

# 原子力バックエンドへの取組と課題

静岡県原子力経済性等検証専門部会第6回

2013年5月15日

京都大学原子炉実験所  
山名 元

## 2013/3/15から始まった原子力エネルギー政策の改定

経産大臣の諮問委員会である「総合資源エネルギー調査会基本問題委員会」は、日本の将来エネルギー需要にあった新たな計画のドラフトを今年末までにまとめる

茂木経産大臣は、「基本エネルギー計画は、安定供給と低コスト化のためのはっきりした道筋を示さなければならない」と述べた

### エネルギー供給とコスト削減の制約を緩和する解決策を見つけること

#### 生産断面

- 再生可能
- 原子力再稼働
- 高効率火力の導入

#### 流通断面

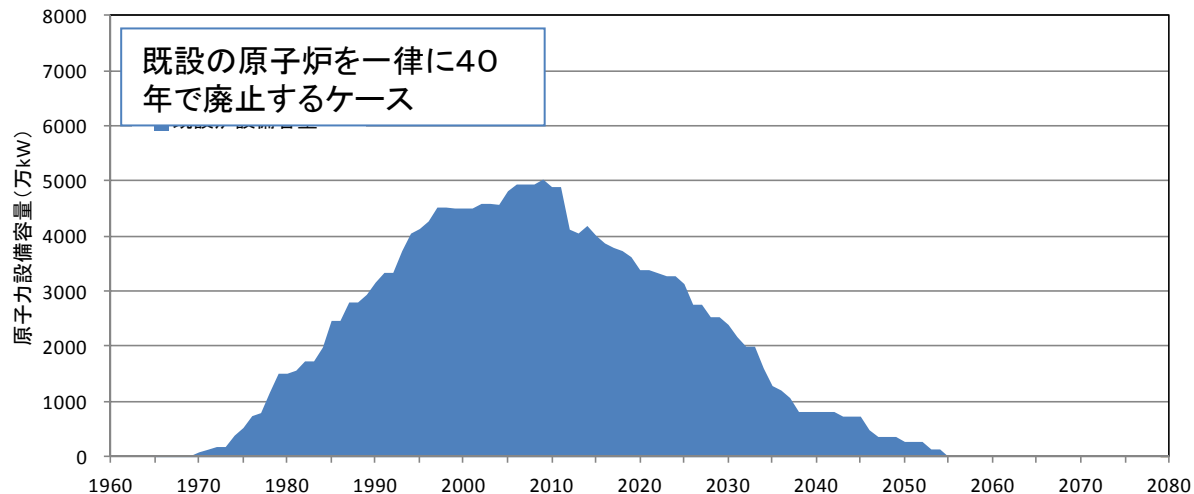
- 電気事業改革
- 電気料金最適化

#### 消費断面

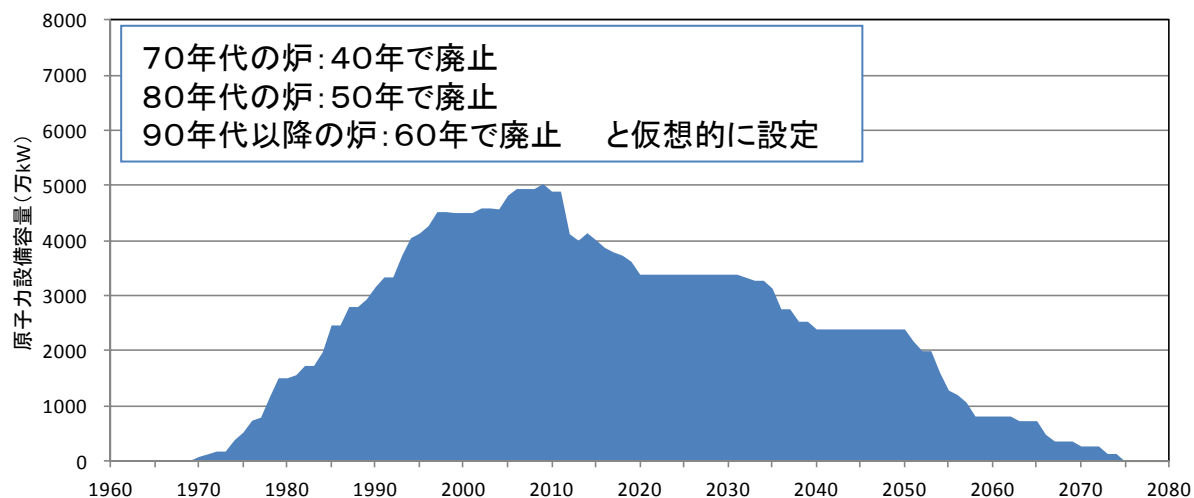
- 産業における効率向上
- 事務所と家庭での節電
- 需要応答

# 原子力利用の長期展望は未定(今後のエネルギー政策審議による)

## 既設軽水炉を全て40年寿命で廃止した場合



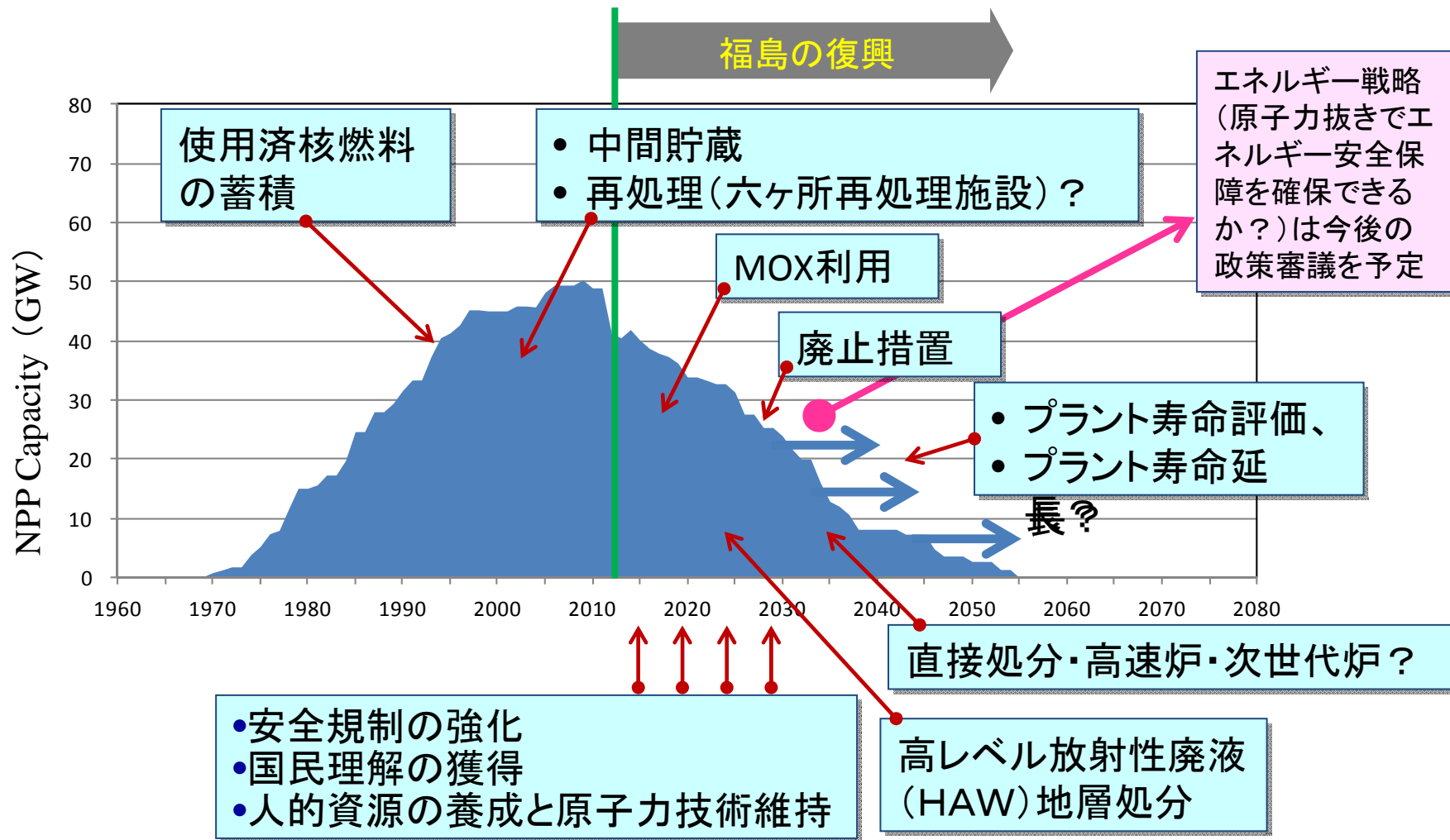
## 仮に、設置年代に応じて寿命延長が規制委員会により認められた場合



実際には、炉個別の寿命延長審査になるので、この想定は非現実的である点に注意

# 将来の原子力シナリオ において予測される課題 (廃止の場合)

エネルギー政策の審議は現在進行中。エネルギー供給構造の戦略の中で、将来の原子力シナリオのロードマップは描けていない



# 今後の原子力研究開発の大きな方向性（安全で確実なものにするために）

原子力政策の変更に沿う研究開発の見直しと、旧来原子力研究開発での問題を是正した上での研究構成の見直しが必要。

## 1. 福島第一発電所事故への修復対応への取組み(今後の原子力研究の原点)

- ① 損傷した福島第一発電所の原子炉の廃炉に向けての技術開発
- ② 福島県を初めとする広域汚染地域の環境修復の研究等

## 2. さらに、今後の原子力研究開発の大きな方向性として

- ③ 基礎基盤研究の強化
- ④ プラント信頼性や性能の強化
- ⑤ 原子力工学と社会の整合に関わるより本質的な探究
- ⑥ 自然災害等の外的因子と施設機能(内的因子)を包含するリスク評価
- ⑦ 新しい安全基準を満たすべき安全性能の強化(システムおよび装置)
- ⑧ 使用済燃料および放射性廃棄物に関わる本質解の探求(再処理・直接処分・地層処分・原子炉廃止措置)
  - ⑨ 原子炉の寿命評価や安全強化等に関わる基礎データの拡充
  - ⑩ 放射線安全や環境安全に関わる基礎研究および放射線防護上の研究強化

