

## 放射性廃棄物対策 (radioactive waste **management**)

お話の前に日本語と英語の問題

1. 管理 controlと**management**
2. 信頼 trustとconfidence
3. 処理 treatmentとconditioning
4. 処分 disposal, isolation, dumping



第1種放射線取扱主任者  
日本原子力学会シニアネットワーク連絡会副会長  
元動力炉・核燃料開発事業団(日本原子力研究開発機構)理事  
坪谷隆夫

## 放射性廃棄物対策 (radioactive waste management)

お話の前に日本語と英語の問題

1. 管理 controlとmanagement
2. 信頼 trustとconfidence
3. 処理 treatmentとconditioning
4. 処分 disposal, isolation, dumping



1. 放射性廃棄物の発生と処理処分
2. 低レベル放射性廃棄物
3. 高レベル放射性廃棄物
4. 新たな課題

# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 年間の放射性廃棄物発生量

■ 日本人1人あたりの年間廃棄物発生量

廃棄物の種類	廃棄物発生量 (kg / 年・人)		備考
①一般廃棄物	主に家庭から出る生ゴミ、粗大ゴミやオフィスから出る紙くずなど	623	平成17年度（2005年度）実績
②産業廃棄物	事業活動に伴って出る廃棄物のうち、廃油、廃プラスチック、廃酸、廃アルカリなどの19種類	3,276	平成16年度（2004年度）実績
③放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守などにもなって出る放射能のある廃棄物	③-1 高レベル 0.005	平成12年（2000年）～平成18年（2006年）実績の平均
		③-2 低レベル 0.18	平成18年度（2006年度）実績

出典：①環境省廃棄物・リサイクル対策部「日本の廃棄物処理」平成17年度版、②環境省廃棄物・リサイクル対策部「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」平成16年度 実績、③-1 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会（平成19年12月18日）参考資料、③-2 経済産業省原子力安全・保安院「平成18年度 原子力施設における放射性廃棄物の管理状況及び放射線業務従事者の線量管理状況について」、文部科学省科学技術・学術政策局「文部科学省所管原子力施設における放射線業務従事者の被ばく管理状況及び放射性廃棄物管理状況について（平成18年度）」

総合資源エネルギー調査会ベストミックス小委員会（2015年4月）のデータに基づいて筆者が算定

# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 年間の放射性廃棄物発生量

■ 日本人1人あたりの年間廃棄物発生量

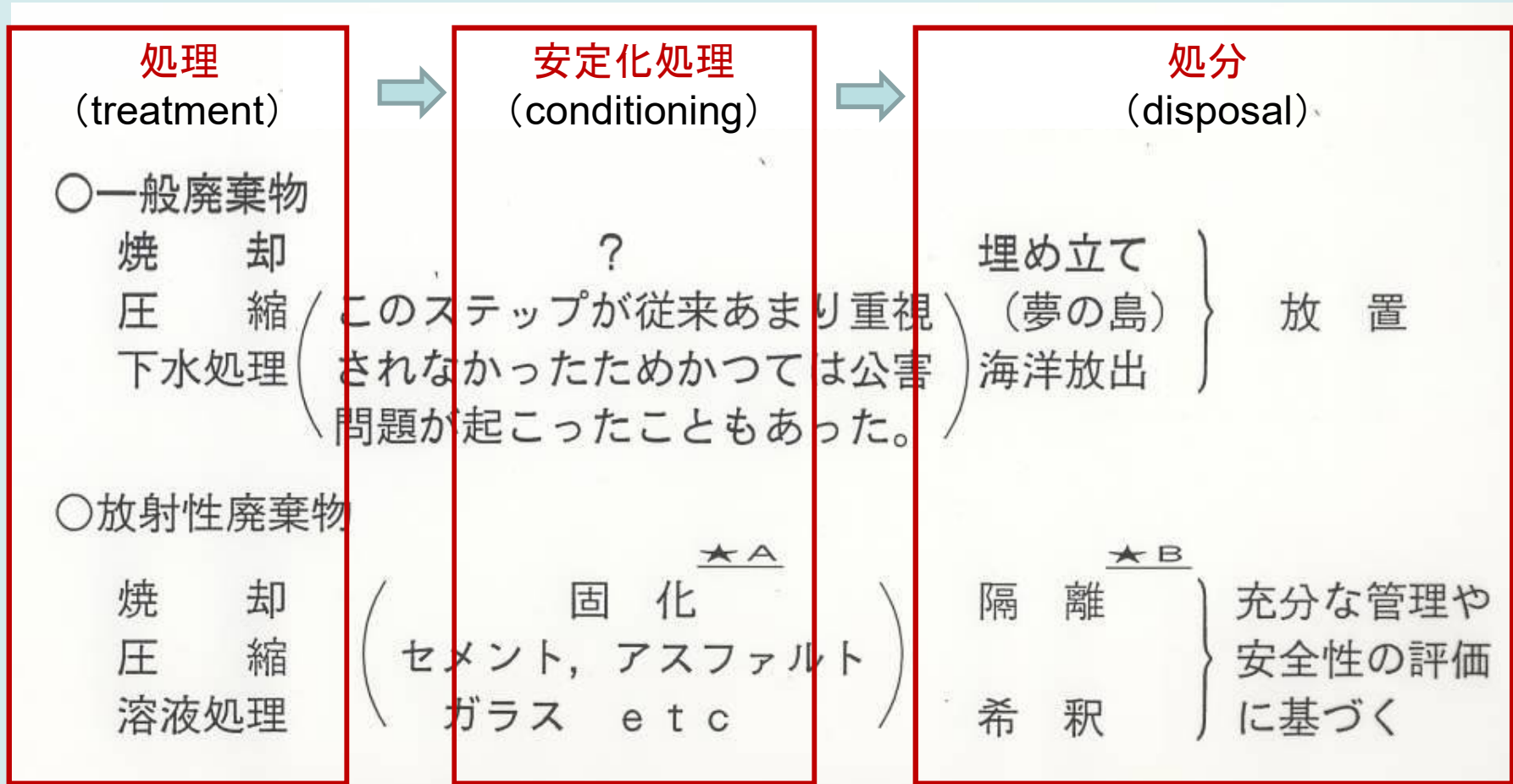
廃棄物の種類	廃棄物発生量 (kg / 年・人)	備考
①一般廃棄物	主に家庭から出る生ゴミ、粗大ゴミやオフィスから出る紙くずなど 623	平成17年度（2005年度）実績
②産業廃棄物	事業活動に伴って出る廃棄物のうち、廃油、廃プラスチック、廃酸、廃アルカリなどの19種類 3,276	平成16年度（2004年度）実績
③放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守などにもなって出る放射能のある廃棄物	③-1 高レベル 0.005 平成12年（2000年）～平成18年（2006年）実績の平均
		③-2 低レベル 0.18 平成18年度（2006年度）実績

出典：①環境省廃棄物・リサイクル対策部「日本の廃棄物処理」平成17年度版、②環境省廃棄物・リサイクル対策部「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」平成16年度 実績、③-1 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会（平成19年12月18日）参考資料、③-2 経済産業省原子力安全・保安院「平成18年度 原子力施設における放射性廃棄物の管理状況及び放射線業務従事者の線量管理状況について」、文部科学省科学技術・学術政策局「文部科学省所管原子力施設における放射線業務従事者の被ばく管理状況及び放射性廃棄物管理状況について（平成18年度）」

発生量は僅少

# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 廃棄物管理の考え方

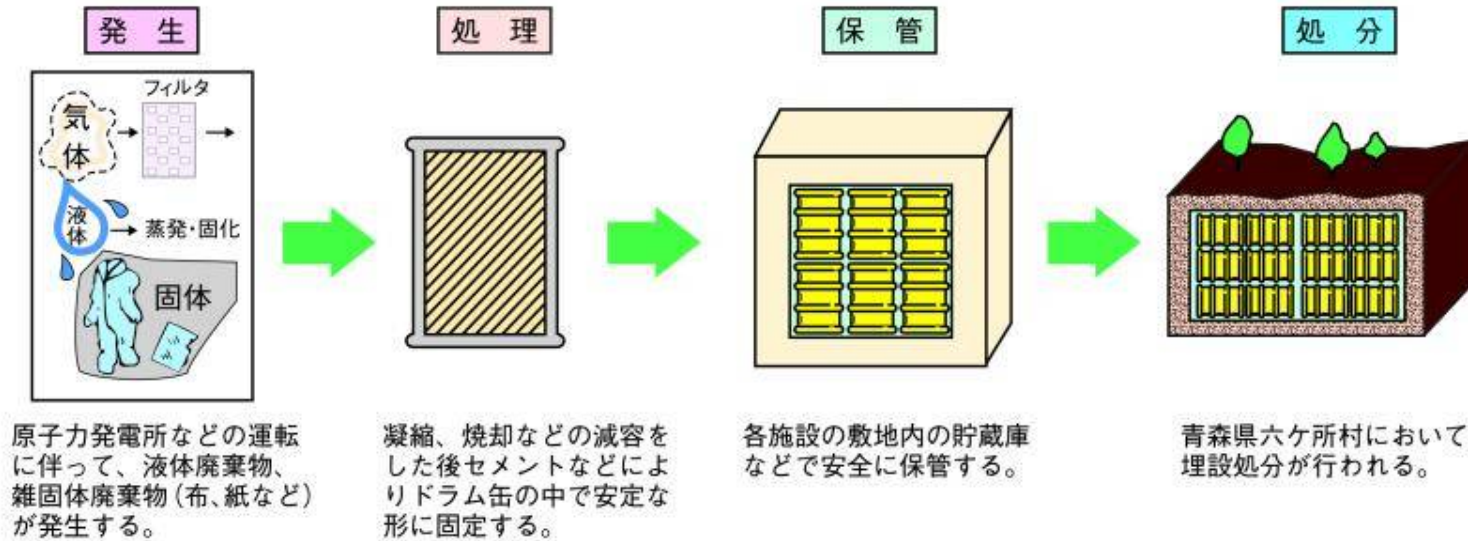


- ★ A 放射性廃棄物の場合には、放射性が極めて危険であると最初から認識しているため、この安定化ステップに十分力をいれて対策を進めている。
- ★ B 処分については、起こりそうもない最悪ケースを考えて、それでも安全であることを認識してから初めて処分に踏み切って（切ろうとして）いる。

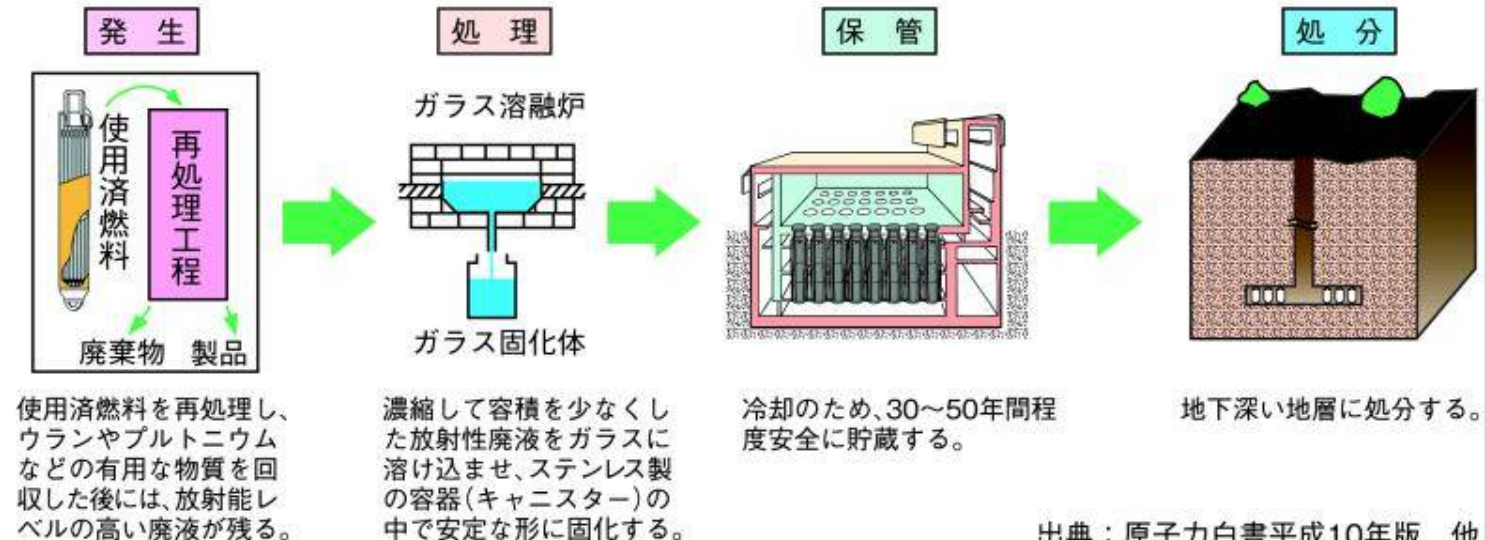
# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 廃棄物管理の考え方ー処理と処分の間に「保管(貯蔵)」

低レベル放射性廃棄物



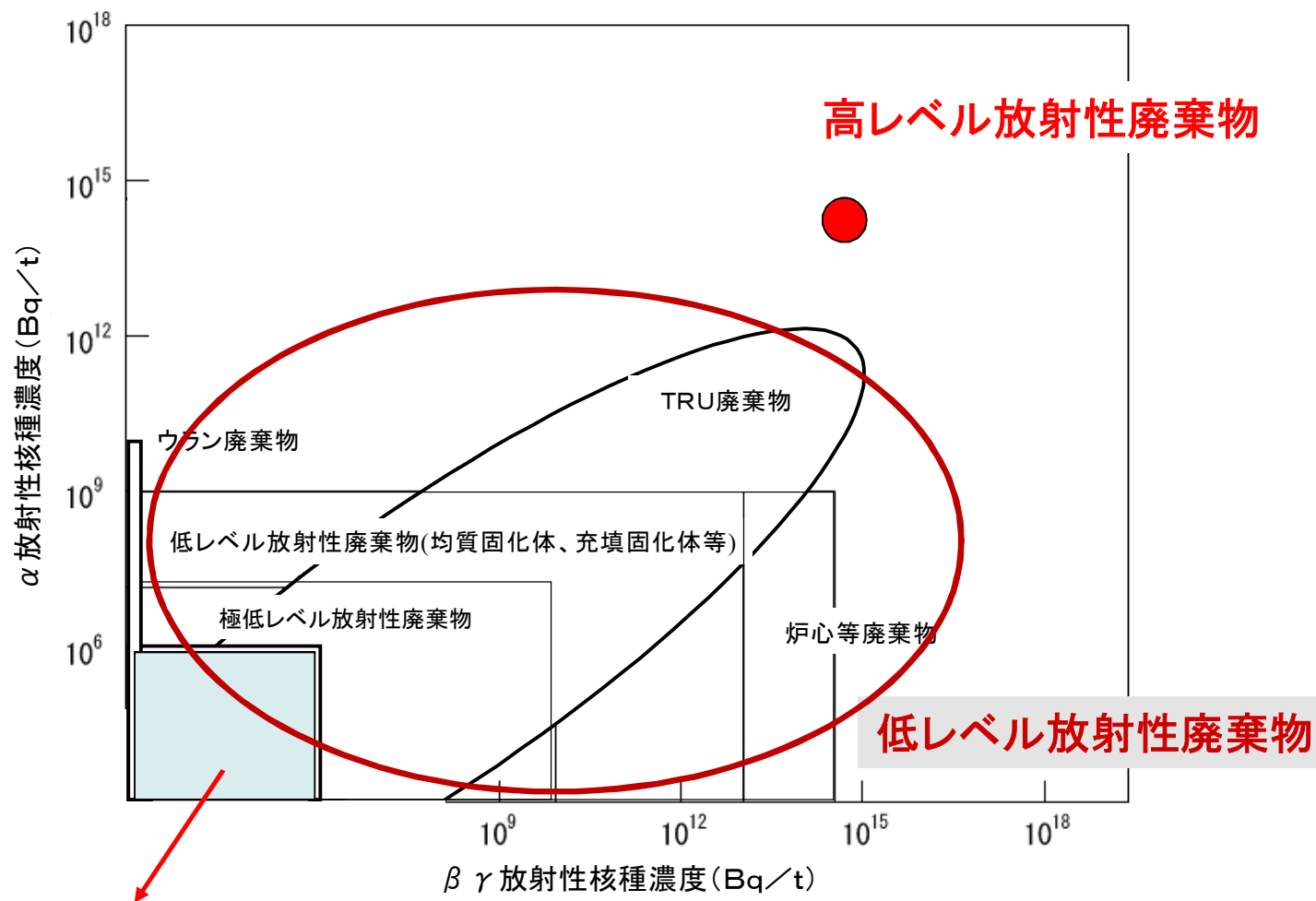
高レベル放射性廃棄物



出典：原子力白書平成10年版 他

# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 放射性廃棄物の濃度区分



放射性廃棄物として扱う必要がないもの  
(クリアランスレベル以下の廃棄物)

# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 放射性廃棄物の分類

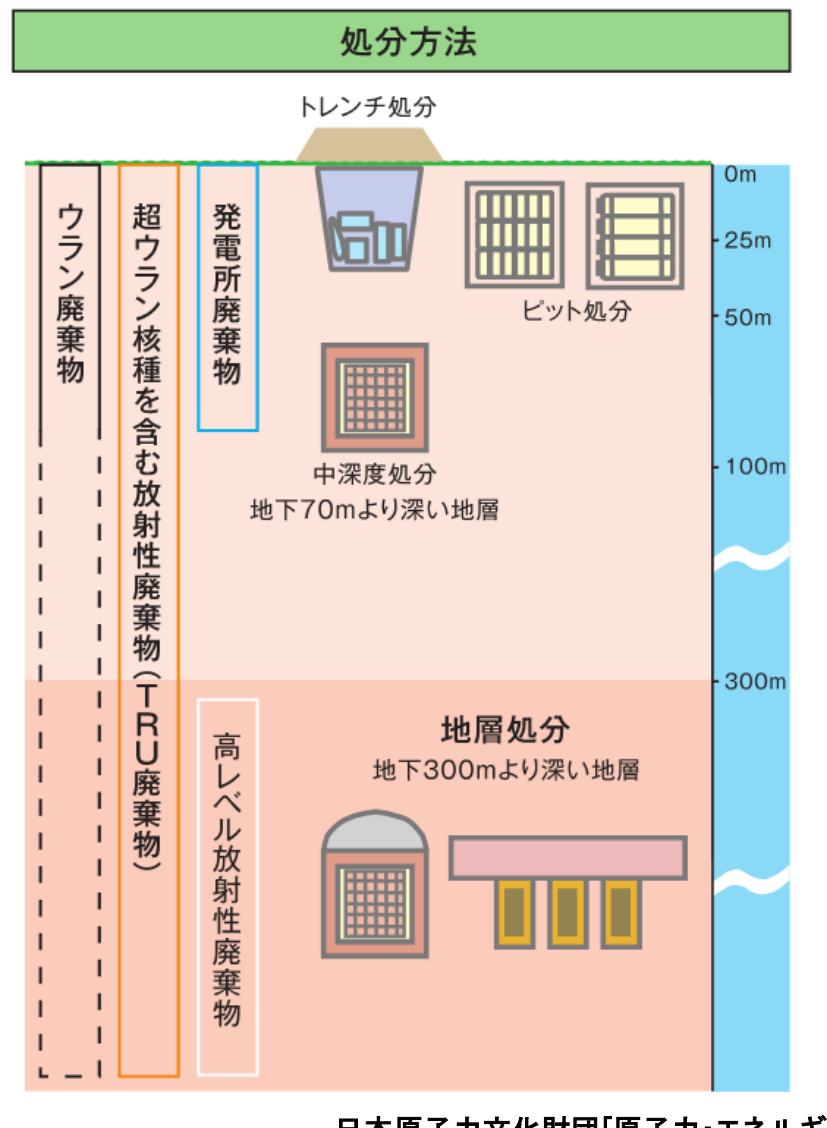
廃棄物の種類		廃棄物の例	発生場所	処分の方法(例)	
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物	原子力発電所	トレンチ処分	
		放射能レベルの比較的低い廃棄物		廃液、フィルター、廃器材、消耗品等を固形化	ビット処分
		放射能レベルの比較的高い廃棄物		制御棒、炉内構造物	中深度処分
	ウラン廃棄物		消耗品、スラッジ、廃器材	ウラン濃縮・燃料加工施設	中深度処分、ビット処分、トレンチ処分、場合によっては地層処分
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)		燃料棒の部品、廃液、フィルター	再処理施設、MOX燃料加工施設	地層処分、中深度処分、ビット処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

日本原子力文化財団「原子力・エネルギー」図面集 2016を編集



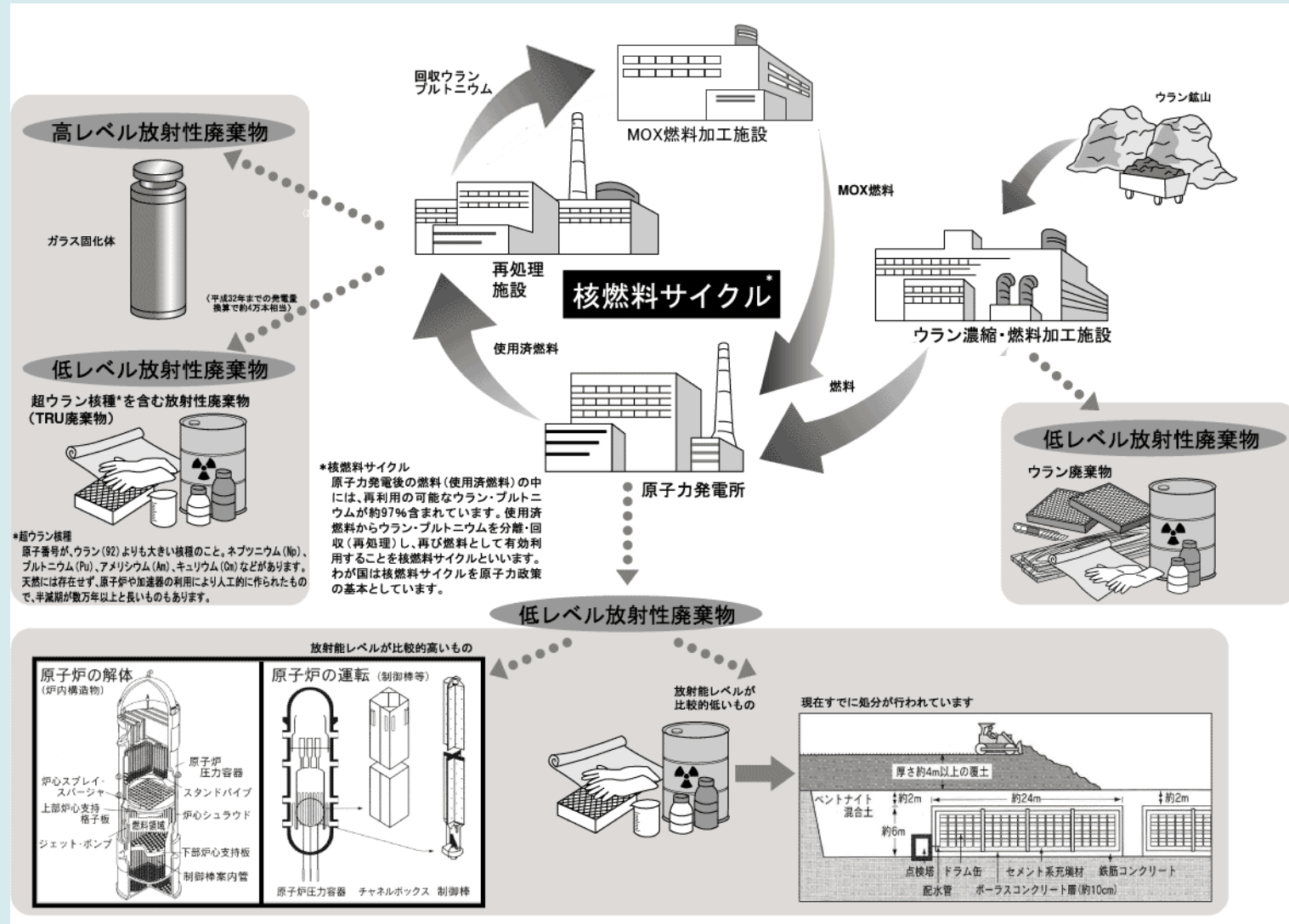
# 放射性廃棄物の発生と処理処分

## 確立している日本の放射性廃棄物の処分方法



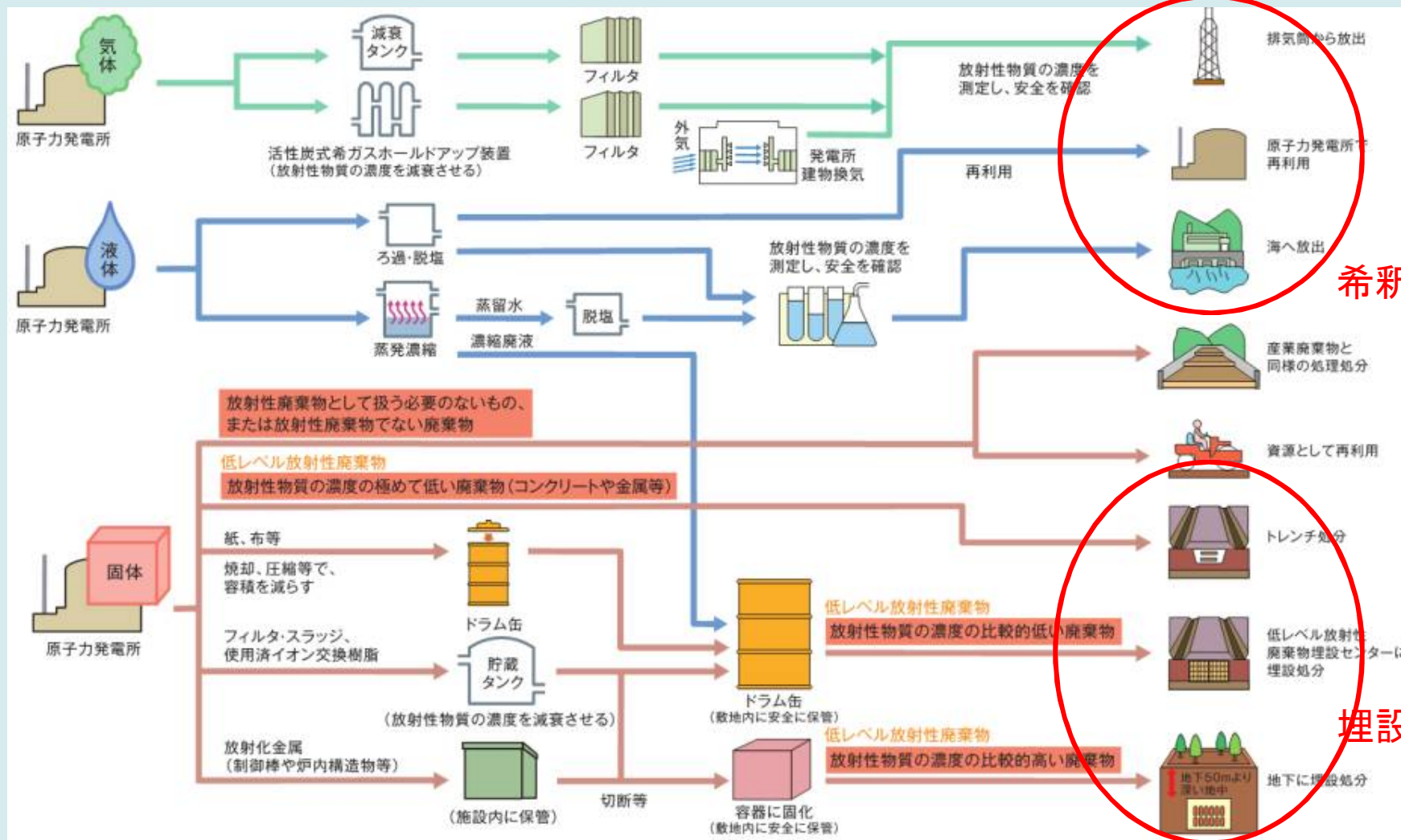
# 低レベル放射性廃棄物

## 原子力発電に伴い発生する多種多様な放射性廃棄物



# 低レベル放射性廃棄物

## 低レベル放射性廃棄物管理の方法(発生元 原子力発電所の運転)



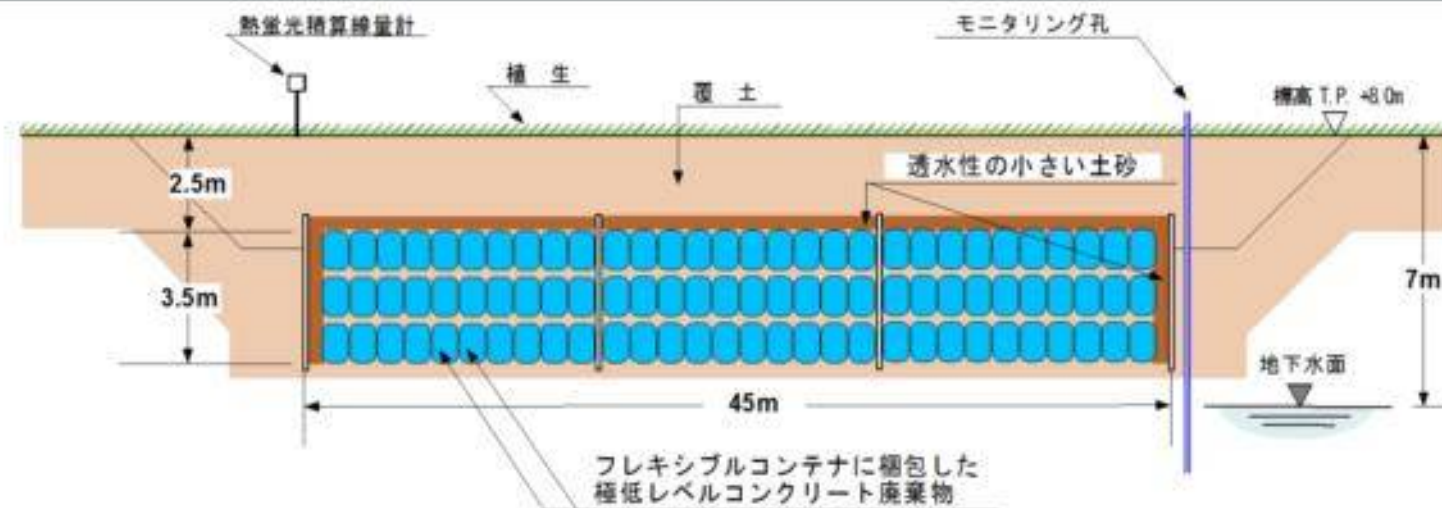
希釈処分

埋設処分

## 低レベル放射性廃棄物 トレンチ処分

動力試験炉(JPDR)解体に伴って発生した極低レベルコンクリート等廃棄物

- 埋設総重量約 1,670トン
- 約30年の管理期間—埋設段階(埋設作業期間及び上部覆土安定までの約2年間)は平成7～9年度  
管理区域、周辺監視区域の設定、放射線モニタリング、巡視点検等
- 保全段階(埋設段階終了後、約28年間)は、約30年間  
巡視点検、農耕作業等の特定行為の禁止又は抑制等



