

# 2号機燃料デブリの試験的取り出しに関する実施計画の 変更認可申請について

2023年12月26日

**TEPCO**

---

東京電力ホールディングス株式会社

# 指摘事項

No.	実施日	指摘事項
1	2023.9.11 技術会合	事業所外運搬における一連の作業フローに関して、DPTEコンテナの線量率を測定して基準線量率以上と以下の分岐箇所について、この基準線量率が幾らであるのか、と、その基準線量率を設定した考え方を示すこと。
2	2023.9.11 技術会合	建屋内運搬の被ばく評価を示すこと。
3	2023.9.11 技術会合	大物搬入口の1階から2階に燃料デブリを運搬する際の落下評価の有無について示すこと。例えば、落下するとした場合の評価において、漏えいしてしまった場合の影響評価を行っているのか。もしくは破損しないということであれば破損しないとする考え方や評価を示すこと。
4	2023.9.11 技術会合	ダスト管理エリアの考え方について、例えば使用施設等の基準への適合に関してどのような考え方でエリア設定をされているのか示すこと。
5	2023.9.11 技術会合	臨界評価においてU-235で代表していることの妥当性について説明すること。
6	2023.11.2 技術会合	コンテナ落下評価について、「DOE HANDBOOK」の粉体落下の飛散率評価式（4.4.3.1.3節 4-5式）について、ダストの舞い上がり影響も含んだ計算式であることの根拠、「DOE HANDBOOK」と計算値との繋がりを説明し、飛散率0.15%の妥当性を示すこと。 評価条件がデブリ重量を3gとしていることを示すこと。基準線量は24mSv/h(4g)としているので、保守的にやるのであれば、4gで評価すべきではないか。使い分けの考え方について説明すること。各根拠はまとめ資料に示すこと。

(注記) DPTE : Double Porte pour Transfert Etanche (フランス語) の略

## 1 - 1. DPTEコンテナ吊り上げ時の落下影響評価

- 万一の落下によって燃料デブリが漏えいした場合の公衆への放射線影響は、以下の条件にて評価する。
  - 燃料デブリ量(=3g)  
保守的に1回で回収される燃料デブリ量は3gとした。
  - ダスト飛散率(=0.22%)
    - 実際の燃料デブリは湿っており、運搬容器、DPTEコンテナ、緩衝容器へ多重に収納されていることから、ダストは飛散し難い状況
    - 評価では、乾いた粉体状かつ、収納されていない状態を想定し、ダスト飛散率を以下のとおり設定した。
      - 乾いた粉体状の燃料3g(密度:10.7g/cm<sup>3</sup>)が8.5m落下(吊上げ位置から床面までの最大落差)
      - 落下中に気中飛散するとし、そのダスト飛散率を「DOE HANDBOOK※1」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、0.2%と設定。
      - 床面衝突時に舞い上がるとし、そのダスト飛散率を「DOE HANDBOOK※1」の非金属固体破碎の飛散率評価式(4.3.3節の(4-1)式)を参照し、0.02%を設定。
      - 以上より、落下中の0.2%と衝突時の0.02%の飛散率を合算した0.22%と設定。
  - ダスト放出シナリオとその低減効果  
実際には、ダストが環境へ放出するまでに沈降し、構造物(建屋等)に沈着する放出低減効果が得られると想定しているが、評価では、飛散したダストの沈降・沈着を考慮せず、瞬時に環境へ放出され、大気拡散により敷地境界へ到達するとした。
  - 被ばく評価経路：考慮した被ばく経路は以下のとおりで、経路別の評価式、評価パラメータを次頁のa.～d.に示す。
    - 放射性雲中の核種からのγ線による外部被ばく、吸入摂取による内部被ばく
    - 地表沈着した核種からのγ線による外部被ばく、吸入摂取による内部被ばく

※1 Department of Energy "DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES Volume I-Analysis of Experimental Data", DOE-HDBK-3010-94, December, 1994 (Reaffirmed 2013)

## 1 - 2. DPTEコンテナ吊り上げ時の落下影響評価

a. 放射性雲中の核種からのγ線による外部被ばく

$$H_V = K \cdot E_V / 0.5 \cdot D/Q \cdot Q_R \cdot 1000 = 1.4 \times 10^{-8}$$

$H_V$ : 放射性雲中の核種からのγ線による  
外部被ばく実効線量[mSv]

$K$ : 空気カーマから実効線量への換算係数[Sv/Gy] (=1)

$E_V$ : γ線の実効エネルギー[MeV] ※2

$D/Q$ : 相対線量[Gy/Bq] (=  $2.4 \times 10^{-19}$ ) ※4

$Q_R$ : 放射性核種の大気放出量[Bq]

c. 地表沈着した核種からのγ線による外部被ばく

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi/Q \cdot V \cdot f \cdot Q_R \cdot T \cdot 1000 = 1.6 \times 10^{-4}$$

$G_{ex}$ : 地表沈着した核種からのγ線による  
外部被ばく実効線量[mSv]

$K_{ex}$ : 外部被ばく実効線量換算係数  
[(Sv/s)/(Bq/m<sup>2</sup>)] ※3

$V$ : 沈降速度[m/s] (=0.01)

$f$ : 残存割合[-] (=1)

$T$ : 被ばく時間[s] (=  $365 \times 24 \times 3600$ )

b. 放射性雲中の核種の吸入摂取による内部被ばく

$$H_I = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi/Q \cdot Q_R = 2.6 \times 10^{-3}$$

$H_I$ : 放射性雲中の核種の吸入摂取による内部被ばく  
実効線量[mSv]

$K_{in}$ : 内部被ばく実効線量係数[mSv/Bq] ※2

$R_1$ : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s] (=  $1.2[m^3/h]/3600$ )

$\chi/Q$ : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>] (=  $2.0 \times 10^{-5}$ ) ※4

d. 地表沈着した核種の吸入摂取による内部被ばく

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi/Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_R \cdot T = 6.4 \times 10^{-4}$$

$G_{in}$ : 地表沈着した核種から再浮遊した核種の吸入摂取による  
内部被ばく実効線量[mSv]

$R_2$ : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s] (=  $22.2[m^3/d]/(24 \times 3600)$ )

$F$ : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>] (=  $10^{-6}$ )

各被ばく経路の評価の和:  $H_V + H_I + G_{ex} + G_{in} = 0.0034 \text{mSv} \approx \text{約} 4 \mu\text{Sv}$

※2 (財)電力中央研究所「廃止措置工事環境影響評価ハンドブック(第3次版)」平成19年3月

※3 IAEA-TECDOC-1162, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, August 2000

※4 現行の実施計画V章.添付資料7.別添-9「2号機原子炉格納容器内部詳細調査 アクセスルート構築作業時の影響評価について」の相対線量, 相対濃度

# 【参考1-1】基準線量率と燃料デブリの想定条件 基準線量率と燃料デブリの想定条件との関係

指摘事項No.6



- 回収判断の基準線量率として、作業員被ばく12mSv/年の管理目標を満足するように設定した。
- 安全評価には、最も厳しい燃料デブリの想定条件を用いた。

	基準線量率 (回収判断基準)	安全評価 (落下影響評価, 耐震クラス)	参考：作業計画 (作業員被ばくの観点での 作業成立性確認)
採取物想定	— (測定時には不明)	全て燃料	全て燃料
回収量		3g (最大) ※1	1g (平均)
燃焼度		57GWd/t (最高燃焼度)	23GWd/t (炉心平均燃焼度)
線量率 (20cm位置)	24mSv/h	45mSv/h※2 (ただし、基準線量率を超えるものは後段工程に渡らないため、作業員がさらされる直接線は最大24mSv/h)	6mSv/h
考え方	12mSv/年の目標を満足する20cm位置での最大線量率。 採取物が基準線量率を超過した場合は、PCVに戻す。	想定される最大の被ばく影響を確認することを目的として保守的な設定。 実際にこの条件の採取物である蓋然性は大きくはないと想定している。	試験的に取り出す狙いから、蓋然性の高い平均的な回数ケースで作業計画を立案。 採取物が基準線量率を超過した場合は、PCV内に戻す。

<参考> 作業計画の考え方 (作業員被ばくの観点での作業成立性確認)

