

# 原子力発電施設の廃止措置に伴う廃棄物処分に 係る安全研究について

日本アイソトープ協会 石樽 顕吉

1. 原子力発電施設の廃止措置と我が国の対応
  - ・概要
  - ・法規制
  - ・技術開発
2. 廃止措置から発生する廃棄物
  - ・放射性廃棄物の処分
  - ・クリアランス制度化と再利用
3. 今後の課題

# 廃止措置とは

## ○ 廃止措置 (Decommissioning)

役割が終了した原子力施設に対する規制上の管理を解除するために取られる**行政上及び技術的措置**

- ・ **安全確保と環境への影響に対する配慮が必要**
- ・ **経済的因子も重要**

# 廃止措置の選択肢

## ○ 米国(NRC)

- 1) SAFSTOR(安全貯蔵)
- 2) DECON(即時解体)
- 3) ENTOM(遮蔽隔離)

・SAFSTORの後、解体を行うケース多い。

## ○ IAEA(国際原子力機関)

即時解体からサイト内埋設までの中間的方式を含む幅広い方式。例えば 遅延解体(一定期間の安全貯蔵後に解体)

## ○ 日本

標準工程(商業炉)

昭和60年策定後一部修正

廃止措置費用の計算に使用

・厳密な定義は余り意味が無い。プラントの事情により柔軟に適用<sub>3</sub>

# 主要国における廃止措置の状況

プラント数(異なったソースからのデータ。数え方の基準が異なる場合を含む)

国	安全貯蔵中	解体中	終了
米国	10	2	11
UK	10※	1	0
フランス	7	2	0
独	2	9	2
日本	2	2	1

## ※ 安全貯蔵準備中

- ・ 世界で恒久停止した原子炉は約120基(OECD-NEA)
- ・ 解体撤去は米国とドイツで進んでいる。米国のDECONは一段落
- ・ フランスは計画を前倒し、動き活発。
- ・ 英国は長期安全貯蔵(65~96年)を計画、前倒しに方針変更(NDA)

# わが国における原子力発電施設の廃止措置

1. 動力試験炉(BWR 1.25万kWe)

運転 1963—1976年

廃止措置(技術開発)

・解体

1986—1996年

2. 東海発電所(GCR 16.6万kWe)

運転 1966—1998年

廃止措置

・「原子炉解体届」提出、廃止措置着手 2001年  
・第一期工事終了 2006年  
・「廃止措置計画」認可取得 2006年

3. ふげん(ATR 16.5万kWe)

運転 1979—2003年

廃止措置

・燃料取り出し 2003年から  
・「廃止措置計画」認可取得 2008年

4. 浜岡1号 (BWR 54.0万kWe)  
2号 (BWR 84.0万kWe)

運転 1976-2009年  
運転 1978-2009年

廃止措置

・「廃止措置計画」認可取得 2009年

5. 敦賀1号(BWR 35.7万kWe)

運転 1970—2016年(予定)

