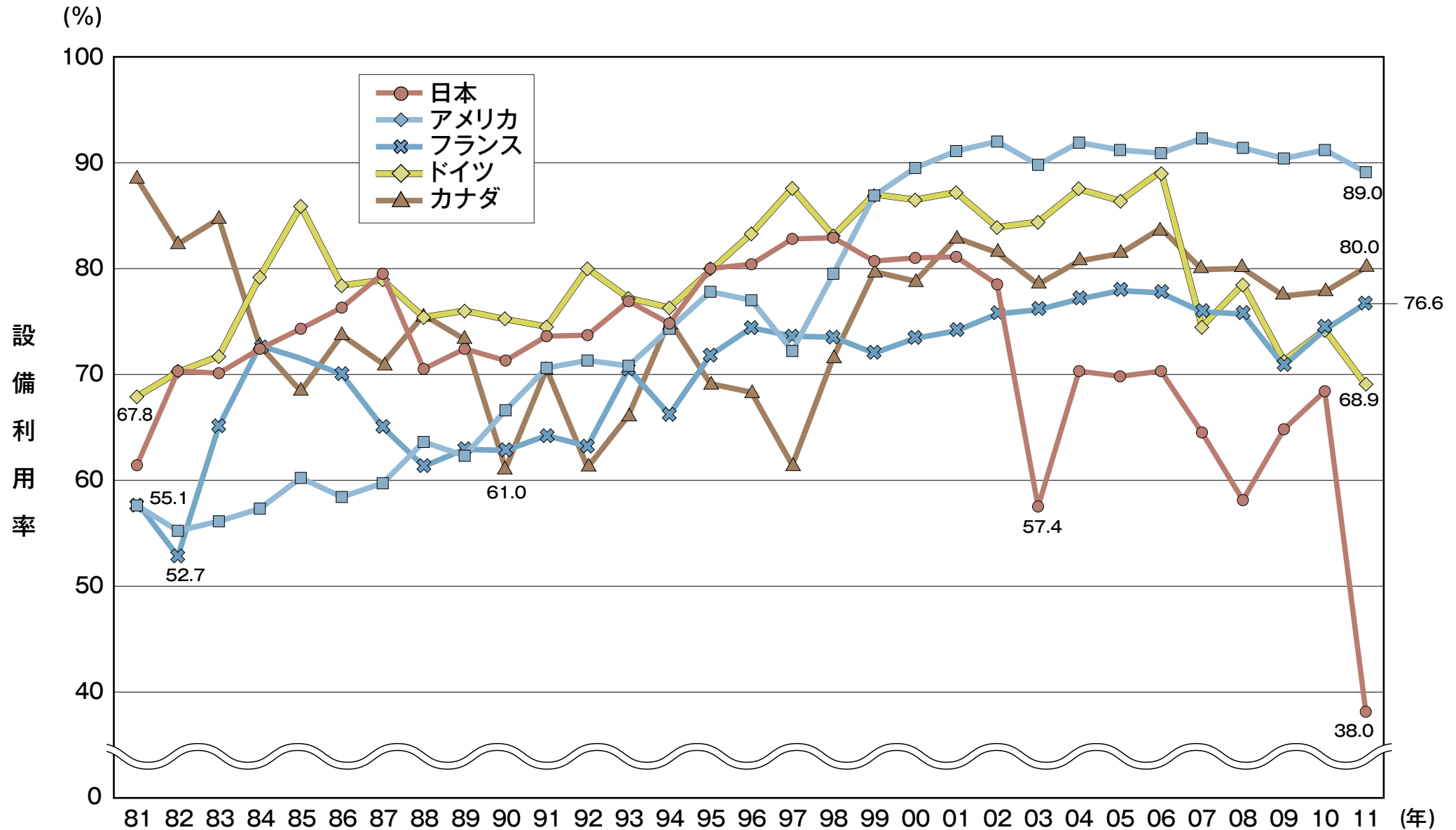
主要国の原子力発電所の計画外自動スクラム割合



$$\left(= \frac{7,000\text{時間当たりの計画外自動スクラム※ 割合}}{\text{原子炉運転時間}} \right)$$

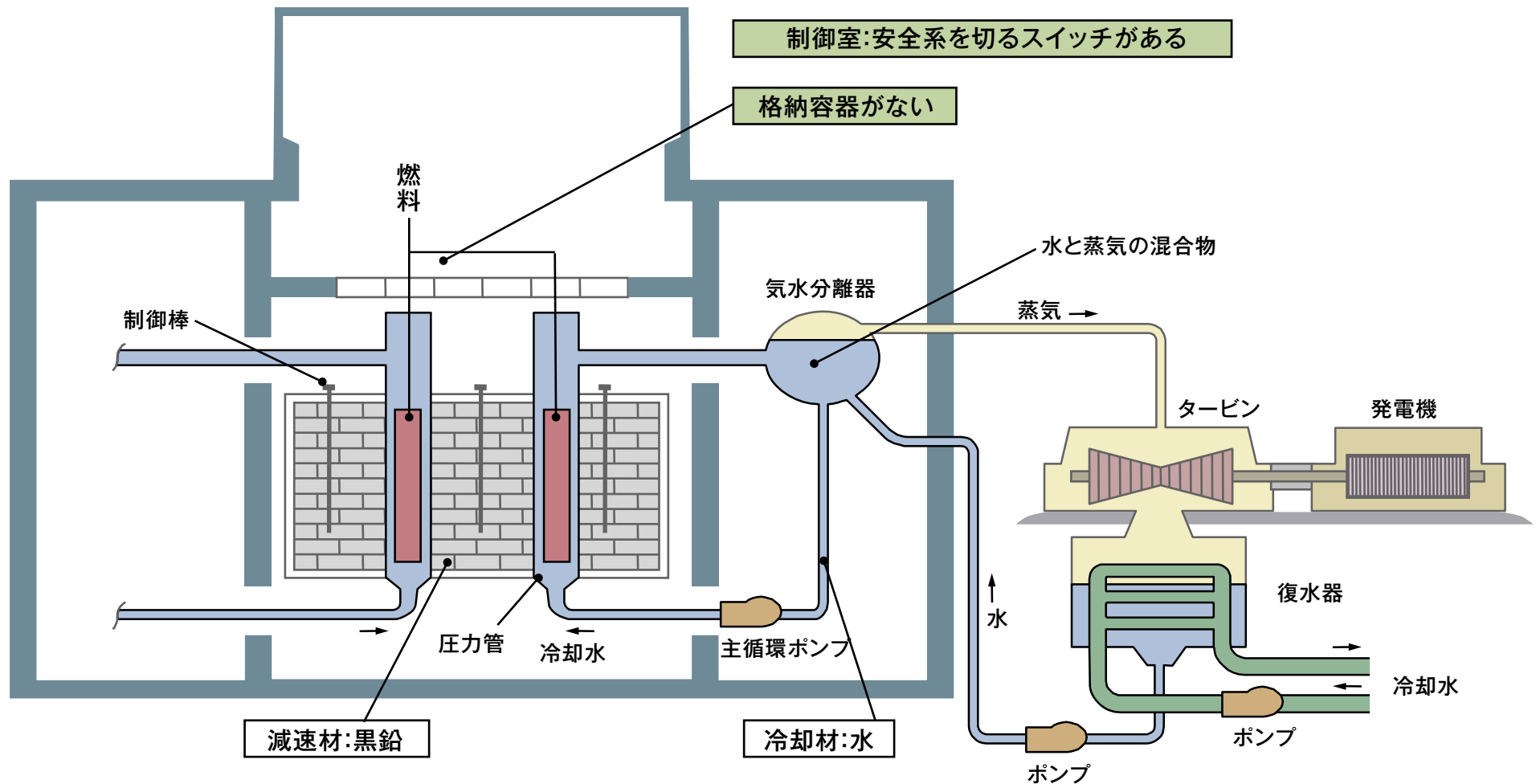
※自動スクラム＝原子炉を緊急停止すること

主要国の原子力発電所設備利用率の推移



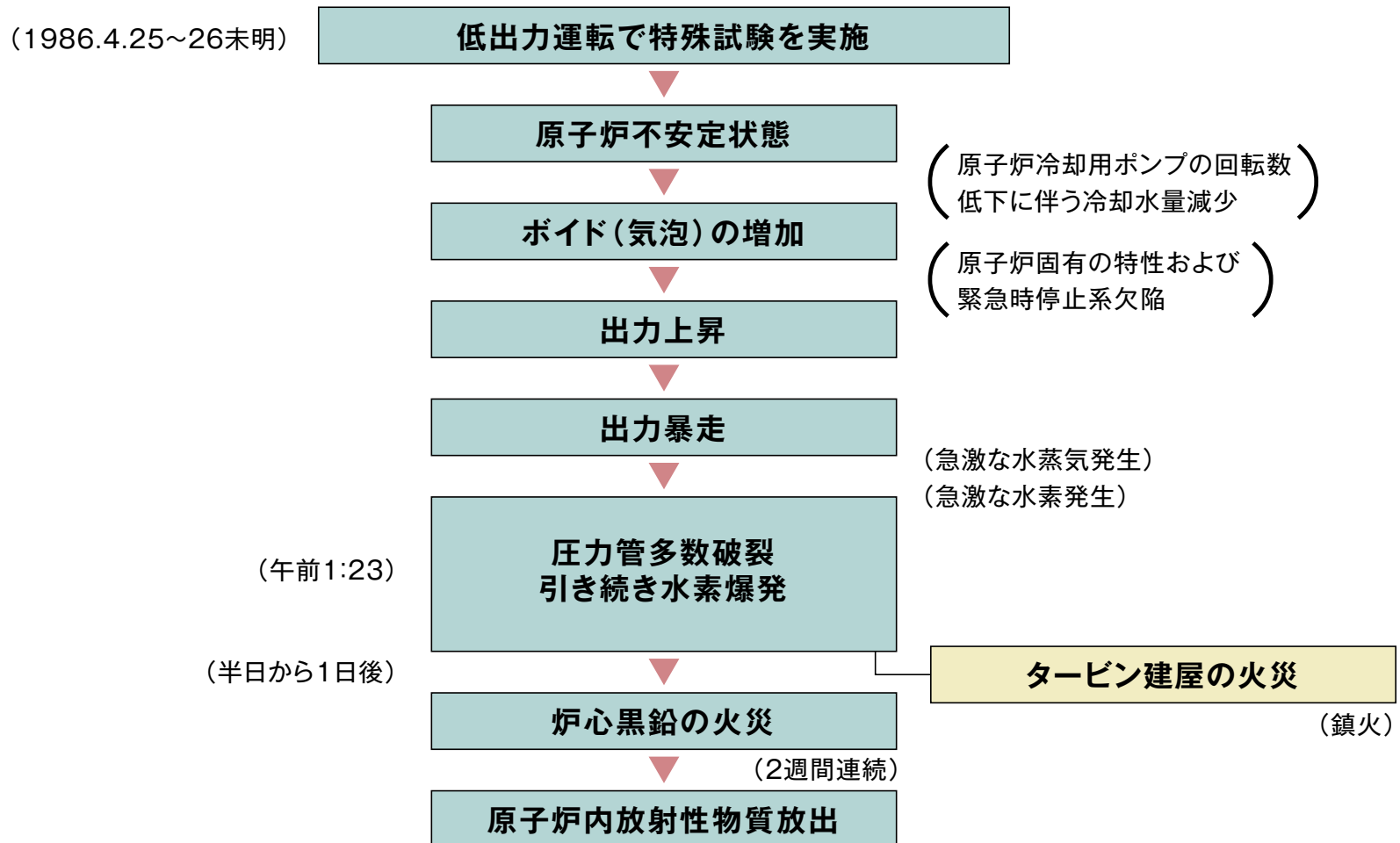
チェルノブイリ原子力発電所の構造

(黒鉛減速軽水冷却沸騰水型炉RBMK)



	日本の原子炉	チェルノブイリの原子炉
自己制御性	あり	なくなる場合がある
冷却材	水	水
中性子の減速材	水	黒鉛
安全装置	インターロックにより危険操作の防止	容易に外せる
原子炉をカバーする丈夫な格納容器	あり	なし

チェルノブイリ原子力発電所事故の経過



チェルノブイリ原子力発電所事故の原因

セイフティーカルチャーの欠如

設計上の問題点

- 格納容器がない
- 安全装置が簡単に切れる設計
- 低出力時に、冷却水中のボイド（気泡）が増えると出力が上昇するという特性（正のボイド係数）等

運転員の規則違反

- 制御棒の規定以上の引き抜き
- 非常用炉心冷却装置（ECCS）を切って運転を実施
- 計画を下回る低出力での特殊試験 等

低出力領域
（全出力の20%以下）
では不安定なため連続
運転は禁止されていた

運転管理上の問題

- 原子炉の専門家でないものが指揮
- 正規の手続や発電所全体の合意なしに特殊試験を実施
- 安全対策の検討が不十分 等

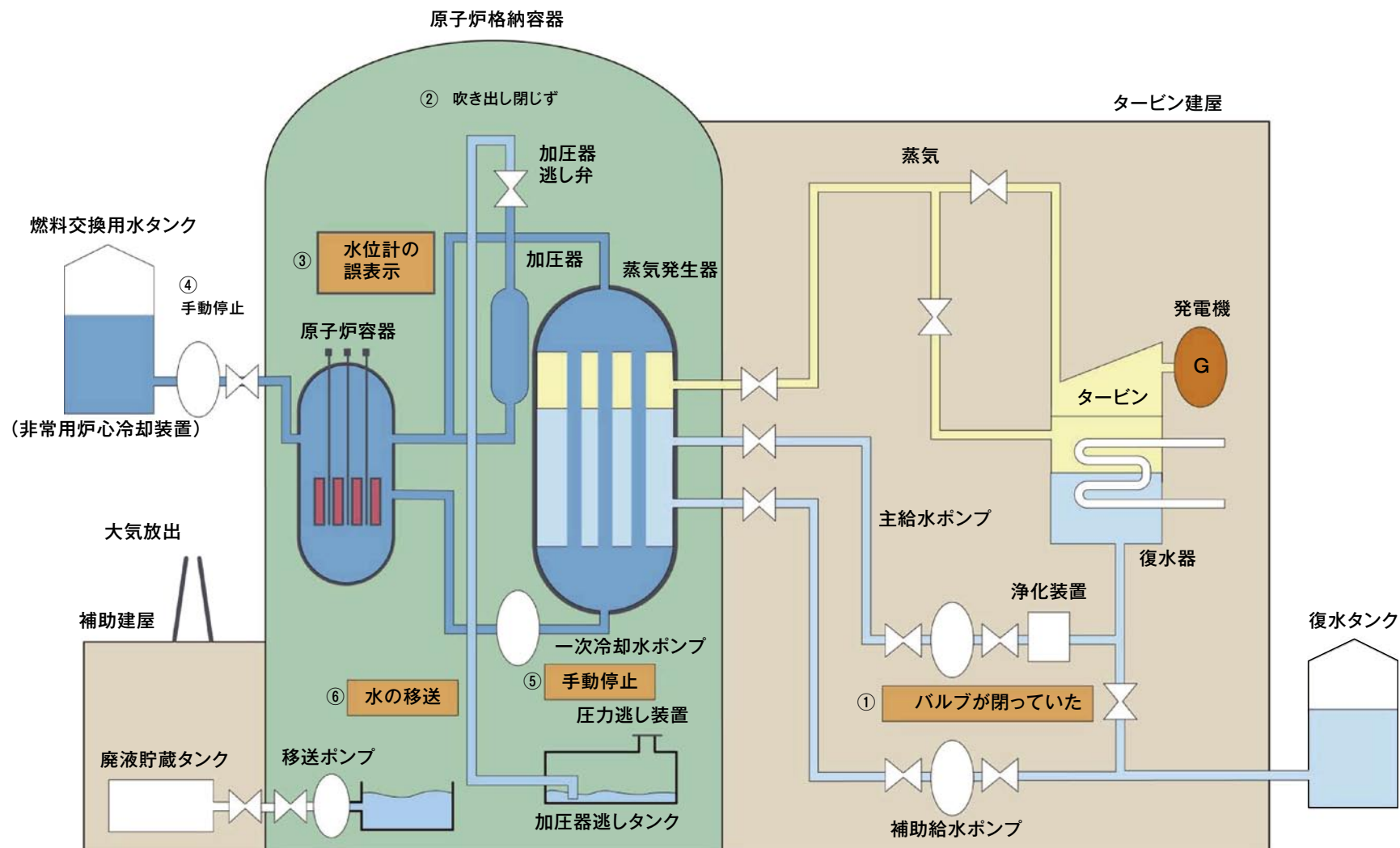
スリーマイルアイランド原子力発電所事故の概要

○事故の主な経緯

1979年3月28日、アメリカのペンシルバニア州スリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所2号機で主給水ポンプが停止。補助給水ポンプが自動起動したものの、ポンプ出口弁全閉で二次冷却水循環水が循環せず、また、自動起動した非常用炉心冷却装置(ECCS)を運転員が誤判断し、手動で停止した等、機器の故障や誤操作の結果、炉内構造物が一部溶解した。

○環境への影響

周辺の公衆が受けた放射線の量は最大で1ミリシーベルト、平均0.01ミリシーベルトと健康上影響のない極めて低いレベルであった。



美浜発電所2号機事故の概要

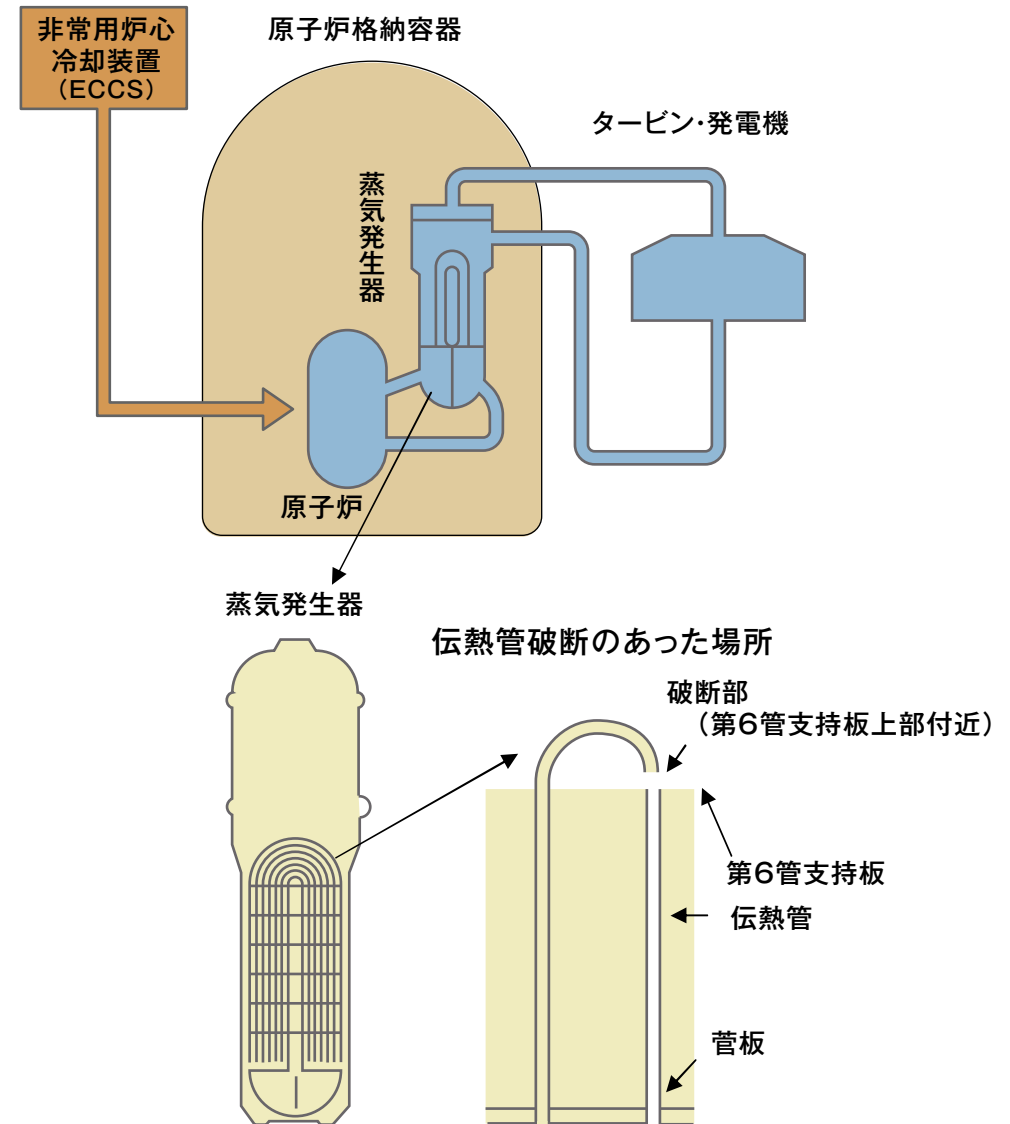
○事故の主な経緯

1991年2月9日、関西電力(株)美浜発電所2号機で、蒸気発生器の伝熱管の1本が破断し、このため原子炉が自動停止し、非常用炉心冷却装置(ECCS)が働くという事象が発生した。

調査の結果、原因は、伝熱管の振動を抑制するための揺れ止め金具が設計どおりの範囲まで挿入されておらず、大幅に挿入不足であったため、伝熱管に異常な振動が発生した。その結果、高サイクル疲労(力が繰り返し(10万回以上)加わることで材料が力に耐えられなくなる現象)により破断に至ったものと判明した。

○環境への影響

わが国において初めて一次冷却水の流出により非常用炉心冷却装置(ECCS)が実作動したが、事象発生に伴う放射性物質の放出はごくわずかであり、周辺環境への影響は認められなかった。

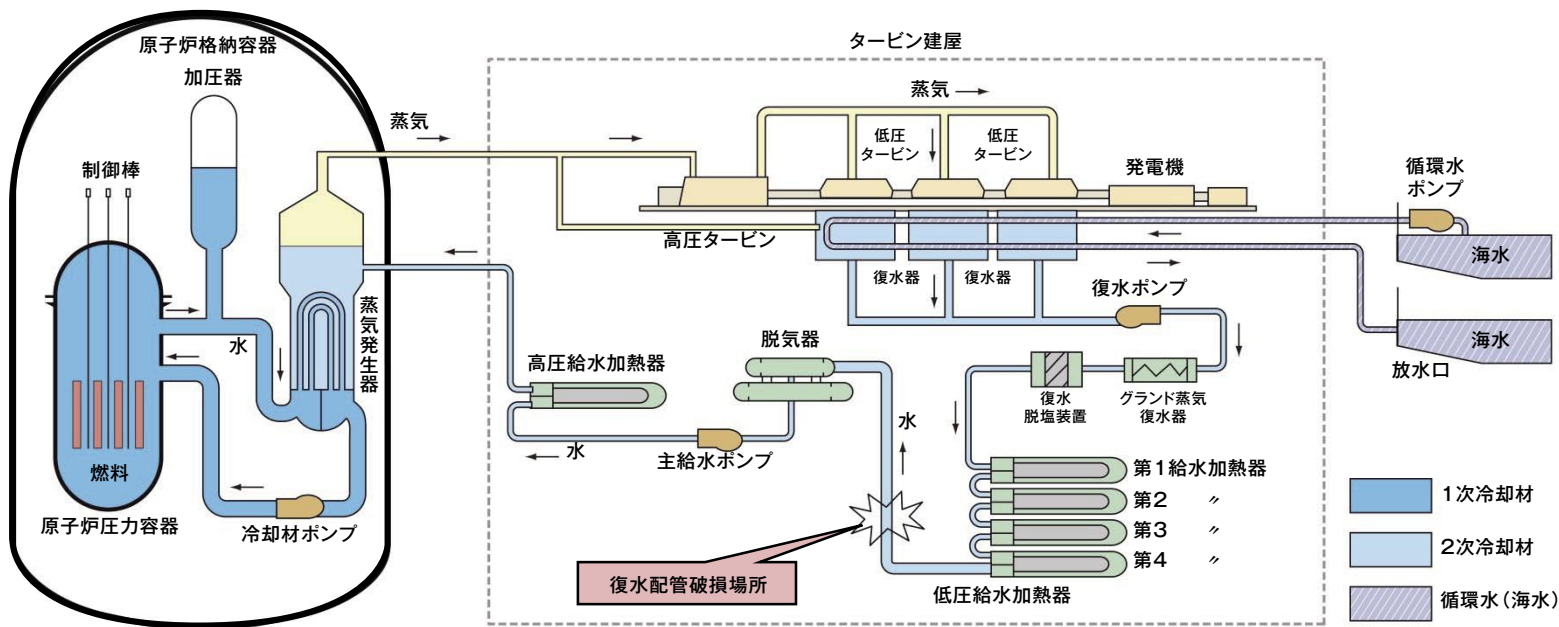


美浜発電所3号機二次系配管破損事故の概要

○事故の概要

2004年8月9日、関西電力(株)美浜発電所3号機二次系配管破損事故が発生。事故当時、3号機タービン建屋内では、8月14日から実施予定の第21回定期検査の準備等のため、協力会社の作業員が作業を行っていた。その状況下で、タービン建屋内2階天井付近の復水配管に破損が生じ、約140度、約9気圧の高温水が蒸気となって噴出した。

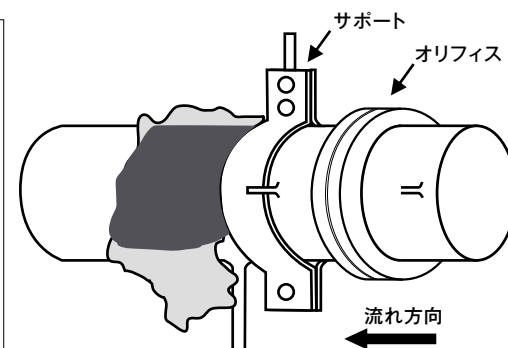
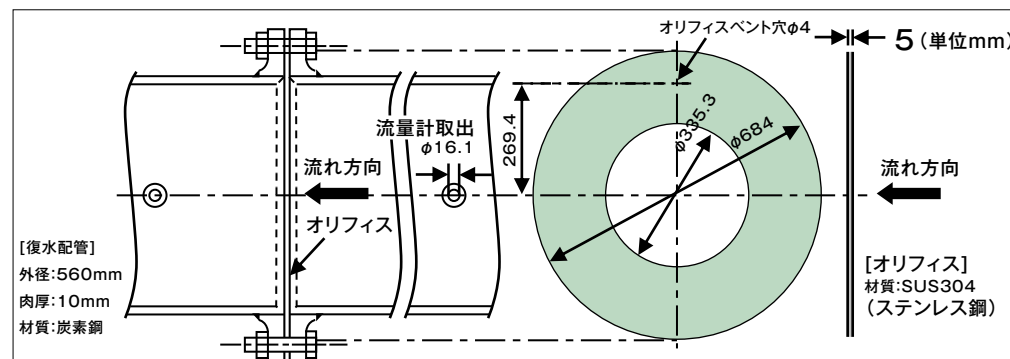
直ちに建屋内に点検に入った運転員がタービン建屋2階のエレベータ前で倒れている被災者を発見。被災した協力会社の作業員11名が病院へ搬送されたが、5名が亡くなり6名が重傷を負った。なお、2次主冷却系の事故であり、周辺公衆および従事者への放射性物質による影響はなかった。



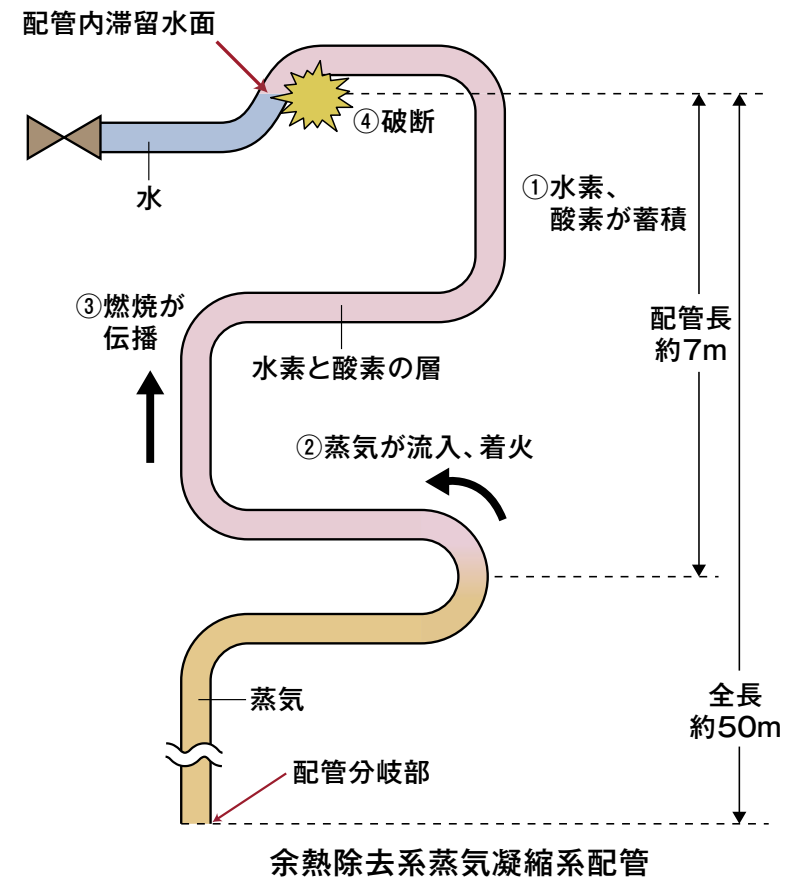
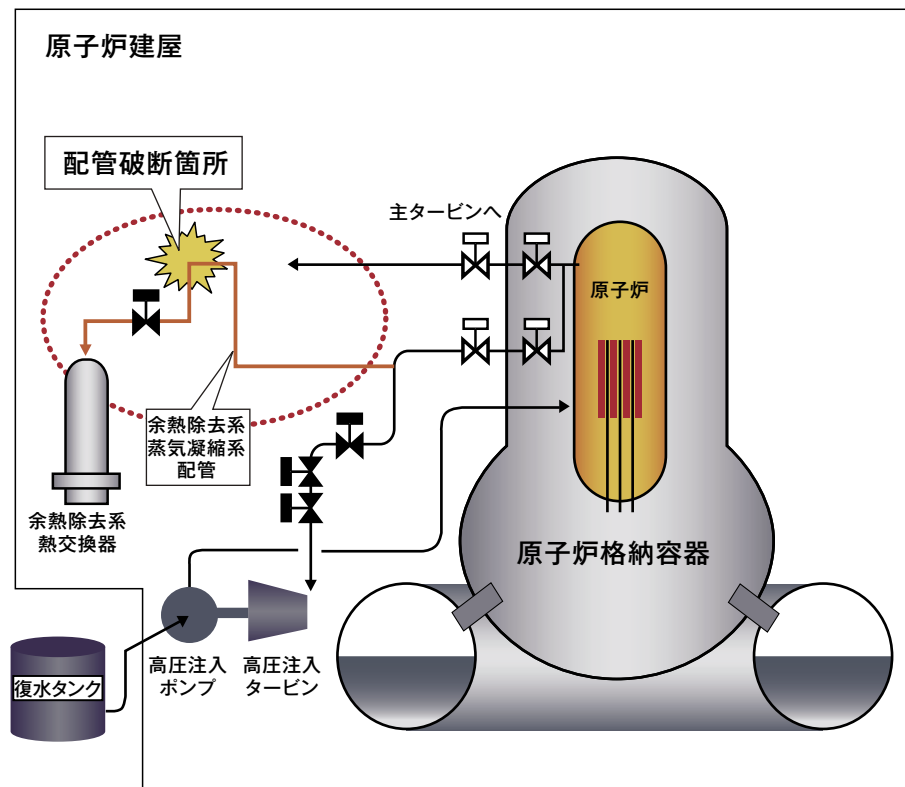
○事故の原因

復水配管の流量計(オリフィス)の下流部で大きな破口が確認された。オリフィス下流部位は偏流が発生しやすいことや破損部位の内面観察結果などから、いわゆるエロージョン・コロージョン(腐食・浸食)により配管肉厚が徐々に減少した結果、配管の強度が不足し、運転時の荷重により破損したものと推定されている。

2次系の配管については、1990年に「原子力2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」を策定し、その後配管の減肉が予想される部位等について、計画的に肉厚を測定してきたが、破損した配管の部位(A系統)は、当初から測定対象から漏れ、事故発生時点まで肉厚測定の実績はなかった。



浜岡原子力発電所1号機配管破断事故の概要



○事故の概要

2001年11月7日17時2分、中部電力(株)浜岡原子力発電所1号機で、高圧注入系の手動試験を実施したところ、余熱除去系蒸気凝縮系配管が破断

○事故の原因

- ①配管上部で、蒸気が凝縮。濃度の高い水素と酸素が、水面から約7mの位置まで蓄積
- ②高圧注入系手動起動試験による圧力変動で、高温の蒸気が水素と酸素の層に流入し、着火。貴金属が触媒として作用した可能性がある
- ③着火後、燃烧が水素と酸素の層の中を伝播(燃烧状態:爆燃→爆轟)
- ④配管内の圧力が急激に上昇、水面近くのエルボ部が破断(約3,000気圧)。また、他の配管部が変形

高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故の概要

○事故の主な経緯

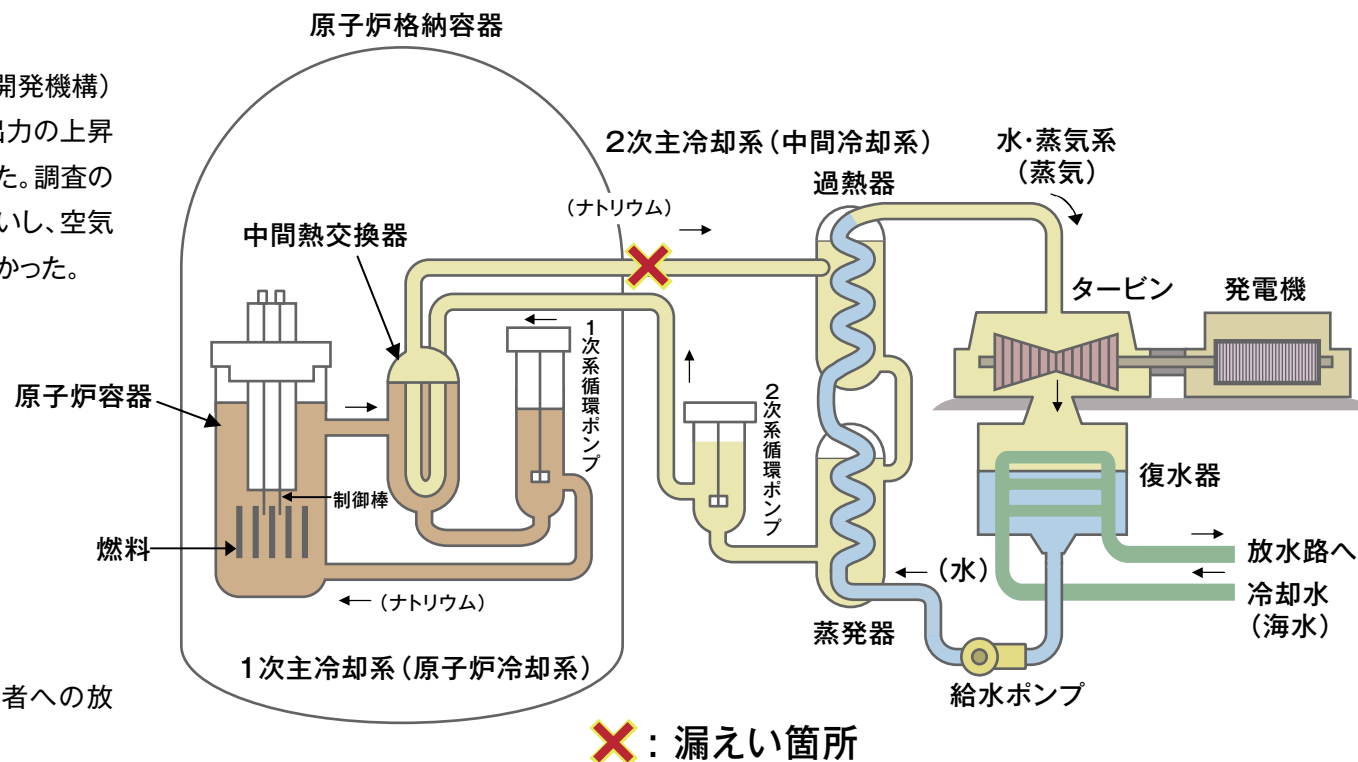
1995年12月8日、旧動燃（現在の日本原子力研究開発機構）の高速増殖原型炉「もんじゅ」で試運転中に、原子炉出力の上昇操作をしていたところ、ナトリウム漏えい事故が発生した。調査の結果、配管に設置してあったナトリウム温度計から漏えいし、空气中的酸素と反応してナトリウム火災を起こしたことが分かった。

○事故の影響

2次主冷却系の事故であり、周辺公衆および従事者への放射性物質による影響はなかった。

また、原子炉は安全に停止し、炉心への影響もなかった。

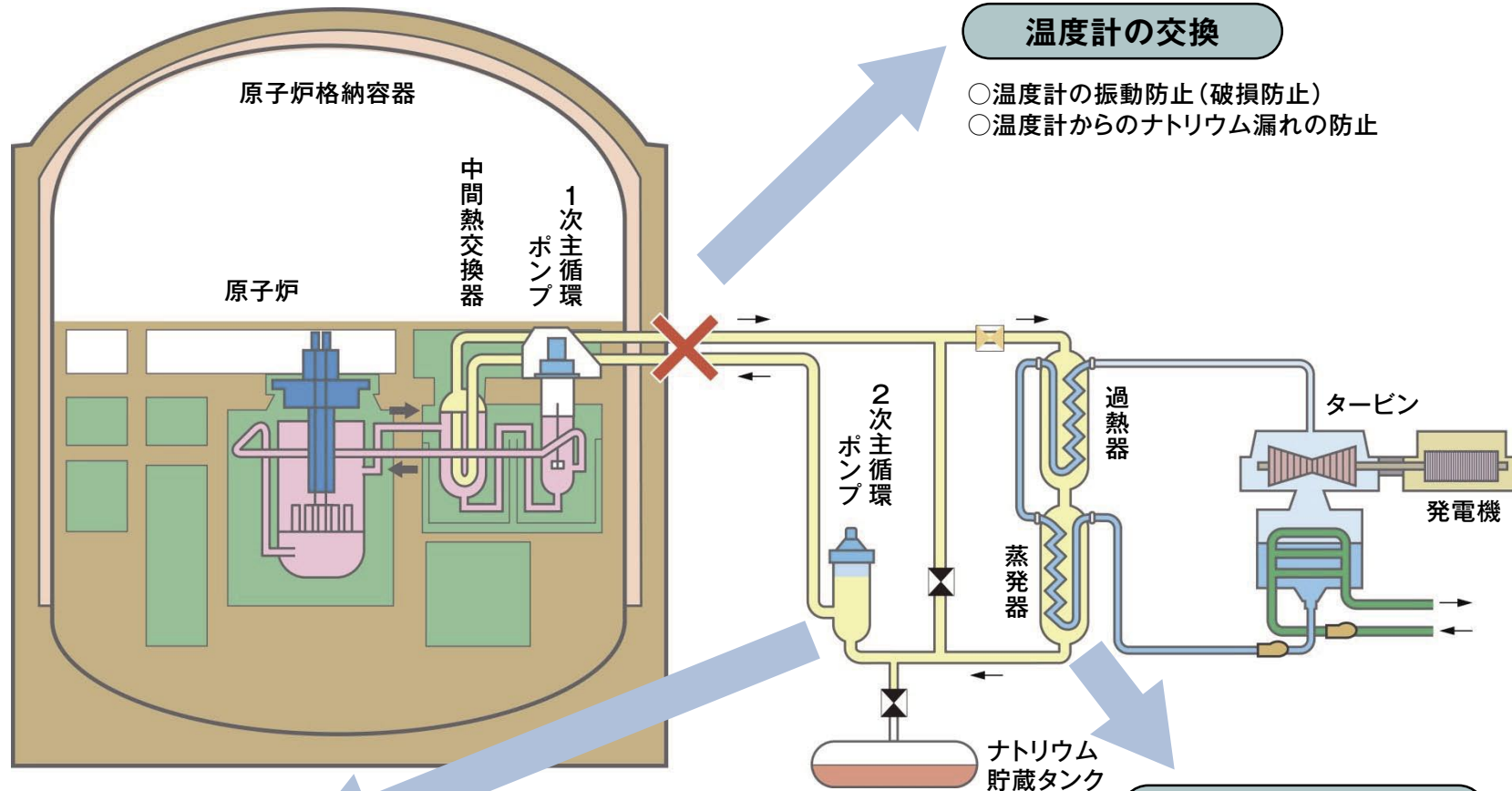
しかし、現実にはナトリウム漏えいが生じ、ナトリウム火災の影響を拡大させ、また、旧動燃の情報公開等に問題があったことも明らかとなり、地元の住民をはじめ多くの国民に不安感及び不信感を与える結果となった。



高速増殖原型炉「もんじゅ」改造工事の概要

改造の目的

1. ナトリウム漏れの発生防止
2. 異常が発生した場合、早期に検出し異常の拡大防止



温度計の交換

- 温度計の振動防止（破損防止）
- 温度計からのナトリウム漏れの防止

ナトリウム漏えい対策

- ナトリウム漏えいを早期に検出
- 漏えいを検出した場合、配管内のナトリウムを急速にタンクへ抜き取る（配管の太径化、電動弁の二重化等）
- ナトリウムが漏えいした場合、漏えいした部屋に窒素ガスを注入（窒息消化する）

蒸発器の安全性向上

- 水の漏えいを確実に検出
- 異常発生時に、伝熱管内の水・蒸気の早期放出（ナトリウムと水の反応を速やかに止める）

(株)ジェー・シー・オー ウラン加工工場臨界事故の概要

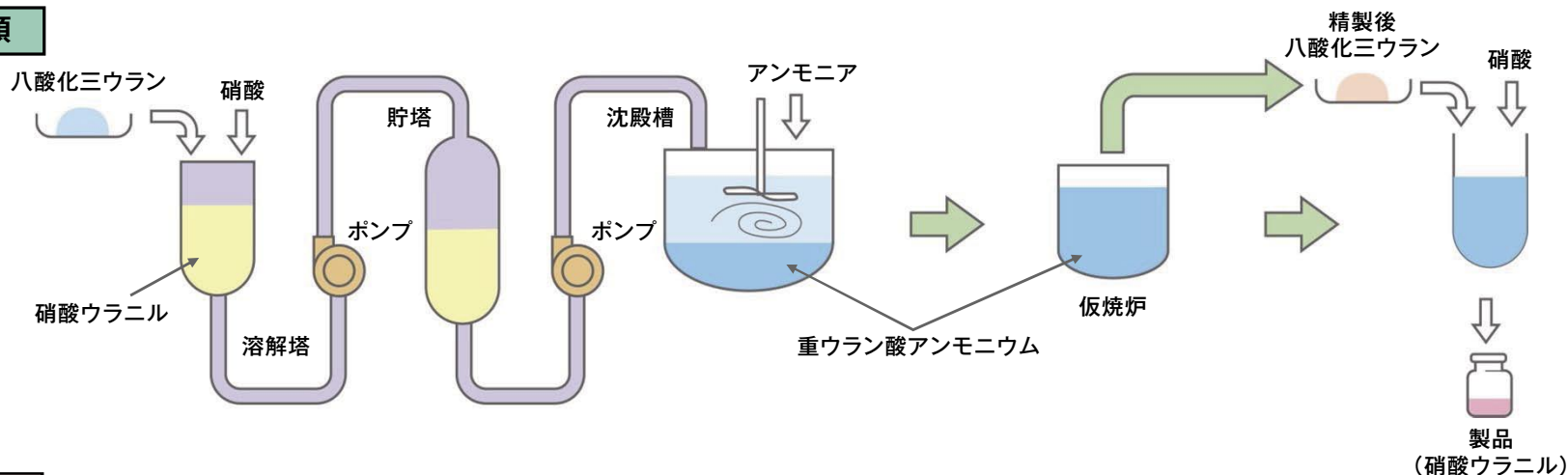
○事故の概要

1999年9月30日、(株)ジェー・シー・オー ウラン加工工場における濃縮ウラン溶液を均一化する作業において、作業者が使用目的の異なる沈殿槽に臨界量以上のウラン溶液を注入したことにより、臨界事故が発生。これは、違法な社内マニュアルに従った行為であった。臨界状態は約20時間継続し、作業員2名が亡くなる結果となった。

○住民等への影響

臨界状態の間、周辺に放射線が放出され続けるとともに、微量の放射性ガス物質も大気中に放出され、従業員、防災業務関係者、周辺住民など319人(うち周辺住民130人)が一般人の年間実効線量限度である1ミリシーベルトを超える放射線を受けたと推定されている。

正規の手順



事故時の手順



国際原子力・放射線事象評価尺度 (INES)

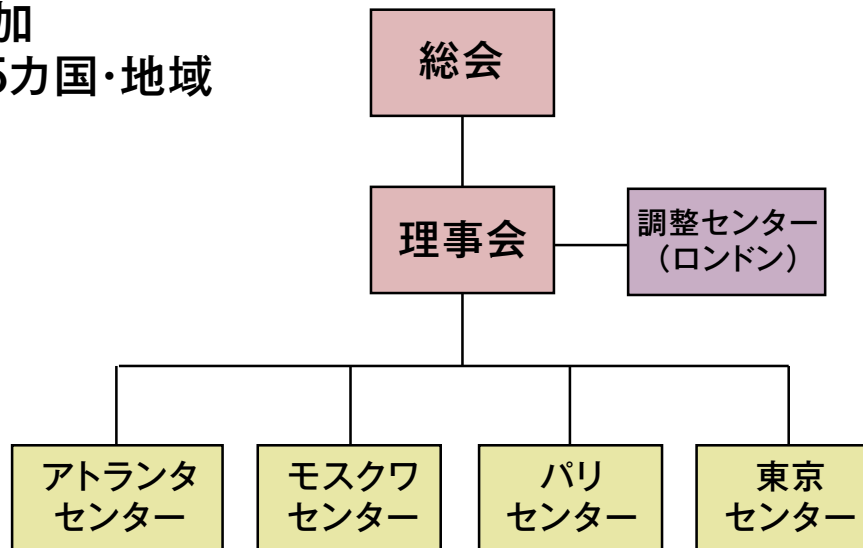
	レベル	基準			参考事例 (INESの公式評価でないものも 含まれている)
		基準1:人と環境	基準2:施設における放射線バリアと管理	基準3:深層防護	
事故	7 (深刻な事故)	・ 広範囲の健康および環境への影響を伴う放射性物質の大規模な放出			・ 旧ソ連チェルノブイリ発電所事故 (1986年) 暫定評価 ・ 東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所事故 (2011年)
	6 (大事故)	・ 放射性物質の相当量の放出			
	5 (広範囲な影響を伴う事故)	・ 放射性物質の限定的な放出 ・ 放射線による数名の死亡	・ 炉心の重大な損傷 ・ 公衆が著しい被ばくを受ける可能性の高い施設内の放射性物質の大量放出		・ アメリカスリーマイルアイランド発電所事故 (1979年)
	4 (局所的な影響を伴う事故)	・ 軽微な放射線物質の放出 ・ 放射線による少なくとも1名の死亡	・ 炉心の全放射線量の0.1%を超える放出につながる燃料の溶融または燃料の損傷 ・ 公衆が著しい大規模被ばくを受ける可能性の高い相当量の放射性物質の放出		・ ジェー・シー・オー臨界事故 (1999年)
異常な事象	3 (重大な異常事象)	・ 法令による年間限度の10倍を超える作業員の被ばく ・ 放射線による非致命的な確定的健康影響	・ 運転区域内での1Sv(シーベルト)※/時を超える被ばく線量率 ・ 公衆が著しい被ばくを受ける可能性は低い設計で予想していない区域での重大な汚染	・ 安全設備が残されていない原子力発電所における事故寸前の状態 ・ 高放射能密封線源の紛失または盗難	
	2 (異常事象)	・ 10mSv(ミリシーベルト)を超える公衆の被ばく ・ 法令による年間限度を超える作業員の被ばく	・ 50mSv(ミリシーベルト)/時を超える運転区域での放射線レベル ・ 設計で予想していない施設内の域内の相当量の汚染汚染	・ 実際の影響を伴わない安全設備の重大な欠陥	・ 美浜発電所2号機 蒸気発生器伝熱管損傷事故 (1991年)
	1 (逸脱)			・ 法令による限度を超えた公衆の過大被ばく ・ 低放射能の線源の紛失または盗難	・ 「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故 (1995年) ・ 浜岡原子力発電所1号機余熱除去系配管破断事故 (2001年) ・ 美浜発電所3号機二次系配管破損事故 (2004年)
尺度未満	0 (尺度未満)	安全上重要ではない事象		0+ 安全に影響を与える事象 0- 安全に影響を与えない事象	
評価対象外		安全に関係しない事象			

※シーベルト(Sv):放射線が人体に与える影響を表す単位(ミリは1,000分の1)

世界原子力発電事業者協会(WANO)

WANOは原子力発電事業者単位で会員となる民間組織である。会員間で情報を交換することと、コミュニケーション、比較、学び合いを奨励することにより原子力発電所の安全性と信頼性を最高レベルに高めることを目的としている(1989年5月設立)

参加
35カ国・地域



WANOの活動

- 運転経験情報交換
- ピアビュー(訪問評価)の実施
- ワークショップ・セミナーの開催
- 技術支援と技術交換
(良好事例、事業者交流、運転指標、
技術支援ミッション)

- 日本原子力発電事業者連合
電力9社、日本原子力発電(株)、原子力安全推進協会、
(独)日本原子力研究開発機構、電源開発(株)
- 韓国水力原子力発電株式会社
- インド原子力発電公社
- パキスタン原子力発電委員会
- 台湾電力公司
- 中国核工業集团公司

国の原子力防災体制

緊急時に備えて、平時から政府全体で原子力防災対策を推進するために、内閣に原子力防災会議を新たに常設

平時

緊急時

内閣に
新たに常設

原子力防災会議

議長 : 内閣総理大臣
副議長 : 内閣官房長官、環境大臣
原子力規制委員会委員長
議員 : 国務大臣、内閣危機管理監、副大臣、大臣政務官等
事務局長 : 環境大臣

(役割)

- 原子力災害対策指針※に基づく施策等の実施を推進 等
- 原子力事故が発生した場合の、事故後の長期にわたる総合的な施策の実施の推進

原子力災害対策本部

(原子力緊急事態宣言をしたときに臨時に内閣府に設置)

本部長 : 内閣総理大臣
副本部長 : 内閣官房長官、環境大臣
原子力規制委員会委員長
本部員 : 国務大臣、内閣危機管理監、副大臣、大臣政務官等

(役割)

- 原子力緊急事態に対する応急対策及び事後対策の総合調整

関係省庁

〔 警察庁、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、
国土交通省、海上保安庁、環境省、防衛省 等 〕

関係省庁

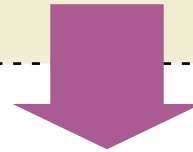
〔 警察庁、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、
国土交通省、海上保安庁、環境省、防衛省 等 〕

※ 原子力事業者や地方公共団体等による、原子力災害予防対策や緊急事態応急対策及び事後対策の円滑な実施を確保するための指針で、原子力規制委員会が作成する指針

原子力災害対策特別措置法に基づく通報基準

<通報基準>

- ◎事業所の境界付近の空間放射線量率
⇒1地点10分以上、または2地点同時に、 $5\mu\text{Sv/h}$ (ガンマ線 $1\mu\text{Sv/h}$ 以上の時は中性子線も測定し、合計)
- ◎排気筒、排水口等からの放射性物質の放出
⇒拡散を考慮し、事業所の境界付近で $5\mu\text{Sv/h}$ 相当
- ◎管理区域外の場所における放射線量等
⇒火災・爆発等が生じ、 $50\mu\text{Sv/h}$ 以上の空間放射線量率、または $5\mu\text{Sv/h}$ 以上に相当する放射性物質の放出
- ◎輸送容器から1m離れた地点の空間放射線率
⇒事業所外運搬事故が生じ、 $100\mu\text{Sv/h}$ 以上の漏えい
- ◎原子炉以外での臨界事故の発生、またはその恐れがある状態
- ◎緊急事態に至る可能性のある施設の特性を踏まえた個別事象
⇒制御棒による運転停止不可等



<緊急事態の判断基準>

通報基準の原則100倍

- ◎事業所の境界付近の空間放射線量率
⇒1地点10分以上、または2地点同時に、 $500\mu\text{Sv/h}$ (ガンマ線 $5\mu\text{Sv/h}$ 以上の時は中性子線も測定し、合計)
 - ◎排気筒等からの放射性物質の放出
 - ◎管理区域外の場所における放射線量及び放射線物質の放出
 - ◎輸送容器から1m離れた地点の空間放射線率
- } ⇒通報基準の100倍
- ◎臨界事故の発生
 - ◎緊急事態の発生を示す施設の特性を踏まえた個別事象
⇒ホウ酸水の注入によっても原子炉運転停止不可等

原子力防災指針

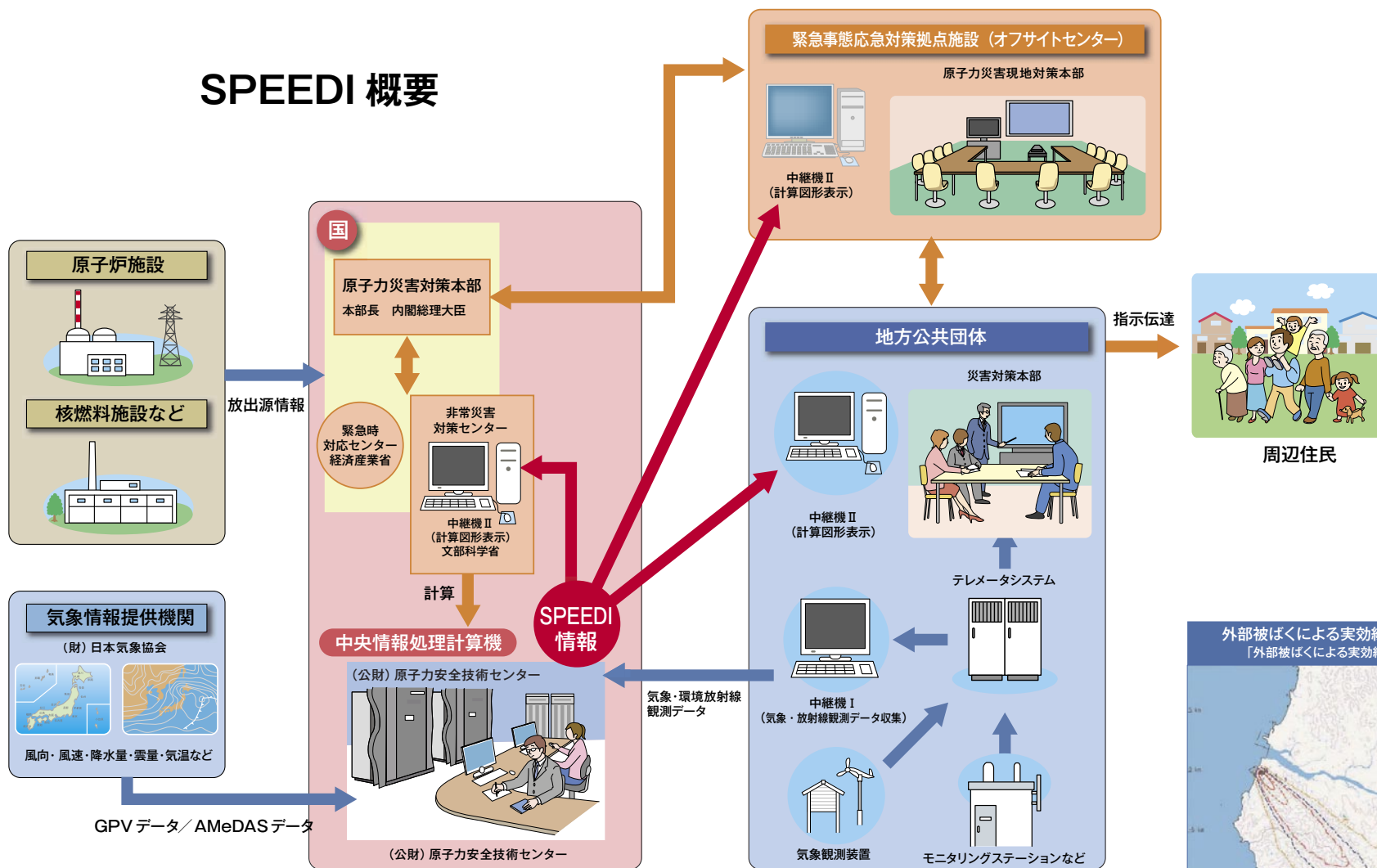
屋内退避及び避難等に関する指標

予測線量(単位:mSv)		防護対策の内容
外部被ばくによる実効線量	内部被ばくによる等価線量 ・放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量 ・ウランによる骨表面、または肺の等価線量 ・プルトニウムによる骨表面、または肺の等価線量	
10～50	100～500	住民は、自宅等の屋内へ退避すること。 その際、窓等を閉め気密性に配慮すること。 ただし、施設から直接放出される中性子線またはガンマ線の放出に対しては、現地災害対策本部の指示があれば、コンクリート建家に退避するか、または避難すること。
50以上	500以上	住民は、指示に従いコンクリート建家の屋内に退避するか、または避難すること。

(注) 予測線量は、災害対策本部等において算定され、これに基づく周辺住民等の防護対策措置についての指示等が行われる
 予測線量は、放射性物質または放射線の放出期間中、屋外に居続け、なんらの措置も講じなければ受けると予測される線量である
 外部被ばくによる実効線量、放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量、ウランによる骨表面または肺の等価線量、プルトニウムによる骨表面または肺の等価線量が同一レベルにないときは、これらのうちいずれか高いレベルに応じた防護対策をとるものとする

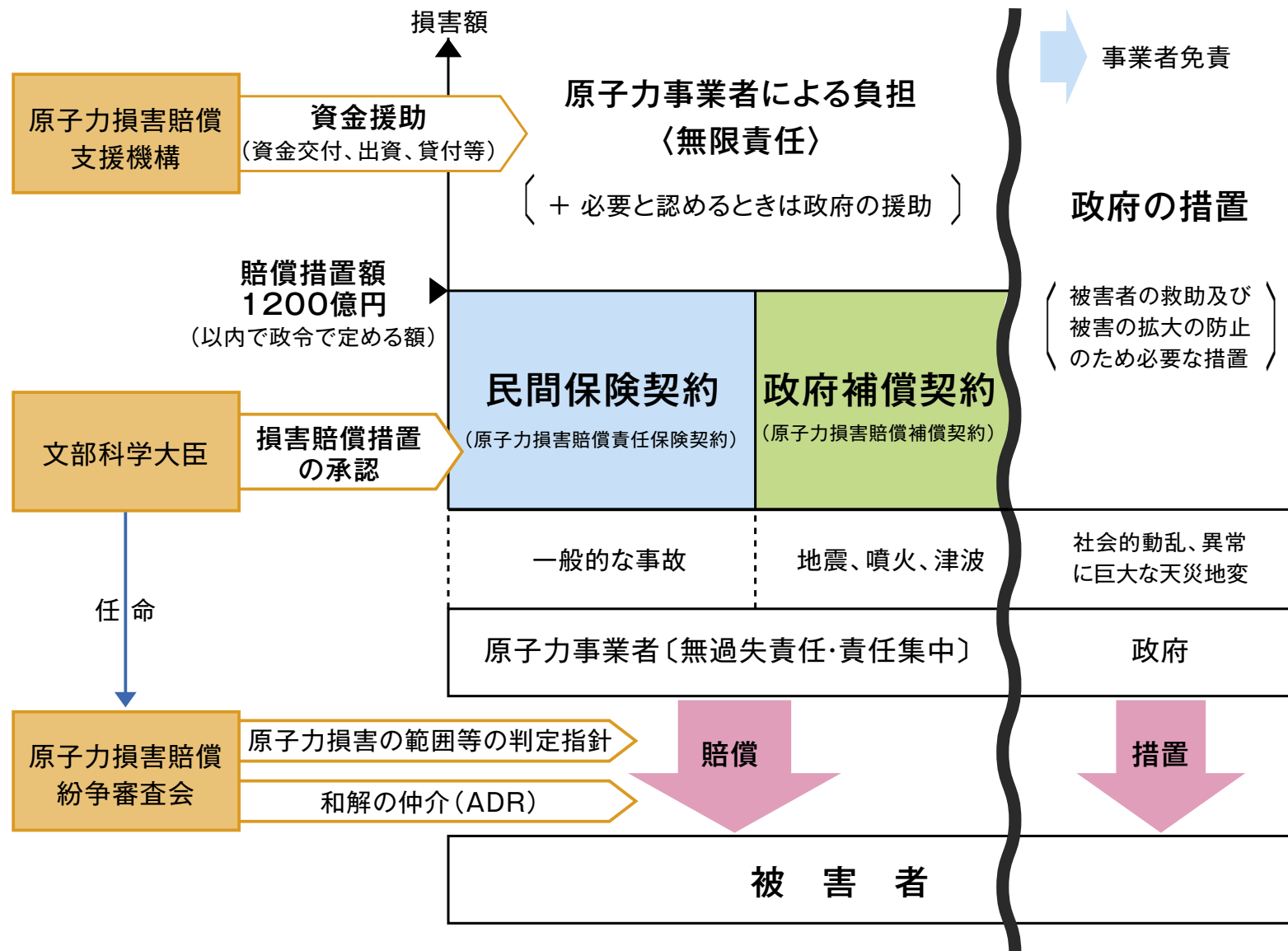
緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム (SPEEDI)

