

廃棄物処分と廃炉地盤工学

(一財) 電力中央研究所
渡邊保貴

1

コンテンツ

1. 廃炉までの工程 (※議論用の仮定)
2. 通常廃炉における廃棄物処分の考え方
3. 事故原子炉における廃棄物の発生
4. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた地盤工学の役割

2

エンドステートの選択肢

➤ エンドステートを踏まえた議論の重要性

- 1Fサイトの最終状態（エンドステート）からバックキャストで一連の取組みについて検討することが重要であることは、IAEA調査団（2013年4月）のコメントにもあり、多くの関係者が意識していることである。

表 想定した中間ステート及びエンドステートの選択肢（川崎（2018）をもとに作成）

事故炉の中間ステートの選択肢 （廃止措置完了時）	エンドステートの選択肢 （サイト修復時）
<ul style="list-style-type: none">全施設を撤去した状態一部施設のみ撤去した状態（原位置埋設）	<ul style="list-style-type: none">無拘束解放制限付き再利用原子力施設としての再利用利用しない

- ✓ 無拘束解放：放射能汚染を全て取り除き、300 μ Sv/y以下。
- ✓ 原子力利用：一部放射能レベルの高い領域を残すことも可能。
- ✓ 一部の領域を再利用しない：能動的なサイト修復作業を行わずに保守・監視

参考文献

- 川崎大介（2018）「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」現状及び活動報告（5），2018年日本原子力学会，3J_PL05.
- 日本原子力学会（2018）平成29年度福島第一原子力発電所廃炉検討委員会期末報告書。