# JPDR の廃止措置



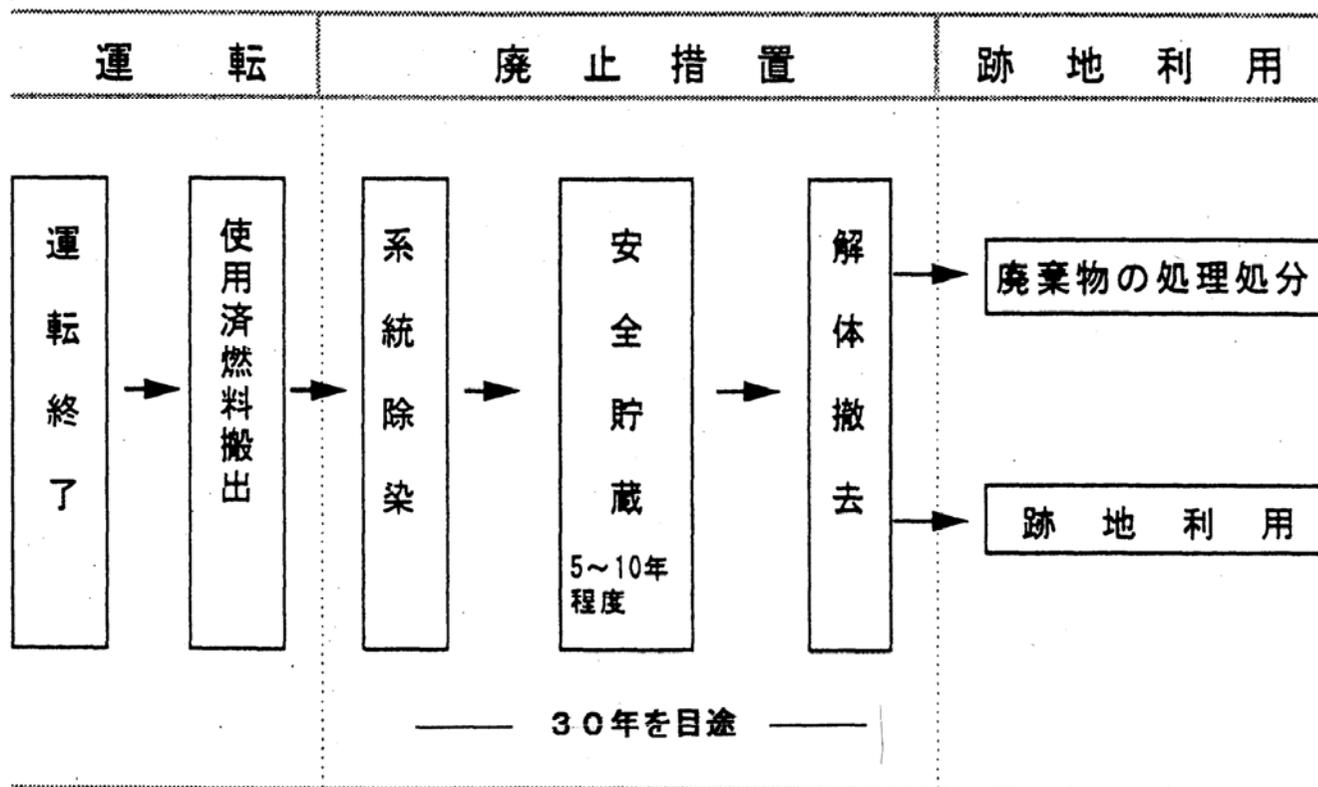
運転中



廃止措置後

廃止措置：1986～1996年

## 商業用原子力発電施設の廃止措置の標準工程



### 特徴

燃料搬出後 廃止措置段階

安全貯蔵 5-10年

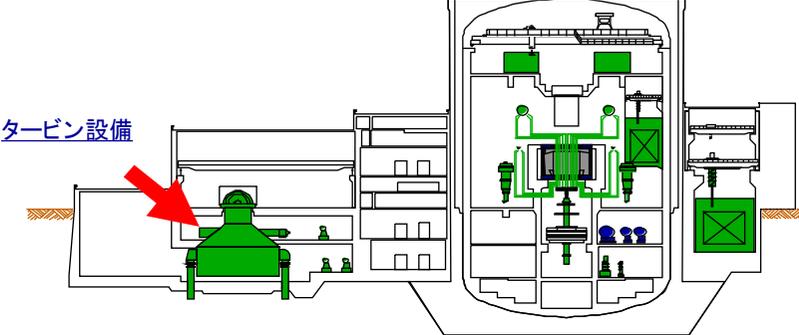
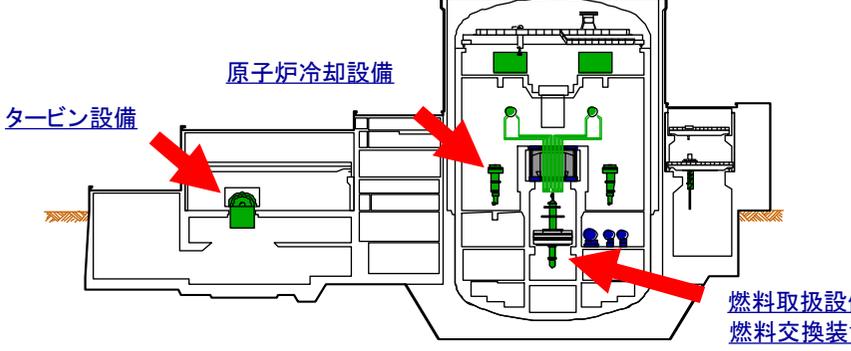
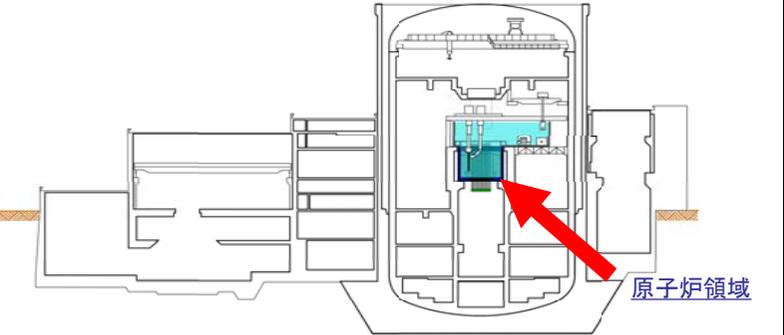
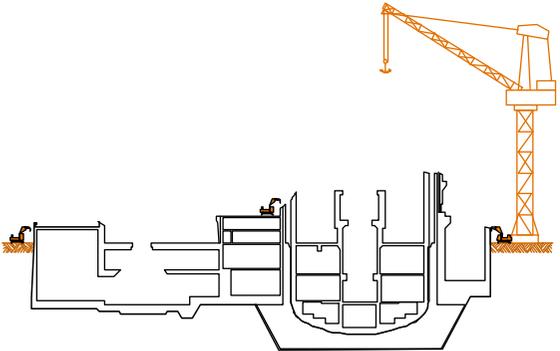
完了期限 30年程度

総合エネルギー調査会原子力部会報告書(平成9年1月)の図に一部手を加えたもの

廃止措置の費用計算に使用

プラントの状況に応じ、柔軟に適用すべきもの

解体工程の概要—ふげんの場合

<p>① 使用済燃料搬出期間</p>	<p>② 原子炉周辺設備解体撤去期間</p>
	
<p>③ 原子炉本体解体撤去期間</p>	<p>④ 建屋解体期間</p>
	
	<p>8</p>

# プラント停止後の代表的な残留放射性核種

旧科技庁 “原子力施設の廃止措置”

