

日本原子力学会廃炉シンポジウム  
2021年6月12日

世界の事故炉の廃止措置（廃炉）と環境修復  
— 廃棄物検討分科会・中間報告の背景 —

---

柳原敏

国立大学法人 福井大学

# 講演の内容

---

- 中間報告における提言の概要
- 事故炉の廃炉に係る調査結果
- 廃炉戦略と決定要因の分析
- サイト修復に係る世界の活動

# 中間報告における5つの提言

## 第6章：提言

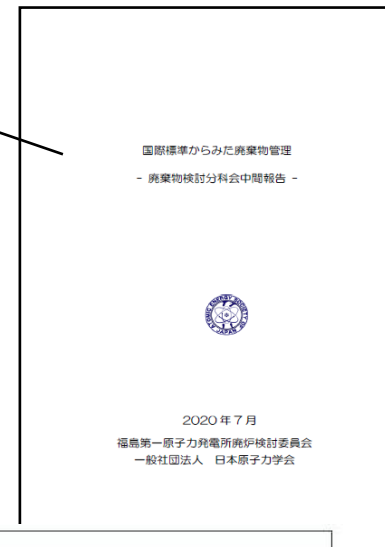
1. 廃炉の定義
2. エンドステートに係る議論の必要性
3. ステークホルダーによる討議機会の整備
4. 放射性廃棄物の低減に係る取り組みの早期実施
5. 放射性廃棄物処分に係る制度の見直し

**発生量抑制**：クリアランス、スチュワードシップなど放射性廃棄物を低減することを前提にした、廃炉・サイト修復の計画及び制度の検討

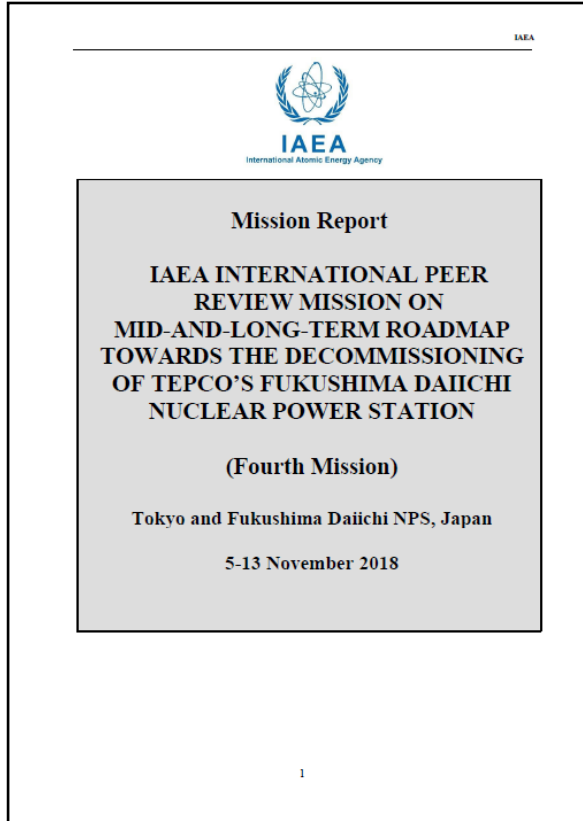
**再利用・再使用**：クリアランスレベルよりも多少放射能濃度の高いものであっても、作業員の安全性を評価した上で1Fサイト内での限定再利用の検討

表題

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-



# 国際機関からの提言：総合的な廃炉計画の策定



## Advisory Point 3

The IAEA Review Team advises the Government of Japan and NDF to prepare themselves now in order to develop during Phase 3 **an integrated plan for the completion of decommissioning of the entire Fukushima Daiichi site**; including all six units, the ancillary radioactive waste treatment and storage facilities, and **the management of all forms of radioactive waste** arising during the decommissioning activities.

