

日本原子力学会廃炉シンポジウム (8/12, 2023) 「東京電力福島第一原子力発電所の廃炉「1F 廃炉で発生する放射性廃棄物の取り扱い～保管の在り方・必要なことは何か」」

# 現状の放射性廃棄物の管理・処分概念 と1Fの廃棄物の課題

東北大学 新堀 雄一

(工学研究科 量子エネルギー工学専攻)

## 参考文献:

加藤和之:福島第一原子力発電所廃炉における廃棄物の取組みと今後について、  
原子力バックエンド研究, 28 (2), 33-38 (2021).

新堀雄一: 学会廃炉委における廃棄物の取組みと今後について, 日本原子力学会誌,  
63 (3), 263-266 (2021).

# 内 容

1. はじめに
2. 通常炉からの廃棄物、  
通常炉の廃止措置および  
放射性廃棄物の管理・処分
3. 1Fの廃棄物の課題  
(原子力学会廃炉委廃棄物分科会  
中間報告書)
4. 今後の方向性(私見)
5. まとめ

# 1. はじめに (1/2)

- ・廃棄物というものにどう向き合うか（私見）  
「大変なお仕事で・・・」

「できれば少ないお金で処分してほしい」  
（物とお金と同じ方向に動く）

- ・発生者の責任
- ・ルールを決める重要性
  
- ・廃棄物のより良い取り扱いの継続的な検討

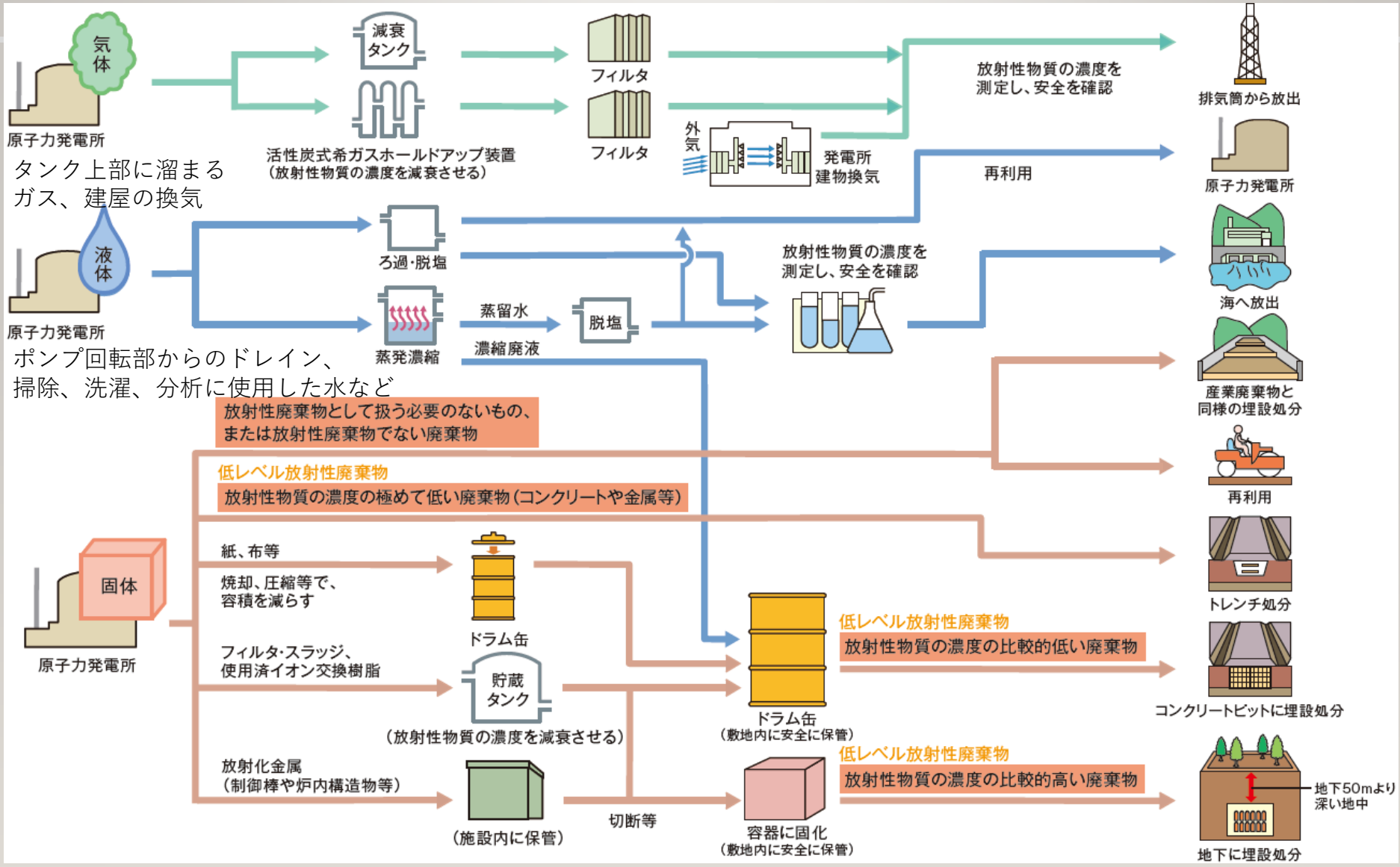
# 1. はじめに (2/2)