SPEEDI 概要

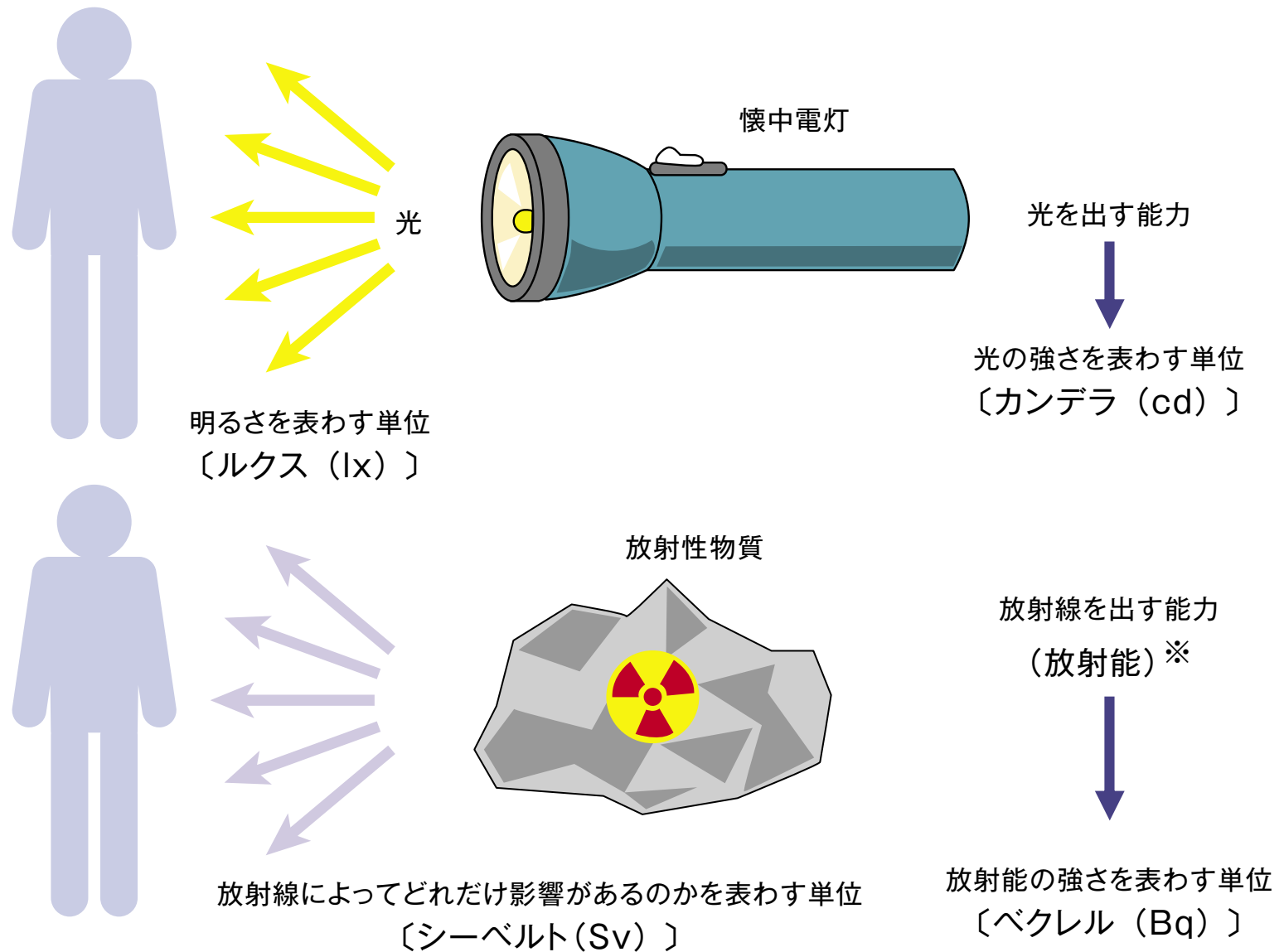


SPEEDI 計算結果

原子力損害賠償制度



放射能と放射線

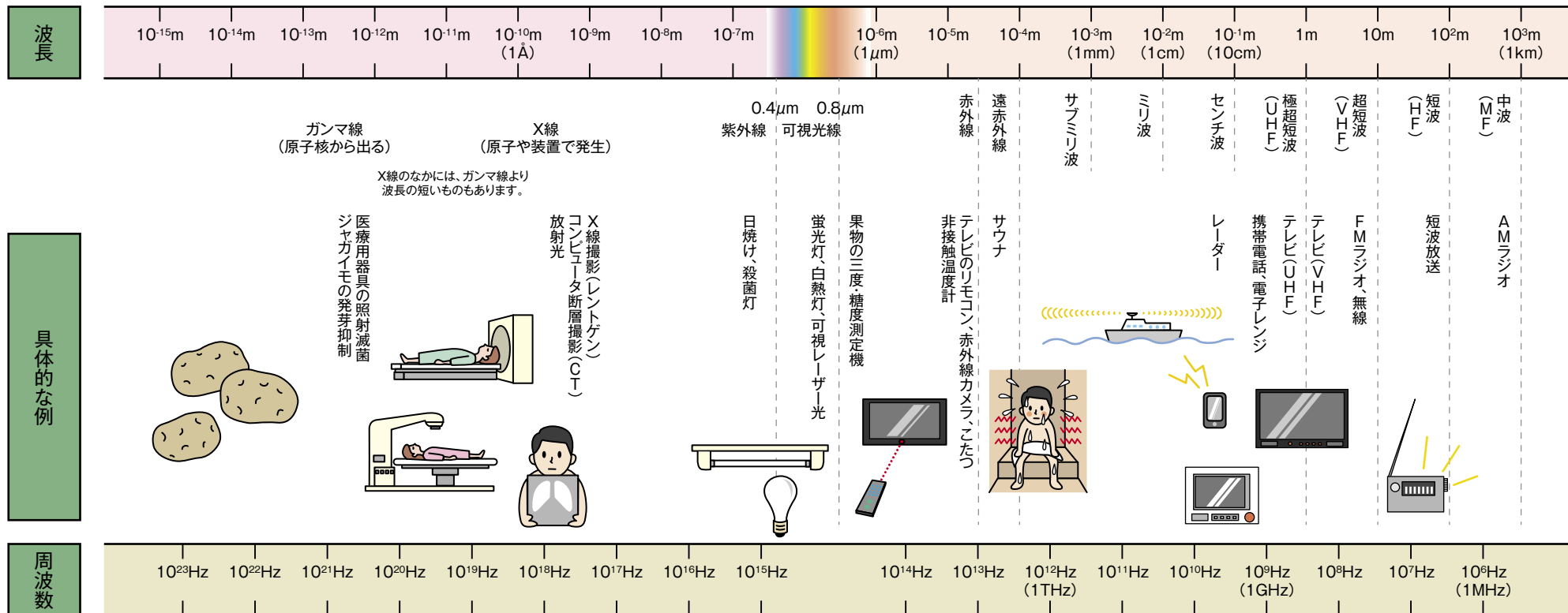


※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

放射線に関する単位

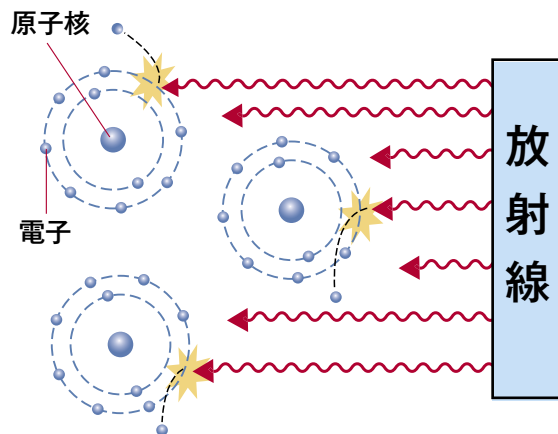
名 称	単 位 名 (記 号)	定 義
放射能の単位 国際単位系 (SI)		
放射能	ベクレル (Bq)	1秒間に原子核が崩壊する数を表す単位
放射線量の単位 国際単位系 (SI)		
吸収線量	グレイ (Gy)	放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位 1 Gyは1 kgあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量
線 量	シーベルト (Sv)	放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位 (1シーベルト=1000ミリシーベルト)
エネルギーの単位		
エネルギー	エレクトロンボルト/ 電子ボルト (eV)	放射線等のエネルギーを表す単位 (1eV=1.6×10 ⁻¹⁹ J)

電磁波の仲間

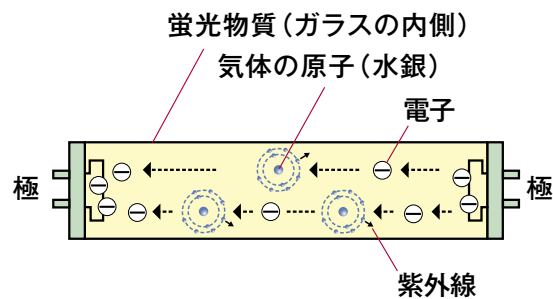


放射線の性質

電離作用



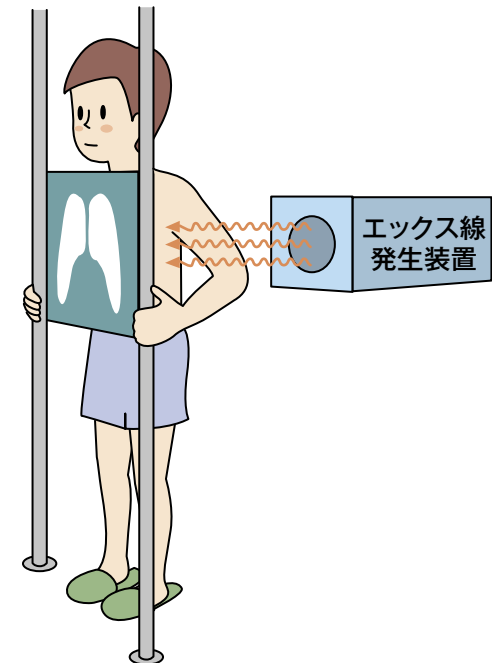
蛍光作用



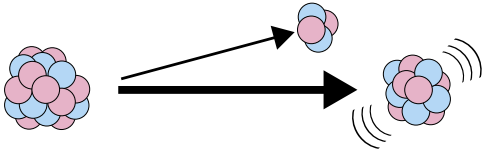
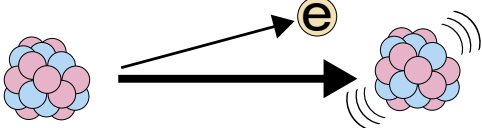
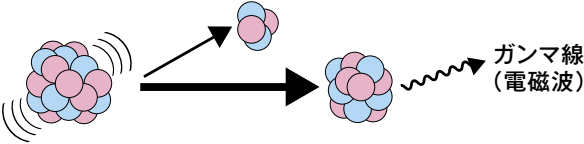
蛍光灯の仕組み

管の両端に電圧が加わると、極から極に電子が流れます。電子が管に封入された水銀に衝突すると、紫外線が発生します。紫外線は蛍光物質を光らせます。

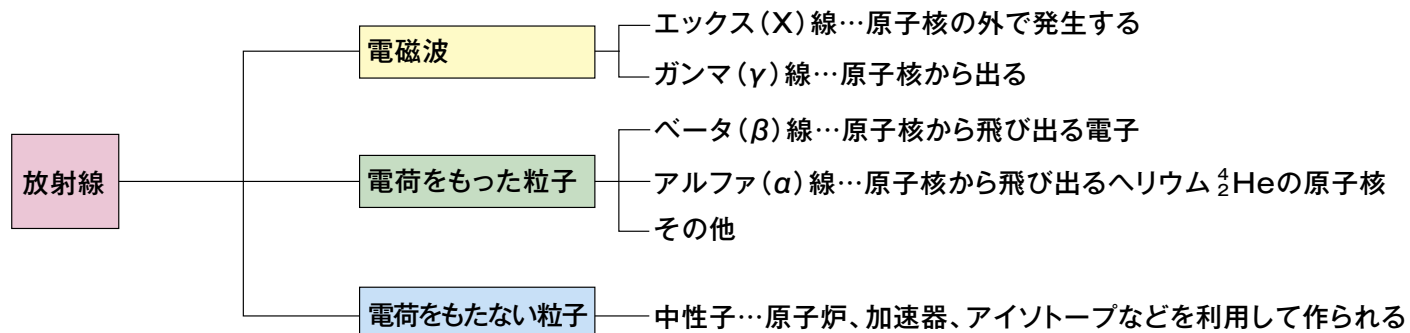
透過作用



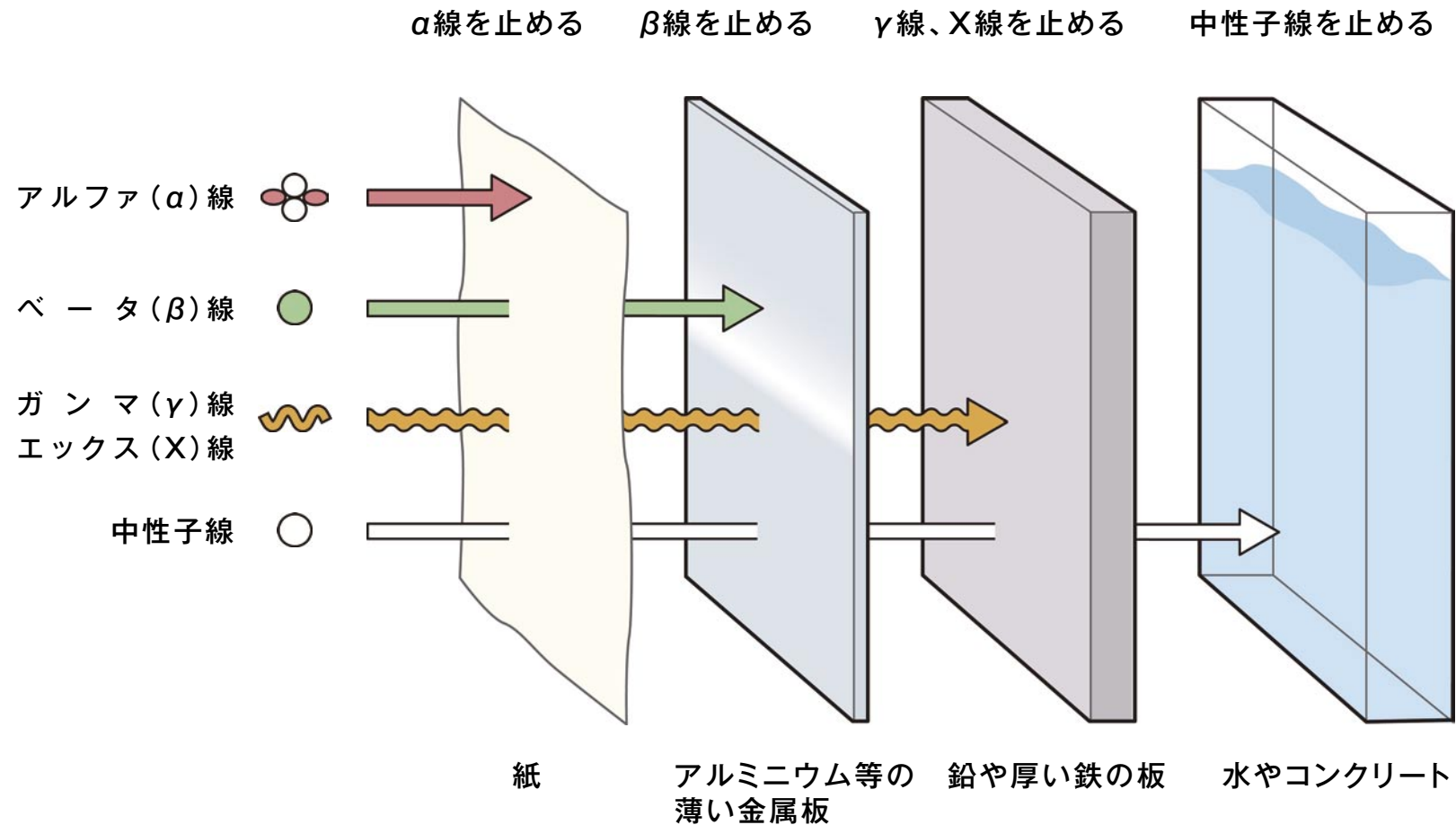
放射線の種類

アルファ(α)壊変(崩壊)	アルファ線(${}^4_2\text{He}$原子核) 	(例) ${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$
ベータ(β)壊変(崩壊)	ベータ線(電子) 	(例) ${}^{24}_{11}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}^{24}_{12}\text{Mg}$
ガンマ(γ)線の放出	アルファ線  ガンマ線(電磁波)	

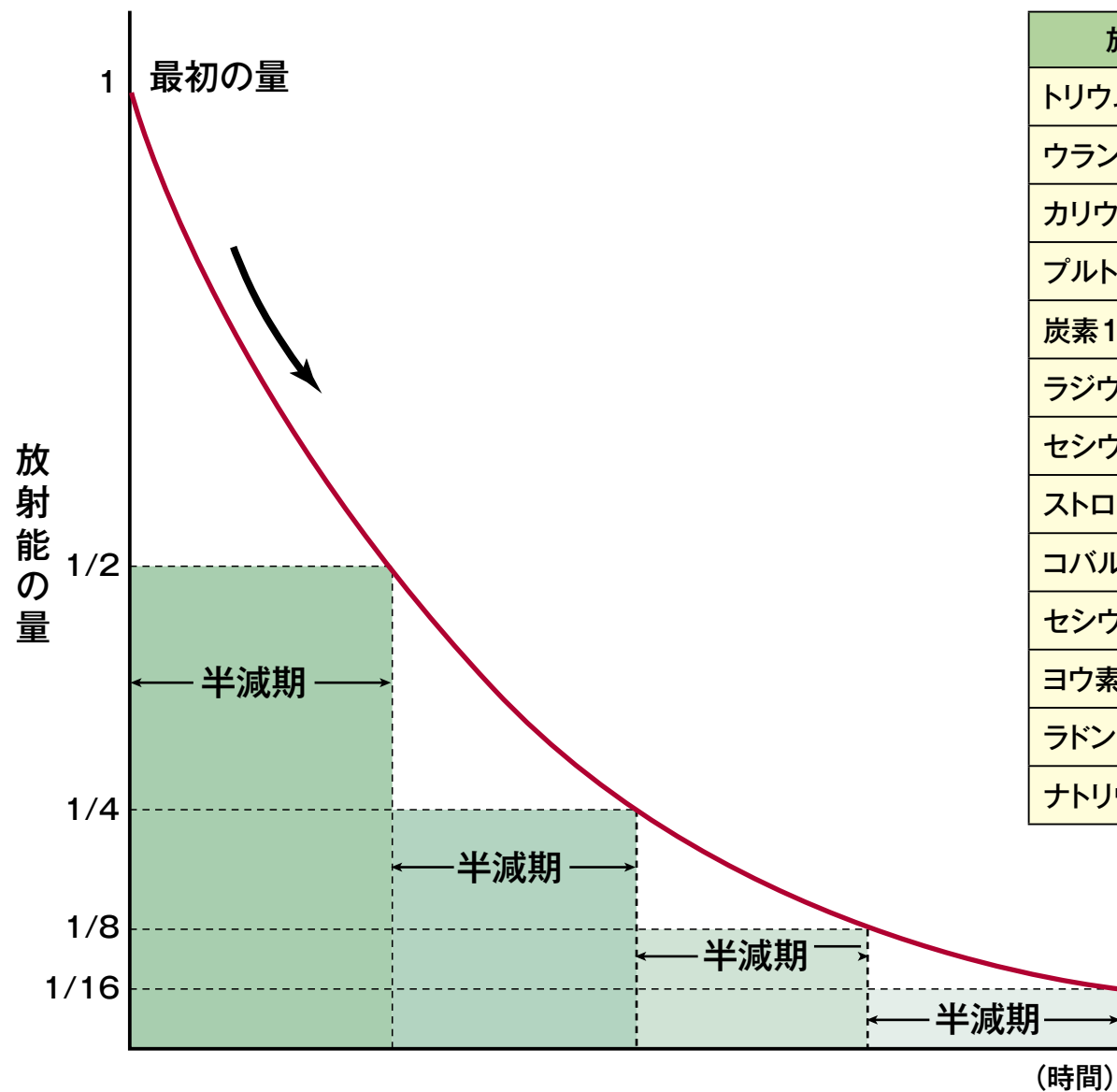
● 陽子 ● 中性子



放射線の種類と透過力



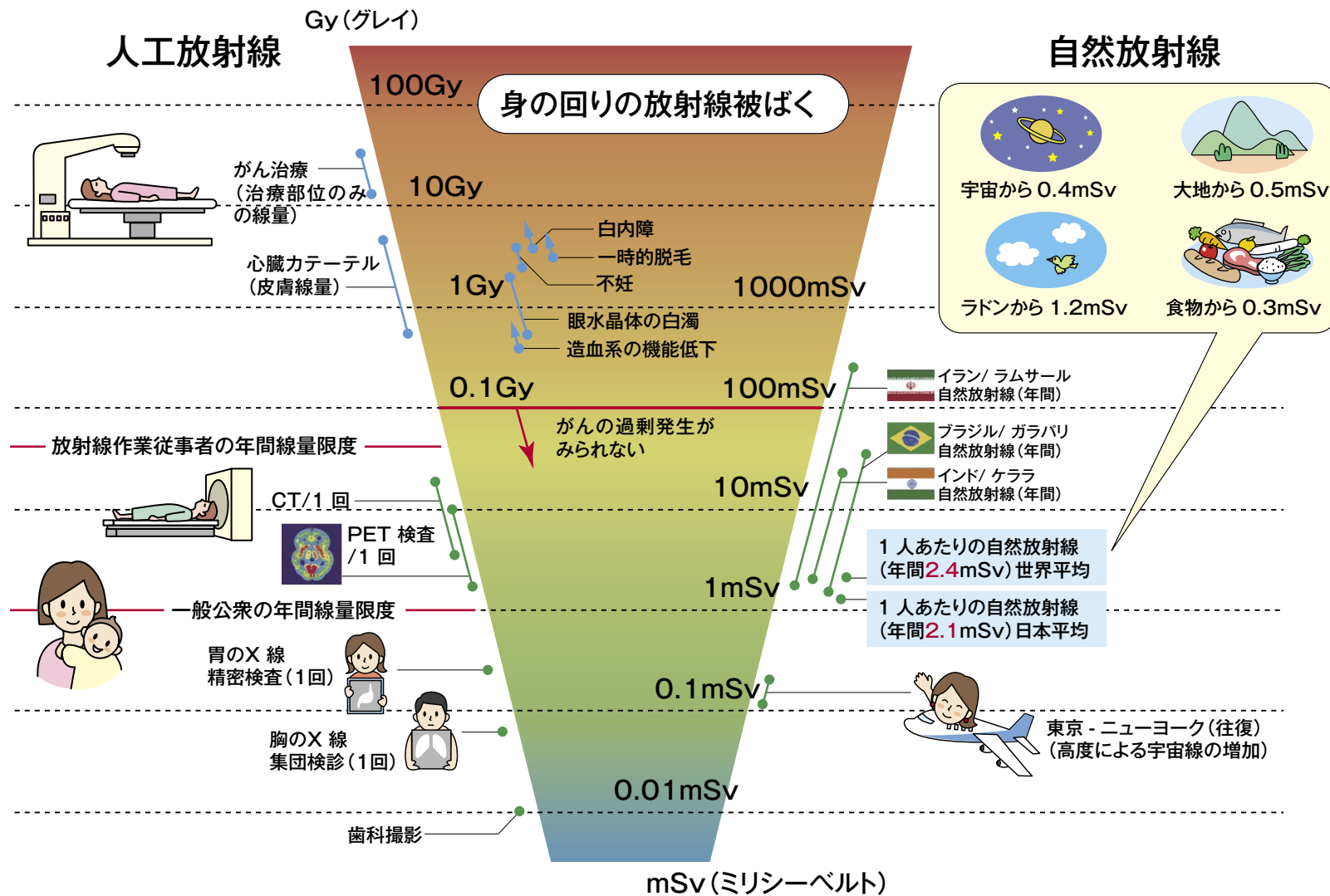
放射能の減り方



放射性物質	放出される放射線※	半減期
トリウム232	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	141億年
ウラン238	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	45億年
カリウム40	$\beta \cdot \gamma$	13億年
プルトニウム239	$\alpha \cdot \gamma$	2.4万年
炭素14	β	5,730年
ラジウム226	$\alpha \cdot \gamma$	1,600年
セシウム137	$\beta \cdot \gamma$	30年
ストロンチウム90	β	28.7年
コバルト60	$\beta \cdot \gamma$	5.3年
セシウム134	$\beta \cdot \gamma$	2.1年
ヨウ素131	$\beta \cdot \gamma$	8日
ラドン222	$\alpha \cdot \gamma$	3.8日
ナトリウム24	$\beta \cdot \gamma$	15時間

※壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

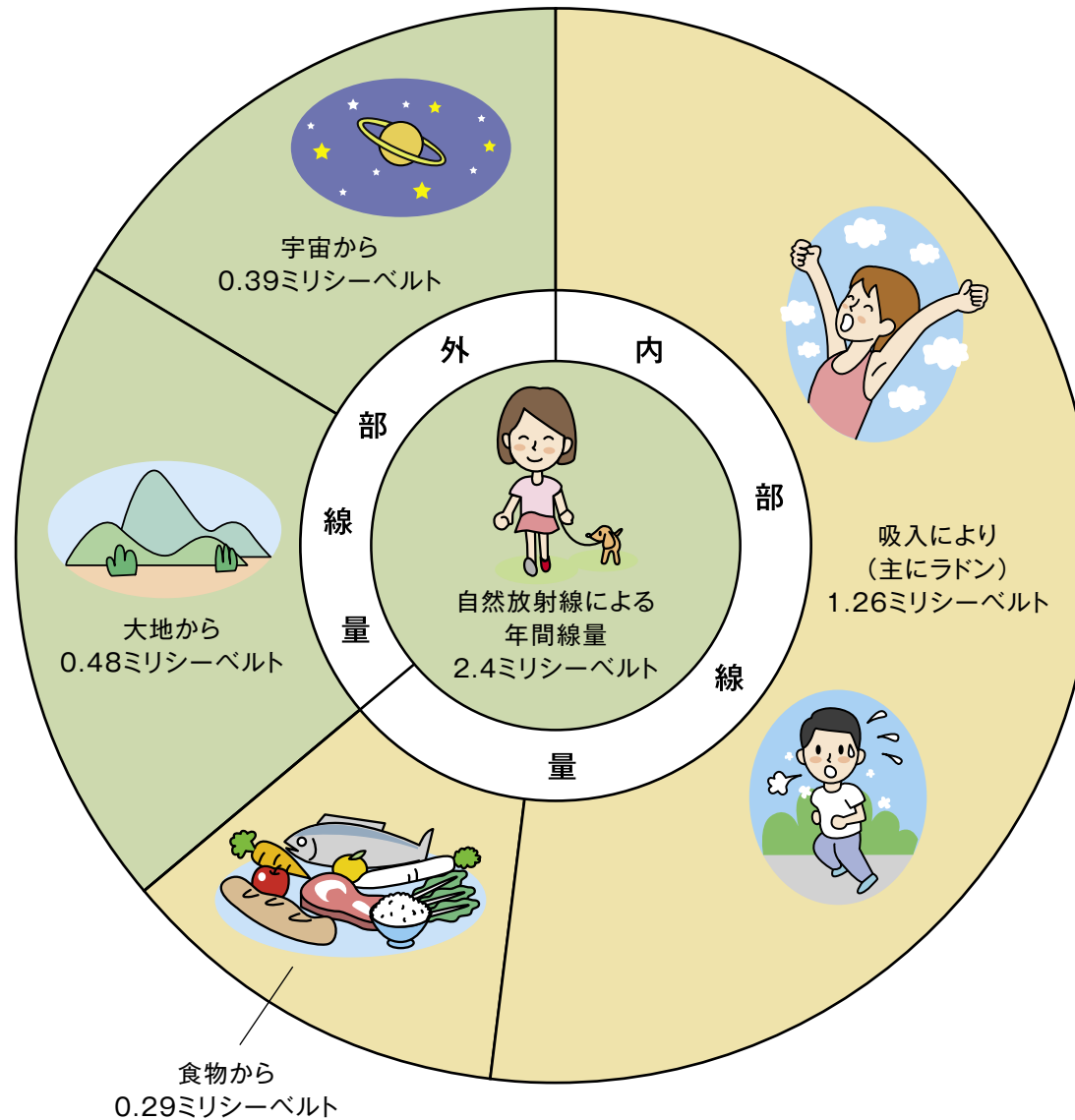
日常生活と放射線



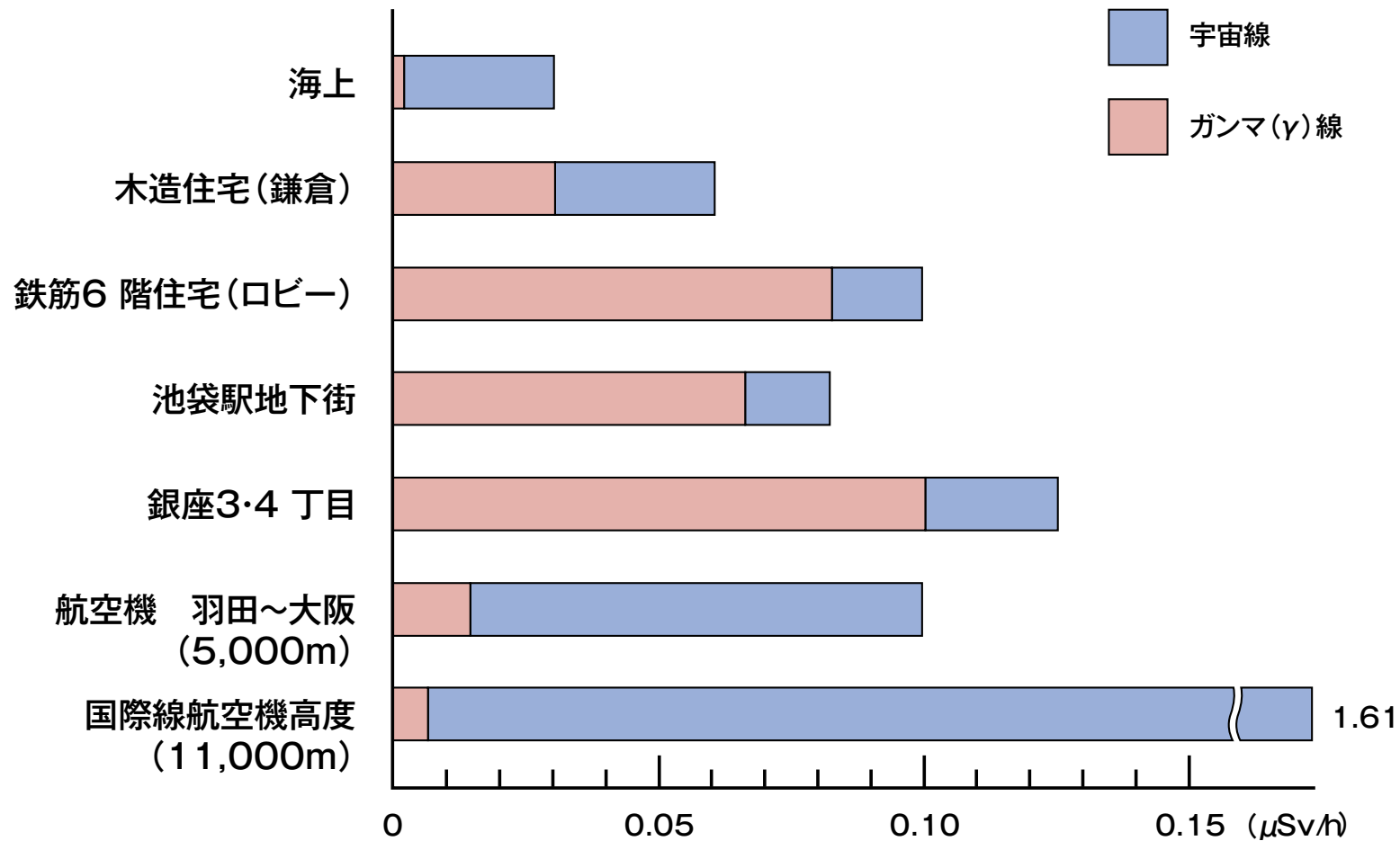
(注) 数値は有効数字などを考慮した概数
目盛(点線)は対数表示のため、ひとつ上がる度に10倍上がる

自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(世界平均)



自然放射線レベルの違い

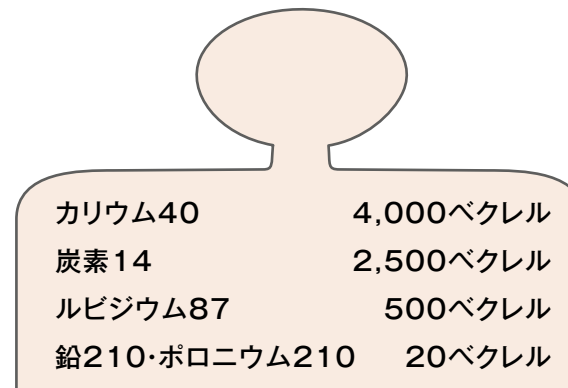


※ $1\mu\text{Sv}=1/1000\text{ mSv}$
 $1\mu\text{Sv/h}=365\text{日}\times 24\text{時間}\times 1/1000=8.76\text{ mSv/年}$

体内、食物中の自然放射性物質

●体内の放射性物質の量

(体重60kgの日本人の場合)



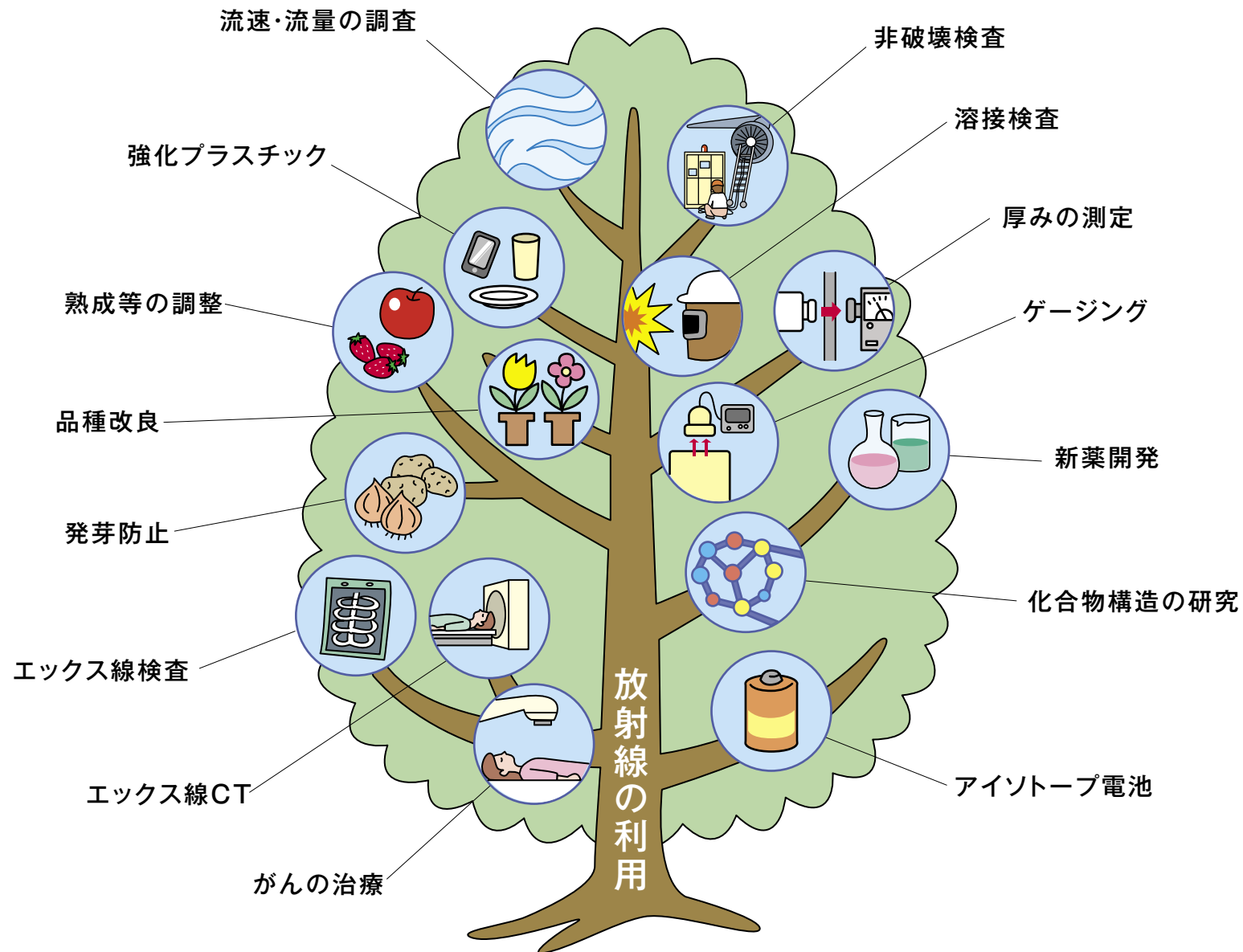
カリウム40	4,000ベクレル
炭素14	2,500ベクレル
ルビジウム87	500ベクレル
鉛210・ポロニウム210	20ベクレル

●食物中のカリウム40の放射性物質の量(日本)

(単位:ベクレル/kg)

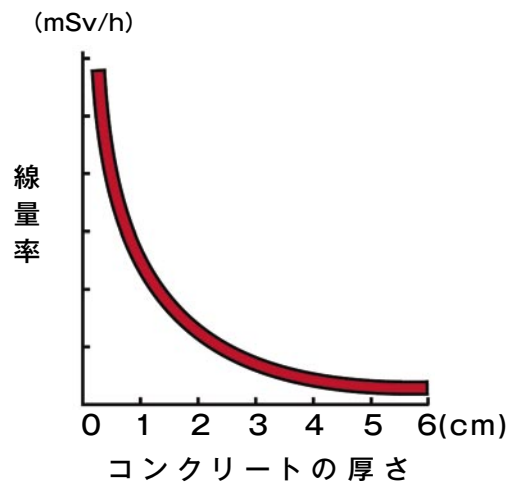
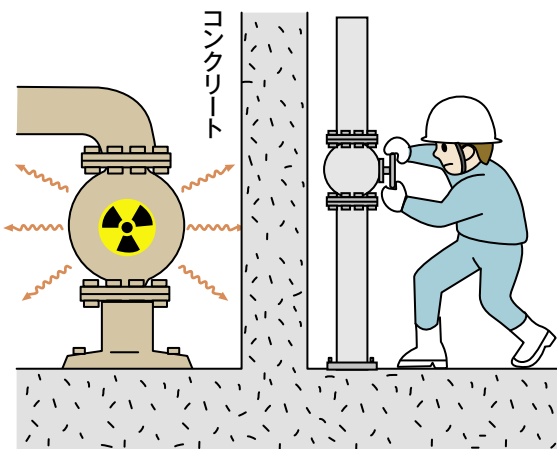


放射線のいろいろな利用



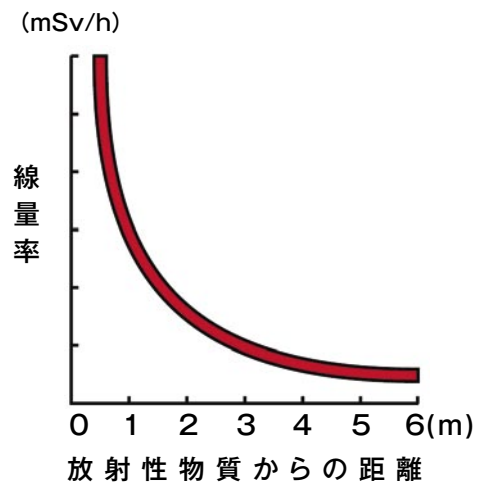
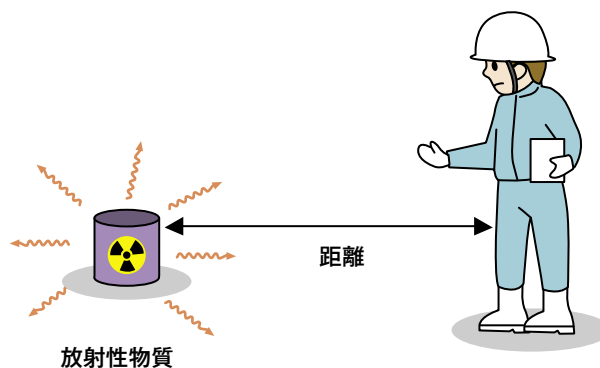
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護



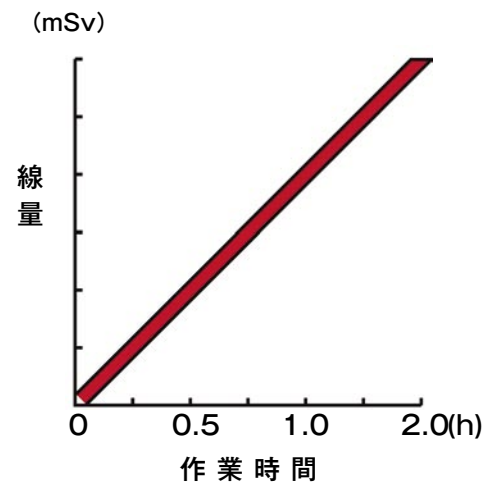
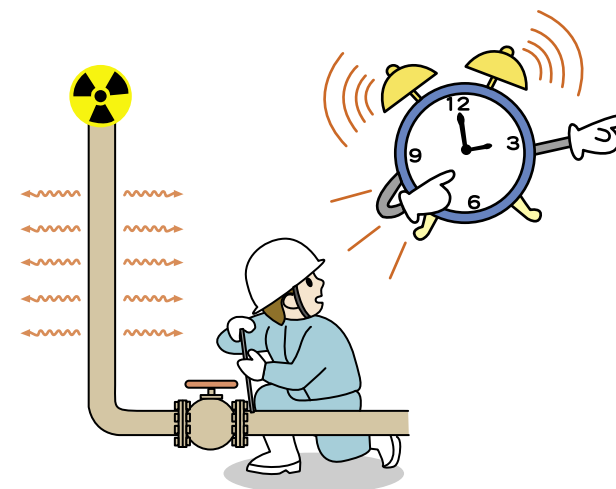
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

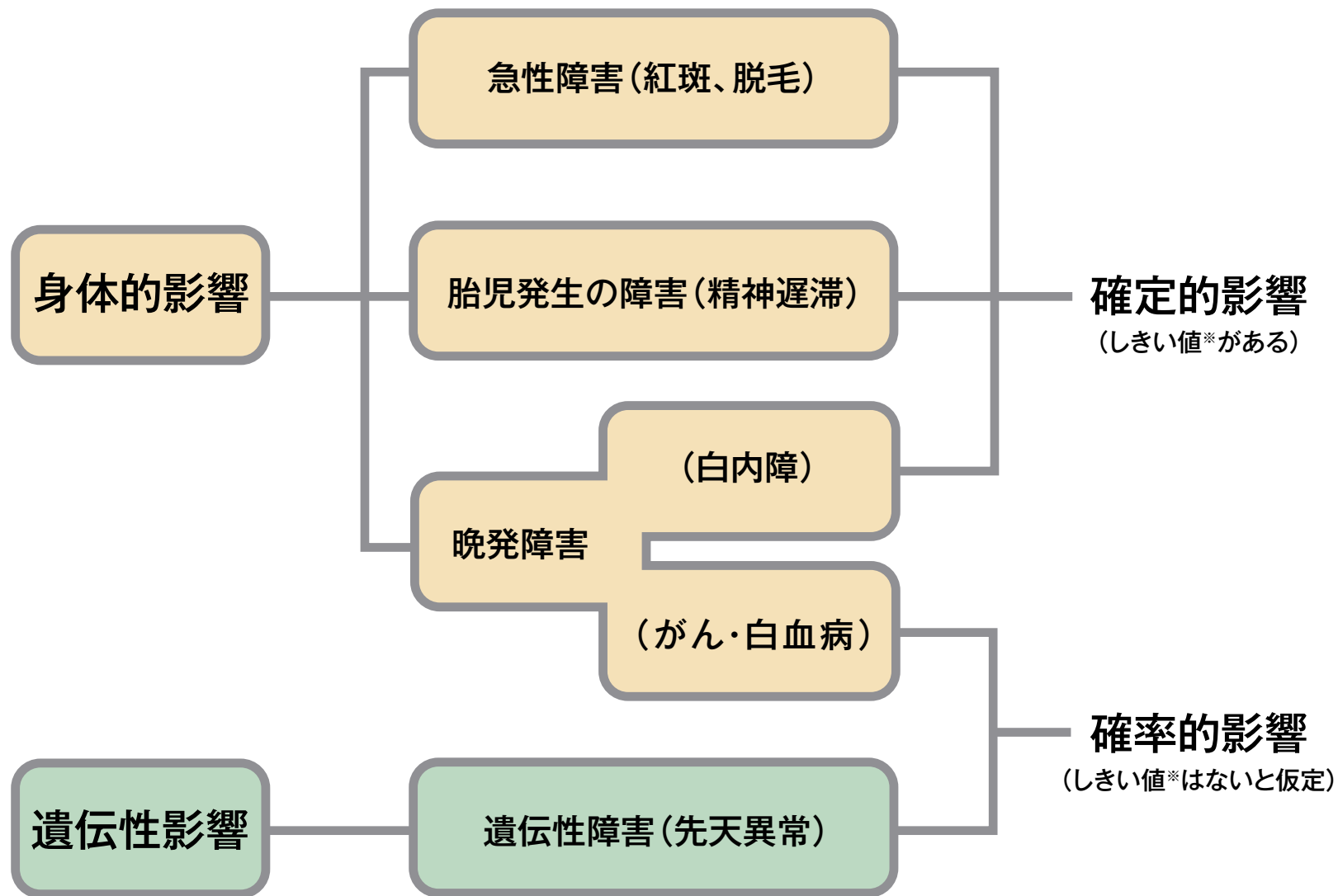


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



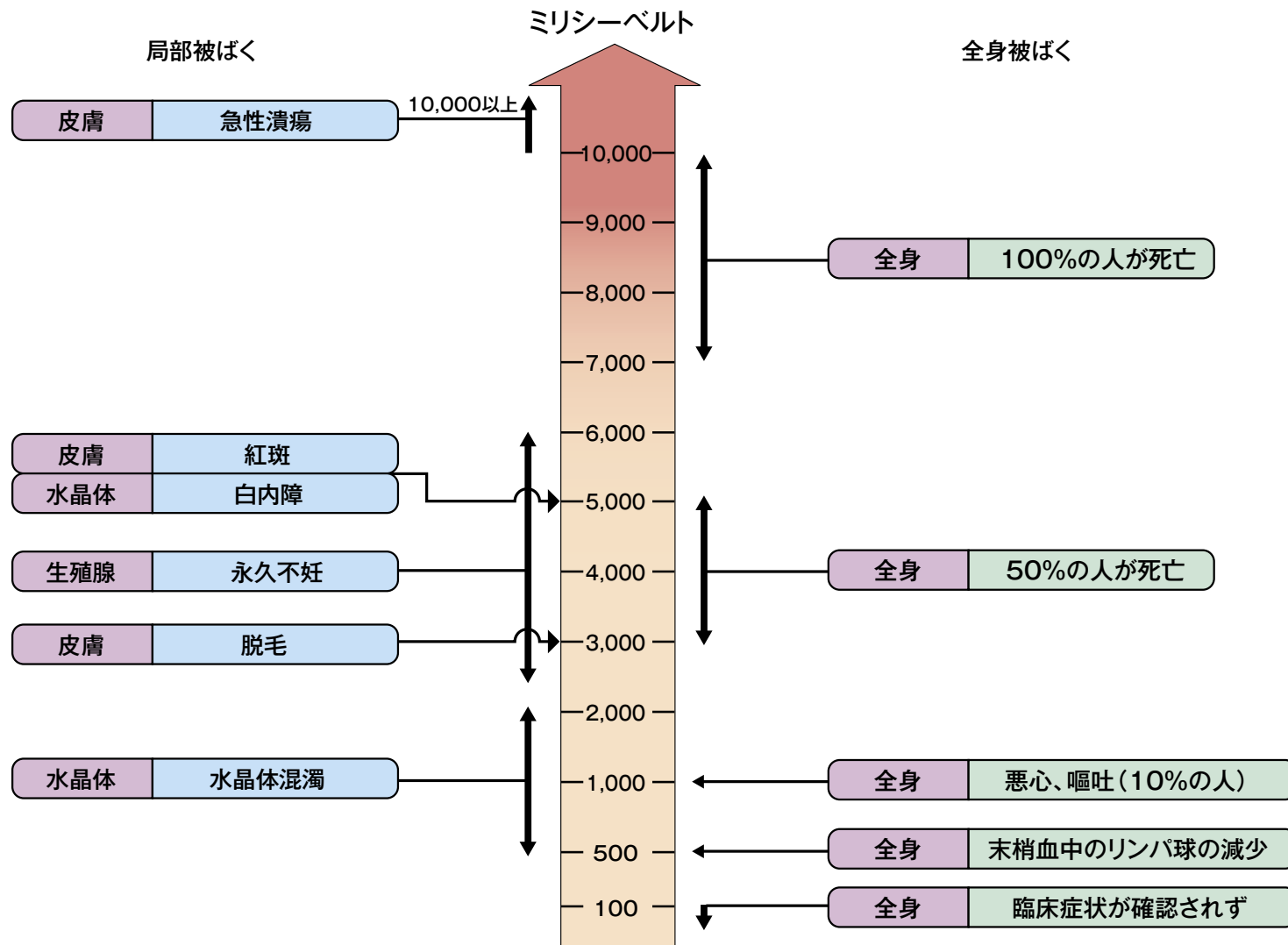
放射線の人体への影響



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

放射線を一度に受けたときの症状

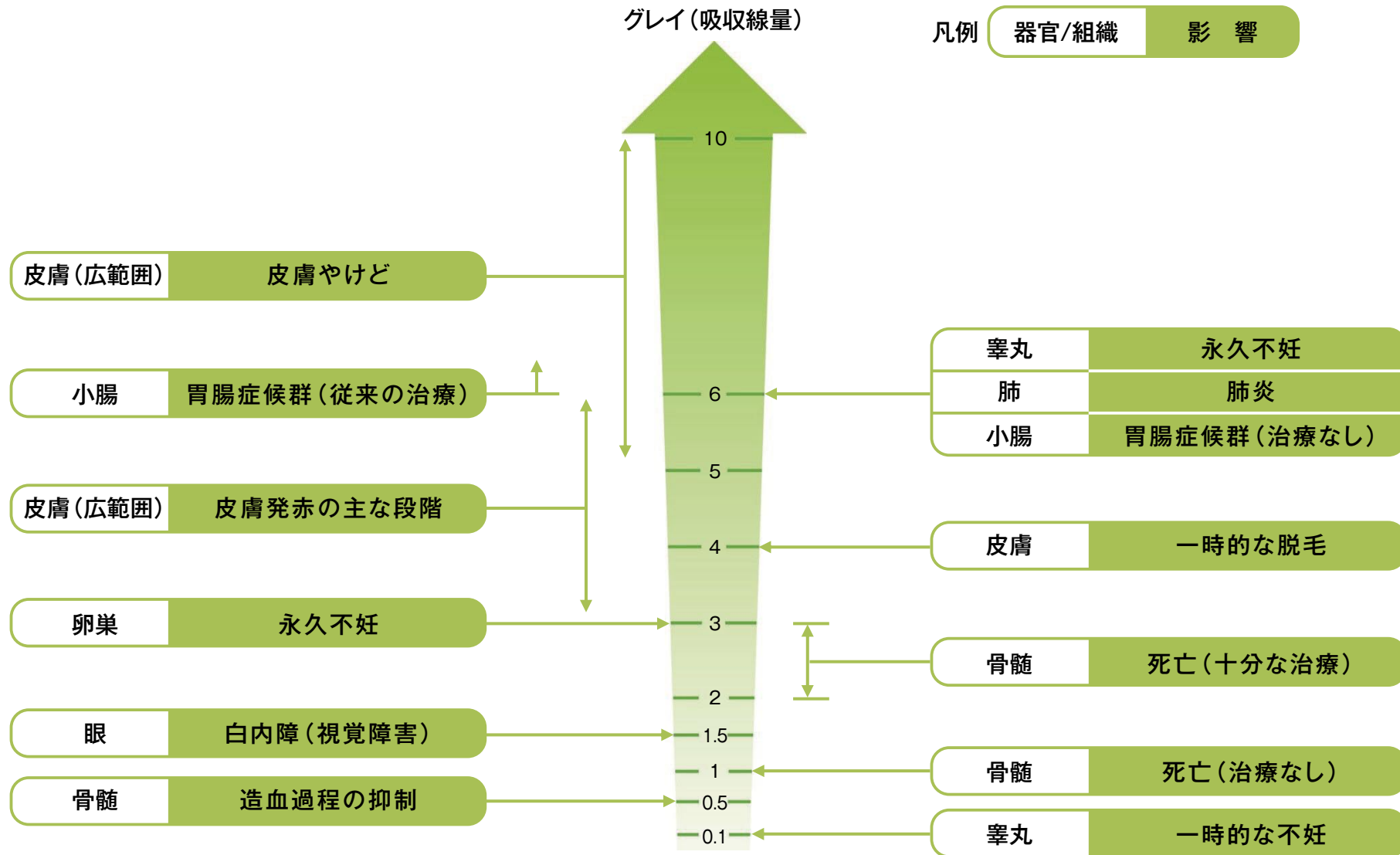
凡例 部位 症 状



(注) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

放射線を受けたときの人体への影響

罹患率と死亡率が1%になる予測推定しきい値※



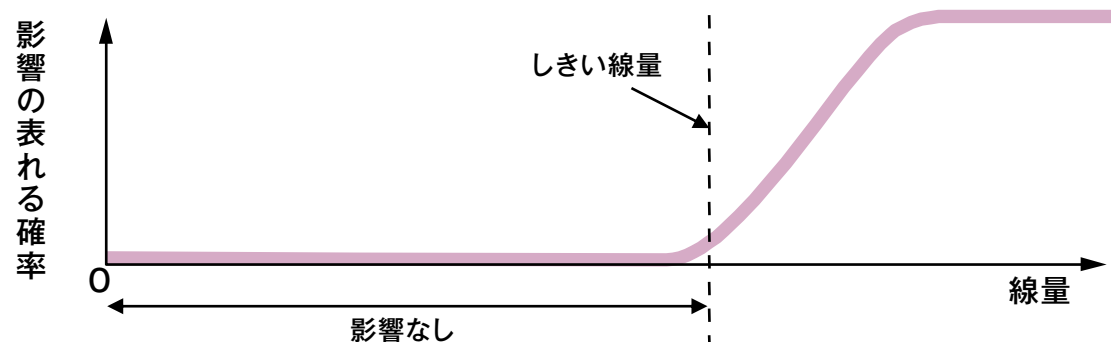
※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

放射線防護の考え方

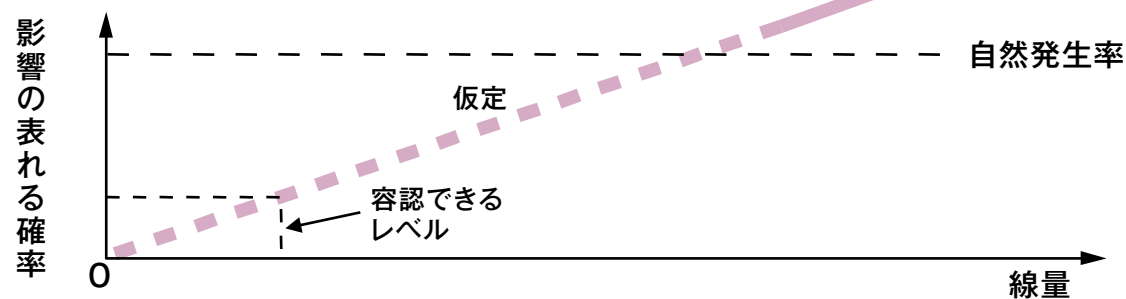
確定的影響は、しきい線量以下に抑えることで影響をなくす。

確定的影響は、しきい値※は無いと仮定し、合理的に線量を低くすることで影響の現れる確率を容認できるレベルにする。

〔確定的影響（脱毛・白内障等）〕



〔確定的影響（がん・白血病等）〕

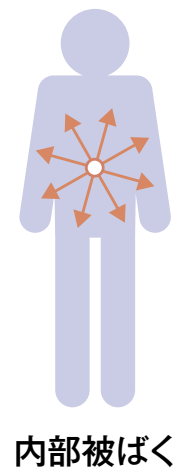
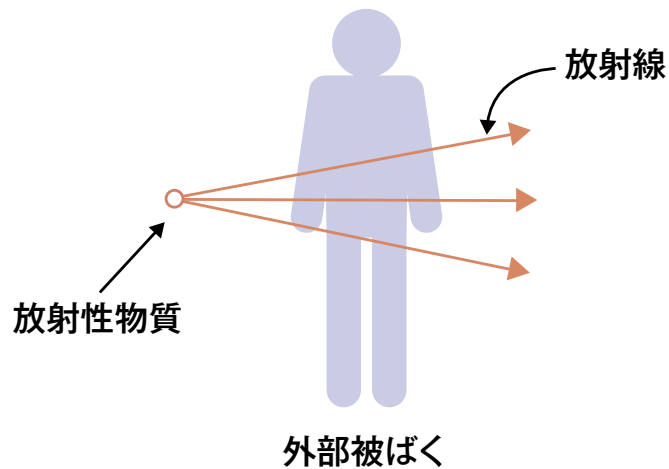


※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

被ばくと汚染の違い

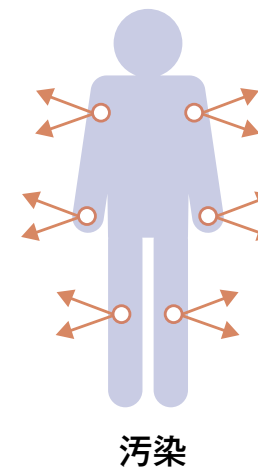
被ばく

放射線を受けること



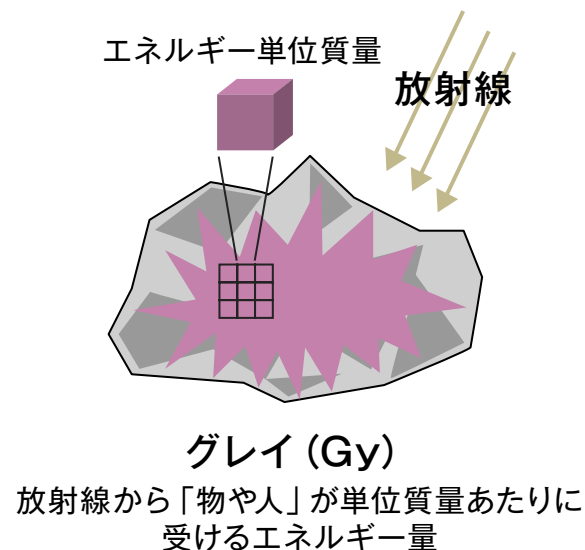
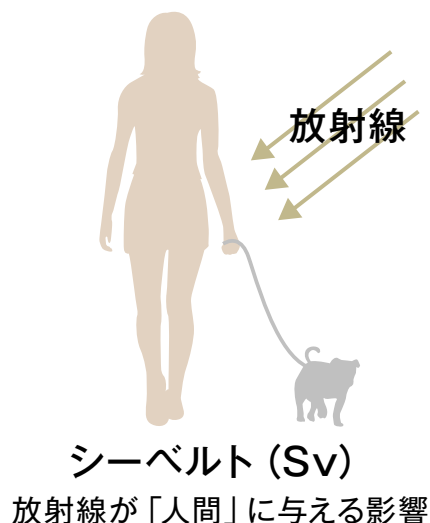
汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



グレイとシーベルトの関係

$$\text{シーベルトの値} = \text{グレイの値} \times \text{放射線荷重係数}^{※1} \times \text{組織荷重係数}^{※2}$$



◆放射線荷重係数

放射線の種類	放射線荷重係数
光子(ガンマ線、エックス線)	1
電子(ベータ線)	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線	2.5 ~ 20 (エネルギーの連続関数で設定)

◆組織荷重係数

組織・臓器	組織荷重係数	組織・臓器	組織荷重係数
乳房	0.12	食道	0.04
赤色骨髄	0.12	甲状腺	0.04
結腸	0.12	唾液腺	0.01
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
膀胱	0.04	残りの組織・臓器	0.12
肝臓	0.04		

