

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(臨界管理の方法について)
11月20日面談資料改訂版

2020年12月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 想定される燃料デブリの性状

一部改訂

燃料デブリは、燃料と被覆管等が溶融・固化した状態（酸化物、合金、炉心溶融物－コンクリート混合物など）が想定される。

- 燃料と被覆管等が混ざり合うことで、同量の燃料と比べて核分裂性物質は少なくなる。
- 1F 1～3号機にはガドリニア (Gd_2O_3) を添加した燃料が装荷されており、燃料デブリ中に中性子吸収効果の高いガドリニウムが含まれている可能性がある。
- 燃料の燃焼度は、原子炉内で使用された期間や炉心内の燃料配置等により異なる。
燃料デブリは、高い燃焼度の燃料と低い燃焼度の燃料が混在している可能性があり、燃焼することで核分裂性物質が減少している。
- 燃料デブリの性状は原子炉内で均一でなく、採取する号機やその位置により異なる。

2. 臨界管理の方法

一部改訂

第2棟は、核燃料物質を含む燃料デブリ等を取り扱うため、臨界防止のための方法を講ずる。第2棟では、燃料デブリ等を取扱量及び形状を制限することで、燃料デブリ等に含まれる核燃料物質が臨界に達しない設計とする。

- コンクリートセルでは、燃料デブリ等を分析試料として取り扱う際、形状等が変化する前処理を行うため質量管理で臨界管理を行う。また、誤操作による二重装荷を考慮し、安全裕度を確保する。
- 試料ピットは、燃料デブリ等を一時的に保管する設備で、XXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXに設置する。XXXXXXXXXXがあり、各XXXXXXXXXXに燃料デブリ等(XXXX以下)を収納した容器をXXXXまで積み上げて保管する。最大容量はXXXXXX、XXXXXXである。試料ピットでは、質量管理及び形状管理*で臨界管理を行う。

※ 複数の燃料集合体を収納する場合には収納間隔を制限したラック、溶液状の核燃料物質を取扱う場合には厚さを制限した平板型、円環状の槽を用いるなど、核燃料物質を収納する容器等の形状や寸法を制限することで、臨界とならないよう管理することを一般的に形状管理という。

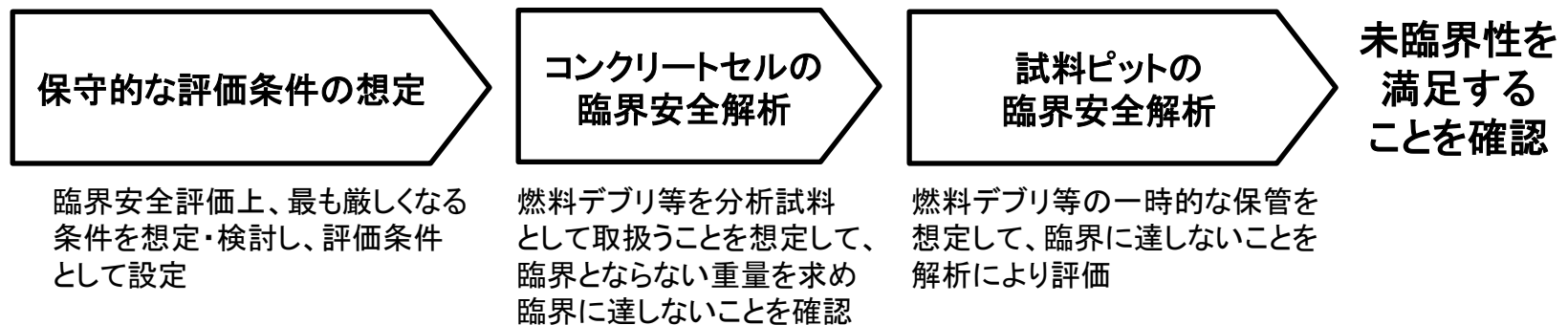
第2棟の形状管理では、燃料デブリ等を収納する試料ピットのXXXXXXXXXXの径、間隔等を制限することで、臨界とならないよう管理する。

3. 臨界安全評価の基本方針

第2棟で想定する燃料デブリ等の最大取扱量及び臨界管理方法を下表に示す。

取扱場所	最大取扱量	臨界管理方法
コンクリートセルNo.1～4: 合計	■	質量管理
試料ピット ■	■	質量管理及び形状管理

また、以下のフローに基づき、未臨界性を満足することを確認する。なお、未臨界性の判断基準は、中性子実効増倍率 (k_{eff}) に標準偏差の3倍 (3σ) を加えた値が 0.95以下※¹ となることとする。



※1: 『臨界安全ハンドブック第2版』, 日本原子力研究所, (1999)

4. 保守的な評価条件の想定

一部改訂

「1. 想定される燃料デブリの性状」に示した燃料デブリについて、臨界安全評価上、以下の保守的な条件を想定した。

- 燃料デブリ等のすべてが核燃料で構成されていると想定する。
- 燃焼した燃料より核分裂性物質を多く含む、**新燃料**を想定する。
- 中性子吸収効果を有するガドリニウムを考慮しない。
- 酸化物と比較して核分裂性物質の重量割合が高くなる金属を想定する。

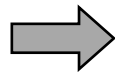
さらに、1F 1及び2号機、並びに3号機の UO_2 燃料及びMOX燃料について比較・検討を行い、臨界安全評価上、厳しいもので評価を行うこととした。

5. 比較に用いる燃料組成の検討(1/2)－UO₂燃料－

一部改訂

1F 1～3号機に装荷されたUO₂燃料(新燃料)の²³⁵U濃縮度に基づき、UO₂燃料の燃料組成を核分裂性物質の重量割合が高くなるように設定した。

	実績値[wt%]
²³⁵ U濃縮度	■



	評価値[wt%]
	■

核分裂性物質である²³⁵Uの濃縮度を保守的に■とした。

$$^{235}\text{U濃縮度} = \frac{^{235}\text{U}}{\text{U}} \times 100$$

5. 比較に用いる燃料組成の検討(2/2)－MOX燃料－

一部改訂

1F 3号機に装荷されたMOX燃料(新燃料)のPu含有率等に基づき、MOX燃料の燃料組成を核分裂性物質の重量割合が高くなるように設定した。

	実績値[wt%]	評価値[wt%]
Pu含有率	■	■
²³⁵ U濃縮度	■	■*

- ① Pu + ²⁴¹Amの含有率を ■ とした。
- ② ²³⁵Uの濃縮度を ■ * とした

$$\text{Pu含有率} = (\text{Pu} + {}^{241}\text{Am}) / (\text{U} + \text{Pu} + {}^{241}\text{Am}) \times 100$$

$${}^{235}\text{U濃縮度} = {}^{235}\text{U} / \text{U} \times 100$$

$$\text{*} {}^{235}\text{U} / \text{U} \times 100 = \text{■} \text{は}$$

$${}^{235}\text{U} / (\text{U} + \text{Pu} + {}^{241}\text{Am}) \times 100 = \text{■} \text{に相当}$$

・ Pu同位体組成等

核種	実績値[wt%]	評価値[wt%]
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■
■	■	■

中性子を吸収する核種である ■ の存在比 (■) を ■ に加えた。また、 ■ の存在比を小数点以下で切捨て、その分 (■) を ■ に加えた。

$$\text{組成} = \text{核種} / (\text{Pu} + {}^{241}\text{Am}) \times 100$$

6. 解析コードの概要

一部改訂

第2棟の臨界安全解析に使用する解析コードの概要を示す。

- ・コード名 : MVP(連続エネルギーモンテカルロコード)
- ・使用目的 : コンクリートセル、試料ピットの未臨界性評価
- ・開発機関 : 日本原子力研究開発機構
- ・解析コードの概要
 - 核燃料物質、構造材等の幾何形状等を入力とし、中性子の発生、飛行、衝突といった事象を追跡、これを処理することで中性子実効増倍率を求めるものである。
 - 幾何形状の入力に際し、直方体、球等のあらかじめ用意された基本形状を組み合わせることで、複雑な形状の解析ができる。なお、球とその他の形状を組合せ、さらに球の半径を変化させることで非均質性及び粒子径を考慮した解析を行うことができる。
 - 本コードのSTGM(確率論的幾何形状モデル)は、高温ガス炉などの燃料粒子が不規則に分布した燃料を用いる黒鉛を減速材とした体系を対象として開発、検証が行われてきた。近年では、燃料デブリや水を減速材とする体系における評価に使用されるようになってきているが、水を減速材とする体系に適用した場合、燃料粒径が大きくなると中性子実効増倍率が過大な評価となること等が指摘されている*。
 - 第2棟の臨界安全評価では、上記の指摘及び水を減速材とする体系における許認可実績が十分でないことを踏まえ、STGMを使用していない。

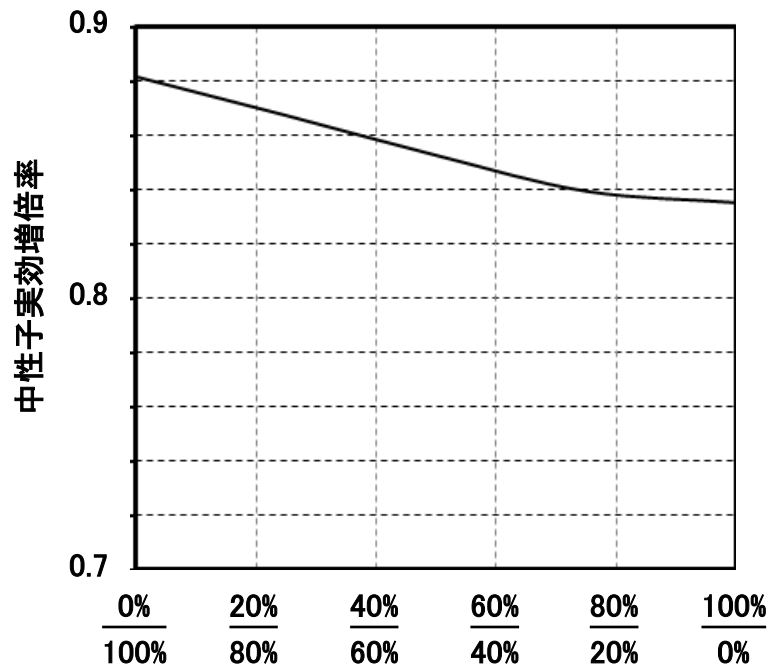
※: 『確率論的幾何形状モデルの軽水体系への適用について』, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2018-010, (2018)

7. UO_2 燃料とMOX燃料の比較検討

UO_2 燃料とMOX燃料を比較した場合、MOX燃料の方が臨界安全評価上、厳しい評価となる。

また、1F 3号機には、 UO_2 燃料及びMOX燃料が装荷された。これらの核燃料については、溶けて混ざり合っていることが想定されるため、「5. 比較に用いる燃料組成の検討」の検討結果を用い、 UO_2 燃料とMOX燃料の割合をパラメータとして、臨界安全評価上、最も厳しい評価（中性子実効増倍率が最大）となる条件を検討した。

その結果、燃料デブリ等をMOX燃料とした場合が厳しい条件となる。



UO_2 燃料とMOX燃料の割合(上段が UO_2 燃料、下段がMOX燃料の割合を示す)

— 非均質性の考慮について —

一部改訂

第2棟では、燃料デブリの分析の前処理として溶解を実施する。

- 溶解では、粉体状の燃料デブリ等を溶かすため、粉体(粒子)が溶液中に分散して存在する状態(非均質な状態)となる可能性がある。また、粉体が徐々に溶けていくため、粒子径は徐々に小さくなる。
- 過去の知見から燃料デブリの溶解は難しく、非常に溶けにくいいため、残渣が発生する可能性がある。また、既存施設にて実施されたTMI-2燃料デブリ試料に対するアルカリ融解の適用確認のなかで、一部の試料の溶解時に沈殿物が発生することが確認されている。これら残渣、沈殿物が溶液中に分散することで非均質な状態となる可能性がある。

以上を踏まえ、均質体系での解析に加えて、非均質体系での解析を実施し、中性子実効増倍率が0.95となるPuの重量を評価した。

— 解析条件 —

一部改訂

コンクリートセルにおいて、臨界に達しない重量を評価した。

コンクリートセルでは、燃料デブリ等の受入、外観確認、切断、溶解等を行うため、固体、粉体及び液体の形態が想定される。このうち溶解処理を考慮し、減速系の解析モデルを用いて臨界に達しない重量を評価した。

解析条件

(1) 解析コード : MVP2.0

(連続エネルギーモンテカルロコード)

(2) 解析モデル

- 表面積が小さく、中性子の漏れの少ない球とする。

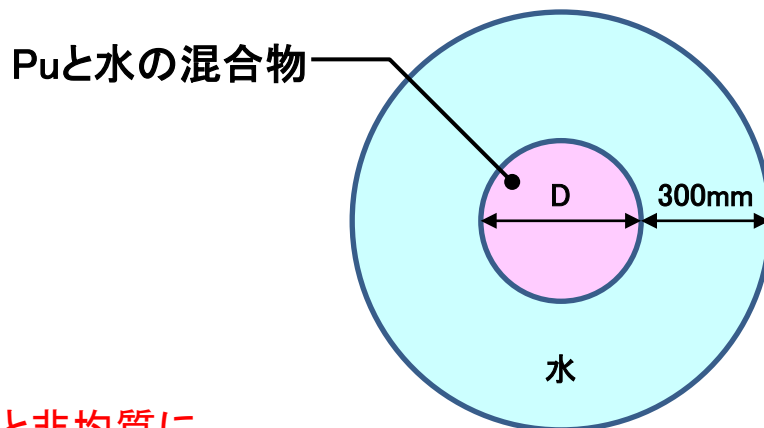
- 燃料デブリ等はPuと水の混合物とする。

なお、Puと水の混合物は均質にモデル化した場合と非均質にモデル化した場合を考慮する。

- 均質体系での解析では、Puと水の混合物の直径(D)について、Puの濃度をパラメータとして保守的な結果が得られるよう設定する。

- 非均質体系の解析では、Puが粒子状に存在するものとし、Puと水の混合物における直径(D)について、Puの粒径及び粒子間距離をパラメータとして保守的な結果となるように設定する。

- 十分な中性子の反射効果が得られる厚さ(300mm)の水反射と仮定する。



減速系の解析モデル

均質体系の評価手順

一部改訂

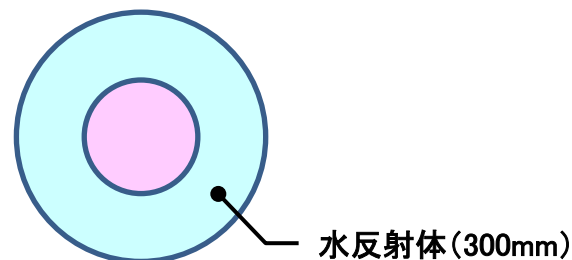
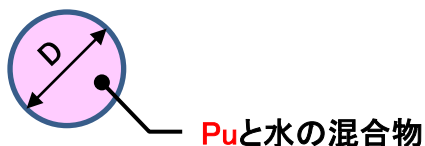
均質体系にて中性子実効増倍率が0.95となる Pu 重量を評価する。評価は以下の手順で実施した。

- ① Pu 重量を仮定する [REDACTED]。
- ② 仮定した Pu 重量を基に、 Pu の濃度をパラメータとして Pu と水の混合物の直径を設定する。
なお、 Pu の濃度については水対燃料体積比 (V_m/V_f) を30~40で変化させることで、約470~620g/Lで変化させた。ここで、 V_m は水の体積、 V_f は燃料の体積をいう。
- ③ Pu と水の混合物の周囲に、十分な中性子の反射効果が得られる厚さ(300mm)を設定する。以上の条件で解析コードMVPを用いて中性子実効増倍率を求める。
- ④ 上記①から③を繰り返して、中性子実効増倍率が0.95となる Pu 重量を評価する。

- ① Pu 重量を仮定
- ② Pu 重量を基に Pu と水の混合物中の
 Pu の濃度をパラメータとして球の直径(D)
を変化させる
→臨界になりやすい条件を設定



- ③ Pu と水の混合物の周囲に
300mmの水反射体を設定
→臨界になりやすい条件を設定



—非均質体系の評価手順①—

一部改訂

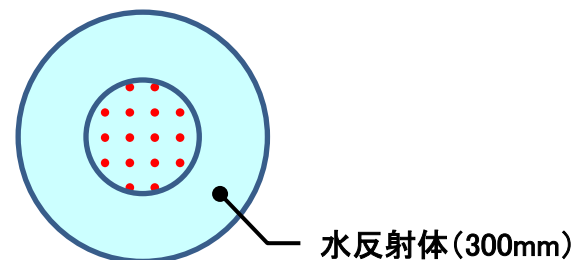
非均質体系にて中性子実効増倍率が0.95となるPu重量を評価する。評価は以下の手順で実施した。

- ① Pu重量を仮定する [REDACTED]。
- ② 仮定したPu重量を基に、Puと水の混合物中にPu粒子を正方格子状に配置し、その粒子径及び間隔をパラメータとしてPuと水の混合物の直径を設定する。なお、粒子径については0.025～0.1cm、Pu粒子の間隔については水対燃料体積比(V_m/V_f)を20～45で変化させることで、約0.06～0.27cmで変化させた。
- ③ Puと水の混合物の周囲に、十分な中性子の反射効果が得られる厚さ(300mm)を設定する。以上の条件で解析コードMVPを用いて中性子実効増倍率を求める。
- ④ 上記①から③を繰り返して、中性子実効増倍率が0.95となるPu重量を評価する。

- ①Pu重量を仮定
- ②Pu重量を基にPuと水の混合物中のPuの粒子径とその間隔をパラメータとして球の直径(D)を変化させる
→臨界になりやすい条件を設定



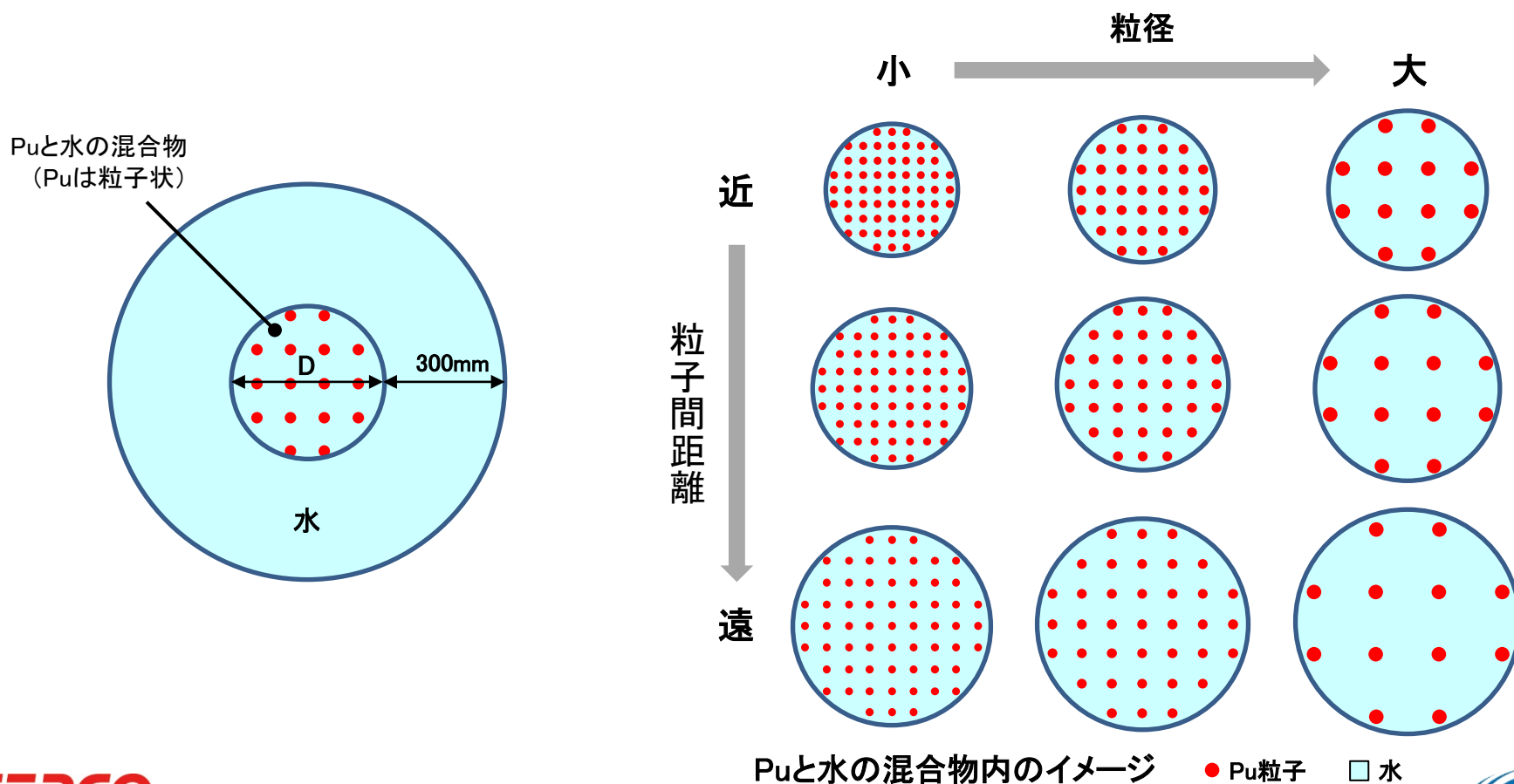
- ③Puと水の混合物の周囲に300mmの水反射体を設定
→臨界になりやすい条件を設定



—非均質体系の評価手順②—

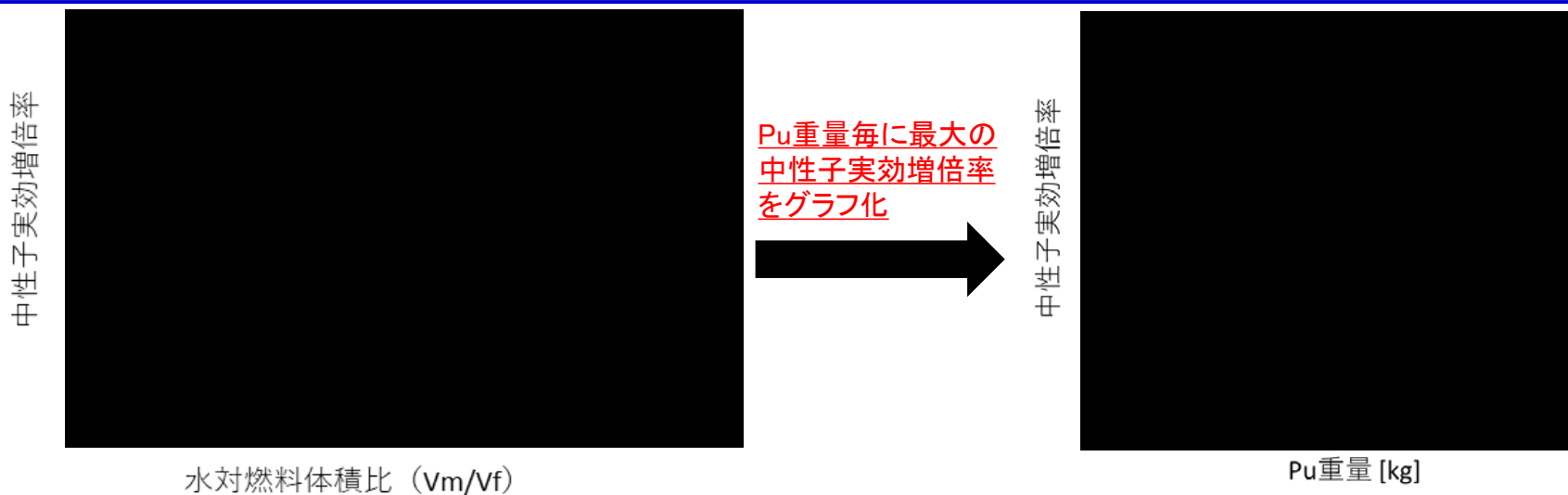
一部改訂

コンクリートセルの臨界安全解析では、既存核燃料サイクル施設の使用済燃料の溶解工程での臨界安全評価と同様にPuと水の混合物(非均質性)を想定し、粒子状のPuの粒径と粒子間の距離を変化させることで中性子実効増倍率が最大となるよう直径(D)を設定した。なお、混合物中のPu粒子間の距離については、Puに対する水の体積比を変化させることで変化した。



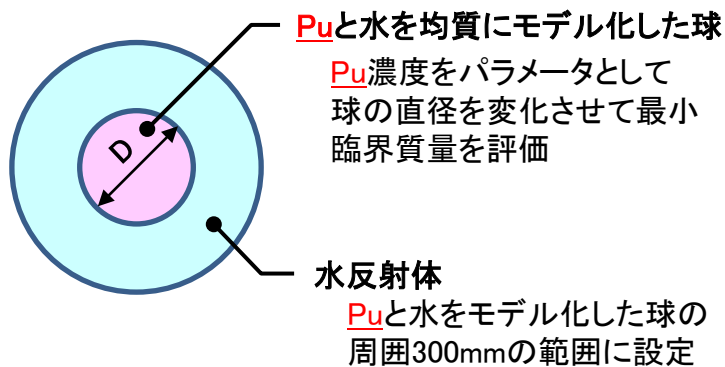
均質体系の評価結果

一部改訂



水対燃料体積比による中性子実効増倍率の変化(均質体系)

