2021年4月5日　CCNE連続オンライン企画
「原発ゼロ社会への道」 第3回

燃料デブリ「長期遮蔽管理」の提言
―実現性のない取出し方針からの転換―

筒井哲郎
（CCNE原子力規制部会・プラント技術者の会）

目次

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

（1）現場見学者への楽観的説明

（2）生かされなかった「判断ポイント」

（3）デブリ取出しの「着手費用」

（4）デブリ取出しの「準備工程」

（5）デブリ取出しの敷地は「汚染水タンクエリア」

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

（2）取出し技術は未完成

（3）現行政府案

（4）デブリの行き先がない

3. 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)ペデスタル内側の温度分布
(5)原子炉圧力容器底部デブリの温度分布

4. 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

5.まとめ

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

(1) 現場見学者への楽観的説明

最新の「中長期ロードマップ」でも、廃炉期間とデブリ取出し時期は「堅持」！

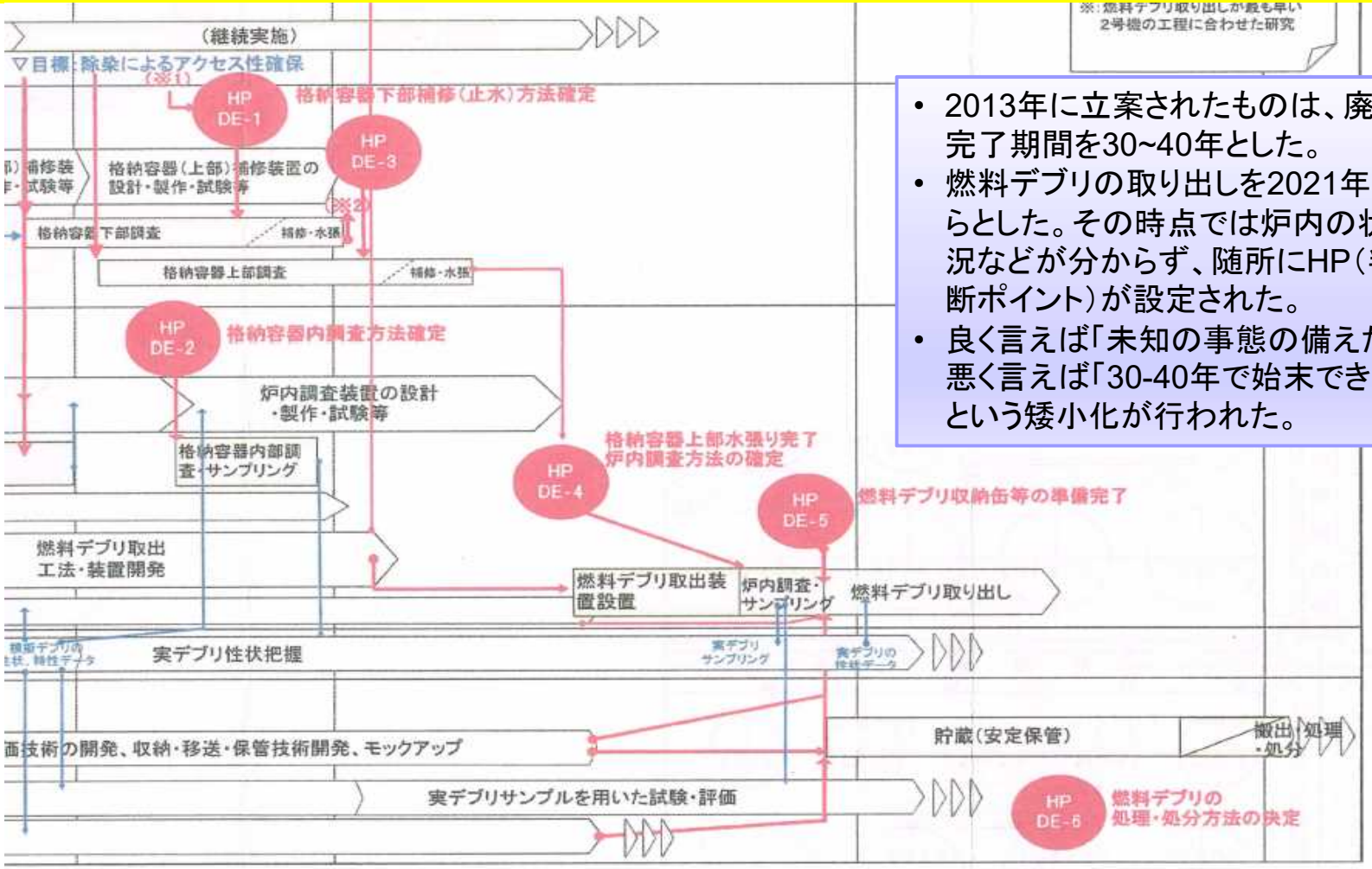
出典:「福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップ改訂案について」2019年12月27日、廃炉汚染水対策チーム事務局　https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap/pdf/2019/t191227_03-j.pdf

