

2021年2月23日

グリーンピープルズパワー オンラインセミナー

汚染水対策と デブリ長期遮蔽管理方式

筒井哲郎

(原子力市民委員会・プラント技術者の会)



目次

Part 1 汚染水対策

1. 汚染水放出問題の現状

- (1) 政府の意向
- (2) 汚染水タンク内水量
- (3) トリチウム以外の核種も残留
- (4) 大型タンクによる長期保管—選択肢1
- (5) モルタル固化による永久処分—選択肢2
- (6) 長期期保管の最大メリット—減衰

2. 汚染水対策取り組みの経緯

- (1) 汚染水流出防止の努力

目次

Part 2 デブリ取出しという「中期ロードマップ」の計画

3. デブリ取出しのアナウンス

- (1) デブリ取出しの着手費用
- (2) 拡大に向けた「準備工程」
- (3) デブリ取出しに要するという敷地

4. デブリ取出しを急いではいけない

- (1) 全量取出しができない
- (2) デブリの行き先がない
- (3) 現行政府案
- (4) デブリは取り出さない方が安全

目次

Part 3 デブリの「長期遮蔽管理方式」の提案

5. 空冷化システムの概念と成立性

- (1) デブリの成分と分布
- (2) デブリの発熱量
- (3) 受動型空冷システム
- (4) ペDESTAL内側の温度分布
- (5) 2号機圧力容器底部デブリの温度分布

6. 長期遮蔽管理のための対策

- (1) 外構シールド
- (2) 安全上の配慮

7. まとめ

1.汚染水放出問題の現状

(1)政府の意向

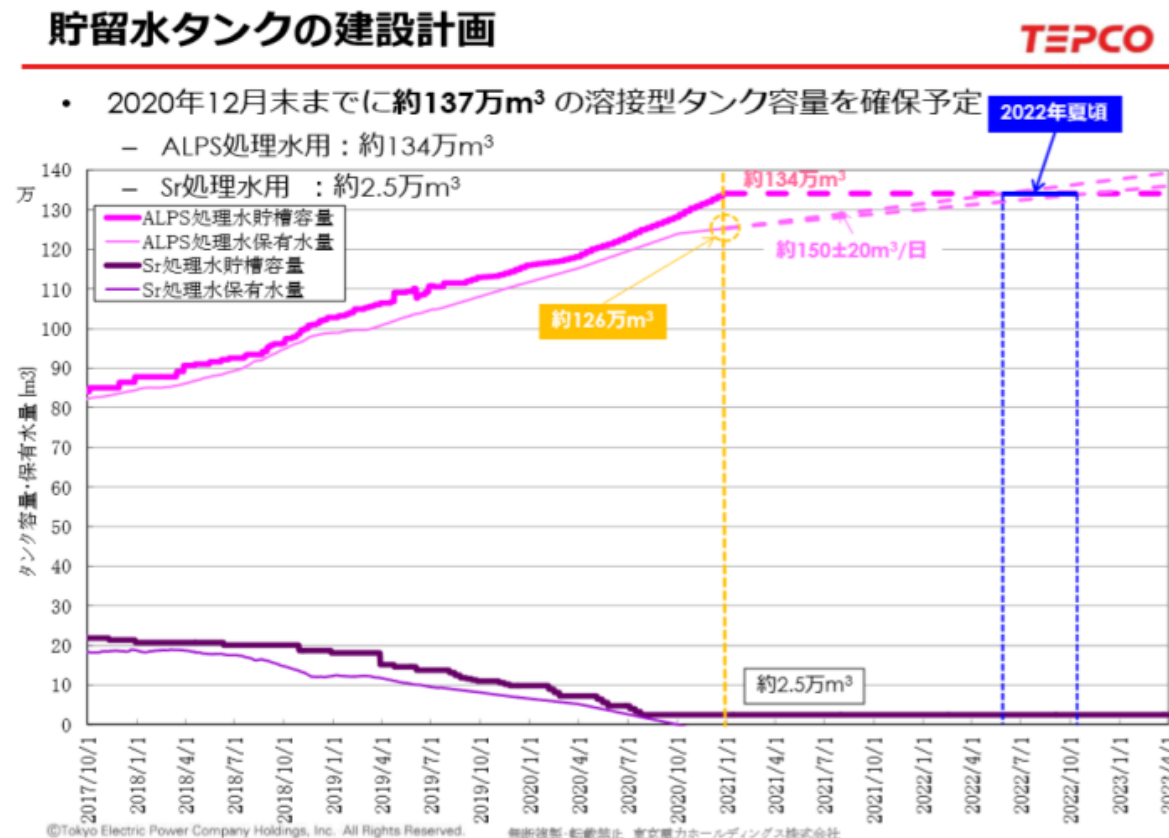
- 昨年暮れまで汚染水海洋放出を近いうちに決定するというほのめかしがあった。
- 1月下旬には「先送りせず適切な時期に」「タンク満杯の時期は22年秋以降」と。
- デブリ取出し開始を22年度からに延期。フロアの高線量と、ロボット製作の遅れ。