- ・ 放射性廃棄物というものにどう向き合うか（私見）
  - ・ 放射能は減衰していくこと
  - ・ 化学物質としての特徴を考慮すること(化学形態/毒性)
  - ・ 放射性物質と人工バリアや自然環境との相互作用を把握すること
- ・ 生活圏から隔離のために構築する人工バリアが及ぼす自然環境（地下環境）への影響をも考慮すること
- ・ 廃棄物のより良い取り扱いの検討を継続すること  
発生防止、最小化、再利用、リサイクル、  
処分量を抑える（廃棄物対策に係る概念の階層構造）

## **2. 通常炉からの廃棄物、 通常炉の廃止措置および 放射性廃棄物の管理・処分**



# 2.1 原子力発電所(通常炉)からの廃棄物の処理方法



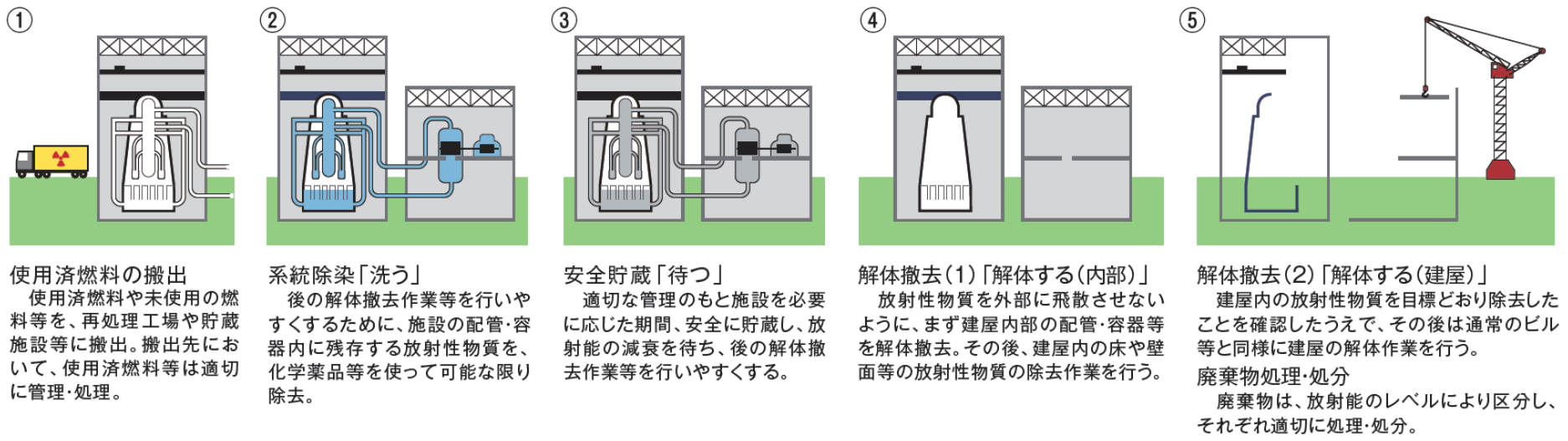
(出典：原子力・エネルギー図面集 <https://www.ene100.jp/zumen>)

気体：キセノンガスやクリプトンなどの不活性ガス、ヨウ素、シュウ素など

# 2.2 原子力発電所(通常炉)の廃止措置プロセス

施設に課される規制から除外するための行政的、技術的な活動

## ●廃止措置の標準工程(注):沸騰水型原子炉(BWR)



### 「安全貯蔵－解体撤去」方式

1基につき、約30年を要する

「洗う」「待つ」「解体する」の3つのプロセス

### 跡地利用

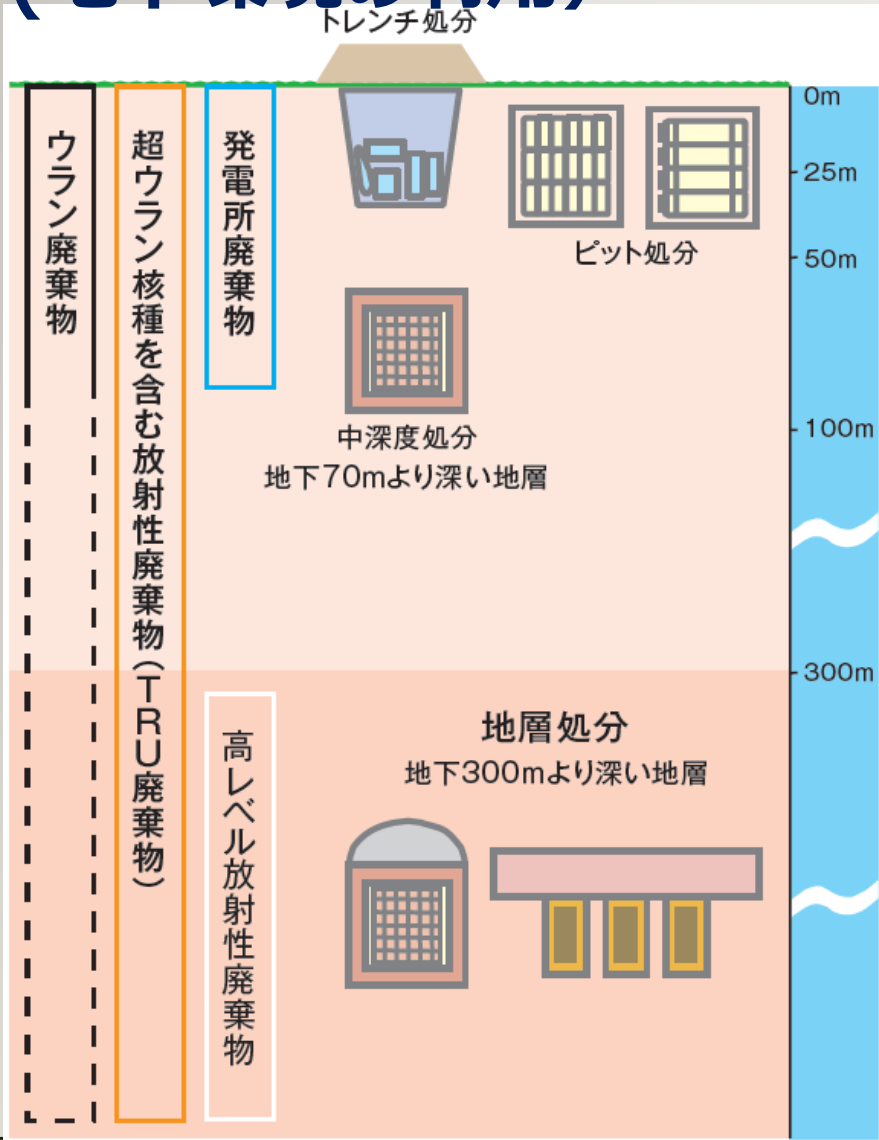
- ✓ 法的な手続き, 安全性確認の後は他用途に活用可能
- ✓ 引き続き原子力発電用地として利用

