

## V 燃料デブリの取り出し・廃炉

### 1. 燃料デブリの取り出し・廃炉に係わる作業ステップ

燃料デブリ等の取り出しを開始するまでに必要な作業は高線量下にある原子炉建屋内等で行なわれる。現在、炉心に注入した冷却水が圧力容器や格納容器から漏れいしている状態にあるが、漏れい箇所の状況や格納容器・圧力容器の内部の状況が確認できていない。このため、TIP案内管を活用し燃料デブリの位置に関する情報や取り出し装置開発に必要なインプットに資する情報入手作業を試みる検討をしているが、現時点において情報を入手できていないため、燃料デブリ等を取り出すための具体的な方策を確定することは難しい状況にある。しかし、燃料デブリを冠水させた状態で取り出す方法が作業被ばく低減等の観点から最も確実な方法の1つであると考えていることから、まずは調査装置等を開発し、格納容器の水張りに向けた調査を行ない、止水に向けた具体的な方策を構築するものとする。また、燃料デブリの取り出し技術の開発に向けて、開発した装置を用いて格納容器内の状況調査を実施する。

なお、格納容器の水張りに向けた調査や格納容器内の状況調査にあたり、事前に遠隔操作型の除染装置等を用いて除染等を行ない作業場所の線量低減を図るものとする。

現時点で想定している燃料デブリ取り出しに係わる作業ステップは以下の通りである。本ステップについては、今後の現場調査の結果や技術開発の進捗状況等により適宜見直していく。また、廃止措置に向けて、燃料デブリの取り出し作業等によって得られる各種データの蓄積を図っていく。

- ①原子炉建屋内は高線量であるため、作業場所の線量低減が必要となる。遠隔操作型の除染装置等を用いて原子炉建屋内の線量低減を図るべく、2013年度上期から瓦礫撤去と除染・遮へい作業を実施する。
- ②線量低減後に、開発中の遠隔操作型の調査装置を用いて格納容器下部の漏れい箇所等の状況確認を実施する。線量低減に要する期間を事前に予見することは難しいが、2014年度から漏れい箇所等の状況確認ができるよう装置開発を進める。
- ③格納容器下部の漏れい箇所等の状況確認結果を踏まえ、格納容器下部の止水装置を開発し、止水・水張りを行なう。
- ④格納容器内本格調査用装置開発のためにはデータ収集が必要であるため、線量低減後に格納容器内の環境調査（アクセスルートの状況、線量、温度など）を目的に格納容器内事前調査を2013年から実施する。この事前調査で得られた情報を基に格納容器内部調査に必要となる技術開発を行ない、実証終了後、本格的な内部調査を行なう。
- ⑤格納容器上部補修のための遠隔操作型の調査・補修装置を開発し、調査・補修・水張りを実施する。
- ⑥原子炉建屋コンテナ等を設置し、圧力容器の上蓋等を開放する。

- ⑦圧力容器内部の調査技術を開発し，調査を実施する。
- ⑧格納容器や圧力容器の内部調査結果等を踏まえ，燃料デブリ取り出し技術の開発，燃料デブリの臨界管理技術の開発，燃料デブリ収納缶の開発，計量管理方策の確立が完了していること等も確認した上で，燃料デブリの取り出しを開始する。

## 2. 添付資料

- 添付資料－1 燃料デブリ取り出しに向けたプロセス
- 添付資料－2 現段階での原子炉格納容器内部調査について
- 添付資料－3 現段階での2号機TIP案内管を活用した炉内調査・温度計設置について
- 添付資料－4 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の影響評価に関する説明資料
- 添付資料－5 原子炉格納容器内部（ペDESTAL内）調査について
- 添付資料－6 1号機原子炉格納容器内部詳細調査について
- 添付資料－7 内部調査及び試験的取り出し作業のうち2号機原子炉格納容器内部詳細調査について

## 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の影響評価に関する説明資料

## 1. 目的

新設の温度計の設置等に伴い事故後に施工した原子炉格納容器（以下 PCV という）の貫通部等が開放し、PCV 内の核分裂生成物を含む気体（以下 PCV ガスという）が環境中に放出された場合の周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響評価を行う。

## 2. 放出量評価

- (1) PCV 圧力は、現状では 10 kPa 程度の正圧となっているため、施工箇所の損傷によって大気に開放された場合、差圧分の PCV ガスが原子炉建屋内に放出されるものと想定される。また、本評価では原子炉格納容器ガス管理設備の放射性物質の放出抑制機能を期待しないこととし、上記差圧分の放出に加え、開放した PCV 貫通部を閉じるまでの間、窒素封入量相当の PCV ガスの放出が継続するものとする。なお、現在施工を終えている設備の貫通部においては、施工時に PCV 内の水位が低く液体の放出がないことを確認しているため、本評価では気体のみの放出とする。
- (2) 差圧分の放出容積は、20kPa 程度に相当する容積として、PCV 容積（4240 m<sup>3</sup>：1号機よりも容積の大きい 2,3号機の値（ベント管含む）。PCV 空間部容積は、PCV 下部に蓄積している液相体積を差し引く必要があるが、ここでは保守的に液相がないものとして放出容積を評価。）の 2 割（848m<sup>3</sup>）とする。また、窒素封入量は今後必要な封入量が減少していくことから、過去の封入量の最大値を包絡するよう、保守的に 50m<sup>3</sup>/h とし、施工箇所の PCV 貫通部を再度閉じる作業に 3 日間程度要すると考え、窒素封入量相当の PCV ガスの放出継続時間は 72 時間とする。
- (3) 評価対象核種は支配的核種であるセシウム 134 とセシウム 137 とし、PCV 内における濃度は、平成 25 年 4 月～5 月頃に実施した、1～3号機 PCV ガス管理設備（HEPA フィルタ入口側）の気体（粒子状フィルタ、チャコールフィルタ）及び凝縮水（マリネリ瓶）のサンプリング結果より、実績の最大値を包絡するよう、以下のとおりとする。

	PCV ガス中の放射能濃度
セシウム 134	2.0×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup>
セシウム 137	2.0×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup>

## 3. 線量影響評価

- (1) 大気中へ放出される核分裂生成物は、原子炉建屋から地上放散されるものとし、周辺

の公衆に対する放射線被ばくの影響を年間の実効線量を用いて評価する。

- (2) 実効線量は、以下に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては、放射性雲中のセシウムによる外部被ばくと内部被ばくと、地表沈着したセシウムによる外部被ばくと内部被ばくを考慮する。
- (3) 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D / Q \cdot Q_{Cs} \cdot 1000$$

$H_{\gamma}$  : 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  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]

$E_{\gamma}$  :  $\gamma$  線の実効エネルギー[MeV]

$D/Q$  : 相対線量[Gy/Bq]

$Q_{Cs}$  : セシウムの大気放出量[Bq]

- (4) 放射性雲のセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{Cs} = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_{Cs}$$

$H_{Cs}$  : 放射性雲のセシウム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]

$R_1$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$\chi/Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]

- (5) 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot Q_{Cs} \cdot T \cdot 1000$$

$G_{ex}$  : 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  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>)]

$V$  : 沈降速度[m/s]

$f$  : 残存割合[-]

$T$  : 被ばく時間[s]

- (6) 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を

評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot T$$

$G_{in}$  : 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウム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]

$F$  : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>]

- (7) 相対濃度と相対線量については、「Ⅱ 2.1 原子炉压力容器・格納容器注水設備添付資料 5 別紙 1」に記載される下表の値を用いる。

	敷地境界
相対濃度[s/m <sup>3</sup> ]	8.1×10 <sup>-5</sup>
相対線量[Gy/Bq]	7.3×10 <sup>-19</sup>

#### 4. 評価結果

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりであり、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。

セシウム 134 放出量	約 8.9×10 <sup>6</sup> Bq
セシウム 137 放出量	約 8.9×10 <sup>6</sup> Bq
年間の実効線量	約 4.9×10 <sup>-4</sup> mSv

以上

## 1号機原子炉格納容器内部詳細調査について

燃料デブリの取り出しを進めるうえで、燃料デブリの分布と既設建造物の状態等を把握することは重要であり、そのため、燃料デブリ取り出し前に原子炉格納容器内部の調査を実施していく。

## 1. 原子炉格納容器内部詳細調査の概要

福島第一原子力発電所1号機における2019年度以降の原子炉格納容器内の調査は、原子炉格納容器貫通部X-2ペネトレーション（以下X-2ペネ）（別添－1）よりアクセス・調査装置を投入し、堆積物3次元測定、堆積物厚さ測定、中性子束測定を行うことを基本とする。それ以外の項目については、詳細を検討した上で決定する。

1号機 X-2 ペネの概要

項目	内容
原子炉格納容器貫通部番号	X-2（所員用エアロック）
場所	1号機原子炉建屋1階 西部
外径	φ2456mm
閉止板厚	75mm（エアロック扉部）， 38mm（エアロック扉部以外）
工事による孔加工の大きさ	φ約330mm，φ約250mm，φ約190mm

## 2. X-2 ペネの構造変更及び原子炉格納容器内部詳細調査

## (1) 調査設備の設計方針

原子炉格納容器バウンダリとなる調査設備は、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のないように、適切に設計を行う。調査設備は、現状の原子炉格納容器内圧力を考慮し、それに耐えうる構造とする。

## (2) X-2 ペネの構造変更

ある程度の水位が形成されている原子炉格納容器内部において広範囲にわたる調査を行うため、潜水機能付ボート型のアクセス・調査装置（直径約0.3m、長さ約1m）をX-2ペネから投入する計画である。アクセス・調査装置の投入にあたっては、これまで内部調査に使用しているX-100Bペネの開口部（φ130mm）が小さいことから、X-2ペネ（内径2400mm）に新たに孔あけする（計3箇所φ約330mm（アクセス・調査装置投入用）、φ約250mm（監視カメラ・照明用）、φ約190mm（監視カメラ・照明用））。X-2ペネ前に生体遮へい壁（ブロック壁）が設置されていることから、まずブロック壁を取り外した後、X-2ペネに孔あけを実施する。この際、原子炉格納容器との隔離の維持ならびに作業上の安全対策と外部へのガス等の放出防止を目的として、バウンダリとなる接続管、隔離弁を設ける。調査終了後は、隔離弁を全閉し、隔離弁から調査設備を取外し、隔離弁に閉止フランジを取り付ける。

### (3) 作業内容

#### a. 調査設備設置作業

X-2 ペネのエアロック外扉及び内扉を、孔あけ加工機（コアビット、アブレスィブウォータージェット）による孔あけを実施する。孔あけ箇所については孔あけ前にバウンダリとなる隔離弁、接続管を取り付けるとともに、著しい漏えいがないことを確認した上で、孔あけする。（別添－2参照）隔離弁は、加工後の孔あけ加工機取外しの際に閉じる。外扉、内扉の孔あけ後、原子炉格納容器内干渉物をアブレスィブウォータージェットにて加工し、アクセス・調査装置のアクセスルートを確認する。アブレスィブウォータージェットによる加工時は原子炉格納容器内への注水量が一時的に増加することから、原子炉未臨界維持に必要な安全措置を事前に講じた上で作業を実施する。

ガイドパイプを挿入し、ガイドパイプ固定ピンにて固定後、隔離弁にシールボックス、アクセス・調査装置を内包するケーブルドラムを取り付ける。（別添－3）

#### b. 原子炉格納容器内部詳細調査

アクセス・調査装置はガイドパイプ内を通過させ、原子炉格納容器地下階にアクセスし、水上を移動させながら、堆積物3次元測定、堆積物厚さ測定、中性子束測定を行うことを基本とする。ガイドリングをジェットデフに取り付け、アクセス・調査装置はガイドリング内を通過させ、既設構造物へのケーブルの絡まり等を防止する。アクセス・調査装置はケーブルドラムと一体になっており、調査項目ごとにアクセス・調査装置とケーブルドラムの取り換えを行う。

なお、内部調査に用いる機器については、当該機器からの著しい漏えいがないようバウンダリ機能を構築する。（別添－3，4）

#### c. 内部詳細調査装置撤去作業

調査終了後、隔離弁を全閉し、シールボックス、ケーブルドラムを撤去し、隔離弁に閉止フランジを取り付け、原子炉格納容器バウンダリ機能を維持する。（別添－5）

### (4) 被ばく低減対策

事前に模擬訓練を行い作業の習熟度の向上を図るとともに、日々の作業における時間管理にて被ばく低減に努める。調査中は原則遠隔による操作とし、作業員の被ばく低減に努める。その他、仮設遮へいを活用し被ばく低減対策を実施する。

アクセス・調査装置を原子炉格納容器内から回収する際には水による除染を行い、被ばく低減および汚染拡大防止を図る。

また、X-2 ペネ孔あけ作業においては、加工機内に窒素を封入し、残留水素があった場合の爆発防止を図るとともに、原子炉格納容器内雰囲気の流れによる過剰被ばくを防止する。調査設備の窒素換気等で発生する排気はフィルタにて粒子状の放射性物質を除去した後に排気を行う。排気はモニタリングを行い、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ことを確認する。

(5) 構造強度

福島第一原子力発電所1号機における X-2 ペネの構造変更に伴い新たな原子炉格納容器バウンダリとなる箇所を別添-5に示す。このうち設置する接続管、隔離弁、閉止フランジのシール部は、現状の原子炉格納容器内圧力を考慮した設計を行い必要な構造強度を有するものとする。

1号機 閉止フランジシール部許容圧力

部位	許容圧力
閉止フランジシール部	10kPa g
(参考) 原子炉格納容器圧力	(参考) 6.61kPa g(2016年2月最大値)

なお、閉止フランジが許容圧力に耐えることは、製造時における耐圧・外観試験により確認する。また、閉止フランジ設置時には、取付け部から著しい漏えいのないことを確認する。

(6) バウンダリ損傷時の対応

調査設備のバウンダリの健全性に影響を与える恐れがある地震等の事象が発生した場合には、損傷有無を確認する。損傷が生じた場合には、アクセス・調査装置を回収、もしくはアクセス・調査装置のケーブルを切断し原子炉格納容器に押し込んだ後、隔離弁を閉止するなどの封止措置を速やかに実施する。

この措置を取るまでの間に損傷箇所(原子炉格納容器側)より放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量については、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ものではないことを評価している。(別添-6)

(7) アブレイブウォータージェット作業時の影響評価

現在原子炉格納容器内に浮遊しているダストに加え、X-2 ペネ内扉及び原子炉格納容器内干渉物を切削するアブレイブウォータージェット作業により、切削対象物表面に付着した核分裂生成物が追加的にダストとして浮遊し、原子炉格納容器内の放射性ダスト濃度が一時的に上昇する可能性がある。

