

指摘事項No. 1

講ずべき事項「Ⅱ. 3. 原子炉格納施設雰囲気の監視等」、適合性に係る説明を追加すること。

指摘事項No. 32

原子炉格納施設雰囲気の監視等について、試験的取り出し作業はダスト発生量が極めて少ないとしている根拠についても資料に示して説明すること。

【回答】

以下の通り、各講ずべき事項について回答する。

3. 原子炉格納施設雰囲気の監視等

< 1～4号炉 >

- 原子炉格納容器内気体の抽気・ろ過等によって、環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を監視するとともに、達成できる限り低減すること。
- 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内における未臨界状態を監視するとともに、臨界を防止すること。

○⁽³²⁾試験的取り出し作業は別紙-1に記載した装置を使用し、燃料デブリの加工は行わな
いことから、ダスト発生量は極めて少なく従来同様、1～3号機の原子炉格納容器内の
気体を原子炉格納容器ガス管理設備にて抽気・ろ過等を行い、放射線管理関係設備によ
り、放射性物質濃度及び量を監視するとともに、環境へ放出される放射性物質を達成で
きる限り低減する。

○これまでの原子炉格納容器内部調査において、堆積物はペデスタル底部に広く堆積して
いることを確認しており、試験的取り出し作業で回収装置により取り扱う範囲は、堆積物全
体に対して相対的に十分小さい範囲で、堆積物の形状変化は生じないことから、未臨界状態
に影響を与えるものではない。未臨界状態の監視のために原子炉格納容器ガス管理設備ガ
ス放射線モニタによるXe-135濃度監視を実施しており、また臨界の可能性は極めて低いと
考えられるが、緊急時には原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備によりホウ酸水を
注入する。

指摘事項No. 3

講ずべき事項「Ⅷ. 実施計画に係る検査の受検」の対象範囲を整理して明確にすること。

【回答】

以下の通り、各講ずべき事項について回答する。

Ⅷ. 実施計画にかかわる検査の受検

実施計画における施設、保安のための措置及び特定核燃料物質の防護のための措置について、法第64条の3第7項に基づく検査を受けること。

試験的取り出しは燃料デブリを回収する作業であり、試験的取り出しに使用する装置を「核燃料物質の使用施設」相当とした場合、試験的取り出しで取り扱う核燃料物質は「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」の第41条に規定する使用前検査等を要する核燃料物質に該当しない。そのため、使用前検査は不要であると考えている。

試験的取り出しで取り扱う燃料デブリ量は安全評価では15gと設定する。取り扱う燃料デブリがすべて燃料成分とした場合、燃焼計算では15gあたりのプルトニウムの量は1g未満（約0.15g）、放射能は3.7テラベクレル未満（約0.20テラベクレル）となり、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」の使用前検査等を要する核燃料物質を定めている第41条1項1号、2号に該当しない。また、燃料デブリ量は15gで少量であることから、同条1項3号～6号についても該当しないことから、使用前検査は不要であると考えている。

なお、安全機能のうち、閉じ込め機能を有するDPT Eコンテナ、グローブボックスについては以下の社内確認を行うことでその品質を確認する。

- ・DPT Eコンテナ：製品出荷時の漏えい確認試験記録の確認
- ・グローブボックス：据付時の漏えい確認試験

（補足）被ばく評価上想定した燃料デブリの量

被ばく評価上想定した燃料デブリの重量は15gとしており、設定理由は以下のとおりである。

別紙—1に示す回収装置の試験結果が最大約2.6gであることから、回収する最大の燃料デブリ量は約3g/回と想定する。回収回数は最大4回であるため回収量は12gとなり、全てグローブボックス内に滞留するとし、さらに丸めてグローブボックス内で取り扱う燃料デブリの量は15gとした。

実際には回収した燃料デブリは都度、分析のため事業所外運搬を行う計画であり、グローブボックスに滞留することはない。そのため、実際にグローブボックス内作業で一

度に取り扱う燃料デブリの量は15gより少なくなる。

指摘事項No. 4

実施計画変更予定範囲として、安全機能を有する設備等の範囲や具体的な仕様について整理すること。

指摘事項No. 27

GB内で行う水素濃度測定について、燃料デブリ等の取扱において想定される水素発生過程及び発生量の評価に関して資料に示して説明するとともに、水素濃度測定の目的を資料に追記すること。

指摘事項No. 28

GB内で行う元素分析について、携帯型蛍光X線分析計（XRF）で分析可能な元素等、元素分析に関する具体的な作業内容について資料に示して説明するとともに、元素分析を行う目的を資料に追記すること。

指摘事項No. 29

GBから燃料デブリ等を搬出する際に用いるプラスチック製つぼ型容器について、当該容器に求める安全機能の可否を含めて当該容器に収納する目的・方法等を資料に示して説明すること。

指摘事項No. 36

DPTEの正式名称と中身の構造の説明を追加すること。

指摘事項No. 37

試料容器について構造が分かるような説明、写真・イメージ図を追加すること。

指摘事項No. 38

各容器の使用目的を記載すること。

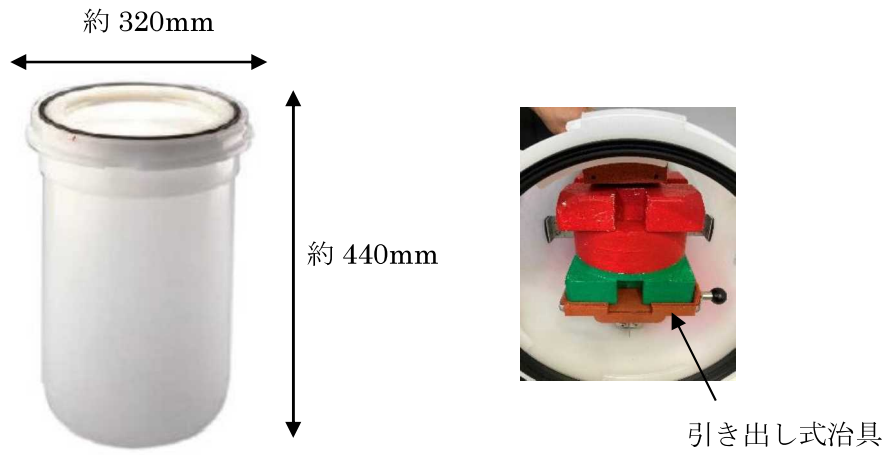
【回答】

試験的取り出し作業で追加となる安全機能を有する設備は閉じ込め機能を有するDPTEコンテナとグローブボックスである。また、安全機能を有するものではないが、別紙-2で示した燃料デブリを収納する容器及び測定に使用する装置について以下に示す。

(1) DPTEコンテナ

⁽³⁶⁾DPTEとは“Dispositif Pour Transfer Etanche” または “Double Porte pour Transfert Etanche”（フランス語）の略。

DPTEコンテナはDPTEポートに取り付けることで図1のようにDPTEコンテナの蓋とDPTEポートが一体となって開閉し、密閉を維持しながら物を移送することが可能なコンテナであり、燃料デブリをエンクロージャからグローブボックスまで運搬する際に使用する。内部は緩衝容器を固定する引き出し式治具を搭載し、緩衝容器を収納することで上下から固定する。



DPTE コンテナ全体写真 (左)

DPTE コンテナに緩衝容器を収納した状態の写真 (右)

項目	仕様
寸法, 容量	φ約 320×約 440mm, 約 20L
材質	ポリエチレン

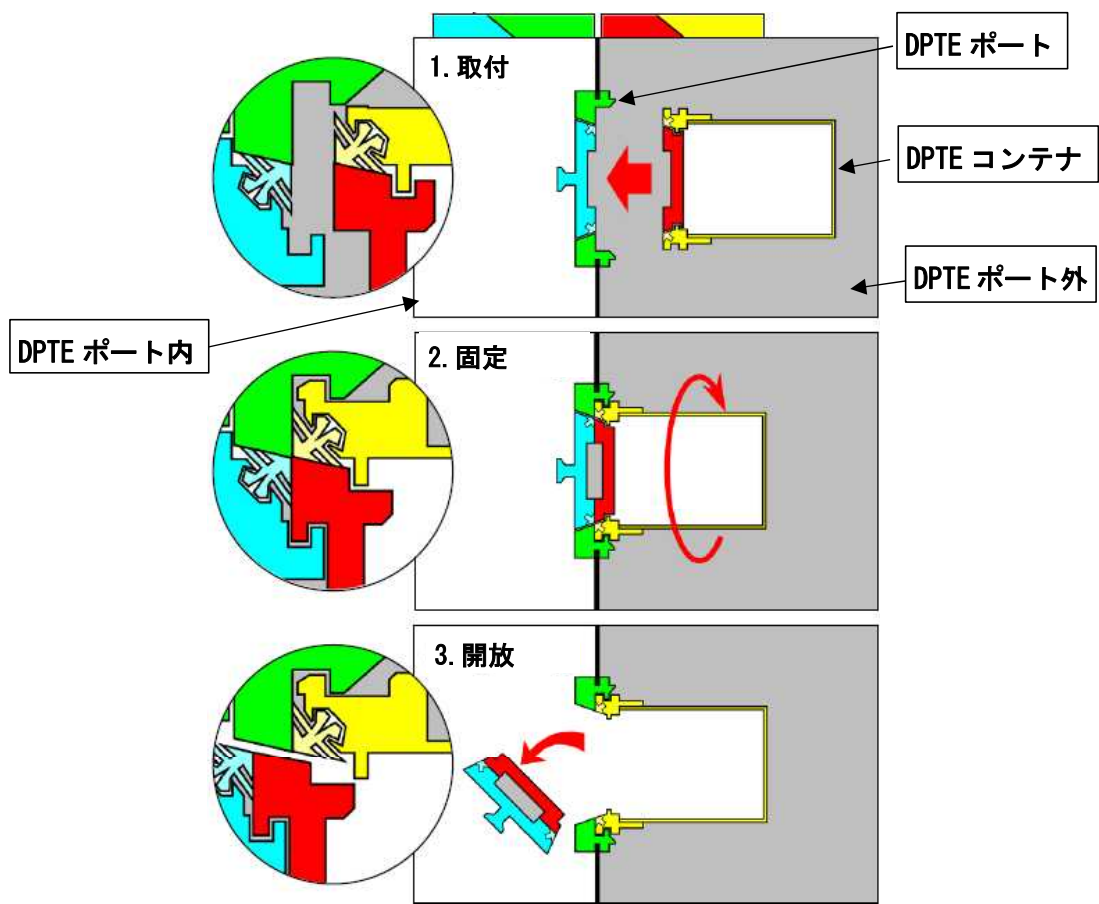


図1 DPTEポートとDPTEコンテナの開閉イメージ

(2) グローブボックス

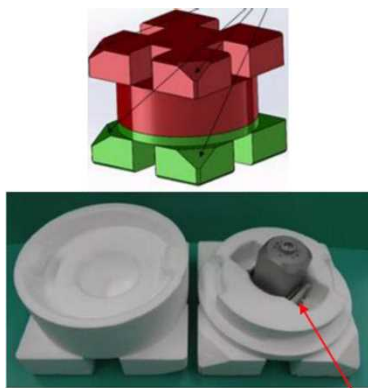


項目	仕様
寸法	約 4.6×約 1.4×高さ 約 2.4m
材質	主要材質：ステンレス鋼

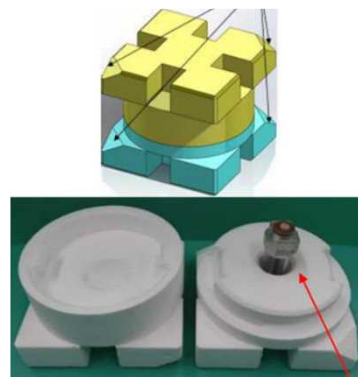
(3) 回収装置

回収装置の仕様は別紙－1 に示した通り。

(4) 緩衝容器



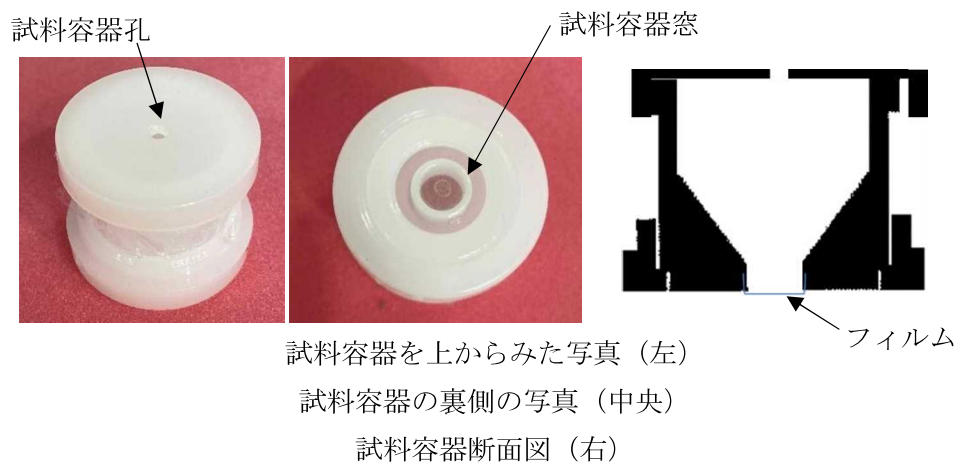
金ブラシ方式回収容器



真空容器方式回収容器

項目	仕様
寸法	約 145×約 145×高さ 約 130mm
材質	発泡スチロール
機能	<u>(38)PCV 内で燃料デブリを採取した回収容器を収納する容器であり、回収容器の運搬時に DPTE コンテナに収納，固定を行う。</u>

(5) 試料容器



試料容器を上からみた写真 (左)

試料容器の裏側の写真 (中央)

試料容器断面図 (右)

項目	仕様
寸法, 容量	φ 約 30×約 25mm, 約 0.2mL
材質	ポリエチレン
機能	<u>(37) 回収容器から分取した燃料デブリを収納する容器。燃料デブリを収納した状態で分析を行う。試料容器裏側の窓はフィルムで覆われているため、試料容器の窓から燃料デブリは落下することはない。また水素濃度測定後に、試料容器上面の孔はフィルムを貼り付けて塞ぐ。</u>

(6) 密閉容器



項目	仕様
寸法, 容量	φ約75×約86mm, 約50mL
材質	アクリル
機能	燃料デブリから発生する水素濃度を測定する際に収納する容器。燃料デブリが入った試料容器ごと密閉容器に収納し、一定時間経過した後、密閉容器内に充満した水素量を水素ガス検知器を用いて測定する。

(7) プラスチック製つぼ型容器



プラスチック製つぼ型容器を上からみた写真 (左)
 プラスチック製つぼ型容器の蓋を開けた状態の写真 (右)

項目	仕様
寸法, 容量	φ約47×約40mm, 約33mL
材質	ポリプロピレン, 鉛
機能	(29)燃料デブリが入った試料容器をグローブボックスから搬出する際に収納し保護するための容器。

(8) 運搬容器



運搬容器を上からみた写真（左）

運搬容器の蓋を開けた状態の写真（右）

項目	仕様
寸法, 容量	φ 約 222×約 216mm, 約 7L
材質	ステンレス鋼
機能	<u>(38) ビニールで密封されたプラスチック製つぼ型容器を収納し, 運搬する容器。</u>

(9) 携帯型蛍光X線分析計 (XRF)



項目	仕様
機能	(28) 輸送前に燃料デブリに含まれる元素を確認し、燃料成分と構造材成分が含まれているかを確認する。
測定範囲	(28) 測定可能元素を下記周期表に示す

: 測定可能元素

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	ランタノイド 72	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	アクチノイド															

ランタノイド 57-71	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
アクチノイド 89-103	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

図2 XRF測定範囲

(10)CdZnTe半導体検出器 (CZT)



項目	仕様
機能	燃料デブリに含まれる γ 核種を確認する。
測定範囲	測定エネルギー範囲：約 30keV～約 3.0MeV

(11)水素ガス検知器



項目	仕様
機能	燃料デブリから発生する水素発生量を測定する。
測定範囲	約 10～10,000ppm

(27)燃料デブリは付着している水は少量と想定され、水の放射線分解によって発生する水素の量も少量と想定される。水素濃度測定では発生量が少量であることを確認する。

(12) 電子天秤



項目	仕様
目的	分取した燃料デブリの重量を測定する。
測定範囲	秤量：400g, 最小表示：0.01g

指摘事項No. 5

実施計画変更予定範囲として、試験的取り出し後に解体・撤去する設備の範囲等について整理すること。

【回答】

試験的取り出し後に解体・撤去を行う主要機器の範囲はまとめ資料2章別紙-3のp2.3-1に示す通りである。主要機器に付帯する機器として発生する廃棄物は表1に示す通りである。

表1 試験的取り出しの片付けに伴い発生する主要な廃棄物

主要機器	主要な付帯機器
接続管	盤，運搬台車
スプレイ治具	盤，運搬台車，設置治具，サポート
アーム，エンクロージャ	回収装置，バルブラック，局所排風機，DPTEコンテナ，DPTEコンテナ保管用ラック
グローブボックス	盤，グリーンハウス，局所排風機，門型クレーン

試験的取り出し作業全体を通じて発生する廃棄物は表2に示すとおりである。

表2 試験的取り出し作業全体を通じて発生する廃棄物

	発生する廃棄物
試験的取り出し作業全体	ケーブル（動力・制御・計装），ホース，ポリ袋，ビニール，ウエス，難燃シート，保護具

発生する廃棄物は瓦礫類として1F構内に一時保管する。また、ハッチ開放作業，堆積物除去作業を含めた廃棄物の想定発生量は約1,100m³であり，今回の撤去作業の廃棄物発生量については保管計画に反映済みである。

指摘事項 No. 6

予定している試験的取り出しの想定回数や設備撤去に係る工程等を含めた全体スケジュールを示して説明すること。

指摘事項 No. 22

燃料デブリ等の試験的取り出し回数を「数回」としている根拠について説明すること。

指摘事項 No. 23

試験的取り出し作業及びその後の調査装置撤去作業の工程や作業内容等の詳細について説明すること。

指摘事項 No. 24

試験的取り出し回数の追加等、試験的取り出しに係る作業工程が延長される可能性の有無に加えて、延長される可能性がある場合にはその後の調査装置撤去作業やその他廃炉作業への影響等について資料に示して説明すること。