Pu重量による中性子実効増倍率の変化(均質体系)



均質体系の解析モデル

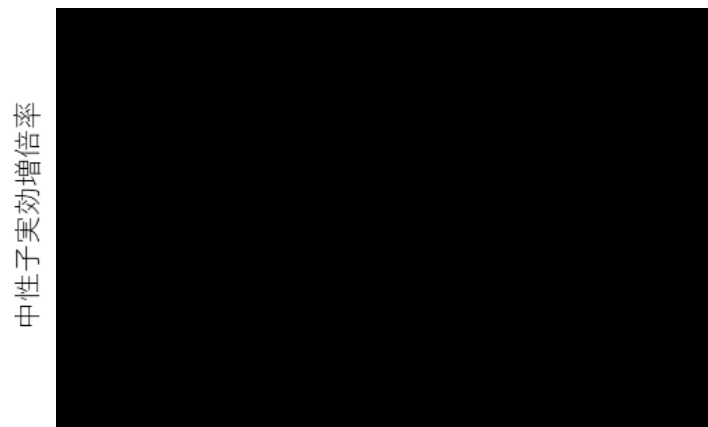
○ : Pu+水の混合物 ○ : 水

Puの重量 (中性子実効増倍率0.95)	■■■■■
水対燃料体積比 V_m/V_f (V_m :水の体積、 V_f :燃料の体積)	35
Pu濃度	約530g/L
直径 D	■■■■■

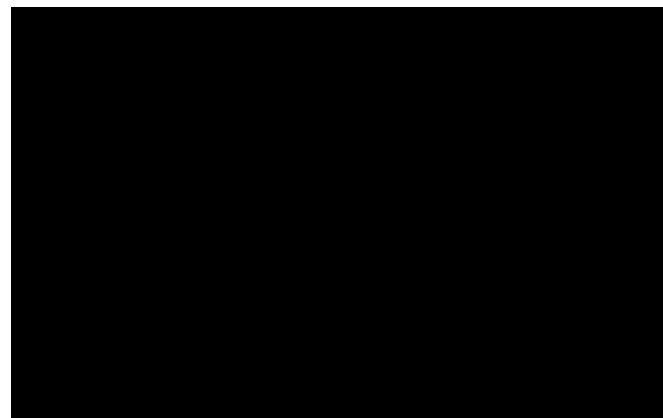
—非均質体系の評価結果①—

追加説明

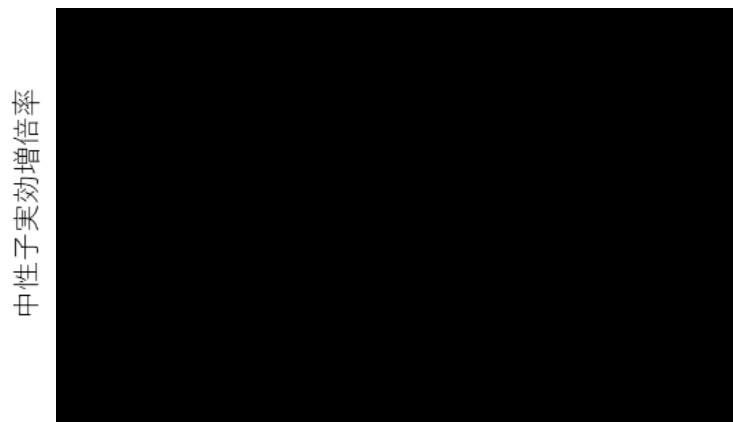
Pu重量別水対燃料体積比による中性子実効増倍率の変化(非均質体系)



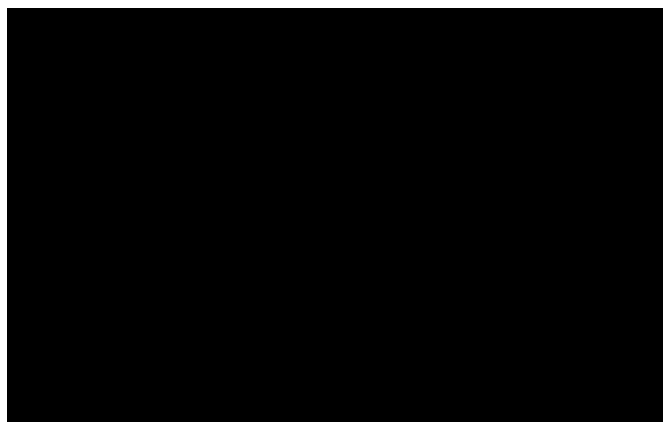
水対燃料体積比 (V_m/V_f)



水対燃料体積比 (V_m/V_f)



水対燃料体積比 (V_m/V_f)

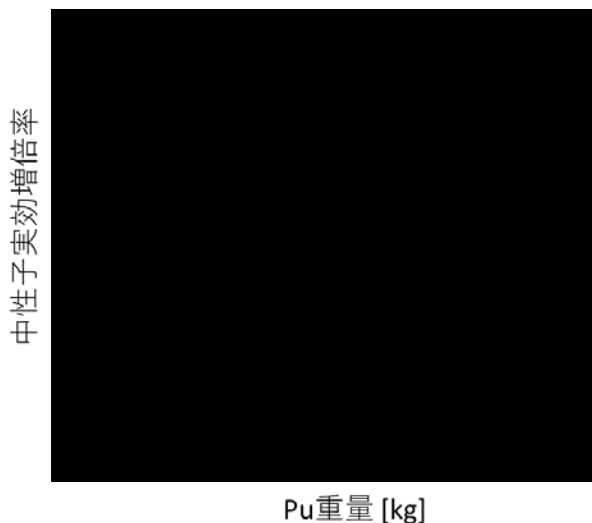


水対燃料体積比 (V_m/V_f)

⇒ Pu重量ごとの中性子実効増倍率の最大値(上図の赤丸)を用いて、Pu重量による中性子実効増倍率の変化を表すグラフとした

—非均質体系の評価結果②—

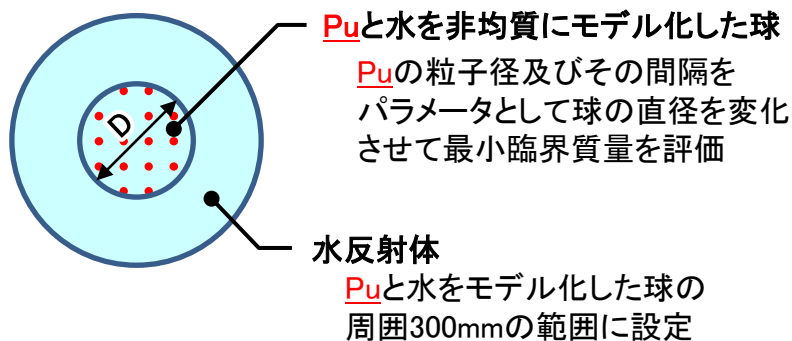
一部改訂



Pu重量による中性子実効増倍率の変化(非均質体系)

Pu重量毎のパラメータと最大中性子実効増倍率

Pu重量 [kg]	水対燃料体積比 V_m/V_f	粒径 [cm]	中性子実効増倍率
	35	0.050	0.94370
	30	0.050	0.97422
	30	0.025	0.99962
	30	0.050	1.02146



非均質体系の解析モデル

● : Pu粒子 ○ : 水

Puの重量 (中性子実効増倍率0.95)	■■■■■
Pu粒子の配列	正方格子
粒子径	0.05 cm
水対燃料体積比 V_m/V_f (V_m : 水の体積、 V_f : 燃料の体積)	30
Pu粒子の中心間距離	約0.13 cm
直径 D	■■■■■



9. コンクリートセルの臨界安全解析 (9/10)

ー均質体系と非均質体系との評価結果の比較ー

一部改訂

均質体系及び非均質体系の解析モデルにおいて、中性子実効増倍率が0.95となるPuの重量を評価した。

(評価の結果)

- 均質体系の解析モデルでの臨界に達しないPuの重量 : 
- 非均質体系の解析モデルでの臨界に達しないPuの重量 : 

→解析の結果から、非均質体系の場合が厳しい結果となる。

一 評価結果 一

一部改訂

解析結果

- (1) 臨界に達しないPuの重量: [REDACTED]
($k_{eff} + 3\sigma$ が 0.95^{*1} となる時の重量)
- (2) 誤操作による二重装荷を考慮しても臨界に達しないPuの重量: [REDACTED]
(上記(1)に二重装荷を考慮した安全係数 0.43^{*2} を乗じる)

第2棟では、コンクリートセルにおける燃料デブリ等の取扱量を [REDACTED] 以下に制限する。また、被覆管等との混在が想定される燃料デブリ等について、全て核燃料と見なす。

このとき、燃料デブリ等 [REDACTED] に含まれるPuの重量は [REDACTED] であり、さらに ^{235}U を加えた重量は [REDACTED] であり、二重装荷を考慮しても臨界に達しないPuの重量 [REDACTED] を下回り、臨界に達することはない。

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

(「8. 臨界安全評価における燃料デブリ等の組成」に示す燃料組成で評価した重量)

※1: 『臨界安全ハンドブック第2版』, 日本原子力研究所, (1999)

※2: 『Guide de Criticité』, CEA-R3114, COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE (1967)

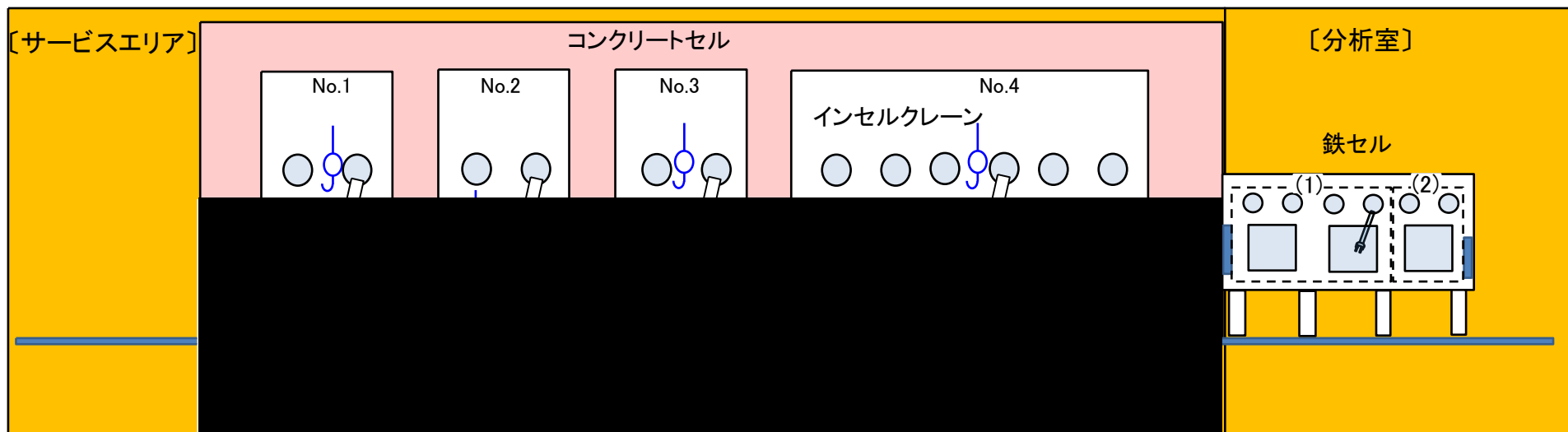
10. 試料ピットの臨界安全解析(1/5)

－試料ピットにおける燃料デブリ等の保管方法－

追加説明

試料ピットでは、以下の質量制限及び形状制限にて臨界管理を行う。

- 試料ピットは、■■■■から成り、各■■■■に燃料デブリ等(■■■■以下)を収納した容器を■■■■まで積み上げて保管する。最大容量は■■■■、■■■■である。
- ■■■■、■■■■及び各■■■■の間隔■■■■で形状を制限する。



試料ピットの臨界安全解析では、コンクリートセルでの臨界安全解析と同様に、燃料デブリ等を全て核燃料と見なし、さらに燃料粒子が収納容器内で偏ることを想定した。

— 解析条件 —

一部改訂

試料ピットにおいて、中性子実効増倍率を解析によって求め、臨界に達しないことを評価した。

試料ピット内に最大取扱量である[]の燃料デブリ等が保管されている状態を想定した。また、解析モデルには試料ピットの[]の径・深さ、各[]の間隔を考慮した。

加えて、燃料デブリ等を収納した容器を試料ピットから取り出す際を考慮し、最大取扱量[]と保守的に仮定して評価した。

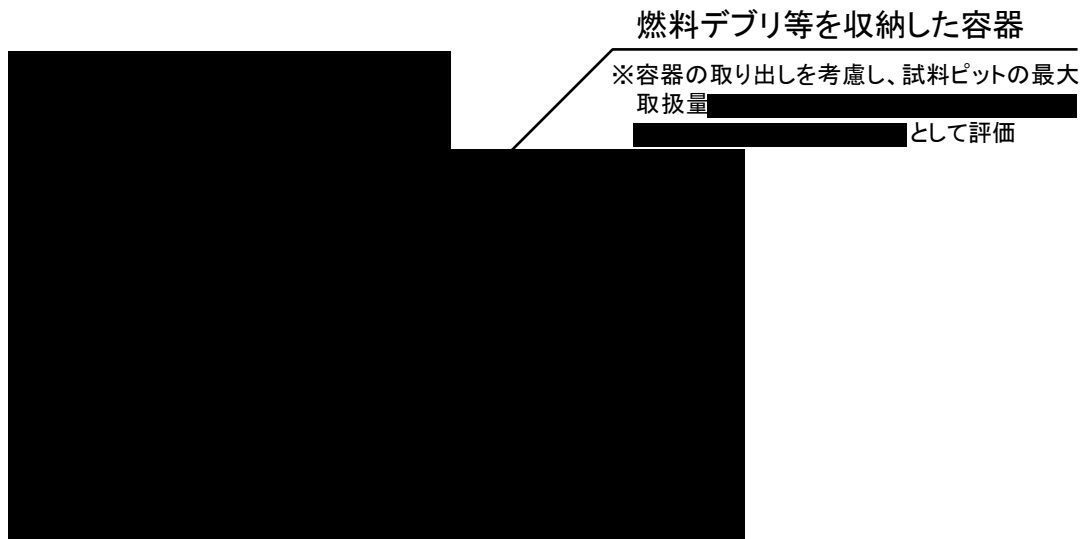
解析条件

- (1) 解析コード : MVP2.0(連続エネルギーモンテカルロ計算コード)
- (2) 解析上の燃料デブリ等の量: 最大取扱量[]

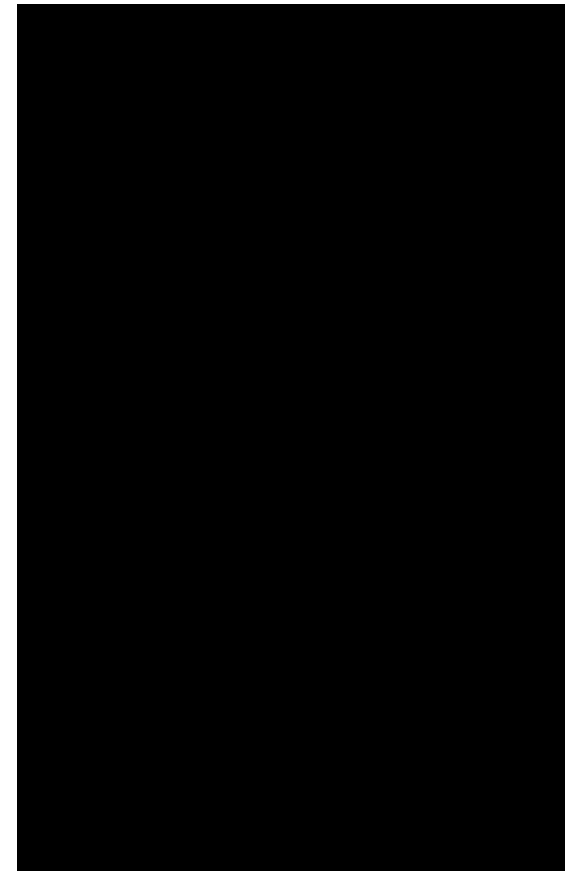
10. 試料ピットの臨界安全解析(3/5)

(3) 解析モデル

- 容器内の燃料デブリ等は、粒子状のMOX燃料と水の混合物とする。
- 粒子状のMOX燃料の粒径及び粒子間距離は、保守的な結果となるように設定する。
- 容器中の燃料デブリ等の中性子相互作用を保守的に考慮するように、燃料デブリ等を収納している容器及び試料ピットの蓋を解析上、考慮しないものとする。
- ██████████の雰囲気は空気であるが、試料ピット上部を十分な中性子の反射効果が得られる厚さ(300mm)の水反射と仮定する。



A-A断面図 (単位:mm)

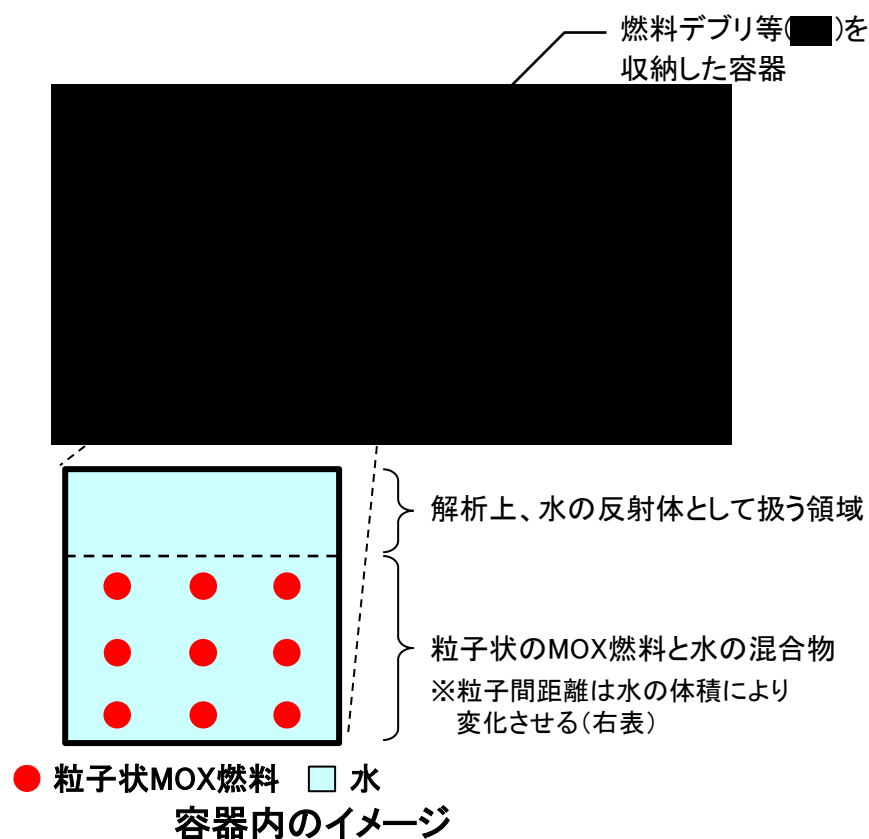


平面図 (単位:mm)

10. 試料ピットの臨界安全解析(4/5)

一部改訂

試料ピットの臨界安全解析では、粒子状のMOX燃料の粒径と粒子間の距離を変化させ、臨界安全評価上、中性子実効増倍率が最大となる条件を検討した。なお、粒径については0.08~0.15cm、粒子間の距離については、粒子状のMOX燃料と水の混合物中の水対燃料体積比(V_m/V_f)を32~38で変化させることで、約0.21~0.41cmで変化させた。



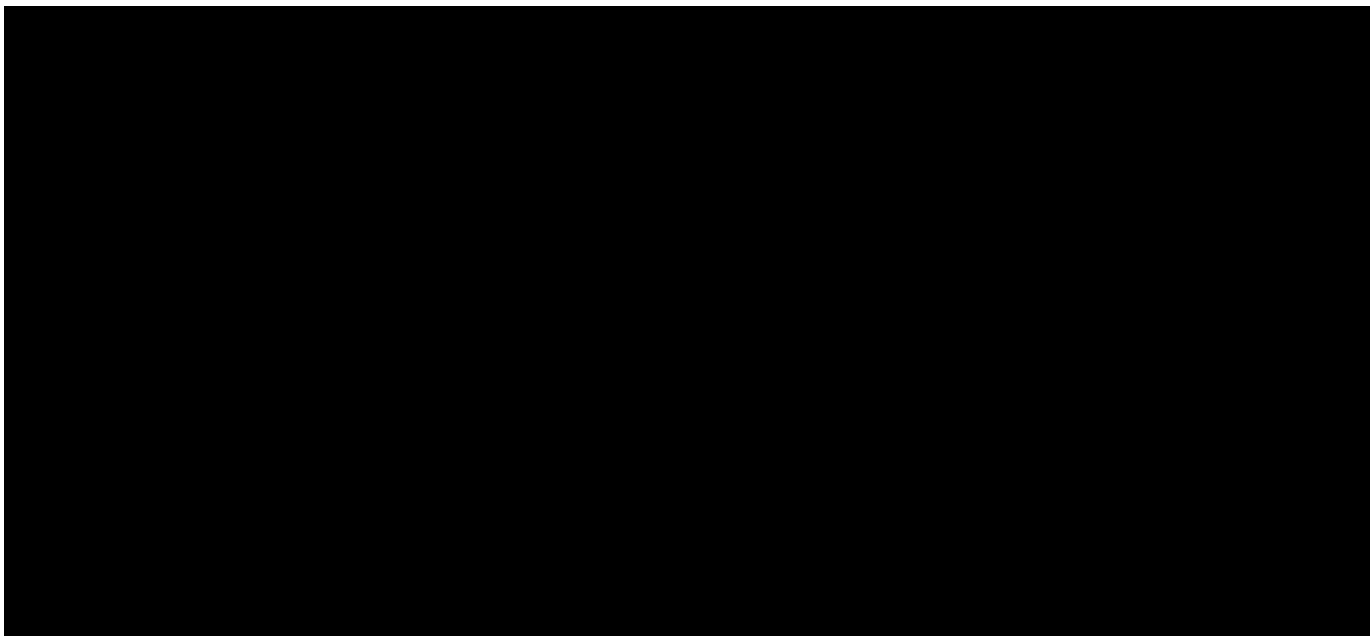
		粒径		
		小	→	大
粒子間距離	近			
	↓			
	遠			

10. 試料ピットの臨界安全解析(5/5)

一部改訂

解析結果

試料ピットにおいて、容器に収納された燃料デブリ等の一時的な保管を想定した場合の中性子実効増倍率は0.92である。これは、未臨界性の判断基準である0.95※を下回り、臨界に達することはない。



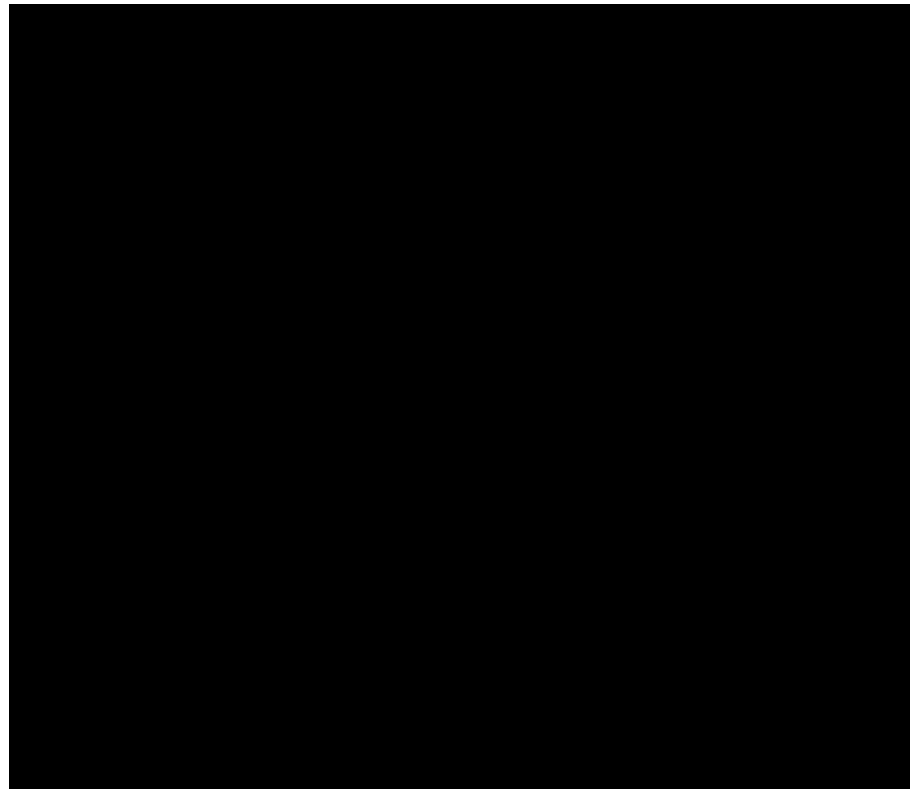
粒径別水対燃料体積比による中性子実効増倍率の変化

※: 『臨界安全ハンドブック第2版』, 日本原子力研究所, (1999)