- ・デブリ取り出しはもともと無理
- ・取出して敷地に置いたら、今より危険になる

1.汚染水放出問題の現状

(2) 汚染水の現状

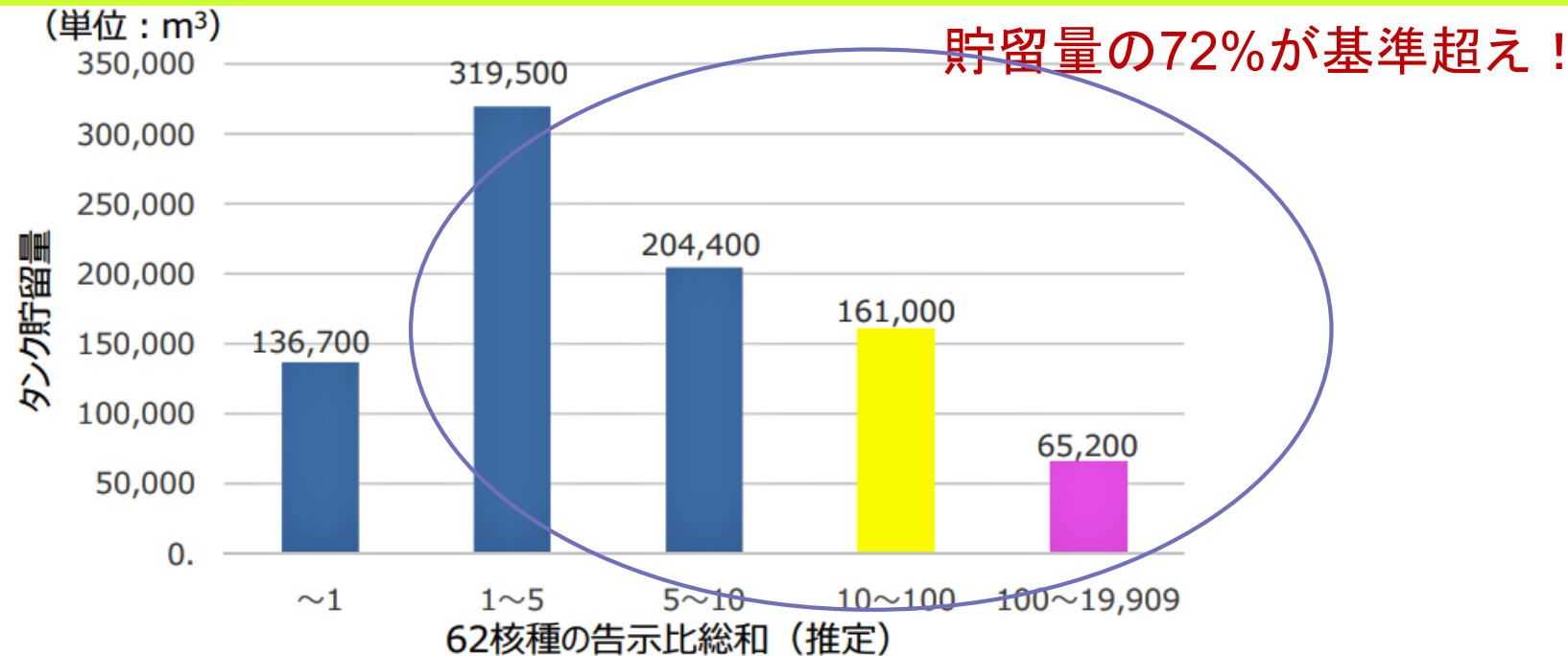
- 約100 – 180 m³/日で増加
- 総貯水量: 117万m³(ALPS処理水 + Sr処理水) @2019年10月31日
- トリチウム量: 約856兆Bq (平均 73万Bq/L)
- 貯水可能量: 137万m³(東電は敷地制限により2022年夏頃に到達と)



現在⇒123万m³
@2020年9月17日
東電「処理水ポータルサイト」より

1.汚染水放出問題の現状

(3)トリチウム以外の核種も残留



- 基準超え核種：ルテニウム、Sr90、ヨウ素129など
- 東電は再浄化することで基準内に収めると
⇒2020年9月15日より「増設多核種除去設備(ALPS)」にて処理試験を開始。10月15日、東電は約1,000トンについて8種類の核種は基準値を下回ったと発表。

1.汚染水放出問題の現状

(4)大型タンクによる長期保管一選択肢1

■ 利点

- 保存期間中の放射能減衰
- 石油備蓄に多くの実績を有する堅牢さ
- 面積当たりの貯水量向上



■ 仕様

- 容量: 10万m³/基(net) /基
- 型式: ドーム型屋根、水封ベント付き
- 材質: 高張力鋼(+充分な腐食代)

■ その他

- 建設候補場所: 土捨場予定地、敷地後背地等
- 工期: 18~24か月
- コスト: 20~30億円/基

1.汚染水放出問題の現状

(5)モルタル固化による永久処分—選択肢2

写真は米国サバンナリバー核施設(SC州)にて実施中の低レベル廃液モルタル固化施設



低レベル汚染水をセメント、砂と共にモルタル固化し、コンクリートタンクの中に流し込む

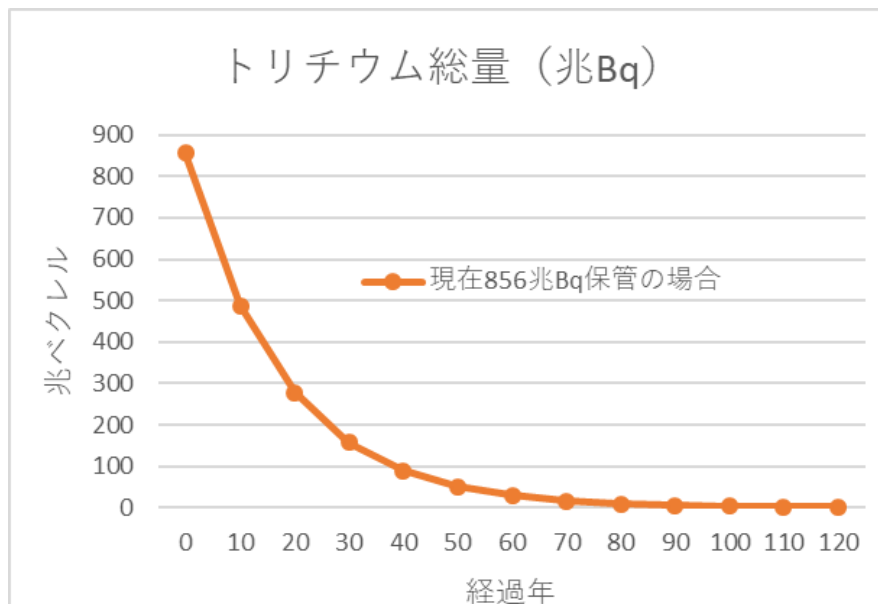
2018年10月に完成した大型
コンクリートタンク
“Salt Disposal Unit (SDU) 6”
容量: 124,000m³



1.汚染水放出問題の現状

(6)長期保管の最大のメリットー減衰

- 保管中のトリチウム量：約856兆Bq
(2019年11月18日東電発表資料：117万m³ x Av. 73万Bq/L)
- 半減期： 12.3年
- 減衰グラフ(ただし、増加汚染水は考慮せず)



減衰の例

50年後⇒ 1/17

100年後⇒ 1/274

123年後⇒ 1/1024

● トリチウム総量について～東電見解(2019年12月23日小委員会資料)

原子炉内で発生したトリチウム総量は2,069兆Bqと評価(2020.1.1時点)。
タンクに貯留されている860兆Bqを引くと最大1,209兆Bqが建屋内に残存していることになる。