※1 放射線の種類による影響の違いを表す

※2 臓器等の組織別の影響の受けやすさを表す

内部被ばく線量（預託線量）への換算方法

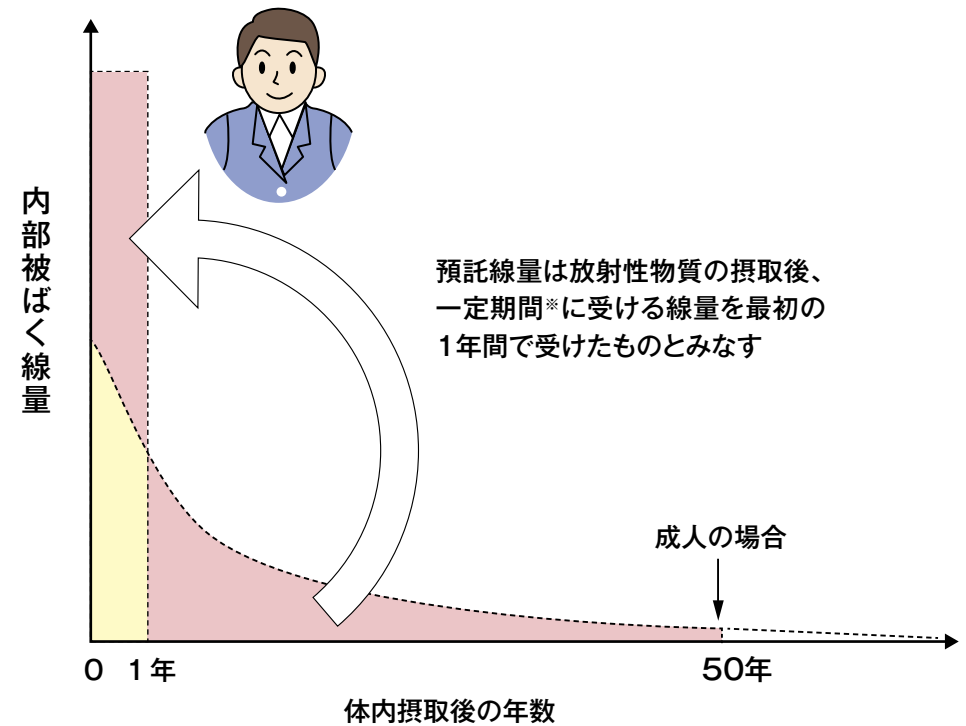
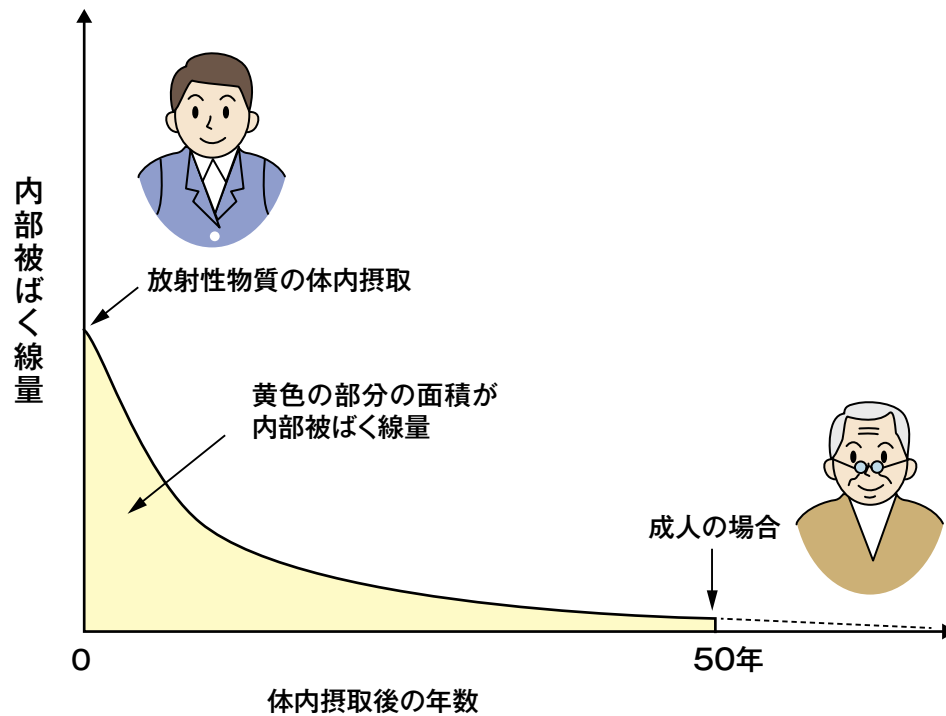
$$\text{預託線量 (mSv)} = \text{飲食物摂取量 (kg/日)} \times \text{摂取日数 (日)} \times \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{放射性核種の濃度 (Bq/kg)}$$

例: ICRP (Publication 72) より抜粋

放射性核種	半減期	1Bqを経口または吸入摂取した場合の成人の実効線量係数 (mSv/Bq)	
		経口摂取した場合	吸入摂取した場合
プルトニウム239	2.4万年	2.5×10^{-4}	1.2×10^{-1}
セシウム137	30年	1.3×10^{-5}	3.9×10^{-5}
ヨウ素131	8日	2.2×10^{-5}	7.4×10^{-6}
ストロンチウム90	28.7年	2.8×10^{-5}	1.6×10^{-4}

(注) 市場希釈係数（評価対象者の当該食品摂取量に対する汚染された食品の摂取割合）および調理等による減少補正については1としている
化学形等により複数の値が示されている核種については最も大きい実効線量係数を示す

内部被ばくの評価（預託線量の概念図）



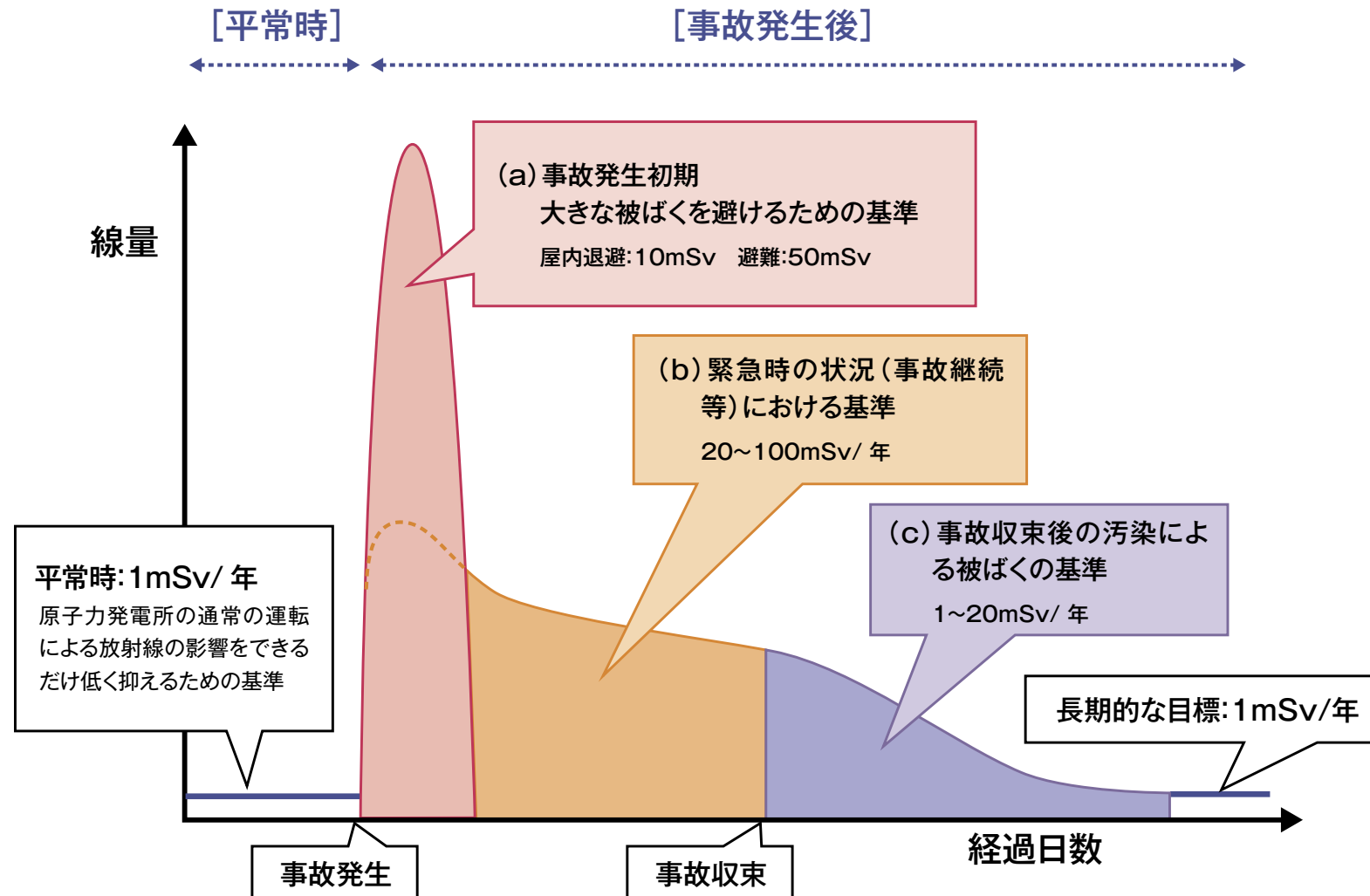
※成人:50年間、子供:取り込み時から70歳まで

食品基準値の国際比較

(単位:ベクレル /kg)

核種	各国			
	食品群	日本	米国	EU
放射性セシウム	乳児用食品	50	1,200	400
	牛乳	50		1,000
	飲料水	10		1,000
	一般食品	100		1,250
食品基準値の考え方		被ばく線量が年間1ミリシーベルト以内になるように設定。 一般食品は50%、牛乳と乳児用食品は100%が汚染されていると仮定して算出。	被ばく線量が年間5ミリシーベルト以内になるように設定。 食品中の30%が汚染されていると仮定して算出。	被ばく線量が年間1ミリシーベルト以内になるように設定。 食品中の10%が汚染されていると仮定して算出。

放射線防護における線量の基準の考え方



放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

(対象:40～69歳の日本人)

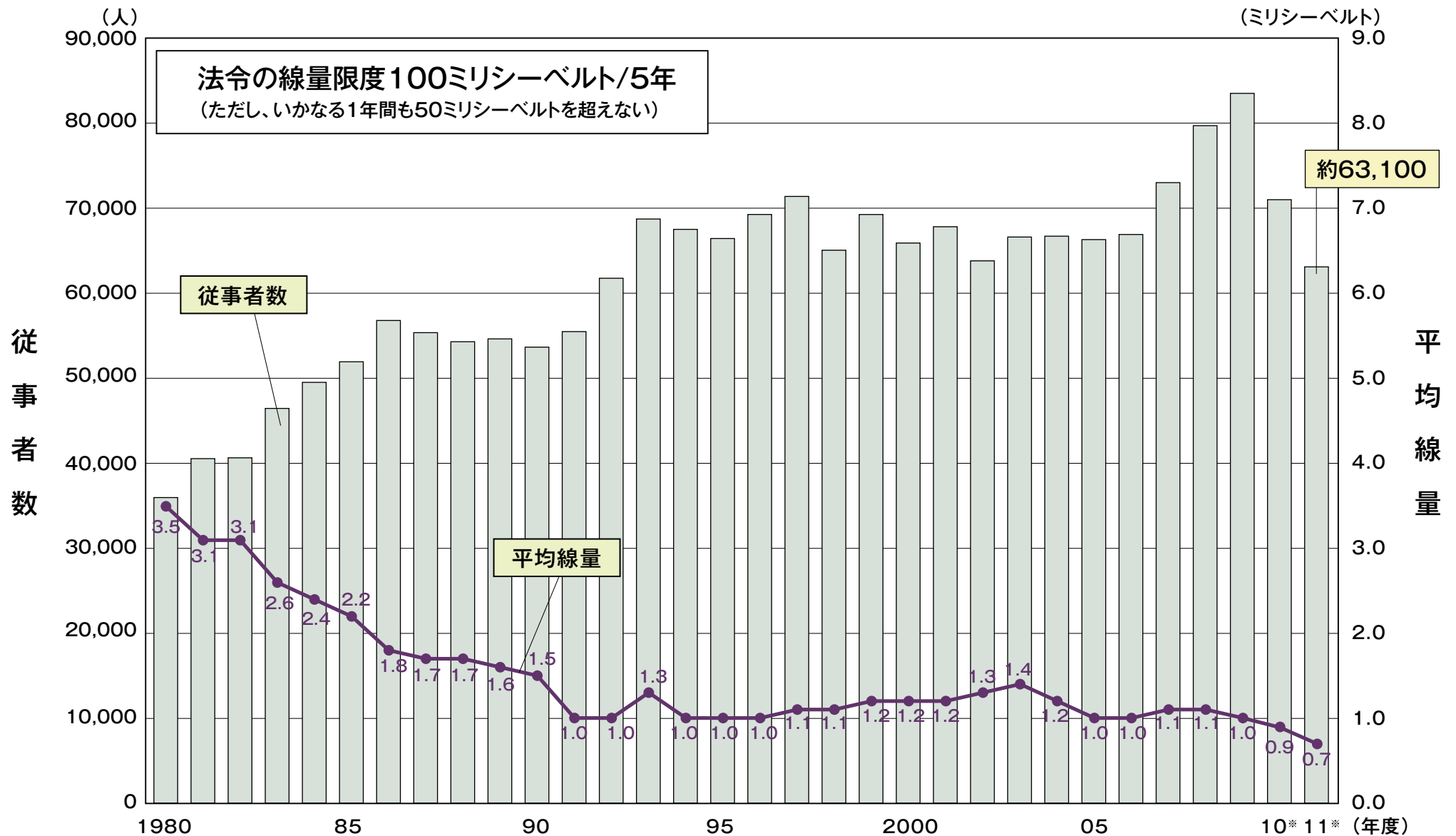
要 因	がんになるリスク
1000～2000ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.8倍
喫煙	1.6倍
飲酒(毎日3合以上)	
痩せ過ぎ	1.29倍
肥満	1.22倍
200～500ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.19倍
運動不足※1	1.15～1.19倍
塩分の取り過ぎ	1.11～1.15倍
100～200ミリシーベルトの放射線を受けた場合	1.08倍
野菜不足※2	1.06倍

(注) 放射線は、広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない

※1 運動不足:身体活動の量が非常に少ない

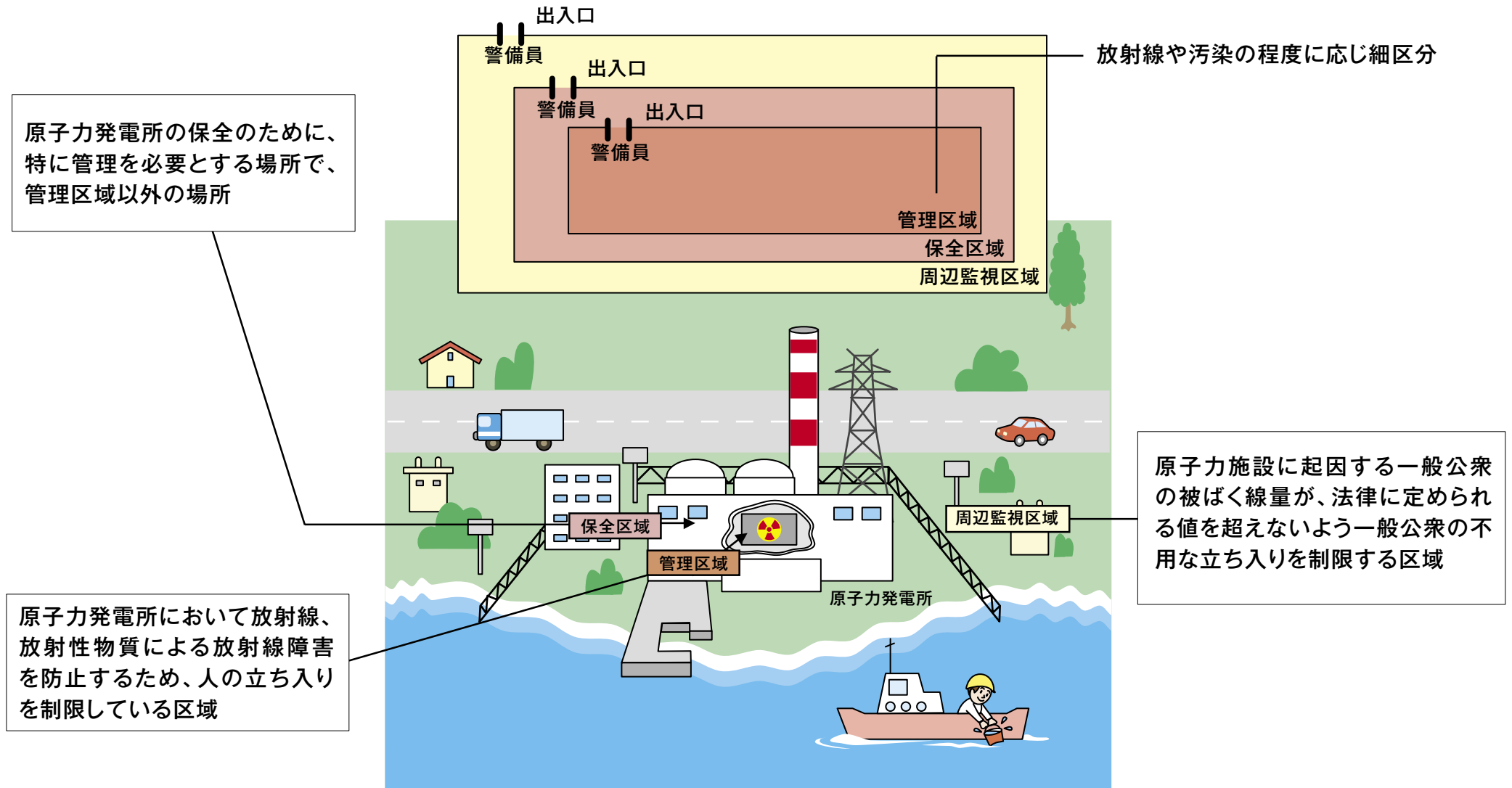
※2 野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

放射線業務従事者が受けている放射線量



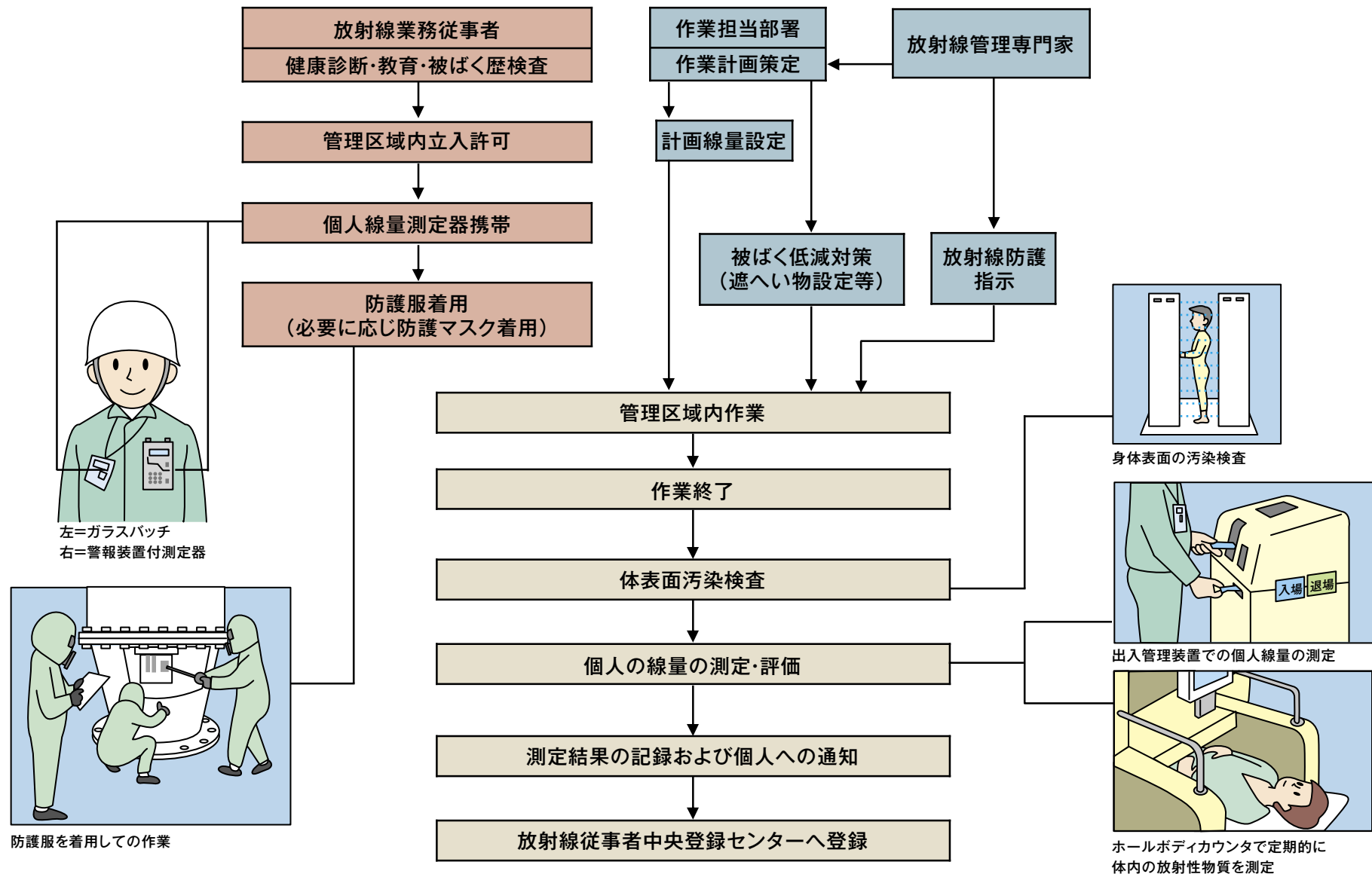
※福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所のデータについては含まない

原子力発電所の区域区分



放射線業務従事者の放射線管理

放射線管理の手順



線量限度について

区分		実効線量限度(全身)	等価線量限度(組織・臓器)
放射線業務従事者	平常時	100mSv/5年 ^{※1} 50mSv/年 ^{※2} 女子 5mSv/3月間 ^{※3} 妊娠中の女子 1mSv (出産までの間の内部被ばく)	眼の水晶体 150mSv/年 ^{※2} 皮膚 500mSv/年 ^{※2} 妊娠中の女子 2mSv (出産までの間の腹部表面)
	緊急時	100mSv (福島第一原子力発電所 事故に限り:250mSv)	眼の水晶体 300mSv 皮膚 1Sv ^{※4}
一般公衆	平常時	1mSv/年 ^{※2}	眼の水晶体 15mSv/年 ^{※2} 皮膚 50mSv/年 ^{※2}

(注) 上記表の数値は、外部被ばくと内部被ばくの合計線量

自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まない

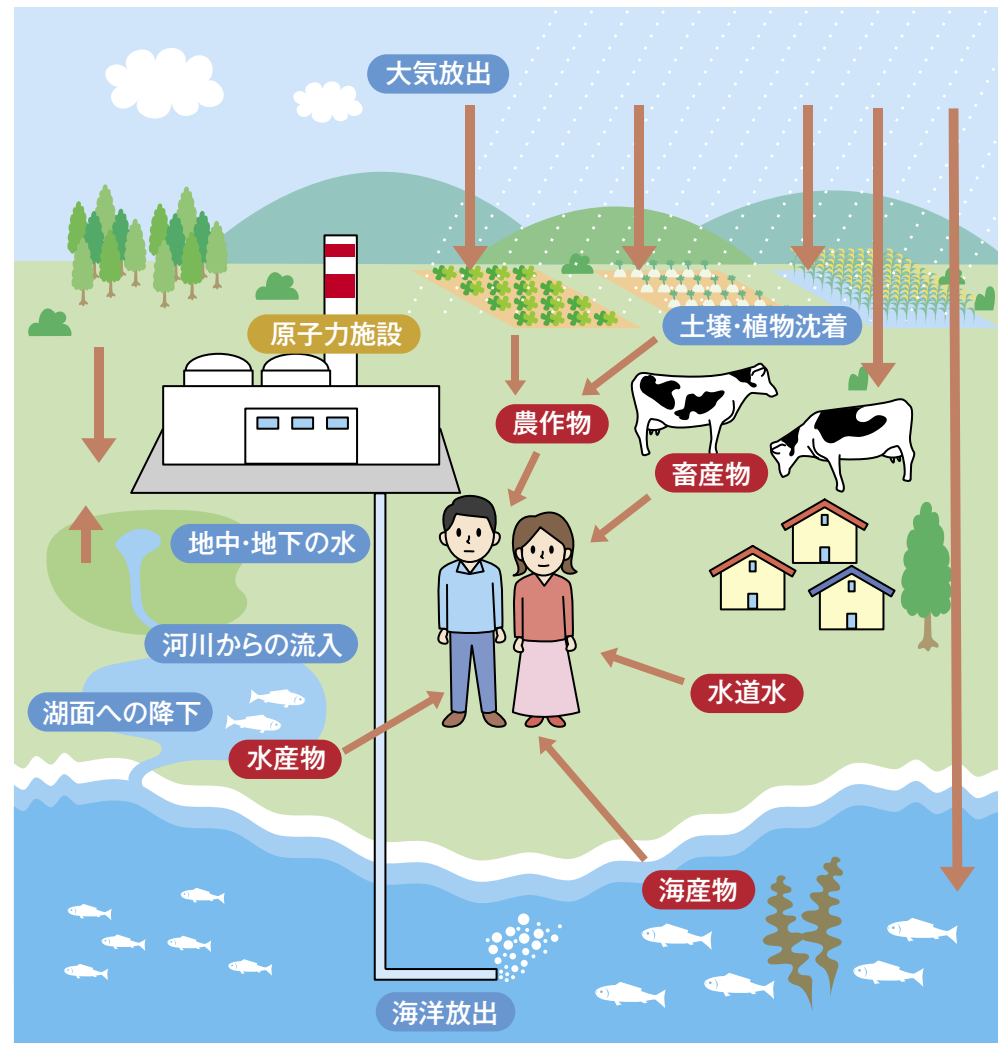
※1 平成13年4月1日以後5年ごとに区分

※2 4月1日を始期とする1年間

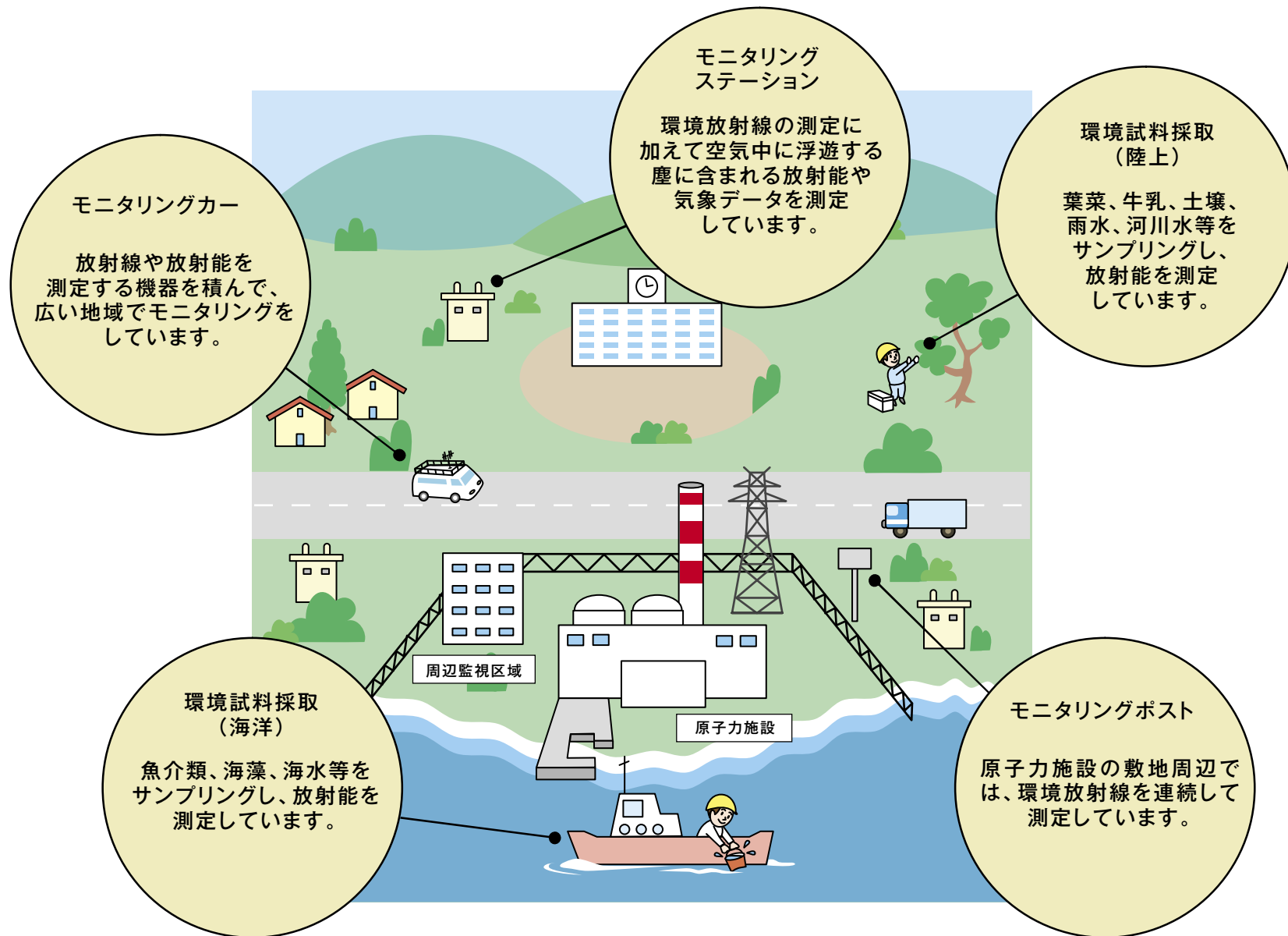
※3 4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする各3月間

※4 1Sv(シーベルト) = 1,000 mSv(ミリシーベルト) = 1,000,000 μ Sv(マイクロシーベルト)

放射性物質の環境における移行



原子力施設周辺の環境放射線モニタリング



環境放射線モニタリング(例)

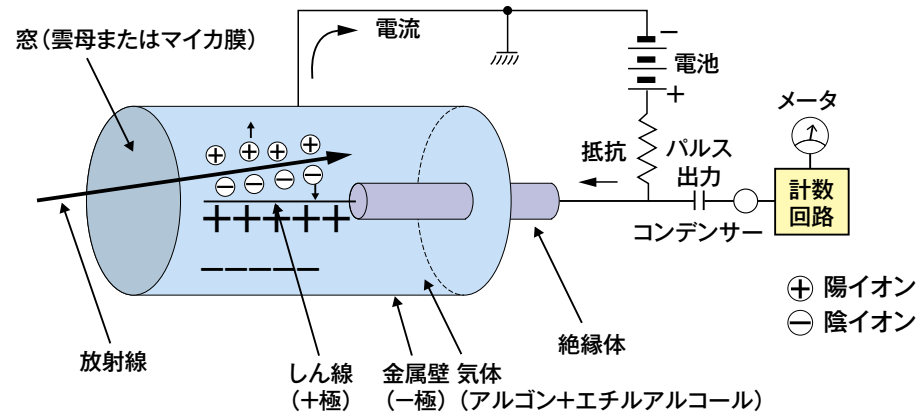


- モニタリングステーション
- モニタリングポストおよびTLDポスト
- TLD※ポスト
- ★ 気象観測所
- △ 海水放射能モニタ
- 地方自治体の自動観測局

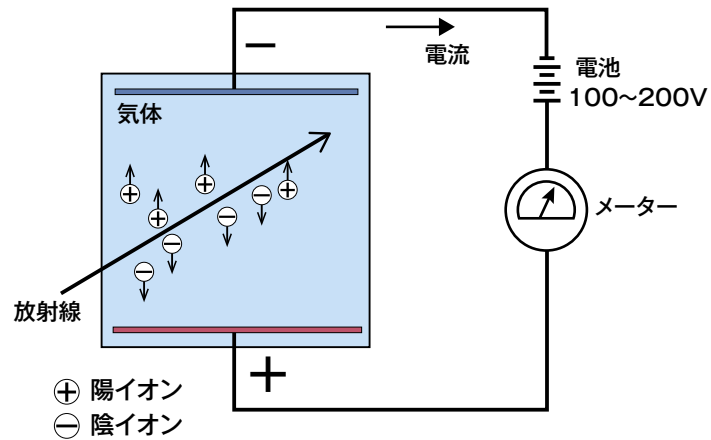
※TLD:熱ルミネッセンス線量計

放射線計測器の測定原理

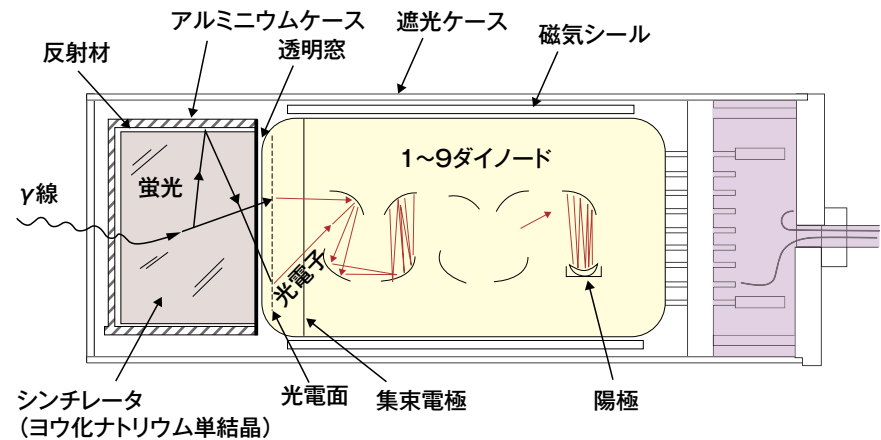
GM計数管



電離箱



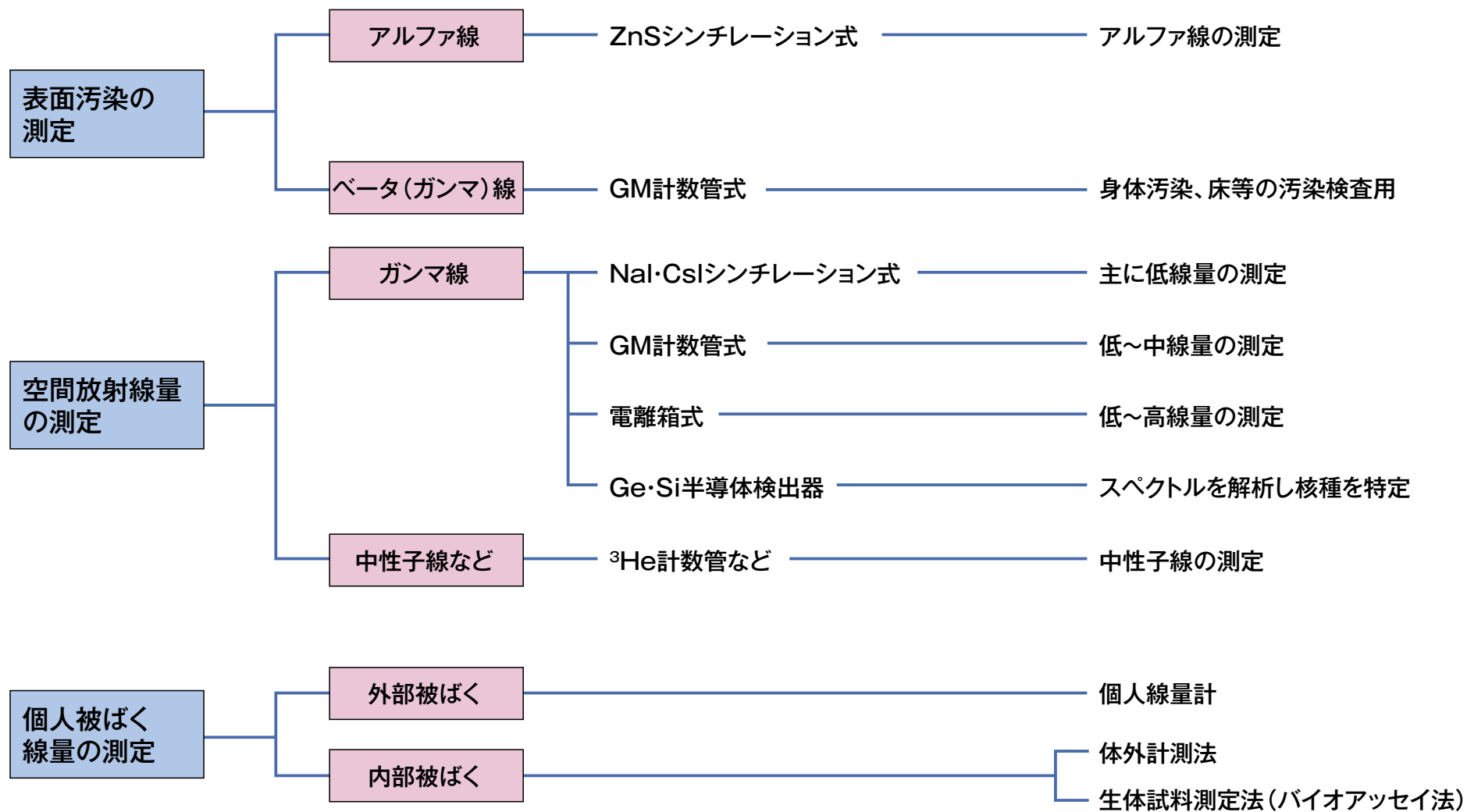
シンチレーション検出器



(注) 電離箱では、 $10^{-9} \sim 10^{-14}$ A程度の微電流を測定する必要がある

シンチレーション検出器では、蛍光が光電面に当たると光電子が飛び出し、これが多数のダイノードで増倍されて、大きな電気信号が得られる

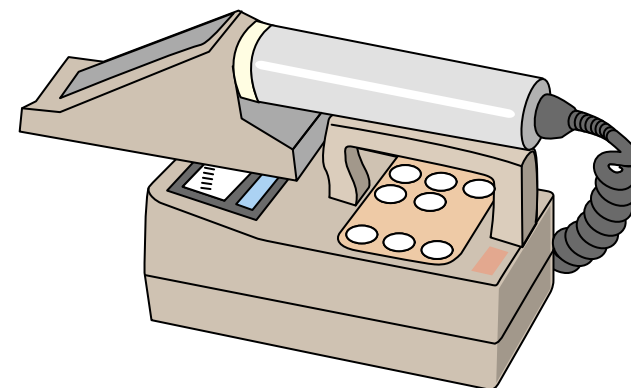
放射線測定の種類



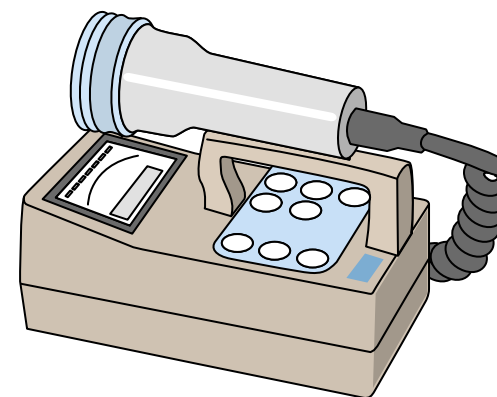
表面汚染の測定



スクリーニング検査



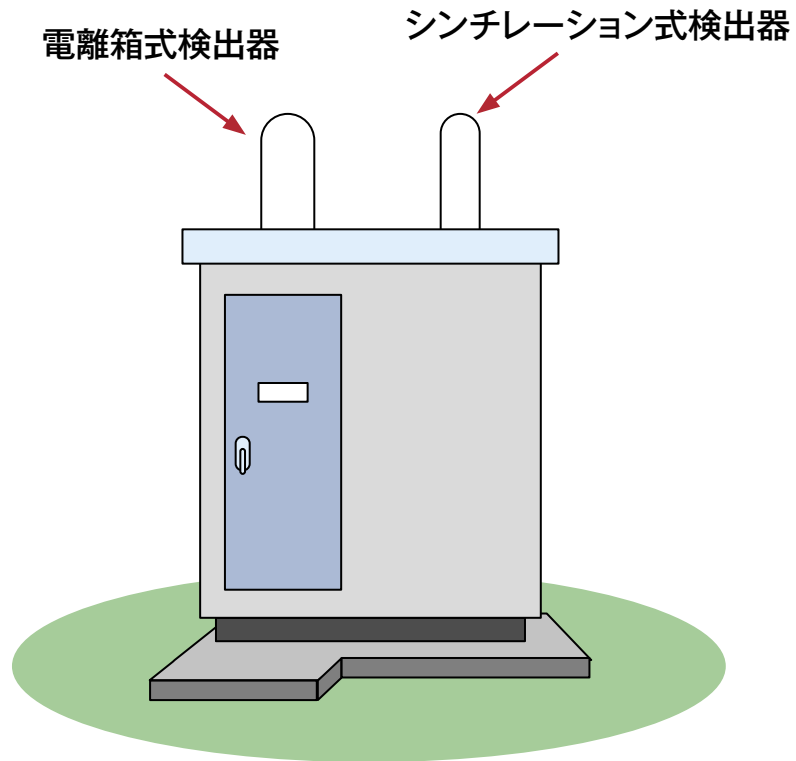
ZnS シンチレーション式
(アルファ線の測定)



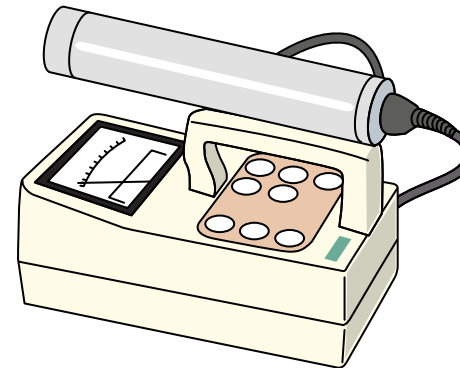
GM 計数管式
(ベータ線の測定)

空間放射線量の測定

モニタリングポスト



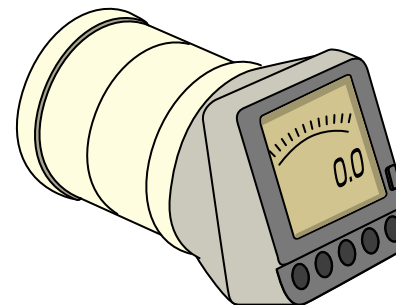
サーベイメータ



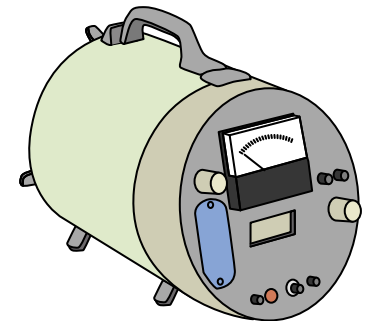
NaI シンチレーション式
(主に低線量の測定)



CsI シンチレーション式
(主に低線量の測定)



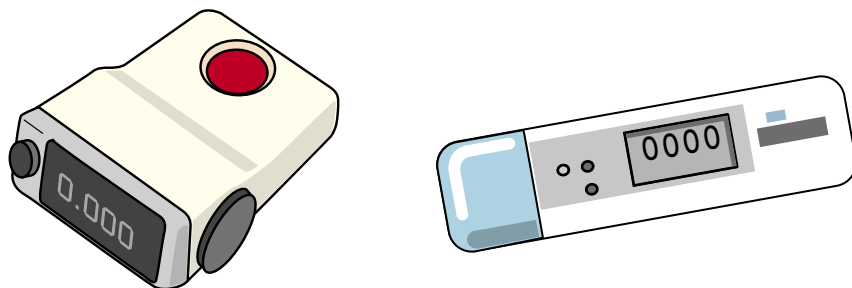
電離箱式
(低～高線量の測定)



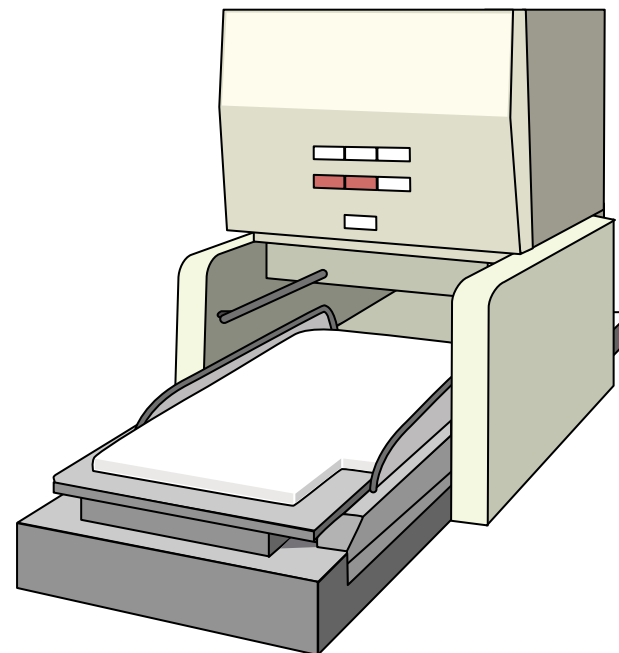
^3He 計数管式
(中性子線の測定)

個人被ばく線量の測定

外部被ばくの測定



内部被ばくの測定



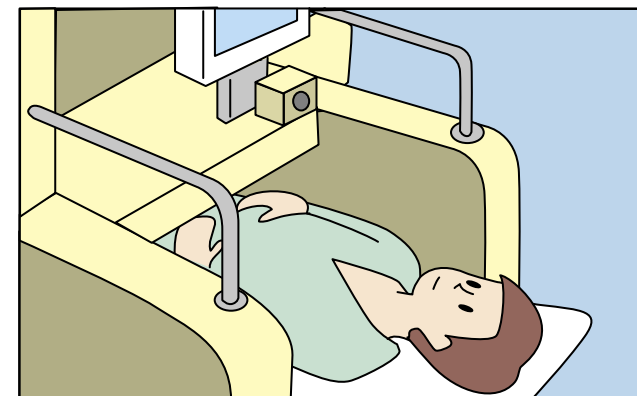
電子式線量計（個人線量計）

【使用例】



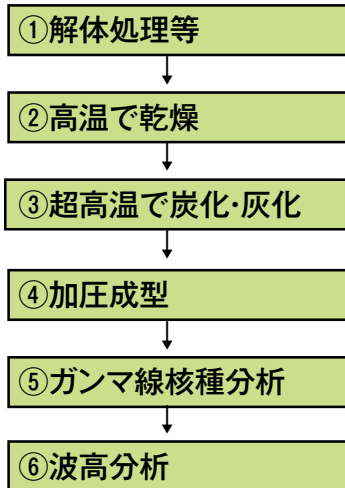
ホールボディカウンタ（体外計測法）

【使用例】

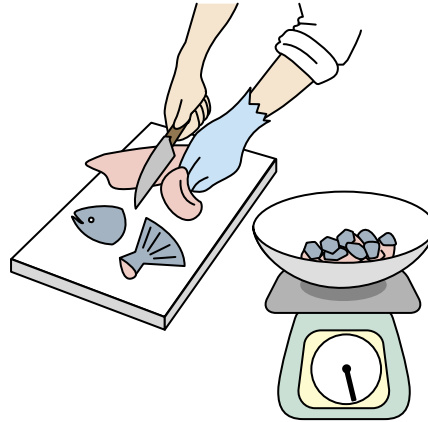


食物等に含まれる放射能の測定

ゲルマニウム半導体検出器による
測定の流れ



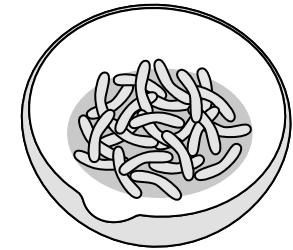
①解体処理等



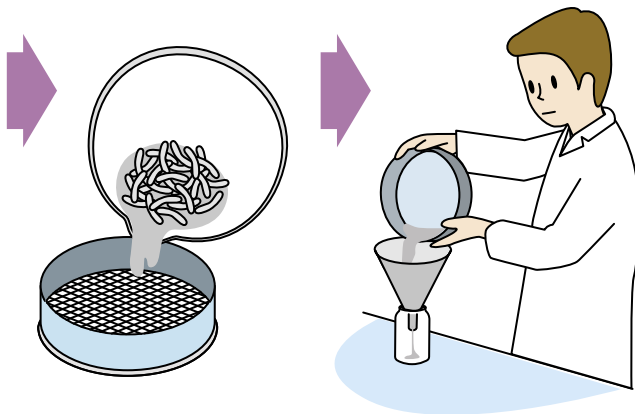
②高温で乾燥



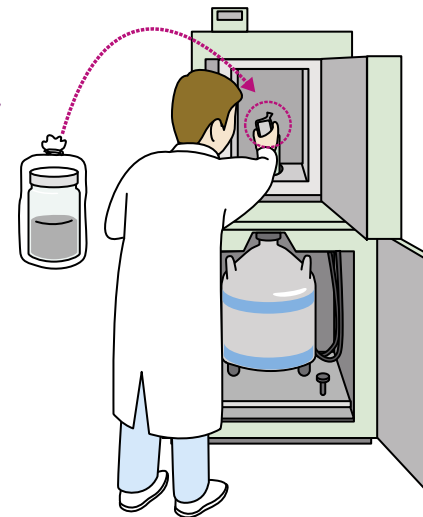
③超高温で炭化・灰化



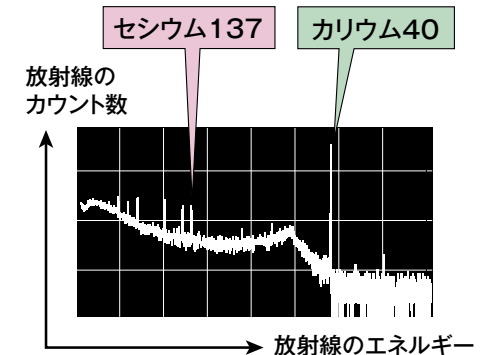
④加圧成型



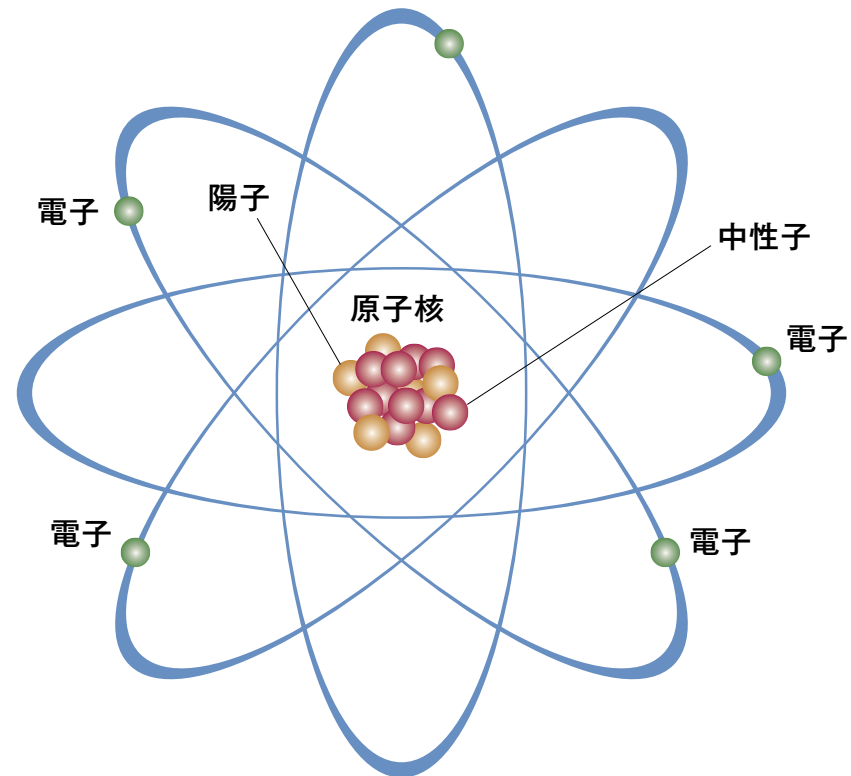
⑤ガンマ線核種分析



⑥波高分析



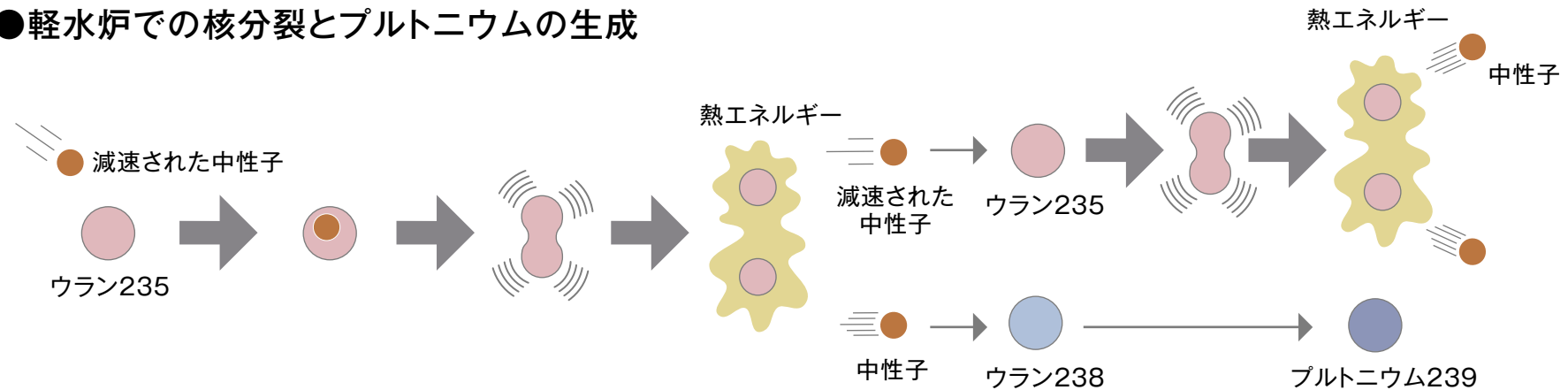
原子の構造



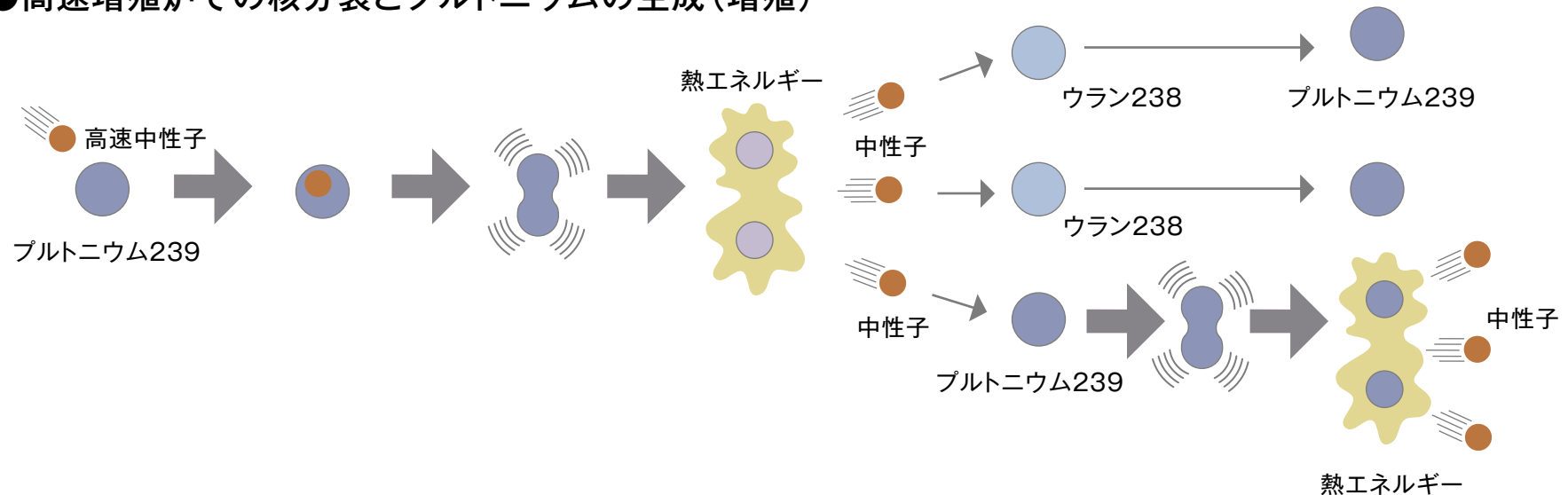
	陽子の数	中性子の数	陽子と中性子の数の和	自然界に存在する割合
ウラン234	92	142	234	0.0055%
ウラン235	92	143	235	0.7200%
ウラン238	92	146	238	99.2745%

ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂

●軽水炉での核分裂とプルトニウムの生成

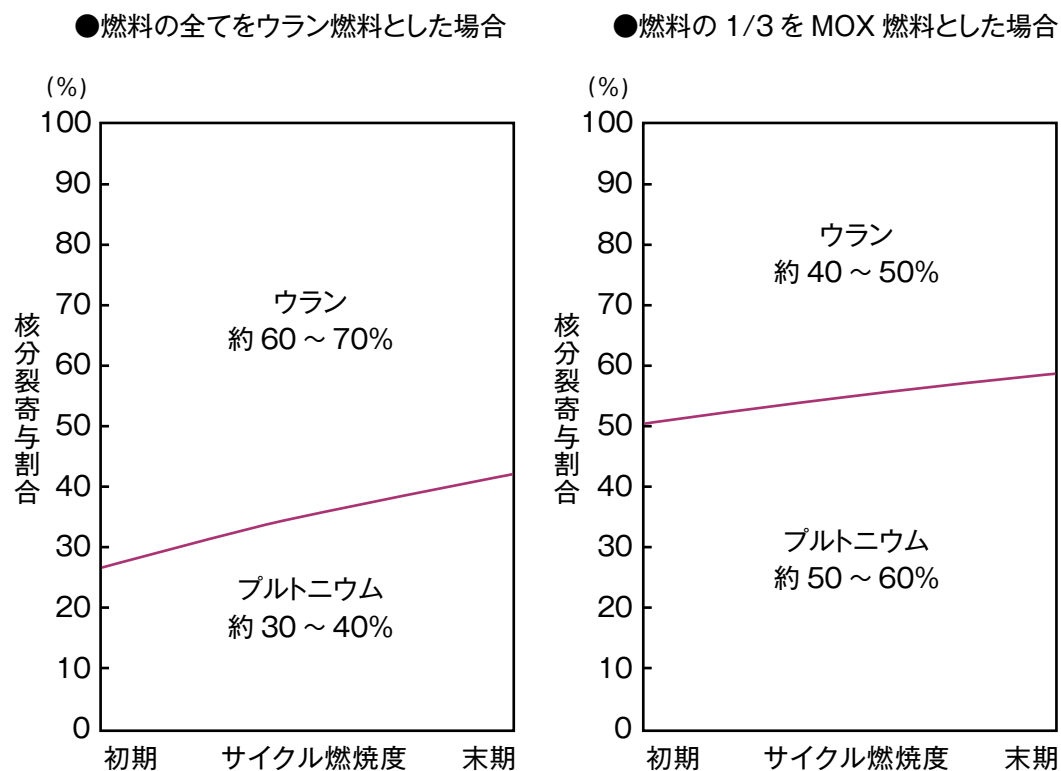


●高速増殖炉での核分裂とプルトニウムの生成(増殖)

