

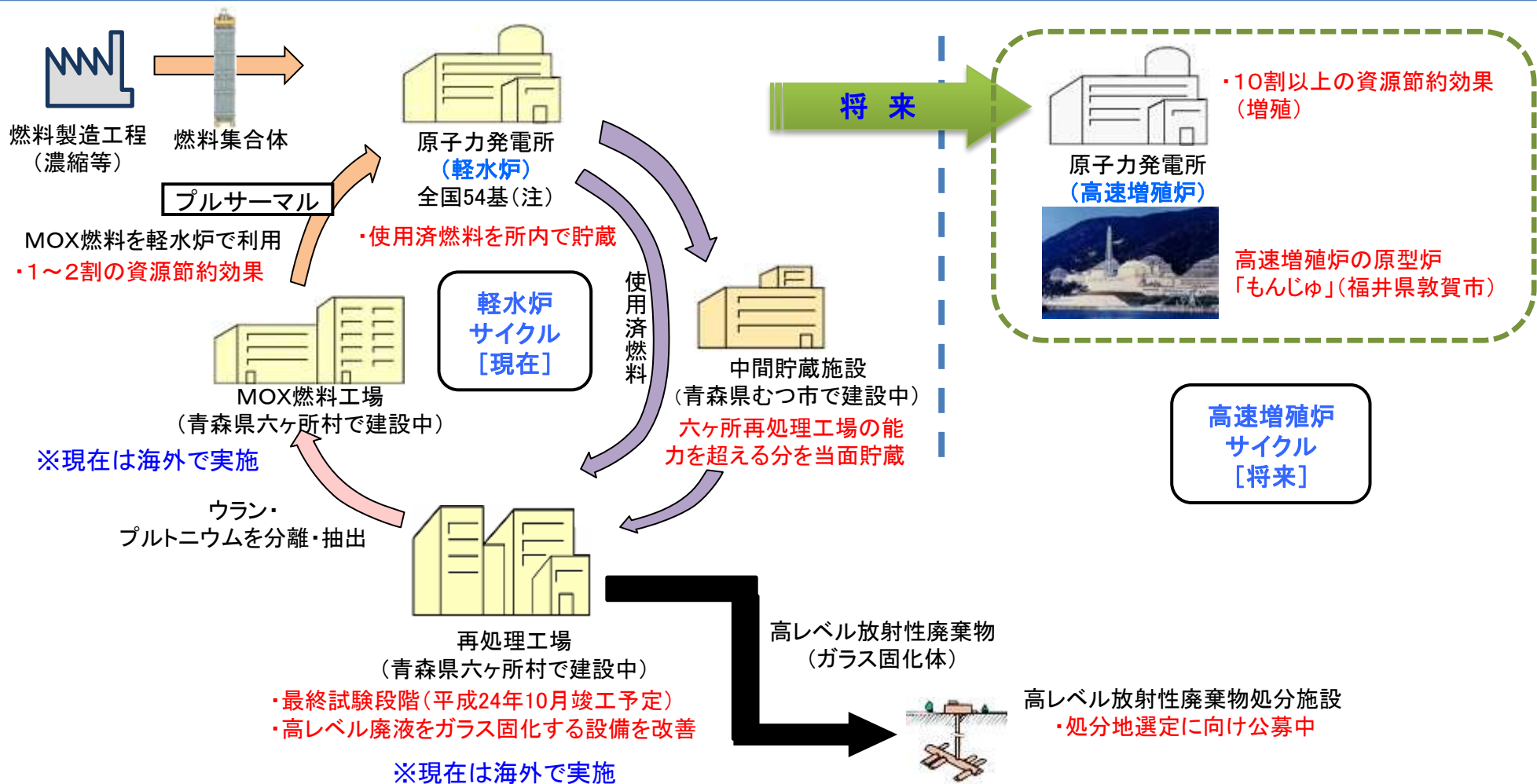
## 9. 核燃料サイクルとは何か

### 10. 放射性廃棄物はどれくらいあるのか、処理・処分にどれくらいの時間・お金がかかるのか

- 核燃料サイクルとは、フロントエンド（燃料調達）からバックエンド（使用済燃料の処理・処分）までの一連の流れのことを指します。
- 使用済燃料を再処理（リサイクル）する場合は、ウラン・プルトニウムを回収した後に残った放射性物質をガラスで固めたもの（ガラス固化体）を埋設処分します。
- 使用済燃料を再処理しない場合は、使用済燃料を埋設処分します。（直接処分）
- 放射性廃棄物には様々な種類があり、放射能レベルや処分方法も様々です。
- コスト等検証委員会では、核燃料サイクル費用のうちバックエンド費用は、「再処理モデル」で1.1円/kWh、「現状モデル」で0.6円/kWh、「直接処分モデル」で0.2円/kWhと試算しています（割引率3%の場合）。

# 核燃料サイクルについて

- (1) 「核燃料サイクル」とは、フロントエンド(燃料調達)からバックエンド(使用済燃料の処理・処分)までの一連の流れのことを指す。
- (2) 現在は、原子力発電所の使用済燃料を再処理し、取り出したウランとプルトニウムを再利用する軽水炉サイクル(プルサーマル)であるが、将来は、高速増殖炉サイクルを目指してきた。