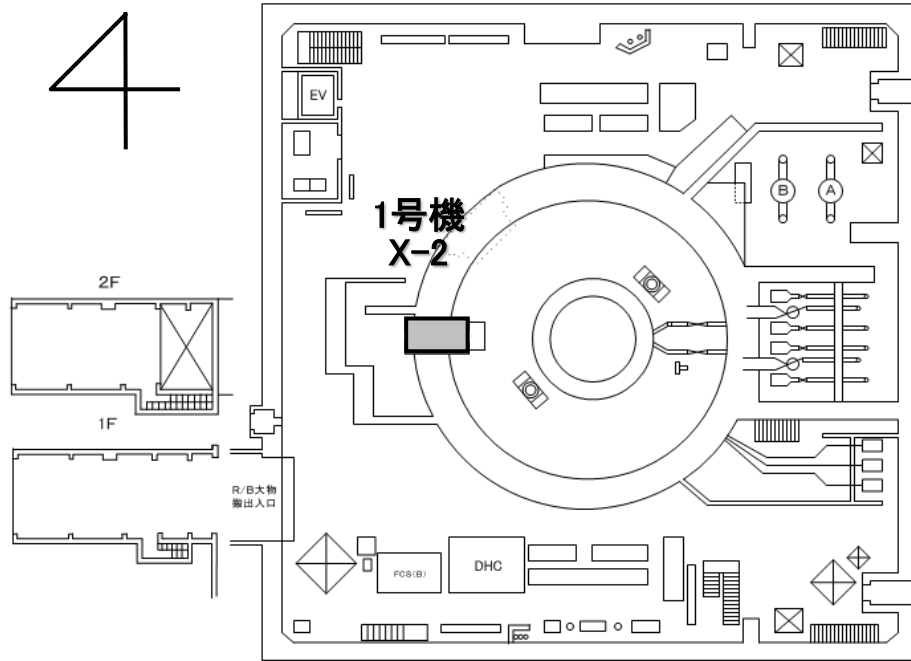
この作業により原子炉格納容器内の気体が環境中に放出された場合、放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量については、周辺の公衆に対し、放射線被ばくの影響を与えるものではないことを評価している。(別添-7)

3. 添付資料

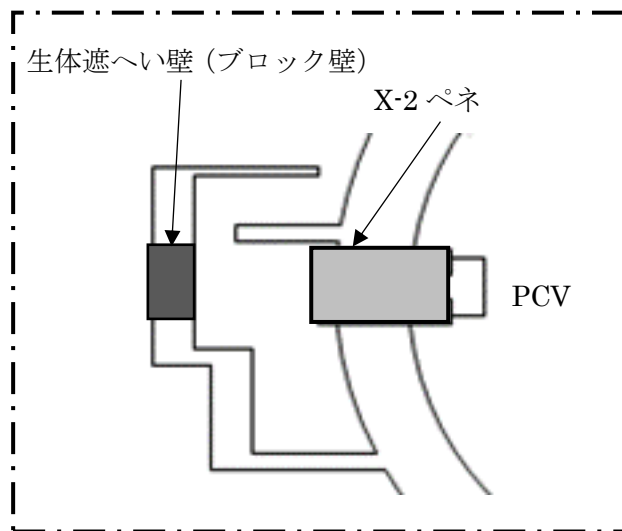
- 別添-1 X-2 ペネ 位置図 (平面図)
- 別添-2 X-2 ペネ 加工機 構造概略図
- 別添-3 調査設備 バウンダリ構造概略図
- 別添-4 原子炉格納容器内部詳細調査 概略図
- 別添-5 閉止フランジ設置後 原子炉格納容器バウンダリ範囲概略図



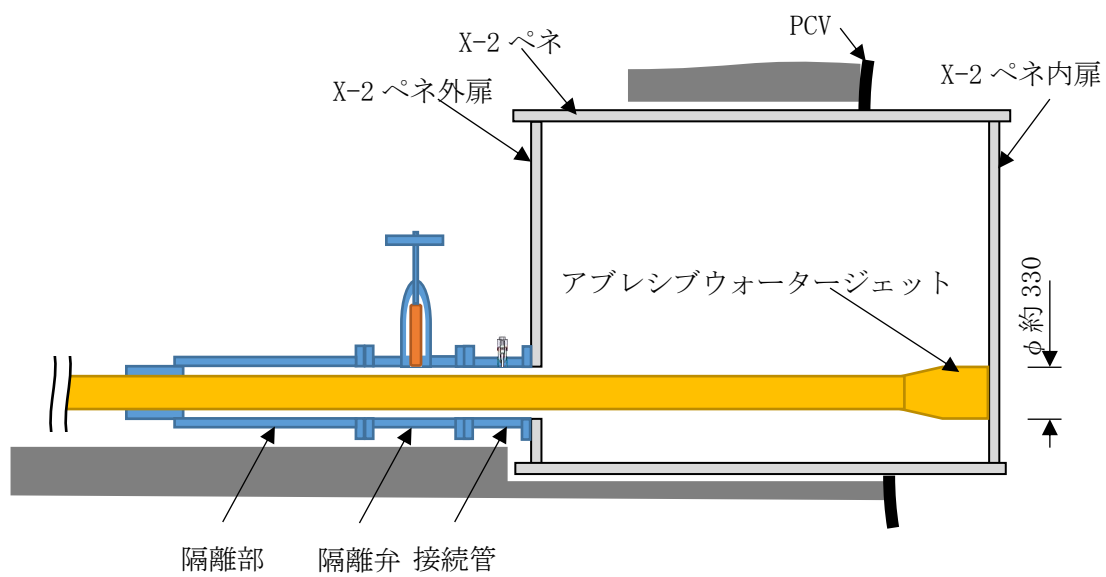
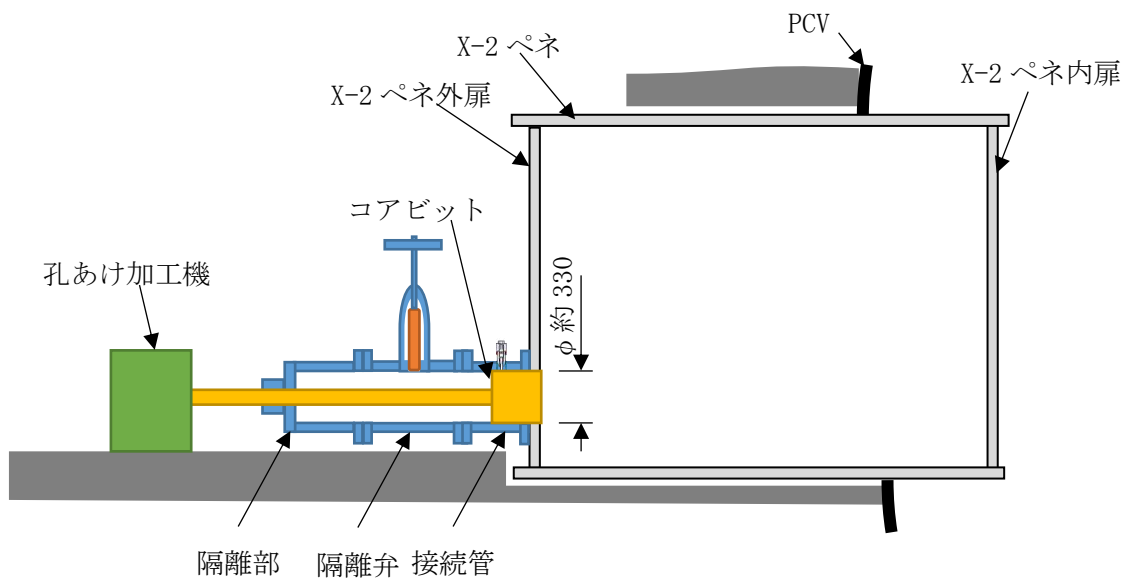
- 別添－6 1号機原子炉格納容器内部詳細調査 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の影響評価に関する説明資料
- 別添－7 1号機原子炉格納容器内部詳細調査 アブレシブウォータージェット作業時の影響評価に関する説明資料



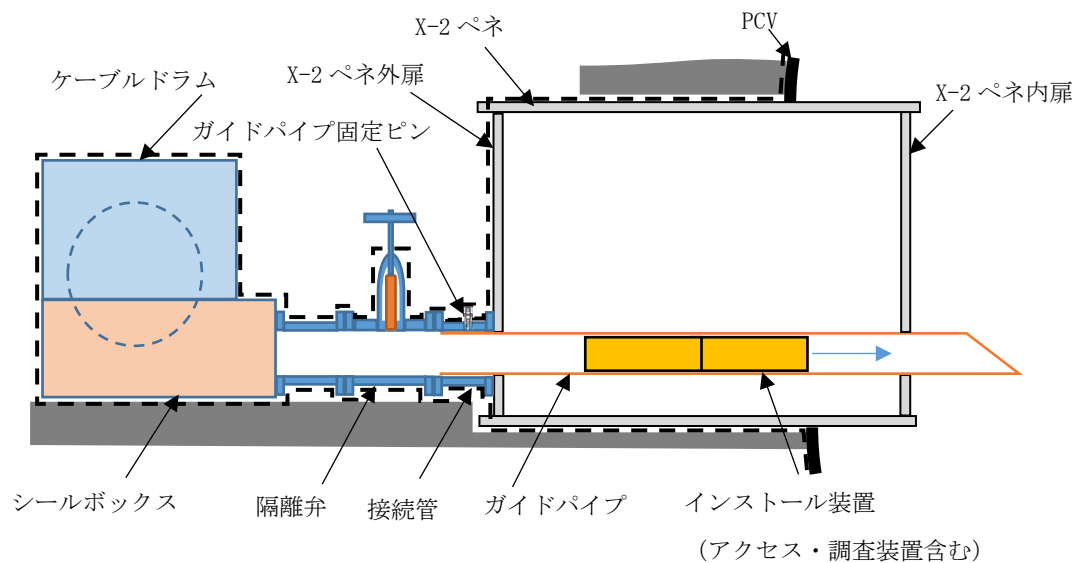
1号原子炉建屋1階



X-2 ペネ 位置図 (平面図)

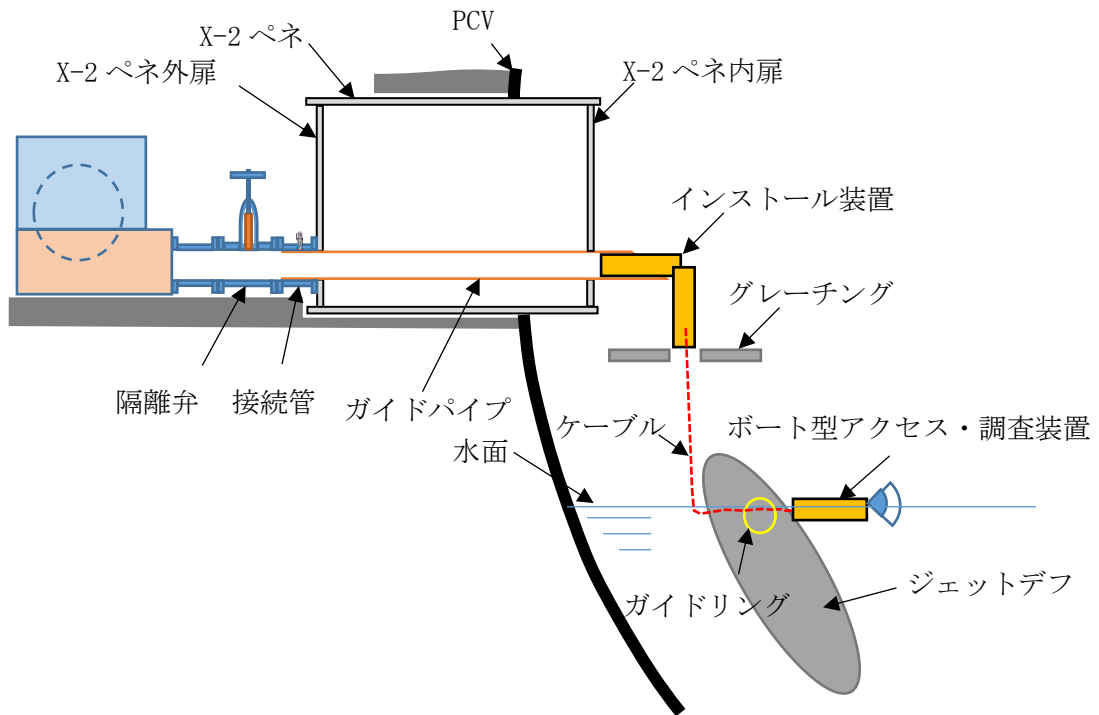


X-2 ペネ 加工機 構造概略図

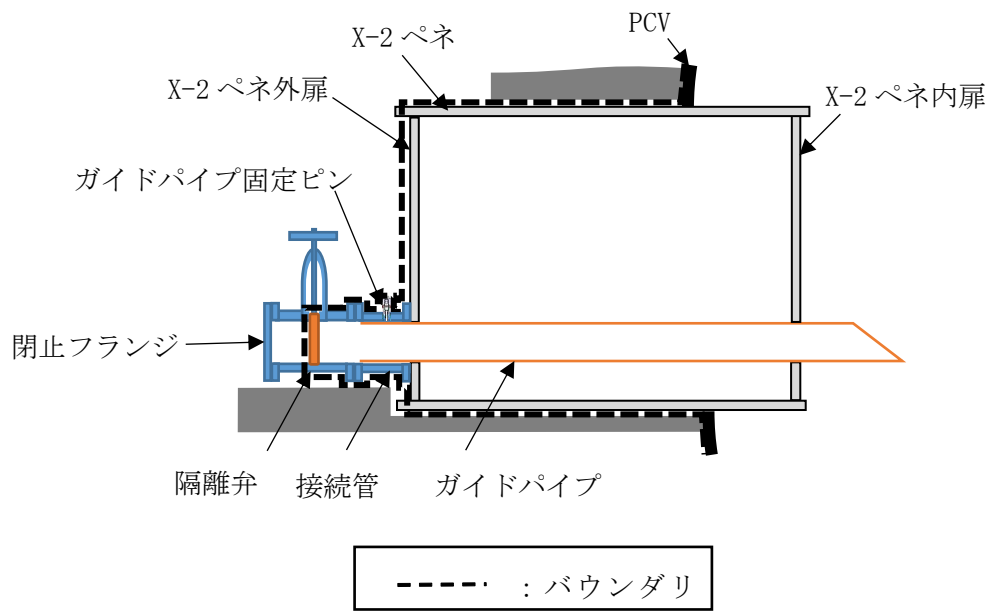


----- : バウンダリ

調査設備 バウンダリ構造概略図



原子炉格納容器内部詳細調査 概略図



閉止フランジ設置後 原子炉格納容器バウンダリ範囲概略図

1号機原子炉格納容器内部詳細調査 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の  
影響評価に関する説明資料

1. 目的

1号機原子炉格納容器内部詳細調査に伴い、事故後に施工した原子炉格納容器（以下PCVという）の貫通部等が開放し、PCV内の核分裂生成物を含む気体（以下PCVガスという）が環境中に放出された場合の周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響評価を行う。