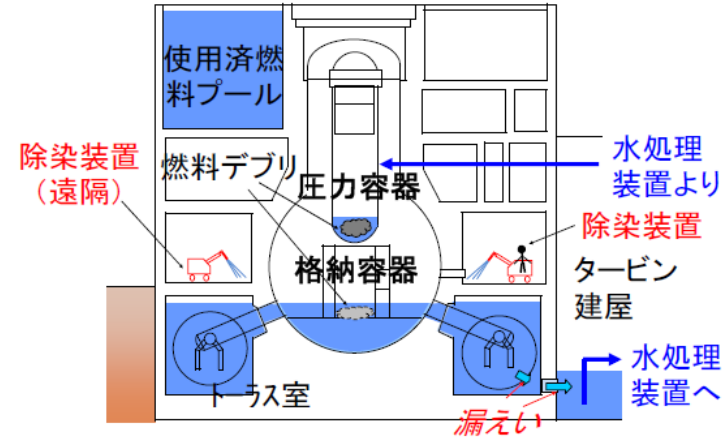
## 3. 今後決定される原子力利用計画に沿って・・

- ⑪ 高速炉・加速器駆動未臨界システム・トリウム利用などの次世代炉の研究開発

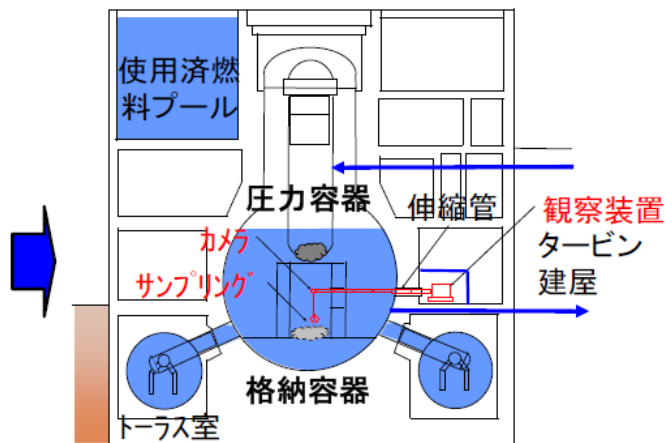
# 損傷した原子炉からの燃料デブリの取り出し(福島第一・中長期RMより)



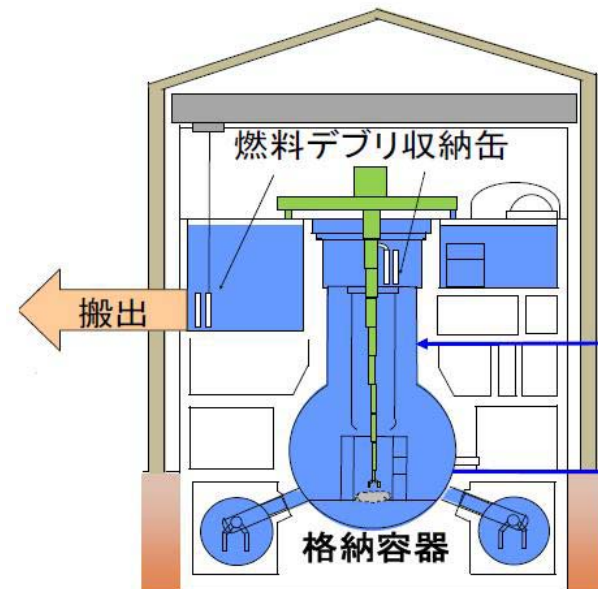
原子炉建屋



原子炉建屋内除染



格納容器内部調査・サンプルング



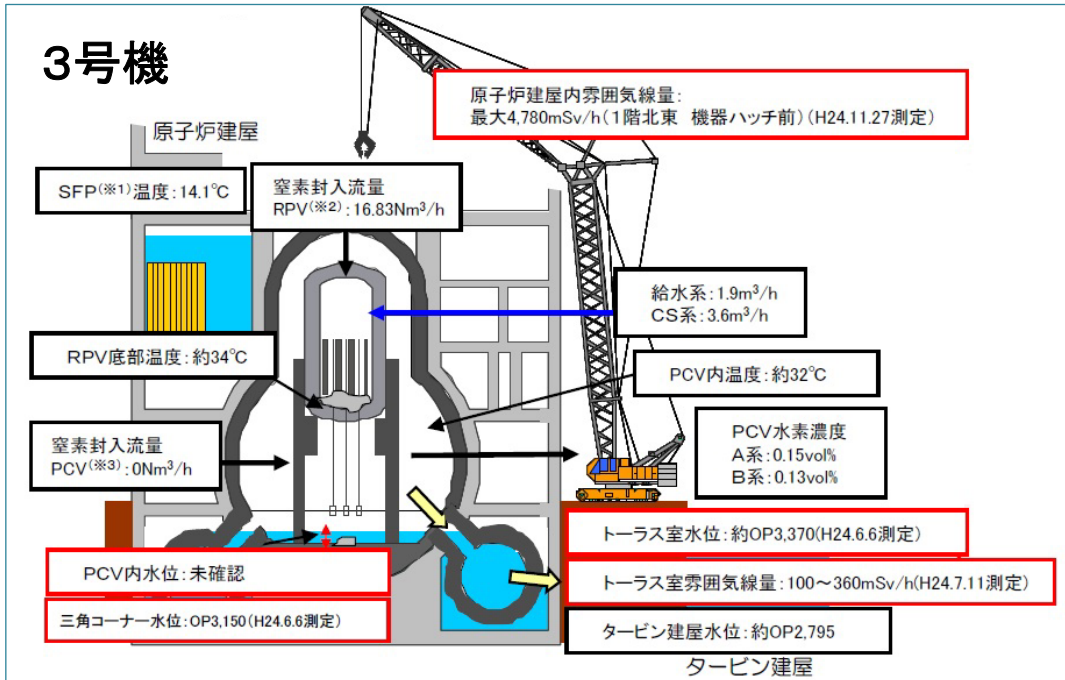
燃料デブリ取り出し



# 福島第一廃炉の推進状況

廃炉対策推進会議事務局会合資料より

## 3号機

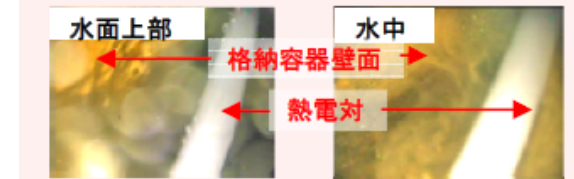


## 2号機

○調査結果

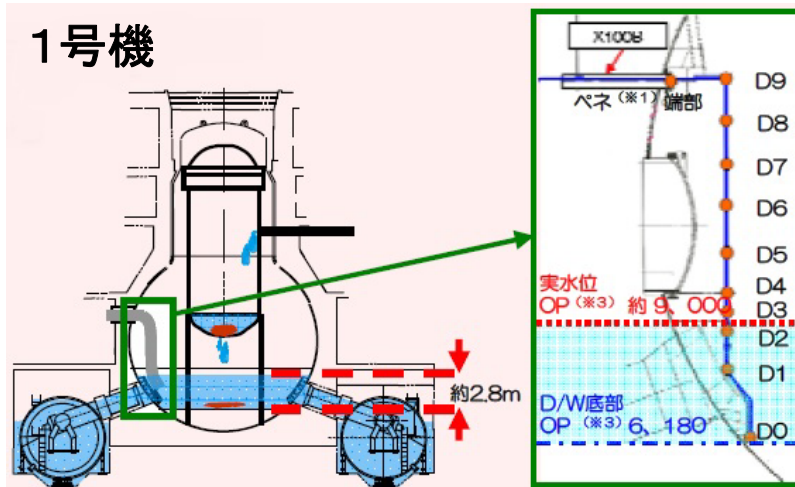
- ・水位:格納容器底部より約60cm
- ・水温:約50℃
- ・雰囲気線量:最大約73Sv/h

制御棒駆動機構(CRD)交換レールを用いてレール及びベデスタル開口部近傍の調査を試みたが交換レール上に装置を到達させることができず、調査ができなかった(3/19)。現在、ガイドパイプ取り外し作業を実施中(4/24~)。



2号機MS IV室の様子

## 1号機



## 4号機



鉄骨建方完了イメージ

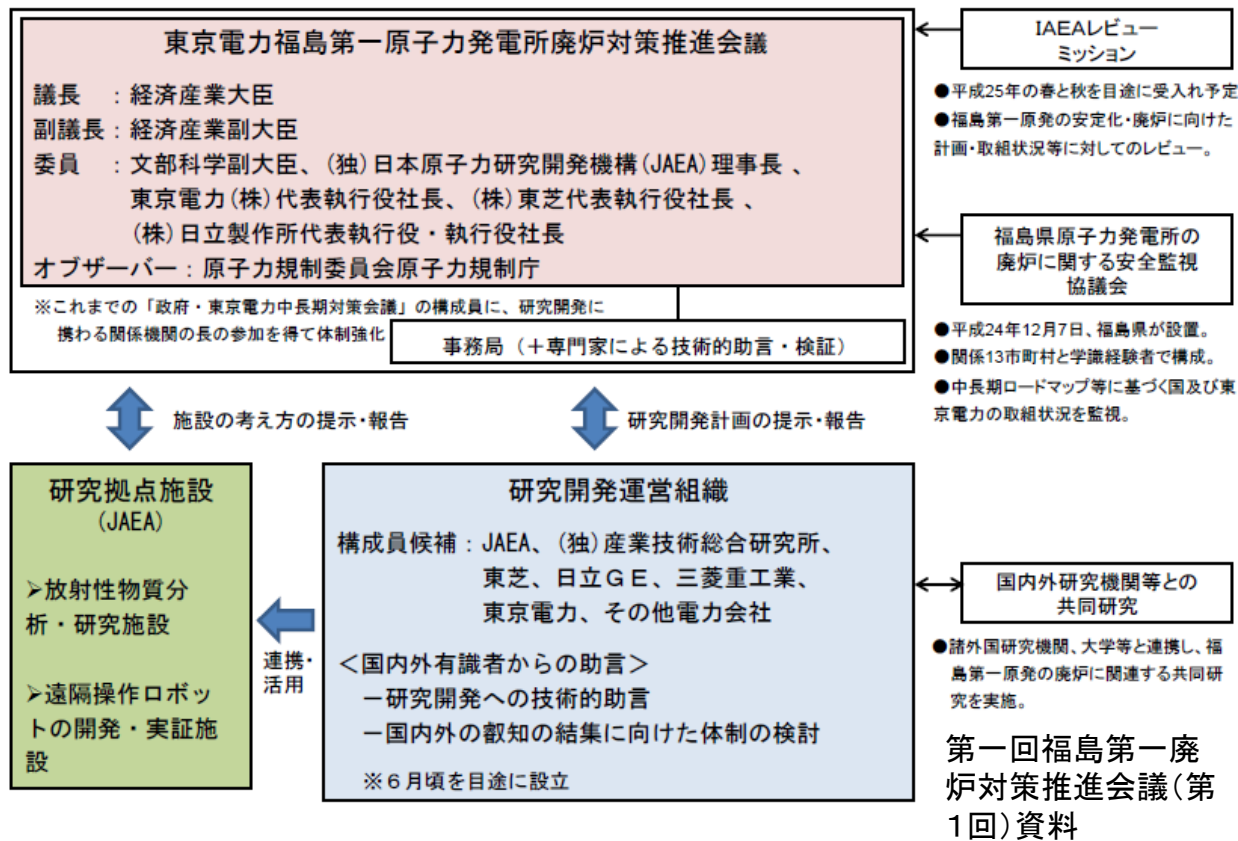


鉄骨建方実施状況 (4/23 撮影)