- 我が国で初めて極低レベル廃棄物を簡易埋設
- 商業用発電炉解体廃棄物の合理的処分に道

## 低レベル放射性廃棄物

### 順調なピット処分

### 低レベル放射性廃棄物埋設センター(六ヶ所村、日本原燃)

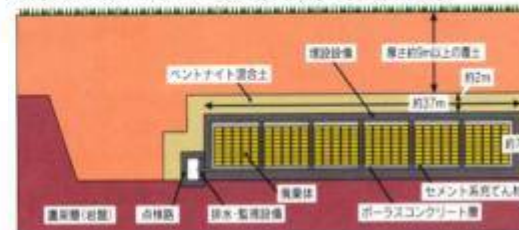
- 操業開始 1992年12月
- 施設規模 最終60万m<sup>3</sup>  
(200リットラム缶300万本相当)
- 現 状【埋設中】
  - ・受入本数(200リットラム缶本数)
    - 1号埋設(均一固化体)約 14.8 本  
均一固化体:濃縮廃液等をセメント等で固化した廃棄体
    - 2号埋設(充填固化体)約 14.7 本  
充填固化体:金属類等をモルタルで固化した廃棄体  
(2017年11月末現在)
  - ・ 2017年度受入予定本数13,712本



低レベル放射性廃棄物埋設センター外観



埋設ピットへのドラム缶定置作業風景



埋設施設の断面図

10

日本原燃(2014年、自民党資源・エネルギー戦略調査会)を日本原燃HPで更新  
2017年度受入予定本数:日本原燃HPより

# 低レベル放射性廃棄物

## ピット処分-放射性廃棄物の放射能低減を利用する管理

### 低レベル放射性廃棄物の段階管理の考え方



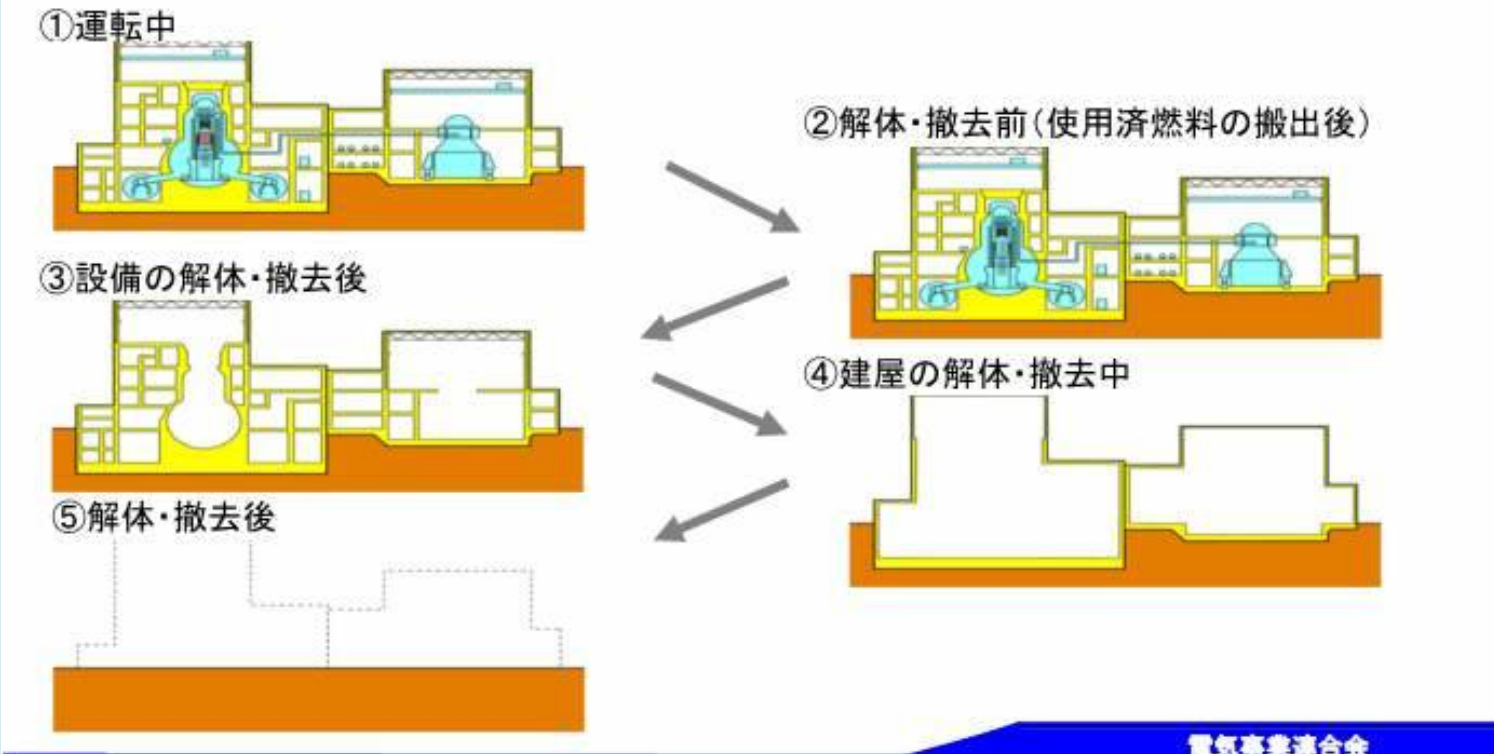
出典：日本原燃パンフレット 他

## 低レベル放射性廃棄物

### 原子力発電所の廃止措置の概念と放射性廃棄物の発生

運転を終了した原子力発電所については、準備作業後、廃止措置計画の認可をもって廃止措置を開始します。

廃止措置の工程は「使用済燃料搬出」に続き「配管・容器内に付着している放射性物質の除去（除染）」、「放射能が時間とともに減衰する性質を利用し原子炉のような放射能の高い機器を安全に貯蔵（安全貯蔵）」、「設備の撤去」、「建屋の解体」を行うとともに、これらと並行して「放射性廃棄物の処理・処分」を行い、最終的に撤去した跡地の汚染確認（廃止措置終了確認）を以て廃止措置が終了します。



電気事業連合会（2014年、自民党資源・エネルギー戦略調査会）15

# 浜岡 1, 2号機 廃止措置の全体スケジュール

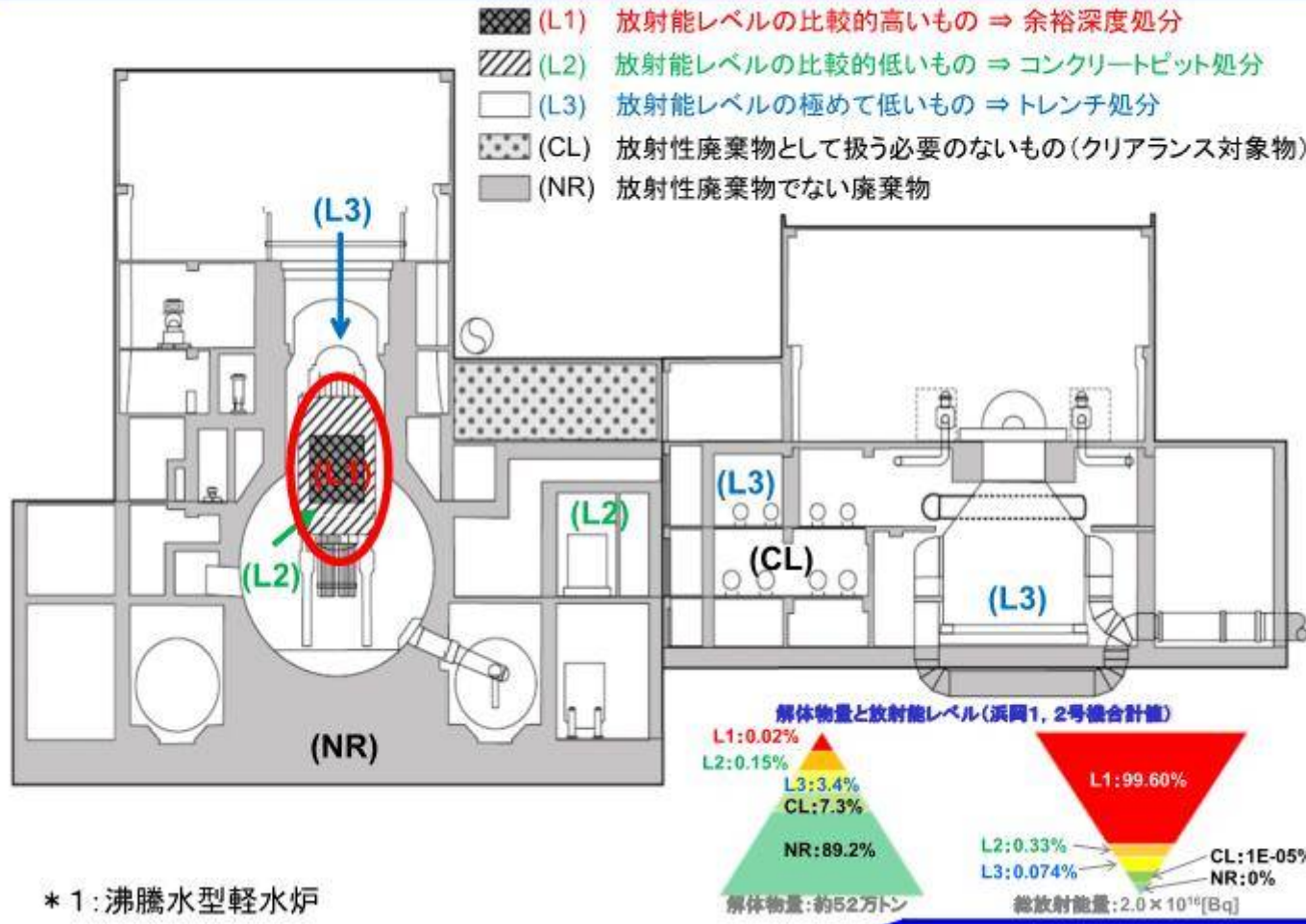


電気事業連合会(2014年、自民党資源・エネルギー戦略調査会) 16



## 浜岡 1, 2号機 (BWR\*1) の推定汚染分布

7



# 低レベル放射性廃棄物

## 廃止措置に伴い発生する廃棄物の量

8

単位：ton

区分	BWR	BWR	BWR	PWR	PWR	PWR	GCR
	小規模	中規模	大規模	小規模	中規模	大規模	
L1	50	70	80	120	190	200	1,540
L2	760	830	850	710	1,230	1,720	8,950
L3	5,530	6,750	11,810	1,850	2,570	4,040	12,300
CL	9,710	9,750	28,490	3,970	8,080	11,660	41,100
NR	130,620	220,430	495,420	187,150	215,750	477,300	128,700
合計	146,670	237,830	536,650	193,810	227,820	494,920	192,400

単位：ton

区分	商業用原子力発電所 (57プラント)の合計	
L1	7,880	LLW合計: 454,640 ⇒約2%
L2	63,440	
L3	383,320	
CL	894,210	
NR	18,481,970	
合計	19,830,630	合計: 100%

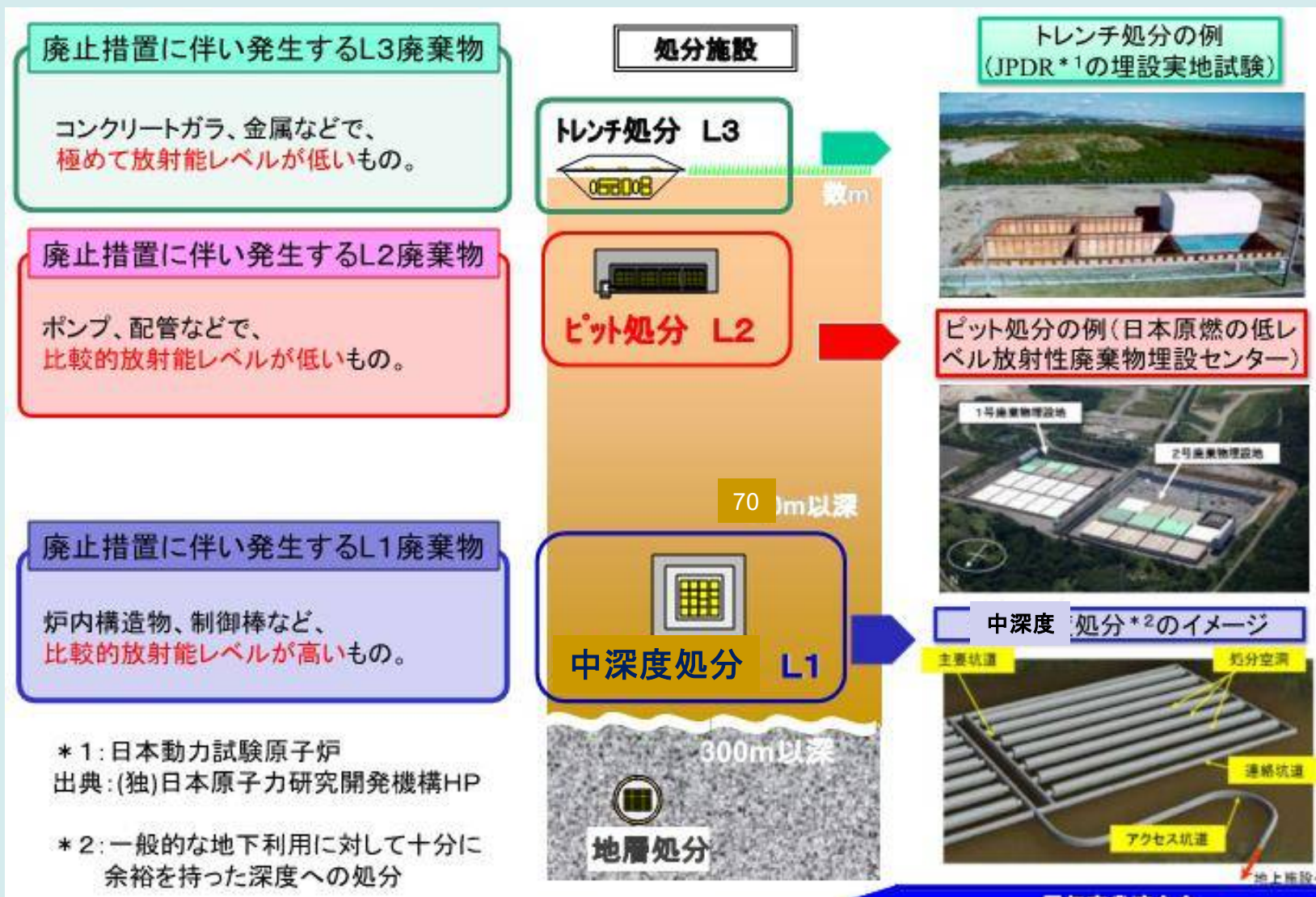
【注】東海発電所、浜岡1、2号機以外のプラントの解体廃棄物量は、標準プラント（BWR/PWR×大中小規模）の廃棄物量データ（ton）をもとに各規模に該当するプラント数を積算したものであり、各プラント固有の廃棄物量を集約したものではない。

電気事業連合会(2014年、自民党・資源エネルギー戦略調査会)