2. 放出量評価

- (1) PCV圧力は、現状では10kPa以下の正圧となっているため、施工箇所の損傷によって大気に開放された場合、差圧分のPCVガスが原子炉建屋内に放出されるものと想定される。また、本評価では原子炉格納容器ガス管理設備の放射性物質の放出抑制機能を期待しないこととし、上記差圧分の放出に加え、開放したPCV貫通部を閉じるまでの間、窒素封入量相当のPCVガスの放出が継続するものとする。なお、施工箇所よりPCV内の水位が低いことを確認しているため、本評価では気体のみの放出とする。
- (2) 差圧分の放出容積は、10kPa程度に相当する容積として、PCV容積（3410 m<sup>3</sup>（ベント管含む）。PCV空間部容積は、PCV下部に蓄積している液相体積を差し引く必要があるが、ここでは保守的に液相がないものとして放出容積を評価）の1割（341m<sup>3</sup>）とする。また、平成30年7月時点での原子炉格納容器内窒素封入設備からの窒素封入量は50m<sup>3</sup>/h以下であるため、窒素封入量相当を50m<sup>3</sup>/hとし、施工箇所のPCV貫通部を再度閉じる作業に3日間程度要すると考え、窒素封入量相当のPCVガスの放出継続時間は72時間とする。
- (3) 評価対象核種は支配的核種であるセシウム134とセシウム137とし、PCV内における濃度は、1号機PCVガス管理設備（HEPAフィルタ入口側）の気体（粒子状フィルタ、チャコールフィルタ）及び凝縮水（マリネリ瓶）のサンプリング結果より、以下のとおりとする。

	PCVガス中の放射能濃度
セシウム134	1.5×10 <sup>-4</sup> Bq/cm <sup>3</sup>
セシウム137	1.0×10 <sup>-3</sup> Bq/cm <sup>3</sup>

3. 線量影響評価

- (1) 大気中へ放出される核分裂生成物は、原子炉建屋から地上放散されるものとし、周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響を年間の実効線量を用いて評価する。

- (2) 実効線量は、以下に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては、放射性雲中のセシウムによる外部被ばくと内部被ばくと、地表沈着したセシウムによる外部被ばくと内部被ばくを考慮する。
- (3) 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D / Q \cdot Q_{Cs} \cdot 1000$$

$H_{\gamma}$  : 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  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]

$E_{\gamma}$  :  $\gamma$  線の実効エネルギー[MeV]

$D/Q$  : 相対線量[Gy/Bq]

$Q_{Cs}$  : セシウムの大気放出量[Bq]

- (4) 放射性雲のセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{Cs} = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_{Cs}$$

$H_{Cs}$  : 放射性雲のセシウム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]

$R_1$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$\chi/Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]

- (5) 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot Q_{Cs} \cdot T \cdot 1000$$

$G_{ex}$  : 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  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>)]

$V$  : 沈降速度[m/s]

$f$  : 残存割合[-]

$T$  : 被ばく時間[s]

- (6) 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot T$$

$G_{in}$  : 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウム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]

$F$  : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>]



- (7) 相対濃度と相対線量については、「Ⅱ 2.1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備添付資料 5 別紙 1」に記載される下表の値を用いる。

	敷地境界
相対濃度 [ $s/m^3$ ]	$6.0 \times 10^{-5}$
相対線量 [ $Gy/Bq$ ]	$6.1 \times 10^{-19}$

#### 4. 評価結果

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりであり、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。

セシウム 134 放出量	約 $6.0 \times 10^5$ Bq
セシウム 137 放出量	約 $4.0 \times 10^6$ Bq
年間の実効線量	約 $6.5 \times 10^{-5}$ mSv

以上

## 1号機原子炉格納容器内部詳細調査 アブレシブウォータージェット作業時の影響評価に関する説明資料

### 1. 目的

1号機原子炉格納容器内部詳細調査のため、X-2ペネのエアロック内扉や原子炉格納容器（以下、PCVと言う）内の調査に干渉する構造材をアブレシブウォータージェット（以下、AWJと言う）にて切削する。AWJ作業により、切削対象物表面に付着した核分裂生成物がダストとして浮遊し、PCV内の放射性ダスト濃度が一時的に上昇する可能性がある。このため、AWJ作業により放射性ダスト濃度が上昇した場合の影響を把握することを目的に、現在PCV内に浮遊しているダスト（以下、現浮遊ダストと言う）に加えて、AWJ作業により追加的にPCV内に浮遊するダスト（以下、追加浮遊ダストと言う）を想定し、これらを含むPCV内の気体（以下、PCVガスと言う）が環境中に放出された場合の周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響評価を行う。

### 2. PCVガスに含まれる放射性ダストの放出

本評価で求めるPCVガスに含まれる放射性ダストの放出量は、現浮遊ダストの放出分と追加浮遊ダストの放出分を合計したものとす。現浮遊ダストと追加浮遊ダストの設定を下記に示す。

#### (1) 現浮遊ダストの設定

評価対象核種は支配的核種であるセシウム134とセシウム137とする。1号機PCVガス管理設備（HEPAフィルタ入口側）の気体（粒子状フィルタ、チャコールフィルタ）および凝縮水（マリネリ瓶）のサンプリング結果より、PCV内の現浮遊ダストの放射能濃度は表1のとおりとする（別添-6に同じ）。この濃度はPCV内の気体の放出によらず一定と仮定し、評価期間中にPCVから放出される放射能が、直接あるいはPCVガス管理設備を経由し、現浮遊ダスト分として放出されるものとする。

表1 PCV内の現浮遊ダストの放射能濃度

	現浮遊ダスト放射能濃度
セシウム134	$1.5 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$
セシウム137	$1.0 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$

#### (2) 追加浮遊ダストの設定

AWJ作業によって切削対象物の汚染した表面より発生する放射性ダストは、切削粉に付着したりAWJ噴出水中に混入したりする形で飛散する。発生する放射性ダストの放射エネルギーは、切削対象物の表面汚染密度にAWJ作業によって欠損する表面積を乗じて求める。表面汚染密度には、2015年4月に実施した1号機PCV内部調査におけるペDESTAL外の

空間線量率の実測値（約 10Sv/h）に基づき算出した表 2 の値を用いる（ペDESTAL外  
の空間線量率は PCV 内壁およびペDESTAL外壁面のセシウム 134 およびセシウム 137 の汚  
染によるものと推定）。AWJ 作業によって欠損する表面積は、AWJ 切削試験における切削  
欠損幅測定値に基づき設定した欠損幅 2cm に、切削する表面上の軌道長さを乗じて求め  
る。AWJ による切削箇所および欠損表面積を表 3 に示す。実際の AWJ 作業は、計画した  
作業期間の中で段階的に行うが、本評価では全ての AWJ 作業により発生する放射性ダ  
ストが一度に生じるものとして扱う。

表 2 切削対象物の表面汚染密度

	表面汚染密度
セシウム 134	$2.7 \times 10^7$ Bq/cm <sup>2</sup>
セシウム 137	$1.8 \times 10^8$ Bq/cm <sup>2</sup>

表 3 AWJ による切削箇所および欠損表面積

切削箇所	欠損表面積(cm <sup>2</sup> )
内扉(350A)	約 $2.2 \times 10^2$
内扉(250A)	約 $1.6 \times 10^2$
内扉(200A)	約 $1.4 \times 10^2$
グレーチング	約 $1.5 \times 10^3$
手摺	約 $1.2 \times 10^2$
電線管	約 $4.1 \times 10^2$
I 型鋼	約 $6.2 \times 10^2$
計	約 $3.2 \times 10^3$

発生する放射性ダストの大部分は、沈着（沈降）したり水に捕捉されたりすることか  
ら、実際にはごく一部のみが PCV 気相部に浮遊するものと考えられる。本評価では、保  
守的な設定として、沈着（沈降）は考慮しないものとし、AWJ 作業により発生する放射  
性ダストは、その全てが AWJ 噴出水中に理想的に取り込まれるものと仮定する。AWJ 噴出  
水中に取り込まれた放射性ダストは、大部分は水に捕捉され続け、一部が気相へ移行し  
沈着（沈降）せずに追加浮遊ダストとして気相部に存在するものと仮定する。放射  
性ダストの水から気相への移行率には、DOE HANDBOOK [1]より「加圧容器/配管からのベント

[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.

時の飛散率」の液面上もしくは容器全体破損条件の数値から、0.35MPa 以上の水溶液のバウンディング値 ( $2 \times 10^{-3}$ ) を採用する。

以上の想定により、本評価で用いる PCV 内における追加浮遊ダストの放射エネルギーは、発生する放射性ダスト放射エネルギーに気相移行率を乗じたものとする。表 4 に算出した PCV 内の追加浮遊ダスト放射エネルギーを示す。

表 4 PCV 内の追加浮遊ダスト放射エネルギー

	追加浮遊ダスト放射エネルギー
セシウム 134	$1.7 \times 10^8$ Bq
セシウム 137	$1.2 \times 10^9$ Bq

### 3. 放出量評価

AWJ 作業に伴い、PCV 内の放射性ダスト濃度が上昇する可能性があることから、PCV 窒素封入設備および PCV ガス管理設備が稼働している通常時と、別添-6 で想定した原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放が生じる異常時について評価を行う。

#### (1) 通常時放出量評価

至近 1 年の実績として、PCV 窒素封入設備からの窒素封入量は  $50\text{m}^3/\text{h}$  以下であるため、窒素封入量を  $50\text{m}^3/\text{h}$  とする。同じく、PCV ガス管理設備の排気流量は約  $20\text{m}^3/\text{h}$  であるため、排気流量を  $20\text{m}^3/\text{h}$  とする。従って、大気中へ放出される PCV ガス  $50\text{m}^3/\text{h}$  のうち、 $20\text{m}^3/\text{h}$  は PCV ガス管理設備を経由し、 $30\text{m}^3/\text{h}$  は PCV から直接漏えいして大気へ放出されるとして評価を行う。

#### (2) 異常時放出量評価 (別添-6 に同じ)

原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放を異常時と想定し、別添-6 の放出量評価条件にて評価を行う。

#### (3) 評価期間

バウンダリ施工箇所開放時の PCV 貫通部を再度閉じる作業に 3 日程度要すると考え、PCV ガスの放出継続時間の 72 時間を異常時の評価期間とする。通常時についても、異常時の評価期間に合わせ 72 時間を評価期間とする。

### 4. 線量影響評価

(1) 大気中へ放出される核分裂生成物は、原子炉建屋から地上放散されるものとし、周辺の公衆に対する、放射線被ばくの影響を年間の実効線量を用いて評価する。

(2) 実効線量は、以下に述べる内部被ばくによる実効線量および外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては、放射性雲中のセシウムからの外部被ばくと内部被ばくと、地表沈着したセシウムによる外部被ばくと内部被ばくを考慮する。

- (3) 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  線の外部被ばくによる実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = \sum_i K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D/Q \cdot Q_{Cs}^i / DF^i \cdot 1000$$

$H_{\gamma}$  : 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  線の外部被ばくによる実効線量[mSv]

$K$  : 空気カーマから実効線量への換算係数[Sv/Gy]

$E_{\gamma}$  :  $\gamma$  線の実効エネルギー[MeV]

$D/Q$  : 相対線量[Gy/Bq]

$Q_{Cs}^i$  : セシウムの大気放出量[Bq]

( $Q_{Cs}^1$  : PCV ガス管理設備を経由するセシウムの大気放出量,

$Q_{Cs}^2$  : PCV から直接漏えいするセシウムの大気放出量)

$DF^i$  : 除染係数[-]

( $DF^1$  : PCV ガス管理設備フィルタの除染係数(100),

$DF^2$  : PCV からの直接漏えい(1))

- (4) 放射性雲のセシウムからの吸入摂取による内部被ばくの実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{Cs} = \sum_i K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_{Cs}^i / DF^i$$

$H_{Cs}$  : 放射性雲のセシウムからの吸入摂取による内部被ばくの実効線量[mSv]

$K_{in}$  : 内部被ばく線量換算係数[mSv/Bq]

$R_1$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$\chi/Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]

- (5) 地表沈着したセシウムからの外部被ばくによる実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = \sum_i K_{ex} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot Q_{Cs}^i / DF^i \cdot T \cdot 1000$$

$G_{ex}$  : 地表沈着したセシウムからの外部被ばくによる実効線量[mSv]

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

$V$  : 沈降速度[m/s]

$f$  : 残存割合[-]

$T$  : 被ばく時間[s]

- (6) 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばくの実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = \sum_i R_2 \cdot K_{in} \cdot \lambda / Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_{Cs}^i / DF^i \cdot T$$

$G_{in}$  : 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばくの実効線量[mSv]

$R_2$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$F$  : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>]

- (7) 相対濃度と相対線量については、本事象では核分裂生成物は主排気筒より放出されないことから、地上放散を想定し、表5の値を用いる。

表5 評価に用いる相対濃度，相対線量

	敷地境界
相対濃度[s/m <sup>3</sup> ]	1.9×10 <sup>-5</sup>
相対線量[Gy/Bq]	2.5×10 <sup>-19</sup>

## 5. 評価結果

AWJ 作業に伴い放出されるセシウム量および敷地境界での実効線量について評価した結果は表6のとおりであり、周辺の公衆に対し、放射線被ばくの影響を与えることはない。

表6 AWJ 作業に伴い放出されるセシウム量および敷地境界での実効線量評価結果

	通常時	異常時
セシウム 134 放出量	約 1.1×10 <sup>8</sup> Bq	約 1.7×10 <sup>8</sup> Bq
セシウム 137 放出量	約 6.9×10 <sup>8</sup> Bq	約 1.2×10 <sup>9</sup> Bq
年間の実効線量	約 3.5×10 <sup>-3</sup> mSv	約 5.8×10 <sup>-3</sup> mSv

以上

内部調査及び試験的取り出し作業のうち  
2号機原子炉格納容器内部詳細調査について

燃料デブリの取り出しを進めるうえで、燃料デブリの分布と既設構造物の状態等を把握することは重要であり、そのため原子炉格納容器内部の調査を実施していく。

1. 原子炉格納容器内部詳細調査の概要

福島第一原子力発電所2号機における2019年度以降の原子炉格納容器内の調査は、ペDESTAL内へ通じる原子炉格納容器貫通部 X-6 ペネトレーション（以下 X-6 ペネ）（別添－1）よりアクセス・調査装置を投入し、堆積物・既設構造物の3次元形状測定、線量測定を行うことを基本とする。それ以外の調査項目については、詳細を検討した上で決定する。

2号機 X-6 ペネの概要

項目	内容
原子炉格納容器貫通部番号	X-6（CRD 機構搬出入口）
場所	2号機原子炉建屋1階 北西部
外径	φ 609.6mm

2. 原子炉格納容器貫通部の構造変更及び原子炉格納容器内部詳細調査

(1) 調査設備設計方針

原子炉格納容器バウンダリとなる調査設備は、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のないように、適切に設計を行う。調査設備は、現状の原子炉格納容器内圧力を考慮し、それに耐えうる構造とする。

(2) 原子炉格納容器貫通部の構造変更

a. X-53 ペネの構造変更

アクセスルート構築作業により、原子炉格納容器内の放射性ダスト（以下、ダスト）濃度が一時的に上昇する可能性があることから、ダスト濃度上昇の抑制対策として、X-53 ペネトレーション（以下、X-53 ペネ）（別添－1）にスプレー治具を設置する。X-53 ペネに設置されている常設監視計器を取外した後、新たな隔離弁を取付け、原子炉格納容器バウンダリを構築する。その後、X-53 ペネの孔径を130mmに拡大させた後（別添－2）、スプレー治具をX-53 ペネに設置する。（別添－3）

b. X-6 ペネの構造変更

原子炉格納容器内部において広範囲にわたる調査を行うため、ペDESTAL内外にアクセス可能な X-6 ペネからアーム型のアクセス・調査装置を投入する計画である。アクセス・調査装置（断面約 400mm×約 250mm）はこれまで内部調査に使用している X-6 ペネ閉止板の開口部（φ 115mm）が小さいことから、X-6 ペネ（内径約 550mm）の閉止板を開放する。X-6 ペネに隔離機構ユニットが設置されていることから、まず