# 福島第一廃炉の加速(国が前面に立ち統一的な取組を)

研究開発の運営を長期に亘って効率的に進めるため、一つの専任組織として運営を行い、廃炉加速化に向けた研究開発体制を強化し、国内外の叡智を結集しつつ、得られた知財権の共有や国内外に対する情報発信等を行う必要があることから、官民が協力して研究開発運営組織を設立する。

## 研究開発に関する取組の強化について

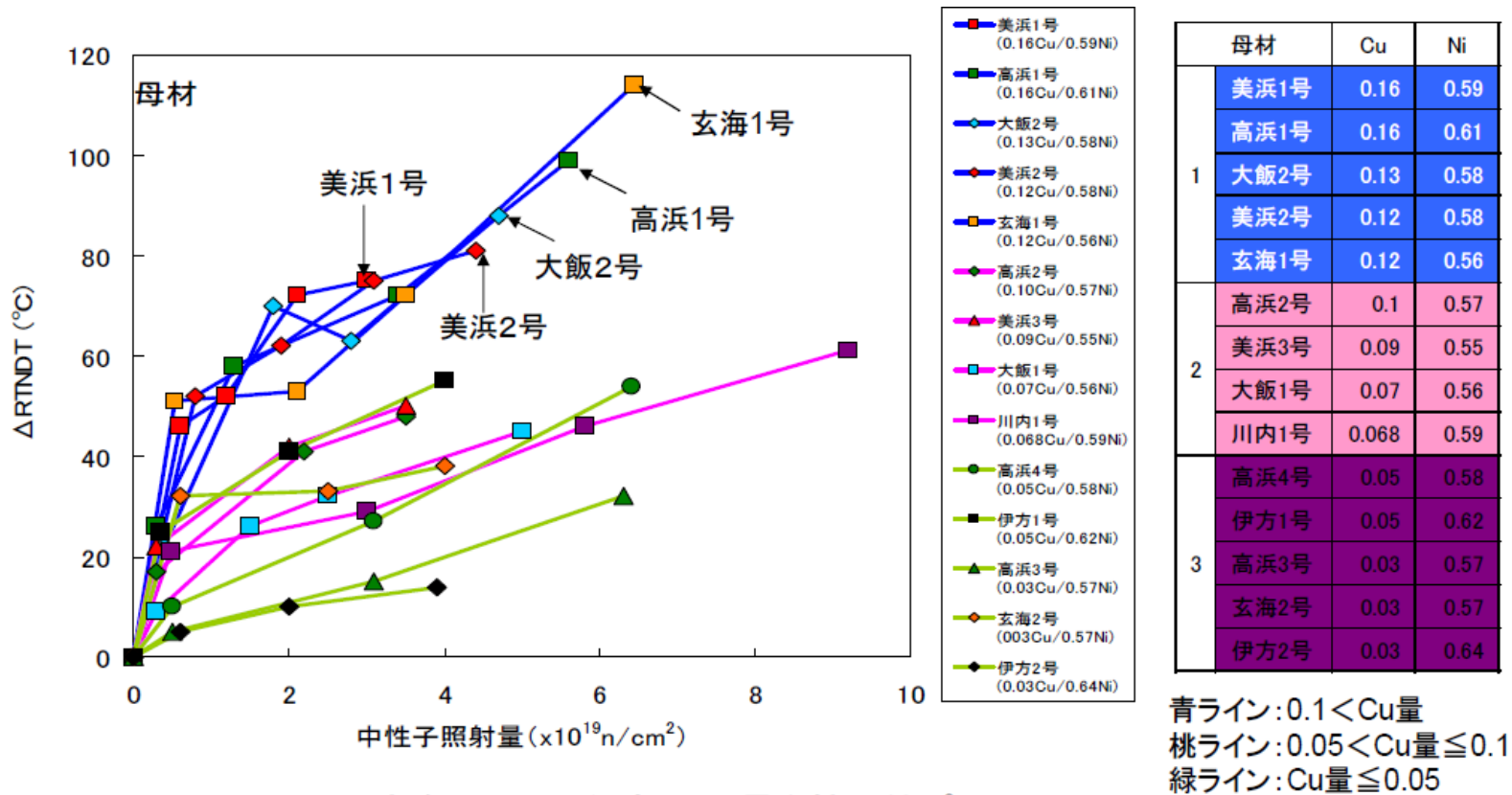


- 福島第一の廃炉は今後の原子力利用の基本要件。加速が必要。
- 東京電力はもちろん、国の技術力の総力を挙げて取り組むことが重要。
- 政府主導の推進会議の下に、研究開発運営組織を設置する予定。
- 原子力機構やメーカーに加えて、東京電力以外の電力事業者の参画が期待される。
- MARK-I型沸騰水型炉を運営してきた浜岡原子力発電所には、なんらかの「技術的な役割や貢献」を、期待するところ。
- 当初より計画されている浜岡1号機・2号機の廃止措置についても、福島第一の「特殊な廃炉」になんらかの貢献が期待される。
- 逆に、福島第一の廃炉技術開発が、浜岡の廃炉に貢献する可能性もある。



# 原子炉寿命評価の課題の一例：圧力容器の特性劣化（PWRの例）

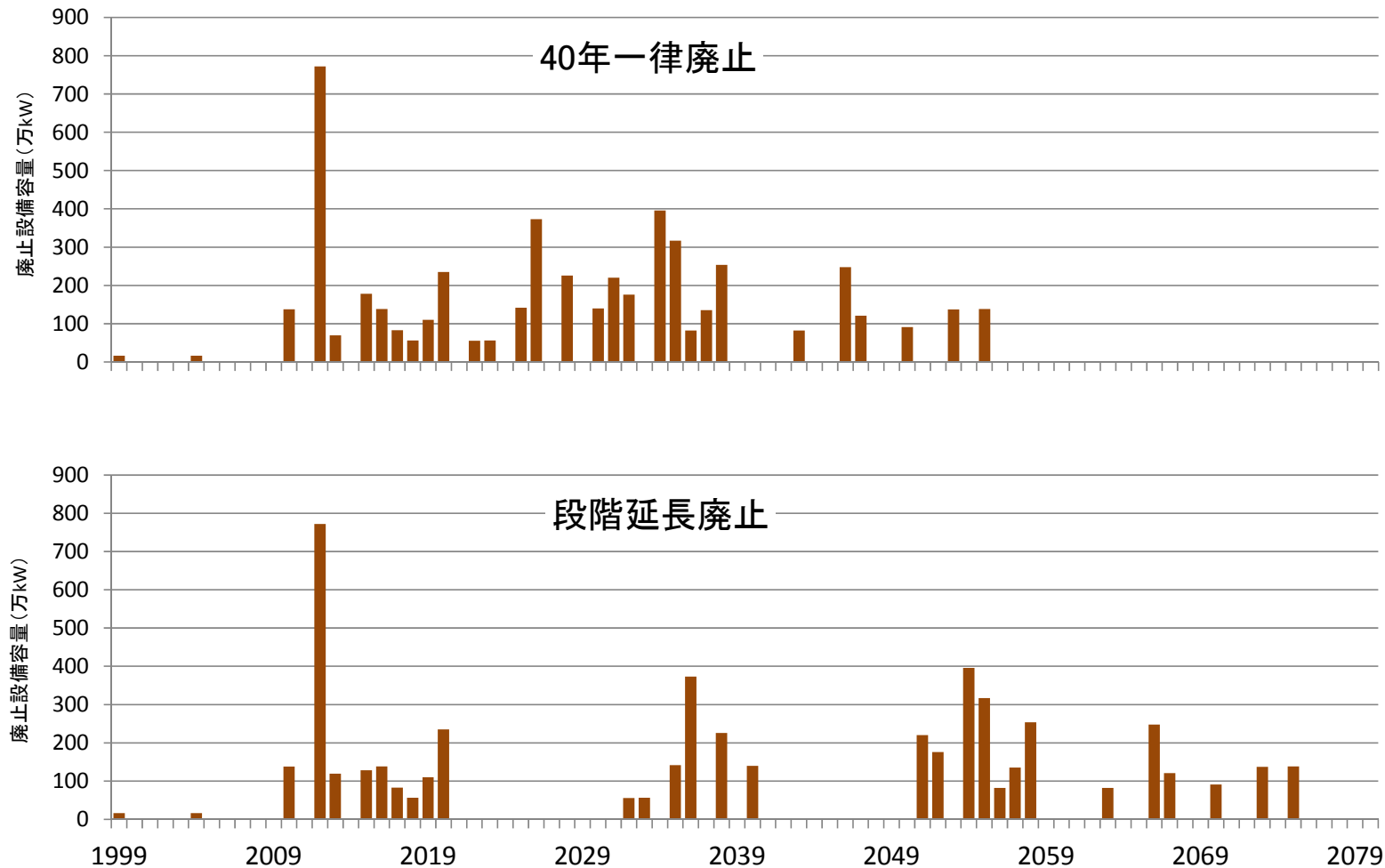
長期に亘る中性子照射による脆性遷移温度の上昇の全体像が、監視試験片の調査により分かってきている。その基礎メカニズムの研究をはじめとする科学的技術基準の構築に努力が必要である。