核種	壊変形式	半減期	核種の存在場所		
			圧力容器 炉内構造物	生体遮蔽 コンクリート	冷却材
トリチウム	$\beta$	12.3 年	○	○	○
炭素-14	$\beta$	5730年	○	○	----
マンガン-54	$\gamma$	312 日	○	----	----
コバルト-60	$\beta, \gamma$	5.27 年	○	○	○
ニッケル-63	$\beta$	100 年	○	○	○
ニオブ-94	$\beta, \gamma$	20,300 年	○	----	----
セシウム-134	$\beta, \gamma$	2.06 年	----	○	○
アンチモン-125	$\beta, \gamma$	2.73年	○	----	----
ユーロピウム-152	$\beta, \gamma$	13.5 年	----	○	----
ユーロピウム-154	$\beta, \gamma$	8.59 年	----	○	---- <sup>9</sup>

# 廃止措置の安全確保

## 1. 廃止措置の特性

- ・ 運転停止：反応度、温度・圧力などの急激な過渡変化による異常事象が発生する可能性は無い  
静的な状態
- ・ 早い段階で ①燃料搬出 ②相当量の放射性物質の撤去(除染)も実施  
施設が内包する放射性物質の量も桁違いに小
- ・ 廃止措置工事は定期検査期間中の改造・補修工事に伴う作業と類似  
安全確保に十分な経験の蓄積あり。

## 2. 安全性

- ・ 仮想事故評価  
放射性物質の拡散防止障壁がないと仮定  
周辺公衆への線量：自然放射線の25%程度  
原子炉格納器や原子炉建屋を適切に維持 → 更に低い値と評価
- ・ 廃止措置の安全水準は極めて高い