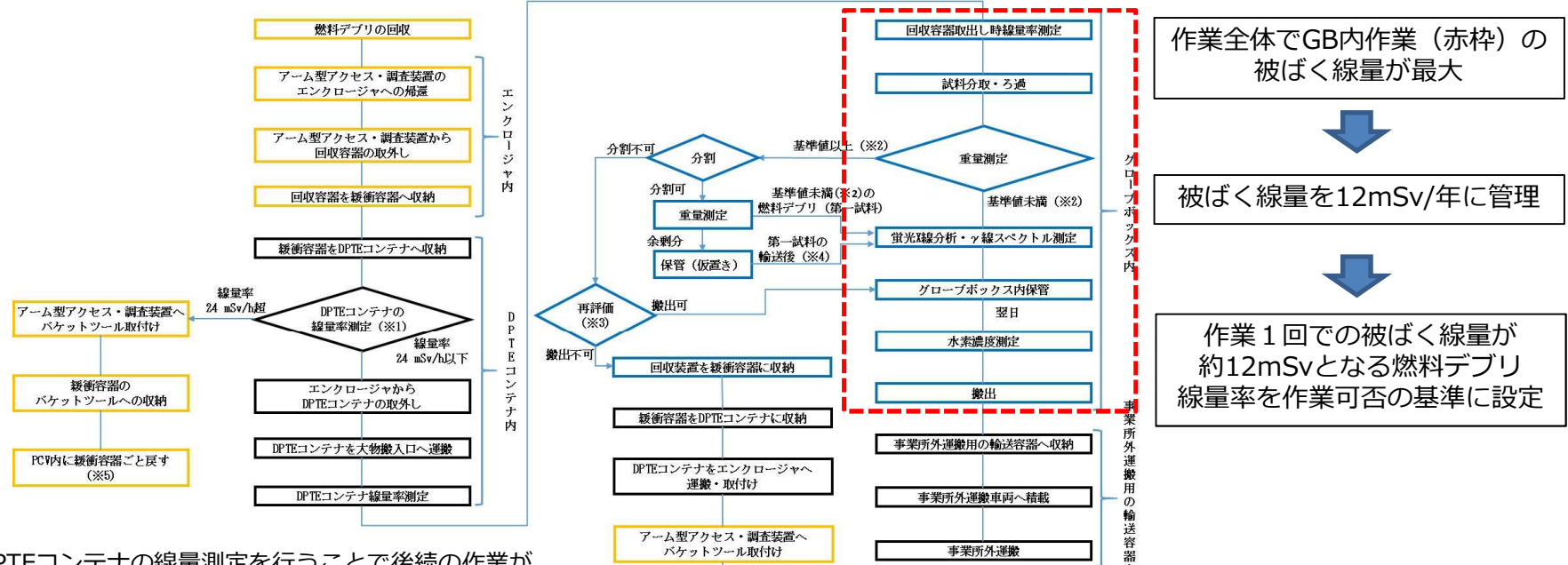
- 試験的に取り出すために、作業計画においては安全評価で用いる厳しい条件とはせず、蓋然性の高い平均的な条件とした。万が一この条件から大きく逸脱し、基準線量率を超えるものを採取した場合には、PCV内に戻す。
- 12mSv/年の管理目標に対し、平均6mSv/hのものを採取すると想定すると、現在の作業計画では4回程度回収できる見通し。

※1 回収試験を実施した結果、最大の回収量は約2.6gとなった。ただし、数十回の回収試験において2.6gとなったのは1回のみであり、試験全体での回収量平均値は0.5gと低くなっていることから、回収量の最大を3gとしている。

※2 24mSv/hで判断する事により安全評価での検討条件45mSv/hの内数に入る。

# 【参考1-2】基準線量率と燃料デブリの想定条件 DPTEコンテナを取り外す際の基準線量率と設定の考え方

- 基準線量率：24mSv/h
  - 作業全体で最大となるGB作業の被ばく線量は12mSv/年を目標に管理（想定する作業量と個人の確認線量を踏まえて目標を設定）
  - 燃料デブリからの線量率が24mSv/h(20cm位置)の場合，作業1回での個人最大想定被ばく線量は11.6mSvであることから，基準線量率を24mSv/hに設定
- 基準線量率の運用方針，作業の見通し：
  - 回収試験の平均回収量1gに対して，1gの燃料デブリからの線量率は約6mSv/h (20cm位置)と想定され，個人最大想定被ばく線量は2.9mSvとなることから，作業は4回程度可能な見込み
  - 基準線量率超過時はPCV内へ戻す



※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 分割できない場合は各種測定を実施後，燃料成分が少なく事業所外運搬可能な量であることを確認後，払出をする。

※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 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DESTAL外グレーチング上に残置する計画。

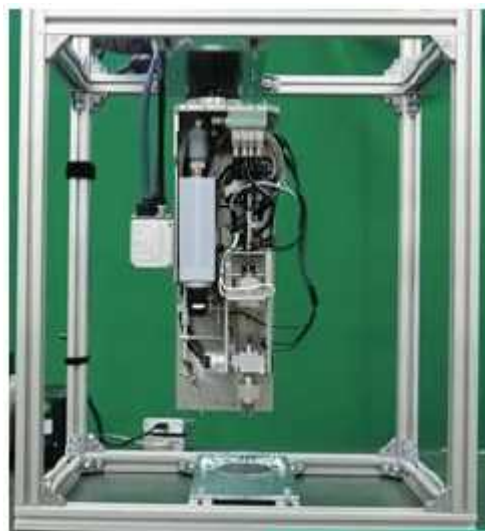


## 【参考 1 - 3】 燃料デブリ回収試験

- 試験的取り出しでは極めて少量の燃料デブリを採取する計画であり、過去のPCV内部調査にて2mm程度の砂粒状の堆積物を確認している現状を踏まえ、小さい粒径を設定
- 回収装置にて、模擬燃料デブリの回収試験を実施
- 試験条件
  - ✓ 装置は実機相当の試験機を使用
  - ✓ 底面はPCV底部の調査結果より平らな状態と凸凹した状態を模擬
  - ✓ 模擬デブリは、砂粒状のデブリの回収を想定し鉛玉2mm, 1mm, 0.35mmを使用
    - \* 最小径は試験上の取り扱い性を考慮して0.35mm, その中間にあたる1mmの3種類で模擬



2号機ペDESTAL底部の状況  
(2018年PCV内部調査)



試験装置



回収量計測結果

鉛粒径 (mm)		φ0.35	φ1.0	φ2.0	粒径混合
金ブラシ	最大値	約0.15g	約0.56g	約1.6g	約0.65g
	試験回数	14	14	14	3
	平均値	0.09g	0.33g	0.68g	0.61g
真空容器	最大値	約2.6g	約0.87g	-※	約0.67g
	試験回数	19	19		3
	平均値	0.83g	0.88g	0.54g	
全体	最大値	約2.6g、試験回数86回、平均値0.50g			

※ノズル径の制約から回収できず

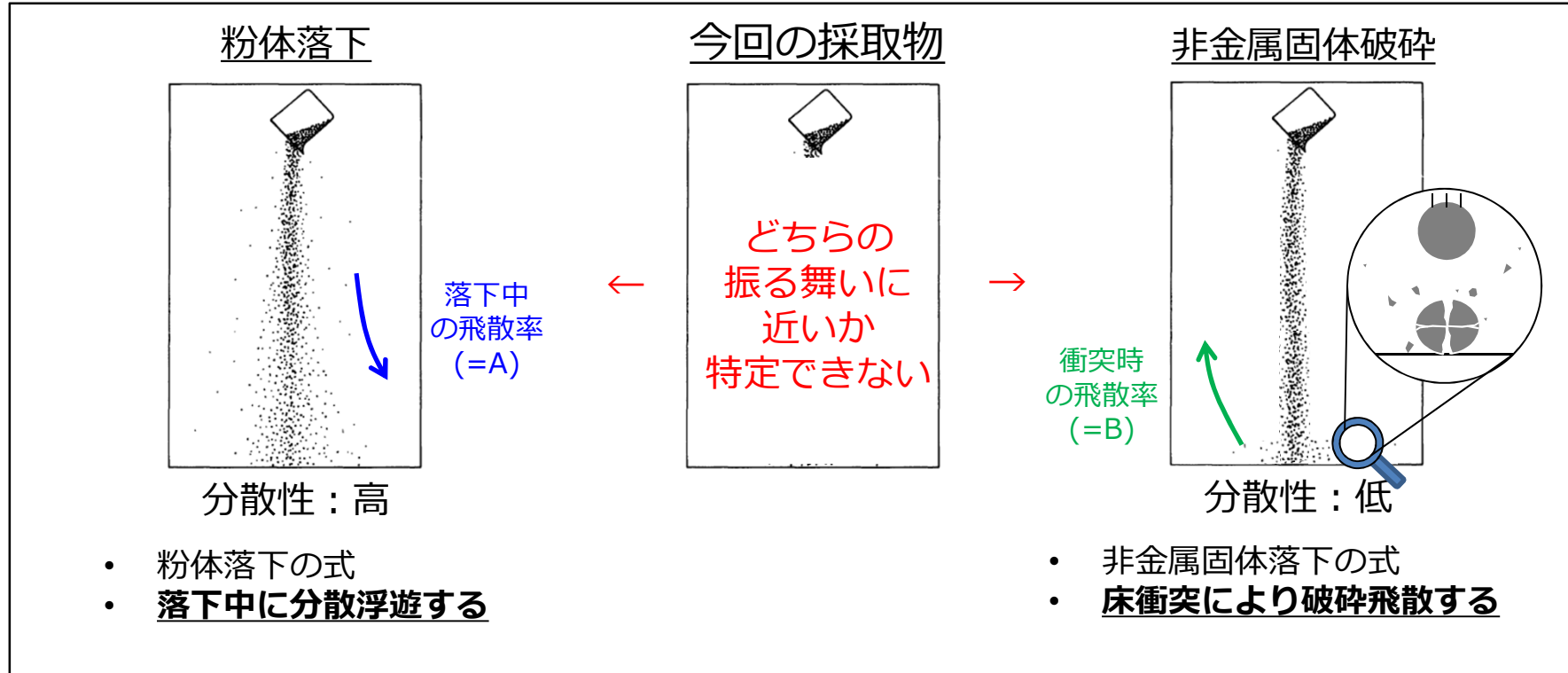
### ■ 試験結果

回収試験を実施した結果、最大の回収量は約2.6gとなった。ただし、数十回の回収試験において2.6gとなったのは1回のみであり、試験全体での回収量平均値は0.5gと低くなっていることから最大3gを超えることはない