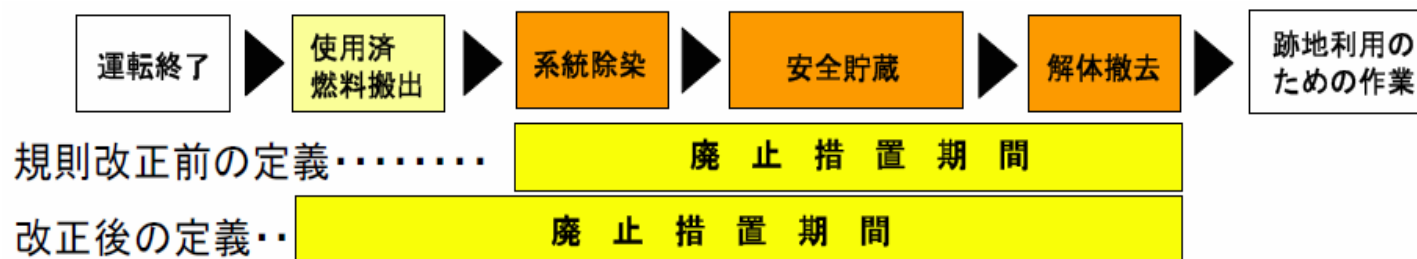
✓玄海1号と同程度のCu量を持つ他プラントの脆性遷移温度の上昇(上グラフの青線)と比較しても、同程度の脆化進展傾向を示しているのではないかと推察される。

# 既設炉の廃止規模

原子力規模の展望に関わらず、既設炉(49GWe)の廃止は必須となる。炉の寿命評価と整合させた無理のない廃止措置の実施が必要。



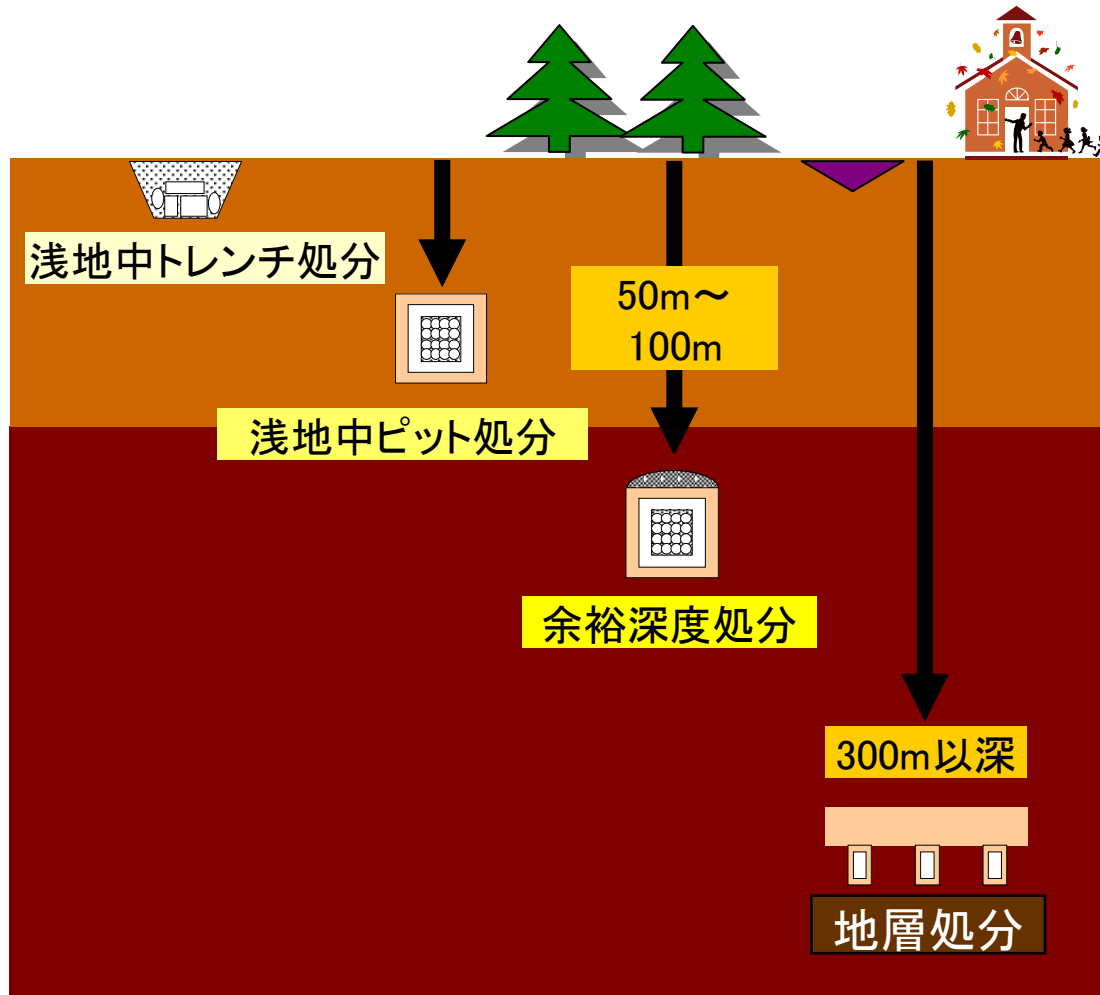
# 時間がかかる廃止措置の作業工程



| 廃止措置            | 期間    | 実施内容                |
|-----------------|-------|---------------------|
| 解体工事準備期間        | 7年程度  | 燃料搬出                |
|                 |       | 汚染状況の調査・検討          |
|                 |       | 系統除染                |
|                 |       | 放射線管理区域外の設備・機器の解体撤去 |
| 安全貯蔵期間          | 5～15年 | 放射能の減衰              |
| 原子炉領域周辺設備解体撤去期間 | 8年程度  | 原子炉領域を除く設備・機器の解体撤去  |
|                 |       | 解体撤去物処理設備の設置工事等     |
| 原子炉領域解体撤去期間     | 7年程度  | 原子炉領域の解体            |
| 建屋等解体撤去期間       | 7年程度  | 管理区域を順次解除           |
|                 |       | 建屋等の解体撤去            |

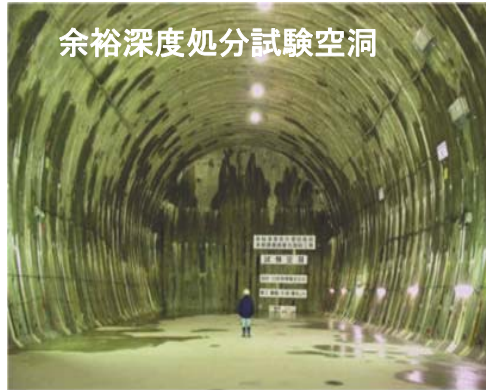
# 放射性廃棄物の処分の概念

放射性廃棄物の放射能濃度によって、埋設処分の深度を変えることが求められている。  
 廃止措置により発生する放射性の強いパーツは、余裕深度処分する計画。



| 処分方法                            | 処分概念                                      |
|---------------------------------|---|
| 浅地中トレンチ処分<br>浅地中ピット処分<br>余裕深度処分 | 【管理型】<br>放射能の減衰に応じて段階的に放射線影響を防止するよう管理するもの |
| 地層処分                            | 【隔離型】<br>長期間にわたり放射線影響がないように隔離するもの         |

# 解体廃棄物の区分



廃止措置により発生する廃棄物



放射能レベルの比較的高い廃棄物  
(余裕深度処分対象放射性廃棄物)

ピット処分濃度上限値を超えるもの(余裕深度処分上限値以下)六ヶ所埋設センターの許容値を超えるもの

放射能レベルの比較的低い廃棄物  
(低レベル放射性廃棄物：ピット処分)

トレンチ処分濃度上限値の1/10を超えるもの

放射能レベルの極めて低い廃棄物  
(極低レベル放射性廃棄物：トレンチ処分)

放射能濃度確認規則によるクリアランスレベルを超えるもの

放射性廃棄物として取り扱う必要のないもの(クリアランスレベル以下)

放射能濃度確認規則によるクリアランスレベル以下のもの

一般廃棄物として取り扱われても、様々な流通や利用のシナリオにおいて、 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を越えないような濃度を、クリアランス濃度と称す



