

高レベル放射性物質研究施設（CPF） の核燃料物質使用変更許可申請について

（別添 6：高レベル放射性物質研究施設）

令和2年（2020年）12月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター

再処理技術開発試験部 研究開発第1課

1. 本申請の背景

- 最新の「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」では、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所（以下「1F」という。）の燃料デブリ取り出し及びデブリ分析が計画されている。
- 取り出された試料は、燃料デブリを取り扱うための使用許可を取得した施設の中から、サンプルや分析目的に適した施設に依頼することとなっている*1。
- 高レベル放射性物質研究施設（以下「CPF」という。）では、少量の燃料デブリの分析を行うために必要な変更許可申請を実施する。
- その他、本件に併せて記載の適正化に関する申請を実施する。
- 核燃料サイクル工学研究所における1Fデブリ分析の許認可取得予定については、令和2年9月15日に実施した規制庁面談の配付資料*2から、大きな変更はない。

*1 福島第一原子力発電所で取得した原子炉格納容器内で採取した堆積物等の構外分析について、東京電力ホールディングス株式会社(2019)

*2 令和2年9月15日に実施した規制庁面談（件名：日本原子力研究開発機構との1Fデブリ分析の許認可予定に係る面談）の配布資料「JAEAにおける1Fデブリ分析の許認可予定について」

1.1 CPFにおける1F燃料デブリの分析項目

CPFにおける1F燃料デブリの分析計画は、国の廃炉・汚染水対策事業で進められているプロジェクトに対応しており、以下のとおりである。

区分	「少量燃料デブリ」の分析 (UやPuの割合が高い可能性があるもの)
輸送分類	A型輸送
質量 (1回あたりの輸送量)	数 g 程度
分析項目	元素分析、結晶構造分析、放射線測定等* (例：元素分析に必要な量 0.05g) * 既許可範囲内の分析を行う。

2. 1F燃料デブリ分析の追加に伴う変更内容

本文

- 使用の目的に1F燃料デブリ分析に関する事項を追加
- 使用の方法に1F燃料デブリ分析に係る具体的な手順を記載
- 貯蔵施設の位置、構造及び設備に除染室内貯蔵施設を追加