【回答】

全体スケジュールを下記の通り示す。

今後、現場準備作業を行い、並行してアーム型アクセス・調査装置のモックアップ・習熟訓練及びグローブボックスの習熟訓練を行う。その後、アーム型アクセス・調査装置及びグローブボックスの現地据付作業を行う。現地据付作業後、アーム型アクセス・調査装置の試運転を経て試験的取り出し作業を行う。試験的取り出し作業（燃料デブリ採取）は数回を予定している。⁽²²⁾燃料デブリを採取し、構外輸送を行い、構外輸送容器が戻るまでを約1週間として、燃料デブリ採取期間は約1ヶ月を想定している。調査装置の撤去作業は約5ヶ月程度を見込んでいる。

計量管理規定変更申請は試験的取り出し作業の約1ヶ月前までに申請する予定である。核物質防護については本変更申請に伴う変更はない。

⁽²⁴⁾試験的取り出し作業工程は内部調査を含む前段作業の進捗状況に応じて見直しを行う。その際に後続の燃料デブリ取り出し作業やその他の廃炉作業への影響を確認する。

	2023年度	2024年度
	▽8月現在	
アーム型アクセス・調査装置、グローブボックス装置開発	モックアップ・習熟訓練（国内）	
X-6ペネ隔離部屋設置		
X-6ペネハッチ開放		
・ X-6ペネ内堆積物除去 ・ アーム型アクセス・調査装置、グローブボックス設置		
試験的取り出し作業 （内部調査・燃料デブリ採取）		
調査装置撤去		

指摘事項No. 7

燃料デブリの取り出しから搬出までの取扱いフローを整理し、資料に示して説明すること。

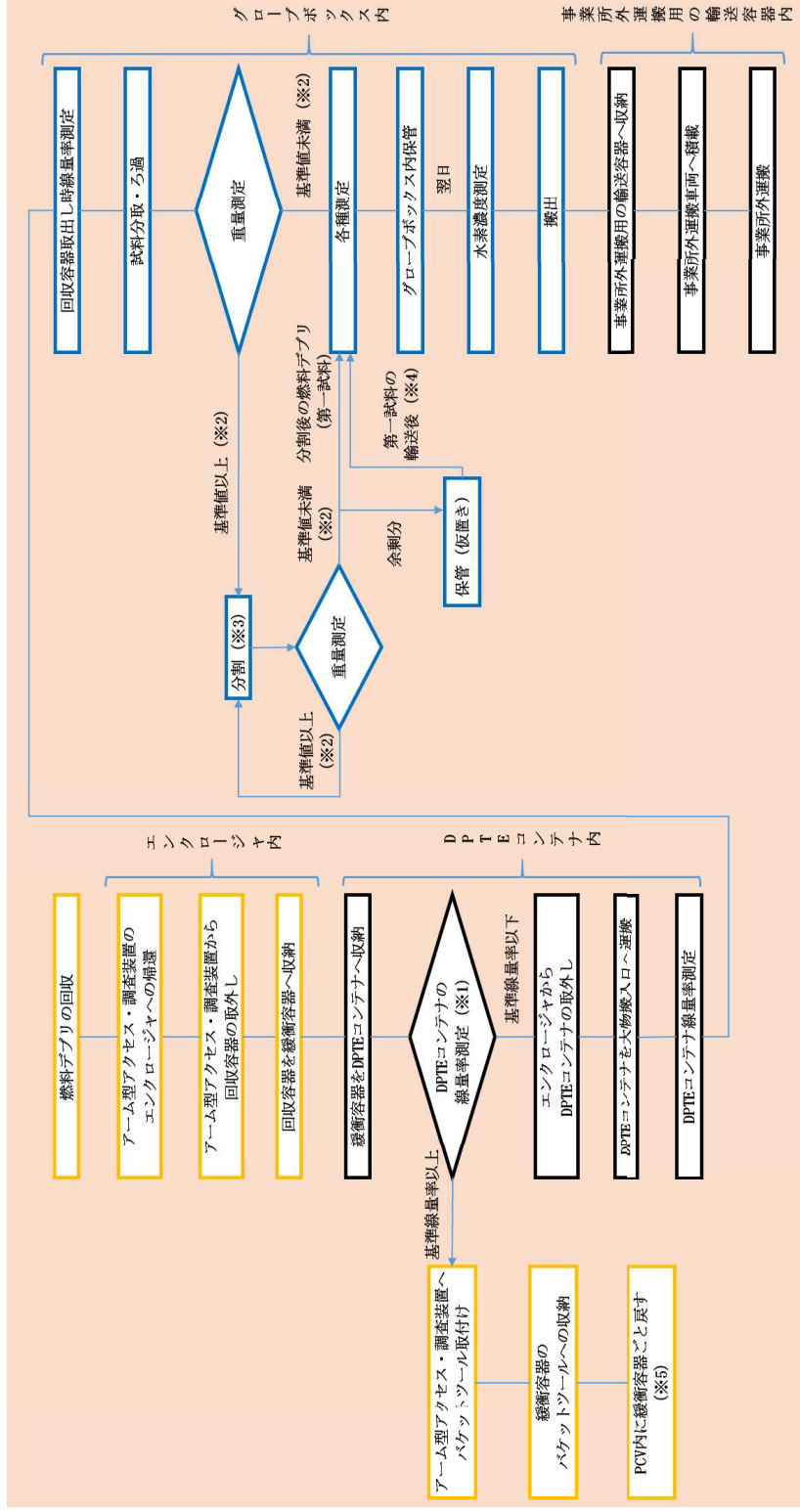
指摘事項No. 39

燃料デブリをPCV内へ戻す方法を追記すること。また、戻した際のPCV内の堆積物への影響について説明すること。

【回答】

燃料デブリの取り出しから搬出までの取扱いフローを別紙に示す。

燃料デブリの回収から輸送までの一連の作業フロー



※1 DPTE コンテナの線量測定を行うことで後続の作業が可能であることを確認する。

※2 A2 値または防護対象特定核燃料物質に該当しない重量のうち小さい重量。

※3 分割を行い基準値未満とならない場合は各種測定を行い搬出を行う。

※4 第一試料を輸送後、事業所外運搬容器が福島第一原子力発電所に戻り次第、各種測定を行う。

※5 ⁽³⁹⁾ PCV 内へ戻す際は、堆積物がなく未臨界維持に影響のないペダスタル外のグレーチング上に残置する計画。

指摘事項No. 8

今回の資料では、未臨界維持、閉じ込め、災害防止対策、電源の確保、耐震設計等に係る対応方針等の概要を記載しているが、今後の審査等に当たってはそれぞれの要求事項に対する適合方針やその具体的な内容について確認することから、先行事例の申請書やまとめ資料を参考にしつつ情報を追加して整理し、その内容を資料に示して説明すること。

【回答方針】

追加すべき事項は以下の通り。

(1) 外部事象（自然事象）の設計上の考慮

まとめ資料に記載の地震、津波、豪雨、台風、竜巻以外の想定される自然現象に対する設計上の考慮は下記の通り。

a. 紫外線

DPTEコンテナ、グローブボックスは原子炉建屋内で使用することから紫外線による影響は受けない。

b. 高温

DPTEコンテナ、グローブボックスは原子炉建屋内で使用することから外気高温による影響は受けない。

c. 生物学的事象

グローブボックス設置場所は原子炉建屋内であるためには小動物の侵入の可能性は低い。対策として回路端部等に対してシール材を施工することで対策を行う。

d. 森林火災

発電所周辺からの大規模火災に対しては、発電設備・炉注水配管等の重要設備に火災の影響が及ぶことを確実に防ぐことを目的として、重要設備の周辺に必要な防火帯を確保している。DPTEコンテナやグローブボックスは、防火帯の内側の原子炉建屋内で使用するため大規模火災の影響はない。

e. 凍結

DPTEコンテナ、グローブボックスは原子炉建屋内で使用することから外気温低下の影響は小さいため、凍結の影響はない。

(2) 外部事象（人為事象）の設計上の考慮

まとめ資料に記載以外の想定される外部人為現象に対する設計上の考慮は下記の通り。

a. 漂流船舶の衝突，航空機落下

本特定原子力施設への航空機の落下確率は，これまでの事故実績等をもとに，民間航空機，自衛隊機及び米軍機を対象として評価した（原管発管21 第270 号 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について（平成21 年10 月30 日））。その結果は約 3.6×10^{-8} 回/炉・年であり， 1.0×10^{-7} 回/炉・年を下回る。したがって，航空機落下を考慮する必要はない。

また，最も距離の近い航路との離隔距離や周辺海域の流向を踏まえると，航路を通行する船舶の衝突により，特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。

b. ダムの崩壊

ダムの崩壊により特定原子力施設に影響を及ぼすような河川は付近にはない。

c. 不正アクセス

不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を未然に防止するため，試験的取り出し装置の監視・制御装置が，電気通信回線を通じて不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を受けることがないように，外部からの不正アクセスを遮断する設計とする。

d. 電磁的障害

試験的取り出し設備やグローブボックスは電源からのノイズを対策するためアース線の設置を行う。

(3) 高インベントリ物質の保管容器の落下対策

燃料デブリを収納したDPTEコンテナはエンクロージャから大物搬入口1階までは台車を用いて運搬するため落下のリスクはなく，大物搬入口1階から2階へ運搬は天井クレーン（チェーンブロック）による揚重作業を計画しており，揚重作業は以下の落下防止対策を講じる。

- ・DPTEコンテナを収納した運搬容器をメッシュパレットに固縛し転倒防止対策，メッシュパレットからの落下防止対策を行う。
- ・メッシュパレットを4点吊りすることで落下防止対策を行う。
- ・天井クレーンは使用前点検を行い，異常のないことを確認する。

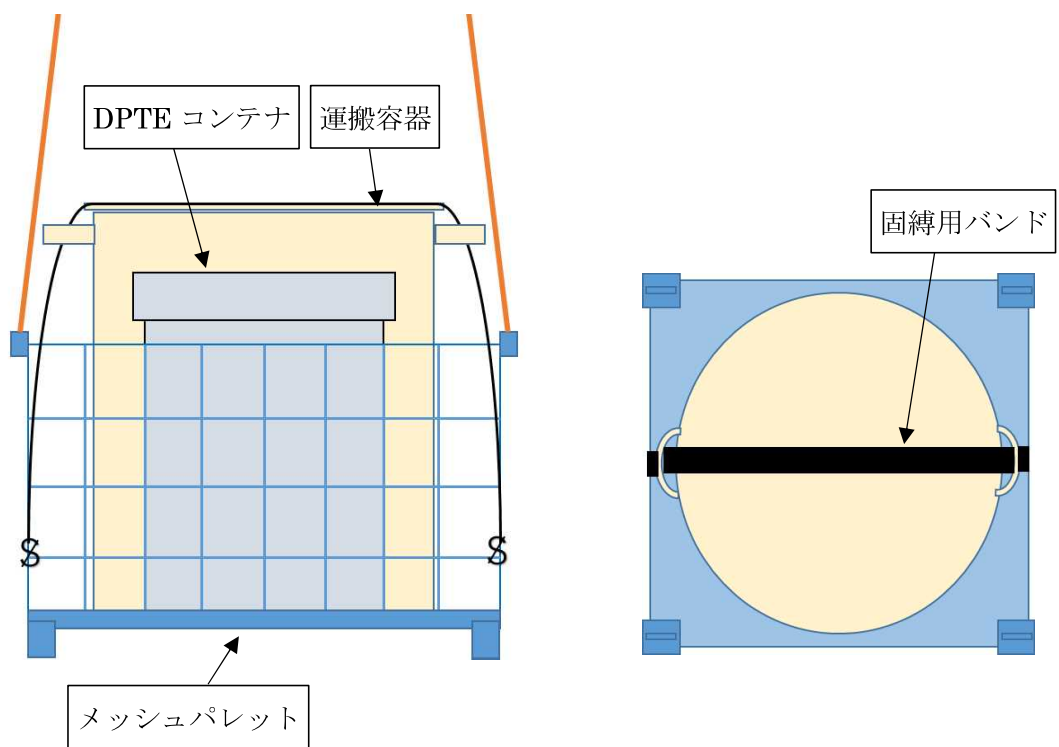


図1 DPTEコンテナ吊上げイメージ全体 (左図)

DPTEコンテナ吊上げイメージ上部 (右図)

指摘事項 No. 9

特に設備の耐震クラス等にも関係するハザードの設定に関して、燃料デブリ回収試験としてモックアップにより最大回収量（取扱量）の確認を行っているが、実機条件に照らして、その試験条件等が最大回収量を想定する上で適切な内容となっているか改めて確認し、試験の詳細について資料に示して説明すること。

【回答】

別紙ー1に示すように燃料デブリ回収試験は、比重がUO₂に近く入手性が良い鉛球を使用し粒径が0.35mm, 1mm, 2mmのそれぞれを用いて回収量の確認を行っていたが、実機環境では様々な径のデブリが混在していると考えられ、より実機環境に近い3種類の粒径が混在した状態で追加試験を実施し回収量の確認を行う。

追加試験の条件を表1に示す。

表1 追加試験条件

回収方式	粒径mm	混合比（重量比）
金ブラシ方式	0.35, 1, 2	1 : 1 : 1
真空容器方式	0.35, 1, 2	1 : 1 : 1

試験は現在実施中であり、結果は次回以降報告する。

なお、試験結果は従来の試験結果より回収量が増えることも予想されるが、グローブボックスの安全評価上の燃料デブリ量15gを超えることはないとする。

また、実際の回収作業に当たっては、回収箇所をカメラで確認し、径の大きい燃料デブリが存在しない箇所、多量の燃料デブリが存在しない箇所から採取することを計画している。

指摘事項No. 13

V章措置を講ずべき事項の（5）には1～4号炉の廃炉を進める上での今回の試験的取り出しの位置付けを記載すること。

【回答】

まとめ資料2章2.2対応方針(5)の記載を以下のように見直す。

V. 燃料デブリの取り出し・廃炉のために措置を講ずべき事項

○燃料デブリなどを含む核燃料物質については、(1)確実に臨界未満に維持し、(2)原子炉格納容器の止水などの対策を講じた上で、(3)安全に取り出し、飛散を防止し、適切に遮蔽、(4)冷却及び貯蔵すること。

○(5)作業員及び敷地内外の安全の確保を図りつつ、1号炉から4号炉の廃炉をできる限り速やかにかつ安全に実現するために適切な措置を講じること。

○上記に加えて、(6)災害の防止等のために必要であると認めるときは、措置を講じること。

- (5) 1号炉から4号炉の廃炉をできる限り速やかにかつ安全に実現するために適切な措置への考慮

福島第一原子力発電所は、「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項」において要求される安全上必要な措置を講じることで、一定の安定状態で維持管理している。

しかしながら、福島第一原子力発電所には、事故により損傷を受けた構造物の中に燃料デブリが残されていること、プラントの状態が十分把握されていない箇所があることから、大きなリスクが存在しており、このリスクを低減する必要がある。

燃料デブリの取り出しはこのリスク低減に資するものであるが、不確かさも内在している作業である。2号機の試験的取り出し（内部調査及び燃料デブリ採取）は、初めての燃料デブリ取り出し作業であり、今後の燃料デブリ取り出しの基本的な現場構成の形となることから、不確かさを内在した現場への適用に向けて様々な状態での機能を検証することにより、新たに抽出されたリスクを確実に低減していくことが必要となる。試験的取り出し作業を通して得られる情報、経験等は今後の燃料デブリ取り出し作業を安全かつ確実に行うために活用するものである。

指摘事項 No. 15

グローブボックス作業の作業体制を示すこと。

指摘事項 No. 31

グローブボックス作業に係る体制や想定被ばく量について、一班5人体制として各人一回あたりの被ばく線量を算出しているが、試験的取り出し回数を勘案した場合には相当量の被ばく線量となることから、線量限度や管理目標値等との関係を含めて放射線管理の考え方を改めて整理して資料に示して説明すること。

【回答】

下記表に直接作業者の体制案を示す。1班5人体制で作業を行う。

(31) 1Fにおける年間の個人の被ばく線量限度12mSv/年であり、グローブボックス作業ではこの線量限度は超えない。また、グローブボックス作業者は他の廃炉作業では低線量作業に従事することで線量の平準化を図る。

作業内容	作業種	作業時間	作業体制					
			作業者A	作業者B	作業者C	補助作業者A ※1	補助作業者B ※1	
作業準備	作業準備	約70分	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	
試料受入れ	DPTEコンテナ 保持	約3分				○ (0.31mSv)	○ (0.31mSv)	
	緩衝容器 取出	約2分	○ (0.18mSv)					
試料分取	①緩衝容器開封 ②燃料デブリ取出	約6分	○ (0.57mSv)	○ (0.57mSv)				
回収容器の 収納	回収容器の収 納							
重量測定	重量測定							
試料容器を 払出GBへ移 動	払出GBへの 移動	約11分		○ (0.08mSv)				
元素分析	元素分析				○ (1.10mSv)	○ (0.03mSv)		
γ線スペク トル測定	γ線スペク トル測定							
水素濃度測 定準備	密閉容器への 収納	約3分		○ (0.29mSv)				
保管	金庫への搬入							
水素濃度測 定	金庫からの 搬出	約3分	○ (0.26mSv)					
	水素濃度測定							
払出GBから 搬出	払出側グローブ作業	約7分	○ (0.08mSv)					
	試料保持				○ (0.48mSv)			
	シーラー作業					○ (0.48mSv)	○ (0.48mSv)	
運搬容器へ 収納	運搬容器への 収納	約3分				○ (0.20mSv)		
片付け	片付け	約70分	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	
待機時間における想定被ばく量※2			0.34mSv	0.36mSv	0.35mSv	0.33mSv	0.37mSv	
受入1回当たりの各作業者の想定被ばく量			2.4mSv	2.3mSv	2.9mSv	2.3mSv	2.1mSv	

※1 作業者はグローブボックス内作業を行うのに対して、補助作業者はグローブボックスから離れた位置で作業を行うことから作業準備、元素分析、γ線スペクトル測定、片付けにおいて想定被ばく線量は作業者より小さい。