## 濃度上限値とクリアランスレベル

### 処分の濃度上限値(参考:クリアランスレベル)

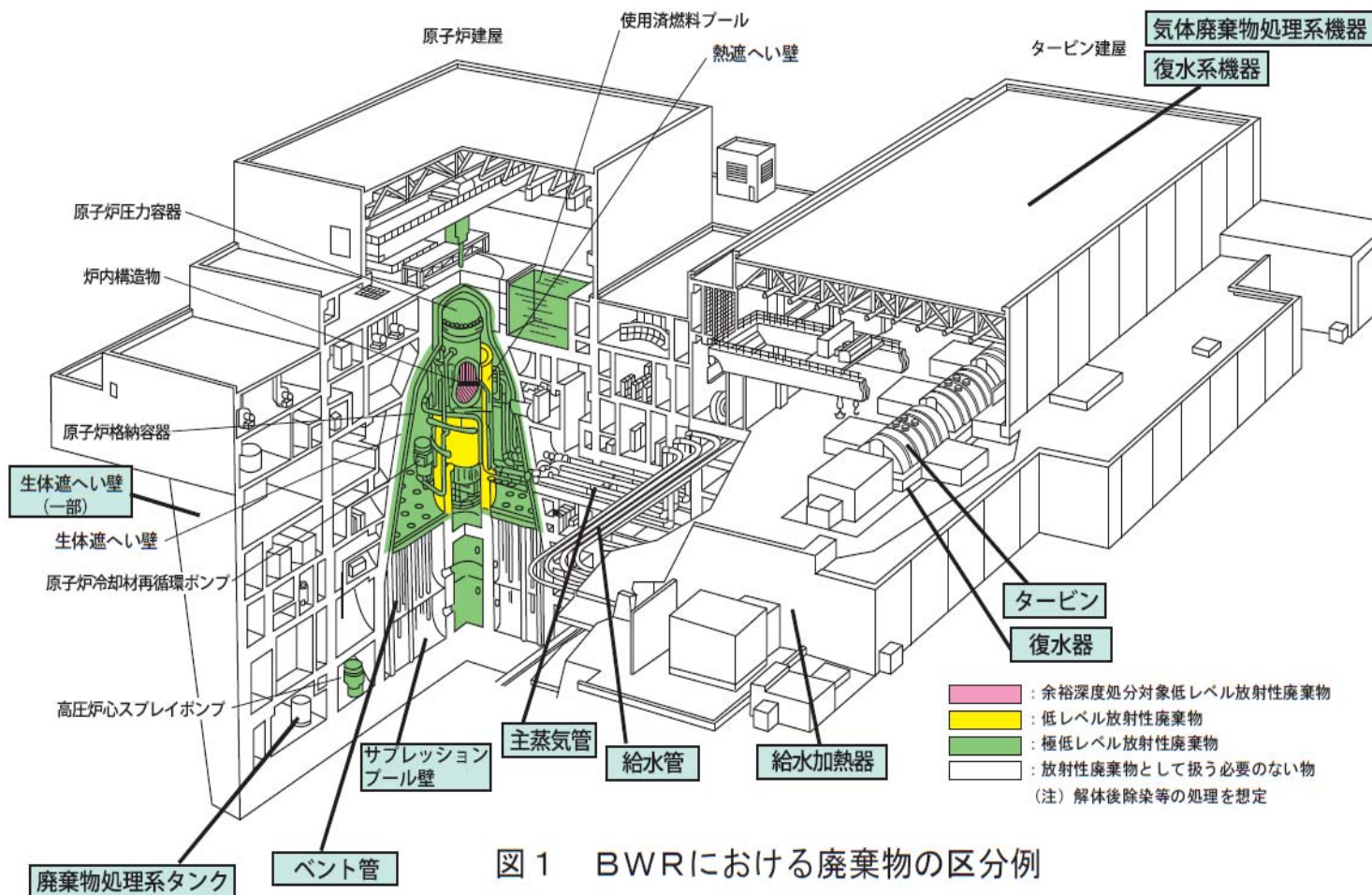
放射能濃度確認規則\*

Unit: Bq/ton

| 核種(Bq/t) | クリアランス          | トレンチ処分  | ピット処分   | 余裕深度処分  |
|----------|-----------------|---------|---------|---------|
| C-14     | 1.0E+06         |         | 1.0E+11 | 1.0E+16 |
| Cl-36    |                 |         |         | 1.0E+13 |
| Co-60    | 1.0E+05         | 1.0E+10 | 1.0E+15 |         |
| Ni-63    | 1.0E+08         |         | 1.0E+13 |         |
| Sr-90    | 1.0E+06         | 1.0E+07 | 1.0E+13 |         |
| Tc-99    | 1.0E+06         |         | 1.0E+09 | 1.0E+14 |
| I-129    | 1.0E+04         |         |         | 1.0E+12 |
| Cs-137   | 1.0E+05         | 1.0E+08 | 1.0E+14 |         |
| Total α  | Pu-239: 1.0E+05 |         | 1.0E+10 | 1.0E+11 |

\* 放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則  
(平成十七年十一月二十二日経済産業省令第百十二号)

# 廃止措置に伴う廃棄物の区分(BWR)



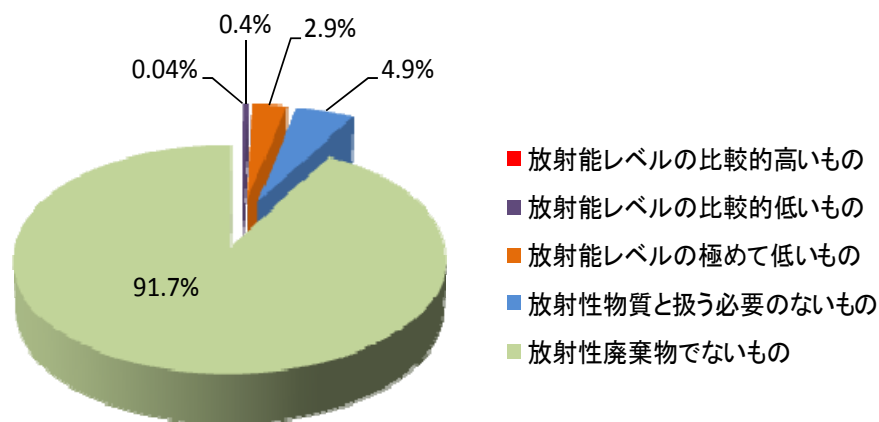
# 浜岡1号および2号機の廃止に伴う廃棄物発生量予測(中部電力)

## 浜岡第1・2号機の廃止措置計画より(中部電力資料(平成21年11月))

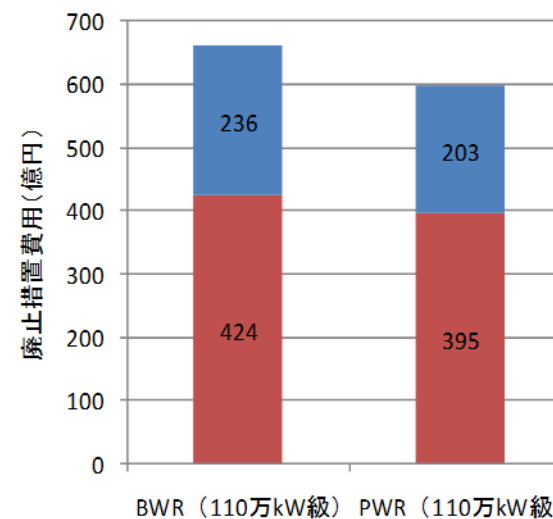
【廃止措置期間中の放射性固体廃棄物の推定発生量】

| 放射能レベル区分           |                    | 1号機        | 2号機        |
|--------------------|--------------------|------------|------------|
| 低レベル<br>放射性<br>廃棄物 | 放射能レベルの比較的高いもの(L1) | 約100トン     | 約100トン     |
|                    | 放射能レベルの比較的低いもの(L2) | 約1,000トン   | 約1,200トン   |
|                    | 放射能レベルの極めて低いもの(L3) | 約6,300トン   | 約7,900トン   |
| 放射性物質として扱う必要のないもの  |                    | 約11,200トン  | 約13,400トン  |
| 合計                 |                    | 約18,500トン  | 約22,600トン  |
| 放射性廃棄物でない廃棄物       |                    | 約192,700トン | 約249,500トン |

### 浜岡2号機(合計 272.100t)



■ 解体廃棄物処理処分費用  
■ 施設解体費



# コンクリート生体遮蔽の放射化(ふげん発電所の例)

放射化物(炉心周辺の構造材や生体遮蔽等)の放射能が実際にどの程度であるかを、実測により確認する

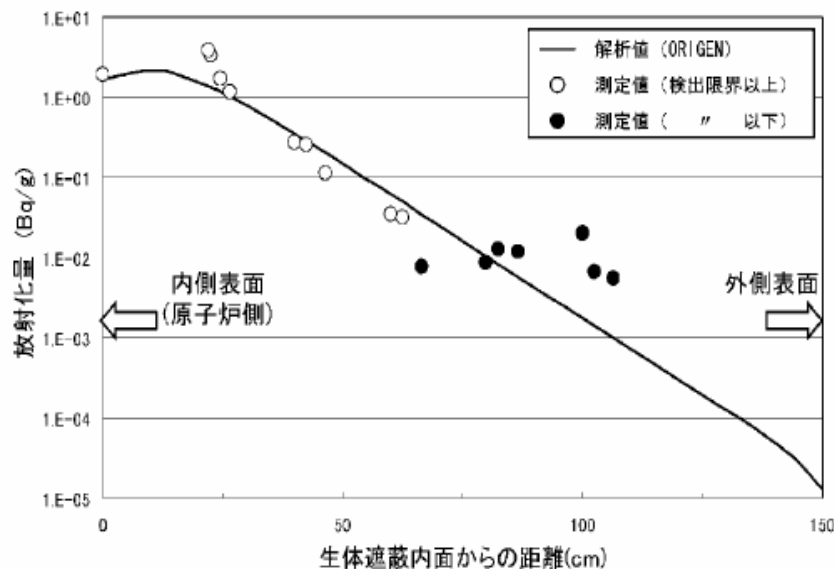


図10 生体遮蔽体コンクリート内のCo-60の濃度分布比較例

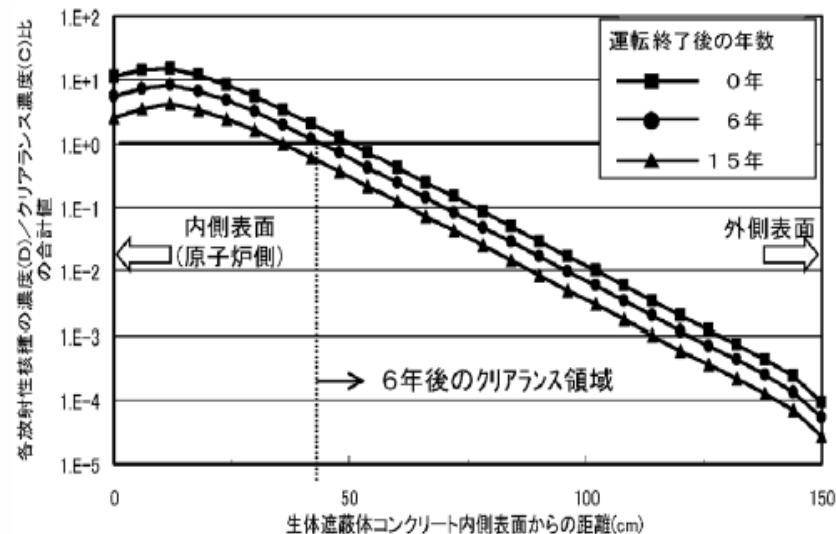


図11 生体遮蔽体コンクリートのクリアランスレベル領域の試算例

# 廃止措置技術の開発

## ○除染技術や解体技術の開発と確立

- ・遠隔解体技術の高度化
- ・解体手法の開発
- ・汚染状況の把握や除染技術
- ・合理的解体工法の選定

## ○解体事業の合理化

- ・原子炉メーカーの関与と直営
- ・工期短縮など合理的解体計画の策定
- ・解体中の被ばく量低減のための合理化

## ○解体廃棄物の減容や削減

- ・アルファ、ベータ核種の測定評価手法の高度化
- ・クリアランスレベルの検認
- ・クリアランス対象物の限定的な再利用の方法
- ・解体廃棄物の減容や固化

## ○解体廃棄物の処分

- ・トレンチ処分の実施
- ・ピット処分の実施
- ・余裕深度廃棄物の処分の実施
- ・処分サイトの確保と立地問題

## ○技術継承や人材

- ・解体作業や廃棄物関連の情報と人材
- ・廃止措置に関する情報の公開
- ・経験や実勢のデータ集約
- ・廃止炉の建設や運転保守にかかわった人の引退や暗黙知の消失は懸念される。