添付書類1

- 使用の方法に1F燃料デブリ分析に係る具体的な安全対策を記載

添付書類2

- 法改正に伴う変更（記載の適正化）

2.1 1F燃料デブリ分析の安全設計基本方針

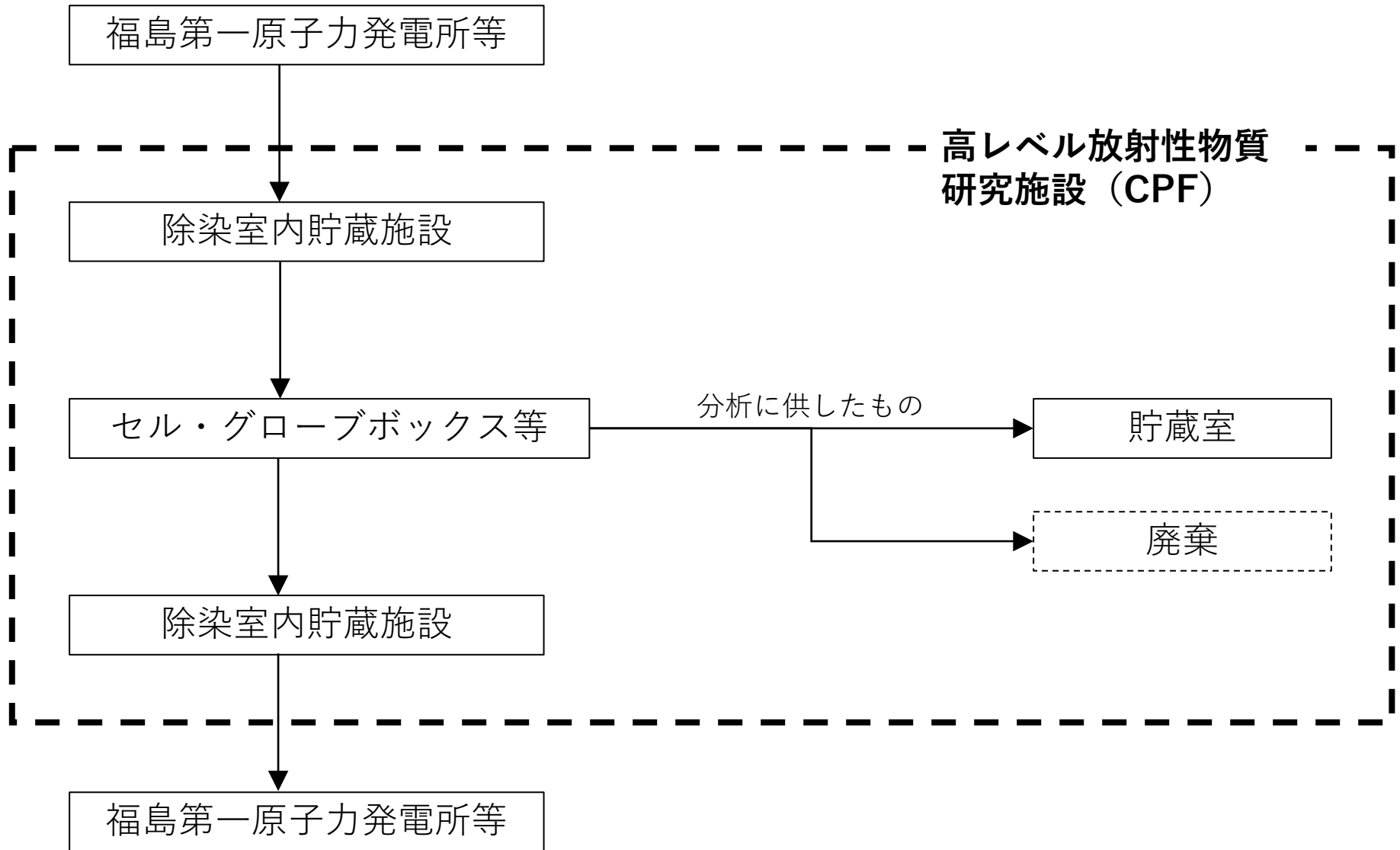
【前提条件】

- ① 1F燃料の情報から想定される厳しい線源条件で被ばく評価を行う。
- ② 金属等の化学的活性を持つ物質が含まれる可能性を考慮する。
- ③ 放射線分解による水素発生を考慮する。

【基本方針】

- 全ての作業において、作業員の内部被ばくのリスクが小さいこと、遮蔽が十分であること。（作業員被ばく）
- 1F燃料デブリの取扱いにおいて、気密性が維持されていること。（閉じ込め）
- 全ての作業において臨界に達することがないこと。（臨界）
- 化学的活性を持つ試料の取り扱いで、火災による延焼がないこと。（火災）
- セル及びグローブボックスでの取り扱いにおける水素ガスの発生に対して、爆発が生じないこと。（爆発）
- 事故の発生において、放射線被ばくのリスクが小さいこと。（公衆被ばく）
- 自然災害を含む外的事象の発生において、公衆に過度の放射線被ばくを及ぼさないこと。（公衆被ばく）