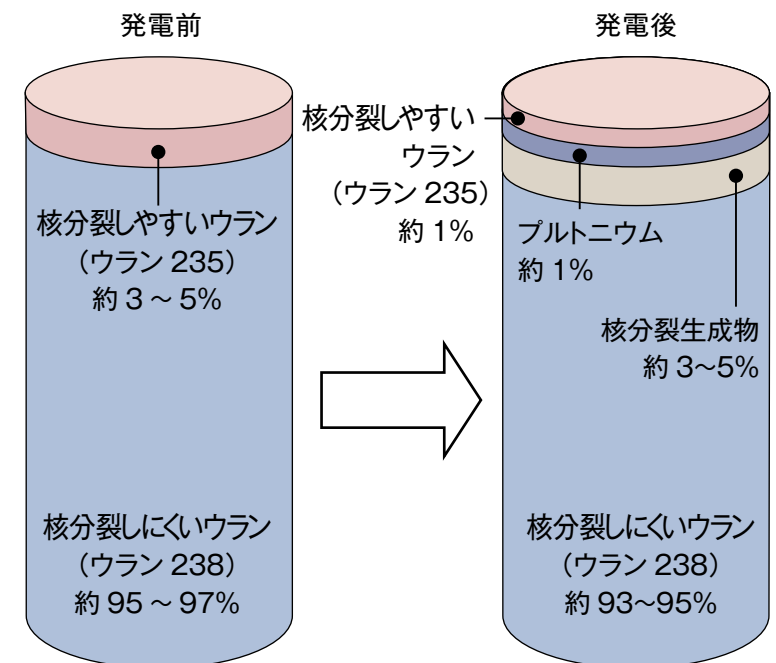


軽水炉内でのウラン燃料の燃焼による変化

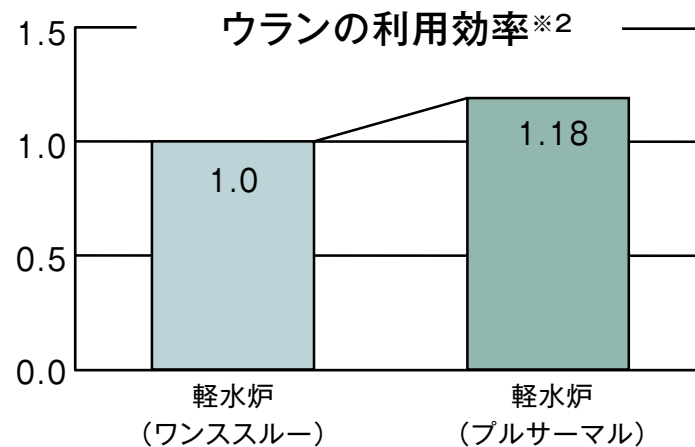
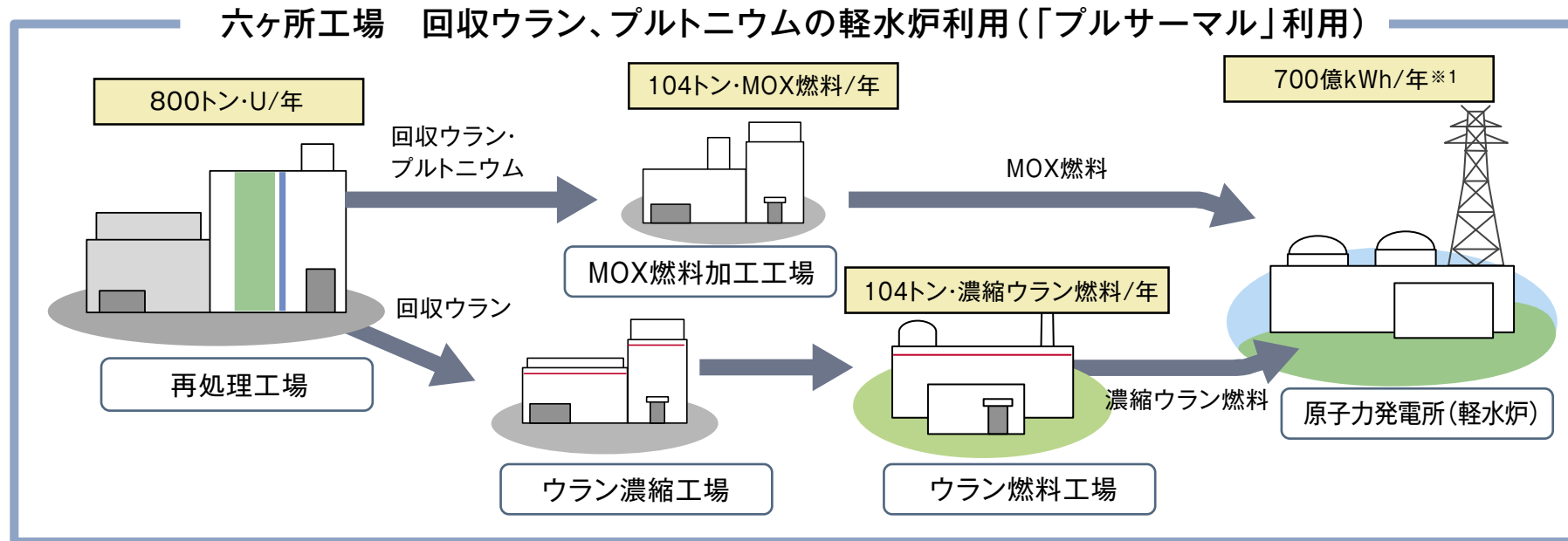
① 炉心におけるウランとプルトニウム核分裂寄与割合 (BWR平衡炉心の例)



② 発電前後でのウラン燃料の変化 (例)



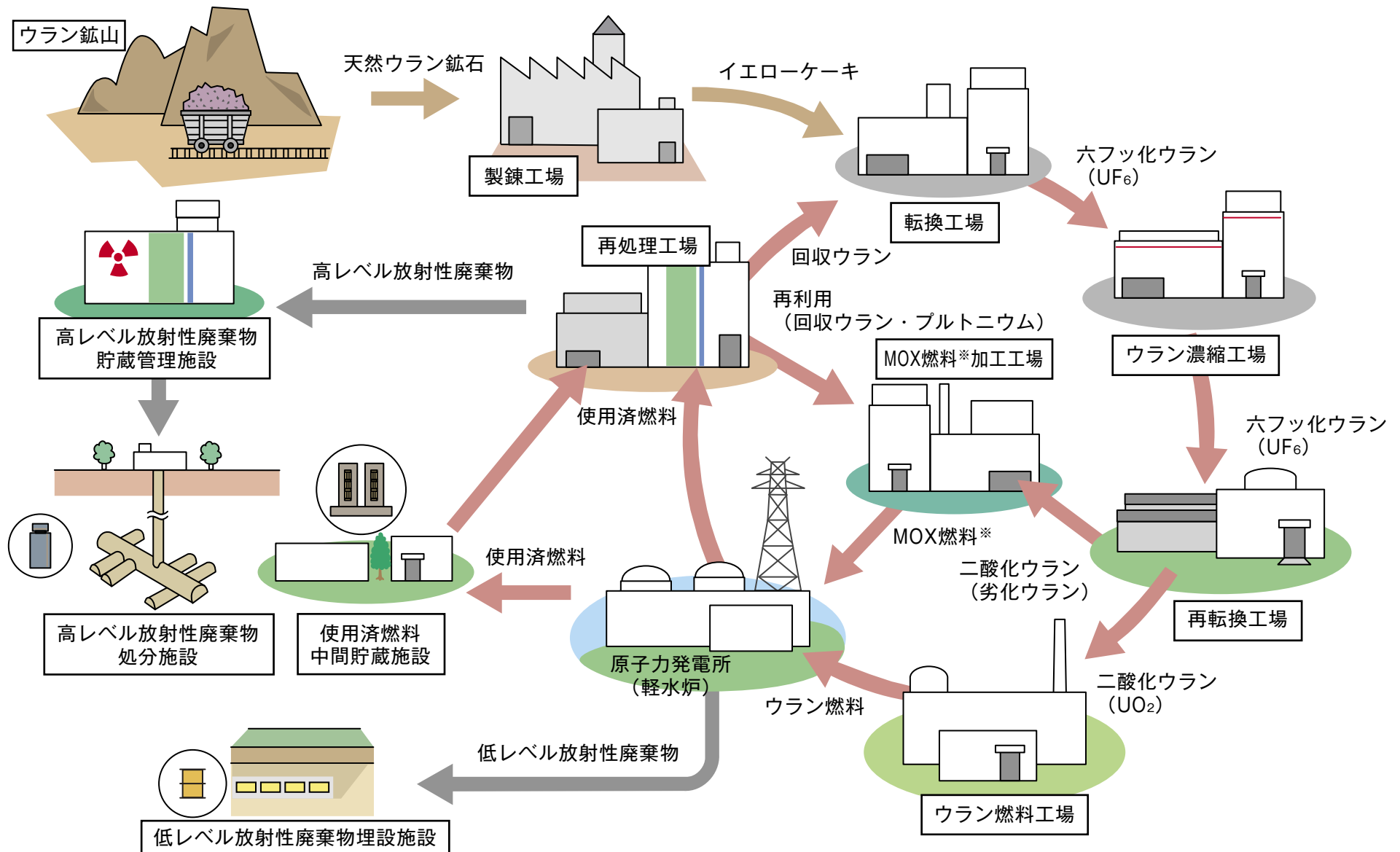
ウラン資源のリサイクル利用（資源の有効活用）



※1 700億kWhは、電気出力100万kWの原子炉10基を1年間運転した時の発電量に相当する…出典(1)

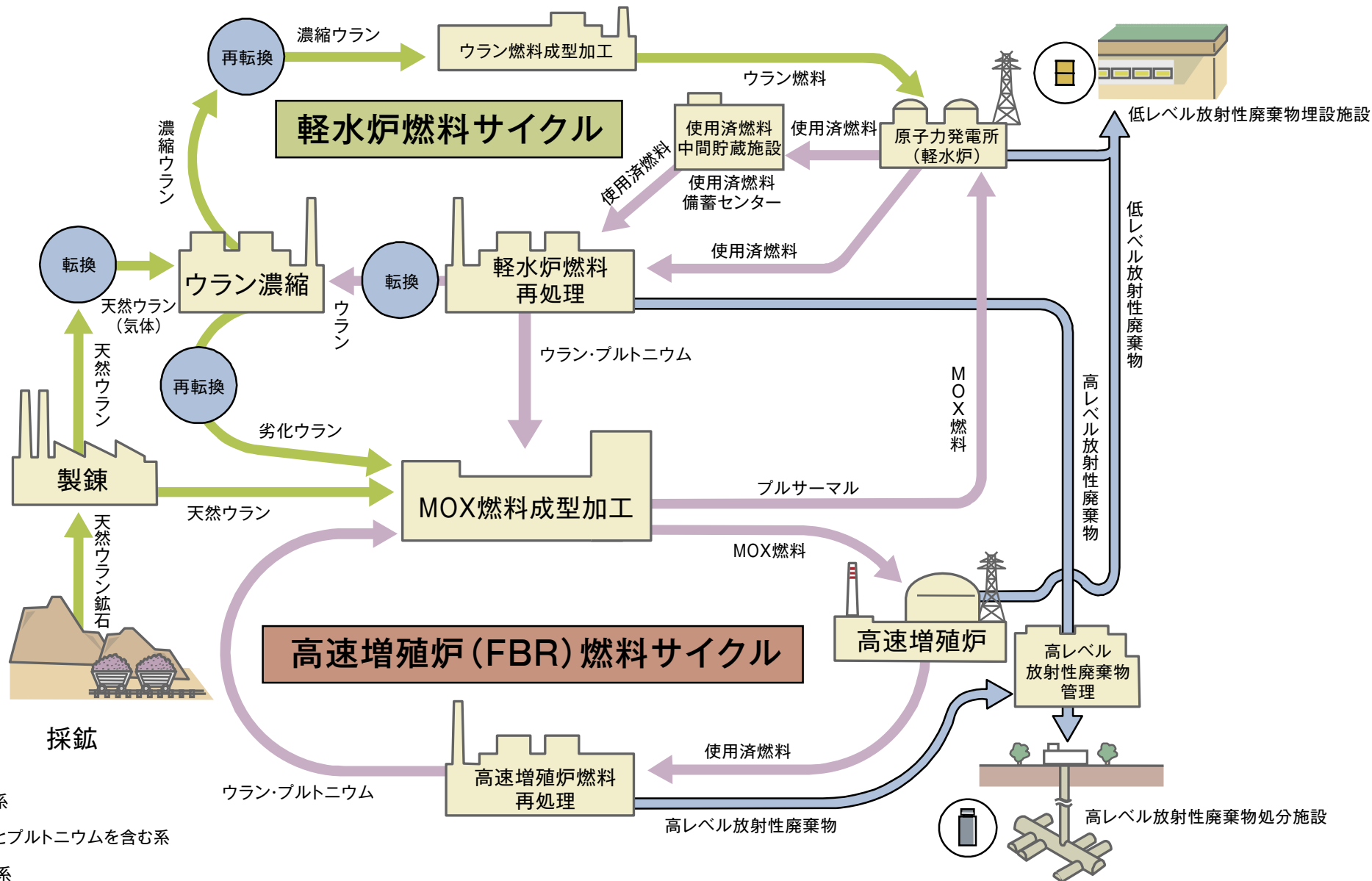
※2 高速炉サイクルの実用化によるプルトニウム利用によりウラン利用効率を約30倍に高めることが期待される……出典(2)

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

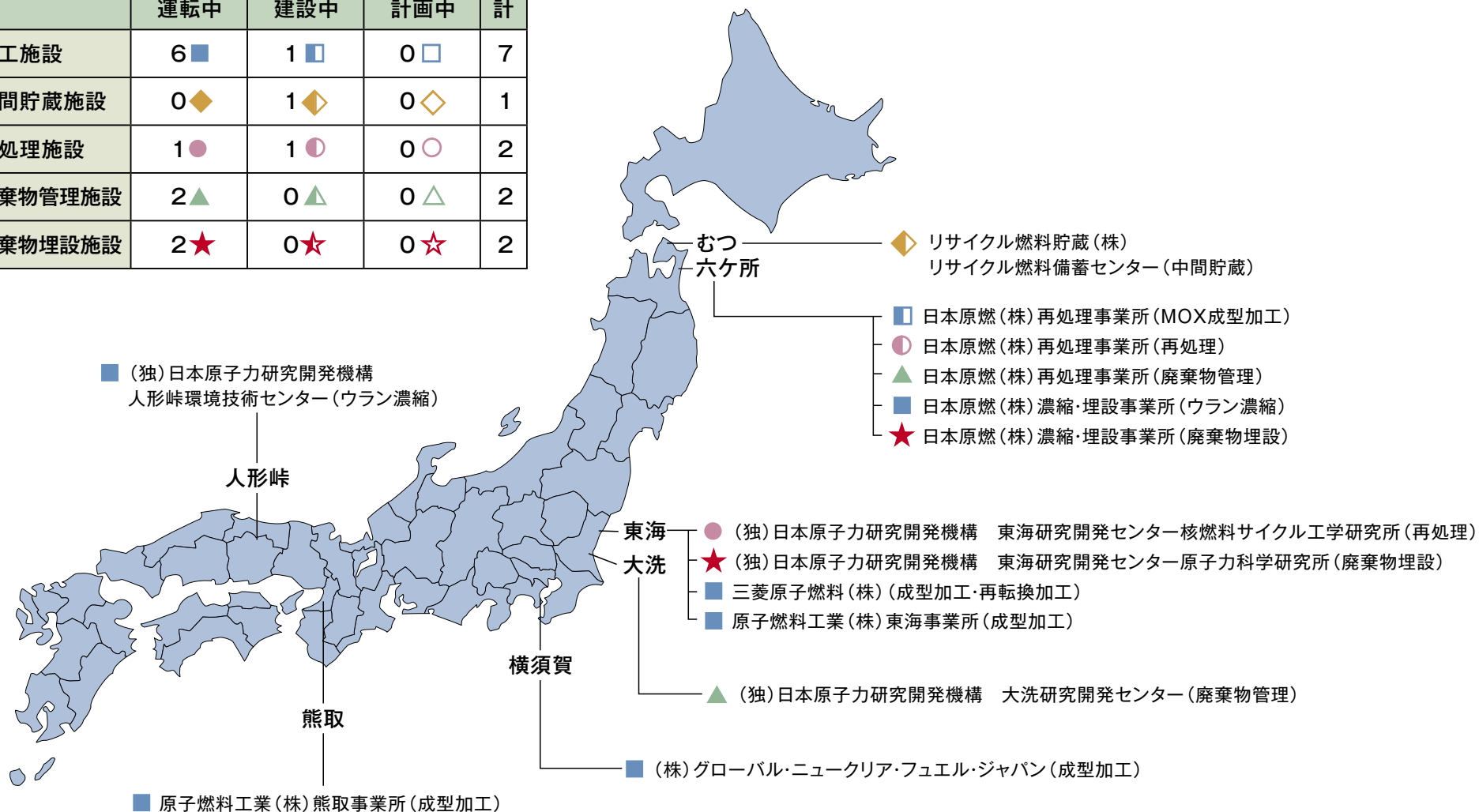
原子燃料サイクル(FBRを含む)



加工・再処理・廃棄・中間貯蔵施設位置図

(2012年6月現在)

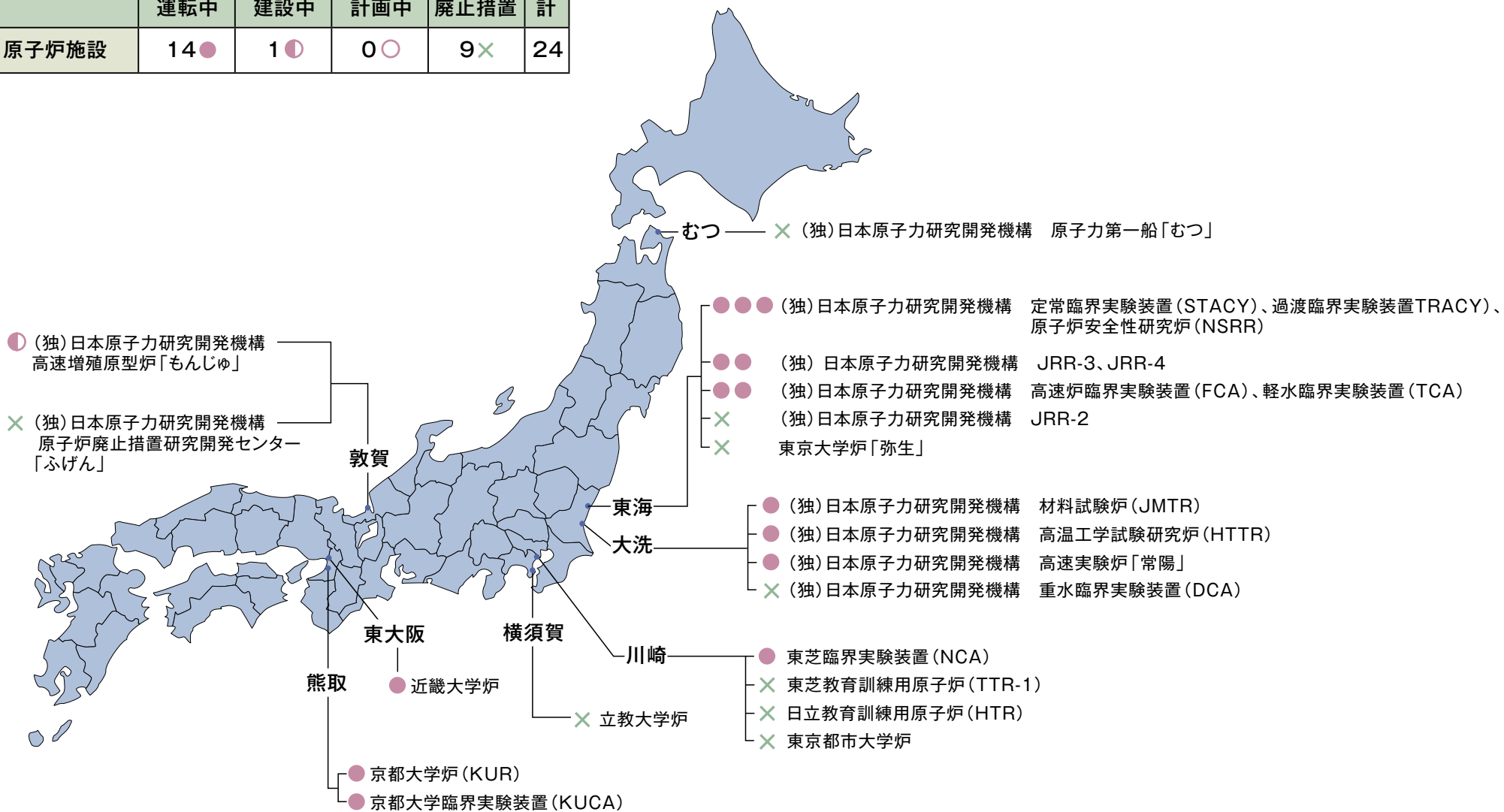
	運転中	建設中	計画中	計
加工施設	6 ■	1 ■	0 □	7
中間貯蔵施設	0 ◆	1 ◆	0 ◆	1
再処理施設	1 ●	1 ●	0 ○	2
廃棄物管理施設	2 ▲	0 ▲	0 ▲	2
廃棄物埋設施設	2 ★	0 ★	0 ★	2



試験研究用および研究開発段階にある原子炉施設位置図

(2012年9月現在)

	運転中	建設中	計画中	廃止措置	計
原子炉施設	14●	1●	0○	9×	24



原子燃料サイクル施設の概要

(2012年10月末現在)

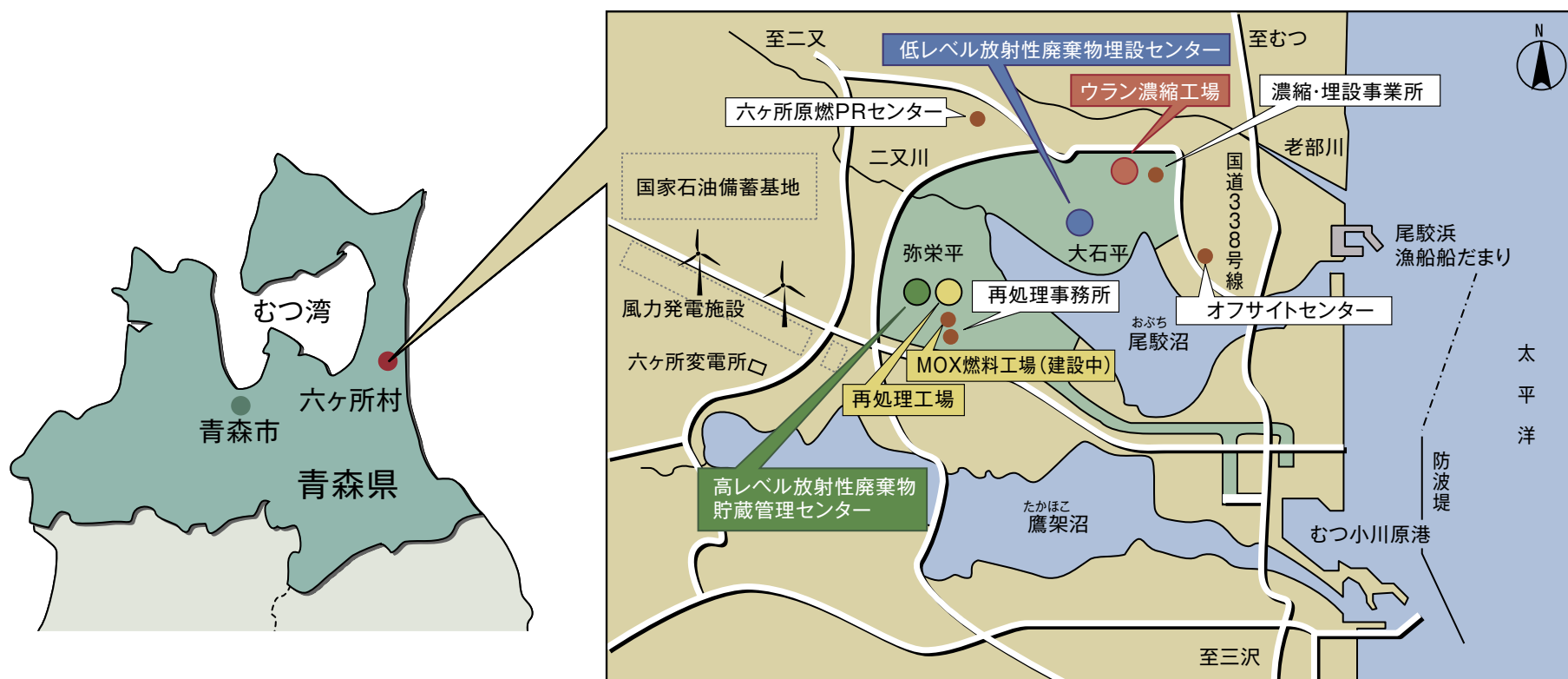
	再処理工場	高レベル放射性廃棄物 貯蔵管理センター	MOX燃料工場	ウラン濃縮工場	低レベル放射性廃棄物 埋設センター
場 所	青森県六ヶ所村弥栄平地区			青森県六ヶ所村大石平地区	
規 模	最大処理能力 800 tU/年 使用済燃料貯蔵容量 3,000 tU	返還廃棄物貯蔵容量 ガラス固化体2,880本	最大加工能力 130 tHM ^{※1} /年 製品 国内軽水炉(BWR、PWR)用 MOX燃料集合体	最終的には 1,500 tSWU ^{※2} /年	最終的には約60万立方メートル (200ℓドラム缶約300万本相当)
現 状	建設中	累積受入 1,414本	建設中	新型遠心機で 運転中	累積受入 1号廃棄物埋設施設 146,547本 2号廃棄物埋設施設 99,712本
工 期	工事開始 1993年 しゅん工 2013年(予定)	工事開始 1992年 操業開始 1995年	工事開始 2010年 しゅん工 2016年(予定)	工事開始 1988年 操業開始 1992年	工事開始 1990年 埋設開始 1992年

※1 HM:MOX中のプルトニウムとウランの金属成分の質量

※2 SWU:質量を表す単位。ウランの濃縮に必要な仕事量を表す単位

※3 低レベル放射性廃棄物20万立方メートル(200ℓドラム缶約100万本相当)分の建設費

原子燃料サイクル施設の位置



世界のウラン転換工場

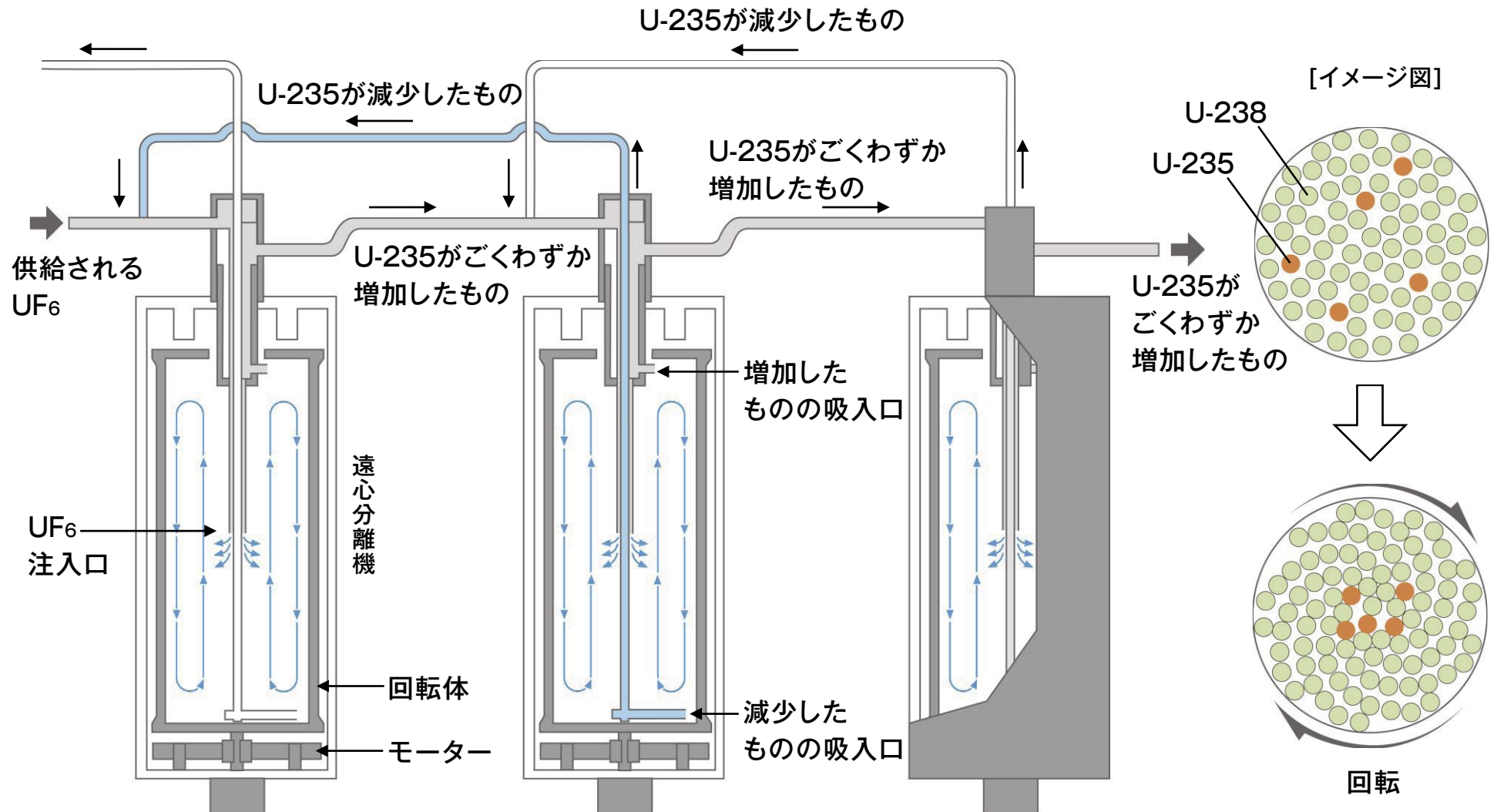
六フッ化ウラン (UF₆) の製造

(2012年12月現在)

国 名	事業者	所在地	年間処理能力 (tU [※] /年)
ロ シ ア	Angarsk Electrolysis Chemical Combine (JSC AECC)	アンガルスク	20,000
	Urals Electrochemical Combine (JSC UECC)	エカチェリンブルグ	4,000
ア メ リ カ	ConverDyn	メトロポリス	17,600
フ ラ ン ス	Comurhex (AREVA NC)	ピエールラット	14,000
カ ナ ダ	Cameco	ポートホープ	12,500
イ ギ リ ス	Westinghouse	スプリングフィールズ	6,000
中 国	中国核工業集团公司 (CNEIC)	甘肅省蘭州	3,000
アルゼンチン	国立原子力委員会 (CNEA)	ピルカニジェウ	62

※U:ウランが金属の状態であるときの重量

遠心分離法のしくみ



世界のウラン濃縮工場

(2012年12月現在)

国名	事業者	所在地	濃縮法	規模(tSWU※/年)
アメリカ	合衆国濃縮公社(USEC)	パデューカ	ガス拡散法	11,300
フランス	Eurodif	トリカスタン	ガス拡散法	10,800
イギリス	URENCO	カーペンハースト	遠心分離法	5,000
オランダ	URENCO	アルメロ	遠心分離法	4,600
ドイツ	URENCO	グロナウ	遠心分離法	3,250
ロシア	Shiberia Chemical & Complex (JSC SCC)	トムスク	遠心分離法	4,000
	Angarsk Electrolysis Chemical Combine (JSC AECC)	アンガルスク	遠心分離法	1,000
中国	中国核工業集团公司(CNNC)	陝西省漢中	遠心分離法	1,000
		甘肅省蘭州	遠心分離法	500
日本	日本原燃株式会社(JNFL)	青森県六ヶ所村	遠心分離法	最終的には1,500
パキスタン	パキスタン原子力委員会(PAEC)	カフタ	遠心分離法	5

※SWU:天然ウランから濃縮ウランを分離する際の作業量単位

世界のウラン再転換工場

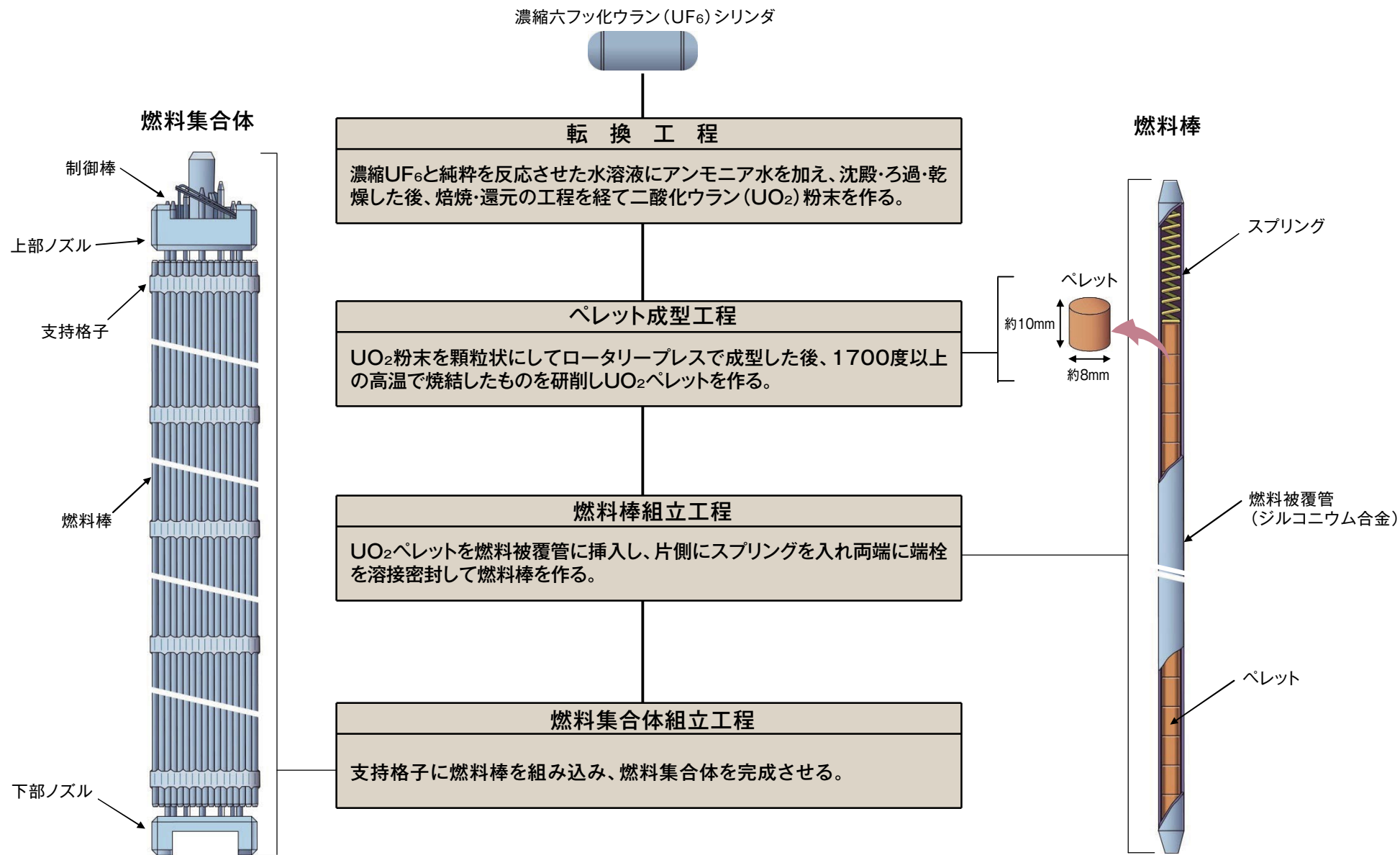
燃料集合体加工原料二酸化ウラン(UO₂)の製造

(2012年12月現在)

国 名	事業者	所在地	年間処理能力(tU [※] /年)
カナダ	Cameco	ポートホープ	2,800
イギリス	Westinghouse	スプリングフィールズ	550
			65
日本	三菱原子燃料株式会社(MNF)	茨城県東海村	450
アルゼンチン	国立原子力委員会(CNEA)	コルドバ	175
インド	Nuclear Fuel Complex (NFC)	ハイデラバード	450

※U:ウランが金属の状態であるときの重量

ウラン燃料加工工程



(注) PWRの場合

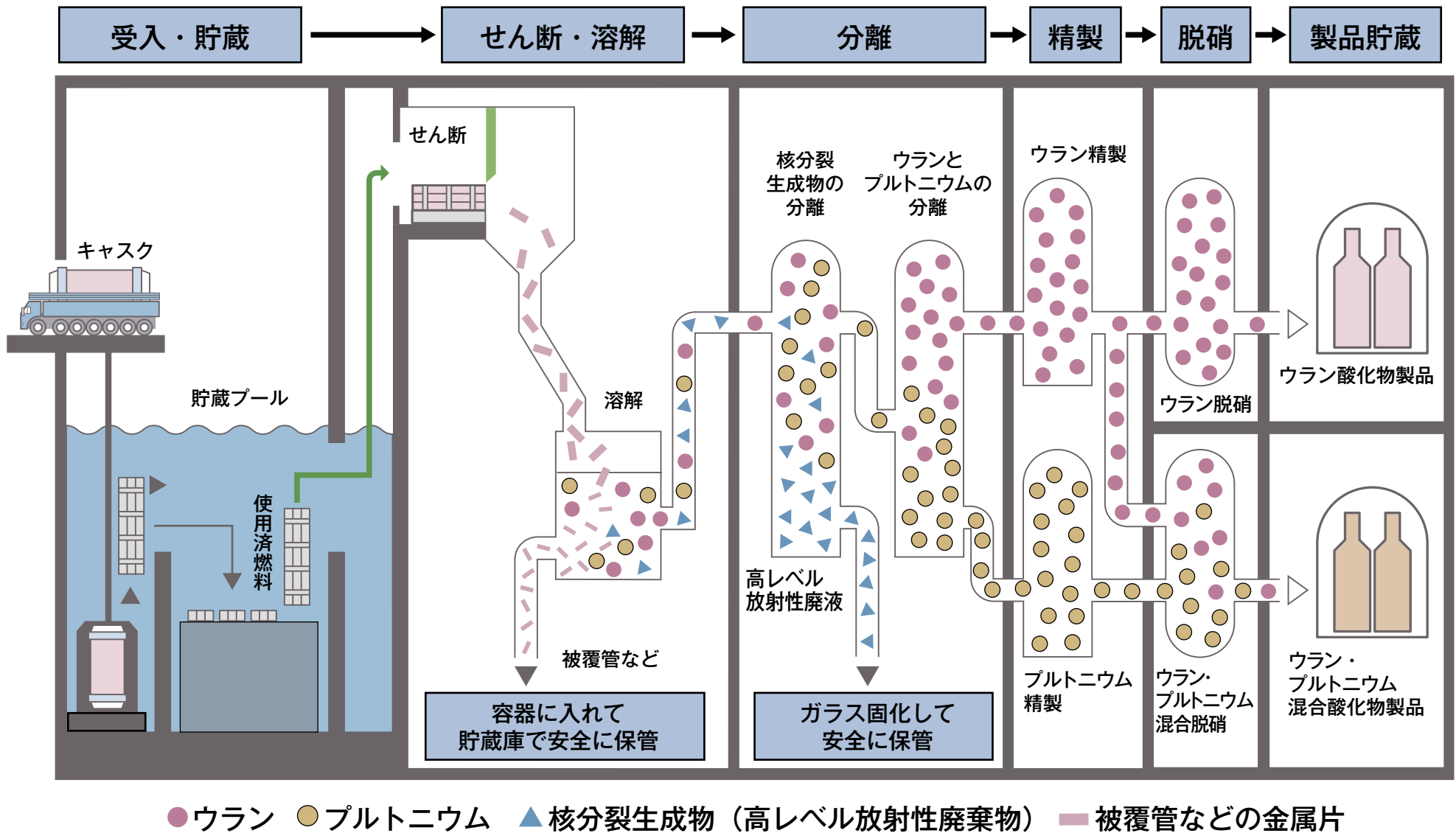
世界のウラン燃料加工工場（軽水炉燃料）

（2012年12月現在）

国 名	事業者	所在地	炉型	年間製造能力(tU*/年)
フ ラ ン ス	FBFC	ロマンス	PWR	1,400
ア メ リ カ	GE Nuclear Energy	ウィルミントン	BWR	1,200
	Westinghouse	コロンビア	PWR	1,150
	AREVA NP	リッチランド	PWR,BWR	700
		リンチバーグ	PWR	400
ロ シ ア	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (JSC NCCP)	ノボシビルスク	WWER	1,200
	Mashinostroitelny Zavod (JSC MSZ)	エレクトロスターリ	WWER,PWR	950
日 本	株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン (GNF-J)	神奈川県横須賀市	BWR	750
	三菱原子燃料株式会社 (MNF)	茨城県東海村	PWR	440
	原子燃料工業株式会社 (NFI)	大阪府熊取町	PWR	284
		茨城県東海村	BWR	250
ド イ ツ	Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)	リンゲン	PWR,BWR	650
スウェーデン	Westinghouse	ヴァストマンランド	PWR,BWR	600
ベ ル ギ ー	FBFC	デッセル	PWR,BWR	500
韓 国	Korea Nuclear Fuel Company Ltd. (KNFC)	大田広域市	PWR	400
ス ペ イ ン	ENUSA Industrias Avanzadas,S.A.	サラマンカ	PWR,BWR,VVER	400
中 国	Yibin Nuclear Fuel Element Plant	四川省宣賓	PWR	400
イ ギ リ ス	Westinghouse/UK	スプリングフィールドズ	LWR,WWER	330
ブ ラ ジ ル	Industrias Nucleares do Brasil (INB)	リオデジャネイロ	PWR	240
イ ン ド	Nuclear Fuel Complex (NFC)	ハイデラバード	BWR	24

※U:ウランが金属の状態であるときの重量

再処理の工程



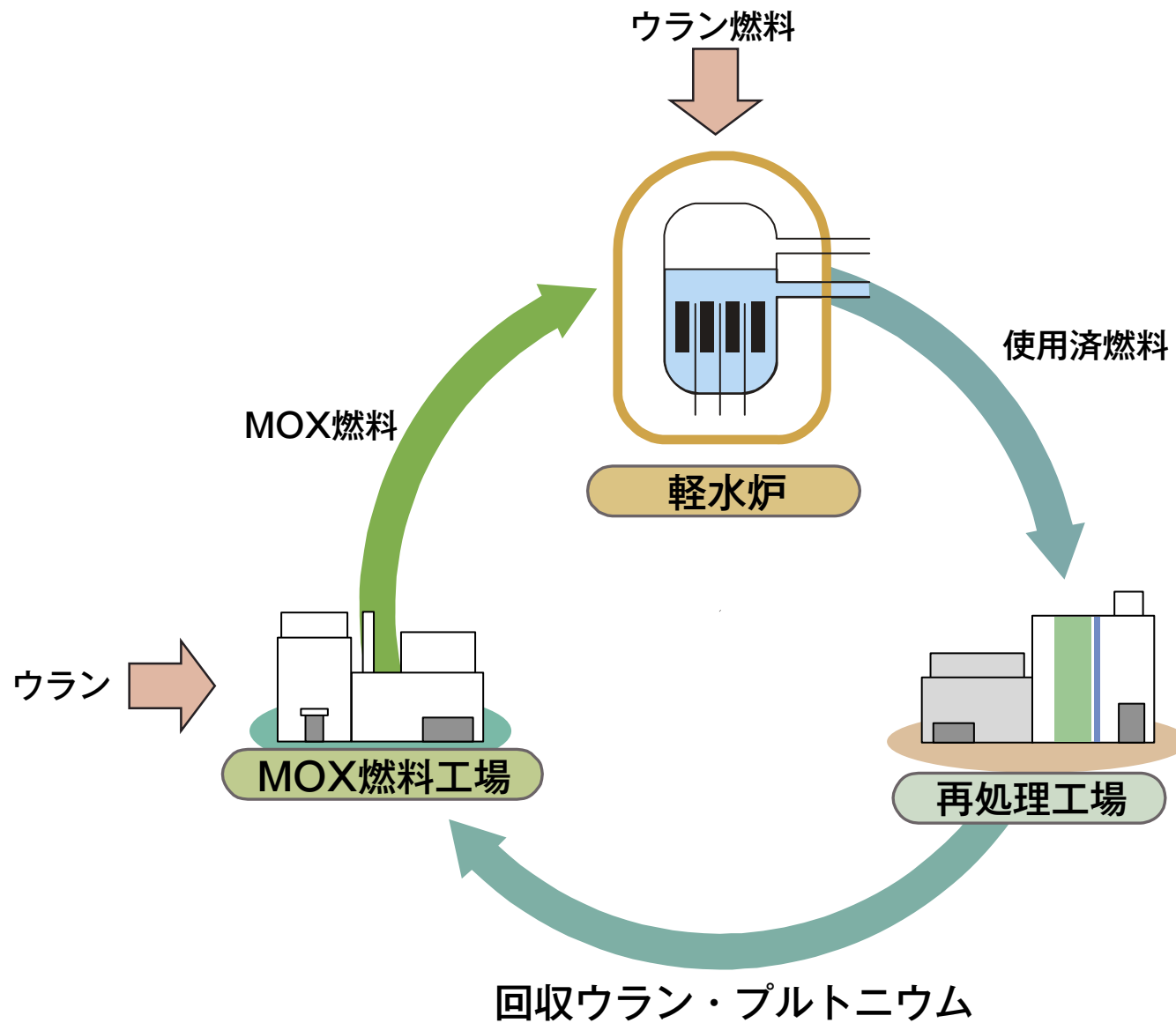
世界の再処理工場

(2012年12月現在)

国 名	事業者	所在地	工場名	年間処理能力 (tU※/年)	操業開始年
フランス	AREVA NC	ラ・アーグ	UP2-800	1,000	1996
			UP3	1,000	1990
イギリス	Sellafield Ltd	セラフィールド	THORP	900	1994
			B205	1,500	1964
ロシア	Mayak Production Association	チェリャビンスク	RT-1	400	1971
日 本	独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)	茨城県東海村	東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所	210	1981 (耐震補強中)
	日本原燃株式会社 (JNFL)	青森県六ヶ所村	再処理事業所	800	2013 (しゅん工予定)

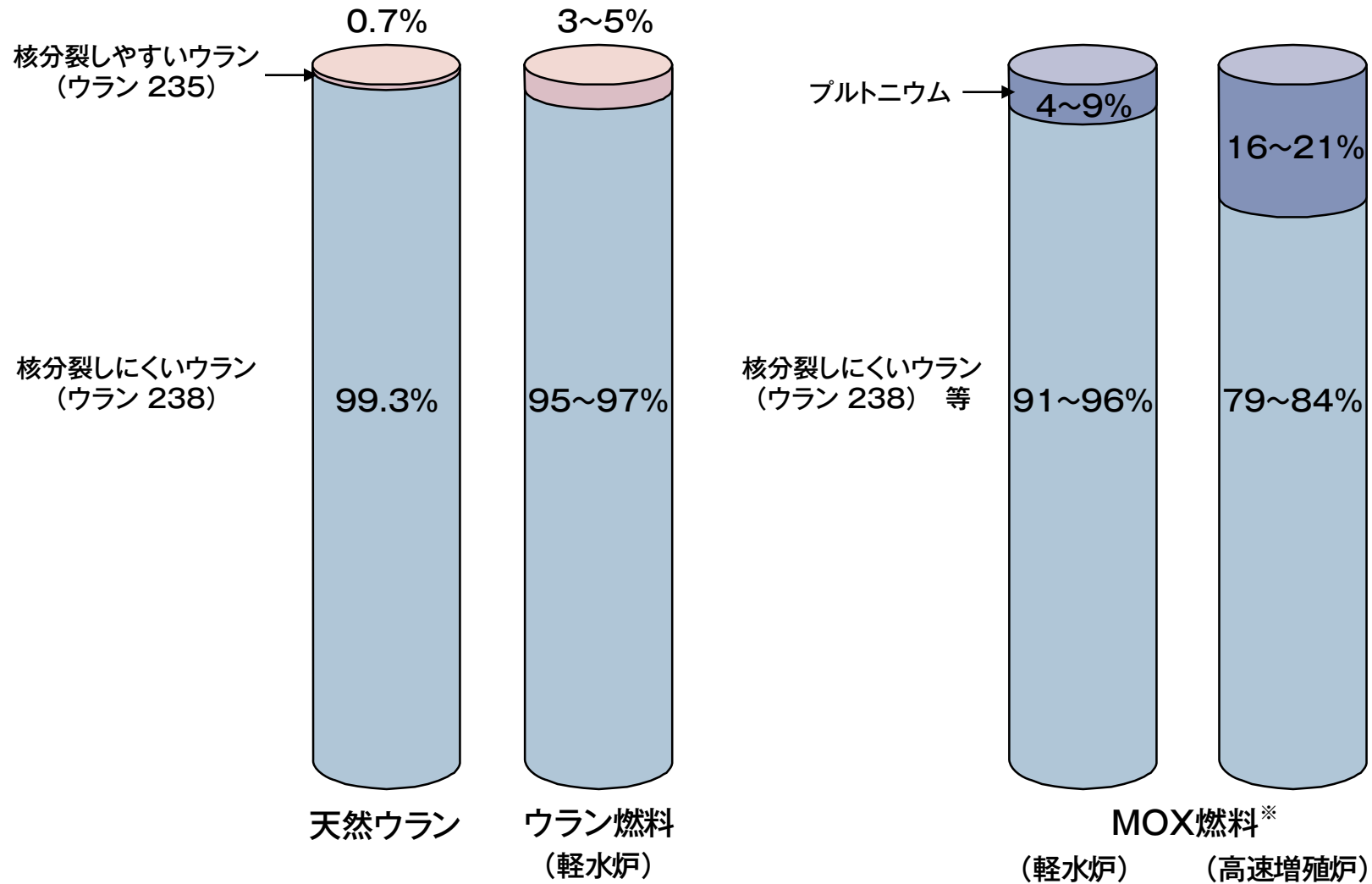
※U:ウランが金属の状態であるときの重量

プルサーマルのしくみ



(注) プルサーマル：軽水炉でMOX燃料を使用すること

MOX燃料



※MOX (Mixed Oxide) 燃料:プルトニウムとウランの混合燃料で、軽水炉のプルサーマル計画や高速増殖炉などで使用される

燃料物性へのプルトニウムの影響

【融点】

プルトニウムの混合割合が増えるに従って低下

- ・ プルサーマルで使用するMOX燃料のプルトニウムの混合割合程度では、融点の低下は僅か数十度

【熱伝導度】

プルトニウムの混合割合が増えるに従って低下

- ・ 熱伝導の低下も小さい
- ・ 実際のペレット温度は融点に対して十分に余裕がある

【ガス放出率】

核分裂で生じたガスが被覆管の中にたまる割合は、若干高くなる

- ・ 燃料棒の中の空間（ガスだめ）の体積を増やす等、内圧の上昇を抑制

燃料核特性へのプルトニウムの影響

[燃料棒の発熱分布]

プルトニウムは中性子と反応しやすい為に、MOX燃料棒の出力が高くなる



[制御棒の効き]

プルトニウムは中性子を吸収しやすい為に、制御棒に吸収される中性子の数が減る



[外乱への応答]

原子炉の圧力が上昇するような異常が生じた場合には、従来よりも出力が大きくなる傾向にある



適切な燃料棒・燃料集合体の配置により、制限値に対してウラン炉心と同様の十分な余裕を持たせることができる

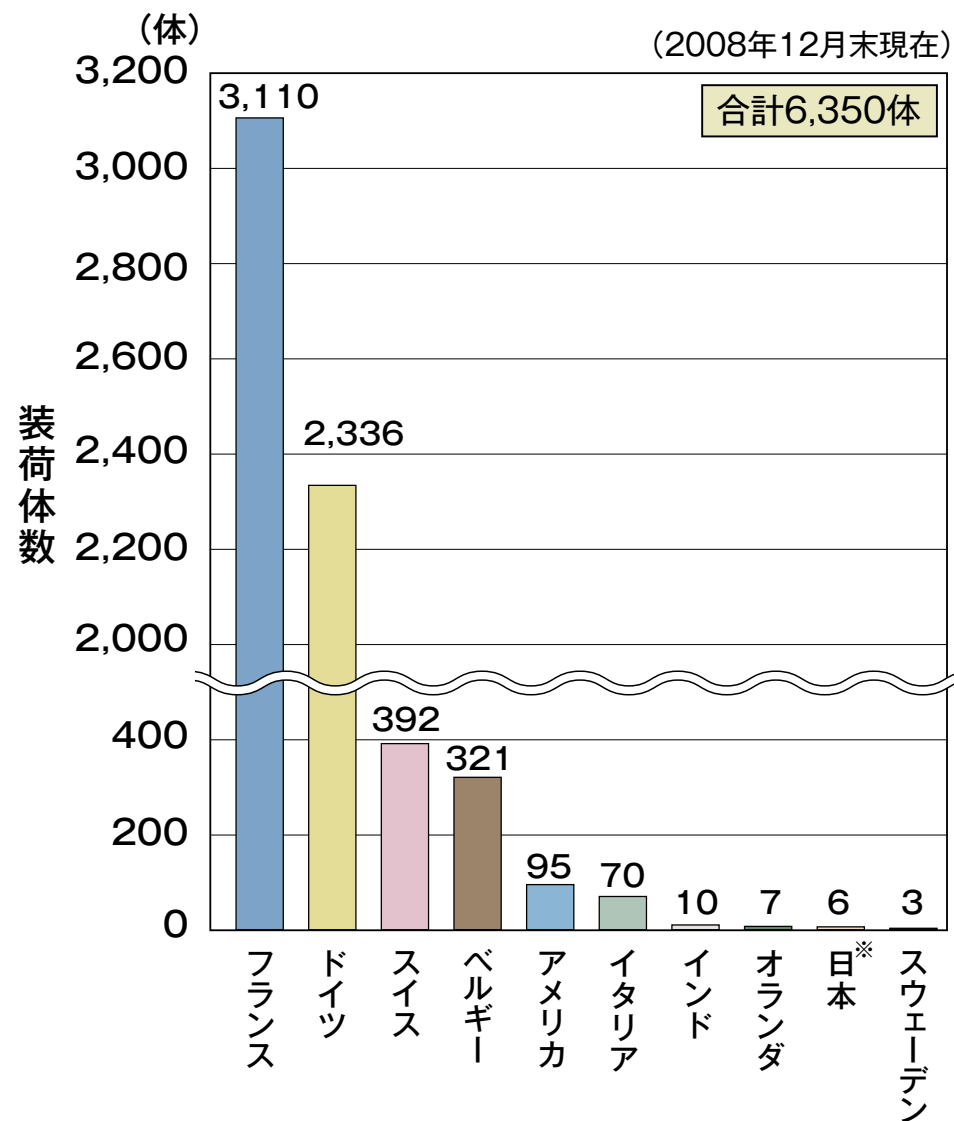
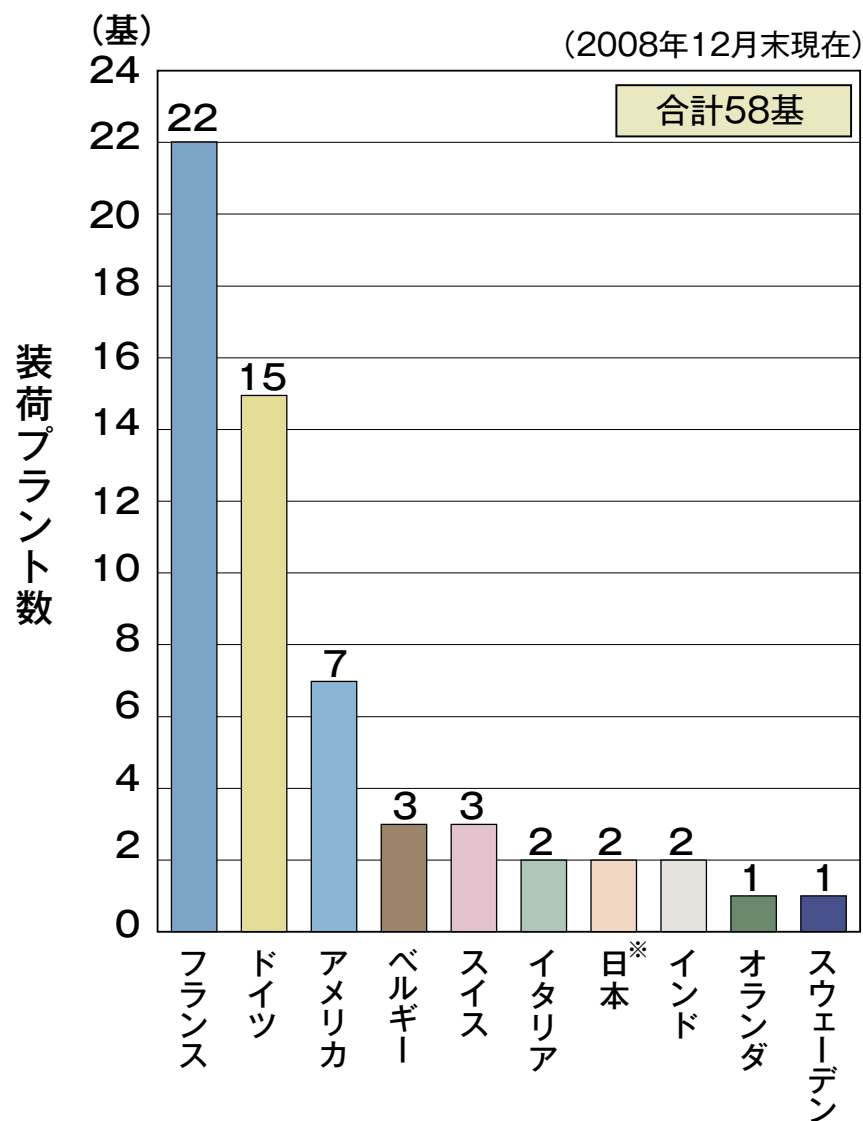
世界のMOX燃料加工施設

(2012年12月現在)

国 名	事業者	所在地	年間製造能力 (tHM※/年)	操業開始年	製 品
フランス	AREVA NC	マルクール	195	1995	LWR燃料
ベルギー	FBFC	デッセル	100	1997	PWR,BWR燃料
日 本	独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)	茨城県東海村	10	1988 (耐震補強中)	FBR燃料
	日本原燃株式会社(JNFL)	青森県六ヶ所村	130	2016 (しゅん工予定)	PWR,BWR燃料
ロ シ ア	VI Lenin Research Institute of Nuclear Reactors (Niiar)	ディミトログラード	1	1975	FBR燃料
	Mayak Production Association	チェリャビンスク	0.5	1980	FBR燃料

※HM:MOX中のプルトニウムとウランの金属成分の質量

世界の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績

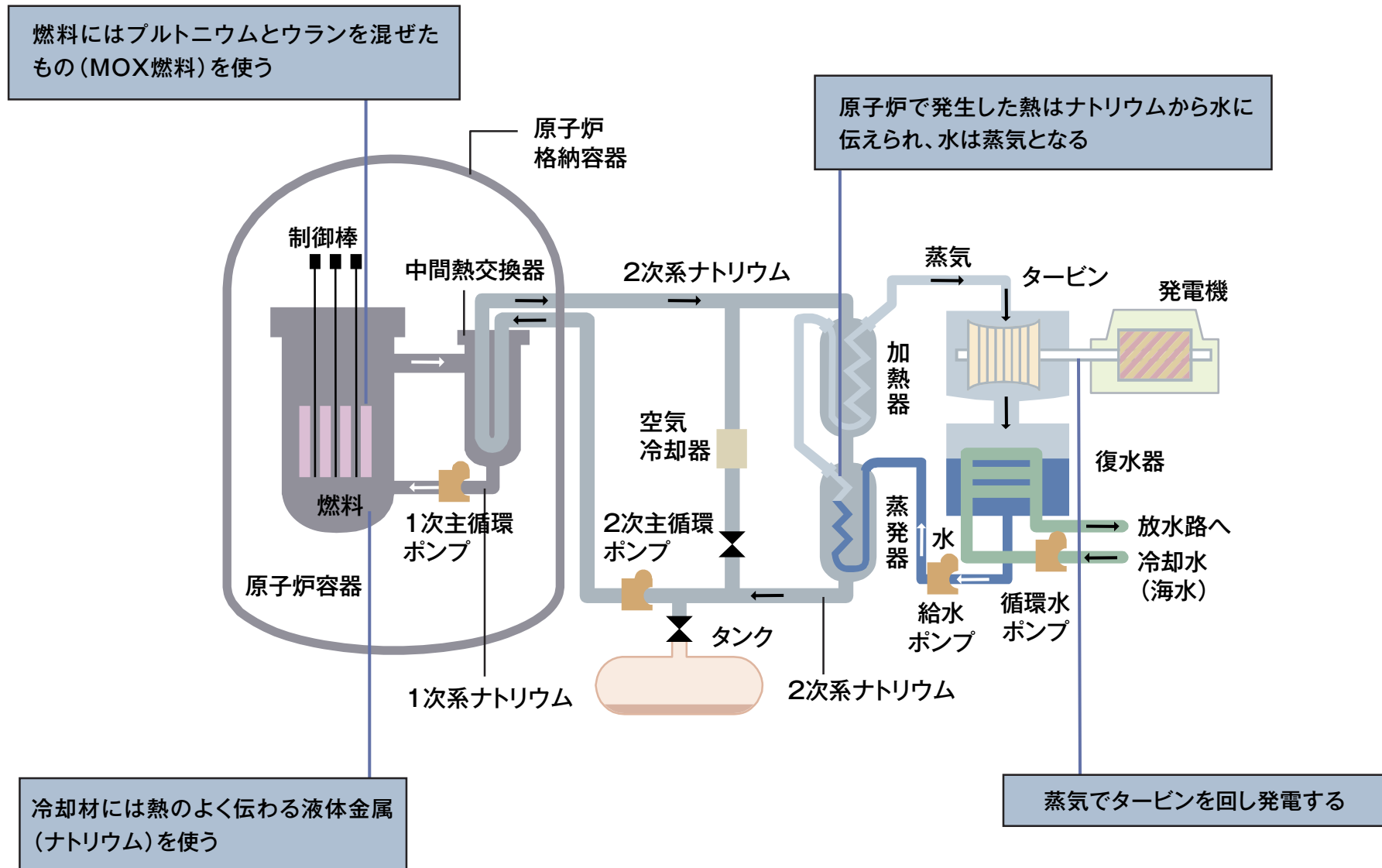


(注) 日本では軽水炉以外にATR「ふげん」で772体の使用実績がある(2003年3月)