原子炉を廃止措置すると、廃棄物が発生します。そのうち、ほとんどのものは放射性廃棄物として取り扱う必要がありません。

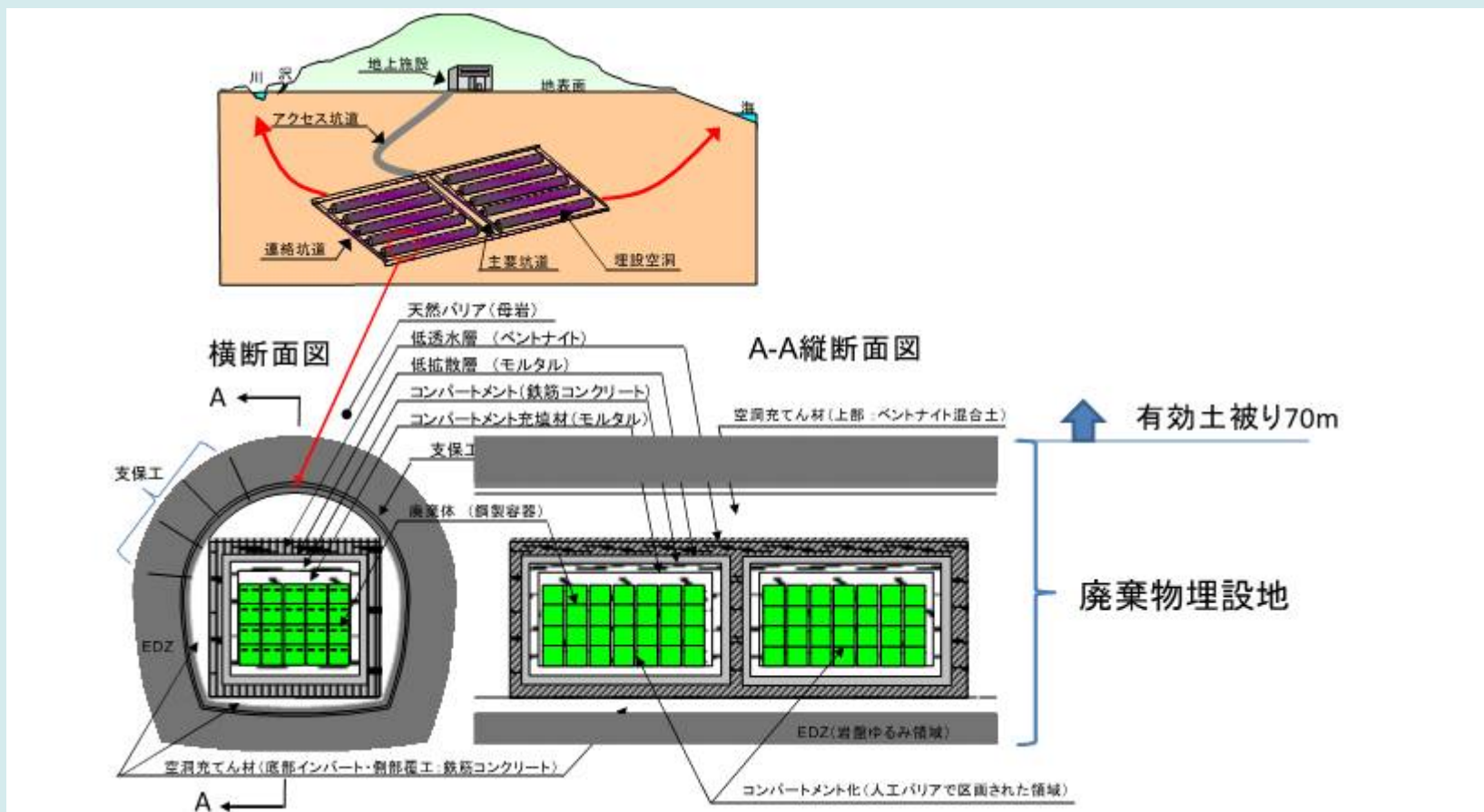
# 低レベル放射性廃棄物

## 廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物



# 低レベル放射性廃棄物

## 中深度処分



原子力規制委員会(2017)

# 低レベル放射性廃棄物

## 研究施設等廃棄物

### 原子力発電所以外の原子力の研究開発や放射線利用における放射性廃棄物の発生



研究用原子炉



核燃料試験研究



大学等での基礎研究



病院での検査



小規模施設での研究等

- **廃棄物発生事業者: 約2,400事業所**
  - ・(独)日本原子力研究開発機構が主要発生者
  - ・その他は、理研や放医研等の独立行政法人、大学、病院、民間企業等

- **昭和20年代から発生、累積している廃棄物(廃棄体化処理前)の保管量: 約58万本**  
(このうち、原子力機構は約35万本)  
(平成24年度末時点。物量は200ドラム缶換算値)

- **廃棄物の規制に係る主な法律**
  - ・核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
  - ・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律



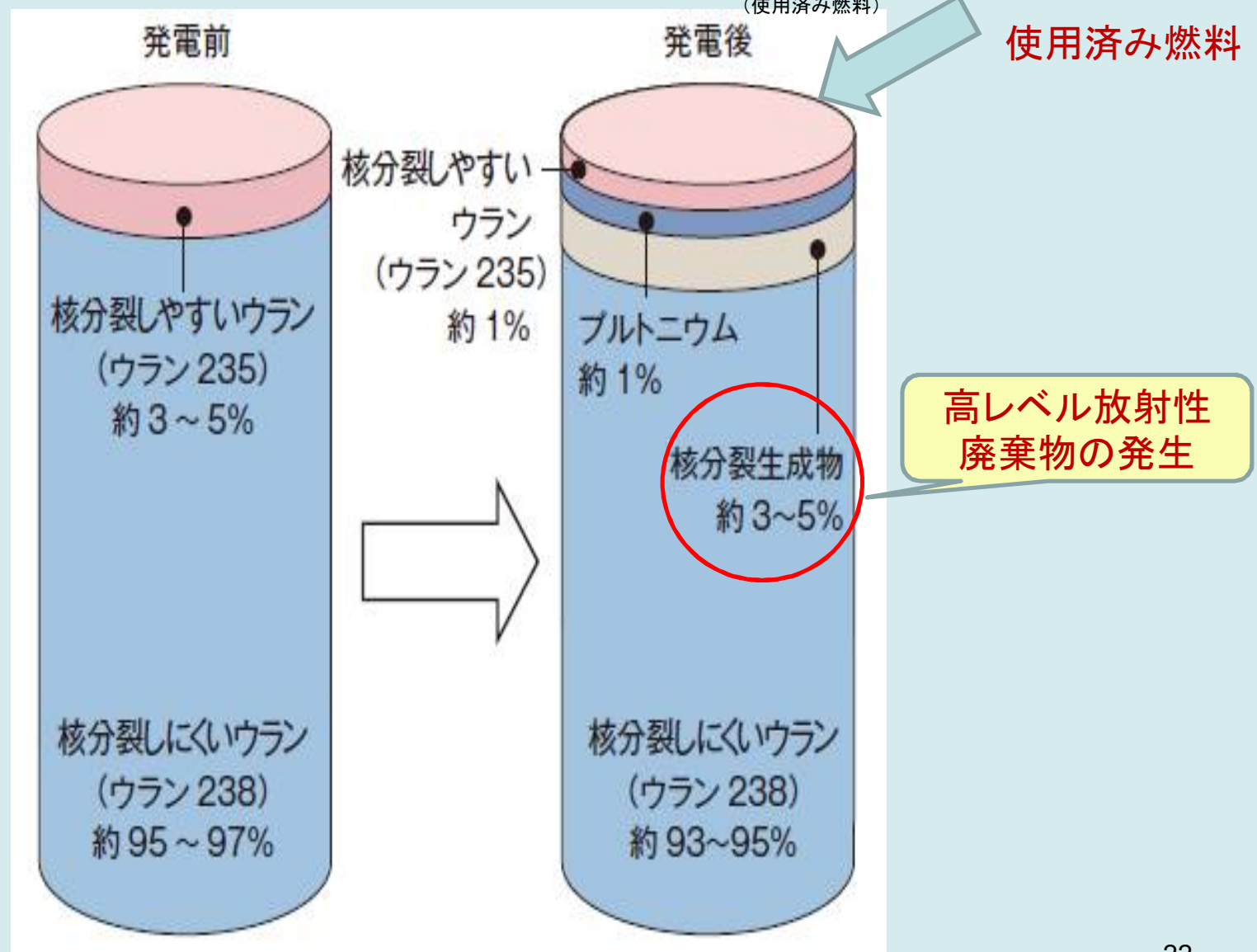
原子力機構における廃棄物保管状況



解体中の原子力施設

# 高レベル放射性廃棄物

高レベル放射性廃棄物の発生(発生元 原子力発電所)



電気事業連合会、原子力・エネルギー図面集2014.

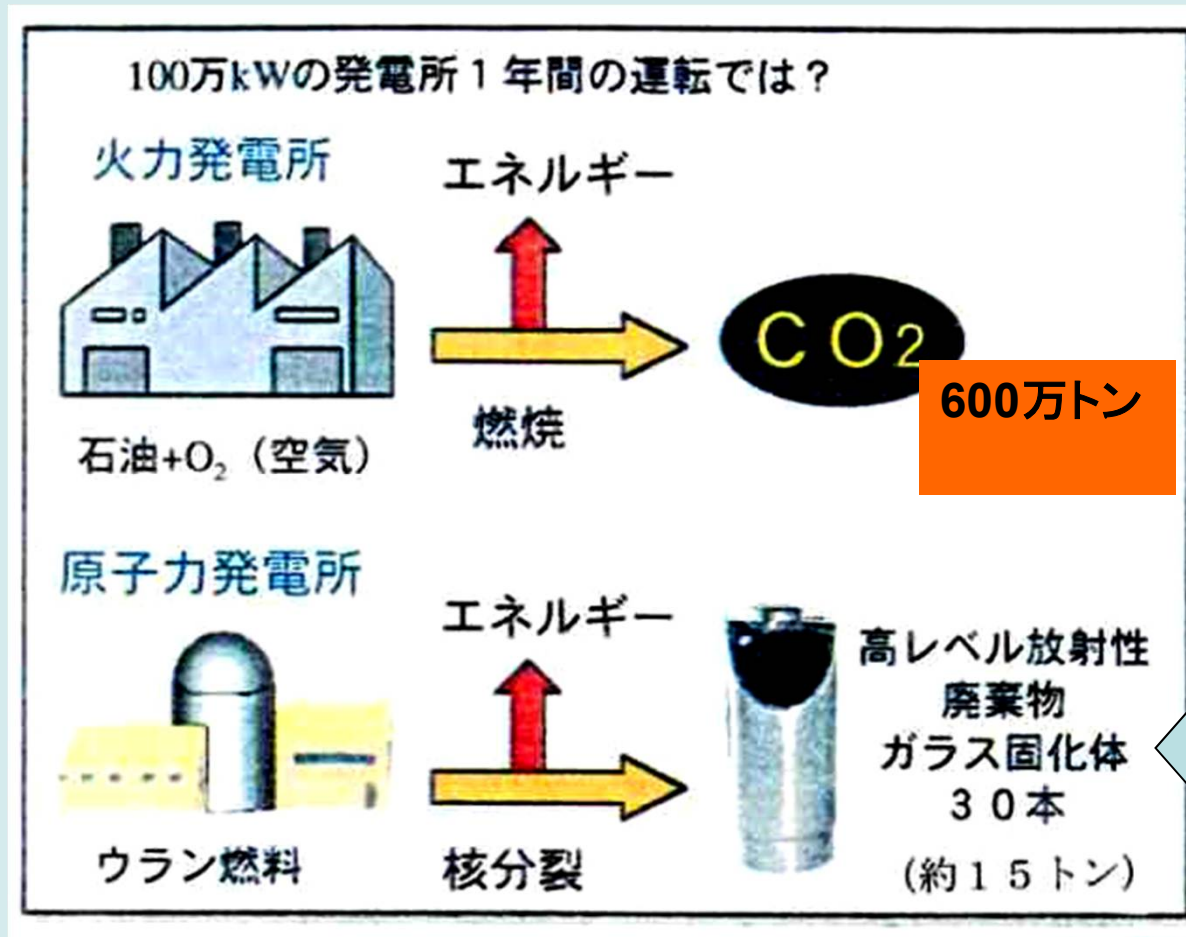
# 高レベル放射性廃棄物

## 炭酸ガス

- 火力発電に伴い必ず発生
- 発生量は膨大

## 高レベル放射性廃棄物

- 原子力発電に伴い必ず発生
- 発生量が僅少



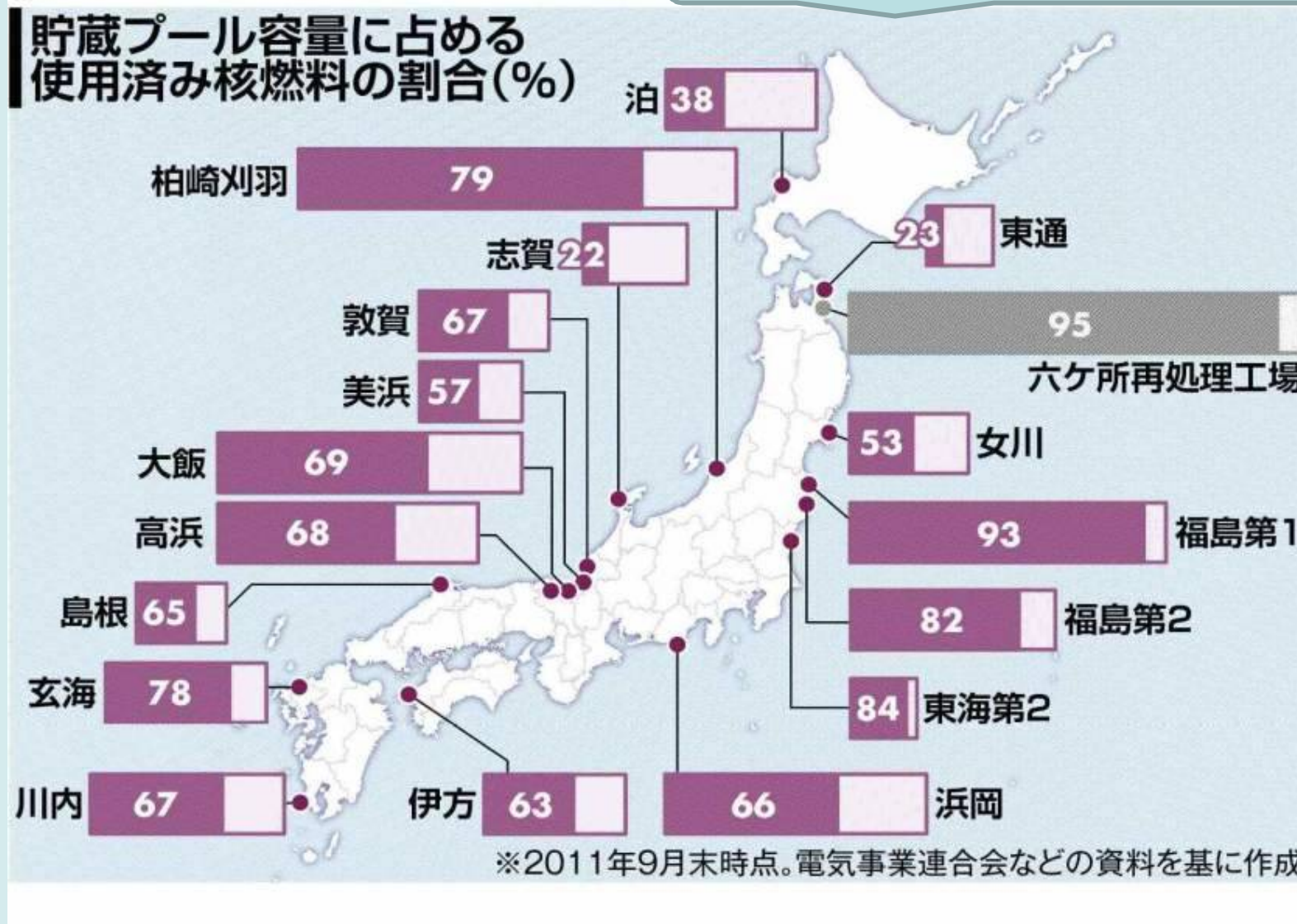
原子力発電所1基の運転で日本のCO<sub>2</sub>年間排出量の0.5%を低減