(出典: 原子力・エネルギー図面集 <https://www.ene100.jp/zumen>)

# 2.3 現在の放射性廃棄物の管理・処分概念

## (地下環境の利用)

放射能レベルに応じた深度やバリアを選択



**浅地中トレンチ処分** コンクリート、金属など人工構築物を設けない浅地中への埋設処分  
(JAEAの動力試験炉解体廃棄物処分)

**浅地中ピット処分** 紙、布、廃液などコンクリートピットを設けた浅地中への処分  
(日本原燃の六ヶ所埋設センター)

**中深度処分** 使用済制御棒、原子炉内の構造物など一般的な地下利用に対して十分余裕を持った深度(地下70 m以深 (100 m程度))への処分

**地層処分** 地下300 mより深い地層中に処分

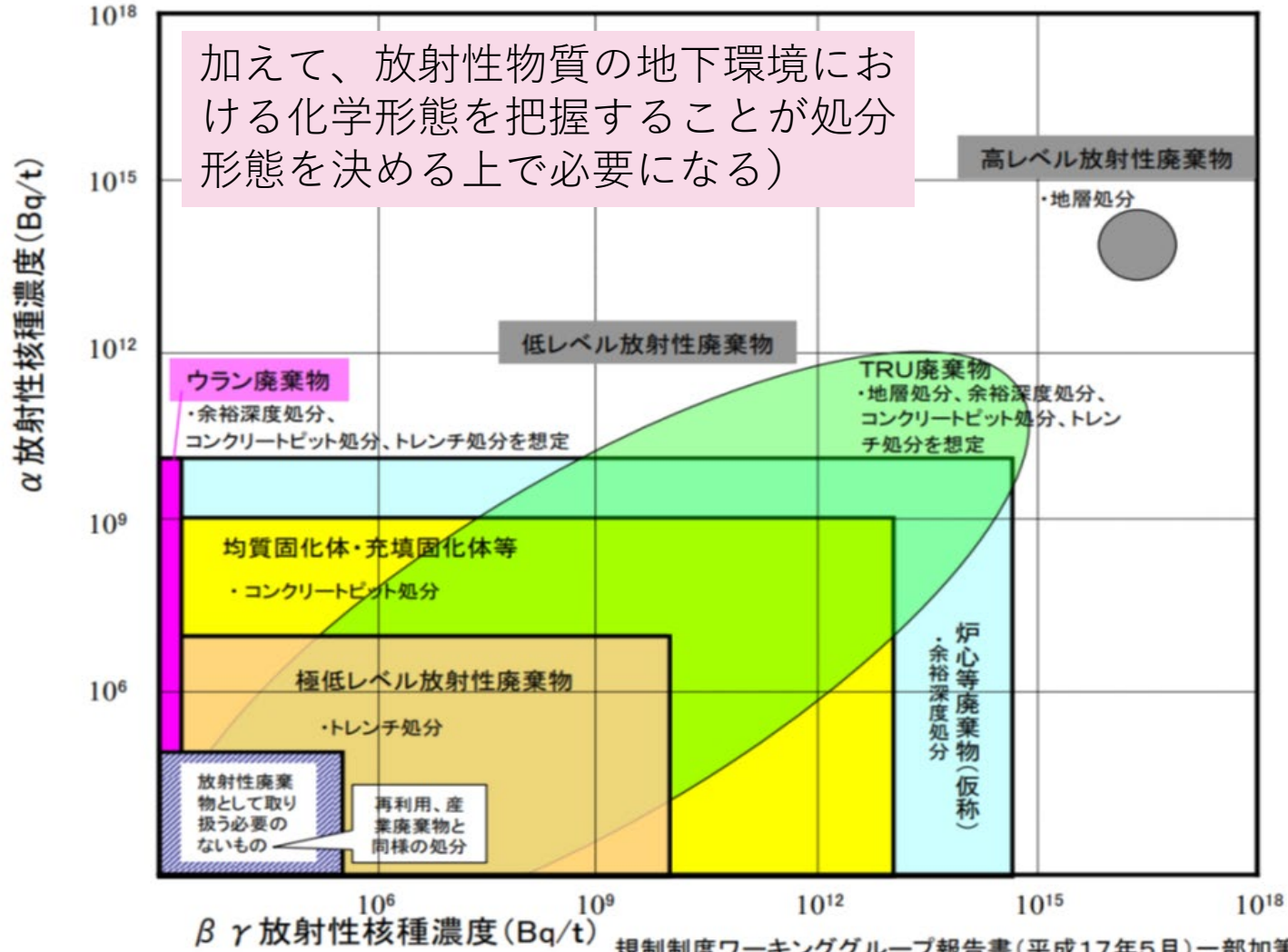
(出典：原子力・エネルギー図面集 <https://www.ene100.jp/zumen>)