2.2 CPFにおける1F燃料デブリ分析フロー

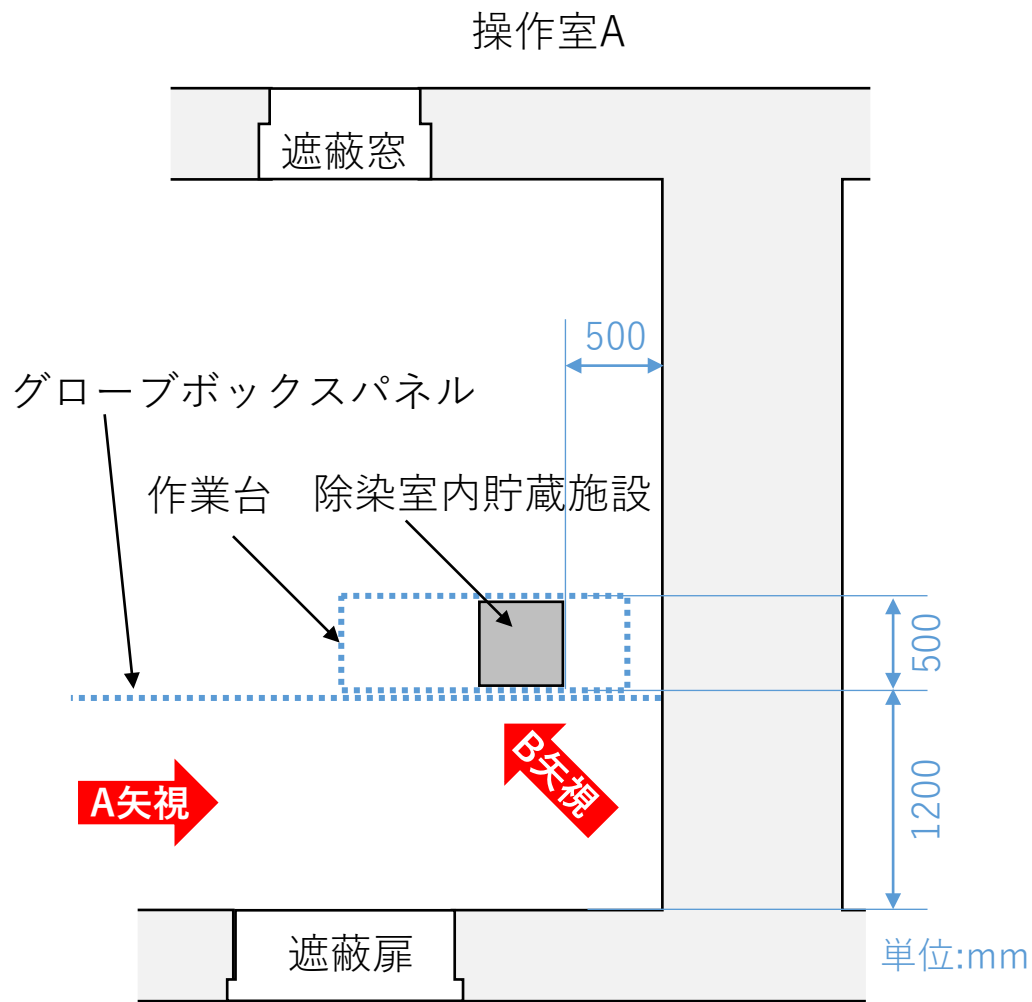


3. 被ばく対策

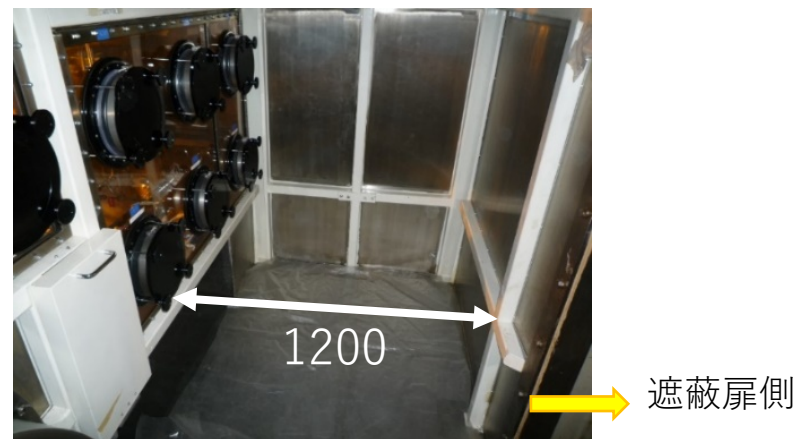
3.1 除染室内貯蔵施設の遮蔽評価

(1) 計算条件

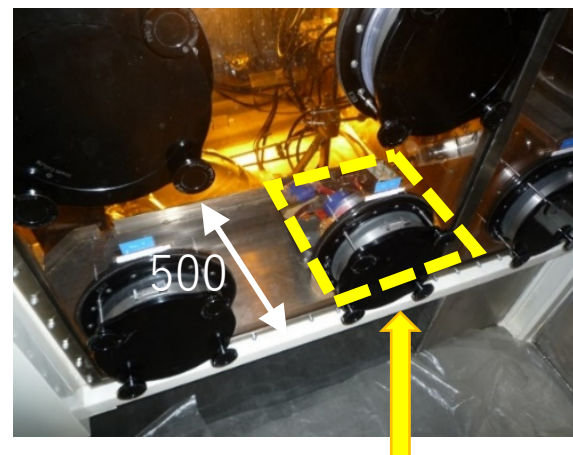
- 初期燃料組成、断面積ライブラリ、燃焼度をパラメータとして、冷却期間を踏まえて計算を行い線源条件を決定した。
- 除染室内貯蔵施設の位置と外観を図3-1に示す。
- 除染室内貯蔵施設と遮蔽体の配置（図3-2）から評価点での線量当量率が最も高くなる条件で評価した。
- 放射線遮蔽材は、セルの構造材（普通コンクリート、鉛ガラス、鉛、鉄）とした（表3-1）。
 - ✓ γ 線のスペクトルは「ORIGEN2.2」を使用し、中性子線のスペクトルは「ORIGEN-S」を使用した。
 - ✓ γ 線の評価は、点減衰核法を用いた遮蔽計算コード「QAD-CGGP2R」で行った。
 - ✓ 中性子線の評価は、一次元輸送法を用いた遮蔽計算コード「ANISN」で行った。
 - ✓ γ 線強度から線量当量率へのエネルギーごとの変換係数は添付書類1の表2.6、中性子線の変換係数は添付書類1の表2.7に示すものを用いた。



(平面図)