(注) 廃炉が決定した東京電力の福島第一原子力発電所1~4号機を含む数字。なお、電気事業者は16~18基でプルサーマルを実施する計画。

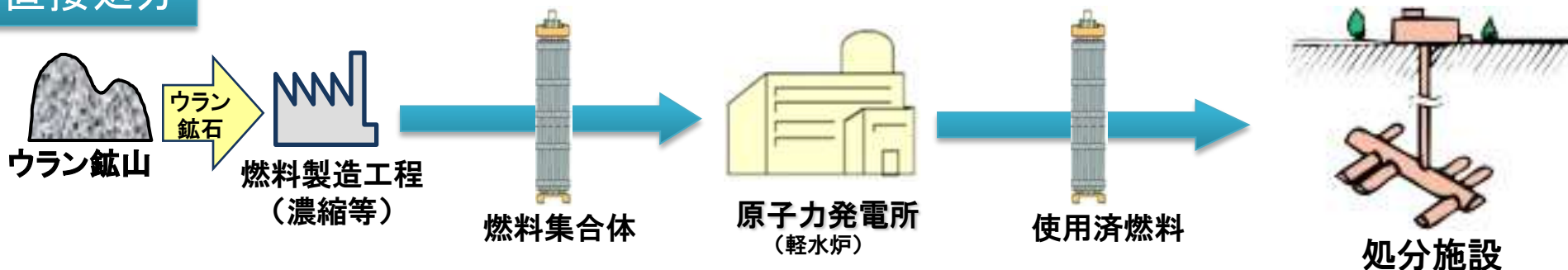
# 使用済燃料の再処理と直接処分について

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

## 再処理



## 直接処分



## (参考)再処理等の意義と批判

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

### ①エネルギーの安定供給に寄与

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

### ②高レベル放射性廃棄物の体積を1/3～1/4に低減(減容効果)

### ③放射性廃棄物の有害度を低減

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

### ①経済性の面で直接処分に劣る

→約1.0円/kWh高い。「約19兆円」の再処理関連費用が発生

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

### ②核兵器に転用されるリスク。

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

### ③再処理の工程で大量の放射性物質が外部環境に放出される。

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

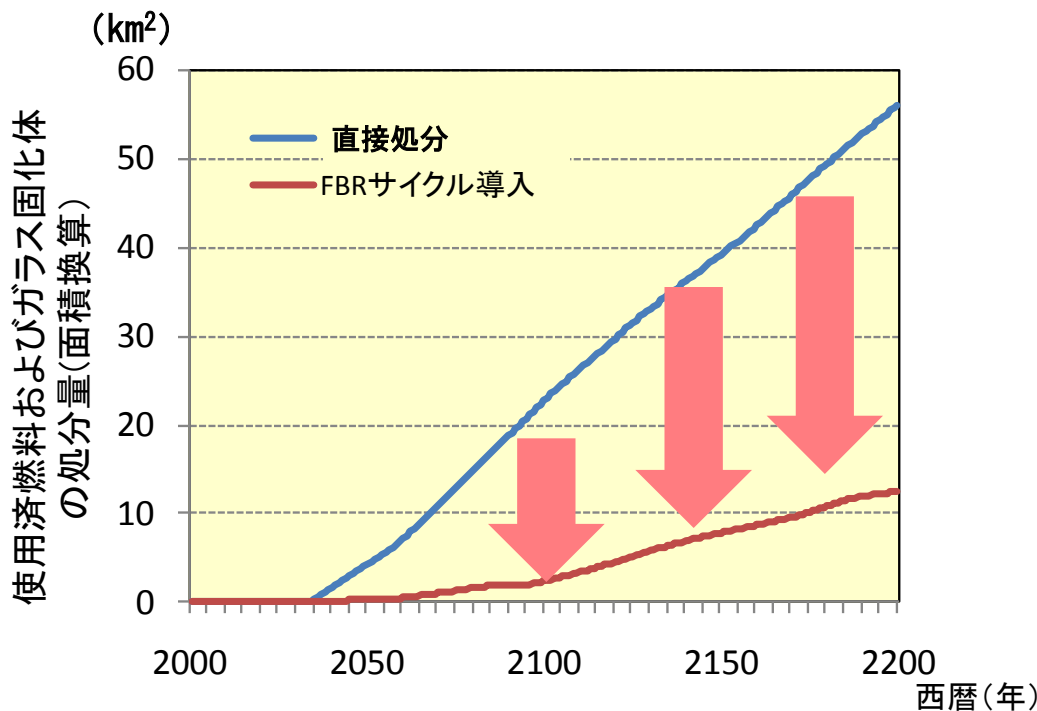
<sup>\*</sup>「直接処分する場合には、現時点においては技術的知見が不足しているため、その蓄積が必要である。再処理する場合には放射性物質を環境に放出する施設の数が多くなるが、それぞれが安全基準を満足する限り、その影響は自然放射線による被ばく線量よりも十分に低くできる」(原子力政策大綱)

<意義>

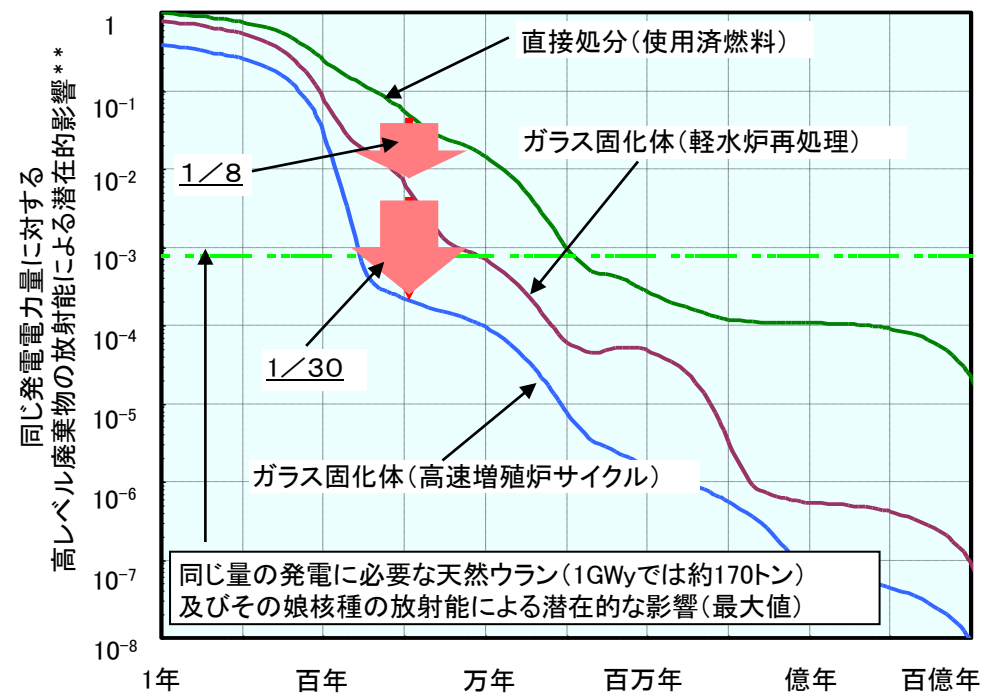
<批判>

# 再処理等による放射性廃棄物による負荷の低減

- 再処理やFBRサイクルを導入した場合、軽水炉直接処分に比べて、**高レベル廃棄物の量を減らし、処分場面積を大幅に削減できる**ことが期待される。
- 軽水炉再処理と比較すると、FBRサイクルから発生する高レベル放射性廃棄物は、**千年後に約1/30の有害度になる**。このようにFBRサイクルの実用化により、**高レベル放射性廃棄物の潜在的な有害度を小さくすることが可能**。