# 2.4 現在の放射性廃棄物の管理・処分概念(区分)

資料-1

放射性廃棄物の濃度区分及び処分方法



## 2.5 廃棄物量 (固体廃棄物) 通常炉

	区分	量(ton)	
通常炉 沸騰水型(BWR) 110万kW級I基  (原子力安全基盤機構, 廃止措置ハンドブック, 2009)	L1	80	放射性廃棄物 中深度処分相当の放射性廃棄物
	L2	850	ピット処分相当 //
	L3	11,810	トレンチ処分相当 //
	CL	28,490	クリアランス対象物
	NR	495,420	放射性廃棄物でない廃棄物
	合計	536,650	非放射性廃棄物

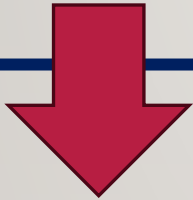
### クリアランス対象物：放射性廃棄物として扱う必要のないもの

原子力施設およびRI施設の操業や廃止措置に伴って発生する解体物等のうち、一定の基準以下の放射性物質濃度であることが国より確認されたもの（放射線量が自然界よりも十分低い（1/100以下）レベルのもの）。当面の利用方針として、原子力施設由来のものであることを理解した業者や施設等での再利用<sup>1)</sup>。

1) (一財)エネルギー総合工学研究所原子力発電所廃止措置調査検討委員会：原子力施設及びRI施設の解体物等のリサイクルに向けて、(制定：2018年11月/改定：2019年2月/技術レポート1 Vol. 1.01)

### 3. 1Fの廃棄物の課題

物量の多さ (L3以上が通常炉より2桁大きい\*とも言われる)  
 デブリの存在、環境修復の必要性 (\* Kawamura et al., 2017)  
 敷地面積の制限、風評被害



区分	量(ton)
L1	80
L2	850
L3	11,810
CL	28,490
NR	495,420
合計	536,650

#### ALPS(多核種除去装置) 処理水

- ・トリチウムの日本の排水の濃度上限値は3か月の平均値として  
**60,000 Bq/L**. その40分の1未満に希釈して海洋放出  
 (その他の放射性物質は希釈・放出の段階で、国の規制基準を満たすまで再浄化)
- ・その放出するトリチウム濃度は年間**22兆**ベクレル未満  
 (これ値は事故前(運転中)の放出管理目標値に相当)

---

2020.7 学会廃炉委 廃棄物検討分科会(主査 柳原先生)

「国際標準からみた廃棄物管理 - 廃棄物検討分科会中間報告 -」

[https://www.aesj.net/uploads/dlm\\_uploads/kokusaihyojun\\_report202007.pdf](https://www.aesj.net/uploads/dlm_uploads/kokusaihyojun_report202007.pdf)

---



- **本報告書の位置付け**      中間報告

- **本報告書の内容**

「廃止措置」, 「廃炉」および「環境修復」の基本的な考え方、  
廃炉および環境修復のプロセス、  
廃棄物量、シナリオの検討 等



## ・ 本報告書の位置付け

本報告書はあくまでも中間報告であり、本報告書の内容を今後どのように福島第一の廃炉に活かしていくかを、**地元の方々をはじめ様々なステークホルダーから多様な観点のご意見を伺った上で更なる検討を深めると共に、廃炉作業の進捗に伴う追加情報を得て改訂していくことが必要**となる。

本報告書では、1Fのエンドステート（最終的な状態）に着目し、燃料デブリ取出し作業が開始されようとしている同発電所の廃炉の課題として、あらかじめエンドステートの概念を関係者で共有した上で、廃棄物管理に係る対策などの取組みを進めることの必要性や**エンドステートに至る過程の代表的な選択肢**を、現在まで得られている情報を基に海外の知見等を踏まえてまとめている。