去る3月22日現場視察で聞きました。広報担当説明者曰く、
- **近いうちにデブリ取出しに着手します。**
- **デブリは容易に取り出すことができます。**

私は反論しました。
- **費用は「想定困難」「工期は10年後に終わらないことを示唆している」**
- **デブリは鋼構造物やコンクリートと溶け合って3倍に膨れ上がり固着している、等**

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

(2)生かされなかった「判断ポイント」



- 2013年に立案されたものは、廃炉完了期間を30~40年とした。
- 燃料デブリの取り出しを2021年からとした。その時点では炉内の状況などが分からず、随所にHP(判断ポイント)が設定された。
- 良く言えば「未知の事態の備えた」。悪く言えば「30-40年で始末できる」という矮小化が行われた。

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

(3) 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	● 建屋内環境改善 ● 内部調査	● 建屋内環境改善 ● 訓練・試運転	● 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	● 取り出し装置	● 燃料デブリ取り出し設備 ● 安全システム ● 燃料デブリ一時保管設備 ● メンテナンス設備	（3号機） ● 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	● 試験的取り出し	● 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

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

(4)デブリ取出しの「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

1.「中長期ロードマップ」という古い工程表

(5)デブリ取出しの敷地は「汚染水タンクエリア」

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.

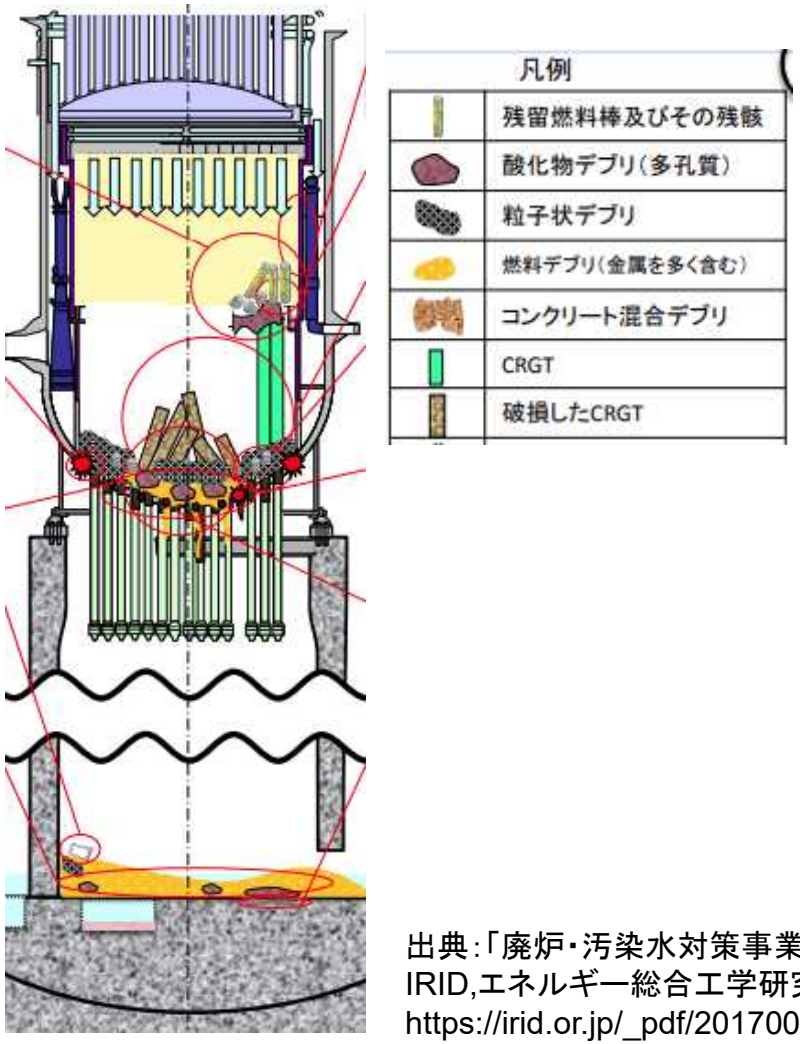
首尾よく取り出せたらという前提

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/committtee/takakusyu/pdf/014_03_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



デブリ取出しは困難である:

- デブリはコンクリート層や鋼構造材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ュ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

(2)取出し技術は未完成

力仕事:デブリ塊を
砕いて取り出す

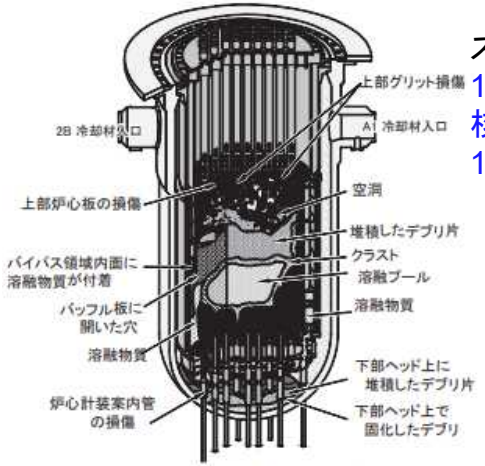
力仕事と精密仕事を
並立する困難さ

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)

2. デブリ取出しを急いではいけない

(3)現行政府案(1/2)

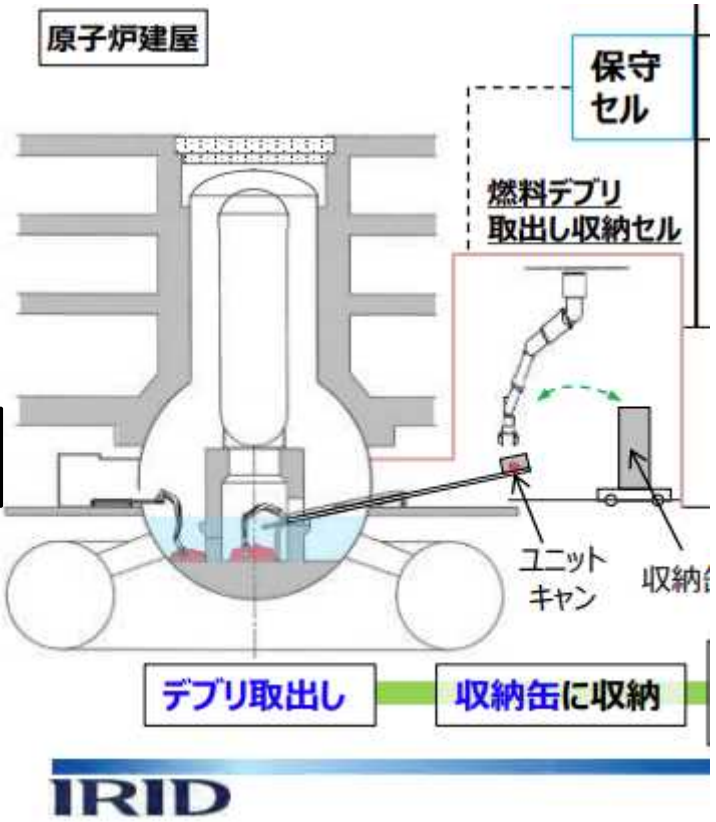


第２図　TMI-2 炉心の損傷状況[5]