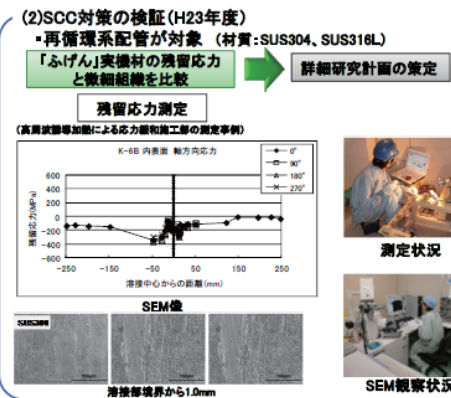
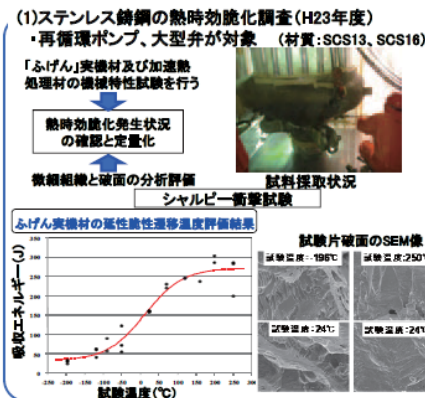
## ふげん発電所の廃止措置技術開発の例 水中切断技術開発（ふげん発電所）



## 福島第一 廃炉技術開発



## 炉材料の高経年化の調査（ふげん発電所）

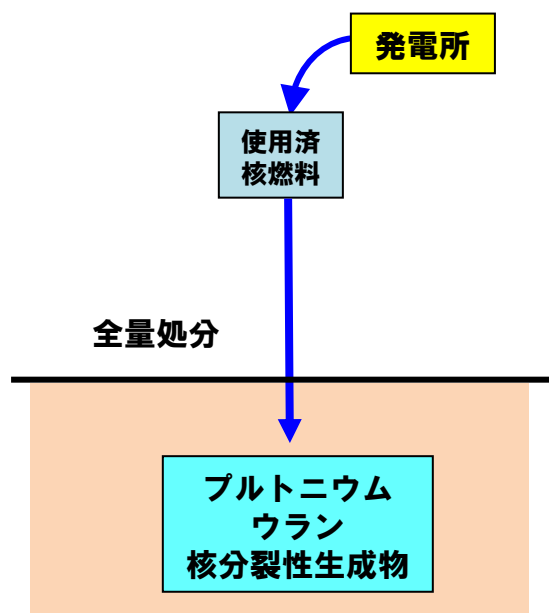




# 原子力バックエンド（使用済燃料マネジメント）の選択肢

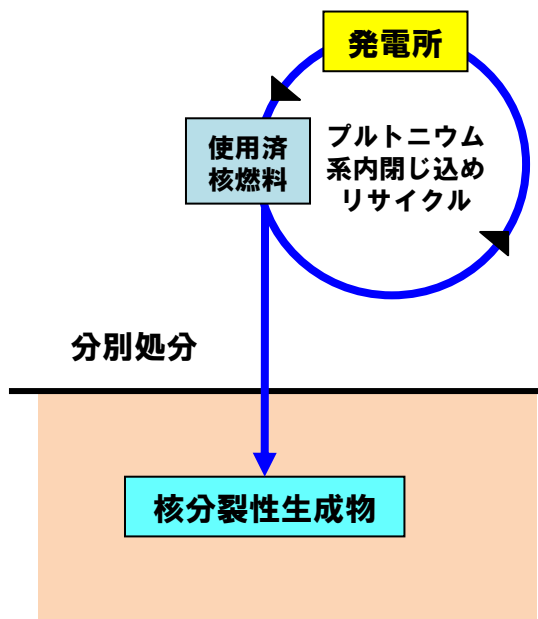
- ▶ 発電所内での大量に使用済燃料を保管：原子炉に大量のハザードを保管する事になり、あまり好ましくない。
- ▶ 福島事故により、原子炉安全と同様に考えられがちであるが、発電所の在り方によらず、いずれかのオプションを選択しなければならない。

## 直接処分路線 (直接処分サイクル)



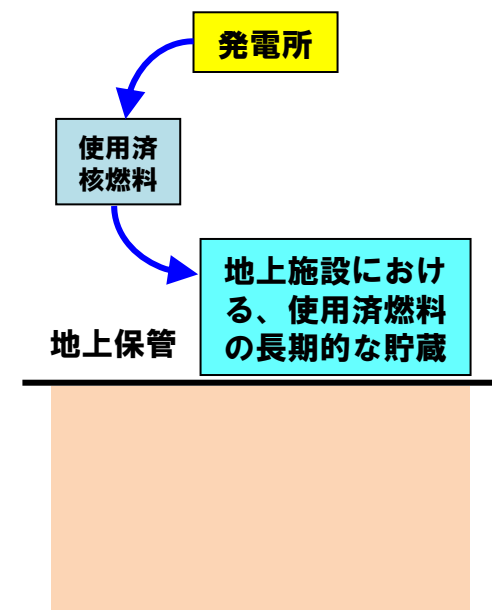
- ▶ プルトニウムを含めて、使用済燃料を地層処分。
- ▶ 使用済核燃料貯蔵量(中間貯蔵)が大きくなると共に、放射性廃棄物の処分面積が大きく、毒性が長く続く。
- ▶ 原子力小規模国のフィンランドやスウェーデン、ウラン資源国のカナダが採用。

## 再処理路線 (核燃料サイクル)



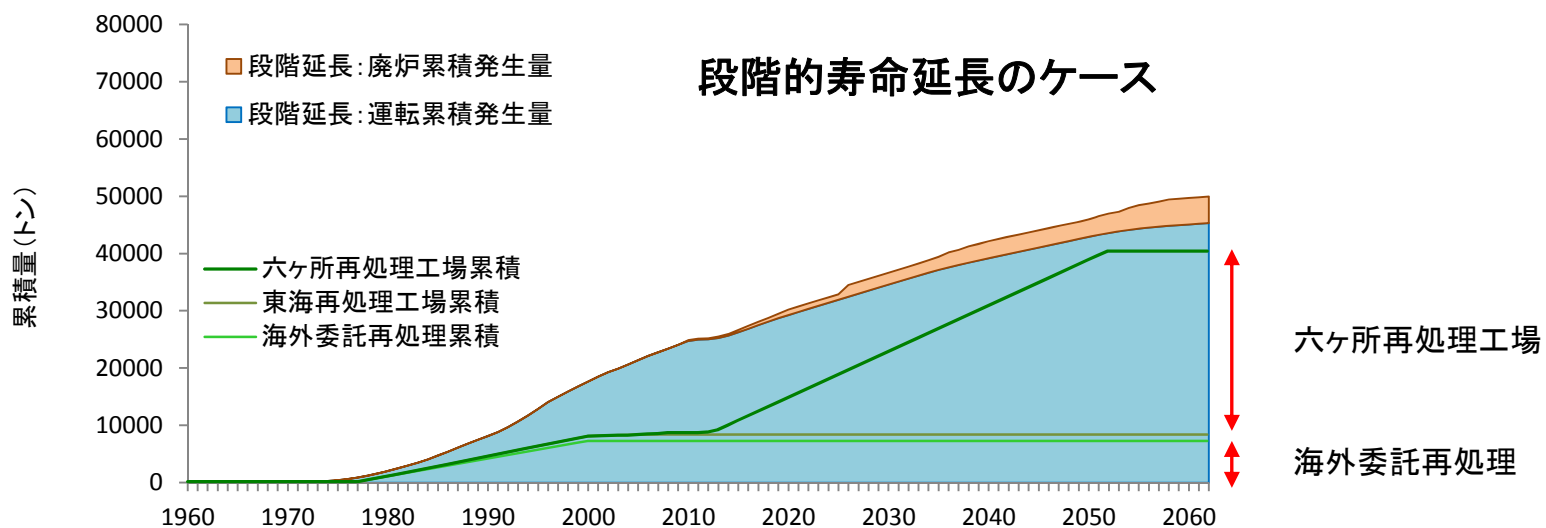
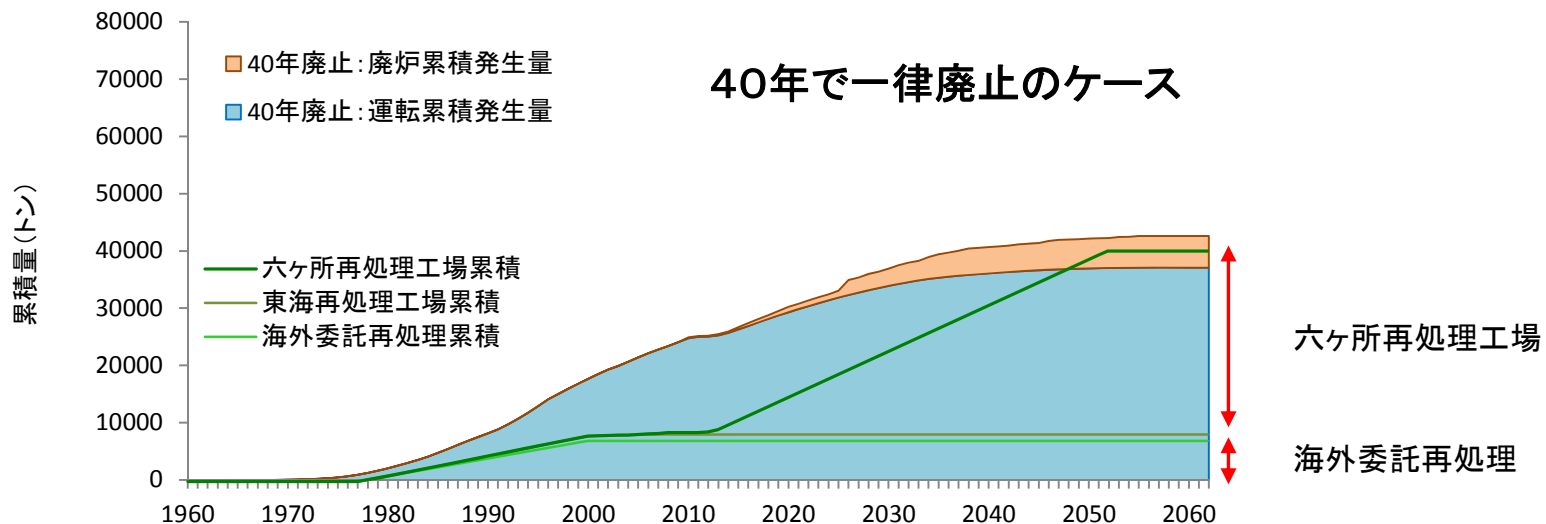
- ▶ プルトニウムを地層処分せず、燃料として再利用する(プルサーマル)。
- ▶ これにより、放射性廃棄物の減容と、資源の有効利用を行う。
- ▶ フランス、日本、ロシア、中国、インドなど。将来的には韓国が指向している。

