

日本原子力学会・バックエンド部会主催
「2015年度バックエンド週末基礎講座」
2015.11.7 @東北大学青葉山キャンパス

実践講座 1

原子力施設の廃止措置における現状と課題

原子力デコミッショニング研究会 事務局長
佐藤 忠道

自己紹介 佐藤 忠道 (さとう ただみち)

- 1974年 日本原子力発電（株）入社
原子力発電所の安全評価、放射線管理、原子力広報、
廃止措置を担当
(1988年～1991年 電気事業連合会 派遣)
- 1994年 発電管理部課長
- 1996年 廃止措置計画部課長 ←東海発電所の廃炉決定・公表
- 2001年 廃止措置プロジェクト推進部長 ←東海発電所廃止措置
開始
- 2008年 取締役（廃止措置担任）
- 2009年 同 総合研修センター所長
- 2010年～ 原電ビジネスサービス（株）取締役社長
- 2015年～ 原電エンジニアリング（株）顧問
- 2009年～ 原子力デコミッショニング研究会 事務局長

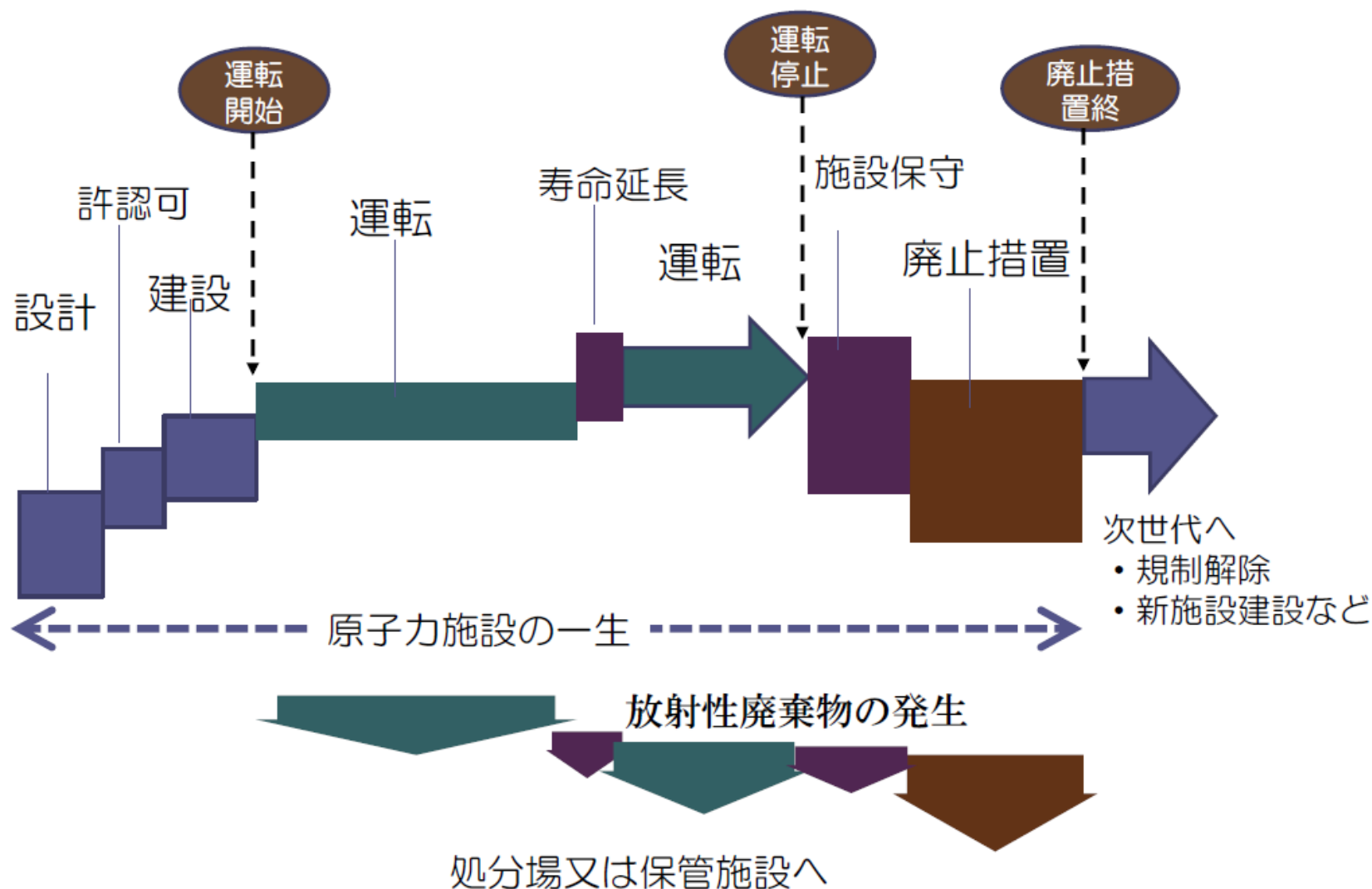
講義の内容

- 廃止措置とは
- 国内外の最近の廃炉の動向
- 日本の廃止措置への取組み
- 東海発電所の廃止措置プロジェクト
- 円滑な廃止措置実現への課題

(参考資料)

- 廃止措置に必要な技術

原子力施設のプラントライフサイクル



廃止措置（デコミッショニング）とは

- Decommissioning = （船、航空機などの）退役、解役
- 原子力施設の廃止措置とは、
 - ✓ 法的には、役割を終えた原子力施設からそこに課せられている安全規制を解除することを言います。
 - ✓ 技術的には、施設から放射能を除去し、機器設備や建物の解体撤去、放射性廃棄物の安全な処理・処分等により施設又は土地を再利用できるようにすることを指します。

（原子力デコミッショニング研究会HPより）



廃炉？ 廃止措置？

法律上の廃止措置の定義

原子炉等規制法 第43条の3の33（発電用原子炉の廃止に伴う措置）第1項
平成26年6月13日法律第69号

発電用原子炉設置者は、発電用原子炉を廃止しようとするときは、

当該発電用原子炉施設の解体

その保有する核燃料物質の譲渡し

核燃料物質による汚染の除去

核燃料物質によって汚染された物の廃棄

その他の原子力規制委員会規則で定める措置

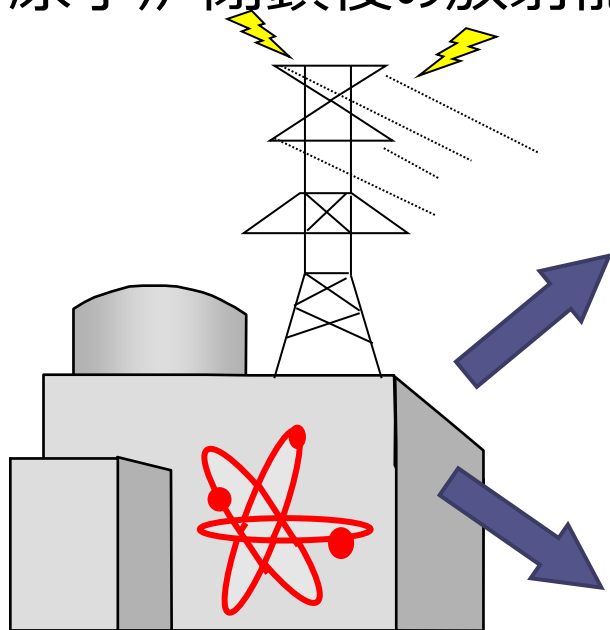
廃止措置

* 放射線業務従事者の被ばく線量記録

（以下この条及び次条において「廃止措置」という。）

を講じなければならない。

原子炉閉鎖後の放射能の分布とその行方



使用済燃料⇒（中間貯蔵）⇒再処理

放射能の99%以上が使用済燃料に
内包されている。

U,Pu
HLW

原子炉施設⇒
機器
建物

除染
⇒
解体

有価物
産業廃棄物
LLW
⇒ 跡地利用

動力試験炉JPDRの放射能分布

部位	放射能分布
炉内構造物	98.6%
原子炉压力容器	1.0%
生体遮蔽コンクリート	0.3%
汚染機器、コンクリート	0.1%

原子炉施設内に残存放射能の大部分
は原子炉とその近傍に集中が、低汚染
が施設内に薄く広く分布。

「原子炉解体」（石川迪夫）（2011.4）より

廃止措置の方法（IAEA）

放射能を取り除いて規制解除する道程は様々

即時解体

- 全ての機器や構造物を解体撤去。
- 解体跡地の放射線検査を行って、再利用する際の安全性を確認。
- 放射性廃棄物は、最終処分、再利用、当分の間保管するか等の処置。

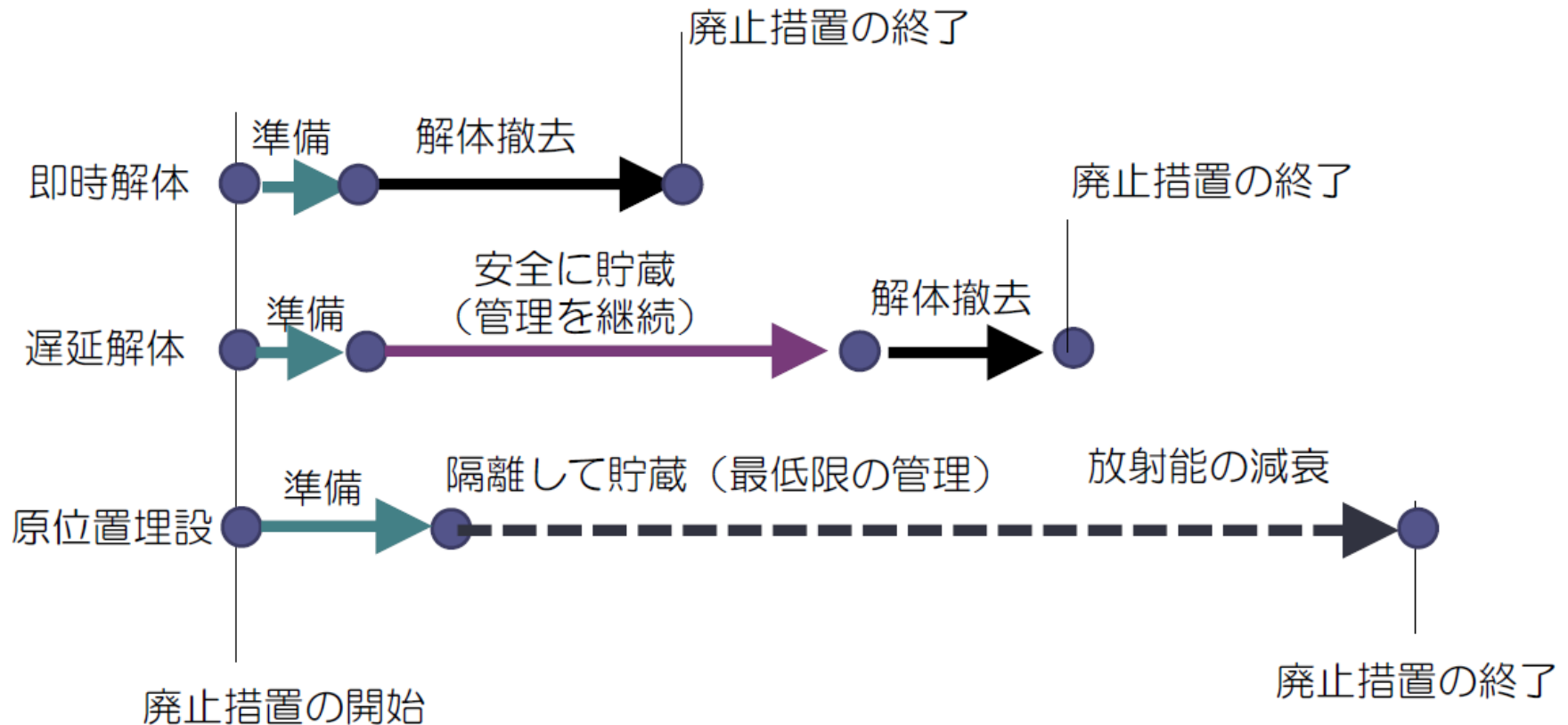
遅延解体（安全貯蔵）

- 施設の閉鎖後に核燃料を外部に搬出し、配管や床・壁等の汚染を除去。
- 施設への立ち入りを制限して管理。
- 最終的には解体撤去。

原位置埋設（遮蔽隔離）

- 核燃料や制御棒を取り出し、冷却材を抜き取ってから広域な除染。
- 施設の機器を部分的に解体撤去、
- 炉内構造物や原子炉圧力容器などを隔離障壁の中に封じ込め。

廃止措置の方式



世界の廃止措置の状況

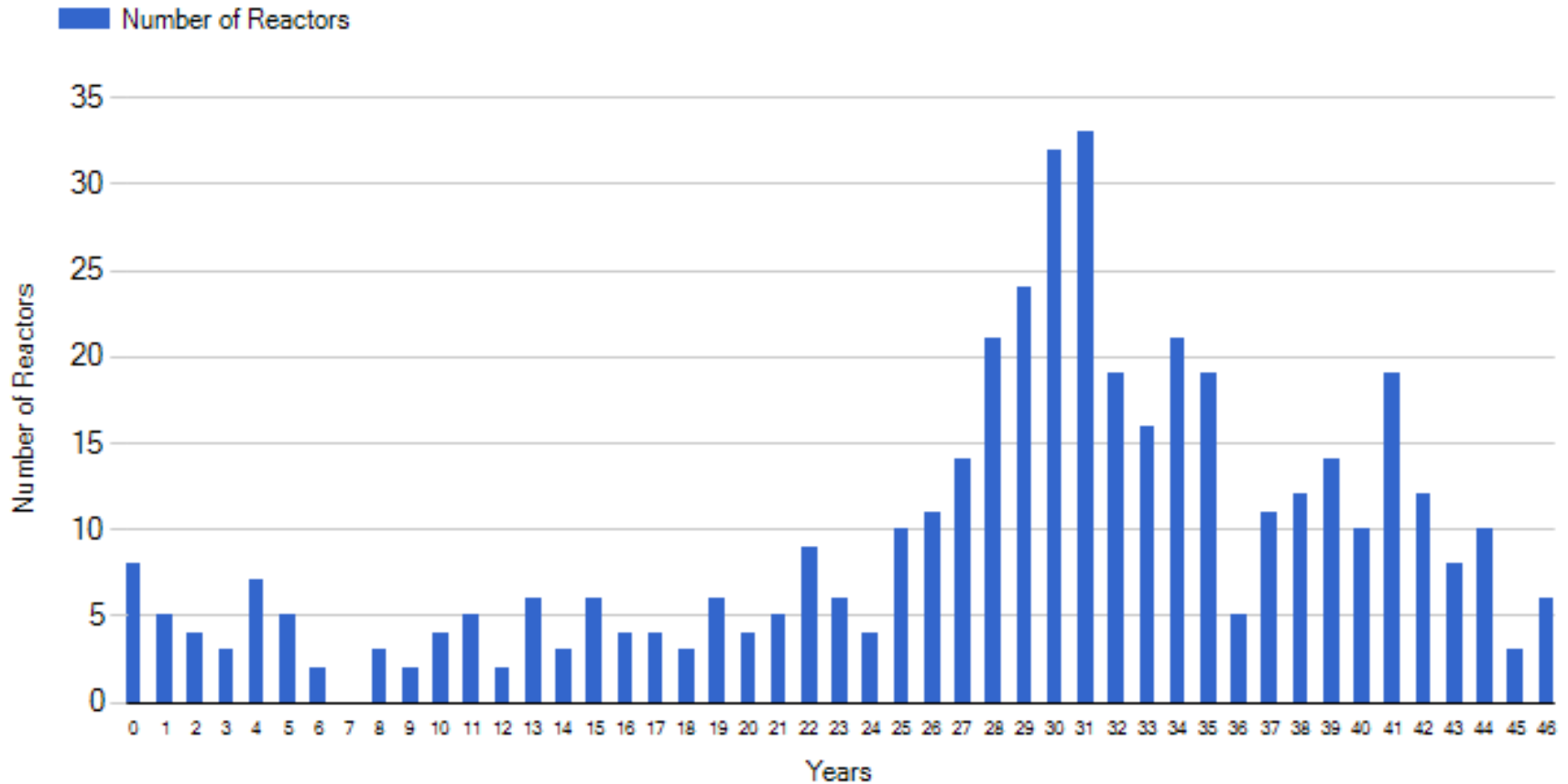
(基数)

	運転中	運転終了	廃止措置完了
米国	99	33	12
英国	16	29	0
ドイツ	8	28	3
日本	43	16	1
フランス	58	12	0
カナダ	19	6	
ロシア	34	5	0
ウクライナ	15	4	0
イタリア	0	4	0
ブルガリア	2	4	0
スウェーデン	10	3	0
スロバキア	4	3	0
その他	132	9	1
合 計	440基	156基	17基

JPDR
東海発電所
ふげん
浜岡1号機
浜岡2号機
1F1,2,3,4,5,6
敦賀1号
美浜1, 2号
島根1号
玄海1号


世界原子力発電所の運転年数

Total Number of Reactors: 440



Power Reactor Information System (IAEA)より

日本の商業用原子力発電所の閉鎖状況 2015年10月26日現在

運開後経過年数	基数	原子炉名 ( : 閉鎖プラント)
40年以上経過	8	東海 敦賀1 美浜1 福島1-1 美浜2 島根1 福島1-2 高浜1
35年以上経過	13	玄海1 高浜2 福島1-3 美浜3 浜岡1 伊方1 福島1-5 福島1-4 東海第二 浜岡2 大飯1 福島1-6 大飯2
30年以上経過	10	玄海2 伊方2 福島2-1 福島2-2 女川1 川内1 高浜3 高浜4 福島2-3 柏崎刈羽1
20年以上経過	18	川内2 敦賀2 福島2-4 浜岡3 島根2 泊1 柏崎刈羽2 柏崎刈羽5 泊2 大飯3 大飯4 柏崎刈羽3 浜岡4 志賀1 玄海3 柏崎刈羽4 伊方3 女川2
10年以上経過	4	柏崎刈羽6 柏崎刈羽7 玄海4 女川3
10年未満	4	東通1 浜岡5 志賀2 泊3