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　⇒



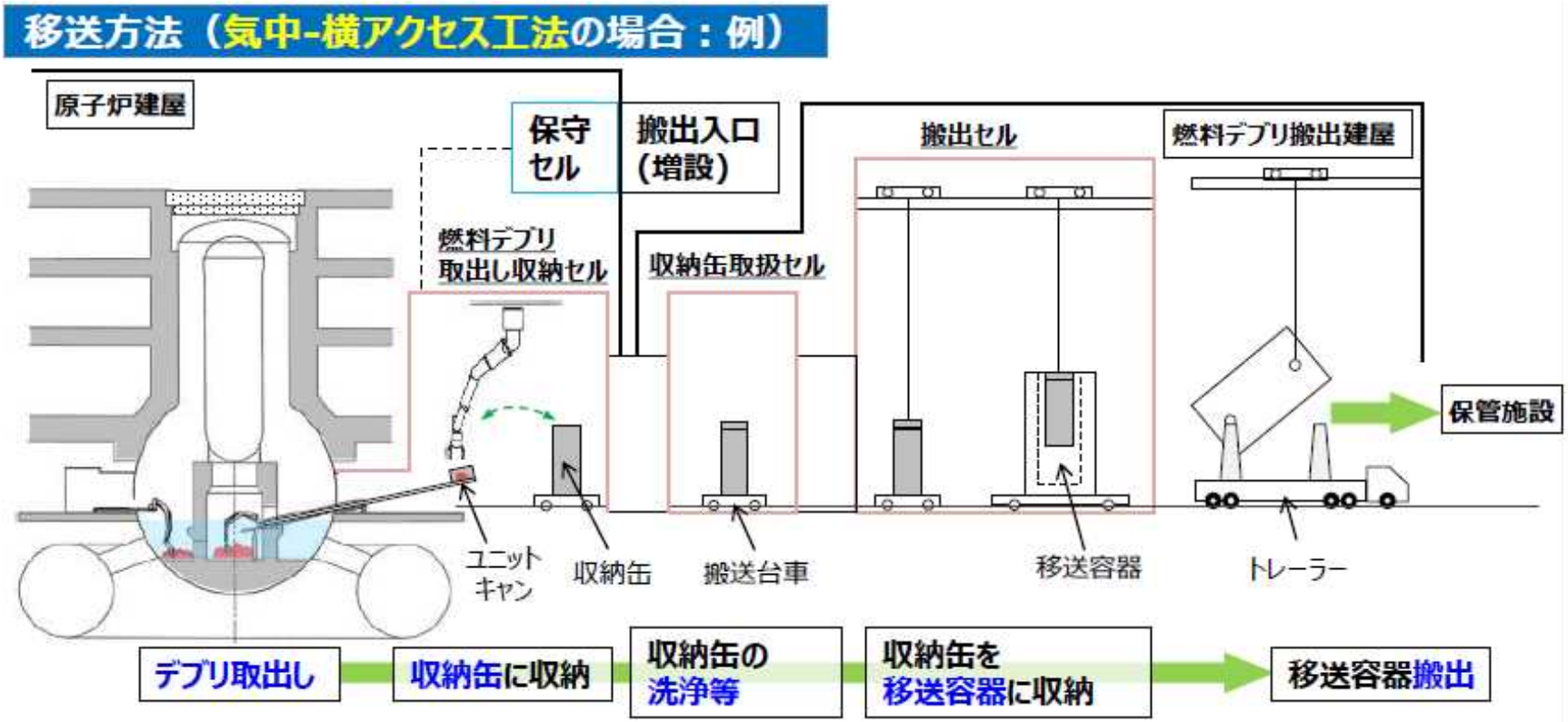
三菱重工の横取出しロボット:
3次元の強力ロボット
鋼材・コンクリートと融合
取出し作業期間不明

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)