は隔離機構ユニットを取外し、ハッチ開放装置にて X-6 ペネ閉止板の締結ボルトを切断し、X-6 ペネ閉止板を開放する。この際、原子炉格納容器との隔離の維持ならびに作業上の安全対策と外部へのガス等の放出防止を目的として、バウンダリとなる一時的な隔離部屋を設ける。

(3) 作業内容

a. 調査設備設置作業

X-53 ペネに設置されている常設監視計器を取外した後、新たな隔離弁を設置する。その後、X-53 ペネの孔径を 130 mm に拡大させた後、スプレイ治具を X-53 ペネに設置する。

次に X-6 ペネ閉止板に設置されている隔離機構ユニットを撤去し、隔離部屋を設置する。隔離部屋にハッチ開放装置を搬入後に著しい漏えいがないことを確認した上で、X-6 ペネ閉止板の開放作業を行う。(別添-4)

X-6 ペネ開放後、隔離部屋内のハッチ開放装置を搬出し、X-6 ペネ内の堆積物・構造物を X-6 ペネ内低圧水除去装置による低圧水及び X-6 ペネ内堆積物除去装置による高圧水噴射・アブレシブウォータージェットにより除去する。その後、隔離弁を有する X-6 ペネ接続構造を搬入し、X-6 ペネ接続構造を X-6 ペネに接続する。装置の搬出入時には原子炉格納容器との隔離の維持ならびに作業上の安全対策と外部へのガスなどの放出防止を目的として、気密扉の全閉および隔離部屋の窒素換気を実施する。隔離部屋の一部(ロボット搬入部屋)を撤去した後、X-6 ペネ接続構造に遮へい機能を有する接続管、アクセス・調査装置を内包するエンクロージャを接続する。(別添-5)

エンクロージャ接続後、原子炉格納容器内干渉物をアーム型のアクセス・調査装置に搭載したアブレシブウォータージェットにて切断し、アクセス・調査装置のアクセスルートを構築する。

X-6 ペネ内の堆積物・構造物の X-6 ペネ内低圧水除去装置による低圧水及び X-6 ペネ内堆積物除去装置による高圧水噴射・アブレシブウォータージェット作業時は原子炉格納容器内への注水量が一時的に増加することから、原子炉未臨界維持に必要な安全措置を事前に講じた上で作業を実施する。

b. 原子炉格納容器内部詳細調査

アーム型のアクセス・調査装置を伸展させ、原子炉格納容器内にアクセスし、堆積物・既設構造物の 3 次元形状測定、線量測定を行う。アクセス・調査装置は先端に測定器を搭載し、調査項目ごとに測定器を取り換える。

なお、内部調査に用いる機器については、当該機器からの著しい漏えいがないようバウンダリ機能を構築する。(別添-5, 6)

(4) 被ばく低減対策

事前に模擬訓練を行い作業の習熟度の向上を図るとともに、日々の作業における



時間管理にて被ばく低減に努める。調査中は原則遠隔による操作とし、作業員の被ばく低減に努める。その他、仮設遮へいを活用し被ばく低減を図る。

また、X-6 ペネ閉止板開放作業においては、隔離部屋内に窒素を封入し、原子炉格納容器内雰囲気の流れによる過剰被ばく防止および作業上の安全対策を行う。

調査中は既設設備に影響を与えない範囲で調査装置から窒素を原子炉格納容器に封入し、アクセス・調査装置の汚染防止を図る。また、調査設備の窒素換気等で発生する排気はフィルタにて粒子状の放射性物質の除去を行う。排気はモニタリングを行い、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ことを確認する。

(5) 構造強度

a. X-53 ペネ

スプレー治具の新たな原子炉格納容器バウンダリとなる箇所を別添-3に示す。シール部は、現状の原子炉格納容器内圧力を考慮した設計を行い、必要な強度を有するものとする。

2号機 スプレー治具取付けシール部許容圧力

部位	許容圧力
スプレー治具取付けシール部	10kPa g
(参考) 原子炉格納容器圧力	(参考) 8.44kPa g(2015年4月最大値)

なお、スプレー治具が許容圧力に耐えることは、製造時における耐圧・外観試験により確認する。また、スプレー治具の設置作業時にも、取付け部等に漏えいのないことを確認する。

b. X-6 ペネ

X-6 ペネの構造変更に伴う原子炉格納容器バウンダリとなる箇所を別添-5に示す。シール部は、現状の原子炉格納容器内圧力を考慮した設計を行い、必要な強度を有するものとする。

2号機 調査設備取付けシール部許容圧力

部位	許容圧力
調査設備取付けシール部	10kPa g
(参考) 原子炉格納容器圧力	(参考) 8.44kPa g(2015年4月最大値)

なお、調査設備が許容圧力に耐えることは、製造時における耐圧・外観試験により確認する。また、調査設備の設置作業時にも、取付け部等に漏えいのないことを確認する。

(6) 耐震性

X-6 ペネ接続構造は調査設備の中でも長期間使用するため、基準地震動  $S_s$  に対して、X-6 ペネ及び X-6 ペネ接続構造が健全であることを確認している。(別添-7)

なお、調査中に地震が発生した場合、調査設備の状況に応じてアクセス・調査装置を原子炉格納容器から引抜き、X-6 ペネ接続構造の隔離弁を閉とすることで、原子炉格納容器バウンダリを維持できる構造とする。

(7) バウンダリ損傷時の対応

調査設備のバウンダリ健全性に影響を与える恐れがある地震等の事象が発生した場合には、損傷有無を確認する。損傷が生じた場合には、アクセス・調査装置を原子炉格納容器から引抜き、隔離弁を閉止するなどの封止措置を速やかに実施する。

この措置を取るまでの間に損傷箇所(原子炉格納容器側)より放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量については、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ものではないことを評価している。(別添-8)

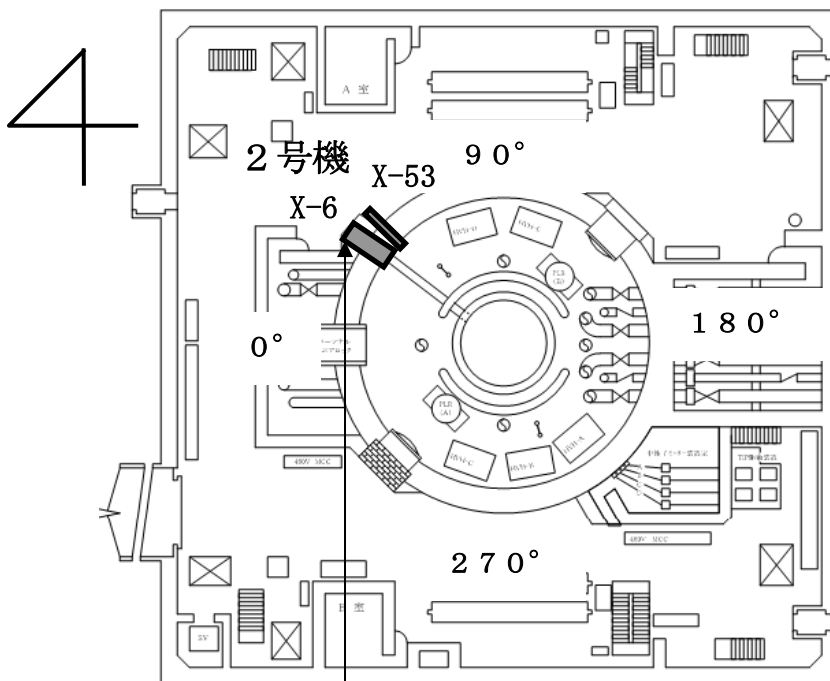
(8) アクセスルート構築作業時の影響評価

アクセスルート構築作業により、対象物表面に付着した放射性物質が追加的に浮遊し、原子炉格納容器内の放射性ダスト濃度が一時的に上昇する可能性がある。

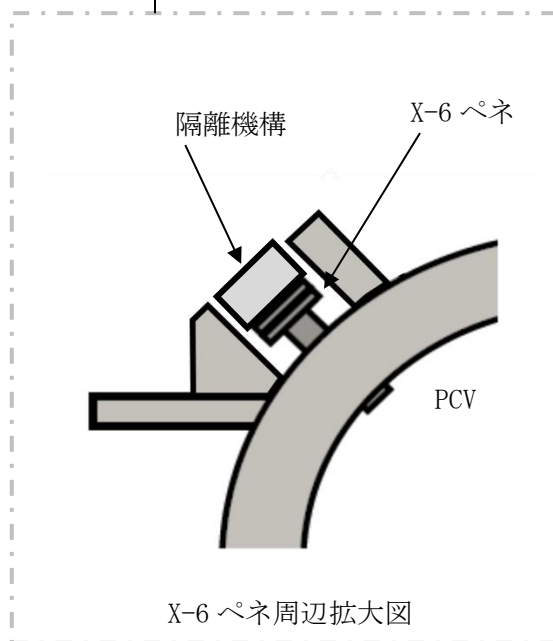
この作業により原子炉格納容器内の気体が環境中に放出された場合、放射性核種の放出量及び敷地境界での実効線量については、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えるものではないことを評価している。(別添-9)

### 3. 添付資料

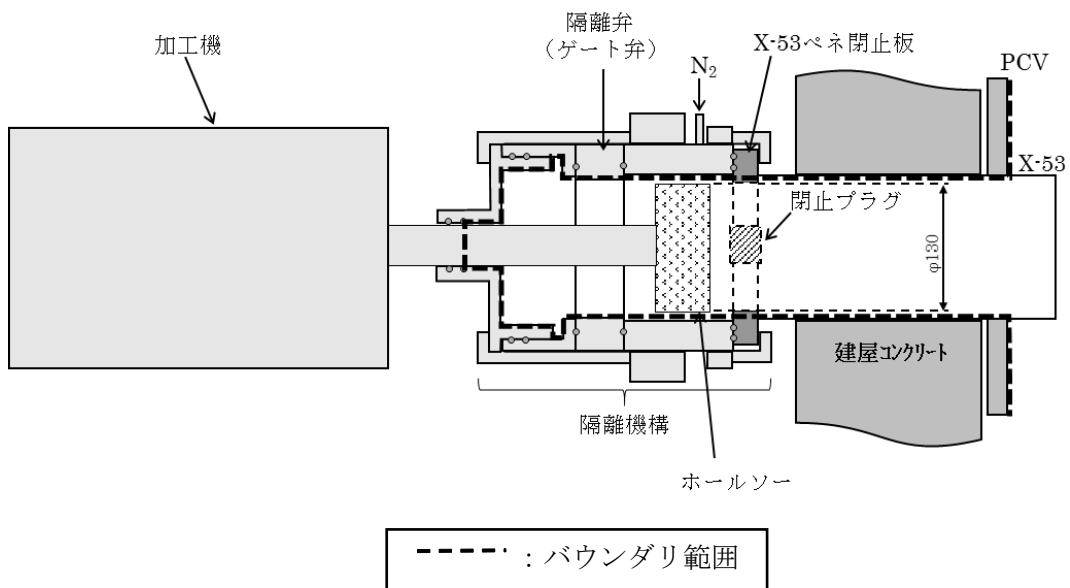
- 別添－1 X-6 ペネ, X-53 ペネ 位置図 (平面図)
- 別添－2 X-53 ペネ 孔径変更作業における構造概略図
- 別添－3 スプレイ治具 構造概略図
- 別添－4 X-6 ペネ 隔離部屋 構造概略図
- 別添－5 調査設備 バウンダリ構造概略図
- 別添－6 原子炉格納容器内部詳細調査 概略図
- 別添－7 X-6 ペネ及びX-6 ペネ接続構造の耐震性評価
- 別添－8 2号機原子炉格納容器内部詳細調査 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の影響評価に関する説明資料
- 別添－9 2号機原子炉格納容器内部詳細調査 アクセスルート構築作業時の影響評価について



2号機原子炉建屋1階



X-6 ノズル, X-53 ノズル 位置図 (平面図)

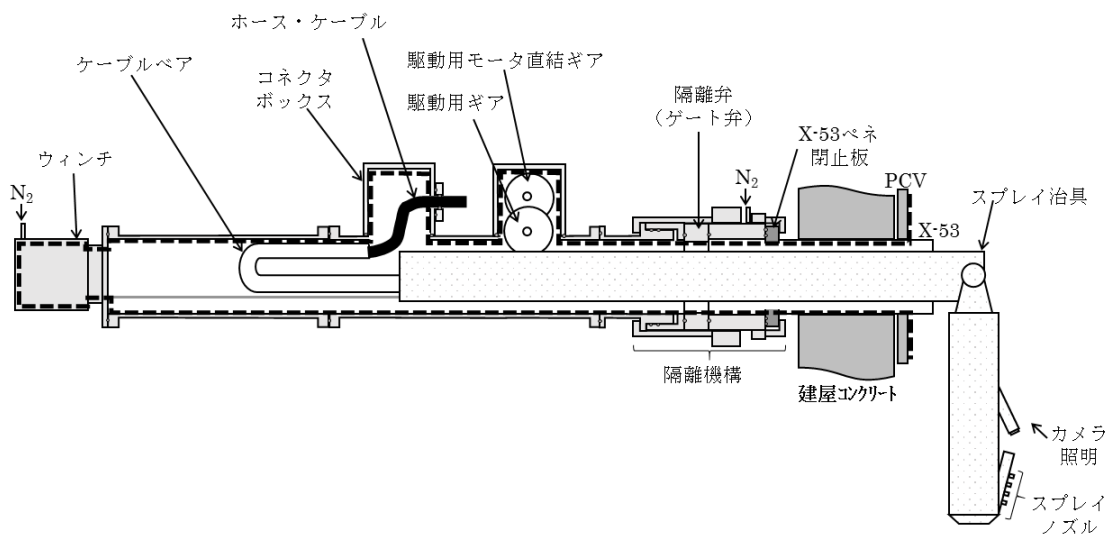


**閉止板孔あけ加工**

1. 常設監視計器を引き抜き後、閉止プラグを設置し、バウンダリを確保
2. 既設スプールを切断後、隔離機構を取付け
3. 加工機を設置し、ホールソーにて孔径を拡大※
4. ホールソーを引き抜き、隔離弁を閉じる