合計 57基 廃止措置中 14基 停止中 41基 運転中 2基

施設閉鎖の理由

- ◆ 初期目的の達成：
研究炉、実証炉 ……JPDR、ふげん
- ◆ 経済性：
1960年代の小規模発電所 ……東海
- ◆ 安全性・技術的要因：
経済性のある解決策得られず ……浜岡1,2
敦賀1 美浜1,2 島根1 玄海1
- ◆ 過酷事故：
TMI、チェルノブイル、1F1,2,3,4
- ◆ 政治的要因：
イタリア、ドイツ、スウェーデン、1F5,6等

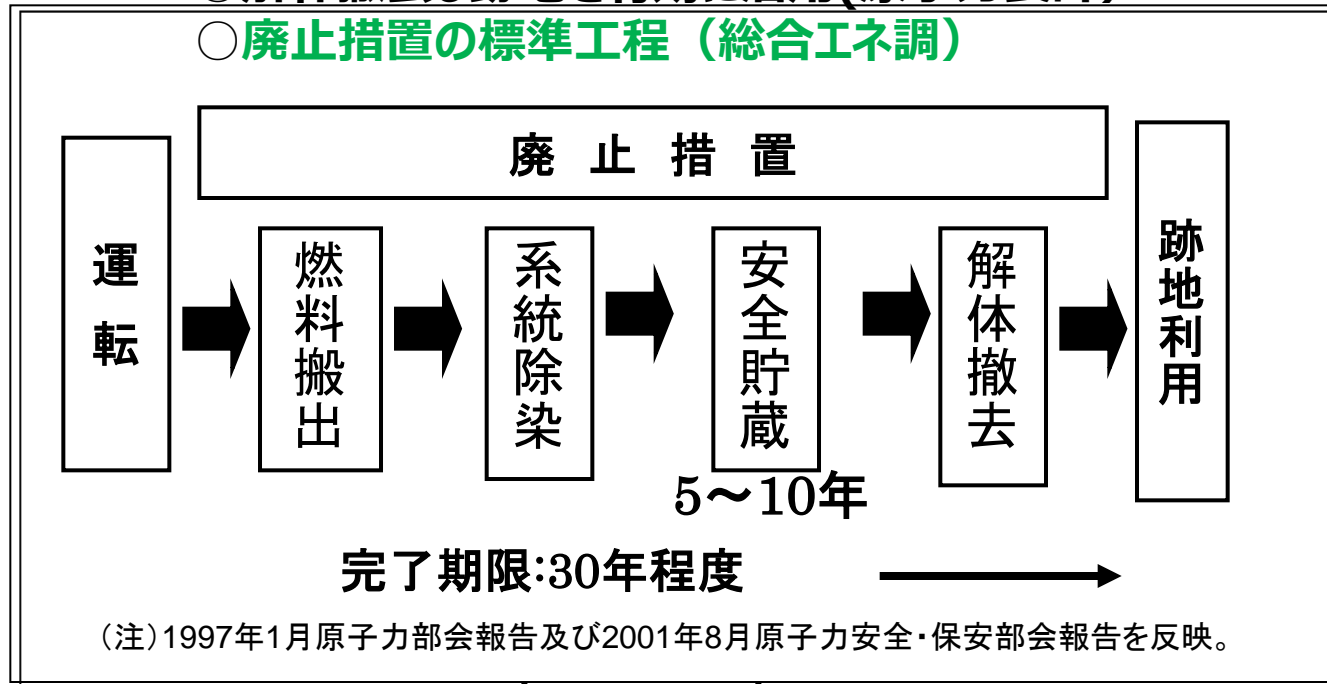
主要国の廃止措置の状況

アメリカ	原則として60年以内に廃止措置を完了させることを義務付け。即時解体シナリオ、安全貯蔵シナリオを、それぞれ同程度採用。 既に12プラントで廃止措置を完了。
イギリス	従来、原子炉建屋の解体を恒久停止約135年後に行うとしていたが、80年後からと変更した。2005年、施設の廃止や廃棄物の処分に責任を持つNDA(Nuclear Decommissioning Authority)を発足。
フランス	従来、約40～50年間後に解体撤去を実施する、長期の安全貯蔵を基本戦略としていた。EDFは、廃止措置・廃棄物関連業務を1箇所に集中するため、2001年戦略を変更し、2026年までを目標に全発電所の廃止措置を完了することとした。処分場の遅れで10年延長。
ドイツ	即時解体が主流。一部、安全貯蔵方針を採用。3プラントが完了。連邦政府は、2011年7月に全発電炉を2022年までに段階的に閉鎖することを決定。

日本の商業用原子炉廃止措置への取組み

○解体撤去し跡地を有効に活用(原子力長計)

○**廃止措置の標準工程（総合エネ調）**



技術開発

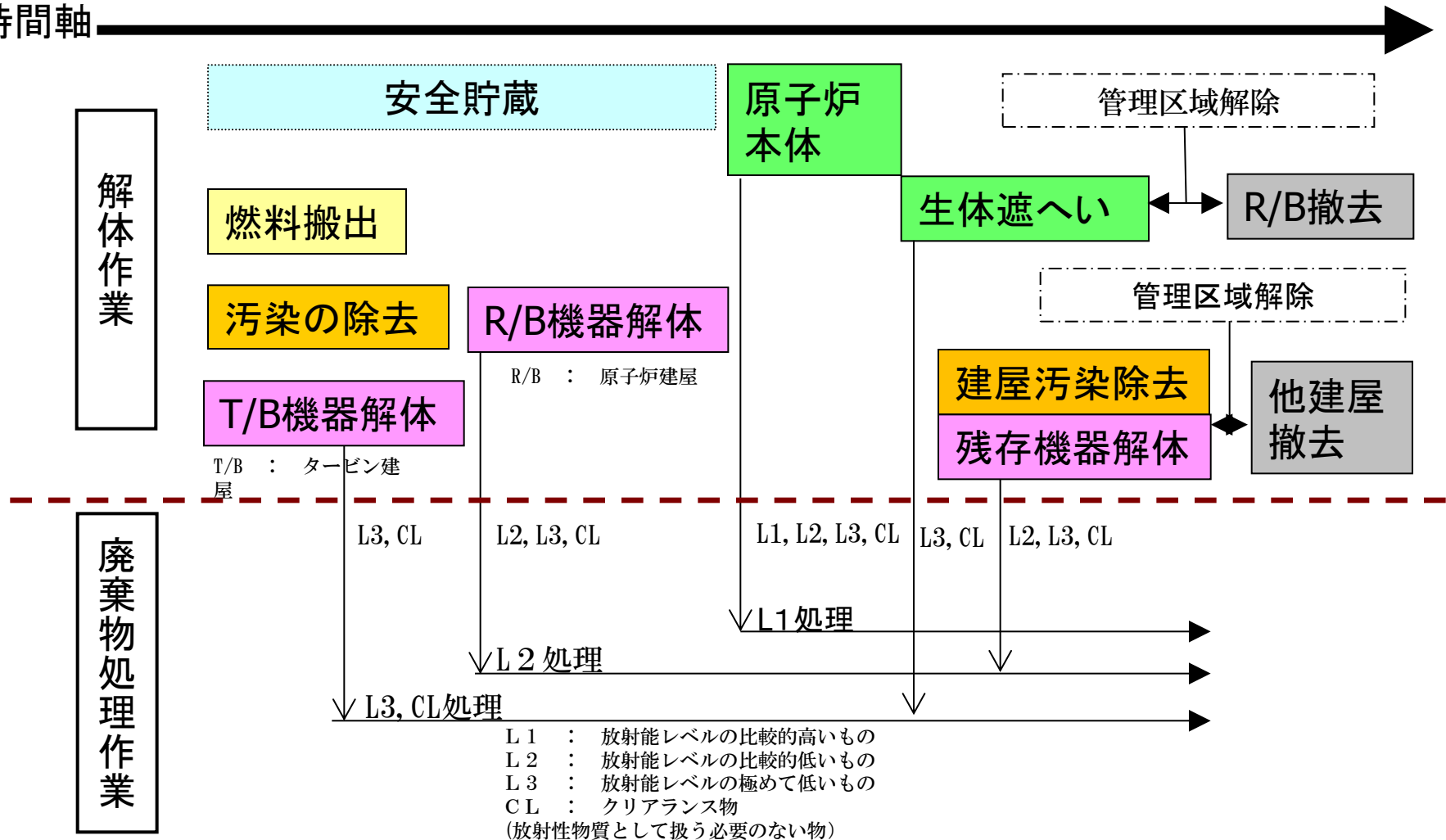
- JPDR解体（1981～1996）
- 原子力発電技術機構等の研究（1982～2003）

制度整備

- 廃止措置法制度（2001～2005）
- 廃棄物処分制度（1997～2008）
- 解体引当金制度（解体費：1988）
（廃棄物処分費：2000）

実際の廃止措置工程の流れ

時間軸



国による廃止措置制度の整備

1. 廃止措置の費用制度

運転終了後、長期にわたる廃止措置に必要な資金の確保が必要

＜原子力発電施設解体引当金制度＞

原子力発電所は、廃止措置の期間が長く費用が多額であることから、「発電と廃止措置は一体の事業である」との考え方に立って、料金・会計制度上の取扱がなされている。

- 運転中から原子炉解体着手まで積立（引当）
- 運転期間40年に安全貯蔵期間10年を加えた50年間
- 毎年定額を積立、料金で回収
- 合理的な見積もり 100万kW級で約600億円

廃止措置費用の総見積額

規模	廃止措置費用
小型炉（50万kW級）	350～476億円
中型炉（80万kW級）	434～604億円
大型炉（110万kW級～138万kW級）	558～834億円

（平成26年7月 資源エネルギー庁資料より）

廃止措置費用の内訳（110万kW級）

注：平成16年価格

内訳	BWR	PWR
施設解体費	454億円	422億円
放射性廃棄物処理処分費	206億円	176億円
合計	660億円	598億円

国による廃止措置制度の整備

2.廃棄物処分制度

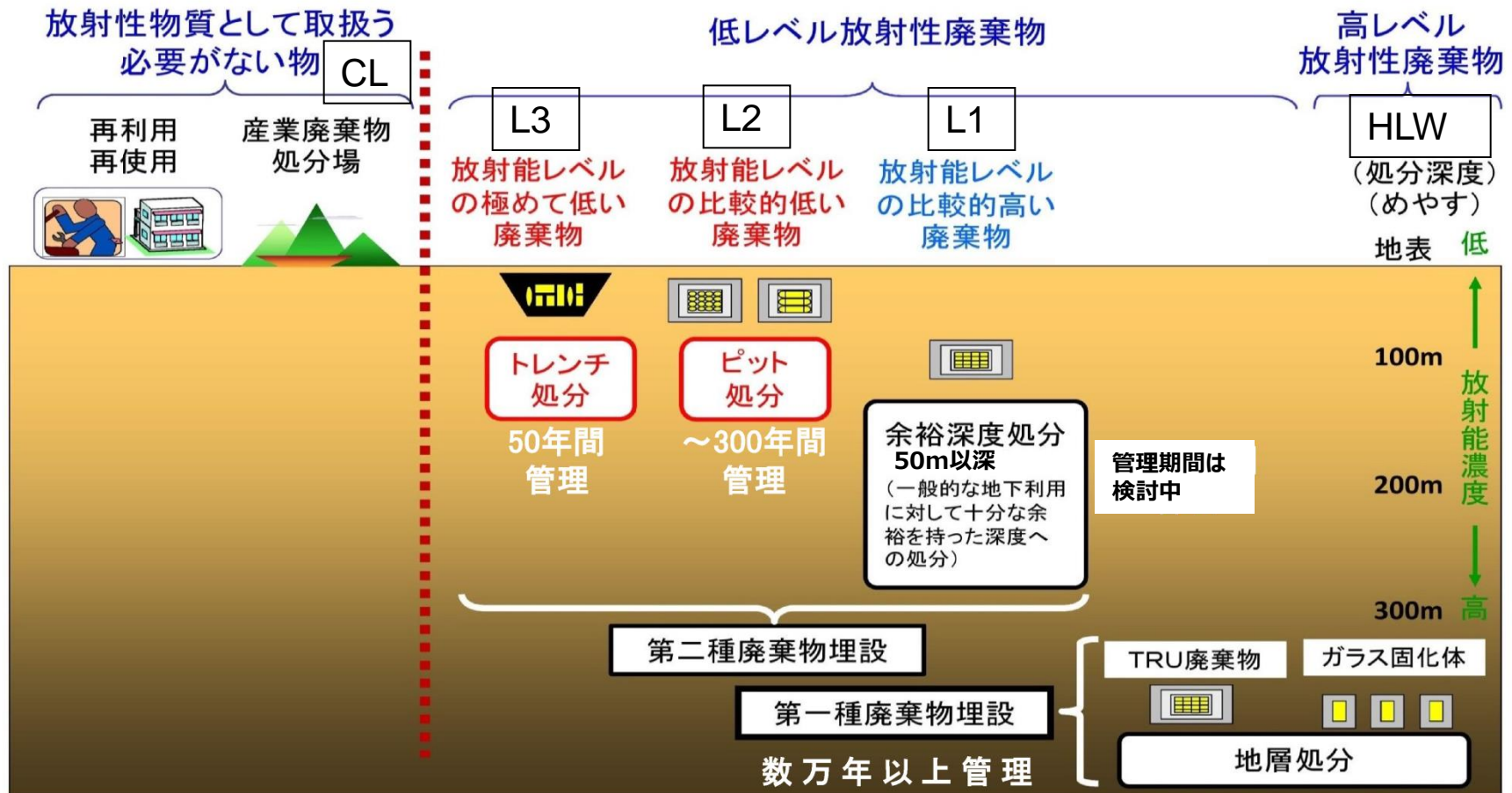
放射性レベル毎に合理的な処分制度が必要

通称

L1	・ 余裕深度処分低レベル放射性廃棄物
L2	・ 浅地中ピット処分対象物低レベル放射性廃棄物
L3	・ 浅地中トレンチ処分対象物低レベル放射性廃棄物
CL	・ クリアランス対象物
NR	・ 放射性廃棄物でない廃棄物
GN	・ 管理区域外の廃棄物

放射性廃棄物の種類毎の処分概念

○放射性廃棄物の種類や放射能濃度等に応じた埋設の方法により、放射線による障害の防止の措置を必要としない状況になるまでの間、適切に管理する。



解体廃棄物の費用単価

万円／m³

	L1	L2	L3
輸送	6 7 0	9 0	4 0
処分	1, 1 6 0	2 1 0	3 0
合計	1, 8 3 0	3 0 0	7 0

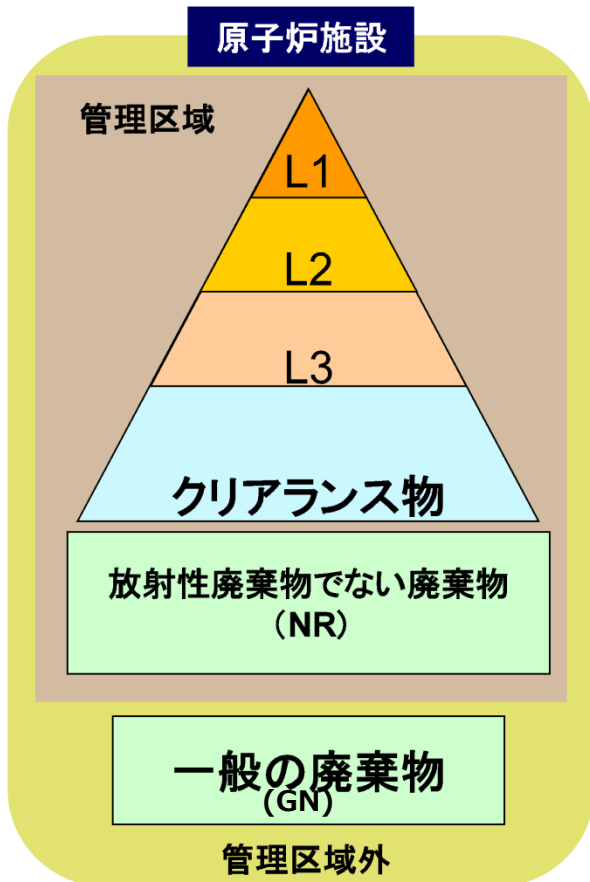
1999. 5「総合エネルギー調査会・原子力部会」

<参考>

万円／m³

HLW	TRU
2 0, 0 0 0	3, 5 0 0

2008. 12 資源エネルギー庁資料より



L1: 放射能レベルの比較的高い廃棄物
 L2: 放射能レベルの比較的低い廃棄物
 L3: 放射能レベルの極めて低い廃棄物
 クリアランス物: 放射性物質として扱う
 必要のないもの

NR: Non Radioactive Waste

廃止措置に伴って発生する解体撤去物量(t)

放射能レベル		大型軽水炉(注1) (110万kW _e 級)		東海 発電所 (注2)	ふげん (注3)
		BWR	PWR	GCR	HWR
低レベル放 射性廃棄物	L1	100	260	1,530	500
	L2	1,600	2,400	8,870	4,400
	L3	7,200	2,800	13,100	5,400
クリアランス物		28,000	12,000	40,200	40,600
N R (一般撤去物 含む)		53.6万	49.5万	12.8万	31.1万
合 計		57.3万	51.2万	19.2万	36.2万