【参考2-1】 DPTEコンテナ落下影響評価におけるダスト飛散率の設定  
落下時のダスト飛散の考え方

当初想定  
(前回会合)

落下時の採取物からのダスト飛散の振る舞いが、DOE HANDBOOKの粉体落下と非金属固体破碎のどちらに近いかわからないため、**厳しい方の飛散率(=A)**を選択。(粉体として取り扱う想定とした)。



更に保守的な  
想定

振る舞いが粉体と非金属固体のどちらに近いかわからないため、**両者を合算した飛散率(=A+B)**を採用した。つまり、採取物の全てが、粉のように分散浮遊する対象でありつつ、非金属固体のように分散浮遊せずに破碎飛散する対象であると想定した。

なお、試験的取り出し以降、回収量を増加させる作業等に関する公衆への放射線影響の評価条件では、設備・運用影響も考慮しながら、飛散率も含めて適正化を継続していく。



# 【参考2-2】 DPTEコンテナ落下影響評価におけるダスト飛散率の設定 適用した飛散率について

## ➤ ダストの舞い上がり影響の加算

- 粉体落下の飛散率評価式のもとになった実験データは、落下中の飛散と床面衝突時の舞い上がりによる飛散が含まれている（図-1）ため、粉体落下の評価式はダストの舞い上がりの影響を含むものと判断。
- ただし、粉体落下の評価式は気中分散性の高い粉体をもとに作成されているとの認識。今回想定する密度 $10.7\text{g/cm}^3$ の粒子が粉体のように振る舞うか特定できないため、粉体として取り扱う粉体落下の評価式と分散性が低いと考えられる非金属固体破碎の評価式で評価した結果、粉体落下の飛散率の方が大きめに評価されたため、粉体落下の飛散率の選択は保守的（前ページ「当初想定」の通り）。
- 今回の評価では、落下時のダスト飛散想定には不確かさがあるため、粉体落下の飛散率に加え、更に床面衝突による舞い上がりの影響を加味した飛散率（次ページ参照）を合算。

合算した飛散率：0.22%  
(=①+②)

① 落下中	0.2%	粉体落下より
② 衝突時	0.02%	非金属固体破碎より

## ➤ 粉体落下の飛散率0.15%から0.2%(包絡値)へ変更

- 上記検討より、非金属固体破碎の評価式より大きな飛散率を与える粉体落下の評価式により、0.15%と評価（図-2）。
- 3m以下の実験データの包絡値は0.2%であり、評価値よりも大きいことから、今回の評価では粉体落下の飛散率に厳しめの0.2%を適用。

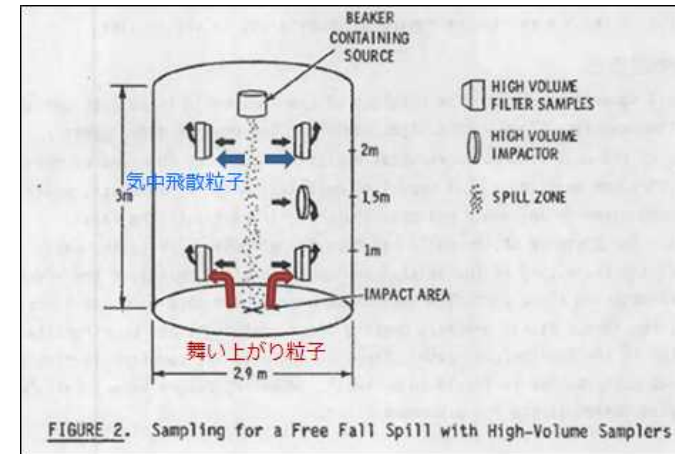


図-1 粉体落下の実験装置（NUREG/CR-2139 ※）

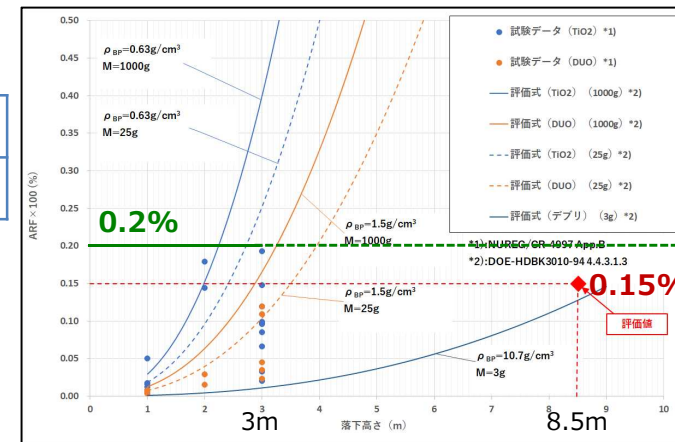


図-2 粉体落下の飛散率に係るDOE実験値と評価式および今回の評価値の関係

※ S. L. Sutter, et al., "Aerosols Generated by Free Fall Spills of Powders and Solutions in Static Air", NUREG/CR-2139, 1981.

【参考2-3】 DPTEコンテナ落下影響評価におけるダスト飛散率の設定  
非金属固体破碎の実験と適用した考え方

■ 非金属固体破碎の実験

- ガラス、UO2ペレット等の脆性材料である非金属固体を破碎(図-1)し、その破砕片の重量と粒径を計測。計測された粒径のうち、10μm以下の重量割合と破碎エネルギー密度は比例する結果が得られている(図-2)。
- 被ばくに寄与する粒子10μm(呼吸により体内に取り込まれる粒子径)以下の重量割合を飛散率(ARF×RF)と定義し、以下の実験式が得られている。

$$\text{飛散率} = 2 \times 10^{-11} \times (\text{エネルギー密度}) = 2 \times 10^{-11} \times (P)(g)(h)$$

(P): 試験体の密度(g/cm<sup>3</sup>), (g): 重力加速度(cm/s<sup>2</sup>), (h): 落下高さ(cm)

■ 適用した考え方

- 上式は、気相に飛散した粒子の重量と粒径を計測したデータではなく、破碎により発生した全粒子を対象に計測したデータであり、これを飛散率とする点で保守性がある。
- また、実験では、試験体が硬い鋼台の上に設置され、破碎用落下物の持つ位置エネルギーのほぼ全てが試験体に与えられ、破碎するエネルギーに使われるような体系となっている。
- 一方、DPTE落下では、回収物が床面に衝突する際に、拘束されてるわけではないので、回収物の持つ位置エネルギーの一部が、破碎エネルギーに使われると考えられ、ほぼ全てのエネルギーが使われる体系で得られた実験式の適用には保守性がある。

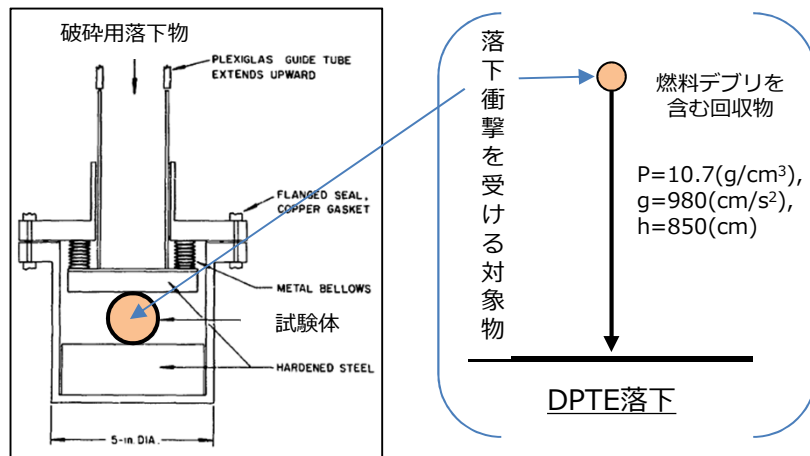


図-1 非金属固体破碎の実験装置 (ANL-82-39※)