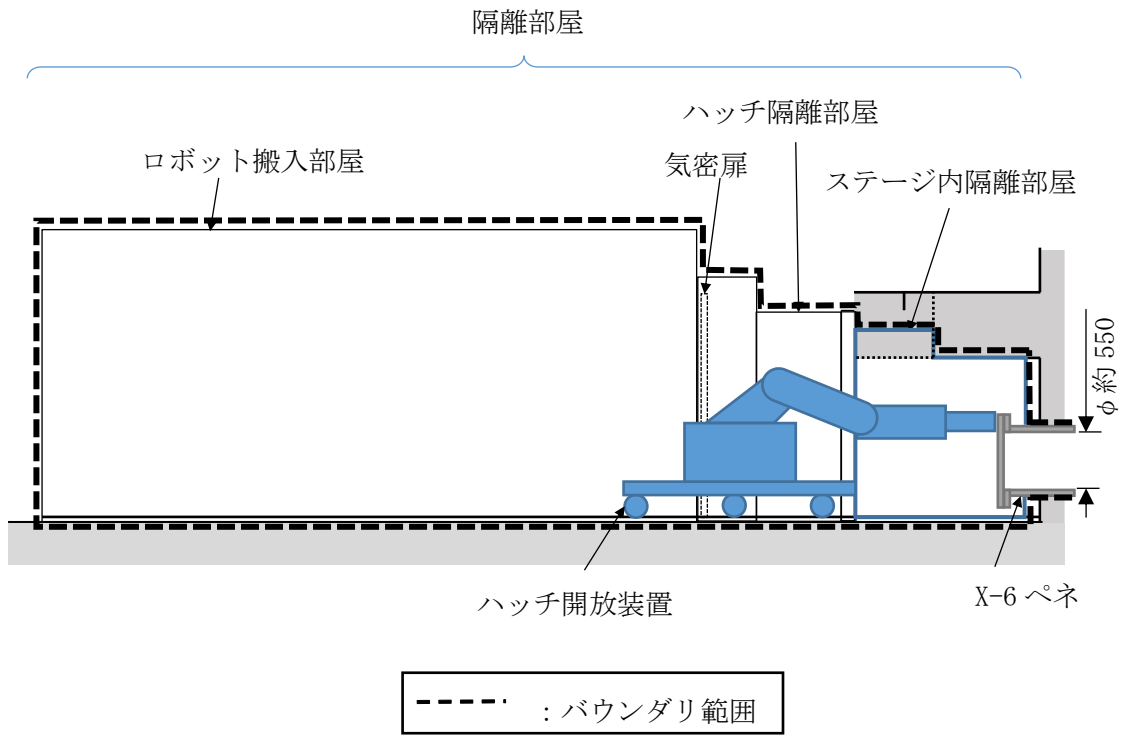
※孔径拡大前に窒素を封入

X-53 ペネ 孔径変更作業における構造概略図

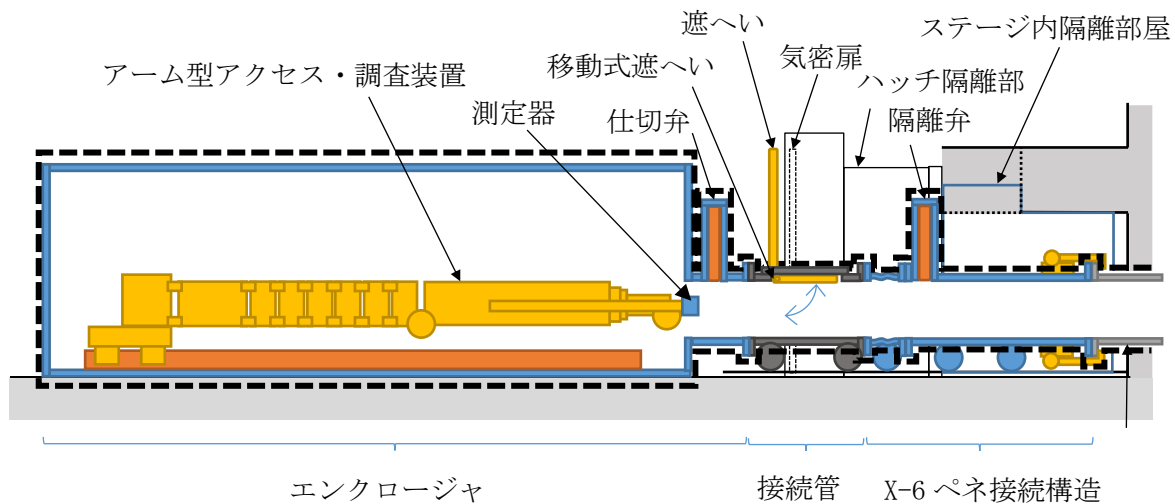


----- : バウンダリ範囲

スプレー治具 構造概略図



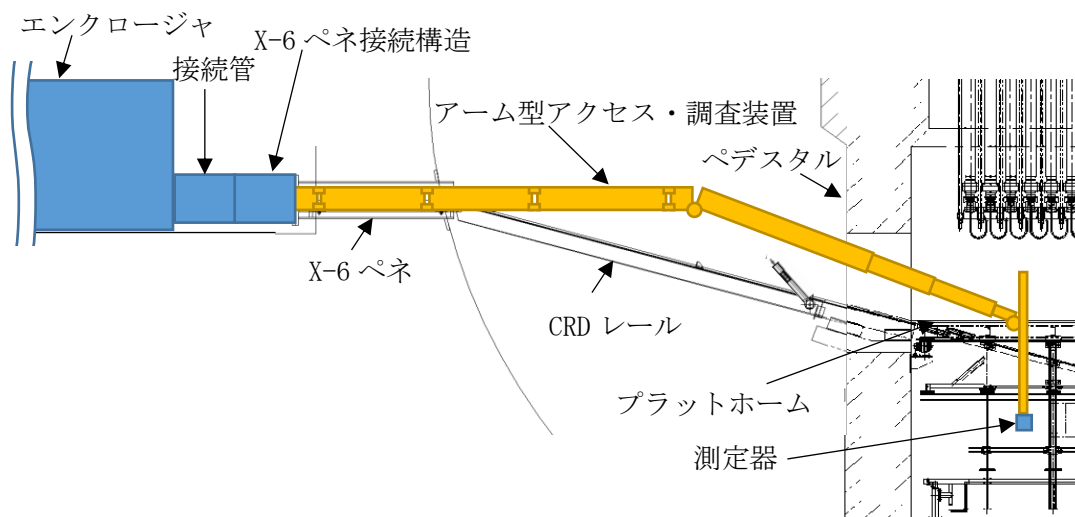
X-6 ペネ 隔離部屋 構造概略図



----- : バウンダリ範囲

調査設備 バウンダリ構造概略図





原子炉格納容器内部詳細調査 概略図

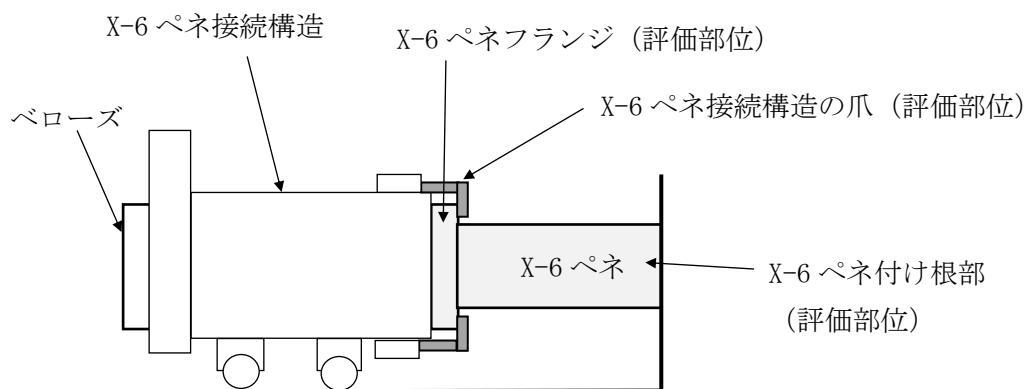
## X-6 ペネ及び X-6 ペネ接続構造の耐震性評価

## 1. 評価条件

- (1) 評価は「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」を準用することを基本とするが、評価手法は実態にあわせたものを採用。
- (2) 適用する地震動として、基準地震動  $S_s$  を適用。
- (3) X-6 ペネ接続構造の減衰定数は 0.5% を設定。

## 2. 評価方法

- (1) X-6 ペネ接続構造は X-6 ペネを介して地震力を受けるため、X-6 ペネ接続構造と X-6 ペネが接続されたモデルにて固有値解析を行い、応答加速度を算出。
- (2) 応答加速度から X-6 ペネ付け根部及び X-6 ペネフランジ部における発生応力を算出。
- (3) X-6 ペネ接続構造の爪に作用する引張荷重を算出し、引張及びせん断の発生応力を算出。なお、X-6 ペネ接続構造より後続の設備への荷重はベローズで吸収する。



X-6 ペネと X-6 ペネ接続構造の固有値：5.3Hz

X-6 ペネ及び X-6 ペネ接続構造の評価部位

### 3. 評価結果

評価部位に生じる発生応力が許容応力以下であることを確認した。

評価部位	材料	応力の種類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
X-6 ペネ付け根部	SA516 Gr70	引張	0.5	260
		曲げ	31.0	260
X-6 ペネフランジ部	SA516 Gr70	曲げ	24.0	260
X-6 ペネ接続構造の 爪	S45C	引張	24.4	345
		せん断	13.1	199

以上

2号機原子炉格納容器内部詳細調査 原子炉格納容器バウンダリ施工箇所開放時の  
影響評価に関する説明資料

1. 目的

2号機原子炉格納容器内部詳細調査に伴い、事故後に施工した原子炉格納容器（以下PCVという）の貫通部等が開放し、PCV内の核分裂生成物を含む気体（以下PCVガスという）が環境中に放出された場合の周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響評価を行う。

2. 放出量評価

- (1) PCV圧力は、現状では10kPa未満の正圧となっているため、施工箇所の損傷によって大気に開放された場合、差圧分のPCVガスが原子炉建屋内に放出されるものと想定される。また、本評価では原子炉格納容器ガス管理設備の放射性物質の放出抑制機能を期待しないこととし、上記差圧分の放出に加え、開放したPCV貫通部を閉じるまでの間、窒素封入量相当のPCVガスの放出が継続するものとする。なお、施工箇所よりPCV内の水位が低いことを確認しているため、本評価では気体のみの放出とする。
- (2) 差圧分の放出容積は、10kPa程度に相当する容積として、PCV容積（4240 m<sup>3</sup>（ベント管含む）。PCV空間部容積は、PCV下部に蓄積している液相体積を差し引く必要があるが、ここでは保守的に液相がないものとして放出容積を評価）の1割（424m<sup>3</sup>）とする。また、2018年7月時点での原子炉格納容器内窒素封入設備からの窒素封入量は20m<sup>3</sup>/h以下で、調査設備側からの窒素封入量の計画は10m<sup>3</sup>/h以下であるため、窒素封入量相当は30m<sup>3</sup>/hとし、施工箇所のPCV貫通部を再度閉じる作業に10日間程度要すると考え、窒素封入量相当のPCVガスの放出継続時間は240時間とする。
- (3) 評価対象核種は支配的核種であるセシウム134とセシウム137とし、PCV内における濃度は、2号機原子炉格納容器ガス管理設備（HEPAフィルタ入口側）の気体（粒子状フィルタ、チャコールフィルタ）及び凝縮水（マリネリ瓶）のサンプリング結果より、以下のとおりとする。

	PCVガス中の放射能濃度
セシウム134	$3.8 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup>
セシウム137	$7.0 \times 10^{-4}$ Bq/cm <sup>3</sup>

3. 線量影響評価

- (1) 大気中へ放出される核分裂生成物は、原子炉建屋から地上放散されるものとし、周辺

の公衆に対する放射線被ばくの影響を年間の実効線量を用いて評価する。

- (2) 実効線量は、以下に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては、放射性雲中のセシウムによる外部被ばくと内部被ばくと、地表沈着したセシウムによる外部被ばくと内部被ばくを考慮する。
- (3) 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D / Q \cdot Q_{Cs} \cdot 1000$$

$H_{\gamma}$  : 放射性雲のセシウムからの  $\gamma$  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]

$E_{\gamma}$  :  $\gamma$  線の実効エネルギー[MeV]

$D/Q$  : 相対線量[Gy/Bq]

$Q_{Cs}$  : セシウムの大気放出量[Bq]

- (4) 放射性雲のセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{Cs} = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_{Cs}$$

$H_{Cs}$  : 放射性雲のセシウム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]

$R_1$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$\chi/Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]

- (5) 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot Q_{Cs} \cdot T \cdot 1000$$

$G_{ex}$  : 地表沈着したセシウムからの  $\gamma$  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>)]

$V$  : 沈降速度[m/s]

$f$  : 残存割合[-]

$T$  : 被ばく時間[s]

- (6) 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot T$$

$G_{in}$  : 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウム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]

$F$  : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>]

- (7) 相対濃度と相対線量については、「Ⅱ 2.1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備添付資料 5 別紙 1」に記載される下表の値を用いる。

	敷地境界
相対濃度[s/m <sup>3</sup> ]	6.9×10 <sup>-5</sup>
相対線量[Gy/Bq]	6.6×10 <sup>-19</sup>

#### 4. 評価結果

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりであり、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。

セシウム 134 放出量	約 2.9×10 <sup>6</sup> Bq
セシウム 137 放出量	約 5.4×10 <sup>6</sup> Bq
年間の実効線量	約 1.7×10 <sup>-4</sup> mSv

以上

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

1. 目的

2号機原子炉格納容器（以下、PCV）内部詳細調査のため、X-6ペネ内の堆積物の除去及びPCV内干渉物切断により、アーム型アクセス・調査装置のアクセスルートを構築する必要がある。X-6ペネ内の堆積物・構造物はX-6ペネ内低圧水除去装置による低圧水及びX-6ペネ内堆積物除去装置による高圧水噴射・アブレイブウォータージェット（以下、AWJ）により除去する。また、PCV内干渉物はアーム型のアクセス・調査装置に搭載したAWJにて切断する。当該作業により、対象物表面に付着した放射性物質が追加的に浮遊し、PCV内の放射性ダスト（以下、ダスト）濃度が一時的に上昇する可能性がある。このため、当該作業によりダスト濃度が上昇した場合の影響を把握することを目的に、追加的にPCV内に浮遊するダストを想定し、これを含むPCV内の気体が環境中に放出された場合の周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響評価を行う。