(注1): ATOMICA「表2 解体廃棄物の放射性レベル区分別発生量」より算定

(注2): H23年度 原子力デコミッションング研究会 合同ゼミ 資料より

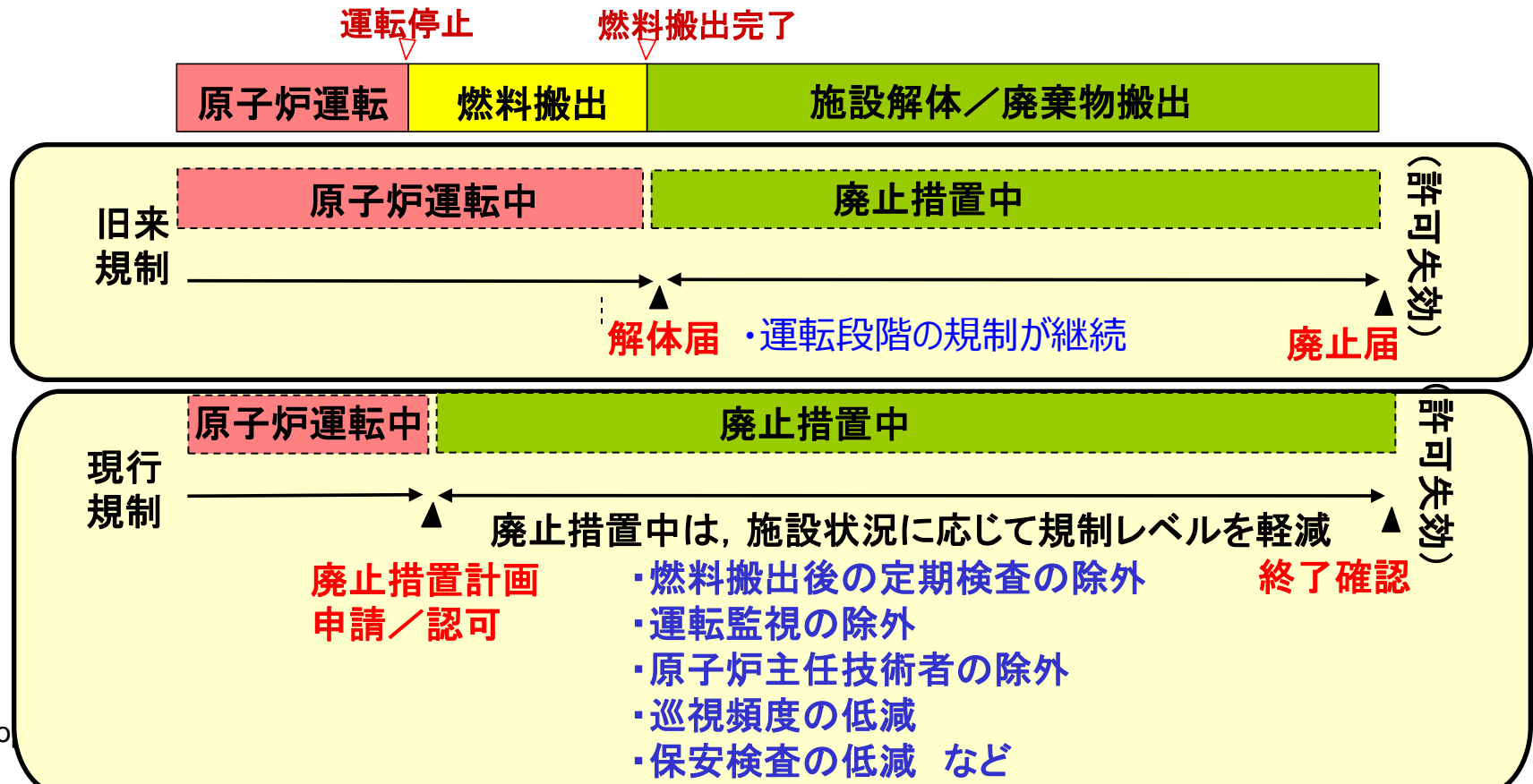
(注3): 新型転換炉原型炉施設 廃止措置計画書より

国による廃止措置制度の整備

3. 廃止措置の安全規制

廃止措置段階に相応しい安全規制への変化が必要

＜2005年12月廃止措置安全規制見直しの概要＞



わが国の廃止措置プロジェクト



日本における廃止措置の状況

- 昭和50年代から、廃止措置に関連する技術開発、先行する海外事例の研究など検討を重ね、旧日本原子力研究所（現JAEA）の動力試験炉(JPDR)の解体撤去を実地試験として実施し、平成8年3月に完了。
- 商業用原子力発電所の廃止措置に備え旧原子力発電技術機構(NUPEC)は、切断、除染、測定、遠隔操作、廃棄物処理・再利用の各種技術の確証試験を産業界と連携実施し、一連の技術開発を平成15年に終了。
- 商業用原子力発電所として初の廃止措置プロジェクトとなる日本原子力発電(株)・東海発電所の廃止措置が平成13年12月に開始。
- JAEAふげん発電所が平成20年、中部電力(株)浜岡原子力発電所1,2号機が平成21年に廃止措置を開始。
- 東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機は平成24年に5,6号機は平成26年に電気事業法上の廃止手続き実施。
- 平成25年の規制強化後、加えて、5基（敦賀1、美浜1, 2、島根1、玄海1）が平成27年4月末までに廃止し、廃止措置計画を検討中。

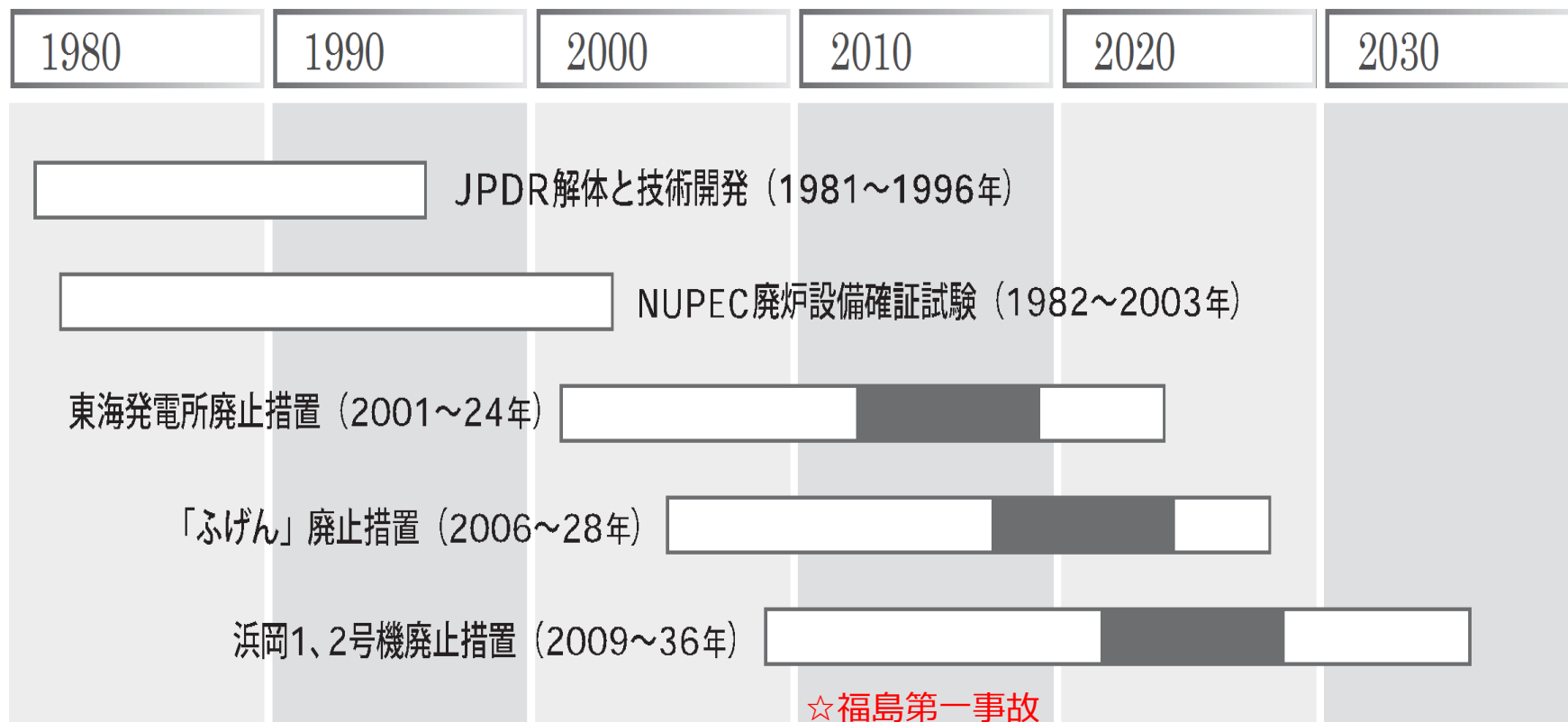
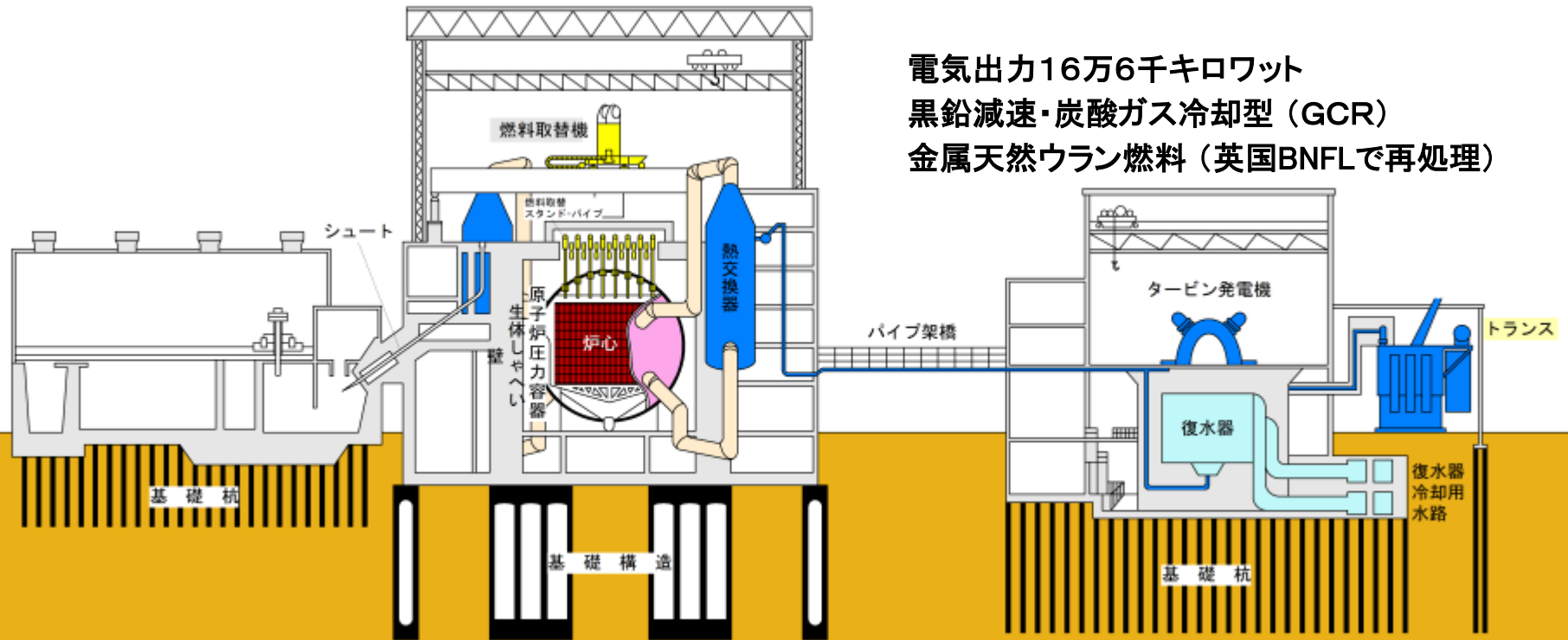


図 わが国の原子炉廃止措置のスケジュール

東海発電所の廃止措置の状況



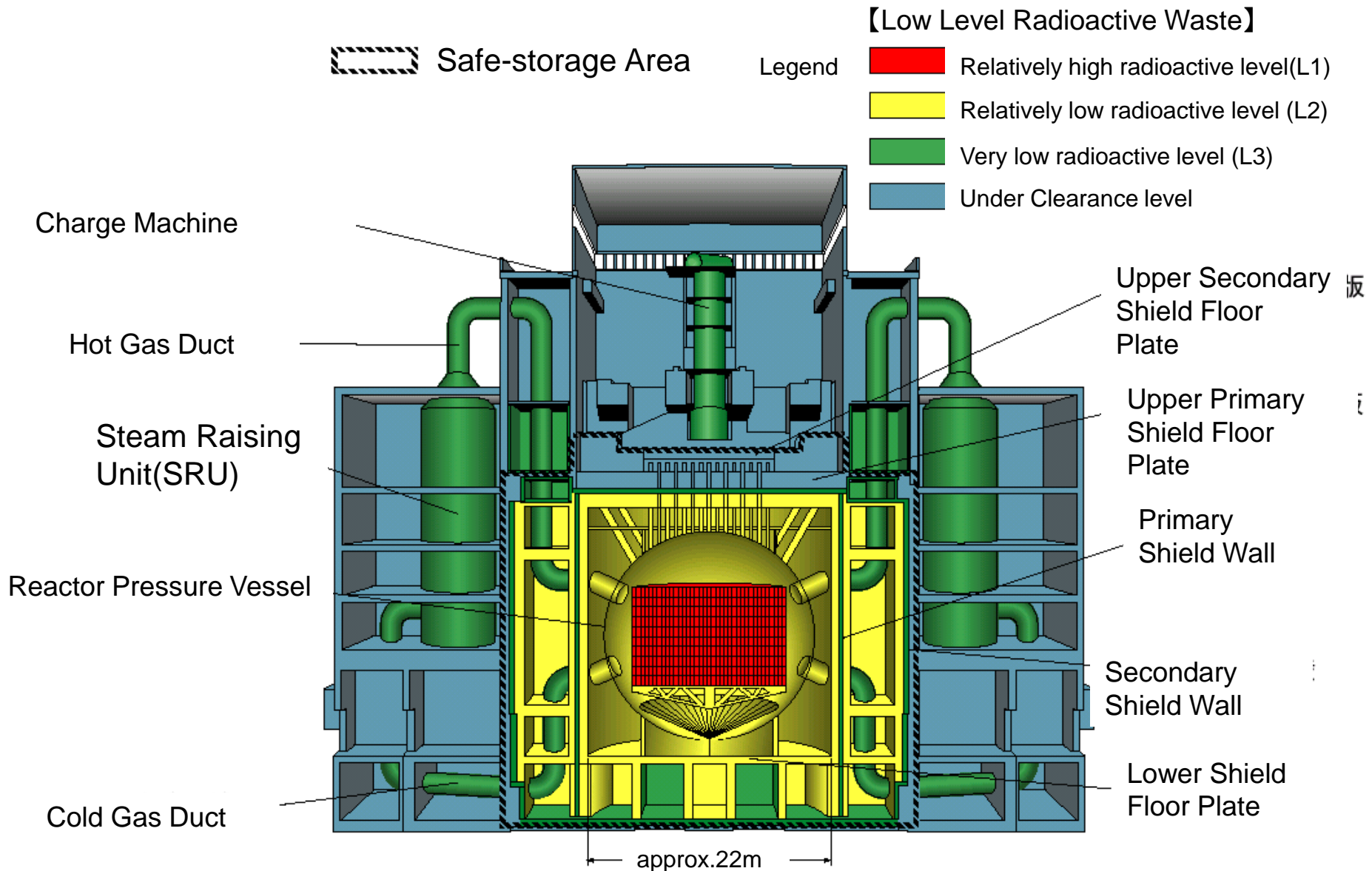
東海発電所廃止措置の主要経緯



電気出力16万6千キロワット
 黒鉛減速・炭酸ガス冷却型（GCR）
 金属天然ウラン燃料（英国BNFLで再処理）

- ・昭和41年 7月25日 営業運転開始
- ・平成10年 3月31日 営業運転停止（約32年間運転）
- ・平成13年10月 4日 原子炉等規制法に基づく「原子炉解体届」を経済産業省に提出
- ・平成13年12月 4日 廃止措置に着手
- ・平成18年 3月31日 第1期工事（5年間）終了
- ・平成18年 6月30日 廃止措置計画の認可（3月10日申請）
- ・平成18年 8月17日 熱交換器撤去等工事着手
- ・平成18年 9月 8日 「クリアランス制度」対象物に係る放射能濃度の測定及び評価方法の認可（6月2日申請）
- ・平成20年 9月 1日 「放射性廃棄物でない廃棄物」に係る保安規定改正認可（8月7日申請）
- ・平成22年 7月30日 廃止措置計画の軽微変更届（工期3年延長）
- ・平成25年12月19日 廃止措置計画の軽微変更届（工期5年延長）

Radiological Characterization of Tokai-1

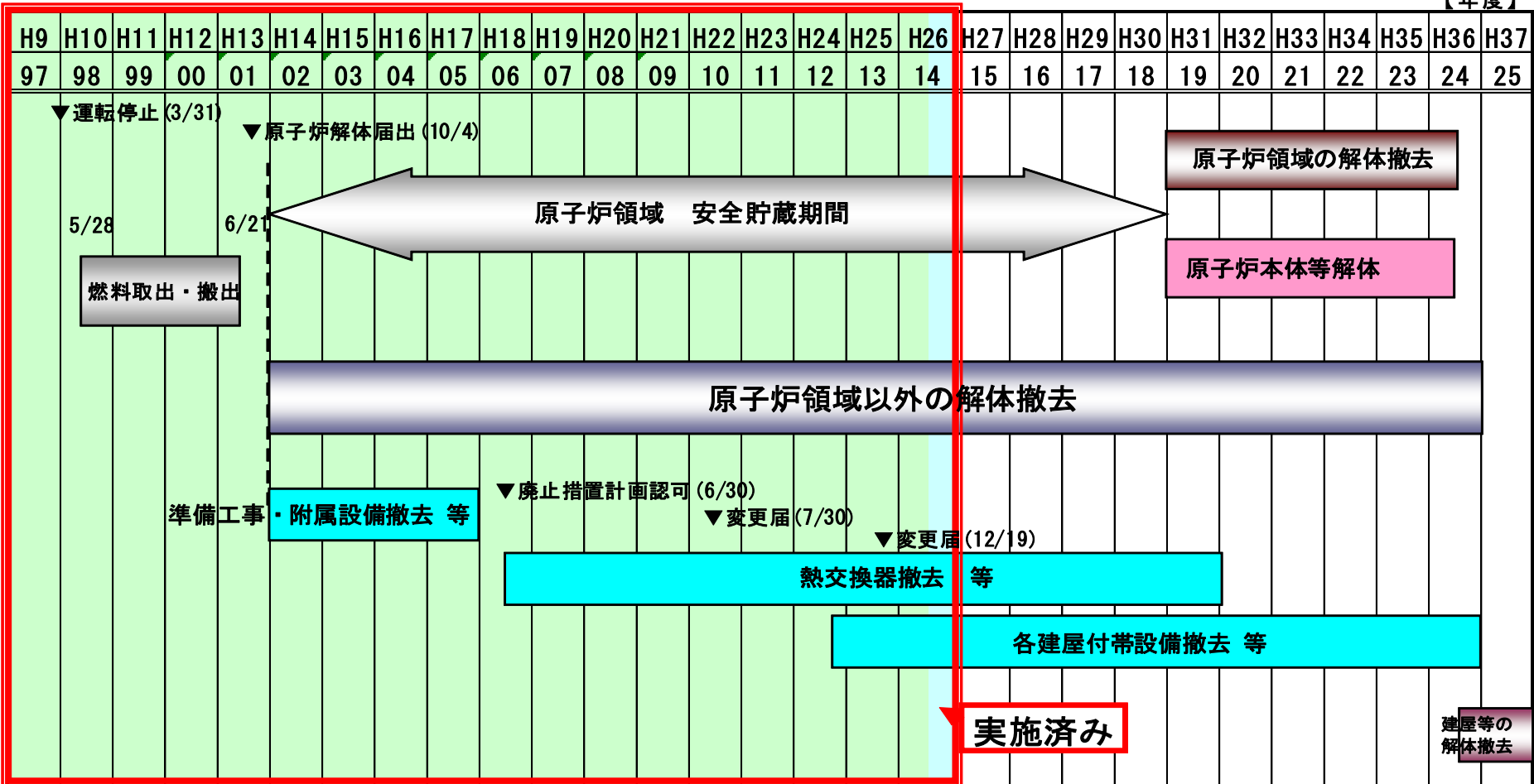


東海発電所廃止措置計画の概要

- 原子炉、附属設備及び建屋を解体撤去し、更地の状態に復することを基本
- 原子炉領域は、安全貯蔵後、解体撤去
- 原子炉領域以外の附属設備等は、安全貯蔵期間開始時点から順次解体撤去
- 廃止措置は、長期に亘る計画であるため、工程を分割して進めていく