Careful consideration should be given to the assumptions used and how to express the inherent uncertainties involved. In order to successfully produce such a plan, significant effort is expected to be required **to determine the options and scenarios that lead to a credible plan for the long term.**

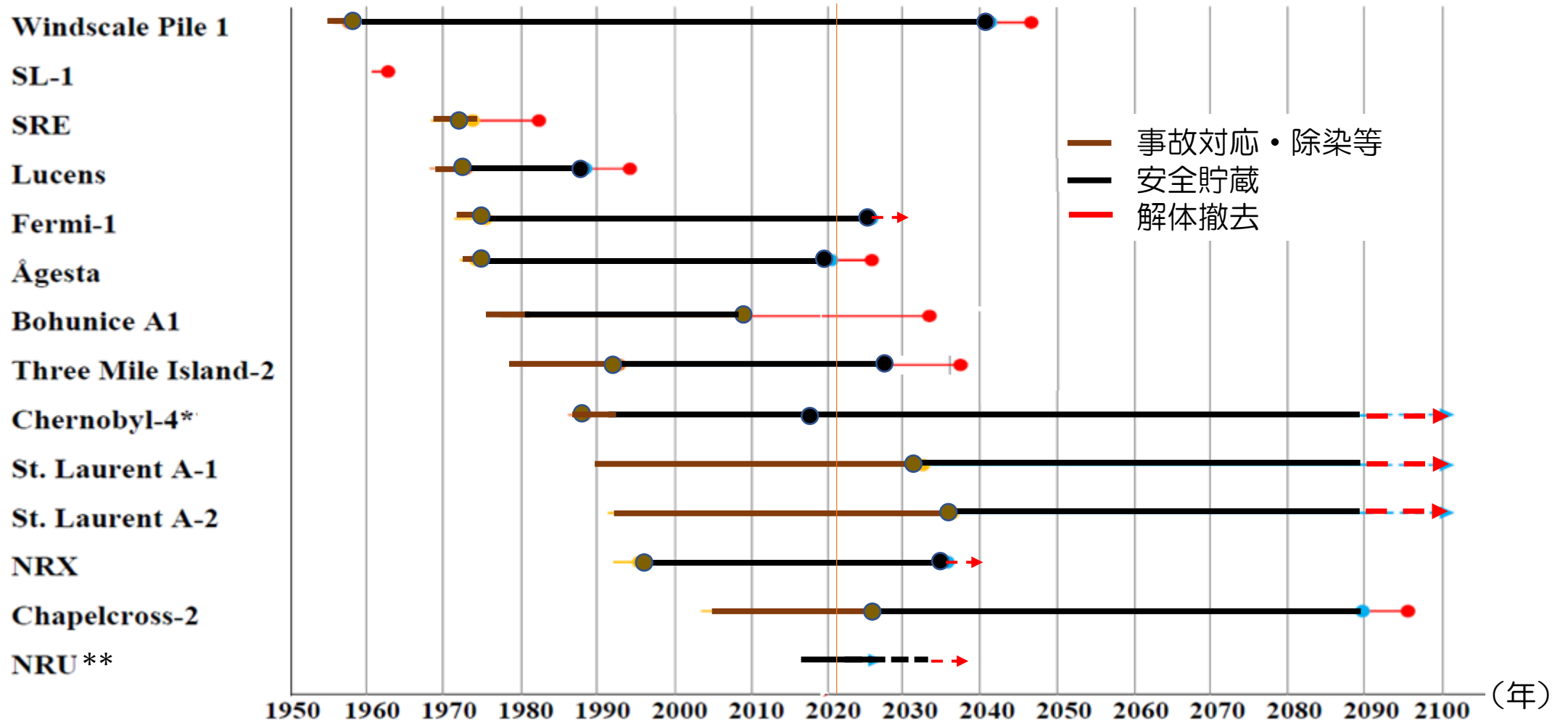
- 1Fサイト全体の総合廃炉計画の策定
- 長期計画の選択肢とシナリオの決定

# 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

# 「安全貯蔵」を選択した要因

---

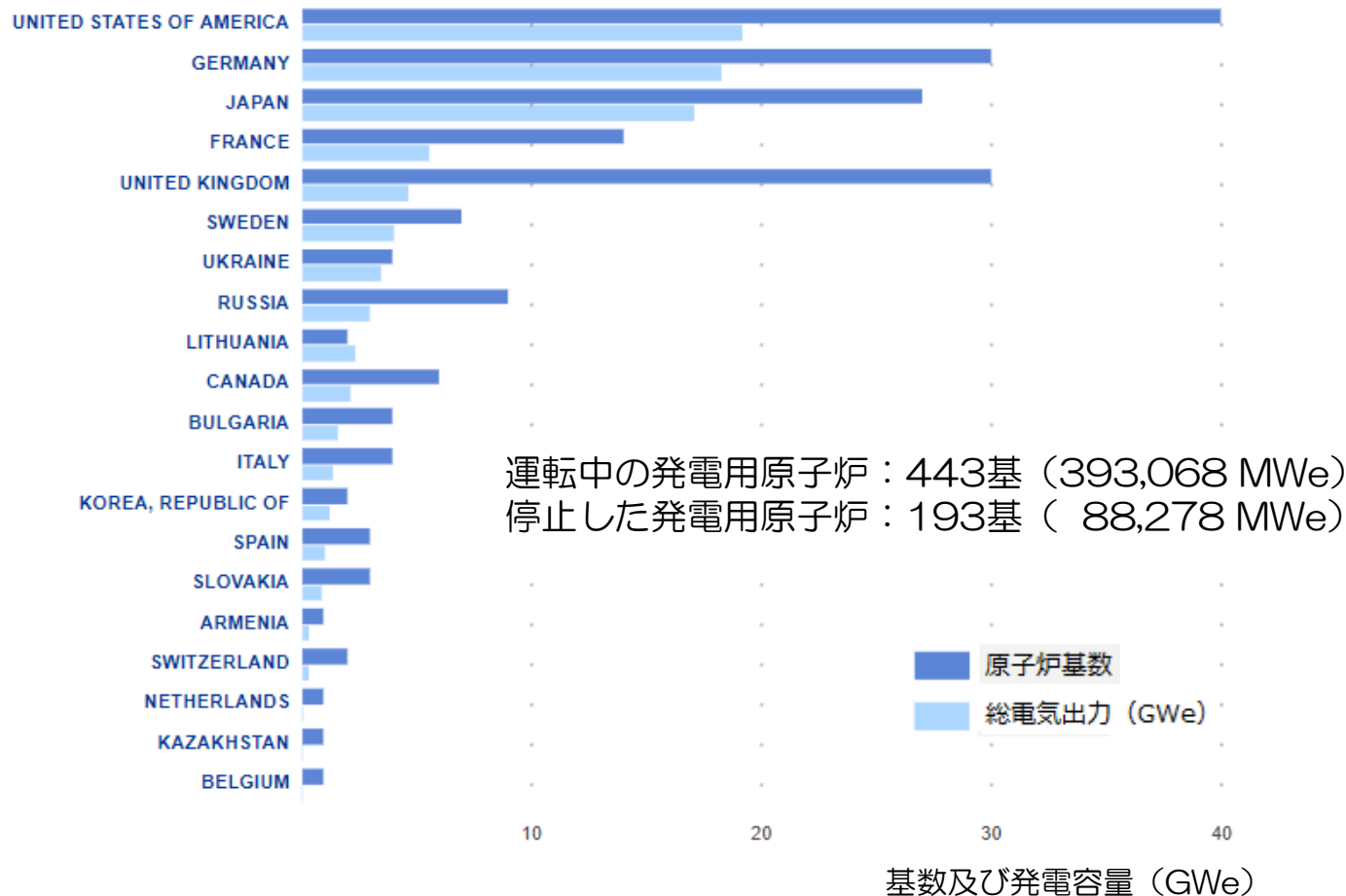
## 安全貯蔵の実施理由

- 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止措置との並行実施
- 廃炉費用の確保



- 戦略決定には廃炉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

# 世界の廃止措置（廃炉）の現状（2021.5）



## 戦略の基本要素

### エンドステート

- グリーンフィールド
- ブラウンフィールド

### 廃炉工程（方式）

- DECOM：即時解体
- SAFESTOR：遅延解体（安全貯蔵）

## 廃炉の戦略決定に係る基本要因（IAEA）

1. 国の政策と規制の枠組み