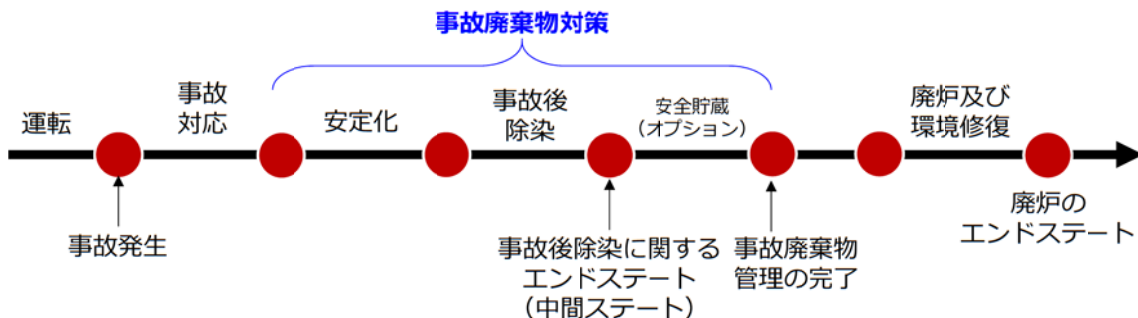
3

エンドステートに対応するシナリオの例

➤ エンドステートに基づくプロセスの具体化

- 廃棄物の発生量の予測が概ね可能となる。
- 保管方法、処分方法、発生量の低減等の議論に発展することができる。

➤ 事故から廃炉に至る工程（IAEA）

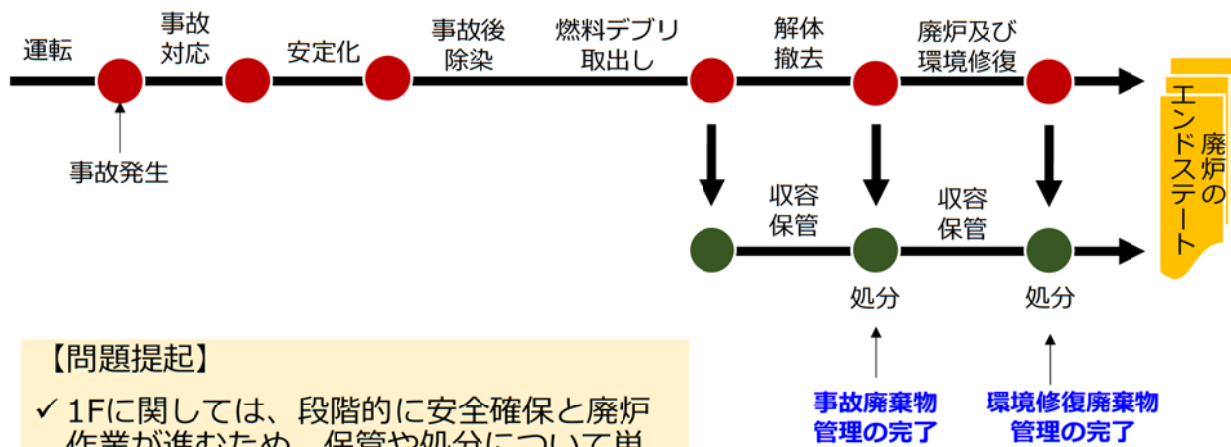


参考文献

- IAEA（2014）Experiences and lessons learned worldwide in the cleanup and decommissioning of nuclear facilities in the aftermath of accidents, IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-T-2.7.

4

1F廃棄物管理に着目した廃炉工程の例（※議論用の仮定）



5

コンテンツ

1. 廃炉までの工程（※議論用の仮定）
2. 通常廃炉における廃棄物処分の考え方
3. 事故原子炉における廃棄物の発生
4. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた地盤工学の役割

6

廃止措置の工程

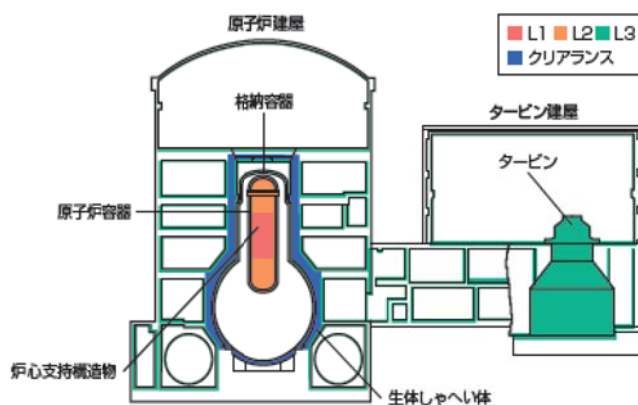
廃止措置各段階		実施内容
第1段階	解体工事準備期間	<ul style="list-style-type: none"> ・廃止措置対象施設からの燃料搬出 ・系統除染 ・汚染状況の調査 ・設備・機器の解体撤去工事
第2段階	原子炉領域周辺設備 解体撤去期間	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉領域周辺設備の解体撤去工事 ・系統除染（継続） ・汚染状況の調査（継続） ・建屋の解体撤去工事
第3段階	原子炉領域 解体撤去期間	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉領域の解体撤去工事 ・原子炉領域周辺設備の解体撤去工事（継続） ・建屋の解体撤去工事
第4段階	建屋等 解体撤去期間	<ul style="list-style-type: none"> ・管理区域の解除後、建屋の解体撤去工事 ・原子炉領域周辺設備の解体撤去（工事継続）

※表に示す工程は浜岡1，2号機の例
デコミッションング技報 第54号 pp.2-8（2016年9月）

7

汚染分布推定の例

■ 敦賀発電所1号機の推定汚染分布



図引用)
<http://www.japc.co.jp/plant/tsuruga/pdf/20150330.pdf>

■ 低レベル放射性廃棄物の推定発生量および資源の有効利用

放射能レベル区分	推定発生量
低レベル放射性廃棄物 ■ 放射能レベルの比較的高いもの【L1】	約40トン
■ 放射能レベルの比較的低いもの【L2】	約1,990トン
■ 放射能レベルの極めて低いもの【L3】	約10,760トン
■ 放射性物質として扱う必要のないもの (クリアランスレベル相当 [※] の廃棄物)	約7,800トン