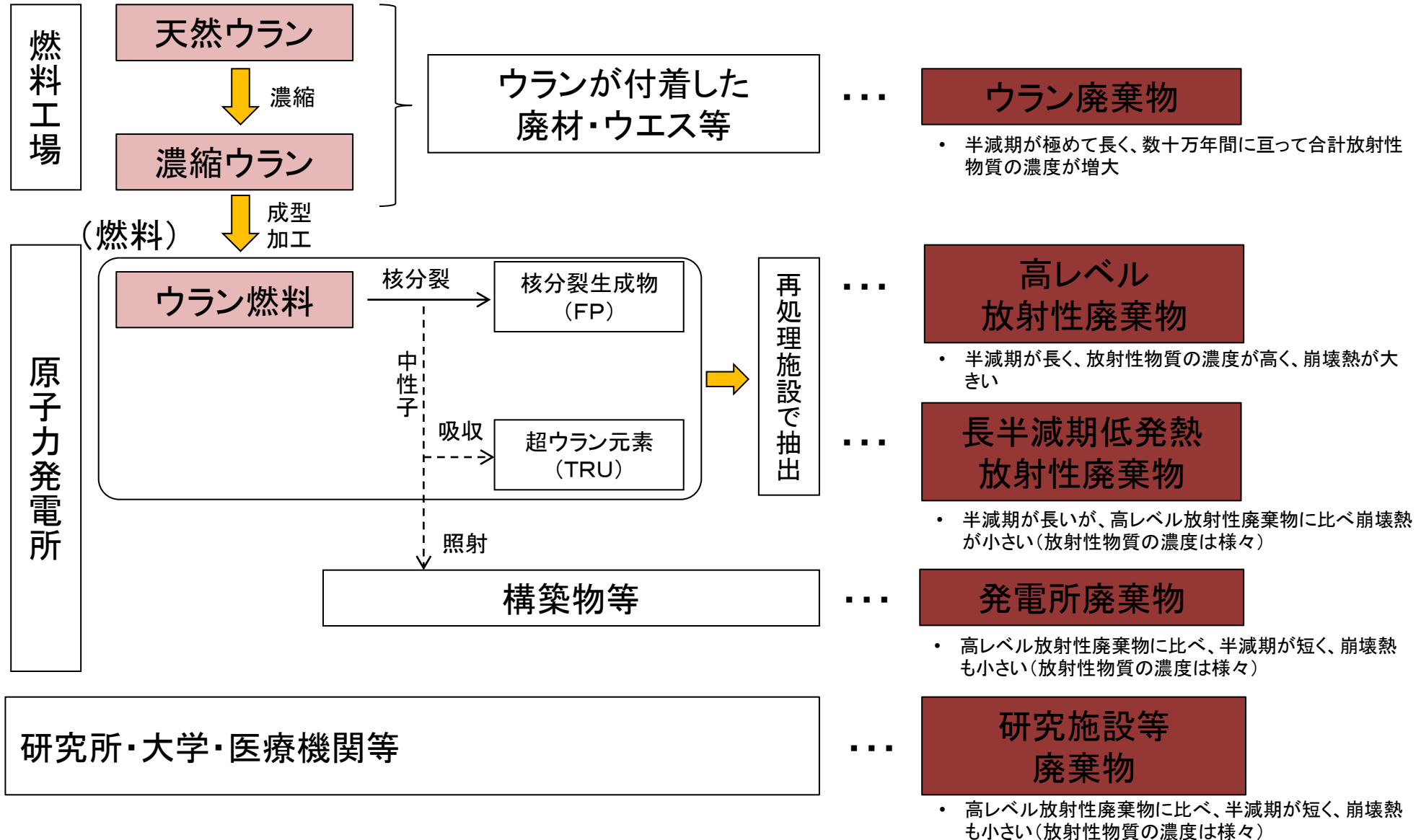


## 高レベル廃棄物の処分場専有面積の推移



\*\* )高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度を示している。使用済燃料の1年目の潜在的影響を1とした相対値。

# 様々な放射性廃棄物と主な特徴



# 放射性廃棄物の保管量について

放射性廃棄物の種類		発生源	保管量
高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)		再処理施設(国内分)	365本
		再処理施設(海外からの返還分)	1338本
低レベル放射性廃棄物	長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU廃棄物)		約15万本
	原子力発電所廃棄物	余裕深度処分対象	制御棒: 8,590本+91m3 チャンネルボックス等: 47,471本 樹脂等: 14,475m3
		浅地中(ピット)処分対象	約48万本
		浅地中(トレンチ)処分対象	800本
	研究施設等廃棄物		約57万8千本
	ウラン廃棄物		約14万8千本

ガラス固化体の単位: ガラス固化体キャニスタ本数

長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU廃棄物)、制御棒、チャンネルボックス等、浅地中(ピット)処分対象廃棄物、浅地中(トレンチ)処分対象廃棄物、研究施設等廃棄物、ウラン廃棄物の単位: 200ℓドラム缶換算本

(注) データは出典の記載が無い限り、使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約に係る第4回国別報告より引用(平成23年3月末時点)。

※1 平成23年3月末時点(出典: 平成23年版(平成22年度実績)原子力施設運転管理年報)

