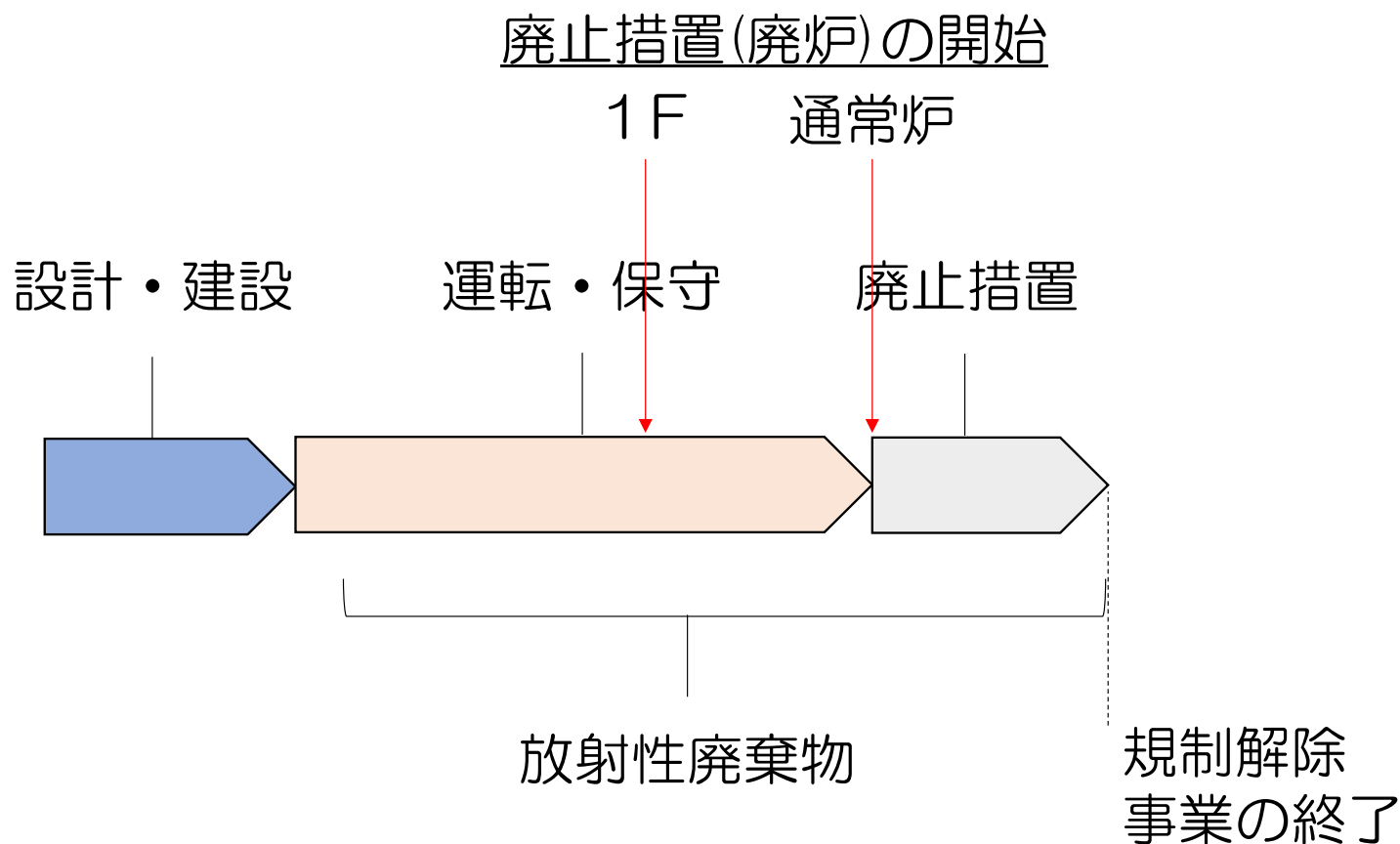


日本原子力学会ウェビナー
「放射性廃棄物の管理」

1Fの廃止措置

北海道大学工学研究院
渡辺 直子

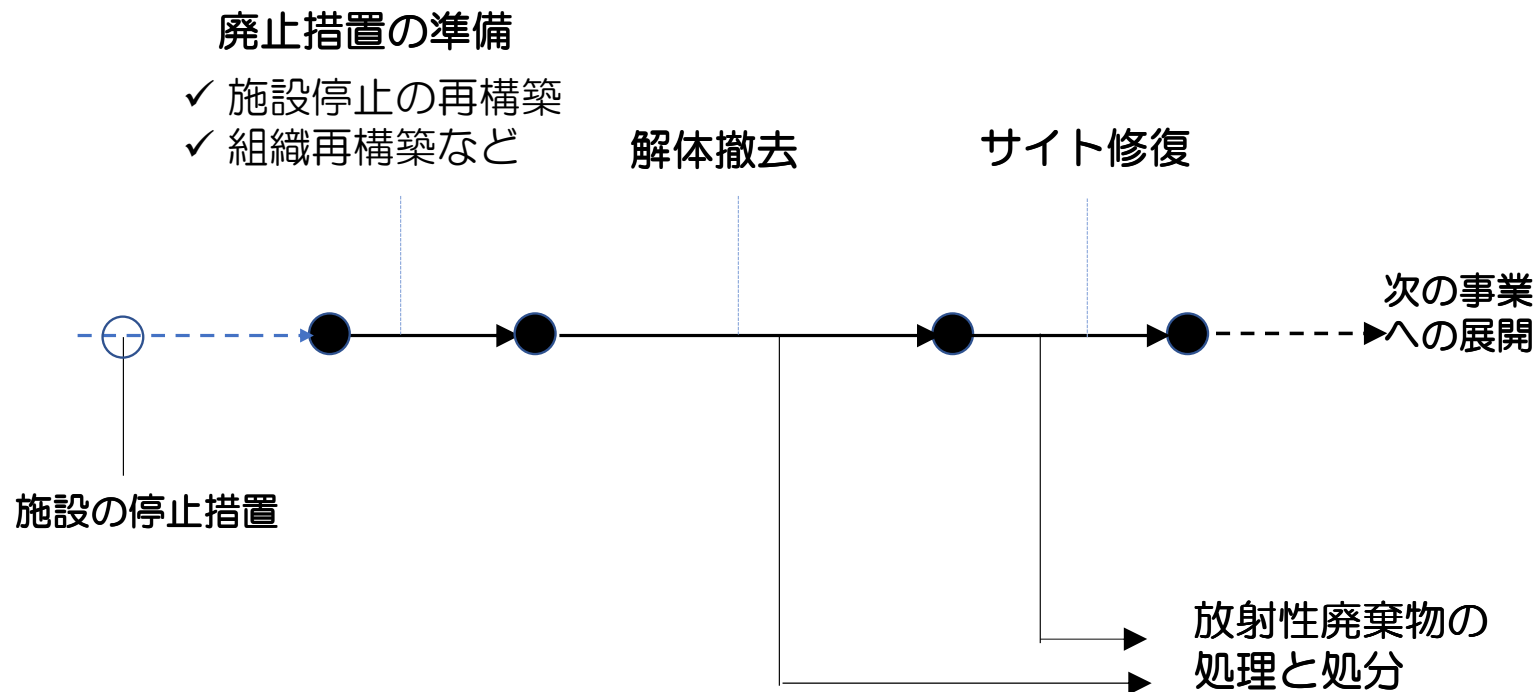
プラントライフサイクル