※原子力発電所から出てくる廃棄物が、どのように加工、再利用あるいは廃棄物として埋められたとしても、人体への影響は無視できるレベル（自然界から受ける放射線量の1/100以下）。

《再利用例》

東海発電所の解体に伴い発生した撤去物（金属）を、ベンチの脚部に再利用しています。



げんでんふれあいギャラリー（敦賀市本町）

8

放射性廃棄物の濃度区分と処分方法

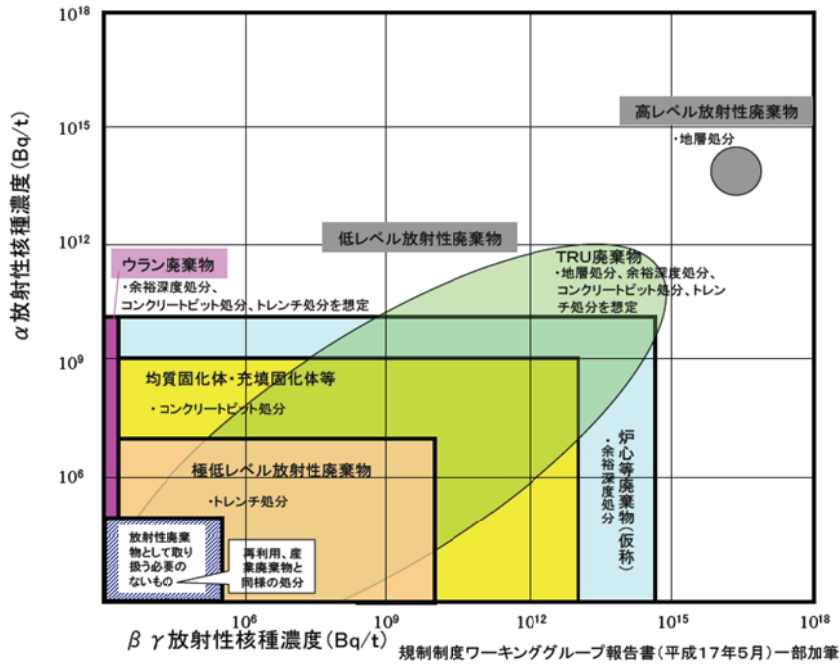
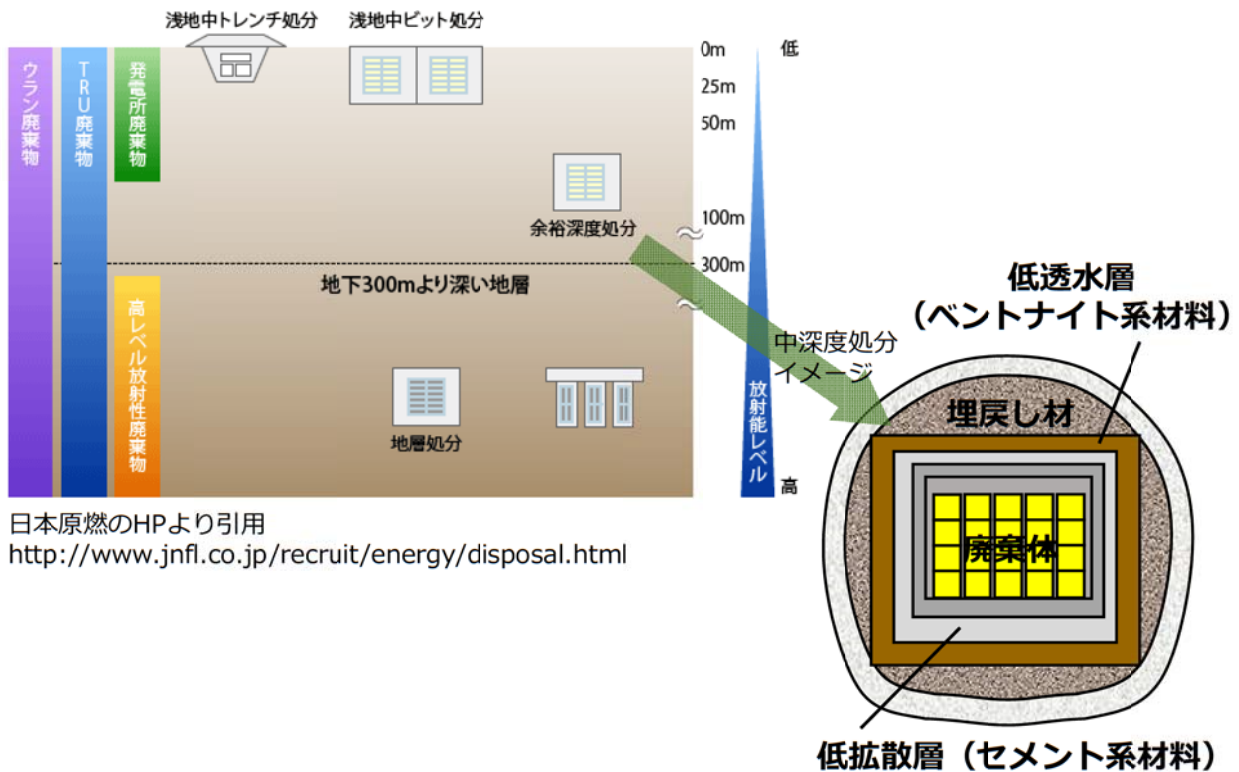