※2 (独)日本原子力研究開発機構分については報告に基づく数字。その他、200ℓドラム缶換算が出来ない廃棄物がある。

※3 東京電力福島第一原子力発電所分は事業者において評価中のため含まないが、

平成22年3月末時点で制御棒: 約1300本、チャンネルボックス等: 約21,000本、樹脂等: 約3,500m3がある(出典: 平成22年版(平成21年度実績)原子力施設運転管理年報)

※4 固体廃棄物貯蔵庫に保管されている廃棄物の数字。

東京電力福島第一原子力発電所の貯蔵量は事業者において評価中のため含まないが、平成22年3月末時点で約18万5千本(出典: 平成22年版(平成21年度実績)原子力施設運転管理年報)。

※5 平成23年12月末時点(出典: 事業者からの報告)

※6 平成23年3月末時点(出典: 文部科学省調べ)、数字には使用施設から発生する長半減期低発熱放射性廃棄物及びウラン廃棄物が含まれる。

※7 平成22年3月末時点のデータを含む(出典: 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約に係る第4回国別報告、平成23年3月8日原子力委員会新大綱策定会議「放射性廃棄物の処理・処分を巡る取組の現状について」及び事業者からの報告)



# 原子力発電に係る放射性廃棄物(種類と処分方法)

## 発生元

## 放射性廃棄物の種類

## 処分方法

※廃棄物の種類、処分方法については、代表的なものを記載している。

原子力発電所

使用済燃料

再処理施設

### 低レベル放射性廃棄物

(1) 廃止措置で発生する鉄骨・コンクリート等

(2) 通常の運転に伴い発生する廃液、フィルター、消耗品(手袋等)等

(3) 廃止措置に伴い発生する制御棒、炉内構造物等

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

### 高レベル放射性廃棄物

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

浅地中トレンチ処分

浅地中ピット処分

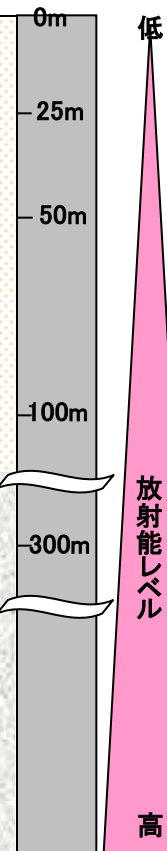
地下数m

余裕深度処分

地下50m~100m

地層処分

地下300mより深い地層



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

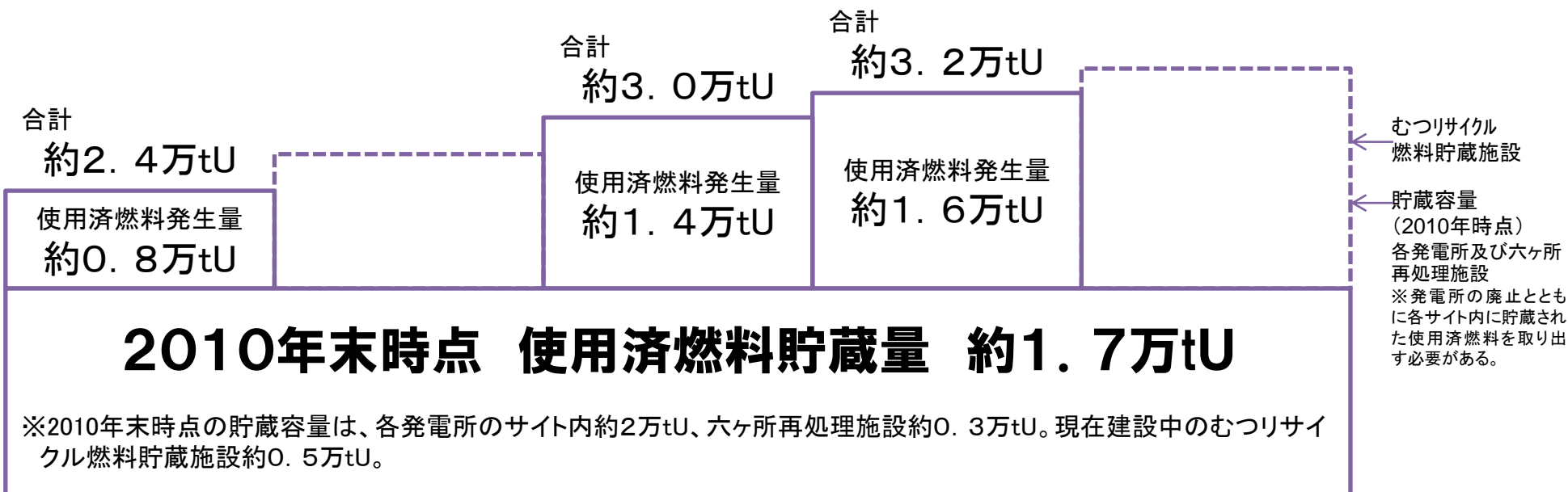
(注) 六ヶ所村(日本原燃)で1533本、東海村(JAEA)で247本貯蔵

※再処理施設から発生する地層処分対象以外の廃棄物は記載していない。



## Q 2030年までにどのくらい使用済核燃料が出るの？

ゼロシナリオ		15シナリオ	20～25シナリオ	
2020年 原発0%	2030年 原発0%	2030年 原発15%	2030年 原発20%	2030年 原発25%



出典：「各原子力比率におけるステップ3の評価」(原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会)から国家戦略室にて作成。