11. 臨界管理の方法(2/5)

第2棟における臨界管理の方法のうち、質量管理ではコンクリートセルNo.2及びNo.4並びに鉄セルに重量測定器を設置し、燃料デブリ等の重量を測定する。

また、最大取扱量の異なる取扱場所へ燃料デブリ等を移動する時は、計算機又は伝票により移動先の取扱場所における存在量が最大取扱量以下であることを確認した後に移動を行うとともに、実際の移動にあたっては、作業を担当する者以外の第三者の立会いのもと、移動状況の現場確認を行う。



第2棟の機器配置図 地上1階

11. 臨界管理の方法(3/5)

－燃料デブリ等の受入れ・払出しに伴う管理－

(燃料デブリ等の受入れ)

燃料デブリ等を受け入れる際は、コンクリートセルNo.1～4の燃料デブリ等の合計重量が最大取扱量である■以下となるよう管理する。現在想定している具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 受入れに先立ち、容器ID並びに総重量(内容物+容器)及び容器重量の情報提供を受ける。
- ② 計算機又は伝票の記録により、コンクリートセルNo.1～4に存在する燃料デブリ等の量を確認し、受け入れる燃料デブリ等との合計が最大取扱量■以下であることを確認した後、燃料デブリ等を受け入れる。
- ③ 受入れ後、コンクリートセルNo.1にて容器IDの確認及びコンクリートセルNo.2にて総重量の測定を実施する。
- ④ コンクリートセルNo.4にて容器から燃料デブリ等を取り出し、内容物の重量を測定する。
- ⑤ 受入物ごとに、燃料デブリ等の重量、取扱場所等について、計算機又は伝票に記録し管理する。
なお、上記④の作業前に、受け入れた燃料デブリ等を試料ピットへ一時的に保管する場合は、総重量及び容器重量から内容物重量を評価して、計算機又は伝票に記録する。

(燃料デブリ等の払出し)

現在想定している燃料デブリ等を1F他施設へ払い出す際の具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 払出しに先立ち、計算機又は伝票の記録により払い出す燃料デブリ等を収納した容器のID及び燃料デブリ等の重量を確認し、払出先の施設へ通知する。
- ② 容器を払い出す際は、容器IDを確認し、払い出す容器で間違いがないことを確認する。
- ③ 払い出した後、計算機又は伝票の情報を更新し管理する。

11. 臨界管理の方法(4/5)

－燃料デブリ等の一時的な保管に伴う管理－

(燃料デブリ等の一時的な保管)

燃料デブリ等を試料ピットへ一時的に保管する際は、試料ピットの燃料デブリ等の合計重量が最大取扱量である■以下となるよう管理する。現在想定している具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 計算機又は伝票の記録により、試料ピットへ収納する容器内の燃料デブリ等が■以下であること及び試料ピットの保管量を確認し、それらの合計が最大取扱量■以下であることを確認した上で、試料ピットへ容器を収納する。
- ② 容器を試料ピットへ収納する際は、容器IDを確認し、収納する容器で間違いがないことを確認する。
- ③ 試料ピット内の保管場所については、計算機又は伝票に記録し管理する。

(試料ピットからの燃料デブリ等の取出し)

燃料デブリ等を試料ピットから取り出す際は、コンクリートセルNo.1～4の燃料デブリ等の合計重量が最大取扱量である■以下となるよう管理する。現在想定している具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 計算機又は伝票の記録により、試料ピットから取り出す容器のID及び収納されている燃料デブリ等の量並びにコンクリートセルNo.1～4に存在する燃料デブリ等の量を確認し、その合計が最大取扱量■以下であることを確認した上で、試料ピットから容器を取り出す。
- ② 試料ピットから容器を取り出す際は、容器IDを確認し、取り出す容器で間違いがないことを確認する。
- ③ 燃料デブリ等の取扱場所については、計算機又は伝票の情報に記録し管理する。

11. 臨界管理の方法(5/5)

－コンクリートセル－鉄セル間の移送に伴う管理－

(コンクリートセルから鉄セルへの移送)

現在想定している燃料デブリ等をコンクリートセルから鉄セルへ移送する際の具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 計算機又は伝票の記録により、鉄セルへ移送する容器のID及び重量並びに鉄セルに存在する燃料デブリ等の量を確認し、その合計が■以下であること確認した上で、コンクリートセルから鉄セルへ試料を移送する。
- ② 試料を移送する際は、容器IDを確認し、移送する対象に間違いがないことを確認する。
- ③ 試料の取扱場所については、計算機又は伝票に記録し管理する。

(鉄セルからコンクリートセルへの移送)

鉄セルからコンクリートセルへ移送する際は、コンクリートセルNo.1～4の燃料デブリ等の合計重量が最大取扱量である■以下となるよう管理する。現在想定している具体的な管理の方法は以下のとおり。

- ① 計算機又は伝票の記録により、コンクリートセルへ移送する容器のID及び重量並びにコンクリートセルNo.1～4に存在する燃料デブリ等の量を確認し、その合計が最大取扱量■以下であることを確認した上で、鉄セルから移送する。
- ② 試料を移送する際は、容器IDを確認し、移送する対象に間違いがないことを確認する。
- ③ 試料の取扱場所については、計算機又は伝票に記録し管理する。

なお、実際に燃料デブリ等を移送する際、作業を担当する者以外の第三者の立会いのもと、移送状況の現場確認を行う。また、燃料デブリ等の分析・試験で得られた²³⁵U+Pu量が、臨界管理上、保守的な条件で評価した値を超えていないことの確認を含め、臨界管理の具体的な方法については、マニュアルを整備する。

12. 第2棟における臨界管理(1/2)

第2棟では、燃料デブリ等を取扱量及び形状を制限することで、燃料デブリ等に含まれる核燃料物質が臨界に達しない設計とする。

- コンクリートセルでは、燃料デブリ等の最大取扱量を■■■■とする質量管理を行う。
- 試料ピットでは、質量管理及び形状管理を行う。試料ピットは、■■■■から成り、各■■■■に燃料デブリ等(■■■■以下)を収納した容器を■■■■まで積み上げて保管する。最大容量は■■■■、■■■■である。
また、■■■■、■■■■及び各■■■■の間隔■■■■で形状を制限する。

以上の設計にて、臨界安全評価を行い、臨界に達しないことを確認した。

また、評価に使用した解析モデルは、水没を考慮したモデルであるため、消火活動によりセル内に注水したとしても臨界に達することはない。

12. 第2棟における臨界管理(2/2)

第2棟における臨界安全評価の結果、保守的な条件下においても臨界に達することはなく、臨界事故は発生しない。

γ 線エリアモニタ及び中性子線エリアモニタは、仮に臨界が発生した場合にも、臨界に伴う線量率の上昇を検知できるとともに、警報発報が可能な設計としている。

第2棟の運用に当たっては、万が一臨界が発生した場合を想定して以下の項目を含むマニュアルを整備する。

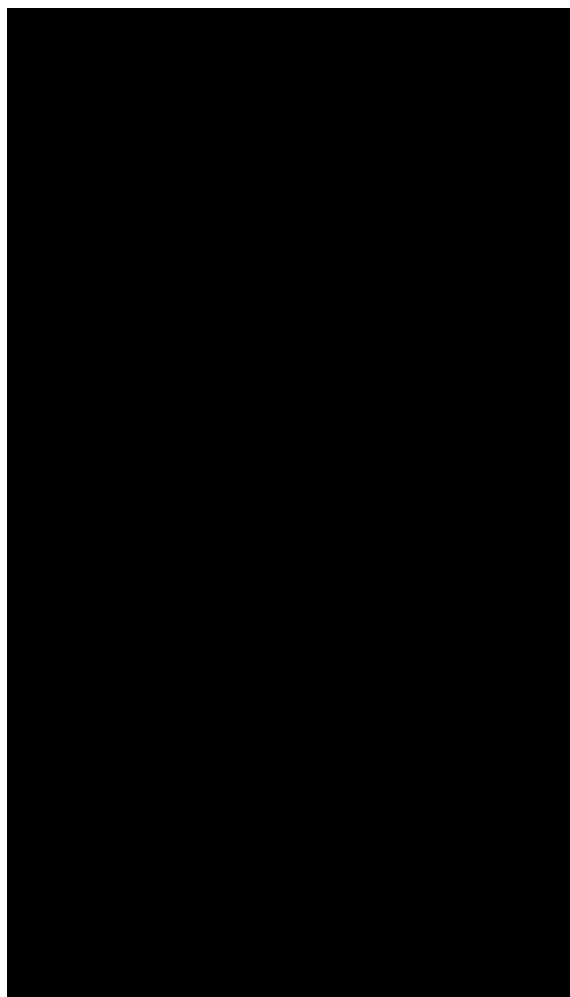
- 建屋外への避難方法
- 通報連絡体制
- 放射線状況の確認方法 等

なお、マニュアルの整備にあたっては、東京電力HDとJAEAで調整し、1F他施設での対応と整合を図る。

別紙 試料ピットの構造及び解析モデル(1/2)

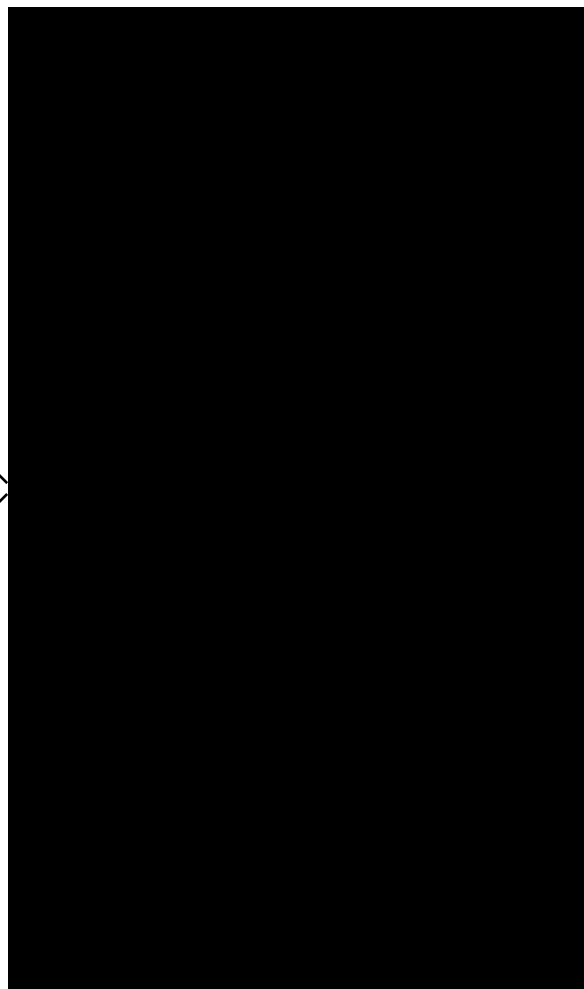
(平面図)

追加説明



単位:mm

試料ピットの構造



単位:mm

解析モデル

※解析モデルのホールの間隔については、
施工誤差を考慮し、安全側の評価となるよう
設計寸法からマイナス10mmとした。
(設計寸法 XXXXXXXXXX)

別紙 試料ピットの構造及び解析モデル(2/2)

(断面図)

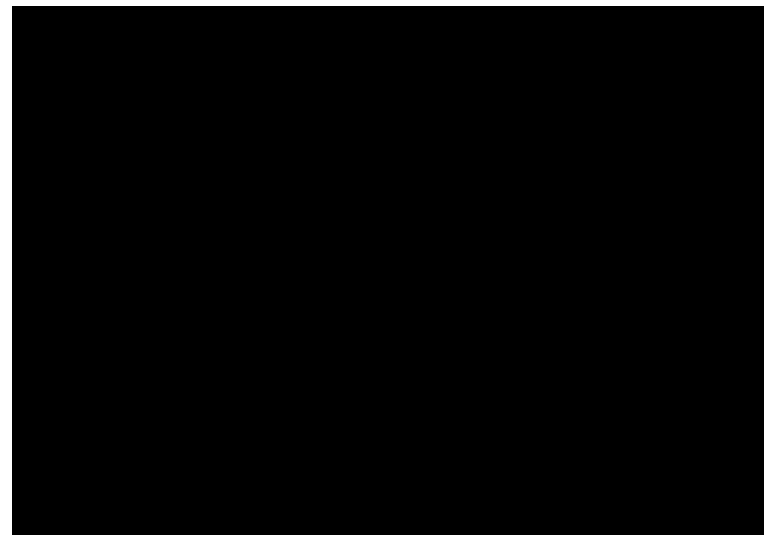
追加説明



試料ピット蓋

燃料デブリ等を
収納した容器

燃料デブリ等



試料ピットの構造

解析モデル

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(分析・試験設備の火災防護について)
11月27日面談資料改訂版

2020年12月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 第2棟における火災防護の考慮(1/2)

【火災防護の考慮】

- コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス及びフードは、可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する。
- 火災の早期検知、初期消火を可能にする火災検知器(温度計)、消火設備を設置する。
- コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの火災に対する消火剤は不活性ガス(窒素ガス)とする※1。
- フード内の火災に対しては、フード近傍に設置した消火器により消火する。
- 消火設備を起動した場合においても、コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの負圧を維持する。
- コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの消火設備は、再着火防止を考慮した設備とする。
- コンクリートセル、鉄セル及びグローブボックスの消火設備は、設備の故障等を考慮して複数設置する。

※1: JAEA茨城地区においては、セル等の消火設備としてハロゲン化物消火設備を設置している。

1. 第2棟における火災防護の考慮(2/2)

一部改訂

【火災防護の考慮】

- 燃料デブリ等の前処理により発生する、切断片等は金属製の容器に収納する。
- 放射性の固体廃棄物は、金属製の容器に収納する。
- 放射性の液体廃棄物を一時的に保管する設備は、静電気等の放電のため接地を施す。
- コンクリートセル等の内部には、自主的に粉末消火薬剤※1を設置する。粉末消火薬剤にて消火することができない試薬を使用する場合には、乾燥砂を準備する。
- 火災防止及び火災発生時に係る作業手順、注意事項等についてマニュアル化する。

※1:粉末(ABC)消火器にて使用される薬剤

【切断粉の火災防護の考慮】

燃料デブリ等は化学的に不活性な酸化物が主成分であると推定されるが、化学的に活性である可能性を考慮し、切断粉は金属等の不燃又は難燃性材料製の容器内で取り扱う。万一酸素との反応に起因して発火したとしても延焼を防ぐように、燃料デブリ等の切断時は周囲に可燃物を置かないこととし、切断粉発生都度、切断粉を金属製の容器内に収納する。

2. コンクリートセル等に使用する材料

コンクリートセルでは、遮へい体に普通コンクリート、ライニングにステンレス鋼、遮へい窓枠にステンレス鋼、遮へい窓に鉛ガラス等の不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

鉄セルでは、遮へい体に鉄、インナーボックスにステンレス鋼、遮へい窓枠にステンレス鋼、遮へい窓に鉛ガラス等の不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

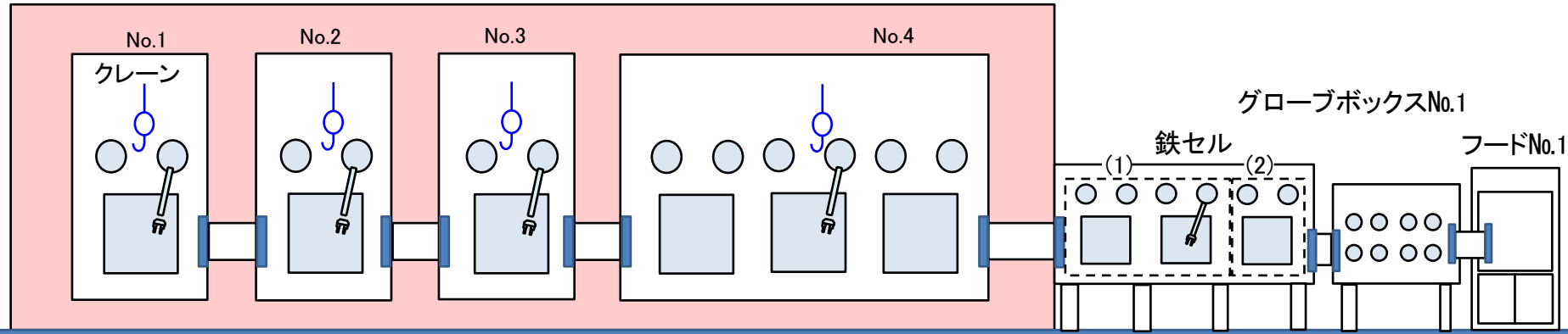
グローブボックスは、本体にステンレス鋼、気密パネルにポリカーボネート樹脂等の不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

フードは、本体にステンレス鋼、前面シャッターに強化ガラスの不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

コンクリートセル等に付属するダクト、フィルタ及びケーブルは、鋼材、グラスファイバー、難燃性塩化ビニル等の不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

3. 分析・試験設備において使用を想定している試薬（1/3）

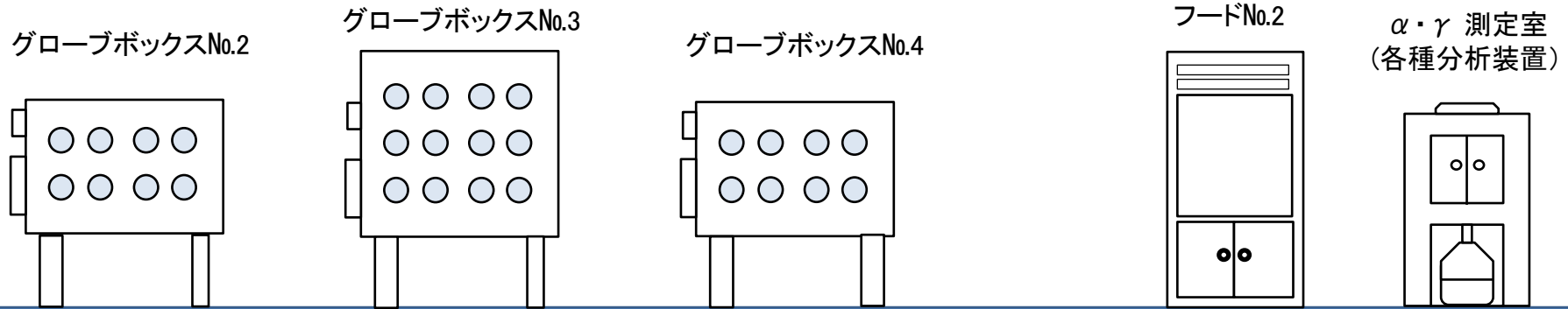
コンクリートセル



使用場所	消防法による危険物の分類 (用途)	想定使用量
コンクリートセルNo.1	第4類(除染)	数100mlオーダー
コンクリートセルNo.2	第4類(除染)	数100mlオーダー
コンクリートセルNo.3	第4類(除染)	数100mlオーダー
コンクリートセルNo.4	第1類(分析・試験) 第4類(分析・除染)	数gオーダー 数100mlオーダー

使用場所	消防法による危険物の分類 (用途)	想定使用量
鉄セル(1)	第4類(分析・試験、除染)	数100mlオーダー
鉄セル(2)	第4類(除染) 第5類(分析・試験) 第6類(分析・試験)	数100mlオーダー 数100mlオーダー 数100mlオーダー
グローブボックスNo.1	第4類(分析・試験、除染) 第5類(分析・試験) 第6類(分析・試験)	数100mlオーダー 数100mlオーダー 数100mlオーダー
フードNo.1	第4類(除染)	数100mlオーダー

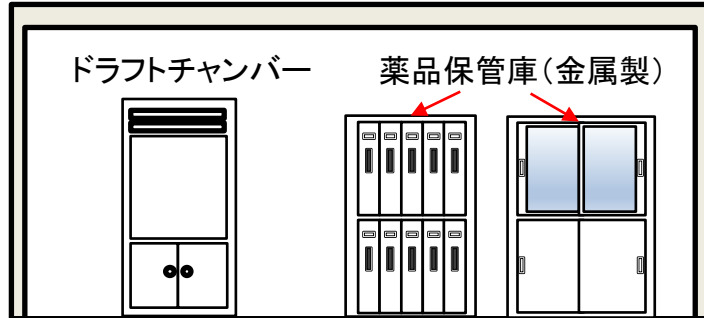
3. 分析・試験設備において使用を想定している試薬(2/3)



使用場所	消防法による危険物の分類 (用途)	想定使用量
グローブボックスNo.2	第4類(除染)	数100mlオーダー
グローブボックスNo.3	第4類(除染)	数100mlオーダー
グローブボックスNo.4	第4類(除染)	数100mlオーダー
フードNo.2	第4類(分析・試験、除染)	数100mlオーダー 数100mlオーダー
α・γ 測定室 (各種分析装置)	第4類(分析・試験)	数100mlオーダー

3. 分析・試験設備において使用を想定している試薬(3/3)

試薬調製室



- 使用を想定している試薬は、試薬調製室の金属製の薬品保管庫に保管する。
- 消防法により混載禁止とされている危険物は分けて保管する。
- 試薬調製室にて分析・試験で使用する試薬の調製(分取、希釈、固体状の試薬の溶解、混合等)を行う。
- 試薬の調製では、加熱処理は行わない。

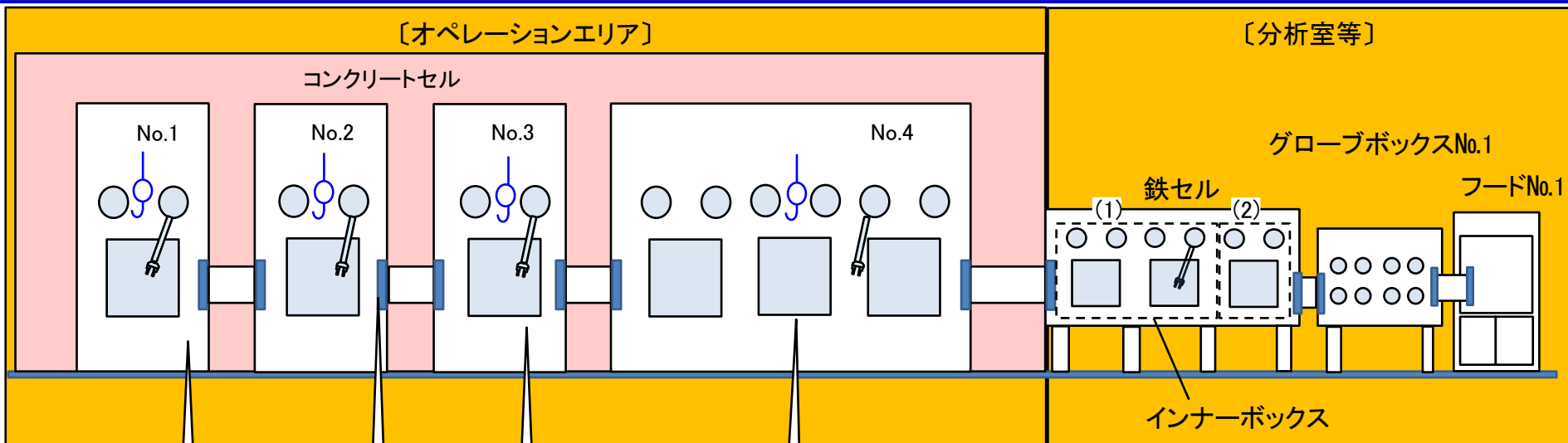
分析・試験設備において使用を想定している試薬の想定保管量は、危険物の規制に関する政令で定める指定数量より十分低く、少量危険物の貯蔵取扱所に該当しない。

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定保管量	適用する消火器
第1類	硝酸銀	数10gオーダー	粉末消火器 ※1:一部の試薬については乾燥砂を適用する。
	過酸化ナトリウム※ ¹	数100gオーダー	
	亜硝酸ナトリウム	数10gオーダー	
第4類	アクアライトRS-A	数ℓオーダー	
	アクアライトCN	数10mlオーダー	
	メタノール	数100mlオーダー	
	エタノール	数ℓオーダー	
	Hionic-Fluor	数ℓオーダー	
	Permafluor E+	数ℓオーダー	
	ラッピングオイル	数ℓオーダー	
	アセトン	数100mlオーダー	
	Carbo-Sorb E	数ℓオーダー	
	Ultima Gold LLT	数ℓオーダー	
	ギ酸	数100mlオーダー	
	酢酸	数100mlオーダー	
	テトラエチレングリコール	数10mlオーダー	
第5類	ヒドロキシルアミン溶液※ ¹	数100gオーダー	
第6類	過酸化水素水	数100gオーダー	

試薬の調製に伴い発生の可能性のある主な危険物

消防法による危険物の分類	化合物	適用する消火器
第1類	硝酸ナトリウム	粉末消火器

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用 (1/8)



