

日本原子力学会
東京電力福島第一原子力発電所の廃炉
第4回：確実な廃炉のために今すべきこと
2019年3月9日（土）

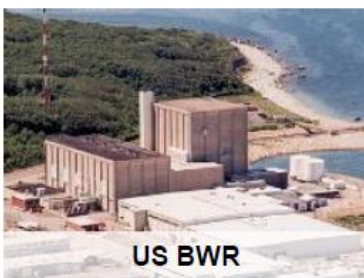
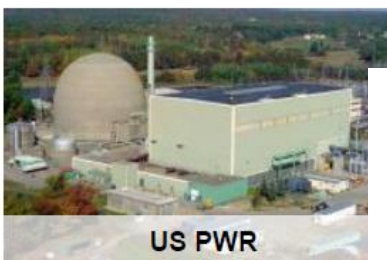
廃炉とサイト修復の最終の姿に むけた廃棄物の取り扱い

柳原敏
福井大学

前提条件-1 (廃棄物)

D&D is a Waste Management Strategy

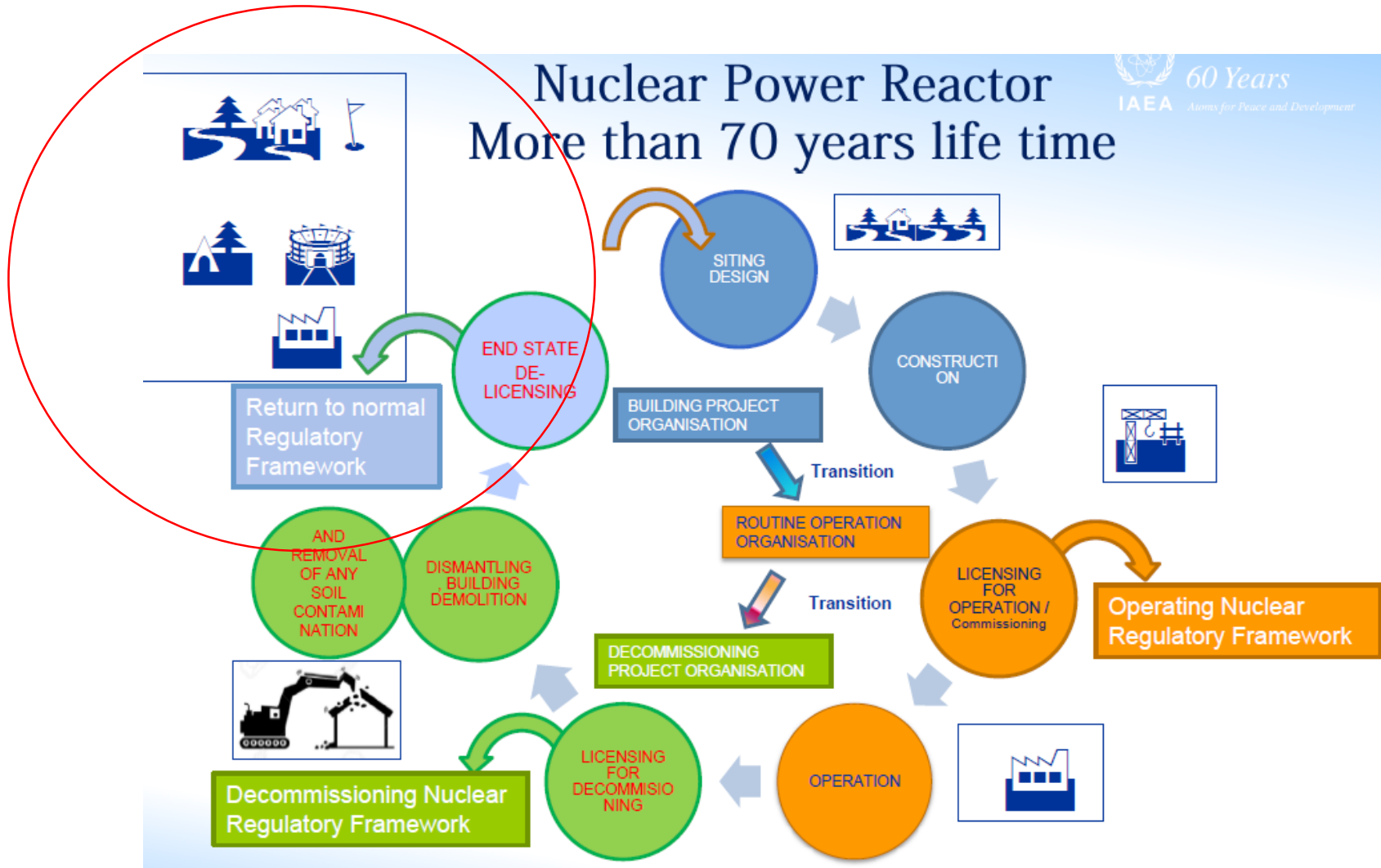
ENERGYSOLUTION



What do we see?