## 長期貯蔵路線 (暫定貯蔵を含む)



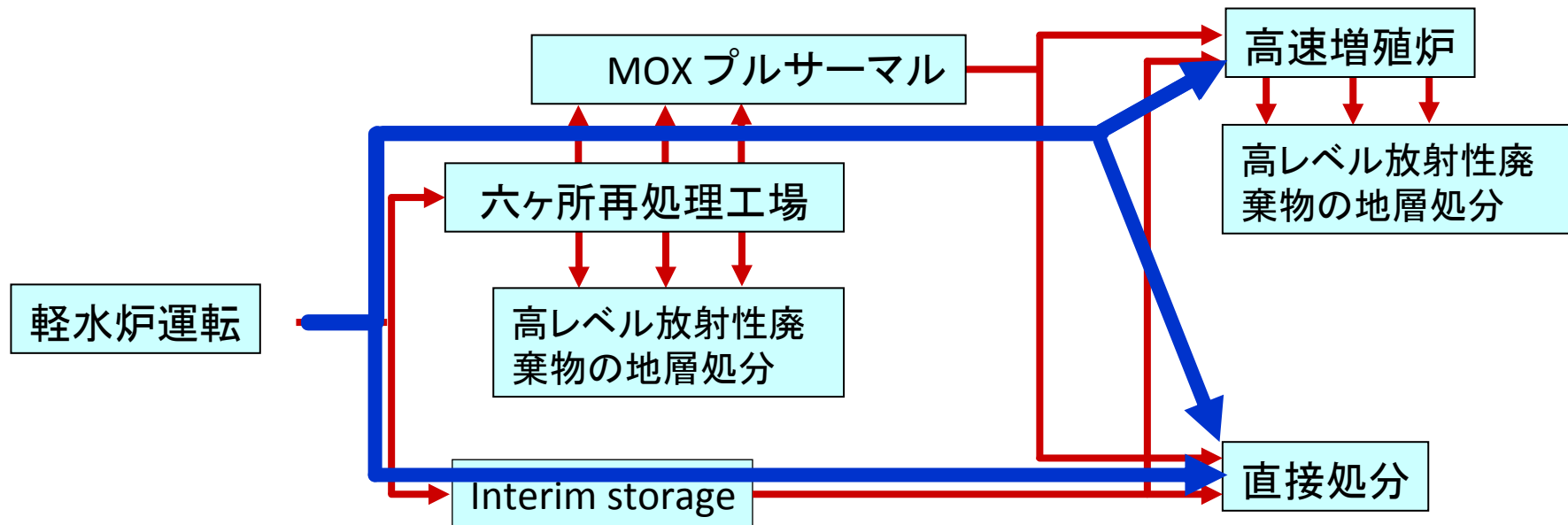
- ▶ プルトニウムを含めて、使用済燃料を地上施設に長期保管。
- ▶ 使用済核燃料貯蔵量が大きくなると共に、地上でのハザードが継続。次世代への判断委譲が前提。
- ▶ 将来、処分や再処理を決める必要がある。

# 使用済燃料の発生(山名試算)



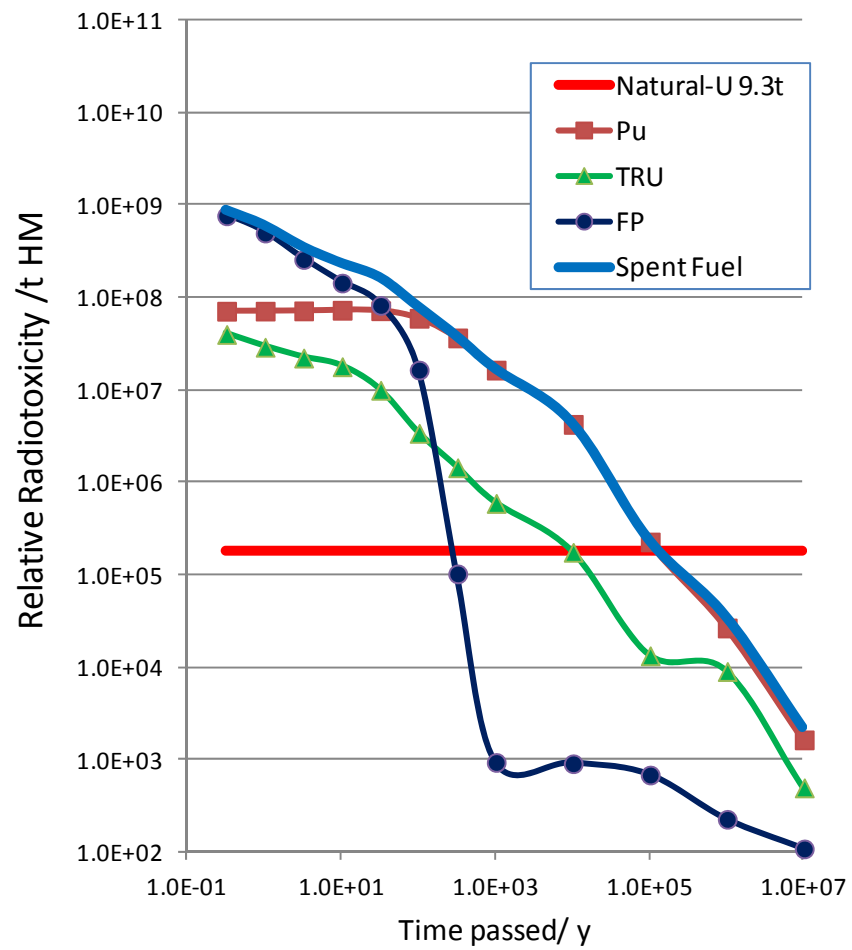
## 核燃料サイクル選択枝の概要(原子力委員会)

- 原子力委員会では、六ヶ所工場を動かし、使用済MOX燃料と中間貯蔵分については、将来的に高速炉に供給するか直接処分するかを判断する“併存シナリオ”を推奨した
- 核燃料サイクル政策については、今年中に再審議されると期待

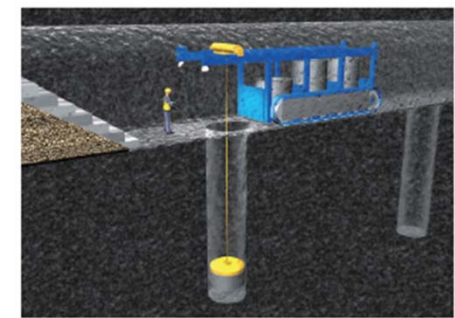
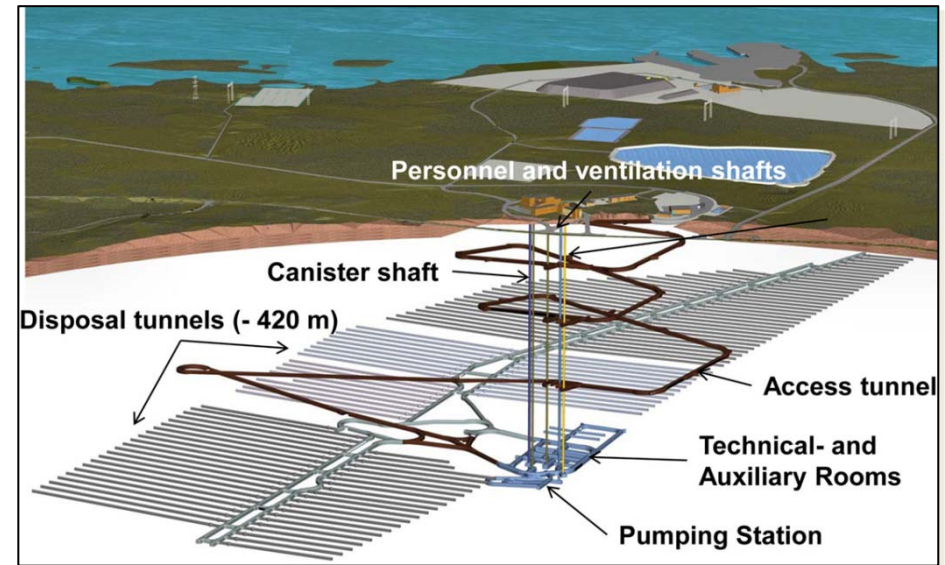


# 使用済燃料の影響度変化と地層処分

## 使用済燃料の放射能変化



## ONKALOでの深地層処分(フィンランド)



Olkiluoto, 地下研究所

緩衝材の設置方法 (概念図)

## 地層処分への社会理解の問題（学術会議答申）

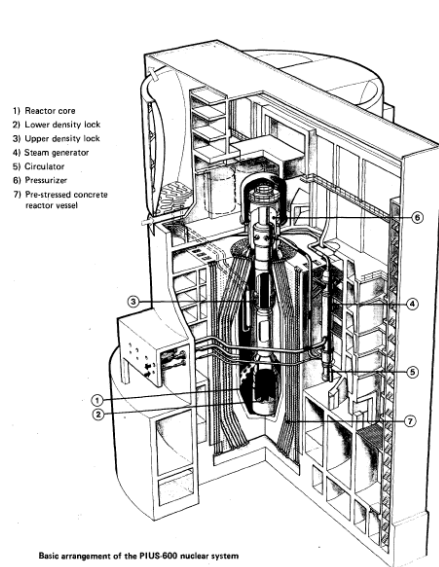
高レベル放射性廃棄物の深地層処分に対する公衆の理解はほとんど得られてきていない。地層処分実施への献身的な科学的・産業的なアプローチの蓄積にもかかわらず、論点がますます多くなっている。新しい異なったアプローチが必要となってきた。