コンクリートセルNo.1～3

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第4類	エタノール(除染用)	数100mlオーダー

コンクリートセルNo.4

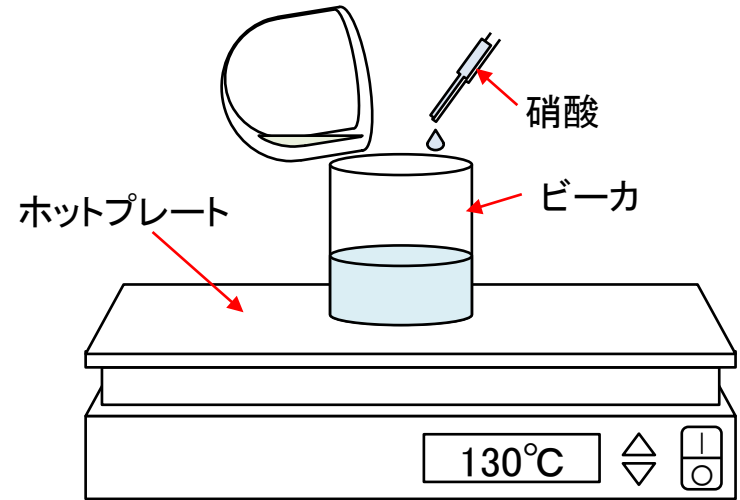
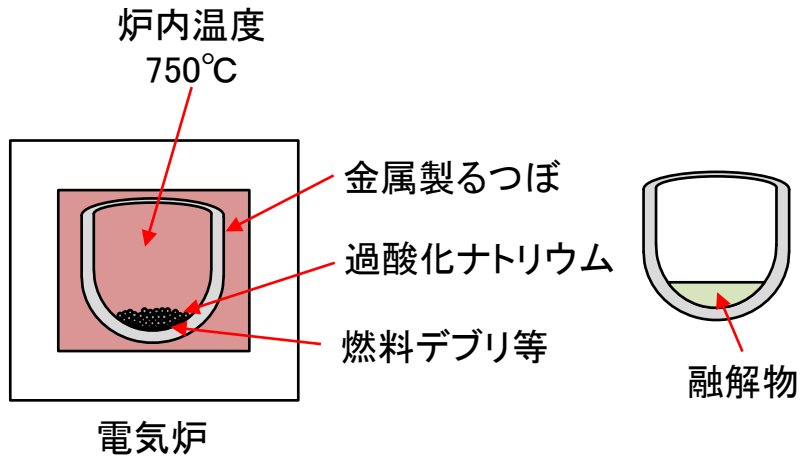
消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第1類	過酸化ナトリウム	数gオーダー
第4類	ラッピングオイル	数100mlオーダー
第4類	アセトン	数100mlオーダー
第4類	エタノール(除染用)	数100mlオーダー

前処理等に伴い発生の可能性のある主な危険物

消防法による危険物の分類	化合物
第1類	硝酸ナトリウム

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(2/8)

〔コンクリートセルNo.4: アルカリ融解作業例〕



① 過酸化ナトリウムと燃料デブリ等を金属製のつぼに入れ、750°Cに加熱して融解物とする。

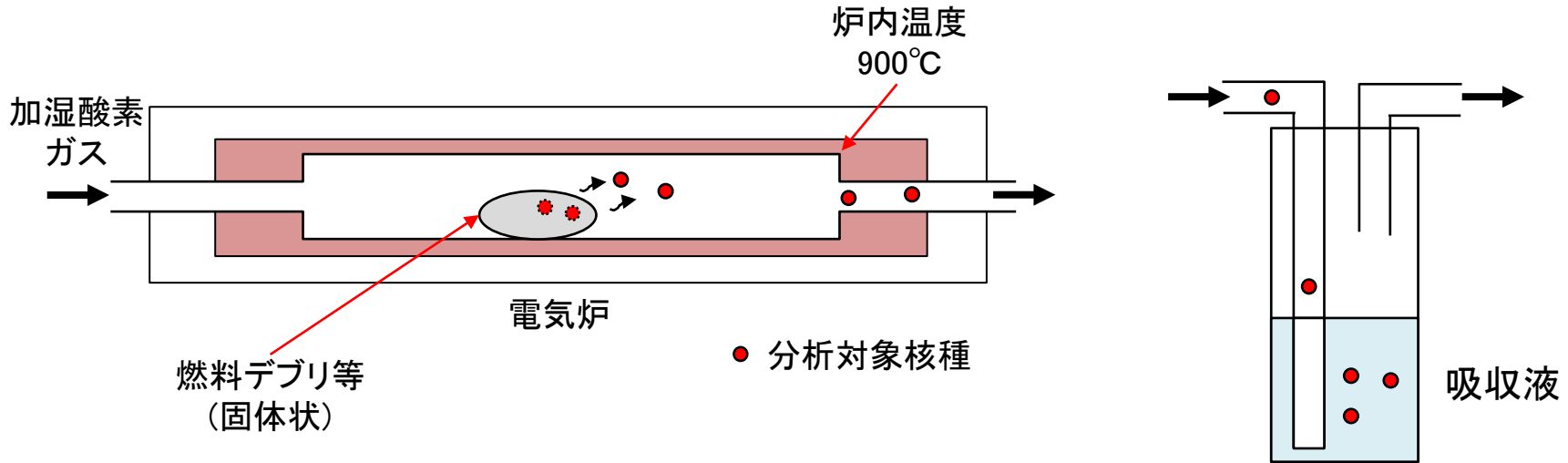
② 融解物をビーカに移し替え、硝酸を加えて加熱して溶液化する。

【当該作業における火災防護への配慮】

- 過酸化ナトリウムは可燃物の存在下で水分との接触により発火する危険性があるため、取扱う際は近傍に可燃物、水分を置かない。
- 電気炉、ホットプレートを使用する際は、周辺に可燃物を置かない。
- 可燃物は金属製の容器に収納し、使用時に取り出す。使用後の可燃物は、別の金属製の容器に収納する。
- 電気炉、ホットプレートの使用中は常時監視する。

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(3/8)

[コンクリートセルNo.4:H3,C14,I129分析前処理作業例]



① 燃料デブリ等を加熱し、分析対象核種を気化させて分離する。

② 気化した分析対象核種は吸収液に回収する。

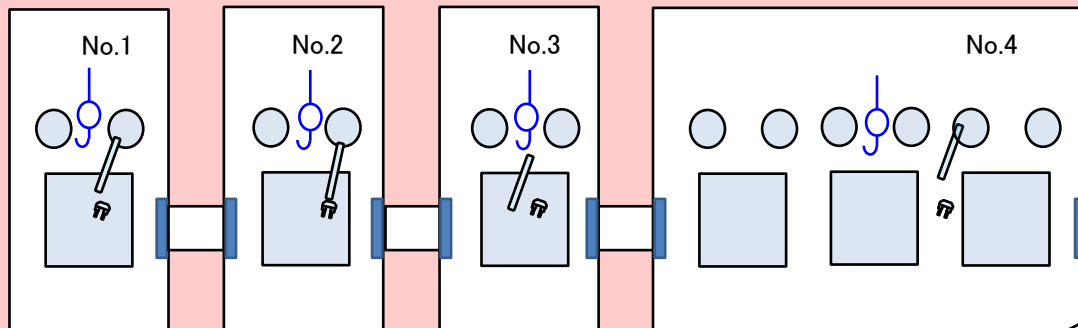
【当該作業における火災防護への配慮】

- 電気炉を使用する際は、周辺に可燃物を置かない。
- 可燃物は金属製の容器に収納し、使用時に取り出す。使用後の可燃物は、別の金属製の容器に収納する。
- 電気炉の使用中は常時監視する。

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(4/8)

〔オペレーションエリア〕

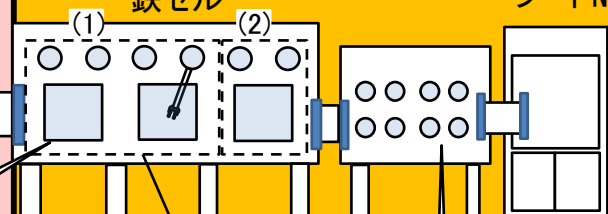
コンクリートセル



フードNo.1 〔分析室等〕

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第4類	エタノール(除染用)	数100mlオーダ

鉄セル グローブボックスNo.1 フードNo.1



インナーボックス

鉄セル(1)

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第4類	アクアライト RS-A	数100mlオーダ
	アクアライト CN	数10mlオーダ
	エタノール(除染用)	数100mlオーダ

鉄セル(2)

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第4類	エタノール(除染用)	数100mlオーダ
第5類	ヒドロキシルアミン溶液	数100mlオーダ
第6類	過酸化水素水	数100mlオーダ

前処理等に伴い発生の可能性のある主な危険物

消防法による危険物の分類	化合物
第1類	硝酸ナトリウム

グローブボックスNo.1

消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第4類	Carbo-Sorb E	数10mlオーダ
	テトラエチレングリコール	数10mlオーダ
	酢酸	数100mlオーダ
	メタノール	数100mlオーダ
	ギ酸	数10mlオーダ
	エタノール(除染用)	数100mlオーダ
第5類	ヒドロキシルアミン溶液	数100mlオーダ
第6類	過酸化水素水	数100mlオーダ

前処理等に伴い発生の可能性のある主な危険物

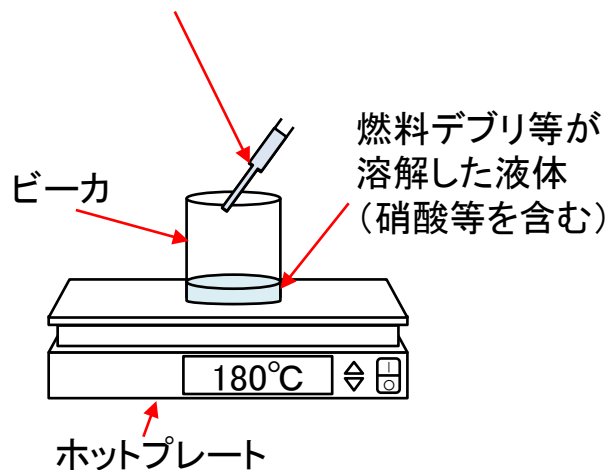
消防法による危険物の分類	化合物
第1類	硝酸ナトリウム

※: 粉じん爆発のおそれのない粒径(500 μ m超過)のものを使用する。
なお、150 μ mを超える粒径の金属粉は危険物に該当しない。

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(5/8)

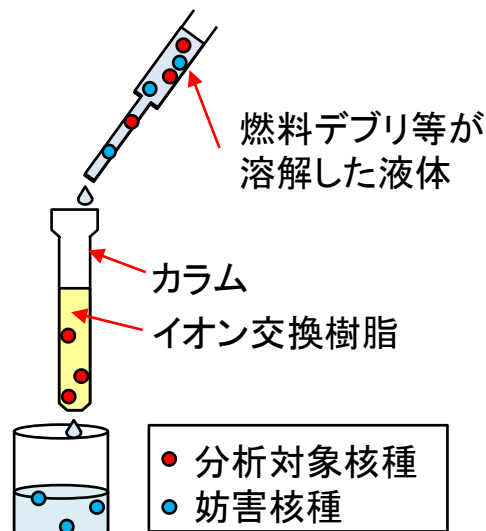
〔鉄セル(2)、グローブボックスNo.1:核種分離(イオン交換分離)作業例〕

試薬(硝酸、塩酸等)

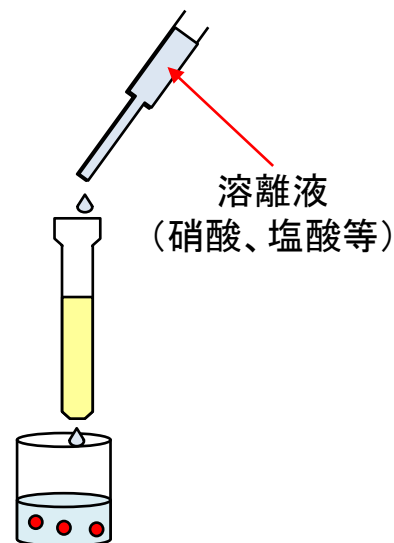


① 分析対象核種をイオン交換樹脂に吸着しやすい化学形に変換するため、試薬を加えて加熱する※。

② 燃料デブリ等が溶解した液体を、イオン交換樹脂の入ったカラムの上部から添加し、分析対象核種をイオン交換樹脂に吸着させて分離する。



③ 吸着した分析対象核種を溶離液で溶出させ、回収する。

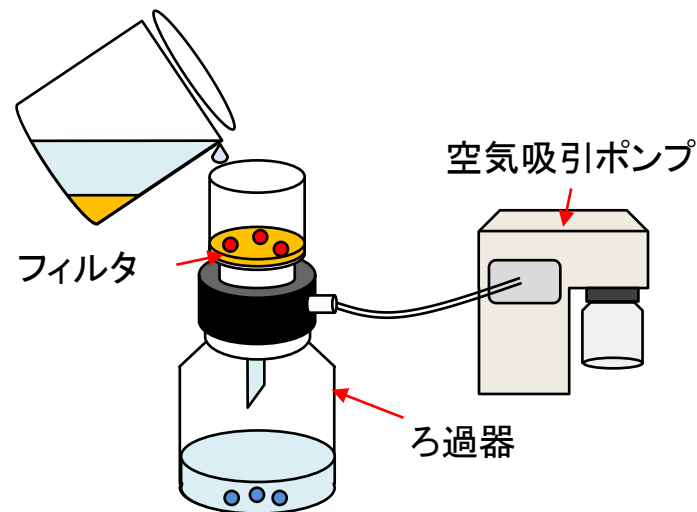
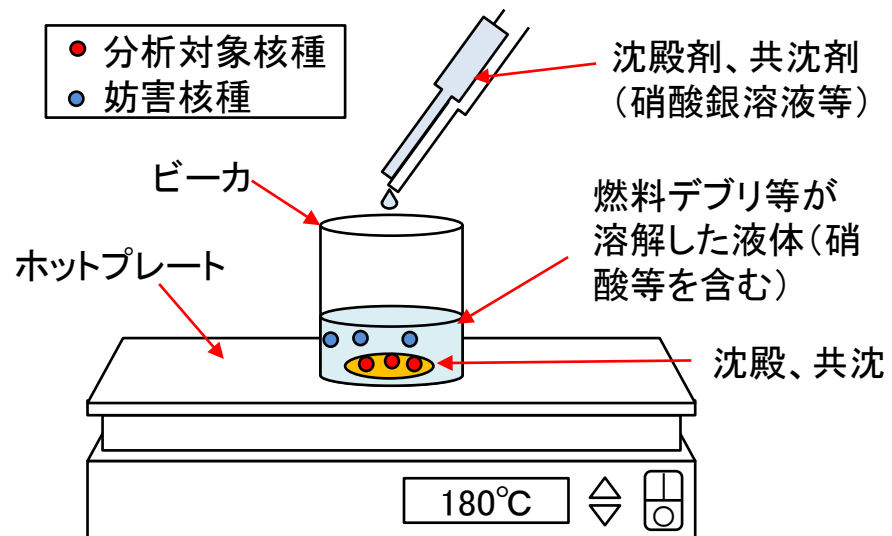


【当該作業における火災防護への配慮】

- ホットプレートを使用する際は、周辺に可燃物を置かない。
- ホットプレート使用中は常時監視する。
- 溶離液に危険物を含む場合があるため、近傍に着火源、可燃物を置かない。
- 可燃物は金属製の容器に収納し、使用時に取り出す。使用後の可燃物は、別の金属製の容器に収納する。
- 防爆仕様のホットプレートを使用する。
- 混合することにより発火する可能性のある危険物は、同一の場所で使用しない。

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(6/8)

〔鉄セル(2)、グローブボックスNo.1:核種分離(沈殿、共沈)作業例〕



- ① 燃料デブリ等が溶解した液体に沈殿剤、共沈剤を添加し、加熱して※1分析対象核種を沈殿、共沈させる※2。

- ② ろ過により分析対象核種を分離してフィルタ上に回収する。

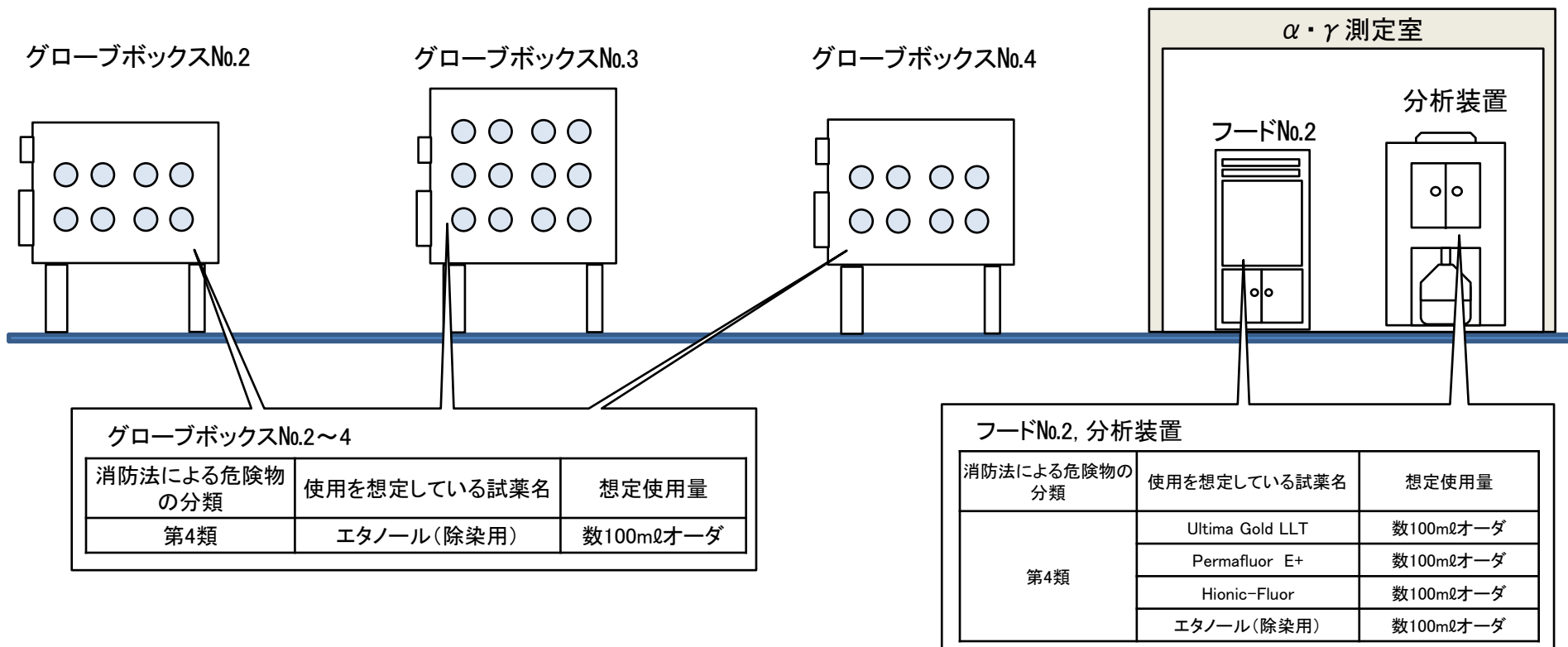
※1:分析対象核種によっては加熱しない場合もある。

※2:妨害核種を沈殿、共沈させ、分析対象核種を溶液側に残す場合もある。

【当該作業における火災防護への配慮】

- ホットプレートを使用する際は、周辺に可燃物を置かない。
- 可燃物は金属製の容器に収納し、使用時に取り出す。使用後の可燃物は、別の金属製の容器に収納する。
- ホットプレートの使用中は常時監視する。
- 防爆仕様のホットプレートを使用する。
- 混合することにより発火する可能性のある危険物は、同一の場所で使用しない。

4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用(7/8)



4. コンクリートセル等において想定している試薬の使用 (8/8)

【試薬使用時の火災防護への配慮】

- 使用を想定している試薬は、試薬調製室の薬品保管庫(金属製)に保管する。
- 消防法により混載禁止とされている危険物は、薬品保管庫を分けて保管する。
- 混合することにより発火する可能性のある危険物は、同一の場所で使用しない。
- 電気炉、ホットプレートを使用する際は、周辺に可燃物を置かない。
- 可燃物は金属製の容器に収納し、使用時に取り出す。使用後の可燃物は、別の金属製の容器に収納する。
- 鉄セル、グローブボックスでは引火性の液体を加熱するため、防爆仕様のホットプレートを使用する。
- 電気炉、ホットプレートの使用中は常時監視する。
- 引火性の試薬を取扱う際は、近傍に着火源を置かない。
- 分析装置は接地する。
- 粉末状の金属試薬は、粉塵爆発のおそれのない粒径(500 μ m超過※1)のものを使用する。

上記の対応を行い、火災発生の要因を極力排除することで、火災の発生を防止する。

※1独立行政法人労働者健康安全機構,労働安全衛生総合研究所技術指針JNIOOSH-TR-46-1:2015,工場電気設備防爆指針(国際整合技術指針 2015)

5. 中和後の廃液の火災防護(1/6)

【中和後の廃液の火災防護への配慮】

分析・試験に伴い発生した廃液は、中和、希釈等の安定化処理を行った上で、各設備に払い出す。中和対象の廃液には以下の溶液が含まれており、中和試薬との化学反応(中和反応)により、新たに化合物が生成する可能性がある。

- ① 分析・試験に使用した試薬
- ② 燃料デブリ等が溶解した溶液

生成する可能性のある化合物の中には、性状又は濃度によっては消防法上の危険物に該当する化合物がある。これらの化合物に対する火災防護への配慮について以降に示す。

5. 中和後の廃液の火災防護(2/6)

① 分析・試験に使用した試薬

中和反応で生成する可能性のある化合物のうち、硝酸塩類及びヒドロキシルアミン塩類は性状又は濃度によっては危険物に該当する。

生成する可能性のある硝酸塩類及びヒドロキシルアミン塩類を以下に示す。

分析・試験に使用する試薬	中和反応により生成する可能性のある危険物
硝酸	硝酸ナトリウム
水酸化ナトリウム	硝酸ナトリウム
アンモニア	硝酸アンモニウム
ヒドロキシルアミン	塩酸ヒドロキシルアミン

それぞれに対する火災防護への配慮を次ページに示す。

5. 中和後の廃液の火災防護(3/6)

【硝酸塩類の火災防護への配慮】

中和反応により硝酸ナトリウム、硝酸アンモニウムが生成する可能性がある。固体状の硝酸塩類は危険物に該当する。中和後に希釈することで、固体が析出しない濃度とした後に各設備に払い出す。硝酸塩類の水への溶解度は大きいいため、固体として析出する可能性は低いが、安全を考慮して希釈する^{※1}。

中和により生成する可能性がある硝酸塩類	消防法による危険物の分類	水(20℃)への溶解度 ^{※2}
硝酸ナトリウム	第1類	46.8 ^{※3}
硝酸アンモニウム	第1類	65.5 ^{※3}

【ヒドロキシルアミン塩類の火災防護への配慮】

中和反応により塩酸ヒドロキシルアミンが生成する可能性がある。塩酸ヒドロキシルアミンを含む水溶液は濃度によっては危険物に該当する。中和後に希釈することで、消防法上の危険物から除外される濃度とした後に各設備に払い出す。前処理の過程で希釈され、危険物とならない濃度になるが、安全を考慮して中和後に希釈する^{※1}。

中和により生成する可能性があるヒドロキシルアミン塩類	消防法による危険物の分類	消防法上危険物とならない濃度
塩酸ヒドロキシルアミン	第5類	35wt%以下 ^{※4}

上記のように中和後に希釈を行うため、消防法上の危険物に該当するものは発生しない。上記対応に係る作業手順、注意事項についてはマニュアル化する。

※1 各設備で一時的に保管する際に蒸発して濃縮されることを考慮し、希釈率を保守的に設定する。

※2 質量百分率、無次元(飽和溶液100g中の化合物の質量)

※3 日本分析化学会編、改訂五版 分析化学便覧 基礎編、丸善出版株式会社、2004

※4 独立行政法人産業安全研究所、産業安全研究所ガイド、ヒドロキシルアミン等の爆発危険性と安全な取扱いについて、NIIS-SG-No.1 (2001)

5. 中和後の廃液の火災防護(4/6)

② 燃料デブリ等が溶解した溶液

中和反応で生成する可能性のある化合物のうち、硝酸塩類は性状又は濃度によっては危険物に該当する。なお、硝酸塩類以外の危険物が生成する可能性はない。燃料デブリ等が溶解した溶液に含まれる化合物の中で、硝酸塩類を生成する可能性のある主な化合物を以下に示す。

燃料デブリ等が溶解した溶液に含まれる主な化合物	中和反応により生成する可能性のある硝酸塩類	水への溶解度※1
ナトリウム化合物	硝酸ナトリウム	46.8※2
ウラン化合物	硝酸ウラニル	54.4※3

固体状の硝酸塩類は危険物に該当するため、中和後の希釈により固体状の硝酸塩類が析出しない濃度とした後に各設備に払い出す※4。

溶液に含まれる燃料デブリ等の量は1g未満を想定しており、仮に燃料デブリ等の全量が硝酸塩類となったとしても、その量は1g未満と少量である。硝酸塩類の水への溶解度は大きいいため、前処理の過程で十分希釈され、中和後に固体状の硝酸塩類として析出する可能性は低いが、安全を考慮して中和後に希釈する。