最終的な状態：施設への規制および放射線管理上の措置を不要とする状態



# ・本報告書の内容

## ■言葉の定義

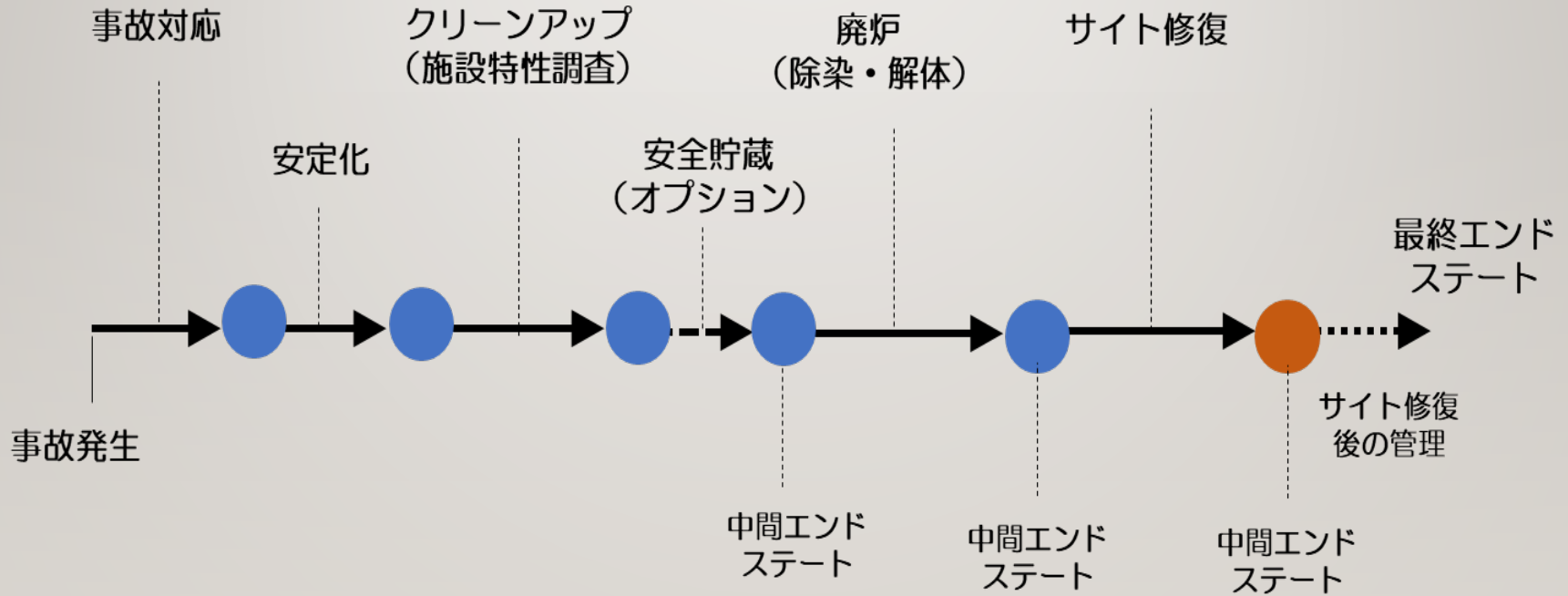
**廃止措置と廃炉**：1Fは既に特定原子力施設に指定されており、本報告書では、1F施設の除染・解体を、通常炉の廃止措置と区別して「廃炉」と呼称（燃料デブリ等が炉心やその周辺に分布しており、汚染も広範囲に広がっているため、通常炉の手順に従ったものではない）

・IAEA(2006)の廃止措置に係る基本的な考え方にに基づき、「廃炉」を施設に課される規制から除外するための行政的、技術的な活動と位置付け

(原子炉施設（原子炉建屋、タービン建屋など）および関連する施設（廃棄物処理建屋、汚染水管理エリア、地下水管理施設など）、管理棟、港湾施設を対象とした除染・解体作業）

**環境修復（サイト修復）**：OECD/NEA(2016)に従ってサイトの土壌・地下水など環境に対する除染・修復（周辺の施設以外の土壌や地下水等について、放射能汚染の除去によりサイトを放射線管理上の措置が不要とすること）

## ■ 事故発生から最終状態に至るまでの主要な過程 (同報告書, 2020)



本報告書では、**IFの廃炉およびサイト修復も目指す状態（施設の規制解除および放射線管理上の措置を不要とすること）**が、原則的に通常炉と同様にあることを述べている。

**廃炉のプロセス**：通常の廃止措置の考え方を基盤とすれば、「廃炉」の過程についても、**複数の選択肢**が存在する。

- ・ **即時解体**：放射能汚染物質を含んでいる器材、構造物、設備の部分を撤去するか、又は、規制当局が示す無拘束の許容レベルか、制限付き許容レベルまで除染することを基本方針とする。この場合、廃止措置作業は運転停止後に速やかに開始される。この基本方針は**廃止措置の迅速な完遂**を意味し、**全ての放射性廃棄物を保管施設か処分施設へ移送する**ことを含んでいる。
- ・ **遅延解体**：安全貯蔵、安全保管、安全隔離などとも呼ばれ、**放射能汚染を含む施設の一部を処理するか安全に貯蔵・維持できる状態にして管理**し、その後、上述のような撤去、又は許容レベルまでの除染を行う。放射性廃棄物の扱いは即時解体と同様である。
- ・ **原位置処分 (Entombment)**：放射性核種で汚染した物質を、放射能レベル、核種の化学形態および周辺環境等を考慮して適切な安全機能を施した上で原位置に処分すること、又は、構造的に長寿命材料の中に格納するなどして、規制当局が示す施設の無拘束解放に係る許容レベルか、制限付き使用に係る許容レベルまで放射能の減衰を待つことを基本方針とする。

# 事故炉の環境修復 (1/2) (通常炉とは大きく異なる過程)

- ・ IAEAやOECD/NEAなどの国際機関では、事故及び環境汚染を対象にして、原子力施設の廃止措置（廃炉）および原子力サイトの除染・修復などに係る過去の経験や現状のレビュー

- ・ 本報告書では、その中で、IFにおける施設の除染・解体及びサイトの除染・修復を実施する上で有益な事項を抽出している。例えば、

- a) 事故直後から施設の修復が終了するまでのタイムラインにおいて、**施設の除染・解体のほか、サイトの除染・修復までを含めた様々な活動**が必要であること
- b) 事故後の取り組みでは、**エンドステートを見据えた上で、そこに至るまでの道筋と計画を十分に検討**することが重要であること
- c) **十分な情報がなくエンドステートに至る経路が明確に定義できない段階では、複数の選択肢を設定し、それぞれの利点・難点を検討**することが有用
- d) **放射性廃棄物管理計画を廃炉、環境修復の作業計画と統合**して検討すること