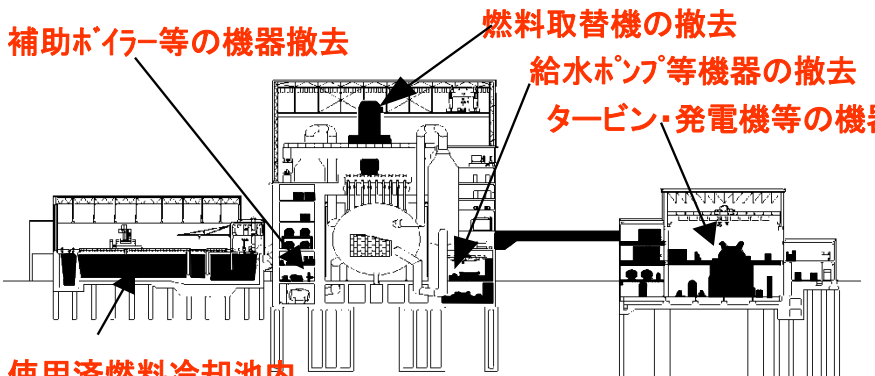
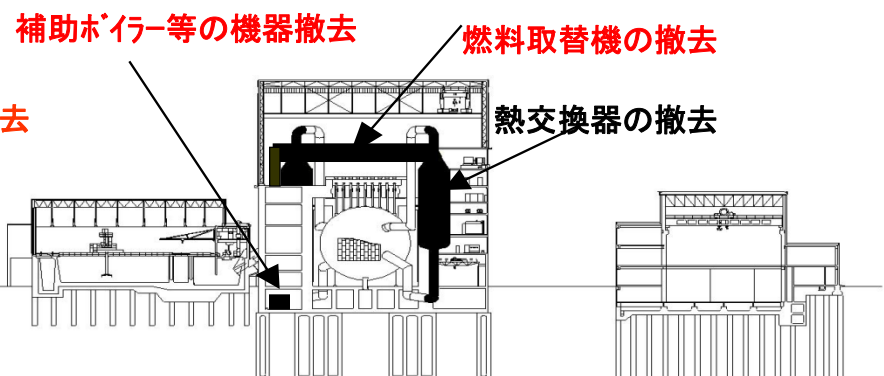
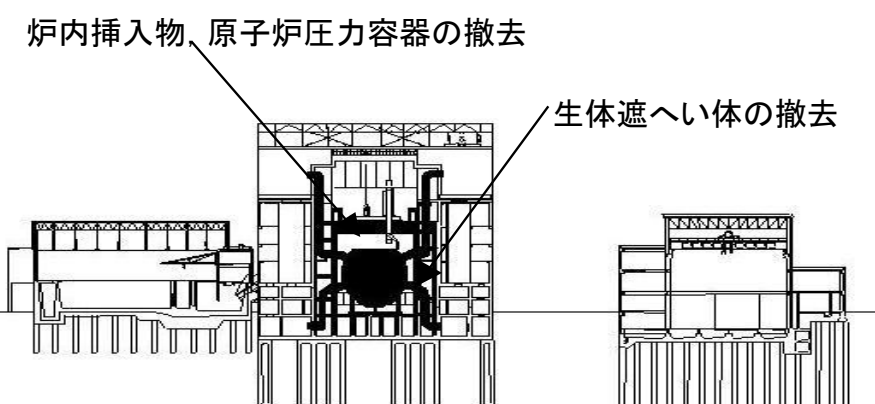
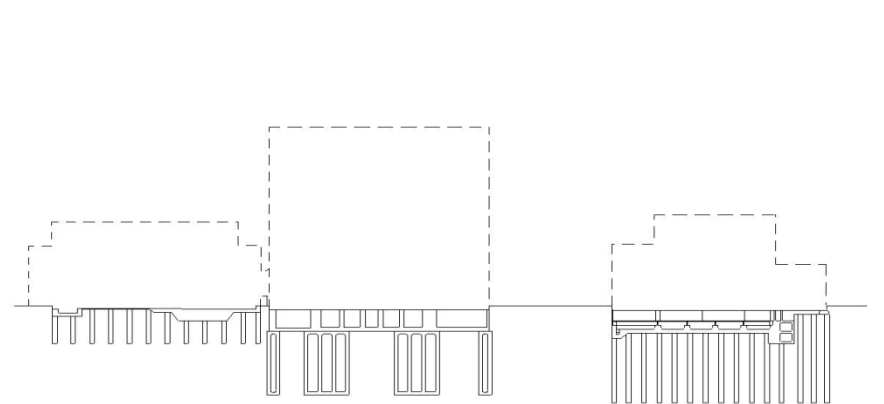
東海発電所廃止措置 全体工事工程表

【年度】

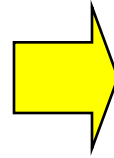


東海発電所廃止措置工事 全体概要

■ : 撤去対象

第1期工事 原子炉領域以外の撤去	第2期工事 原子炉領域以外（主に熱交換器）の撤去
<p>補助ボイラー等の機器撤去</p> <p>燃料取替機の撤去</p> <p>給水ポンプ等機器の撤去</p> <p>タービン・発電機等の機器撤去</p> <p>使用済燃料冷却池内機器の撤去及び冷却池の洗浄・排水</p> <p>(工事件名の赤字は実施済み)</p> 	<p>補助ボイラー等の機器撤去</p> <p>燃料取替機の撤去</p> <p>熱交換器の撤去</p> 
第3期工事 原子炉領域の撤去	建屋等の撤去
<p>炉内挿入物、原子炉圧力容器の撤去</p> <p>生体遮へい体の撤去</p> 	

使用済燃料冷却池内水抜き・清掃



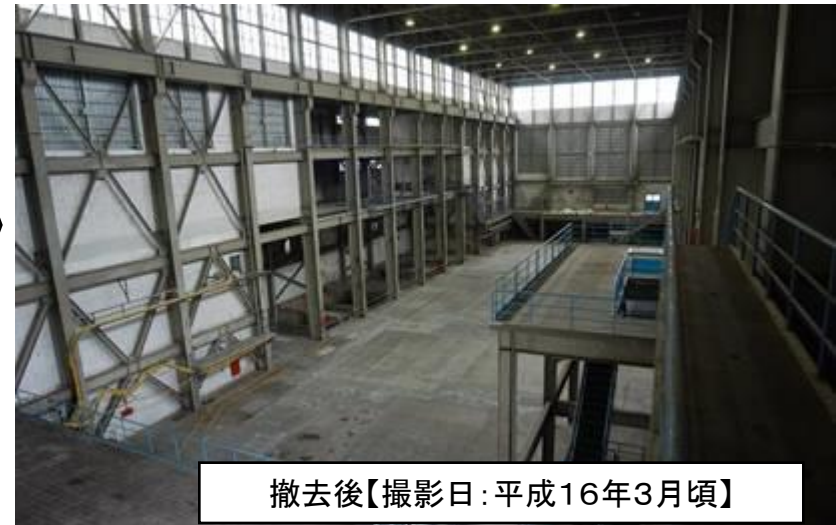
作業状況



タービン・発電機等機器撤去



撤去前【撮影日：平成15年3月頃】



撤去後【撮影日：平成16年3月頃】

作業の状況



発電機撤去【撮影日：平成15年5月頃】



低圧タービン撤去【撮影日：平成15年6月頃】



タービン建屋内機器撤去【撮影日：平成16年1月頃】

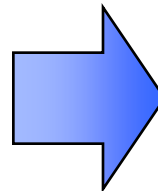
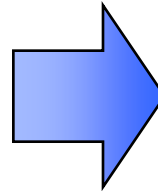
ガスダクトの撤去状況



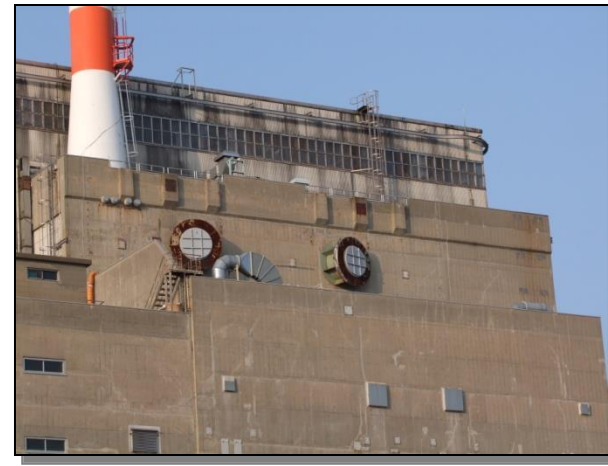
【作業開始時頃の状況】



【ガスダクト撤去状況】

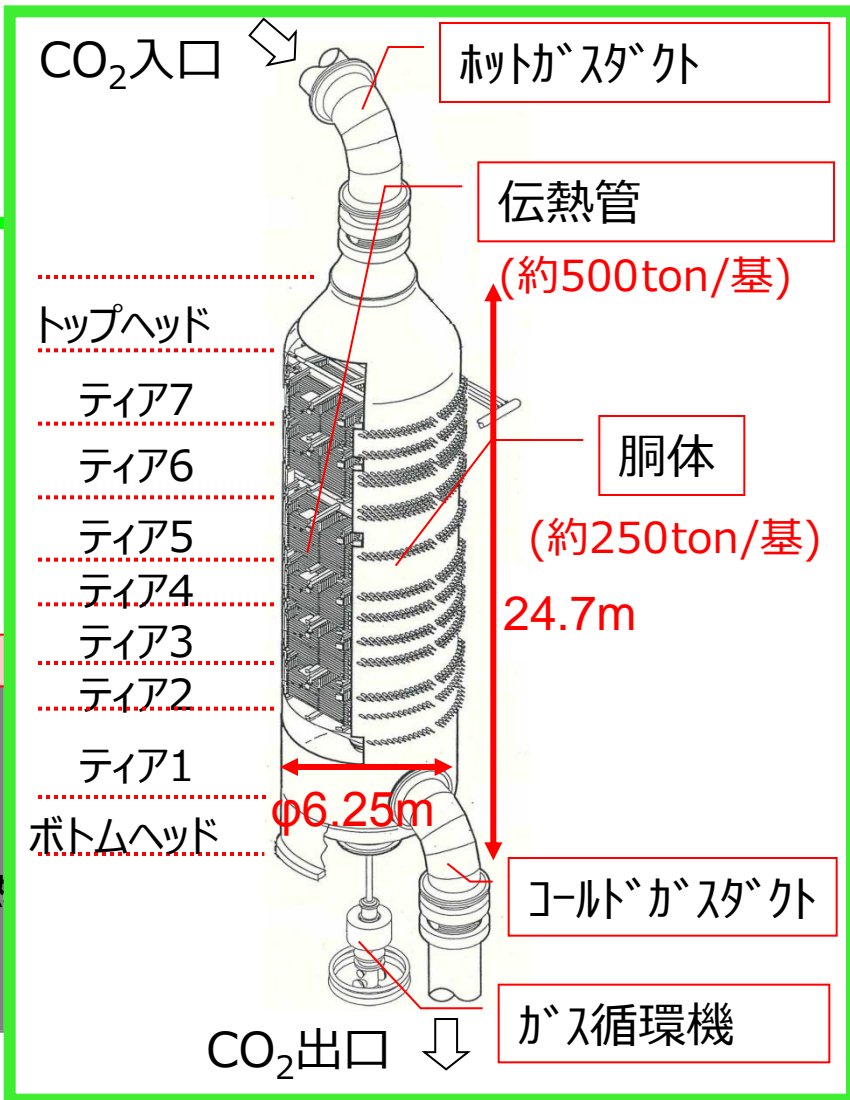
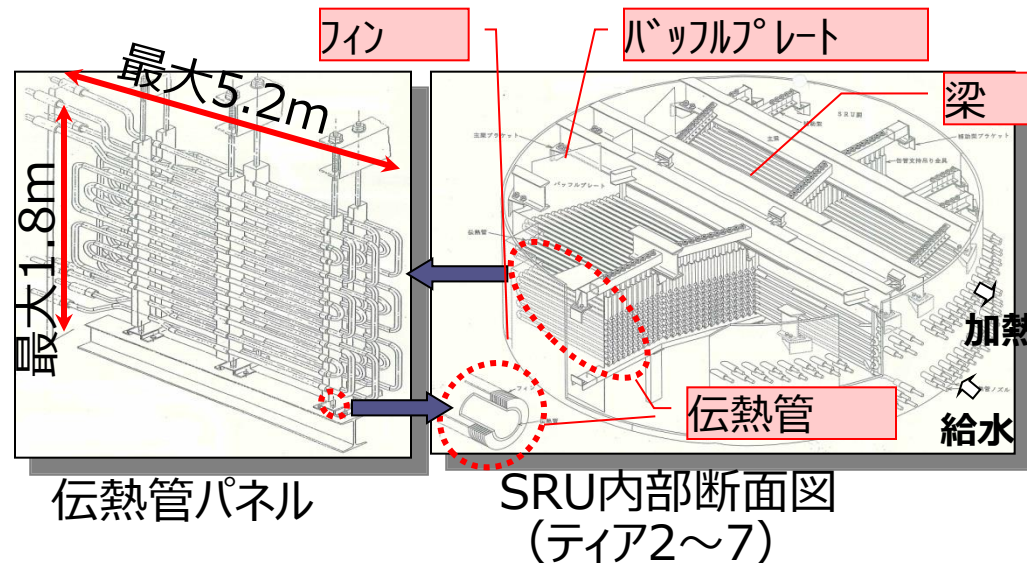
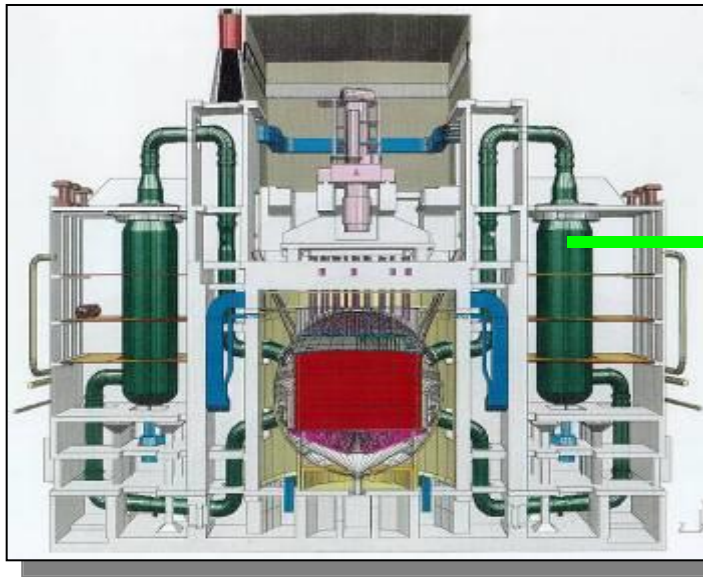