## Q 核燃料サイクルの選択肢により、放射性廃棄物の量はどう変わるの？

		2020年原発0%			2030年原発15%			2030年原発20%		
		使用済燃料*1	処分体積*2	処分面積*3	使用済燃料*1	処分体積*2	処分面積*3	使用済燃料*1	処分体積*2	処分面積*3
全量再処理	地層処分	—	—	—	1.9万tU	5万m <sup>3</sup>	204万m <sup>2</sup>	1.9万tU	5万m <sup>3</sup>	215万m <sup>2</sup>
	低レベル	—	—	—	—	44万m <sup>3</sup>	67万m <sup>2</sup>	—	45万m <sup>3</sup>	68万m <sup>2</sup>
再処理・直接 処分併存	地層処分①	—	—	—	1.9万tU	5万m <sup>3</sup>	204万m <sup>2</sup>	1.9万tU	5万m <sup>3</sup>	215万m <sup>2</sup>
	地層処分②	—	—	—		14万m <sup>3</sup>	455万m <sup>2</sup>		15万m <sup>3</sup>	493万m <sup>2</sup>
	低レベル	—	—	—	—	44万m <sup>3</sup>	67万m <sup>2</sup>	—	45万m <sup>3</sup>	68万m <sup>2</sup>
全量直接処分	地層処分	2.4万tU	14万m <sup>3</sup>	437万m <sup>2</sup>	3.0万tU	17万m <sup>3</sup>	535万m <sup>2</sup>	3.2万tU	18万m <sup>3</sup>	567万m <sup>2</sup>
	低レベル	—	68万m <sup>3</sup>	142万m <sup>2</sup>	—	42万m <sup>3</sup>	66万m <sup>2</sup>	—	43万m <sup>3</sup>	67万m <sup>2</sup>

※ 地層処分①:再処理しガラス固化体を地層処分した場合。地層処分②:使用済燃料を直接処分した場合。

\*1 2030年時点で貯蔵されている使用済燃料。

\*2 埋設する場合の廃棄物としての合計体積(換算)。「地層処分」は、2030年時点で発生しているガラス固化体と低レベル放射性廃棄物(地層処分)及び2030年時点で貯蔵されている使用済燃料(\*1)を再処理又は直接処分した場合に発生する放射性廃棄物の合計体積。「低レベル」は、余裕深度処分、浅地中ピット処分及び浅地中トレンチ処分廃棄物の合計とし、再処理する場合は、将来発生する核燃料サイクル施設の廃止措置に伴う廃棄物も含める。

\*3 廃棄物処分施設の合計面積(換算)

出典:「各原子力比率におけるステップ3の評価」(原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会)から国家戦略室にて作成。

# 燃料費(核燃料サイクル費用)の試算方法(再掲)

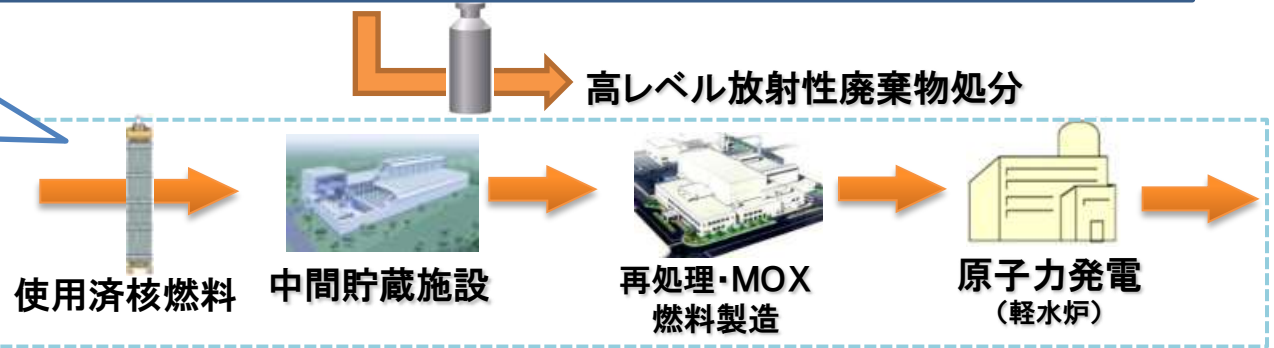
- 原子力発電の燃料費は、核燃料サイクル費用(ウラン燃料の取得、使用済核燃料の扱いに係る費用など、フロントエンドとバックエンドの両方の費用)に相当。
- モデルプラント方式を前提に、核燃料リサイクルを行う場合(再処理)と核燃料リサイクルを行わない場合(直接処分)のそれぞれのモデルを設定して試算。
- 再処理については、中間貯蔵などせずに次々再処理していく「再処理モデル」のほか、適切な期間貯蔵しつつ再処理していく「現状モデル」(中間貯蔵費用等を含む)を設定。

## 再処理

(使用済燃料は全て再処理、再処理後、MOX燃料として発電)

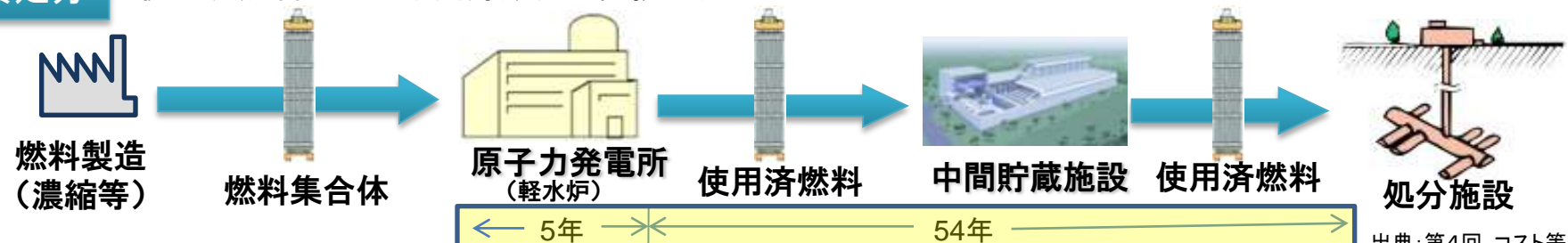


※現実には、中間貯蔵等の費用や、貯蔵期間の長期化を考慮することも必要。  
→「現状モデル」(再処理50%、中間貯蔵後に再処理50%)に反映。



## 直接処分

(使用済燃料は全て中間貯蔵後に直接処分)