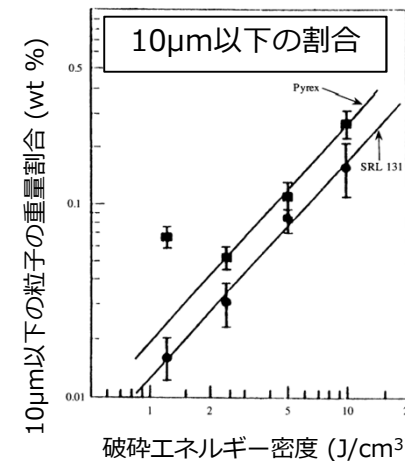


図-2 実験結果 (DOE-HDBK-3010-94)

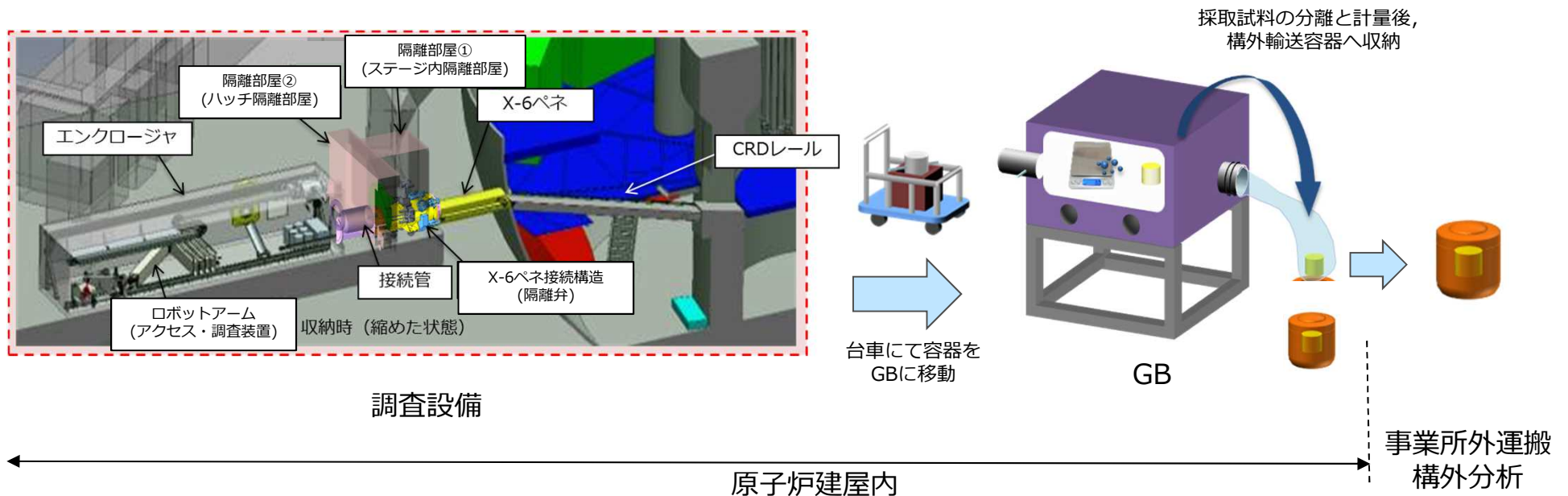
※ Jardine et al., "FINAL REPORT OF EXPERIMENTAL LABORATORY-SCALE BRITTLE FRACTURE STUDIES OF GLASSES AND CERAMICS", ANL-82-39, October, 1982.

# 以降、補足説明資料

---

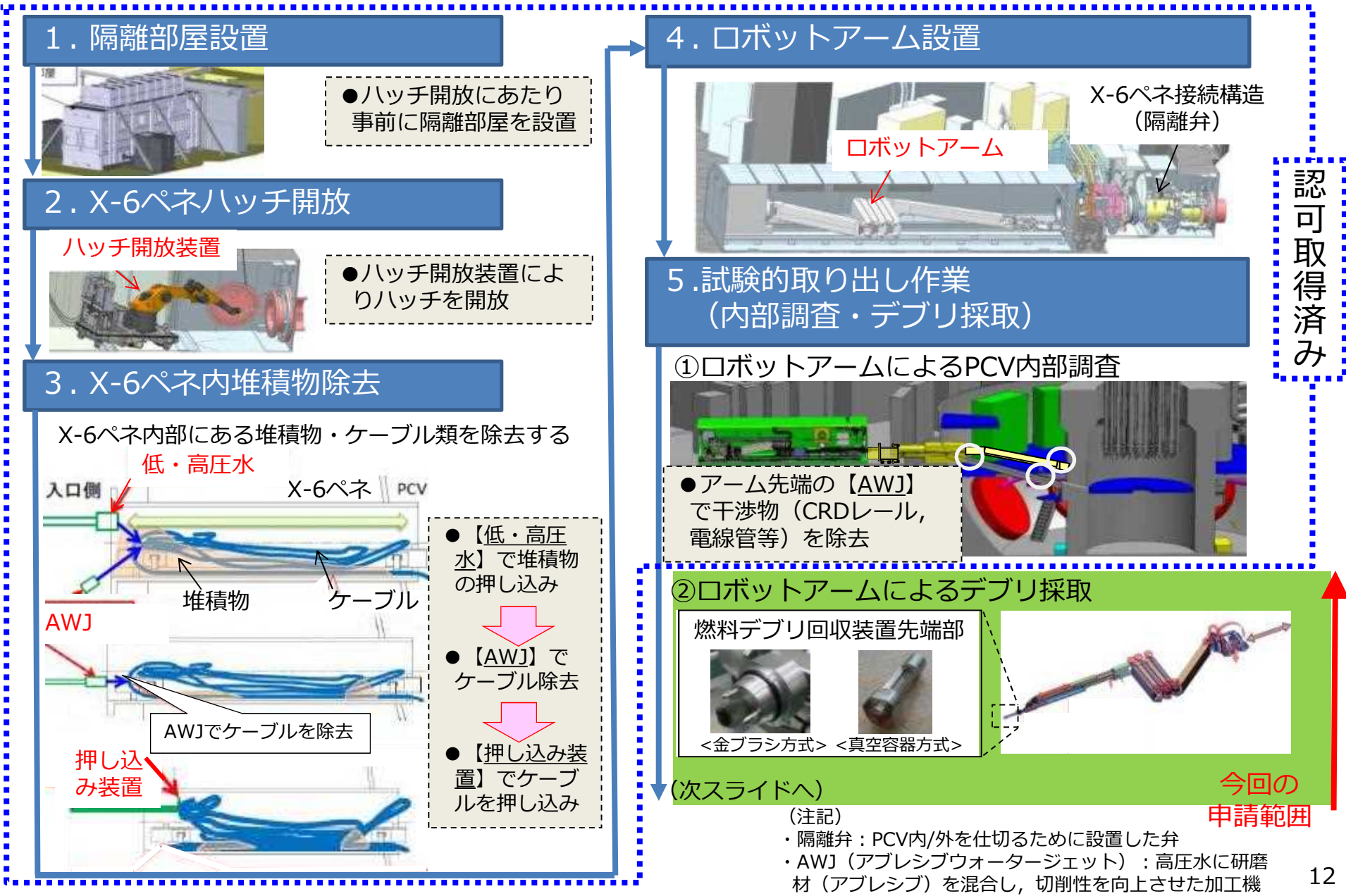
## 補足1. 試験的取り出しの概要

- 燃料デブリ取り出しを進めるにあたり、燃料デブリの分布と既設建造物の状態等を把握するため、PCV内部の調査及び試験的取り出しの実施を計画
- 試験的取り出しはPCV内部調査に使用する調査設備を用い、少量の燃料デブリを取り出す
  - 取り出した燃料デブリは構外分析施設へ輸送し、性状把握を実施
  - 試験的取り出しは将来的な取り出し装置の検証や確認も目的としており、得られる知見により将来的な取り出し作業の安全性向上を図る
- なお、試験的取り出しに際して扱う燃料デブリは少量であり、加工を行わないことから敷地境界線量評価に影響を与えるものではない