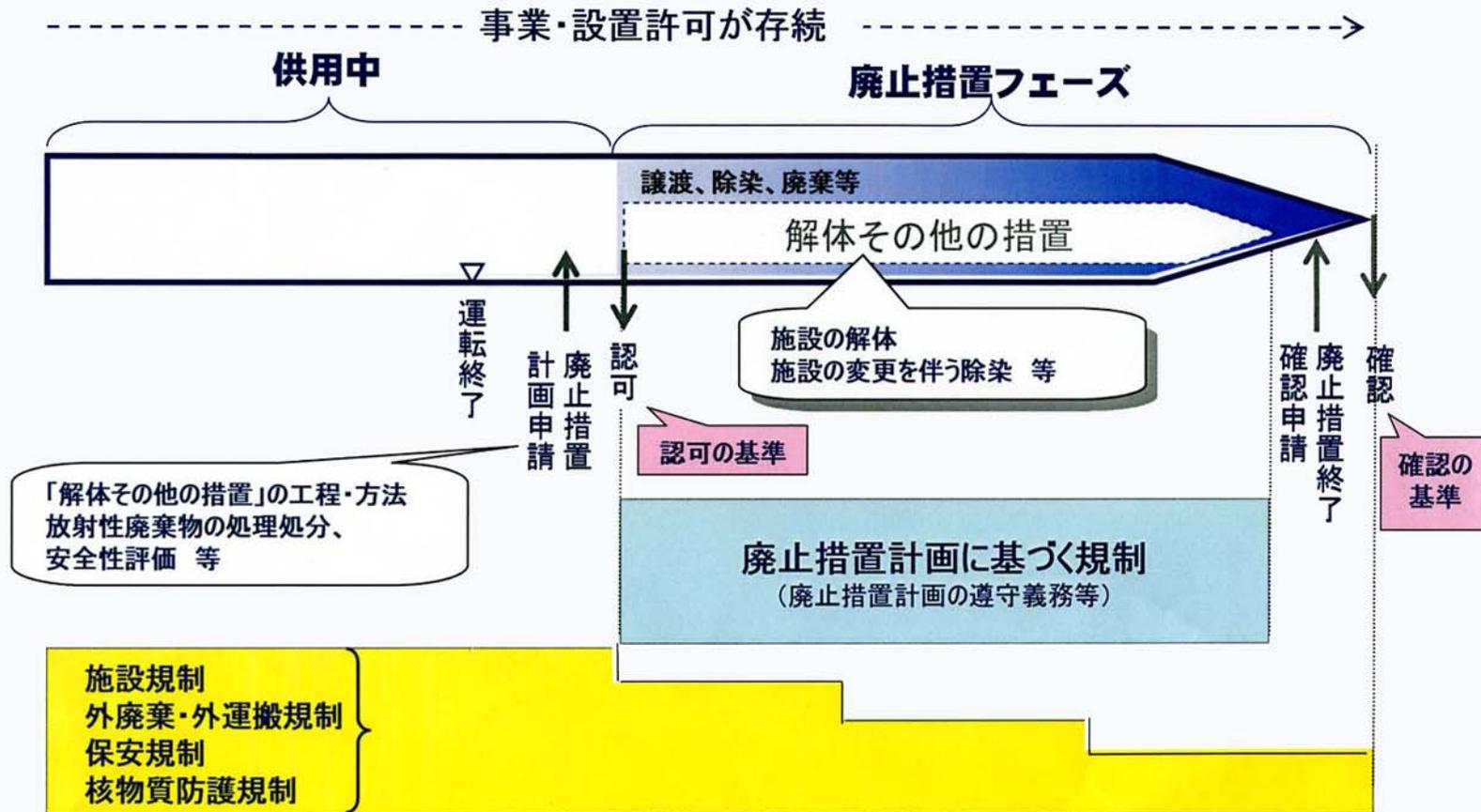
# わが国における廃止措置への対応

原子力発電施設の廃止措置を安全かつスムーズに実施するため 種々の面での準備が必要である。

1. **法規制** : 廃止措置の法手続の整備
2. **技術開発** : JPDRの解体実証試験  
原子力発電技術機構(NUPEC)確証試験 1982年～2003年
3. **廃棄物管理** : 放射性廃棄物処分のための法規制の整備  
放射能レベルに応じた**処分場の整備**  
**クリアランス制度化**
4. **資金確保** : 廃止措置のための引当金制度の整備(1990、2000年)  
標準工程にそった積み立て金

わが国はこれまで大型原子力発電施設の廃止措置の実施に向けて着実に準備を進めてきた。

# 新たな廃止措置の規制



## 【ポイント】

1. 原子炉の場合は、一部廃止の場合も「廃止措置規制」を適用。
2. 廃止措置フェーズの施設規制や保安規制については、廃止措置の進捗に応じた合理的な規制レベルとするため、政省令において具体的に規定。

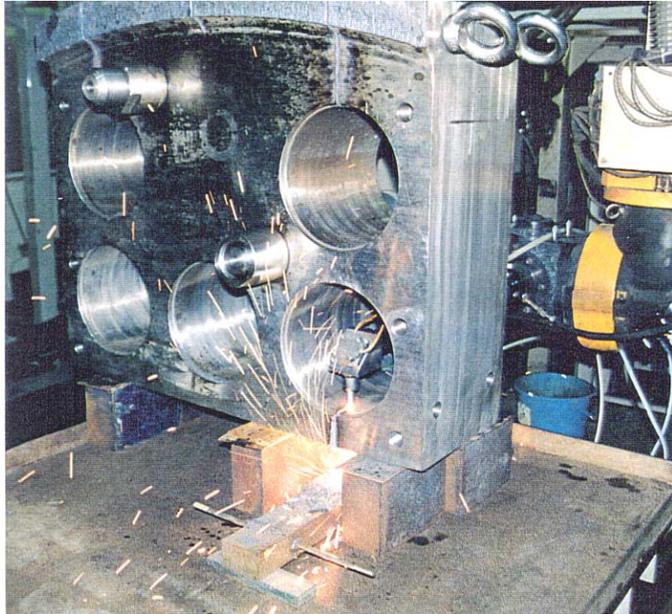
H17年 炉規制法一部改正、施行

# 廃止措置に必要な技術

- **要素技術**

	廃棄物の視点
1.インベントリ評価	物量評価
2.除染	減容
3.解体	分別
4.遠隔操作	
5.廃棄物処理・管理	管理
6.放射線安全(計測)	測定
- **システムエンジニアリング**
  - 要素技術の選択と組合せ(最適化)
  - **準備(計画)**が極めて重要