※2 ⁽³¹⁾それぞれの作業時間が異なるため、待機時間の想定被ばく量も待機時間に比例して異なる。

指摘事項No. 16

耐震クラスの設定、被ばく計算での燃料デブリの想定量を示すこと。

【回答】

耐震クラスの設定に関しては、まとめ資料本文の記載を以下のように見直します。

a. 設計上の考慮のうち自然現象への考慮

(b) グローブボックス

グローブボックスは2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえて、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を確認することで耐震クラスを評価し、耐震性を確認している。

安全評価においては、グローブボックス内に燃料由来の燃料デブリが15g存在する状態で評価を行った。その結果、公衆への放射線影響が50 μ Sv以下となることを確認していることから、耐震クラスはCクラスとなる。

グローブボックスは津波、豪雨、台風、竜巻の影響を受けにくい、原子炉建屋内に設置する。

グローブボックス作業における被ばく計算での燃料デブリの想定量に関しては、まとめ資料別紙—4の記載を以下のように見直します。

3. 作業時の想定被ばく線量と被ばく低減

各作業における想定被ばく線量と被ばく低減対策を表2. 4-1に示す。

被ばく線量の想定にあたっては以下の条件で算出している。

燃料デブリを数g回収する計画であるが、エンクロージャから燃料デブリを収納したDPTEコンテナを取り外す際に、線量測定を行い後続作業が可能かであることを確認する。基準値を超えている燃料デブリはPCV内に戻すことにより、作業者の過剰被ばくを防止する。

線量率はIRIDの検討結果において、燃焼度約26GWd/tUの燃料1gから20cmの距離では約6mSv/hになる。グローブボックス内手前20cm範囲を作業禁止エリアとし、作業時の燃料デブリからの線量率を6.0mSv/hとして試算した。エンクロージャからの搬出時の線量率を6.0mSv/hとした場合、グローブボックス内で取り扱う燃料デブリの量は1g程度になると想定される。作業時間は検証試験の実績より保守的に想定している。

指摘事項No. 17

非常用電源は耐震クラスと照らし合わせたうえで可否を記載すること。

【回答】

まとめ資料の記載を以下のように記載を見直す。

a. 電源の確保への考慮

DPTEコンテナはコンテナ蓋の開閉に電源を必要としないため、非常用電源は考慮しない。

グローブボックスは耐震Cクラスの設備であり、使用期間も短く潜在的放射線リスクは小さいことからその監視機能も含め非常用電源は要しない。また、電源喪失時には手動の弁操作により閉じ込め機能を維持する対応とする。

指摘事項No. 18

緊急時対策に使用する「作業のために設置した仮設通信設備」の電源確保について整理して記載すること。

まとめ資料の緊急時対策に関する記載について、以下の通りとする。（下線部修正）

1. 適合方針

a. 緊急時対策について

緊急時は特定原子力施設内にいるすべての人に対し緊急放送等により避難指示を実施する。

2. 対応方針

b. 緊急時対策への考慮

緊急時の避難指示は緊急放送により周知するが、緊急放送が聞こえるエリアにある原子炉建屋外の現場指揮所の作業員から、緊急放送が聞こえないエリアである原子炉建屋内の作業員に対して、作業のために設置した仮設通信設備[※]もしくは携帯電話等の通話装置により避難を指示する。通話装置が使用できない場合には、連絡要員が原子炉建屋に出向し、原子炉建屋内の作業員に避難を指示する。

※仮設通信設備：原子炉建屋内の作業員に対し、原子炉建屋外の現場指揮所から作業指揮者が指示・監督を行うために設置した、作業用の通話装置のこと。

指摘事項No. 19

PCV内の監視とPCV外（エンクロージャ、グローブボックス）の監視について必要な電源確保について整理して記載すること。

試験的取り出し作業時には放射性ダストの発生が少ないこと、未臨界であることを確認しながら、原子炉格納容器内作業、原子炉建屋内作業を実施する。

1. 原子炉格納容器内作業時

原子炉格納容器内作業時には、原子炉格納容器内気体を抽気し、気体の監視を行いながら作業を実施するが、抽気・監視に使用している以下系統については非常用所内電源を受電している。そのため、外部電源喪失時においても原子炉格納容器内気体の抽気・監視が可能であり、放射性ダストの発生が少ないこと、未臨界であることは監視継続可能である。

- ・原子炉格納容器ガス管理設備
- ・原子炉格納容器ガス管理設備ダスト放射線モニタ
- ・原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計
- ・原子炉格納容器ガス管理設備ガス放射線モニタ

2. 原子炉建屋内作業

原子炉建屋内作業時には、作業エリアに連続ダストモニタを設置し放射性ダストの監視を行う。電源を喪失し、連続ダストモニタが使用できず監視を行う場合は、バッテリー型のコードレスダストサンプラを用いて放射性ダスト濃度を測定・監視する。

なお、試験的取り出しで取り扱う燃料デブリ量は臨界管理上問題とならない量であることから、原子炉格納容器外では臨界監視は不要である。

指摘事項 No. 21

ダスト管理エリアの管理方法を示すこと。

指摘事項 No. 25

新設するグローブボックス（以下「GB」という。）及びその周辺に設置するダスト管理エリアについて、GB内での燃料デブリ等の取扱において想定される放射性物質を含む気体の発生量の評価に加えて、GBやダスト管理エリアからの排気（排出）先や排風機容量（風量）設定の妥当性等、負圧管理の考え方を整理し資料に示して説明すること。

指摘事項 No. 26

ダスト管理エリアへの放射性物質の漏えいについて、漏えい防止に係る具体的な対策に加えて、万一漏えいした場合の回収方法や漏えい物の処理方法等の詳細について資料に示して説明すること。

指摘事項 No. 41

グリーンハウスの仕様に骨組み材料についても追記すること。

【回答】

グローブボックスから放射性物質が漏えいした際の汚染拡大防止のためにグローブボックス周辺に難燃性ビニールを用いたグリーンハウスを設置し、ダスト管理エリアを設定する。

ダスト管理エリアの構成イメージを図1に、各構成品の仕様を下記に示す。ダスト管理エリア周辺に局所排風機を設置し、吸い込み口をグローブボックスの受入ポート、払出ポート付近にそれぞれ設置することによりダスト管理エリア外への放射性ダスト飛散を抑制する。

(25)燃料デブリを扱うグローブボックス本体はJISに準拠した気密性をもつことで閉じ込め機能を有する。また、作業中は内部を負圧化することで万一の漏えいを防止し、作業者の身体汚染、内部被ばく防止を図る。

(25)グローブボックスの排気ラインはダスト管理エリアの外に布設する。グローブボックス内はα核種を含む可能性がある放射性物質を非密封状態で扱っており、作業安全の観点からダスト管理エリア内の汚染を避けるために、排気気体はHEPAフィルタを通してダスト管理エリア外へ排気する。

連続ダストモニタはダスト管理エリア内とグローブボックス排気ラインに設置し、放射性ダスト監視を行う。

(25)ダスト管理エリアの容積は約150m³であり、局所排風機の風量は1台あたり25m³/min以上である。そのため2台使用することで、ダスト管理エリア内の換気回数は約20回/hとなる。「高放射性物質取扱施設設計マニュアル^{※1}」では建屋のうち作業者が一時的に立入る区域の換気回数は4～10回/h程度とされていることから、今回使用する局所排風機の風量は十分である。

(25) なお、グローブボックス内での燃料デブリの取扱において想定される放射性物質を含む気体の発生量について、以下に示す条件で被ばく影響を概算したところ、敷地境界線量は約0.002 μ Sv未満と極めて小さい。

<評価条件>

(1) 対象作業

(25) 作業時間が長く保有する燃料デブリ量が多い状態となる「グローブボックス内での作業」を対象とした。

(2) 燃料デブリ量

(25) 指摘事項No.3の回答に示すように、被ばく評価上は、取り扱う燃料デブリを15gとし、全て燃料成分とした。

(3) ダスト飛散率

(25) 湿った燃料デブリかつ加工を行わないグローブボックス内通常作業で、ダストが飛散する状況は考え難いが、ここでは、「DOE HANDBOOK^{**2}」の粉体落下の飛散率評価式(4.4.3.1.3節の(4-5)式)を参照し、0.006%に設定した。評価においては、燃料15g(密度:10.45g/cm³)が、2m落下(グローブボックス内の空間高さ約1mより大きめに設定)を仮定した。

(4) ダスト放出シナリオとその低減効果

(25) グローブボックス内で発生したダストは瞬時にグローブボックスから排気され環境へ放出されるシナリオとした。放出時に見込まれるダストの低減効果としては、グローブボックスからの排気の際に、HEPAフィルタのダスト捕集効率(DF=1000)のみを考慮した。

(5) 被ばく評価経路

- ・ (25) 放射性雲中核種からの外部被ばく、吸入による内部被ばく
- ・ (25) 地表沈着核種からの外部被ばく、再浮遊した核種の吸入による内部被ばく

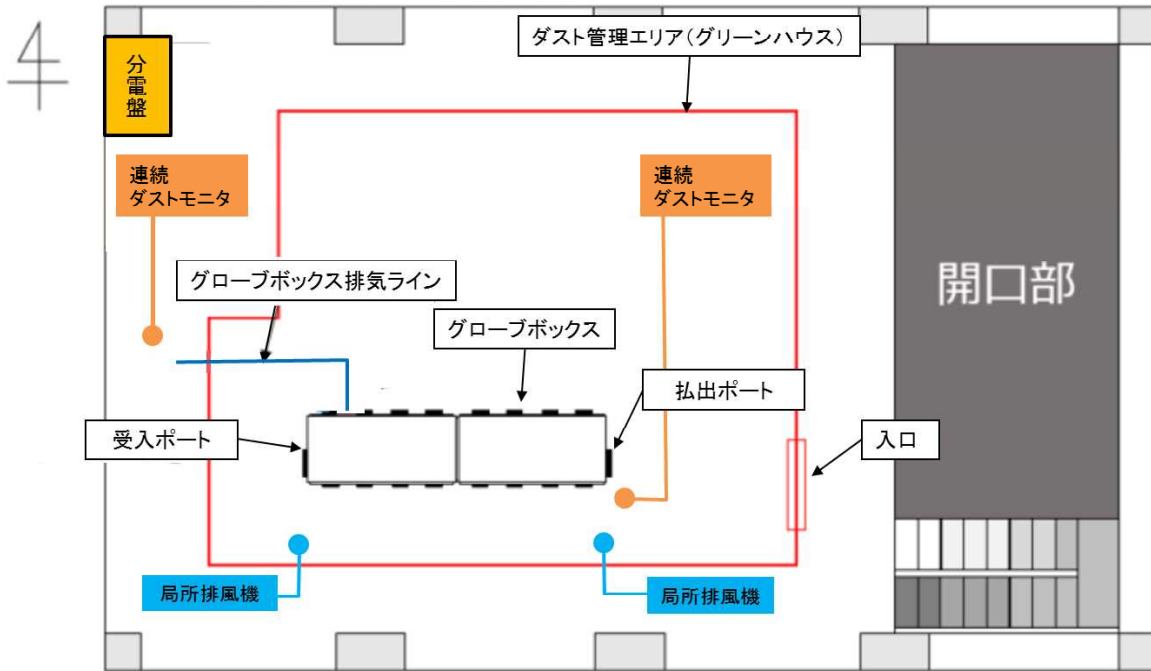


図 1. ダスト管理エリア構成イメージ

●, ● : 吸い込み口

ダスト管理エリア (グリーンハウス)

項目	仕様
寸法	約 6.0×約 8.5×約 2.9m, 厚さ : 約 0.3mm
材質	グリーンハウス : 難燃性ビニール, ⁽⁴¹⁾ 骨組み : 単管パイプ

局所排風機

項目	仕様
風量	25m ³ /min 以上
フィルタ	プレフィルタ, HEPA フィルタ

連続ダストモニタ

項目	仕様
測定対象	α線, β線

⁽²⁶⁾グローブボックスから放射性物質が漏えいした場合はダスト管理エリア内に設置した連続ダストモニタによって、漏えいを検知することができる。漏えいを検知した場合は燃料デブリをグローブボックス内に仮置きし、作業者はダスト管理エリアから退域することで作業者の身体汚染防止を図る。また退域時は除染、汚染検査を実施し汚染拡大防止を図る。その後、漏えい箇所特定のため作業者はRゾーン装備（全面マスク、カバーオール、アノラ

ック上下) でダスト管理エリアに入域し, 漏えい箇所を特定, 補修の対応を行う。汚染が確認された場合には濡れウエスによるふき取り除染を行う。

※1 (25) 高放射性物質取扱施設設計マニュアル 1985年 日本原子力学会

※2 (25) DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES Volume I-Analysis of Experimental Data 1994年 U.S. Department of Energy

指摘事項No. 30

GBから搬出した燃料デブリ等の構外輸送容器への収納作業について、実施場所や具体的な作業内容等について資料に示して説明すること。

【回答】

まとめ資料2章別紙－2記載を別紙のように見直す。

試験的取り出しの作業ステップ

1. 作業開始時の状態

試験的取り出しは、内部調査に引き続き実施する。試験的取り出し開始時の設備構成を図2.2-1、表2.2-1に示す。

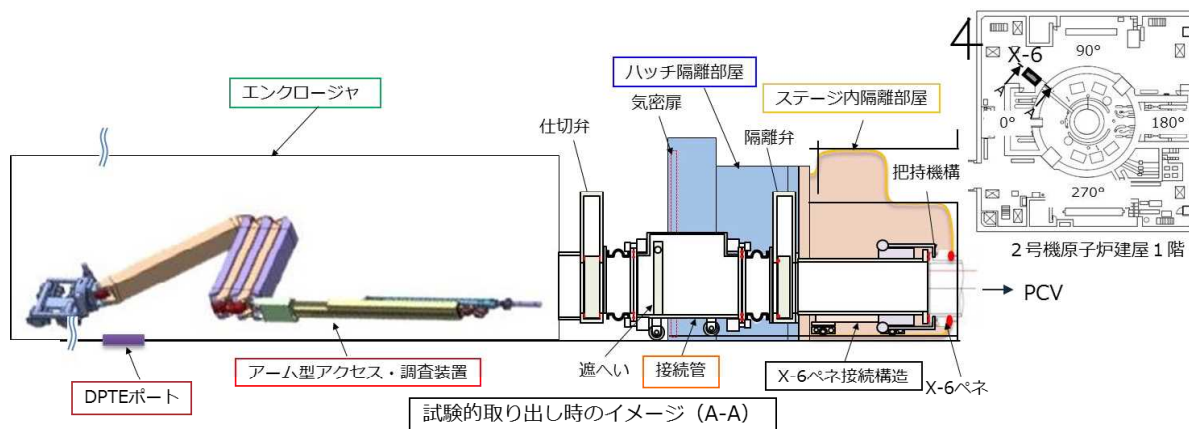


図 2.2-1 試験的取り出し時の設備構成

表 2.2-1 試験的取り出し時の設備について

X-6 ペネ接続構造	X-6 ペネ閉止板開放後、ペネフランジに接続しバウンダリを構成する装置。隔離弁を具備している。
接続管	後続の設備を接続するための装置、開閉式の遮へいを具備している。
アーム型アクセス・調査装置	伸長式のロボットアームで、先端に燃料デブリ回収装置を取付け、PCV 内部の燃料デブリを回収する。
エンクロージャ	アーム型アクセス・調査装置を収納するエンクロージャで、調査時にバウンダリを構成する。 DPTE コンテナと接続するポートを有しており、回収した燃料デブリはこのポートから搬出する。

2. 作業ステップ

試験的取り出しの作業ステップを表2.2-2に示す。回収装置等のエンクロージャへの搬入やデブリのエンクロージャからの搬出は、DPTEポートを用いて行う。DPTEポートを使用する際は、隔離弁を閉めた後、エンクロージャ内を負圧にすることで放射性ダストのエンクロージャ外への放出を抑制する。

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(1/6)

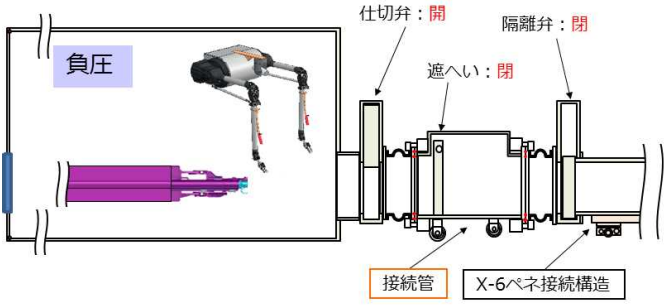
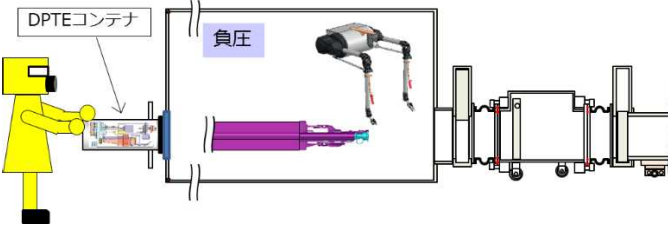
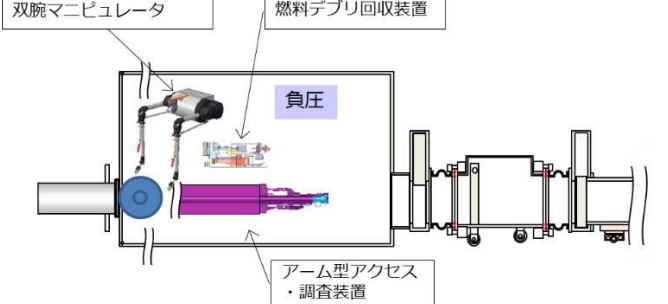
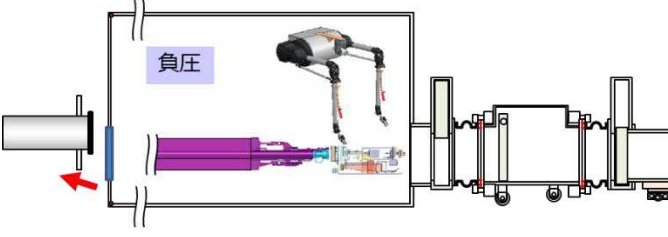
No	作業ステップ図	作業内容
1	<p>エンクロージャ内を負圧にする</p> 	<p>隔離弁を閉じた状態でエンクロージャ内を負圧にする。</p>
2	<p>DPTE コンテナの取り付け</p> 	<p>作業員が燃料デブリ回収装置の入った DPTE コンテナを、エンクロージャの DPTE ポートに取り付ける。</p>
3	<p>燃料デブリ回収装置の搬入</p> 	<p>双腕マニピュレータを操作し、DPTE ポートを開放し、中から燃料デブリ回収装置を搬入する。</p>
4	<p>燃料デブリ回収装置の取り付け、DPTE コンテナ取り外し</p> 	<p>燃料デブリ回収装置を双腕マニピュレータを使用してアーム型アクセス・調査装置（以下、アーム）の先端に取り付ける。DPTE ポートを閉じ、DPTE コンテナを取り外す。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(2/6)