2. アクセスルート構築作業及びダスト浮遊の要因

アクセスルート構築作業の概念図を図1に示す。

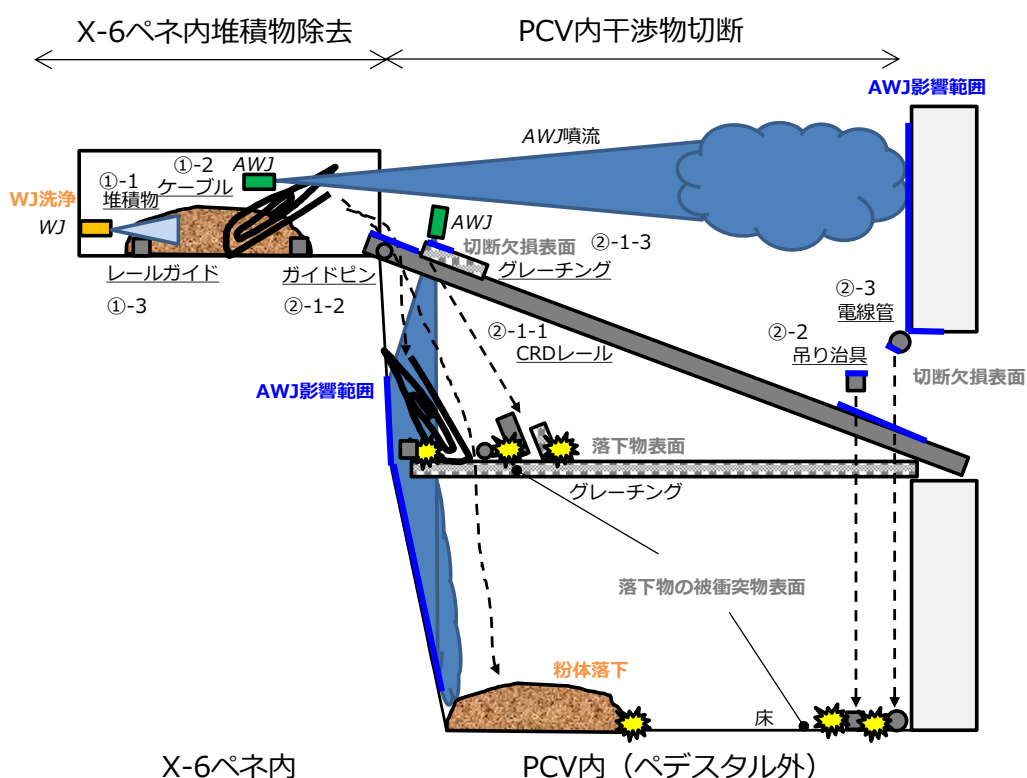


図1 アクセスルート構築作業の概念図（図中の番号は表1の作業ステップを示す）

X-6 ペネ内にはこれまでの PCV 内部調査において、砂状の堆積物の存在が確認されている。このため、低圧水・高圧水（以下、まとめてウォータージェット（WJ））を用いた洗浄作業により、PCV 内へ押し出すことで除去する。このとき、WJ による洗浄及び堆積物の PCV 床面への落下によりダストが浮遊する可能性がある。

また、X-6 ペネ内にはケーブルが残置されており、除去するためには干渉する制御棒駆動機構交換用のレール（以下、CRD レール）ガイドも除去する必要がある。このため、AWJ を用いて、ケーブルを細断し、CRD レールガイドを切断する。切断したケーブル及び CRD レールガイドは PCV 内へ押し出すことで除去する。これらに伴い、AWJ による切断及び切断物の落下時にダストが浮遊する可能性がある。

PCV 内では、アーム型アクセス・調査装置のアクセスルート上で、CRD レールの一部及びガイドピン、CRD レール上のグレーチング、CRD レール吊り治具、制御棒駆動機構交換用のペDESTAL 開口部（以下、CRD 開口部）にある電線管が干渉する。このため、AWJ を用いてこれら干渉物を切断する。AWJ による干渉物切断により、切断欠損表面及び切断片の落下に伴う落下物表面及び被衝突物表面からダストが浮遊する可能性がある。

加えて、1号機 PCV 内部詳細調査に向けた AWJ 作業により、AWJ 噴流の当たる遠方の構造物からもダストが発生した可能性が示唆されたため、2号機においても X-6 ペネ内及び PCV 内での AWJ を用いた切断作業において、AWJ 噴流の影響範囲にある構造物の汚染表面が剥離しダストが浮遊する可能性がある。

本評価で考慮する作業ステップ及びダスト浮遊の要因の一覧を表 1 にまとめる。なお、作業によらず PCV 内に存在する現浮遊ダストについては、別添-8 に示すとおりバウンダリ施工箇所が開放する厳しい事象であってもその影響は小さいことから、本評価では考慮しない。



表1 アクセスルート構築作業における作業ステップ及びダスト浮遊の要因

作業ステップ	ダスト発生源	ダスト浮遊の要因	
① X-6 ペネ内			
①-1 X-6 ペネ堆積物 洗浄/落下	堆積物	WJによる洗浄	
		堆積物の落下	
①-2 ケーブル 切断/落下* <sup>1</sup>	PCV 下部グレーチング (被衝突物)	切断片の落下	
	PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離	
①-3 レールガイド 切断/落下* <sup>1</sup>	PCV 下部グレーチング (被衝突物)	切断片の落下	
	PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離	
② PCV 内			
②-1 CRD レール レール切断作業	②-1-1 CRD レール 切断/落下	CRD レール	AWJによる切断
			切断片の落下
		PCV 下部グレーチング (被衝突物)	切断片の落下
		PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離
	②-1-2 ガイドピン 切断/落下	ガイドピン	AWJによる切断
			切断片の落下
		PCV 下部グレーチング (被衝突物)	切断片の落下
		PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離
	②-1-3 CRD レール上 グレーチング 切断/落下	CRD レール上グレーチング	AWJによる切断
			切断片の落下
		PCV 下部グレーチング (被衝突物)	切断片の落下
		PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離
②-2 CRD レール 吊り治具 切断/落下	CRD レール吊り治具	AWJによる切断	
		切断片の落下	
	PCV 床面 (被衝突物)	切断片の落下	
	PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離	
②-3 電線管 切断/落下	電線管	AWJによる切断	
		切断片の落下	
	PCV 床面 (被衝突物)	切断片の落下	
	PCV 内構造物	AWJ 影響範囲の表面剥離	

\* 1 前段作業で洗浄されているため、切断による浮遊及び落下物からの浮遊は考慮しない。

### 3. 各作業におけるダスト浮遊量の評価方法

2. で挙げた各作業について、ダストの浮遊量は以下のように計算する。

$$\begin{aligned} \text{ダスト浮遊量} &= \text{ダスト発生源の放射能濃度 [Bq/g]} \text{ (または表面汚染密度 [Bq/cm}^2\text{])} \\ &\times \text{ダスト浮遊に寄与するダスト発生源の量 [g]} \text{ (または表面積 [cm}^2\text{])} \\ &\times \text{ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率 [-]} \end{aligned}$$

ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率については、「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」(以下、DOE HANDBOOK) に基づき設定した。

本章では、影響の大きい X-6 ペネ内堆積物及び AWJ 影響範囲にある構造物について、以下に各因子の設定方法について述べる。その他のダストの設定に関する詳細については別紙 1 にまとめる。

#### (1) X-6 ペネ内堆積物

##### (a) ダスト発生源における放射能濃度

X-6 ペネ内の堆積物の放射能濃度については、平成 28 年 6 月に測定した X-6 ペネハッチ前(原子炉建屋側)のコリメートした線量率(ハッチ部合計約 200mSv/h) に基づき評価する。X-6 ペネ内には砂状堆積物やケーブルなどに加え、管内の表面汚染があり、また PCV 内からの線量率寄与が考えられるが、本評価では X-6 ペネハッチ前の線量率は全て砂状堆積物に起因するものと想定した。また、X-6 ペネハッチにより  $\alpha$  線及び  $\beta$  線は遮へいされることから、PCV 内の主たる  $\gamma$  線源である Cs-134, Cs-137 を堆積物中の  $\gamma$  線源として想定した。砂状堆積物は X-6 ペネ内の映像より、堆積物高さはペネ管内径の半分(27cm)、堆積物長さはハッチ内側から 100cm まで堆積しているものと想定した。堆積物の体積は  $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^3$ 、密度は一般的な土の密度である  $2 \text{ g/cm}^3$  とし、堆積物の質量を  $2.4 \times 10^5 \text{ g}$  と設定した。この条件で放射能濃度計算を実施した。

平成 31 年 2 月に実施した 2 号機 PCV 内部調査のガイドパイプシールリングのスミアにて、燃料由来の  $\alpha$  核種である Am-241 が検出されており、この Am-241 を含む全  $\alpha$  核種 / Cs-137 放射能比は約 0.8 倍であった。これを踏まえ、X-6 ペネ内の堆積物には、Cs-137 と同量の Am-241 が代表的な  $\alpha$  核種として存在するものと設定した。ただし、PCV 内外部の  $\alpha$  核種の広がり傾向より、 $\alpha$  核種については Cs-137 に比べて PCV 気相中に存在しにくく、PCV 外へは放出されにくい傾向があると考えられる。平成 29 年 5 月に実施した原子炉格納容器ガス管理設備(以下、PCV ガス管理設備)の粒子状フィルタの全  $\alpha$  計測にて全  $\alpha$  核種 / Cs-137 放射能比は約  $10^{-3}$  倍であったことから、PCV から放出されるまでには 1/100 倍に低減されているものと仮定した。

また、Cs 以外の  $\beta$  核種が含まれることを想定して、PCV 内で検出されている Sr-90 を代表的な  $\beta$  核種として考慮する。平成 29 年 2 月に実施した PCV ガス管理設備のドレン水及び粒子状フィルタの分析では、ドレン水から Sr-90/Cs-137 放射能比が約 5 倍、粒子状フィルタから全  $\beta$  核種/Cs-137 放射能比が約 21 倍であったことから、保守的に Sr-90 が Cs-137 の 25 倍存在するものと設定した。

以上のとおり、本評価に用いる X-6 ペネ内堆積物の放射能濃度を表 2 にまとめる。

表 2 X-6 ペネ内堆積物の放射能濃度

	放射能濃度
Cs-134	$2.8 \times 10^6$ Bq/g
Cs-137	$3.5 \times 10^7$ Bq/g
$\alpha$ 核種 (Am-241)	$3.5 \times 10^7$ Bq/g * <sup>1</sup>
$\beta$ 核種 (Sr-90)	$8.8 \times 10^8$ Bq/g

\* 1 PCV 外へ放出されるまでに 1/100 倍に低減されているものと仮定して評価。

(b) ダスト浮遊に寄与するダスト発生源の量

ダスト発生源の量は、2. に記載のダスト浮遊要因に基づき設定した。

X-6 ペネ内堆積物の量は、前項に記載のとおり X-6 ペネ内の映像に基づき  $2.4 \times 10^5$ g とした。

(c) ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率

ダストの気相移行率は、2. に記載のダスト浮遊要因に基づき設定した。

X-6 ペネ内の堆積物は、WJ により洗浄し PCV 床面へ落下させる。WJ 洗浄によるダストの気相移行率は、DOE HANDBOOK の「加圧容器/配管からのベント時の飛散率」の液面上もしくは容器全体破損条件の数値から、0.35MPa 以上の水溶液のバウンディング値 0.2%を設定した。実際の WJ は AWJ ほど表面汚染物を細かく破碎し、気相中へ移行させやすくはないものと考えられるが、(a)に記載したとおり X-6 ペネ内のダスト発生源を全て砂状堆積物に設定していることから、AWJ によるケーブル及び CRD レールガイド切断も包絡するよう、この値を採用した。堆積物の PCV 床面への落下によるダストの気相移行率は、DOE HANDBOOK の「粉体の自由落下時」の気相移行率に基づき 1%と設定した。

(2) AWJ 影響範囲にある構造物

(a) ダスト発生源における表面汚染密度

AWJ の影響範囲となる PCV 内の構造物の表面汚染密度は、平成 29 年 1, 2 月に実施した 2 号機 PCV 内部調査におけるペデスタル外の空間線量率の実測値に基づき算出した表 3 の値を用いる（ペデスタル外の空間線量率は PCV 内壁及びペデスタル外壁面の Cs-134 及び Cs-137 の汚染によるものと推定）。

3. (1) (a) に記載したとおり、PCV 内の構造物の汚染表面には、Cs-137 と同量の Am-241 が代表的な  $\alpha$  核種として存在するものと設定し、 $\alpha$  核種については、PCV から放出されるまでには 1/100 倍に低減されているものと仮定した。また、Sr-90 を代表的な  $\beta$  核種として考慮し、保守的に Sr-90 が Cs-137 の 25 倍存在するものと設定した。

以上のとおり、本評価に用いる PCV 内の構造物の表面汚染密度を表 3 にまとめる。

表 3 PCV 内の構造物の表面汚染密度

	表面汚染密度
Cs-134	$4.7 \times 10^8$ Bq/cm <sup>2</sup>
Cs-137	$5.8 \times 10^9$ Bq/cm <sup>2</sup>
$\alpha$ 核種 (Am-241)	$5.8 \times 10^9$ Bq/cm <sup>2</sup> * 1
$\beta$ 核種 (Sr-90)	$1.5 \times 10^{11}$ Bq/cm <sup>2</sup>

\* 1 PCV 外へ放出されるまでに 1/100 倍に低減されているものと仮定して評価。

(b) ダスト浮遊に寄与するダスト発生源の表面積

ダスト発生源の表面積は、2. に記載のダスト浮遊要因に基づき設定した。

AWJ 影響範囲にある構造物の汚染表面から剥離する表面積については、AWJ 影響範囲を確認し対象表面積を設定した。定点で AWJ を噴射した場合、1m 以内は AWJ 噴流角（片角）の約 3.4 倍、1m～4m は約 1.7 倍、4m 以遠は距離に応じて減少するとした領域が影響範囲となる。各作業で想定される位置・噴射角度に対してこの影響範囲を適用し、手前の構造物の陰に入らない構造物の表面積を算出した。その結果、AWJ 影響範囲の構造物の汚染表面から剥離する表面積は、当該作業全体で  $4.4 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>（1m 以内： $5.9 \times 10^4$  cm<sup>2</sup>，1m 以遠： $3.8 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>），CRD レール切断時で  $3.3 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>（1m 以内： $3.0 \times 10^4$  cm<sup>2</sup>，1m 以遠： $3.0 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>）である。

(c) ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率

ダストの気相移行率は、2. に記載のダスト浮遊要因に基づき設定した。

AWJ 影響範囲にある構造物の汚染表面から剥離する場合については、AWJ の有効切断距離を踏まえて設定する。当該作業で使用する AWJ の有効切断距離は約 1m である。このため、1m 以内の AWJ 影響範囲の気相移行率については、AWJ 切断時と同等と見なし 0.2% を

設定した。一方、1m 以遠の気相移行率については、1m 以内に比べ構造物の表面へ付与されるエネルギーが小さいことから、DOE HANDBOOK の「加圧容器/配管からのベント時の飛散率」の液面下の条件の気相移行率のバウンディング値 0.01%を設定した。

#### 4. 放出量評価

当該作業に伴い、PCV 内でダストが浮遊し PCV 内のダスト濃度が現状より上昇する可能性があることから、原子炉格納容器内窒素封入設備（以下、PCV 窒素封入設備）及び PCV ガス管理設備が稼働している通常時と、別添-8 と同様に PCV バウンダリ施工箇所開放が生じる異常時について評価を行う。

##### (1) 共通条件

PCV 窒素封入設備からの窒素封入量は令和 2 年 5 月時点で約 20m<sup>3</sup>/h 以下であり、X-6 ペネに接続されるエンクロージャは約 15m<sup>3</sup>/h で窒素封入し約 10m<sup>3</sup>/h で原子炉建屋（以下、R/B）へ排気するため、エンクロージャから約 5m<sup>3</sup>/h のガスが PCV へと供給される。これらを踏まえ、PCV への窒素供給は保守的に 30m<sup>3</sup>/h とする。