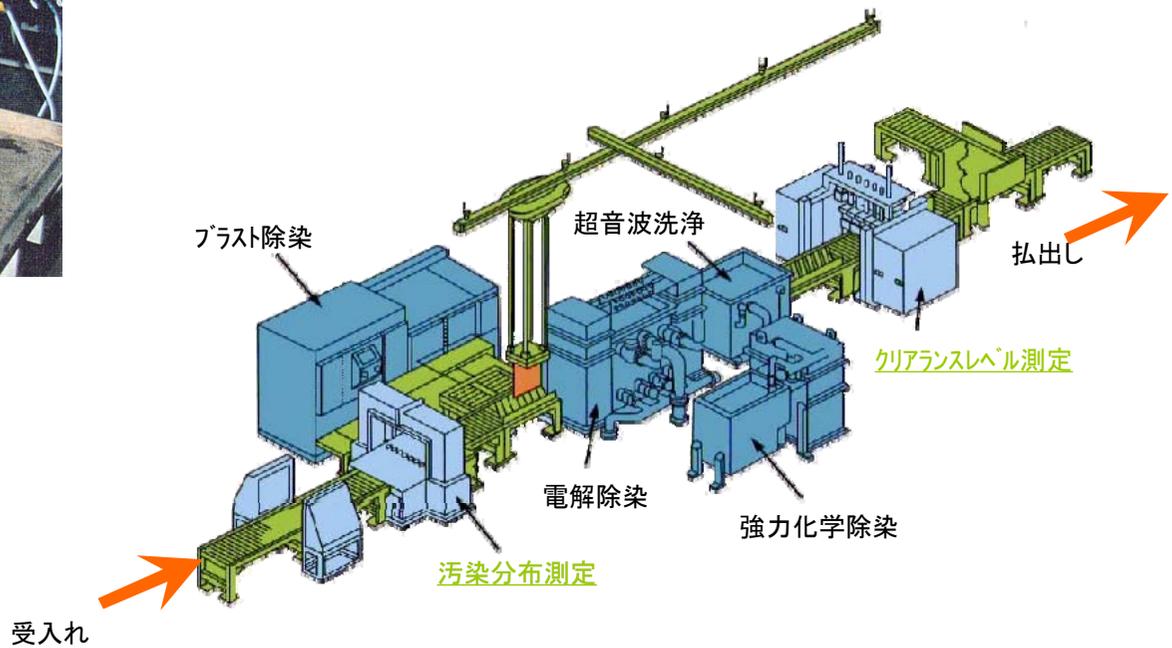
# NUPECにおける技術開発の例



← レーザー切断



鋼板及び黒鉛の把持

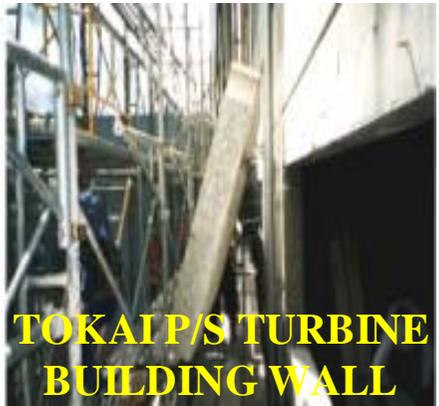


除染と放射能測定との組合せにより、放射性金属を遠隔で処理するシステムを確立。

## 廃棄物処理システム

# 解体コンクリートの再利用技術

コンクリート・ブロック



高品質  
再生・骨材

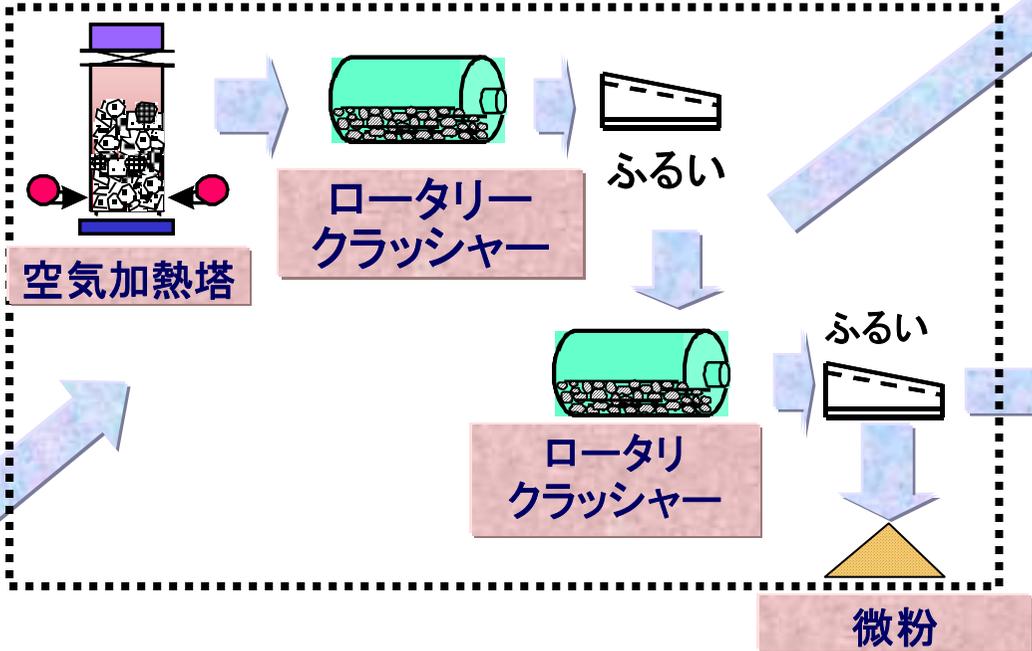
粗骨材



細骨材



解体コンクリート



# 解体技術

## ○炉内構造物・圧力容器の切断

- 放射能レベル最も高い
- 遠隔操作の使用
- 適用技術
  - 熱的切断 PAC, EDM, ガス切断等
  - 機械切断 AWJ, DWS, バンドソー等
- 気中又は水中切断
- 一体撤去 Trojan: C.I.とRPVを一体撤去  
Cont. Yankeeなど: RPVのみ一体撤去  
Ranch Sec: 両者を切断解体

## 既存技術で対応可能

### 効率的実施が技術的課題

ドロス回収、研磨材回収・再利用、エアゾル処理など問題

# TrojanのRVPの一括撤去と輸送



撤去／搬出



バージによる河川輸送

RVPはReactor Vessel Packageの略



陸揚げから処分場へ

# 最終建屋サーベイ



米国Trojan最終サーベイ



仏EL4放射線サーベイ

これまでの海外の経験では、マニュアルによるサーベイ事例が多い。  
自動化、汚染評価解析が進められてきている。

# Lessons Learnedの例

## ○炉心部解体---実施経験多くない

- ・放射化量の少ない部分から解体切断.
- ・遠隔装置等汎用型のものが有用.
- ・水中浮遊物等の特性把握が重要.