2. 汚染水対策取り組みの経緯

(1) 汚染水流出防止の努力

- 事故直後、地下コンクリート壁提案：馬淵首相補佐官
- ベントナイトでシールした貯水槽建設：水漏れで廃止
- 土木工事用仮設水槽（耐用年数1年）：後日溶接タンクと交換
安倍首相の「汚染水はアンダーコントロール」演説
- 凍土壁建設の発注：この後、原子力規制委員会は凍土壁の性能を厳しく追及
台風などで汚染水流出
- 地下水バイパス（汲み上げ井戸）、サブドレンポンプ設置
- 海岸防水壁建設
- 敷地全面舗装



このように汚染水流出防止は重要な対策であり、
原子力規制委員会も厳しい規制を行っていた。
規制委員会が海洋放出を促すようになったのは職責違反。

3. デブリ取出しのアナウンス

(1) デブリ取出しの着手費用

参考、「廃炉中長期実行プラン2020」を踏まえた燃料デブリ取り出しに係る支出

6

- 本年3月27日に公表した同プランの作業プロセスをもとにした支出想定額は1兆3,700億円
で、そのうち作業費用に係る支出は3,500億円

 …廃炉中長期実行プラン2020に基づき実施する内容

	試験的取り出し (2号機)	段階的な取り出し規模の拡大 (2号機)	取り出し規模の更なる拡大	想定支出
① 準備作業	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋内環境改善 ● 内部調査 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋内環境改善 ● 訓練・試運転 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建屋内外環境改善 ・ PCV水位低下 ・ 線量低減等 ・ 排気筒解体 ・ 変圧器撤去等 	3,300億円 (※)
② 設備の 設置	<ul style="list-style-type: none"> ● 取り出し装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃料デブリ取り出し設備 ● 安全システム ● 燃料デブリー時保管設備 ● メンテナンス設備 	(3号機) <ul style="list-style-type: none"> ● 燃料デブリ取り出し設備 ● 安全システム ● 燃料デブリ保管施設 ● メンテナンス設備 	1兆 200億円
③ デブリ 取り出し	<ul style="list-style-type: none"> ● 試験的取り出し 	<ul style="list-style-type: none"> ● 段階的な取り出し規模拡大 	想定困難	200億円 (※)

(※)計3,500億円

合計 1兆 3,700億円

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

出典:「2019年度の連結業績予想について」東京電力、2020年3月30日、Sheet 6

<https://www.tepco.co.jp/press/release/2020/pdf1/200330j0301.pdf>

原子力市民委員会

3. デブリ取出しのアナウンス

(2) 拡大に向けた「準備工程」

参考. 燃料デブリ取り出しの工程と実施内容

7

- 2031年までに、2号機で段階的に取り出し規模を拡大し、取り出し規模の更なる拡大に向けた準備を進める予定



※3号機を先行して検討を進め、1号機に展開することを想定

終わりは
不明

出典:「2019年度の連結業績予想について」東京電力、2020年3月30日、Sheet 7

<https://www.tepco.co.jp/press/release/2020/pdf1/200330j0301.pdf>

原子力市民委員会

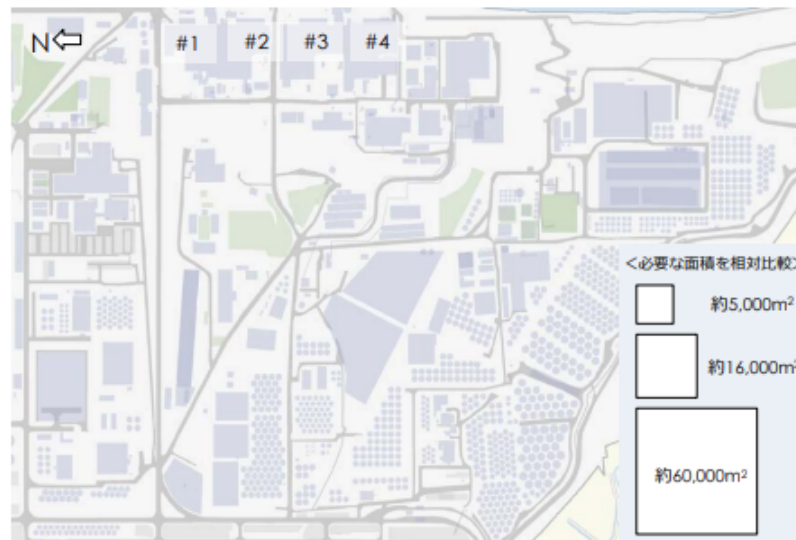
3. デブリ取出しのアナウンス

(3) デブリ取出しに要するという敷地面積

廃炉事業に必要と考えられる施設

TEPCO

- ① 多核種除去設備等処理水を貯留するためのタンク
(処理水の発生に応じ)
 - ②-1 使用済燃料や燃料デブリの一時保管施設
 - 乾式キャスク一時保管施設：約21,000m²（2020年代前半）
 - ・ 1～6号機使用済燃料プール用：約5,000m²
 - ・ 共用プール用：約16,000m²
 - 燃料デブリ一時保管施設：最大約60,000m²（2020年代後半）
- 計 約81,000m²



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社



首尾よく取り出せたらという前提

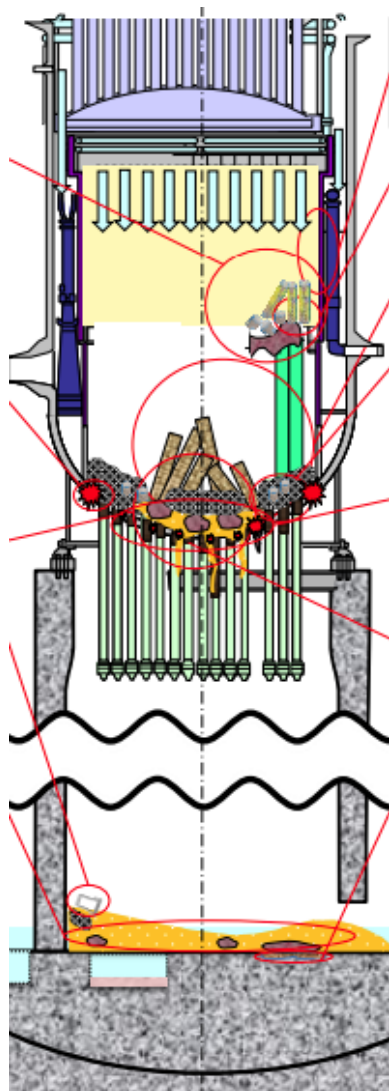
同じ敷地に置くのなら、格納容器・原子炉建屋の中がより安全

出典：「廃炉事業に必要と考えられる施設と敷地」東京電力、2019年9月27日、Sheet 2

https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/takakusyu/pdf/014_03_01.pdf