図2 放射性廃棄物の濃度区分及び処分方法

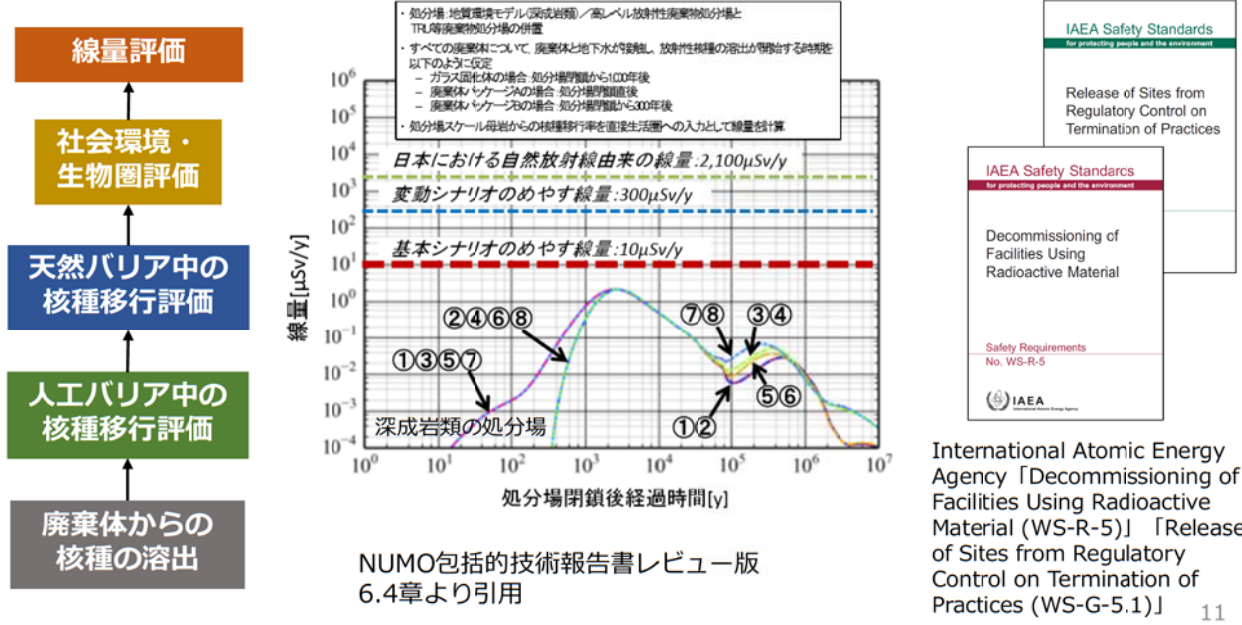
[出所]総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会報告書:「低レベル放射性廃棄物の
 余裕深度処分に係る安全規制について(中間報告)」(平成19年3月20日)、p.23/63、
http://searche-gov.go.jp/ser/vlet/Public?ANKEN_TYPE=3&CLASSNAME=Pcm1090&KID=620207001&OBJCD=&GROUP