## 事故炉の環境修復 (2/2)

e) 環境修復とは汚染からの被ばくを低減することであり、完全な除染や、サイトをバックグラウンド状態に戻すことでは必ずしもなく、**長期のステュワードシップ**を環境修復活動として考慮することもあり得ること

ステュワードシップとは、「(アクティブな) 環境修復、環境評価の終了後、残留物による健康、環境への影響からの長期にわたる保護が必要な場合にとられる技術的、社会的な対応策 (サイト管理、モニタリング、保守、情報管理など)」と定義されている。

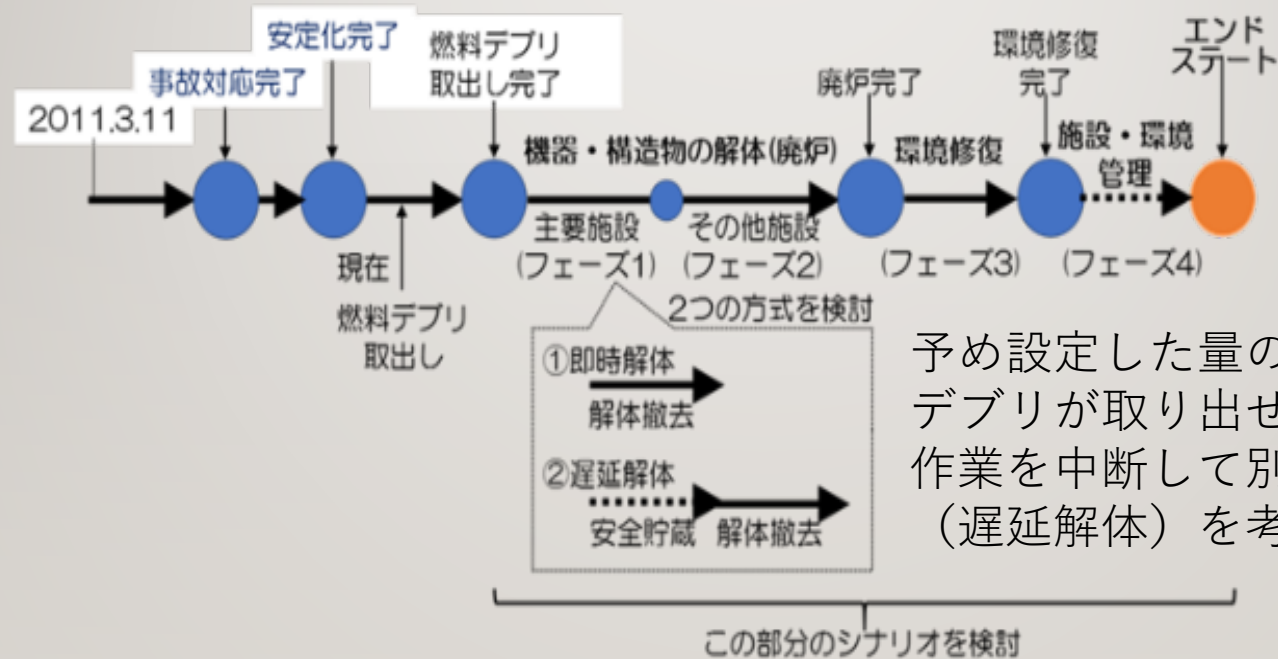
f) **放射性廃棄物の処分**などの取り組みは**周辺住民を含む様々なステークホルダーとのコミュニケーション**および**社会的合意なくして解決が困難**であること