【仮設建屋の組立状況】



【撤去完了後の状況】

熱交換器の構造



熱交換器遠隔切断工法の概念

ジャッキ装置

遠隔切断装置

3階作業エリア

装置設置

ジャッキダウン・9分割

装置撤去

撤去準備

- 大型ジャッキの設置
- 遠隔切断装置装置の設置

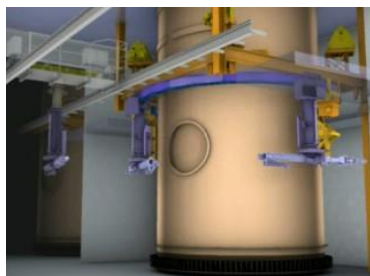
切断撤去

- 1次切断（ティア分割）
- 2次切断（細断）

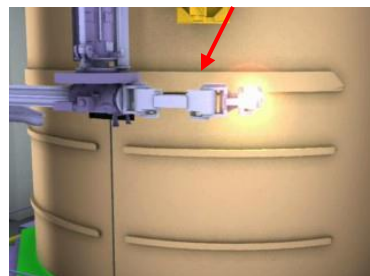
固体廃棄物貯蔵庫に保管

【作業イメージ：3階作業エリア】

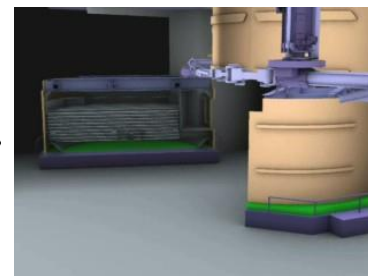
遠隔切断装置（マニピュレーターム）



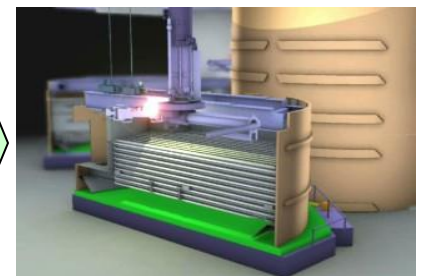
〔装置構成〕



〔1次切断〕



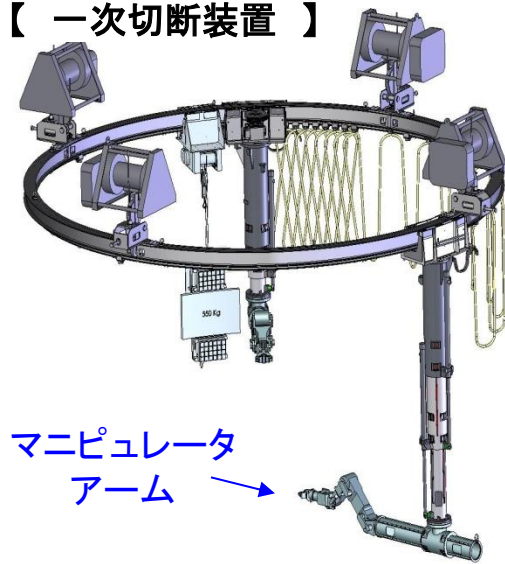
〔ティア移送〕



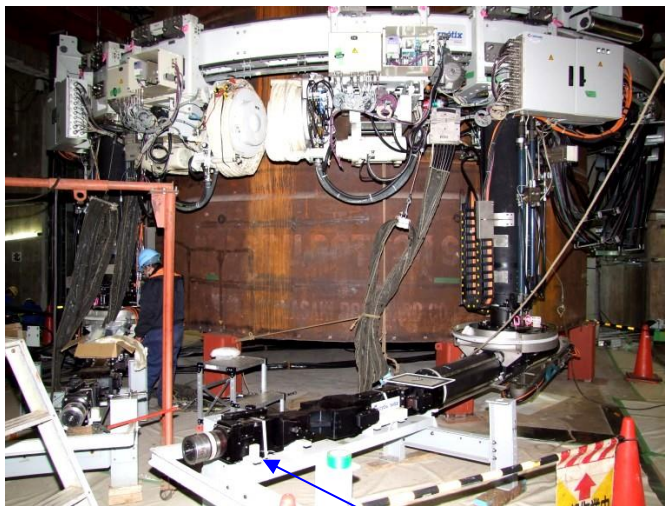
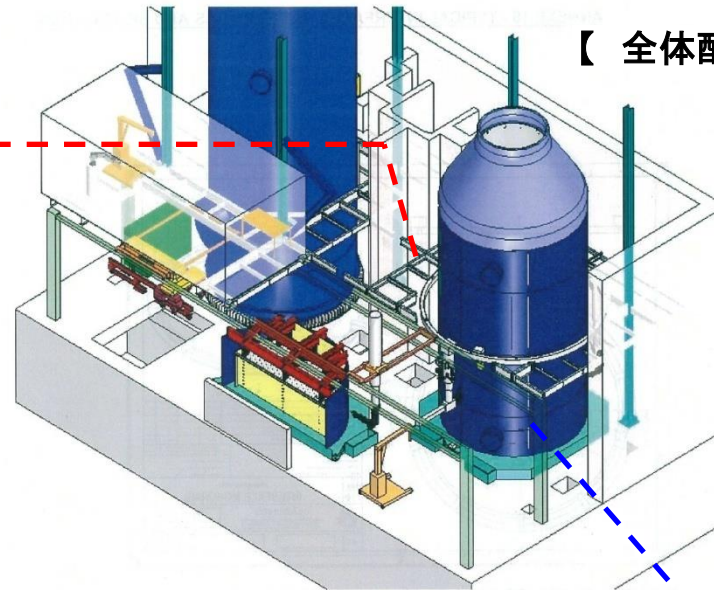
〔2次切断〕

遠隔解体装置による熱交換器の解体

【 一次切断装置 】



【 全体配置 】



熱交換器内部構造物切断状況

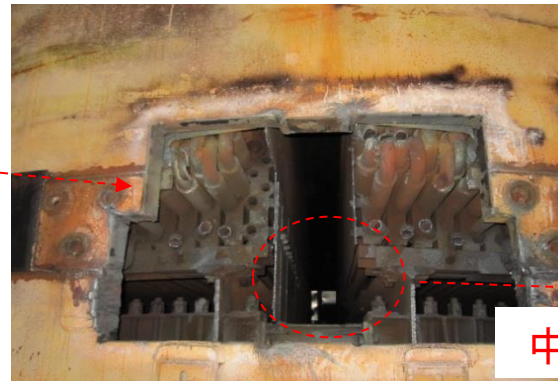
内部構造物 **南側**中央バッフル板の電動ディスク切断例（上下分離）

〔制 約〕

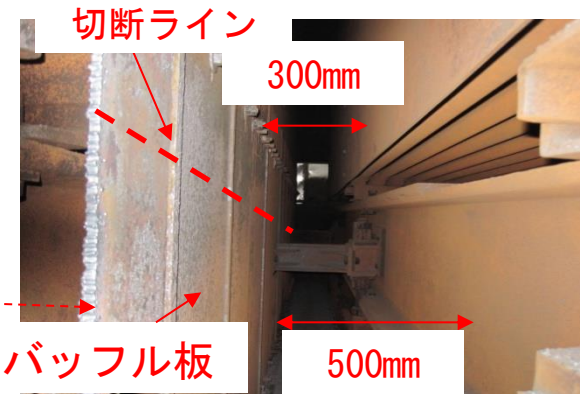
- ・ 切断アームの**挿入経路が狭い**：アームの幅250mmに対して**バッフル板の間隔300mm**



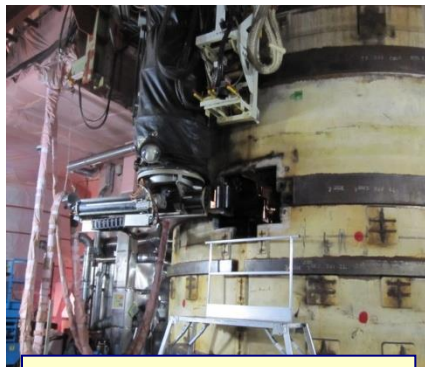
南側胴部開口①



南側胴部開口②



南側胴部開口内の切断ライン



切断アームの挿入①



切断アームの挿入②



切断アームの挿入③



切断状況

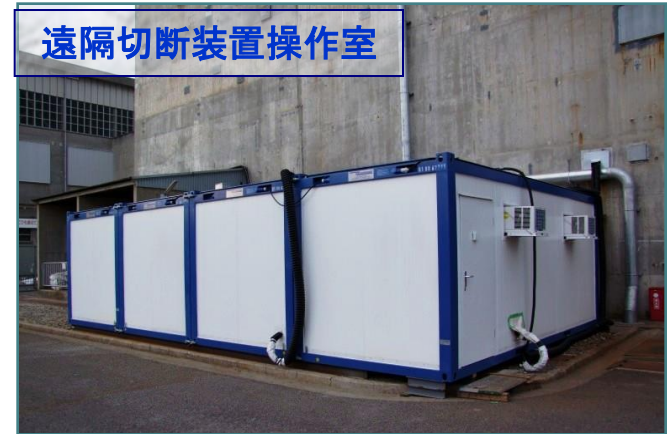
出典：日本原子力発電（株）資料

熱交換器遠隔切断装置操作室



操作室内

遠隔切断装置操作室



操作パネル構成

○監視

①3Dモニタ: 1 ②カメラモニタ: 2

○操作

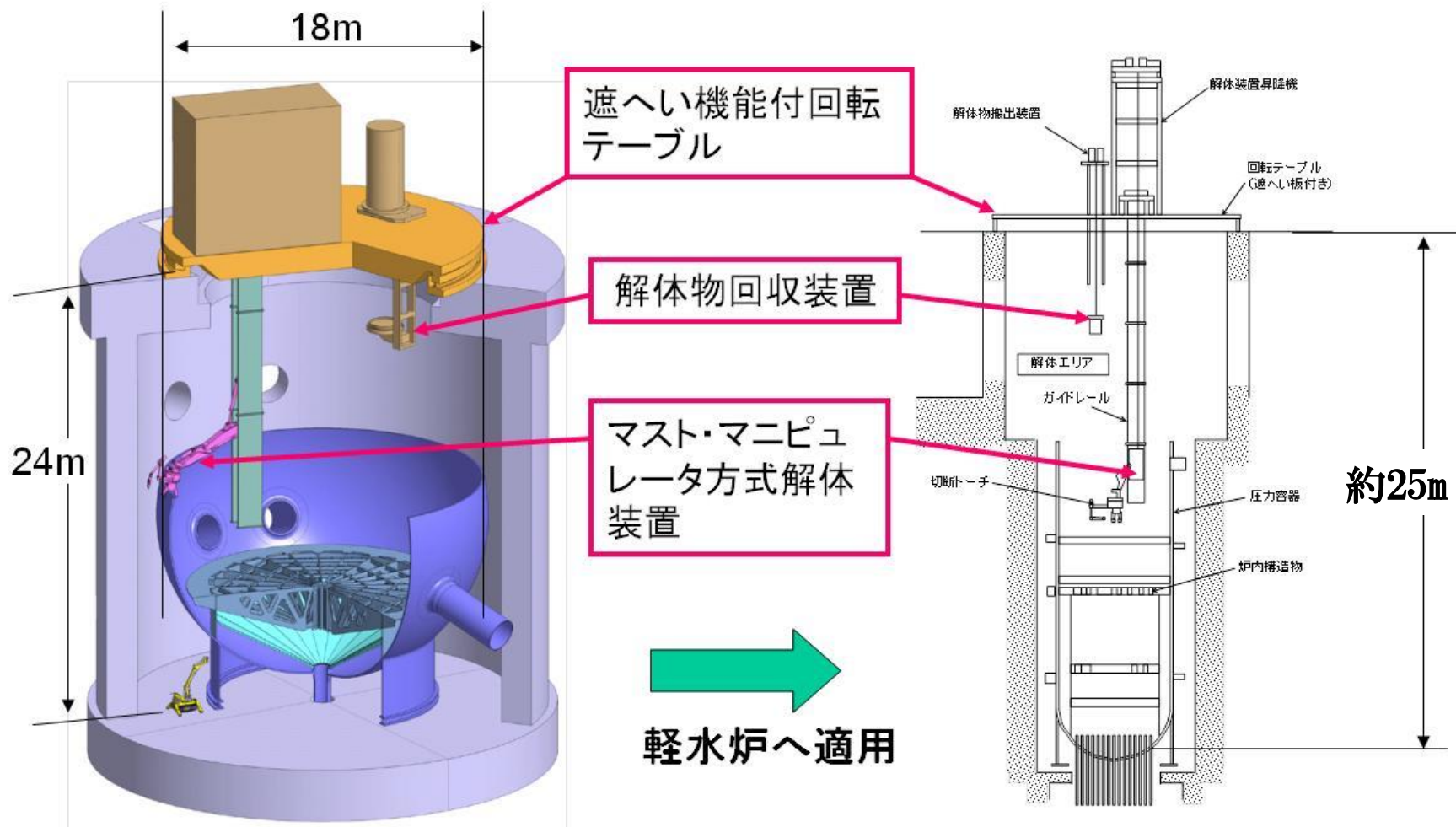
③制御盤 ④ジョイスティック: 3

操作内容

- (1) 基本動作: 切断装置/監視カメラ操作
3Dモデル操作
- (2) プログラム動作: プログラム設定
切断試験
- (3) 点検・修理: 消耗品の交換
簡易メンテナンス

遠隔解体装置を使用した工法例

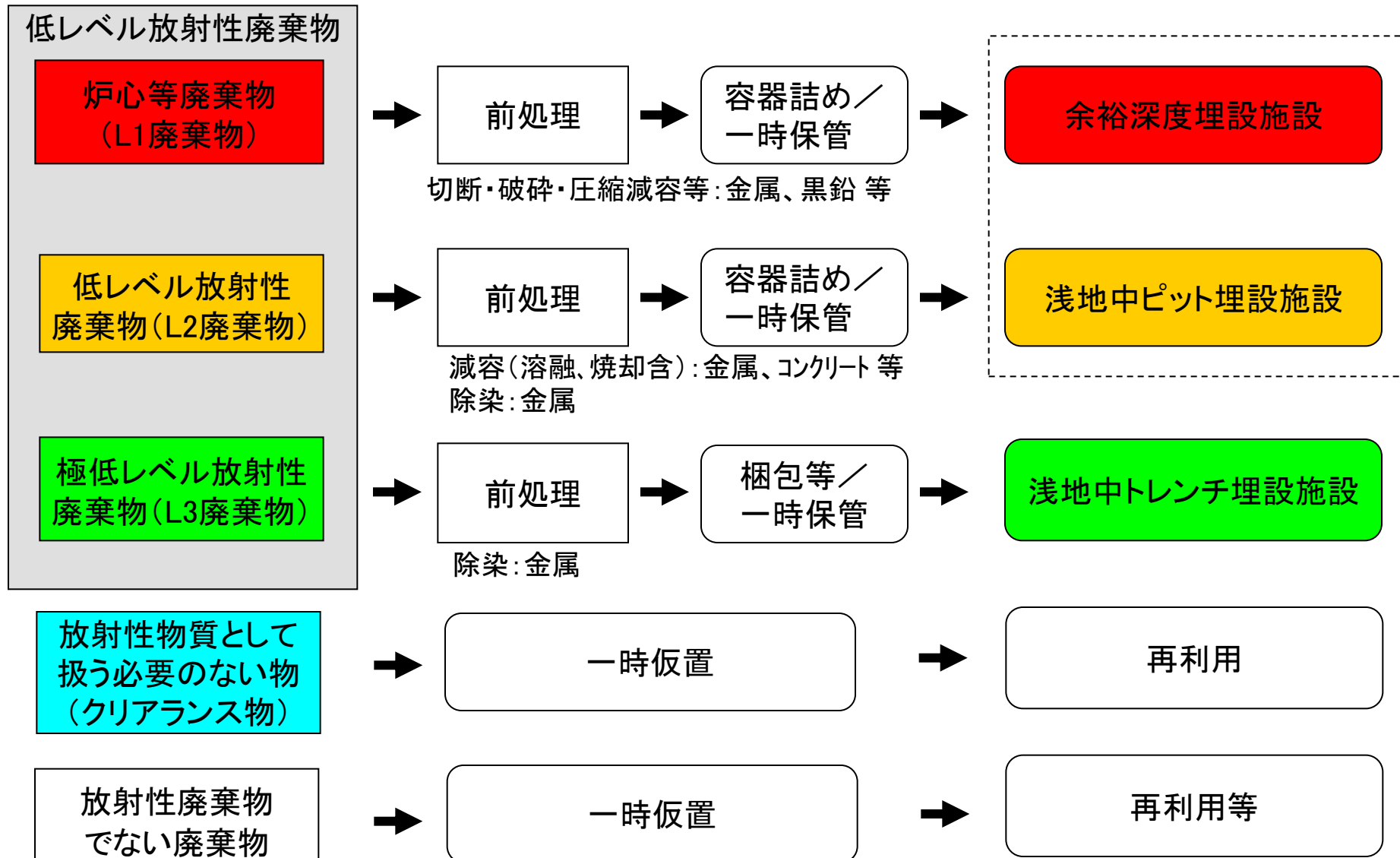
原子炉領域に係る解体は、放射線被ばくを低減するために遠隔解体装置を用いて解体する工法を検討している。