A 矢視



B 矢視

除染室内貯蔵施設

図 3 - 1 除染室内貯蔵施設の位置と外観

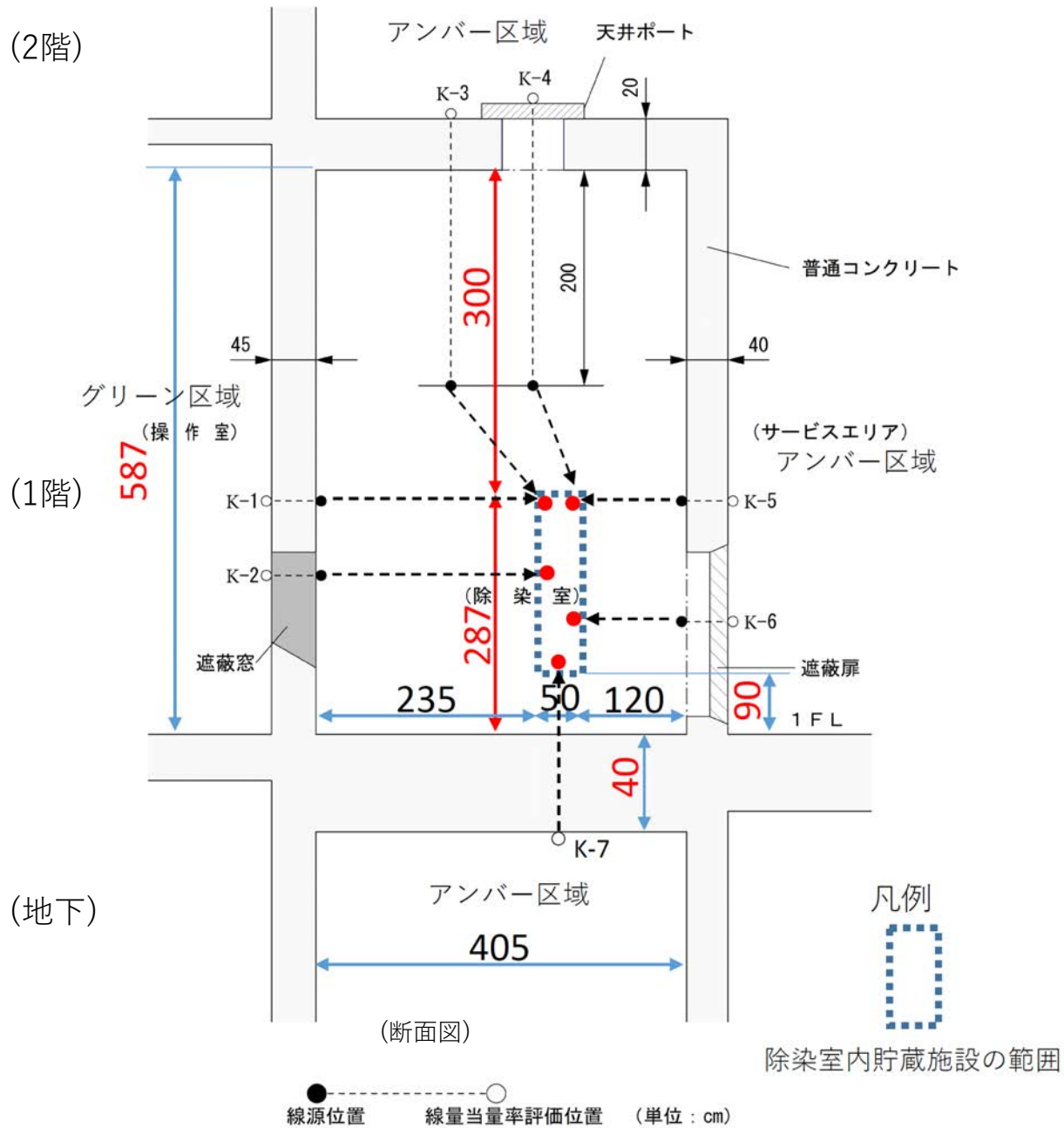


図 3-2 計算モデル(除染室内貯蔵施設)

表 3-1 遮蔽能力評価の条件

評価 点 番号	場所	線源位置		遮蔽体の条件			線量率評価位置		設計基準 線量当量 率 (μ Sv/h)
		位置	遮蔽体内壁 との距離 (cm)	材料	比重	厚さ (cm)	位置	遮蔽体外壁 との距離 (cm)	
K-1	操作室 側の壁	壁の内側	235	普通コン クリート	2.2	45	壁の外側	0	12.5
K-2	遮蔽窓	窓の内側	235	鉛ガラス	3.16 2.46	22.7 19.7	窓の外側	0	
K-3	天井	天井真下	300	普通コン クリート	2.2	20	天井真上	0	200
K-4	天井 ポート	天井ポー ト真下	320	鉛	11.3	5	天井ポー ト真上	0	
K-5	背面壁	壁の内側	120	普通コン クリート	2.2	40	壁の外側	0	
K-6	遮蔽扉	扉の内側	145	鉄	7.8	15	扉の外側	0	
K-7	床	床上	90	普通コン クリート	2.2	40	地階天井	0	

3.1 除染室内貯蔵施設の遮蔽（続き）

(2) 評価結果

- MOX燃料よりもUO₂燃料が最も厳しい評価結果となった。
- UO₂燃料で評価した結果、全ての線量率評価点において、設計基準線量当量率を超えない（表3-2）。

表3-2 各評価位置における線量当量率

評価点 番号	線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)						設計基準 線量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)
	UO ₂ 燃料デブリ			MOX燃料デブリ			