このプレゼンテーションの中では事故炉については「廃炉」という言葉を使い、通常炉の「廃止措置」と区別する。

廃止措置とは

- 最終的には規制解除；他の目的に利用可能な状態にする
- 対象施設の放射線リスクを低減するための活動
- 機器・構造物の除染及び解体等の作業（安全確保）

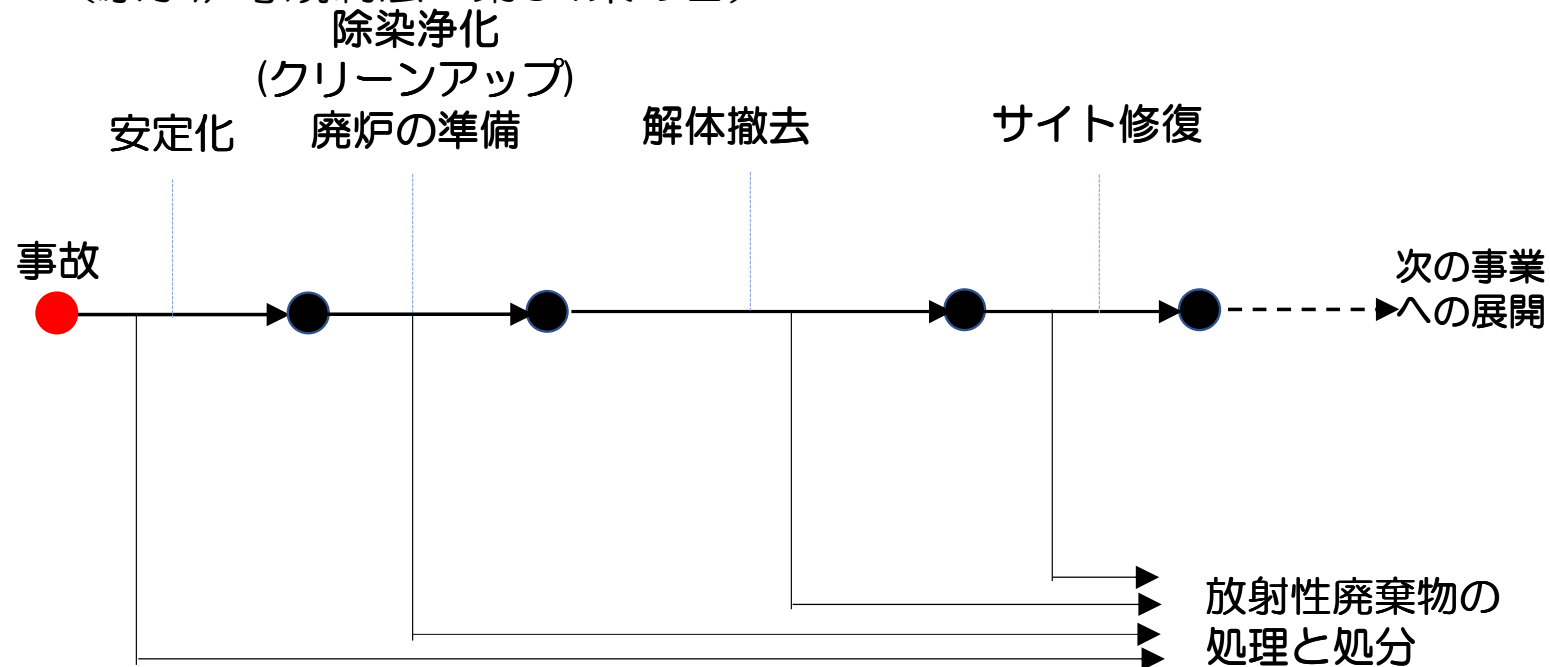


1Fの廃炉とは

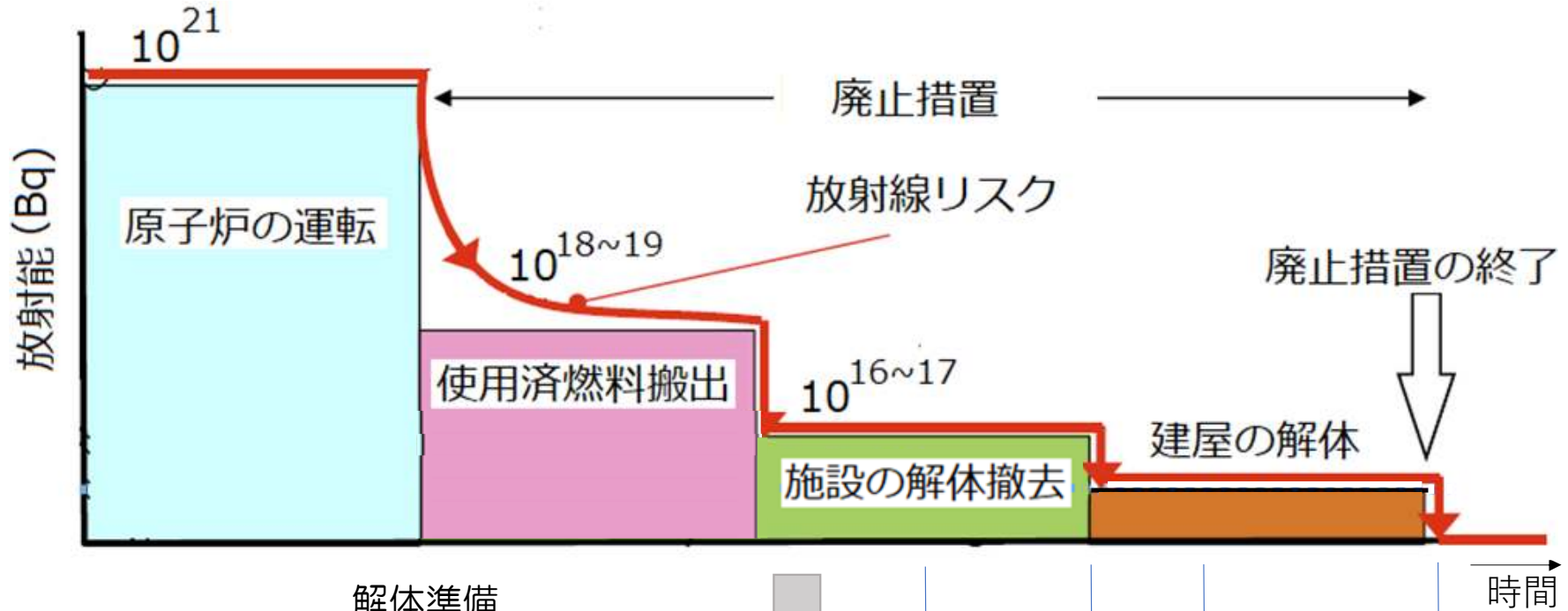
-> 事故炉の廃炉では、予期しなかった状況（事故による汚染）に対する安定化対策や除染が優先、その後、施設の解体撤去・環境の修復が実施される。