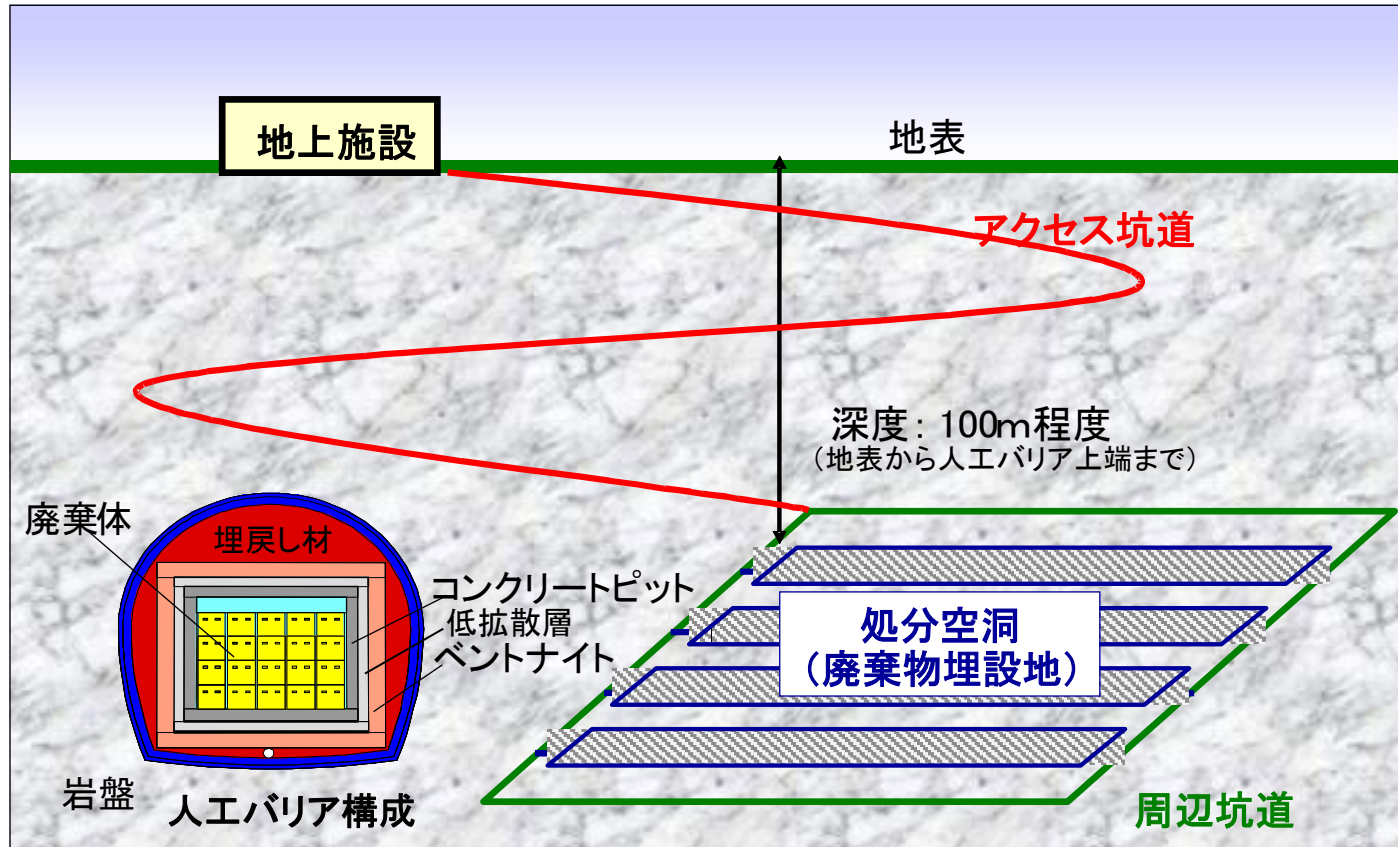
東海炉の解体工法イメージ

BWRの工法適用イメージ

解体撤去物処理方法の概念フロー



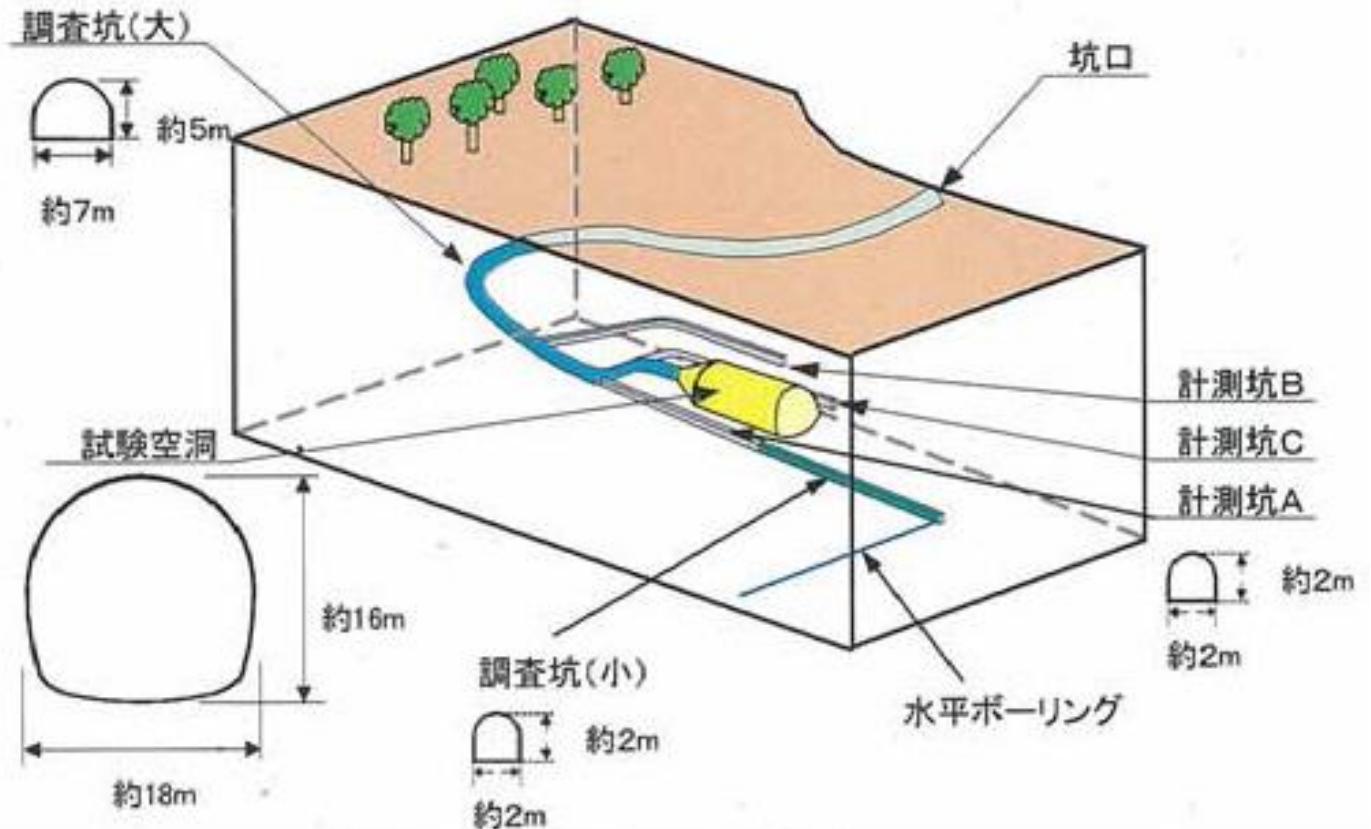
L1廃棄物埋設施設の概念図



- ・日本原燃が六ヶ所において、L1廃棄物埋設の設計に必要な地質・地下水のより詳細な情報を得るための本格調査(H14年11月～H18年3月)を実施。電力全体の施設として事業化を検討中。
- ・埋設対象廃棄物：黒鉛(GCRのみ)、制御棒、チャンネルボックス、バーナブルポイズン、使用済樹脂等

L1廃棄物埋設施設に係る本格調査(1/2)

(出典: 日本原燃のホームページより抜粋)



調査イメージ図

L2廃棄物埋設施設の事例

(出典: 日本原燃のホームページより抜粋)



- ・運転中の原子力プラントから発生するL2廃棄物を埋設中(H4年12月～)。
- ・廃止措置により発生したL2廃棄物についても同様な施設(次期L2埋設施設)に埋設が可能であり、電力全体で事業化に向けて検討中。

L3廃棄物埋設施設の事例

(出典: JAEA資料より抜粋)



JPDR解体において「極低レベル放射性廃棄物埋設実地試験」として敷地内埋設。

(埋設実施期間: H7年12月～H8年6月、埋設総重量: コンクリート1,670ton、管理期間: 約30年)

＜東海発電所廃止措置における検討＞

【予備調査】H16.7～H17.3 発電所敷地全体で地質、地下水位等を調査。

【本格調査】H17.9～H19.9 調査対象地点及びその周辺を対象とした地質、地下水位等を調査。

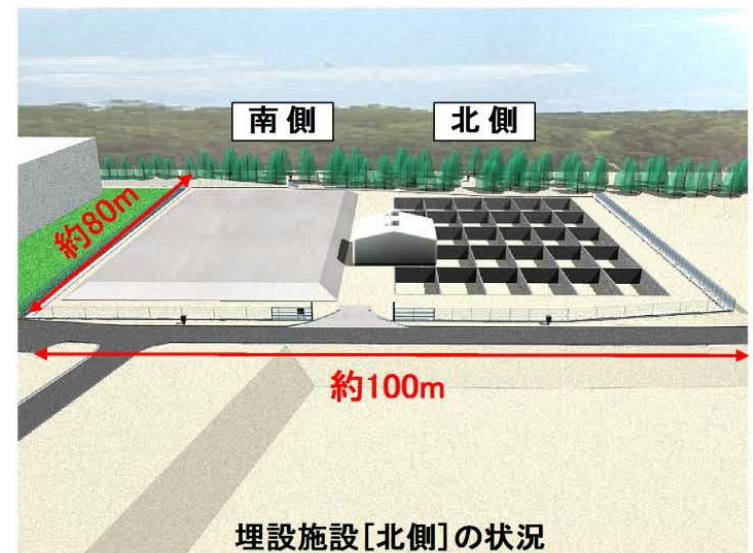
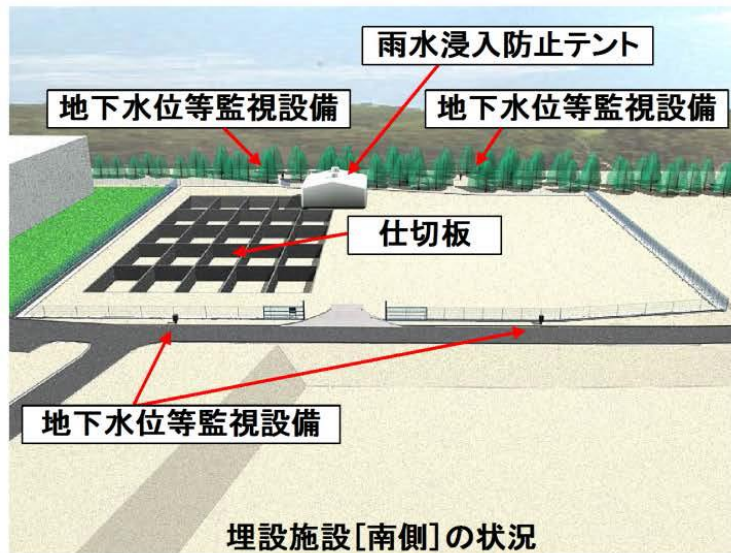
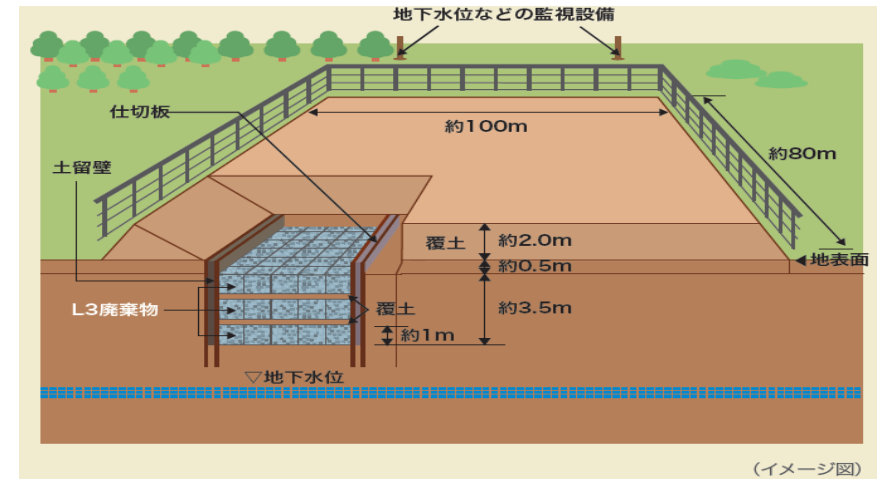
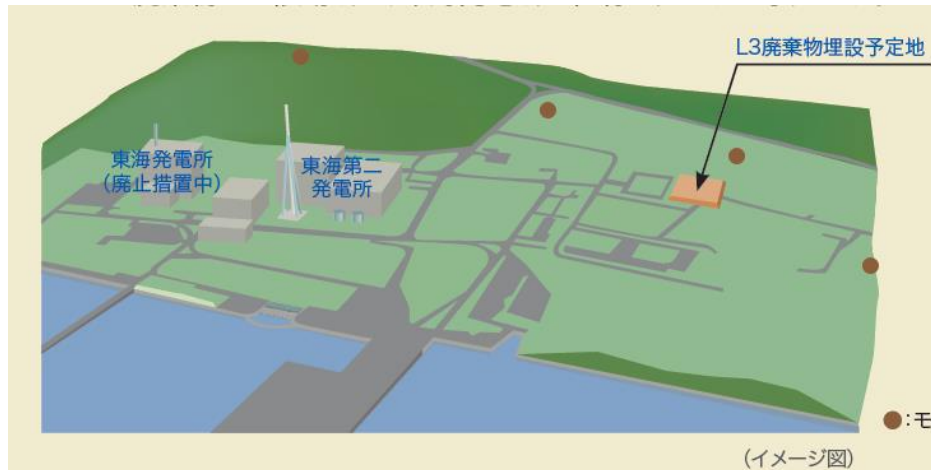
東海発電所におけるL3敷地内埋設の 適用性調査工程

項 目	内 容	H16年度	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度
地下水位 観測	自記式地下水位観測 装置により地下水位 データを観測・記録。	予備調査 	本格調査 (地下水位観測：24箇所) 			H20年度以降も 継続観測予定 
地質調査 等	ボーリングによる地 質試料（コア）の採 取及び採取した試料 の地質観察。	予備調査 	本格調査 (コア採取：22箇所) 			



平成27年度埋設事業
許可申請

東海発電所L3廃棄物敷地内埋設施設の概要



クリアランス測定手順と測定装置(東海炉の例)

機器、配管類の撤去細断



形状、性状による仕分け



除染(必要な場合)



表面汚染の前モニタ



専用測定器による測定



確認／搬出待ちエリア



ゲートモニタ/搬出

専用測定装置



主要な仕様

測定方法	鉄箱に収納して6面全て測定
測定単位	容器外寸mm
最大容量	1350W × 1350L × 1065H
最大重量	1.5m ³
	1.5トン
測定時間	12分(正味計測時間240秒)

東海発電所 クリアランス金属の再利用実績

鑄造品再利用実績

①遮へい体79体 ➡ J-PARC* (KEK向け) [H19年10月10日納品開始]



遮へい体
1000×500×200mm
約700kg/体

*大強度陽子加速器施設

②ベンチ、応接テーブル、ブロック ➡ 当社向け [H20年2月29日配備開始]
他社向け [H20年3月28日納品開始]



ベンチ 61脚



応接テーブル 10台



ブロック600個
(構内利用)

車両の進入を
防止するためのブロック
16個



③展示

環境省内居室

文部科学省副大臣室他居室

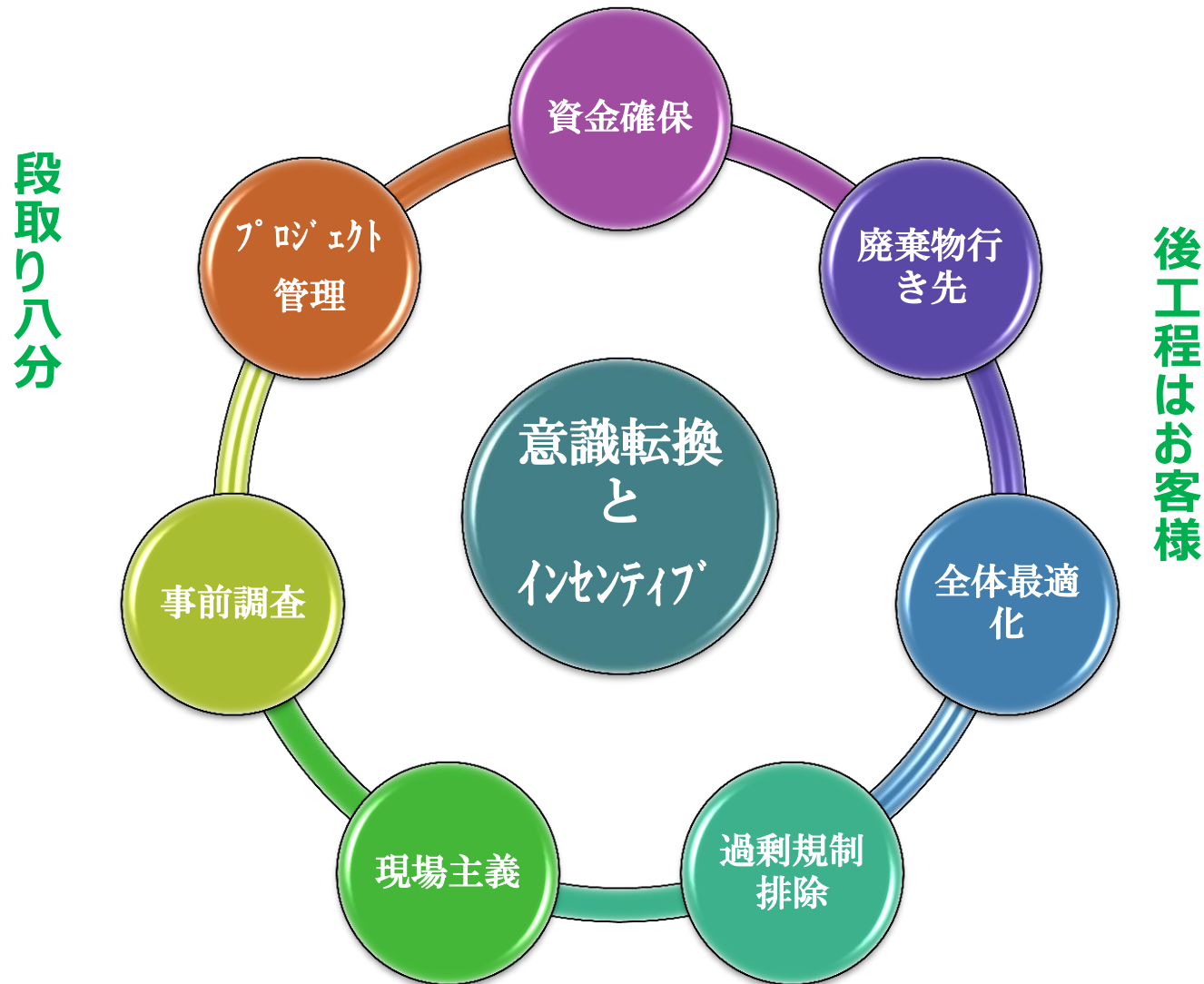
内閣府原子力委員会委員室前他居室

ベンチ1脚 H22年6月22日～

ベンチ3脚 H22年7月29日～

ベンチ2脚 H22年10月28日～

廃止措置を円滑に進めるための要諦



廃止措置を円滑に進めるための要諦

- 資金の確保 (Financial Resources)
資金が不足してしまうとプロジェクトの遅延や先延ばしの事態にもなってしまいます
- 廃棄物の行き先確保 (Waste Routes)
撤去物の行き先(置場、処理、貯蔵、処分)を確保すること。
行き先が定まらなければ撤去工程が遅延するし廃止措置シナリオにも大きな影響を与える。
- プロジェクト管理が必要 (Project Management)
プロジェクト管理能力、当該施設に関する知見、廃止措置の技術スキルの3つの要素の組合せによる実施体制が理想
- 意識の転換 (Change Your Mindset)
運転段階からの思考・発想の転換をすること。
運転中のルールや考え方に拘ることが廃止措置を上手くやる発想を阻害する