4. デブリ取出しを急いではいけない

(1) 全量取出しができない



凡例	
	残留燃料棒及びその残骸
	酸化物デブリ(多孔質)
	粒子状デブリ
	燃料デブリ(金属を多く含む)
	コンクリート混合デブリ
	CRGT
	破損したCRGT

デブリ取出しは困難である:

- 左図のようにコンクリート層や鋼構造物と融合しているものが多く、全量を取り出せない。
- デブリを取り出したら核物質管理に関する査察を受けなければならない。微細な量まで管理できない。
- 格納容器内は80Sv/hの放射能が観測されている。200年後でも1.6Sv/hでとうてい人が近づけない。
- 本来アクチノイド核種はグローブボックスやホットセルの中でマニピュレータを使って扱う。内部被ばく管理を厳格に行わなければならない。そのように厳しい作業は現実的に無理である。

出典:「廃炉・汚染水対策事業費補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)」

IRID,エネルギー総合工学研究所、平成30年6月、Sheet 18

https://irid.or.jp/_pdf/20170000_01.pdf

2. デブリ取出しを急いではいけない

(1) 全量取出しができない(つづき)



力仕事: デブリ塊を
砕いて取り出す

力仕事と精密仕事を
並立する困難さ



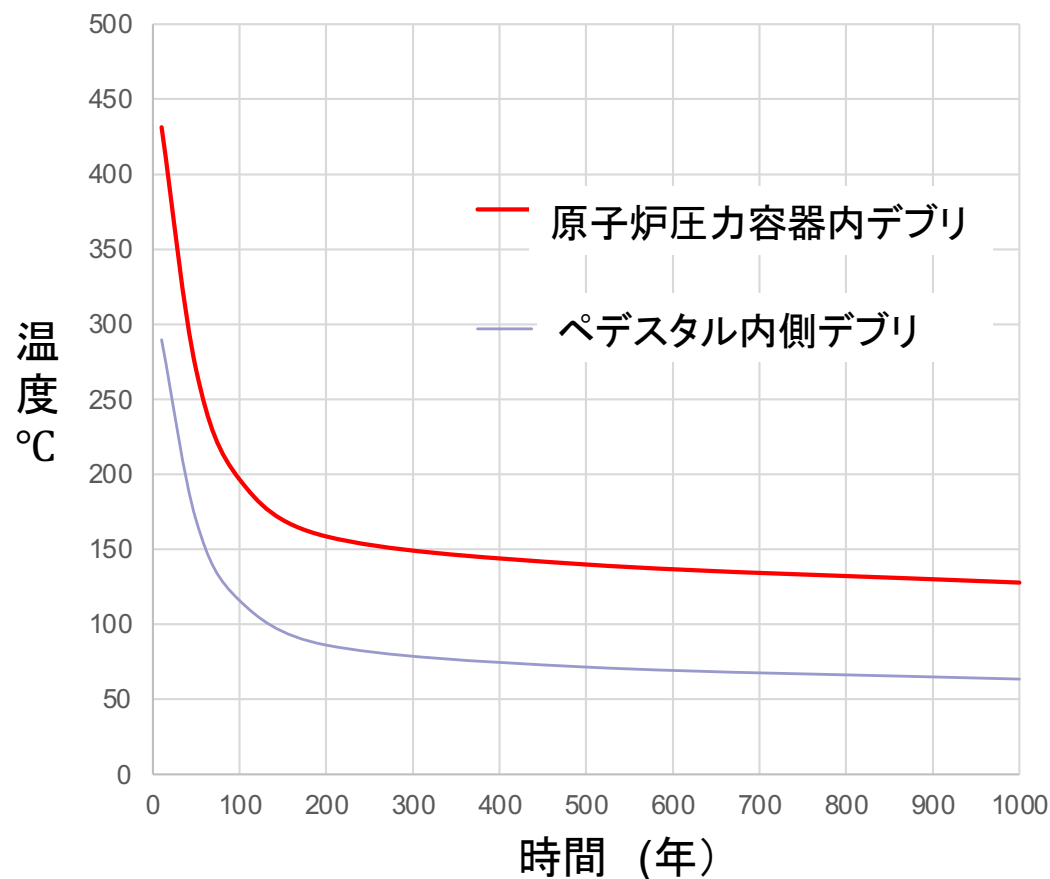
精密仕事: 核物質を
グラム単位で計量管理する

(注: 左右の画像はイメージです)



4. デブリ取出しを急いではいけない

(2) デブリの行き先がない



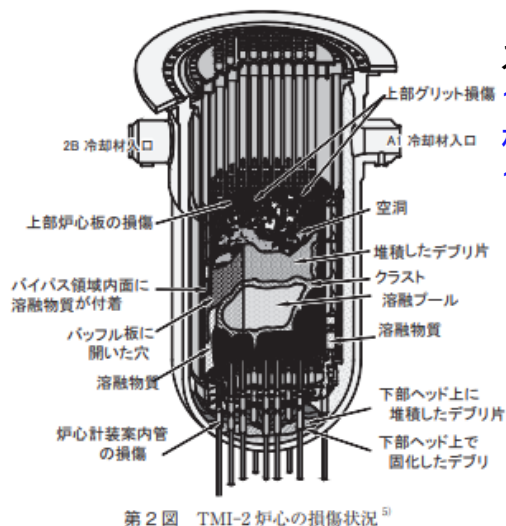
2号機燃料デブリの最高温度の長期的推移

高レベル放射性廃棄物の行き先がない:

- 行き先の決定は最短でも50年かかる。待ち時間をデブリ取出し作業前に置くべき。時間経過とともに顕著に下がる(左図は空冷方式にした場合のデブリ温度)。
- 保管は、敷地内の一時保管施設より、格納容器内の現状が安全。キャスク内で金属の水素化が起こる。
- 敷地内でキャスクに入れて置いておくとテロ攻撃の危険を誘発する。

4. デブリ取出しを急いではいけない

(3) 現行政府案(1/2)