原子力発電のごみ

参考

## 使用済み燃料の貯蔵

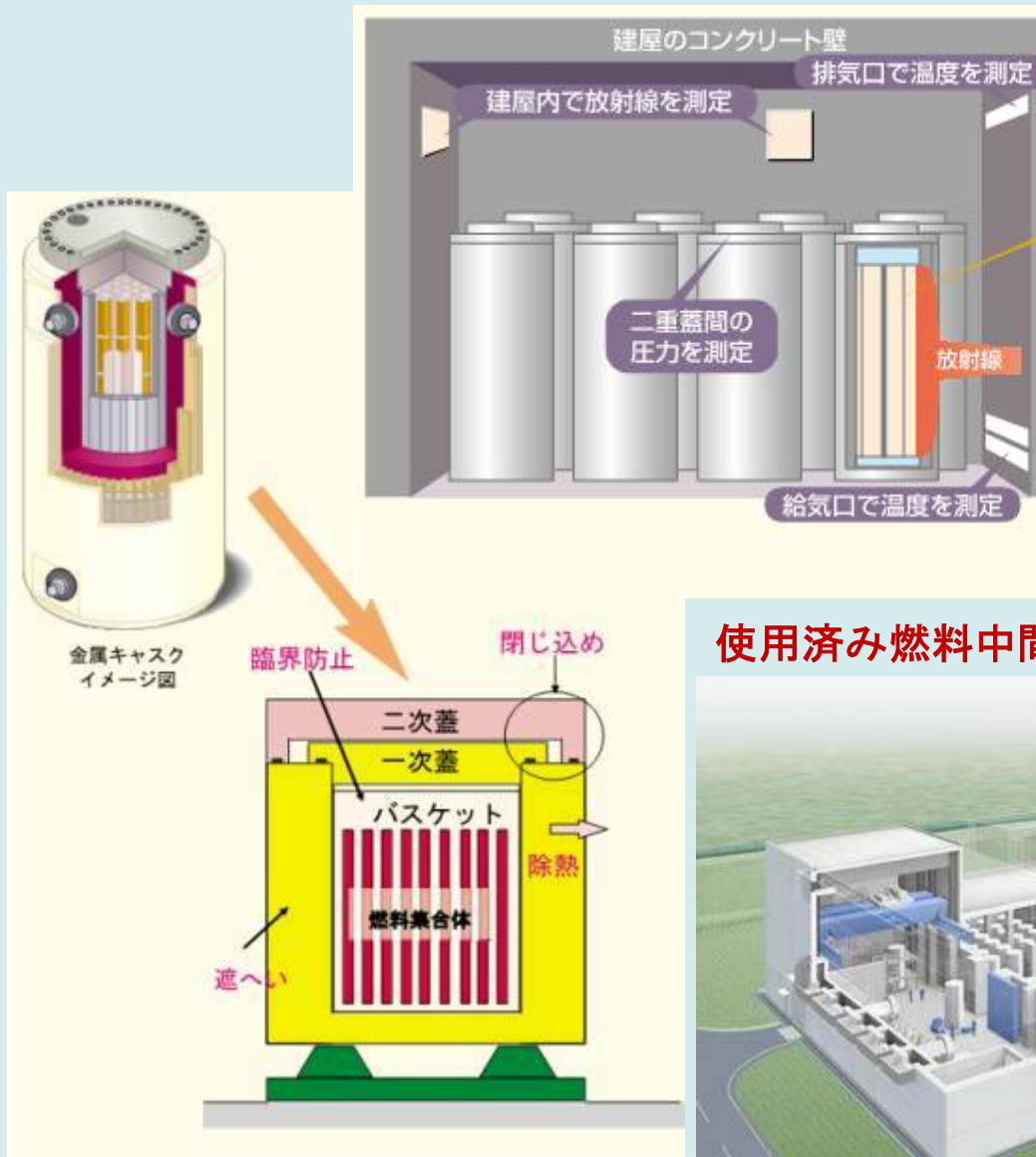
使用済み燃料の安全な管理が引き続き重要です





# 参考

## 使用済み燃料の中間貯蔵



### 乾式貯蔵施設の例



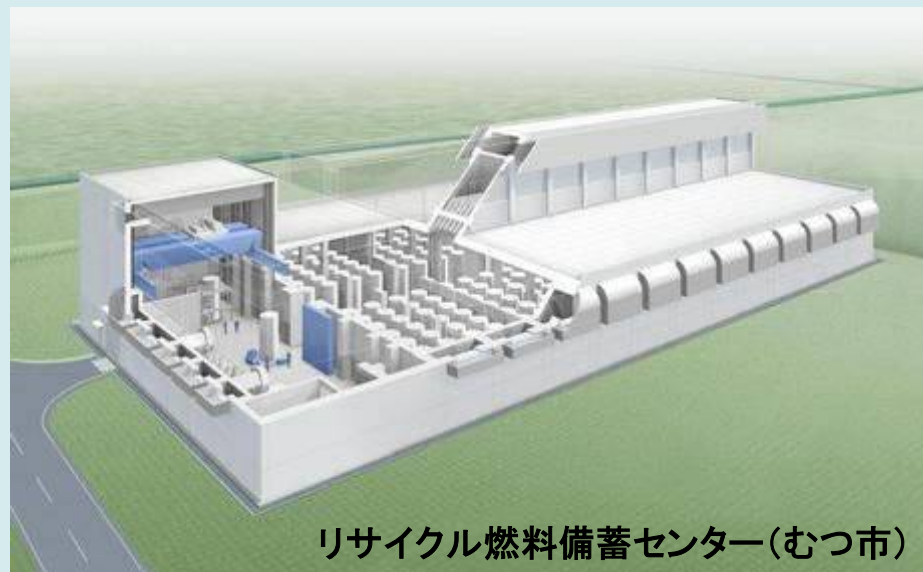
日本原子力発電(株)東海第二発電所での乾式貯蔵

発電所敷地内に貯蔵施設を新設した例

- これまでの取組: 福島第一原子力発電所、東海第二発電所
- 今後の取組予定: 浜岡原子力発電所、東海第二発電所(増強)

出典: 電気事業連合会

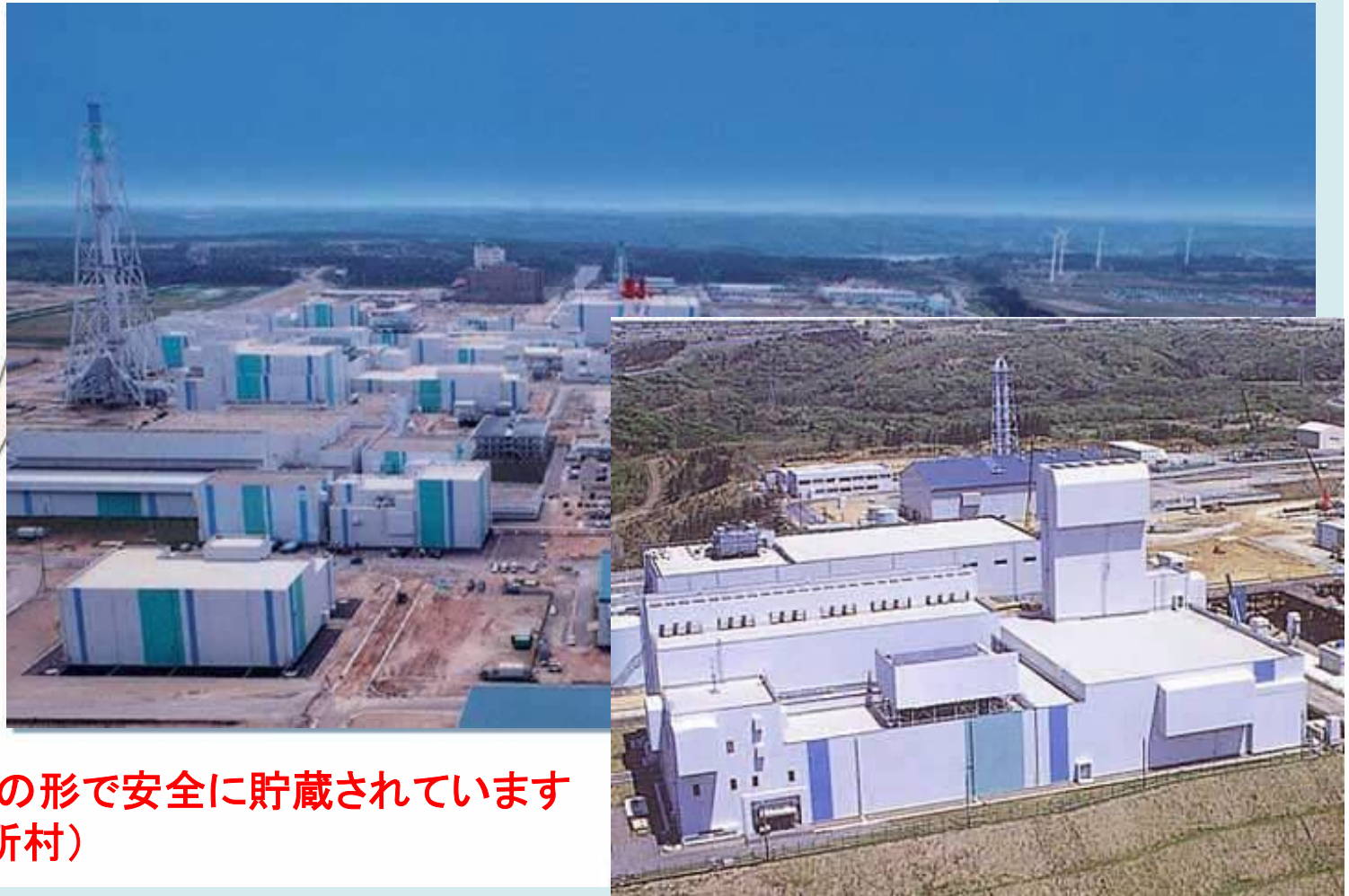
## 使用済み燃料中間貯蔵施設



# 高レベル放射性廃棄物

## 中間貯蔵

### 原子燃料サイクル施設の位置



ガラス固化体の形で安全に貯蔵されています  
(青森県六ヶ所村)

# 高レベル放射性廃棄物

## 高レベル放射性廃棄物とは



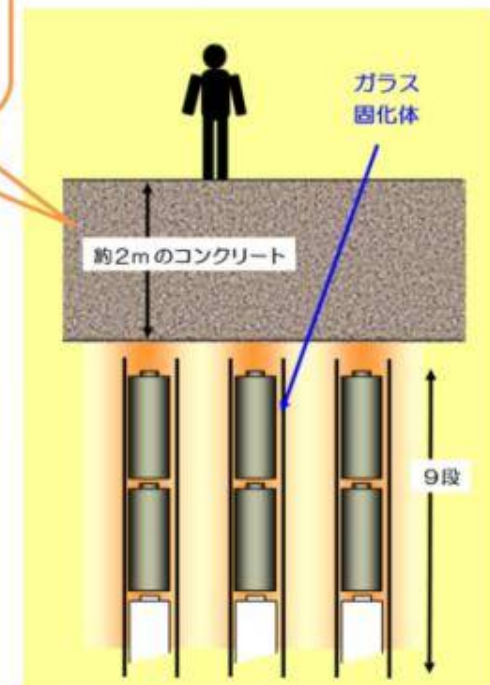
安全に処分できる発熱量に下がるまで、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター等に保管しています。

ガラス固化体からは強い放射線が出ますが、約2mのコンクリートで十分遮蔽できます。



日本原燃㈱ 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）  
※写真は2014年12月24日（水）週刊誌の取材で訪問した舞の海氏（掲載誌「週刊新潮」）

このセンターで30～50年貯蔵します。この間に放射線量は1/10、発熱量は1/3～1/5程度まで減少します。



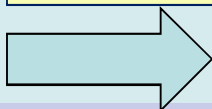
※構造を簡略化した図です。

(2016年9月現在)

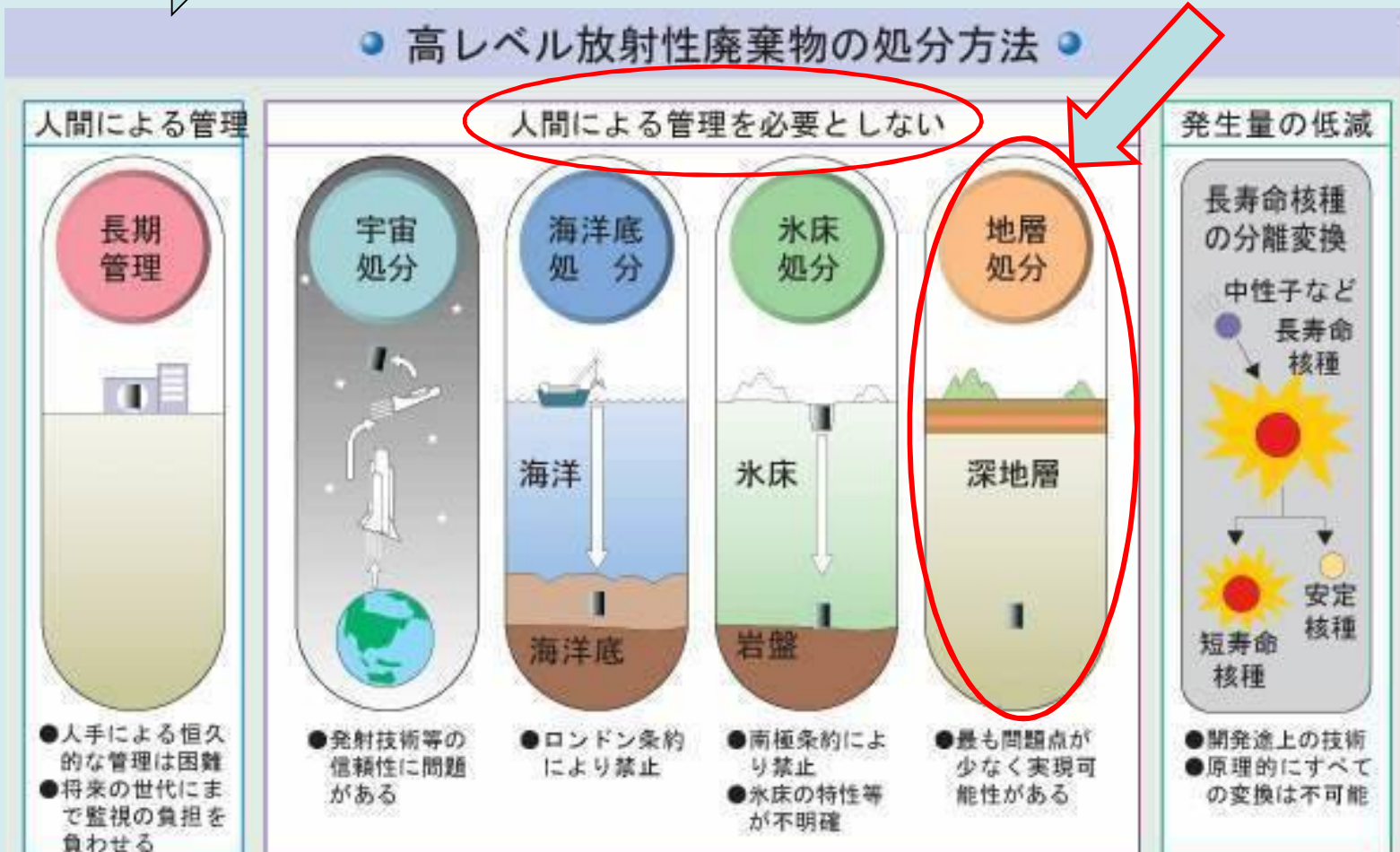
地層処分意見交換会(2016, NUMO))