廃止措置を円滑に進めるための要諦

- インセンティブ (Incentive)
廃止措置は前向きな仕事。跡地の利用計画、リブレース計画、あるいは廃止措置技術の実証のようなインセンティブ
- 全体最適化 (Total Optimization)
解体～処理～輸送～処分 全体最適化を考える
- 事前調査を入念に (Characterization, Characterization, Characterization)
事前調査はやればやるほど良い結果を生む。
しっかりとした現場把握は100のR&Dに匹敵
- 過剰規制の排除 (Avoid Over-Regulation)
不必要な運転中の規制負荷を避ける。過剰規制は作業者の意欲を削ぐなど結果として廃止措置の完了を遅らす。

廃止措置を円滑に進めるための要諦

- 現場主義 (hands-on approach)
/ Combination of low-tech and high-tech
現場重視。実績のある技術を上手く組み合わせる。
実施者がR&Dをリードすべき（研究者との連携）
- 代替設備計画 (Cold & Dark / Nuclear Island)
既存設備の放棄と代替設備の新設のバランス。核管理エリアの極限化。
中途半端は効果を損なう。日本の設備中心規制が弊害。
- 部屋毎の詳細計画 (Room by Room)
系統毎ではなく、部屋毎、エリア毎で。
放射線環境、有害物、アクセスルート、搬出ルート、干渉物、揚重機

最も重要な課題は廃棄物の行き先

- L1（余裕深度埋設）
 - ✓ 原子力規制委員会の規制基準が未整備 ⇒現在作成中
 - ✓ 埋設施設の事業化が手つかず
- L2（浅地中ピット埋設）
 - ✓ 操業中の六ヶ所埋設センター施設では解体L2は受入不可
 - ✓ 次期埋設施設の事業が必要
- L3（浅地中トレンチ埋設）
 - ✓ JPDR解体L3のJAEA東海敷地内トレンチ埋設施設で実証
 - ✓ 東海発電所解体L3の敷地内トレンチ埋設許可申請中
- CL（クリアランス物）
 - ✓ 平成17年の制度導入後、東海発電所解体CL物での少量限定再利用に留まっている
 - ✓ 今後、多くの実績を積み重ねて社会の理解を深めていく必要がある



行き先が定まらなければ撤去工程が遅延するし廃止措置シナリオにも大きな影響を与える。

廃棄物処分の制度整備状況

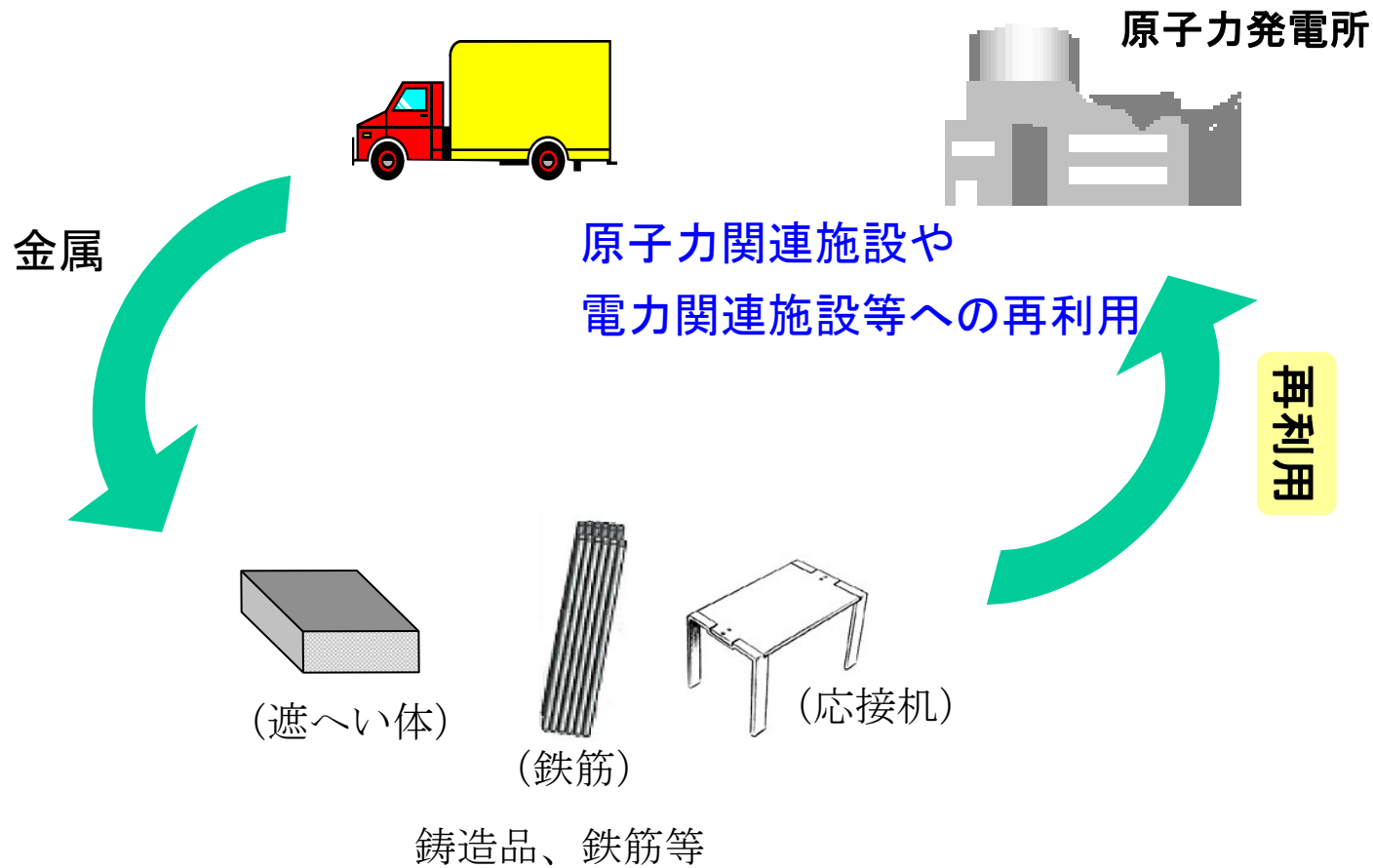
廃棄物の区分				原子力委員会	原子力安全委員会		原子力規制委員会	備考
				処分方針	安全規制の考え方	安全審査指針	規制基準等	
高レベル放射性廃棄物				済	済	未	未	NUMOが処分候補地を公募中
低レベル放射性廃棄物	再処理等廃棄物	発電所廃棄物	地層処分相当の廃棄物	済	未	未	未	
			放射能レベルの比較的高いもの [余裕深度処分:L1]	済	済	済	未	検討中、規制基準が必要
			放射能レベルの比較的低いもの [ピット処分:L2]	済			済 *	運転廃棄物については、日本原燃が処分を実施中
			放射能レベルの極めて低いもの [トレンチ処分:L3]	済			済 *	検討中
非放射性廃棄物	放射性廃棄物として扱う必要のないもの (クリアランス物:CL)				済		済	原電東海の解体廃棄物をクリアランスした実績があるが、リサイクルが進まない 中部浜岡でクリアランス認可取得
	放射性廃棄物でない廃棄物 (NR)			済	済		済	各発電所で実績あり

* 再処理廃棄物について、一部未整備

L 3 廃棄物の敷地内埋設にかかる基本的考え方

- L 1、L 2 廃棄物については、
管理期間が長く多重バリアが必要なことから、
電力業界全体で集中した施設を建設し埋設・管理
- L 3 廃棄物については、
廃止措置段階で短期間かつ大量に発生し、
放射能濃度が極低レベルなので、
一般的には、発電所の敷地内での埋設・管理が合理的だが、敷地面積等の制約条件があることから、
個々の発電所の立地条件に応じて判断

クリアランス対象物の当面の再利用方針



福島第一原子力発電所



2011年3月16日撮影

福島第一原子力発電所の特徴

過酷事故で停止した施設であるため、寿命を全うした原子力発電所とは施設の特徴が大きく異なる。

- 溶融破損燃料の存在
- 増え続ける汚染水
- 原子炉建屋、機器・構築物が破損している
- 施設が広範囲に核分裂生成物等で高汚染している
- 施設の状況が把握できていない
- 屋内外作業を妨げる汚染、高線量瓦礫、ホットスポット
- 構内の構築物、土、植物、水、海の汚染
- 撤去物の放射能分布の複雑性
(HLW, TRU, L1, L2, L3, CL, NR)
- 周辺地域汚染、住民避難中（産業活動無し、対話相手不在）
- 敷地を囲う広大な中間貯蔵施設の並立

福島第一廃止措置に必要な要件

- 災害で失われた現地インフラの再構築
 - ✓ 従業員と作業員の職場と生活の基盤整備
(作業環境、住環境、食環境、心身の健康管理)
 - ✓ 資機材の供給、物流の基盤整備
 - ✓ 出入管理、線量管理の再整備
 - ✓ 中央制御室、放射性廃棄物処理・貯蔵設備、ラントリー設備、電源・空調設備などの再整備
 - ✓ 組織、要員の再構築 など

- 最終の姿を明らかにした廃止措置等のロードマップ
 - ✓ 多視点のシナリオスタディと対話
(TMI方式/チェルノブイリ方式/その中間など)
 - － 敷地、避難区域、海底の回復、跡地利用の方法と時期
 - － オンサイトの回復とオフサイトの回復の調和
 - － 放射性廃棄物の処分方策
 - ✓ 費用評価と確保方策

福島第一廃止措置の留意点

- 実施責任・体制の再構築、移行プロセス
（実施者、研究機関、国、国際協力）
- 安定化維持と廃炉作業の分離と調和
- 建設（維持設備、処理設備、貯蔵設備など）プロジェクトと解体プロジェクトの調和
- 実地で使える技術の導入・開発（国内、海外）
- 適材適所で遠隔技術の現場活用
- プロジェクトを合理的に進めるための規制、基準整備
- 人的資源の確保、雇用の安定化
（プロジェクトマネジメント、プラント知識・経験、デコミ技術）
- 作業安全、被ばく低減（ALARA活動）
- 社会への情報提供とコミュニケーション

廃棄物の区分

通称

HLW	• 高レベル廃棄物⇒地層処分
TRU	• TRU廃棄物⇒地層処分（～トレンチ処分）
L1	• 余裕深度処分低レベル放射性廃棄物
L2	• 浅地中ピット処分対象物低レベル放射性廃棄物
L3	• 浅地中トレンチ処分対象物低レベル放射性廃棄物
CL	• クリアランス対象物
NR	• 放射性廃棄物でない廃棄物
GN	• 管理区域外の廃棄物

最後に

「廃炉は楽しい仕事」 原子力デコミッシング研究会会長・石川 迪夫

廃炉、放射能、除染、解体工事、放射性廃棄物

⇒ 後ろ向きな嫌な仕事？

実際に携わる者は、みんな明るく、生き生きしている。

⇒ 何故か？

- ・経験が少ない新たな分野
- ・プロジェクト型の仕事
- ・要諦は、徹頭徹尾、エンジニアリング
- ・画一的な方法はなく良いと思ったものを選択できる
- ・仕事に自由度が大きく工夫がものを言う
- ・現場が尊重される
- ・終了後の夢のある将来計画 など



Association for Nuclear Decommissioning Study

発足以降17年間の活動を通して、延べ670人の
廃止措置技術者を育成！

原子力デコミッションング研究会



研究会ホームページ <http://www.decomiken.org>

廃止措置関係者への情報提供および一般市民への啓蒙活動の意味も込めて作成。
会員専用ページにて年度ごとの研究発表資料・データを蓄積するとともに、国内
外の重要な関連情報を掲載し、会員のより広い視野に立った研鑽に資することを
目指す。

〒102-0073 東京都千代田区九段北4-1-31 吉田ビル401

Tel:03-6272-4150 Fax:03-6272-4470

参考資料

廃止措置に必要な技術

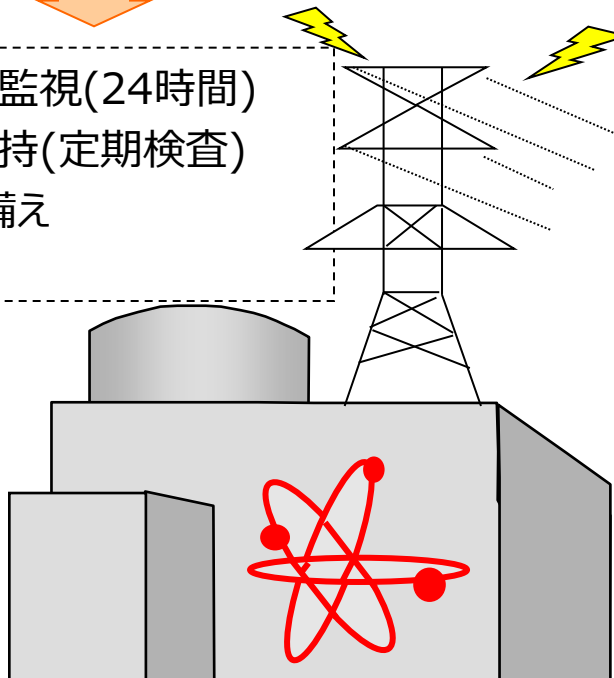
運転中と廃止措置中の比較

公衆被ばくの防止
作業被ばくの防止

【原子炉運転中の重点】

- 原子炉の安全安定運転、事故対応
- 原子炉施設の安全機能維持
(止める、冷やす、閉じ込める)
- 核セキュリティ

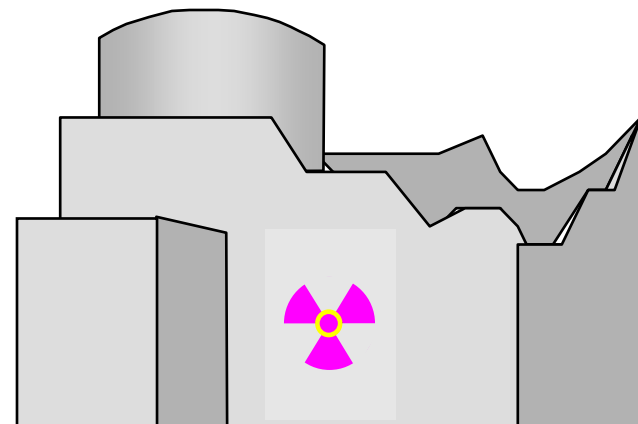
- 原子炉の運転監視(24時間)
- 安全設備の維持(定期検査)
- 過酷事故への備え
- 核防護対策



【廃止措置中の重点】

- 工程・手順管理、労働安全対策
- 放射線管理、放射性廃棄物管理
- 封じ込め機能維持
- 廃棄物及び施設の最終状態の確認

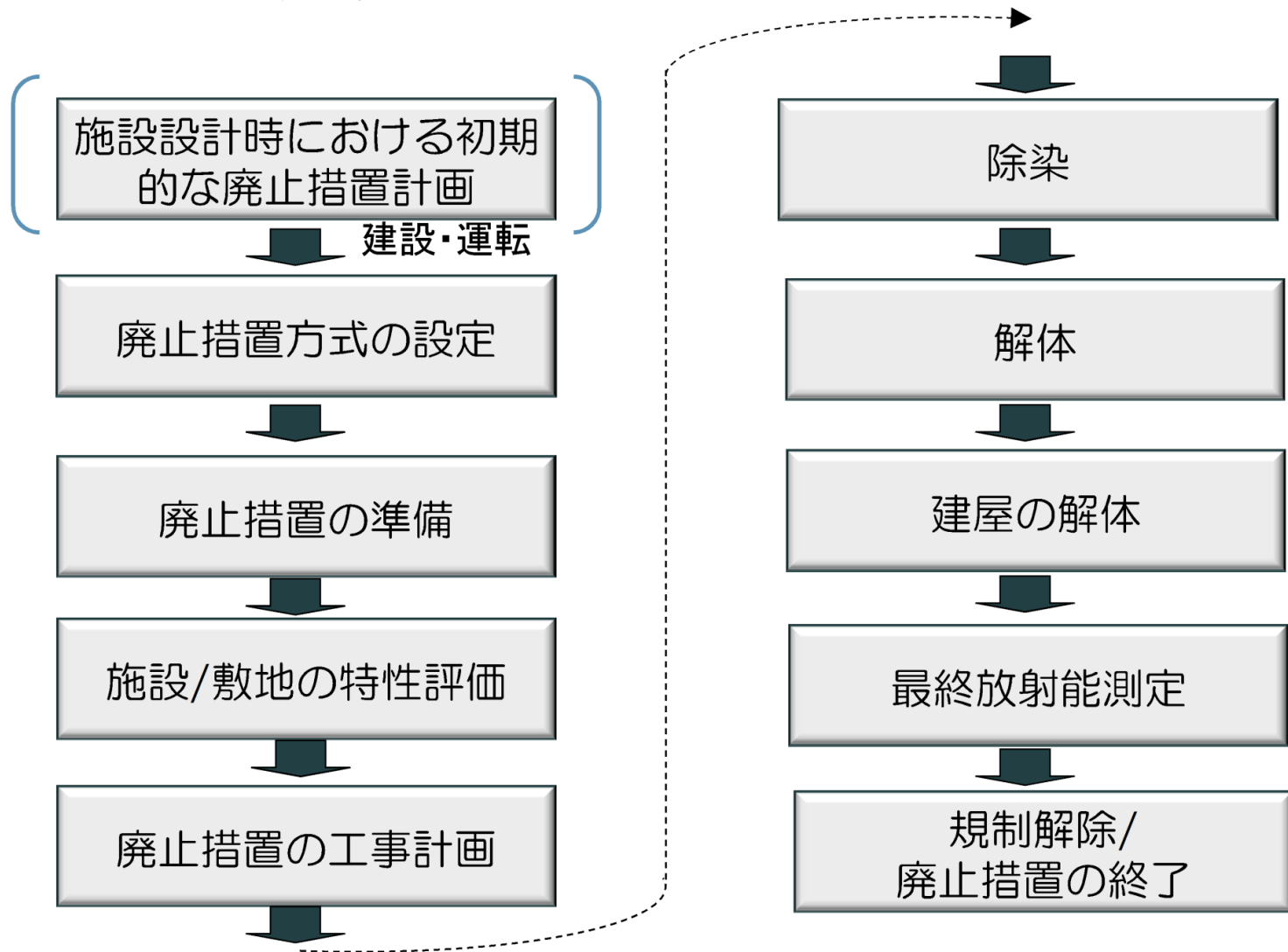
廃止措置工事の計画・管理



運転中から移行措置への変化

運転中	廃止措置
恒久の構造物に依存	仮設構造物の導入
生産指向の運営	プロジェクト完遂指向の運営
定例訓練と再訓練	新たな業務、技能の訓練又は専門家の雇用
定常業務での恒久雇用	雇用の明確な終了／新たな業務に向けた再意欲
核的・放射線リスクが中心	核的リスクは低減、放射線リスクの特質の変化。 労働安全上のリスクが増大
システムの機能に集中	物や放射能物量に集中（廃棄物の低減など）
反復作業が多い	単発作業が多い
作業環境が良く判っている	作業環境が判っていない可能性
定常的なコミュニケーション	新たなコミュニケーション
低線量、低汚染は管理上重要度が低い	低線量、低汚染もクリアランスの観点で重要
高線量、高汚染エリアへのアクセスは短時間	高線量、高汚染エリアへの長時間のアクセス
核種組成は比較的一定	時間と共に核種組成が変化
一定量の所外搬出	多量の所外搬出
原子力施設の運転をベースとした安全管理システム	廃止措置作業をベースとした安全管理システム
確立された運転中規制	規制焦点の変化