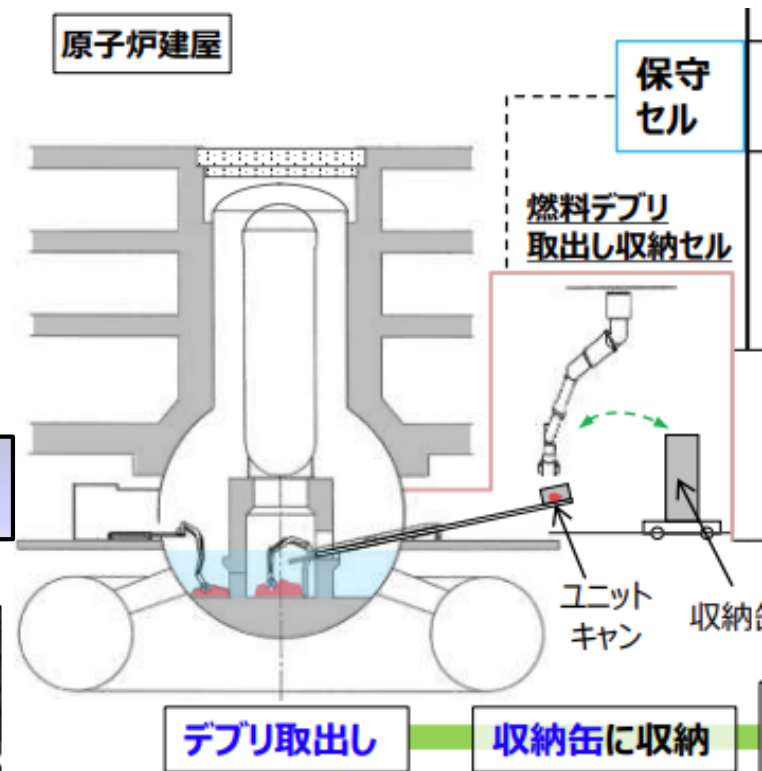
第2図 TMI-2 炉心の損傷状況⁵⁾

日本原子力学会誌, Vol.56, No.4 (2014)

スリーマイル島のデブリ:
1次元ロボットで取出し可能
核燃料素材のみ
10年以内に取出し

格納容器外に放射線
遮蔽壁を拡大 ⇒

三菱重工の横取出しロボット:
3次元の強力ロボット
鋼材・コンクリートと融合
取出し作業期間不明



IRID

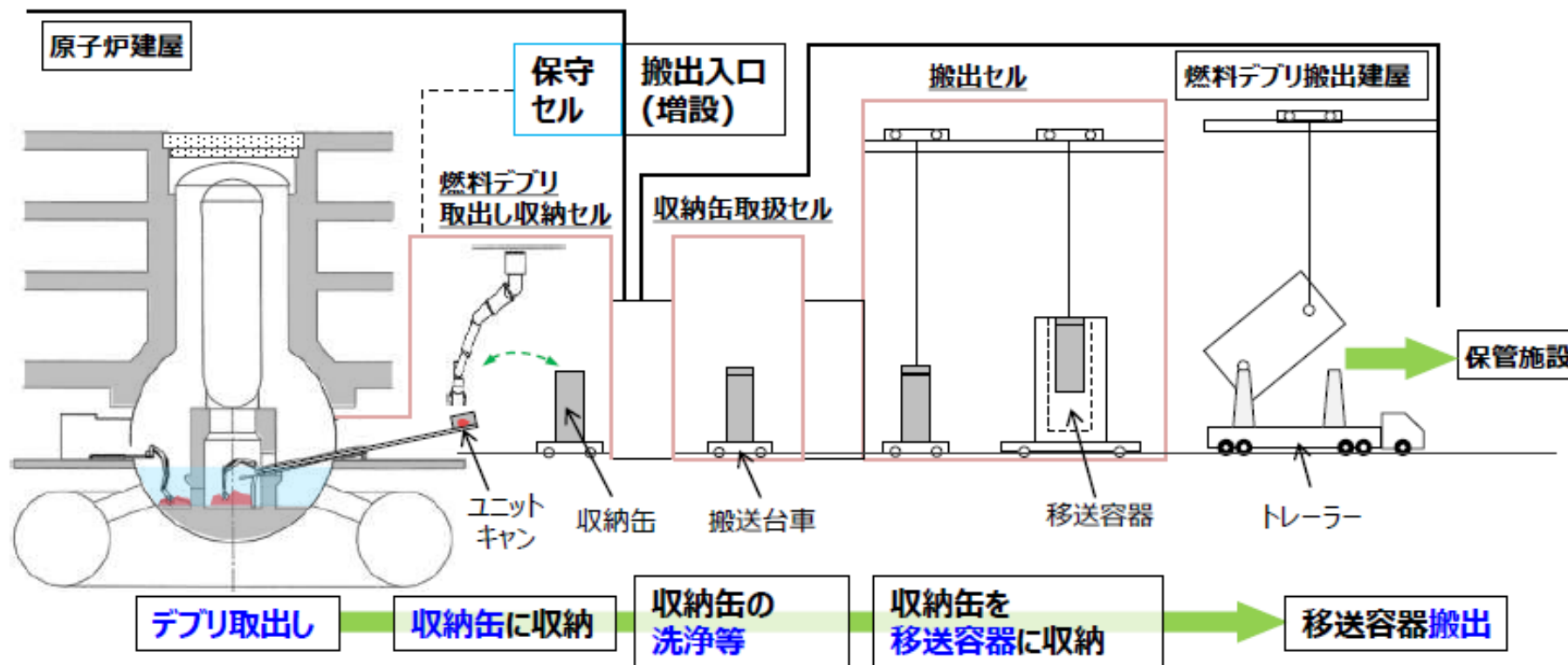
奥住直明「燃料デブリ取出しにかかわる技術開発の現状について」2019年6月4日、p.26
https://irid.or.jp/_pdf/20190604.pdf



2. デブリ取出しを急いではいけない

(3) 現行政府案(2/2)