	γ 線	中性子線	合計	γ 線	中性子線	合計	
K-1	9.2	0.0	9.2	0.9	0.0	0.9	12.5
K-2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	
K-3	159.1	0.0	159.14	18.4	0.0	18.4	200
K-4	6.5	0.1	6.6	0.4	0.0	0.5	
K-5	54.7	0.0	54.7	5.7	0.0	5.8	
K-6	9.5	0.2	9.7	0.9	0.0	0.9	
K-7	83.0	0.0	83.0	8.7	0.0	8.7	

3.2 グローブボックス作業における外部被ばく対策

- グローブボックス作業における外部被ばくは、除染室内貯蔵施設からの搬出物の表面線量率がアンバー区域の設計基準線当量率である $200 \mu\text{Sv/h}$ (20 mSv/年) を超えないように管理するため、放射線業務従事者の線量限度である 50 mSv/年 及び 100 mSv/5年 を超えない。

3.3 管理区域境界の線量

- 除染室から最も近い管理区域境界であるトラックロックにおける線量率を評価した。計算モデルを図3-3に示す。
- 評価点は、除染室内貯蔵施設の1F燃料デブリに由来する放射線と廃棄物貯蔵庫の廃棄物缶に由来する放射線が重畳する「廃棄物貯蔵庫側壁」とした。廃棄物缶による線量率は、既許可の評価結果から $1.7 \mu\text{Sv/h}$ である。
- これらの条件を用いて、計算*した管理区域境界における線量率は「 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ (1.2 mSv/3月^{**})」であることから、管理区域の設定基準である 1.3 mSv/3月^{**} ($2.6 \mu\text{Sv/h}$) を下回る。