ことも取り上げている。



# ■シナリオの検討(1/3)

## 検討対象範囲と時間軸

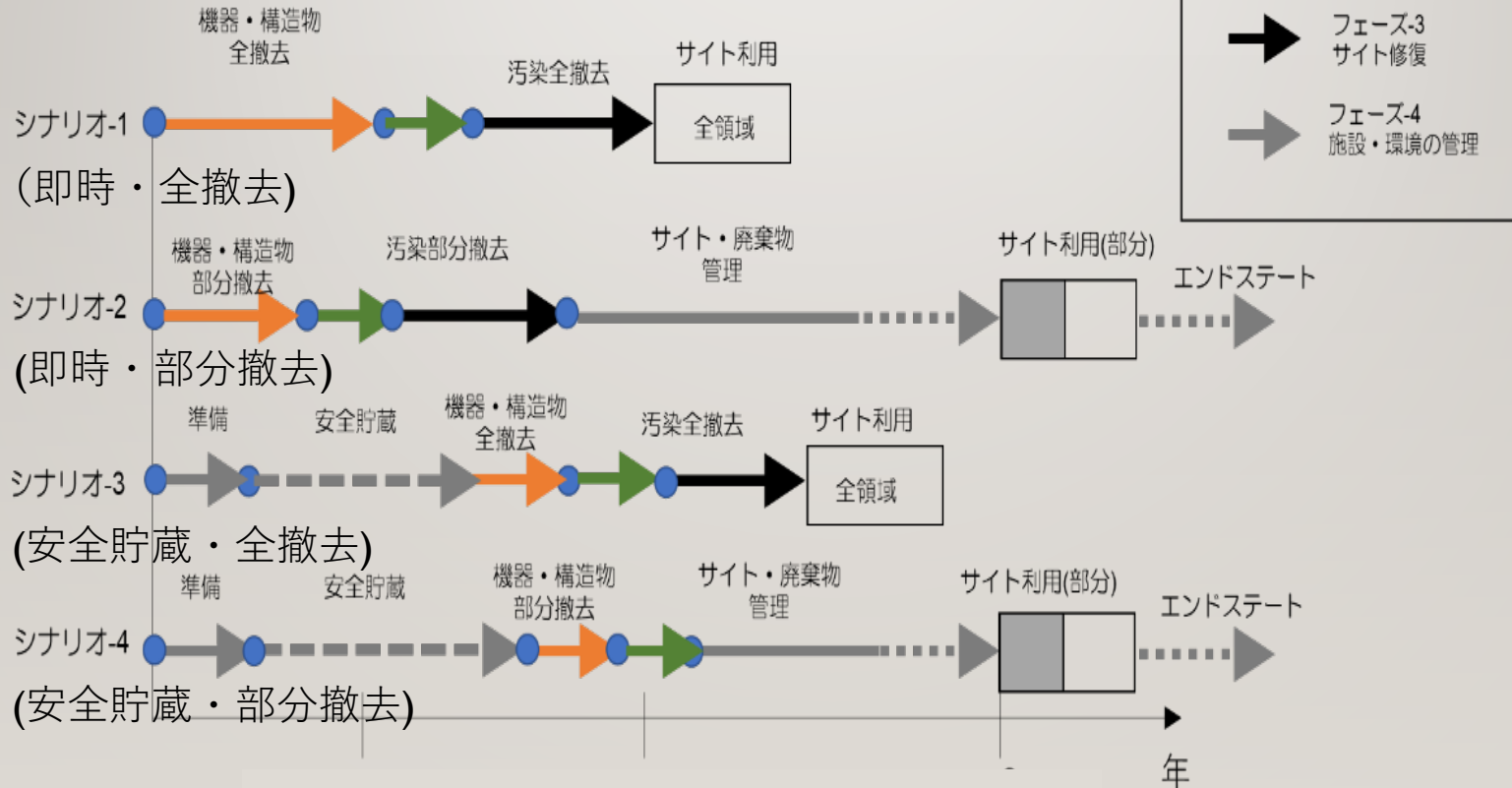


予め設定した量の残存燃料及び燃料デブリが取り出せない場合は、一旦作業を中断して別の取り組みを検討（遅延解体）を考慮

- フェーズ1: 廃炉作業のうち主要施設(原子炉建屋・タービン建屋)の解体終了まで
- フェーズ2: 残存する他の建造物の解体が終了するまで
- フェーズ3: 汚染土壌・地下水の除去・処理等サイト修復が終了するまで
- フェーズ4: サイト利用に必要な準備が終了するまで（廃棄物の管理などを含む）

## ■ シナリオの検討(2/3)

本報告書では上述したタイムラインおよび領域区分に対し、2つの廃炉方式（**即時解体**、**遅延解体**）と2つのエンドステート（**制限なし解放**、**制限付き解放**）を組み合わせた4つのシナリオを設定。



サイト利用（部分）：一部の機器・構造物等を監視・管理している、また、廃棄物保管施設を設置し、処分施設へ搬出まで放射性廃棄物を保管しているため、サイト利用が制限される

**制限付き開放**

## ■ シナリオの検討(3/3)

本報告書は、これらいくつかのシナリオの検討を通して、

**放射性廃棄物の減衰による放射性廃棄物量のみではなく、複眼的に比較検討が必要となることを指摘している。たとえば、**

- ・**サイトの有効利用（一部/全部、制限/無制限）が可能か、**
- ・**安全性（作業員及び公衆）は確保されるのか、**
- ・**合理性（経済性）は確保されるのか、**
- ・**放射性廃棄物の安全な管理は可能か、**
- ・**放射性廃棄物の行先を決められるのか、**
- ・**サイトの利用計画が社会的受容性を有するか、そして、**
- ・**エンドステートまでの概略工程が社会的受容性を有するか（地域間及び世代間等の公平性、意思決定プロセスの透明性）** などが、

国際的な議論からも、シナリオの検討には重要となることに言及している。

## 4. 今後の方向性(私見) (1/2)

放射性廃棄物の最終的な処分までを考えれば、1Fサイトおよびその周辺のみではなく、廃棄物を処分するサイトのことにも考慮する必要がある。

(特定サイトのエンドステートも、搬出する先の廃棄物の処分サイトを含めて俯瞰すれば、事故修復の一つの中間的なステートということになるかもしれない)

1Fサイトのステート（状態）を、関係者（ステークホルダ）で共有し、そこに向けて進捗を管理し、また課題を抽出するとともに、その解決に向けた技術や関連する規制の整備、また、何より大切な**社会的側面での議論を深めることが重要**

現状では、燃料デブリの取り出しが予定されており、燃料デブリの炉内での分布や性状に関する詳細な情報の蓄積が、達成目標やその選択肢の議論には必要となる。また、これまで得られたデータを踏まえ、燃料物質の計量管理方策や事故進展挙動評価に加え、遠隔操作技術、分析技術、処理・処分技術の構築に関する継続的な検討が重要となっている。



これらの現状を考慮すれば、本報告書に示されている関連の海外事例、さらにその選択の背景についても整理しつつ、放射性廃棄物や今後取り出すデブリの合理的な安定保管を念頭に置く中間エンドステートの議論を深める段階にある。



# デブリ取出し後の時系列のイメージ

**Decommissioning**

(廃止措置 / 廃炉)