2. 戦略の実施に必要な経済的資源/コスト
3. 使用済み燃料と廃棄物管理
4. 安全性と環境影響
5. 知識管理と人的資源
6. 社会的影響とステークホルダーの参加
7. 適用可能な技術

IAEAデータベース

<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

IAEA, Selection of decommissioning Strategies: Issues and Factors, IAEA-TECDOC-1478, 2005



# 廃炉戦略に係る分析

IAEAデータベースに基づく162基のプロ  
ジェクトを対象に戦略決定の要因を分析<sup>注</sup>

## 対象とした決定要因

- 運転期間
- 人材育成
- 廃炉の資金
- 社会的受容性\*
- 社会的寛容性\*\*
- 廃炉の経験
- 原子炉の型式
- 運転履歴
- 放射性廃棄物管理施設の可能性
- サイト内の原子炉基数
- 技術的可能性

\*原子力・廃棄物などを対象

\*\*社会的な開放性など

## ● 廃炉工程（方式）

### 即時解体

- 人材育成（高）
- 廃炉の資金（有）
- 社会的寛容性（高）
- 廃炉の経験（有）

### 遅延解体（安全貯蔵）

- 複数基のサイト
- 社会的受容性（高）
- 長期の運転履歴
- GCR、RBMK、事故炉

## ● エンドステート

### グリーンフィールド

- 社会的寛容性（高）
- 廃炉の経験（有）
- 長期の運転履歴

### ブラウンフィールド

- 社会的受容性（高）
- 複数基のサイト
- 事故炉

注：Young A Suh, Carol Hornibrook, Man-Sung Yim, Decisions on nuclear decommissioning strategies: Historical review, Progress in Nuclear Energy 106 (2018) 34-43

# 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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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

# サイト修復後の利用形態（実績/計画）

---

- 原子力の研究開発  
原子力施設（研究開発施設，産業（原子力利用））
- 放射性廃棄物・放射能汚染領域の管理
  - ・ 中間貯蔵施設
  - ・ 処分施設（既存・増設）
  - ・ 制度的管理（スチュワードシップ；放射能汚染領域として管理）
- 非原子力目的
  - ・ ビジターセンター（原子力研究開発や修復作業の紹介など）
  - ・ 自然公園, 野生生物保護区
  - ・ ビジネス地区
  - ・ レクリエーション施設
  - ・ 産業・農業エリア
  - ・ 自然保護・資源管理エリア
  - ・ 生態系保護エリア
  - ・ 非原子力の研究開発

# ステークホルダー参加の重要

## 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

## 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.

The U.S. Department of Energy Office of Environmental Management, Closing the Circle on the Splitting of the Atom, DOE/EM-0266, ISBN: 0-16-048448-0, 1996