*点減衰核法を用いた遮蔽計算コード「QAD-CGGP2R」により計算。

**作業者の3月間の滞在時間を500時間と想定した。

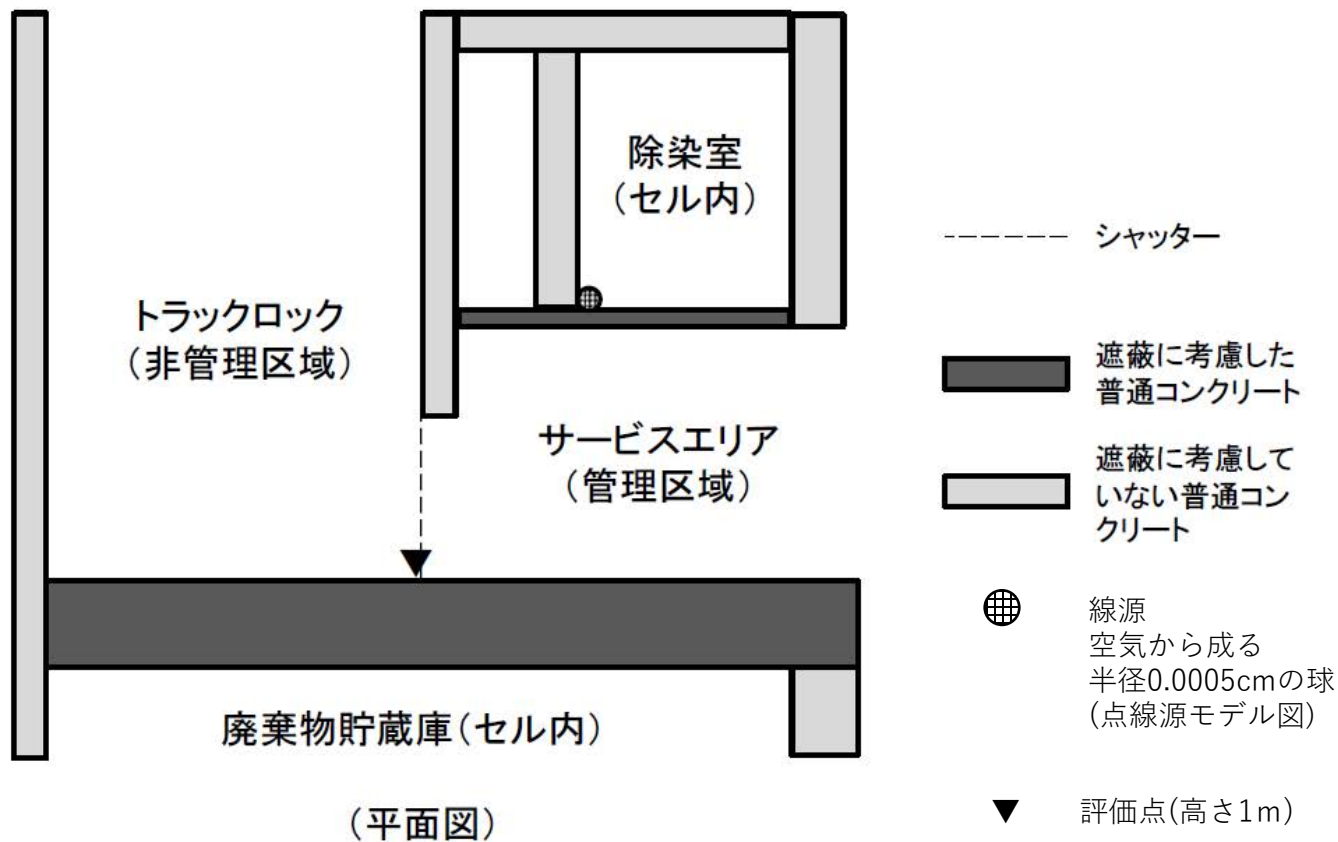


図 3 - 3 計算モデル(管理区域境界線量)

4. 臨界防止

セル等での試験等の場合の核的制限値は、 ^{233}U 、 ^{235}U とPuの合計量が220gである。

1F燃料デブリを取り扱う使用場所の核的制限値は、ダブルバッチを考慮してプルトニウムの最小臨界量の0.43倍した値とし、 ^{233}U 、 ^{235}U とPuの合計量で220gとする。

1F燃料デブリの最大取扱量は10gであり、核的制限値よりも十分に小さいため臨界に達することはない。また、貯蔵施設における管理も、核的制限値（ ^{233}U 、 ^{235}U とPuの合計量220g）以下である。