**Environmental remediation**

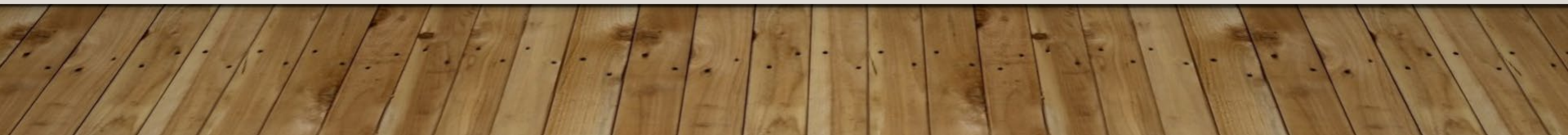
**(site remediation)**

環境修復 (サイト修復)

時間

**Waste Management/Disposal**

(廃棄物の管理・処分)





## 4. 今後の方向性(私見) (2/2)

放射性廃棄物の物量の低減について、現在、1Fでは、焼却などによる減容が図られている一方、クリアランス制度（放射性廃棄物として扱わなくてよい廃棄物のサイト内外の再利用、クリアランスレベル以下の廃棄物と放射性廃棄物の合理的な分別手法と規制の整備を含む）の検討が重要

再利用では、通常炉で既に検討される処分容器の一部としての利用に加え、バリア機能（低透水性や低拡散性）を持つ資材への大規模な利用も考えていく必要がある。これらの検討は廃炉および環境修復の過程にも大きく影響する。

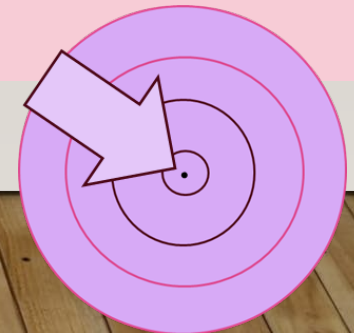
現状では、今後のデブリ取出しを経て、それらの分布状態や性状が段階的に明らかになること、また、1Fの状況をこれらのデータをも加えて把握し、データを蓄積、整理していくことが期待される段階にあることを認識しつつも、放射性廃棄物の処分についての議論を進める上では、燃料デブリの取出しを本格的に進めていく前に、デブリを含んだ廃棄物の定義の議論も開始する時期に来ている。

## 5. おわりに

**本報告書の重要なメッセージ**の一つは、IFの廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の取り扱いは、世代を超えた長期にわたることが予想され、エンドステートを念頭に**サイト内においても中間エンドステート（廃炉（除染・解体）やサイト修復等の各活動の達成目標）**を定め、**着実にステップを踏むことが重要**となることを指摘している点にある。

前述において、放射性廃棄物の処分サイトのエンドステートにも言及したが、本報告書では、燃料デブリ取出し作業が開始されようとするIFサイトにおいても、その状況によって、廃棄物を安定に管理し、段階的に目標とすべきステート（状態）を議論していくことの重要性にも併せて言及している。

**原子力学会における廃棄物分会**では、**廃棄物量の再見積りを進めるとともに、クリアランス制度、廃棄物の再利用、放射性廃棄物の定義、処分までに至る間の安定な保管とその処分に及ぼす影響の検討をさらに深める**時期に来ていると考える。これらの取り組みを通して、ステークホルダーとの意見交換を進めていくことが重要となる。



# 用語説明

**HLW**: 高レベル放射性廃棄物 (使用済燃料を再処理し、**U**や**Pu**を除いた後に残った5%の核分裂生成物や**U**や**Pu**以外のアクチノイドをガラス固化したもの). 但し、なお、フィンランド、スウェーデン等では再処理を行わないことから、使用済燃料が**HLW**となる。何れの**HLW**も地層処分相当の廃棄物となる。

**TRU**: 本講演p.8に簡単な説明あり。再処理工場や**MOX**(**U**と**Pu**の混合酸化物)燃料加工施設等から排出される。例えば、燃料の被覆管、廃液、フィルターなどであり、放射能レベルにより処分形態（地層処分、中深度処分、ピット処分等）が選択される。その意味では**IF**の多様な廃棄物に類似していると言われる場合がある。

**L1, L2 および L3 廃棄物**: 発電所から排出される廃棄物であり、放射能レベルの比較的高い、燃料棒や炉内構造物等が**L1**, 放射能レベルが比較的低い、廃液、フィルター、廃器材、消耗品等を固化したものが**L2**, 放射能レベルが極めて低い、コンクリートや金属等が**L3**と呼ばれる。レベルの基本(目安)は本講演p.9を参照。なお、この他にも、放射性廃棄物には、ウラン廃棄物 (ウラン濃縮・燃料加工施設からの消耗品、スラッジ(沈殿物、汚泥)、廃器材)や**RI**・研究所等廃棄物などがある。

**CL**: 本講演p.10に説明あり。クリアランス対象物（放射性廃棄物として扱う必要のないもの）。

**燃料デブリ**: 国内では、**IF** 事故以降、炉心が溶融して固化してできる様々な物質は全て「燃料デブリ」と総称されるようになった。「燃料デブリ」には、「燃料デブリ」からの分離が困難な構造物やコンクリートの一部、さらには溶融には至らなかった燃料棒の一部も含まれる。(2018年11月日本原子力学会 核燃料部会 (AESJ-PS022) ポジション・ステートメント解説より)

なお、溶融燃料とコンクリートとの相互作用(MCCI: Molten Core Concrete Interaction)では、その処分の際にはCa成分が含まれ、人工バリアの膨潤性を劣化させることが懸念される。