

福島第一原子力発電所の燃料デブリの収納缶寸法に基づく ニューマチックケーソンによる中間保管施設の保管可能容量の試算

オリエンタル白石 正会員 ○鈴木忠勝, 正会員 阿部慎太郎, 正会員 本間美湖
早稲田大学 正会員 小峯秀雄, フェロー会員 後藤茂

1. 目的

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）が発表した「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2019」¹⁾において、燃料デブリや固体廃棄物の「廃棄物対策」の重要性が強調されている（図-1）。この課題解決を目指して、著者らは土木工学・地盤工学の観点から、ニューマチックケーソン工法を活用した燃料デブリ等の保管技術の提案を行っている²⁾。本研究では、文献2)で提示したニューマチックケーソン工法を活用した燃料デブリ等の中間保管施設概念を起点に、公開されている燃料デブリ関連の情報を使用して、当該中間保管施設の燃料デブリ収納缶の保管可能容量を試算する。



左：2号機原子炉建屋（2020年1月14日）右：2号機原子炉格納容器内ペDESTAL底部（出典：東京電力ホールディングス）

図-1 福島第一原子力発電所2号機の外観と2号機原子炉格納容器内ペDESTAL底部の様子

本研究では、文献2)で提示したニューマチックケーソン工法を活用した燃料デブリ等の中間保管施設概念を起点に、公開されている燃料デブリ関連の情報を使用して、当該中間保管施設の燃料デブリ収納缶の保管可能容量を試算する。

2. 燃料デブリに関する公開情報およびそれに基づく燃料デブリ収納能力計算方針

技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）は、燃料デブリ収納缶の安全要件・仕様および保管システムの検討と水素対策を含む安全性の検証を踏まえて、燃料デブリ性状・形状に対応した収納形式を検討し、収納缶仕様を提示している^{3),4)}。それによれば、収納缶内径 220 mm の簡易取付構造蓋（回転による蓋締め）構造とし、全体の高さは 1500~1800 mm としている。本研究では、この寸法の収納缶を起点として、ニューマチックケーソン工法を活用した中間保管施設²⁾における燃料デブリの保管可能容量を試算する。

3. ニューマチックケーソン工法を活用した中間保管施設の仕様

施設の設置位置は、津波の被害を受けない廃棄物一時保管施設用地（標高 35 m）を想定する。福島第一原子力発電所サイトの地質⁵⁾は、砂岩と泥岩の互層で軟岩D級（土丹程度）と推定され、ケーソンショベルで十分に掘削が可能である。施設の平面形状は、中間保管終了後、汚染されるであろう部材の撤去時にも構造体として成立するように円形とする。部材厚は、各部材が撤去された状態において、浮力に対して自重を確保できるように設定する。ニューマチックケーソン工法による円形断面の施工実績から、直径 50 m、深さ 50 m の規模として試算する。図-2 に試算において想定した中間保管施設の概要を示す。保管室内部には仕切壁を設け、独立した保管室毎に換気、空冷、常時計測（放射線量、温度、湿度、ガス濃度等）を行う。底盤、側壁の外側には鋼板を設置し、地下水の侵入を防止する。保管室に収納する鋼製の収納缶格納容器には超重泥水等を充填し、ガンマ線および中性子線に対する遮蔽性能の向上を図る。