# 核燃料サイクル費用の試算結果(再掲)

## 再処理モデル

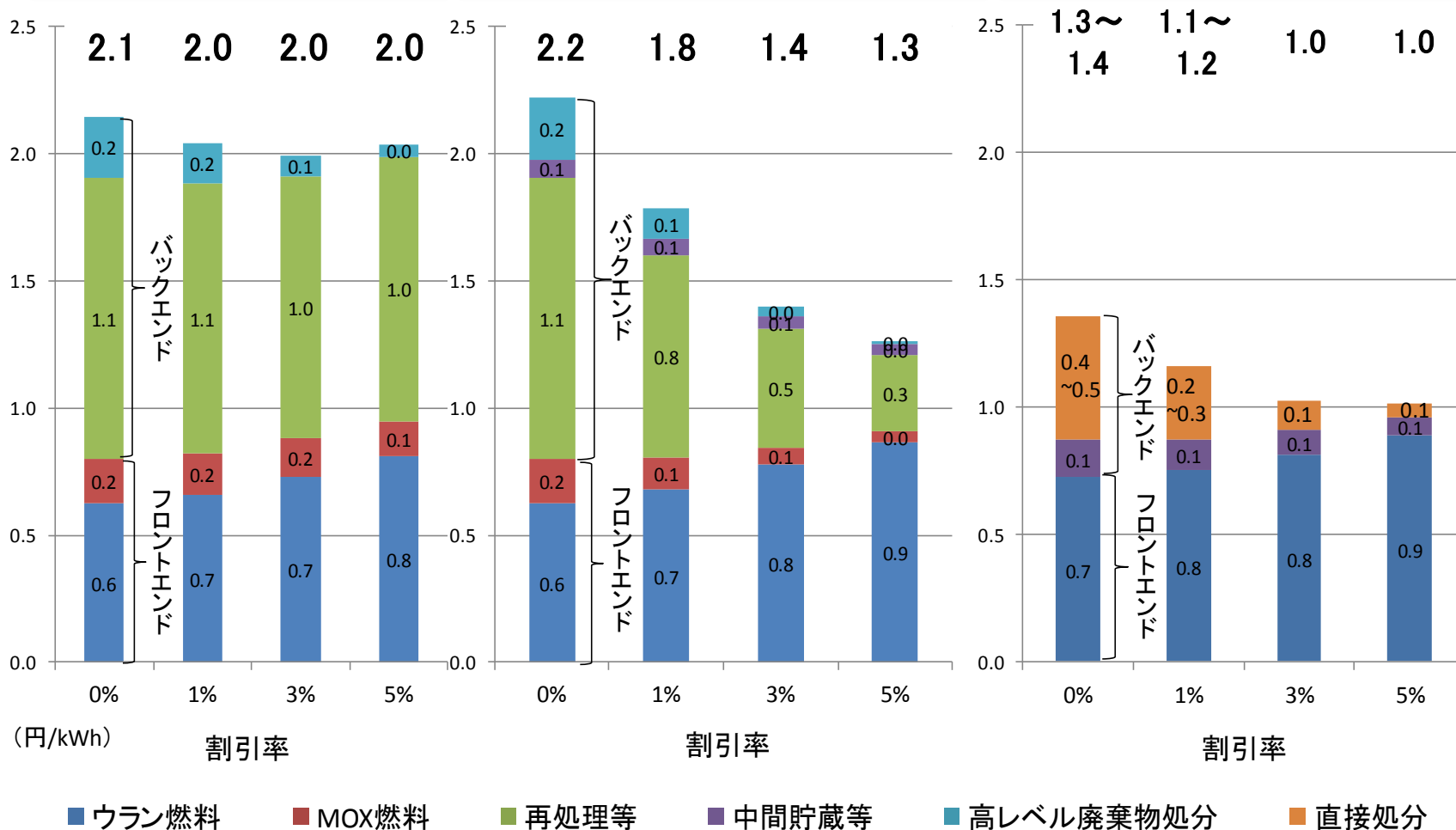
使用済燃料全量を再処理してリサイクルするモデル

## 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していく現状を考慮

## 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するモデル



# 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)について

- (1) ガラス固化体とは、使用済燃料を再処理し、ウラン・プルトニウムを分離・回収した後に残ったものをガラスで固めたもの。
- (2) 核分裂する成分はほとんど含まれておらず、爆発の危険性はない。
- (3) 厚さ約2mのコンクリートの床で遮蔽すれば、その上で人間が作業可能。
- (4) ガラス固化体は、30～50年間、冷却のため、青森県六ヶ所村で貯蔵管理される。



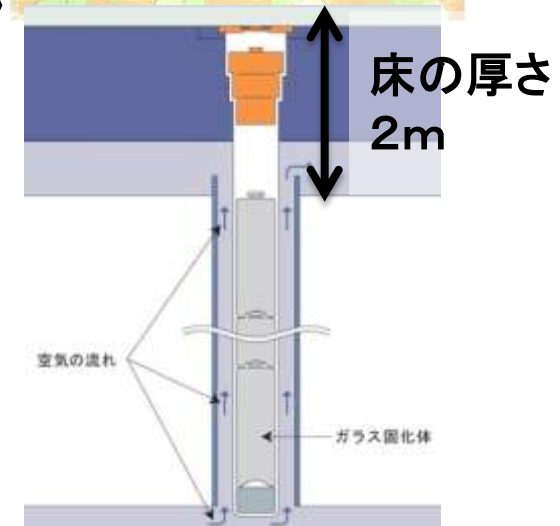
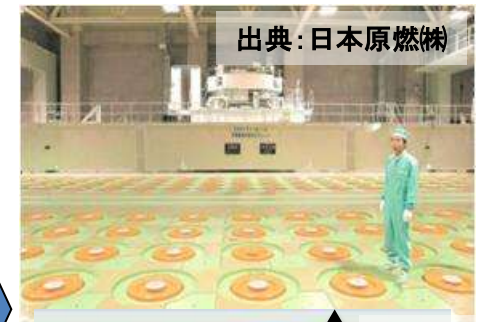
高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)

## ガラス固化体の貯蔵



高レベル放射性廃棄物  
貯蔵管理センター  
(青森県六ヶ所村)