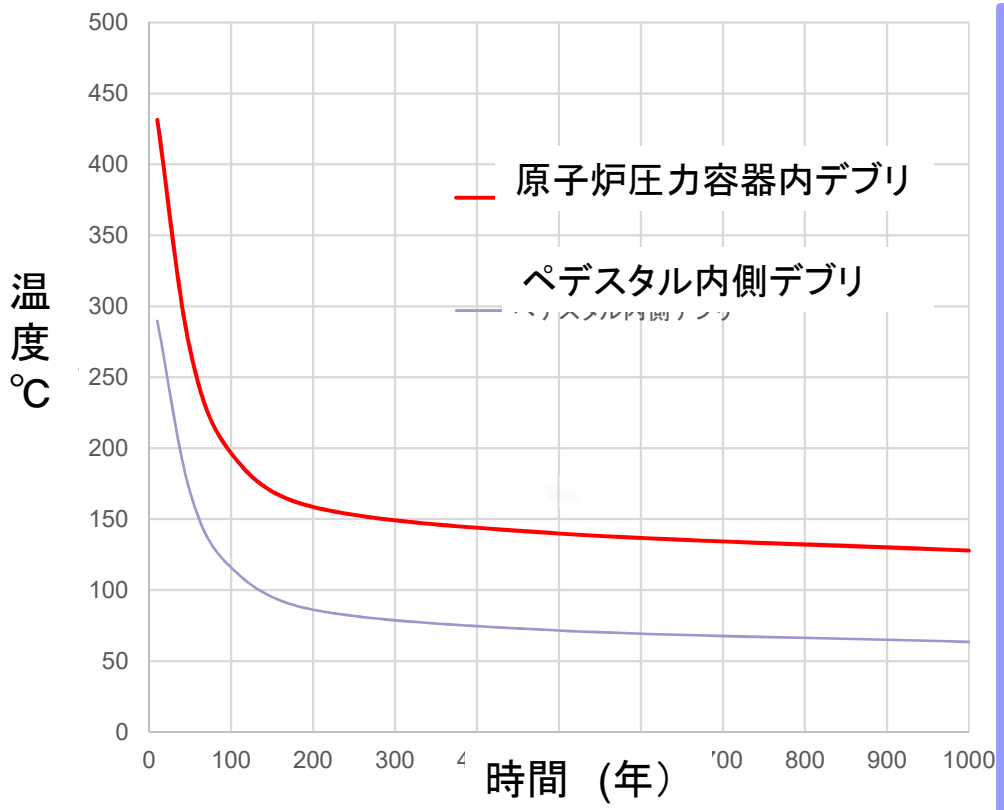


格納容器外に放射線遮蔽壁を拡大
⇒格納容器貫通部拡大
　原子炉建屋に遮蔽バウンダリーを建設

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

(4)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:

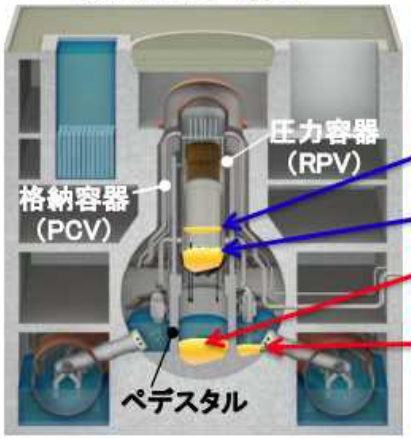
- 行き先の決定は最短でも50年かかる。待ち時間をデブリ取出し作業前に置くべき。時間経過とともに顕著に下がる(左図は空冷方式にした場合のデブリ温度)。
- 保管は、敷地内の一時保管施設より、格納容器内の現状が安全。キャスク内で金属の水素化が起こる。
- 敷地内でキャスクに入れて置いておくとテロ攻撃の危険を誘発する。

3. 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



：RPV内　：RPV外　（単位：トン）

場所	1号機 代表値※	2号機 代表値※	3号機 代表値※
炉心部	0	0	0
RPV底部	15	42	21
ペデスタル内側	157	146	213
ペデスタル外側	107	49	130
合計値	279	237	364

「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」鈴田裕史、2016年10月20日、Sheet 14
https://irid.or.jp/_pdf/161020RADIEX.pdf