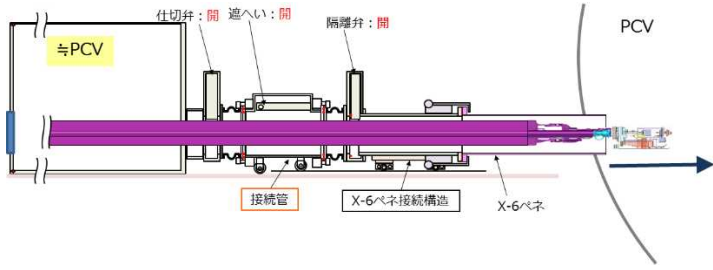
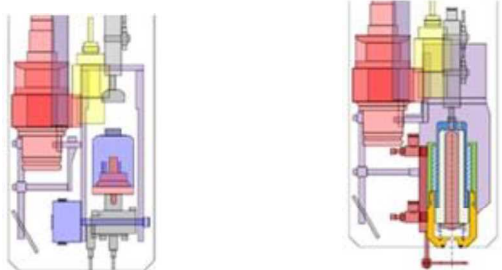
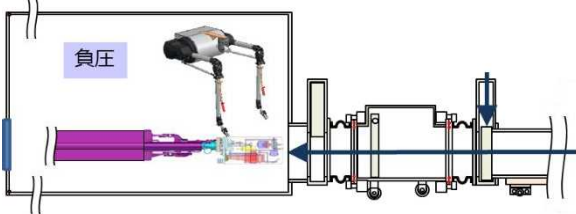
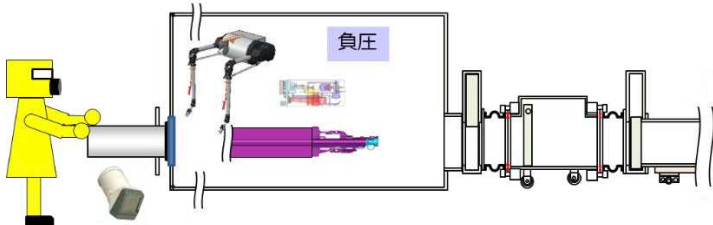
No	作業ステップ図	作業内容
5	<p>燃料デブリ取り出し</p> 	<p>エンクロージャ内の圧力をPCVと同程度の圧力となるように昇圧する。</p> <p>隔離弁を開放し、アームを操作し回収装置をPCV内に挿入しデブリを回収する。</p> <p>(装置の詳細は別紙-1を参照)</p>
6	<p>燃料デブリ回収</p>  <p style="text-align: center;">金ブラシ方式 真空容器方式</p>	<p>回収装置を燃料デブリに接触させ回収する。燃料デブリ回収後は、金ブラシ方式はブラシにカバーをし、燃料デブリの落下を防止する。真空容器方式は真空容器の中に燃料デブリを入れることで落下を防止する。</p>
7	<p>アームの帰還，隔離弁の閉止</p> 	<p>燃料デブリの回収が終了したら、アームを帰還させる。</p> <p>帰還が完了したのち隔離弁を閉じ、エンクロージャ内を負圧にする。</p>
8	<p>DPTE コンテナの取付け，回収装置の取り外し</p> 	<p>作業員により DPTE コンテナを取り付ける。</p> <p>双腕マニピュレータで回収装置を取り外す。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ (3/6)

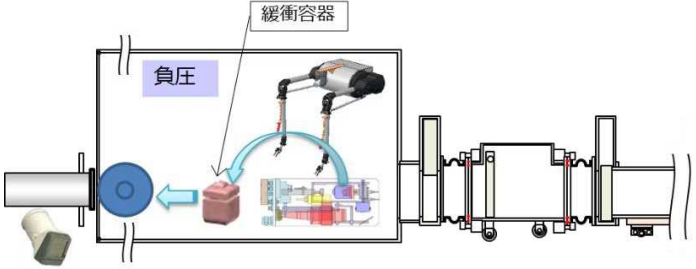
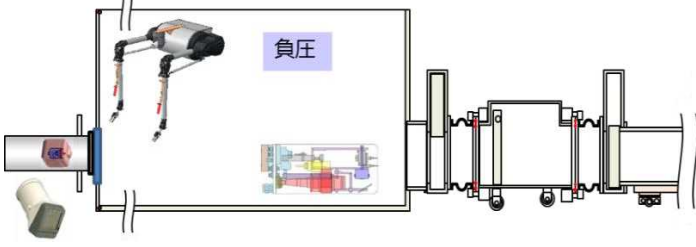
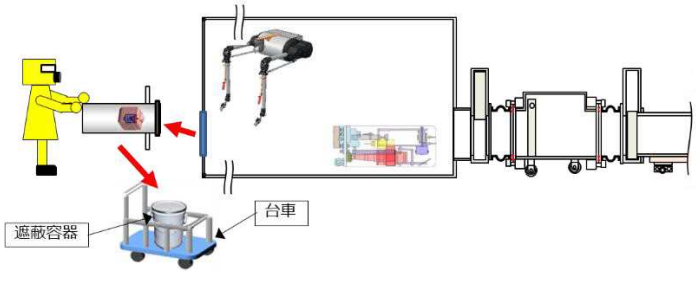
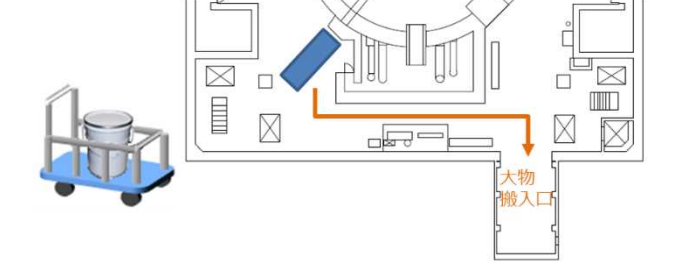
No	作業ステップ図	作業内容
9	<p>緩衝容器収納</p> 	<p>双腕マニピュレータで回収装置から，回収容器を取り外し，緩衝容器に収納する。 緩衝容器を DPTE コンテナに収納する。</p>
10	<p>線量測定</p> 	<p>DPTE コンテナの線量を測定する。基準値以下であることを確認する。 DPTE ポートの扉を閉じる。</p>
11	<p>DPTE コンテナ取り外し</p> 	<p>作業員によりエンクロージャから DPTE コンテナを取り外す。 DPTE コンテナを台車上の遮蔽容器に入れる。</p>
12	<p>建屋内運搬</p> 	<p>台車を用いて，DPTE コンテナを大物搬入口まで移動させる。 大物搬入口 1 階から 2 階へ運搬する。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(4/6)

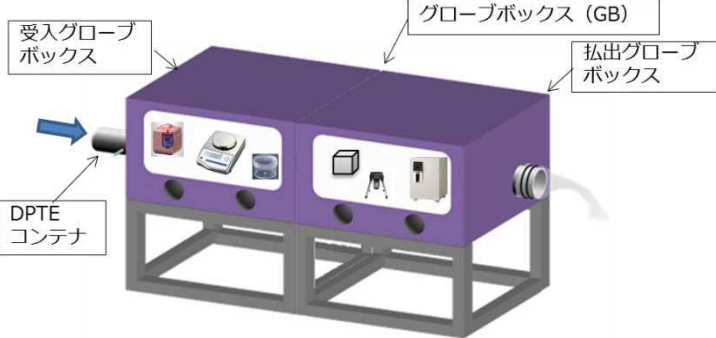
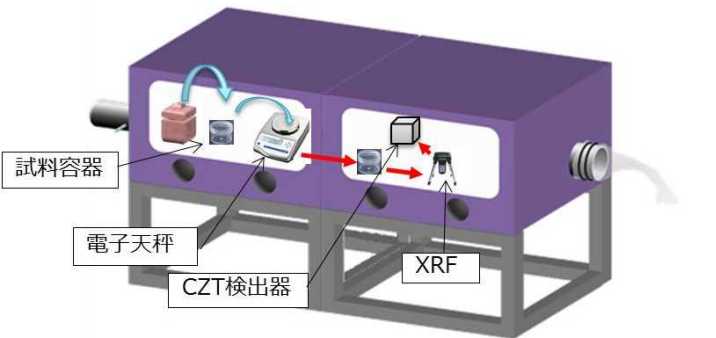
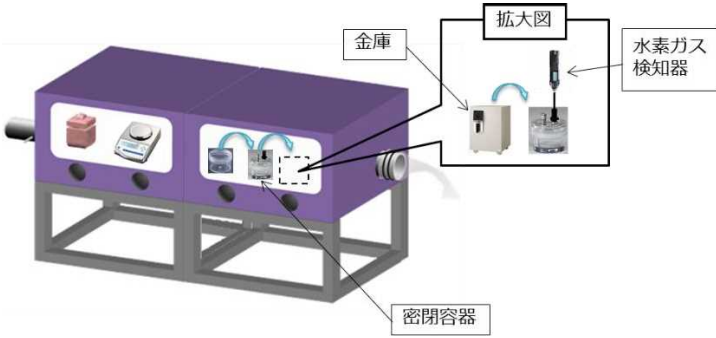
No	作業ステップ図	作業内容
13	<p>グローブボックスへ取付け</p> 	<p>グローブボックス (以下、GB という) 内を負圧にする。 DPTe コンテナを GB に取付ける。 ポートを開け DPTe コ ンテナ内の緩衝容器 を取り出す。</p>
14	<p>試料取り出し，測定</p> 	<p>緩衝容器から回収容 器を取り出す。 回収容器から，試料 容器へ燃料デブリを 取り出し，重量を測 定する。 携帯型蛍光 X 線分析 計 (XRF) で元素分析を 行う。 CdZnTe 半導体 (CZT) 検出器で γ 線スペク トルを測定する。</p>
15	<p>水素濃度測定</p> 	<p>試料容器を密閉容器 へ収納し，一定時間 金庫にて施錠して保 管する。保管後，金 庫から取り出し，水 素ガス検知器にて密 閉容器内の水素濃度 を確認する。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ (5/6)

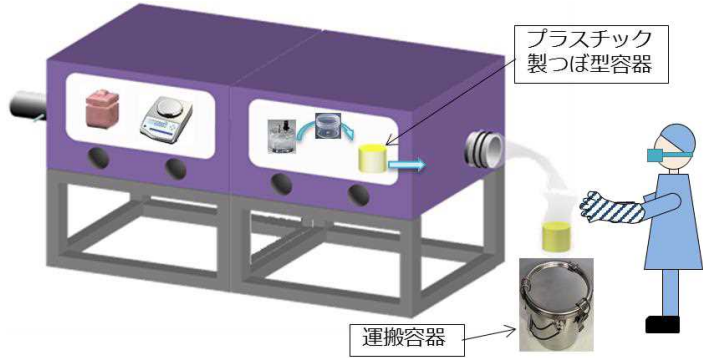
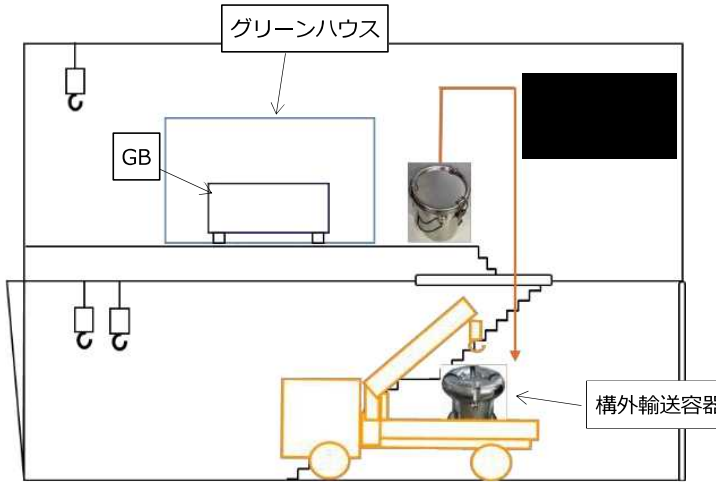
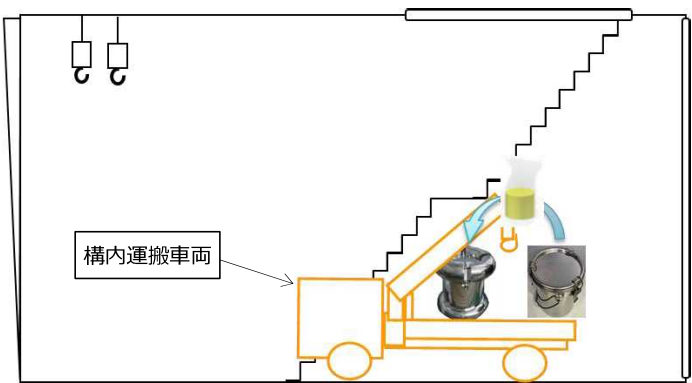
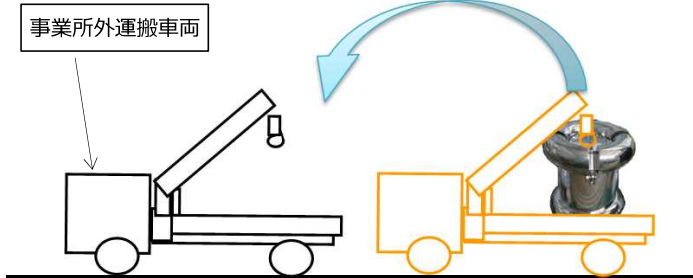
No	作業ステップ図	作業内容
16	<p>搬出</p>  <p>プラスチック製つぼ型容器</p> <p>運搬容器</p>	<p>試料容器を密閉容器から取り出し、プラスチック製つぼ型容器に移してビニールに入れる。</p> <p>GB 外で容器を保持する。</p> <p>GB 外でシーラー作業を行い密封する。</p> <p>運搬容器へ収納する。</p>
17	<p>建屋内運搬</p>  <p>グリーンハウス</p> <p>GB</p> <p>構外輸送容器</p>	<p>運搬容器をメッシュパレットに固縛し、XXXXXXXXXXへ運搬する。</p>
18	<p>構外輸送容器への収納,</p>  <p>構内運搬車両</p>	<p>ビニールで密封された燃料デブリを事業所外運搬用の輸送容器（構外輸送容器）に収納する。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(6/6)

<p>19</p>	<p>事業所外運搬車両への積載</p> 	<p>構外輸送容器を構内運搬車両で、事業所外運搬車両への積載場所へ運搬する。</p> <p>構外輸送容器を事業所外運搬車両へ積載する。</p>
-----------	--	---

指摘事項No33

試験的取り出しは堆積物の未臨界状態に影響を与えないとしている点に関して調査装置の落下、堆積物に含まれる核燃料物質の分布の偏り等も考慮した条件下での影響の有無についても資料に示して説明すること。

【回答】

アーム型アクセス・調査装置はキャリッジ部がエンクロージャ内のレール上を移動することでアーム型アクセス・調査装置のブーム、ワンド部がPCV内にアクセスすることからアーム型アクセス・調査装置の全体がPCV内に落下する可能性はない。アーム型アクセス・調査装置のワンド部分はペDESTAL内のプラットフォーム内にアクセスし、引っかかる等の異常時にはワンド部を切り離し、アーム型アクセス・調査装置を回収し、X-6ペネ接続構造に搭載している隔離弁を閉止することでバウンダリを確保する。

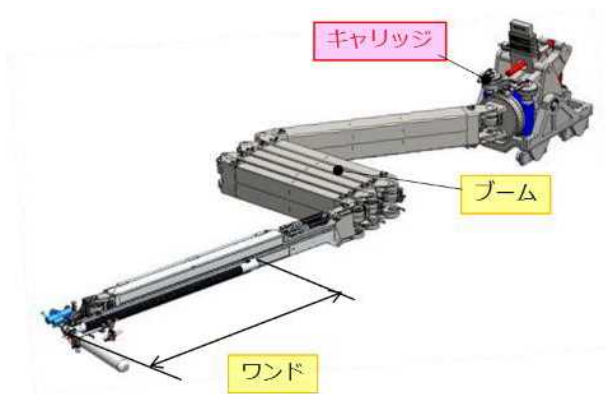
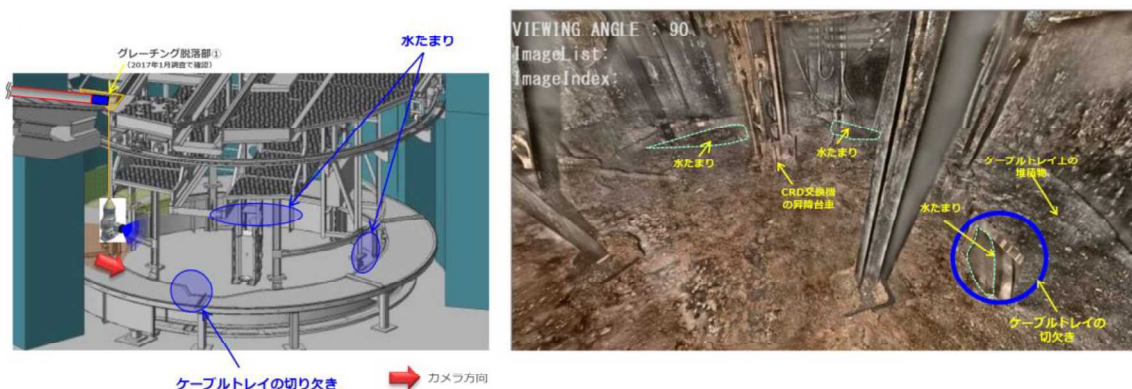