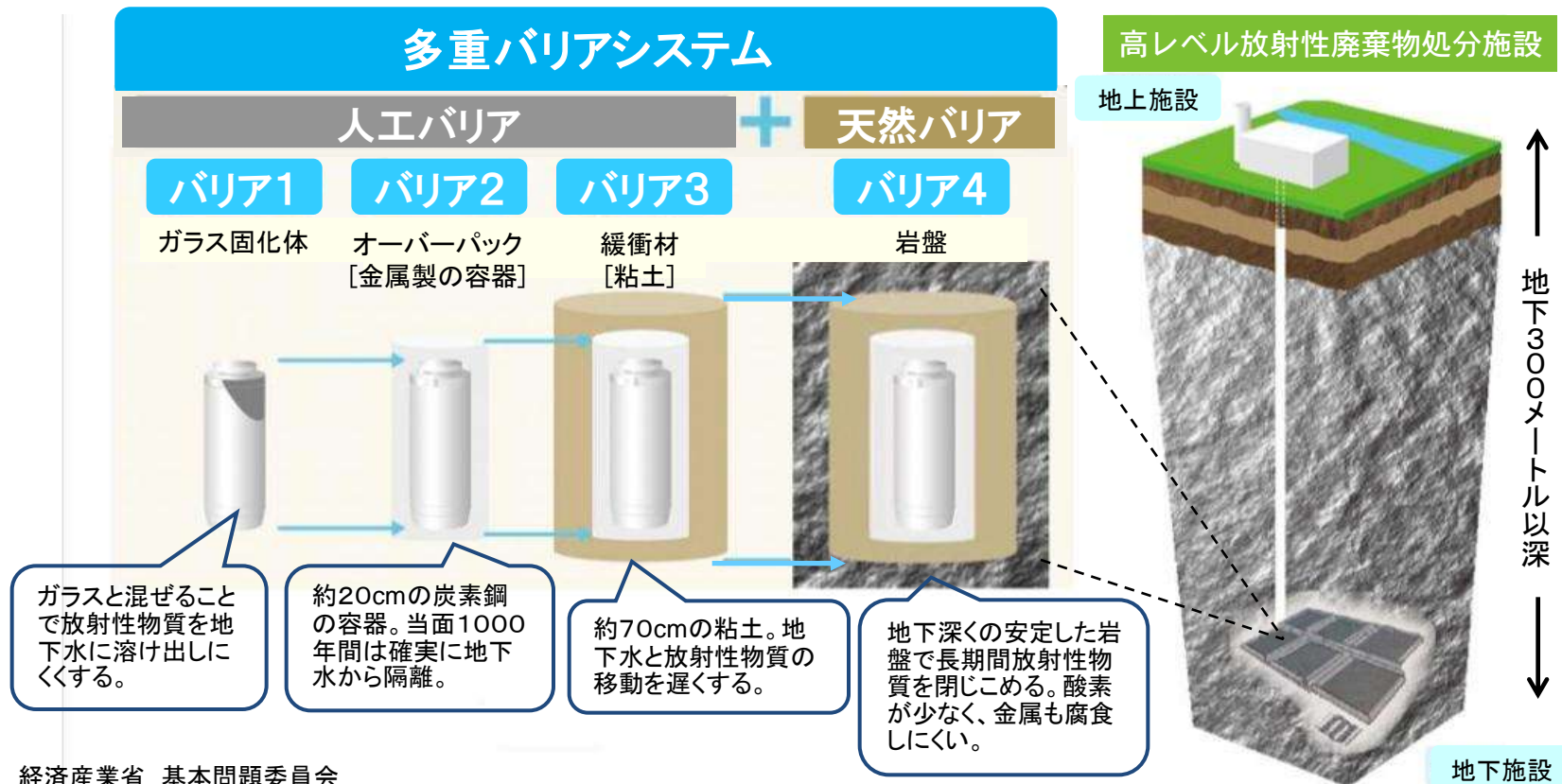
青森県を最終処分地にしないとの約束の下、過去に海外で再処理したガラス固化体を含め貯蔵・管理。





# 高レベル放射性廃棄物の最終処分 ～基本的な考え方～

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



# 地層処分と処分場閉鎖後の制度的管理について

## 地層処分と処分場閉鎖後の制度的管理について

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

## 国際的な取組

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



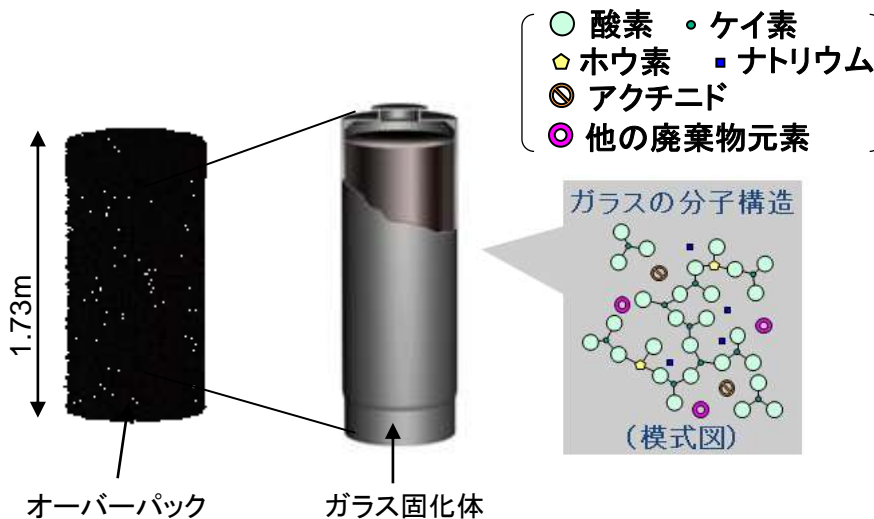
# ガラス固化体処分との違いによる直接処分の課題

- (1) 直接処分はプルトニウムを環境中に廃棄する。
- (2) 長期間安定な物質として選択されたガラス固化体と違い、直接処分は使用済燃料の形態で処分する。
- (3) 使用済燃料の廃棄体はガラス固化体に比べ発熱量が大きく、寸法も大きく重い。