※1 質量百分率、無次元（飽和溶液100g中の化合物の質量）

※2 日本分析化学会編、改訂五版 分析化学便覧 基礎編、丸善出版株式会社、2004

※3 IUPAC Solubility Data Series, Vol.55., p.11, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1994

※4 各設備で一時的に保管する際に蒸発して濃縮されることを考慮し、希釈率を保守的に設定する。

5. 中和後の廃液の火災防護(5/6)

燃料デブリ等を含有する量が最も多い溶液の中和を対象とし、硝酸塩類析出の可能性について検討した。

【評価条件】

対象溶液：燃料デブリ等 約0.15gを含む100mlの4M^{※1}硝酸溶液
(前処理で添加する過酸化ナトリウム 1.5gを含む)

中和試薬：12.5M 水酸化ナトリウム 32ml

中和後の液量：132ml (132g^{※2}) 保守的な評価として、中和後の希釈は考慮していない

評価対象の硝酸塩類：① 硝酸ウラニル^{※3}

② 硝酸ナトリウム^{※4}

【評価結果】

100gの溶液に含まれる質量は①硝酸ウラニル 約0.17g(水への溶解度:54.4g), ②硝酸ナトリウム 約28g(水への溶解度:46.8g) となる。いずれも水への溶解度に比べ十分少ないため、固体として析出する可能性は低い。

※1 M = モル濃度、単位は mol/ℓ (1ℓの溶液中に含まれる溶質の物質量)

※2 溶液の密度を1g/mlと想定

※3 燃料デブリ等の組成が全て酸化ウランと想定し、保守的に酸化ウランの全てが硝酸ウラニルとなることを想定する。

※4 保守的に前処理で使用した過酸化ナトリウムと中和で使用した水酸化ナトリウムの全てが硝酸ナトリウムとなることを想定する。

5. 中和後の廃液の火災防護(6/6)

【難溶解性の硝酸塩類の火災防護への配慮】

燃料デブリ等にはウラン、ナトリウム以外に様々な物質が共存しているため、複塩※¹状の硝酸塩類を生成する可能性がある。一般的に硝酸塩類の溶解度は大きい※²が、複塩の中には難溶解性のものが含まれる可能性がある。

万が一、難溶解性の沈殿が生成した場合は、ろ過により溶液から沈殿を分離した後、金属製の容器に一時的に保管する。その後、加熱処理等により沈殿を安定な酸化物※³とした後、放射性の固体廃棄物として各設備に払い出す。

上記のような対策を講ずるため、消防法上の危険物に該当するものは発生しない。上記対応に係る作業手順、注意事項についてはマニュアル化する。

※¹ 2種以上の塩が結合した形式で表すことのできる化合物のうち、それぞれの成分イオンがそのまま存在するものを複塩という。

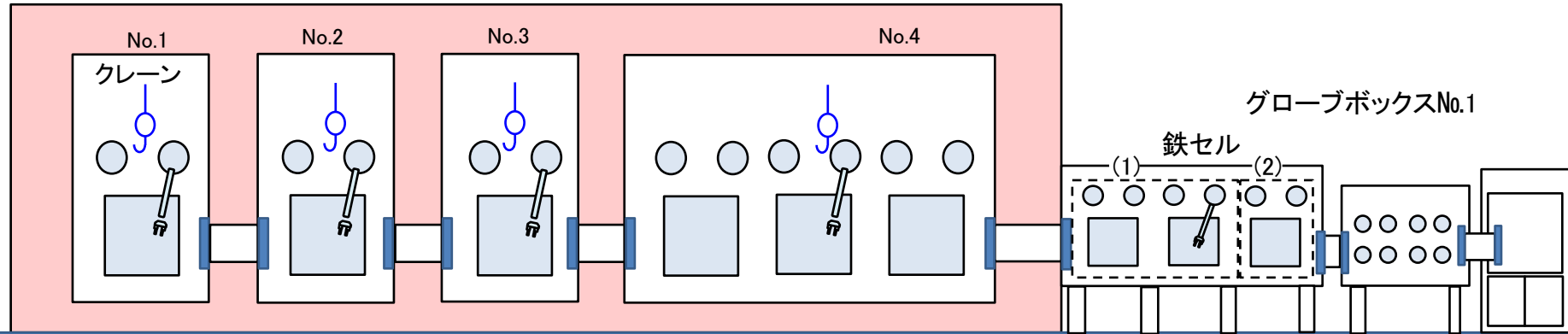
硝酸塩類の複塩の例： $\text{Cs}_2\text{U}(\text{NO}_3)_6$ 、 $\text{Cs}_2\text{UO}_2(\text{NO}_3)_4$ 、 $\text{Cs}_2\text{Pu}(\text{NO}_3)_6$ 出典：柴田淳広ら，“先進湿式法再処理の硝石工程におけるCs挙動把握のための模擬溶解液を用いた基礎試験”，日本原子力学会和文論文誌，Vol.8，No.3，p.245-253（2009）

※² 「日本化学会編，五版 実験化学講座，丸善出版株式会社，1995」

※³ 「日本化学会編，五版 化学便覧 応用化学編，丸善出版株式会社，1995」、「田川博章，“硝酸塩の熱分解”，横浜国大環境研紀要，Vol.12，p41-57（1987）」

6. コンクリートセル等において想定している主な可燃物 (1/2)

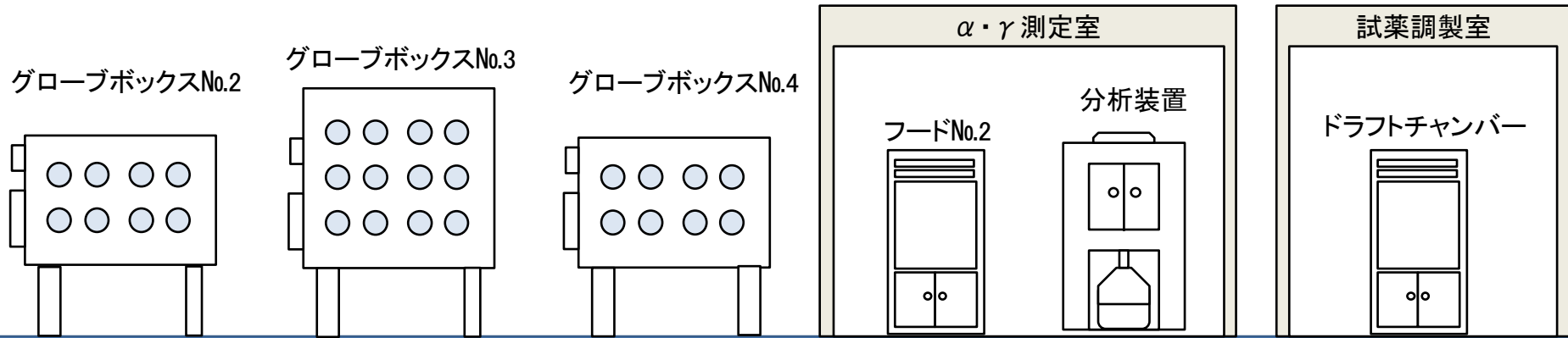
コンクリートセル



使用場所	品名	想定使用量
コンクリートセルNo.1	紙ウェス	数100gオーダー
コンクリートセルNo.2	紙ウェス	数100gオーダー
コンクリートセルNo.3	紙ウェス	数100gオーダー
コンクリートセルNo.4	紙ウェス	数100gオーダー
	ポリ容器等	数100gオーダー

使用場所	品名	想定使用量
鉄セル(1)	紙ウェス	数100gオーダー
鉄セル(2)	紙ウェス	数100gオーダー
	ポリ容器等	数100gオーダー
グローブボックスNo.1	紙ウェス	数100gオーダー
	ポリ容器等	数100gオーダー
フードNo.1	紙ウェス	数100gオーダー

6. コンクリートセル等において想定している主な可燃物 (2/2)



使用場所	品名	想定使用量
グローブボックスNo.2	紙ウエス	数100gオーダー
グローブボックスNo.3	紙ウエス	数100gオーダー
グローブボックスNo.4	紙ウエス	数100gオーダー

使用場所	品名	想定使用量
フードNo.2	紙ウエス	数100gオーダー
α・γ測定室 (各種分析装置)	紙ウエス	数100gオーダー
	ポリ容器等	数100gオーダー
試薬調製室	紙ウエス	数100gオーダー
	ポリ容器等	数100gオーダー

7. コンクリートセル等に設置する加熱装置


設置場所	現状設置を想定している加熱装置	数量
コンクリートセル No.1	-	-
コンクリートセル No.2	-	-
コンクリートセル No.3	-	-
コンクリートセル No.4	<ul style="list-style-type: none"> ・ ホットプレート ・ 電気炉(アルカリ融解用) ・ 電気炉(H-3, C-14, I-129前処理用) 	2 個 1 個 1 個
鉄セル (1)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気炉(全有機体炭素測定用) ・ 電気炉(水分測定用) ・ 電気炉(蒸着装置) 	1 個 1 個 1 個
鉄セル (2)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ホットプレート 	2 個
グローブボックス No.1	<ul style="list-style-type: none"> ・ ホットプレート 	2 個
グローブボックス No.2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電気炉(ガスクロマトグラフ用) 	1 個
グローブボックス No.3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高周波誘導結合プラズマ質量分析装置 	1 個
グローブボックス No.4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高周波誘導結合プラズマ発光分析装置 	1 個

8. コンクリートセル等消火設備の設置に係る考え方

第2棟では、消火設備(消火器及び屋内消火栓設備)を設置することで消防法上の要求を満足している。これらの消火設備は、コンクリートセル等の消火にも対応できる位置に配置している。

上記の消防法に基づく消火設備に加えて、燃料デブリ等を取り扱うコンクリート等に対して、自主的に窒素ガス消火設備を設置した。

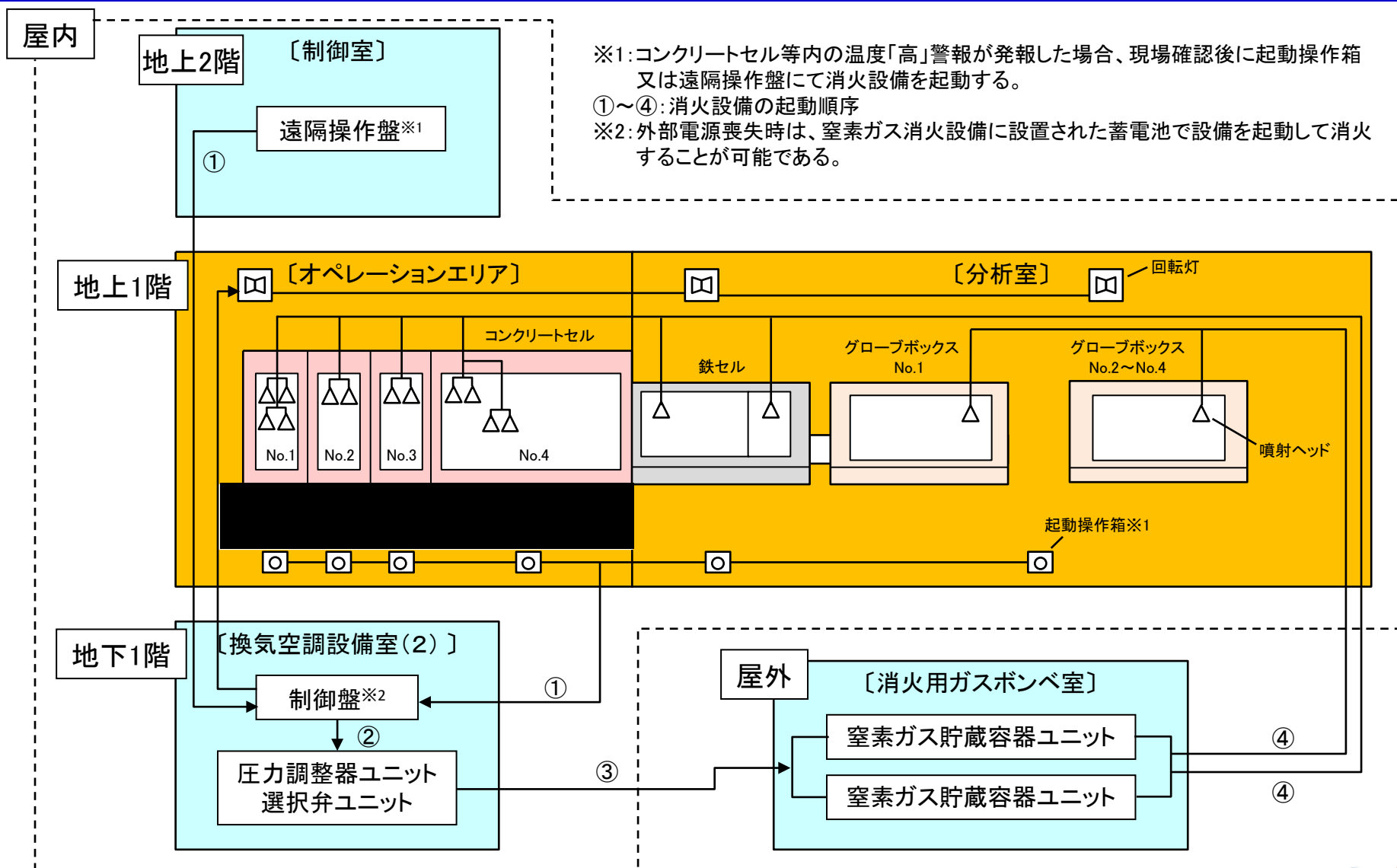
屋内消火栓設備

 :コンクリートセル等

消火器

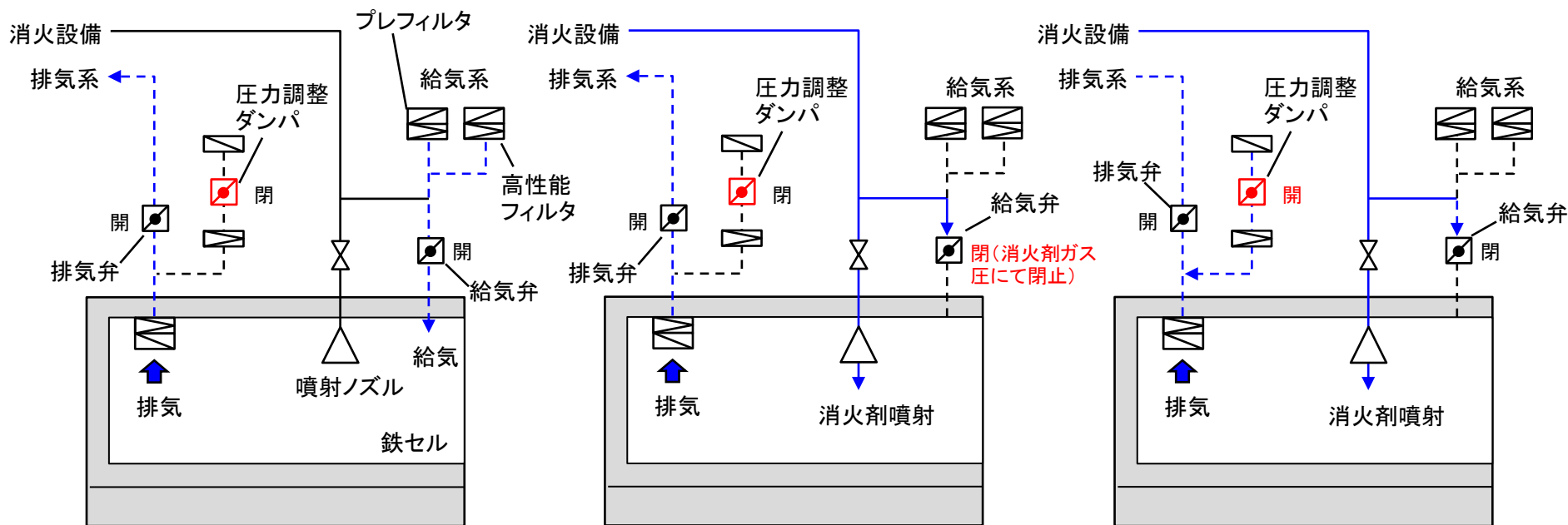
※1: 消防法施行令第11条第3項1号 ※2: 消防法施行規則第6条第6項

9. コンクリートセル等の消火設備概略系統図



10. コンクリートセル等の消火設備起動時の給排気

コンクリートセル等の消火のため不活性ガス(窒素ガス)を噴射後、消火に必要となる消火剤濃度を維持するため、給気ラインに設置している給気弁は消火剤ガス圧にて閉止する。排気ラインは、コンクリートセル等の負圧を維持するため閉止しない。なお、給気ライン閉止に伴うコンクリートセル等の過負圧を考慮し、過負圧防止ダンパ(圧力調整ダンパ)を設置する。



通常時の給排気

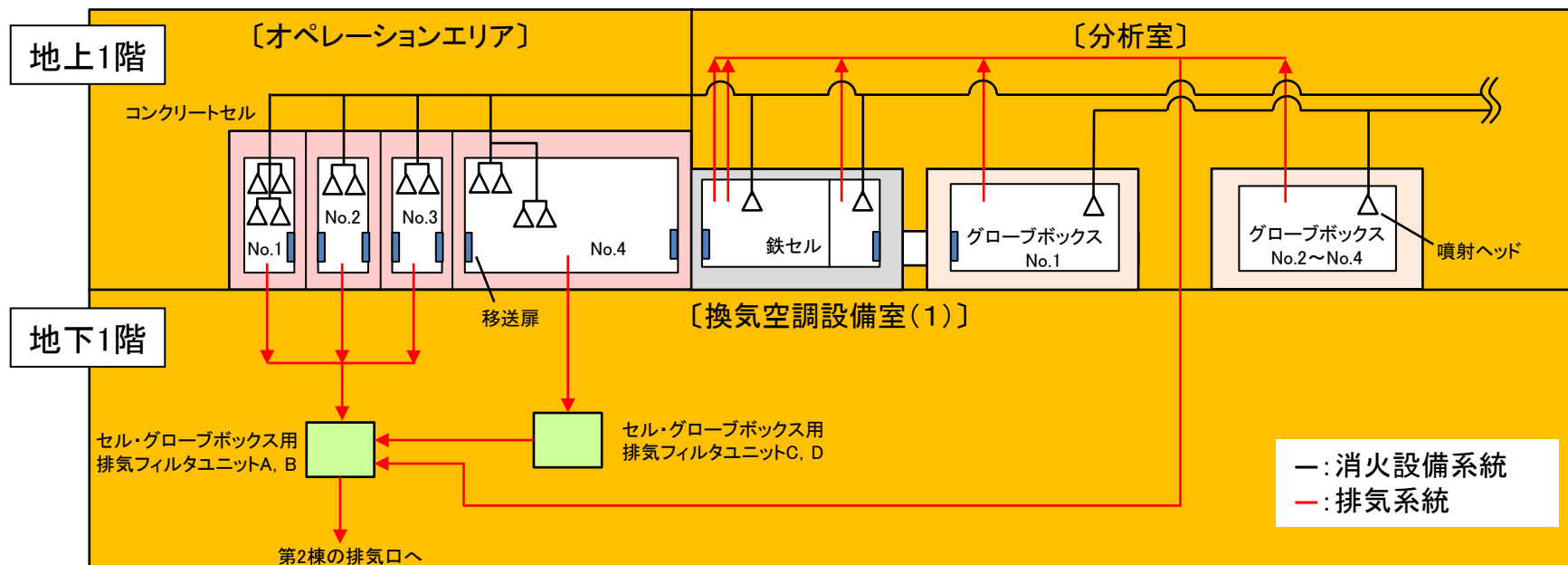
消火設備起動時の給排気

過負圧時の給排気

11. 隣接するセル等への火災の延焼の可能性について

コンクリートセルNo.1～No.4、鉄セル及びグローブボックスNo.1～No.4間の火災の延焼は、下記の設備設計としていることから発生しない。

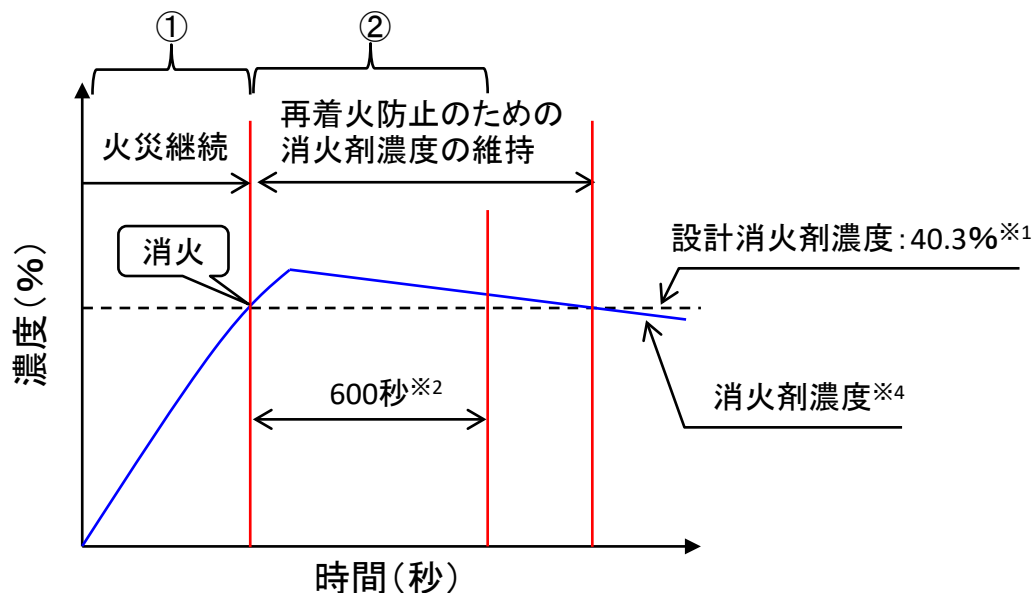
- ① コンクリートセル等に設置する排気管は独立している。
- ② コンクリートセル等から各排気管が合流するまで数mの距離がある。
- ③ 消火設備起動時も排気は継続しており、コンクリートセル等の負圧は維持している。
- ④ 隣接するセル等にはSUS製の気密を考慮したセル間移送扉等を設置している。
- ⑤ フィルタは、ろ材にグラスファイバーを用いる等の不燃・難燃材料を使用する。



12. 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数(1/3)

コンクリートセル等の消火に必要な消火剤量の算出は、コンクリートセル等の容積、設計換気量、設計消火剤濃度、給気弁からの漏えい及び再着火防止のための消火剤濃度の維持時間を考慮して算出した。

消火に必要な窒素ガス貯蔵容器(ボンベ)本数は、コンクリートセル等の各エリアにおいて設計消火剤濃度に到達するまでに必要な消火剤量から算出した窒素ガス貯蔵容器本数に、再着火防止を考慮して設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持するために必要な窒素ガス貯蔵容器本数を加えたものとした。(算出方法を参考に示す)。



- <容積の最も大きいコンクリートセルNo.4の場合>
- ① 設計消火剤濃度に到達するまでに必要な消火剤量
→窒素ガス貯蔵容器本数:10本
 - ② 設計消火剤濃度到達後に再着火防止のための消火剤濃度を維持するために①に追加に必要な消火剤量
→窒素ガス貯蔵容器本数:1本

【消火に必要な窒素ガス貯蔵容器本数】

$$\text{①} + \text{②} = 11\text{本}$$

【第2棟に設置する窒素ガス貯蔵容器本数】

$$11\text{本} \times 2\text{セット}^{\ast 3} = 22\text{本}$$

※1: 消防法施行規則第十九条第4項第一号ロ及び(一社)日本消火装置工業会 不活性ガス消火設備 設計・工事基準書に基づき算出した。

※2: 消火剤放出後の維持時間についてはNFPA2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systemに準拠した。

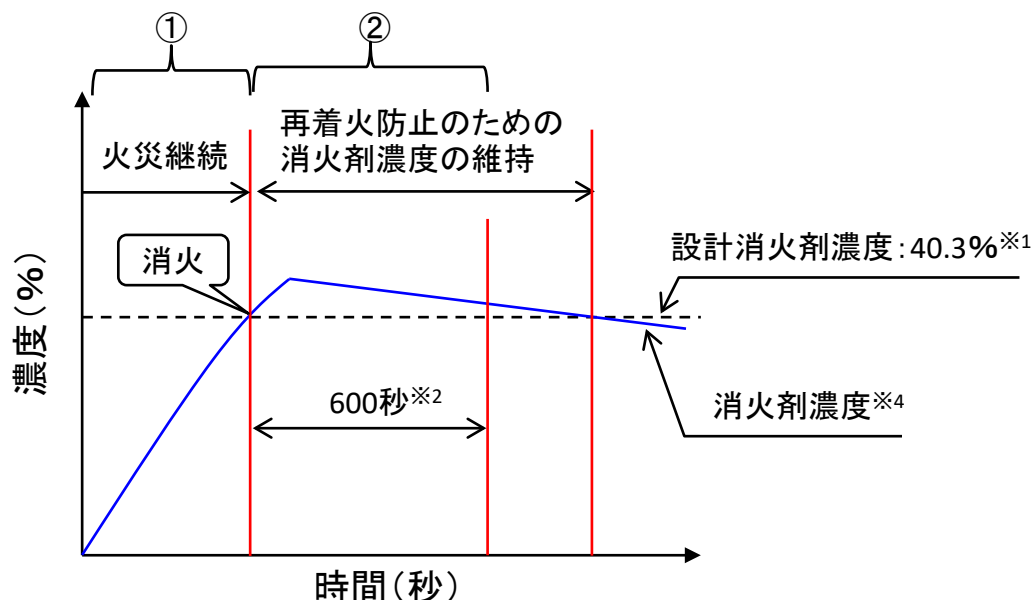
※3: 設備の故障等を考慮して複数台設置した。

※4: 火災が発生しているコンクリートセル等内に不活性ガス(窒素ガス)を噴出し、セル等内を低酸素状態にすることで窒息消火させる。

12. 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数(2/3)