フランス(21基)、ドイツ(9基)、スイス(3基)、ベルギー(1基)、アメリカ(1基)では、2012年12月末現在もMOX燃料を使用中である

※2009年12月以降、更に4基の原子炉で88体のMOX燃料を使用している

高速増殖炉 (FBR) のしくみ



原子炉の比較

	分裂に寄与する 中性子	燃 料	減速材	冷 却 材	転換比※
高速増殖炉 (FBR)	高速中性子	核分裂性 プルトニウム 約16~21% 劣化ウラン 約79~84% (ブランケット燃料は 劣化ウランのみ)	—	ナトリウム	約1.2
軽 水 炉 (BWR) (PWR)	熱中性子	ウラン235 3~5% ウラン238 95~97%	軽 水	軽 水	約0.6

※転換比:燃料の燃焼1.0に対して新たに生成する燃料の割合

各原子力発電所の使用済燃料の貯蔵量

電力会社	発電所名	1炉心(tU)	1取替分(tU)	2012年9月末現在	
				使用済燃料貯蔵量(tU)	管理容量(tU)
北海道電力	泊	170	50	400	1,000
東北電力	女川	260	60	420	790
	東通	130	30	100	440
東京電力	福島第一	580	140	1,960	2,100
	福島第二	520	120	1,120	1,360
	柏崎刈羽	960	230	2,380	2,910
中部電力	浜岡	410	100	1,140	1,740
北陸電力	志賀	210	50	160	690
関西電力	美浜	160	50	390	680
	高浜	290	100	1,160	1,730
	大飯	360	110	1,430	2,020
中国電力	島根	170	40	390	600
四国電力	伊方	170	50	610	940
九州電力	玄海	270	90	870	1,070
	川内	140	50	890	1,290
日本原子力発電	敦賀	140	40	580	860
	東海第二	130	30	370	440
合 計		5,070	1,340	14,370	20,630

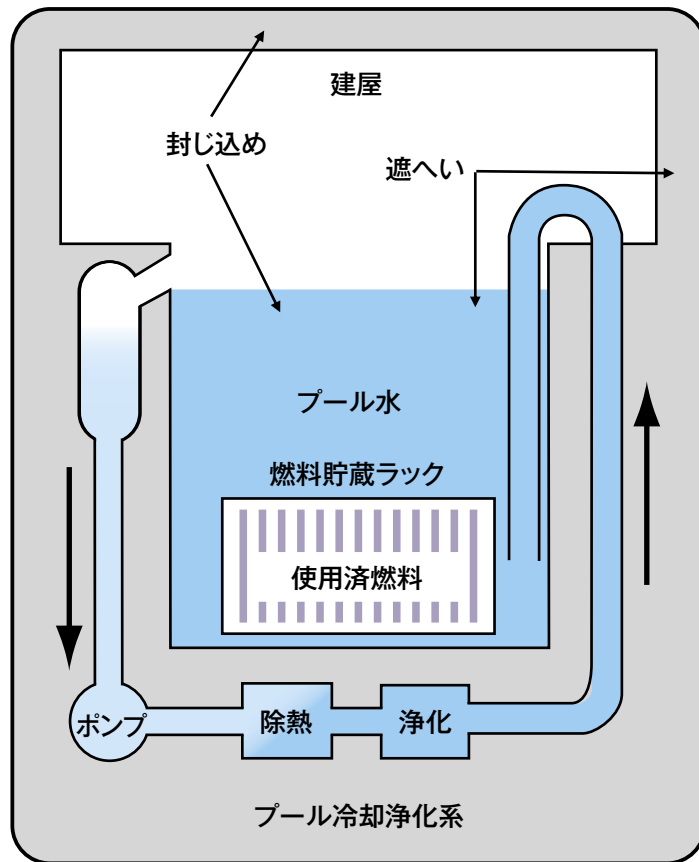
(注1) 管理容量は、原則として「貯蔵容量から1炉心+1取替分を差し引いた容量」

(注2) 中部電力の浜岡は、1・2号機の運転終了により、「1炉心」「1取替分」を3～5号機の合計値としている

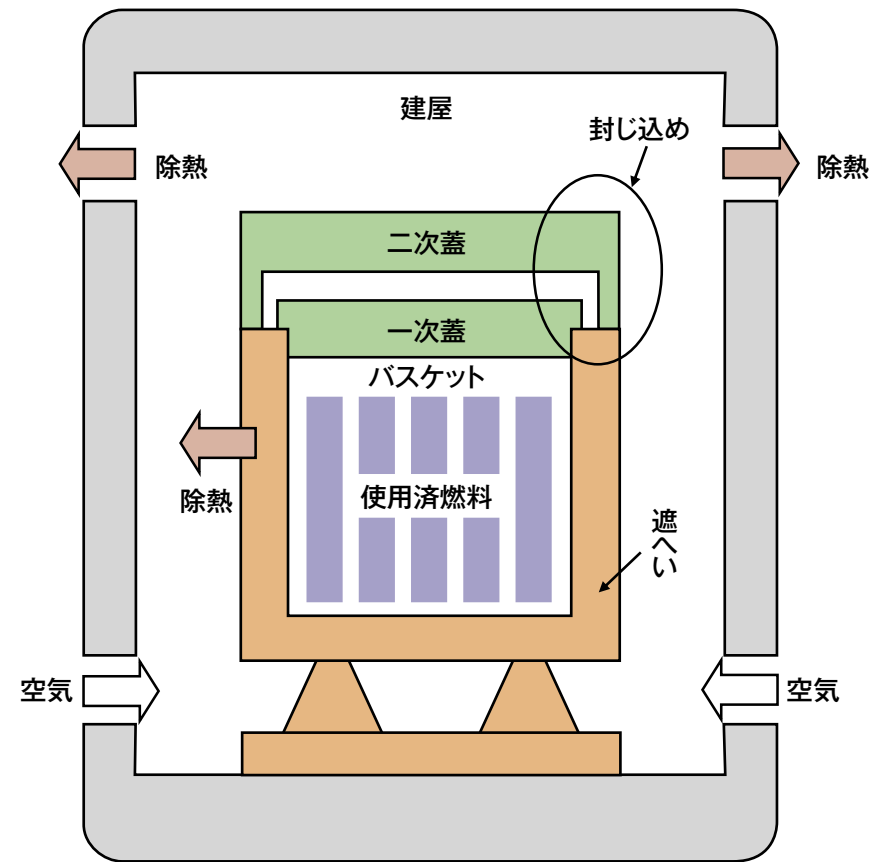
(注3) 四捨五入の関係で合計値は、各項目を加算した数値と一致しない部分がある

使用済燃料の中間貯蔵方式（例）

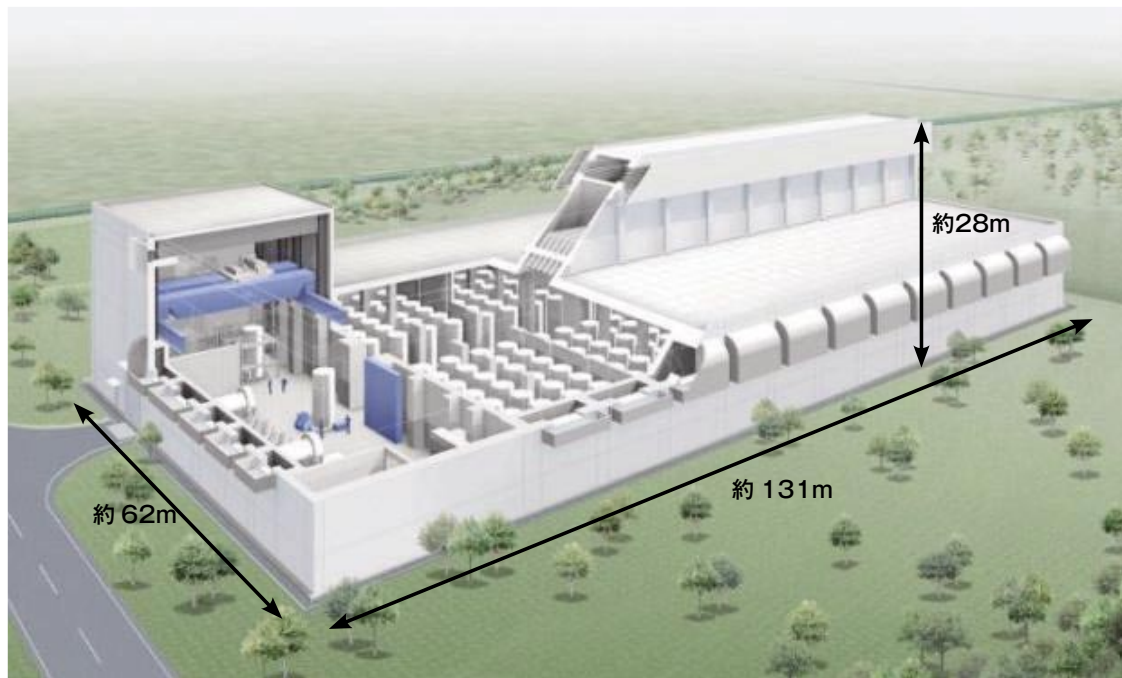
[湿式] プール貯蔵方式



[乾式] 金属キャスク貯蔵方式

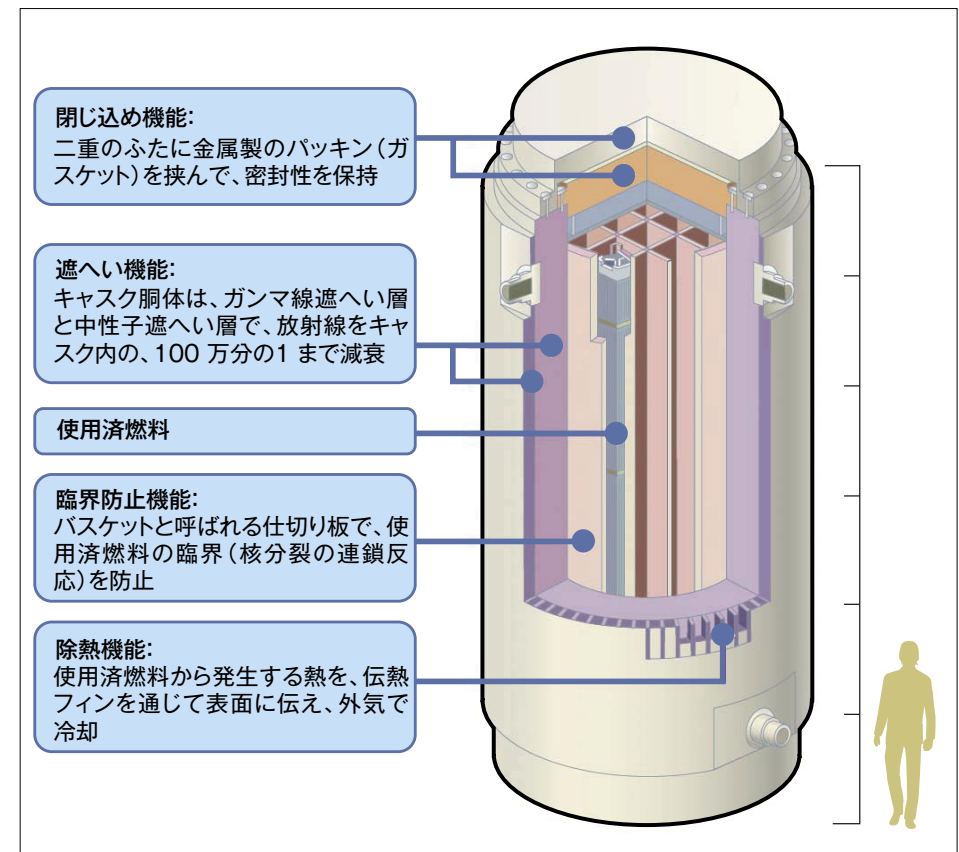


使用済燃料の中間貯蔵施設

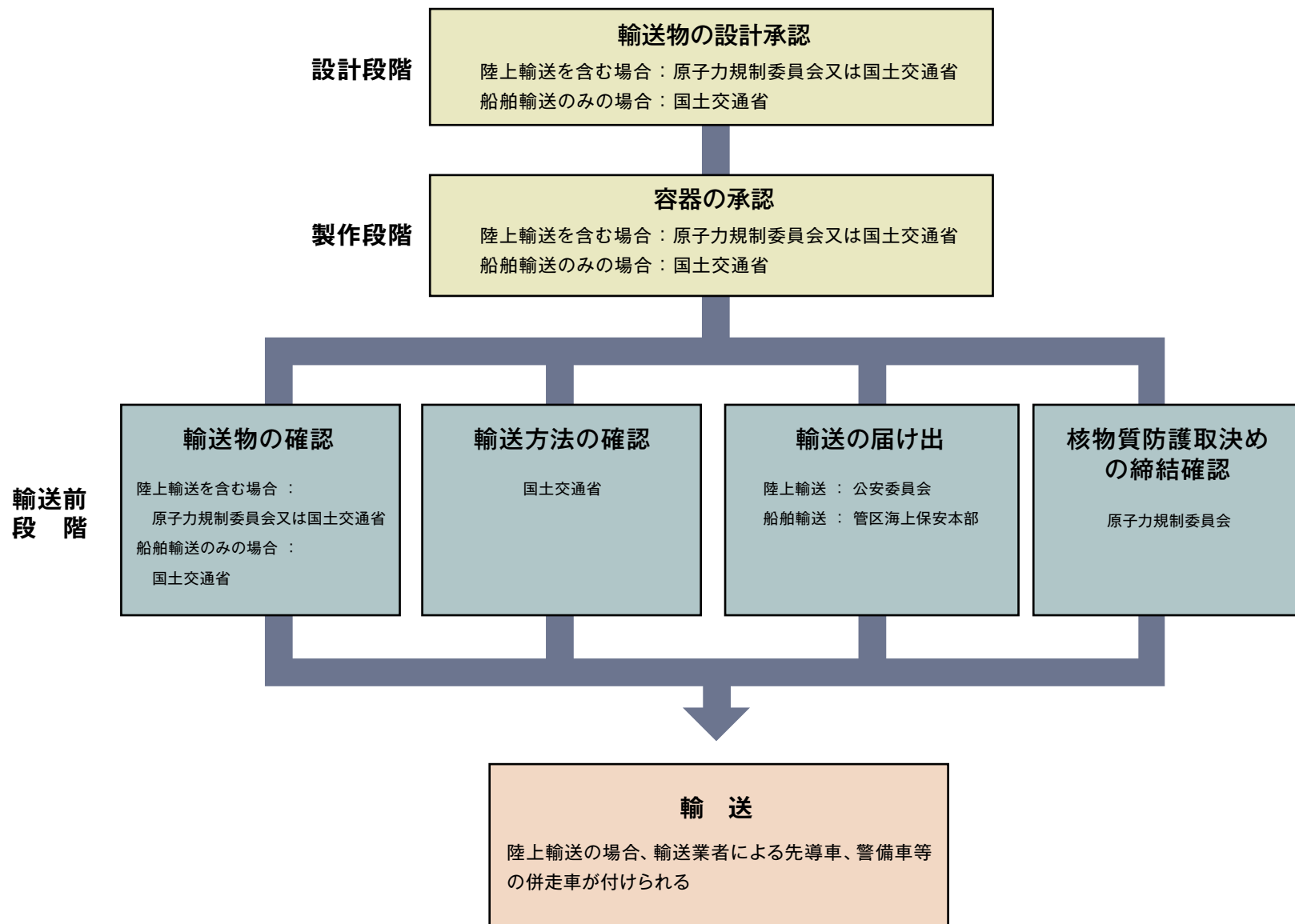


リサイクル燃料備蓄センターイメージ図(3,000トン規模)

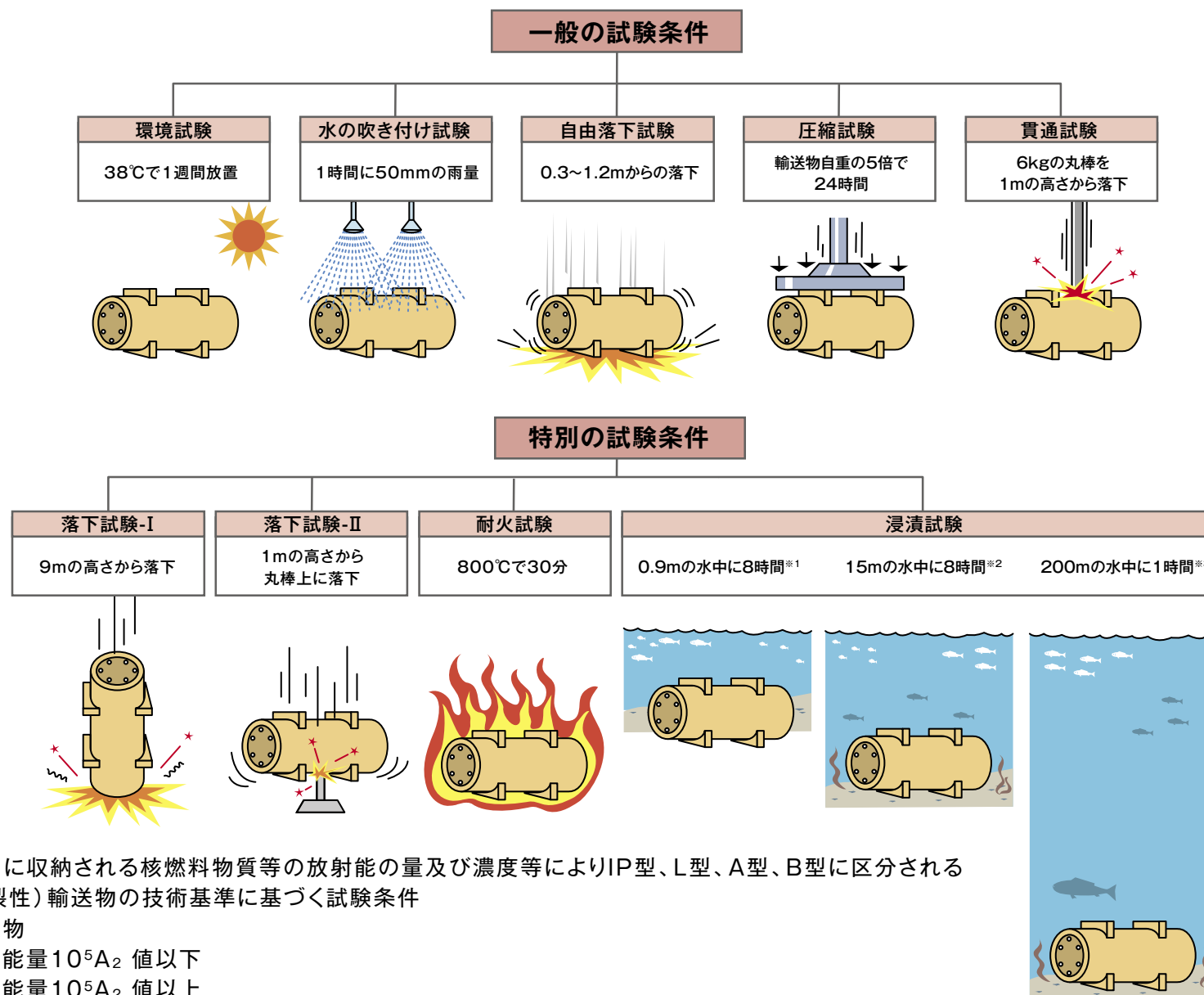
輸送・貯蔵用キャスク



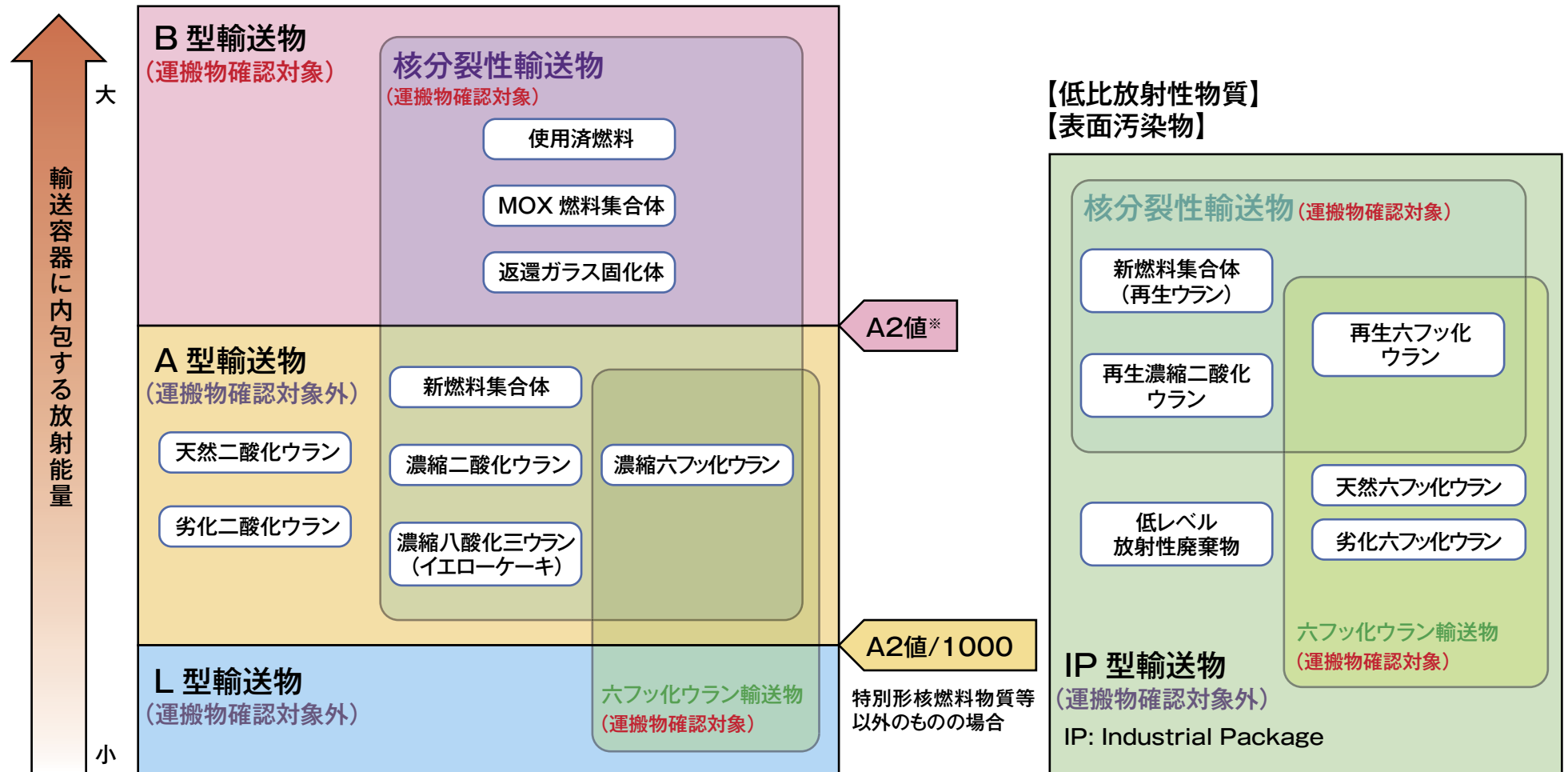
原子燃料の輸送に係わる安全規制の流れ



輸送容器の安全性

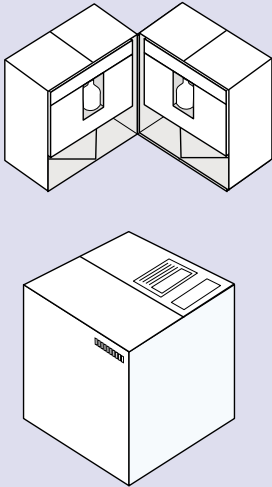
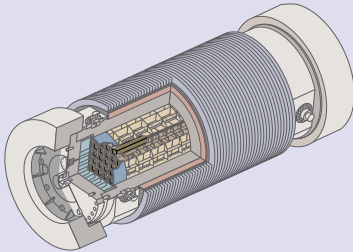
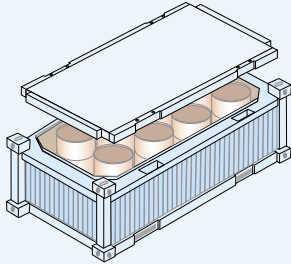


放射性輸送物の分類

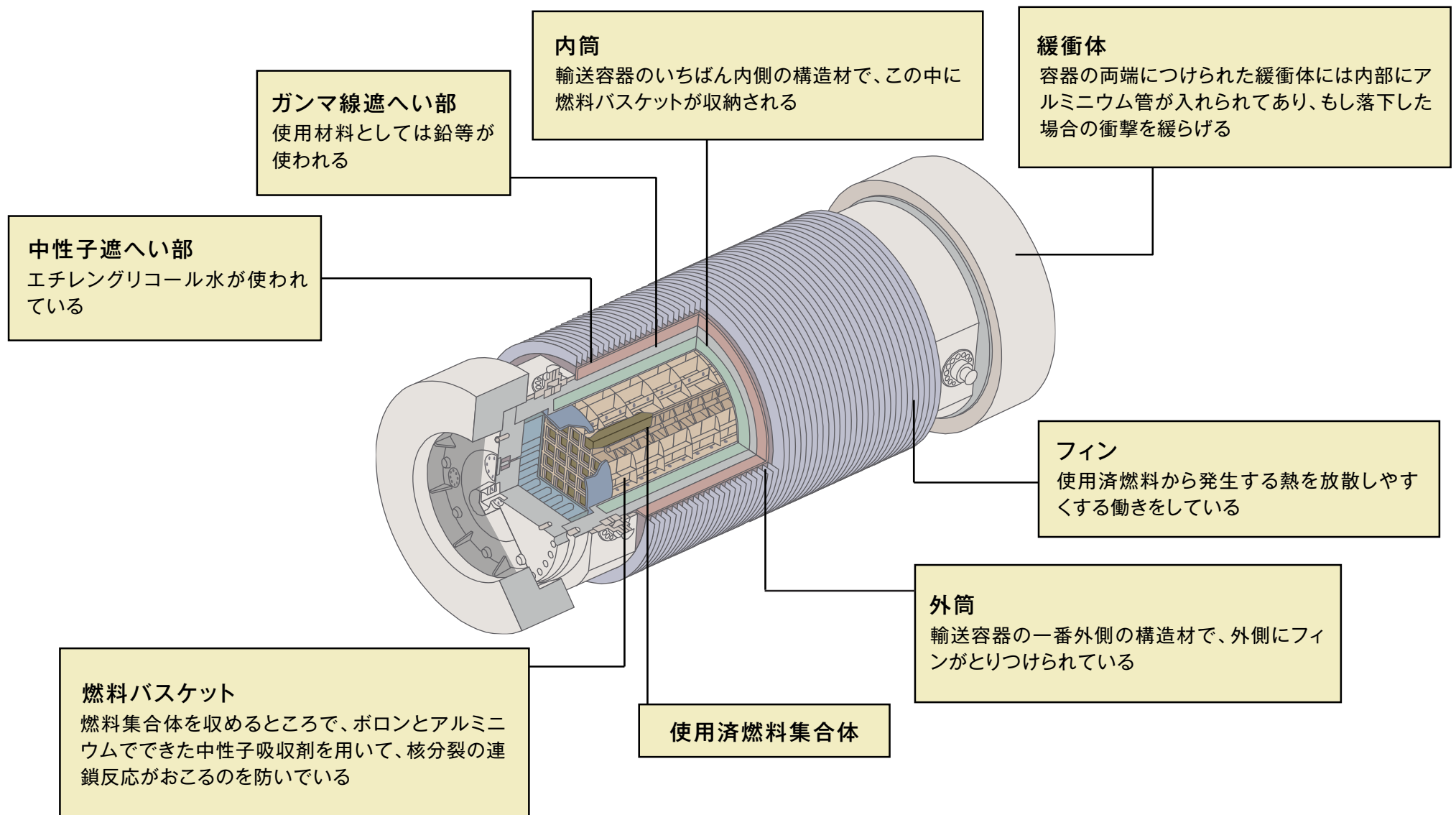


※輸送物への収納物制限量を与える規定値のこと

放射性輸送物の具体例

分類	概要	代表例	具体例	
L型輸送物	放射性物質の収納量をごく少量に制限することにより、危険性を極めて小さなものにおさえて安全性を確保する輸送物	放射性医薬品		包装基準 ●容易にかつ安全に取り扱える ●運搬中亀裂、破損等が生じない ●不要な突起物がなく除染が容易
A型輸送物	放射性物質の収納量を一定量（中程度）に制限するとともに通常予想される出来事に対する強度を持たせて安全性を確保する輸送物	新燃料集合体		包装基準（L型の包装基準に加え） ●各辺とも10cm以上 ●構成部品が40～70℃で運搬中に亀裂破損のおそれがない ●周囲圧力60kPaの下で漏洩がない 等
B型輸送物	大量の放射性物質を収納しているので、輸送中に予想される大事故にも十分耐えられるように極めて強固な輸送物として安全性を確保するもの	使用済燃料		
IP型輸送物	放射能濃度が低いものなど、危険性が比較的小さいものに限定することで安全性を確保する輸送物	低レベル放射性廃棄物		

使用済燃料輸送容器（キャスク）



（注）図は国内輸送に用いられているNFT-38B型（湿式キャスク）の場合

使用済燃料専用輸送船の特徴

(1) 安全航行の確保

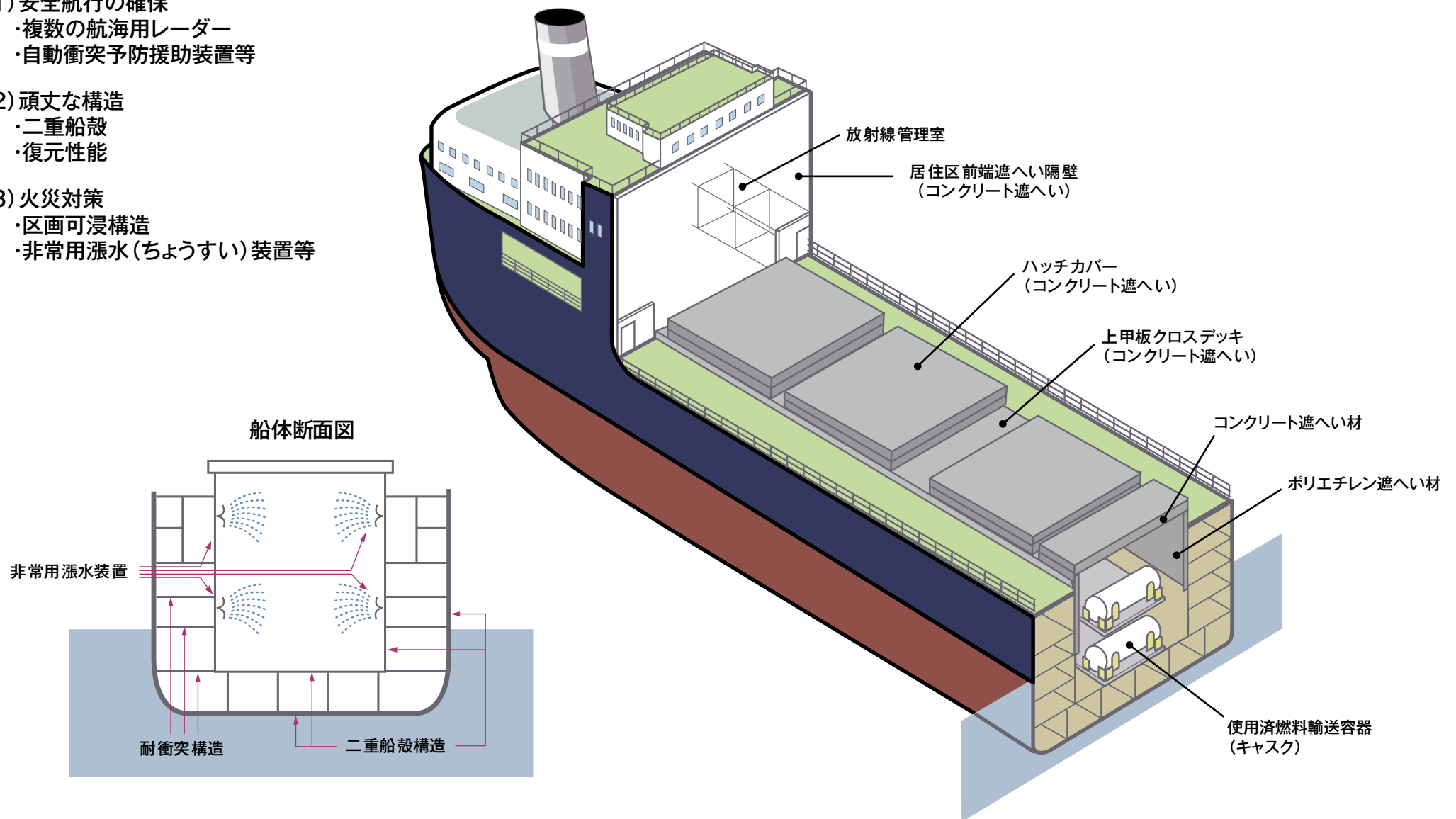
- ・複数の航海用レーダー
- ・自動衝突予防援助装置等

(2) 頑丈な構造

- ・二重船殻
- ・復元性能

(3) 火災対策

- ・区画可浸構造
- ・非常用漲水(ちょうすい)装置等



廃棄物の区分

非放射性廃棄物	一般廃棄物	ごみ	家庭系ごみ:一般ごみ(可燃ごみ、不燃ごみ等)、粗大ごみ
			事業系ごみ: オフィス、飲食店等からでるもの
		し尿	
		特別管理一般廃棄物 ※1	
	産業廃棄物	事業活動に伴って生じた廃棄物のうち法令で定められた20種類 ※2	
特別管理産業廃棄物 ※3			
放射性廃棄物	低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物
			放射能レベルの比較的低い廃棄物
			放射能レベルの比較的高い廃棄物
		ウラン廃棄物	
		超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)	
	高レベル放射性廃棄物		

※1 爆発性、毒性、感染性、その他の人の健康または生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの

※2 燃えがら、汚泥、廃油、金属くず、ガラスくず、コンクリートくず等

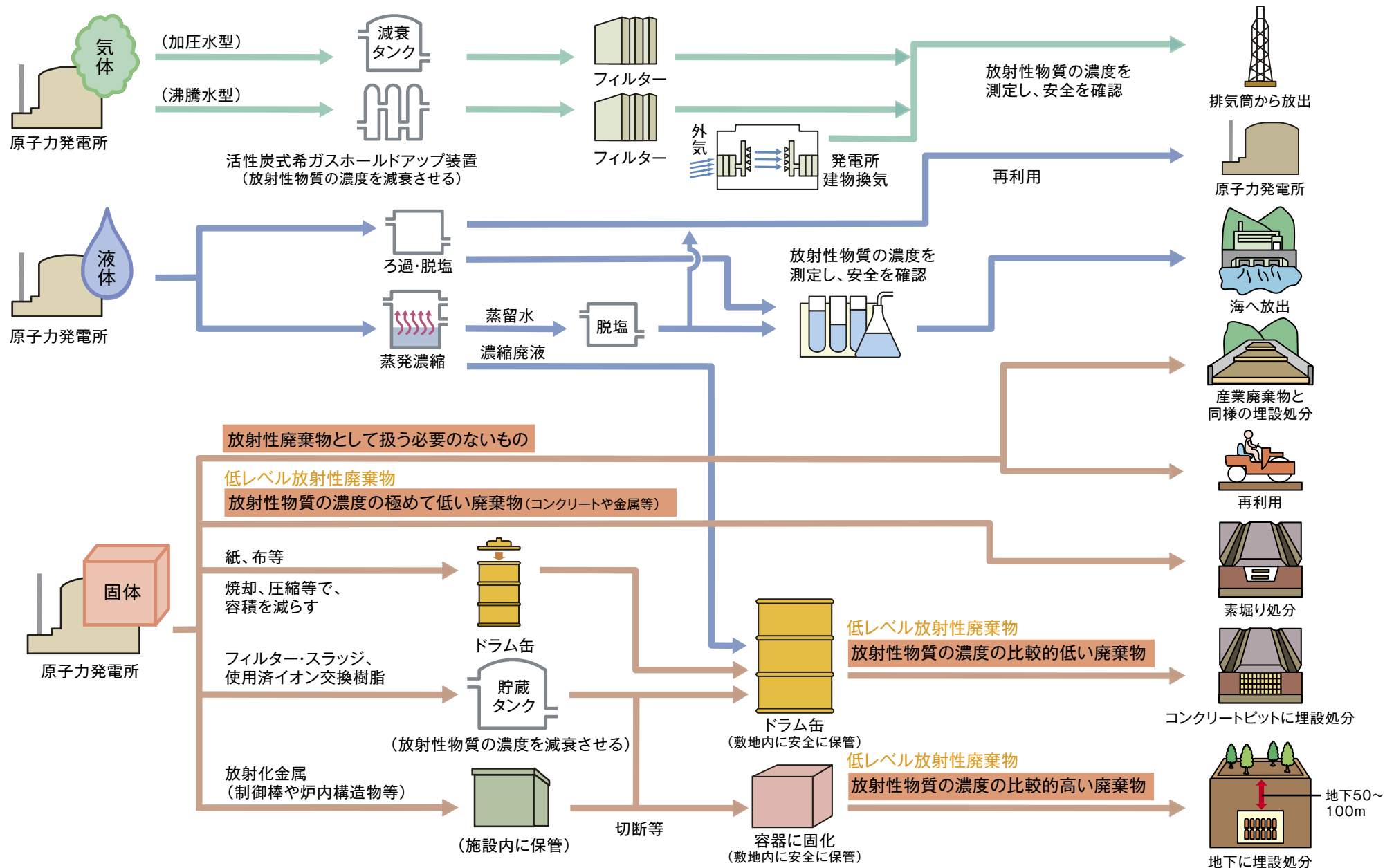
※3 一般廃棄物以外の爆発性、毒性、感染性、その他の人の健康または生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの

日本で発生する廃棄物の量

	発生廃棄物量 (t/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 及びオフィスから排出される紙くず等	124,274	平成22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	1,067,808	平成21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 発生する放射性の廃棄物	高レベル 1.4	平成12～18年度 実績より推定
		低レベル 51※	平成23年度実績

※福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所の一部のデータについては含まない

原子力発電所の廃棄物処理方法



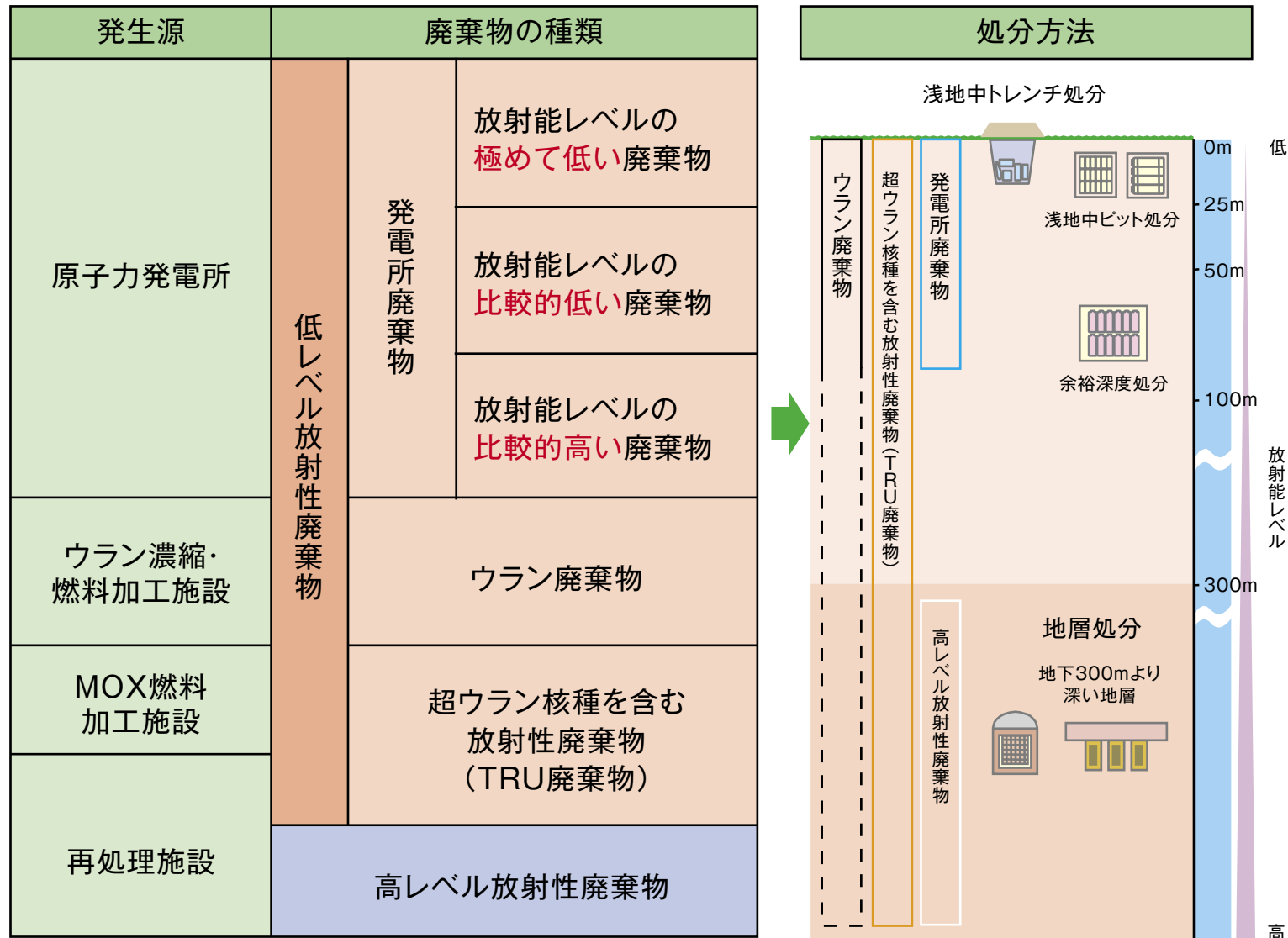
放射性廃棄物の種類

廃棄物の種類				廃棄物の例	発生場所	処分の方法(例)
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	低↑放射能レベル↓高	放射能レベルの極めて低い廃棄物	コンクリート、金属等	原子力発電所	浅地中トレンチ処分
			放射能レベルの比較的低い廃棄物	廃液、フィルター、廃器材、消耗品等を固形化		浅地中ピット処分
			放射能レベルの比較的高い廃棄物	制御棒、炉内構造物		余裕深度処分
	ウラン廃棄物			消耗品、スラッジ、廃器材	ウラン濃縮・燃料加工施設	余裕深度処分、浅地中ピット処分、浅地中トレンチ処分、場合によっては地層処分
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物(TRU廃棄物)			燃料棒の部品、廃液、フィルター	再処理施設、MOX燃料加工施設	地層処分、余裕深度処分、浅地中ピット処分
高レベル放射性廃棄物				ガラス固化体	再処理施設	地層処分

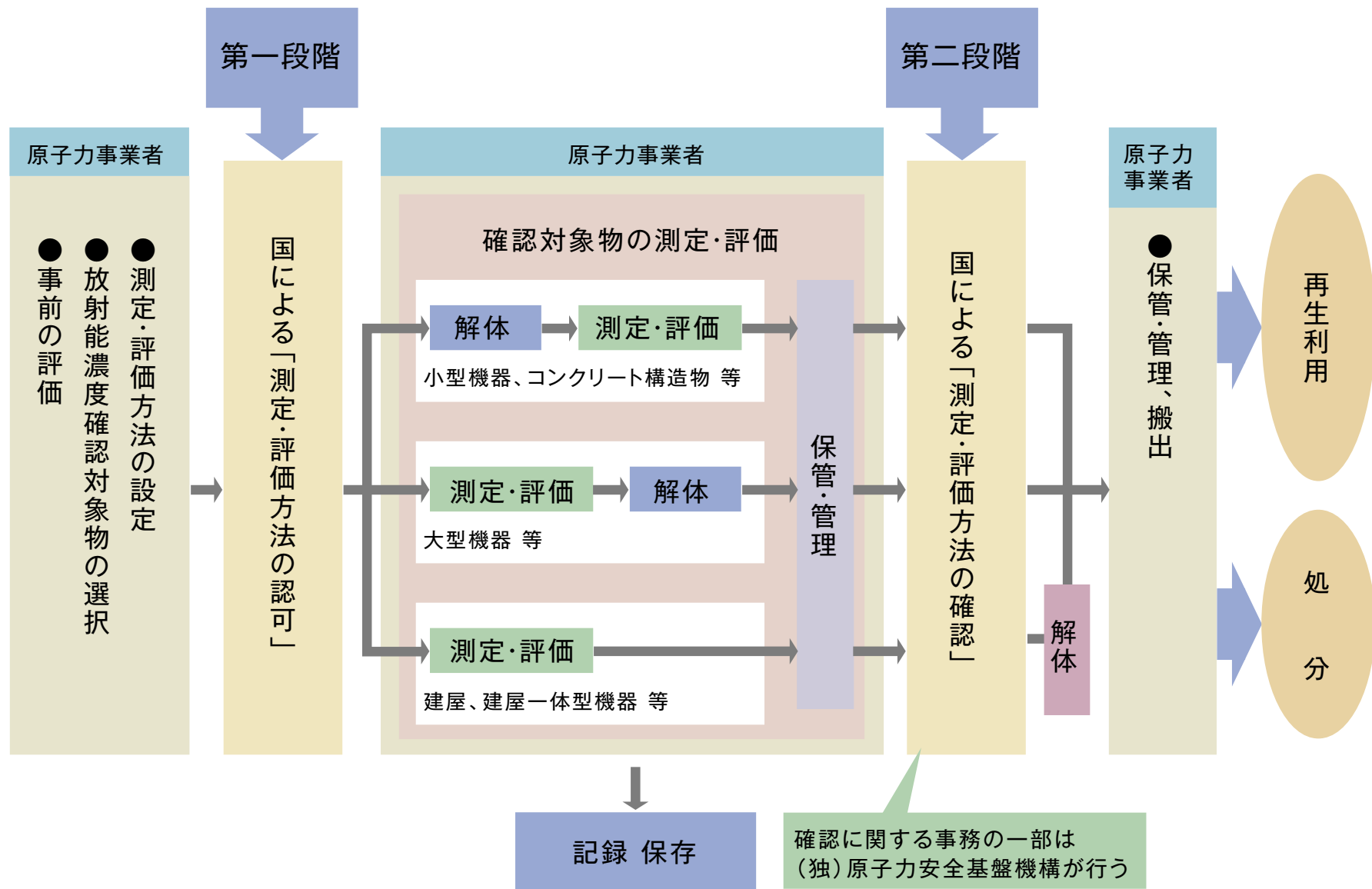
クリアランスレベル以下の廃棄物	原子力発電所解体廃棄物の大部分	上に示した全ての発生場所	再利用/一般の物品としての処分
-----------------	-----------------	--------------	-----------------

放射性廃棄物の種類と処分の概要

放射能レベルに応じた深度や障壁（バリア）を選び、浅地中処分、余裕深度処分、地層処分に分けて処分が行われる。

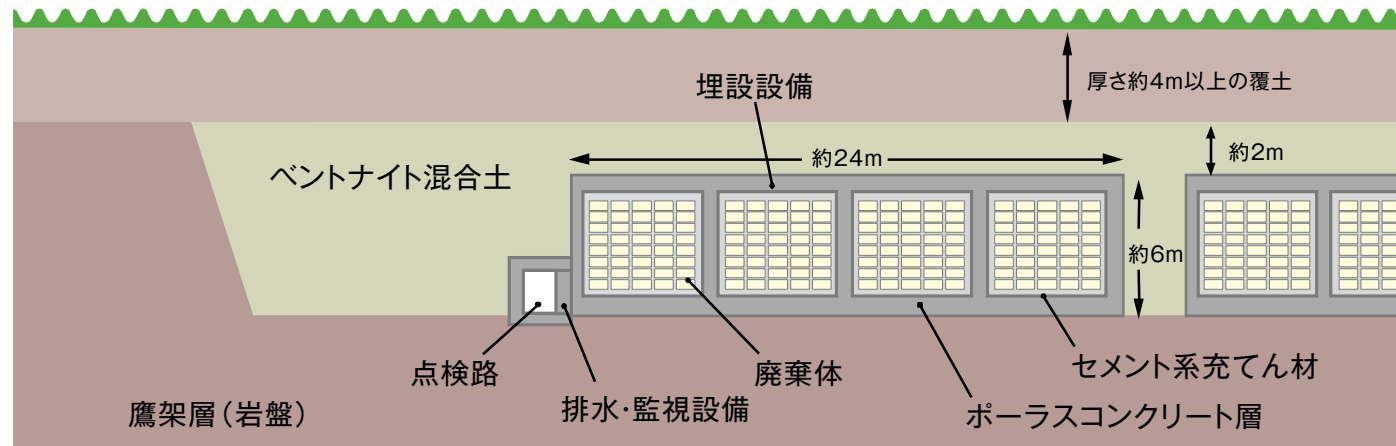


クリアランス制度

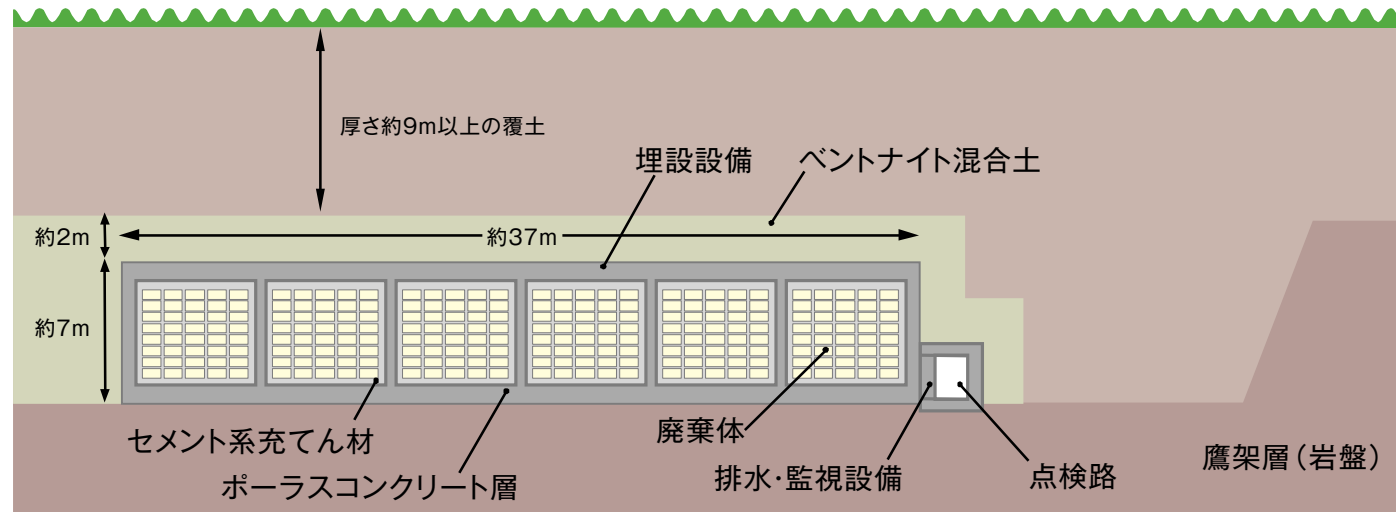


低レベル放射性廃棄物埋設設備の構造と覆土

1号埋設設備
埋設地断面図



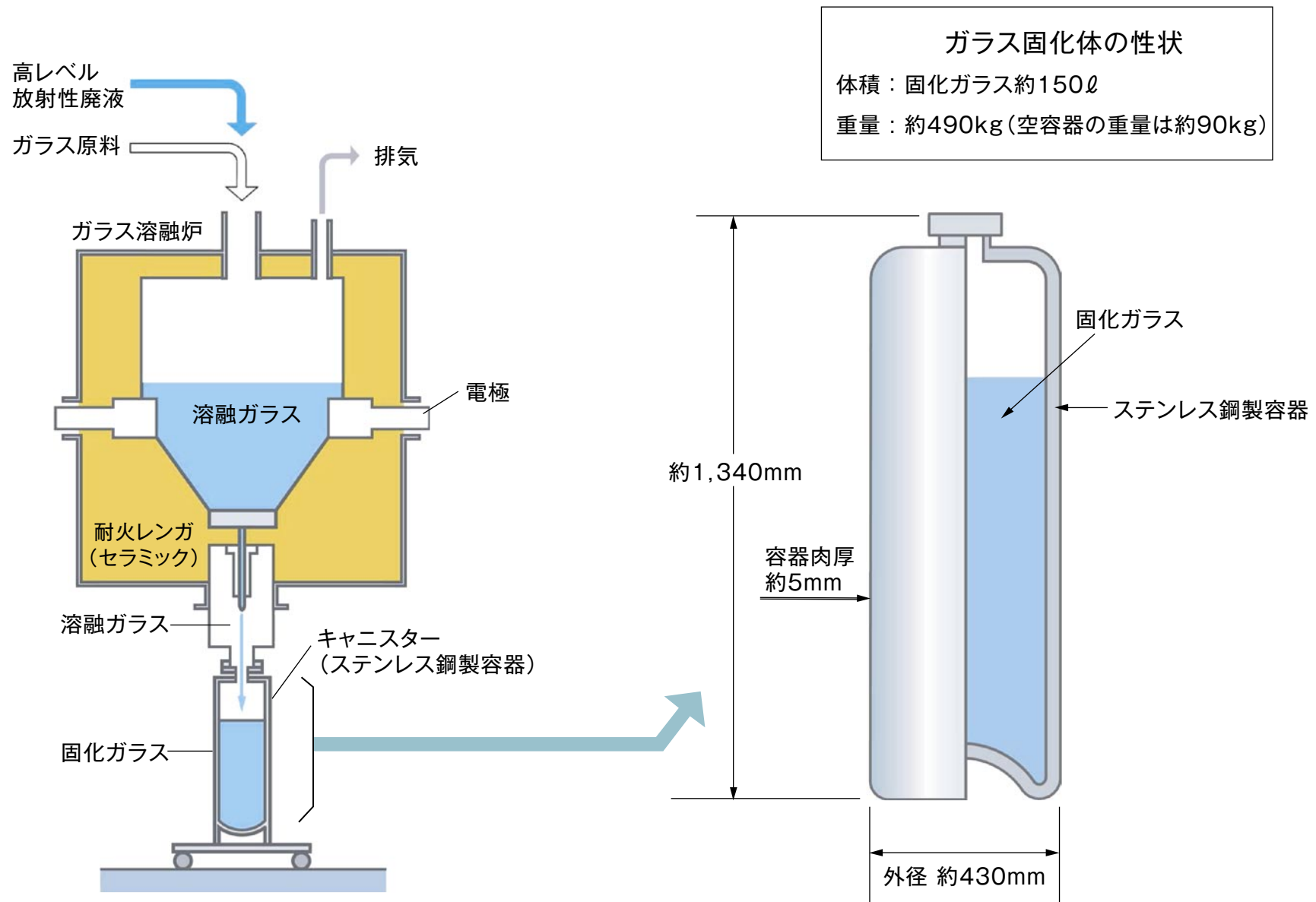
2号埋設設備
埋設地断面図



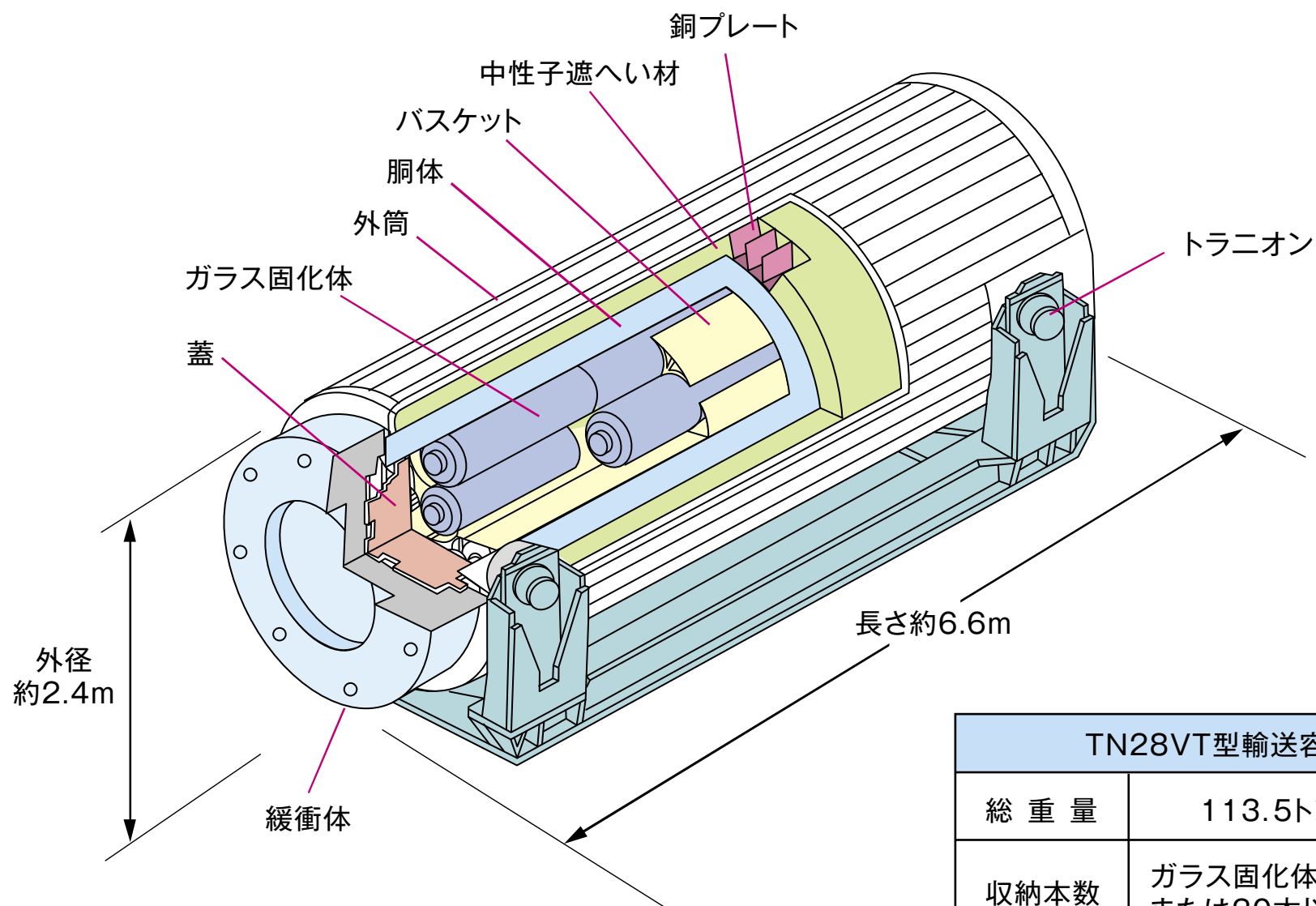
低レベル放射性廃棄物埋設後の段階管理

	第1段階	第2段階	第3段階
終了予定時期	埋設開始後 1号:30～35年 2号:25～30年	第1段階終了後 30年	第1段階終了後 300年
考え方	埋設設備により閉じ込め	埋設設備と周辺土壌等により 移行抑制	主に周辺土壌等により移行抑制
管理の内容	・埋設保全区域の設定、廃棄物埋設地の巡視、覆土の修復 ・環境モニタリング		
	・周辺監視区域の設定 ・地下水中の放射性物質濃度の監視 ・排水・監視設備により排水		・掘削等の制約
	・漏出のないことの監視 ・埋設設備の修復等	・漏出の状況の監視	