図1 アーム型アクセス・調査装置の概略図

ワンド部（質量約50kg）落下による臨界影響について、ワンドの堆積、落下衝撃による形状変化を検討した。

ワンド部の主な組成は鉄であり、ペDESTAL底部の堆積物の上に覆う形で堆積しても、未臨界状態への影響は小さい。

落下に伴う衝撃に対しては、これまでの原子炉格納容器内部調査において、堆積物が、広い範囲で同程度の高さに分布していることを確認しており、落下箇所近傍の堆積物が雪崩のように崩れ、形状変化が生じる可能性は小さい。また、落下に伴う衝撃により、堆積物が粉々になることで、水領域と堆積物が混在するような形状となることを想定しても、その影響範囲は小さいことから、未臨界状態への影響は小さい。



2018年の原子炉格納容器内部調査で確認した堆積状態

(落下に伴う衝撃の影響)

堆積物の壊れやすさについては、不確かな部分が多く、ここでは堆積物が鉄相当の硬さ、セメント系断熱材相当の硬さの場合に、落下物の影響により堆積物が粒径1cmに粉々にされた場合の影響範囲について示す。

落下物の運動エネルギーが全て破砕に消費されると仮定した場合、破砕される影響範囲は、鉄相当の硬さで一辺約5.5cmの立方体相当、セメント系断熱材相当の硬さで一辺約11.8cmの立方体相当の範囲であり、堆積物がペDESTAL下部に広く分布していることから、未臨界状態への影響は小さい。

落下物の運動エネルギー：mgh

落下物質量 m：50kg

落下物高さ h：3m (CRD 開口部高さ付近)

重力加速度 g：9.8m/s²

破壊に必要なエネルギー：k

鉄：3～10 J/cm² (壊れやすい3J/cm²で評価)

セメント系断熱材：0.3 J/cm²

落下物の運動エネルギーにより生成される粒径1cmの球の数

$$n = mgh/k / (4\pi r^2) \times 2$$

※一回の破断エネルギー分で、2個生成されることから、2を乗じている。

球の数に対する体積：V=n×4/3πr³

上記の計算式より、落下物により破砕される体積は、

鑄鉄相当の硬さで約 $V=163\text{cm}^3$ (一辺約 5.5cm の立方体相当)

セメント系断熱材相当の硬さで約 $V=1633\text{cm}^3$ (一辺約 11.8cm の立方体相当)
となる。

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対し
して求める措置を講ずべき事項について等へ
の適合性について
(2号機のPCV内部調査及び試験的取り出し
し作業のうち試験的取り出し)

令和5年7月
東京電力ホールディングス株式会社

本資料においては、福島第一原子力発電所の2号機のPCV内部調査及び試験的取り出し作業のうち試験的取り出しに関連する「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」（平成24年11月7日原子力規制委員会決定。以下「措置を講ずべき事項」という。）等への適合方針を説明する。

目 次

1 章 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価

1.1 特定原子力施設における主なリスクと

今後のリスク低減対策への適合性.....1.1-4

2 章 燃料デブリの取り出し・廃炉

2.1 燃料デブリの取り出し・廃炉のために

措置を講ずべき事項.....2.1-15

1 章 特定原子力施設の全体工程及び リスク評価

1.1 特定原子力施設における主なリスクと 今後のリスク低減対策への適合性

措置を講ずべき事項

I. リスク評価について講ずべき措置

1号炉から4号炉については廃炉に向けたプロセス、燃料デブリの取出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程、5号炉及び6号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし、各工程・段階の評価を実施し、特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること、特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価を行うに当たっては、敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い、リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであること。

1.1 措置を講ずべき事項への適合方針

1号炉から4号炉については廃炉に向けたプロセス、燃料デブリの取出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程、5号炉及び6号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし、各工程・段階の評価を実施し、特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図る。

特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価を行うに当たっては、敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行い、リスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであるようにする。

1.2 対応方針

福島第一原子力発電所内に存在している様々なリスクに対し、最新の「東京電力福島第一原子力発電所 中期的リスクの低減目標マップ（以下「リスクマップ」という。）」に沿って、リスク低減対策に取り組んでいく。プラントの安定状態に向けた更なる取組、発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた取組、ならびに使用済燃料プールからの燃料取り出し等の各項目に対し、代表される様々なリスクが存在している。各項目に対するリスク低減のために実施を計画している対策については、リスク低減対策の適切性確認の視点を基本とした確認を行い、期待されるリスクの低減ならびに安全性、被ばく及び環境影響等の観点から、その有効性や実施の要否、時期等を十分に検討し、最適化を図るとともに、必要に応じて本実施計画に反映する。

東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ(固形状の放射性物質以外の主要な目標)

分野 (年度)	液状の放射性物質	使用済燃料	外部事象等への対応	廃炉作業を進める上で 重要なもの
2023	1/3号機PCV水位計の設置・S/C水位を低下	2号機原子炉建屋 オペフロ遮へい・ダスト抑制	陸側遮水壁内のフェーシング範囲 50%へ拡大 【当面の雨水対策】	多核種除去設備等処理水の 海洋放出開始
	原子炉建屋内滞留水の半減・処理	キャスク仮保管設備の増設着手	格納容器内部の閉じ込め機能維持方針 策定(水素対策含む)	2号機燃料デブリ試験的取り出し ・格納容器内部調査・性状把握
	タンク内未処理水(Dエリア)の処理開始		日本海溝津波防溜堤(T.P.約13~16m)設置	
	高性能容器(HIC)内スラリー移替作業		1~3号機原子炉建屋の遠隔による健全 性確認手法の確立・建屋内調査開始	
2024	滞留水中のα核種除去開始	1号機原子炉建屋カバー設置	建物構築物の健全性評価手法の確立	2号機燃料デブリの「段階的な 取り出し規模の拡大」に対する安全対策
2025		6号機燃料取り出し完了/ 5号機燃料取り出し開始		1/2号機排気筒下部の高線量SGTS配管 等の撤去・周辺の汚染状況調査
今後の 更なる 目標	タンク内未処理水(H2エリア)の処理開始	乾式貯蔵キャスク増設エリア拡張	地下水対策 (建屋外壁の止水等)	燃料デブリ分析施設設置(分析第2棟)
2026 ~	プロセス主建屋等ドライアップ	1/2号機燃料取り出し		取り出した燃料デブリの安定な状態での保管
2034	地下貯水槽の撤去	全号機使用済燃料プール からの燃料取り出し		<div style="border: 1px solid red; width: 15px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> 周辺の地域や海域等への影響を特 に留意すべきリスクへの対策 <div style="border: 1px solid pink; width: 15px; height: 10px; display: inline-block; margin-right: 5px;"></div> 留意すべきであるが比較的外部へ の影響が小さいリスクへの対策
	ドライアップ完了建屋の残存スラッジ等の処理			
	原子炉建屋内滞留水の全量処理			
	【実現すべき姿】 タンク残量を含む液状の放射性物質 の全量処理	【実現すべき姿】 全ての使用済燃料の乾式保管	【実現すべき姿】 建物構築物等の劣化や損傷状況に応じ た対策を講じる	【実現すべき姿】 ・多核種除去設備等処理水の計画的 な海洋放出の実施 ・燃料デブリの安定な状態での保管

※原子力規制委員会 東京電力福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ
(2023年3月版)より抜粋

※本件に該当する箇所は青枠(□)にて表記する。

2章 燃料デブリの取り出し・廃炉

2.1 燃料デブリの取出し・廃炉のために 措置を講ずべき事項

措置を講ずべき事項

V. 燃料デブリの取出し・廃炉のために措置を講ずべき事項

○燃料デブリなどを含む核燃料物質については、(1)確実に臨界未満に維持し、(2)原子炉格納容器の止水などの対策を講じた上で、(3)安全に取り出し、飛散を防止し、適切に遮蔽、(4)冷却及び貯蔵すること。

○(5)作業員及び敷地内外の安全の確保を図りつつ、1号炉から4号炉の廃炉をできる限り速やかにかつ安全に実現するために適切な措置を講じること。

○上記に加えて、(6)災害の防止等のために必要であると認めるときは、措置を講じること。

2.1 措置を講ずべき事項への適合方針

(1) 未臨界の維持について

試験的取り出しは、先行して実施する内部調査に引き続き実施する。原子炉格納容器（以下、PCV）より回収する燃料デブリの量を少量に制限することで未臨界を維持する。

(2) 原子炉格納容器の止水について

試験的取り出し時はPCVの止水が不要である。

(3) 取り出し作業時の安全、飛散防止及び遮蔽について

作業時の安全の観点より作業員が回収した燃料デブリに接近する際には事前に線量を測定する。また、接近する際は仮設遮へいを活用し作業員の被ばく低減を図る。

飛散防止の観点より燃料デブリは閉じ込め機能を有する装置（エンクロージャ、DPTCコンテナ、グローブボックス）内で回収、移送、測定等の作業を行う。

(4) 冷却及び貯蔵について

試験的取り出しで取り扱う燃料デブリの量は冷却への対策を講じる必要のない少量とする。

回収した燃料デブリは貯蔵せず、構外分析施設へ輸送する。

(5) 1号炉から4号炉の廃炉をできる限り速やかにかつ安全に実現するための適切な措置について

燃料デブリの試験的取り出しについて講ずべき適切な措置は(1)～(4)にて整理する。

(6) 災害の防止について

福島第一原子力発電所（以下、1F）構内の作業において、環境・作業時の装備の影響を考慮した熱中症災害防止対策を講じる。

(7) その他

「Ⅱ 設計、設備について措置を講ずべき事項」のうち、試験的取り出しにおいて適合する必要がある項目を以下に示す。

a. 電源の確保について

試験的取り出しで使用する装置のうち、安全機能として閉じ込め機能を有する装置は必要な電源を受電可能とする。

b. 電源喪失について

試験的取り出しの作業は全交流電源喪失時において原子炉圧力容器（以下、RPV）及びPCV内への冷却機能に影響を与えない。

c. 放射性固体廃棄物の処理、保管及び管理について

試験的取り出し終了後、撤去する装置は瓦礫類として1F構内に一時保管する。当該瓦礫類は廃棄物発生量の計画には反映済みであり必要な保管容量は確保されている。

d. 放射性気体廃棄物の処理及び管理について

試験的取り出し時のPCV内における気体廃棄物は既設の原子炉格納容器ガス管理設備において処理を行い、放出される放射性物質の低減を図る。

試験的取り出しで使用する装置から気体を排気する際は、HEPAフィルタを設置した排気系統より排気し、放出される放射性物質の低減を図る。

e. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等について

試験的取り出しではPCV内で燃料デブリの加工を行わず、放射性ダストの発生量が極めて少ないため、敷地周辺に対して放射性被ばくのリスクを与えるものではない。

f. 作業者の被ばく線量の管理等について

燃料デブリの回収作業はアーム型・アクセス調査装置及び双腕マニピュレータを使用した遠隔作業とすることで被ばく低減を図る。

回収した燃料デブリに接近し作業を行う際は、事前の線量測定により作業可能

な線量率であることを確認し、モックアップ及び事前準備により作業時間を短縮することで被ばく低減を図る。

試験的取り出し作業では放射性物質の汚染拡大防止を行う。

g. 緊急時対策について

緊急時は特定原子力施設内にいるすべての人に対し緊急放送等により避難指示を実施する。

h. 設計上の考慮のうち準拠規格及び基準について

(a) DPTEコンテナ

DPTEコンテナは日本産業規格（以下、JIS）に準拠した漏えい確認試験を実施する。

(b) グローブボックス

グローブボックスの漏えい率はJISに準拠する。

i. 設計上の考慮のうち自然現象について

(a) 地震

閉じ込め機能を有する装置は2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、閉じ込め機能が喪失した場合における公衆への放射線影響より耐震クラスを設定する。

(b) 地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）

閉じ込め機能を有する装置は津波、豪雨、台風、竜巻の影響を受けない原子炉建屋内に設置する。

j. 設計上の考慮のうち外部人為事象について

閉じ込め機能を有する装置は原子炉建屋内で使用することで外部人為事象に対する安全性を確保する。

k. 設計上の考慮のうち火災について

試験的取り出しの作業において火気作業は実施しない方針とし、実用上可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用する。また、火災検知及び消火を目的として監視カメラ、消火器を設置する。

l. 設計上の考慮のうち環境条件について

閉じ込め機能を有する装置は使用場所である原子炉建屋内の放射線に関する環境条件を考慮し、閉じ込め機能の維持可能な装置を使用する。

- m. 設計上の考慮のうち運転員操作について
運転員（作業員）の誤操作を防止するために、適切な操作方法、状態監視及び機器配置により安全機能の維持を行う。

- n. 設計上の信頼性について
 - (a) DPTEコンテナ
DPTEコンテナはJISに準拠した漏えい確認試験記録を確認することで、閉じ込め機能の信頼性を確保する。
 - (b) グローブボックス
グローブボックスの漏えい率はJISに準拠した設計とすることで、閉じ込め機能の信頼性を確保する。

- o. 設計上の検査可能性について
 - (a) DPTEコンテナ
DPTEコンテナは出荷時の漏えい確認試験記録を確認する。
 - (b) グローブボックス
グローブボックスは現地据え付け時に漏えい確認試験を行う。

2.2 対応方針

燃料デブリを安全に取り扱うため試験的取り出しで使用する設備及び各作業の手順においては、以下を適切に考慮したものとする。

(1) 未臨界の維持への考慮

試験的取り出しにおいては、数 g の量を数回取り出すことを予定している。2号機に装荷されていた燃料の U-235 ペレット最高濃縮度（未照射）は 4.9wt% であり、臨界の最小質量 30.2kg（U-235 濃縮度 5wt%：日本原子力研究開発機構の臨界安全ハンドブック・データ集^{*1}）に対して試験的取り出しで扱う量は臨界管理上問題とならない量となる。

また、現在、臨界検知のために原子炉格納容器ガス管理設備ガス放射線モニタによる Xe-135 濃度監視を実施しているが、試験的取り出し作業中も本監視を継続し、緊急時には原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備によりホウ酸水を注入する。

回収装置の設計においては、1回の燃料デブリの回収量が数 g 以下となる装置とし、別紙-1 に示す金ブラシ方式と真空容器方式を採用することにより燃料デブリの取扱量を制限する。

なお、2019年のPCVペデスタル底部堆積物接触調査時において、原子炉格納容器ガス管理設備ダストモニタ、ガス放射線モニタの指示値に優位な変化がなかったことを確認している。

※1 臨界安全ハンドブック・データ集第2版 2009 日本原子力研究開発機構

(2) 原子炉格納容器の止水への考慮

2.1(2)に記載の通り、試験的取り出し時にPCVの止水は不要である。

(3) 取り出し作業時の安全、飛散防止及び遮蔽への考慮

試験的取り出しにおいては、先行する内部調査で設置したアーム型アクセス・調査装置を使用し取り出し作業を行う。取り出し作業に関する準備作業から搬出作業までの一連の作業内容を別紙-2に示す。

資機材搬出入時にエンクロージャのポートを開ける場合は、DPTEコンテナを取り付け、事前にエンクロージャ内を負圧化することで放射性物質の飛散防止を図る。具体的な取り出し作業の流れと漏えい確認のポイントについては、別紙-2に示す。燃料デブリを収納したDPTEコンテナに接近し作業を行う際は、DPTEコンテナの表面線量を測定し、作業可能であること確認し、仮設遮へいを活用してアクセスする。

回収した燃料デブリの重量測定や線量測定はグローブボックス内で作業を行う。グローブボックスでは、回収した燃料デブリを回収容器から取り出し計量、測定を行い構外の分析施設に輸送する。漏えい率は「JIS Z 4808 放射性物質取扱作業用グローブボックス」に準拠して設計され、負圧化することで放射性物質の飛散防止を図る。グローブボックスは内部の圧力が大気圧に近づいた場合、警報を発することで閉じ込め機能の監視を行う。

(4) 冷却及び貯蔵への考慮

試験的取り出しでPCVから回収する燃料デブリは少量であり、その発熱量もわずかであることから冷却は行わない。

別紙-2に示すように試験的取り出しの作業ステップの中でグローブボックス内に設置した金庫内に分析のための仮置きを行うが、回収した燃料デブリは構外分析施設へ輸送するため、グローブボックス内に貯蔵は行わない。

- (5) 1号炉から4号炉の廃炉をできる限り速やかにかつ安全に実現するための適切な措置への考慮
- 燃料デブリの試験的取り出しについて講ずべき適切な措置は(1)～(4)で整理している。
- (6) 災害の防止への考慮
- 試験的取り出し作業では原子炉建屋内で全面マスク、アノラックを着用して作業を行うことで熱中症リスクが増加するため、福島第一原子力発電所共通の熱中症対策として、以下の5つの対策を実施する。
- a. 作業前の体調確認
チェックシートを用いて、体調確認を実施する。
 - b. 気温が低い時間帯での作業
夏季は14～17時の屋外作業は原則実施せず、早朝もしくは夕方に作業を実施する。
 - c. クールベスト着用
体温を下げるため、クールベストを着用する。
 - d. 未経験者の識別
過去の熱中症発生が1F構内にて夏場作業の経験がない事例が多いことから、未経験者を識別し、体調管理について特に注意を払う。
 - e. アノラック着用の短時間化
Rゾーン入域直前（チェンジングプレイス）にアノラック着用することで、着用時間を短時間にする。
- (7) その他
- a. 電源の確保への考慮
DPTE コンテナはコンテナ蓋の開閉に電源を必要としないため、非常用電源は考慮しない。
グローブボックスは所内共通電源から受電する。電源の喪失時においても手動の弁操作により閉じ込め機能を維持できる設計であることから非常用電源は考慮しない。
 - b. 電源喪失への考慮
2.1(7)b.に記載の通り、試験的取り出しの作業は全交流電源喪失時においてRPV及びPCV内への冷却機能に影響を与えるものではない。

c. 放射性固体廃棄物の処理，保管及び管理への考慮

試験的取り出し終了後，使用した各装置はPCV バウンダリを構成する隔離弁である接続構造及びステージ内隔離部屋，ハッチ隔離部屋を除き撤去する。撤去作業においてはPCV バウンダリが維持されるように漏えい確認を行う。使用した各装置に対しては汚染が拡大しないように適切な養生を行い，搬出する。撤去作業の詳細を別紙-3に示す。また，グローブボックスについても試験的取り出し終了後に撤去する。