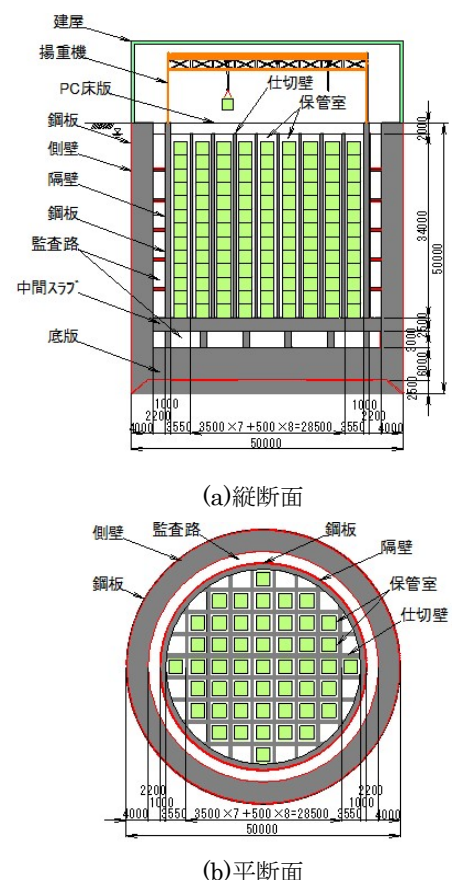


図-2 中間保管施設断面図

キーワード ニューマチックケーソン, 福島第一原子力発電所, 廃止措置, 中間保管, 燃料デブリ
連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲 5-6-52 オリエンタル白石(株) TEL 03-6220-0656

4. ニューマチックケーソンを活用した中間保管施設 1 基当たりの燃料デブリ収納性能の試算

IRID は、燃料デブリ量を 1 号機が 279 t、2 号機が 225 t、3 号機が 364 t、計 868 t と推定している⁶⁾。以下に、この燃料デブリ量に対する保管必要容量の試算を示す。

(1) 収納缶および収納缶格納容器の寸法

収納缶は、図-3 に示すとおり蓋部、胴部および底部緩衝構造部で構成される^{3),4)}。収納缶格納容器は、収納缶の吊り作業を考慮して蓋部同士の間隔を 50 mm 確保し、図-4, 5 のように収納缶 25 本を格納できる 1 辺 2.5 m の立方体とした。

(2) 燃料デブリの保管可能容量の試算

中間保管施設 1 基当たりの燃料デブリ保管可能容量は、式 (1) による試算から 844 m³ となる (表-1)。

$$V_{storage} = V_{can} \times n_{can} \times n_{room} \times s \quad (1)$$

(3) 燃料デブリの保管必要容量の試算

燃料デブリは様々な形状で採取されるため、収納缶内の充填率を想定する必要がある。燃料デブリの保管必要容量は、式 (2) により算出できる。

$$V_{req} = \frac{M_{debris} \times 100}{\rho_{debris} \times f} \quad (2)$$

ここに、 V_{req} ：燃料デブリの保管必要容量 (m³)、 M_{debris} ：燃料デブリの質量 (t)、 ρ_{debris} ：燃料デブリの密度 (t/m³)、 f ：充填率 (%)

本試算では、スリーマイル島発電所 2 号機で採取された燃料デブリの密度測定結果 (加重平均密度 8 t/m³ 程度)⁷⁾、主成分の二酸化ウランの理論密度 10.95 t/m³ および文献 8) に基づき、燃料デブリの密度 ρ_{debris} を 2~11 t/m³ と想定した。図-6 は、充填率と保管必要容量の関係を示したものである。密度が 8 t/m³ の場合、充填率が 20% 以上であれば、図-2 のケーソン 1 基で燃料デブリ 868 t の保管が可能である。