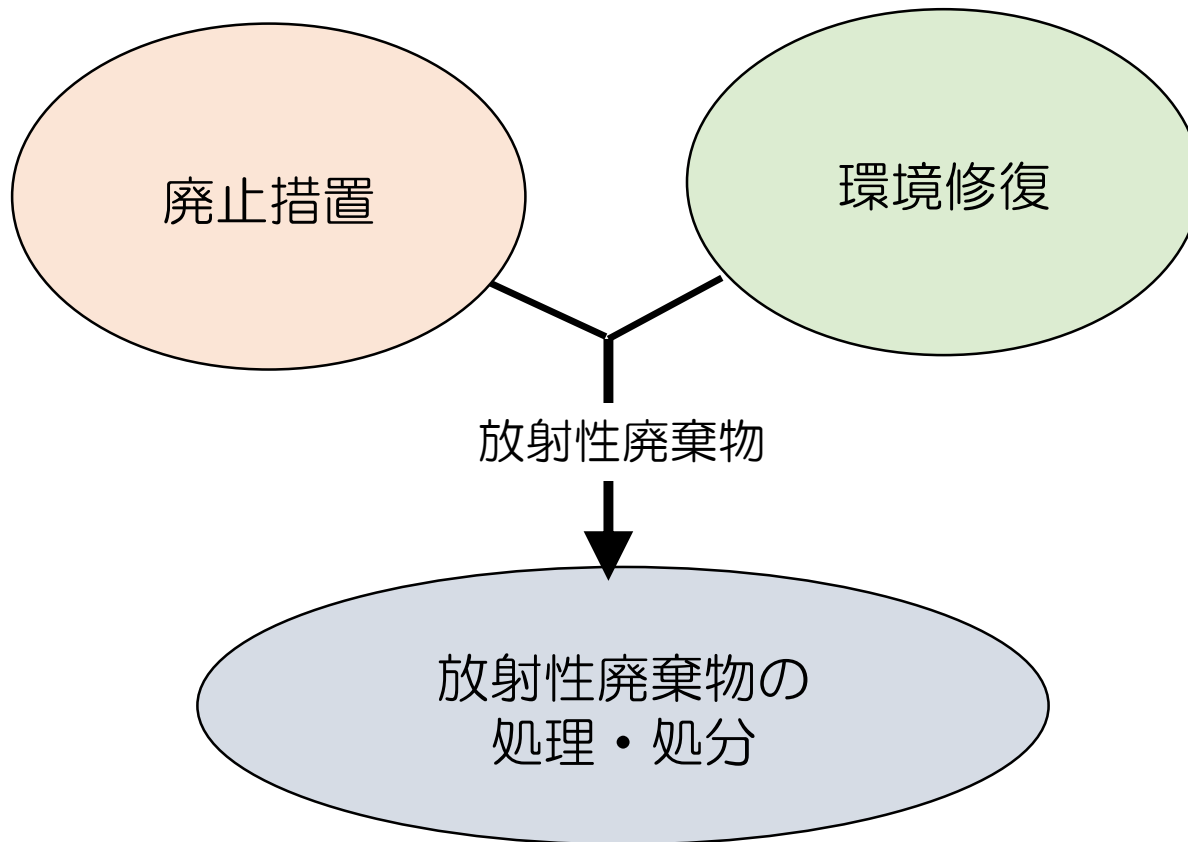


前提条件-2（廃止措置の目的）



敦賀国際シンポジウム2018より（Christian Glorennec, Decommissioning project in the world and international effort, 2018 November）

廃止措置とサイト修復



廃止措置と環境修復の定義

廃止措置

原子力施設の一部又は全部をそこに課せられている規制から除外すること。この活動には、放射性物質、廃棄物、機器・構造物の除染、解体、撤去が含まれ、意欲的で体系的な放射線リスクの低減を実現するために適用されるものであり、安全確保に必要な事前の計画や評価に基づいて実施。（IAEA）

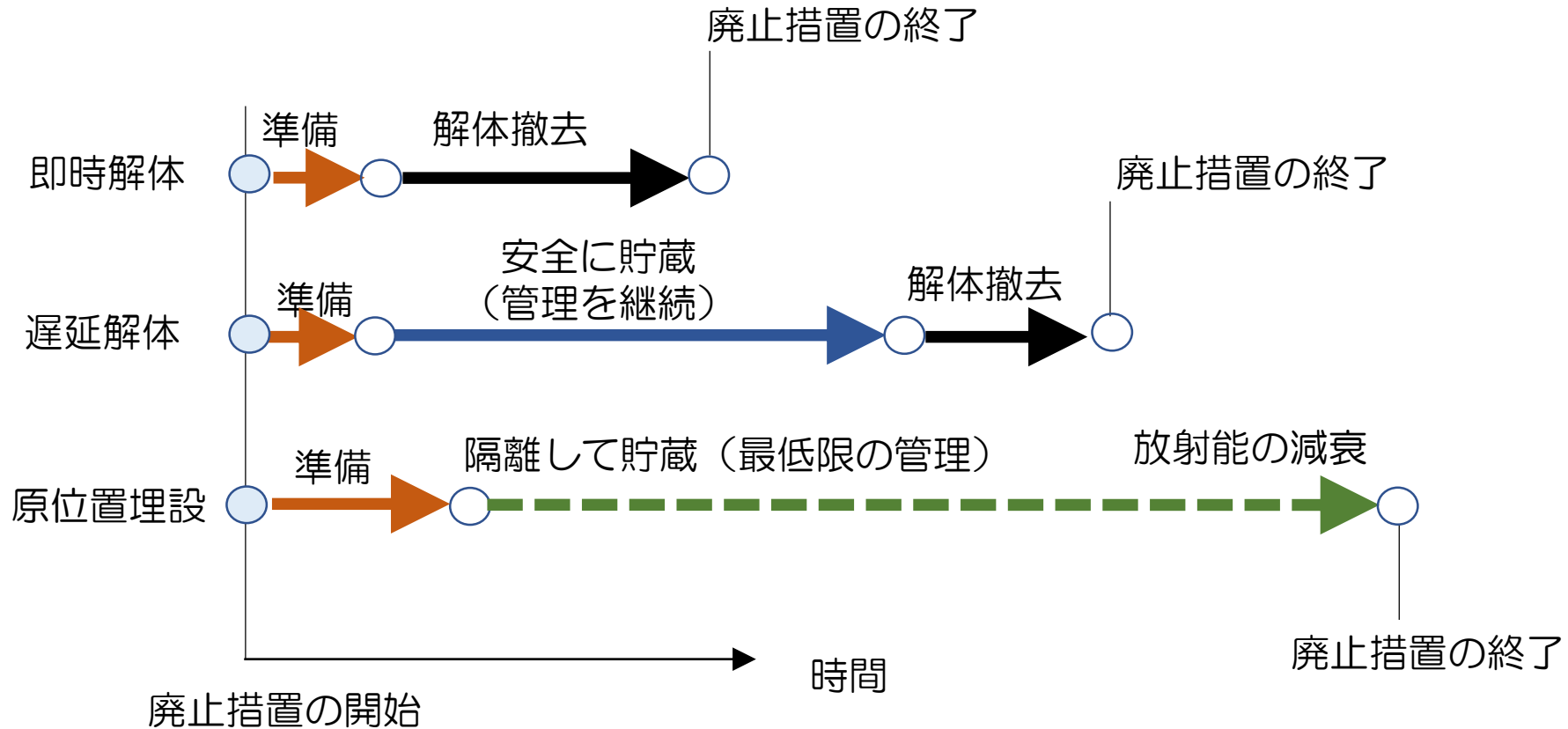
環境修復（サイト修復）

汚染源、または人や環境への被ばく経路を対象とし、汚染による被ばくを低減するために実施する活動。環境修復とは、必ずしもサイトの汚染を全量除去してバックグラウンド状態に戻すことを意味する訳ではなく、物理的、経済的、行政的な措置により汚染のリスクを低減、緩和することである。（OECD/NEA）

IAEA, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Standard Series No. WS-G-2.1, 1999