各装置は撤去後，瓦礫類として1F構内に一時保管する。撤去対象となる装置について表2-1に示す。撤去対象となる装置は保管計画には反映済である。

表 2-1 試験的取り出しで設置した装置

装置名	容積[m ³]	個数
エンクロージャ ^{※2}	39	1
接続管 ^{※2}	5	1
スプレー治具	0.2	1
グローブボックス	16	1
合計	61	

※2 エンクロージャ，接続管の容積については2021年1月14日福島第一原子力発電所2号機原子炉格納容器内部詳細調査補足説明資料より

d. 放射性気体廃棄物の処理及び管理への考慮

試験的取り出し作業で気体廃棄物を発生させるのは，PCV内，エンクロージャ，グローブボックスにおける作業であり，それぞれで以下の処理を実施することで放出される放射性物質の低減を図る。

(a) PCV内作業

試験的取り出し時のPCV内における気体廃棄物は既設の原子炉格納容器ガス管理設備において処理を行う。

(b) エンクロージャ作業

エンクロージャから気体を排気する際は，HEPAフィルタを設置した排気系統より原子炉建屋内に排気する。排気時には連続ダストモニタを設置し，排気エリアの放射性ダスト濃度を監視する。

(c) グローブボックス作業

グローブボックス内からの排気はHEPAフィルタを通じて原子炉建屋内へ排気する。グローブボックス作業時は排気口付近に連続ダストモニタを設け放射性ダスト濃度を監視する。

e. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等への考慮

認可済みのアクセスルート構築作業時の影響評価（実施計画V添付資料-7別添-9）は 8.0×10^{-4} mSvである。試験的取り出し作業は別紙-1に記載した装置を使用し、燃料デブリの加工は行わないことから、ダスト発生量はアクセスルート構築作業時と比べて極めて小さく、敷地周辺に対してアクセスルート構築作業時を超える放射性被ばくのリスクを与えるものではない。

なお、2019年のPCVペDESTAL底部堆積物接触調査時において、PCVガス管理設備ダストモニタ、ガス放射線モニタの指示値に有意な変動がなかったことを確認している。

f. 作業員の被ばく線量の管理等への考慮

(a) エンクロージャ周りの作業

X-6ペネ周辺の環境線量率を図2-1に示す。燃料デブリの回収作業はアーム型アクセス・調査装置を、エンクロージャ内での回収装置の取り扱い等は双腕のマニピュレータを使用した遠隔作業とする。

エンクロージャから燃料デブリを搬出する際はDPTEポートを使用し、遠隔作業で燃料デブリを回収した回収容器を緩衝容器に収納し、緩衝容器をDPTEコンテナに移す。DPTEコンテナの表面線量を測定し、後段の作業が可能な線量率であることを確認した後、作業員がアクセスする。

作業員はモックアップ及び事前準備により作業時間を短縮することで被ばく低減を図る。

エンクロージャ周辺の作業エリアはダストモニタホース、連続ダストモニタを設置し、汚染拡大防止を目的とした放射性ダスト監視を実施する。モニタリング箇所は図2-2に示す。なお、作業に当たっては養生や局所排風機を設置し、汚染拡大防止を考慮しつつ作業する。

作業員は原子炉建屋内ではRゾーン装備（全面マスク、カバーオール、アノラック上下）にて作業する。Rゾーンから退域時のアノラック脱衣については、脱衣前に除染・汚染検査を実施し、着脱補助員が脱衣助勢することで、身体汚染防止を図る。

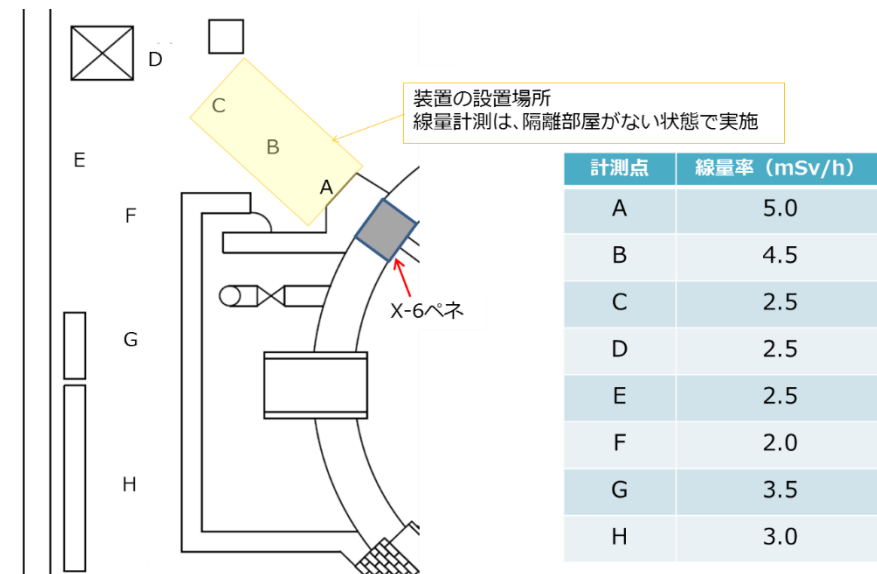


図 2-1 X-6 ペネ周辺の環境線量率 (2021 年 11 月計測)

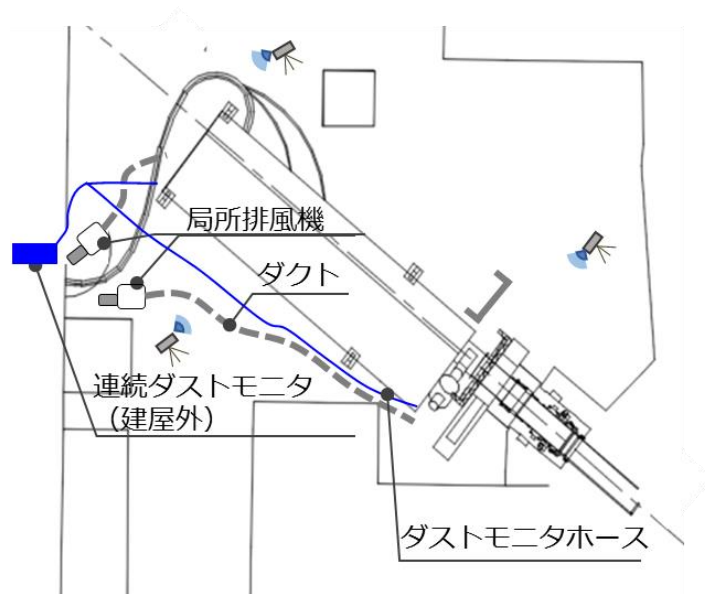


図 2-2 エンクロージャ周辺の作業エリアのモニタリング (イメージ)

(b) グローブボックス作業

グローブボックスでの各作業の詳細及び被ばく線量管理への考慮（事前の線量測定及びモックアップ，事前準備）は別紙-4 に示す。

グローブボックスは 2 号機原子炉建屋大物搬入口の 2 階に設置する。大物搬入口 2 階の環境線量率を図 2-3 に示す。グローブボックス周辺はダスト管理エリアとして設定する。ダスト管理エリアはグローブボックスから漏えいがあった場合

の汚染拡大防止を目的として設定する。

大物搬入口 2 階の作業監視について図 2-4 に示す。グローブボックス作業時には、グローブボックス内は常に負圧が維持されている。ダスト管理エリア内には連続ダストモニタを設置し、汚染拡大防止を目的とした放射性ダスト監視を実施する。また、床面養生や局所排風機を設置し汚染拡大防止を考慮する。

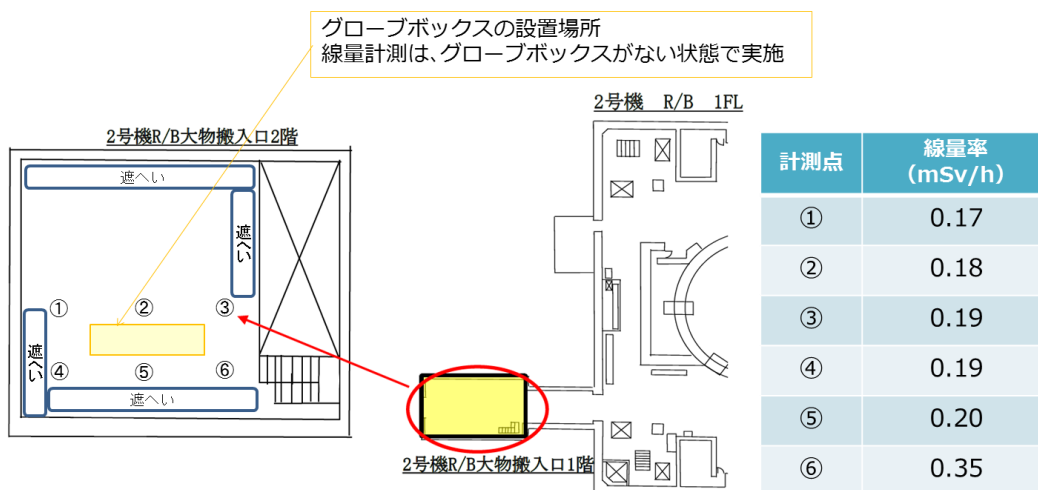


図 2-3 大物搬入口 2 階の環境線量率 (2021 年 12 月計測)

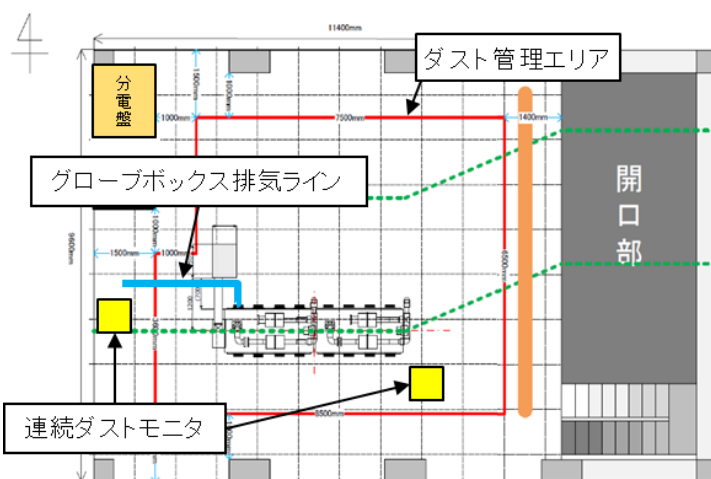


図 2-4 大物搬入口 2 階のモニタリング (イメージ)

g. 緊急時対策への考慮

緊急時の避難指示は緊急放送により周知するが、緊急放送が聞こえるエリアにある原子炉建屋外の現場指揮所の作業員から、緊急放送が聞こえないエリアである原子炉建屋内の作業員に対して、作業のために設置した仮設通信設備により避難を指示する。

h. 設計上の考慮のうち準拠規格及び基準への考慮

(a) DPTEコンテナ

DPTEコンテナは「JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法」に準拠した漏えい確認試験を行い、著しい漏えいがないことで閉じ込め機能を有することを確認している。

(b) グローブボックス

グローブボックスの漏えい率は「JIS Z 4808 放射性物質取扱作業用グローブボックス」に準拠することで閉じ込め機能を確保する。

i. 設計上の考慮のうち自然現象への考慮

(a) DPTEコンテナ

DPTEコンテナで扱う燃料デブリは数gであり、閉じ込め機能が喪失したとしても公衆への放射線影響は限定的であるが、地震時に転倒が生じないように考慮して作業する。

DPTEコンテナは津波、豪雨、台風、竜巻の影響を受けにくい、原子炉建屋内で使用する。

(b) グローブボックス

グローブボックスは2022年11月16日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえて、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を確認することで耐震クラスを評価し、耐震性を確認している。

グローブボックスは津波、豪雨、台風、竜巻の影響を受けにくい、原子炉建屋内に設置する。

j. 設計上の考慮のうち外部人為事象への考慮

閉じ込め機能を有する装置であるDPTEコンテナ及びグローブボックスは原子炉建屋内で使用する。原子炉建屋は物的障壁を持つ防護された区域内であり、接近管理、入退域管理を行うことで、第三者の不法な接近等に対して防御する。

k. 設計上の考慮のうち火災防止への考慮

試験的取り出しの作業において火気作業はないが、火災発生の防止及び影響軽

減のために実用上可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用する。

火災が発生した場合は早期に検知が出来るように、作業エリアに監視カメラを配置し、現場本部から作業エリアを監視する。また、火災が発生した場合の初期消火が可能なように作業エリア近傍に消火器（A-3, B-3 相当）を複数配備する。

エンクロージャ内に収納された資機材・ケーブルは窒素を充填することで発火しないようにする。また、作業用資機材として紙ウエス、養生シートは可燃物となる可能性があるが、搬入する量を必要最小限とし、作業終了後、不要な資機材は搬出することで火災の発生を防止する。

グローブボックスの構成部品や持ち込む資機材については基本的に不燃性又は難燃性のものとしている。一部のシール材において可燃性のものが存在するが少量であり、火災が発生したとしてもグローブボックス内は窒素を充填することで、グローブボックス外は消火器で消火は可能である。グローブボックス内に持ち込む機材においても一部可燃性のもの（容器、ウエス等）が存在するが持ち込む量を必要最低限の量とし、グローブボックス周辺においても余分な量を持ち込まない。

1. 設計上の考慮のうち環境条件への考慮

(a) DPTEコンテナ

DPTEコンテナを使用する原子炉建屋北西エリアから南西エリア及び大物搬入口の環境線量率はサーベイ記録から0.17～5.0mSv/hであり、収納する燃料デブリは約6mSv/hである。DPTEコンテナに使用する材料は、耐放射線性が100Gy以上の材料を選定しており、放射線の影響は極めて小さい。

(b) グローブボックス

グローブボックスを使用する原子炉建屋大物搬入口2階の環境線量率はサーベイ記録から0.17～0.35mSv/hであり、取り扱う燃料デブリは約6mSv/hである。グローブボックスに使用する材料は、耐放射線性が10000Gy以上の材料を選定しており、放射線の影響は極めて小さい。

m. 設計上の考慮のうち運転員操作への考慮

試験的取り出しで使用する装置のうち、運転員操作について考慮が必要なものはPCV内で燃料デブリの回収を行う回収装置、燃料デブリの測定を行うグローブボックスである。それぞれ以下の誤操作防止対策を実施する。

(a) 回収装置

別紙－1に示す操作方法及び状態監視により誤操作を防止する。

- (b) グローブボックス
 - 別紙－４に示す操作方法（作業内容）により誤操作を防止する。
 - 閉じ込め機能を維持する弁はグローブボックス天井部に配置することで不用意な接触による誤操作を防止する。

- n. 設計上の考慮のうち信頼性への考慮
 - (a) DPTEコンテナ
 - DPTEコンテナは、出荷時に「JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法」に準拠した漏えい確認試験を実施し、閉じ込め機能の信頼性を確保する。
 - (b) グローブボックス
 - グローブボックスの漏えい率は「JIS Z 4808 放射線物質取扱用グローブボックス」に準拠することで信頼性を確保する。

- o. 設計上の考慮のうち検査可能性への考慮
 - (a) DPTEコンテナ
 - DPTEコンテナは、出荷時に「JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法」に準拠した漏えい確認試験を実施し、その記録を確認する。
 - (b) グローブボックス
 - グローブボックスは現地据付時に「JIS Z 2330 非破壊試験－漏れ試験方法の種類及びその選択」に準拠した漏えい確認試験を実施し、閉じ込め機能が維持されていることを確認する。

回収装置の概要

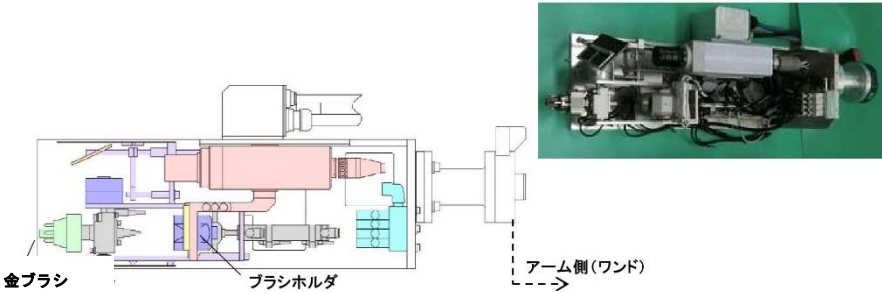
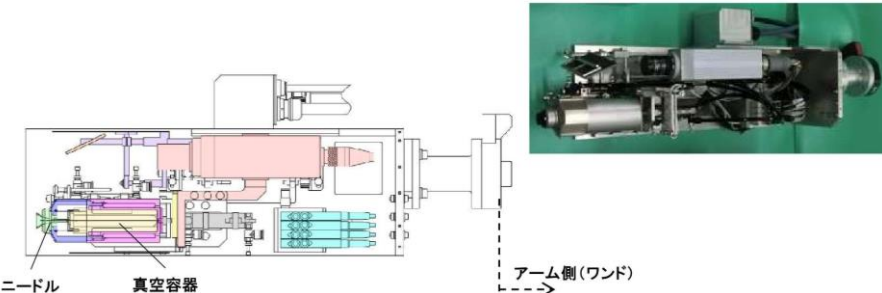
1. 装置概要

回収装置の仕様を表2.1-1に示す。回収装置は、アーム型アクセス・調査装置の先端に取付け、遠隔操作にてPCV内の燃料デブリを回収する装置である。回収する量は数gとし、多量の燃料デブリを回収しないように設計されている。