通常廃炉を念頭とした放射性廃棄物処分の考え方



線量評価の例

- ✓ シナリオを作成し、被ばく線量評価を実施する。
- ✓ 放射線障害防止の観点から、安全確保のめやすとなる線量を満足するように設計する。



線量評価を見据えた確率論的アプローチの例

- ✓ 工学的・経済的な観点から設計・対策オプションを定量的に示しつつ、社会的な状況も検討材料に、設計・対策等の重みづけや最適化を図ることが大事。

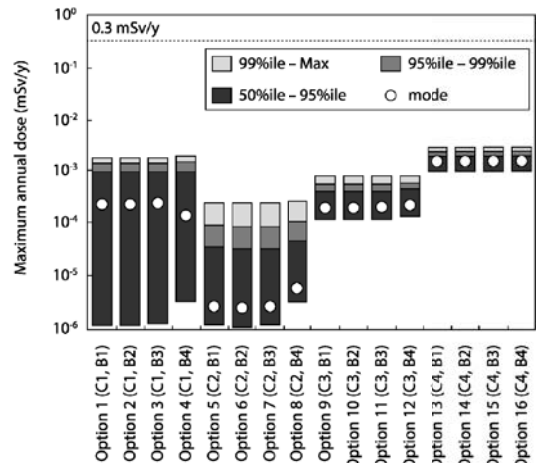
日本原子力学会和文論文誌 (2019), Advance Publication by J-stage, doi:10.3327/taesj.J18.003

論文

確率論的アプローチによる放射性廃棄物処分施設設計の最適化手法の具体化に向けた検討：
核種移行評価パラメータの設定方法

中林 亮^{1*}, 渡邊 保貴², 湊 大輔², 杉山 大輔¹

Case ID	Required value of k [m/s]	Bentonite specification	Probability distribution	Engineering and economic costs
B1	10 ⁻¹⁴	Kunigel V1 B/S ^{a)} ratio = 100 [%] ρ _c ^{b)} = 2.64 [Mg/m ³]	Upper limit = -12 Lower limit = -16	Higher
B2	10 ⁻¹⁴	Kunibond B/S ratio = 100 [%] ρ _c = 1.60 [Mg/m ³]	Mean = -14 Standard deviation = 0.336	From the viewpoint of engineering feasibility, stability of material supply, and controllability of material quality
B3	10 ⁻¹³	Kunibond B/S ratio = 100 [%] ρ _c = 1.41 [Mg/m ³]	Mean = -13 Standard deviation = 0.167	
B4	10 ⁻¹²	Kunigel V1 B/S ratio = 70 [%] ρ _c = 1.33 [Mg/m ³]	Mean = -12 Standard deviation = 0.167	
			Lower	



^{a)} Bentonite/sand.
^{b)} Effective clay dry density.

1. 廃炉までの工程（※議論用の仮定）
2. 通常廃炉における廃棄物処分の考え方
3. 事故原子炉における廃棄物の発生
4. 福島第一原子炉廃炉工事の廃炉に向けた地盤工学の役割