PCV から R/B へ漏えいしたダストは、R/B 内で拡散することが想定されるが、本評価では保守的に、X-6 ペネのある R/B1 階北西の小エリア（1 階部の 1/4 区画；825m<sup>3</sup>）に限定されるものとした。また、エンクロージャからの排気先及び R/B から環境への放出元もこの R/B 小エリアとする。

PCV 内及び R/B 内に浮遊・移行したダストは、重力沈降をはじめ、その他沈着や凝集等による低減効果が働くことが考えられる。本評価では重力沈降で低減効果を代表し、1 号機 PCV 内部詳細調査に向けた AWJ 作業時に計測されたダストの低減率を踏まえ、ダストの粒径を 5μm とした場合の低減率を用いる。

本評価では、PCV 気相部容積が小さい方がダスト放出量は大きくなることから、PCV 容積（4240m<sup>3</sup>（ベント管含む））から PCV 下部に蓄積している液相体積（約 47m<sup>3</sup>）を差し引き、PCV 気相部容積を保守的に 4100m<sup>3</sup> とする。

## (2) 通常時放出量評価

図2に通常時放出量評価のモデルを示す。

PCV ガス管理設備の排気流量は令和2年5月時点で約 $10\text{m}^3/\text{h}$ であるため、PCVからの排気流量を $10\text{m}^3/\text{h}$ とする。PCV ガス管理設備フィルタの除染係数 (DF) は100とする。

PCV 圧力は令和2年5月時点で $10\text{kPa}$ 未満の正圧に保たれており、PCVからの漏えいはあるものの、ある程度気相部で気密は有しているものと考えられる。このため、PCVからのR/Bへ漏えい経路では、狭隘な漏えい箇所を通過することから、PCV漏えい箇所での捕集効果を見込む。捕集の除染係数は、財団法人原子力発電技術機構の報告書[1]のPCV貫通部の漏えい試験に基づき、10とする。

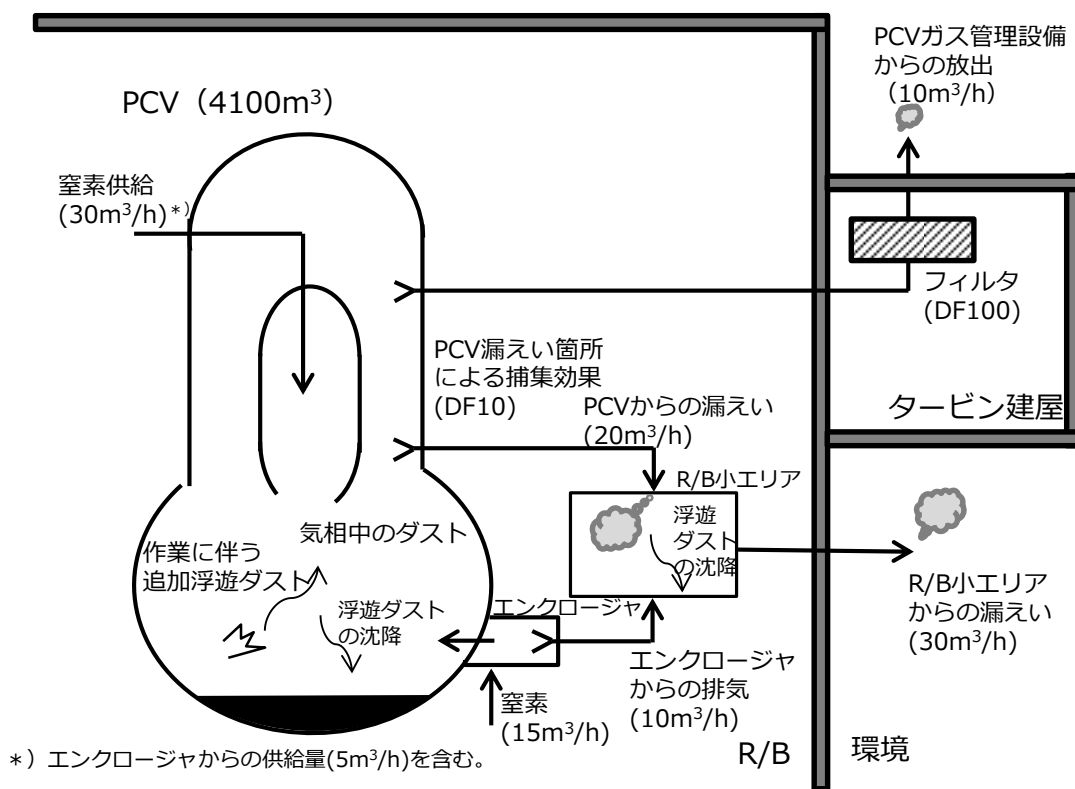


図2 通常時放出量評価モデル

[1] 財団法人 原子力発電技術機構, 「重要構造物安全評価 (原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書」, 平成15年3月.

(3) 異常時放出量評価

図3に異常時放出量評価のモデルを示す。

別添-8と同様に、施工箇所の損傷によって大気に開放された場合、差圧分のPCVガスがR/B内に放出されるものと想定し、差圧分の放出容積は保守的に液相がないものとしたPCV容積(4240m<sup>3</sup>)の1割(424m<sup>3</sup>)とする。

施工箇所の損傷によって大気に開放されることを想定するため、PCVガス管理設備での排気及びPCV漏えい箇所での捕集効果は見込まないものとする。

評価対象は、(2)の通常時放出量評価の結果、最も放出量の大きな作業工程であるCRDレール切断作業(表1の②-1)を選定した。

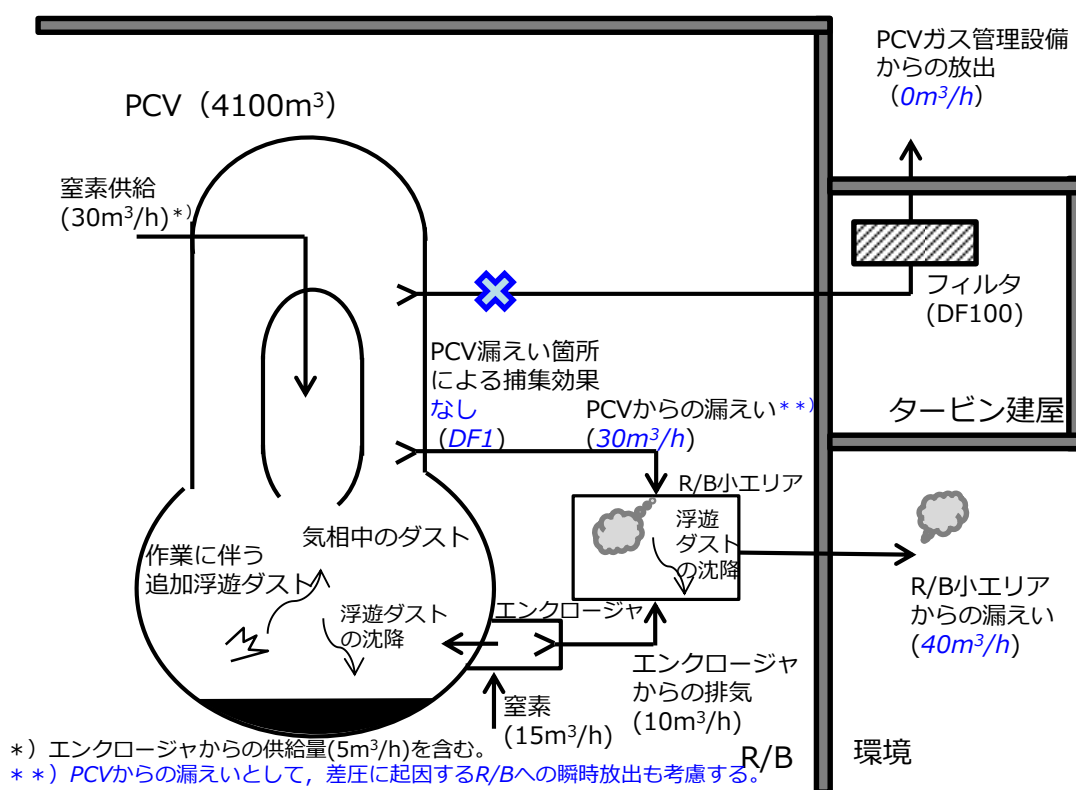


図3 異常時放出量評価モデル (青字は通常時と異なる項目)

## 5. 線量影響評価

大気中へ放出される放射性核種は、R/B から地上放散されるものとし、周辺の公衆に対する放射線被ばくの影響を、実効線量を用いて評価する。

実効線量は、以下に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては、放射性雲中の核種による外部被ばくと内部被ばく、地表沈着した核種による外部被ばくと内部被ばくを考慮する。

### (1) 放射性雲中の核種からの $\gamma$ 線による外部被ばく

放射性雲中の核種からの  $\gamma$  線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D / Q \cdot Q_R \cdot 1000$$

$H_{\gamma}$  : 放射性雲中の核種からの  $\gamma$  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]

$E_{\gamma}$  :  $\gamma$  線の実効エネルギー[MeV]

$D / Q$  : 相対線量[Gy/Bq]

$Q_R$  : 放射性核種の大気放出量（各経路の DF を考慮した合計）[Bq]

### (2) 放射性雲中の核種の吸入摂取による内部被ばく

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の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_I = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_R$$

$H_I$  : 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]

$R_1$  : 呼吸率[m<sup>3</sup>/s]

$\chi / Q$  : 相対濃度[s/m<sup>3</sup>]



(3) 地表沈着した核種からの $\gamma$ 線による外部被ばく

地表沈着した核種からの $\gamma$ 線による外部被ばく実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。核種の崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot Q_R \cdot T \cdot 1000$$

$G_{ex}$  : 地表沈着した核種からの $\gamma$ 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>)]

$V$  : 沈降速度[m/s]

$f$  : 残存割合[-]

$T$  : 被ばく時間[s]

(4) 地表沈着した核種の吸入摂取による内部被ばく

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の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。核種の崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi / Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_R \cdot T$$

$G_{in}$  : 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]

$F$  : 再浮遊率[m<sup>-1</sup>]

(5) 相対濃度及び相対線量

異常時の相対濃度と相対線量については、「II 2.1 原子炉压力容器・格納容器注水設備添付資料 5 別紙 1」に記載される表 4 の値を用いる。また、通常時の相対濃度と相対線量については、作業期間は月オーダーを要すると想定するため、年間 5 回の間欠放出として求めた表 4 の値を用いる。

表 4 評価に用いる相対濃度，相対線量

	通常時	異常時
相対濃度	$4.1 \times 10^{-6}$ s/m <sup>3</sup>	$6.9 \times 10^{-5}$ s/m <sup>3</sup>
相対線量	$3.5 \times 10^{-20}$ Gy/Bq	$6.6 \times 10^{-19}$ Gy/Bq

## 6. 評価結果

当該作業に伴う放射性核種の放出量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は表5、6のとおりであり、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。

表5 アクセスルート構築作業に伴い放出される放射性核種の放射エネルギー及び敷地境界での実効線量評価結果（通常時）

	通常時
Cs-134 放出量	約 $1.6 \times 10^7$ Bq
Cs-137 放出量	約 $1.9 \times 10^8$ Bq
$\alpha$ 核種 (Am-241) 放出量	約 $1.9 \times 10^6$ Bq
$\beta$ 核種 (Sr-90) 放出量	約 $4.8 \times 10^9$ Bq
敷地境界実効線量	約 $1.9 \times 10^{-3}$ mSv

表6 アクセスルート構築作業に伴い放出される放射性核種の放射エネルギー及び敷地境界での実効線量評価結果（異常時）

	異常時 (②-1 CRD レール切断作業)
Cs-134 放出量	約 $2.1 \times 10^8$ Bq
Cs-137 放出量	約 $2.7 \times 10^9$ Bq
$\alpha$ 核種 (Am-241) 放出量	約 $2.7 \times 10^7$ Bq
$\beta$ 核種 (Sr-90) 放出量	約 $6.7 \times 10^{10}$ Bq
敷地境界実効線量	約 $4.5 \times 10^{-1}$ mSv

以上

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  
補足説明資料

1. はじめに

本書は、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」(以下、本文)を補足するものである。

2. 各作業におけるダスト浮遊量の評価方法

各作業について、放射性ダスト(以下、ダスト)の浮遊量は以下のように計算する。

$$\begin{aligned} \text{ダスト浮遊量} &= \text{ダスト発生源の放射能濃度[Bq/g]} \text{ (または表面汚染密度[Bq/cm}^2\text{])} \\ &\times \text{ダスト浮遊に寄与するダスト発生源の量[g]} \text{ (または表面積[cm}^2\text{])} \\ &\times \text{ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率[-]} \end{aligned}$$

本章では、ダスト浮遊に寄与するダスト発生源の量(または表面積)及びダスト発生メカニズムに応じた気相移行率について補足説明する。また、ダスト発生メカニズムに応じた気相移行率については、「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」(以下、DOE HANDBOOK)に基づき設定した。

2.1 X-6 ペネ内堆積物の堆積物量及び気相移行率

X-6 ペネ内の堆積物については、ウォータージェット(以下、WJ)による洗浄及び堆積物の原子炉格納容器(以下、PCV)床面への落下によりダストが浮遊することを想定する。堆積物量及び気相移行率については、本文記載のとおりを設定し、別表(1)-1のとおりとした。

別表(1)-1 X-6 ペネ内堆積物の堆積物量及び気相移行率

作業ステップ	浮遊 要因	落下先	落下 高さ (cm)	堆積物量 (g)	気相 移行率 (%)
① X-6 ペネ内					
①-1 X-6 ペネ堆積物 洗浄／落下	WJ 洗浄	—		2.4×10 <sup>5</sup>	0.2%
	落下	PCV 床面	526		1% ※1

※1 : 堆積物落下に伴う気相移行率は、落下高さ、落下物重量及び落下物の密度に依存する。  
 堆積物の密度は線源強度設定における想定密度 2g/cm<sup>3</sup>とした。  
 また、包絡値とするためのファクターとして2倍を設定した。

## 2.2 AWJ 影響範囲にある構造物の汚染表面から剥離する表面積及び気相移行率

アブレシブウォータージェット（以下、AWJ）影響範囲にある構造物の汚染表面から剥離する表面積及び気相移行率については、本文記載のとおりを設定し、別表(1)-2 のとおりとした。

別表(1)-2 AWJ 影響範囲にある構造物の汚染表面から剥離する表面積  
及び気相移行率

作業ステップ	切断対象物	AWJ 影響表面積 (cm <sup>2</sup> )		気相移行率(-)		
		1 m 以内	1 m 以遠	1 m 以内	1 m 以遠	
① X-6 ペネ内						
①-1 X-6 ペネ堆積物 洗浄/落下		— (AWJ 施工なし)				
①-2 ケーブル 切断/落下	ケーブル	2.3×10 <sup>4</sup>	8.5×10 <sup>4</sup>	0.2 %	0.01 %	
①-3 レールガイド 切断/落下	レールガイド					
② PCV 内						
②-1 CRD レール切断作業	②-1-1 CRD レール 切断/落下	CRD レール	3.0×10 <sup>4</sup>	3.0×10 <sup>5</sup>	0.2 %	0.01 %
	②-1-2 ガイドピン 切断/落下	ガイドピン				
	②-1-3 CRD レール上 グレーチング 切断/落下	CRD レール上 グレーチング				
②-2	CRD レール 吊り治具 切断/落下	CRD レール 吊り治具	4.4×10 <sup>3</sup>	5.0×10 <sup>2</sup>		
②-3	電線管 切断/落下	電線管	1.5×10 <sup>3</sup>	— (該当なし)		