福島第一原子力発電所は特定原子力施設

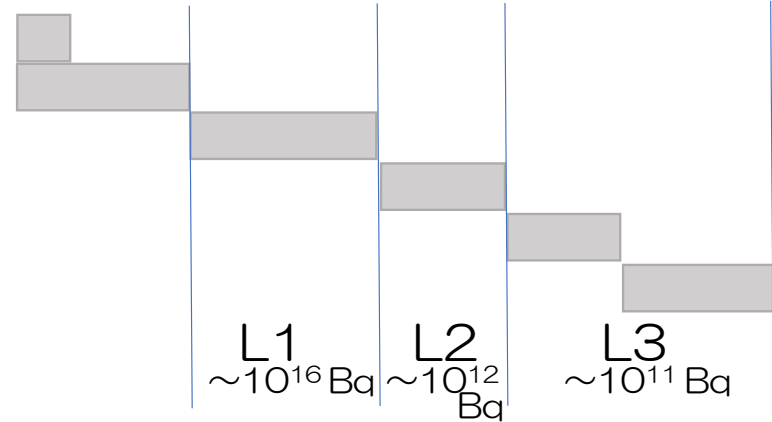
-> 特定原子力施設とは保安又は特定核燃料物質の防護につき特別の措置を要する施設（原子炉等規制法 第64条の2）



廃止措置工程の放射能レベル

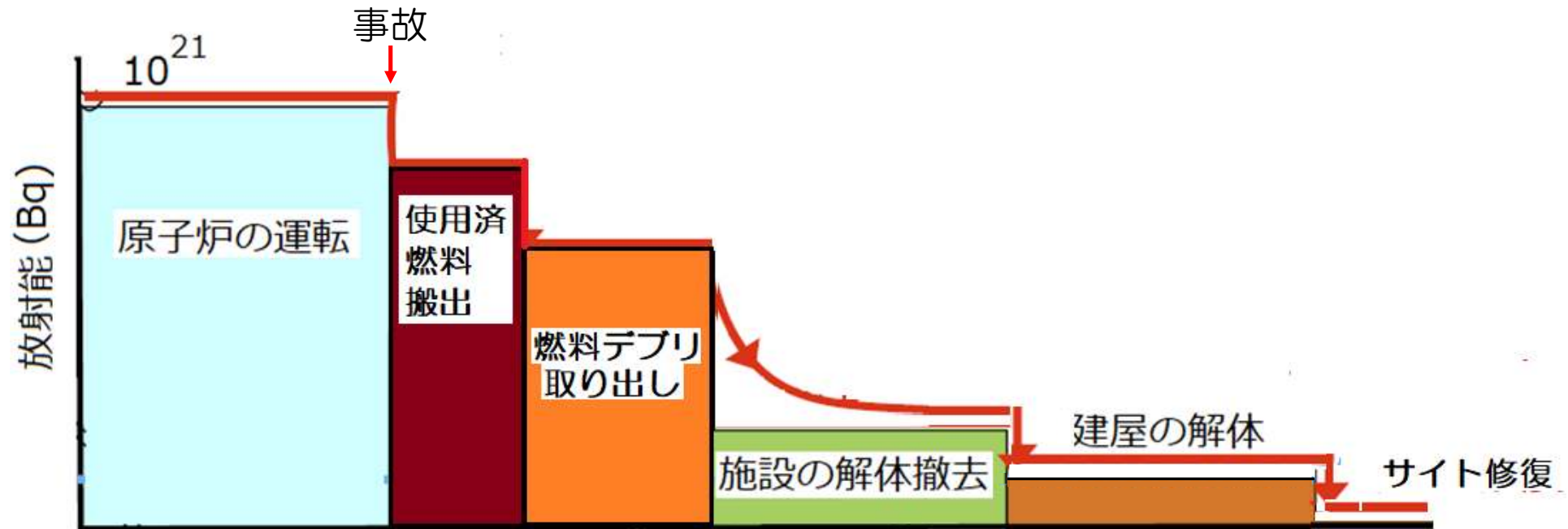


- 解体準備
- 周辺設備解体
- 炉内構造物・圧力容器
- 機器撤去
- 建屋除染
- 建屋解体



IAEA, "Safety assessment for decommissioning" Annex I, Part A "Safety Assessment for Decommissioning of Nuclear Power Plant",