国外における事故炉の例
特に、廃棄物関連

13

Three Mile Island Accident

➤ Three Mile Island (TMI)の事故

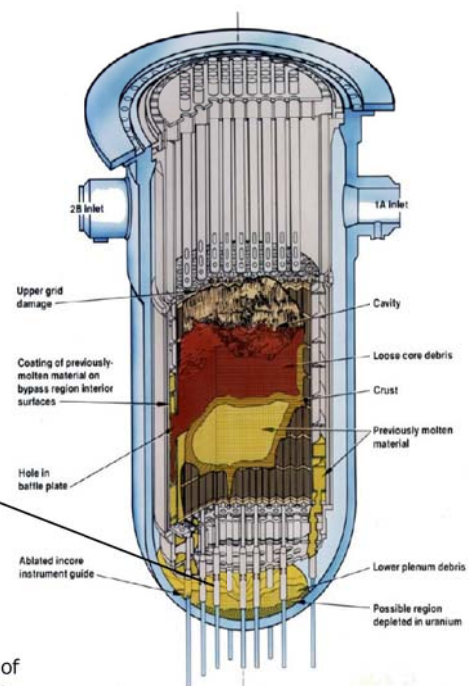
- 2号機、加圧水型（PWR）
- 1979年3月28日に事故発生
- 一次冷却材の流出、炉心の冷却不足
→上部2/3程度が露出したと推定
- 事故発生から15時間50分後、一次冷却材ポンプと蒸気発生器を通じた除熱を行い、事故は制御可能な状態に到達



炉心物質の約70%が溶融し、この内の約20tonが下部プレナムに落下

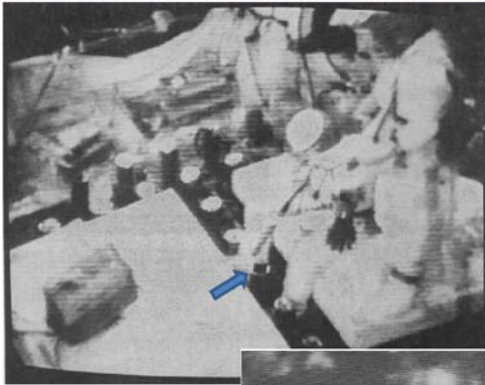
参考文献

・ U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.



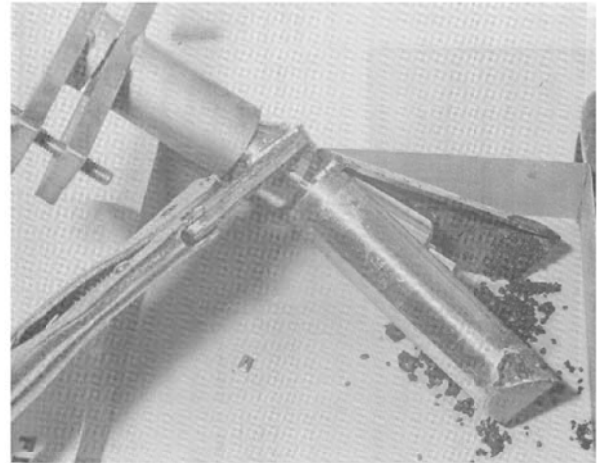
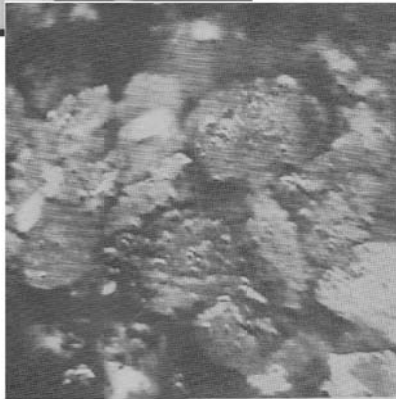
14

Three Mile Island Accident



◆ 画像撮影の様子。

格納容器上部からカメラを挿入
(1982年7月)



- ◆ Core grab sample tool
- ◆ 瓦礫だまりから採取した燃料デブリ
(1983年9月)