(注記) ・CRD：制御棒駆動機構，GB：グローブボックス

# 補足 2 - 1. 試験的取り出しの作業ステップ (1/2)



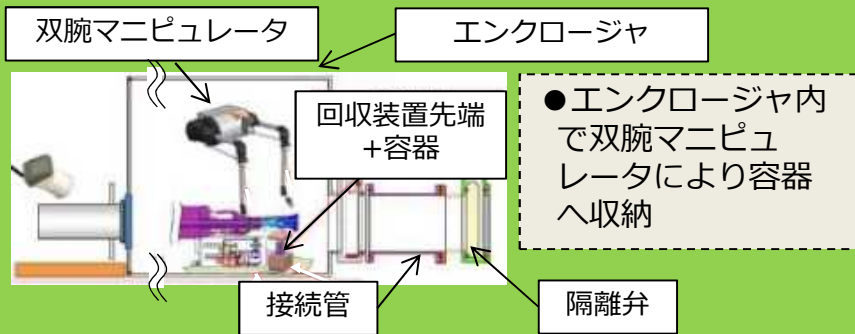


## 補足 2 - 2. 試験的取り出しの作業ステップ (2/2)

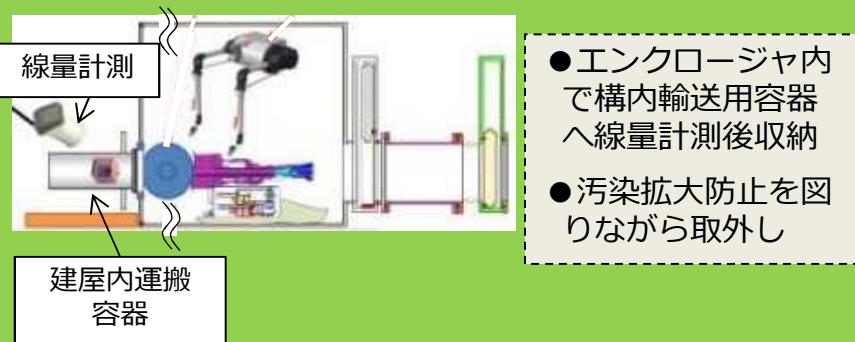
- 試験的取り出し後の燃料デブリについては、汚染拡大の防止及び遮へいにより、作業員および外部への影響がないよう取り扱う計画で検討中

(前スライドより)

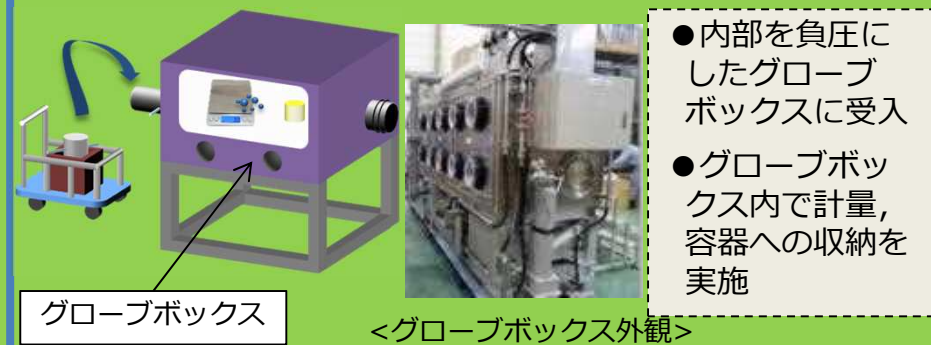
### 6. 燃料デブリ回収装置先端部の収納



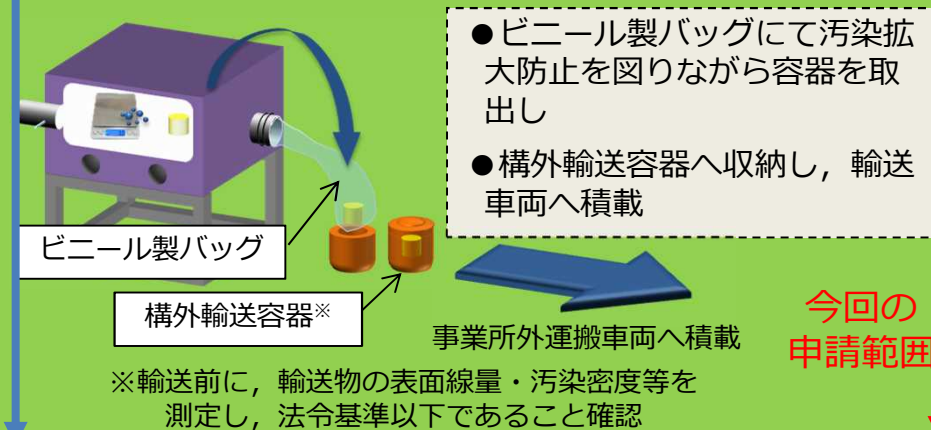
### 7. 建屋内運搬容器へ収納・線量計測



### 8. グローブボックス受入・計量



### 9. 容器の取出し・輸送容器へ収納・搬出

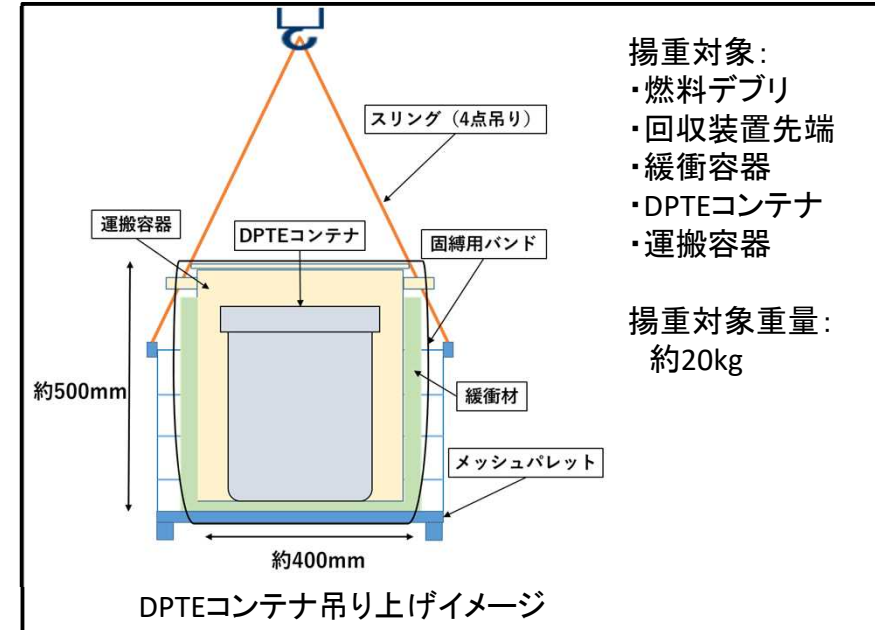


### 10. 事業所外運搬及び構外分析

- 燃料デブリを収納したDPTEコンテナの建屋内運搬に際し、電気チェーンブロックによる揚重作業を計画することから、以下の落下防止対策を計画する。また、万が一落下した場合の落下影響評価、漏えい時の影響緩和対策を以下に示す。

➤ 落下防止対策

- DPTEコンテナを運搬容器に格納し、バンドで固縛
- メッシュパレットの4点吊り
- 電気チェーンブロックの定期自主検査
- 使用機器の作業開始前点検



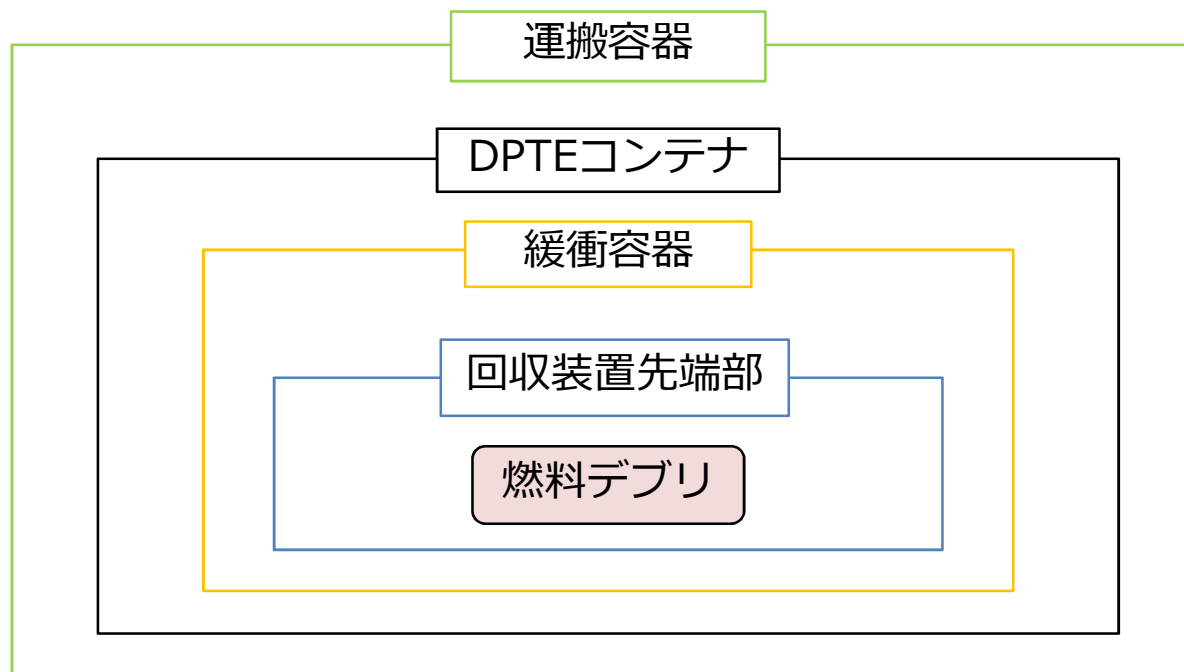
➤ 落下影響評価

- 落下によって燃料デブリが漏えいした場合の敷地境界での実効線量は約4 $\mu$ Sv(暫定値)であり、周辺の公衆に対し著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。
- 落下時の飛散ダストによる作業エリアの雰囲気線量率の増加は約2 $\mu$ Sv/h(暫定値)。