平成16年11月 原子力委員会 新計画策定会議 技術検討小委員会「基本シナリオの核燃料サイクルコスト比較に関する報告書」p.3より引用。

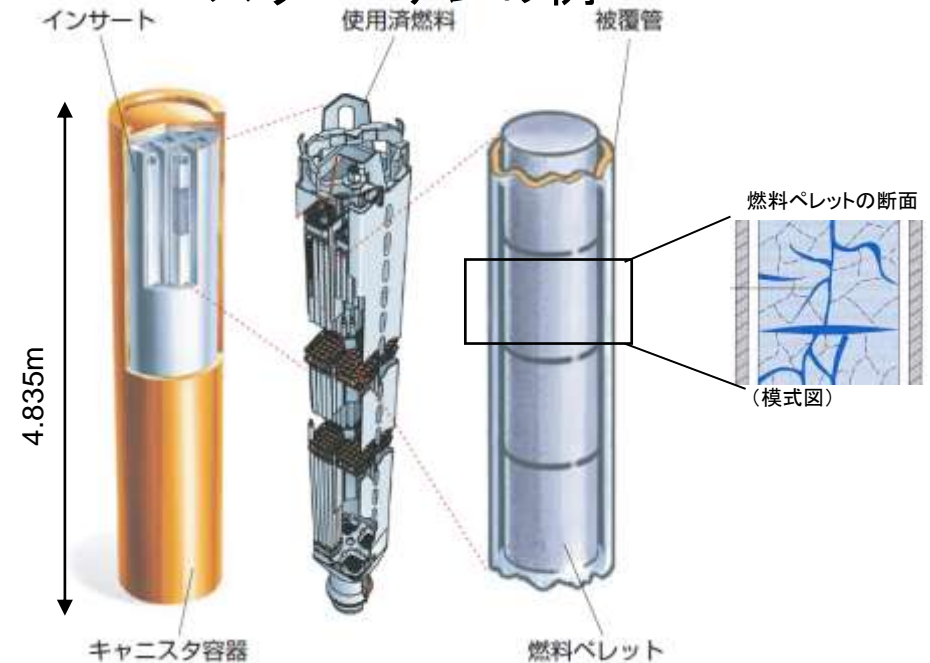
➡ わが国の地質環境条件等に適した処分概念を構築するため、直接処分の技術開発に着手予定。

## 日本の例



- 埋設されるガラス固化体を含むオーバーパックの重量は約6トン。
- オーバーパックの直径は0.82m、高さは1.73m。
- オーバーパックの候補材料は、炭素鋼。
- 放射性物質は、ガラスの分子構造の中に存在。

## スウェーデンの例\*



- 埋設される使用済燃料を含むキャニスタの重量は約25トン。
- キャニスタの直径は1.05m、高さは4.84m。
- キャニスタの候補材料は、外側は銅、内部(インサート)は鋳鉄。
- 放射性物質は、燃料ペレット基質部、粒界、被覆管材料中等に存在。
- 発熱量はガラス固化体に比べて、単位重量あたり6割ほど大きくなる。

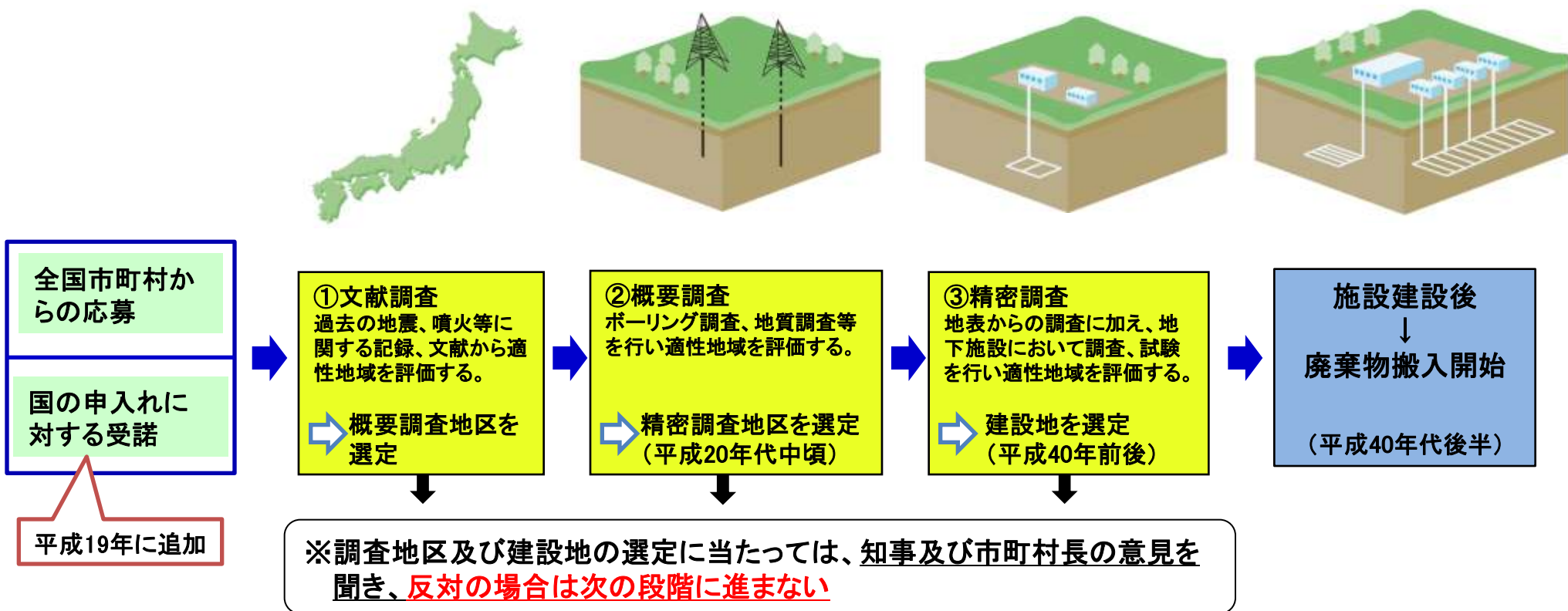
\*: 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について

( <http://www2.rwmc.or.jp/wiki.php?id=publications:hlwkj201202ed> ) p.12より引用

# 最終処分地選定プロセスと処分スケジュール

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

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



# 諸外国の高レベル放射性廃棄物処分の進捗状況

(平成24年3月現在)

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