廃炉工程の放射能レベルのイメージ



燃料通常炉との相違

- 燃料デブリ取り出し
- 核分裂生成物等による汚染
- 放射能特性が不明

通常炉の廃止措置と事故炉の廃炉

本日の視点

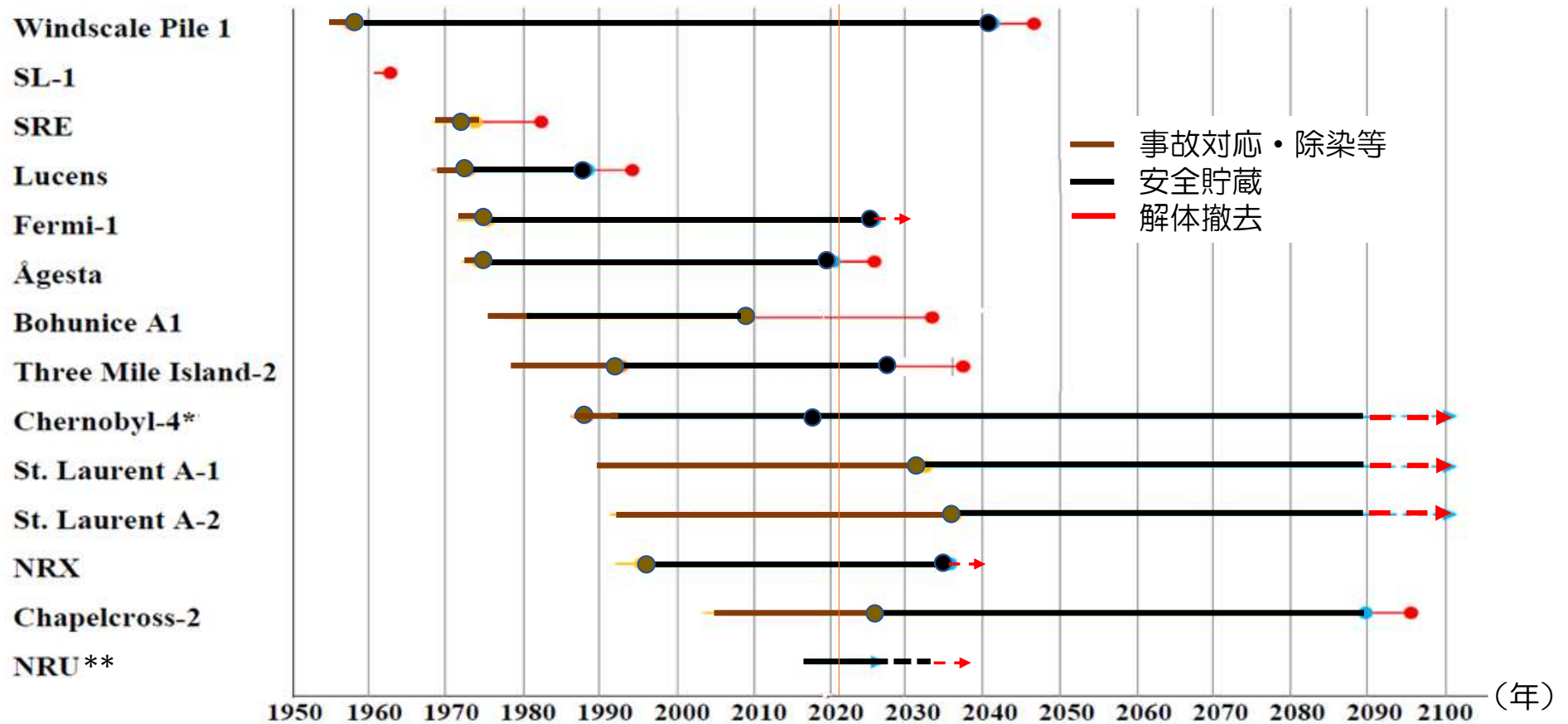
- 1) 海外事故炉の事例 (廃炉方式・工程)
- 2) 廃棄物量
- 3) ステークホルダー