廃止措置の標準的な流れ



廃止措置に必要な技術の体系

既存技術で対応が可能。廃炉を効率的に進めるためには施設の特性・現場に合わせて、技術をいかに上手く応用・組合せるかがポイント

プロジェクトマネジメント ・シナリオ分析決定、費用評価、工程管理、リソース管理、
物流管理、許認可、社会との対話

施設の特性
評価

機器構築物
の除染

機器構築物
の解体

廃棄物処理

放射線測定

施設の特性評価技術

施設特性の評価は廃止措置プロジェクトの 基本的な要求事項

施設の特性評価の観点

- 放射能、物理特性
- 廃棄物発生量の評価

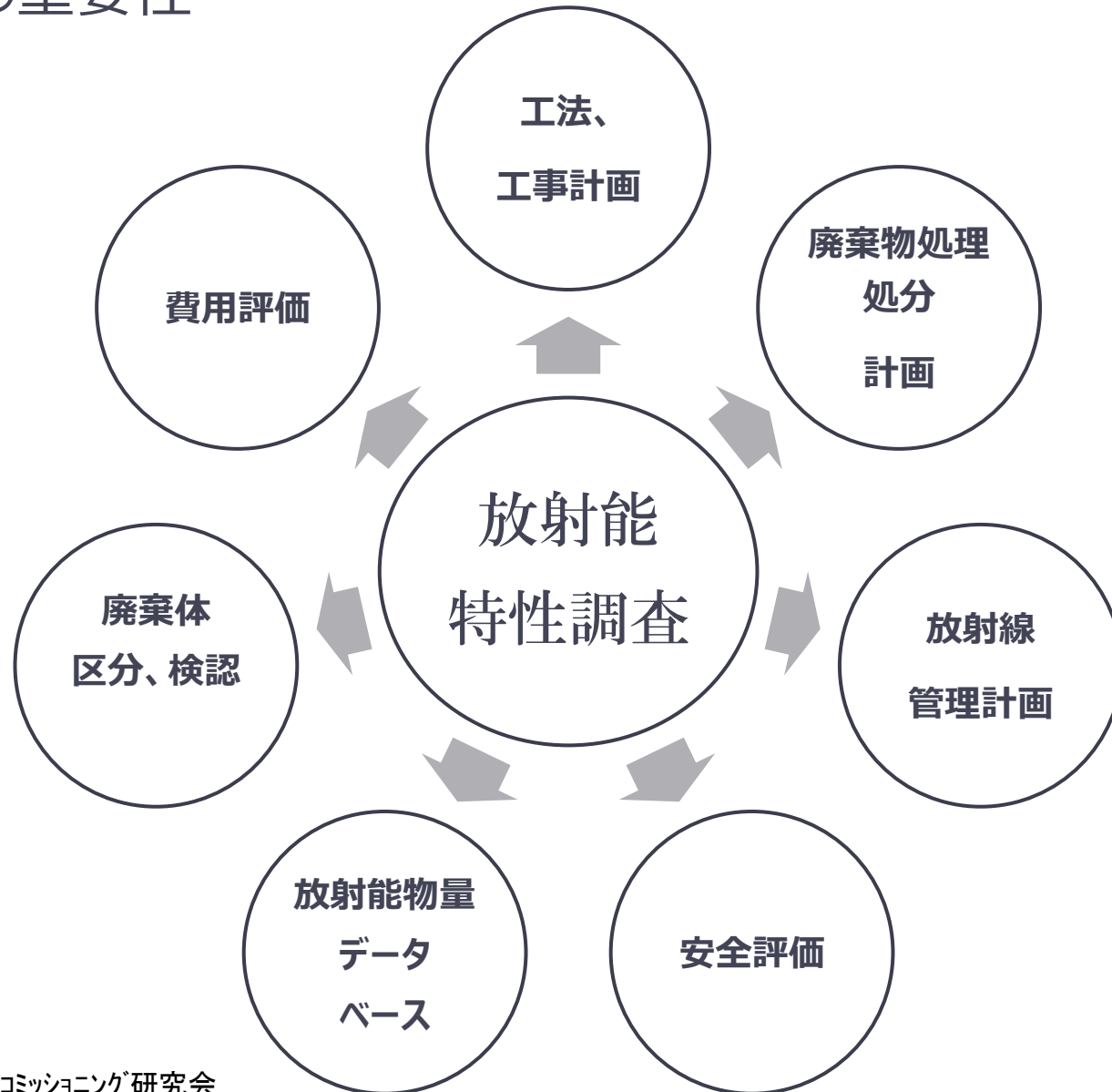
施設の特性評価の方法

- 計算による評価
- 測定、目視など現場で評価
- 試料採取による評価
- 施設の運転履歴の活用

課題は効率化と精度のバランス

- 評価の精度/評価の量

事前調査の重要性



機器・構築物の除染技術

■ 廃止措置工事では除染は必須技術

除染の分類

- 解体前除染：作業被ばく線量の低減
系統除染（化学的、機械的）、機器除染（機械的：水ジェット、ブラスト等）
- 解体後除染：汚染金属の再利用、放射性廃棄物の減容・安定化
機器・配管除染（電気化学反応、化学反応、ブラスト、超音波、ゲル除染等）
- 建家の除染：建家の無拘束解放、放射性コンクリート廃棄物の低減
建屋表面の機械的除染、建屋表面のマイクロ波除染、等

除染技術の特徴

- 化学除染：低濃度化学除染、徹底化学除染、電気化学除染等；表面除染に適用される。溶液槽等の形状の制限。
- 機械的除染：洗浄、ふき取り、泡状導材等による表面処理や研磨材の吹き付けや表面研磨等がある。ブラスト除染が一般に適用。
- 熔融：放射性核種を均質化することが可能。複雑形状物の測定や特性評価に有利。
- その他：レーザー、火炎、マイクロ波等。熱応力や膨張力等により汚染部を剥離。

機器・構築物の解体技術

解体技術

- 金属機器

溶断：プラズマアーク、アークソー、レーザー、ガス、ガソリン、等

機械：レシプロソー、バンドソー、ディスクカッター、成型爆薬、等

- コンクリート構造物

切断：ワイヤーソー、ダイヤモンドカッター、水ジェット、火炎、等

破砕：制御爆破、ブレーカー、圧砕、静的破砕、等

遠隔操作技術

マニピュレータ、制御技術、シミュレーション、ROV

留意点

- 区分解体：放射能レベルに応じた区分の実施
- 廃棄物：二次廃棄物発生量の低減
- 安全性：作業員の安全確保、被ばく低減
- 汚染拡大防止：局所換気、グリーンハウス

解体作業の概要

施設の特性

- 解体作業は予め評価した施設特性に基づいて様々な方法を用いて実施される。
- 施設特性としては、汚染状況、機器インベントリ、放射能濃度、作業環境の線量率、機器特性などがある。

解体作業

- 放射能レベルの比較的高い機器：遠隔による解体
- 放射能レベルの比較的低い機器：作業員による解体作業
- 放射能レベルの極めて低い機器：重機などの適用

作業の特徴

- 管理区域内での作業は、汚染の拡大防止を図るため、作業領域をビニール等の覆い（テント）で囲った上で実施。
- 作業員は特殊な作業衣を着用。
- 対象となる機器の放射能汚染の程度などに応じて各種マスクを着用。

準備作業

- ・ 床壁養生
- ・ テント設置
- ・ 容器搬入、等

解体・収納

- ・ 分解・粗断
- ・ 細断
- ・ 容器収納、等

後処理作業

- ・ テント撤去
- ・ 容器搬出
- ・ 片付け、等



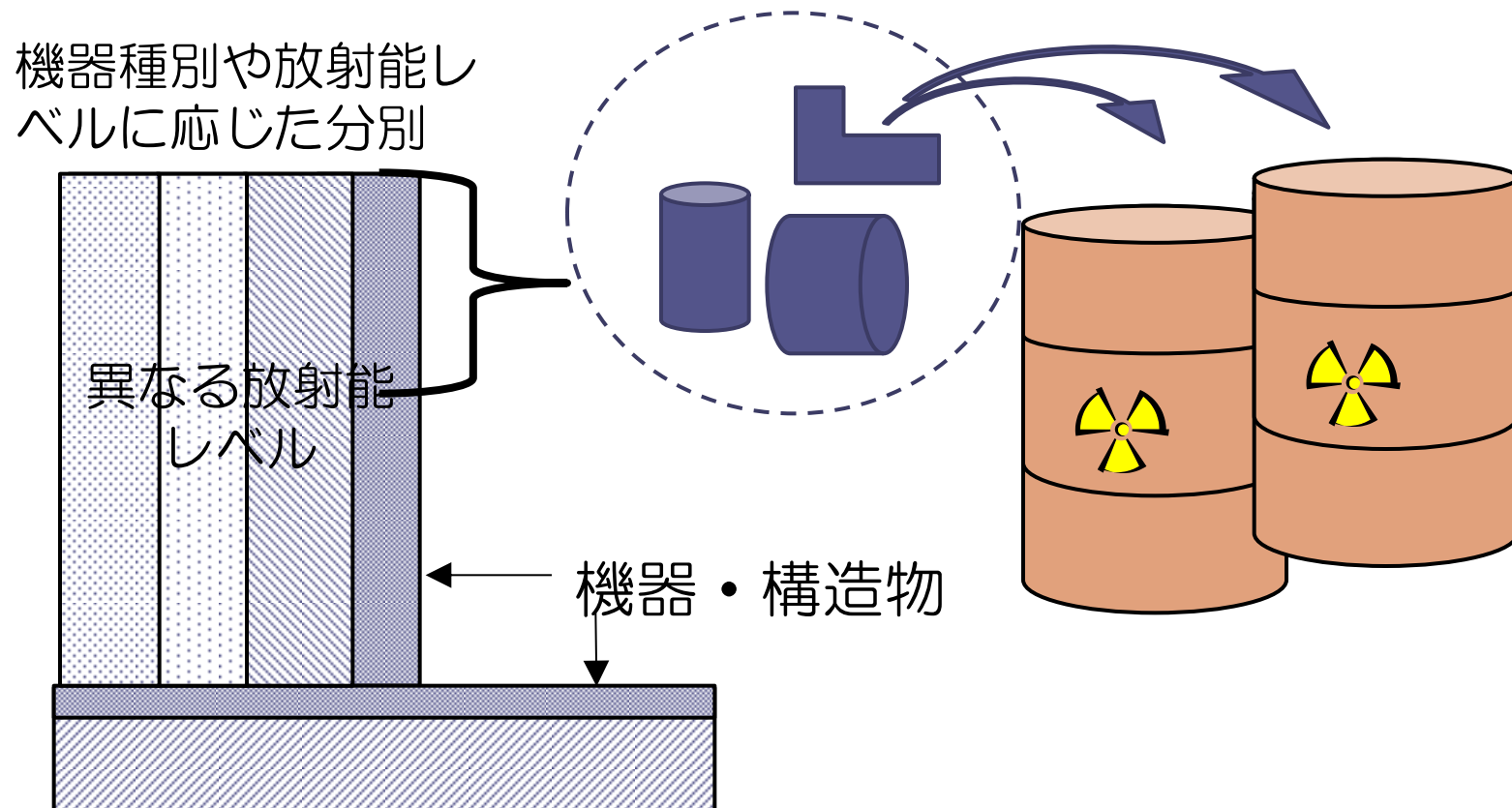
熱交換器チューブの解体



タンクの解体

解体作業の基本

解体作業では機器・構造物を管理（処分）し易いように分離・成形する。



廃棄物の処理技術

解体作業で発生した廃棄物の最終処分、有価物の再利用
のために必要な技術

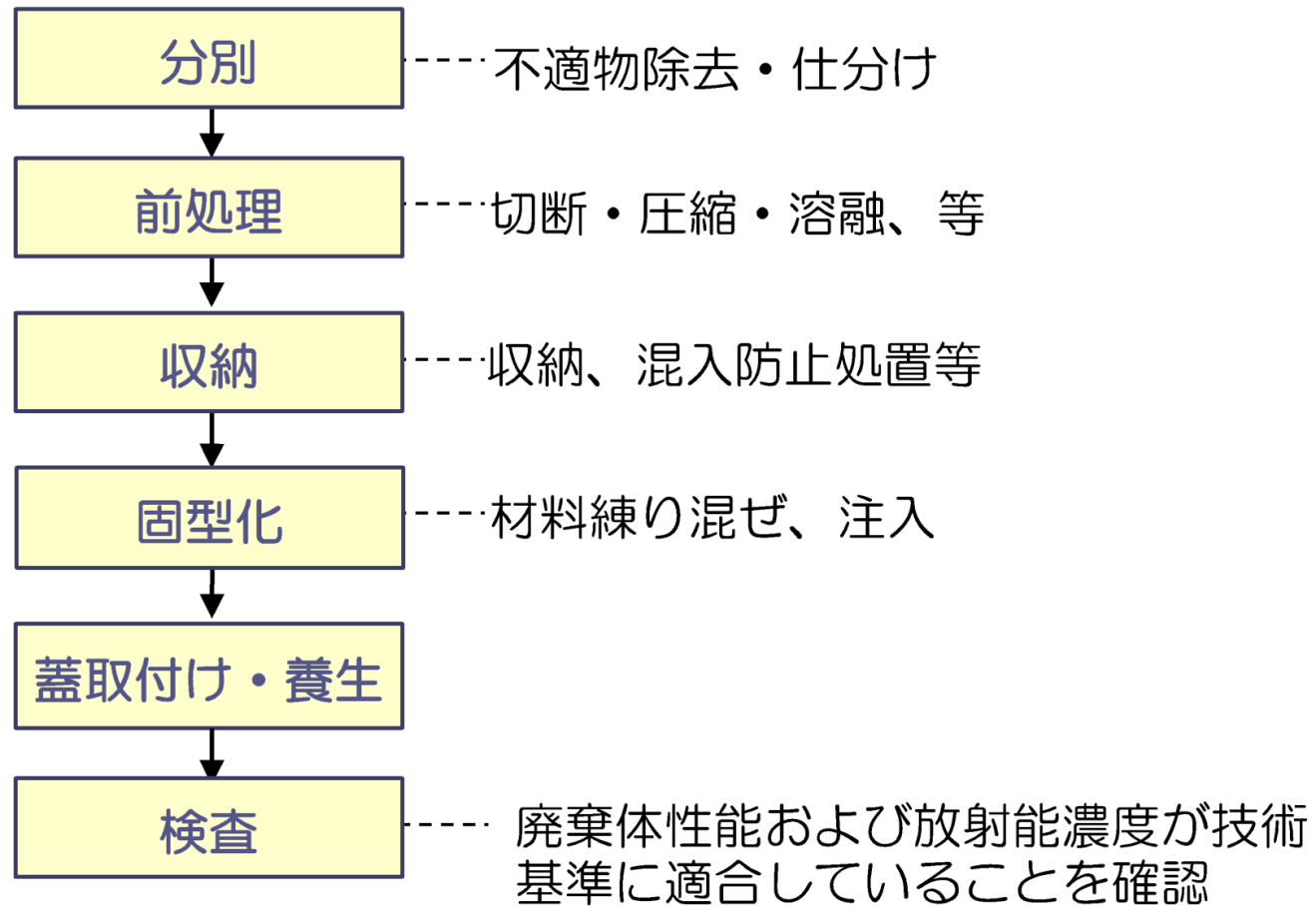
技術の分類

- 減容処理：焼却、圧縮、溶融など
- 廃棄体化处理
- 有価物（クリアランス）の再利用
- 廃棄体の検認

留意点

- 基準の順守
- 評価の合理化
- 放射性廃棄物の低減
- 循環型社会に合致した政策

廃棄体の製作（処分に向けた処理）



固体廃棄物の処理技術

- 減容技術
 - ✓ 圧縮
 - ✓ 焼却
 - ✓ 溶融
 - ガス燃焼溶融
 - マイクロ波溶融
 - 電気アーク溶融
 - 誘導溶融
 - プラズマ溶融
 - 誘導プラズマ複合溶融
 - ✓ 粉碎・造粒
 - ✓ 固形化
- 安定化技術
 - ✓ 表面汚染固定
 - ✓ 固化
 - セメント固化
 - アスファルト固化
 - プラスチック固化
- 廃棄物搬出検査
 - ✓ 廃棄物搬出検査
 - ・ 線量測定
 - ・ 汚染密度測定
 - ・ 外観検査
 - ✓ 容器表面検査
 - ✓ 強度測定



スタズビック
(スウェーデン)



Socodei
(フランス)

金属の溶融

放射線測定技術

- 施設の放射性特性評価
 - ✓ 中性子強度測定
 - ✓ 表面汚染測定
 - ✓ 試料採取分析測定
- 作業放射線管理測定
 - ✓ 放射線量分布測定
- 施設外放射線監視測定
- 除染効果確認測定
- 廃棄体放射能濃度確認
 - ✓ 非破壊外部測定法
 - ✓ スケーリングファクター法
- クリアランスレベル検認
- 施設最終確認測定 …… 低レベル・広域を高効率で測定

放射能測定の例



資料の採取



移動型汚染測定器(C P-5) 廃棄物の放射能評価システム



γ カメラによる測定(C P-5)



γ カメラによる映像(ロシア製)

廃止措置における全体最適化