コンクリートセル等の消火に必要な消火剤量の算出は、コンクリートセル等の容積、設計換気量、設計消火剤濃度、給気弁からの漏えい及び再着火防止のための消火剤濃度の維持時間を考慮して算出した。

消火に必要な窒素ガス貯蔵容器(ボンベ)本数は、コンクリートセル等の各エリアにおいて設計消火剤濃度に到達するまでに必要な消火剤量から算出した窒素ガス貯蔵容器本数に、再着火防止を考慮して設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持するために必要な窒素ガス貯蔵容器本数を加えたものとした。



セル等	設計消火剤濃度に達するまでの時間(秒)
コンクリートセルNo.1	169
コンクリートセルNo.2	181
コンクリートセルNo.3	112
コンクリートセルNo.4	143
鉄セル	76
グローブボックスNo.1～No.4	56

※1: 消防法施行規則第十九条第4項第一号ロ及び(一社)日本消火装置工業会 不活性ガス消火設備 設計・工事基準書に基づき算出した。

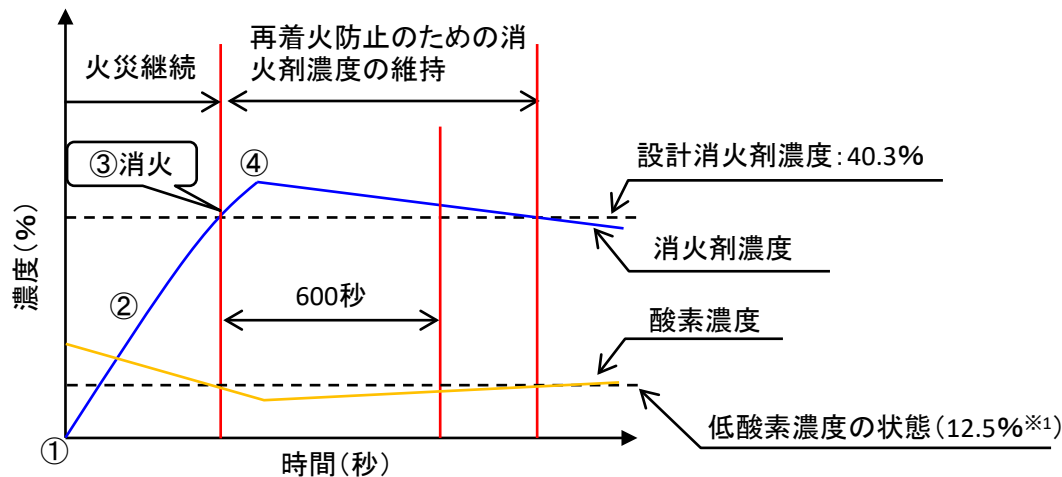
※2: 消火剤放出後の維持時間についてはNFPA2001: Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systemに準拠した。

※3: 設備の故障等を考慮して複数台設置した。

※4: 火災が発生しているコンクリートセル等内に不活性ガス(窒素ガス)を噴出し、セル等内を低酸素状態にすることで窒息消火させる。

12. 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数(3/3)

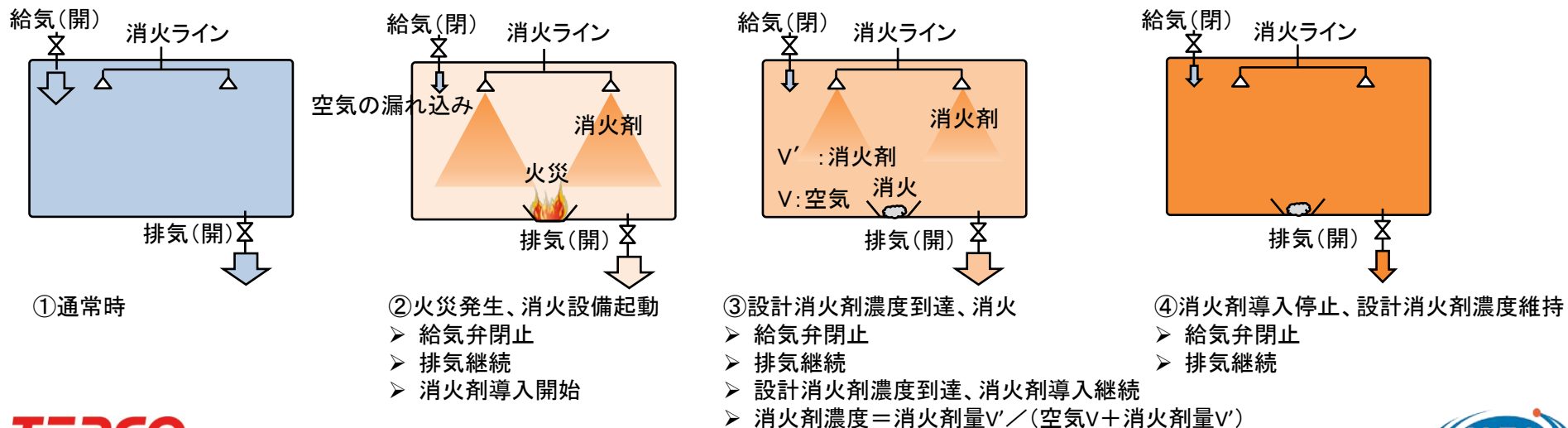
窒素ガス消火設備にてセル等内に消火剤を導入し、低酸素濃度の状態を維持することでセル等内の火災を窒息消火させる。



機器名称	設計消火剤濃度到達時の酸素濃度 (算出方法を参考に示す)
コンクリートセルNo.1	11.99%
コンクリートセルNo.2	11.99%
コンクリートセルNo.3	11.98%
コンクリートセルNo.4	11.99%
鉄セル	11.95%
グローブボックス No.1~No.4	11.82%~11.96%

※1: 燃焼が継続できない酸素濃度(15%※2付近)を考慮して設定

※2: 消防科学研究所報22号(東京消防庁)、日本化学学会誌1975年No.10等を参考



13. 分析・試験設備の火災防護(まとめ:1/5)

第2棟では以下の措置を講ずるとともに、セル等内での分析・試験時の火災対策についてマニュアル化することにより、セル等内での火災の発生を防止する。

- コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス及びフードは、可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する。
- 防爆仕様ホットプレートの使用により試薬等への引火を防止する。
- ホットプレート等の加熱機器は、表面温度が可燃物の発火温度(紙:約350°C、ポリエチレン:約450°C)^{※1}以下で使用する。
- 紙ウエス、ポリビン等は、金属容器に収納し、使用時のみ必要数を取り出す。
- 周囲にその他の可燃物を置かない。

※1:国土交通省自動車交通局, エンジンルーム内の可燃物置き忘れなどに関する調査結果(平成22年4月)

13. 分析・試験設備の火災防護(まとめ:2/5)

仮に火災が発生したとしても以下の理由により、火災は限られた範囲内で発生し、延焼の恐れはない。

- 想定される可燃物は紙ウエス10枚程度及びポリビン等5個程度である。
- 試薬等は金属製のバット内の限られた範囲内で使用する。
- 隣接セルとの気密扉のシールパッキン(難燃材料)は、気密扉(不燃材料)とセル壁(不燃材料)間に設置するため、火災により損傷しないことから隣接セル等への火災の影響はない。
- セル等からフィルタまで約20m以上の距離が離れていることからフィルタに炎が到達することはない。
- 仮にフィルタまで炎が達したとしても、フィルタは難燃材料のろ材、不燃材料のケーシングで構成されているため、フィルタが損傷して延焼する恐れはない。

セル等内で想定される火災が、限られた範囲内での火災であり、その拡大、延焼の恐れはないことから、窒素ガス消火設備を起動し、設計消火剤濃度に達するまでの間も、火災による影響はない。

13. 分析・試験設備の火災防護(まとめ:3/5)

第2棟におけるセル等の消火に係る設備の仕様は以下のとおりである。

- 窒素ガス消火設備起動時に自動で給気弁を閉止する(酸素の供給を停止)。
- セル等の負圧維持を維持するため排気を継続する。
- 設計消火剤濃度(40.3%)までセル等内に消火剤を導入し、酸素濃度を低い状態(12.5%以下)にすることで窒息消火させる。その際、排気継続に伴う換気量(流出分)、給気弁からの空気(酸素)の漏れ込み量等を考慮したうえで設計消火剤濃度まで到達するように十分な量の消火剤をセル等内へ導入できる。
- 消火後、再着火を防止するため、排気継続に伴う換気量(流出分)等を考慮したうえで設計消火剤濃度を600秒間維持するために必要な十分な量の消火剤をセル等内へ導入できる。
- なお、JAEA他施設においても、給気弁を閉止し、負圧維持のため排気を継続して消火設備を起動する構成となっている。

他施設	消火設備	給排弁
JAEA大洗地区	ハロゲン化物消火設備	給気弁:閉止 負圧維持のため排気継続
JAEA東海地区	二酸化炭素消火設備 ハロゲン化物消火設備	給気弁:閉止 負圧維持のため排気継続

13. 分析・試験設備の火災防護(まとめ:4/5)

燃料デブリ等を取り扱うコンクリートセル等に対して自主的に設置している窒素ガス消火設備の以下の機器等については、消防法上の不活性ガス消火設備に対する法令等の要求事項(以下「法令等の要求事項」という。)を準用している。

機器	第2棟の設計	法令等要求	
貯蔵容器の充填圧力	10.6MPa	30.0MPa以下	規則第十九条第5項第五号
管継手	貯蔵容器～選択弁:SUS304(防腐処理)	配管の基準による。 配管は、選択弁設置の場合、貯蔵容器から選択弁まで銅管又は鋼管(防腐処理)	規則第十九条第5項第七号
設計消火剤濃度	40.3%以上	40.3%以上	消防予第102号 平成13年3月30日

一方、以下の機器等に対しては、法令等の要求事項を準用していないが、前頁までに示したように、セル等内で想定される火災が限られた範囲内であり、拡大・延焼の恐れがないこと、さらに窒息消火が可能となる酸素濃度まで低下させ、その状態を600秒間維持することが可能であることから、本窒素ガス消火設備にてセル等内で発生した火災の消火、再着火防止が可能である。

機器	第2棟の設計	法令等要求	
噴射ヘッド	0.5MPa以上	1.9MPa以上	規則第十九条第2項第二号
消火剤放射時間	最大3分	1分以内	規則第十九条第3項
自動閉鎖装置	給気弁閉止、排気弁開	開口部に自動閉鎖装置を設置	規則第十九条第5項第四号

13. 分析・試験設備の火災防護(まとめ:5/5)

コンクリートセル等内にて火災が発生した場合、窒素ガス消火設備にて消火することを基本とする。

万一、窒素ガス消火設備の損傷等によりその機能が喪失し、かつコンクリートセル等内の火災による影響が拡大する恐れのある場合には、屋内消火栓設備又は消火器を用いて消火を行う。

14. 水素に対する考慮(1/2)

燃料デブリ等からの放射線により、水が放射線分解し水素が発生することを考慮して、水素濃度を評価し、爆発の可能性について検討した。

【評価条件】

- 評価場所は、水素が最も発生する可能性のある(燃料デブリ等の取扱量が多い)コンクリートセルとした。
- 放射線の発生源である燃料デブリ等は、すべて UO_2 燃料であり、2号機の運転履歴に基づいた燃焼度の線源とした。
- 水素濃度は、JIS A 1406「屋内換気量測定方法(炭酸ガス)」を基に次式により求めた。

$$C_t = \frac{M + C_0 Q}{Q} \times 100$$

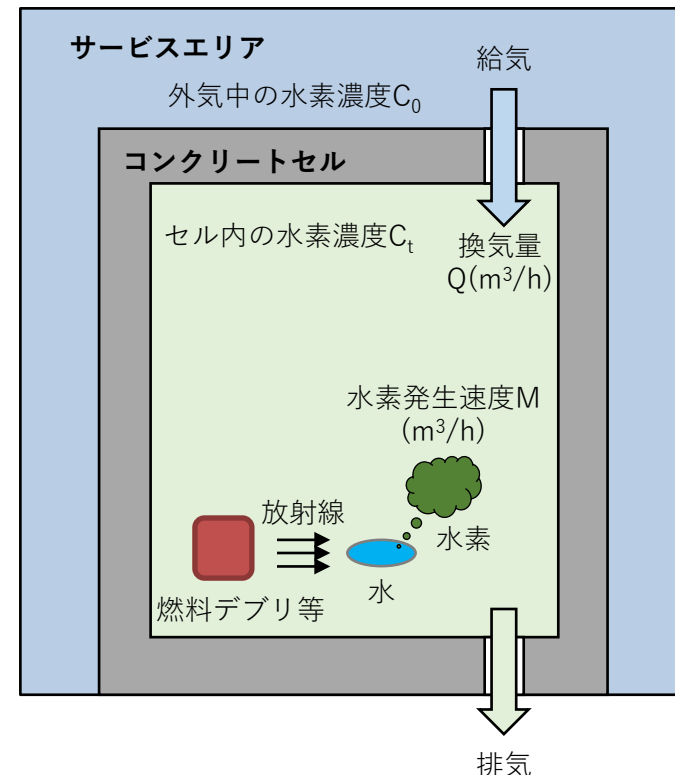
C_t : セル内の水素濃度[vol%]

C_0 : 外気中の水素濃度[-]($= 5 \times 10^{-7}$)※1

M : 水素発生速度[m³/h]

Q : 換気量[m³/h]

- 換気量は、コンクリートセルで最も小さい値(設計値: 380m³/h)を用いた。
- 水素の発生源となる水が常にコンクリートセル内に存在すると仮定した(燃料デブリが水没しているような状態)。



水素濃度の評価イメージ

※1 U.S. Standard Atmosphere, 1976, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., (1976).

14. 水素に対する考慮(2/2)

- 水素発生速度は、TMI-2燃料デブリ移送時に使用された評価式※1を基に次式により算出した。

$$M = w \times F \times \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} \times \frac{G}{100} \times \frac{22.4}{6.0 \times 10^{23}} \times \frac{3600}{1000}$$

- M : 水素発生速度 [m³/(h・g)]
 (燃料デブリ等■の場合: 1.1 × 10⁻⁴、■の場合: 3.0 × 10⁻³)
- w : 燃料デブリ等1gあたりの発熱量 [W/g]
 (燃料デブリ等1gあたりの発熱量は、計算コードORIGEN2.2-UPJを用いて算出)
- F : エネルギー吸収率 [-] (本評価では、全エネルギーが水に吸収されるとし保守的に1とした)
- G : 放射線のエネルギー100eVあたりに生成される分子数 [分子/100eV]
 (β線・γ線: 0.44、α線: 1.40)※2

【評価結果】

燃料デブリ等■の場合、コンクリートセルの水素濃度C_tは約8 × 10⁻⁵vol%となり、爆発限界である4vol%※3を下回るため、爆発は起こらない。

燃料デブリ等■(■の最大取扱量)の場合、コンクリートセルの水素濃度C_tは約9 × 10⁻⁴vol%となり、爆発限界である4vol%を下回るため、爆発は起こらない。

なお、鉄セル等については、燃料デブリ等の取扱量が少量であるため水素発生量が少なく、また、鉄セル等内が常に換気されていることから発生する水素は速やかに希釈される。このため、鉄セル等内の水素濃度は十分低い濃度であり、爆発は起こらない。

※1 J.O.Henrie and J.N.Appel, Evaluation of Special Safety Issues Associated with Handling the Three Mile Island Unit 2 Core Debris, GEND-051, (1985).

※2 H. Christensen, Fundamental Aspects of Water Coolant Radiolysis, SKI Report 2006:16, Swedish Nuclear Power Inspectorate, (2006).

※3独立行政法人産業安全研究所,産業安全研究所技術指針NIIS-TR-No.39(2006),工場電気設備防爆指針(ガス蒸気防爆2006)

参考 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数の算出①

消火に必要な窒素ガス貯蔵容器(ボンベ)本数は、コンクリートセル等の各エリアにおいて設計消火剤濃度に到達するまでに必要な消火剤量から算出した窒素ガス貯蔵容器本数に、再着火防止を考慮して設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持するために必要な窒素ガス貯蔵容器本数を加えたものとした。

1. 設計消火剤濃度に到達させるために必要な窒素ガス貯蔵容器(N)

$$N=W/8.2$$

$$W=t_0 \times Q \times K$$

$$t_0 = -(V/E/3600) \times \ln\{1 - (C \times E/3600) / (100 \times Q)\}$$

$$Q = 0.8 \times E / 3600$$

- N : 窒素ガス貯蔵容器本数(本)
 W : 必要消火剤量(m³)
 8.2 : 窒素ガス貯蔵容器(m³/本)
 t₀ : 設計消火剤濃度到達時間(s)
 Q : 消火剤放出流量(m³/s)
 K : 係数(配管内圧力の変化に伴う補正)
 V : コンクリートセル等の内容積(m³)
 E : 換気量(m³/h)
 C : 設計消火剤濃度(=40.3%)

名称	V (m ³)	K	E (m ³ /h)	N (本)
コンクリートセルNo.1	40	■	600	6
コンクリートセルNo.2	30		420	5
コンクリートセルNo.3	30		680	5
コンクリートセルNo.4	85		1500	10
鉄セル1-1	11.4		380	4
鉄セル1-2	4.8		160	
グローブボックスNo.1	2		90	3
グローブボックスNo.2	2		90	
グローブボックスNo.3	3.9		180	
グローブボックスNo.4	2		90	

※上記算出式は、國川明輝「建築技術者の知っておきたい 消火設備」理工図書を参考に算出

参考 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数の算出②

2. 1.の設計消火剤濃度到達までに必要な窒素ガス貯蔵容器本数に、再着火防止を考慮して設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持するために必要な本数を追加した窒素ガス貯蔵容器本数(N')

$$C1 = \exp\{- (E1 / 60 / V) \times t1 + A\}$$

$$A = \ln(C2) + E1 / 60 / V \times t2$$

$$C2 = (100 \times Q / E / 3600) \times \{1 - \exp(-E / 3600 \times t2 / V)\}$$

$$Q = 0.8 \times E / 3600$$

$$t2 = 8.2 \times N' / K / Q$$

C1 : 設計消火剤濃度到達時間に600秒加算した時間における消火剤濃度(≥40.3%)

E1 : 給気弁からの流入量(m³/min)

V : コンクリートセル等の内容積(m³)

t1 : 設計消火剤濃度到達時間t0に600秒加算した時間(s)

A : 消火剤放出終了時の定数

C2 : 任意の窒素ガス貯蔵容器の消火剤放出終了時の消火剤濃度(%)

t2 : 任意の窒素ガス貯蔵容器の消火剤放出終了時間(s)

Q : 消火剤放出流量(m³/s)

E : 換気量(m³/h)

8.2 : 窒素ガス貯蔵容器(m³/本)

N' : 任意の窒素ガス貯蔵容器本数(本)

K : 係数(配管内圧力の変化に伴う補正)

窒素ガス貯蔵容器本数N'を任意に設定することで設計消火剤濃度到達時点から600秒後の消火剤濃度C1を算出し、C1が40.3%を超えた時のN'を必要な窒素ガス貯蔵容器本数とする。

名称	V (m ³)	K	E (m ³ /h)	E1 (m ³ /min)	N' (本)
コンクリートセルNo.1	40	■	600	0.29	7
コンクリートセルNo.2	30		420	0.29	6
コンクリートセルNo.3	30		680	0.29	6
コンクリートセルNo.4	85		1500	0.40	11
鉄セル1-1	11.4		380	0.19	4
鉄セル1-2	4.8		160	0.11	
グローブボックスNo.1	2		90	0.04	3
グローブボックスNo.2	2		90	0.04	
グローブボックスNo.3	3.9		180	0.04	
グローブボックスNo.4	2		90	0.04	

※上記算出式は、國川明輝「建築技術者の知っておきたい 消火設備」理工図書を参考に算出

参考 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数の算出③

【容積の最も大きいコンクリートセルNo.4の場合】

1. 設計消火剤濃度に到達させるために必要な窒素ガス貯蔵容器(N)

$$Q = 0.8 \times 1500 / 3600 = 0.333 (\text{m}^3/\text{s})$$

$$t_0 = - (85 / 1500 / 3600) \times \ln \{ 1 - (40.3 \times 1500 / 3600) / (100 \times 0.333) \} = 143 (\text{s})$$

$$W = 143 \times 0.333 \times \blacksquare = \blacksquare (\text{m}^3)$$

$$N = \blacksquare / 8.2 = \blacksquare \doteq 10 \text{本}$$

2. 1.の設計消火剤濃度到達までに必要な窒素ガス貯蔵容器本数に、再着火防止を考慮して設計消火剤濃度を600秒間維持するために必要な本数を追加した窒素ガス貯蔵容器本数(N')

① N' = 10本(上記1.で算出した窒素ガス貯蔵容器本数)の場合

$$t_2 = 8.2 \times 10 / \blacksquare / 0.333 = \blacksquare$$

$$C_2 = (100 \times 0.333 / 1500 / 3600) \times \{ 1 - \exp(-1500 / 3600 \times \blacksquare / 85) \} = \blacksquare (\%)$$

$$A = \ln(\blacksquare) + 0.40 / 60 / 85 \times \blacksquare = 3.7$$

$$C_1 = \exp \{ - (0.40 / 60 / 85) \times 743 + 3.7 \} = 39.1 (\%)$$

設計消火剤濃度に到達するまでに必要な窒素ガス貯蔵容器本数10本では、設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持することができない。

② ①に1本追加したN' = 11本の場合

$$t_2 = 8.2 \times 11 / \blacksquare / 0.333 = \blacksquare$$

$$C_2 = (100 \times 0.333 / 1500 / 3600) \times \{ 1 - \exp(-1500 / 3600 \times \blacksquare / 85) \} = \blacksquare (\%)$$

$$A = \ln(\blacksquare) + 0.40 / 60 / 85 \times \blacksquare = 3.8$$

$$C_1 = \exp \{ - (0.40 / 60 / 85) \times 743 + 3.8 \} = 41.7 (\%)$$

設計消火剤濃度に到達するまでに必要な窒素ガス貯蔵容器本数10本に1本追加した合計11本では、設計消火剤濃度到達時点から、その濃度を600秒間維持することができる。

以上の結果より、コンクリートセルNo.4内の火災を消火し、再着火を防止するために必要な窒素ガス貯蔵容器本数は11本である。

参考 設計消火剤濃度到達後の酸素濃度

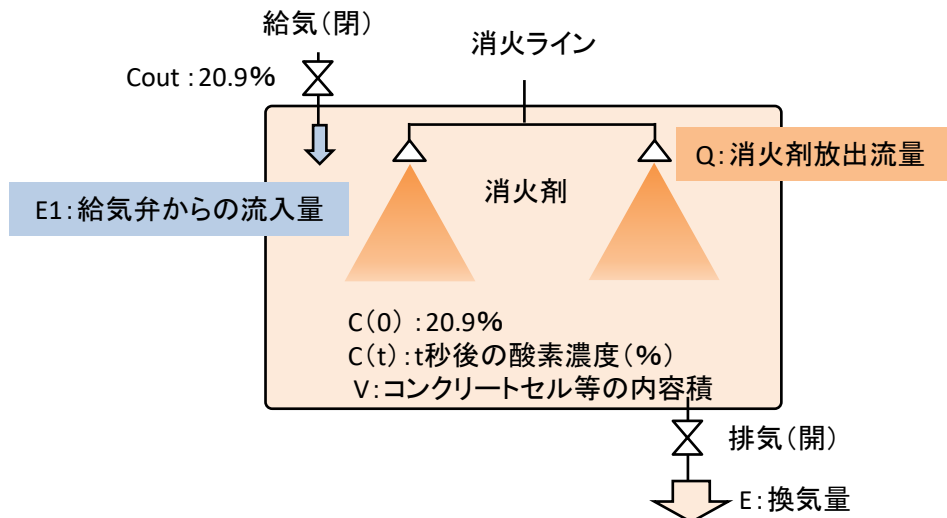
設計消火剤濃度到達後の酸素濃度の算出式を以下に示す。

$$C(t) = ((C(t-1) \times V + C_{out} \times E1 / 60 \times t) / (V + (Q + E1 / 60) \times t)) \times 100$$

$$Q = 0.8 \times E / 3600$$

- $C(t)$: t秒後のコンクリートセル等の酸素濃度(%)
 $C(t-1)$: t-1秒後のコンクリートセル等の酸素濃度(%)
 V : コンクリートセル等の内容積(m³)
 C_{out} : 外気中の酸素濃度(=20.9%)
 $E1$: 給気弁からの流入量(m³/min)
 t : 消火剤放出開始後の任意の経過時間(s)
 Q : 消火剤放出流量(m³/s)
 E : 換気量(m³/h)