事故で停止した原子炉（INESレベル4以上）

NO	原子炉	国	形式	利用	出力	事故発生年	備考
1	NRX	カナダ	軽水冷却重水炉	研究炉	10 (MWt)	1952	再稼働・廃炉
2	Windscale Pile 1	英国	黒鉛減速ガス冷却炉	軍事用	180 (MWt)	1957	廃炉
3	NRU	カナダ	重水冷却炉	研究炉	200 (MWt)	1958	再稼働・廃炉
4	SRE(Sodium Reactor Experiment)	米国	黒鉛減速ナトリウム冷却炉	実験炉	20 (MWt)	1959	廃炉終了 ○
5	SL-1	米国	沸騰水型軽水炉	軍事用	3 (MWt)	1961	廃炉終了 ○
6	Fermi 1	米国	高速増殖炉	原型炉	65 (MWe)	1966	再稼働・廃炉
7	Chapelcross-2	英国	黒鉛減速ガス冷却炉	商用炉	60 (MWe)	1967	再稼働・廃炉
8	Ågesta	スウェーデン	加圧水型重水炉	商用炉	12 (MWe)	1968	再稼働・廃炉
9	St. Laurent A-1	フランス	黒鉛減速ガス冷却炉	商用炉	405 (MWe)	1969	再稼働・廃炉
10	Lucens	スイス	重水減速ガス冷却炉	実験炉	28 (MWt)	1969	廃炉終了 ○
11	Bohunice A1	スロバキア	重水減速ガス冷却炉	商用炉	143 (MWe)	1977	廃炉
12	Three Mile Island-2	米国	加圧水型軽水炉	商用炉	808 (MWe)	1979	廃炉
13	St. Laurent A-2	フランス	黒鉛減速ガス冷却炉	商用炉	530 (MWe)	1980	再稼働・廃炉
14	Chernobyl-4	ウクライナ	黒鉛減速軽水炉	商用炉	1000 (MWe)	1986	廃炉

INES : International Nuclear and Radiological Event Scale
国際原子力事象尺度

事故で停止した原子炉の廃炉工程



*シェルターの中で解体作業：2117年までに燃料デブリの取り出し

**安全貯蔵期間は未定

TMI-2原子力発電所

- 原子炉：PWR（959MWe）
- 事故の日時：1979年3月
- 事故の原因：運転員の誤判断（冷却材喪失事故）
- 汚染の範囲：環境への放出は限定（周辺の公衆が受けた放射線の量は最大で1ミリシーベルト、平均0.01mSv）

炉内の状況

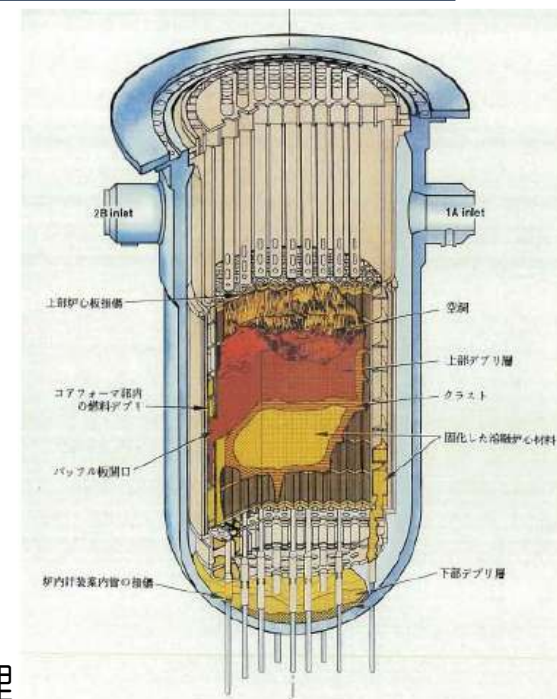
- 1982年7月の観察：炉心上部には空洞、空洞の底部は燃料構成材料の破片が堆積。
- 1985年7月の観察：原子炉容器底部に塊状の燃料デブリが堆積
- 下部炉心構造物の比較的薄肉の構造物には炉心から流れ落ちた溶融物質による熱損傷、主要構造物には構造強度上の支障はなし。

汚染水処理

- 補助建屋等の低レベル汚染水：イオン交換樹脂処理システムを用いて処理
- 原子炉建屋等の比較的レベルの高い汚染水：ゼオライト・イオン交換樹脂を用いたシステム
- 一次冷却材、燃料プール水及び除染廃液の浄化処理

放射性固体廃棄物の処理処分

- クラスA、B及びCに区分された廃棄物：リッチランド及び・パーンウェルの処分場で処分
- クラスCを超える廃棄物（イオン交換樹脂及びフィルター等）及び燃料デブリ：DOEが引取りアイダホ国立研究所で保管



「安全貯蔵」を選択した要因

安全貯蔵の実施理由

- 損傷燃料・燃料デブリの取出しに係る技術開発
- 放射能の減衰による作業員の被ばく低減
- 処分施設の確保
- 他の原子力施設の廃炉との並行実施
- 費用の確保