ガラス固化体ができるまで



高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）輸送容器

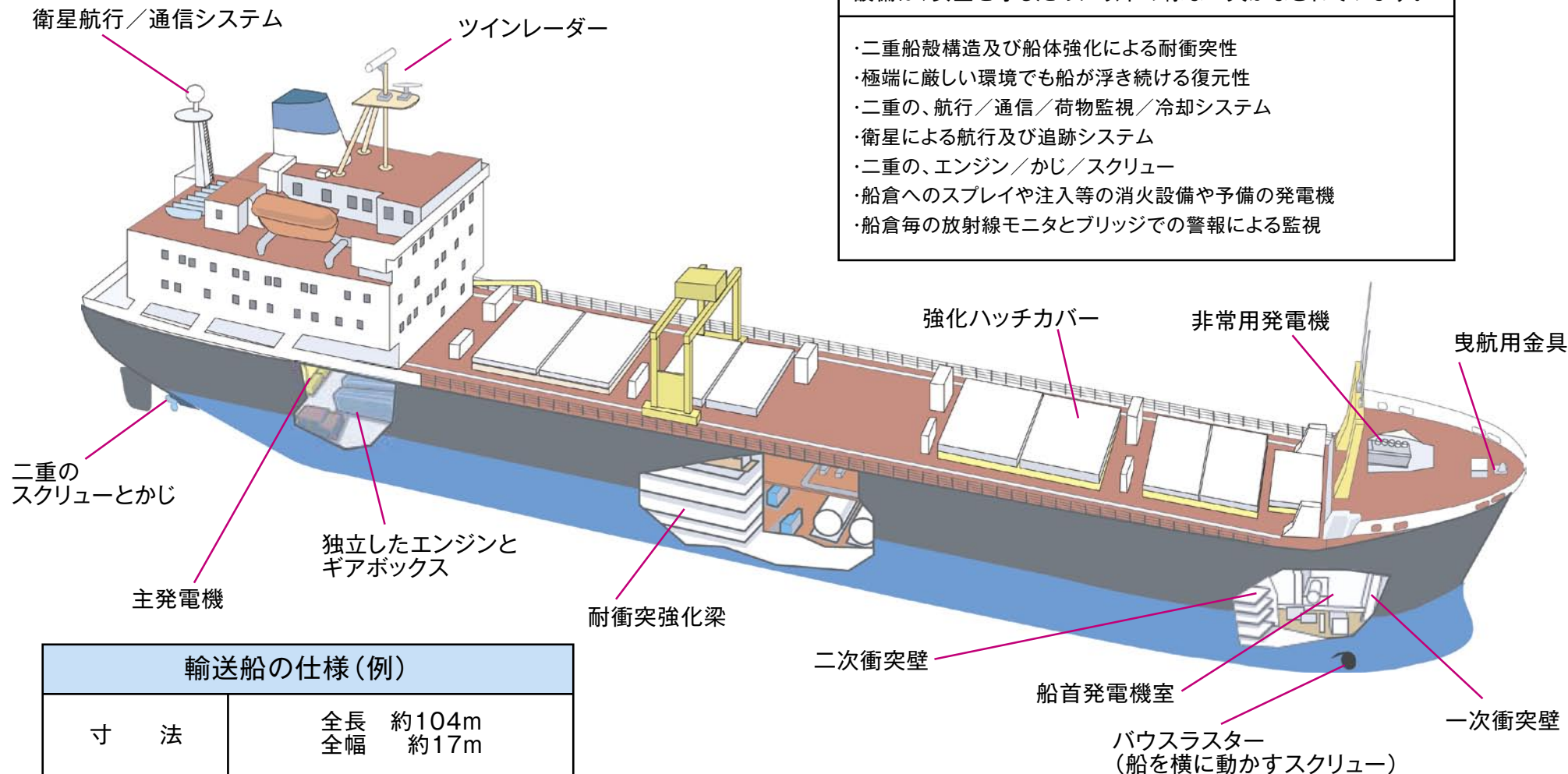


TN28VT型輸送容器	
総重量	113.5トン以下
収納本数	ガラス固化体28本以下 または20本以下

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）輸送船

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の輸送船の設計・施行・設備は、安全を守るために以下の様な工夫がなされています。

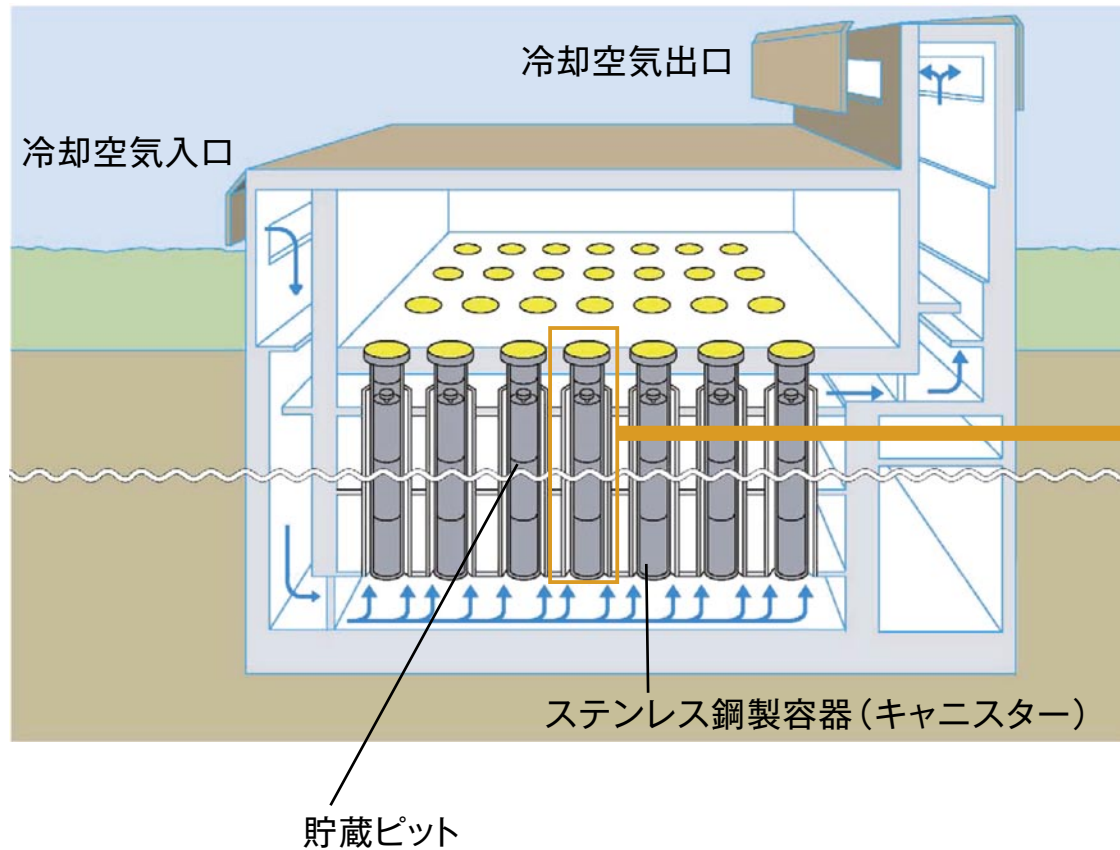
- ・二重船殻構造及び船体強化による耐衝突性
- ・極端に厳しい環境でも船が浮き続ける復元性
- ・二重の、航行／通信／荷物監視／冷却システム
- ・衛星による航行及び追跡システム
- ・二重の、エンジン／かじ／スクリュー
- ・船倉へのスプレイや注入等の消火設備や予備の発電機
- ・船倉毎の放射線モニタとブリッジでの警報による監視



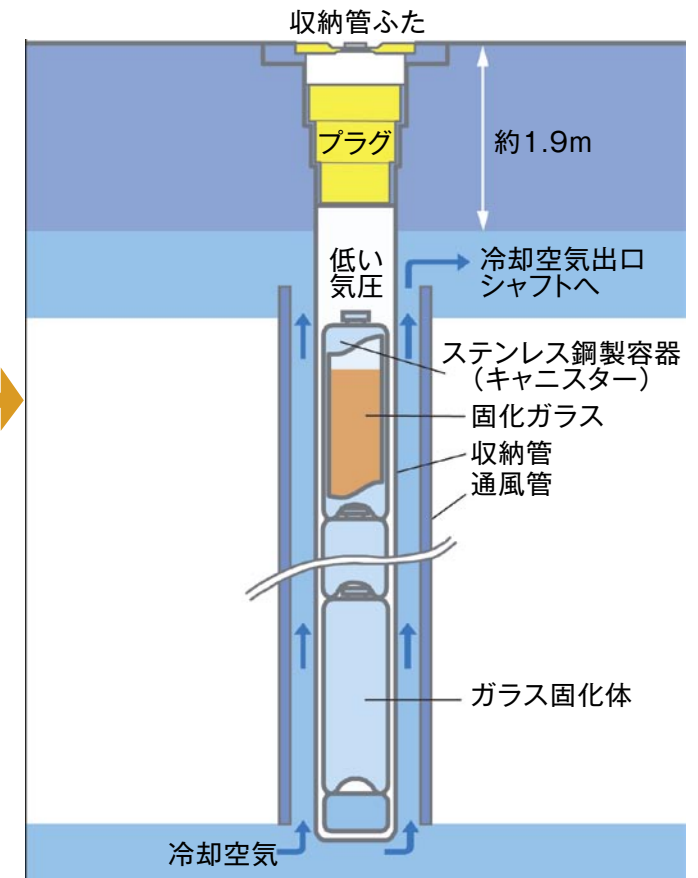
輸送船の仕様（例）

寸 法	全長 約104m 全幅 約17m
総トン数	約5,000トン
載貨重量	約3,500トン

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の貯蔵概念図



貯蔵ピット拡大図



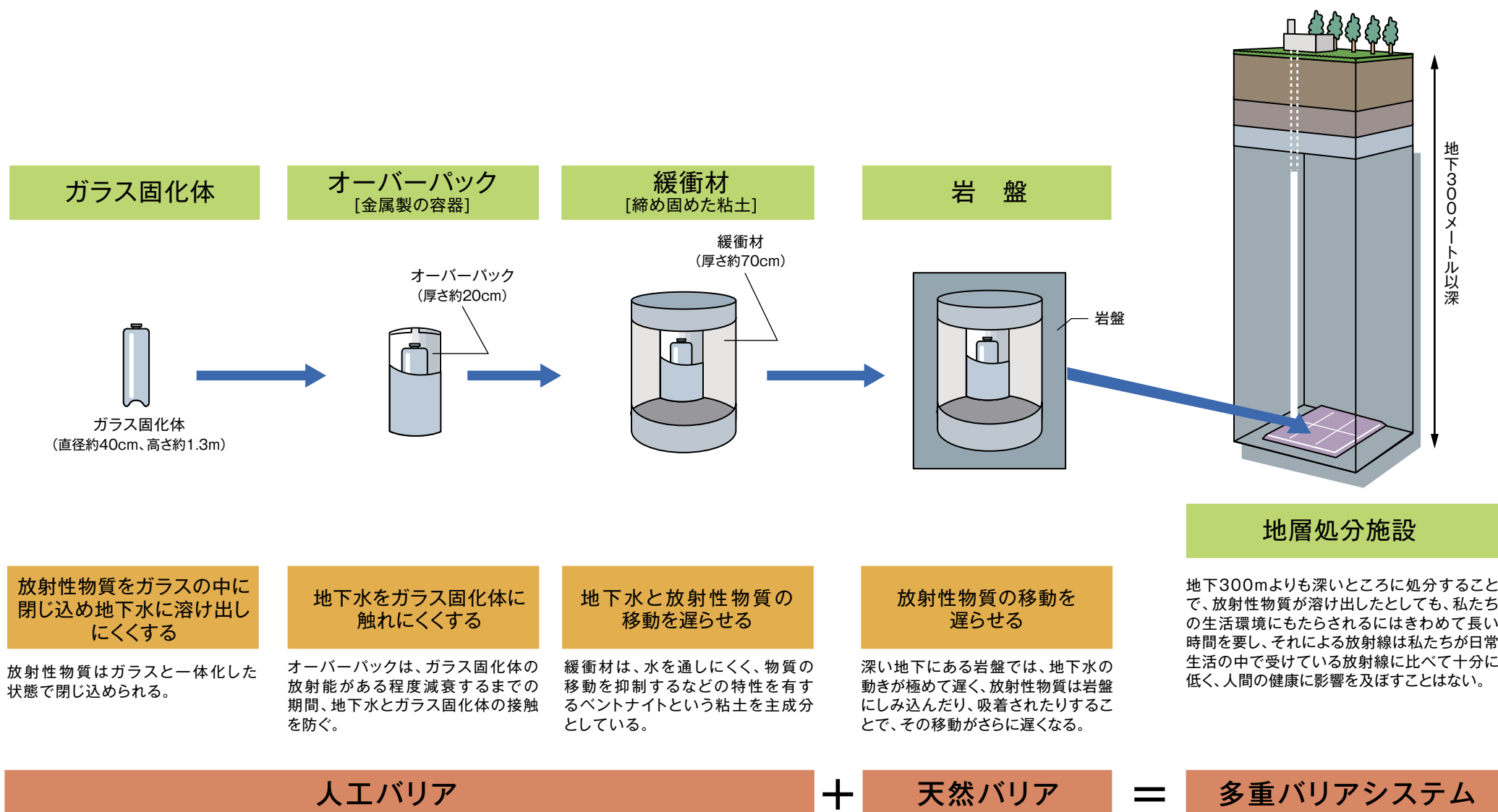
高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）返還・受入実績

（2012年9月現在）

返還輸送回数	輸送船名	輸送容器	ルート	返還ガラス固化体数	出発地	到着地	収納完了
第 1 回	パシフィック・ピンテール号	1基	南米/ホーン岬経由	28本	仏国・シェルブール港 1995年2月23日	むつ小川原港 1995年4月26日	1995年10月12日
第 2 回	パシフィック・ティール号	2基	喜望峰/南西太平洋 経由	40本	仏国・シェルブール港 1997年1月13日	むつ小川原港 1997年3月18日	1997年 7月29日
第 3 回	パシフィック・スワン号	3基	パナマ運河経由	60本	仏国・シェルブール港 1998年1月21日	むつ小川原港 1998年3月13日	1998年 9月15日
第 4 回	パシフィック・スワン号	2基	パナマ運河経由	40本	仏国・シェルブール港 1999年2月25日	むつ小川原港 1999年4月15日	1999年 7月26日
第 5 回	パシフィック・スワン号	4基	パナマ運河経由	104本	仏国・シェルブール港 1999年12月29日	むつ小川原港 2000年2月23日	2000年 8月21日
第 6 回	パシフィック・スワン号	8基	南米/ホーン岬経由	192本	仏国・シェルブール港 2000年12月19日	むつ小川原港 2001年2月20日	2002年 5月17日
第 7 回	パシフィック・サンドパイパー号	6基	パナマ運河経由	152本	仏国・シェルブール港 2001年12月5日	むつ小川原港 2002年1月22日	2003年 6月11日
第 8 回	パシフィック・スワン号	6基	パナマ運河経由	144本	仏国・シェルブール港 2003年6月4日	むつ小川原港 2003年7月23日	2004年 6月 2日
第 9 回	パシフィック・サンドパイパー号	5基	パナマ運河経由	132本	仏国・シェルブール港 2004年1月19日	むつ小川原港 2004年3月4日	2005年 7月20日
第10回	パシフィック・サンドパイパー号	5基	喜望峰/南西太平洋 経由	124本	仏国・シェルブール港 2005年2月17日	むつ小川原港 2005年4月20日	2006年 4月26日
第11回	パシフィック・サンドパイパー号	7基	パナマ運河経由	164本	仏国・シェルブール港 2006年2月1日	むつ小川原港 2006年3月23日	2007年 4月10日
第12回	パシフィック・サンドパイパー号	6基	パナマ運河経由	130本	仏国・シェルブール港 2007年2月8日	むつ小川原港 2007年3月27日	2007年 8月31日
第13回	パシフィック・サンドパイパー号	1基	パナマ運河経由	28本	英国・バロー港 2010年1月21日	むつ小川原港 2010年3月9日	2010年 6月 4日
第14回	パシフィック・グリーブ号	3基	パナマ運河経由	76本	英国・バロー港 2011年8月3日	むつ小川原港 2011年9月15日	2012年 8月31日

受入累計1,414本

高レベル放射性廃棄物多重バリアシステム



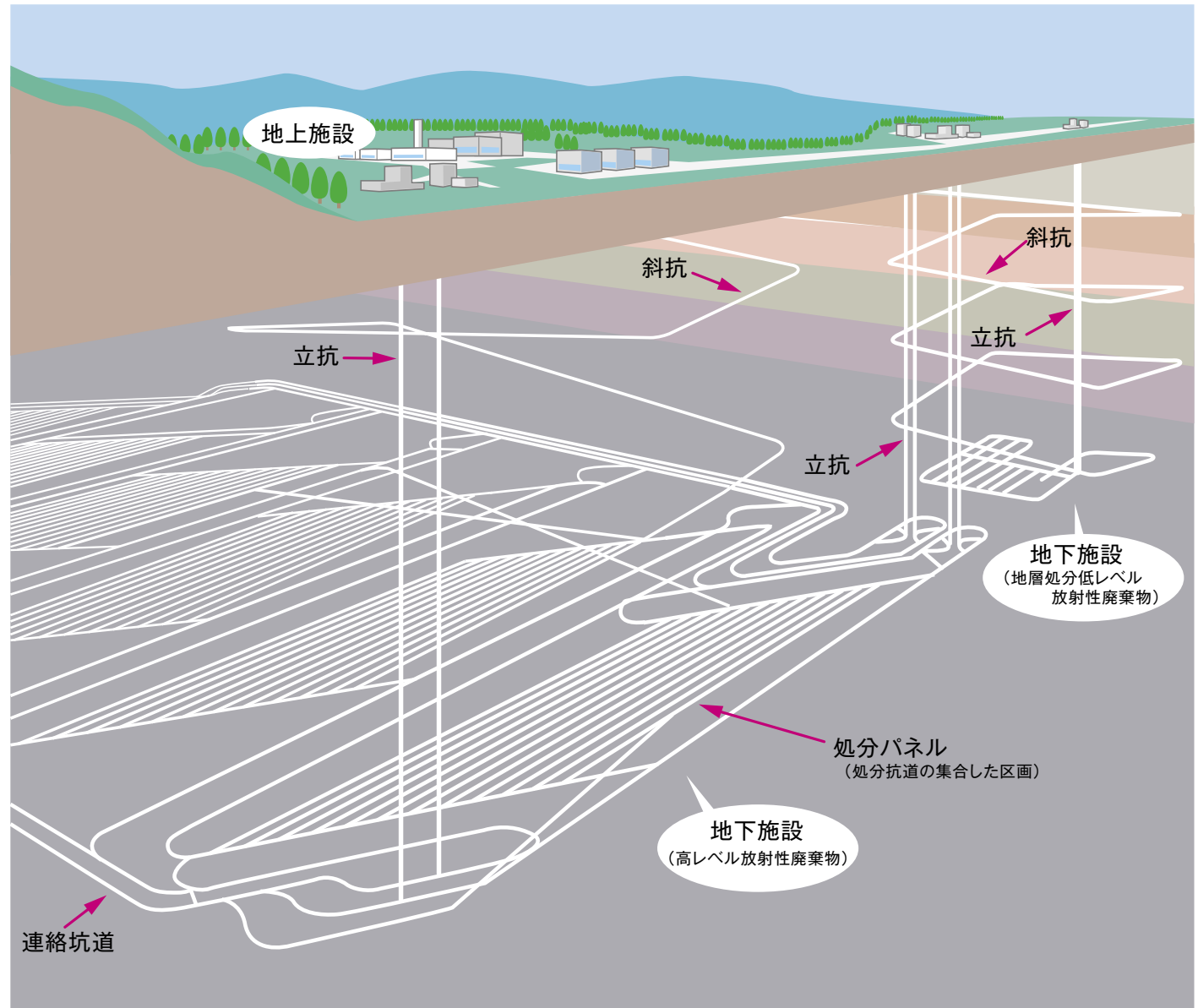
高レベル放射性廃棄物の地層処分の概念図

地層処分施設のレイアウト例

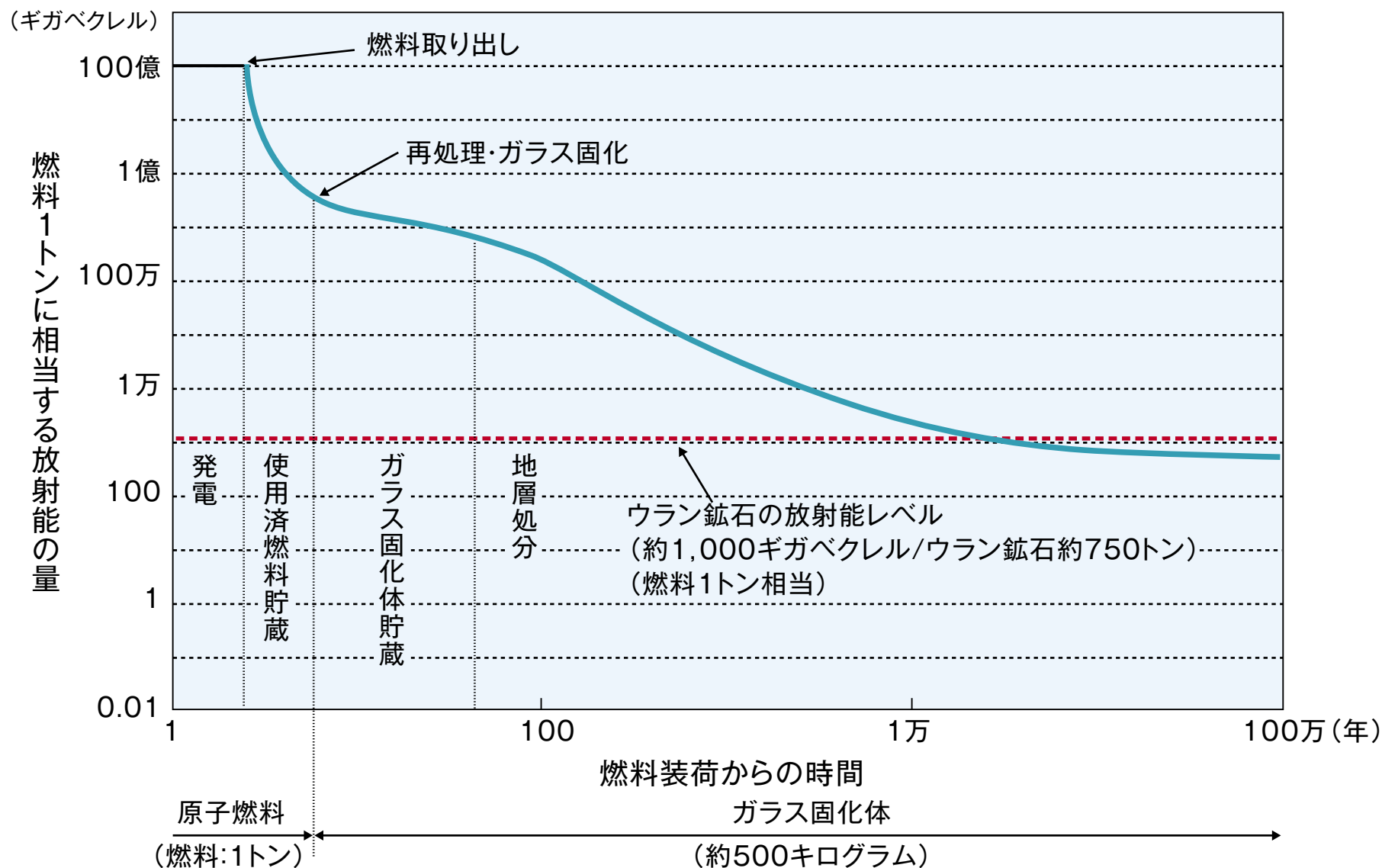
高レベル放射性廃棄物と地層処分低レベル放射性廃棄物の地層処分施設を併置した例

仕様の一例（結晶質岩、深度1,000mの場合）

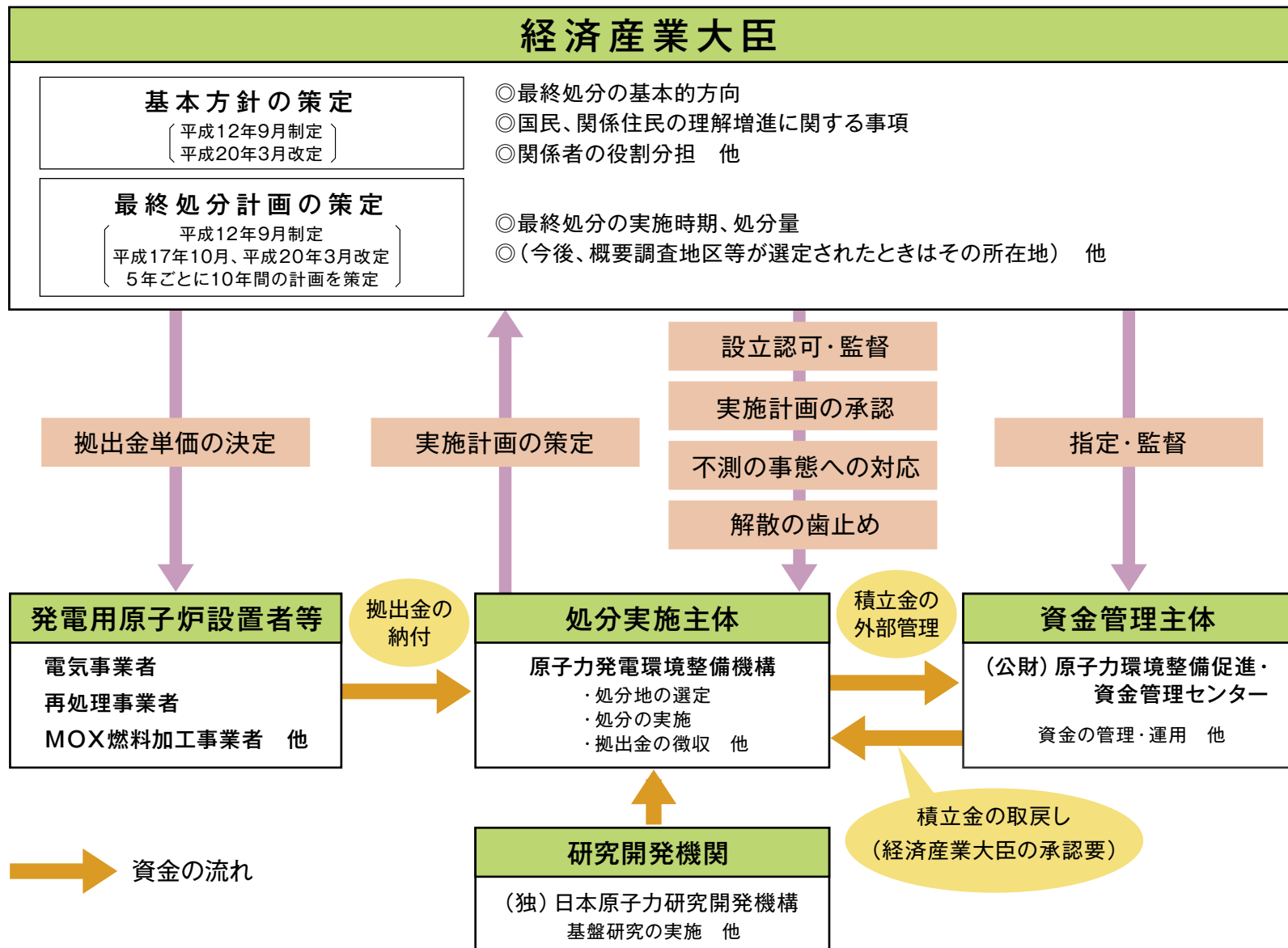
地上施設	敷地面積1～2km ²
高レベル放射性廃棄物の地下施設	大きさ(平面) 約3km×約2km
地層処分低レベル放射性廃棄物の地下施設	大きさ(平面) 約0.5km×約0.3km



高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰

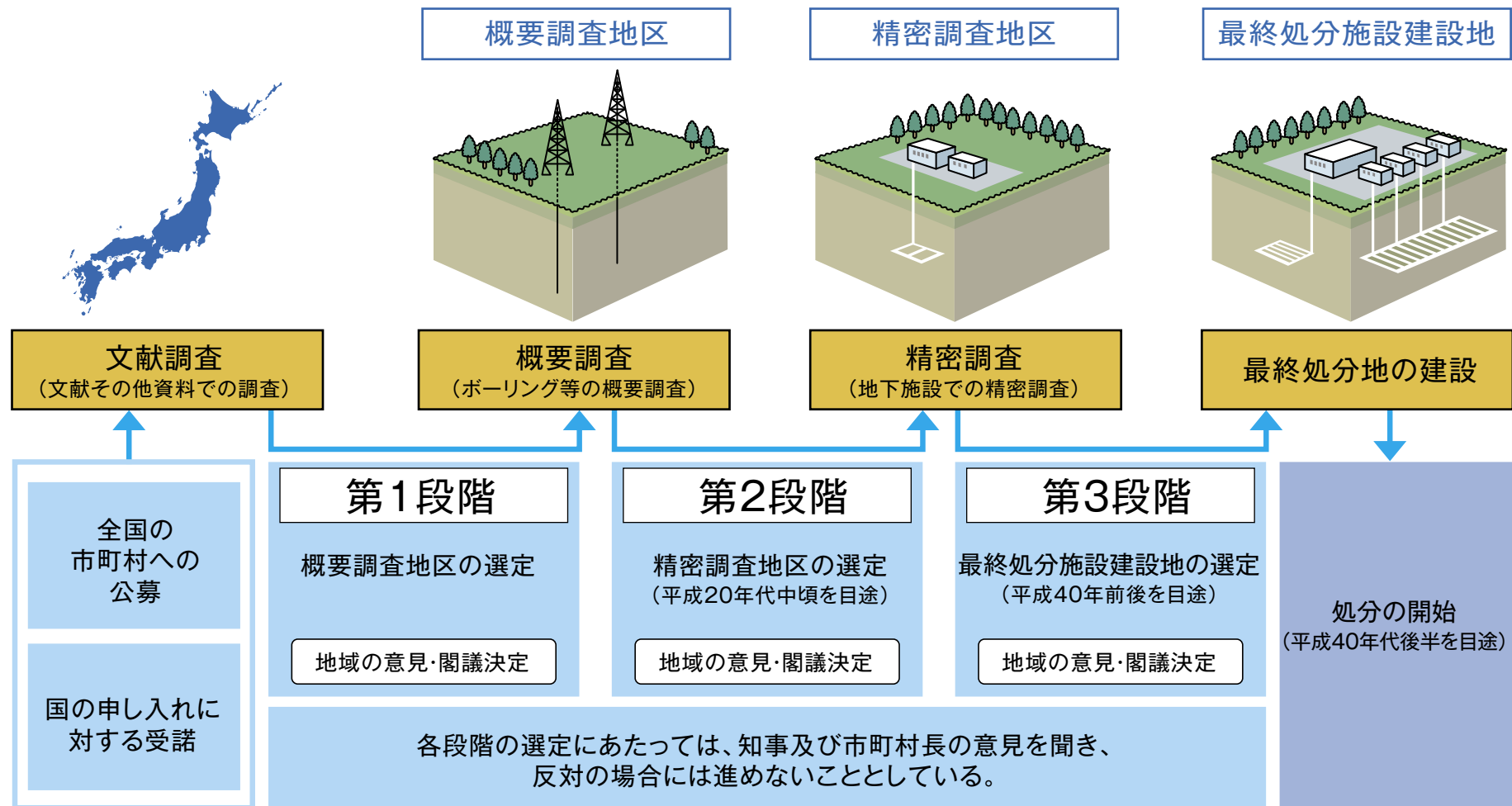


高レベル放射性廃棄物の処理・処分の取組み体制



（注）最終処分法では、原子力発電により生ずる高レベル放射性廃棄物を固化したものを「特定放射性廃棄物」、地層処分については「最終処分」としている

高レベル放射性廃棄物処分地の選定プロセス

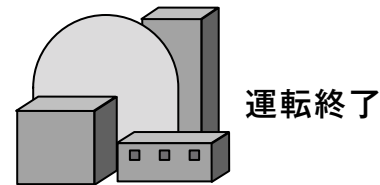


世界の高レベル放射性廃棄物処分計画

国 名	実施主体	対象廃棄物	処分量	処分場の候補サイトおよび岩種	処分深度	操業開始 予定時期
フ ラ ン ス	放射性廃棄物管理機関 (ANDRA)	高レベル・ガラス固化体	6,690m ³ (全量再処理の場合)	ビュール地下研究所の近傍 岩種:粘土層	約500m	2025年
日 本	原子力発電環境整備機構 (NUMO)	高レベル・ガラス固化体	ガラス固化体 40,000本以上	サイトは未定 岩種:未定	300m以上	2030年代後半
ベ ル ギ ー	ベルギー放射性廃棄物・ 濃縮核分裂性物質管理機関 (ONDRAF/NIRAS)	高レベル・ガラス固化体と 使用済燃料	4,934t (重金属換算)	サイトは未定 岩種:粘土層	未定	未定
ス イ ス	放射性廃棄物管理共同組合 (NAGRA)	高レベル・ガラス固化体と 使用済燃料	7,325m ³	3カ所*の候補サイト区域を連邦 政府が承認 岩種:オパリナス粘土	約400m～ 900m	2050年頃
ア メ リ カ	連邦エネルギー省 (DOE)	使用済燃料 (商業用が主) 高レベル・ガラス固化体 (国防用が主)	70,000t (重金属換算)	ネバダ州ユッカマウンテン (中止の方針) 岩種:凝灰岩	200m～ 500m	2020年
ド イ ツ	連邦放射線防衛庁 (BfS)	高レベル・ガラス固化体と 使用済燃料	29,030m ³ (2020年までに全ての 原子炉を閉鎖する場合)	ニーダーザクセン州ゴアレーベン (サイト選定方法を再検討中) 岩種:岩塩ドーム	840m～ 1,200m	2035年
フィンランド	ポシヴァ社	使用済燃料	5,500t (ウラン換算)	ユーラヨキ自治体オルキルオト 岩種:結晶質岩	約400m	2020年頃
スウェーデン	スウェーデン核燃料・ 廃棄物管理会社 (SKB)	使用済燃料	12,000t (ウラン換算)	エストハンマル自治体フォルスマルク (建設許可申請書を提出) 岩種:結晶質岩	約500m	2025年頃

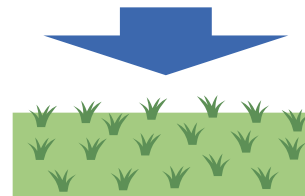
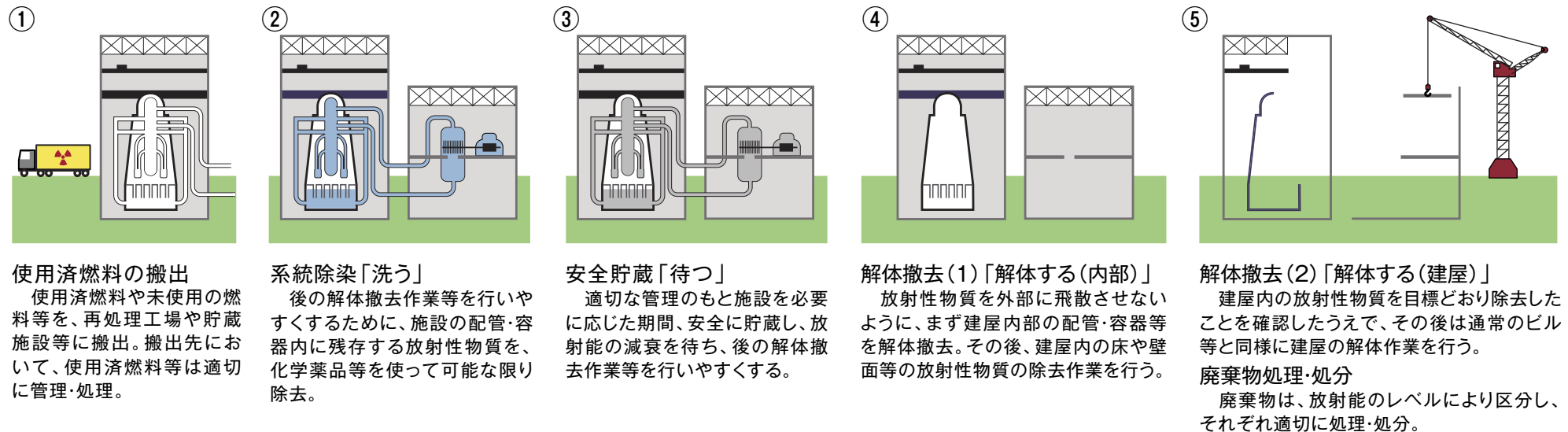
※ジュラ東部(アールガウ州)、北部レゲレン(チューリッヒ州・アールガウ州)、チューリッヒ北東部(チューリッヒ州・トウルザラ州)

原子力発電所の廃止措置プロセス



運転終了

●廃止措置の標準工程^(注):沸騰水型原子炉(BWR)



跡地利用

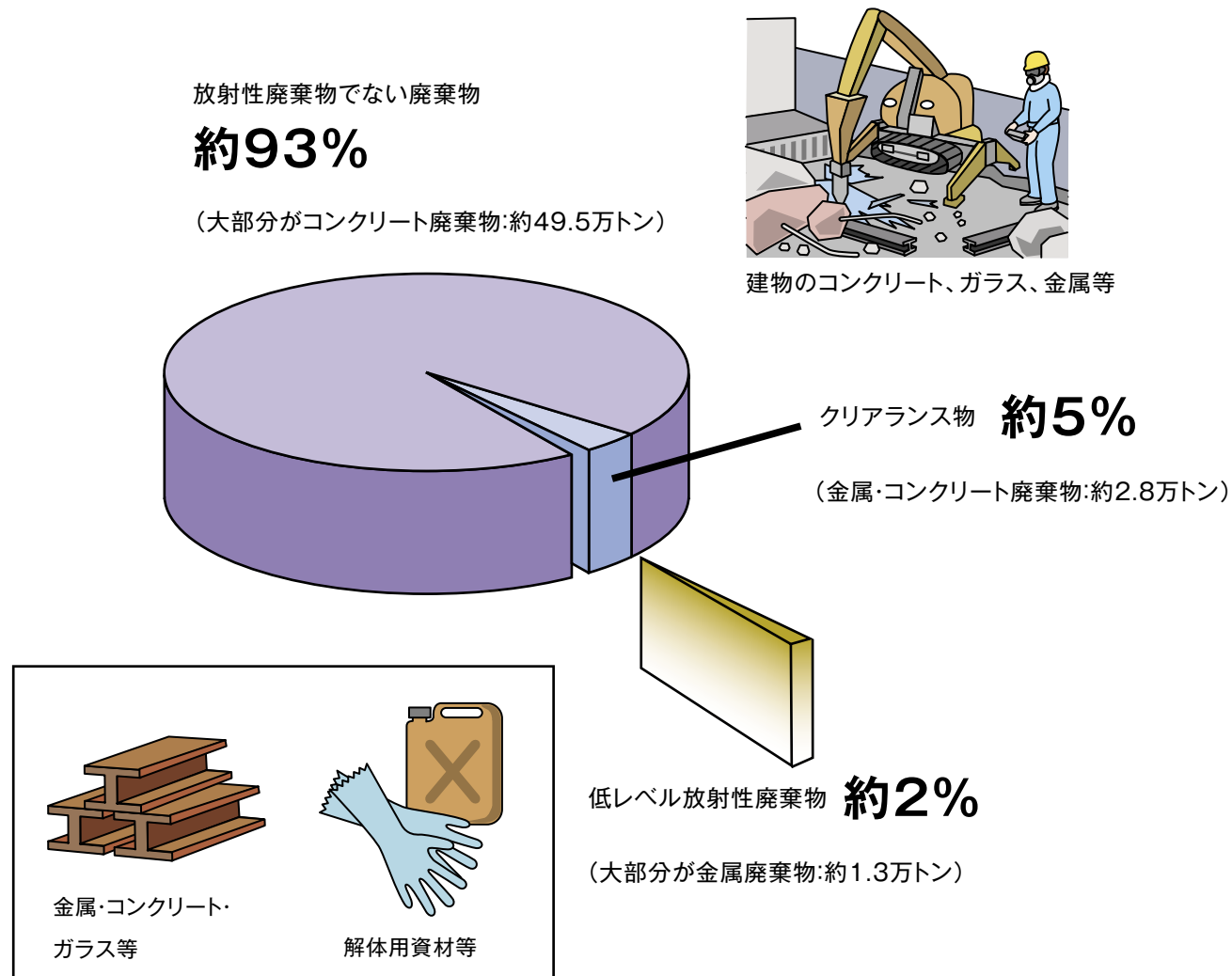
跡地は、法的な手続きを経て、安全性が確認できれば、さまざまな用途に活用できる。

また現在一つの案として、地域社会との協調を取りながら、引き続き原子力発電用地として有効に利用することも考えられている。

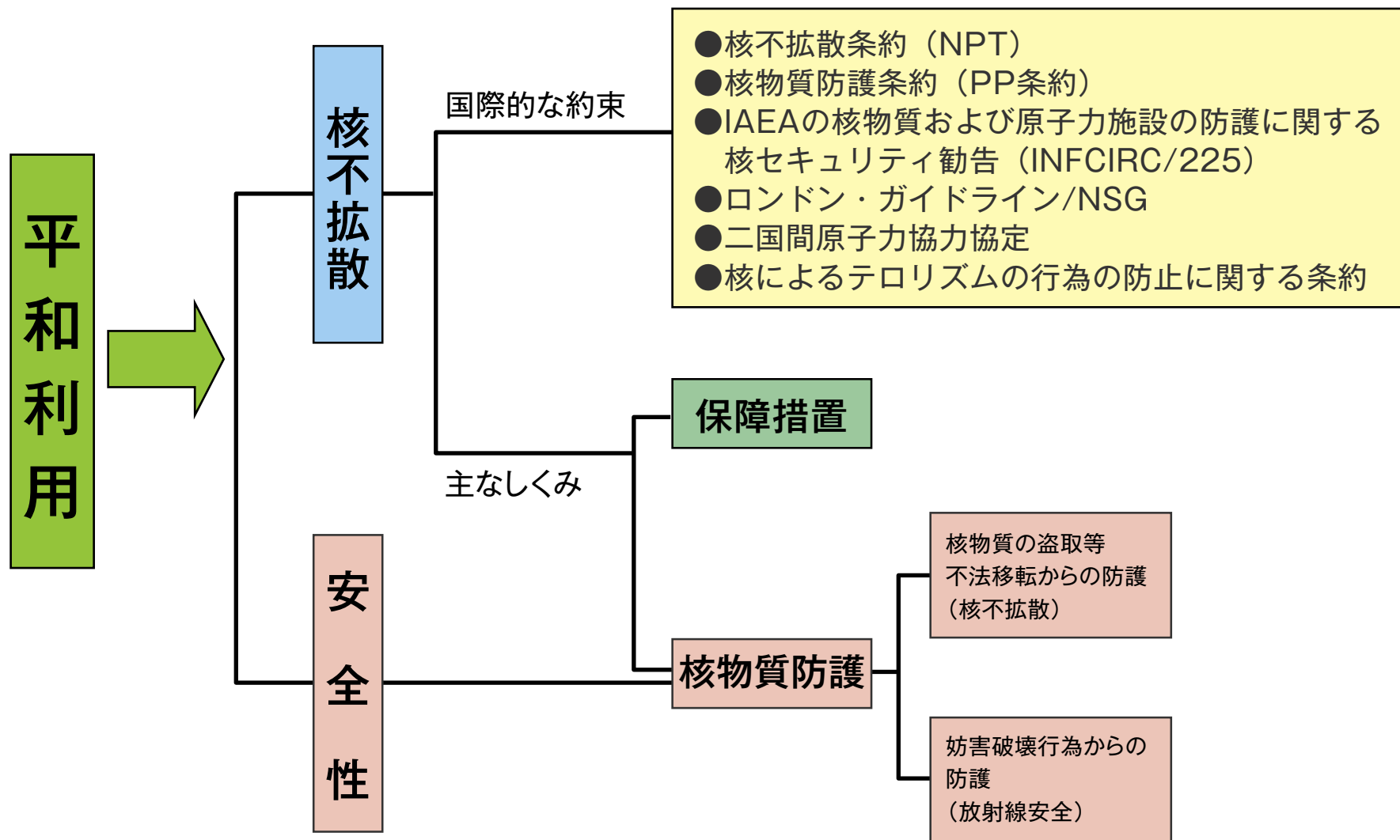
(注) 具体的な方法については、状況に応じて事業者が決定し、原子力規制委員会が安全性を確認

廃止措置に伴って発生する廃棄物の量と種類

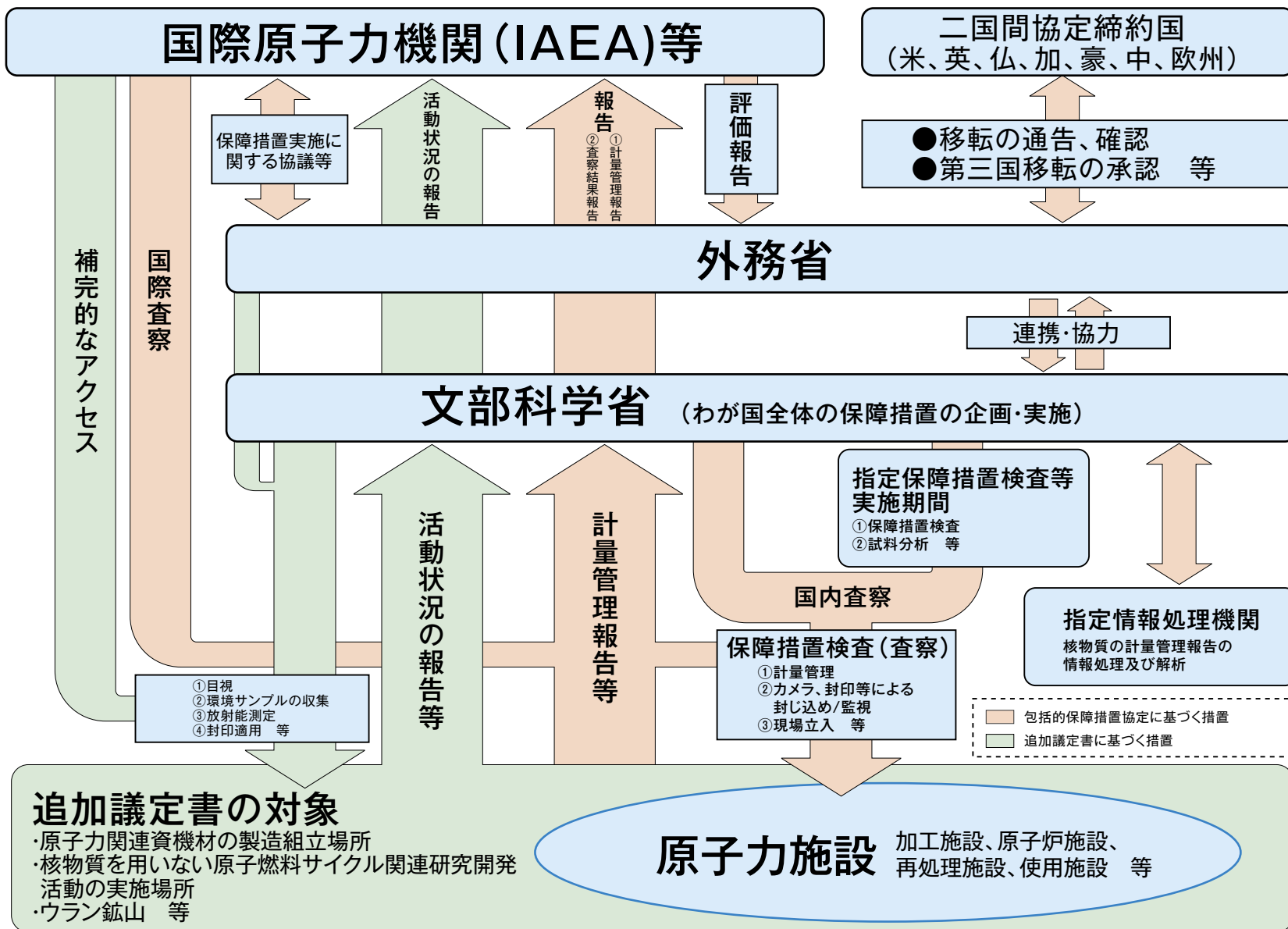
110万kW級の沸騰水型原子炉(BWR)の場合、発生する廃棄物の総量は約53.6万トン



原子力の平和利用と核物質防護



日本における保障措置実施体制



NPT締約国とIAEA保障措置協定締結国

NPT 締約国 (190 か国)

(2010年5月13日現在)

包括的保障措置協定締結国 (166 か国)

(2012年2月20日現在)

東アジア (4)

★ **韓国**
北朝鮮
★ **日本**
★ **モンゴル**

東南アジア (10)

★ **インドネシア**
★ **カンボジア**
★ **シンガポール**
★ **タイ**
★ **フィリピン**
★ **ブルネイ**
★ **ベトナム**
★ **マレーシア**
★ **ミャンマー**
★ **ラオス**

オセアニア (12)

★ **オーストラリア**
キリバス
サモア
ソロモン
ツバル
★ **トンガ**
★ **ナウル**
★ **ニュージーランド**
★ **バブアニューギニア**
★ **パラオ**
★ **マーシャル諸島**
★ **フィジー**

中東・南アジア (18)

★ **アフガニスタン**
★ **アラブ首長国連邦**
★ **イエメン**
★ **イラク**
★ **イラン**
★ **オマーン**
★ **カタール**
★ **クウェート**
★ **サウジアラビア**
★ **シリア**
★ **スリランカ**
★ **ネパール**
★ **バーレーン**
★ **バングラデシュ**
★ **ブータン**
★ **モルジブ**
★ **ヨルダン**
★ **レバノン**

東ヨーロッパ (26)

★ **アゼルバイジャン**
★ **アルバニア**
★ **アルメニア**
★ **ウクライナ**
★ **ウズベキスタン**
★ **エストニア**
★ **カザフスタン**
★ **キルギスタン**
★ **グルジア**
★ **クロアチア**
★ **スロバキア**
★ **スロベニア**
★ **セルビア**
★ **タジキスタン**
★ **チェコ**
★ **トルクメニスタン**
★ **ハンガリー**
★ **ブルガリア**
★ **ベラルーシ**

★ **ポーランド**
★ **ボスニア・ヘルツェゴビナ**
★ **マケドニア**
★ **モルドバ**
★ **ラトビア**
★ **リトアニア**
★ **ルーマニア**

西ヨーロッパ (23)

★ **アイスランド**
★ **アイルランド**
★ **イタリア**
★ **オーストリア**
★ **オランダ**
★ **ギリシャ**
★ **キプロス**
★ **サンマリノ**
★ **スイス**
★ **スウェーデン**
★ **スペイン**
★ **デンマーク**
★ **ドイツ**
★ **トルコ**
★ **ノルウェー**
★ **バチカン**
★ **フィンランド**
★ **ベルギー**
★ **ポルトガル**
★ **マルタ**
★ **モナコ**
★ **リヒテンシュタイン**
★ **ルクセンブルグ**

アフリカ (39)

★ **アルジェリア**
★ **アンゴラ**
★ **ウガンダ**
★ **エジプト**
★ **エチオピア**
★ **ガーナ**
★ **カメルーン**
★ **ガボン**
★ **ガンビア**
★ **ケニア**
★ **コートジボワール**
★ **コモロ**
★ **コンゴ民主共和国**
★ **ザンビア**
★ **シエラレオネ**
★ **ジンバブエ**
★ **スーダン**
★ **スワジランド**
★ **セイシェル**
★ **セネガル**
★ **タンザニア**
★ **チャド**
★ **中央アフリカ**
★ **チュニジア**
★ **ナイジェリア**
★ **ナミビア**
★ **ニジェール**
★ **ブルキナファソ**
★ **ブルンジ**
★ **ボツワナ**
★ **マダガスカル**
★ **マラウイ**
★ **マリ**
★ **南アフリカ**
★ **モーリシャス**
★ **モーリタニア**
★ **モロッコ**
★ **リビア**
★ **レソト**

北・南アメリカ (34)

★ **アルゼンチン** ◆
★ **アンティグア・バーブーダ** ◆
★ **ウルグアイ** ◆
★ **エクアドル** ◆
★ **エルサルバドル** ◆
★ **ガイアナ** ◆
★ **カナダ**
★ **グアテマラ** ◆
★ **グレナダ** ◆
★ **キューバ** ◆
★ **コスタリカ** ◆
★ **コロンビア** ◆
★ **ジャマイカ** ◆
★ **スリナム** ◆
★ **セントクリストファー・ネイビス** ◆
★ **セントビンセント・グレナディーンズ** ◆
★ **セントルシア** ◆
★ **チリ** ◆
★ **ドミニカ** ◆
★ **ドミニカ共和国** ◆
★ **トリニダード・トバゴ** ◆
★ **ニカラグア** ◆
★ **ハイチ** ◆
★ **パナマ** ◆
★ **バハマ** ◆
★ **パラグアイ** ◆
★ **バルバドス** ◆
★ **ブラジル** ◆
★ **ベネズエラ** ◆
★ **ペリウ** ◆
★ **ペルー** ◆
★ **ボリビア** ◆
★ **ホンジュラス** ◆
★ **メキシコ** ◆

オセアニア (2)

★ **バヌアツ**
★ **ミクロネシア**

東南アジア (1)

★ **東チモール**

東ヨーロッパ (1)

★ **モンテネグロ**

西ヨーロッパ (1)

★ **アンドラ**

アフリカ (14)

★ **エリトリア**
★ **カーボベルデ**
★ **ギニア**
★ **ギニアビサウ**
★ **コンゴ共和国**
★ **サントメプリンシペ**
★ **ジブチ**
★ **赤道ギニア**

ボランタリー保障措置協定 締結国 (核兵器国)

★ **米国**
★ **イギリス**
★ **フランス**
★ **ロシア**
★ **中国**

★:IAEA加盟国
(2012年2月現在153か国)

◆:トラテロルコ条約締結国
(2009年2月現在33か国)

■:追加議定書締結国
(2012年2月現在115か国)

IAEA理事国
35か国 (2011~12年)

(注:IAEAは台湾と保障措置協定を
締結し、保障措置を適用しているが、
IAEAと台湾の関係は非政府関係。)

その他の保障措置協定 締結国

★ **イスラエル**
★ **インド**
★ **パキスタン**

電源三法制度

①電源開発促進税法

税率(kWh)

2003年9月まで 44.5銭

2003年10月～2005年3月 42.5銭

2005年4月～2007年3月 40.0銭

2007年3月から 37.5銭

①～③を合わせて電源三法という

(電力消費者)

電力会社

金額は2011年度予算※

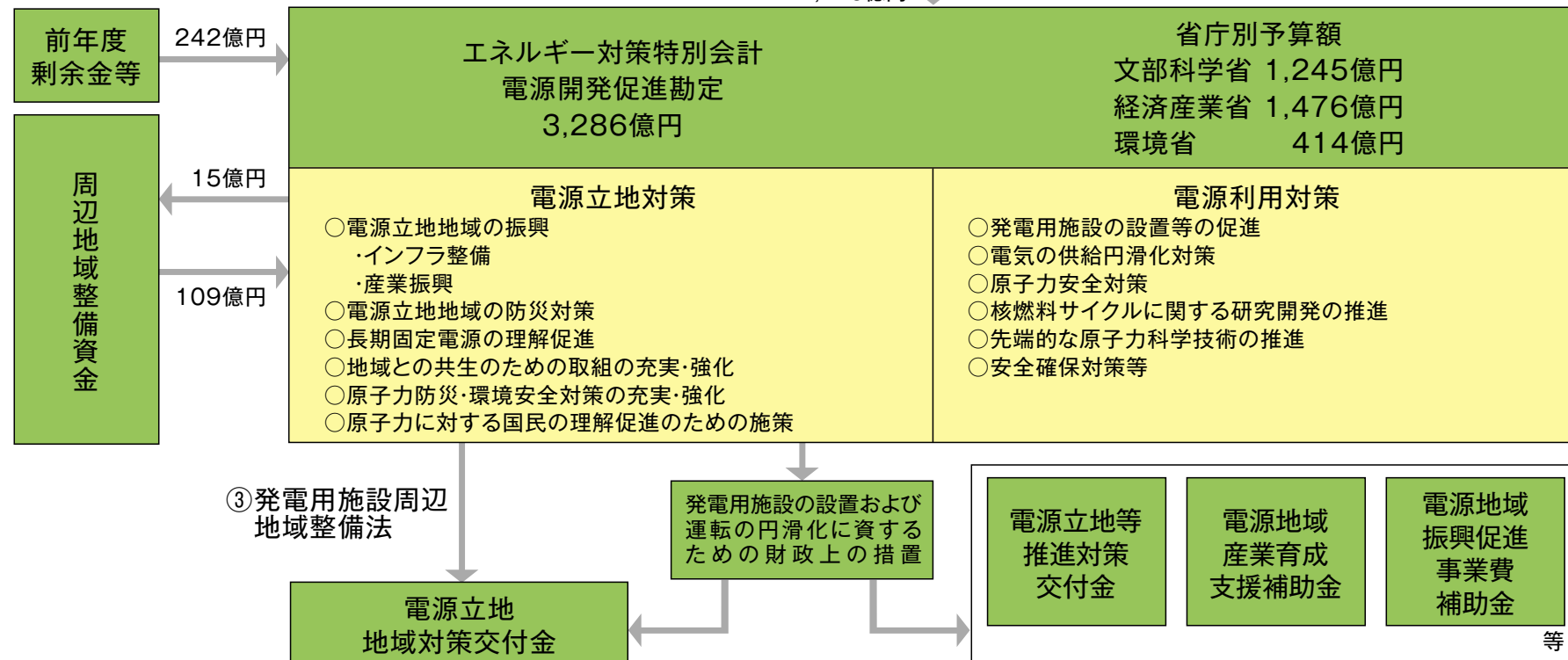
(電源開発促進税)

2,970億円

一般会計

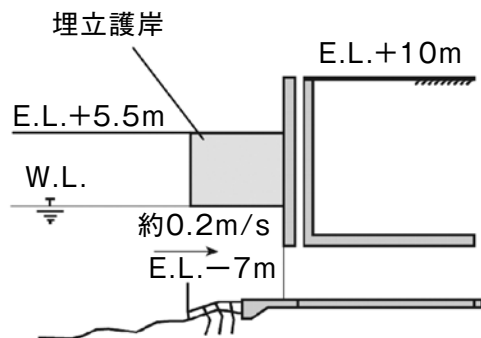
2,770億円

②特別会計に関する法律

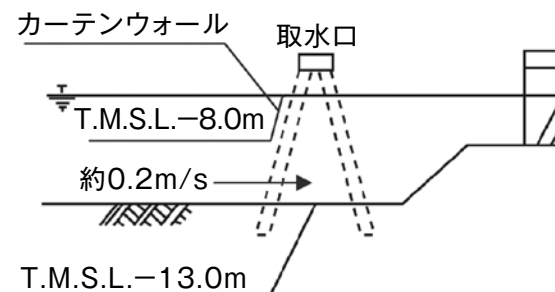


※エネルギー対策特別会計は従来の電源開発促進対策特別会計と石油及びエネルギー需給構造高度化対策特別会計を2007年度に統合
うち電源開発促進勘定で電源開発促進対策特別会計の業務を承継
2007年度から電源開発促進税の収入は一般会計歳入に繰り入れ、毎年必要額を一般会計からエネルギー対策特別会計に繰り入れる
この他、原子力損害賠償支援勘定として約5兆円が決定されている

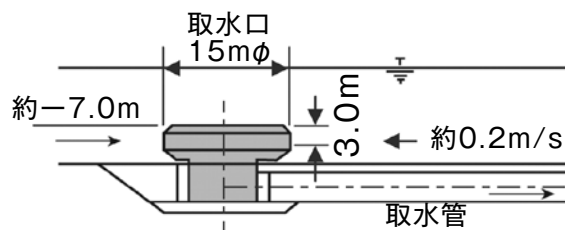
取水方式の概要



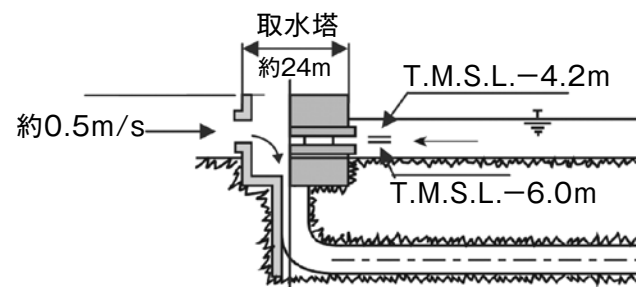
表層取水方式（泊発電所1, 2号機）



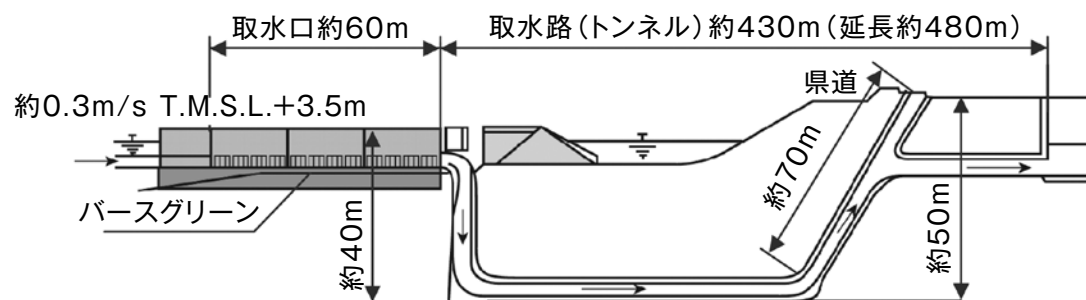
カーテンウォール方式深層取水方式
（柏崎刈羽発電原子力電所1～4号機）



取水管式深層取水方式
（柳井発電所1, 2号機）

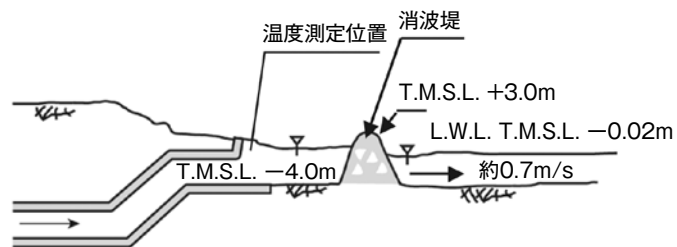


取水塔式深層取水方式（浜岡原子力発電所4号機）

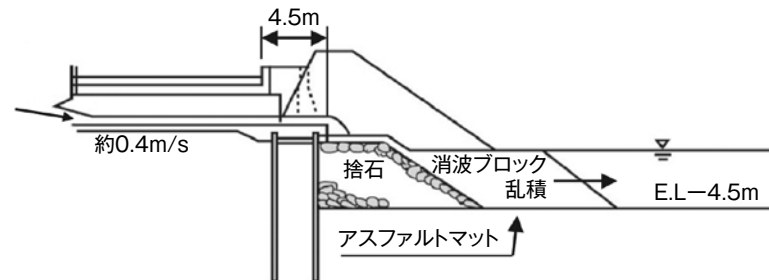


有孔堤式深層取水方式（志賀原子力発電所1号機）

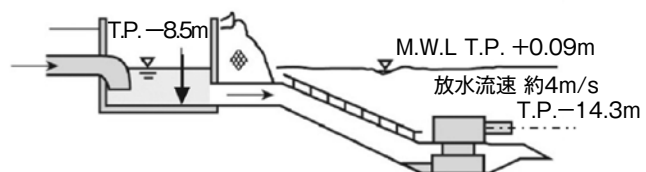
放水方式の概要



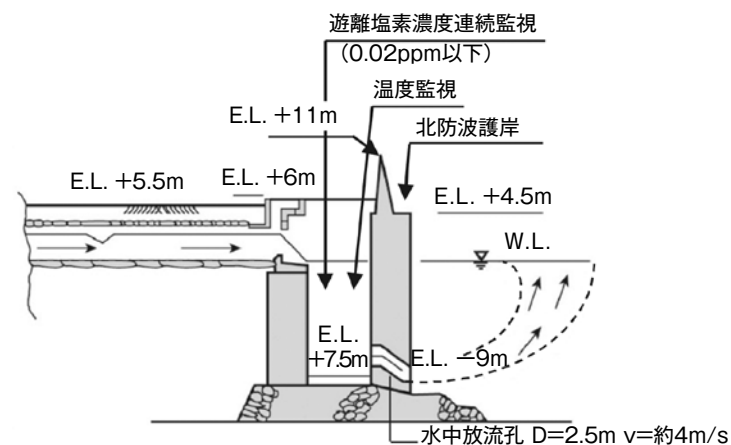
表層放水方式 (柏崎刈羽原子力発電所1～4号機)