- 漏えい時の影響緩和対策
  - 燃料デブリは多重に収納し、運搬容器を緩衝材で梱包することで落下による衝撃を緩和する。
  - 楊重作業時には作業者は落下時のダストの影響範囲外に退避する。
  
- 落下後の復旧策
  - 作業エリアには汚染拡大防止のため、予め難燃シート養生を行う。
  - ダストとして飛散せずに床面に残った燃料デブリからの線量率は約24mSv/h(20cm位置)。
  - 落下時はダスト濃度を測定し、落下・漏えいにより上昇したダスト濃度が低下したのち、作業を開始する。
  - 現場の状況を確認した上で、線量測定や目視によって落下した燃料デブリを確認し、工具の使用による距離確保、遮へいを活用し被ばく低減対策を実施した上で回収する。

## 【参考】 DPTEコンテナ吊り上げ時の燃料デブリの収納状況

- エンクロージャから搬出された燃料デブリは下記に示すように吊り上げ時は運搬容器に収納される。



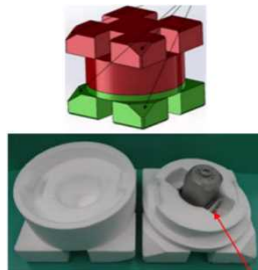
燃料デブリ



<金ブラシ方式>



<真空容器方式>



緩衝容器



DPTEコンテナ



運搬容器

内側



外側6

## 補足4. 措置を講ずべき事項の適合方針

### 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、確実に臨界未満に維持し、原子炉格納容器の止水などの対策を講じた上で、安全に取り出し、飛散を防止し、適切に遮蔽、冷却及び貯蔵すること。
- 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、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。

#### <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。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蔽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、DPTE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

試験的取り出しは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を行うために活用する。

##### (6) 災害の防止について

火災、作業員の被ばく、燃料デブリの漏えい、燃料デブリの臨界、水素爆発に対して適切な対策を講じ災害を防止する。

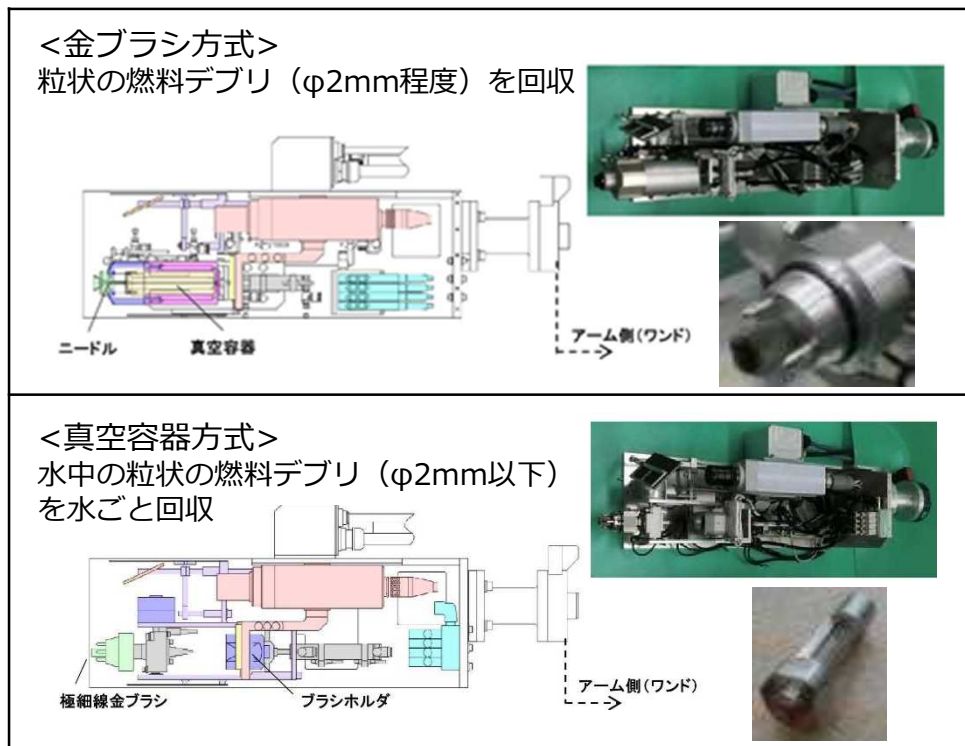


# 補足5-1. 措置を講ずべき事項の対応方針

## 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
- 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、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

＜燃料デブリ回収装置先端部＞



ロボットアームによるデブリ採取

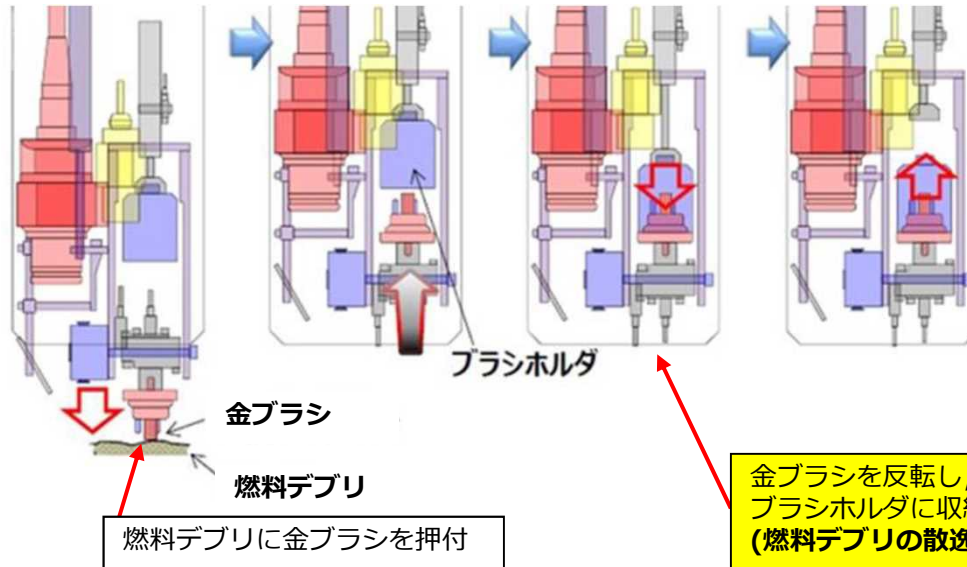


(※)写真中の窪み(深さ2.6mm)に鉛玉を充填した場合の採取量

※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

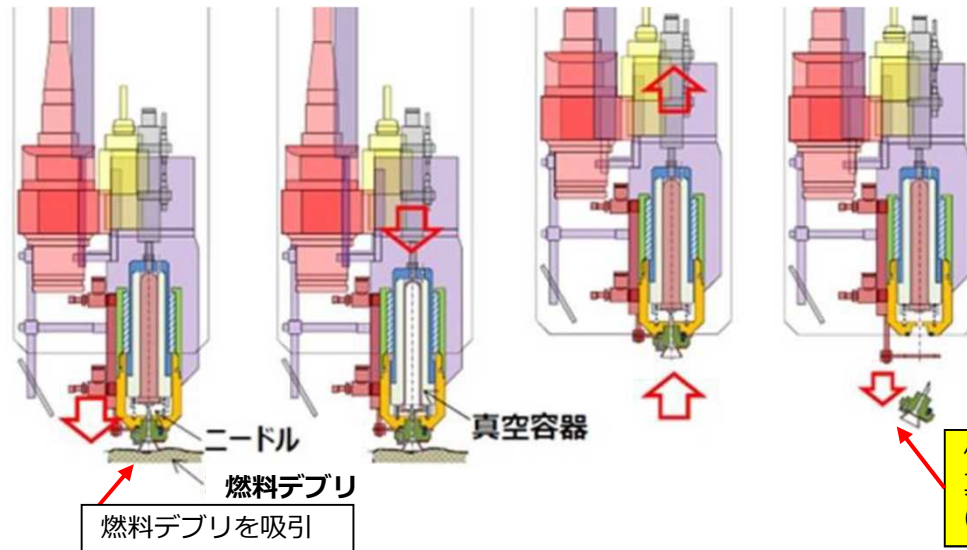
## 【参考】燃料デブリ回収手順

### (1) 金ブラシ方式



- ① 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
- ② 金ブラシを降下させ燃料デブリに金ブラシを押付
- ③ 金ブラシを引き上げた後、金ブラシを反転
- ④ ブラシホルダを降下させ、金ブラシを収納
- ⑤ ブラシホルダを回収装置から切り離す
- ⑥ 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す