OECD/NEA, Strategic considerations for the sustainable remediation of Nuclear Installations, Radioactive Waste Management, OECD NEA 7290 2016

廃止措置の方式（時間軸で考える）



1F廃炉の廃棄物管理計画は？

- 廃炉の終了とはどういうことなのか
- 放射性廃棄物発生量はどのくらいになるのか
- 放射性廃棄物をどうするのか
- 放射性廃棄物を処分する場所はあるのか
- 最終的に1Fサイトはどうなるのか
- サイトの利用計画は必要ないのか

1 F施設の解体で発生する放射性 廃棄物量（予測）

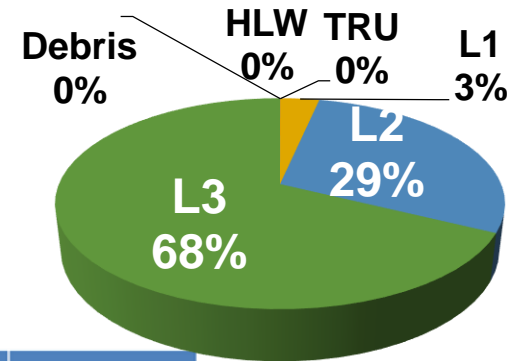
| 号基 | 出力 (MWe) | 放射性廃棄物 (トン) | 備考 |
|----|-------------|----------------|-------------|
| 1 | 460 | 146,670 | 施設全てが放射性と仮定 |
| 2 | 784 | 237,830 | 同上 |
| 3 | 784 | 237,830 | 同上 |
| 4 | 784 | 237,830 | 同上 |
| 5 | 784 | 7,650 | 通常炉と同じ |
| 6 | 1100 | 12,740 | 通常炉と同じ |
| 合計 | 880,550 | | |

サイト修復で発生する放射性廃棄物

発生廃棄物量 (5.6 Mm³, 7.9Mt)

試算の一例

1Fサイト修復では比較的レベルの低い放射性廃棄物と極めてレベルの低い放射性廃棄物が全体量を支配する。



| 処分形態を考慮した分類 | (1) 1~6号機までの解体で発生する廃棄物量の分類 | (2) その他の建屋・施設解体から発生する廃棄物量の分類 | (3) 水処理施設の解体から発生する廃棄物量の分類 | (4) 処理・貯蔵施設の解体から発生する廃棄物量の分類 | (5) 敷地内の環境修復から発生する廃棄物量の分類 | 合計 |
|--------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|
| HLW | 110 340 | 0 0 | 0 0 | 0 0 | 0 62 | 110 400 |
| TRU | 0 | 0 | 3 | 0 | 620 | 620 |
| L1 | 57,000 | 56,000 | 51 | 170 | 75,000 | 190,000 |
| L2 | 250,000 | 190,000 | 6,300 | 33 | 1,200,000 | 1,600,000 |
| L3 | 560,000 | 1,800,000 | 98,000 | 17,000 | 1,300,000 | 3,800,000 |
| クリアランス以下 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 放射性廃棄物でない廃棄物 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合計 | 860,000 | 2,100,000 | 100,000 | 17,000 | 2,500,000 | 5,600,000 |

単位：m³

放射性廃棄物の発生量低減と行先 をどうする

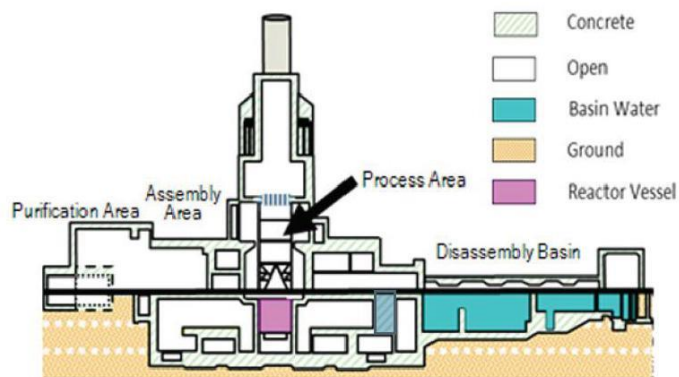
- クリアランス検認により「放射性廃棄物でないもの（廃棄物又は有価物）」を区分してサイト外で再生利用
- 焼却、圧縮、溶融などにより廃棄物を減容
- サイト内での限定再利用（容器などの製作）
- サイト内に保管
- 解体撤去する施設を限定する
- 長期貯蔵施設の整備

放射性廃棄物の対策に係る試み（1/2）

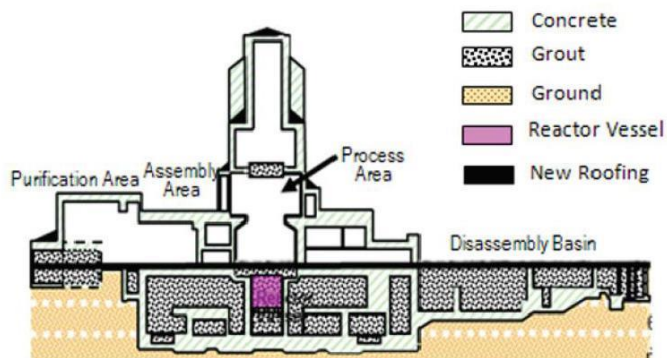
サバンナリバーにおける原子炉地下部の原位置埋設

現地埋設事例

Savannah River Site (In-Situ Decommissioning)



P Reactor before ISD



P Reactor after ISD

P and R reactors

原位置処分費用：2施設で
\$7,000万ドル

(解体撤去・運搬(処分を含まず)
の場合、1施設で\$2.5億ドルと
見積。)