## STAKEHOLDER INVOLVEMENT



## 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.

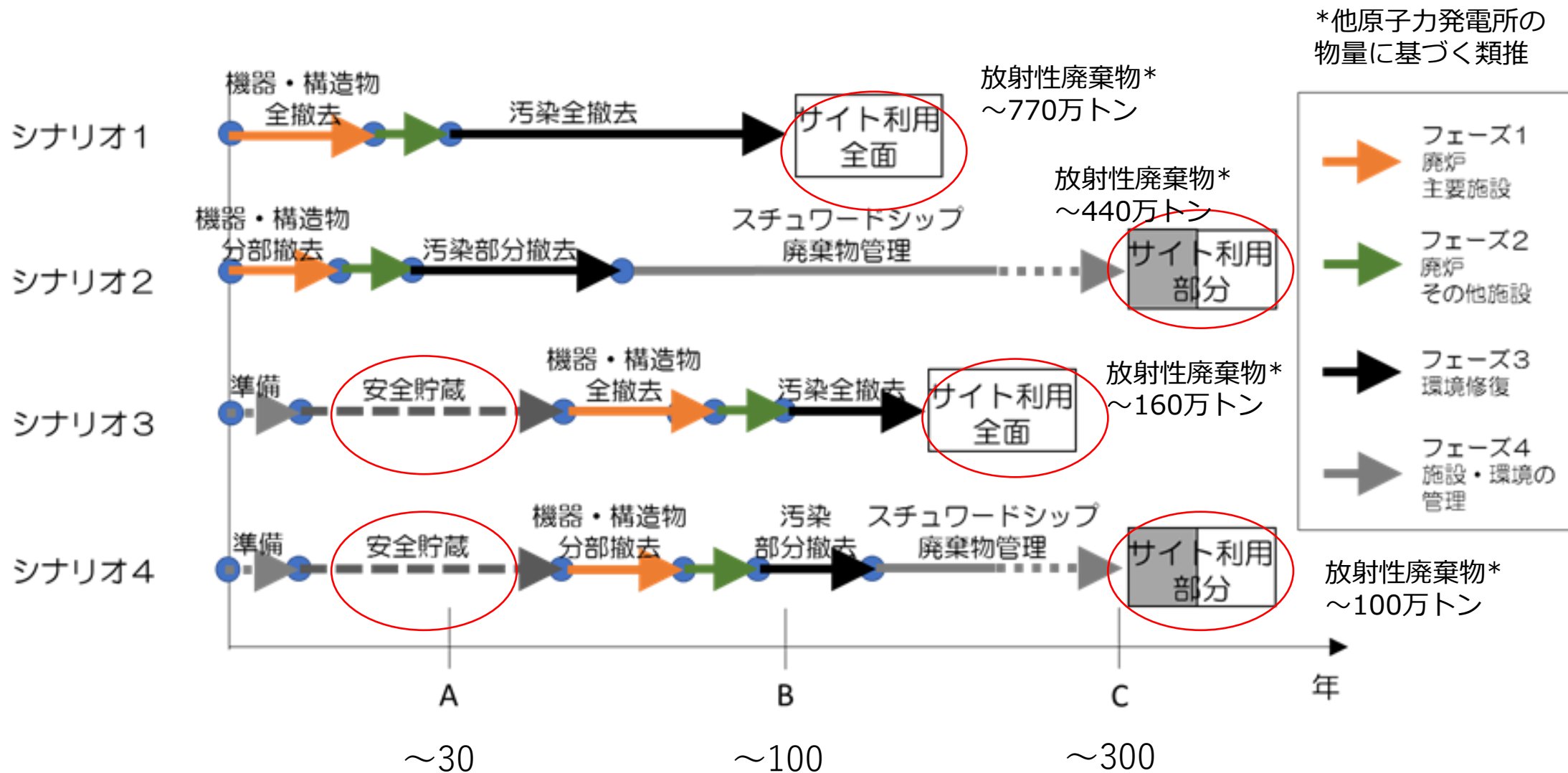
情報公開

様々な人々による  
議論と協力

*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

# 廃棄物検討分科会：シナリオの比較例



# まとめ

---

- 廃炉戦略の決定要因に係る分析  
即時解体/遅延解体, グリーンフィールド/ブラウンフィールド
- 世界の廃炉（事故炉）及びサイト修復に係る経験・知見の分析  
廃炉工程、跡地の利用形態、ステークホルダーの参加
- 放射性廃棄物の行先を含めたエンドステートに係る議論の必要性