金ブラシ方式は工具の先端に金属の線材を束ねブラシ状にしたものを取り付け、これを燃料デブリに押し当てることにより小石状・粒状の燃料デブリを絡めとり回収する方式である。

真空容器方式は採血等で用いられる真空容器で吸引する方式であり、先端にニードル（注射針）を取り付け、真空容器を押し込むことで採血の要領で水と粒状の燃料デブリを吸引する方式である。

表2.1-1 回収装置の仕様

方式	概要
金ブラシ方式 粒状の燃料デブリ （φ2mm程度）を回収	先端の金ブラシにてPCV内の燃料デブリを回収する 
真空容器方式 水中の粒状の燃料デブリ （φ2mm以下） を水ごと回収	真空容器内にPCV内の燃料デブリを吸い込んで回収する 

注) 今後の検証作業により改造の可能性有

2. 燃料デブリ回収手順

(1) 金ブラシ方式

- ・アーム型アクセス・調査装置を操作し回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動させる。
- ・金ブラシを降下させ燃料デブリに金ブラシを押し付ける。
- ・金ブラシを引き上げた後、金ブラシを反転させる。
- ・ブラシホルダを降下させ、金ブラシを収納する。
- ・ブラシホルダを回収装置から切り離す。
- ・アーム型アクセス・調査装置を操作しエンクロージャまで戻る。

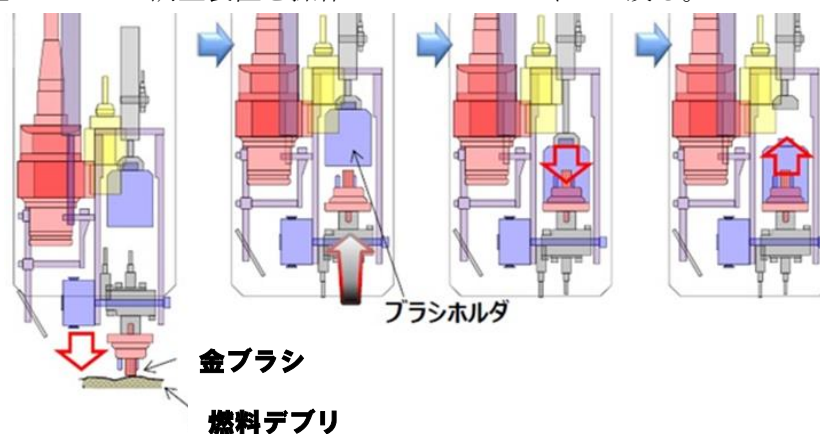


図2.1-1 金ブラシ方式の動作

燃料デブリ回収の際には装置に取り付けたカメラによりその位置を確認するとともに、金ブラシの動きを視認することで、作業者の誤操作を防止する。また、回収後はブラシホルダに金ブラシを格納することで、その後の操作時の燃料デブリの拡散を防止する。

(2)真空容器方式

- ・アーム型アクセス・調査装置を操作し回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動させる。
- ・先端を燃料デブリに接触させた状態で真空容器を押し込み吸引する。
- ・真空容器を引き込み、ニードルを切り離す。
- ・アーム型アクセス・調査装置を操作しエンクロージャまで戻る。

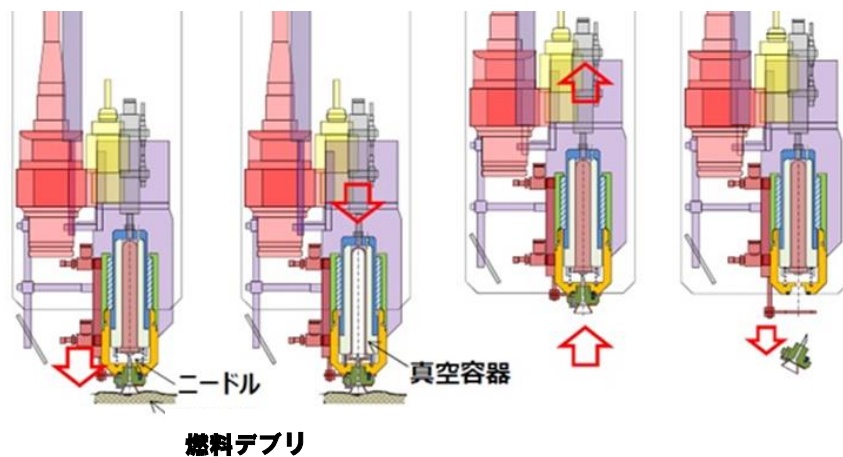
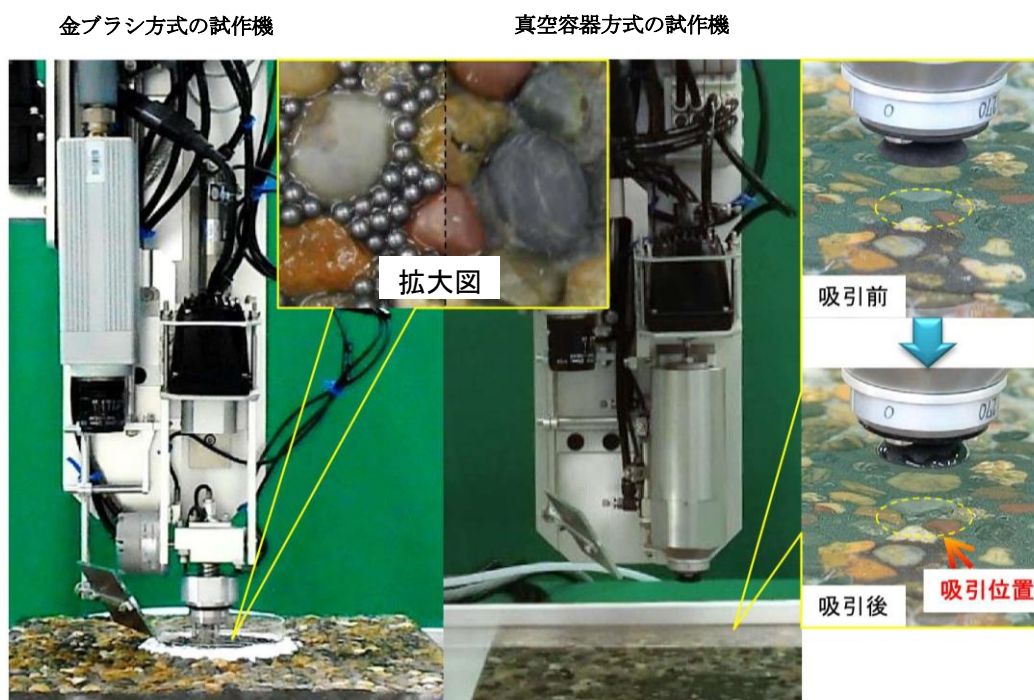


図2.1-2 真空容器方式の動作

燃料デブリ回収の際には金ブラシ方式同様，装置に取り付けたカメラによりその位置を確認するとともに，ニードルの動きを視認することで，作業者の誤操作を防止する。ニードルは使用後は切り離すことで，先端に付着している燃料デブリが予期せぬところに拡散しないようにする。

3. 燃料デブリ回収試験

燃料デブリ回収量が数 g 以下となることを確認するために鉛球を使用した模擬試験を実施した。試験結果を図2.1-3に示す。回収量は最大でも2.606 g であり数 g 以下の回収量となることを確認した。



(※) 写真中の窪み(深さ2.6mm)に鉛玉を充填した場合の採取量

回収量計測結果 (金ブラシ方式)

φ 1.0mm 鉛球	φ 2.0mm 鉛球
0.560g	1.215g

回収量計測結果 (真空容器方式)

φ 0.35mm 鉛球	φ 1.0mm 鉛球
2.606g	0.467g

図 2.1-3 燃料デブリ回収試験結果

4. 環境条件への考慮

回収装置を使用するPCV内の圧力は0～5.5kPa、降雨状態であり、過去のPCV内部調査結果より線量率は最大100Gy/hと想定している。回収装置は取り出し作業ごとに交換し、取り出し作業は4時間/回を想定していることから、400Gy以上の耐放射線性を有し、PCV内の圧力、降雨状態で使用可能な機器から選定する。

試験的取り出しの作業ステップ

1. 作業開始時の状態

試験的取り出しは，内部調査に引き続き実施する。試験的取り出し開始時の設備構成を図2.2-1，表2.2-1に示す。

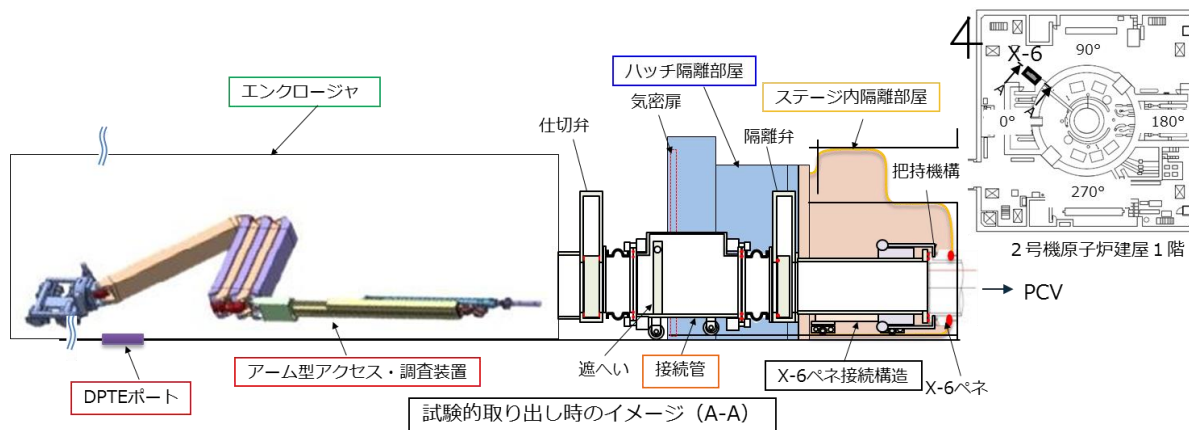


図 2.2-1 試験的取り出し時の設備構成

表 2.2-1 試験的取り出し時の設備について

X-6 ペネ接続構造	X-6 ペネ閉止板開放後，ペネフランジに接続しバウンダリを構成する装置。隔離弁を具備している。
接続管	後続の設備を接続するための装置，開閉式の遮へいを具備している。
アーム型アクセス・調査装置	伸長式のロボットアームで，先端に燃料デブリ回収装置を取付け，PCV 内部の燃料デブリを回収する。
エンクロージャ	アーム型アクセス・調査装置を収納するエンクロージャで，調査時にバウンダリを構成する。 DPTE コンテナと接続するポートを有しており，回収した燃料デブリはこのポートから搬出する。

2. 作業ステップ

試験的取り出しの作業ステップを表2.2-2に示す。回収装置等のエンクロージャへの搬入やデブリのエンクロージャからの搬出は，DPTEポートを用いて行う。DPTEポートを使用する際は，隔離弁を閉めた後，エンクロージャ内を負圧にすることで放射性ダストのエンクロージャ外への放出を抑制する。

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(1/5)

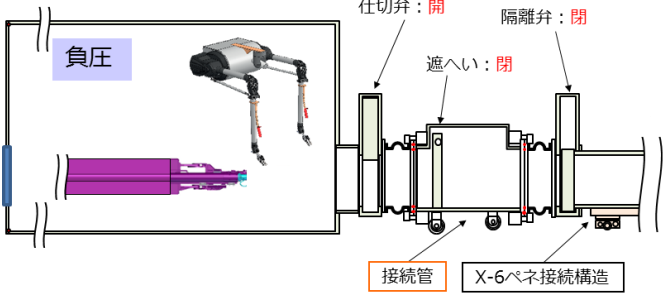
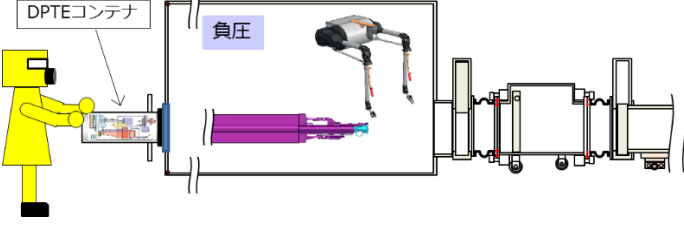
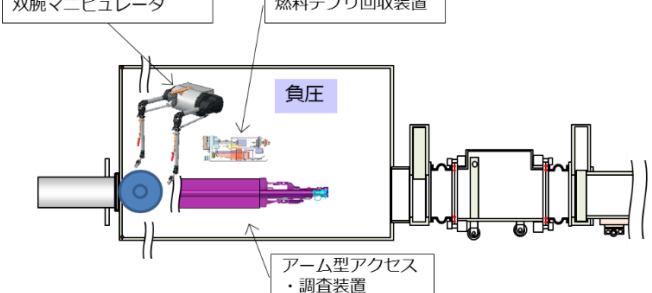
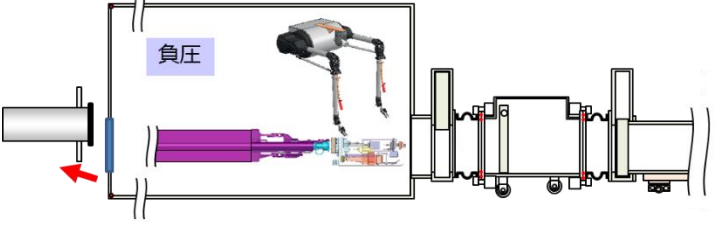
No	作業ステップ図	作業内容
1	<p>エンクロージャ内を負圧にする</p> 	<p>隔離弁を閉じた状態でエンクロージャ内を負圧にする。</p>
2	<p>DPTE コンテナの取り付け</p> 	<p>作業員が燃料デブリ回収装置の入った DPTE コンテナを、エンクロージャの DPTE ポートに取り付ける。</p>
3	<p>燃料デブリ回収装置の搬入</p> 	<p>双腕マニピュレータを操作し、DPTE ポートを開放し、中から燃料デブリ回収装置を搬入する。</p>
4	<p>燃料デブリ回収装置の取り付け、DPTE コンテナ取り外し</p> 	<p>燃料デブリ回収装置を双腕マニピュレータを使用してアーム型アクセス・調査装置（以下、アーム）の先端に取り付ける。DPTE ポートを閉じ、DPTE コンテナを取り外す。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(2/5)

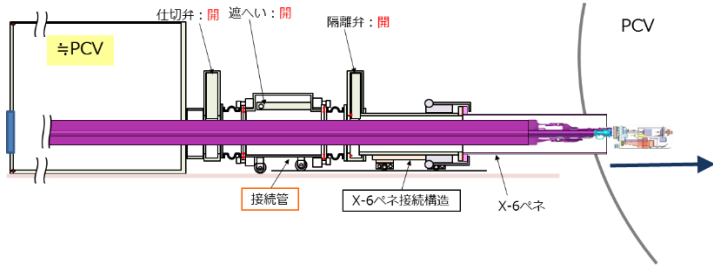
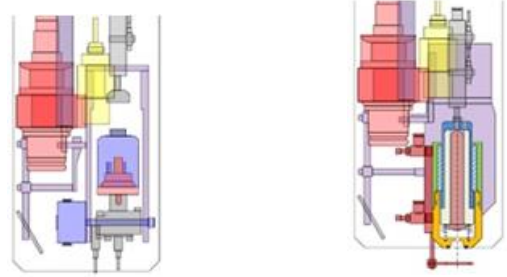
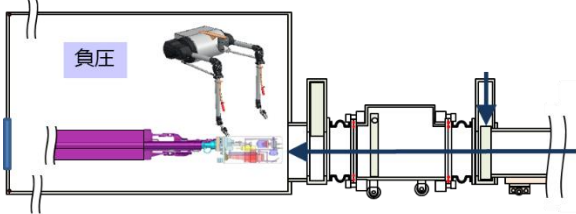
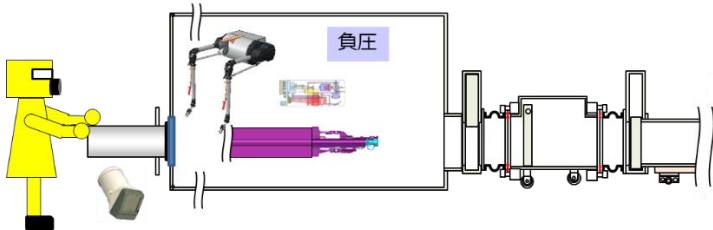
No	作業ステップ図	作業内容
5	<p>燃料デブリ取り出し</p> 	<p>エンクロージャ内の圧力をPCVと同程度の圧力となるように昇圧する。</p> <p>隔離弁を開放し、アームを操作し回収装置をPCV内に挿入しデブリを回収する。</p> <p>(装置の詳細は別紙-1を参照)</p>
6	<p>燃料デブリ回収</p>  <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> 金ブラシ方式 真空容器方式 </p>	<p>回収装置を燃料デブリに接触させ回収する。燃料デブリ回収後は、金ブラシ方式はブラシにカバーをし、燃料デブリの落下を防止する。真空容器方式は真空容器の中に燃料デブリを入れることで落下を防止する。</p>
7	<p>アームの帰還、隔離弁の閉止</p> 	<p>燃料デブリの回収が終了したら、アームを帰還させる。</p> <p>帰還が完了したのち隔離弁を閉じ、エンクロージャ内を負圧にする。</p>
8	<p>DPTE コンテナの取付け、回収装置の取り外し</p> 	<p>作業員により DPTE コンテナを取り付ける。</p> <p>双腕マニピュレータで回収装置を取り外す。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(3/5)