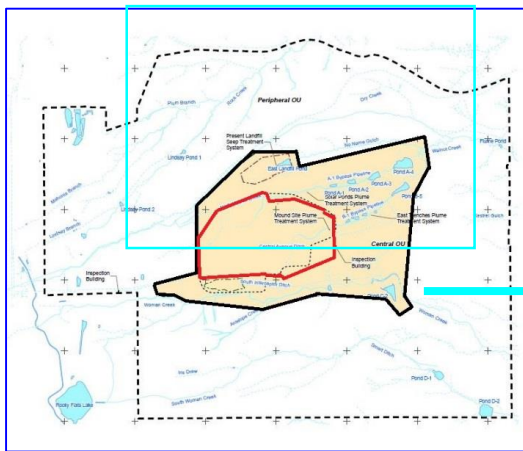
13,700tの廃棄物の発生を回避



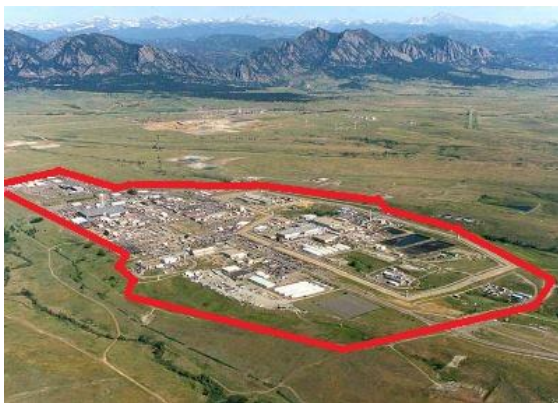
SRS P-Reactor Area Closure Project

放射性廃棄物の対策に係る試み（2/2）

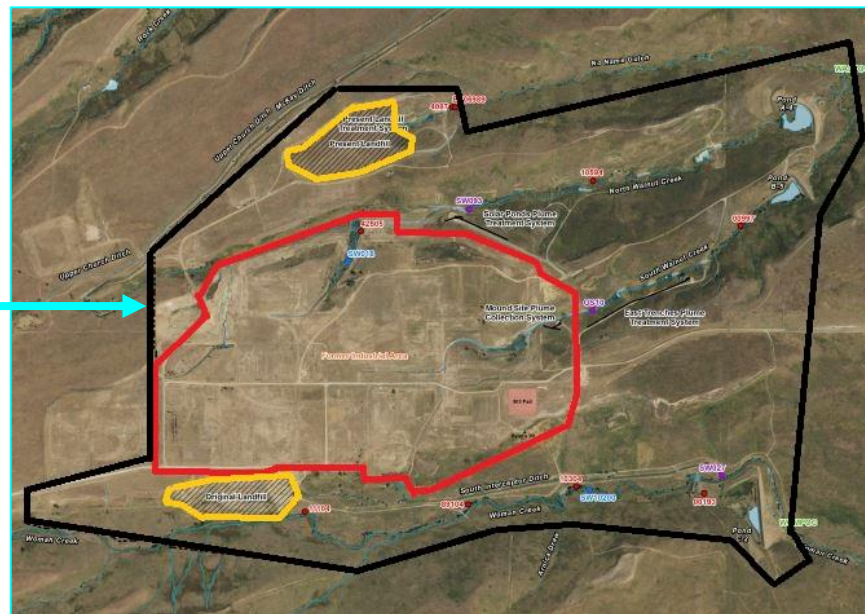
ロッキーフラッツのサイト修復におけるサイト内廃棄物の管理




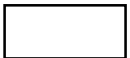


サイト全体の修復作業区分



修復前の工場エリア（2001年）



修復後の航空写真（2017年）

-  サイト境界線
-  修復エリア
-  工場エリア
-  サイト内廃棄物処分場

1F領域の区分：廃炉作業

①1-4号機原子炉・タービン建屋

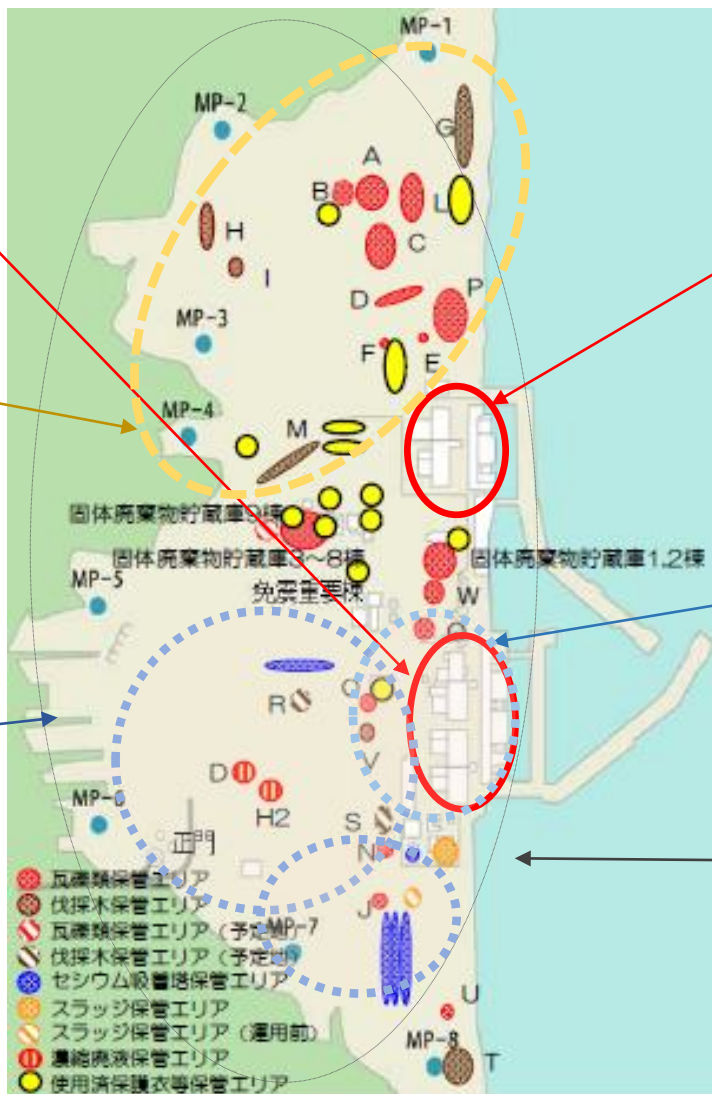
②5, 6号機原子炉・タービン建屋

③廃棄物処理保管施設
(事故前・事故後
建設含む)