### 高レベル放射性廃棄物処分についての日本学術会議報告

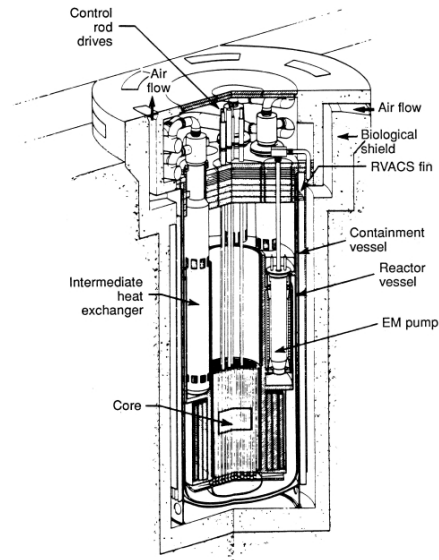
- ◆ 日本学術会議は、数百年における猶予期間の間に、高レベル放射性廃棄物の安全な処分方法を確認するため、廃棄物を「暫定保管」サイトに保管しておくことを提案している。
- ◆ 学術会議は、現在の高レベル放射性廃棄物最終処分場選定のための現状の活動一目下行き詰まりの状態にある—についての原子力委員会からの審議依頼への回答として提言をとりまとめた。
- ◆ 現在の科学的知見の基では、地層が何十万年も安定な地形のままでは決められない。そこで、最良の選択肢は暫定保管である。
- ◆ これは将来に責任逃れのために問題を先送りする意味ではない。この問題をより適切に取り扱う方法を見つける時間を確保することである。猶予期間の間に、国は地層の安定性の研究を推進し、より安全に廃棄物を貯蔵する技術を開発すべきである。



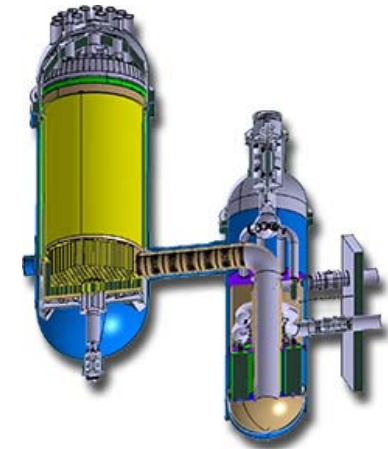
# 様々な受動安全炉の概念と安全強化型軽水炉の概念



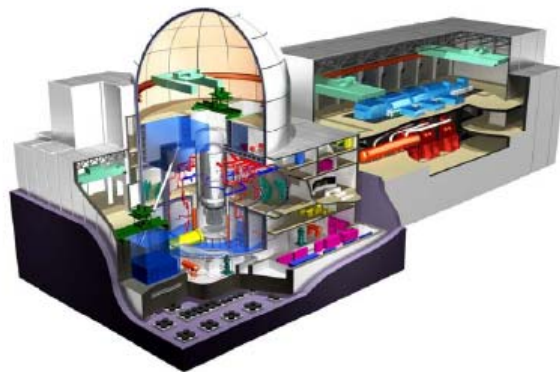
受動安全炉概念PIUS



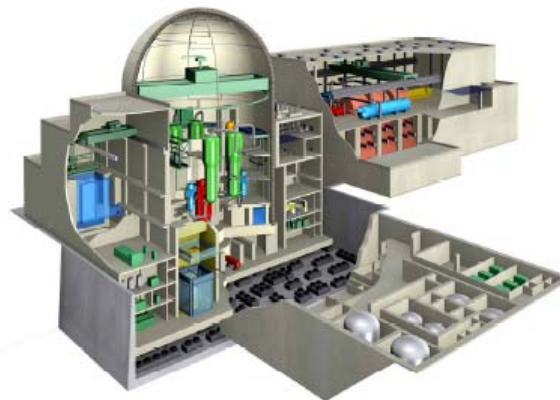
モジュール高速炉PRISM



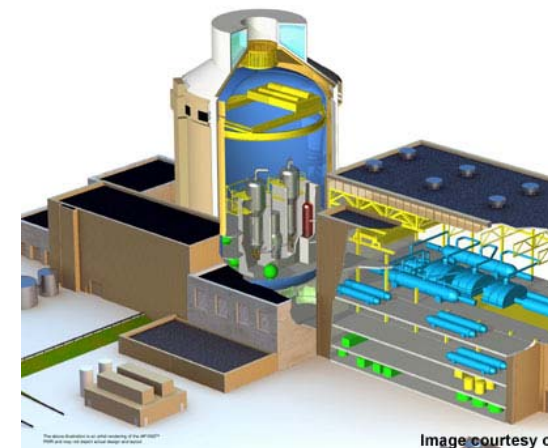
モジュール型高温ガス炉  
MHTGR



次世代軽水炉BWR



次世代軽水炉PWR



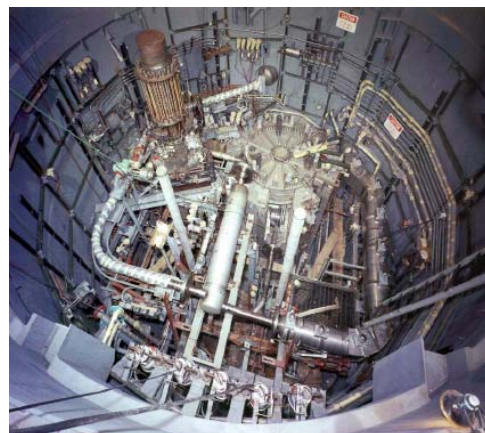
WH-AP1000

# より先進的な原子力開発（第4世代以降）

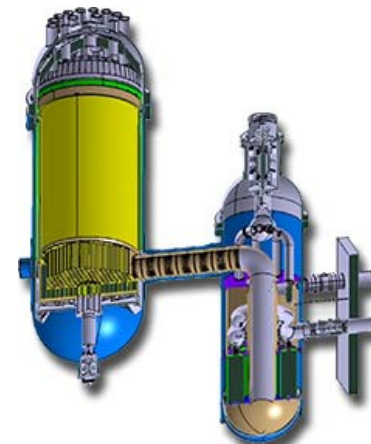
## 液体金属冷却高速炉



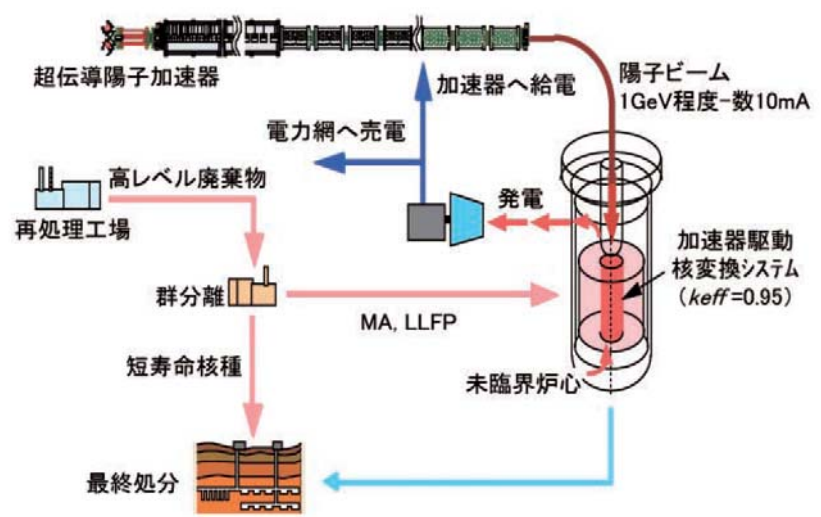
## 溶融塩炉



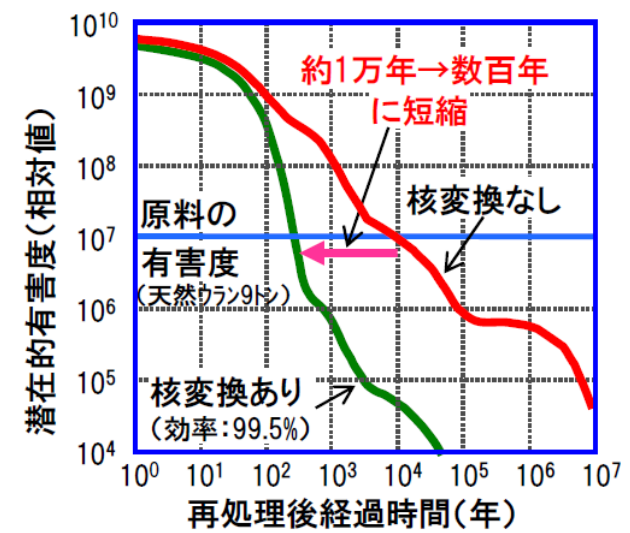
## 高温ガス炉



## 加速器駆動未臨界炉（ADS）



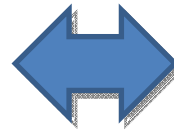
## 分離核変換の効果



# 結論（私見）

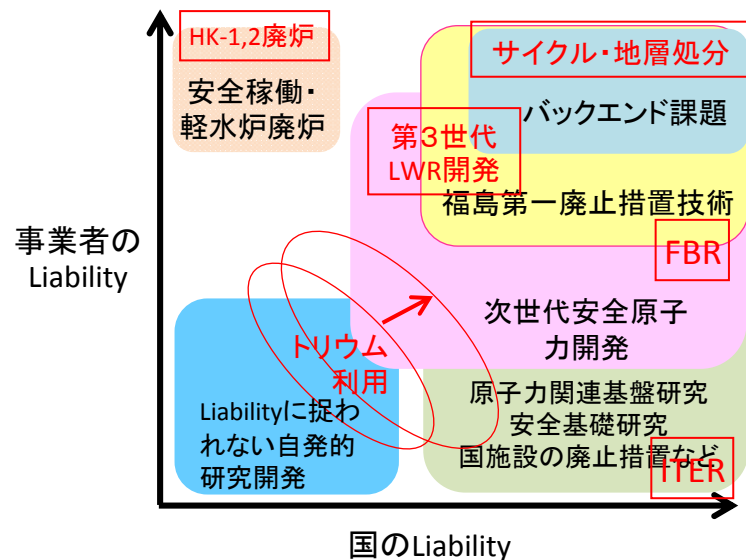
## 様々な視点からの課題や取組

1. 国として取り組むべき特殊で大きな原子力の問題への取組（福島廃炉を含む）
2. エネルギー政策や科学技術政策下での国プロジェクトとしての研究開発
3. 国・他事業者・メーカ等との広い連携によって、合理化や解決の加速を期待できる取組
4. 発電所を運営する事業者として第一義的責任を負う課題
5. 地元の発展に貢献できる取組
6. 今後の原子力の改善を強く意識した発展的開発取組（事業者の視点から）



## 電力事業者

1. 原子力発電設備を運用してきた技術力と経験（人材や知財を含む）
2. 原子力発電設備を実際に所有している現場の価値
3. 事業としての問題解決の緊急性
4. 事業の公益性
5. 原子力発電事業に関わるコンソーシアムの一角を担う立場
6. 民間事業としての立場と限界
7. 地元（地方自治体）との連携や貢献



## 三者が強く関係した研究の重要性