切断方式の選択と組合せによる最適化：定説なく、経験の蓄積必要

## ○有害物質への対応： 予備的調査重要 アスベスト、鉛、PCB etc

## ○情報の保存

情報・記録(記憶を含む)の保存重要  
特性評価のためサイト履歴情報必要

# 情報・記録の保存

## 必要なデータ

- ・ 設計、建設及び改造関係データ
- ・ 運転中、停止及びその後のデータ
- ・ 廃止措置中のデータ

## 用途

- ・ 廃止措置計画：策定、実施、変更
- ・ 廃棄物管理：特にクリアランス及びN Rの確認

## 現状

- ・ 規制：運転時の安全確保に必要な記録を考慮  
設置許可、設置許可変更  
運転等に関する「記録：炉規制法 3 4 条（実用炉則第 7 条）

廃止措置念頭に置かれていない

## 今後の課題

- ・ 記憶情報の収集（特に職員離職時）
- ・ 更に必要な情報の抽出（例 材料の不純物含有量、天然物組成）  
Lessons Learnedの活用
- ・ 情報のクラス分け
- ・ 保存方法とアクセスの容易さ

## 廃止措置に伴う廃棄物の発生量(推定)

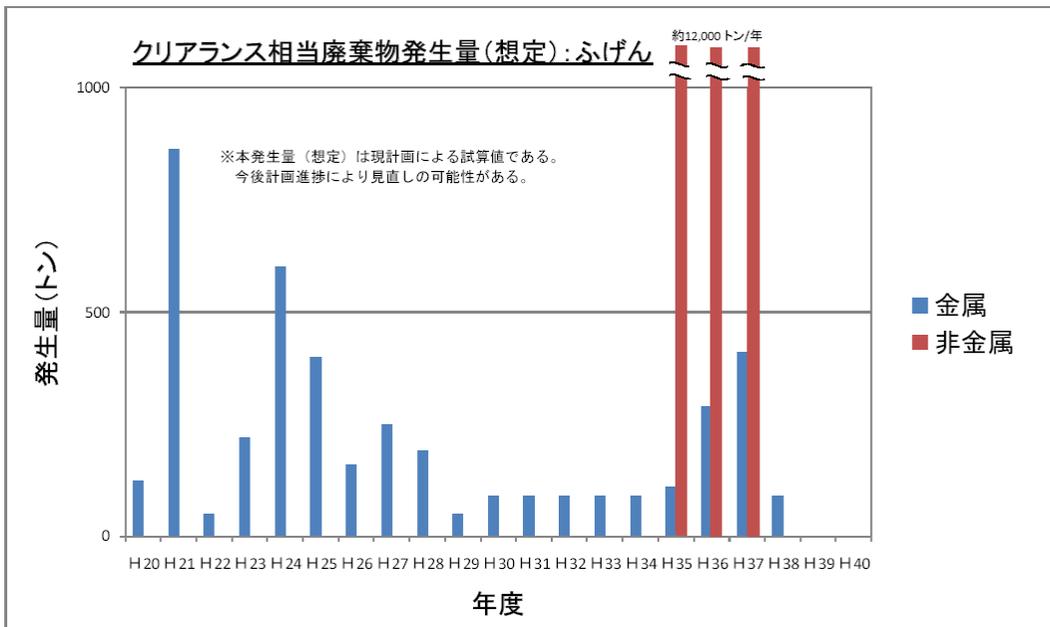
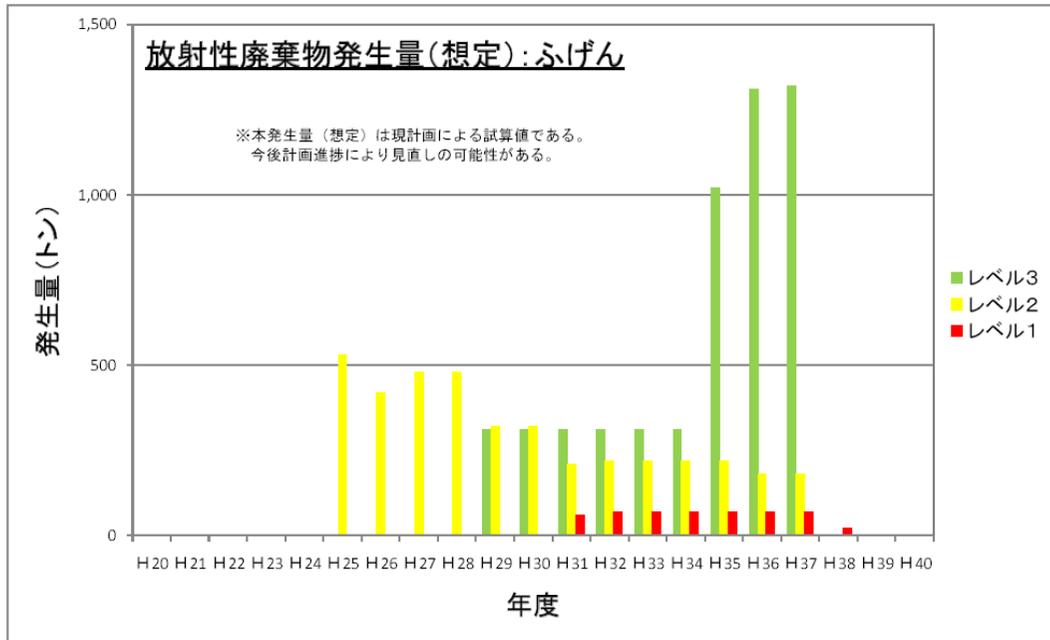
単位 万トン