⑤地下水管理施設

④トリチウム水
保管エリア

⑥管理棟、港湾・道
路・舗装・緑地など



1F領域の区分：環境修復作業

a) 冷却水が浸透しているエリア
(凍土壁内部。廃炉作業の領域①の地下部分とオーバーラップ)

b) 事故により表面が汚染したエリア
(廃炉作業の領域⑥とオーバーラップ)



c) 底泥

エンドステートに向けたシナリオの議論

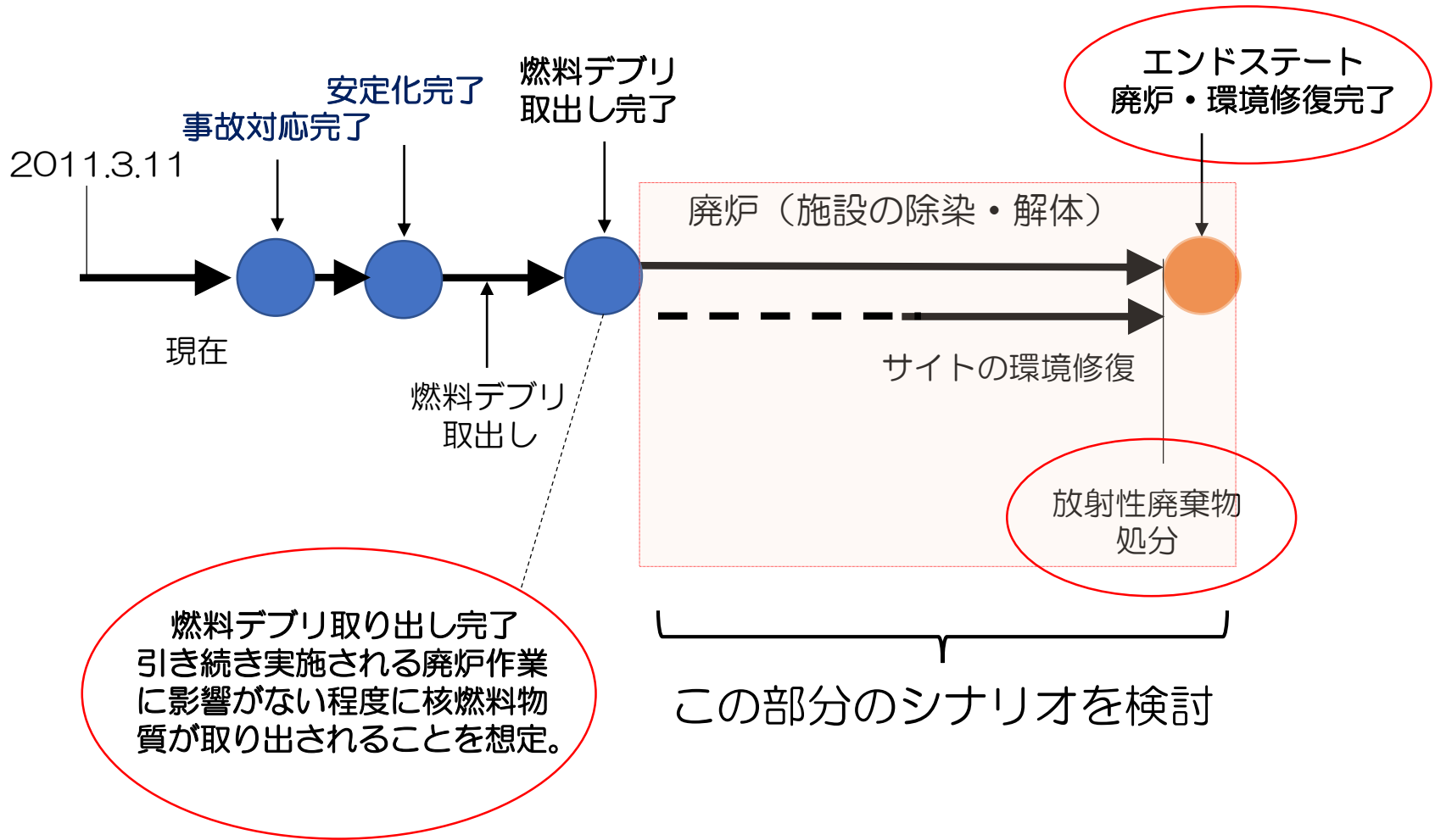
廃炉作業の開始から30～40年後^注の姿を含めて、1Fサイトをどうするのかの議論を始めても良いのではないかと

例えば

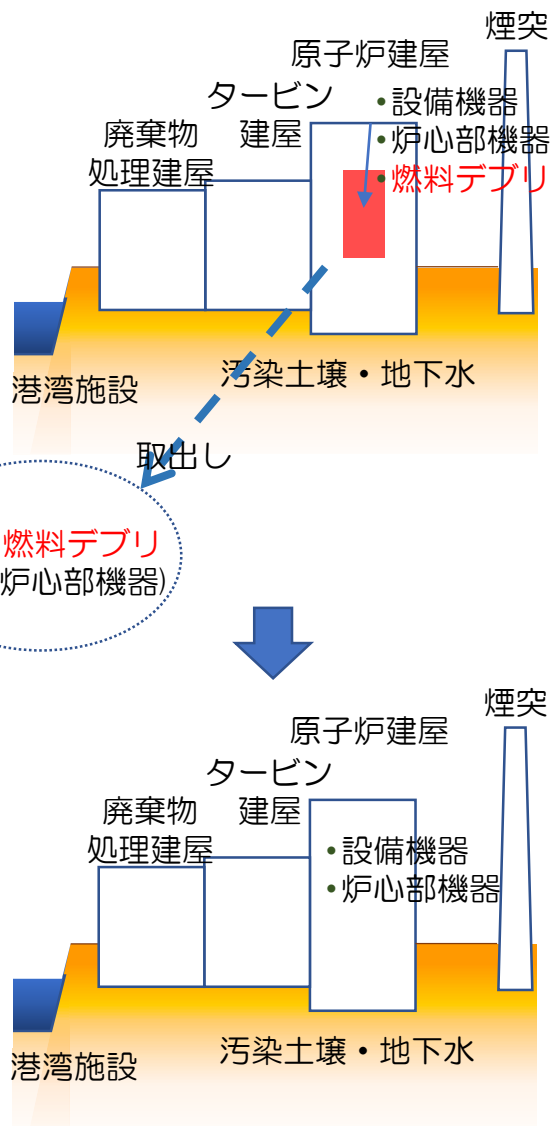
- 燃料デブリの取出しの終了条件：90%以上取り出せるのか
- 建屋の解体撤去はいつまでに実施するのか：廃炉終了の条件
- 原子力施設としての管理を終了するまでの期間を定めておくことが必要ではないか（例えば100年-300年）
- サイト全体の汚染除去・修復はどうするのか
- 放射性廃棄物の行先はどう決めるのか