# 高レベル放射性廃棄物 最終処分技術の選択

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する



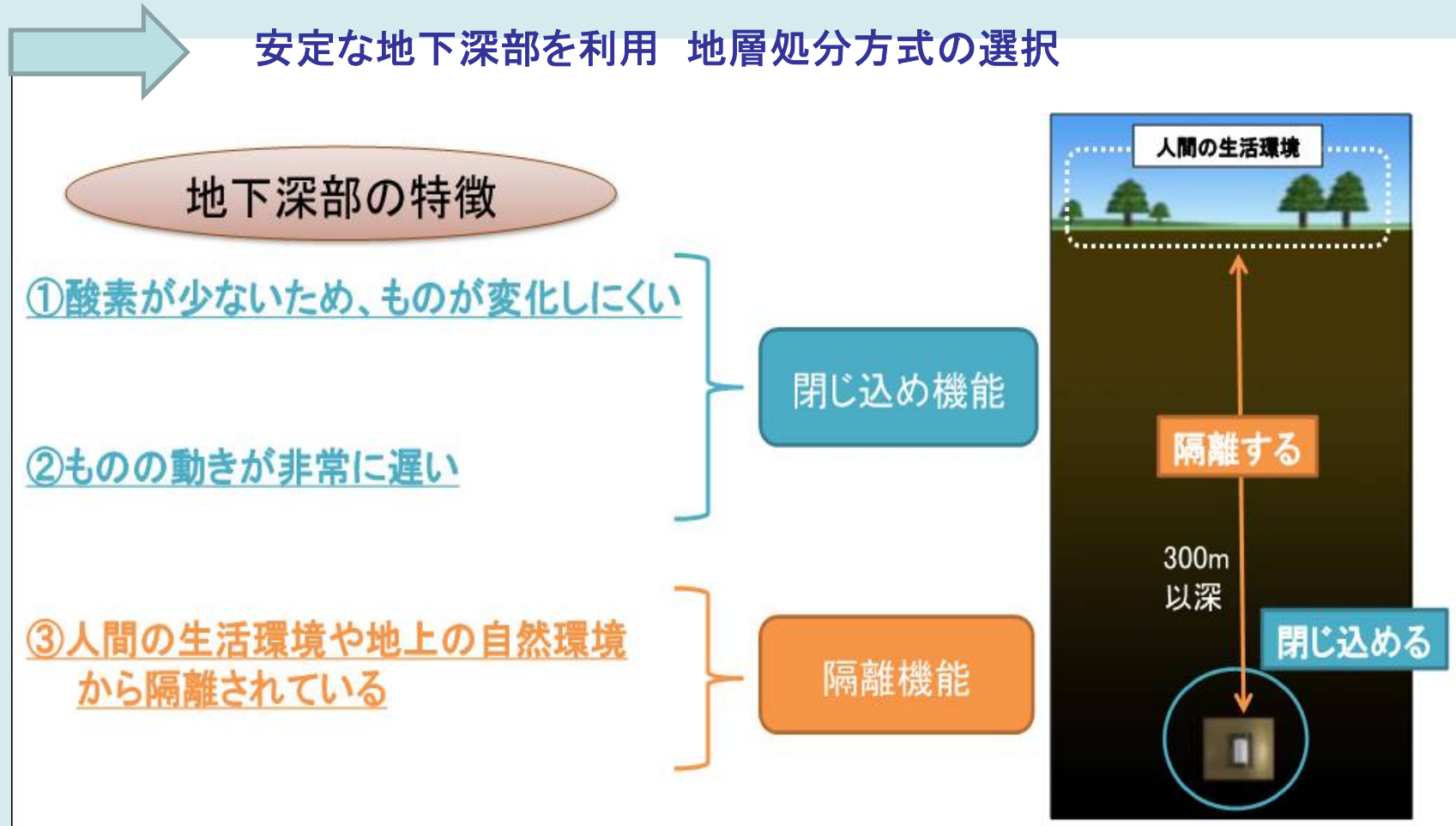
安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



世代を超えて長い間放射能を持ち続けるので人の手を借りて保管し続けることは望ましくない

# 高レベル放射性廃棄物

## 地層処分技術の選択



地層処分全国シンポジウム(資源エネルギー庁(2017))

# 高レベル放射性廃棄物 地層処分技術の開発

人工バリア周辺で放射能が  
消滅していく



## 安全確保の三要件(徹底した地下水対策)

**地下水接触の抑制**

- ・初期の高い放射能を確実に減衰させる

**放射性核種の溶出・移動の抑制**

- ・放射性核種を確実に人工バリア内にとどめる

**環境安全の確認**

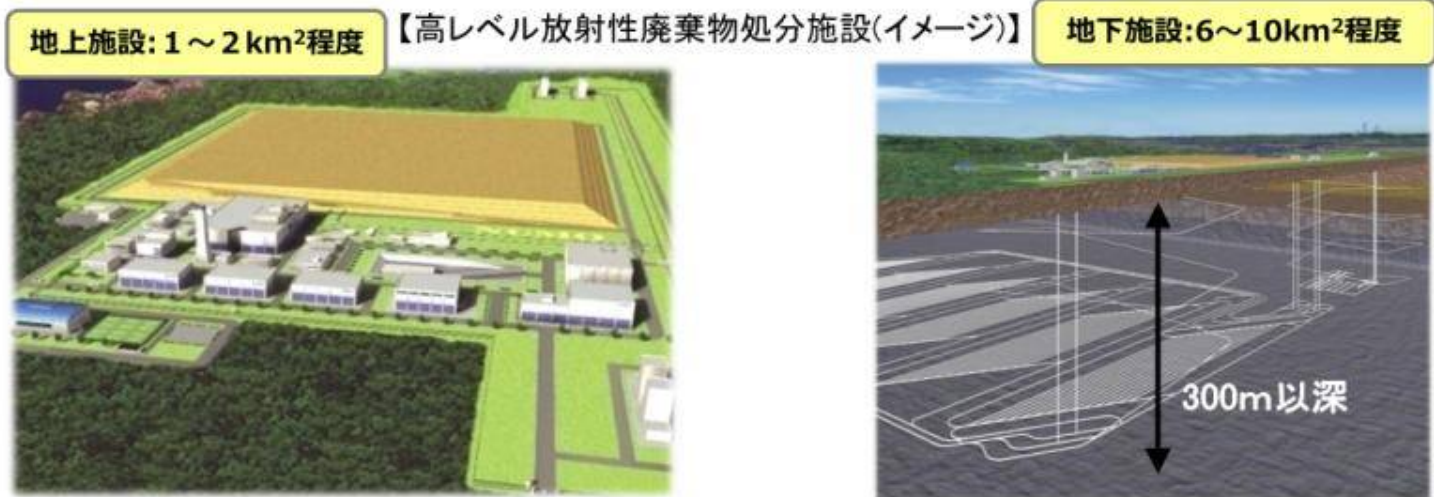
- ・人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする

# 高レベル放射性廃棄物

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

## 地層処分場の規模

- スケールメリットを考慮し、ガラス固化体を4万本以上埋設できる施設を1ヶ所建設することを計画しています。
- 処分施設の規模は、地上施設が1~2km<sup>2</sup>程度、地下施設が6~10km<sup>2</sup>程度、坑道の総延長は200km程度と見込んでいます。
- 国際条約で放射性廃棄物は発生した国内で処分することを前提とされています。日本もこの条約を批准しており、国内で処分する方針としています。



最終処分事業費: 約3.7兆円

※費用は原子力発電を行う電力会社が拠出。

※高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)、地層処分を行う低レベル放射性廃棄物(TRU廃棄物)を含みます。

# 高レベル放射性廃棄物

処分地選定に先立ち「科学特性マップ」の提示  
地層処分に適さない地下深部の科学的特性  
を国民が情報共有するため、



科学的特性マップ  
(既存の全国データを整理し  
地図(マップ)で提示)

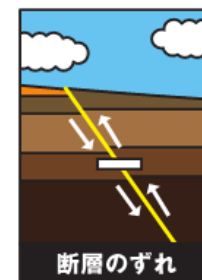
## × 火山に近い

将来にわたって火山の活動が処分場を破壊したりすることのない場所を選びます。



## × 活断層に近い

大きな断層のずれが処分場を破壊することのない場所を選びます。



## × その他、地下の科学的特性が地層処分に適さないところ

地盤の隆起の速度が大き過ぎないか、地下の温度が高過ぎないか、地盤の強度が不十分でないか、といったことも考慮します。

## 将来の人間が気づかずに近づいてしまわないか？

## × 地下に鉱物資源がある

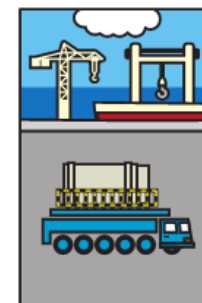
地下に鉱物資源があると、施設管理終了後の遠い将来に、人間が掘削してしまうかもしれません。



## 輸送時の安全性が確保されるか？

## ○ 陸上輸送距離が短い(海岸から近い)

陸上輸送にかかる時間や距離は、短い方が安全上好ましいです。



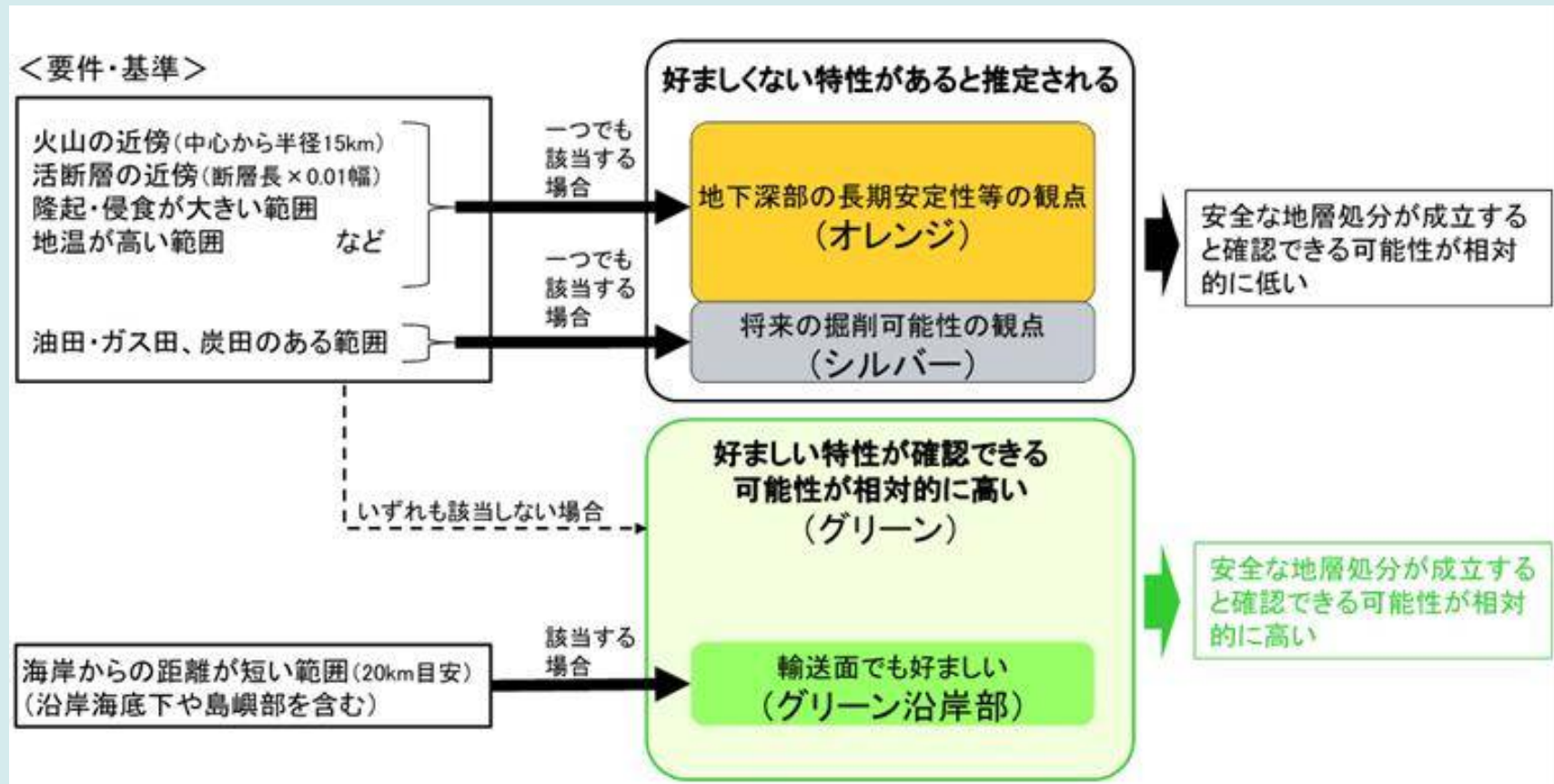
※貯蔵場所からの長距離輸送として、海上輸送を想定しています。



# 高レベル放射性廃棄物

## 科学的特性マップ

既存の全国データに基づいて整理し、全国地図(マップ)の形で提示



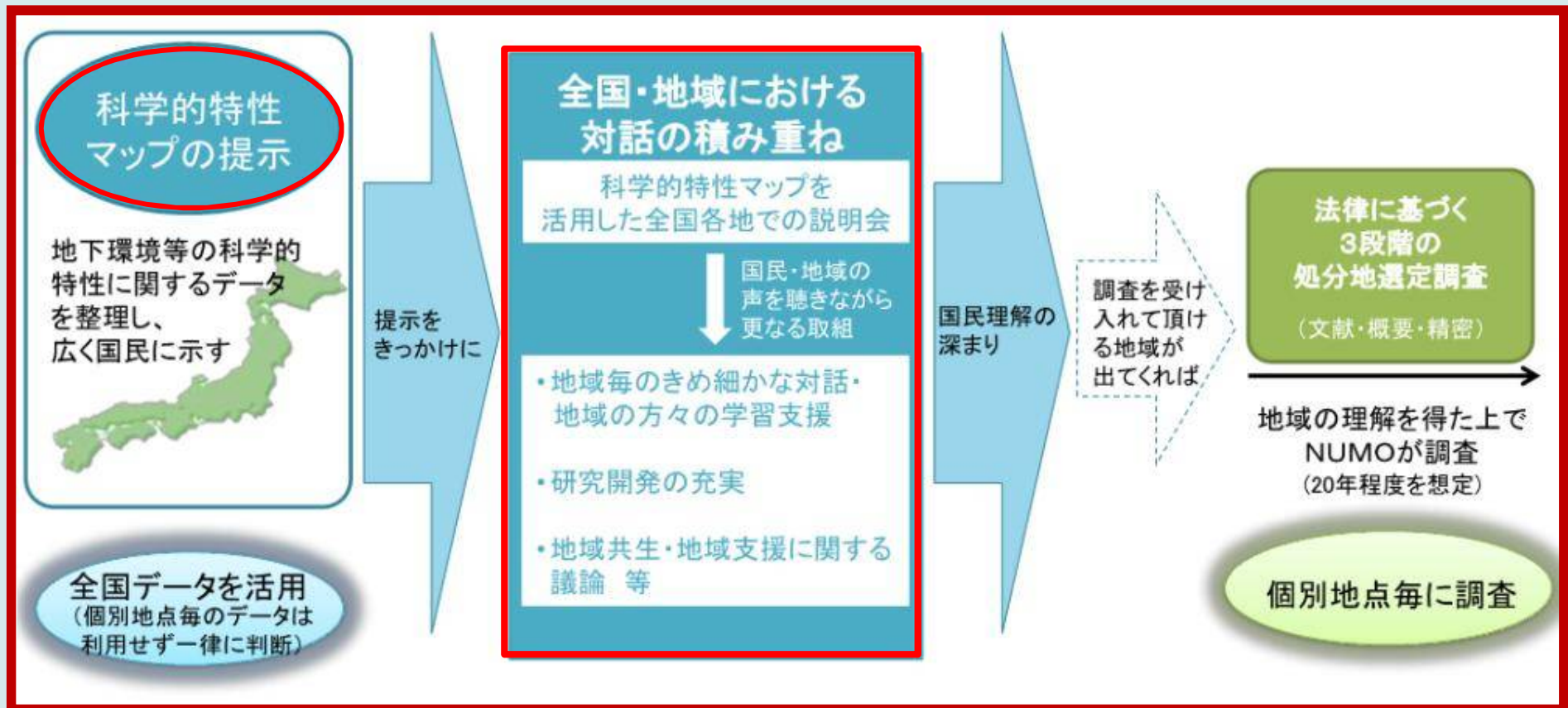


# 高レベル放射性廃棄物

社会への定着に向けて

国による科学的特性マップの提示と

それに続く国・NUMOによる全国・地域における対話の積み重ね



全国シンポジウム資料(資源エネルギー庁(2017))