引用元

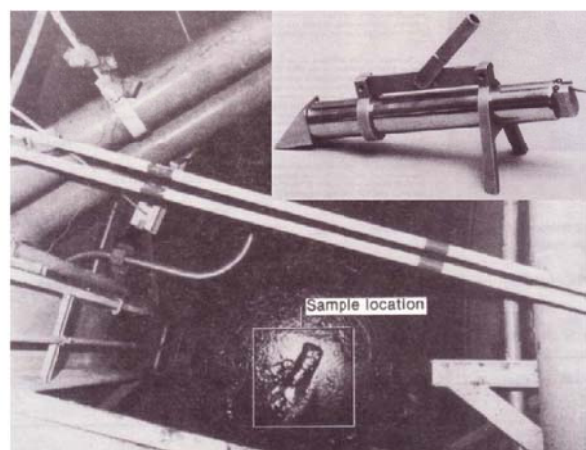
U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

15

Three Mile Island Accident



- ◆ 格納容器の下側
- ◆ Gravel-like pile of core debris
(1985年2月)



- ◆ Solenoid-operated sampler
- ◆ 原子炉建屋底部からのスラッジ採取
(1982年6月)

引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

16

Three Mile Island Accident



- ◆ 原子炉建屋内に設置してあった電話
- ◆ 水素燃焼により200～220℃に曝されたと想定される

引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

17

Three Mile Island Accident



- ◆ 原子炉建屋の底部に溜まった汚染水
- ◆ 深さ8フィート、脱塩装置が水没している様子

引用元

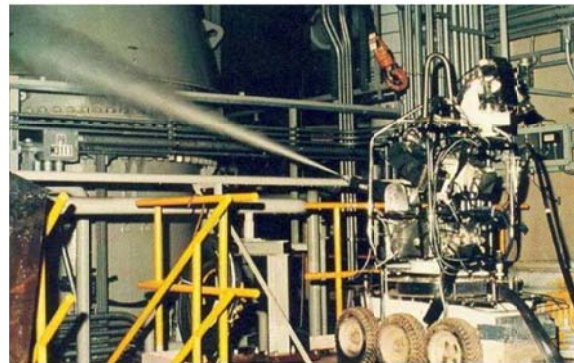
U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

18

Three Mile Island Accident

➤ 除染作業

- 吹き付け
- 化学薬品除染
- 乾燥減圧吸引
- 低圧、高水、超高压水噴射
- 荒削り（床、壁）
- 蒸気・吸引
- 剥離性コーティング
- 洗浄（スクラブ）
- ウェット吸引



引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

19

Three Mile Island Accident

➤ 処理水の処分に関する環境アセスメント（比較的low濃度）

- 事故および除染作業で発生した約2.3億ガロンの汚染水(slight radioactive water)の処分方法（1986年7月提案）
 - 汚染水の大气中への蒸発
 - 残渣としては少量のトリチウム、セシウム137、ストロンチウム90、および、大量の非放射性ホウ酸と水酸化ナトリウム
 - 残渣はオンサイトで固化し、低レベル放射性廃棄物として処分する計画
- NRCは上記提案をアクセプト
 - それに代わる汚染水の処分方法がないことを補足



◆ 蒸発による水処分・固形分回収システム

引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

20

Three Mile Island Accident

➤ 処理水の処分に関する環境アセスメント

- 比較的高い放射能の汚染水処理
 - ろ過とイオン交換による放射性核種の除去（1979年10月にEPICOR II再稼働）
 - 中レベルに相当する汚染水10万ガロン、高汚染水に相当する原子炉建屋槽中の70万ガロン+原子炉冷却システム中の95万ガロン
- NRCは除染と放射性廃棄物処分に関する環境影響報告書を発行（NUREG-0683, 1981年3月）
- NRCとDOEはTMI-2から出た固体放射性廃棄物の除去と処分について2機関協働関係を正式化（1981年7月）
 - 放射能レベルの低いものは通常の低レベル放射性廃棄物処分とする計画



- ◆ EPICOR II：比較的高い放射能の汚染水を対象とした核種除去システム
(写真はプレフィルター部)

引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

21

Three Mile Island Accident

➤ 固体廃棄物の一時保管

- TMIサイトは放射性廃棄物処分サイトになるべきではないこと、損傷した燃料や放射性廃棄物を長期保管するだけの安全基準を満足していないことがNRCにより結論づけられ、一時保管施設を建設
- 対象は主に、
 - 核種除去システムで使用済みの樹脂
 - 汚染された衣類、道具、機器
 - 除染作業で使われた材料



- ◆ 固体廃棄物の一時保管施設

引用元

U.S. NRC (2016) Three mile island accident of 1979 knowledge management digest, Recovery and cleanup, Office of Nuclear Regulatory Research, NUREG/KM-0001 Supplement 1.