### (2) 真空容器方式

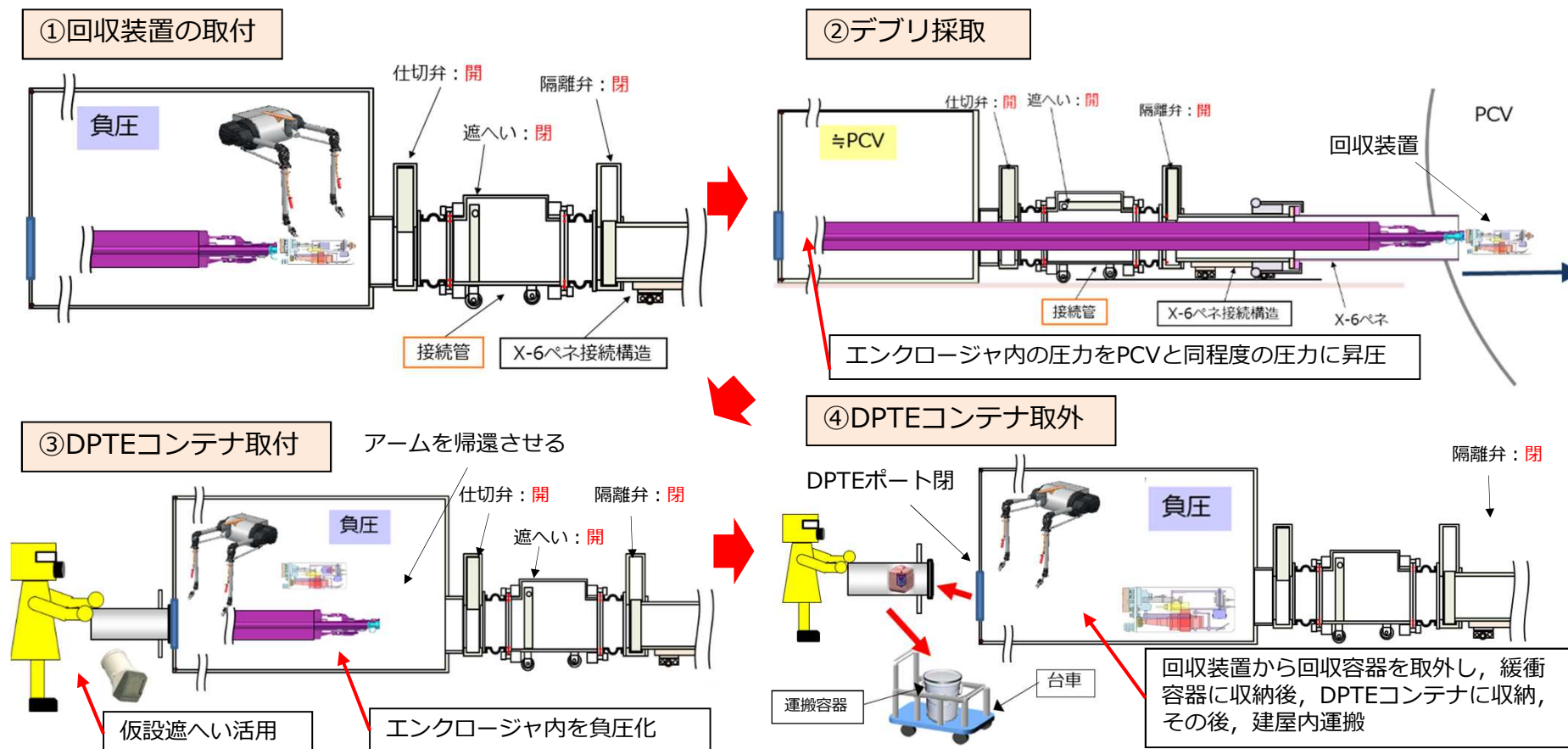


- ① アーム型アクセス・調査装置を操作し回収装置を燃料デブリ回収位置まで移動
- ② 先端を燃料デブリに接触させた状態で真空容器を押し込み吸引
- ③ 真空容器を引き込み、ニードルを切り離す
- ④ アーム型アクセス・調査装置を操作しエンクロージャまで戻す

## 補足5-2. 措置を講ずべき事項の対応方針

### 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
- 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
- DPTEコンテナは「JIS Z 2332 圧力変化による漏れ試験方法」に準拠した漏れ確認試験を行い、著しい漏れがないことを確認し、閉じ込め機能を確保する



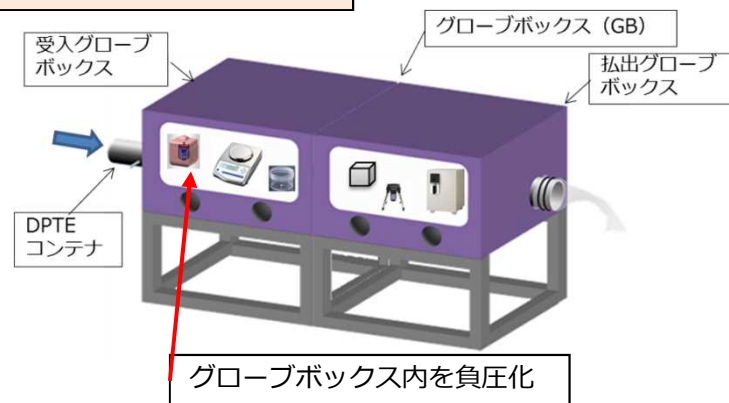


## 補足5-3. 措置を講ずべき事項の対応方針

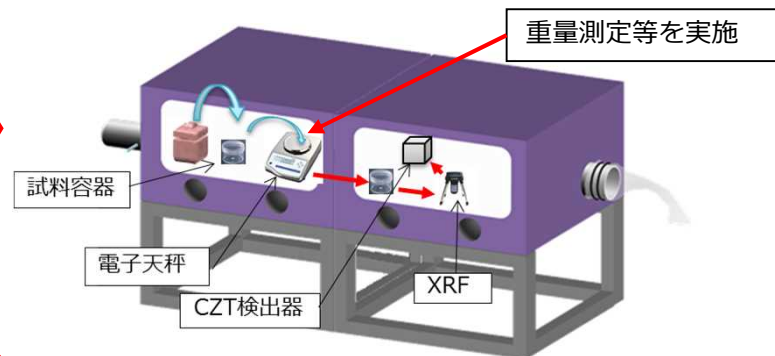
### 取り出し作業時の安全, 飛散防止及び遮蔽への考慮

- 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重量測定, 線量測定を行い構外の分析施設に輸送する
- 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」に準拠して設計し, **作業中負圧化することで放射性物質の飛散防止を図る**
- 閉じ込め機能の維持のため, グローブボックス内の圧力を監視し, 大気圧に近づいた場合は警報が発報し, 異常を検知する
- 電源喪失時は手動弁の閉操作により閉じ込め機能を維持する

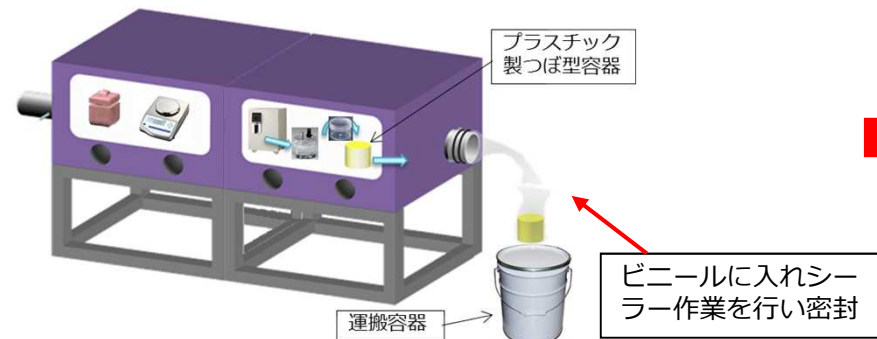
#### ⑤ DPTEコンテナ取付



#### ⑥ 各種測定



#### ⑦ 運搬容器に収納



#### ⑧ 事業所外運搬 (認可対象外)

# 補足5-4. 措置を講ずべき事項の対応方針

## 取り出し作業時の安全, 飛散防止及び遮蔽への考慮



### グローブボックス(GB)作業の作業体制, 想定被ばく線量

作業内容	作業種	作業時間	作業体制				
			作業員A	作業員B	作業員C	補助作業員A	補助作業員B
作業準備	作業準備	約70分	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)	○ (0.46mSv)
GBへの試料受入れ	DPTEコンテナ取付	約3分	-	-	-	○ (0.31mSv)	○ (0.31mSv)
	回収容器取出	約2分	○ (0.18mSv)	-	-	-	-
試料分取	燃料デブリ取出	約6分	○ (0.57mSv)	○ (0.57mSv)	-	-	-
重量測定	重量測定		-	-	-	-	-
試料を払出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		-	-	※1	※1	-
水素濃度測定準備	密閉容器への収納	約3分	-	○ (0.29mSv)	-	-	-
仮置き	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から払出	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回当たりの各作業員の想定被ばく量			2.4mSv	2.3mSv	2.9mSv	2.3mSv	2.1mSv