## 参考

### 社会の意思決定が難しい課題の解決に向けて(1)

#### リスク・コミュニケーションの変遷

##### 「決定・通知・説得」型 (DAD, decide, announce and defend model)

リスクの受け手: 専門家にお任せ

リスクの送り手: 啓蒙 (=コミュニケーションでも正しい科学知識の提供)



リスクの受け手: リスクを知る権利 (市民運動、環境運動)

リスクの送り手: 知らせる努力



2000年以降 (契機: 英国におけるBSE問題。  
EUにおける国際共同研究)

##### 「参画・対話・協力」型 (engage, interact and co-operate model)

= パートナーシップ・アプローチ (市民参加から市民参画へ)

## 参考

### 社会の意思決定が難しい課題の解決に向けて(2)

#### 地層処分政策の見直し勧告(OECD/NEA, 2004)

#### 意志決定プロセスの見直し

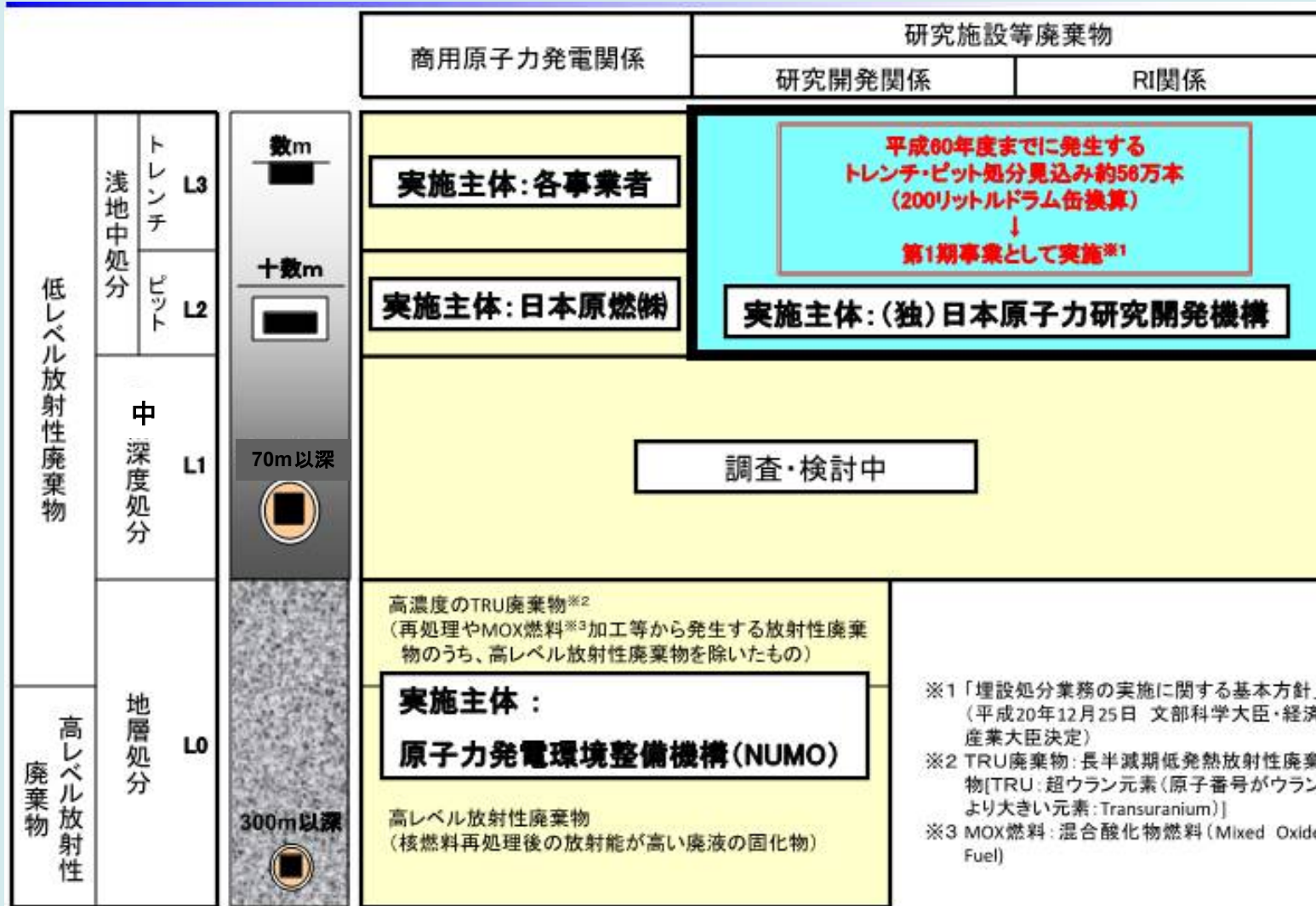
「決定・通知・説得」型 (decide, announce and defend model)

→ 「参画・対話・協力」型 (engage, interact and co-operate model)

- 最適な技術を訴求とする伝統的なアプローチから  
技術、**社会の支持**、および分配面の公平を重視するアプローチの実現
- 技術的な保証に加えて**参加型意志決定を念頭においたプロセス**が重要
- 段階的 (step-wise) な意志決定を可能にする概念の導入
- 社会意志に基づく修正が可能な (reversible) 処分計画の開発
  - ✓ 意志決定の変更への柔軟な対応
  - ✓ 埋設した廃棄物の回収可能性への対応

OECD/NEA(2004)、Stepwise Approach to Decision Making for Long-term Radioactive Waste Management.

# 日本における放射性廃棄物処分事業の実施主体

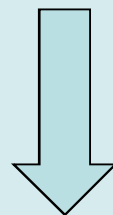


5

# 福島原子力災害と「新たな放射性廃棄物対策」

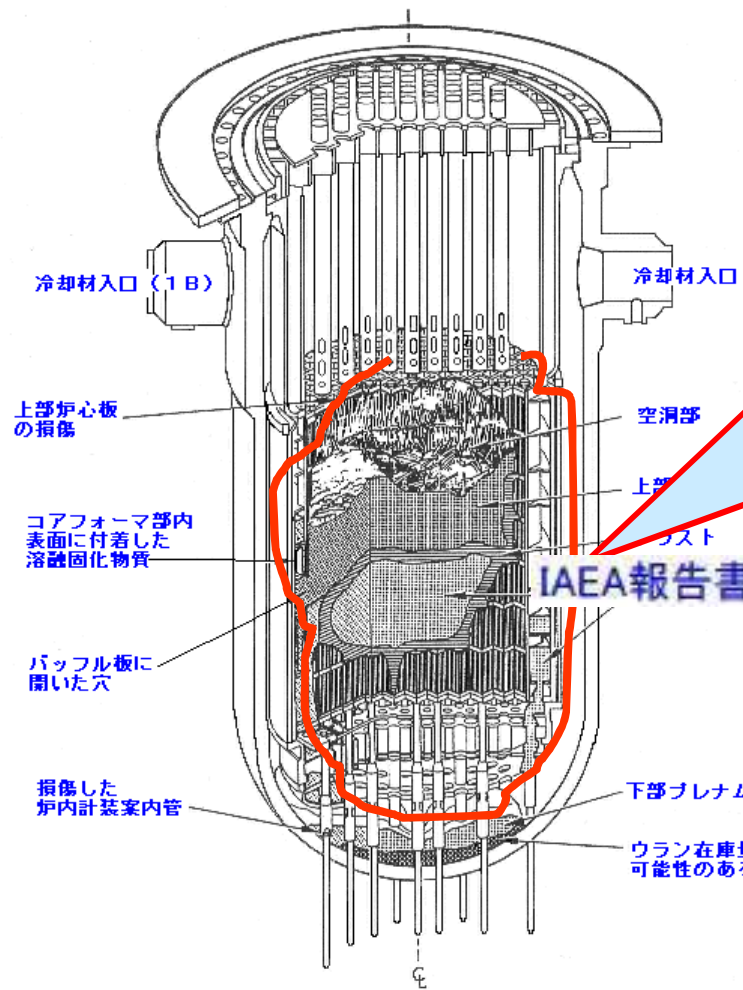
事例から学ぶ

スリーマイル島(TMI)原子力発電所事故  
チェルノブイリ原子力発電所事故



浮かび上がる放射性廃棄物の課題

# 原子力発電所内の廃棄物処理(TMI-2)



1979. 03 事故発生

燃料および炉心塊(およそ130トン)  
 1985. 10 遠隔つり上げ開始  
 1990. 01 撤去完了(一部は炉内に残留)  
 1990. 04 342体のキャニスターを  
 アイダホ国立研究所(INL)に  
 輸送・長期保管→将来的に地層処分

IAEA報告書 "STI/PUB/1239" (2006)

液体廃棄物(およそ8400立米)

1991. 01 脱塩(イオン交換)ー蒸発処理開始  
 1993. 08 処理完了

1993. 12 TMI-2 長期監視段階に移行

1991. 02 全米専門技術家協会(NSPE)賞

図4 TMI-2 炉容器内の最終状況

(炉心物質の約45%(62ト)が溶融し、この内約20トが下部プレナムに落下した)

[出典] J.M.Broughton, et al.: A Scenario of the Three Mile Island Unit 2 accident, Nuclear Technology, Vol.87, No.1, p.35, 1989





## 新たな放射性廃棄物対策

通常の原子炉解体に伴う放射性廃棄物処理処分のほかに、  
今までに経験をしていない放射性廃棄物の課題が生じている

### 原子力発電所構内

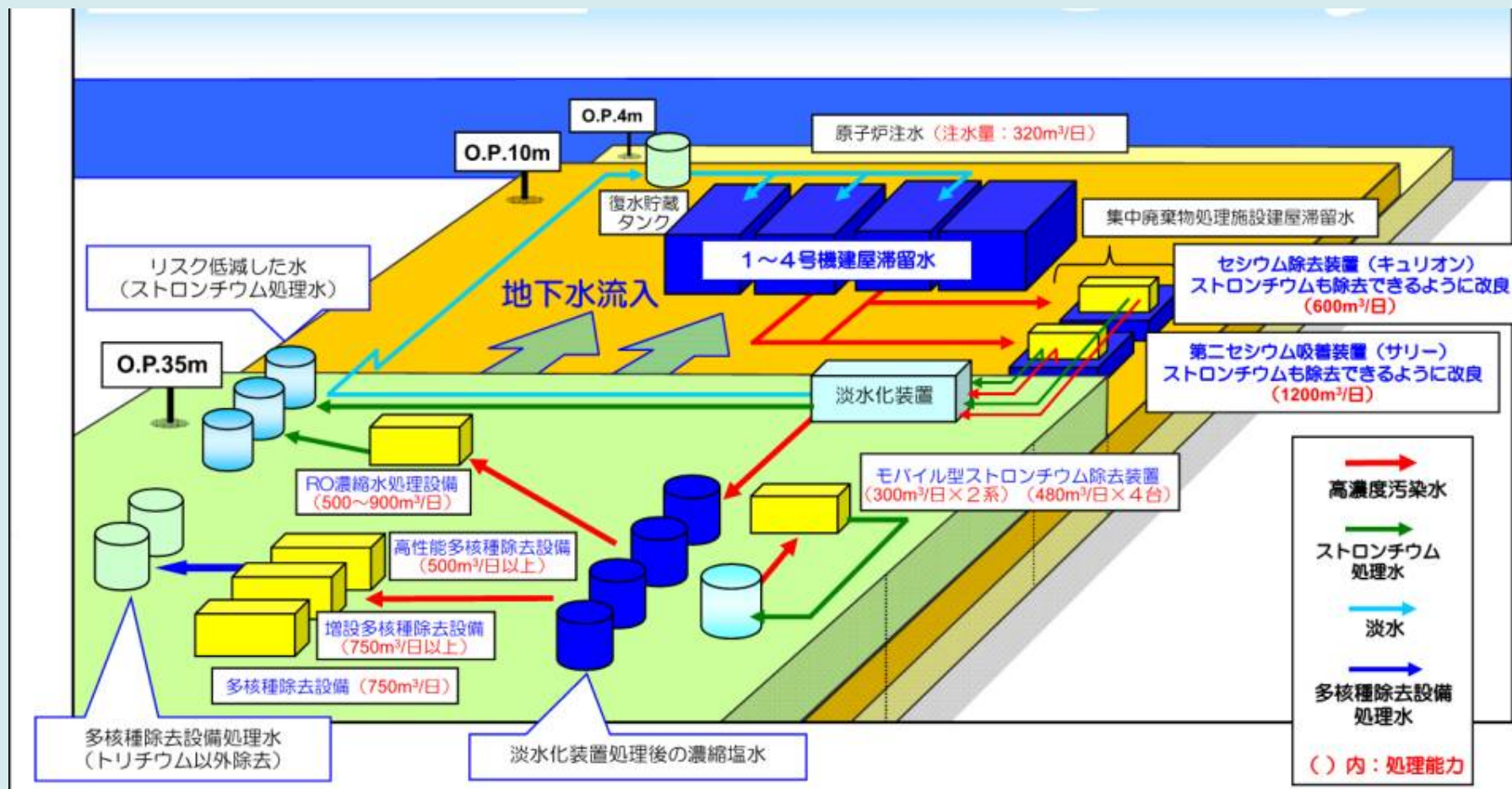
1. 原子炉内**損傷核燃料および炉心塊の取り出し技術開発**と処理・保管
  - およそ炉心部300トンU+燃料プール内570トンU
  - TMI: およそ100トンU、撤去搬出に10年余
2. 汚染水リサイクルにともない発生した放射性廃棄物の処分
  - 110,000立米以上
  - TMI: 8,000立米
3. 構内のがれき等の適正な処理と処分

↓  
低レベル放射性廃棄物の処分  
(既存技術で可能?)