3. 空冷化システムの概念と成立性

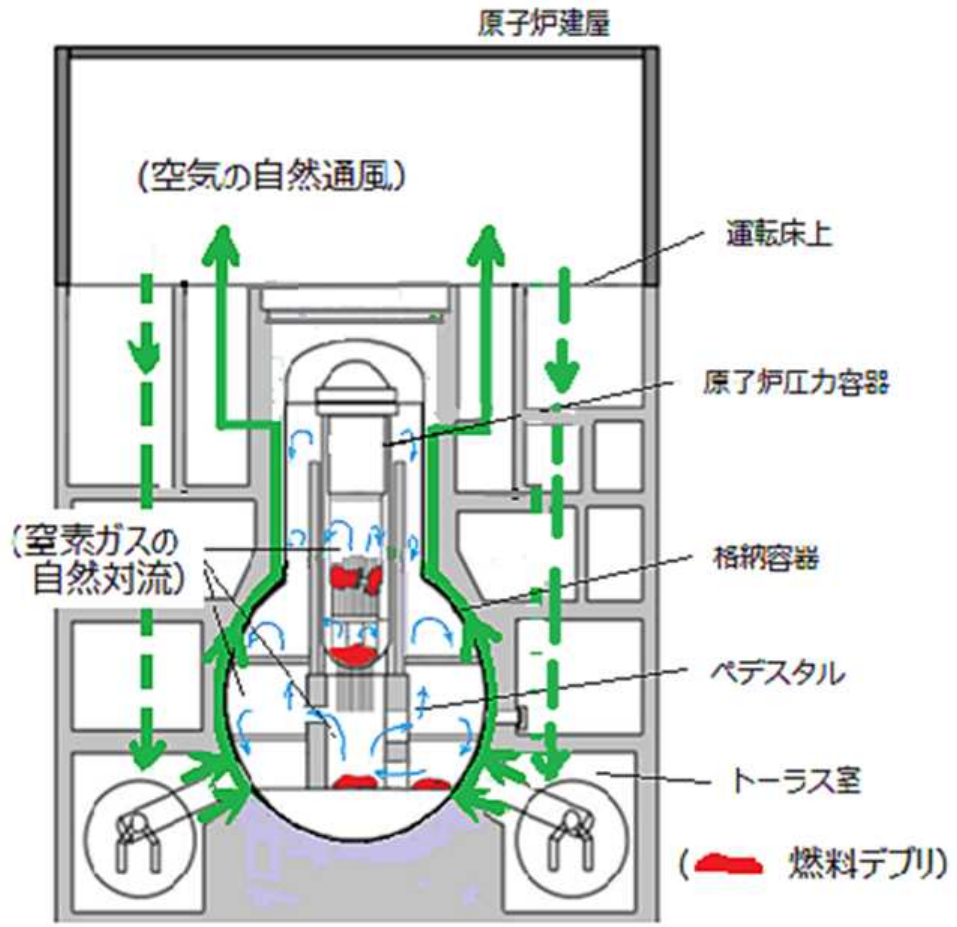
(2)デブリの発熱量

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、IRIDによる参考値をも包絡する値として設定。

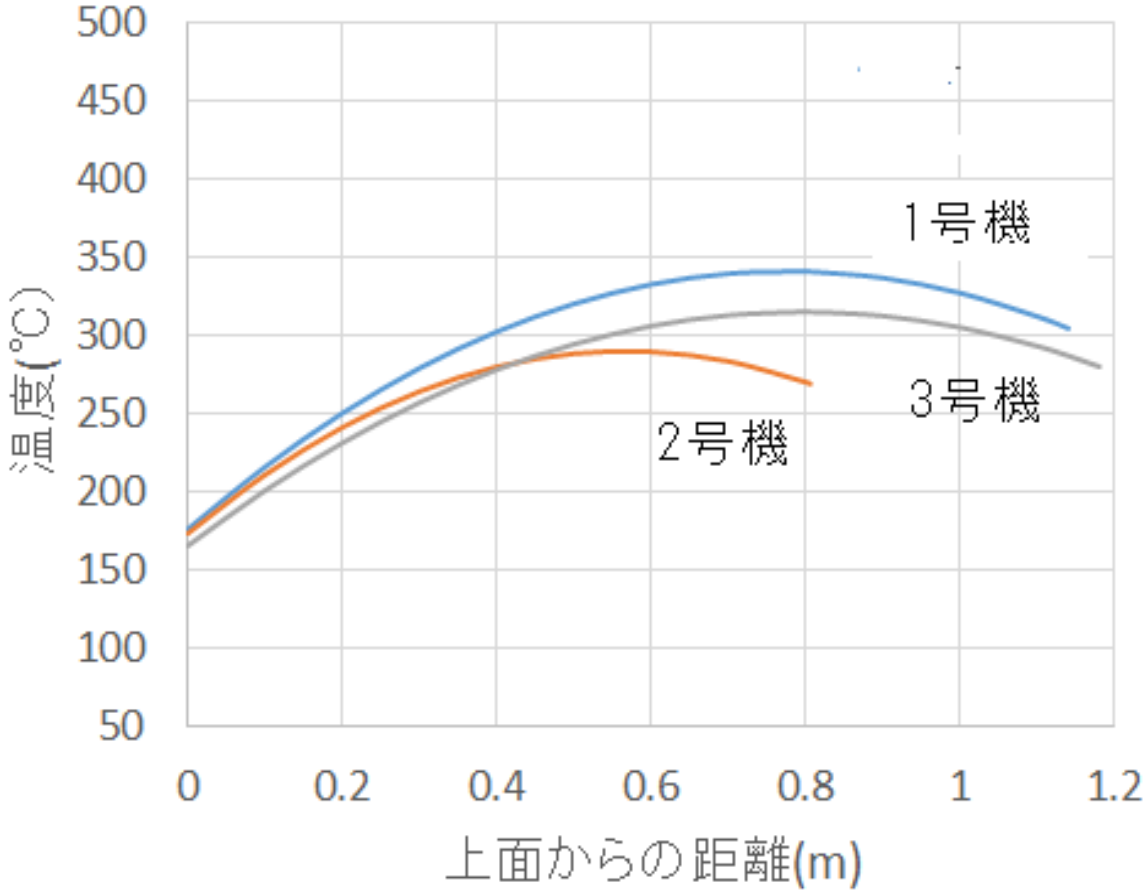
3. 空冷化システムの概念と成立性

(3)受動型空冷システム



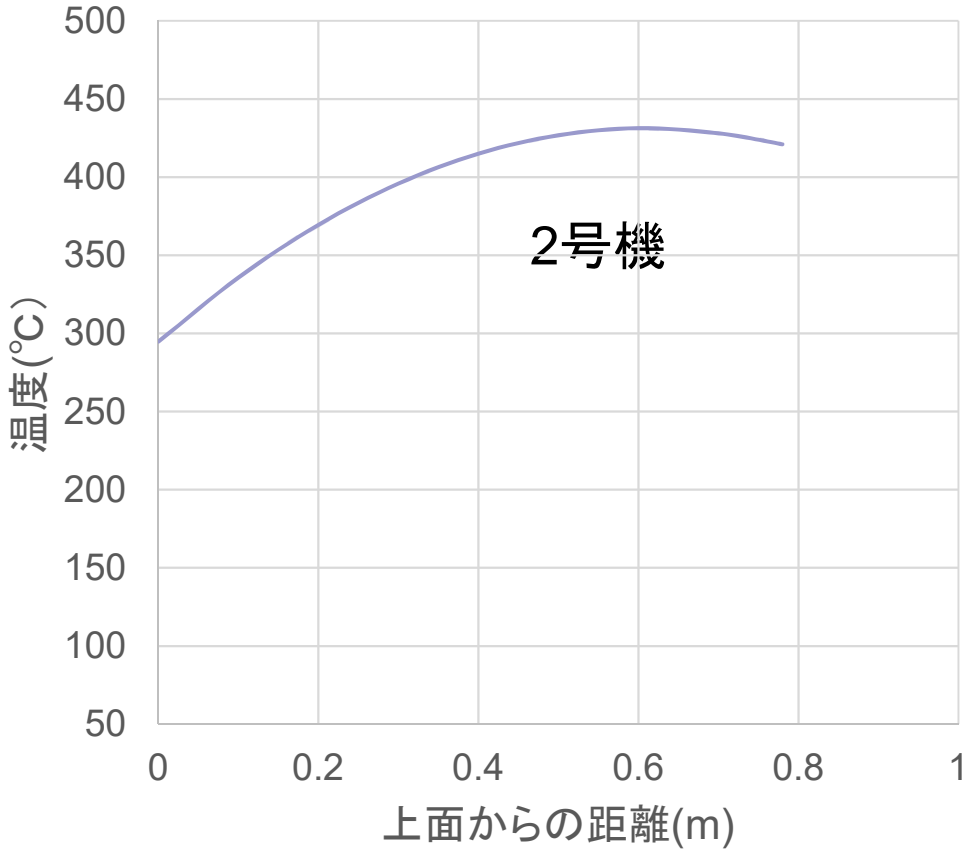