放射能レベル区分	BWR (110万kW級)	PWR (110万kW級)	GCR (17万kW級)
低レベル放射性廃棄物 <b>L1</b>	0.008	0.02	0.16
<b>L2</b>	0.085	0.17	0.85
<b>L3</b>	1.2	0.40	0.81
計	1.3	0.6	1.8
放射性物質として扱う必要のない 廃棄物 (クリアランス対象物) + 放射性物質でない廃棄物	52.4	48.9	17.4

放射能レベルの比較的高いもの **L1** 余裕深度処分

比較的低いもの **L2** コンクリートピット処分

極めて低いもの **L3** トレンチ処分



## 廃棄物の発生

- 放射性廃棄物

極めて低いレベルの廃棄物  
(レベル3 相当)が大部分

- 廃棄物の主要部分はコンクリート

廃止措置の最終段階で発生

- 廃止措置の初期の段階では  
金属廃棄物

- この他に放射性でない廃棄物  
約306,500トン

## 廃止措置に伴い発生する廃棄物

1. 比較的短期間に集中して**大量の廃棄物**が発生。
2. 大部分は放射性物質として扱う必要がない(クリアランス対象)及び放射性でない廃棄物。  
殆どが**コンクリート**と**金属**
3. 解体の**初期の段階**でやや多めの**金属廃棄物**が発生し、**最終段階**で**大量のコンクリート廃棄物**が発生。
4. **再利用**にあてること極めて重要(コンクリート、金属)

# クリアランス制度化

## ○ 法制化

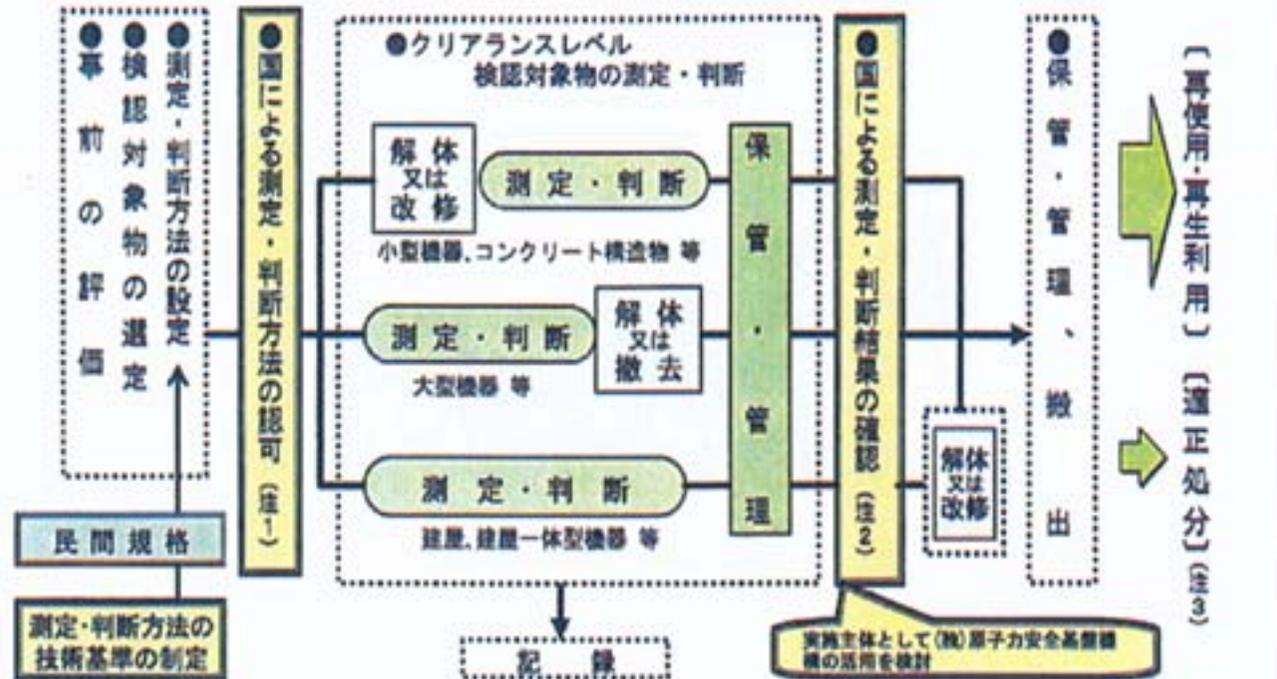
- ・H17年 原子炉等規制法改正、施行
- ・放射性物質の濃度の測定及び評価の方法の認可に関する規則(省令)
- ・ガイドライン(NISA文書)

## ○ 運用

- ・ 対象物 : 原子炉施設の廃止措置に伴い発生する固体状物質  
金属、コンクリート
- ・ クリアランスレベル : IAEA Safety Guide RS-G-1.7の値採用
- ・ 検認 2段階で国が関与

## ○ 実適用 : 東海発電所の解体金属を再利用

# クリアランス検認の流れ



(注) 1. 国による測定・判断方法の認可(認可時の審査内容)