段落式放水方式 (東新潟火力発電所1～3号機)



放水管式水中放水方式 (玄海原子力発電所3,4号機)



有孔堤式水中放水方式 (泊発電所1,2号機)

発電所温水利用養魚事業所一覧表(原子力発電関係)

事業所名	取水供給源		主要魚種
	発電所名	容量(万kW)	
静岡県温水利用研究センター	中部電力(株) 浜岡原子力発電所	3号機-110.0 4号機-113.7 5号機-126.7	(種苗) マダイ、ヒラメ、ガザミ、ノコギリガザミ、 アワビ、クルマエビ、クエ、トラフグ
石川県水産総合センター 生産部志賀事業所	北陸電力(株) 志賀原子力発電所	1号機-54.0 2号機-120.6	アワビ、ヒラメ、サザエ
関西電力(株)高浜発電所	関西電力(株) 高浜発電所	1~2号機-各82.6 3~4号機-各87.0	アワビ、サザエ

核燃料税率の推移

(2012年9月現在)

	創設時期		現在		
	創設年	税率	税率	適用期間	備考
福井県	1976年	5%	17% ^{※1}	2011年 11月～2016年 11月	第7回更新
福島県	1977年	5%	15.5% ^{※2} (当面は14%)	2007年 12月～2012年 12月	第6回更新
茨城県 ^{※3}	1978年	5%	13%	2009年 4月～2014年 3月	第6回更新
愛媛県	1979年	5%	13%	2009年 1月～2014年 1月	第6回更新
佐賀県	1979年	5%	13%	2009年 4月～2014年 3月	第6回更新
島根県	1980年	5%	13%	2010年 4月～2015年 3月	第6回更新
静岡県	1980年	5%	13%	2010年 4月～2015年 3月	第6回更新
鹿児島県	1983年	7%	12%	2008年 6月～2013年 5月	第5回更新
宮城県	1983年	7%	12%	2008年 6月～2013年 6月	第5回更新
新潟県	1984年	7%	14.5%	2009年 11月～2014年 11月	第5回更新
北海道	1988年	7%	12%	2008年 9月～2013年 8月	第4回更新
石川県	1992年	7%	12% ^{※4}	2007年 10月～2012年 10月	第3回更新
青森県	2004年	10% (当面は12%)	15% ^{※5}	2012年 4月～2014年 3月	第2回更新

※1 福井県の税率17%の内訳は、価額割8.5%、出力割8.5%相当（出力割は熱出力あたりの税額を税率に換算、以下同様）

なお、17%の税率のうち、2%は、福島第一原子力発電所事故に伴う緊急的な経費である

※2 福島県の核燃料税は、価額割10%、重量割11,000円/kg（当面は8,000円/kg）を税率に換算

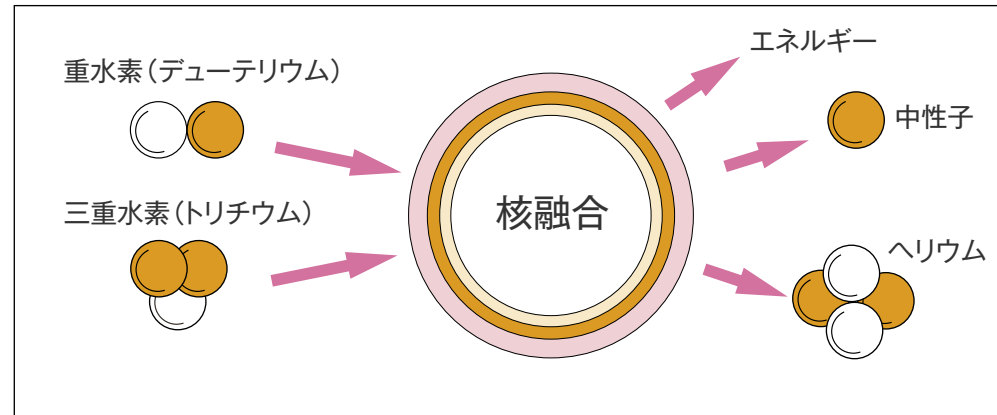
※3 茨城県の核燃料税は、1999年4月から「核燃料等取扱税」として課税

※4 石川県の核燃料税は、2012年10月から税率が17%相当に引き上げられる。税率17%の内訳は、価額割8.5%、出力割8.5%相当

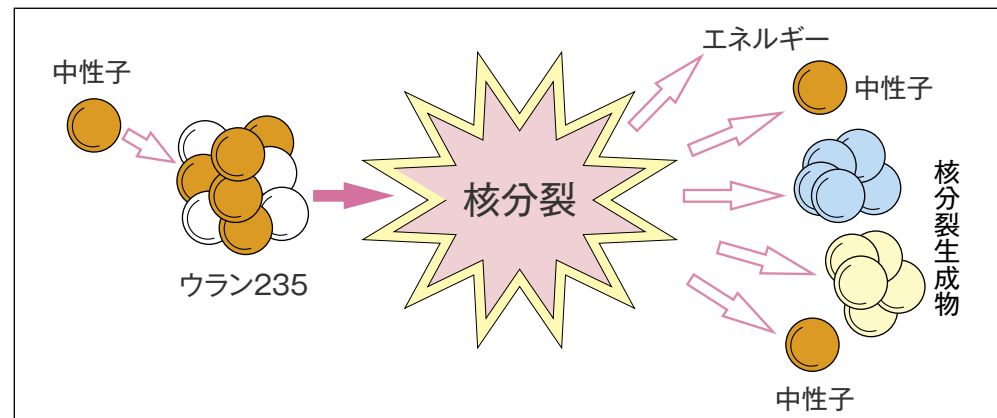
※5 青森県の核燃料税は、「核燃料物質等取扱税」として課税。税率は附則により当分の間12%

核融合と核分裂

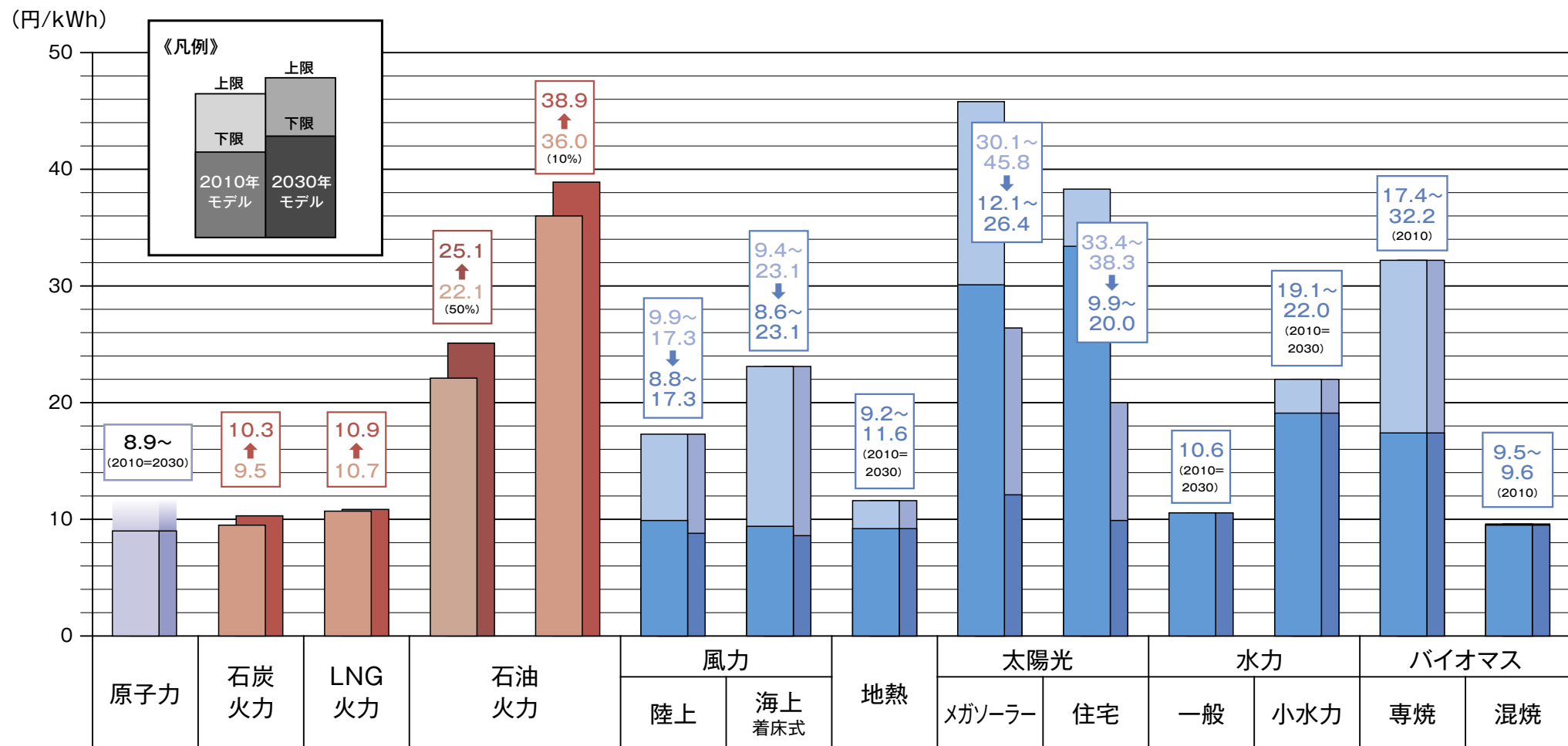
核融合の原理



核分裂の原理



1kWhあたりの発電コスト

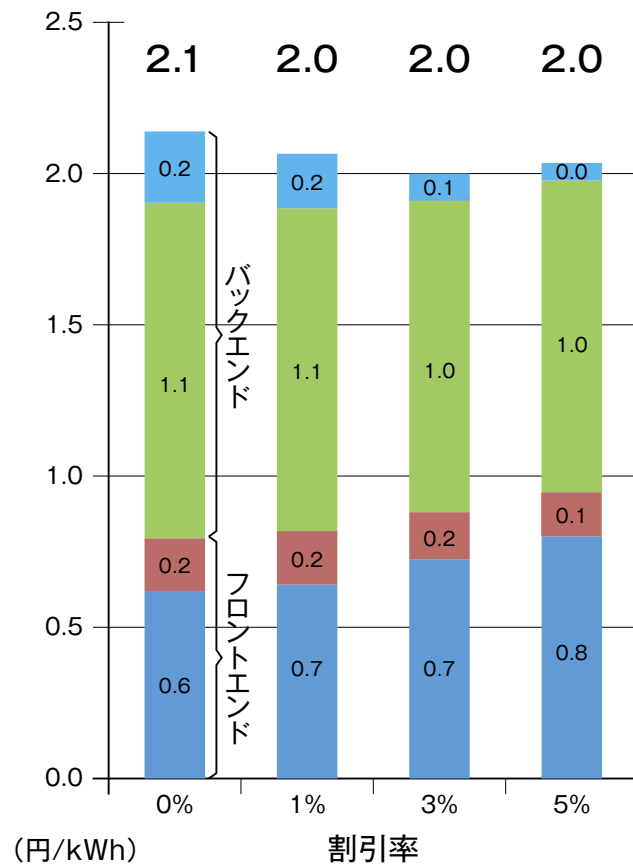


設備利用率	70%	80%	80%	50%	10%	20%	30%	80%	12%	12%	45%	60%	80%	80%
稼動年数 (2030年モデル)	40年	40年	40年	40年	40年	20年	20年	40年	20年 (35年)	20年 (35年)	40年	40年	40年	40年

原子燃料サイクル費用

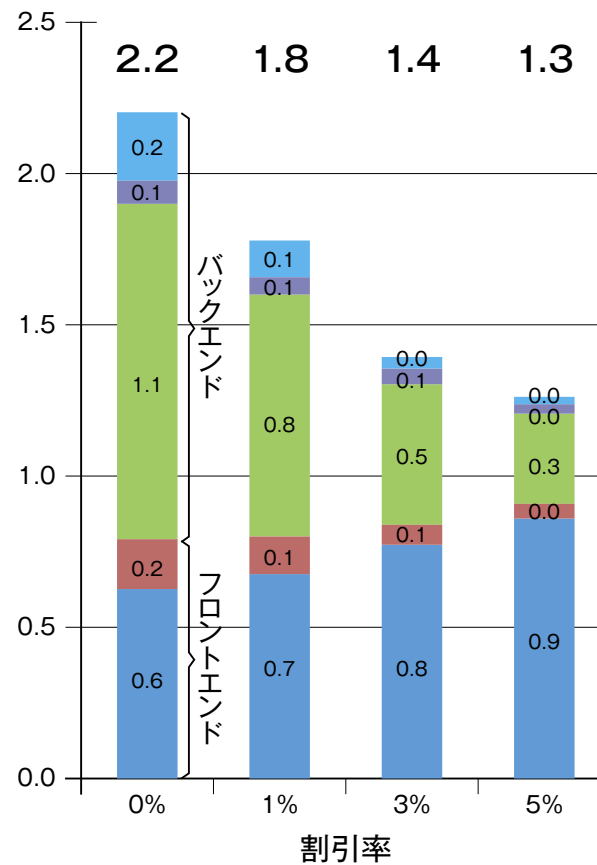
再処理モデル

使用済燃料全量を
再処理してリサイクル



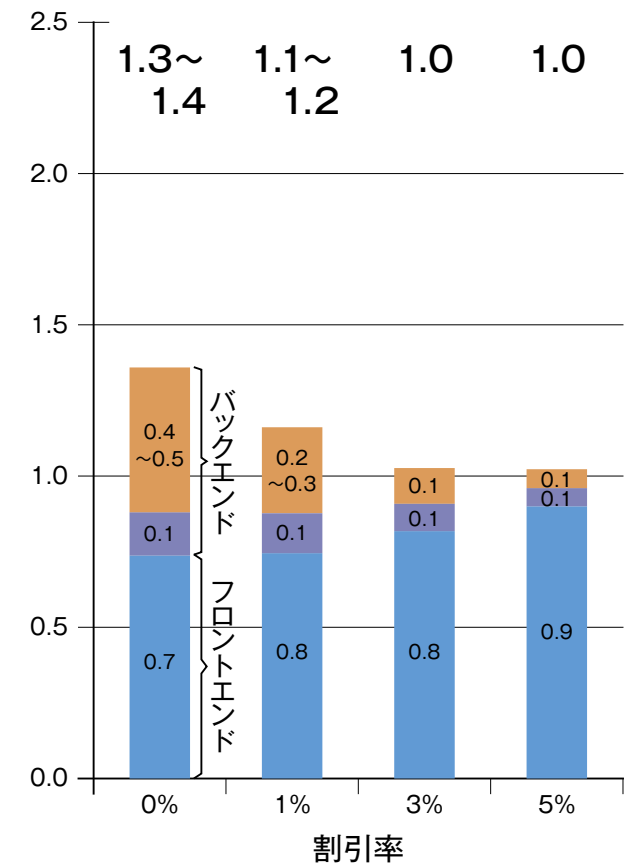
現状モデル

使用済燃料全量を
適切な期間貯蔵しつつ再処理



直接処分モデル

使用済燃料全量を
中間貯蔵後に直接処分



■ ウラン燃料 ■ MOX燃料 ■ 再処理等 ■ 中間貯蔵等 ■ 高レベル廃棄物処分 ■ 直接処分

(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

東北地方太平洋沖地震の概要

【発震時刻】

2011年3月11日 14時46分 18.1秒

【震央地名】

三陸沖

【震源の緯度、経度、深さ】

北緯38° 06.2′、東経142° 51.6′、24km

【規模(マグニチュード)】

9.0(モーメントマグニチュード)

【各地の震度】

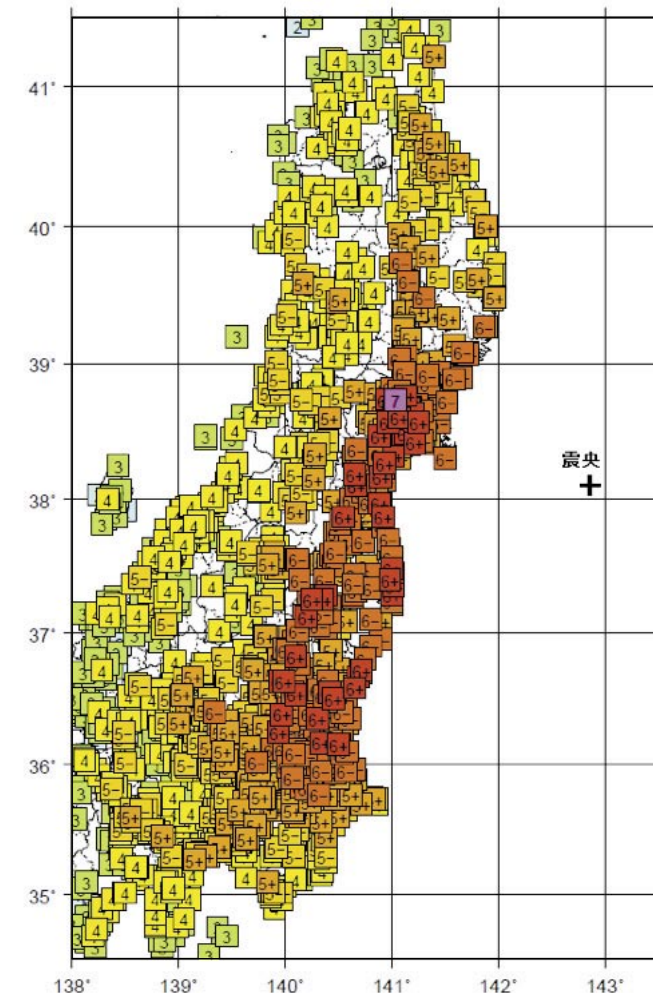
震度7 : 宮城県栗原市

震度6強 : 福島県楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町

震度6弱 : 宮城県石巻市、女川町、茨城県東海村

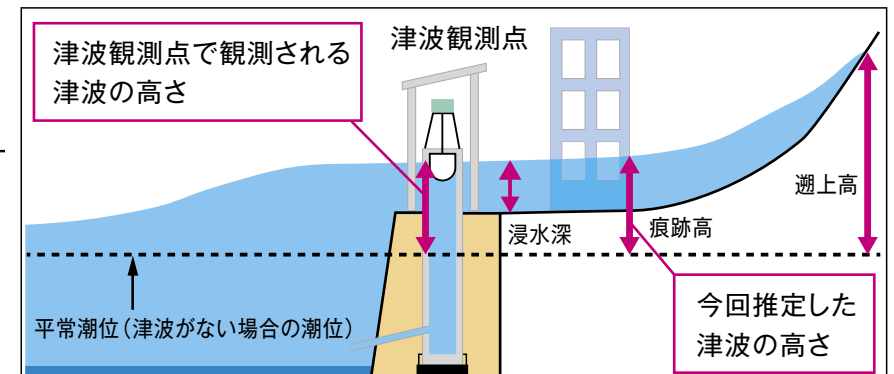
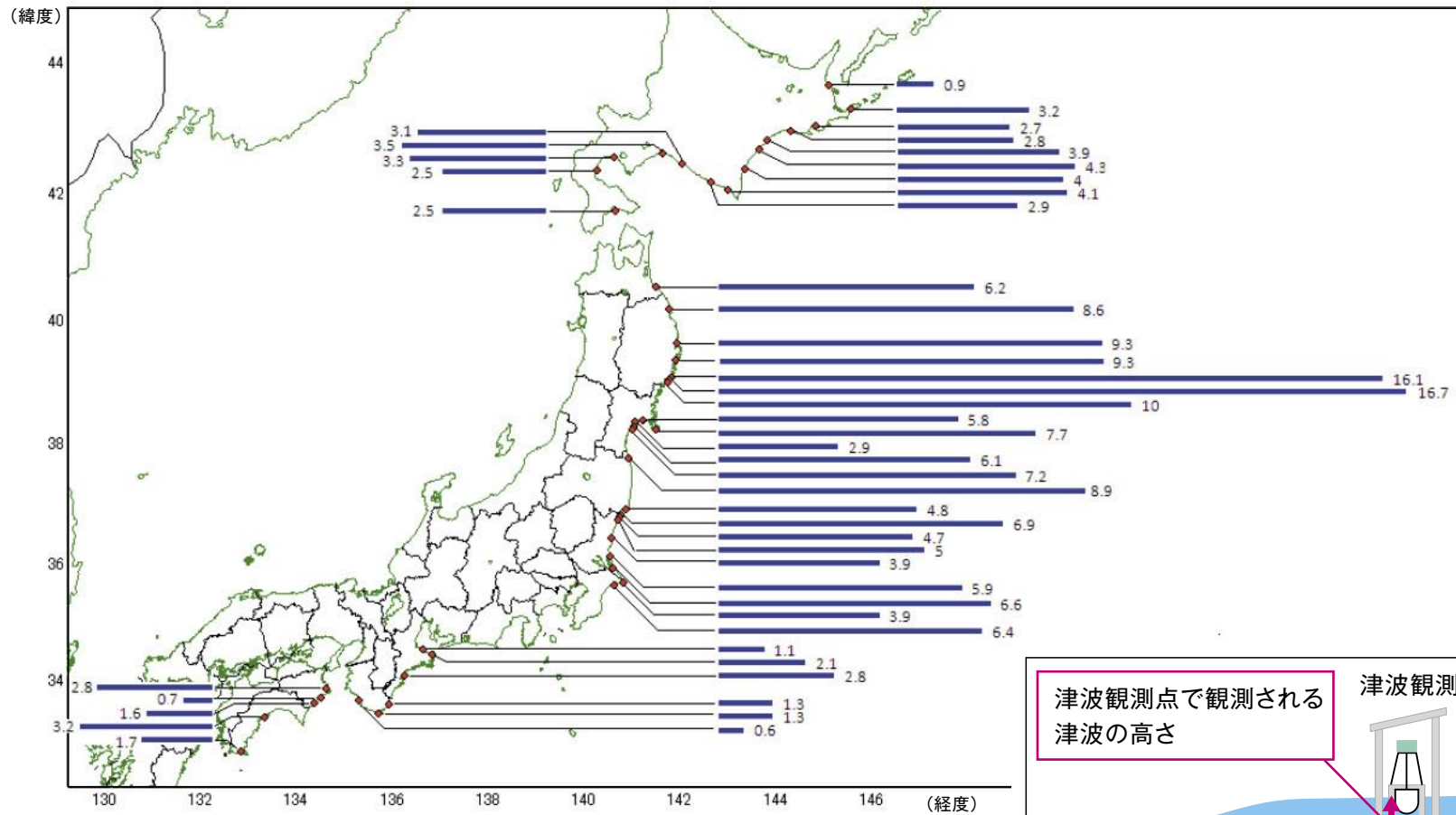
震度5弱 : 新潟県刈羽村

震度4 : 青森県六ヶ所村、東通村、むつ市、大間町、新潟県柏崎市



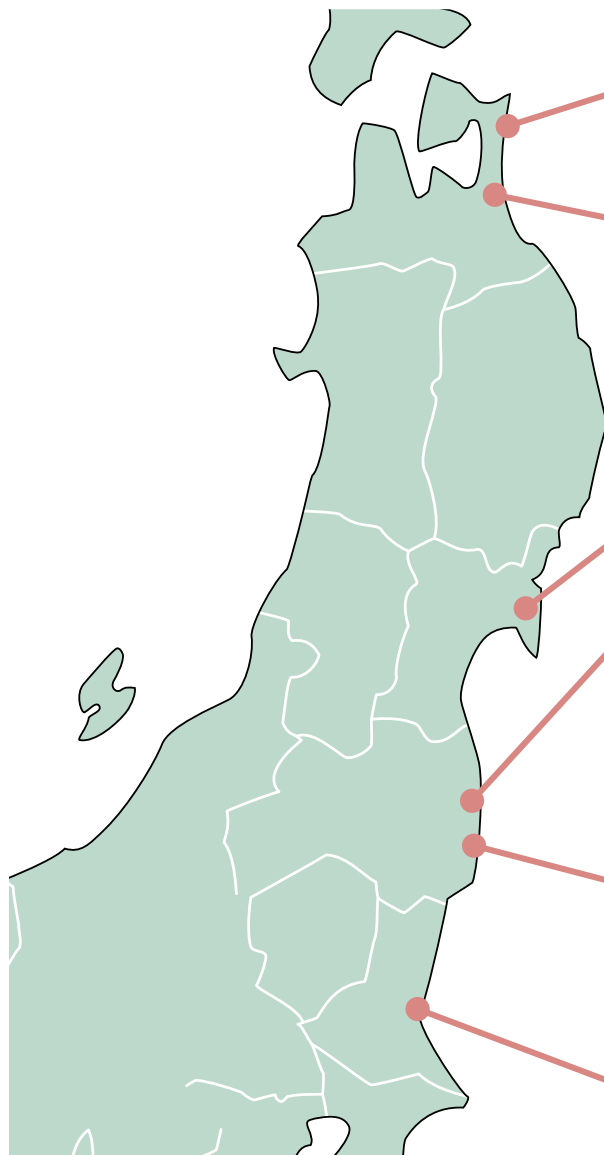
東北地方太平洋沖地震による津波の高さ

津波の痕跡から推定した津波の高さ(m)



東日本大震災の影響を受けた原子力施設の現状

(2012年5月現在)



＋
震央

東北電力(株) 東通原子力発電所	
1号機	
地震発生時定期検査により停止中	

日本原燃(株) 再処理施設	
問題となる事象はなし	

東北電力(株) 女川原子力発電所		
1号機	2号機	3号機
地震により自動停止し冷温停止中		

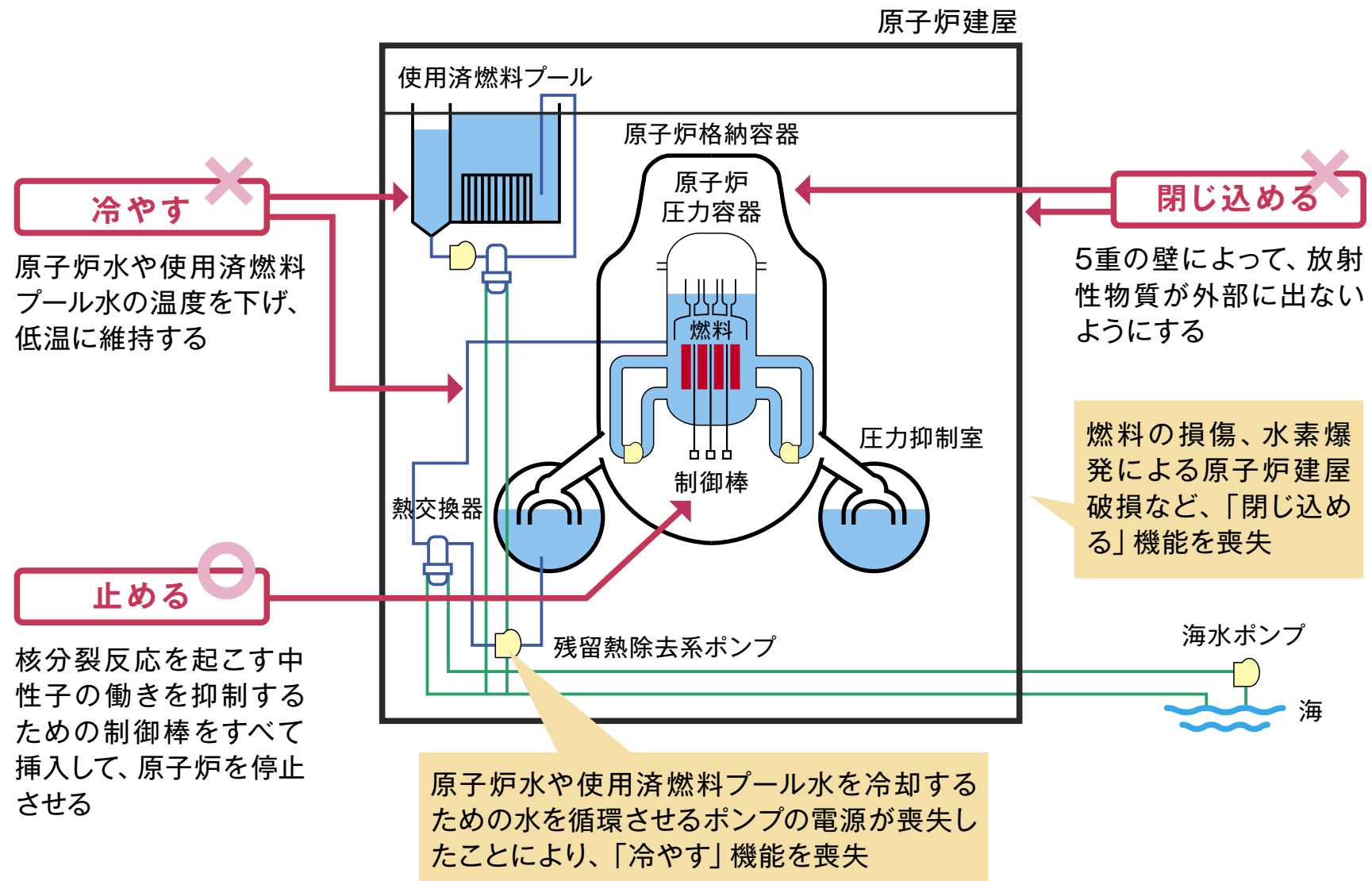
東京電力(株) 福島第一原子力発電所					
1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
地震により自動停止し冷温停止状態*			地震発生時定期検査により停止中		

東京電力(株) 福島第二原子力発電所			
1号機	2号機	3号機	4号機
地震により自動停止し冷温停止中			

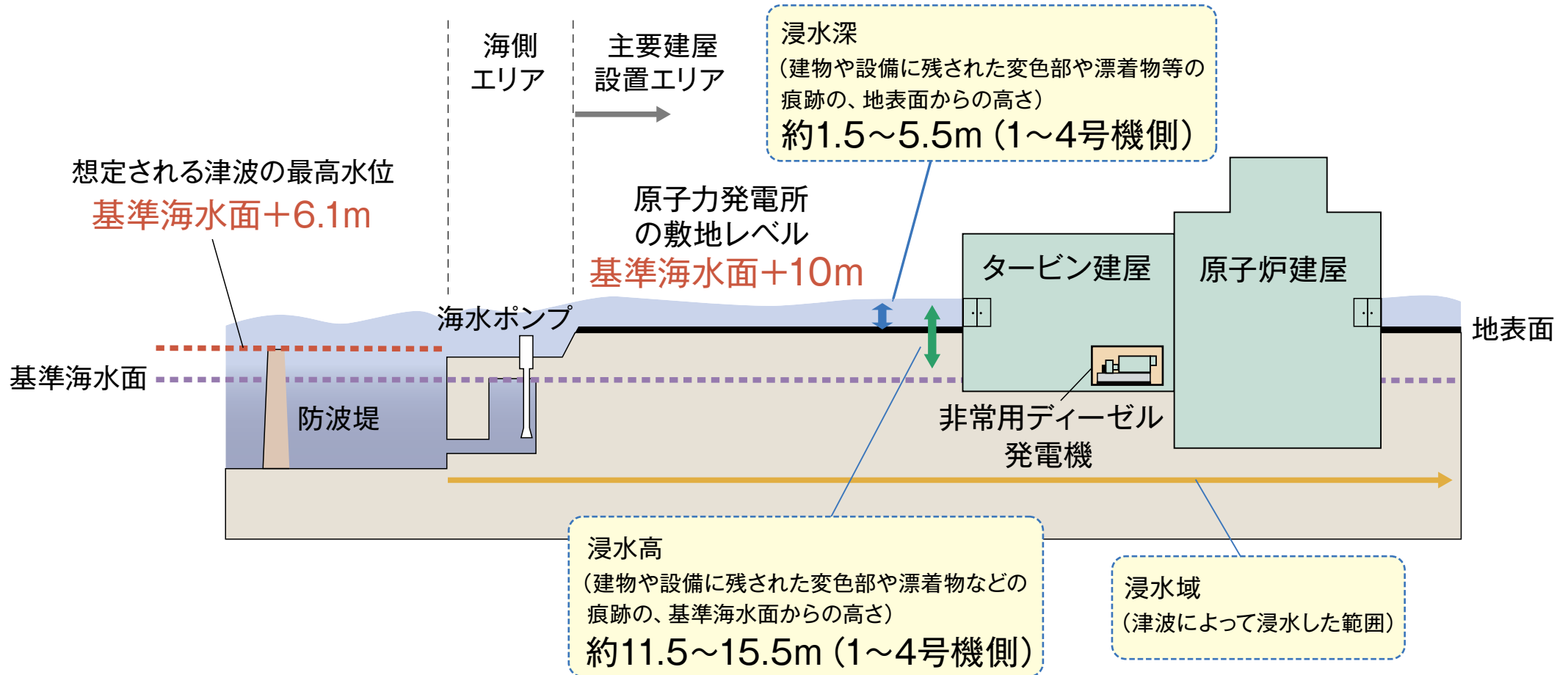
日本原子力発電(株) 東海第二発電所	
地震により自動停止し冷温停止中	

- *冷温停止状態とは下記の条件を満たしている状態をいいます。
- 圧力容器底部および格納容器内の温度がおおむね100℃以下
 - 格納容器からの放射性物質の放出を管理し、追加的放出による公衆被ばく線量が大幅に抑制されている(敷地境界において0.1ミリシーベルト/年、目標の1ミリシーベルト/年以下)
 - 循環注水冷却システムの中期的安全を確保

福島第一原子力発電所の事故概要



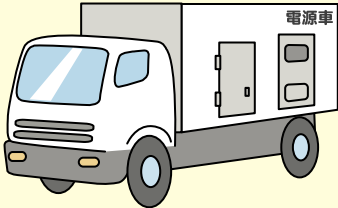
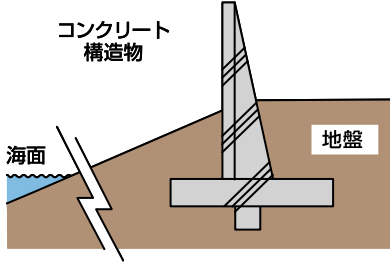
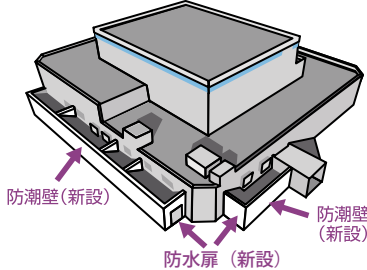
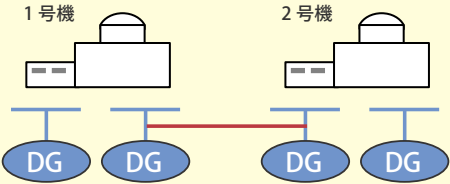
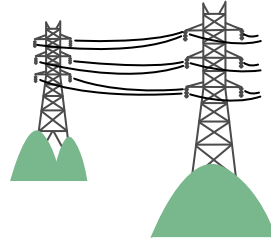
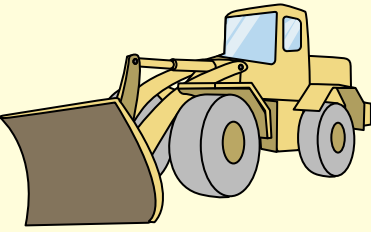
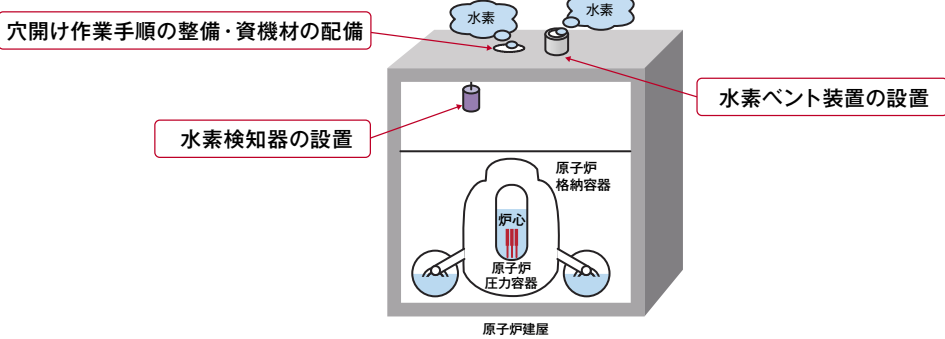
福島第一原子力発電所に到達した津波の大きさと浸水状況



福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策の概要

	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	○手順書等の策定 ○非常用電源車 ○ポンプ車 ○消火ホース ○対応訓練の実施 追加配備	○防潮堤の設置 ○建屋の水密化 ○海水ポンプ電動機等の予備品確保 ○防潮壁の設置 ○空冷式の大容量大型発電機の設置	発生防止
電源信頼性向上対策	○非常用発電機の号機間での融通	○全号機への全送電線接続 ○送電鉄塔の点検および地震・津波対策 ○開閉所等の地震対策	
シビアアクシデント対策	○中央制御室の作業環境確保 ○水素の排出手段の確保 ○通信手段確保 ○高線量対応防護服 ○ホイールローダー 配備	○電話交換機等の高所移設 ○静的水素結合器の設置（PWR） ○建屋ベントおよび水素検知器の設置（BWR）	発生時の対応

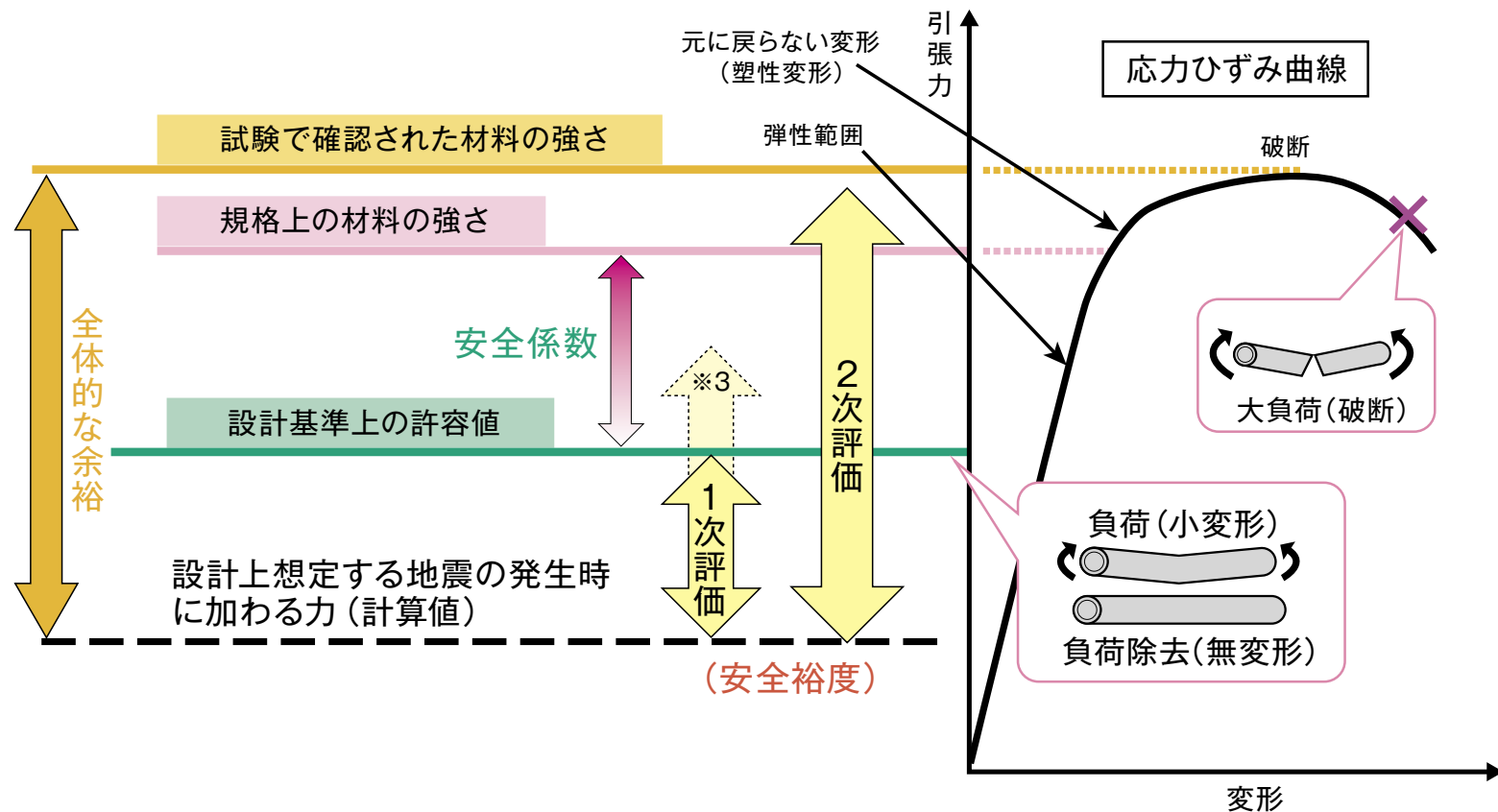
福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策の主な具体例

	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	非常用電源車の追加配備 	防潮堤の設置  防潮壁の設置 
電源信頼性向上対策	非常用発電機の号機間での融通 	送電鉄塔の点検および地震・津波対策 
シビアアクシデント対策	ホイールローダーの配備 	建屋ベントおよび水素検知器の設置（BWR） 

ストレステストの概要

機器、配管類の構造健全性に係る安全裕度

- ・一次評価※¹ では、安全裕度の比較対象として規制に用いる基準上の許容値を適用
- ・二次評価※² では、構造健全性や機能が実際に失われる値を適用

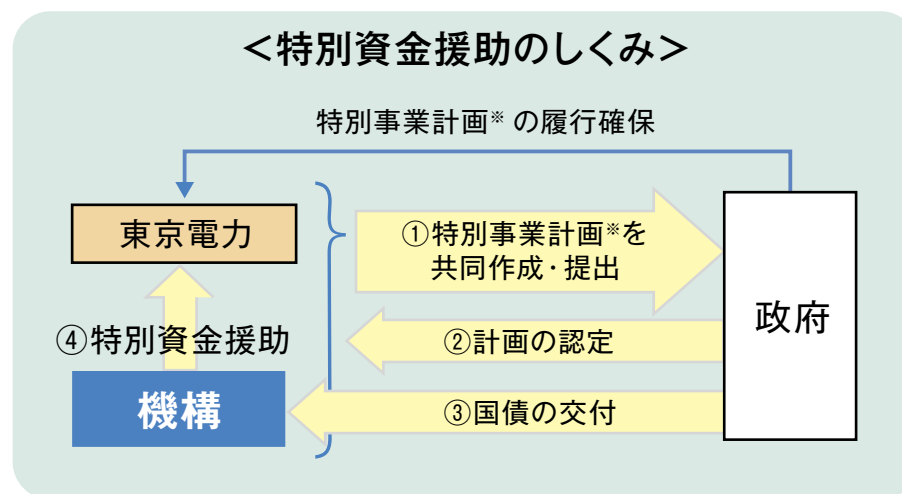
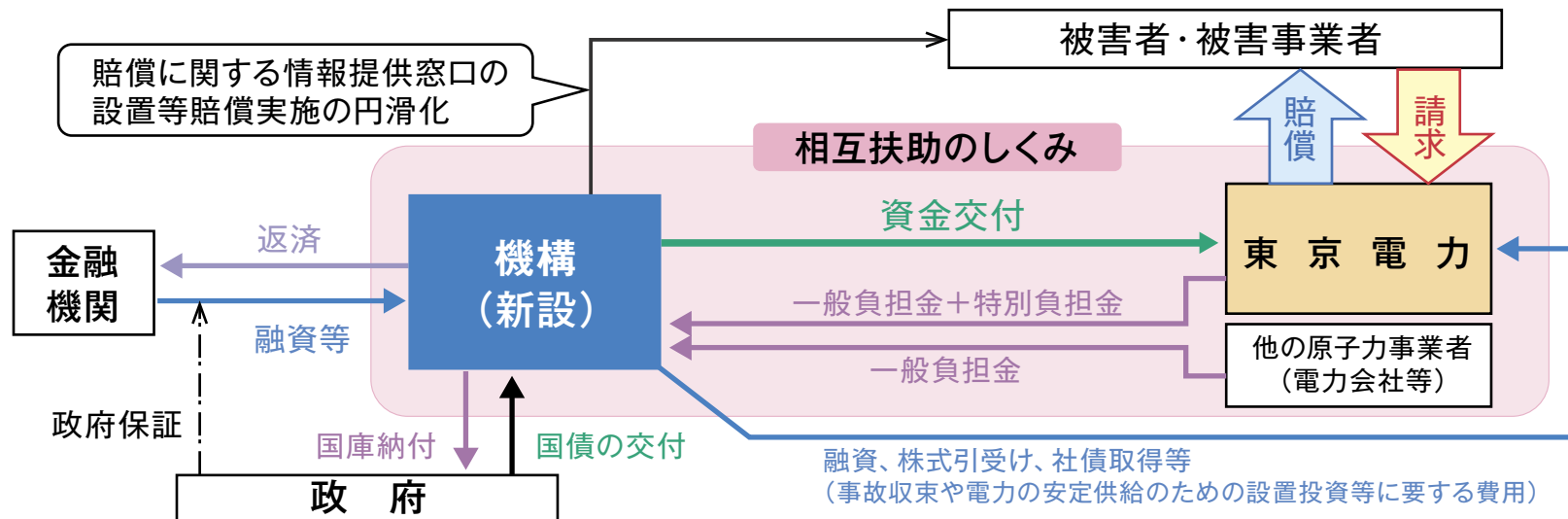


※1 定期検査中で起動準備の整った原子力発電所について、安全上重要な施設・機器等が設計上の想定を超える事象に対し、どの程度の安全裕度を有するかについて評価する

※2 稼働中の発電所、一次評価の対象となった発電所も含めた全ての原子力発電所を対象に、総合的な安全評価を実施する

※3 一次評価において、構造健全性、機能の維持を技術的に示すことが可能であれば許容値を超える値も適用可とする

原子力損害賠償支援機構による賠償支援の概要



<特別事業計画※への記載事項>

1. 原子力損害の状況
2. 賠償額の見通し・賠償実施の方策
3. 中期的な事業収支計画を記載した書類
4. 経営合理化方策
5. 関係者に対する協力要請の方策
6. 資産・収支状況の評価
7. 経営責任明確化の方策
8. 資金援助の内容・額 等

※機構は、特別事業計画を作成する際、東京電力の資産計画と経営の徹底した見直しを行うとともに、関係者への協力要請が適切かつ十分なものであるかを確認

第1章 世界および日本のエネルギー情勢

〈世界のエネルギー情勢〉

図 番	図 名	内 容
1-1-1	人類とエネルギーのかかわり	人類とエネルギーのかかわりは、数百万年前の「火の発見」から始まり、18世紀の動力革命以降はエネルギー消費量が急増している。
1-1-2	世界の人口予測	世界の人口は、2000年時点で61.2億人となっている。今後、発展途上国の人口増加に伴い2050年には2000年の約1.5倍（93.1億人）に達すると予測されている。
1-1-3	世界の人口とエネルギー消費量	2010年における世界の人口の40%超が、経済発展の著しい中国、インド、ブラジル、ロシアに偏在している。それに伴い、一次エネルギーの消費量も世界の総消費量の30%超を占めている。
1-1-4	一人あたりの一次エネルギー消費量	中国、ブラジル、インドでは、一人あたりの一次エネルギー消費量が世界平均を下回っている。日本の人口は世界の約2%であるが、一次エネルギー消費量は約4%と高く、欧州並みの水準を消費している。
1-1-5	一人あたりのGDPと一次エネルギー消費量	一人あたりのGDPが高まると一次エネルギーの消費量が増加する傾向がある。そのため、今後、人口増加の著しい途上国の経済成長に伴って一次エネルギーの消費の増加が予見される。
1-1-6	世界のエネルギー資源確認埋蔵量	エネルギー資源には限りがあり、今後のエネルギー消費の増大を考慮すると、その確保が厳しい状況にある。このため、省資源、省エネルギーに心がけることが重要となっている。
1-1-7	世界の一次エネルギー消費量の推移	世界のエネルギー消費量は年代の経過とともに増加しているが、石油消費については先進国における代替エネルギー（原子力等）の積極的利用により、増加傾向は緩やかとなっている。
1-1-8	主要国の一次エネルギー構成	主要国のエネルギー構成は各国の事情により異なるが、日本は世界的にも石油依存度が高い状況となっている。また、フランスは原子力エネルギーの供給割合が高い（約40%）という特徴がある。
1-1-9	主要国の発電電力量の推移（伸び率）	電力がもつ利便性から、各国の発電電力量は増加傾向にある。その伸び率は日米欧が低く推移しているのに対し、中国・韓国・インドは高くなっている。
1-1-10	主要国の一人あたりの電力消費量	主要国の一人あたりの電力消費量はカナダ、アメリカが多く、国別ではアメリカ、中国で世界の約40%を占めている。
1-1-11	主要国のエネルギー輸入依存度	日本はエネルギー資源の約80%（原子力を除くと96%）を輸入に頼り、他の主要国と比べエネルギー供給構造が脆弱な状況となっている。
1-1-12	ヨーロッパにおける天然ガスのパイプライン網	ヨーロッパでは天然ガスのパイプラインが大陸全体に整備されており、ロシアや北海等の豊富な天然ガスを全域にわたって使用可能である。

〈日本のエネルギー情勢〉

図 番	図 名	内 容
1-2-1	エネルギーの使われ方	現代の日本では、産業、民生、運輸の全てにわたって膨大なエネルギーが使われており、その量は原油に換算すると年間一人あたり200ℓドラム缶で約15本にもなる。
1-2-2	日本の一次エネルギー供給構成の推移	石油危機を契機として日本は脱石油化を進めてきたが、現在でもエネルギー源の約40%を石油に頼っている。また、国産エネルギー比率の増加は大部分が原子力によるものである。
1-2-3	日本の一次エネルギー供給実績	日本の一次エネルギー供給量は近年ほぼ一定であり、また石油危機以降も石油への依存度が高い。
1-2-4	日本が輸入する化石燃料の相手国別比率	日本は原油の約85%を中東諸国から輸入している。また、石炭はオーストラリア、天然ガス（LNG）は東南アジア諸国が主な輸入相手となっている。
1-2-5	原油輸入の中東依存度の推移	日本の原油輸入の中東依存度は一時67.9%まで低下したが、最近では石油危機以前の水準に戻っている。
1-2-6	原油輸入価格の推移	原油輸入価格は、中東産油国の政治情勢・生産調整・市況等の影響で大幅に変動し、不安定である。
1-2-7	電源別発電電力量の実績	発電電力量は年代の経過とともに増えているが、原子力、天然ガス（LNG）等の脱石油電源の推進により増加する電力需要に対応している。
1-2-8	発電設備容量の実績	今日の発電設備容量は1995年頃に主要であった石油による発電設備が減少しており天然ガス等の脱石油発電設備が増加している。
1-2-9	一次エネルギーに占める電力の比率（電力化率）	便利で使い勝手のよい電気エネルギーの必要性は年々高まっており、一次エネルギーに占める電力の比率は、現在では40%以上となっている。
1-2-10	最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移	電気の使われ方は昼と夜では大きな差があり、その差は使用電力の増加とともに年々大きくなっていく傾向がある。
1-2-11	需要の変化に対応した電源の組み合わせ（例）	エネルギー資源の大部分を輸入に頼る日本では、特定のエネルギー源に依存するのではなく、各種電源の特徴を活かしながらバランスよく運用することが重要である。現在は、燃料供給および価格安定性に優れた原子力発電をベース電源とし、火力や揚水式等の水力発電で需要の変化に対応している。
1-2-12	家庭部門用途別エネルギー消費量	エアコン・クーラー等の家電製品の普及に伴い、家庭での電気の使用量は年々増加傾向にある。また、家庭で使う電気の約38%がエアコン・クーラーと冷蔵庫によるものとなっている。
1-2-13	一世帯あたりの電力消費量の推移	家電製品の普及に伴い一世帯あたり電力消費量は増加傾向にあり、現在では1カ月あたり約300kWhの電力消費となっている。

第2章 地球規模の環境問題

〈温暖化問題〉

図 番	図 名	内 容
2-1-1	温室効果のしくみ	CO ₂ 等の温室効果ガスは、太陽から届く波長の短い光をよく通すが、地表から出ていく赤外線（熱）を吸収し、一部を再び地表に戻す性質がある。このためCO ₂ 濃度等が高まると赤外線が宇宙に逃げなくなり、地表温度の上昇につながる。
2-1-2	温室効果ガスの地球温暖化への寄与度	地球温暖化は、化石燃料の燃焼等で発生する種々の温室効果ガスの増加によるとされており、なかでもCO ₂ の増加が最も大きく影響すると考えられている。
2-1-3	化石燃料等からのCO ₂ 排出量と大気中のCO ₂ 濃度の変化	産業革命以降、人類は膨大な量の化石燃料を燃やしてきたため、近年は大気中のCO ₂ 濃度が急増している。
2-1-4	世界のCO ₂ 排出量の推移	世界のCO ₂ 排出量は、38年前の約2倍（2009年/1971年比）に増加しており、これはアジア地域（特に中国、インド）における増加に寄因する。2009年における日本のCO ₂ 排出量は京都議定書基準年（1990年）と同程度である。
2-1-5	平均気温の変化	地球表面の年平均気温は、100年間あたり0.68℃の割合で上昇している。一方、日本の年平均気温は、100年間あたり約1.15℃の割合で上昇している。
2-1-6	CO ₂ 増加による気温上昇の実績と予測	21世紀末の世界の平均気温は、20世紀末に比べ循環型社会を実現した場合には約1.8℃（1.1～2.9℃）、化石燃料に依存し高度経済成長を実現した場合には約4.0℃（2.4～6.4℃）の上昇が予測されている。
2-1-7	地球温暖化問題に対する取組み	国連を中心に、地球温暖化防止を図るため、新たな取組みが検討されている。日本も気候変動に関する国際連合枠組条約に署名するとともに、内閣総理大臣を本部長とする「地球温暖化対策本部」を設置し、温室効果ガスの削減に努めている。京都議定書は2005年2月に発効されたが、京都議定書後（2013年）以降の将来枠組、途上国支援の方法等に関する話し合いは続いている。
2-1-8	京都議定書の約束値と温室効果ガス排出状況	京都議定書では、温室効果ガスを1990年を基準として2008年から2012年までに、先進国全体で少なくとも5%削減することを目標に、同期間の削減目標が各国ごとに定められた。なお、アメリカは2001年3月に京都議定書を離脱している。
2-1-9	各種電源別のライフサイクルCO ₂ 排出量	原子力の発電電力量あたりのCO ₂ 排出量は、石炭火力、石油火力、LNG火力はもちろん、太陽光、風力の自然エネルギーに比べても少ない。
2-1-10	CO ₂ 排出量とエネルギー資源調達の安定性から見た各種電源	エネルギー資源調達の安定性を、世界の資源埋蔵地域の偏在性や日本の燃料調達先の集中度、輸入先の政治的・経済的安定性等を用い定量的に評価した結果、原子力（ウラン）は石炭と並んで供給安定性に優れている。また、発電時にCO ₂ を排出しないため原子力発電は電気事業における地球温暖化防止に重要な役割を果たしている。

〈温暖化問題〉

図 番	図 名	内 容
2-1-11	部門別CO ₂ 排出量の推移	2010年度の日本の部門別CO ₂ 排出量は、産業部門と運輸部門の両方で約55%を占めている。1990年に比べると家庭部門と業務その他部門の伸びが目立つ。
2-1-12	日本の温室効果ガス排出量の推移	2010年度の総排出量は、京都議定書の基準年とほぼ同程度である。
2-1-13	部門別CO ₂ 排出量の増減の推移	工業プロセス（セメント製造等）、産業部門では削減努力が進み1990年を下回っている。それ以外の部門では増加傾向にあったが、2008年以降は金融危機の影響による景気後退に伴うエネルギー需要の減少などからCO ₂ 排出量も減少傾向にある。
2-1-14	エネルギー起源CO ₂ 発生量の推移	2010年度の石油起源CO ₂ 発生量は、1990年に比べ減少しているものの全体の約43%を占めている。
2-1-15	電気事業におけるCO ₂ 排出抑制対策	日本では「供給側におけるエネルギーの低炭素化」、「需要側におけるエネルギー利用の効率化」および「研究開発等」でCO ₂ の排出削減に取り組んでいる。
2-1-16	発電に伴うCO ₂ 排出量等の推移	原子力発電の導入により、発電時に発生するCO ₂ の割合は減少してきている。2011年度の使用端CO ₂ 排出原単位（クレジット反映後）は、東日本大震災の影響に伴う原子力発電所の長期停止等により、火力発電量が増加したことにより0.476kg-CO ₂ /kWhとなり、2010年度より0.126kg-CO ₂ /kWh増加した。
2-1-17	火力発電設備の熱効率（低位発熱量）・送配電ロス率の推移	日本では、火力発電からのCO ₂ 排出量低減のため、コンバインドサイクルの導入等により熱効率を向上させている。また、送配電損失も年々低下しており、電力設備を効率よく運用している。
2-1-18	CO ₂ 排出原単位（発電端）の各国比較	原子力発電や水力発電を多く利用する国ほど発電時に発生するCO ₂ は少ない。特に、原子力発電の割合が約8割と高いフランスではその傾向が顕著である。

〈酸性雨問題〉

図 番	図 名	内 容
2-2-1	酸性雨の発生	酸性雨は、化石燃料の燃焼に伴って発生した硫黄酸化物（SO _x ）や窒素酸化物（NO _x ）等が、大気中で化学反応を起こして硫酸塩や硝酸塩に変化することにより、強い酸性の雨や霧となって地上に降りそぐものである。
2-2-2	主要国の発電電力量あたりのSO _x とNO _x 排出量	日本の発電電力量あたりのSO _x （硫黄酸化物）とNO _x （窒素酸化物）排出量は、他国と比べて非常に少ない。これはSO _x 、NO _x の大気汚染防止技術が積極的に取り入れられているためである。

第3章 新エネルギー

〈新エネルギー〉

図 番	図 名	内 容
3-1-1	新エネルギーの定義	「新エネルギー」とは、自然のプロセス由来で絶えず補給される太陽、風力、バイオマス、地熱、水力等から生成される「再生可能エネルギー」のうち、その普及のために支援を必要とするものを指す。
3-1-2	新エネルギーの評価と課題	新エネルギーは、枯渇の恐れがなく環境にやさしい等のメリットがあるが、既存のエネルギー源に比べるとエネルギー密度が低く、安定性に欠ける等のデメリットがある。 太陽光発電や風力発電もエネルギー密度が低く、大量に発電するには広い土地が必要となるため、大電力の供給には不向きである。しかし、特定地域での利用（小規模分散型利用）は可能である。
3-1-3	太陽光・風力発電の出力変動	太陽光発電は時間と天気により、また風力発電は風の強さにより発電電力量が変動するため、バックアップ電源が必要である。
3-1-4	日本の太陽光発電導入量（出力）の推移	日本の太陽光発電の導入量は年々伸びており、現在は世界の約10%を占めている。
3-1-5	日本の風力発電導入量（出力）の推移	日本の風力発電の導入量は年々伸びているが、現在は世界の約1%程度である。
3-1-6	燃料電池のしくみ	水素と酸素を反応させて電気を取り出す燃料電池は、総合熱効率が高い等のメリットも多いが、水素を作るために化石燃料を用いた場合にはCO ₂ が発生するという問題点もある。
3-1-7	CO ₂ 冷媒ヒートポンプ給湯器のしくみ	ヒートポンプとは、気体に圧力がかかると温度が上がり、圧力を緩めると温度が下がるという原理（ボイル・シャルルの法則）を利用し、大気中から熱を得るシステムのこと。 わが国の民生部門（家庭・業務用）の空調・給湯需要および産業部門の加温や乾燥等の加熱用途や空調用途において普及した場合、日本のCO ₂ 総排出量の約10%のCO ₂ 排出抑制が可能になる。
3-1-8	電気自動車のしくみ	電気自動車（Electric Vehicle）とは、エンジンの代わりにモーターとバッテリー、車載充電器、蓄電池、制御装置等を備え、ガソリンの代わりにバッテリーに充電された電気を使って走行する自動車のこと。 ガソリン車に比べ一次エネルギーの利用効率が高く、充電に深夜電力を利用すれば、電力負荷の平準化やCO ₂ 排出削減に寄与する。
3-1-9	メガソーラー発電	電力各社等が進めている大規模な太陽光発電のこと。一般家庭の屋根や屋上などに取り付けられている太陽光発電は、おおむね2kWから4kW程度の発電能力に対して、1ヵ所で1,000kW～20,000kWという発電能力を持つ大規模な太陽光発電を指す。
3-1-10	日本におけるスマートグリッド概念図	原子力・火力・水力といった既存の集中型電源と送電系統の一体運用に、情報技術（IT）を組み合わせ、分散型電源である太陽光発電等の再生可能エネルギーを統合、活用して行う電力供給システムのこと。