3. 空冷化システムの概念と成立性

(4)ペデスタル内側のデブリ温度分布



3. 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



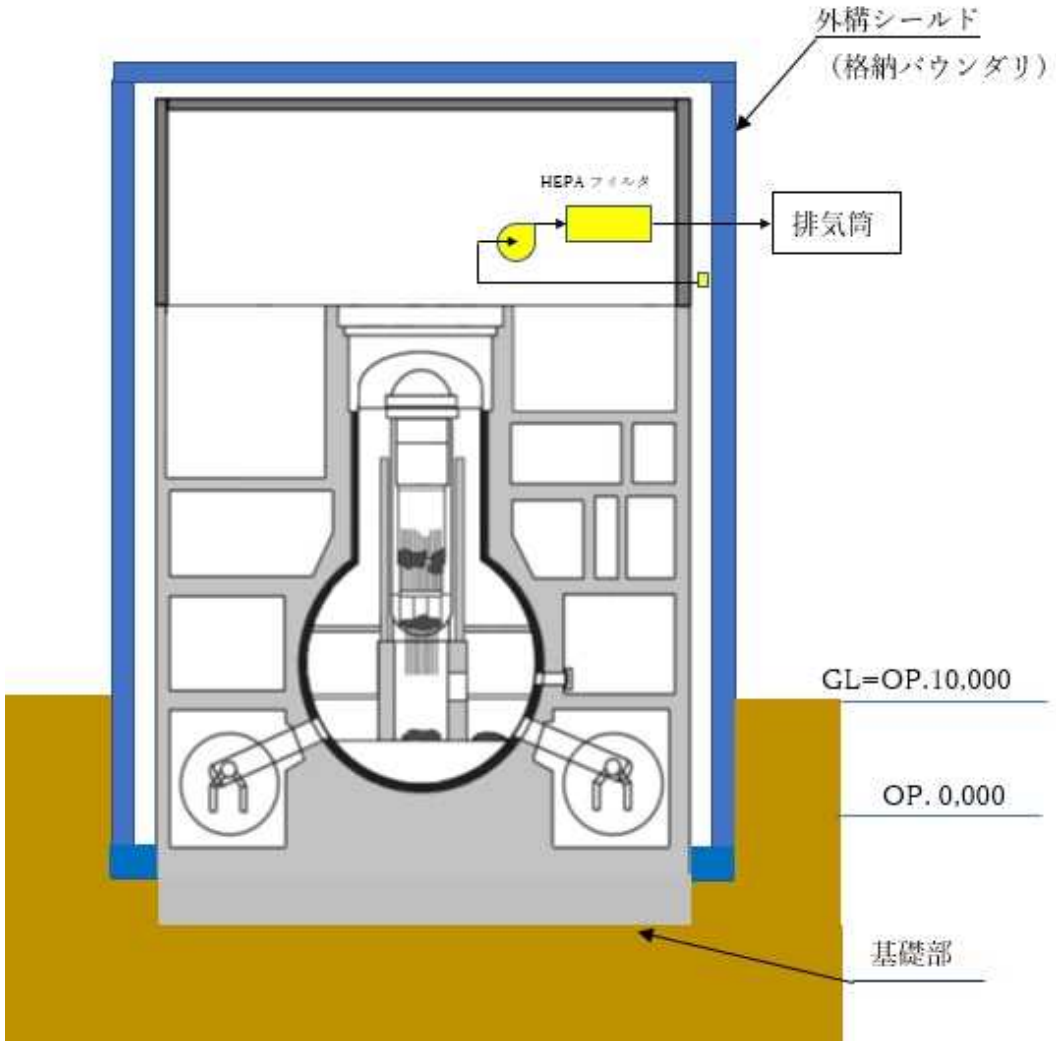
デブリ温度解析のまとめ

デブリ最高温度は450℃以下。
デブリ溶融温度 (2500℃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。

4. 長期遮蔽管理のための対策

(1)外構シールド



4. 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

5. まとめ

- デブリ空冷化で汚染水増加を止められる。
- 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。
- 私たちの検討結果は、デブリを原位置で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。