5. 火災等による損傷の防止

(1) 金属火災事故防止対策

1F燃料デブリに含まれる金属が、空気中の酸素と反応する可能性がある。想定される含有金属は、鉄、クロム、ニッケル及びジルコニウムであり、これらの元素は、形状が粉体のときに常温で酸素と反応する可能性がある。

CPFにおいて取り扱う1F燃料デブリは少量であるが、化学的活性な金属を含む可能性を考慮し、ガラスや金属等の不燃又は難燃性材料の容器内で取り扱い、万一酸素との反応に起因して発火しても延焼を防ぐような対策を行う。

(2) その他の火災事故防止対策

セル内にはウエス、紙等の可燃物があるが、セル自体は不燃性であり、またセルの内装機器の大部分は不燃性又は難燃性であるので、2次災害を誘発するおそれはない。また、セル内可燃物についてもその量をできるだけ抑え、火災の発生、拡大を防止する。

5. 火災等による損傷の防止（続き）

(3) 水素爆発事故に係る評価

1 F 燃料デブリ10gにより水素ガス発生した場合を想定し、取り扱い設備内での水素濃度（最大想定）を評価した。

- ①デブリ10gがすべて水と仮定した。
- ②取扱いを想定しているグローブボックスのうち、体積の最も小さいグローブボックスである「GA-3E」（幅1m×高さ1m×奥行0.68m、容積680 L）を選定した。
- ③グローブボックス内温度は27°Cとした。

発生する水素量は、以下のとおり。

$$\frac{10 [g]}{18 \left[\frac{g}{mol} \right]} \times 22.4 \left[\frac{L}{mol} \right] \times \frac{(273 + 27) [K]}{273 [K]} = 13.675 [L] \cong 13.7 [L]$$

よって、水素濃度（最大想定）は、

$$13.7 [L] / 680 [L] \times 100 [\%] = 2.0 [\%]$$

水素の爆発下限値 4.0 %を下回るため爆発しない。

5. 火災等による損傷の防止（続き）

(4) アルカリ融解、酸融解での異常反応に係る評価

硝酸に対する難溶性が知られている燃料デブリの分析前処理として、アルカリ融解や酸融解を行う。

アルカリ融解や酸融解では、サンプルに対して一定割合の融剤（ナトリウム塩、カリウム塩等）を加え、電気炉にて600～800 °Cの範囲で一定時間加熱融解し、放冷後、融成物に純水及び硝酸を加えて加熱溶解を行う。

融剤として使用する無機塩は、化学的に安定であり、高温に加熱しても爆発を伴う異常反応は起こらない。

6. 直接線及びスカイシャイン線による環境線量評価

1 F 燃料デブリの貯蔵等からの放射線による一般公衆の被ばくは、施設に内蔵されている放射性物質が放出する放射線による被ばくに包含されるため、既許可の環境線量評価結果から変更はない。

7. 安全上重要な施設の再評価

CPFの事故時評価における敷地境界の公衆の実効線量の評価値は、ソースタームとなる核燃料物質の組成の影響が大きい。公衆の過度の放射線被ばくを避けるため、核燃料物質の組成について、次式に従い求めた値(D)が制限値(S)以下となるように管理している。

$$D : D = X_{\text{Pu238}} \times K_{\text{Pu238}} + X_{\text{Pu239}} \times K_{\text{Pu239}} + X_{\text{Pu240}} \times K_{\text{Pu240}} + X_{\text{Pu241}} \times K_{\text{Pu241}} + X_{\text{Pu242}} \times K_{\text{Pu242}} \\ + X_{\text{Ce144}} \times K_{\text{Ce144}} + X_{\text{Am241}} \times K_{\text{Am241}} + X_{\text{Cm242}} \times K_{\text{Cm242}} + X_{\text{Cm244}} \times K_{\text{Cm244}}$$

- S : ① 9.2×10^8 : 使用済み燃料及び照射済燃料ピンの場合
② 1.08×10^9 : ①以外（未照射MOXペレット、1F燃料デブリ等）の場合

しかし、1F燃料デブリの場合、D値が制限値と比べて5倍ほど高くなる。よって、1F燃料デブリ1gをPu 5gとみなして管理することとする。これにより事故時評価における敷地境界の公衆の実効線量は、既許可の結果から変更はない。

したがって、公衆の実効線量が発生事故あたり5 mSvを超えないため、「安全上重要な施設」に該当しない。