今後の調査により、燃料デブリの密度、充填率が明らかになれば、中間保管施設の規模を精度よく算定できる。

参考文献

- 1) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構：東京電力ホールディングス (株) 福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2019, http://www.dd.ndf.go.jp/strategic-plan/book/20190909_SP2019FT.pdf, (2020/02/14 閲覧), 2019.
- 2) 本間美湖, 阿部慎太郎, 鈴木忠勝, 小峯秀雄, 後藤茂, 岩波基：ニューマチックケーソン工法を活用した福島第一原子力発電所の廃止措置に伴い発生する燃料デブリや放射性固体廃棄物の中間保管の概念, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, CS14-25, 2019.
- 3) 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)：平成 27 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金 (燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発)」平成 29 年度実施分報告, http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/20170000_03.pdf, 2018.
- 4) 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)：燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発, 燃料デブリを長期間安全に保管する, IRID シンポジウム 2019 パネル 13, http://irid.or.jp/pdf/Sympo2019_13.pdf, 2019.
- 5) 経済産業省：汚染水処理対策委員会 (第 9 回), 資料 2-1 サブグループ①「地下水・雨水等の挙動の把握・可視化」中間報告, https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131115/131115_01d.pdf, 2013.
- 6) 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)：福島復興・廃炉に貢献する学協会連絡会 (ANFURD)「燃料デブリ取り出しにおける潜在的課題」に関する勉強会 燃料デブリ取り出し技術の現状と学協会への期待, <http://irid.or.jp/pdf/20180515.pdf>, 2018.
- 7) 永瀬 文：燃料デブリ取り出しに向けた臨界安全における課題 燃料デブリの性状に関する知見と検討, 日本原子力学会誌, Vol.56, No.4 (2014), https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/56/4/56_235/pdf, 2014.
- 8) 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)：平成 28 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化 平成 29 年度成果報告, http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/20170000_09.pdf, 2018.

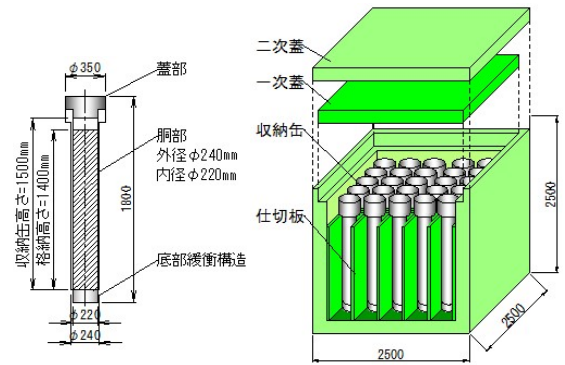


図-3 収納缶

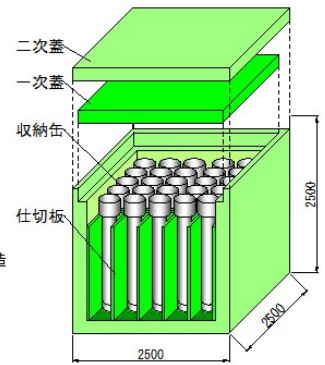


図-4 収納缶格納容器

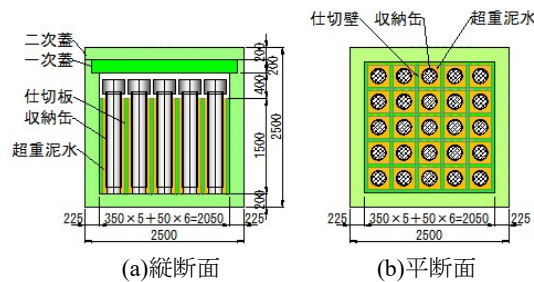


図-5 収納缶格納容器断面図

表-1 燃料デブリ保管可能容量の試算結果

記号	内容	単位	数量
V_{can}	収納缶 1 本当たりの収納容量	m ³ /本	0.053
n_{can}	収納缶格納容器 1 体に格納する収納缶数	本	25
n_{room}	保管室の数	室	49
s	収納缶格納容器設置段数	段	13
$V_{storage}$	中間保管施設 1 基当たりの燃料デブリ保管可能容量	m ³	844

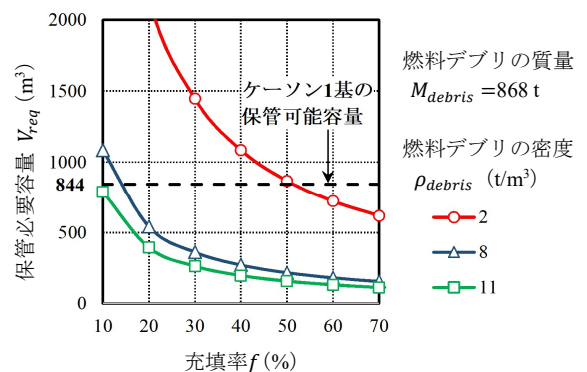


図-6 燃料デブリの密度・充填率と保管必要容量の関係