注：中長期ロードマップが定義する廃炉の終了

議論の要点： シナリオ検討

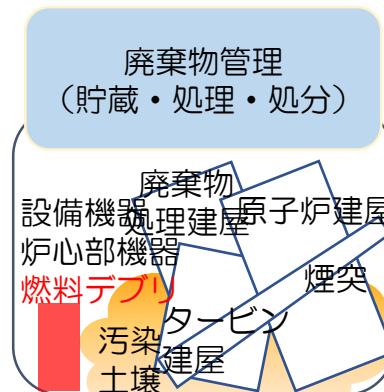


シナリオの検討：施設の解体・撤去



1. 全て撤去

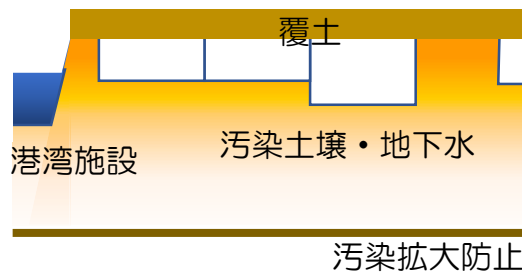
港湾施設



【廃炉】機器・構造物の全量を撤去。

【サイト修復】敷地内全域の汚染土壌を撤去。

2. 地上部のみ撤去

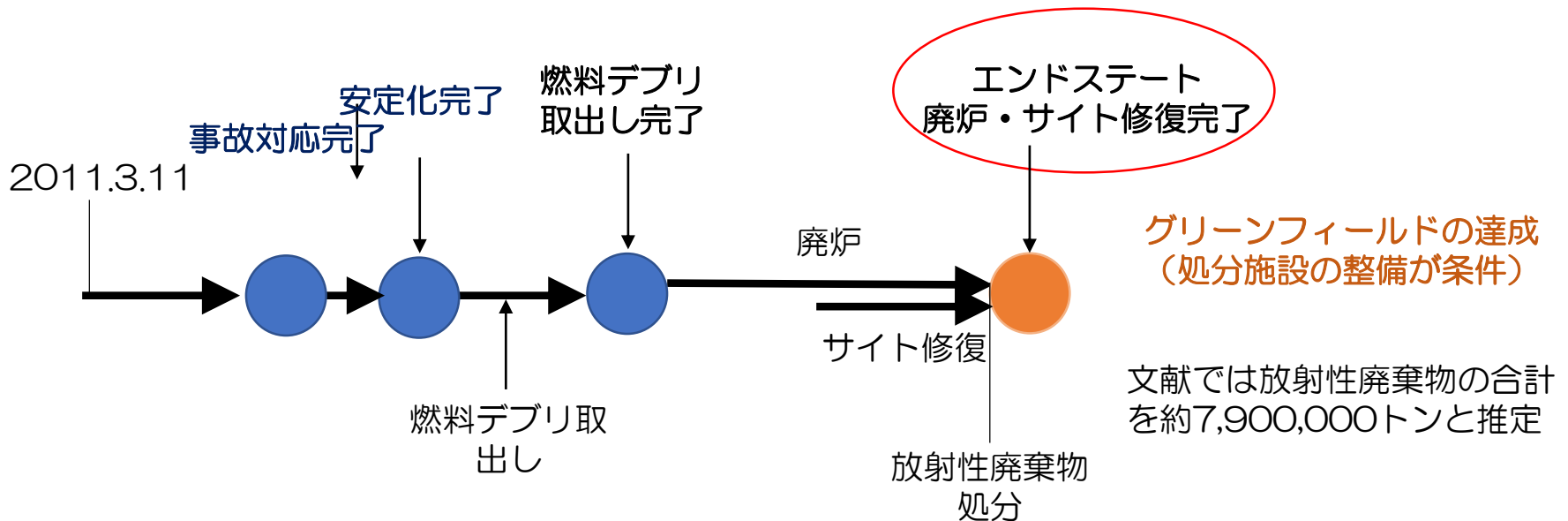


シナリオ1：施設全体を解体撤去

- 廃炉作業により機器・構造物の全量を撤去
- サイト修復（汚染撤去）によりサイト全域を制限なし敷地解放

特徴

- 大量に発生する廃棄物の処分先の確保が必要
- 完了後には土地を自由に使用することが可能



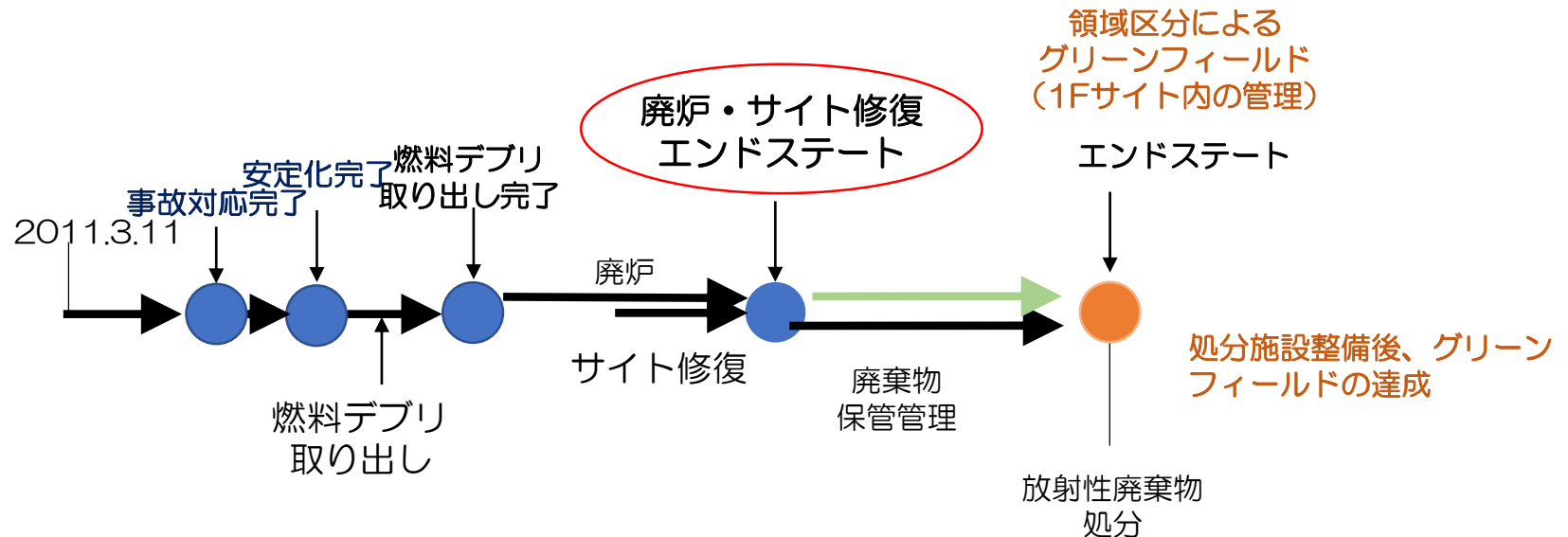
シナリオ2：構造物の一部を残存

(建屋・構造物の一部のみ解体撤去)