### 2.3 AWJ 切断欠損部の表面積及び気相移行率

X-6 ペネ内のケーブル及びレールガイドの AWJ 切断については、前段作業である X-6 ペネ堆積物洗浄／落下において表面の汚染が除去されることを想定し、切断に伴うダスト浮遊を考慮しない。

PCV 内干渉物の AWJ 切断においては、切断による欠損部表面からのダストの浮遊を想定する。AWJ による欠損部の表面積は、CAD を用いて切断長さを読み取り、それに切断幅を乗じて算出する。切断幅は、AWJ による鋼材の切断試験における実績から、2 cm とする。気相移行率は、DOE HANDBOOK の「加圧容器/配管からのベント時の飛散率」の液面上もしくは容器全体破損条件の数値から、0.35MPa 以上の水溶液のバウンディング値 0.2%を設定した。算出した AWJ 切断欠損部の表面積及び気相移行率を別表(1)-3 にまとめる。

別表(1)-3 AWJ 切断欠損部の表面積及び気相移行率

作業ステップ		切断対象物	切断による 欠損面積 (cm <sup>2</sup> )	気相 移行率 (%)
① X-6 ペネ内				
①-1 X-6 ペネ堆積物 洗浄／落下		— (切断なし)	— (切断なし)	
①-2 ケーブル 切断／落下		ケーブル	— (考慮せず) ※1	
①-3 レールガイド 切断／落下		レールガイド		
② PCV 内				
②-1 CRD レール 切断作業	②-1-1 CRD レール 切断／落下	CRD レール	1.9×10 <sup>3</sup>	0.2 %
	②-1-2 ガイドピン 切断／落下	ガイドピン	4.6×10 <sup>1</sup>	
	②-1-3 CRD レール上グレーチング 切断／落下	CRD レール上 グレーチング	1.5×10 <sup>3</sup>	
②-2 CRD レール吊り治具 切断／落下		CRD レール吊り治具	1.7×10 <sup>2</sup>	
②-3 電線管 切断／落下		電線管	1.4×10 <sup>2</sup>	

※1：前段作業である X-6 ペネ堆積物洗浄／落下において表面の汚染が除去されることを想定し、切断に伴う浮遊は考慮しない。

## 2.4 切断片落下時のダスト発生源の表面積と気相移行率

### 2.4.1. 落下物からの浮遊

表面の汚染した切断片が落下する場合、表面付着物の一部が浮遊することが想定される。落下する切断片の表面積は CAD を用いて算出した。グレーチングについては、グレーチングを平板であるとして読み取った表面積の 2 倍と設定した。

切断対象物の材質は多くの場合金属であるが、切断対象物表面には堆積物が付着していることが想定される。このため、切断片の落下時の気相移行率としては、DOE HANDBOOK で与えられている「非金属又は複合固体の自由落下時」の気相移行率に基づき設定した。算出した落下物の表面積及び気相移行率を別表(1)-4 にまとめる。

### 2.4.2. 被衝突物からの浮遊

切断片が落下すると PCV 下部グレーチングまたは PCV 床面に衝突する。これら被衝突物も表面汚染があると考えられることから、被衝突物からもダストが浮遊する可能性がある。被衝突物からの浮遊量は、落下物からの浮遊量を基準に想定する。対象がグレーチングの場合、前項のとおり平板であるとして読み取った表面積の 2 倍と設定することに基づき、下記に示す落下物と被衝突物の組み合わせにより被衝突物からの浮遊量を想定した。

#### 被衝突物からの浮遊量（落下物からの浮遊量基準）

落下物；グレーチング以外／被衝突物；グレーチング以外の場合：落下物の 1 倍  
落下物；グレーチング      ／被衝突物；グレーチング      の場合：落下物の 1 倍  
落下物；グレーチング以外／被衝突物；グレーチング      の場合：落下物の 2 倍  
落下物；グレーチング      ／被衝突物；グレーチング以外の場合：対象なし

### 2.4.3. 切断片落下時のダスト浮遊量の補正係数

上述のとおり、切断片落下時には、落下物と被衝突物からダストの浮遊を想定することから、落下物のダスト浮遊量に落下物及び被衝突物を考慮した補正係数を乗じて、切断片落下時のダスト浮遊量を評価した。落下物及び被衝突物を考慮した補正係数を別表(1)-4 にまとめる。

別表(1)-4 切断片落下時のダスト発生源の表面積と気相移行率

作業ステップ	落下物	落下先 (被衝突物)	落下 高さ (cm)	落下物 表面積 (cm <sup>2</sup> )	気相 移行率 ※1 (-)	落下物及び 被衝突物を 考慮した 補正係数 (-)	
① X-6 ペネ内							
①-1 X-6 ペネ堆積物 洗浄/落下	— (切断片なし)						
①-2 ケーブル 切断/落下	ケーブル 切断片	PCV 下部 グレーチング	119	4.5×10 <sup>4</sup>	3.0×10 <sup>-5</sup>	2 <sup>※2</sup> (落下物:0 + 被衝突物:2)	
①-3 レールガイド 切断/落下	レールガイド 切断片			2.0×10 <sup>3</sup>		2 <sup>※2</sup> (落下物:0 + 被衝突物:2)	
② PCV 内							
②-1 CRD レール切断作業	②-1-1 CRD レール 切断/落下	CRD レール 切断片	105	7.0×10 <sup>3</sup>	3.0×10 <sup>-5</sup>	3 (落下物:1 + 被衝突物:2)	
	②-1-2 ガイドピン 切断/落下	ガイドピン 切断片		3.6×10 <sup>2</sup>		3 (落下物:1 + 被衝突物:2)	
	②-1-3 CRD レール上 グレーチング 切断/落下	CRD レール上 グレーチング 切断片		9.0×10 <sup>3</sup>		2 (落下物:1 + 被衝突物:1)	
②-2	CRD レール 吊り治具 切断/落下	CRD レール 吊り治具 切断片	PCV 床面	416	6.6×10 <sup>3</sup>	9.0×10 <sup>-5</sup>	2 (落下物:1 + 被衝突物:1)
②-3	電線管 切断/落下	電線管 切断片	PCV 床面	463	2.1×10 <sup>3</sup>	1.0×10 <sup>-4</sup>	2 (落下物:1 + 被衝突物:1)

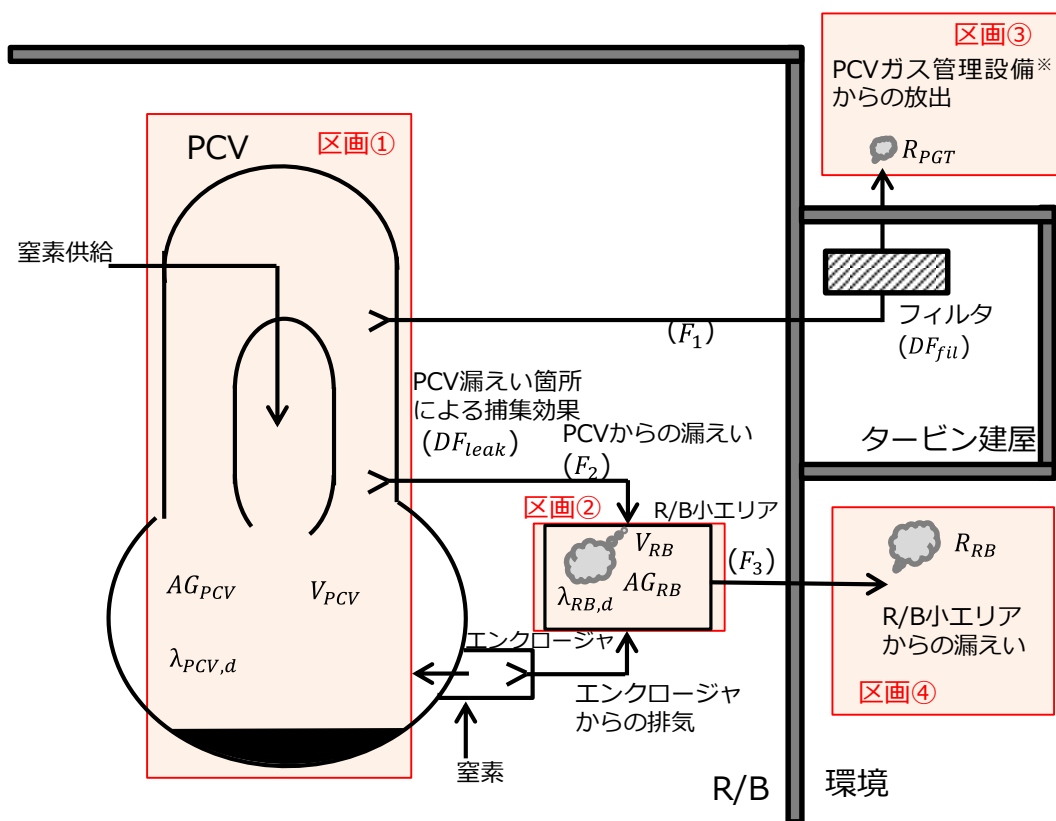
※1：切断片落下に伴う気相移行率は、落下高さ、落下物の密度に依存する。複合固体の密度として保守的にUO<sub>2</sub>の密度を用いて算出。

※2：ケーブル及びレールガイドに付着した放射性物質は前段の作業で洗浄されることを想定するため、落下物からの浮遊は想定しない。



3. ダスト放射エネルギーの移行評価式

評価区画を別図(1)-1に、評価に用いる定数一覧を別表(1)-5に示す。区画①～④に対して、ダスト放射エネルギーの移行評価式を立て、放出量の評価を行った。



※原子炉格納容器ガス管理設備（以下、PCVガス管理設備）

別図(1)-1 評価区画面

別表(1)-5 評価に用いる定数一覧

定数		通常時	異常時
$V_{PCV}$	: PCV 体積 (m <sup>3</sup> )	4100	
$V_{RB}$	: R/B 小エリア体積 (m <sup>3</sup> )	825	
$F_1$	: PCV ガス管理設備排気流量 (m <sup>3</sup> /h)	10	0
$F_2$	: PCV から R/B 小エリアへの漏えい流量 (m <sup>3</sup> /h)	20	30
$F_3$	: R/B 小エリアから環境への漏えい流量 (m <sup>3</sup> /h)	30	40
$\lambda_{PCV,d}$	: PCV 内の沈降による除去速度 (1/h)	$2.01 \times 10^{-1}$	
$\lambda_{RB,d}$	: R/B 小エリア内の沈降による除去速度 (1/h)	$1.36 \times 10^0$	
$DF_{leak}$	: PCV 漏えい箇所での捕集効果 (-)	10	1
$DF_{fil}$	: PCV ガス管理設備フィルタ DF (-)	100	

① PCV 内浮遊放射エネルギー  $AG_{PCV}$  (Bq) [区画①]

PCV 内浮遊放射エネルギーの評価にあたっては、各作業による PCV 内への浮遊、PCV ガス管理設備による排気、R/B 小エリアへの漏えい及び PCV 内での沈降を考慮する。PCV 内で浮遊するダストの量は、各作業で想定されるダストの全てが一度に浮遊するものとする。

$$\frac{dAG_{PCV}}{dt} = -\left(\lambda_{PCV,d} + \frac{F_1 + F_2}{V_{PCV}}\right) \cdot AG_{PCV}$$

② R/B 小エリア内浮遊放射エネルギー  $AG_{RB}$  (Bq) [区画②]

R/B 小エリア内浮遊放射エネルギーの評価にあたっては、PCV 漏えい箇所を通じた PCV 内浮遊放射エネルギーの R/B 小エリアへの漏えい、R/B 小エリア内での沈降及び R/B 小エリアから環境への漏えいを考慮する。なお、R/B 排気設備による排気については見込まないものとする。

$$\frac{dAG_{RB}}{dt} = \frac{F_2}{V_{PCV} \cdot DF_{leak}} \cdot AG_{PCV} - \left(\lambda_{RB,d} + \frac{F_3}{V_{RB}}\right) \cdot AG_{RB}$$

③ PCV ガス管理設備からの放出放射エネルギー  $R_{PGT}$  (Bq) [区画③]

$$\frac{dR_{PGT}}{dt} = \frac{F_1}{V_{PCV} \cdot DF_{fil}} \cdot AG_{PCV}$$

④ R/B 小エリアからの漏えいによる放出放射エネルギー  $R_{RB}$  (Bq) [区画④]

$$\frac{dR_{RB}}{dt} = \frac{F_3}{V_{RB}} \cdot AG_{RB}$$

以上の方程式を解き、環境への放出放射エネルギー  $Q_R$  (Bq) を評価した。

放出放射エネルギー

$$Q_R = R_{PGT} + R_{RB}$$

4. 線量影響評価結果の内訳

各作業及びダスト浮遊要因毎の敷地境界での実効線量（通常時）の内訳を別表(1)-6に示す。また、最も放出量の大きな作業工程である CRD レール切断作業（本文表 1 の②-1）時にバウンダリ施工箇所開放が生じた場合の敷地境界での実効線量（異常時）の内訳を別表(1)-7に示す。

別表(1)-6 通常時の敷地境界での実効線量の内訳

	合計 (mSv)	内訳 (mSv)			
		洗浄または 切断による ダスト浮遊	切断片の 落下による ダスト浮遊	AWJ 影響範囲の 表面剥離による ダスト浮遊	
①X-6 ペネ内					
①-1 X-6 ペネ堆積物	$1.8 \times 10^{-4}$	$2.9 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	—	
①-2 ケーブル	$5.9 \times 10^{-4}$	—	$2.8 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-4}$	
①-3 レールガイド		—	$1.2 \times 10^{-6}$		
②PCV 内					
②-1 CRD レール 切断作業	②-1-1 CRD レール	$1.0 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-5}$	$6.6 \times 10^{-6}$	$9.3 \times 10^{-4}$
	②-1-2 ガイドピン		$9.5 \times 10^{-7}$	$3.3 \times 10^{-7}$	
	②-1-3 CRD レール上 グレーチング		$3.2 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-6}$	
②-2 CRD レール吊り治具	$1.1 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-6}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$9.1 \times 10^{-5}$	
②-3 電線管	$3.9 \times 10^{-5}$	$2.9 \times 10^{-6}$	$4.4 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-5}$	
合計	$1.9 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-3}$	

別表(1)-7 異常時の敷地境界での実効線量の内訳 (PCV バウンダリ施工箇所開放)

	合計 (mSv)	内訳 (mSv)			
		洗浄または 切断による ダスト浮遊	切断片の 落下による ダスト浮遊	AWJ 影響範囲の 表面剥離による ダスト浮遊	
②-1 CRD レール 切断作業	②-1-1 CRD レール	$4.5 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$2.9 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-1}$
	②-1-2 ガイドピン		$4.2 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	
	②-1-3 CRD レール上 グレーチング		$1.4 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-3}$	
合計	$4.5 \times 10^{-1}$	$3.1 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-1}$	

以上