図 番	図 名	内 容
3-1-11	再生可能エネルギーの 固定価格買取制度の概要	エネルギー安定供給の確保や地球温暖化問題への対応、経済成長の柱である環境関連産業の育成のため、再生可能エネルギーの利用拡大を目的に「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が成立し平成24年7月1日から施行された。この法律は、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、一定の期間・価格で電気事業者が買い取る（エネルギーの固定価格買取制度）ことを義務付けるもので、電気事業者が買取りに要した費用は、使用電力に比例した賦課金によって回収することとしており、電気料金の一部として徴収される仕組みとなっている。

第4章 原子力発電の現状

〈日本の現状〉

図 番	図 名	内 容
4-1-1	100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料	原子力は少量のウラン燃料で大きなエネルギーが取り出せるので、燃料の運搬、貯蔵の面でも優れている。
4-1-2	ウラン資源埋蔵量と確保状況	原子力発電の燃料となるウラン資源は、主に政情の安定している国から供給されていることから、供給安定性に優れている。
4-1-3	日本の原子力発電所の運転・建設状況	2012年4月末現在、日本では50基（合計出力4,614.8万kW）の商業用原子力発電所が運転されている。

〈主要国の現状〉

図 番	図 名	内 容
4-2-1	主要国の原子力発電設備	2012年1月1日現在、世界で427基の原子力発電所が運転中であり、建設・計画中のものを加えると596基となる。日本の原子力発電設備（電気出力）はアメリカ、フランスに次いで3番目である。
4-2-2	主要国の電源別発電電力量の構成比	主要国の電源構成は、資源の有無や保有する資源の種類等によって異なっている。日本はエネルギー自給率が低く島国であるため、エネルギー確保とリスク分散の観点から電源の多様化を図っている。
4-2-3	主要国の発電電力量と原子力発電の割合	発電電力量が世界一のアメリカは、104基の原子力発電設備が稼働する原子力発電大国である。第2位の中国は、石炭だけで世界第3位の日本以上の電気を発電している。
4-2-4	フランスを中心とした電力の輸出入	ヨーロッパは送電網が発達しており、各国で電力の輸出入が行われている。なかでもフランスは近隣諸国へ多くの電力を輸出している。一方、日本は島国であるため電力が不足しても外国から輸入することはできない。

第5章 原子力発電の安全性

〈原子力発電のしくみ〉

図 番	図 名	内 容
5-1-1	火力発電と原子力発電の違い	原子力発電は、蒸気でタービンを回して発電する点では火力発電と同じである。違いは、火力発電のボイラーが化石燃料を使用するのに対し、原子力発電ではボイラーを原子炉に置きかえ、ウランを燃料としていることである。
5-1-2	沸騰水型炉（BWR）原子力発電のしくみ	軽水炉のうち、炉内で冷却水を沸騰させ、発生した蒸気をそのままタービンに送る直接型サイクルの炉型を沸騰水型炉（BWR）という。
5-1-3	改良型沸騰水型炉（ABWR）の構造上の特徴	ABWRの特徴は、BWRでは原子炉圧力容器の外に設置していた原子炉再循環ポンプを圧力容器の中に設置し、ポンプ回りの配管をなくして単純化したことと、制御棒駆動機構として水圧駆動に電動駆動を加えたことである。2011年3月末現在、ABWRを採用している発電所は、東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所6、7号機、中部電力（株）浜岡原子力発電所5、6号機、北陸電力（株）志賀原子力発電所2号機の5基となっている。
5-1-4	改良型沸騰水型炉（ABWR）の特長	ABWRは最新技術と運転経験を踏まえ、数々の優れた設計改良を施し、安全性・信頼性の向上、運転性・保守性の向上、放射線量・放射性廃棄物発生量の低減、経済性の向上等の特長を備えている。
5-1-5	加圧水型炉（PWR）原子力発電のしくみ	軽水炉のうち、炉内の圧力を高め冷却水を沸騰させない炉型を加圧水型炉（PWR）という。この型式では、原子炉の中で発生した高温高压の熱水を蒸気発生器に送り、そこで別の系統を流れている水を蒸気に変えてタービンに送る。原子力船や原子力潜水艦はこの型式である。
5-1-6	原子炉圧力容器断面図	原子炉圧力容器には、燃料、減速材および1次冷却材等の原子炉における主要構成材料が収納されている。容器内の燃料は、循環している水により熱が除去される。
5-1-7	燃料集合体の構造と制御棒	燃料集合体は、ウラン燃料（ペレット）が充てんされた燃料棒を、1体あたり、BWR用では50～80本程度、PWR用では200～300本程度束ねたもの。制御棒は、ホウ素やカドミウム等の中性子を吸収しやすい物質で作られており、制御棒を出し入れすることにより原子炉内の中性子の量を調整し炉心の出力をコントロールするもの。
5-1-8	天然ウランと濃縮ウラン	天然ウランには核分裂しやすいウラン235が0.7%程度しか含まれていないので、軽水炉ではこれを3～5%に濃縮したものを燃料として使っている。残りの95～97%は核分裂しにくいウラン238である。
5-1-9	原子力発電と原子爆弾の違い	原子爆弾はウラン235をほぼ100%まで濃縮しているのに対し、原子力発電（軽水炉）燃料のウラン235の濃縮度は3～5%である。従って、原子爆弾と原子力発電の燃料はウラン235の濃縮度が大きく異なっており、原子炉が原子爆弾のように核爆発を起こすことはありえない。
5-1-10	放射性物質を閉じ込めるしくみ	原子力発電のウラン燃料は、ペレットに焼き固められ、かつ、丈夫な被覆管に入れられている。さらに、その外は原子炉圧力容器、原子炉格納容器、原子炉建屋で囲んでおり、放射性物質（ウランの核分裂に伴い発生する核分裂生成物）を外へ出さない（閉じ込める）対策が取られている。

〈安全を守るためのしくみ〉

図 番	図 名	内 容
5-2-1	原子炉の固有の安全性（自己制御性）	軽水炉は、何かのはずみで出力が上昇しようとしても、減速材（水）の働きや燃料自身も持っている性質により、自然にその上昇が抑えられ、一定の出力で安定するという固有の安全性（自己制御性）を有している。
5-2-2	安全確保のしくみ	原子力発電所では、放射線や放射性物質を注意深く取り扱わなければならない。そのために「放射性物質を扱っている」、「機械は故障する場合もある」、「人はミスをする場合もある」ということを前提に幾重もの安全対策を取り、安全を確保している。 これに加え、より厳しい事故の発生を想定し、シビアアクシデントの発生防止、発生した場合の進展防止および影響緩和のための安全対策の強化に取り組んでいる。また、原子力発電所周辺環境における事故時の放射線影響緩和のための防災対策の強化にも取り組んでいる。
5-2-3	非常用炉心冷却装置等の例（BWR）	BWRにおける原子炉冷却材喪失事故の主なものとは原子炉冷却系配管の破断である。この事故に対する非常用炉心冷却装置（ECCS）には高圧炉心スプレー系、低圧炉心スプレー系、格納容器スプレー系、低圧注入系、自動減圧系などがある。ECCSは原子炉の中に注水したり、燃料棒に水をかけることで、燃料棒の破損を防止する。
5-2-4	非常用炉心冷却装置等の例（PWR）	PWRでは一次冷却系配管の破断に伴う冷却材喪失事故に備えて非常用炉心冷却装置（ECCS）を設けている。 ECCSは大破断から小破断までの配管破断に対応できるよう高圧注入系、低圧注入系および蓄圧注入系から構成されている。ECCSが燃料棒の破損を防止するために、大量の水を炉心に注入するほか、格納容器スプレー装置が格納容器内の冷却を行う。
5-2-5	原子力発電所の定期検査の目的	原子力発電所では安全・安定運転の確保のため、定期的に検査を行い、設備の健全性を確認するとともに機能維持や信頼性向上のための措置を取っている。
5-2-6	設備の健全性評価の方法	使用に伴って生ずる設備劣化の度合いを検査し、一定期間後の劣化進展を予測評価した結果、安全水準を満たす場合は継続使用し、満たさない場合には補修または取替えを行う。このための検査・評価の方法、判定基準を示したものが維持規格（維持基準）である。
5-2-7	原子力安全規制の体制変更	2012年9月19日、政府から独立して原子力発電の安全規制を担う「原子力規制委員会」と事務局の「原子力規制庁」が発足した。原子力規制委員会は、経済産業省から安全規制部門を分離し、環境省の外局組織として設置された。
5-2-8	原子力安全規制体制	これまで各関係行政機関が担っていた原子力の規制の事務、核物質等を守るための事務（核セキュリティ）を原子力規制委員会に一元化された。原子力規制委員会は、放射線モニタリング、放射性同位元素の使用等の規制も担う。

図 番	図 名	内 容
5-2-9	定期検査制度の概要	平成15年10月、電気事業法が改正され、従来、事業者が自主点検として実施していた点検の一部が「定期事業者検査」として制度化された。「定期安全管理審査」は、この事業者が行う検査の実施体制や検査方法等を、原子力規制委員会が、審査・評定する。
5-2-10	原子力発電所の定期安全レビューと高経年化対策	事業者は、高経年化対策として、運転開始後30年を経過する前に技術評価を行い、その後の10年間に実施すべき追加保全策を抽出した長期保守管理方針を策定し、国の認可後、この方針に基づく保全計画を作成する。 技術評価と長期保守管理方針は、最新の技術的知見を取り入れながら、10年ごとに見直される。
5-2-11	原子力発電所の地震対策	原子力発電所は、地震や津波に対して設計や建設、運転等のあらゆる段階で、安全対策を講じている。電力各社は、2006年に改訂された耐震設計審査指針に照らした耐震安全性評価（耐震バックチェック）を行い、2008年3月以降、中間報告を国に提出してきたが、2011年3月に東北地方太平洋沖地震が発生したため、国は今回の地震で得られた知見などを踏まえた耐震安全性評価を2011年10月から再開した。 その後、2012年9月に原子力規制委員会が発足し同年11月から新しい安全設計基準に関する検討が行われており今後は新基準での適合性が確認されることになる。
5-2-12	地震の知識	地震は、プレートの運動によって蓄積されたひずみのエネルギーが、ある限界を超えたときにエネルギーを解放して発生する。
5-2-13	原子力発電所と一般建築物の揺れの差	原子力発電所の安全上重要な機器・建物等は、地震による揺れが小さい堅固な地盤（岩盤）上に固定されている。一般に、堅固な地盤（岩盤）上の地震による揺れの大きさは、表層地盤の1/2～1/3程度である。
5-2-14	運転責任者の選任	原子力発電所の運転責任者（当直長）は、一定年数以上の運転経験および知識・技能を有することを条件に、国が定める基準に適合した者の中から選任することが法律で定められている。
5-2-15	実用発電用原子炉に対する規制の流れ	原子力発電所は、計画、建設、運転および廃止措置の各段階で国の厳重な審査や検査を受け、許可・認可を得なければならない。 なお、原子力発電所の設備に関する原子力安全規制は、原子炉等規制法による規制に加え、電気工作物として電気事業法による規制が行われている。
5-2-16	発電所建設までの環境アセスメント制度	原子力発電所の建設にあたっては環境影響評価法、発電所固有の手続きを定めた電気事業法および自治体の条例等に基づいて、環境影響評価が行われる。その評価にあたっては、早期の段階から地元住民や関係する自治体の意見を聴く手続きを取り入れている。

〈運転実績〉

図 番	図 名	内 容
5-3-1	原子力発電所のトラブル件数の推移	日本の原子力発電所のトラブル報告件数は、1981年以降、全体的には減少傾向を示している。なお、2003年10月の原子炉等規制法の規則改正に伴い、トラブル報告基準の定量化・明確化が図られるとともに、報告基準が法令基準に一本化された。
5-3-2	トラブル発生時の対応	原子力発電所でトラブルが発生した場合、各事業者はその旨を直ちに国に報告し、国はトラブルの発生を公表し、原因の究明および再発防止対策の検討等が行われる。また、同様のトラブルが発生しないよう必要に応じ他の原子力発電所へ再発防止対策が水平展開される。
5-3-3	主要国の原子力発電所の計画外自動スクラム割合	日本の原子力発電所の計画外自動スクラム割合は、0.1以下の低いレベルで推移しており良好な運転性能を示していたが、2011年は0.44と高い値を示した。
5-3-4	主要国の原子力発電所設備利用率の推移	2011年の設備利用率が低下した原因は、福島第一原子力発電所の事故を受け、原子力発電所の更なる安全性の向上と、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を実施することになり、定期検査等で停止した発電所が安全評価が終わるまで再稼動できないことによる。

〈チェルノブイリ事故〉

図 番	図 名	内 容
5-4-1	チェルノブイリ原子力発電所の構造	チェルノブイリの原子炉は旧ソ連が独自に開発した黒鉛減速軽水冷却沸騰水型炉（RBMK）で、日本の軽水炉とは構造が異なっている。この原子炉は、低出力状態で自己制御性がなくなるという欠点をもっていた。また、原子炉格納容器もなく、安全装置のインターロックも簡単に解除できる構造であった。
5-4-2	チェルノブイリ原子力発電所事故の経過	チェルノブイリ原子力発電所事故は、外部からの電力供給が停止した際に、タービン発電機の慣性回転でどの程度電気が取り出せるかという、日本では行われない特殊な試験をしている途中で発生した。原子炉出力が急上昇し、燃料過熱、激しい蒸気の発生、圧力管破壊から原子炉と建物の破壊に至り、大量の放射性物質が外部放出された。
5-4-3	チェルノブイリ原子力発電所事故の原因	チェルノブイリ原子力発電所は、設計上の問題点や運転員の規則違反、運転管理上の問題が重なって発生した。これらの問題の根底には、セイフティーカルチャー（原子力に関わるすべての個人や組織が常に安全に関する意識を最優先して行動すべきであるとする考え方）の欠如があったと考えられている。

〈スリーマイルアイランド事故〉

図 番	図 名	内 容
5-5-1	スリーマイルアイランド原子力発電所事故の概要	スリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所の2号機で、設計の不備や運転員の誤判断が重なって炉心の燃料が損傷し周辺に放射性物質を放出する事故が起きた。この事故では、格納容器の閉じ込め機能により放射性物質の環境への大量放出には至らず、周辺の公衆が受けた放射線の被ばく量は極めて低いレベルであった。

〈国内事故〉

図 番	図 名	内 容
5-6-1	美浜発電所2号機事故の概要	蒸気発生器の伝熱管の1本が破断し、原子炉が自動停止し、非常用炉心冷却系が働いた。なお、事故により放出された放射性物質の量はごくわずかであり、周辺環境への影響は認められなかった。
5-6-2	美浜発電所3号機二次系配管破損事故の概要	点検が漏れていた復水配管の減肉によって配管が破損し、作業を行っていた協力会社の5名の方が亡くなるとともに6名の方が重傷を負った。外部への放射能の影響はなかった。
5-6-3	浜岡原子力発電所1号機配管破断事故の概要	高圧注入系の手動起動試験を実施したところ、流入した蒸気により余熱除去系蒸気凝縮系配管の上部に蓄積していた水素が急速に燃焼して配管が破断した。外部への放射能の影響はなかった。
5-6-4	高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故の概要	試運転中、二次主冷却系配管のナトリウム温度計が破損してナトリウムが漏れ、火災が発生した。周辺公衆および作業員への放射能の影響はなかった。温度計の破損は、ナトリウムの流体力によってさや細管部に振動が発生し、さや段付部に高サイクル疲労が生じたことが原因であった。
5-6-5	高速増殖原型炉「もんじゅ」改造工事の概要	異常の発生防止、早期検出、拡大防止を目的として、温度計の改良、ナトリウム漏えい対策の強化、蒸気発生器の安全性向上のための工事が行われた。
5-6-6	(株)ジェー・シー・オー ウラン加工工場 臨界事故の概要	1999年9月30日、ジェー・シー・オー ウラン加工工場において臨界事故が発生し、被ばくした作業員のうち2名の方が亡くなった。臨界状態の継続により約20時間にわたって放射線が放出され初の住民避難が行われる等、周辺住民にも大きな混乱と不安を与える結果となった。

〈原子力事故に対する国際対応〉

図 番	図 名	内 容
5-7-1	国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）	原子力発電所で発生したトラブルが安全上どのような意味をもつかを簡明に表現できる指標として、世界共通の“ものさし”がIAEAとOECD/NEAにより1992年3月に提案され、日本は1992年8月から正式運用を開始した。
5-7-2	世界原子力発電事業者協会（WANO）	WANO（World Association of Nuclear Operators）は、原子力発電の安全性、信頼性を一層向上させるため各国の原子力発電事業者が情報交換をするネットワークとして設置されたもので、四つのセンターが設けられている。

〈防災対策と賠償制度〉

図 番	図 名	内 容
5-8-1	国の原子力防災体制	緊急時に備えて、平時から政府全体で原子力防災対策を推進するため、内閣に原子力防災会議が新たに常設された。
5-8-2	原子力災害対策特別措置法に基づく通報基準	原子力災害対策特別措置法に基づき、異常事象が通報基準を上回る場合、原子力事業者は直ちに国や地方自治体に通報する。
5-8-3	原子力防災指針	原子力施設の事故により、放射性物質または放射線の異常な放出あるいはその恐れがある場合、防護対策の実効性も考慮し、屋内退避および避難等に関する指標が定められている。
5-8-4	緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）	緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI：スピーディ）は、原子力施設から大量の放射性物質が放出された場合や、そのおそれがあるという緊急事態に、周辺環境における放射性物質の大気中濃度、および被ばく線量等の環境影響を、放出源情報、気象条件および地形データをもとに迅速に予測するシステムである。
5-8-5	原子力損害賠償制度	原子力発電所の事故で損害が生じた場合には、原則として原子力事業者がその全ての責任を負うことになっており、原子力事業者は法律に基づき保険会社と損害賠償契約を結んでいる。賠償責任の額が賠償措置額を超え、かつ、原賠法（原子力損害の賠償に関する法律）の目的を達成するために必要があると認めるときには、国会の議決により国の援助が行われる。

第6章 放射線

〈放射能・放射線〉

図 番	図 名	内 容
6-1-1	放射能と放射線	放射能は放射線を出す能力のことをいう。放射線を出す能力をもった物質のことを「放射性物質」という。懐中電灯にたとえると懐中電灯＝放射性物質、懐中電灯から出る光＝放射線、懐中電灯の光の強さ＝放射能の強さとなる。
6-1-2	放射線に関する単位	放射能の強さ（ベクレル）や、放射線を受けた人体への影響（シーベルト）など、調べる目的に合わせて使われる単位にはいくつかの種類がある。また、その放射線・放射能を測る測定器も目的にあわせて種類がある。
6-1-3	電磁波の仲間	電磁波には、テレビやラジオの放送に使われる電波や紫外線、赤外線等も含まれる。レントゲン撮影に使われるエックス線や放射線も電磁波の仲間である。 なお、電波は、エックス線などと比較すると周波数がきわめて低くエネルギーも小さいため、非電離放射線（物質の原子を電離させることができない電磁波）の仲間になる。
6-1-4	放射線の性質	放射線には、電離作用、蛍光作用、透過作用があり、各特性は医療や工業、農業等のさまざまな分野で応用されている。 電離作用は、放射線が物質を通過する時、もっているエネルギーを原子や分子に与え、電子をはじき出す働きである。蛍光作用は、紫外線や放射線などが物質にあたった時、その物質から光を出させる働きのことである。透過作用は、放射線が物質を通り抜ける作用のことである。
6-1-5	放射線の種類	原子核には、不安定で自然に放射線を放出して別の原子核に変わっていくものがある。原子核が壊れる現象を壊変（崩壊）という。放射線は、原子核が壊れる時に放出される高速の粒子と高いエネルギーをもった電磁波のことである。 原子核の壊変には、アルファ壊変（崩壊）、ベータ壊変（崩壊）がある。アルファ線やベータ線を放出した原子核の多くは、不安定な状態（励起状態）になるが、それらが安定な状態になる時にガンマ線が放出される。
6-1-6	放射線の種類と透過力	放射線は物体を通り抜ける性質（透過）がある。しかし、物体の材質やその厚さによって放射線は通り抜けることができない。 放射線の種類は α （アルファ）線、 β （ベータ）線、 γ （ガンマ）線、X（エックス）線、中性子線に分けられ、各々物質を透過する能力が異なるため放射線の種類にあわせた物質を用いることにより放射線をさえぎること（遮へい）ができる。
6-1-7	放射能の減り方	放射能（放射線を出す能力）は、時間の経過とともに減っていくという大きな特徴がある。放射能の量が半分に減るまでの時間を半減期といい、放射性物質によって異なる。

〈日常生活と放射線〉

図 番	図 名	内 容
6-2-1	日常生活と放射線	私たちは日常生活を送る上で自然界から受ける自然放射線（世界の年間平均2.4ミリシーベルト）以外に、身近な例としてレントゲン写真やCTスキャンなど人工的に作り出した放射線を受ける場合がある。
6-2-2	自然放射線から受ける線量	自然放射線は、宇宙から地球に降り注いだり、地球上の岩石・食物などから出ており、人類は誕生以来、常に自然放射線を受けている。 なお、自然放射線には、宇宙、大地等の体外（外部）から受ける放射線と食物摂取や空気中のラドン等の吸入によって体内（内部）から受ける放射線がある。
6-2-3	自然放射線レベルの違い	自然放射線のレベルは場所により異なる。例えば、海上では、海水自体に放射性物質が少なく海底からの放射線が海水によって遮られるため、放射線レベルは低い。高度11,000mの上空では、宇宙線が空気に遮られないことから、高度が上がるほど宇宙線量が高くなる。地下街では宇宙線は遮られるが、地下街の周辺環境からの放射線により高くなる。
6-2-4	体内、食物中の自然放射性物質	大地や海水中に含まれる放射性物質は、野菜や魚などに吸収され、食べ物を通して体内に取り込まれる。人間はだれでも体内に数種類の放射性物質をもっているが、代表的なものはカリウム40である。このように食物摂取により体内に取り込まれた放射性物質からの放射線の量は、1年間に約0.3ミリシーベルト程度になる。
6-2-5	放射線のいろいろな利用	放射線はガン等の病気の治療（放射線治療）や、病気を見つけるためのレントゲン写真・CTスキャンなどの医療分野で利用されている。 また、自動車のゴムタイヤを硬くする、プラスチックの容器を熱に耐えられるようにする、テニスラケットのガットをボールがよく飛ぶように弾力を強くするなどの工業分野、その他農業分野でも広く利用されている。 放射線の利用には被ばくによるリスクを考え、必ずメリットが上回るような配慮が必要となる。

〈放射線の人体への影響〉

図 番	図 名	内 容
6-3-1	放射線防護の基本	放射線防護の3原則は、遮へい・距離・時間という3つである。「遮へい」の原則は、放射線源と作業者の間に遮へい物を設置することにより被ばく線量を低減すること、「距離」の原則は、放射線源と作業者との距離を離すことにより、作業時における空間線量率を低減することである。「時間」の原則は、作業者が放射線を受ける時間を短縮することである。

図 番	図 名	内 容
6-3-2	放射線の人体への影響	放射線の人体への影響は、放射線を受けた（被ばくした）本人に影響が出る「身体的影響」と、放射線を受けた人の子供や孫に影響が現れる「遺伝性影響」とに分けられる。 前者には、放射線を受けて数週間以内に症状が出る「急性障害」と、数カ月から数年後になって症状が出てくる「晩発障害」に分けられる。 一方、放射線の人体への影響は、しきい値のある「確定的影響」としきい値はないと仮定する「確率的影響」に分類することもできる。
6-3-3	放射線を一度に受けたときの症状	放射線を受けると、細胞内の染色体内にあるDNAが損傷を受けるが、人体は損傷を修復する機能を備えているので、放射線量が少ない場合は、ほとんど影響がない。しかし、一度に受けた放射線量が多い場合は修復が間に合わず、変化する細胞も多く障害が現れるため、最悪の場合には死亡してしまう。なお、100ミリシーベルト以下の放射線を一度に全身に受けても、身体への影響は確認されていない。
6-3-4	放射線を受けたときの人体への影響	人体が一度に大量の放射線を受けた場合には、受けた線量の大きさによりさまざまな影響が出る。どのくらいの放射線量を受けるとどのような症状が現れるのかは分かっている。
6-3-5	放射線防護の考え方	放射線の人体への影響のあり方には「確定的影響」と「確率的影響」がある。 確定的影響は、「一定量の放射線を受けると影響が現れる」現象をいい、受けた放射線の量が多くなるほど、その影響度（障害）も大きくなる。 確定的影響は、数多くの細胞が放射線によって傷ついたときに生じ、毛が抜けたり、白内障になったりという障害が発生するが、放射線を受ける量を一定量（しきい値）以下に抑えることで防ぐことができる。 一方、確率的影響は、一定量の放射線を受けたとしても必ずしも影響が現れるわけではなく「放射線を受ける量が多くなるほど影響が現れる確率が高まる」現象をいう。 確率的影響は、しきい値がないと仮定する影響のことでガンや白血病があるが、放射線の量が多くなったからといって、症状が重くなるわけではない。 放射線防護においては、しきい値のある確定的影響はそれ以下で、しきい値はないと仮定する確率的影響は容認できる安全なレベル以下で線量を管理することとしている。
6-3-6	被ばくと汚染の違い	私たちが放射線を受ける経路には、外部被ばくと内部被ばくがある。外部被ばくとは、人体の外部にある放射性物質から放射線を受ける被ばく。内部被ばくとは、放射性物質が吸入、経口、創傷を介して体内に取り込まれることにより受ける被ばく。同じ1ミリシーベルトであれば両者の人体に与える影響は同様になる。 汚染とは、放射性物質が皮膚や衣類に付着した状態を指す。付着した放射性物質から出る放射線は、人体の表面または体内で拡散することはないが、放射性物質で汚染された場合は、放射性物質が除去されるまで放射線の影響を受け続ける。

図 番	図 名	内 容
6-3-7	グレイとシーベルトの関係	グレイ (Gy) は、放射線から物や人が単位質量あたりに受けるエネルギー量で定義される「物理量」である。シーベルト (Sv) は、放射線が人間に当たったとき、どのような影響を及ぼすのかを評価するための単位で、放射線防護の指標である。シーベルトの値は、グレイの値に人体が受けた放射線の種類（放射線荷重係数）や、放射線を受けた人体の部位（臓器・組織の別）の放射線に対する感受性（組織荷重係数）の重み付けをして算出する。
6-3-8	内部被ばく線量（預託線量）への換算方法	体内に取り込まれた放射性物質から内部被ばく量を算出する場合、実効線量係数を用いる。実効線量係数とは、体内に取り込んだ放射性物質の量と組織や臓器が受ける線量の大きさとの関係をあらかじめ求めておくことにより、放射性物質の量に対応した被ばく線量を計算するための係数である。
6-3-9	内部被ばくの評価（預託線量の概念図）	放射性物質を体内に取り込んだ後に、内部被ばくを与え続ける放射線の実効線量を、一定期間にわたって積算した値を預託実効線量という。一定期間としては、成人については50年間、子どもについては取り込み時から70歳までの期間が採用されている。なお、体内に取り込まれた放射性物質は、時間が経つにつれて放射能が減衰するとともに、代謝機能により体内から徐々に排せつされる。
6-3-10	食品基準値の国際比較	日本の食品基準値（放射性セシウム）は、食品の安全と安心を確保する観点から、年間線量1ミリシーベルト以内になるよう設定されている。 なお、日本の食品基準値はヨーロッパやアメリカの基準値よりも厳しい値に設定されている。
6-3-11	放射線防護における線量の基準の考え方	ICRP（国際放射線防護委員会）は、緊急時の被ばく状況において、放射性物質により汚染された食品の摂取制限等に伴う健康リスクと被ばくによるリスクを考慮して、放射線防護の基準値を年間20～100ミリシーベルトとしている。 福島第一原子力発電所事故では、緊急時の状況における基準で最も低い値である年間20ミリシーベルトを採用している。事故収束後の復旧期では、汚染による被ばく基準で最低の年間1ミリシーベルト以下まで戻すことを目標に、様々な方策で「合理的に達成可能なできる限り低い」被ばく線量を目指している。
6-3-12	放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク	広島県と長崎県で続けられている被ばく者の追跡調査と、生活習慣によってがんになるリスクについて、研究の結果、一般公衆の年線量限度の100倍にあたる100ミリシーベルトを被ばくした場合のがん発症率は、通常の1.08倍に増加し、野菜不足とほぼ同様であった。

〈発電所の放射線管理〉

図 番	図 名	内 容
6-4-1	放射線業務従事者が受けている放射線量	放射線業務従事者が受けている放射線量は、法令限度値（5年間で100ミリシーベルト。ただし1年間で50ミリシーベルトを超えない）を大きく下回っており、近年は1ミリシーベルト程度で推移している。ただし、2010年度および2011年度の実績値に福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所の従事者の線量は事業者で評価中であるため除外されている。
6-4-2	原子力発電所の区域区分	原子力施設では施設エリアを目的別に大きく3つに区域区分している。 「管理区域」は原子力施設において放射線、放射性物質による放射線障害を防止するため人の出入りを制限している区域、「保全区域」は放射線の管理は必要としないが施設の保全を必要とする場所で管理区域以外の区域、「周辺監視区域」は原子力施設に起因する一般公衆の被ばく線量を法令に定める値を超えないよう一般の方々の不要な立ち入りを制限する区域である。
6-4-3	放射線業務従事者の放射線管理	管理区域内で働く放射線業務従事者に対しては、所定の手順に従った厳しい放射線管理が行われている。 放射線業務に従事する前に、健康診断、放射線防護教育、被ばく歴検査などが行われ、発電所管理区域への入退域は、管理区域の出入り口に隣接した建屋で行い、防護装備や個人線量計の着脱、身体表面や持ち出し物品の汚染検査等が行われる。 なお、外部被ばく管理については、個人毎に警報付き個人線量計を装着して作業中の放射線量を測定、内部被ばく管理については、定期的にホールボディカウンター（WBC）を用いた測定・評価を実施し管理している。
6-4-4	線量限度について	一般公衆、放射線業務従事者の線量限度は、ICRP(国際放射線防護委員会)の勧告を踏まえ法律により定められている。
6-4-5	放射性物質の環境における移行	原子力施設から放出された気体と液体の放射性物質は、環境中を拡散しながら移動し、その一部が土壌・河川・湖沼・海洋に移行する。そのため、放射性物質を含む水道水や農作物を飲食したり、放射性物質を取り込んだ畜産物・水産物・海産物などを食べたりすることで、放射性物質は私たちの体内に取り込まれる。
6-4-6	原子力施設周辺の環境放射線モニタリング	原子力施設周辺の放射線を定期的に、または連続的に測定監視することを環境放射線モニタリングという。 環境放射線モニタリングでは、原子力施設周辺の空間放射線量率の測定（モニタリングポスト、モニタリングステーション、モニタリングカー）や環境試料（陸上、海洋）の採取・測定を行い、放射線・放射能による周辺環境への影響がないことを確認している。
6-4-7	環境放射線モニタリング（例）	事業者や地元自治体は原子力施設周辺の空間放射線量率を監視するため、敷地周辺にモニタリングポスト、モニタリングステーション、積算線量計を設置している。さらに、敷地周辺の土壌、農畜産物、河川、海水、水産物等の環境試料などを定期的に採取して、その中に含まれる放射能の測定を行っている。これらの測定結果は定期的に各自治体のホームページなどで公表されている。

〈放射線の測定〉

図 番	図 名	内 容
6-5-1	放射線計測器の測定原理	放射線の測定には、放射線のもつ電離作用、蛍光作用、透過作用等の特性が利用されている。 電離作用を活用したものが電離箱である。これは、電極の間の気体を放射線が通過すると多数の自由電子が電離し電流が流れるので、この電流信号から放射線量等を測定する仕組みになっている。GM計数管（ガイガー・ミュラーカウンタ）も、放射線の電離作用を利用しており、GM管に高電圧を掛けて放射線の数測定する。 シンチレーション式の測定器は、放射線の蛍光作用を活用したもので、ガンマ線のエネルギーや線量を測定するNaI（ヨウ化ナトリウム）やCsI（ヨウ化セシウム）の結晶を用いた測定器である。
6-5-2	放射線測定の分類	放射線の測定器は、①表面汚染の測定（放射性物質の有無を調べる）、②空間放射線量の測定、③個人被ばく線量の測定、を目的とした3つに分類される。測定する放射線の種類によっても使用する測定器は異なる。
6-5-3	表面汚染の測定	スクリーニング検査（汚染検査）は、衣服や身体表面（露出している部分）における外部汚染の判定と、放射性ヨウ素等の吸入による内部汚染（内部被ばく）の評価のために行われる。ベータ線の測定器には、GM計数管（ガイガー・ミュラーカウンタ）が用いられる。
6-5-4	空間放射線量の測定	原子力発電所等の周辺において空間放射線量を連続的に監視、測定するために設置される装置をモニタリングポストという。主に、ガンマ線の測定を目的とするため、「シンチレーション式検出器」や「電離箱式検出器」が用いられる。 携帯用の放射線測定器には、ガンマ線を測定するシンチレーション式サーベイメータや電離箱式のサーベイメータ、中性子線を測定するサーベイメータがあり、測定する放射線の種類により異なる。
6-5-5	個人被ばく線量の測定	外部被ばくの測定には、フィルムバッジ、熱ルミネッセンス線量計、蛍光ガラス線量計、電子式線量計等の個人線量計を用いる。 内部被ばくの測定は、体外計測法（直接法）またはバイオアッセイ法（間接法）で行う。前者は、体内から体外に透過してきたガンマ線やエックス線を測定して、体内摂取量を評価する。後者は、便や尿等の生体試料に含まれる放射性物質の量を測定し、体内摂取量を評価する。後者は主に、アルファ線やベータ線を出す放射性物質の場合に有効である。
6-5-6	食物等に含まれる放射能の測定	ゲルマニウム半導体検出器を用いれば、環境試料中の極微量の放射能測定が可能である。 手順は、まず、放射能を測定する食品等を測定しやすいよう前処理（解体、炭化、灰化、濃縮等）を行う。その後試料を周囲の放射線を遮へいするため鉛容器におさめられた検出器の上に直接乗せて測定。 検出器で感知された放射線エネルギー等の情報は、波高分析装置に送られ、放射能の種類と濃度が解析される。

第7章 原子燃料サイクル

〈ウランの特徴〉

図 番	図 名	内 容
7-1-1	原子の構造	原子は一つの原子核と複数の電子により構成される。原子核は陽子と中性子で構成され、通常、原子はプラスの電荷をもつ陽子とマイナスの電荷をもつ電子が同数存在し、原子全体として電荷をもたない安定な状態を保つ。なお、同じ原子でも原子核に含まれる中性子の数が異なるものがあり、これを同位体と呼ぶ。
7-1-2	ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂	ウラン235は、中性子を吸収し核分裂することによって熱エネルギーを出す。ウラン238は、核分裂を起こしにくい、中性子を吸収することによって核分裂するプルトニウム239に変わる。
7-1-3	軽水炉内でのウラン燃料の燃焼による変化	軽水炉では、ウラン235だけでなく高速中性子によりウラン238も核分裂する。また、ウラン238が中性子を吸収することによってプルトニウム239が生成されるが、出力（発電量）の約30～40％はプルトニウムの核分裂によるものとなっている。このプルトニウムは使用済燃料から取り出して再利用（リサイクル）することができる。
7-1-4	ウラン資源のリサイクル利用（資源の有効活用）	使用済燃料の再処理で回収されたウラン、プルトニウムは準国産エネルギー資源であり、日本ではウラン資源の有効利用の観点から再処理を行うこととしている。青森県六ヶ所村に建設中の再処理工場で回収したウラン、プルトニウムを軽水炉で利用すれば年間700億kWhの電力量に相当する。

〈原子燃料サイクル〉

図 番	図 名	内 容
7-2-1	原子燃料サイクル	使用済燃料の中には、燃え残りのウランや新たに生まれたプルトニウムが含まれており、これらを回収して再び燃料として使えることが原子力発電の特長の一つである。
7-2-2	原子燃料サイクル（FBRを含む）	高速増殖炉は、発電しながら消費した以上の燃料を生み出すことのできる原子炉である。その実用化までの間、軽水炉によるプルトニウム利用（プルサーマル）等でウラン資源の有効利用が図られる。
7-2-3	加工・再処理・廃棄・中間貯蔵施設位置図	日本の燃料加工施設、再処理施設、廃棄施設等は、三菱原子燃料（株）や（独）日本原子力研究開発機構、日本原燃（株）等が設置している。
7-2-4	試験研究用および研究開発段階にある原子炉施設位置図	試験研究用および研究開発段階の原子炉施設には、（独）日本原子力研究開発機構の他に大学、民間の施設がある。民間や大学の研究炉は廃止されるものが増えてきている。
7-2-5	原子燃料サイクル施設の概要	青森県六ヶ所村には原子燃料サイクル施設として、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター、ウラン濃縮工場、低レベル放射性廃棄物埋設センターの3施設がある。2013年に再処理工場が、2016年にMOX燃料工場のしゅん工が予定されている。
7-2-6	原子燃料サイクル施設の位置	原子燃料サイクル施設は、国家規模のエネルギー事業の施設が集約する「むつ小川原開発地区」に、国家石油備蓄基地とともに位置する。

〈ウラン転換・濃縮・加工〉

図 番	図 名	内 容
7-3-1	世界のウラン転換工場	ウラン転換工場は、イエローケーキ等から濃縮原料の六フッ化ウラン (UF_6) を製造する工場であり、大規模なものはロシア、アメリカ、フランス、カナダ等にある。
7-3-2	遠心分離法のしくみ	ウラン濃縮に用いられる方法の一種で、遠心分離機を使ってウラン235の濃縮度を上げる方法を遠心分離法という。 気体状態の六フッ化ウラン (UF_6) を、高速回転中の遠心分離機に入れると、遠心力により重いウラン238が外側に、軽いウラン235が内側に分離される。 ガス拡散法に比べ消費電力が少なく、比較的小規模の工場でも経済性が得られる等利点が多い。
7-3-3	世界のウラン濃縮工場	アメリカやフランスはガス拡散法で濃縮しているが、イギリス、オランダ、ドイツ、ロシア、中国、日本、パキスタンは遠心分離法を採用している。
7-3-4	世界のウラン再転換工場	ウラン再転換工場は、六フッ化ウラン (UF_6) から二酸化ウラン (UO_2) を製造する工場であり、カナダ等到大規模なものがある。日本では唯一、三菱原子燃料 (株) の工場が茨城県東海村にある。
7-3-5	ウラン燃料加工工程	ウラン燃料加工工場では、二酸化ウラン (UO_2) の粉末を小さな円柱状のペレットに焼き固め、それを細長い被覆管に詰めて燃料棒をつくる。これを束ねて原子力発電所で使う燃料集合体としている。
7-3-6	世界のウラン燃料加工工場 (軽水炉燃料)	日本の原子力発電所で用いられるウラン燃料は、国内の燃料加工工場で製造されている。

〈再処理〉

図 番	図 名	内 容
7-4-1	再処理の工程	使用済燃料は放射能を弱めるため、貯蔵プールに冷却・貯蔵される。その後、十分に放射能が弱まった後、約3～4cmの長さに細かくせん断し、燃料の部分の硝酸で溶かし、ウラン、プルトニウム、核分裂生成物に分離する。ウラン溶液とプルトニウム溶液は、精製、脱硝してウラン酸化物とウラン・プルトニウム混合酸化物になる。核分裂生成物を含む廃液は、強い放射能を帯びているため、ガラス原料と混ぜ合わせガラス固化体にされる。
7-4-2	世界の再処理工場	日本は、これまでイギリスとフランスに再処理を委託してきたが、国内再処理を行うため青森県六ヶ所村に年間800トンの処理能力をもつ再処理工場を建設しており、しゅん工予定を2013年としている。

〈プルトニウム利用〉

図 番	図 名	内 容
7-5-1	プルサーマルのしくみ	原子力発電所で使い終わった燃料（使用済燃料）を再処理して取り出した少量のプルトニウムと、ウランを混ぜてMOX燃料を作り、現在の原子炉（軽水炉）で再利用することをプルサーマルという。プルサーマルは資源の有効利用、エネルギーの安定供給、余剰プルトニウムをもたないという国際公約遵守の観点から有効である。
7-5-2	MOX燃料	ウランとプルトニウムの酸化物（粉末）を混合して作ったMOX燃料は、軽水炉のプルサーマル計画や高速増殖炉等の燃料として利用される。
7-5-3	燃料物性へのプルトニウムの影響	プルトニウムとウランは化学的な特徴は似ているが、融点や熱伝導度が異なっているため、プルトニウムの混合割合が増えるにしたがって、MOX燃料の融点が低下し、また熱伝導度が低下するため、MOX燃料の温度が上昇する傾向となる。 しかし、実際にプルサーマルで使用するMOX燃料の混合量では、いずれの変化も小さく、実際のMOX燃料の温度は融点に対して十分な余裕を持っている。
7-5-4	燃料核特性へのプルトニウムの影響	プルトニウムはウランに比べて中性子を吸収しやすいため、制御棒の効きの低下、燃料出力を上昇させる傾向がある。 しかし、制御棒の核分裂停止機能は、燃料の設計や原子炉の中での配置を工夫することによってウラン燃料のみの場合と同じように十分な安全余裕を持った炉心を設計することができる。 なお、MOX燃料の安全性については、原子力安全委員会が1995年6月に安全審査の指標をまとめている。これによると、MOX燃料が炉心の3分の1までであれば、現在運転している原子力発電所におけるMOX燃料の特性や挙動はウラン燃料と大きな差はないとされている。
7-5-5	世界のMOX燃料加工施設	ヨーロッパではウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料が広く利用されており、フランスやベルギー等に工場がある。日本では、日本原燃（株）が青森県六ヶ所村で2016年しゅん工に向け準備を進めている。
7-5-6	世界の軽水炉におけるMOX燃料の使用実績	海外におけるプルサーマルの導入は早く、フランス、ドイツ、スイス、ベルギー等では40年以上にわたり6,350体のMOX燃料使用実績がある。日本では、軽水炉以外に新型転換炉「ふげん（2003年3月運転終了）」で772体のMOX燃料を安全に使用した実績がある。

〈高速増殖炉〉

図 番	図 名	内 容
7-6-1	高速増殖炉（FBR）のしくみ	高速増殖炉は、発電しながら消費した以上の燃料を生み出すことのできる原子炉である。「もんじゅ」の場合、消費した燃料の約1.2倍の燃料（プルトニウム）を新たに作るができる。
7-6-2	原子炉の比較	高速増殖炉と軽水炉の主な相違点には、分裂に寄与する中性子（高速・熱）、燃料（プルトニウム・ウラン）、冷却材（ナトリウム・水）および転換比がある。高速増殖炉では、高速中性子で核分裂を起こさせるとともに、冷却材にナトリウムを用いて高い発電効率を得ることができる。（発電効率は軽水炉で約34.5%、もんじゅで約39%）

〈使用済燃料の貯蔵〉

図 番	図 名	内 容
7-7-1	各原子力発電所の使用済燃料の貯蔵量	原子力発電所の使用済燃料は、各施設で貯蔵されている。 使用済燃料の貯蔵については、発生状況に応じて必要な対策（リラッキング、サイト内貯蔵、号機間移送など）を行っている。
7-7-2	使用済燃料の中間貯蔵方式（例）	使用済燃料を貯蔵する方式には、プール水の中に貯蔵する方式（湿式）と金属キャスクに入れて貯蔵する方式（乾式）の2種類がある。
7-7-3	使用済燃料の中間貯蔵施設	中間貯蔵施設は、原子力発電所から出る使用済燃料を再処理するまでの間、頑丈な鋼鉄製の容器（キャスク）に入れて、安全に貯蔵・保管する施設である。 使用済燃料を中間貯蔵することは、再処理するまでの間の時間的な調整を行うことを可能にするため、原子燃料サイクル全体の運営に柔軟性を持たせる手段として有効である。

〈原子燃料の輸送〉

図 番	図 名	内 容
7-8-1	原子燃料の輸送に係わる安全規制の流れ	原子燃料は国の審査を受けた輸送容器に収容され、何重ものチェックを受け輸送される。
7-8-2	輸送容器の安全性	輸送容器は、国が定めた技術基準に基づく各種試験を行い、安全を確認している。
7-8-3	放射性輸送物の分類	核燃料物質または核燃料物質により汚染されたもの（核燃料物質等）が収容された容器を核燃料輸送物という。収納される放射エネルギー等により、L型輸送物、A型輸送物、B型輸送物等に区分されるが、放射性物質の放射能が一定量を超えないもの（低比放射性物質）および核燃料物質によって表面が汚染されたもの（表面汚染物）を収納する輸送物は、IP型輸送物と呼ばれる。また、臨界安全性の確保が必要な輸送物は核分裂性輸送物として扱われる。
7-8-4	放射性輸送物の具体例	放射性同位元素等を事業所外で運搬する場合には、放射性輸送物として運搬しなければならない。放射性輸送物は、収納する放射エネルギー等により、L型、A型、B型、IP型に分類される。
7-8-5	使用済燃料輸送容器（キャスク）	使用済燃料の輸送には専用の容器（キャスク）を用いる。使用済燃料は強い放射能をもっているため、輸送容器は放射線を遮へいする能力を備え、衝突、火災等が発生しても放射性物質が漏れ出ないように頑丈につくられている。
7-8-6	使用済燃料専用輸送船の特徴	使用済燃料を海上輸送する場合、安全性の高い専用船が使用される。この専用船は二重船殻構造や耐衝突構造を採用しており、万一の衝突・座礁でも沈みにくい設計がされている。

第8章 放射性廃棄物

〈放射性廃棄物〉

図 番	図 名	内 容
8-1-1	廃棄物の区分	廃棄物は、一般家庭や工場等から出る非放射性廃棄物と原子力関連施設から出る放射性廃棄物に分類される。放射性廃棄物は、含まれる放射能レベルや性状によって細かく区分され、各区分ごとに適切な処理・処分が行われる。
8-1-2	日本で発生する廃棄物の量	日本で発生する一般廃棄物や産業廃棄物に比べ、放射性廃棄物は1日あたりの発生量が圧倒的に少ない。
8-1-3	原子力発電所の廃棄物処理方法	原子力発電所で発生する廃棄物は、気体・液体・固体に大別され、それぞれ適切な方法で処理・処分されている。
8-1-4	放射性廃棄物の種類	放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物（使用済燃料からウラン・プルトニウムを回収した後に残る核分裂生成物）と、それ以外の低レベル放射性廃棄物に大別される。それぞれの廃棄物はその放射能レベルに応じた処分が行われる。
8-1-5	放射性廃棄物の種類と処分の概要	低レベル放射性廃棄物は埋設処分を基本とし、高レベル放射性廃棄物はガラス固化した後30～50年間冷却貯蔵を行い、その後300メートル以深の地下に処分（地層処分）する計画である。
8-1-6	クリアランス制度	放射能濃度が十分に低く「放射性物質として扱う必要のないもの」を区分するレベルで、国の認可、確認を経て、産業廃棄物として再利用、または処分することとする制度である。

〈低レベル放射性廃棄物〉

図 番	図 名	内 容
8-2-1	低レベル放射性廃棄物埋設設備の構造と覆土	ドラム缶に入れられた低レベル放射性廃棄物は、埋設設備の何重もの障壁でしっかり閉じ込められ、十分な管理がなされる。
8-2-2	低レベル放射性廃棄物埋設後の段階管理	低レベル放射性廃棄物は、放射能が時間とともに減衰していく性質を考慮して、人工バリアや天然バリアを組み合わせた埋設が行われる。それとともに、十分な安全監視や段階的な管理が行われる。

〈低レベル放射性廃棄物〉

図 番	図 名	内 容
8-3-1	ガラス固化体ができるまで	高レベル放射性廃棄物（廃液）は、ガラス原料とともに高温で融かし合わせ、ステンレス鋼製容器（キャニスター）の中で固化し、ガラス固化体という安定した状態で貯蔵される。
8-3-2	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体） 輸送容器	高レベル放射性廃棄物の輸送には、専用の容器（キャスク）を用いる。この輸送容器は、放射線を遮へいする能力を備え、輸送中に事故（衝突、火災、沈没等）が発生しても放射性物質が漏れ出ないよう国が定めた基準に基づいて頑丈につくられている。
8-3-3	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体） 輸送船	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）輸送船には、①二重船殻構造、②広範な消火設備、③レーダーの設置等の特徴がある。
8-3-4	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の 貯蔵概念図	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）貯蔵庫には収納管があり、収納管1本あたり9本のガラス固化体を縦積みで収納する。冷却は間接自然空冷方式で行われ、冷却用空気はガラス固化体に直接接触しないよう収納管の外側を通る構造となっている。
8-3-5	高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体） 返還・受入実績	電力各社は、イギリス、フランスの再処理工場に使用済燃料の再処理を委託しており、回収されたウランやプルトニウムとともに放射性廃棄物も返還される。この放射性廃棄物のうち、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）は、青森県六ヶ所村の高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに運ばれ、冷却のため一時貯蔵される。
8-3-6	高レベル放射性廃棄物多重バリアシステム	高レベル放射性廃棄物は、将来のいかなる時点においても人間環境に影響を及ぼさないように、適切な条件をもつ地層に多重バリアシステムを構築して埋設される。
8-3-7	高レベル放射性廃棄物の地層処分の概念図	高レベル放射性廃棄物は、300メートル以深の地下に埋設（地層処分）され、最終的には処分トンネルそのものを埋め戻して完全に密閉する。
8-3-8	高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰	放射能は時間とともに減衰していく性質があるが、高レベル放射性廃棄物については、放射能がウラン鉱石と同程度の強さに減衰するまでに数万年を要する。
8-3-9	高レベル放射性廃棄物の処理・処分の 取組み体制	平成12年5月に制定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（最終処分法）」により、高レベル放射性廃棄物処分の基本方針、計画、費用の拠出制度、処分実施主体（原子力発電環境整備機構）の設立等、最終処分事業の枠組みが定められた。
8-3-10	高レベル放射性廃棄物処分地の 選定プロセス	高レベル放射性廃棄物の処分地選定は3段階のプロセス（①概要調査地区の選定→②精密調査地区の選定→③最終処分施設建設地の選定）を経て行われる。各段階における調査やその評価に関する事項は、法令において規定される。
8-3-11	世界の高レベル放射性廃棄物処分計画	高レベル放射性廃棄物は、諸外国においても地層処分が検討されており、深い地層中における地下水の動きや岩盤等についての研究が行われている。

第9章 その他

〈原子力発電所の廃止〉

図 番	図 名	内 容
9-1-1	原子力発電所の廃止措置プロセス	運転を終えた原子力発電所は、廃止措置計画の認可をもって廃止措置が開始される。わが国では「安全貯蔵―解体撤去」方式が標準的な工程として採用されている。これは、「洗う」「待つ」「解体する」の3つのプロセスで、安全性と効率性を実現する廃止措置である。
9-1-2	廃止措置に伴って発生する廃棄物の量と種類	廃止措置で発生する廃棄物の総量は、110万kW級の沸騰水型原子炉（BWR）の場合、約53.6万トンと試算される。このうち、「放射性廃棄物でない廃棄物」は全体の約93%、「放射性廃棄物として扱う必要のない物（クリアランス物）」は約5%であるため、約98%（約52.3万トン）は、一般の産業廃棄物と同様に扱うことができる。 一方、「低レベル放射性廃棄物」の発生量は、全体の約2%（約1.3万トン）と試算されている。

〈核不拡散〉

図 番	図 名	内 容
9-2-1	原子力の平和利用と核物質防護	原子力の平和利用を進めていくためには、核不拡散、安全性、社会の受け入れ（社会的受容）が重要となる。各国が核軍縮に努力するとともに、核物質を平和目的のためだけに利用するよう、国際的な約束がなされている。その中で最も重要なものとして、保障措置と核物質防護がある。
9-2-2	日本における保障措置実施体制	日本の原子力施設は、核物質の平和利用をより確実なものとするため、国による国内査察を受けるとともに核不拡散条約（NPT）に基づく国際原子力機関（IAEA）の国際査察を受け入れている。
9-2-3	NPT締約国とIAEA保障措置協定締結国	国際的な核軍縮・不拡散を目的とした核拡散防止条約（NPT）締結国は、190か国になっている。日本は1970年に署名している。

〈電源開発の制度〉

図 番	図 名	内 容
9-3-1	電源三法制度	①電源開発促進税法、②特別会計に関する法律（旧電源開発促進対策特別会計法）、③発電用施設周辺地域整備法を合わせて電源三法という。これは、原子力、火力、水力発電施設の周辺地域で、公共用施設や産業振興に寄与する施設を整備し、住みよい町づくりの基盤整備を行うためのものである。

〈その他〉

図 番	図 名	内 容
9-4-1	取水方式の概要	各発電所では、立地予定地点の環境や地形等の条件により取水方式が異なるが、低水温で安定的、かつ清浄である等の水質条件や、温排水の再循環を防止するため、できるだけ深層から取水することが多い。しかし、特に深層から取水する必要がない場合等は、表層取水方式が採用されることがある。
9-4-2	放水方式の概要	放水方式は大きく表層放水と水中放水の2通りに区別される。いずれの方式を採用するかは立地地点の地形や港湾、漁港等の利用状況を考慮し、船舶に対する流動変化の影響や、漁業に対する温排水の影響等が小さくなるように放水口の配置や方式が選定される。
9-4-3	発電所温水利用養魚事業所一覧表 (原子力発電関係)	温排水の利用で最も進んでいるのは、漁業への利用である。温排水を養殖池に導き、そこで魚介類の種苗育成、または成魚の養殖が行われている。
9-4-4	核燃料税率の推移	核燃料税は法令外普通税として、道県が条例を公布して施行する（総務大臣に協議し、その同意を得ることが必要）もので、発電用原子炉に装荷された原子燃料の価額等を課税標準とし、その電力会社に課せられるものである。
9-4-5	核融合と核分裂	将来期待できる大規模なエネルギー源として核融合がある。これはウランなど質量数の大きな物質の核分裂とは異なり、トリチウムやヘリウム等の質量数が小さい物質の原子核を融合させ、その際に生じるエネルギーを利用するものである。
9-4-6	1kWhあたりの発電コスト	石炭火力やLNG火力のコストは、CO ₂ 対策費用や燃料費上昇を加味するとコスト高になる。 また、風力、太陽光は、系統安定化などの課題がありコスト高になる。 原子力発電の発電コストは、燃料費の割合が小さいため、燃料価格に左右されにくい特徴があるが、そのリスクを踏まえると社会的な費用が存在する。
9-4-7	原子燃料サイクル費用	原子燃料サイクル費用について、3つのモデルの試算結果を比較すると、直接処分モデルは、再処理モデルに比べて、約1円/kWh程度安くなる。 現状モデルの単価は、2つのモデルの間に収まるが、割引率0%の場合は、現状モデルが中間貯蔵を追加実施する分、再処理モデルよりも高くなる。

第10章 東日本大震災による原子力発電所事故

〈東北地方太平洋沖地震〉

図 番	図 名	内 容
10-1-1	東北地方太平洋沖地震の概要	2011年3月11日14時46分、マグニチュード（M）9.0という巨大地震「東北地方太平洋沖地震」（東日本大震災）が発生。震源は牡鹿半島の東南東130キロメートル付近の三陸沖で、震源の深さは約24キロメートル。この地震に伴い、福島県や宮城県で非常に高い津波を観測した。
10-1-2	東北地方太平洋沖地震による津波の高さ	東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方北部の太平洋沿岸を中心に広い範囲で津波を観測した。気象庁による津波現地調査の結果、岩手県沿岸では、10mを超える津波が到達していたことが判明したほか、北海道から四国にいたる太平洋沿岸各地で数mの津波の痕跡が観測された。

〈事故状況〉

図 番	図 名	内 容
10-2-1	東日本大震災の影響を受けた原子力施設の現状	東日本大震災発生時、運転中であった東北電力（株）女川原子力発電所、東京電力（株）福島第二原子力発電所および日本原子力発電（株）東海第二発電所の全ての原子炉は自動停止し、冷却系統も正常に作動。そのため、地震発生から数日後には全ての原子炉が冷温停止となった。しかし、東京電力（株）福島第一原子力発電所は自動停止ができたものの、津波で全ての交流電源を喪失したため、原子炉や使用済燃料プールを冷却する機能が働かず、水素爆発により原子炉建屋の上部が損壊、放射性物質を外部に放出させる事態を引き起こした。
10-2-2	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では、地震を受けて全6号機のうち運転中の1～3号機の原子炉がすべて自動停止した。地震の影響で、同発電所ではすべての外部電源を喪失したが、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、必要な電源は確保された。 しかしその後、大津波の襲来により、多くの電源盤が被水・浸水するとともに、6号機を除いて非常用ディーゼル発電機が停止し、全交流電源を喪失した。結果として、1～3号機では原子炉や使用済燃料プールの冷却機能が停止した状態が一定時間継続したため、原子炉の燃料被覆管が損傷し、水蒸気との化学反応により水素が発生した。その後1号機と3号機では、格納容器から漏えいした水素が原因と考えられる爆発により原子炉建屋上部が破壊され、放射性物質を外部に放出する事態に至った。
10-2-3	福島第一原子力発電所に到達した津波の大きさと浸水状況	福島第一原子力発電所では、海底地形データなどを用いて津波高さを6.1mと評価していたが、東北地方太平洋沖地震に伴う津波はそれを大幅に超える約13mの高さの大津波であった。 大津波は主要建屋敷地まで遡上し（1～4号機側で+10m、5・6号機側で+13m）、浸水域は主要建屋敷地エリアの全域におよび、主要建屋内に浸水が認められた。このため福島第一原子力発電所の1～4号機では、すべての電源を喪失した。

〈安全対策〉

図 番	図 名	内 容
10-3-1	福島第一原子力発電所事故を踏まえた安全対策の概要	電力各社は、津波等によって全ての電源が失われた福島第一原子力発電所事故を教訓に、津波対策に重点を置いた原子力発電所の安全対策に着手している。 電力各社は、どのような場合でも「原子炉と使用済燃料ピットの継続的な冷却を行うことにより燃料の損傷を防止」するための緊急安全対策として、非常用電源車や消防車の追加配備の他、マニュアルの整備や訓練の実施等、ハード・ソフトの両面からの対策に努めている。 また、これら対策の効果を確実なものとするために、万一のシビアアクシデントの場面でも着実な作業が遂行できる措置（所内通信手段の増強、高線量対応防護服の配備等）を講じるとともに、「全交流電源の喪失」と「海水冷却機能の喪失」へ対処し、さらなる安全裕度を向上させるため、高台への恒設非常用電源の追設、防潮堤の建設や施設の水密化、仮設大容量海水ポンプの配備等といった中長期対策も進めている。
10-3-2	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	電力各社は、震災後、非常用電源車やホイールローダーの追加配備等の安全確保対策を徹底。 また、さらなる安全裕度を向上させるため、防潮堤、防潮壁の設置等といった中長期対策も進めている。
10-3-3	ストレステストの概要	国は、原子力発電所のさらなる安全性の向上と安全性についての国民・住民の方々の安心・信頼の確保のため、欧州諸国で導入されたストレステスト（緊急安全対策を含めた原子力発電所の安全性に関する総合評価）を参考に、新たな手続き、ルールに基づく安全評価を事業者に指示した。

〈その他〉

図 番	図 名	内 容
10-4-1	原子力損害賠償支援機構による賠償支援の概要	国は、東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故による原子力損害を受け、原子力事業者による相互扶助の観点から、将来にわたって原子力損害賠償の支払等に対応できる支援組織（機構）を中心とした仕組みを構築。 また、これまで原子力政策を推進してきたことに伴う社会的責務に鑑み、①被害者への迅速かつ適切な損害賠償のための万全の措置、②東京電力（株）福島第一原子力発電所の状態の安定化・事故処理に関係する事業者等への悪影響の回避、③電力の安定供給の3つを確保するため、「国民負担の極小化」を図ることを基本に、損害賠償支援のための万全の措置を検討している。

電 気 事 業 連 合 会

〒100-8118 東京都千代田区大手町1-3-2
TEL.03-5221-1440 <http://www.fepc.or.jp/>