- ・ 廃炉作業により建屋・地下構造物の一部を解体・撤去、残存物は管理
- ・ 発生する放射性廃棄物を管理区域で保管
- ・ サイト修復（汚染撤去）によりサイトの一部を解放
- ・ 廃棄物の搬出が完了した時点でサイトの多くの部分を解放

特徴

- ・ 敷地の無制限再利用の可能性は少ない
- ・ 放射性廃棄物の発生量を低減できる
- ・ 敷地の一部を再利用することが可能

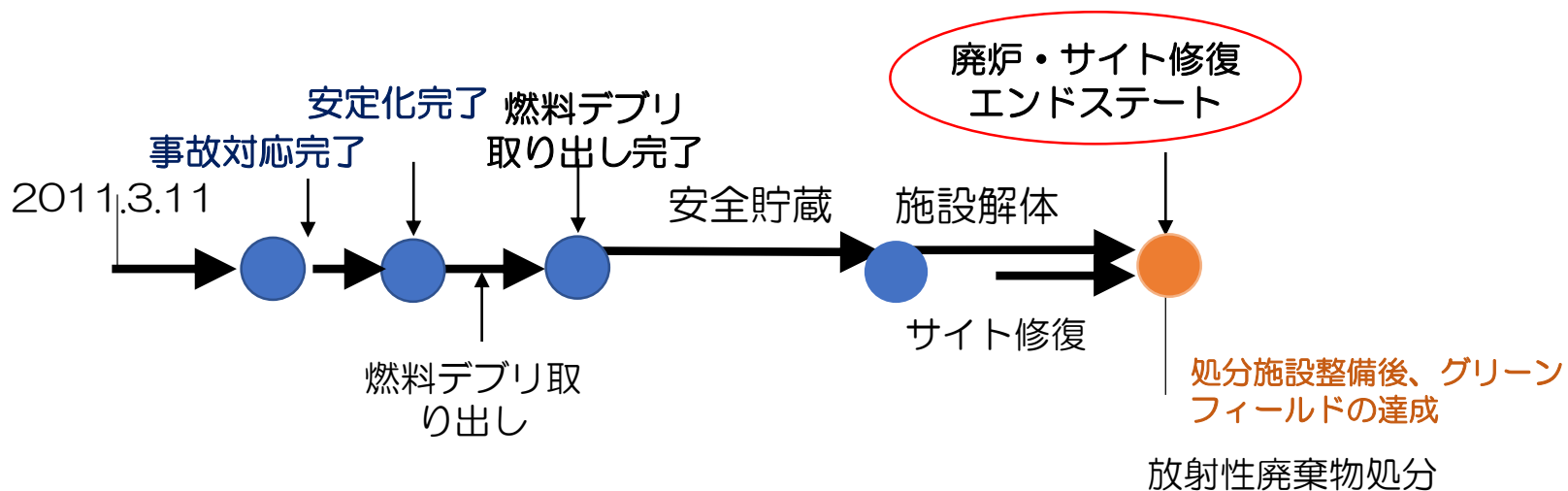


シナリオ案3：安全貯蔵後に施設全体を解体撤去

- 廃炉作業により遅延解体（安全貯蔵後に施設解体）
- 発生する放射性廃棄物を管理区域で保管
- 処分施設が確保された時点で放射性廃棄物を搬出
- サイト修復（汚染撤去）によりサイトの一部を解放

特徴

- 廃炉作業は先延ばしされる（将来の作業は容易）
- 敷地の早期の無制限再利用の可能性は少ない
- 放射性廃棄物の発生量を低減できる

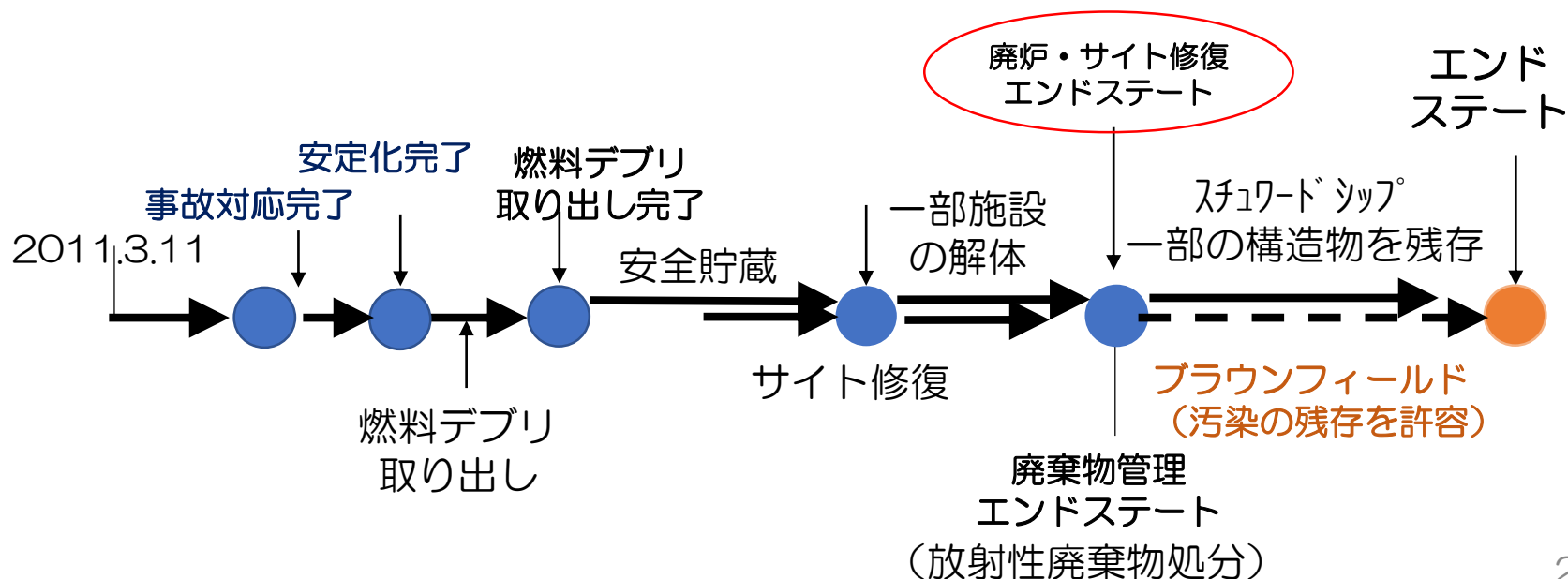


シナリオ4：安全貯蔵後に施設の一部を解体撤去

- 廃炉作業により遅延解体（安全貯蔵後に施設の一部を解体）
- 発生する放射性廃棄物を管理区域で保管。
- 処分施設が確保された時点で放射性廃棄物を搬出
- サイトの汚染は安全性を評価して監視（スチュワードシップ）