### 生活環境の修復

1. **撤去された汚染土壌などの処理処分**
  - 一時保管など暫定的な対策
  - 処理処分施設

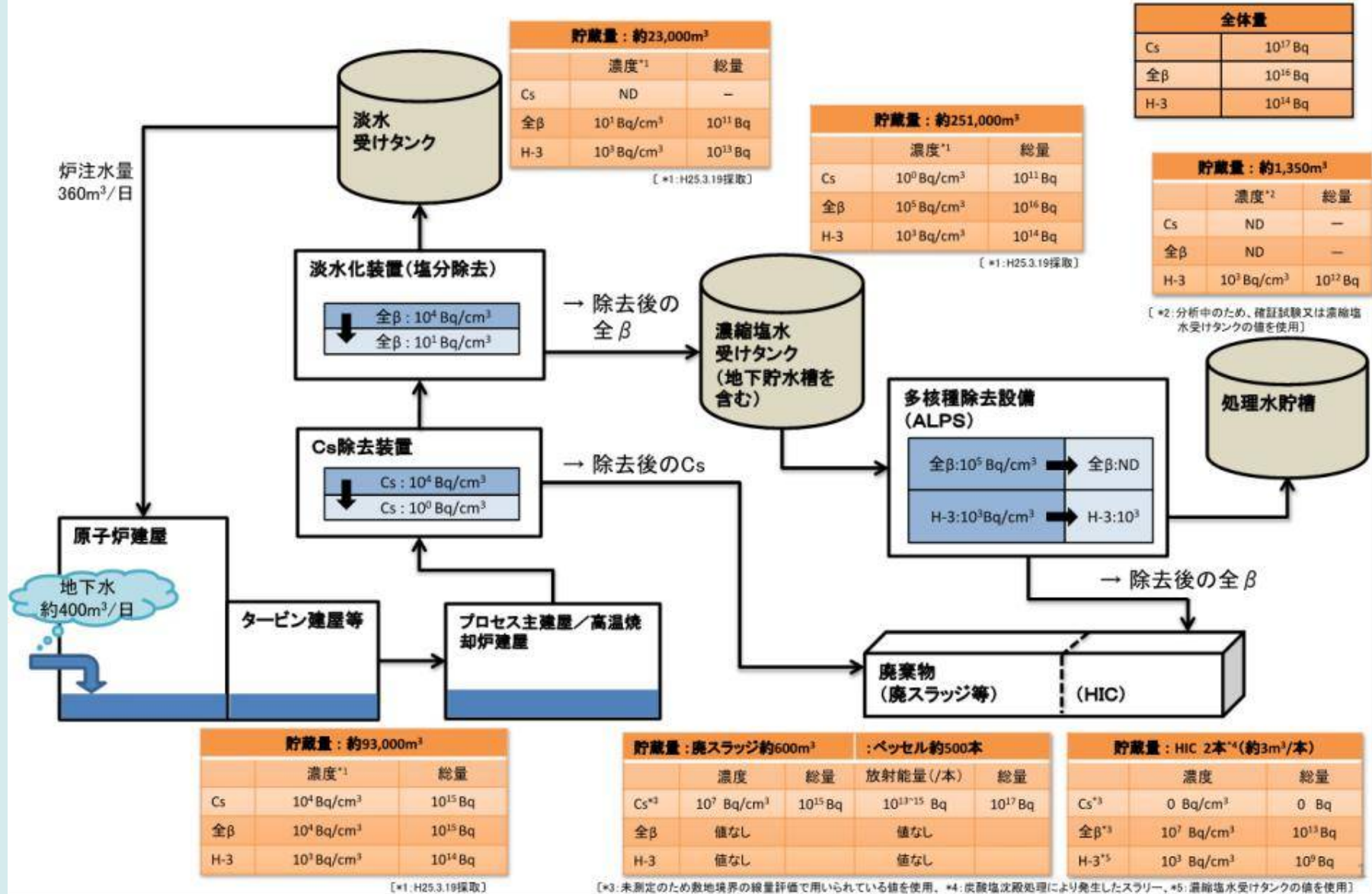
## 汚染水処理



報道発表資料(東京電力、2015)

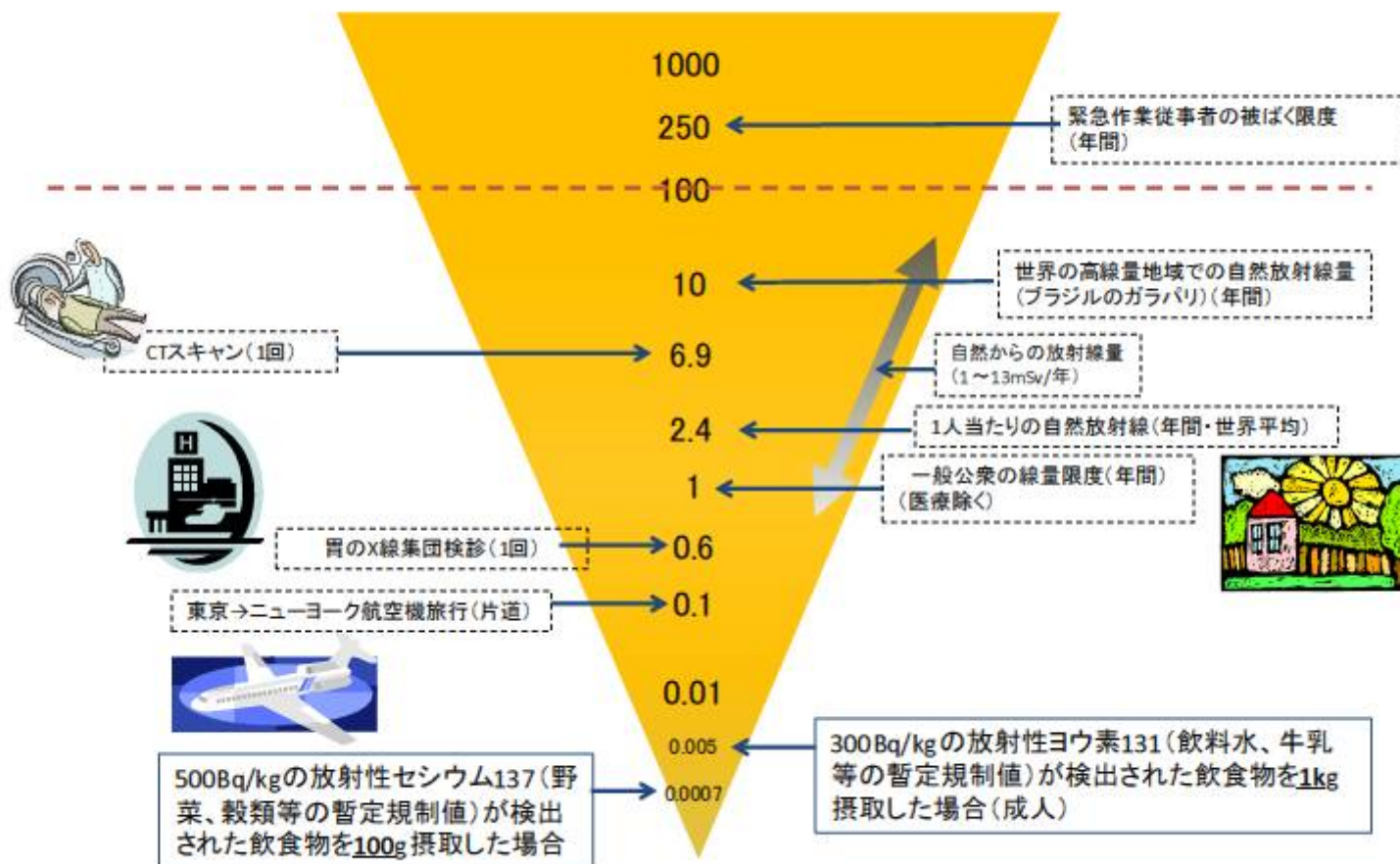
# 汚染水処理

## 汚染水処理の現状について (H25.4)



# 参考

## 日常生活と放射線(単位:mSv(ミリシーベルト))



出典:文部科学省「日常生活と放射線」、放射線医学総合研究所HP

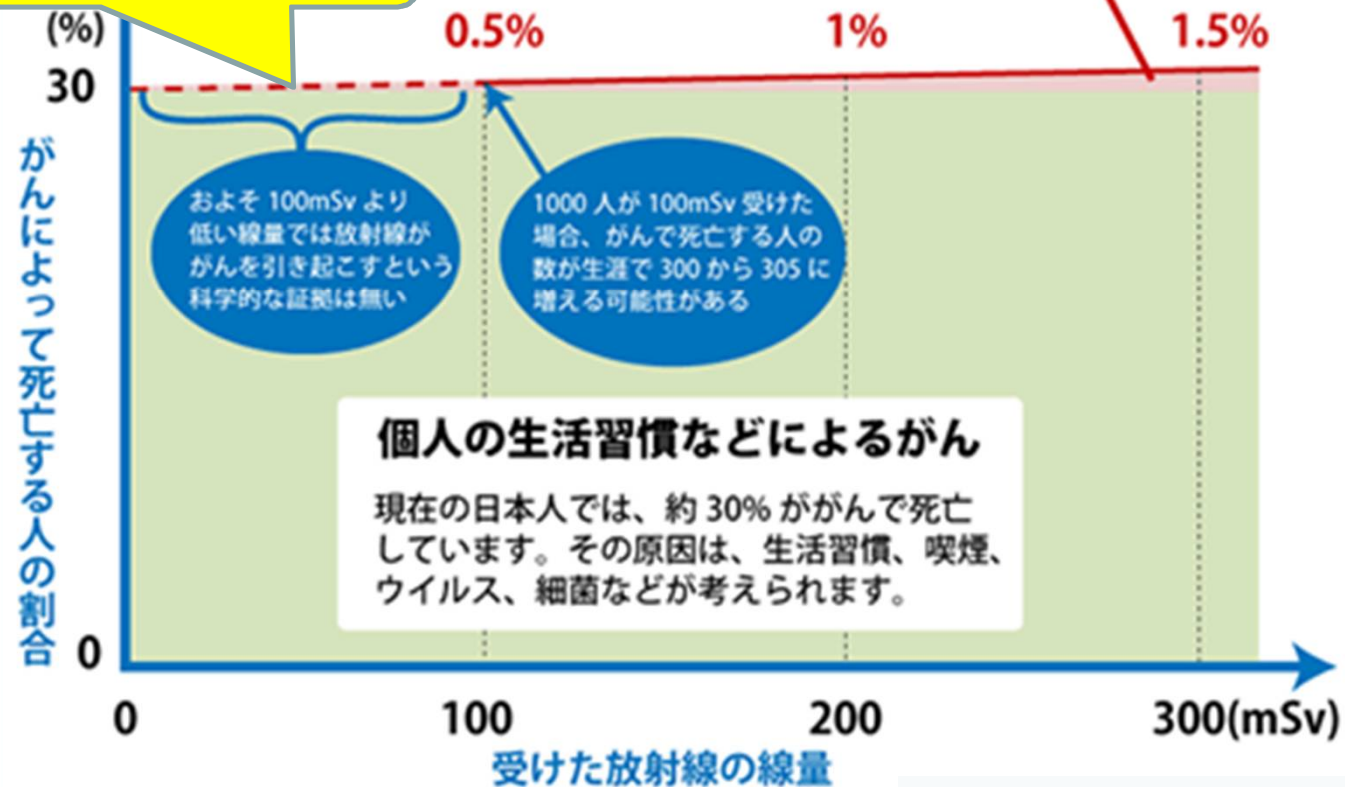
参考

低線量放射線の生体への影響(1)

### 放射線によるがん・白血病の増加

低線量放射線被曝の影響は「トランス・サイエンス」※の領域

#### 放射線による死亡の増加分



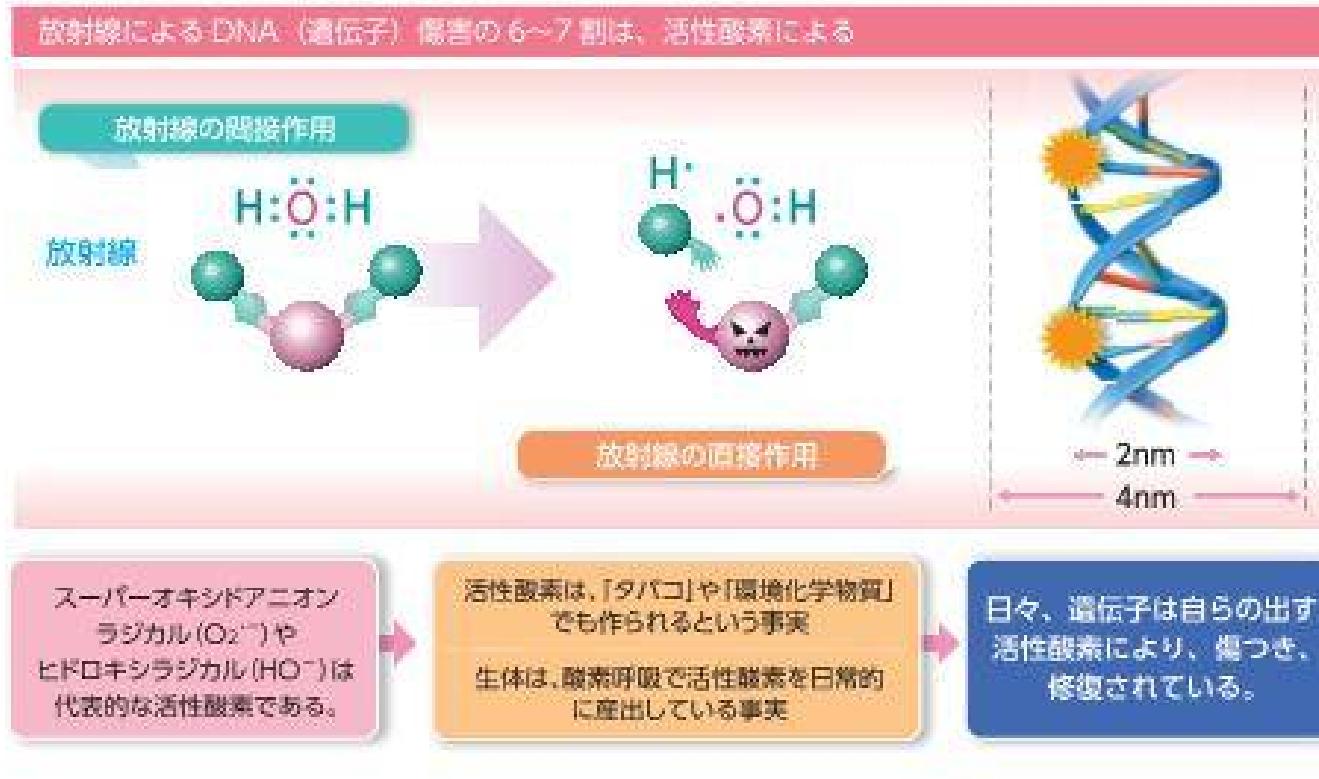
放射線医学総合研究所HP

※ Alvin M. Weinberg, "Science and Trans-science", Minerva, Vol.10, 1972

# 参考

## 低線量放射線の生体への影響(2)

図1 DNAが受ける放射線の作用



宇野賀津子(2012)(<http://www.louis-pasteur.or.jp/bunken/medicaltrend.pdf>)



Copyright (C) NEC Corporation/NEC BIGLOBE, Ltd. 2002



— 終 —

ご清聴ありがとうございました

コメントなどがありましたら下記にお寄せ下さい。  
[officetsuboya@nifty.com](mailto:officetsuboya@nifty.com)