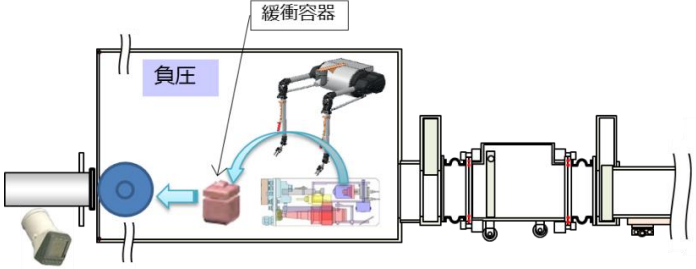
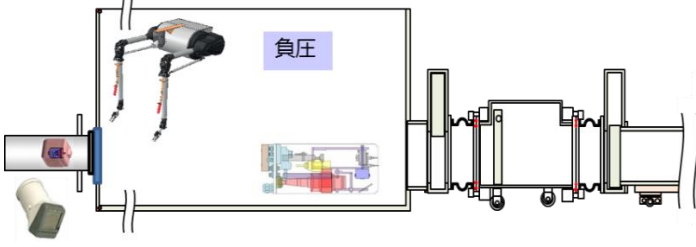
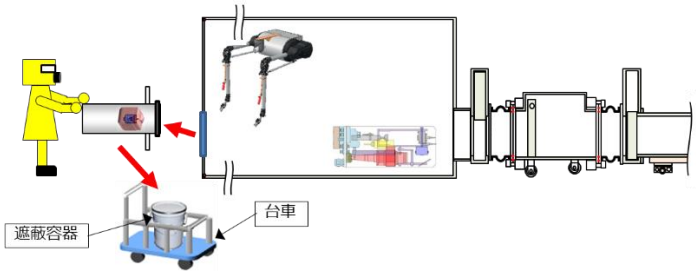
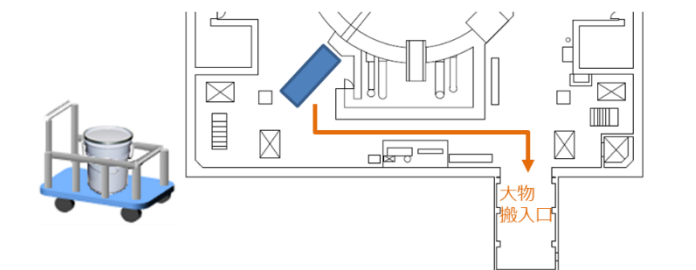
No	作業ステップ図	作業内容
9	<p>緩衝容器収納</p> 	<p>双腕マニピュレータで回収装置から、回収容器を取り外し、緩衝容器に収納する。 緩衝容器を DPTE コンテナに収納する。</p>
10	<p>線量測定</p> 	<p>DPTE コンテナの線量を測定する。基準値以下であることを確認する。 DPTE ポートの扉を閉じる。</p>
11	<p>DPTE コンテナ取り外し</p> 	<p>作業員によりエンクロージャから DPTE コンテナを取り外す。 DPTE コンテナを台車上の遮蔽容器に入れる。</p>
12	<p>建屋内運搬</p> 	<p>台車を用いて、DPTE コンテナを大物搬入口まで移動させる。 大物搬入口 1 階から 2 階へ運搬する。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ(4/5)

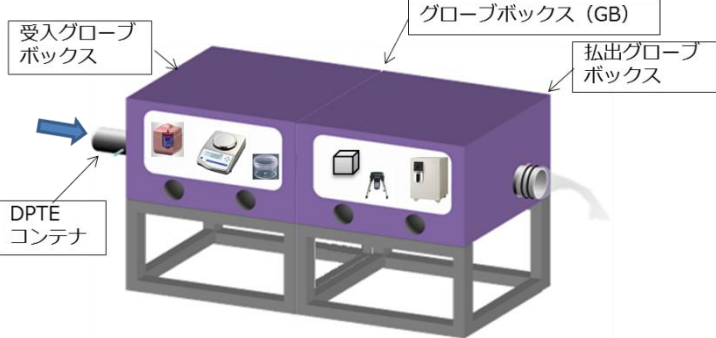
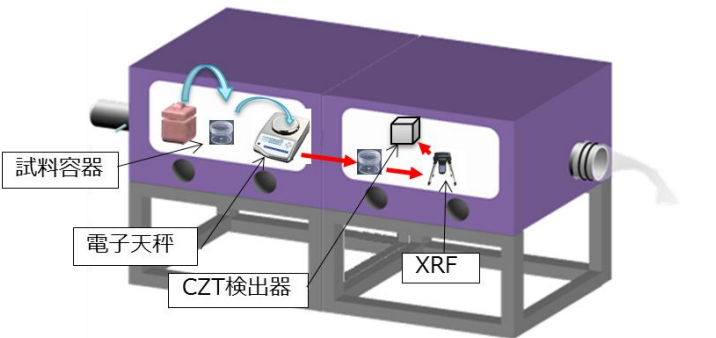
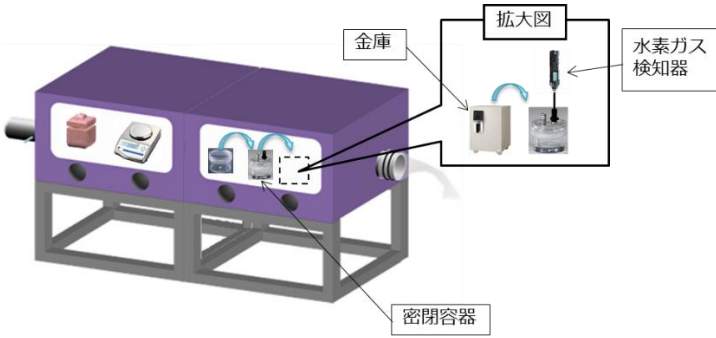
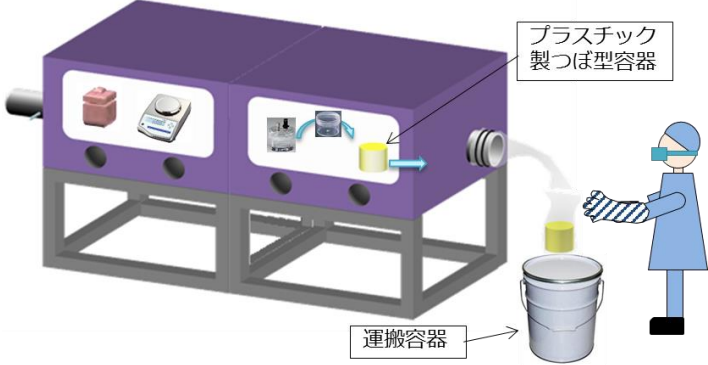
No	作業ステップ図	作業内容
13	<p>グローブボックスへ取付け</p> 	<p>グローブボックス (以下、GB という) 内を負圧にする。 DPTE コンテナを GB に取付ける。 ポートを開け DPTE コンテナ内の緩衝容器を取り出す。</p>
14	<p>試料取り出し，測定</p> 	<p>緩衝容器から回収容器を取り出す。 回収容器から，試料容器へ燃料デブリを取り出し，重量を測定する。 携帯型蛍光 X 線分析計 (XRF) で元素分析を行う。 CdZnTe 半導体 (CZT) 検出器で γ 線スペクトルを測定する。</p>
15	<p>水素濃度測定</p> 	<p>試料容器を密閉容器へ収納し，一定時間金庫にて施錠して保管する。保管後，金庫から取り出し，水素ガス検知器にて密閉容器内の水素濃度を確認する。</p>

表 2.2-2 試験的取り出しの作業ステップ (5/5)

No	作業ステップ図	作業内容
16	<p>搬出</p> 	<p>試料容器を密閉容器から取り出し、プラスチック製つぼ型容器に移してビニールに入れる。 GB 外で容器を保持する。 GB 外でシーラー作業を行い密封する。 運搬容器へ収納する。</p>

撤去作業の作業ステップ

1. 撤去作業開始時の状態

試験的取り出し終了時の設備設置状況を図2.3-1及び図2.3-2に示す。

撤去作業は、PCVバウンダリとなる隔離弁以降のエンクロージャ及び接続管、X-53ペネに設置したスプレイ治具の撤去を行う。

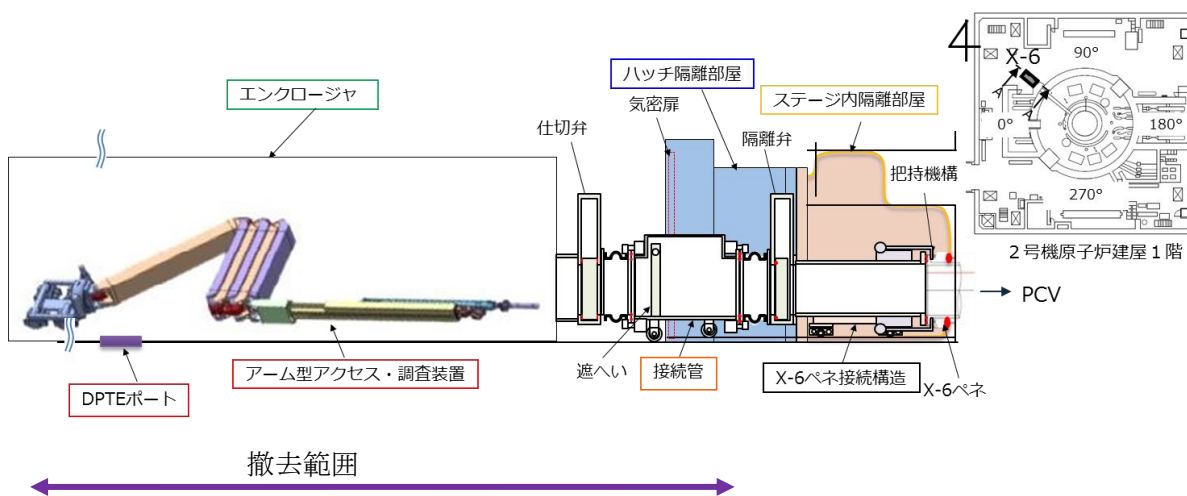


図 2.3-1 試験的取り出し終了時の設備設置状況

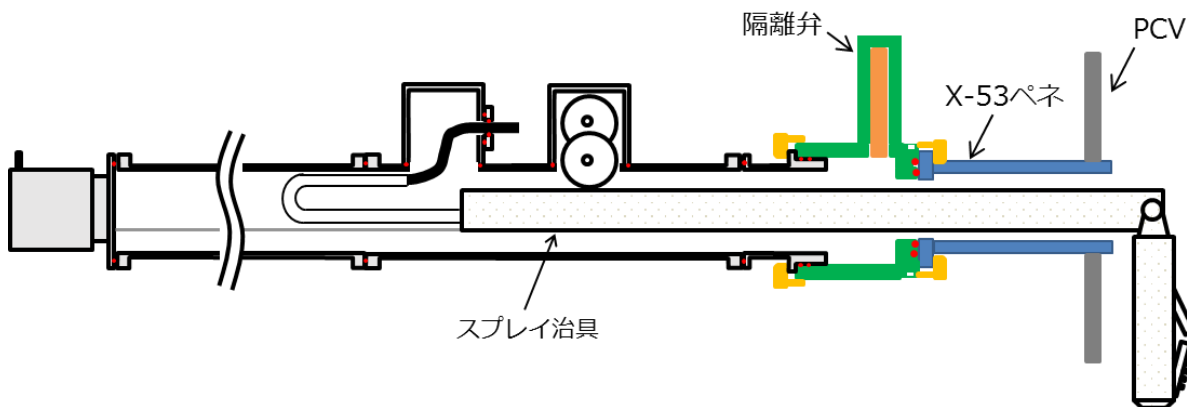


図 2.3-2 スプレイ治具の設置状況

2. 作業ステップ

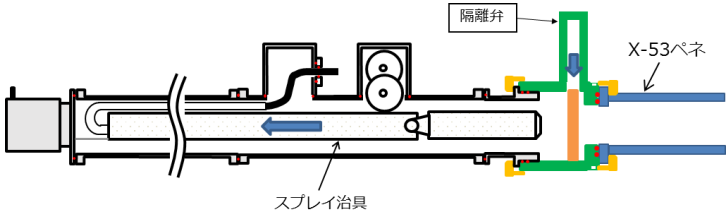
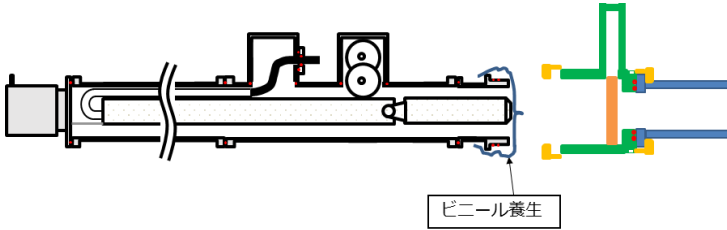
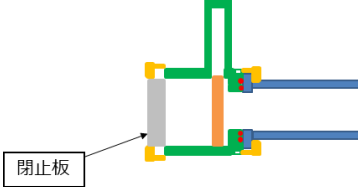
エンクロージャ及び接続管の撤去の作業ステップを表2.3-1に、スプレイ治具の撤去の作業ステップを表2.3-2に示す。

撤去作業においては、PCV バウンダリからの漏えいを発生させないように隔離弁を閉止し作業を行うとともに、撤去物に対しては汚染が拡大しないよう作業時にビニール養生等を実施して作業を行う。

表 2.3-1 エンクロージャ及び接続管の撤去作業ステップ

No	作業ステップ図	作業内容
1		<p>隔離弁を閉止し、漏えい確認を行う。 その後仕切弁を閉止し、エンクロージャと接続管の接続部にビニール養生を設置する。</p>
2		<p>エンクロージャの接続を解除し、ビニール養生する。 エンクロージャを撤去する。</p>
3		<p>接続管と隔離弁の接続部周辺にグリーンハウスを設置する。</p>
4		<p>接続管と隔離弁の接続を解除し接続管の開口部をビニール養生する。接続管を撤去する。</p>

表 2.3-2 スプレイ治具撤去作業ステップ

No	作業ステップ図	作業内容
1		<p>スプレイノズルをPCV内より引抜き隔離弁を閉じる。漏えい確認を実施。</p>
2		<p>スプレイ治具と隔離弁の接続を解除，スプレイ治具を撤去する。スプレイ治具の先端はビニール養生する。</p>
3		<p>隔離弁に閉止板を取り付ける。</p>

グローブボックスでの作業内容と被ばく低減対策

1. グローブボックスでの作業内容

グローブボックス(以下, GB)では, エンクロージャより移送されてきた燃料デブリを回収容器内から取り出し各種測定を行う。

GB で実施する測定項目は以下のとおりである。

(1) 重量測定

電子天秤を使用し, 燃料デブリの重量測定に活用する。

(2) 元素分析

携帯型蛍光 X 線分析計(以下 XRF)を使用し, 燃料デブリがどのような元素(U, Zr, Fe など)を含むかを確認, 輸送物の性状把握に活用する。

(3) γ 線スペクトル測定

CdZnTe 半導体検出器(以下 CZT)を使用し, 燃料デブリ中にどのような γ 核種(Cs-137, Co-60 など)を含むか確認, 輸送物の性状把握に活用する。

(4) 水素濃度測定

水素ガス検知器を使用し, 水素発生量を測定, 輸送準備期間, 輸送時の安全性の確認に活用する。

2. GB の負圧管理

GB 内は排気ファンによって負圧に維持される。排気ファンは 2 系統設置し, 故障時は切り替え運転ができる設計としている。排気ポートは受入 GB, 払出 GB 毎に設け, HEPA フィルタを設置している。

3. 作業時の想定被ばく量と被ばく低減対策

各作業における想定被ばく線量と被ばく低減対策を表 2.4-1 に示す。被ばく量の想定に当たっては以下の条件で算出している。

燃料デブリを数 g 回収する計画であるが, IRID の検討結果において燃焼度約 26GWd/tU の燃料 1g から 20cm の距離では約 6mSv/h になる。GB 内手前 20cm 範囲を作業禁止エリアとし, 作業時の燃料デブリからの線量を 6.0mSv/h として試算した。作業時間は検証試験の実績より保守的に想定している。


表 2.4-1 各作業における想定被ばく量と被ばく低減対策(1/3)

作業	作業内容	作業種	作業時間	想定被ばく量	被ばく低減対策	
1. 試料受入れ		DPTEコンテナ保持	3分	0.4mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 	
		緩衝容器取出	2分	0.2mSv		
2. 試料分取		<ul style="list-style-type: none"> ①緩衝容器開封 ②燃料デブリ取出 	6分	0.6mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・距離確保 	
3. 回収容器の収納		回収容器を緩衝容器に戻す。			回収容器の収納	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・距離確保
4. 重量測定		試料容器に入れた燃料デブリの重量を測定する。			重量測定	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・距離確保

表 2.4-1 各作業における想定被ばく量と被ばく低減対策(2/3)

作業	作業内容	作業種	作業時間	想定被ばく量	被ばく低減対策		
5. 試料容器を払出GBへ移動		払出GBへの移動	11分	1.1mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 		
6. 元素分析		元素分析				<ul style="list-style-type: none"> ①試料容器をXRFにセットする。 ②XRFにて分析を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・距離確保
7. γ線スペクトル測定		γ線スペクトル測定				<ul style="list-style-type: none"> ①試料を測定エリアに設置する。 ②CZTにてγ線スペクトル測定を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・距離確保
8. 水素濃度測定準備		密閉容器への収納	3分	0.3mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・試料の遮蔽 		
9. 保管		金庫への搬入				<ul style="list-style-type: none"> 容器を密閉し、金庫に入れ保管する。 	
10. 水素濃度測定		金庫からの搬出	3分	0.3mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・事前準備 ・訓練による作業時間の短縮 		
		水素濃度測定				<ul style="list-style-type: none"> ①密閉容器を金庫から取り出す。 ②水素ガス検知器を用いて水素濃度を測定する。 	
11. 払出GBから搬出		払出側グローブ作業	7分	0.5mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・事前準備 ・試料の遮蔽 		
		試料保持				<ul style="list-style-type: none"> ①試料容器をプラスチック製つぼ型容器に入れる。 ②つぼ型容器をビニールに入れGB外で保持する。 	
		シーラー作業				<ul style="list-style-type: none"> ③GB外でシーラー作業を行い、余剰ビニールを切断する。 	

表 2.4-1 各作業における想定被ばく量と被ばく低減対策(3/3)

作業	作業内容	作業種	作業時間	想定被ばく量	被ばく低減対策
12. 運搬容器へ収納	 <p>ビニール養生されたつぼ型容器を運搬容器に収納する。</p>	運搬容器への収納	3分	0.2mSv	<ul style="list-style-type: none"> ・訓練による作業時間の短縮 ・試料の遮蔽