### ■ グローブボックス作業における被ばく線量管理

- 作業員はグローブ作業, 補助作業員はグローブボックス外の作業を行う。
- グローブボックス作業内容と被ばく線量低減の観点から5人体制で作業を行う。
- 評価の結果, グローブボックス作業を所定回数実施しても想定被ばく量は年間個人被ばく線量限度以下である。
- 回収した燃料デブリはエンクロージャから搬出する前に, 事前に線量測定を行い作業可能な線量率であることを確認し, 作業員の過剰被ばくを防止する。

※1 補助作業員は燃料デブリから離れた位置で作業を行うことから想定被ばく線量は作業員より小さい。

※2 それぞれ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。

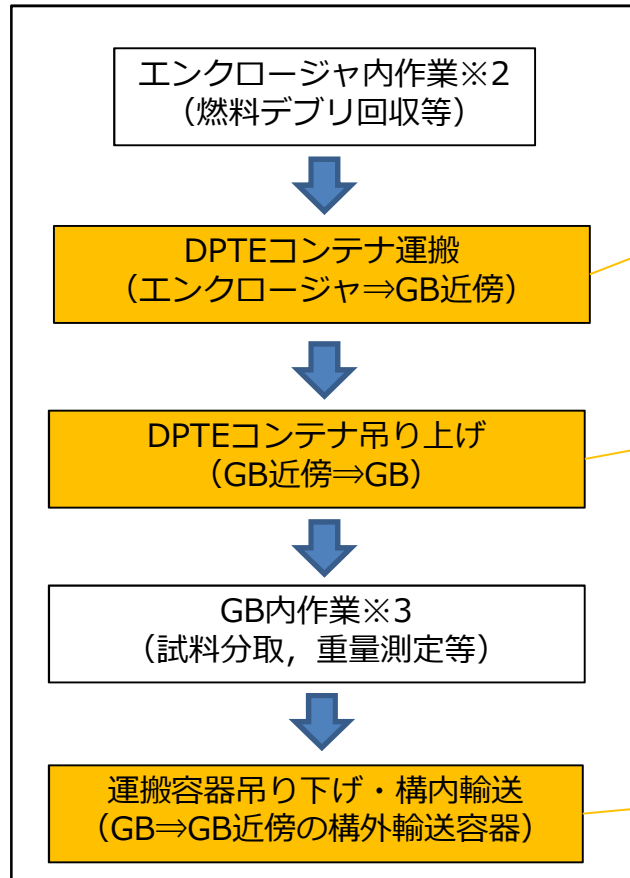


# 補足5-5. 措置を講ずべき事項の対応方針

## 取り出し作業時の安全, 飛散防止及び遮蔽への考慮



- 各運搬作業における想定被ばく量を以下に整理する。なお、X-6ペネ周辺でのDPTEコンテナ運搬作業での被ばく線量は保守的な空間線量率<sup>※1</sup>を設定し評価しており、X-6ペネハッチ開放後の線量実績<sup>※1</sup>も設定以下の空間線量率であることを確認しているためX-6ペネハッチ開放による作業への影響はないと考えられる。



試験的取り出し概略フロー

※1 DPTEコンテナ運搬作業エリア近傍の空間線量率

- ① 評価条件：約5mSv/h
- ② X-6ペネハッチ開放前：約2.1mSv/h
- ③ X-6ペネハッチ開放後：約2.6mSv/h

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	作業者D
DPTEコンテナ運搬	DPTEコンテナ取外	約15分	○ (0.92mSv)	○ (0.92mSv)	○ (0.92mSv)	—
	DPTEコンテナ運搬	約12分	—	—	—	○ (1.2mSv)
各作業者の想定被ばく量			0.92mSv	0.92mSv	0.92mSv	1.2mSv

作業内容	作業種	作業時間	作業体制			
			作業者E	作業者F	作業者G	作業者H
DPTEコンテナ吊り上げ	DPTEコンテナ受取	約3分	○ (0.36mSv)	○ (0.06mSv)	○ (0.06mSv)	○ (0.06mSv)
	吊上げ準備	約5分	○ (0.60mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)
	吊上げ	約5分	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)
	玉掛解除、受渡	約3分	○ (0.06mSv)	○ (0.36mSv)	○ (0.06mSv)	○ (0.06mSv)
各作業者の想定被ばく量			1.12mSv	0.62mSv	0.32mSv	0.32mSv

作業内容	作業種	作業時間	作業体制				
			作業者E	作業者F	作業者G	作業者H	作業者I
運搬容器吊り下げ・構内輸送	構外輸送容器搬入	約15分	○ (0.30mSv)	○ (0.30mSv)	○ (0.30mSv)	○ (0.30mSv)	○ (0.30mSv)
	運搬容器受取	約2分	○ (0.04mSv)	○ (0.04mSv)	○ (0.24mSv)	○ (0.04mSv)	○ (0.04mSv)
	吊下げ準備	約5分	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.60mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)
	吊下げ	約5分	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)	○ (0.10mSv)
	玉掛解除	約3分	○ (0.06mSv)	○ (0.06mSv)	○ (0.06mSv)	○ (0.36mSv)	○ (0.06mSv)
	構外輸送容器への収納	約8分	○ (0.16mSv)	○ (0.16mSv)	○ (0.16mSv)	○ (0.66mSv)	○ (0.16mSv)
	構内輸送	約49分	○ (0.68mSv)	○ (0.68mSv)	○ (0.68mSv)	○ (0.68mSv)	○ (0.69mSv)
各作業者の想定被ばく量			1.44mSv	1.44mSv	2.14mSv	2.24mSv	1.45mSv

※2 遠隔作業のため建屋内作業はない

※3 9/11 1F技術会合 第13回にて説明済

- 2023年3月3日面談資料「1Fにおける眼の水晶体等価線量の管理について」より抜粋  
 個人の確認線量：眼の水晶体の等価線量または実効線量が12mSv/年（確認線量）を超えた場合又はそのおそれがある場合，眼の近傍での測定を開始する※1

※1 GB作業の被ばく線量は12mSv/年を目標に管理するが，眼の近傍に線量計を装着し眼の水晶体の被ばく線量管理も実施する

## 1. 眼の水晶体に対する等価線量の管理状況

### 【管理方法】

震災後～2017年度まで

- 眼の水晶体の等価線量は，胸部（又は腹部）の位置で測定したガラスバッジ等の受動形個人線量計の値を使用。

2018年度～2020年度

- 眼の水晶体の等価線量または実効線量が15mSv/年（確認線量）を超えた場合又はそのおそれがある場合，眼の近傍での測定を開始。なお，Sr-90などのβ線が主線源となるエリアで作業を行う場合は，15mSv/年に係わらず全面マスク内側に受動形個人線量計を着用し，全面マスク内のアイピースによるβ線遮へいも考慮した測定を実施。
- 2018年度より，水晶体の等価線量の上限値を50mSv/年とする管理を開始。
- 2019年度より，50mSv/年の上限に加え，5年平均20mSv/年を超えない管理を開始。

2021年度～

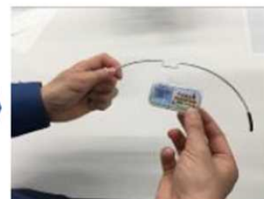
- 確認線量を15mSv/年から12mSv/年，目標線量を20mSv/年から18mSv/年にそれぞれ引き下げ。
- 眼の水晶体の等価線量または実効線量が確認線量を超過すると想定される場合，頭部で不均等被ばくが想定される場合，Sr-90などのβ線が主線源となるエリアで作業を行う場合は，全面マスク内側に受動形個人線量計を着用し，全面マスク内のアイピースによるβ線遮へいも考慮した測定を実施。
- 社内における線量の上限値（実効線量および眼の水晶体の等価線量）を20mSv/年及び80mSv/5年にそれぞれ引き下げ。

### 【測定方法】

□全面マスク内側で実測定



ガラスバッジ  
ルミネスバッジ



マスク用治具



着用イメージ

確認線量を超過する，又は超過するおそれがある場合は，以下の受動形個人線量計を着用して算定する。

- ①γ線に対してγ+β線が大きい場合は，3mm線量当量測定用
- ②γ線とγ+β線が同等である場合は，3mm線量当量又は70μm線量当量のいずれか適切な線量当量測定用