名称	V (m ³)	E (m ³ /h)	E1 (m ³ /min)
コンクリートセルNo.1	40	600	0.29
コンクリートセルNo.2	30	420	0.29
コンクリートセルNo.3	30	680	0.29
コンクリートセルNo.4	85	1500	0.40
鉄セル1-1	11.4	380	0.19
鉄セル1-2	4.8	160	0.11
グローブボックスNo.1	2	90	0.04
グローブボックスNo.2	2	90	0.04
グローブボックスNo.3	3.9	180	0.04
グローブボックスNo.4	2	90	0.04



※上記算出式は、國川明輝「建築技術者の知っておきたい 消火設備」理工図書を参考に算出

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(建屋の火災防護について)
11月27日面談資料改訂版

2020年12月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 第2棟建屋の火災防護について(1/5)

第2棟は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の3方策を適切に組み合わせた措置を講ずる。

1.火災の発生防止

(1) 不燃性材料, 難燃性材料の使用

第2棟は、主要構造部である壁, 柱, 床, はり, 屋根及び階段は、不燃性材料を使用する。間仕切り壁, 天井及び仕上げは、建築基準法, 建築基準法施行令及び建設省告示に基づく他、可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

建屋内の機器, 配管, 排気管, 排気ダクト, トレイ, 電線路及び盤の筐体の主要構造体並びにこれらの支持構造物は、不燃性材料とする。また、幹線ケーブル, 動力ケーブル及び制御ケーブルは難燃ケーブルを使用する他、消防設備用のケーブルは消防法, 消防法施行令, 消防法施行規則及び消防庁告示に基づき耐火ケーブル及び耐熱ケーブルを使用する。

(2) 自然現象による火災発生防止

第2棟の建屋, 系統及び機器は、落雷, 地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とし、建築基準法, 建築基準法施行令及び建設省告示に基づき避雷設備を設置する。

第2棟の建屋は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(平成18年9月19日)に基づき設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する。

(3) 過電流保護, 漏電遮断器の使用

第2棟の分電盤等には、過電流保護機能を有する漏電遮断器や配線用遮断器を適切に設置する。

1. 第2棟建屋の火災防護について(2/5)

一部改訂

2. 火災の検知及び消火

(1) 火災検知器及び消火設備

第2棟の建屋に設置する火災検知器及び消火設備は、早期消火を行えるよう消防法、消防法施行令及び消防法施行規則に基づいた設計とする。

① 火災検知器

放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して検知器の型式(熱・煙)を選定する。なお、火災検知時は、受信器より常時人のいる建屋内制御室及び免震重要棟に代表警報を発報する設計とする。

② 消火設備

消火設備は、屋内消火栓設備及び粉末消火器で構成する。屋内消火栓は、各階に半径25mの範囲に放水できるように配置し、消火器は歩行距離20mの範囲内となるように設置する。

屋内消火栓設備の消火水槽の容量(貯水量)は約 16m^3 ※(水槽容積:約 26m^3)とする。これは、東電自衛消防隊が第2棟に到着する時間(約60分を想定)までの初期消火が可能な放水量に相当する設計としている。さらに、屋外には「消防水利の基準」(平成二十六年十月三十一日消防庁告示第二十九号)に基づき地下埋設型の消防水利の容量(貯水量)約 40m^3 (水槽容積:約 41m^3)を設置し、第2棟屋外での消火活動を行うことができる。

(2) 自然現象に対する消火設備の性能維持

消火設備は、凍結防止、風水害対策等の措置を講じた設計とする。

※消防法施行令第11条により、ノズルの放水量130ℓ/分から算出した容量: $130\text{ℓ/分} \times 60\text{分} \times 2\text{口} = 15600\text{ℓ} \div 1000 \approx 16\text{m}^3$

1. 第2棟建屋の火災防護について(3/5)

3. 火災の影響の軽減

第2棟の建屋は、建築基準法及び建築基準法施行令に基づき防火区画を設置し、消防設備と組み合わせることにより、火災の影響を軽減する設計とする。なお、主要構造部の外壁(鉄筋コンクリート造)は、延焼を防止するために必要な耐火性能を有する設計とする。

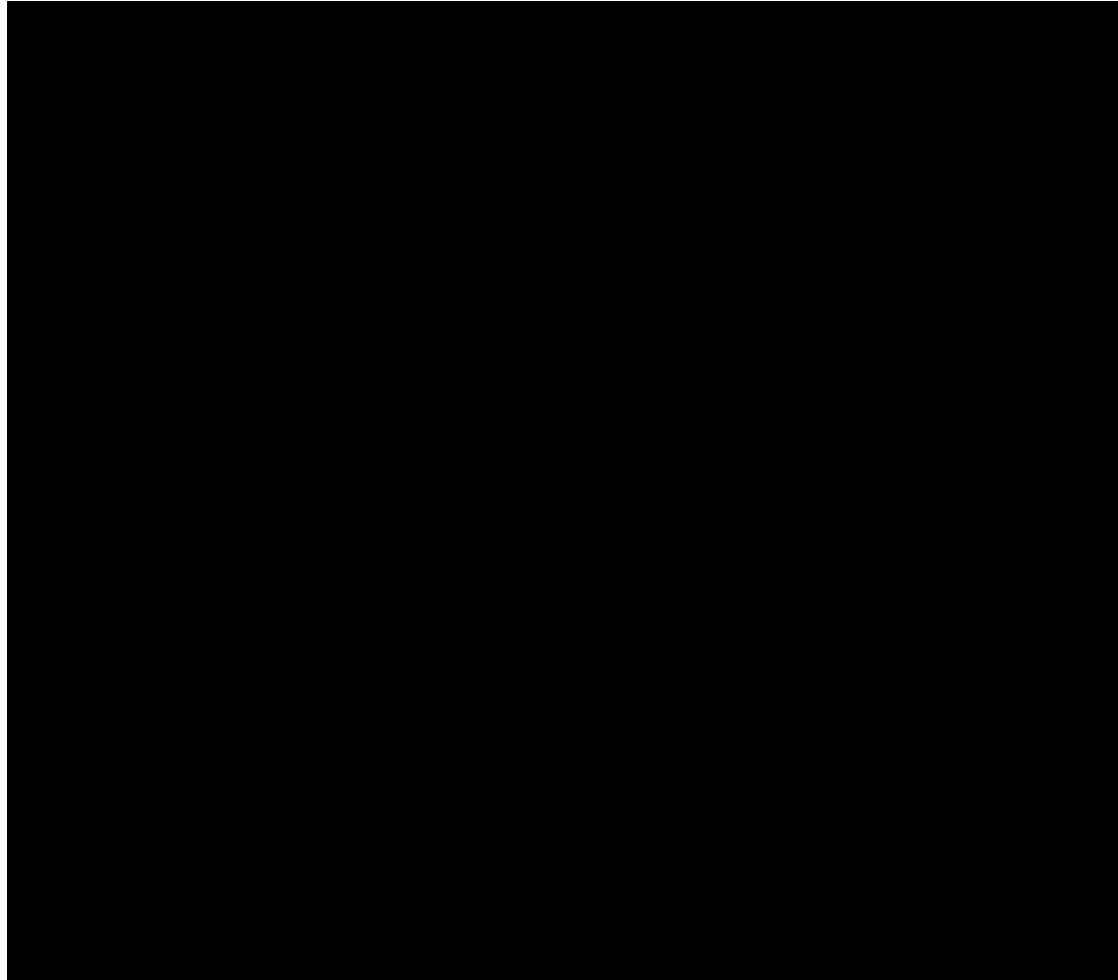
4. 外部火災について

外部火災に対しては、建屋内設備は建屋で防護し、屋外設備は消火活動により防護する。消火活動が可能なように、消防水利を「消防水利の基準」(平成二十六年十月三十一日消防庁告示第二十九号)に基づき設置する。

第2棟周囲の森林から第2棟建屋までは20m以上確保する。

1. 第2棟建屋の火災防護について(4/5)

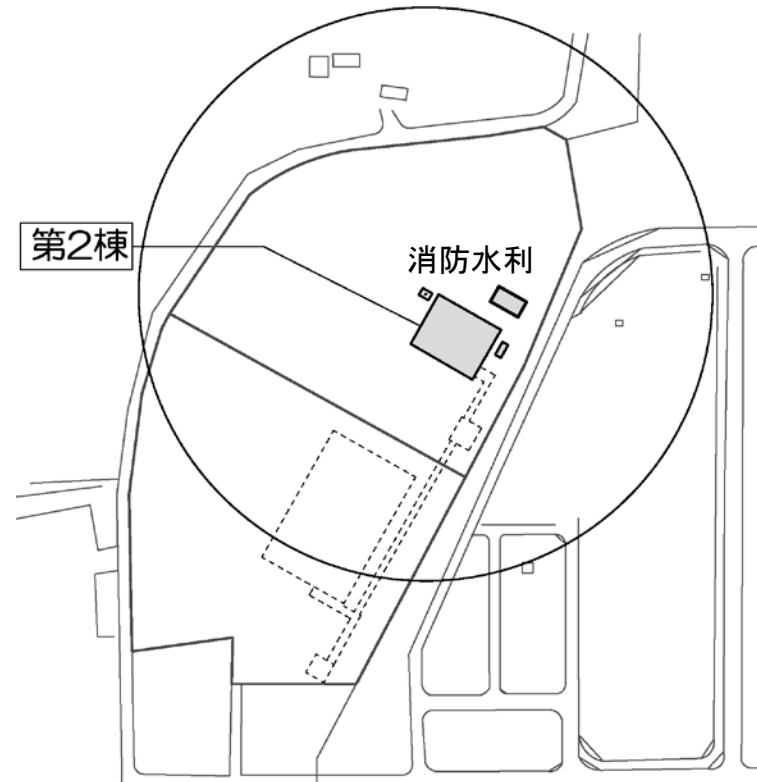
消火設備の取付箇所を以下に示す。



凡例	
	屋内消火栓設備
	消火器

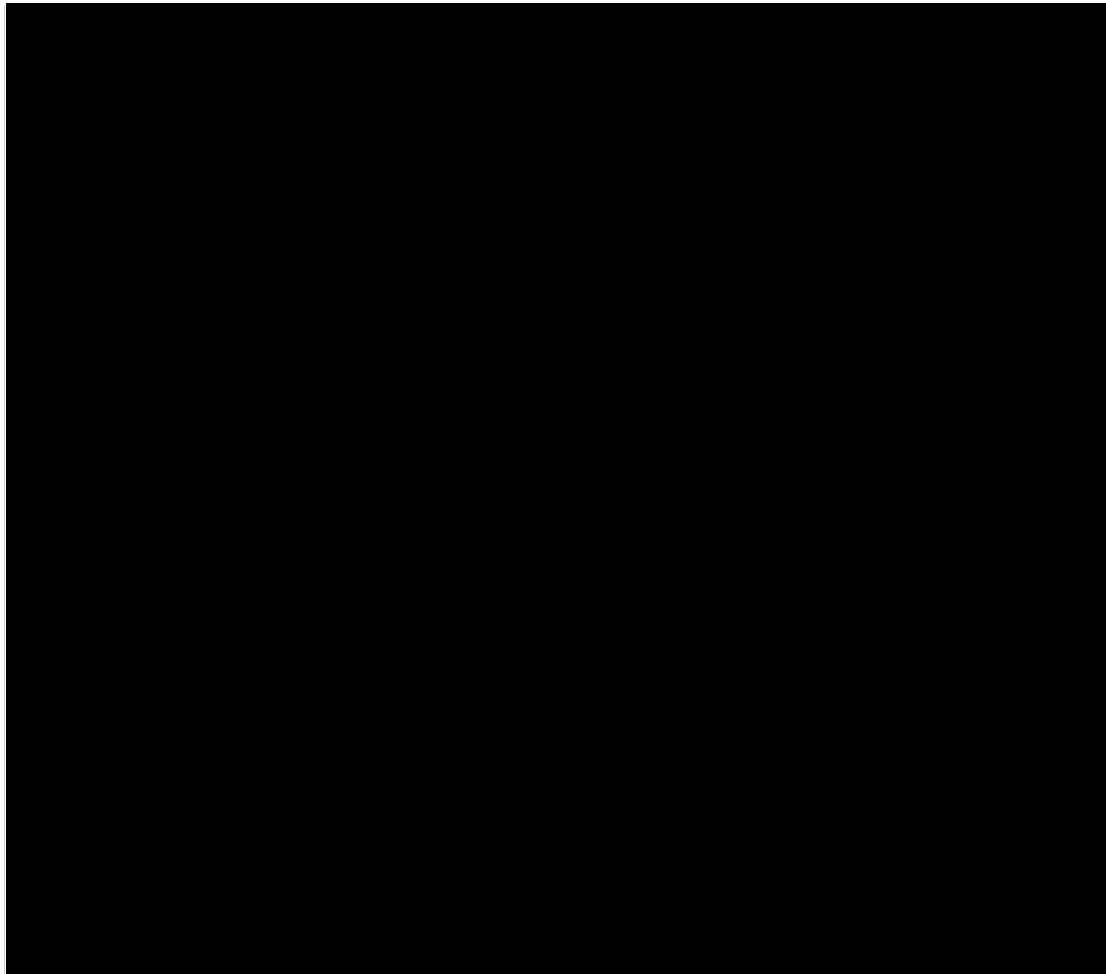
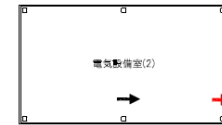
1. 第2棟建屋の火災防護について(5/5)

消防水利の位置



2. 第2棟の安全避難通路について

第2棟の建屋には、分析・試験、定期的な放射線測定、建物及び建屋内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法、建築基準法施行令及び建設省告示並びに消防法及び消防法施行令に基づき安全避難通路を設定する。避難通路を以下に示す。



凡例	
	非常口
	避難経路

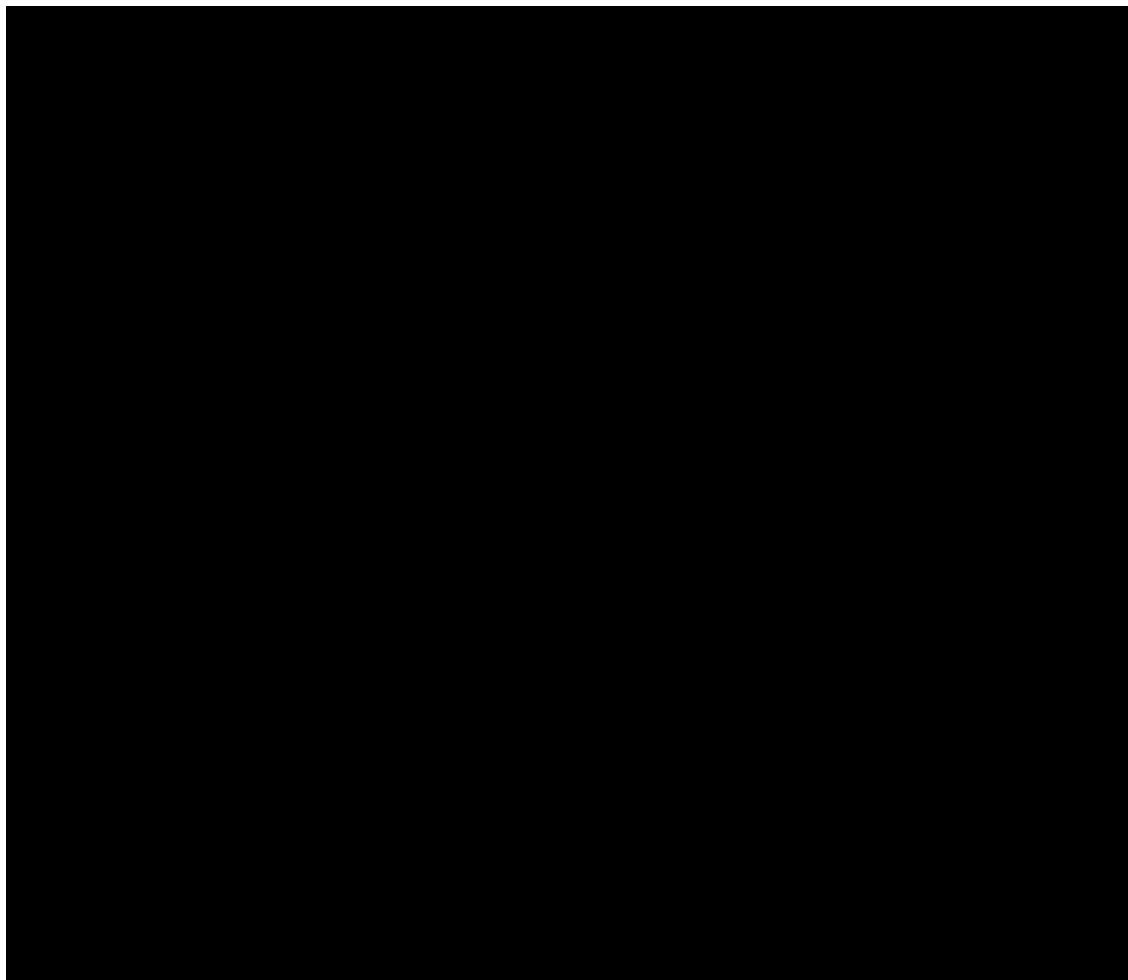
3. 第2棟の非常用照明について

第2棟には、分析・試験、定期的な放射線測定、建物及び建屋内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法、建築基準法施行令及び建設省告示に基づく非常用照明並びに消防法及び消防法施行令に基づく誘導灯を設置する。また、所轄消防の指導により、地下1階 換気空調設備室(2)の屋内消火栓ポンプ操作面及び経路に供する非常用照明を設置する。

非常用照明及び誘導灯の取付箇所を右図に示す。



凡例	
	避難口誘導灯（電池内蔵型）
	通路誘導灯（電池内蔵型）
	非常照明器具（電池内蔵型）
	階段通路誘導灯（電池内蔵型）



4. 第2棟建屋の火災防護に係る適用法令について(1/2)

建屋の火災防護に係る建築基準法、消防法等に関連する対応を下記に示す。

No.	項目	法規	適用及び規制の内容	対応
1	2以上の直通階段	建築基準法施行令第121条	避難階以外の階における「居室」の床面積の合計が避難階の直上階にあっては200㎡を、その他の階にあっては100㎡を超えるものは2以上の直通階段を設ける。	2階が対象 地下1階は非居室のため対象外
2	非常用照明	建築基準法施行令第126条の4	延べ面積が1000㎡を超える建築物の居室及びこれらの居室から地上に通ずる廊下、階段その他の通路(採光上有効に直接外気に開放された通路を除く。)並びにこれらに類する建築物の部分で照明装置の設置を通常要する部分には、非常用照明を設けなければならない。	1,2階が対象 地下1階は消防指導により設置
3	誘導灯	消防法施行令第26条	地階、無窓階の部分。	各階に設置
4	不燃材料	建築基準法 第2条 建設省告示第1400号	建築材料のうち、不燃性能に関して政令で定める技術的基準に適合するもので、国土交通大臣が定めたもの又は国土交通大臣の認定を受けたもの。	建屋の主要構造部(壁、柱、床、はり、屋根及び階段)に使用
5	難燃材料	建築基準法施行令第1条 建設省告示第1402号	建築材料のうち、通常の火災による加熱が加えられた場合に、加熱開始後5分間第108条の2号(不燃性能及びその技術的基準)に掲げる要件をみたしているものとして、国土交通大臣が認めたもの又は国土交通大臣の認定を受けたもの。	間仕切り壁、仕上材等に使用
6	機器、配管等の不燃性材料*	实用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準2.1.2(1)	機器、配管、排気管、排気ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体、及びこれらの支持構造物のうち、主要な構造材は不燃性材料を使用すること。	機器、配管、排気管、排気ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体の主要構造体並びに支持構造物に使用
7	難燃ケーブル*	实用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準2.1.2(3)	難燃ケーブルを使用すること。	幹線・動力・制御ケーブルに使用
8	耐火ケーブル	消防庁告示第10号	JISで定める加熱条件において性能を30分間確保できるもの。	消火ポンプ用動力ケーブルに使用
9	耐熱ケーブル	消防庁告示第11号	JISで定める加熱条件において性能を15分間確保できるもの。	屋内消火栓等の制御ケーブルに使用

4. 第2棟建屋の火災防護に係る適用法令について(2/2)

一部改訂

No.	項目	法規	適用及び規制の内容	対応
10	耐火性能	建築基準法施行令第107条	通常の火災による火熱を壁、柱、床及びはりは1時間、屋根及び階段は30分間加えた場合に、構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じないものであること。	外壁等
11	防火区画	建築基準法施行令第112条	床面積の合計1500㎡以内ごとに区画する。	各階に設置
12	避雷設備	建築基準法 第33条 建築基準法施行令第129条の14	高さ20mをこえる建築物には、有効に避雷設備を設けなければならない。 建築物の高さ20mをこえる部分を雷撃から保護するように設ける。	屋上に避雷針等を設置
13	火災検知器	消防法施行令 第21条	延べ面積が1000㎡以上のもの。	各階に設置
14	粉末消火器	消防法施行令 第10条 消防法施行規則 第6条	延べ面積が300㎡以上のもの。 消火器具は、それぞれ一の消火器具に至る歩行距離が20m以下となるように配置しなければならない。	各階に20m以下となるように設置
15	屋内消火栓設備	消防法施行令 第11条	延べ面積が2000㎡以上のもの。 屋内消火栓は、防火対象物の階ごとに、その階の各部分から一のホース接続口までの水平距離が25m以下となるように設けること。 ノズル放水量は130ℓ/分以上であること。 水源は5.2㎡以上とすること。	各階に25m以下となるように設置 130 ℓ/分のノズル放水量を有する機器を設置 5.2㎡以上(約16㎡)の水源を確保
16	消防水利*	平成二十六年十月三十一日消防庁告示第二十九号 消防水利の基準 第3条	貯水量が40㎡以上のもの	40㎡の地下埋設型消防水利を設置

注記 *: 設計上の配慮事項

5. 第2棟の緊急時対策について

福島第一原子力発電所の緊急時対策については、実施計画書「Ⅱ.1.13 緊急時対策」のとおりである。これに基づき、第2棟としての具体的な対策を以下に示す。

1. 緊急時において必要な施設及び資機材

- ① 安全避難経路の設定
- ② 火災検知器, 消火設備, 及び防火区画の設置
- ③ 非常用照明, 誘導灯の設置
- ④ 緊急時の資機材としての担架, 除染用具, 線量計の整備

2. 緊急時の警報系及び通信連絡設備

- ① 火災検知警報
- ② 通信連絡設備

第2棟内の人に対する指示は、放送設備, ページング, 電話回線を用いて行う。第2棟から免震重要棟に対しては電話回線, LAN回線を用いて連絡する。また, 免震重要棟から第2棟に対しても, 同設備を用いて連絡する。特定原子力施設内の全ての人に対する指示が必要な場合には免震重要棟を介して行う。

第2棟から福島第一原子力発電所(免震重要棟)及び関係箇所(構外)への連絡設備は、固定電話, 携帯電話, FAX及びインターネット回線を用いることで多重性を確保している。

さらに, 第2棟と免震重要棟間には, ホットライン(専用電話)及び専用LANを敷設するとともに, 構外への連絡手段として衛星電話を設置することで多様性を確保している。

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(保安体制について)

10月29日面談資料改訂版

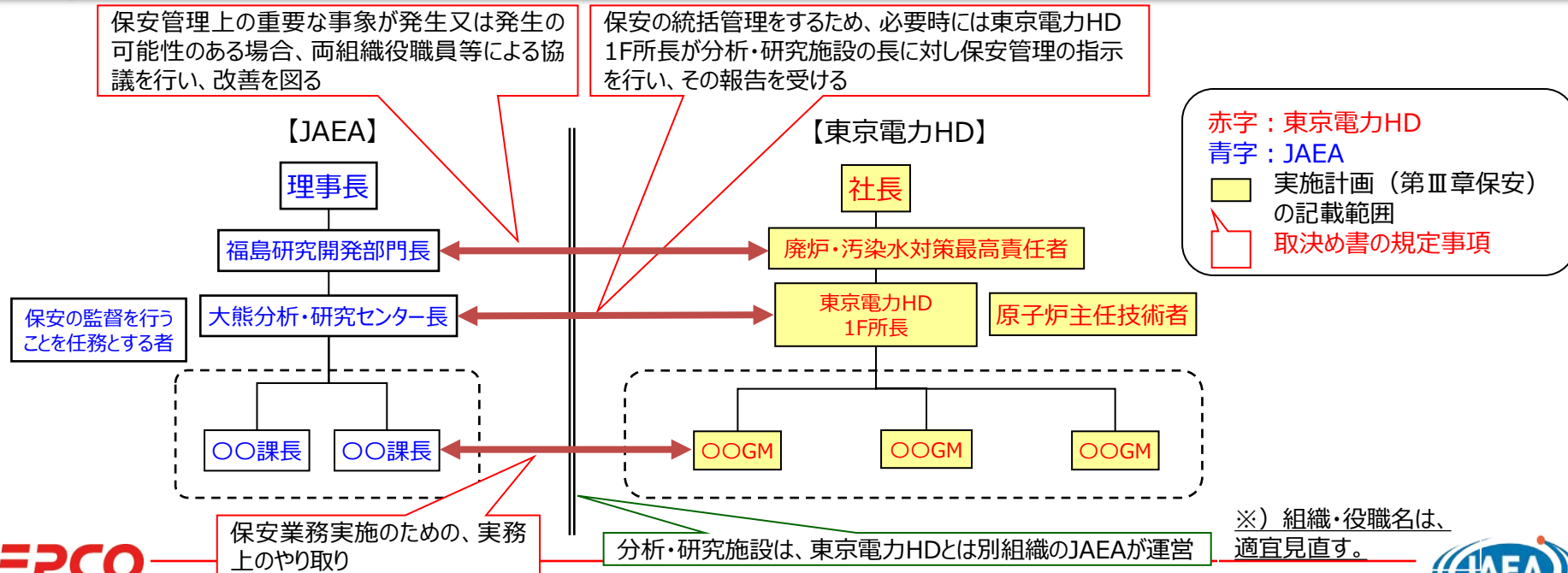
2020年12月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 放射性物質分析・研究施設の保安体制(覚書)