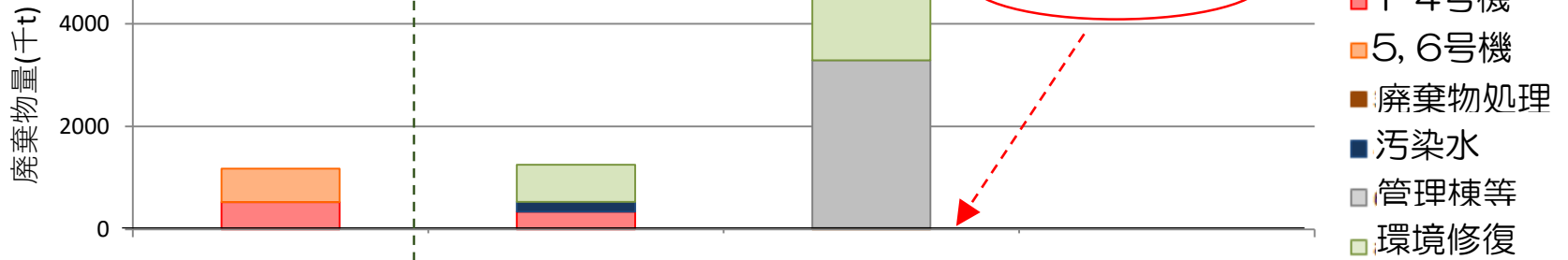
特徴

- 廃炉作業は先延ばしされる（将来の作業は容易）
- 敷地の無制限再利用の可能性は少ない
- 放射性廃棄物の発生量を大幅に低減できる

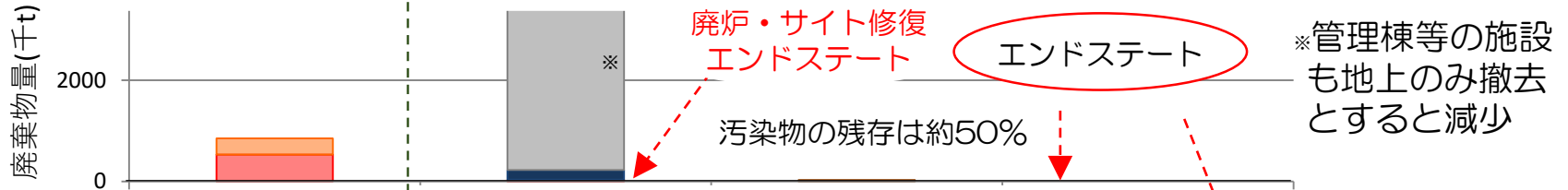


シナリオの廃棄物量の比較例

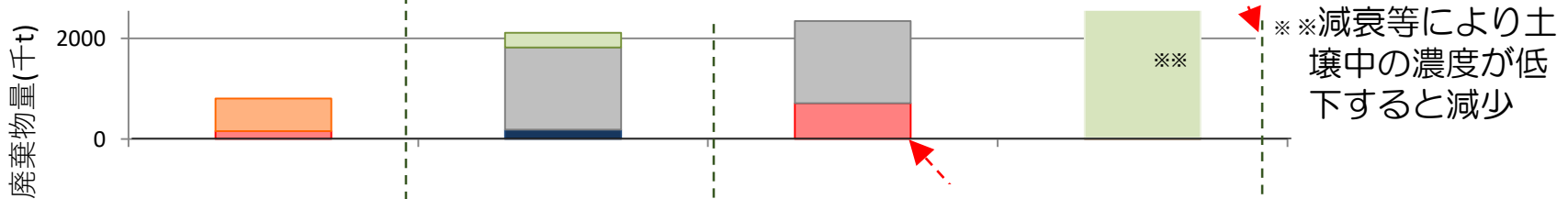
シナリオ案1 敷地開放



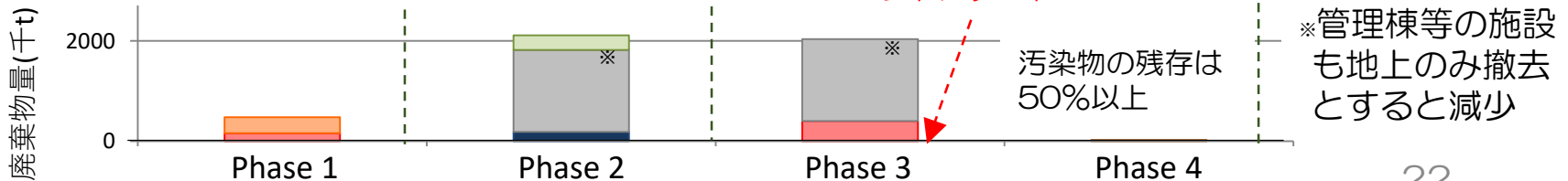
シナリオ案2 建屋・構造物の一部を解体撤去



シナリオ案3 安全貯蔵の後に施設全体を解体撤去



シナリオ案4 安全貯蔵の後に施設の一部を解体撤去



シナリオ検討に必要な視点

- サイトの再利用（一部/全部、制限/無制限）は可能か
 - ✓ 原子力施設
 - ✓ 非原子力施設
- 安全性（作業員及び公衆）は確保されているのか
- 経済性は確保されているのか
- 放射性廃棄物の安全な管理は可能か
 - ✓ 保管施設での長期保管
 - ✓ スチュワードシップ（安全性の評価）
- 放射性廃棄物の行先を決められるのか
- 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

まとめ

- 事故発生から8年が経過するが、廃炉終了の姿（エンドステート）、発生する放射性廃棄物の取り扱い（行先）などについて議論を進める必要があるのではないか。
- エンドステートまでの工程には異なるシナリオが存在；様々な立場から実現可能性のあるシナリオを議論することが必要ではないか。
- ステークホルダーの参加も含めて、シナリオ決定に必要な合意形成プロセスの検討が必要ではないか(公平性、透明性)。
- 1Fサイトを非原子力（または原子力）の活動に利用する可能性を考えてはどうか。
- 今の世代が実施しなくてはいけない課題と次の世代に託す課題を明らかにすることが重要ではないか。