22

事例を踏まえて

【問題提起】

- ✓ 汚染水処理後の二次廃棄物も含めて、固体系廃棄物の性状が明らかとなり分別されれば、通常放射性廃棄物処分の枠組みで処分計画を進めることが、安全評価上は可能のように思われる。（そのような理解でよいのか？）
- ✓ 通常放射性廃棄物処分事業の進捗や、事故対応過程で発生する汚染物質の分別は決して容易ではない可能性を考慮すると、1F構内において中長期的に汚染物質を保管する方法を“将来的な技術開発を視野に入れて”議論することが重要ではないか？

23

コンテンツ

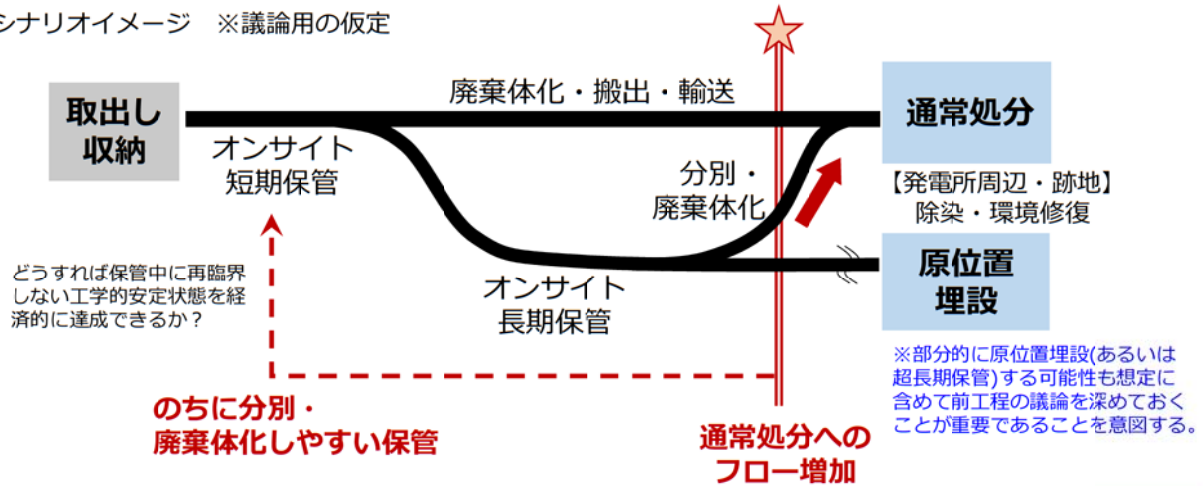
1. 廃炉までの工程（※議論用の仮定）
2. 通常廃炉における廃棄物処分の考え方
3. 事故原子炉における廃棄物の発生
4. **福島第一原子力発電所の廃炉に向けた地盤工学の役割**

24

今後の廃炉地盤工学における着眼点（私案）

- ① 通常廃炉を念頭に進められてきた廃棄物処分研究・技術開発の深化と実用化
- ② 将来的な分別や廃棄体化を考慮した燃料デブリ等の保管方法
- ③ 種々の放射性元素を想定した発電所跡地の環境修復・地盤改良技術

シナリオイメージ ※議論用の仮定



地盤工学の技術や知見は今後ますます有用。取出しが本格化する前段階から継続的支援が重要

25

本資料は、議論の素材とするため、私見を含む内容となっています。省略した記載や説明、誤記が含まれている可能性がありますので、正確な情報は参考引用文献を参照するようお願いいたします。