移送方法（気中-横アクセス工法の場合：例）



格納容器外に放射線遮蔽壁を拡大
⇒格納容器貫通部拡大
原子炉建屋に遮蔽バウンダリーを建設



4. デブリ取出しを急いではいけない

(4) デブリは取り出さない方が安全

- 汚染水があるとデブリ取出しができない。



- デブリを取り出さないと地元復興ができない。



- デブリを取り出さなくても安全に遮蔽管理ができる。むしろ取り出す方が危険。

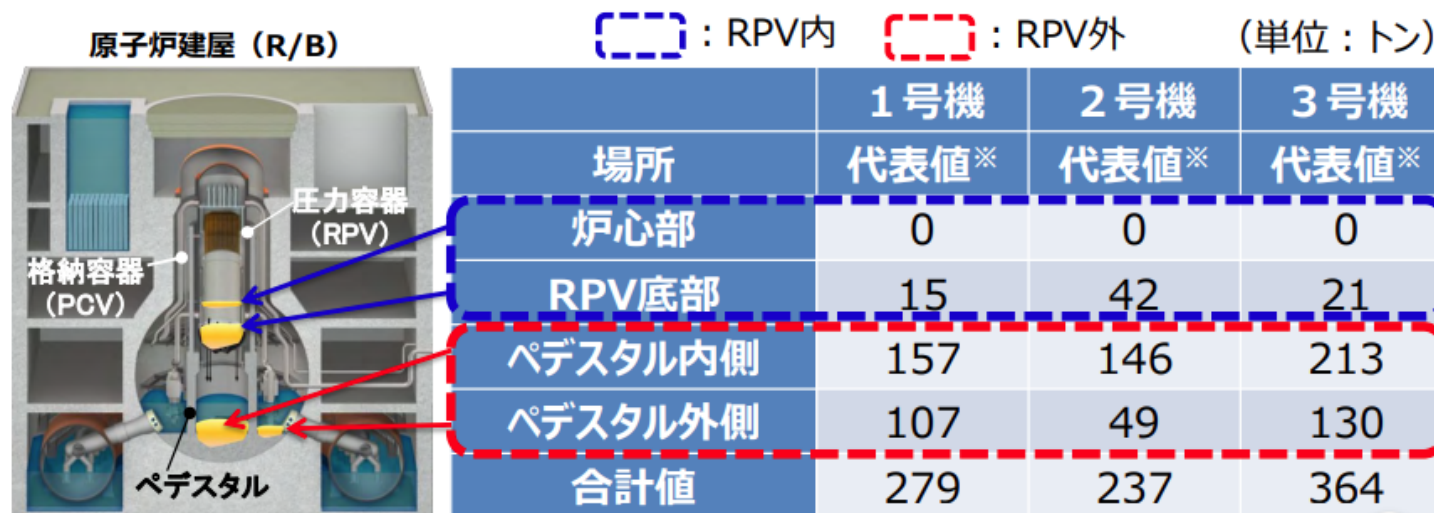
5. 空冷化システムの概念と成立性

(1) デブリの成分と分布

	燃料デブリ 合計	燃料成分 (UO_2 など)	構造材成分 (Zr、SUS等)	コンクリート 成分
1号機	279	76	73	130
2号機	237	107	56	74
3号機	364	107	111	146
合計	880	290	240	350

出典:「解析評価等による燃料デブリ分布の推定について」IRID、2016年10月04日、Sheet 24

<https://irid.or.jp/wp-content/uploads/2016/10/20161004.pdf>



「代表値」: 現時点において最も確からしい値。

「推定重量」: 燃料+溶融・凝固した構造材 (コンクリート成分を含む)

出典:「国際廃炉研究開発機構における研究開発の状況について」鋳田裕史、2016年10月20日、Sheet 14

https://irid.or.jp/_pdf/161020RADIEX.pdf



5. 空冷化システムの概念と成立性

(2) デブリの発熱量

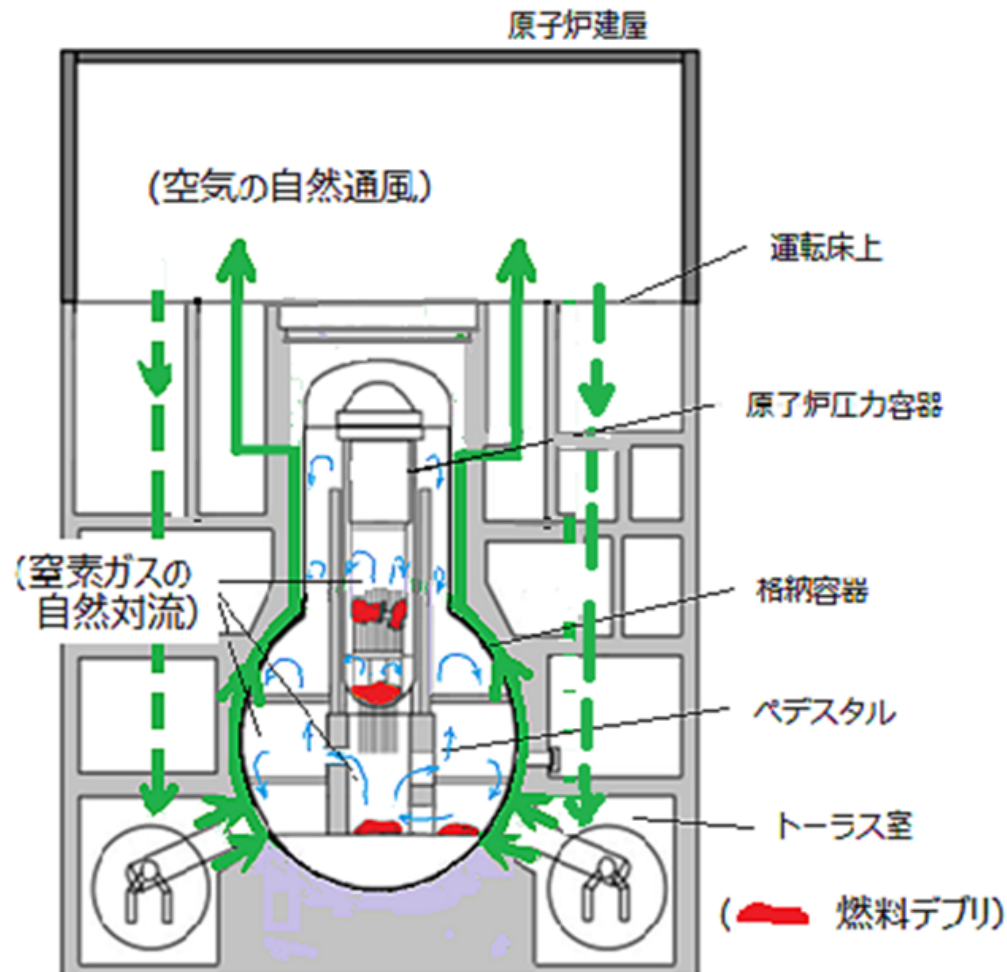
項目	単位	1号機	2号機	3号機
発熱量合計 (10年後、採用値※)	kW	40	45	45
原子炉圧力容器 炉心部 重量	t	0	0	0
発熱量	kW	0	0	0
底部 重量	t	15	42	21
発熱量	kW	2.2	8.0	2.6
ペデスタル 内側 重量	t	157	146	213
発熱量	kW	22.5	27.7	26.3
外側 重量	t	107	49	130
発熱量	kW	15.3	9.3	16.1
重量合計	t	279	237	364