● 戦略決定には廃炉・修復への経験の活用やサイト内での他の活動とのバランスを考慮
その結果として

- サイト修復が実施されるまで放射性廃棄物の処分が先送り
- 最終段階で放射性廃棄物や汚染物の行き先（中間貯蔵施設も含む）が決められる

廃棄物量

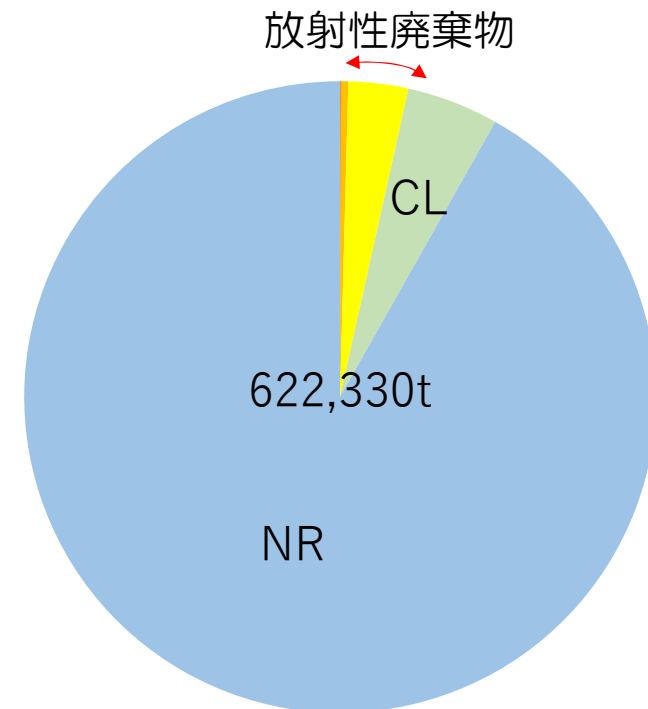
通常炉の廃止措置で発生する機器・構造物の量

小規模(1号機) + 中規模 × 2 (2,3号機) = 21,640 t

	BWR		
	小規模	中規模	大規模
L1	50	70	80
L2	760	830	850
L3	5,530	6,750	11,810
CL	9,710	9,750	28,490
NR	130,620	220,430	495,420
合計	146,670	237,830	536,650

L1：放射能レベルが比較的高い廃棄物、L2：放射能レベルが比較的低い廃棄物
 L3：放射能レベルが極めて低い廃棄物、CL：クリアランス物
 NR：「放射性物質として扱う必要がないもの」及び「放射廃棄物でない廃棄物」

通常炉の場合



廃棄物量(1F1~3号機)

事故炉の廃炉で発生する機器・構造物の量

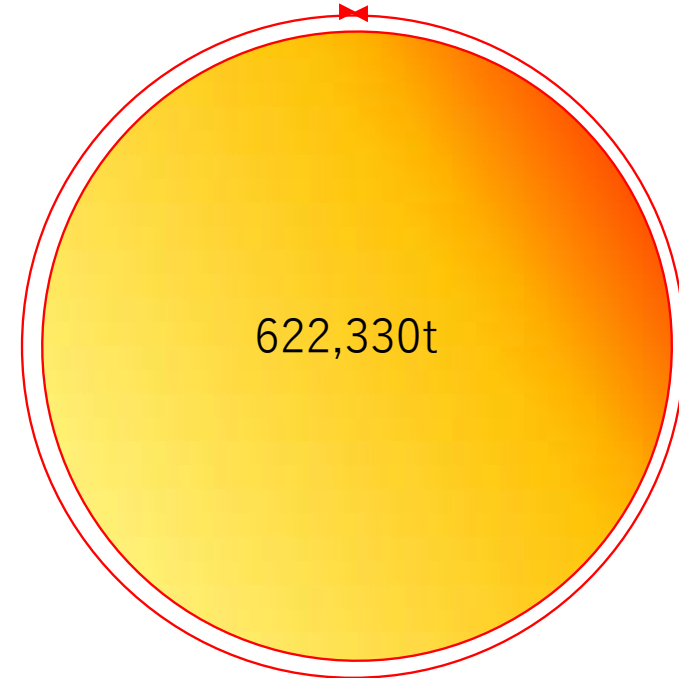
小規模(1号機) + 中規模 × 2 (2,3号機) = 622,330 t

	BWR		
	小規模	中規模	大規模
L1	50	70	80
L2	760	830	850
L3	5,530	6,750	11,810
CL	9,710	9,750	28,490
NR	130,620	220,430	495,420
合計	146,670	237,830	536,650

L1 : 放射能レベルが比較的高い廃棄物、L2 : 放射能レベルが比較的低い廃棄物
 L3 : 放射能レベルが極めて低い廃棄物、CL : クリアランス物
 NR : 「放射性物質として扱う必要がないもの」及び「放射廃棄物でない廃棄物」

1F

放射性廃棄物？



622,330t

95%以上はコンクリート

1 Fコンクリートの放射能特性の把握 → 放射性コンクリート廃棄物の管理策評価

英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業

溶脱による変質を考慮した汚染コンクリート廃棄物の合理的処理・処分の検討(R2~4年度)