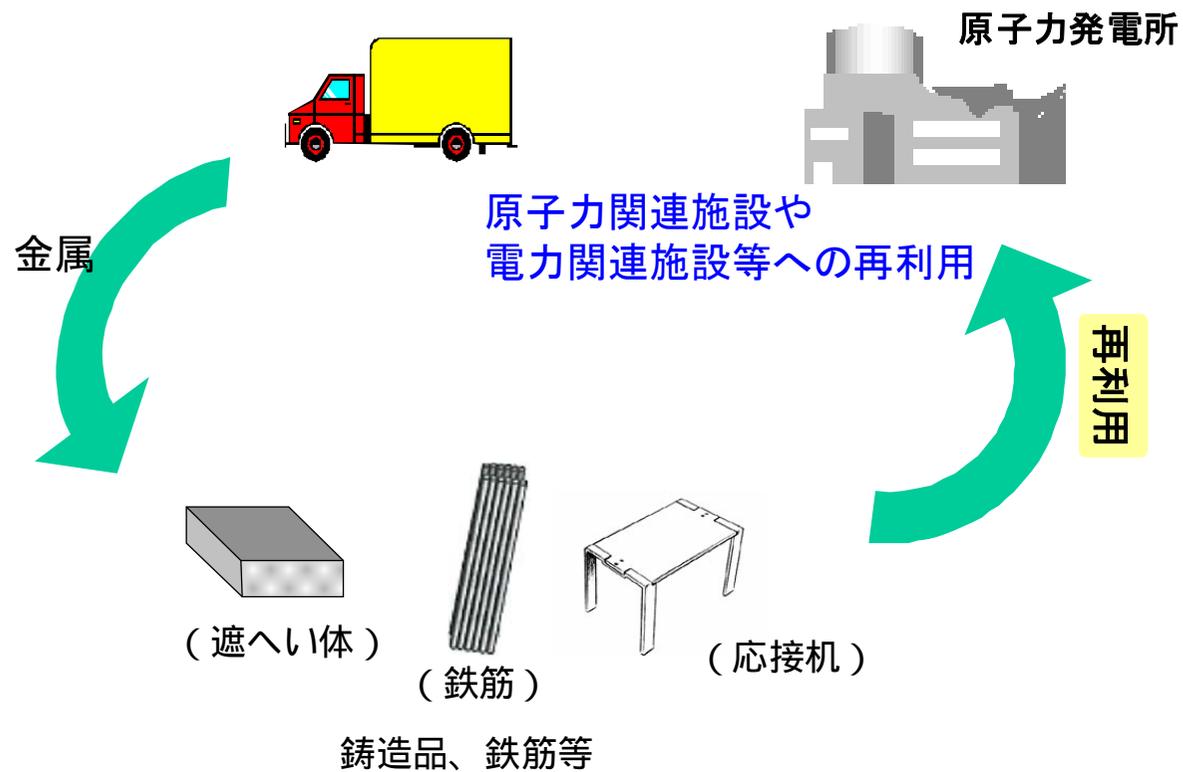
評価対象とする放射性核種の選択や組成比の設定方法、対象物の特性に応じた測定条件の設定や測定方法、測定結果の評価方法、測定・判断が終了した対象物の一時保管の方法、記録の管理、品質保証計画の策定状況等

2. 国による測定・判断結果の確認

認可を受けた方法に基づき行われた測定・判断に関する記録を確認する(必要に応じて抜き取り測定)、また、事前の評価からクリアランスされた物の搬出まで一連の測定・判断に係る品質保証活動の実施状況の確認について、国は適切な機会を通じてこれを行う。

3. クリアランスされた物の処分又は再生利用の際の最初の搬出先について、制度が社会に定着するまでの間、事業者が把握・記録するよう求める。

# クリアランス対象物の当面の再利用方針



# 東海発電所 クリアランス対象物再利用(鑄造品)



ベンチ



応接テーブル



遮へい体  
(KEK向け)

1000×500×200mm  
約700kg

# J-PARK ハドロン実験施設における再利用



写真1. 全景



写真2. 点線円の反対側から拡大



写真3. 実線円を別角度から拡大

## 今後の課題

### 1. システム・エンジニアリングの開発

要素技術の選択と組合せによる合理化、効率化  
データベースの確立重要

### 2. 炉心部解体の合理化

実施経験の蓄積必要 ——Lessons Learned

### 3. Lessons Learnedの国際的共有

### 4. サイト解放基準の検討 ——他の施設との整合性 最終サイトサーベイ

### 5. L1, L2, L3 のレベル区分に応じた処分場の整備

### 6. クリアランス制度、「放射性廃棄物でない廃棄物」(NR)確認の定着

- クリアランス検認手法の合理化
- NR判断基準の明確化
- 再利用事業の定着化

# まとめ

1. わが国は大型原子力発電施設の廃止措置に向けて、**法規制、廃棄物管理、技術開発等の面で着実に準備を進めてきた。**  
**ふげん、東海炉の経験を軽水炉に結集して生かすこと必要。**
2. **廃止措置中のプラントの安全水準は極めて高く、これまでに開発・利用された要素技術を用いて充分安全に廃止措置を実施すること可能。**
3. 数多くの要素技術が用意されており、これを**如何に選択・組み合わせ**て、より合理的に廃止措置を進めるかが技術的課題。
4. 廃止措置では比較的短期間に**多量の解体廃棄物が発生**。大部分は放射性でない、あるいは放射性として扱う必要のない廃棄物。
5. **クリアランス制度**が導入され、一部廃棄物の再利用を実施。当面原子力事業者が率先して再利用。国民の理解と信頼を得ながら、**実着な定着化が今後の課題。**