※注：測定値の不確かさを考慮し、高守による参考値をも包絡する値として設定。



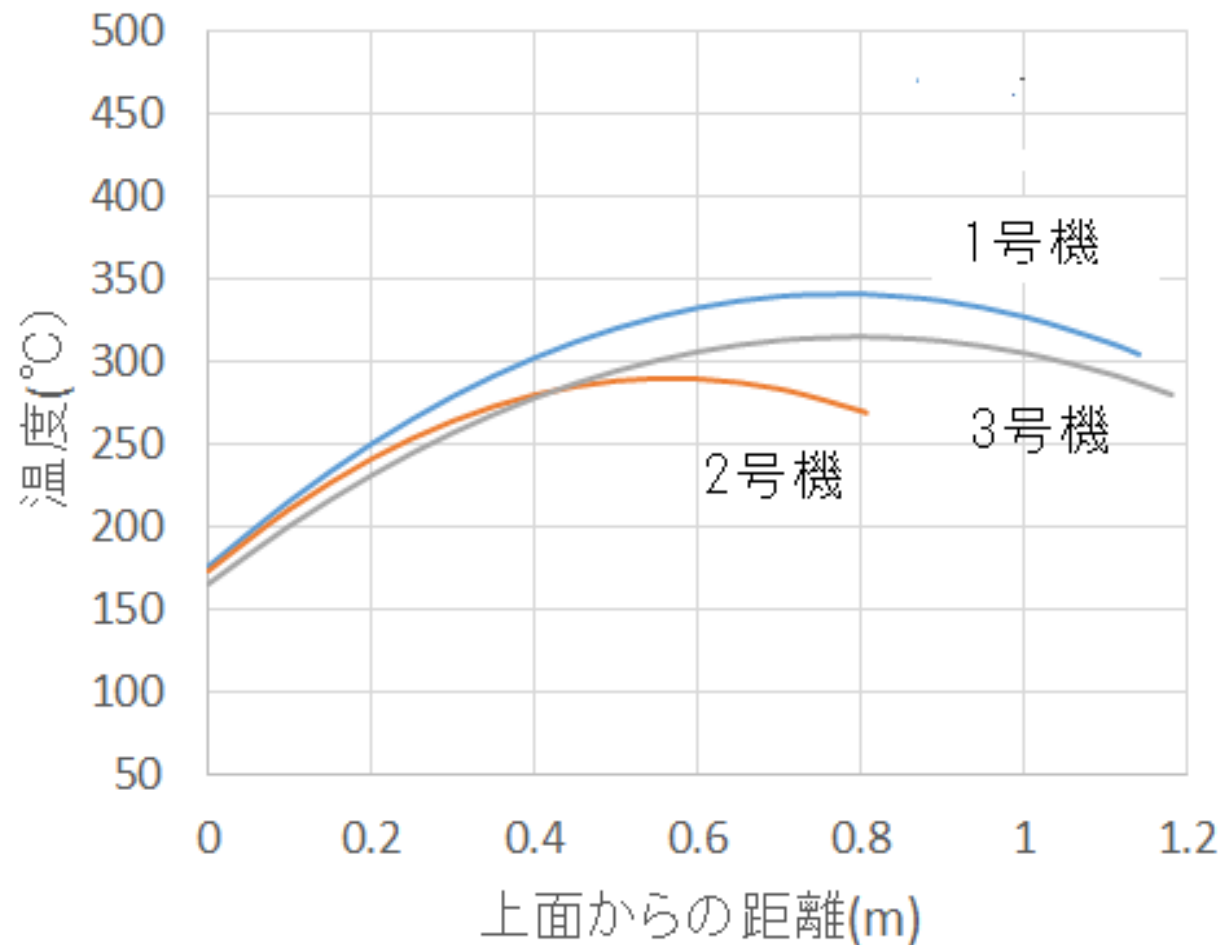
5. 空冷化システムの概念と成立性

(3) 受動型空冷システム



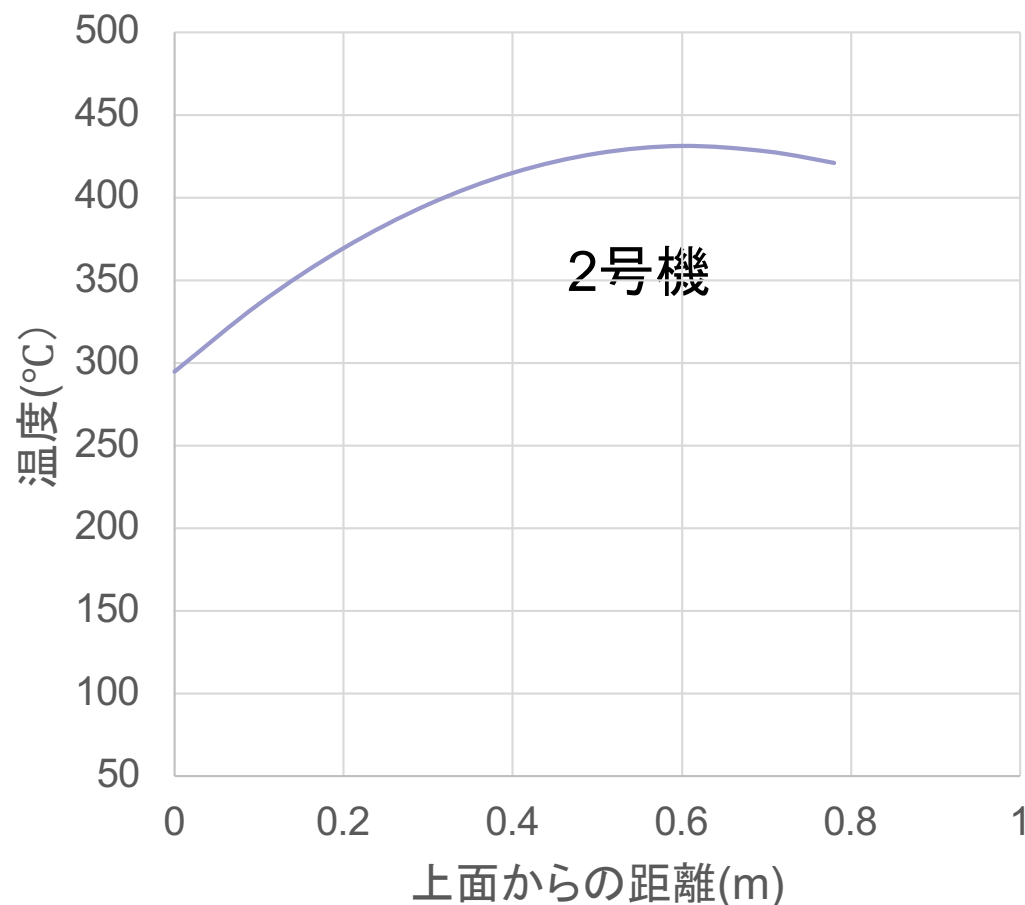
5. 空冷化システムの概念と成立性

(4) ペデスタル内側のデブリ温度分布



5. 空冷化システムの概念と成立性

(5) 原子炉圧力容器底部のデブリ温度分布



デブリ温度解析のまとめ

- デブリ最高温度は 450°C以下。
デブリ溶融温度 (2500°C以上)
に対して、十分な余裕あり。

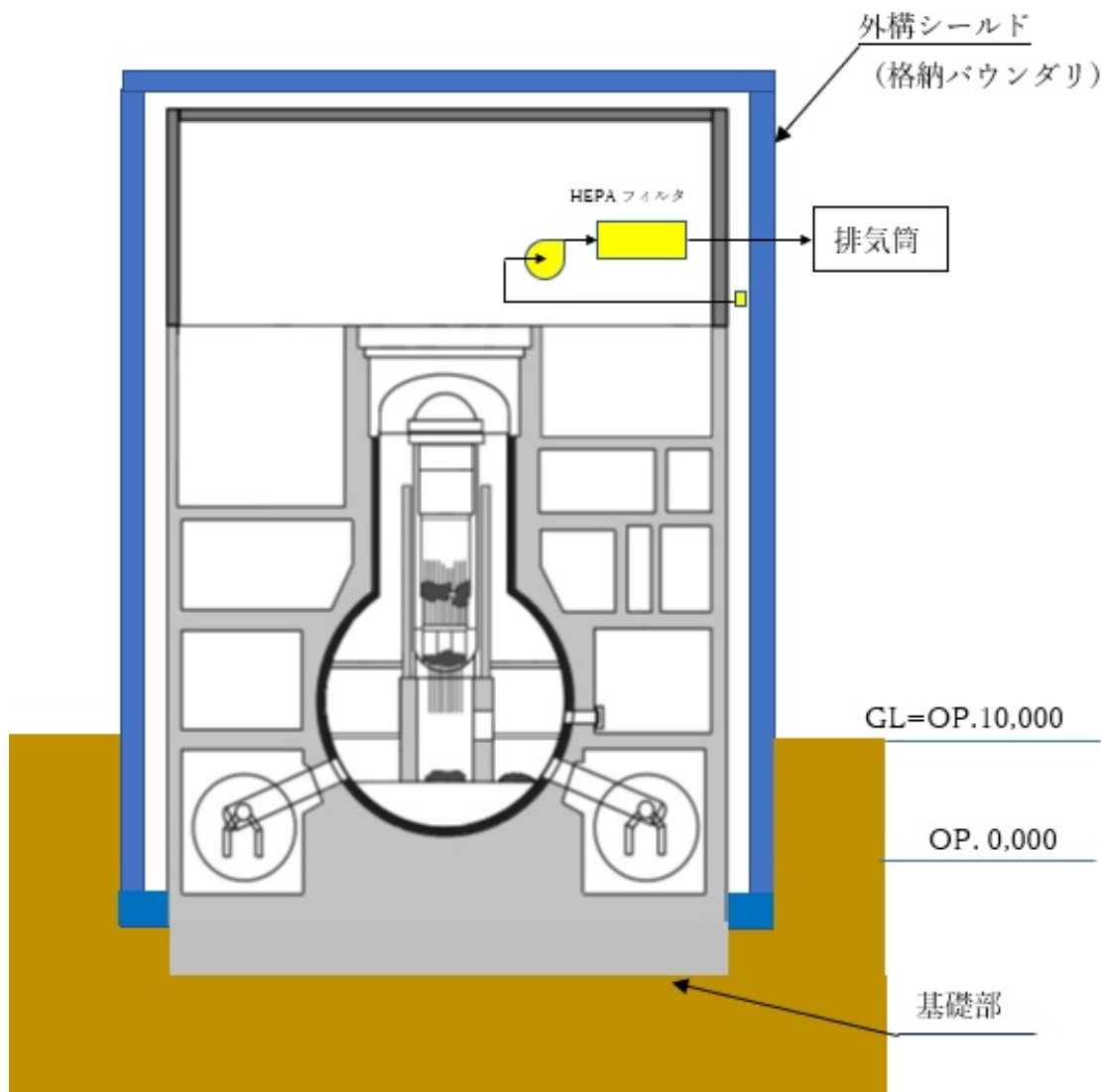


受動型空冷システムで
安全に冷却できる見通しが
得られた。



6. 長期遮蔽管理のための対策

(1) 外構シールド



6. 長期遮蔽管理のための対策

(2) 安全上の配慮

- 格納容器を貫通している配管の隔離作業
- 圧力抑制室の水抜き
- 格納容器内部の不活性化処理と維持
- 未臨界の証明
- 格納容器内の放射能濃度の監視と内圧制御
- 原子炉建屋の負圧維持
- セキュリティ対策
- 制御建屋と付属設備の撤去
- 保安規定の制定と運用



7. まとめ

- 今、デブリの取り出しを急ぐことは、サイト内に不安要因を作り出す結果になる。
- 少なくともデブリの最終処分方針が確定するまではデブリの取り出しを行うべきではない。
- 私たちの検討結果は、数百年の長期にわたって遮蔽管理を継続することが、最も安全で信頼性が高く、経済的な方法であることを示している。この方法ぜひ採用されることを提言する。