北海道大学・福井大学・電中中央研究所・JAEA

① 変質コンクリート中の核種の移行挙動解明

- ・ FP核種, C-14 等
- ・ 鉄酸化物共存系

② 汚染水との接触により変質したコンクリート材料の特性評価

- ・ 非破壊CT-XRD
- ・ 三重核磁気共鳴

③ 核種移行モデル構築

- ・ 多核種移行モデル

④ 放射性廃棄物管理シナリオ評価

- ・ 解体から処分まで全工程を俯瞰した管理シナリオ
- ・ 分析指標の多角化

廃棄物量（1Fサイト全体）

1F 廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の試算例

分類	1-6号機	他の施設	水処理施設	廃棄物処理/ 貯蔵施設	サイト修復	合計
燃料デブリ	644	0	0	0	0	644
HLW	2,042	0	0	0	83	2,125
TRU	0	0	16	0	830	846
L1	100,135	104,543	310	1,050	76,030	282,068
L2	429,462	329,364	38,174	200	1,424,600	2,221,800
L3	951,309	2,825,634	151,320	26,325	1,375,000	5,329,588
合計	1,483,592	3,259,541	189,820	27,575	2,876,543	7,837,071

HLW：高レベル放射性廃棄物相当、 TRU：TRU廃棄物相当
 L1：放射能レベルが比較的高い廃棄物、L2：放射能レベルが比較的低い廃棄物
 L3：放射能レベルが極めて低い廃棄物

米国におけるサイト修復活動

原子力サイト	跡地利用形態(計画を含む)	跡地利用形態の決定に影響した要因
○ Fernald (4.2 km ²)	処分施設(増設) ビジターセンター, 自然公園	全ての廃棄物のサイト外搬出はコストの面から実施困難と判断 ステークホルダーグループがサイト内処分に同意
○ Rocky Flats (27.6 km ²)	制度的管理エリア 野生生物保護区	汚染土壌の除去コストが膨大 (除去しない場合と比較して7倍以上のコスト)
○ Mound Site (1.2 km ²)	ビジネス地区	居住地区がサイトに隣接 地域住民は雇用及び経済的便益のための跡地利用を要望
Oak Ridge Reservation (139.6 km ²)	レクリエーションエリア 産業エリア(原子力利用/非原子力) 低レベル廃棄物処分施設(増設) 廃棄物保管施設(TRU waste)	修復前に低レベル放射性廃棄物の処分実績あり 地域住民は雇用維持できる跡地利用を要望
Savannah River National Laboratory (802.6 km ²)	産業エリア(原子力利用), 自然保護・資源管理エリア 低レベル廃棄物処分施設(既存施設) 低レベル廃棄物処分施設(増設)	修復後も原子力プログラムを継続する計画 遠隔地のため, 産業目的での利用に不向き
Hanford (1,517.7 km ²)	廃棄物の保管及び処分エリア 産業エリア(食品製造・加工・流通業等) 農業エリア, 研究開発施設 レクリエーションエリア 生態系保護エリア, 制度的管理エリア	Fernald及びWeldon Springからウラン金属を受入れ 研究開発施設を継続して利用する計画 修復目標は地域住民やステークホルダーと20年以上の対話を経て設定

○: 修復活動が終了 (): サイトの面積

ステークホルダー参加の重要性

Closing the Circle on the Splitting of the Atom

The Environmental Legacy
of Nuclear Weapons Production
in the United States
and What the Department of Energy
is Doing About It



The U.S. Department of Energy
Office of Environmental Management

From Secrecy to Openness

In keeping with the Clinton Administration's focus on government accountability, Energy Secretary Hazel O'Leary has begun an "openness initiative" to encourage informed and constructive citizen involvement.

情報公開

Citizen Involvement

Many of the program's environmental questions cannot be answered with engineering solutions alone. **Decisions about the most important questions can only be made through a national debate and cooperation among government officials; workers; contractors; all interested Federal, State, and Tribal parties; and informed citizens.**

多くのセクターの人々
による議論と協力に
基づく意思決定

STAKEHOLDER INVOLVEMENT



早期の参加・
法規制・コスト等
の制約条件の共有

Earlier involvement and increased participation by stakeholders in cleanup decisions must be accompanied by their acknowledgement of the same regulatory and budgetary constraints placed upon the DOE.

USDOE Rocky Flats Project Office, CLOSURE LEGACY, April 2006

まとめ

- 事故炉の廃炉は予期しなかった状況に対応して実施されるもので、計画されたプラントライフの最終段階である通常炉の廃止措置とは本質的に異なる。
- 事故炉の廃炉は、安定化対策や除染が優先し、その後、機器・構造物の解体撤去が実施される。
- 海外の事故炉では、技術開発の必要性、作業員の被ばく低減、処分施設の確保等の理由により、安全貯蔵される場合が多い。
- 事故炉では廃炉、サイト修復から大量の廃棄物の発生が予測される。
- 事故炉の廃炉では、ステークホルダー参加の重要性が増大する。