JAEAと東京電力HDは本施設の安全性並びに効率性を相互協力により確保するため覚書を交わし、放射性物質分析・研究施設に係る**両者の基本的な役割分担、権利義務**を以下の通り定めている。

- 放射性物質分析・研究施設は、1Fにおける特定原子力施設の一部として、**東京電力HDが保安に関する統括管理を行う**。
- 放射性物質分析・研究施設の**施設所有・運営**は、十分な技術力を有する**JAEAを主体**とすることで、本施設の有効活用を図る。
- 分析結果の第三者性の観点から、JAEAの運営組織は東京電力HDと別組織とする。
- 本施設についての保安管理を確実に実施するため、**両者の関係を取決め書**で規定する。
- 保安管理上の重要な事象が発生又は発生の可能性がある場合は、両組織の役員による協議を行い、改善を図る。
(東京電力HDの役員は実施計画上に位置づけがあり、対応するJAEA役員と協議を行う。)



2. 放射性物質分析・研究施設の保安体制(取決め)

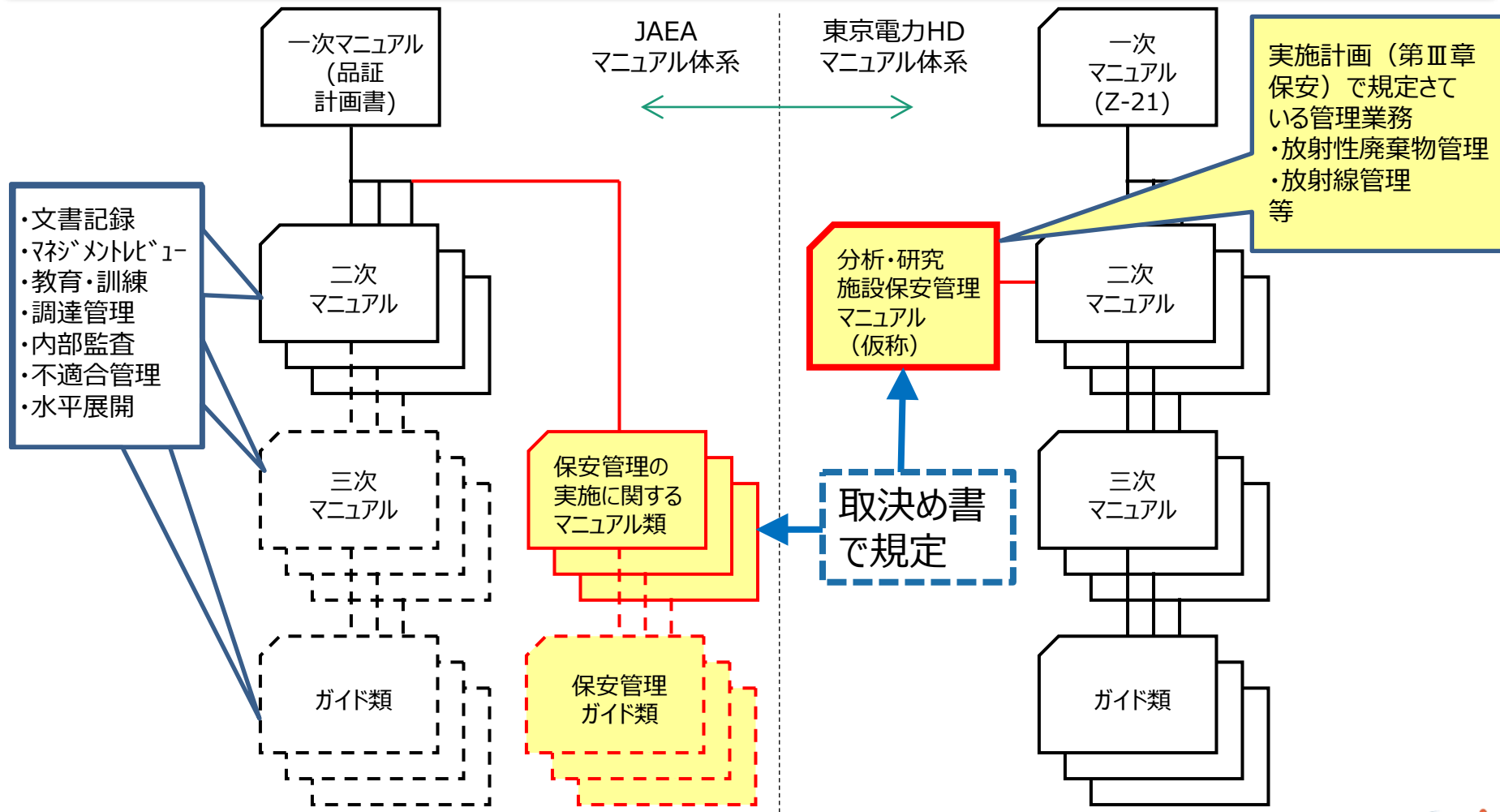
放射性物質分析・研究施設についての**保安管理を確実に実施するため、両者の関係を取決め書で規定**する。今後、第2棟に係る取決め書は、以下の第1棟の建設・運転保守における保安管理に関する取決め書に準じた内容とする予定である。

取決め書に定める両社の保安に係る具体的な役割分担

東京電力HD	JAEA
本施設についても、他の実施計画の施設と同等の保安管理・保安活動を実施。	実施計画を遵守。 実施計画第三章の条文から直接的な要求がない場合でも、東電HDの施設と同水準の管理を行う。
特定原子力施設の設置者として、各職務に応じた 保安管理 を行う。 ・JAEAのマニュアル・手順書及びそれらに沿った活動のエビデンスを定期的に 確認 。 ・運転保守段階では、定期的な現場巡視や保安管理に関する各種会議に参加する等により、 当該施設の運用状況を把握 。 ・保全計画が適切に管理されていることを 定期的に確認 。 ・保管管理に係るマニュアル・手順書等を制改訂する際は、JAEAに 通知 。	東電HDの保安管理の下、各職務に応じた 保安活動 を行う。 ・東電HDがマネージメントレビューを実施する上で必要な情報やその他双方が必要と考える事項について 報告 。 ・保安管理上の改善が必要な場合は、改善を実施。 ・保安管理状況を 日常的に報告 。 ・全ての 不適合事象を報告 。 ・保安管理に係るマニュアル・手順書等を制改訂する際は、施行前に東電HDに 確認 を受ける。
保安管理に関する具体的な 要求事項をマニュアルとして定める 。	左記マニュアルの 要求事項に従い、その具体的な手順を示したマニュアル等を定める 。
保安検査は東電HDが受検。	東電HDの統括管理の下、保安検査官への状況説明及び必要な対応を行う。
1F所長は、保安管理上の懸念があった際には、 設備運用停止 やその改善について指示できる。	左記指示に従う。

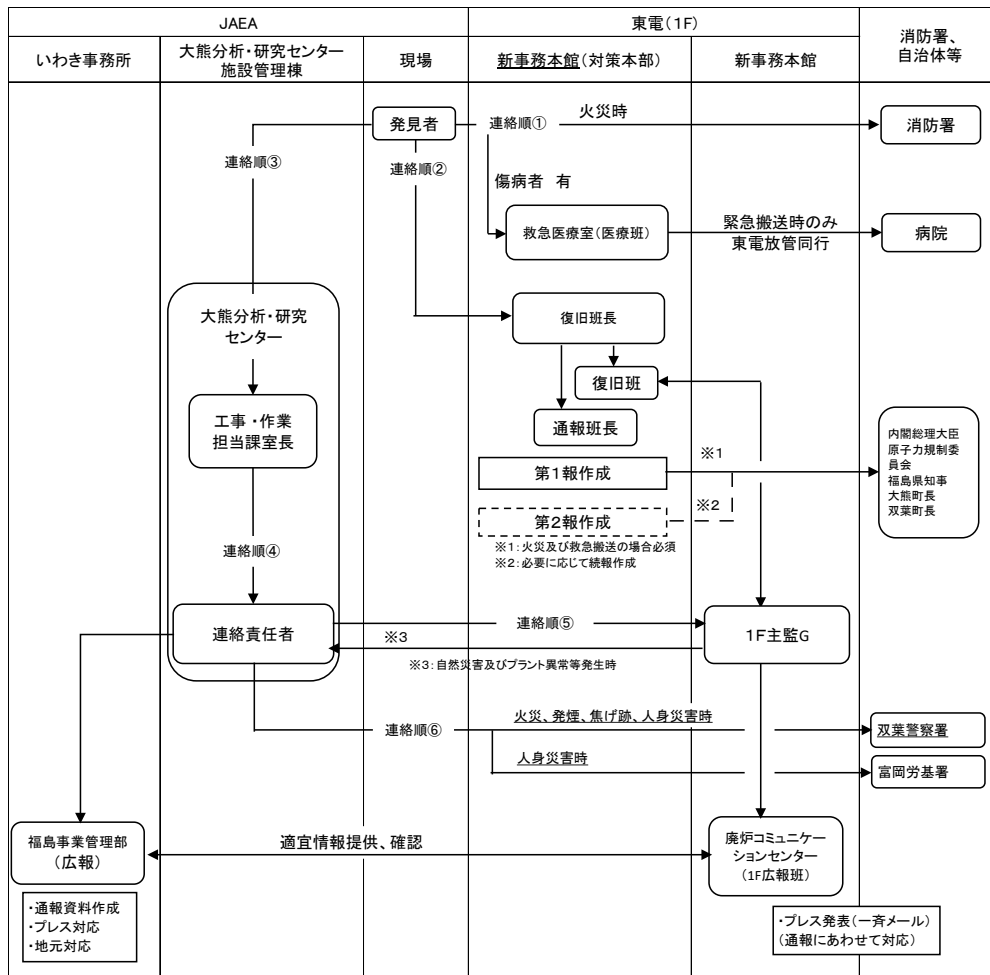
3. 放射性物質分析・研究施設の保安体制(QMS)

取決め書に基づき、東京電力HDは二次マニュアルに「保安管理上の要求事項」を定め、JAEAは三次マニュアルに「その要求事項に従い具体的な手順等」を定め、実務に適用する。



4. 放射性物質分析・研究施設の保安体制 (連絡通報体制案)

第2棟に係る連絡通報体制は、以下の建設工事及び、施設管理棟運用に係る事故時等の通報・連絡対応による。なお、本体制は必要に応じ改善を図って行く。



4. 放射性物質分析・研究施設の保安体制

緊急事態発生時の役割分担(1/2)

第2棟に係る緊急事態発生時の役割分担は、以下の第1棟役割分担に準じた内容とする予定である。

	№	項目	区分		備考
			JAEA	東電	
火災	1	通報連絡			
	a)	消防(119番)通報、復旧班長への連絡	○(発見者)		
	b)	警察への連絡	○		
	c)	自治体への通報		○	
	2	消火活動			
	a)	JAEA自衛消防隊	○	※	※:JAEAからの要請に応じて出勤し、JAEAの指揮下に入る
	b)	消火本部の設置	○		本部及び現地本部
	c)	消火本部用場所の確保	○	※	※:JAEAからの要請に応じて提供
	d)	発電所構内消火活動における便宜提供		○	JAEAからの要請に応じて提供(APD貸与、サーベイ、消火設備等)
	3	鎮火確認	○		東電への報告を含む
4	原因究明及び再発防止	○		東電への報告を含む	
傷病	1	通報連絡			
	a)	救急医療室、復旧班長への連絡	○(発見者)		
	b)	労基署・警察署への連絡・説明	○		
	2	救急医療		○	緊急医療室の用意、応急処置、緊急搬送判断、身体汚染確認及び証明書作成
	3	病院への同行及び説明			
	a)	事業主体としての対応	○		東電への必要な情報提供を含む
	b)	原子力災害現地対策本部の定める要領に基づく対応		○	東電保安班員が同行
4	自治体への通報		○		

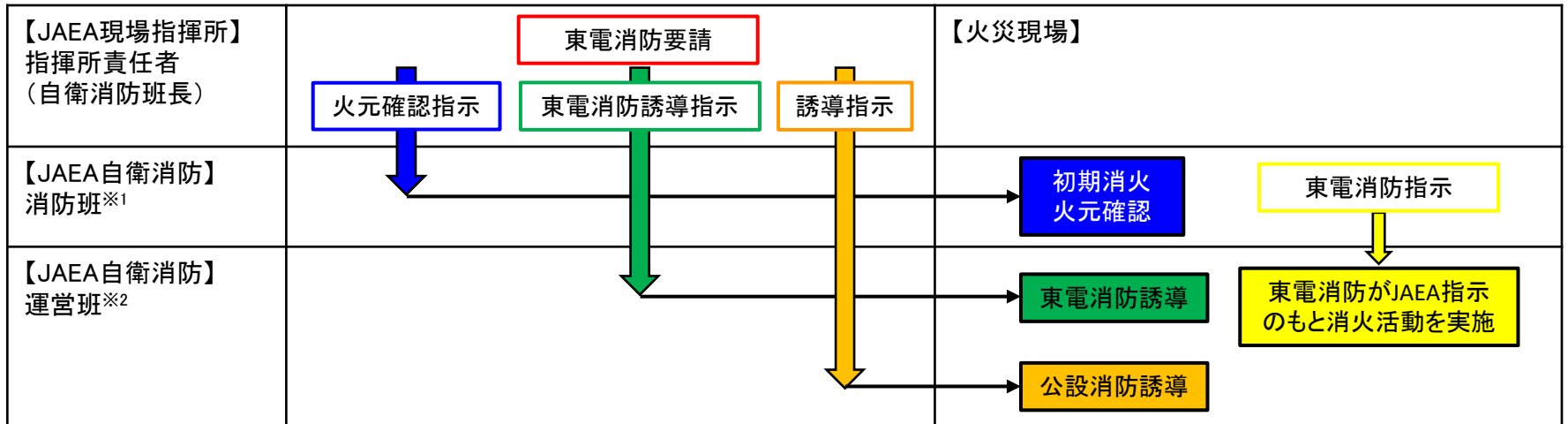
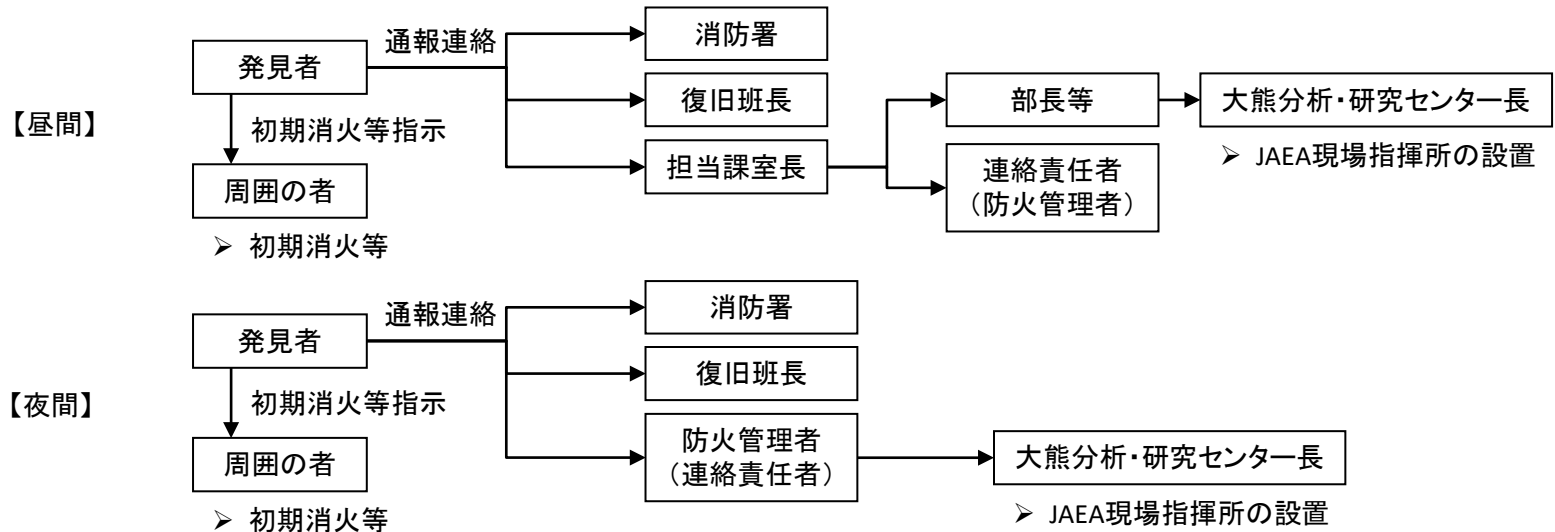
4. 放射性物質分析・研究施設の保安体制

緊急事態発生時の役割分担(2/2)

	№	項目	区分		備考
			JAEA	東電	
現場異常 トラブル	1	実施計画に記載の安全機能に係わる設備の故障	○	※	※: 東電は報告を受け、必要に応じ指示、指導を行う
	2	上記以外の設備の故障	○		
	3	油漏れの場合			
	a)	通報連絡			
		①消防、復旧班長への連絡	○(発見者)		
		③自治体への通報		○	
	b)	原因究明及び再発防止	○		
	4	その他事象への対応			
	a)	自治体への通報		○	
b)	自治体への通報以外の対応	○			

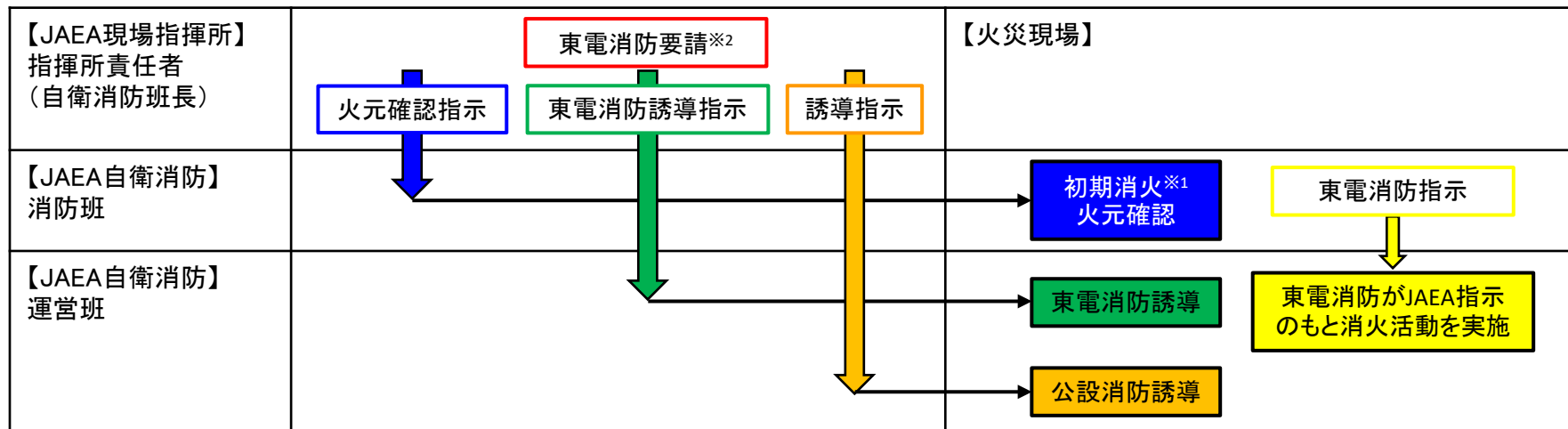
5. 火災時の対応①

第2棟は、以下の施設管理棟における連絡通報体制をもとに今後定めていく。



※1: 初期消火、消火作業の指揮等を行うもの。 ※2: 情報収集、消防機関の誘導等を行うもの。

5. 火災時の対応②



※1: 消火器等にて初期消火を行う。

※2: 初期消火(JAEA対応)にて消火が困難である場合(防火服等の装備が必要になる規模の火災の場合)、東電消防に要請する。

【JAEAにて準備する装備】

汚染の状況等の現場確認を行うため、呼吸保護具、タイベックスーツ等の防護服を準備する。

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(セル・グローブボックスの閉じ込めに係る整理について)
11月20日面談資料改訂版

2020年12月11日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. セル等の放射性物質の閉じ込め(1/4)

◆基本的な考え方

- 換気空調設備にてセル等内を負圧にすることで、放射性物質を閉じ込めることを基本とする。
 - 負圧維持による閉じ込め(参考1)
- 負圧維持が出来ない場合は、構造*1により放射性物質を閉じ込める。
 - 構造による閉じ込め(参考1)

*1:セル等、ダクト、フィルタ、弁(参考2)

◆想定される事象に対する閉じ込めの考え方

	負圧維持による閉じ込め	構造による閉じ込め
①通常時	○	—
②外部電源喪失時	○	—
③火災発生時	○	—
④負圧維持に必要な設備の機能喪失時*2	—	○
⑤負圧維持に必要な設備の機能喪失+火災発生時*3	—	○

*2: 電源喪失時、Bクラス地震によるCクラス設備の損傷時等、排風機が機能しない場合

*3: 負圧に必要な設備の機能喪失時に、万一、さらに火災が発生した場合の対応について示すものである。

1. セル等の放射性物質の閉じ込め(2/4)

①通常時

- 換気空調設備にてセル等内を負圧維持することにより、放射性物質を閉じ込める。

②外部電源喪失時(参考3)

- 大熊線3, 4号より給電しており、3号又は4号のみの停電では第2棟の電源喪失は起きないため、セル等内を負圧維持することにより閉じ込める。
- 大熊線3, 4号ともに喪失した場合、予備電源へ切り替えて給電しセル等内を負圧維持することにより閉じ込める。

③火災発生時

- 換気空調設備にてセル等内を負圧維持することにより閉じ込める。
- 窒素ガス消火設備による消火時においても、管理区域(分析室等)等への放射性物質の汚染拡大防止として負圧を維持する。

1. セル等の放射性物質の閉じ込め(3/4)

④負圧維持に必要な設備の機能喪失時*¹

- 構造による閉じ込めとして、給気フィルタと排気フィルタの間で放射性物質を閉じ込める。
- その際、フィルタから放出される放射性物質による影響は、 $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2$ に比べ十分に小さい。(参考4)
- フィルタからの放射性物質の放出をさらに低減するため、セル等の直近の給排気ラインに弁を設置し、閉止できる設計とする。
- 弁の閉止が速やかに出来るよう操作性・アクセス性を考慮する。
- 排風機が停止した場合の弁の操作を含めマニュアル化する。

* 1: 電源喪失時、Bクラス地震によるCクラス設備の損傷時等、排風機が機能しない場合

* 2: 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針における周辺監視境界外の線量目標値

1. セル等の放射性物質の閉じ込め(4/4)

⑤負圧維持に必要な設備の機能喪失＋火災発生時

- 火災によるフィルタ損傷の恐れがないことから、火災発生時においても、給気フィルタと排気フィルタの間で放射性物質を閉じ込める。
- その際、フィルタから放出される放射性物質による影響は、 $50 \mu\text{Sv}^*1$ に比べ十分に小さい(参考4)。
- ④と同様、フィルタからの放射性物質の放出をさらに低減するため、セル等の直近の給排気ラインに弁を設置し、閉止できる設計とする。
- 火災発生時の弁の閉止操作については、火災による内圧の上昇の可能性も考慮してマニュアル化する。

○現在想定しているマニュアルへの記載内容

高性能フィルタが1段である給気側弁は速やかに閉止するが、高性能フィルタが2段ある排気側弁については、火災によるセル内圧力の状況に応じて閉止するか、開を維持するかを判断する。

セル等の直近に設置する弁は、フィルタから放出される放射性物質をさらに低減するために設置するものである。⑤にも示したように、状況に応じた対応が必要であることから手動弁とする。

*1: 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針における周辺監視境界外の線量目標値

参考1 セル等の放射性物質の閉じ込め

: 使用許可基準規則との対応

○負圧維持による閉じ込め → 第2条 2項四に該当

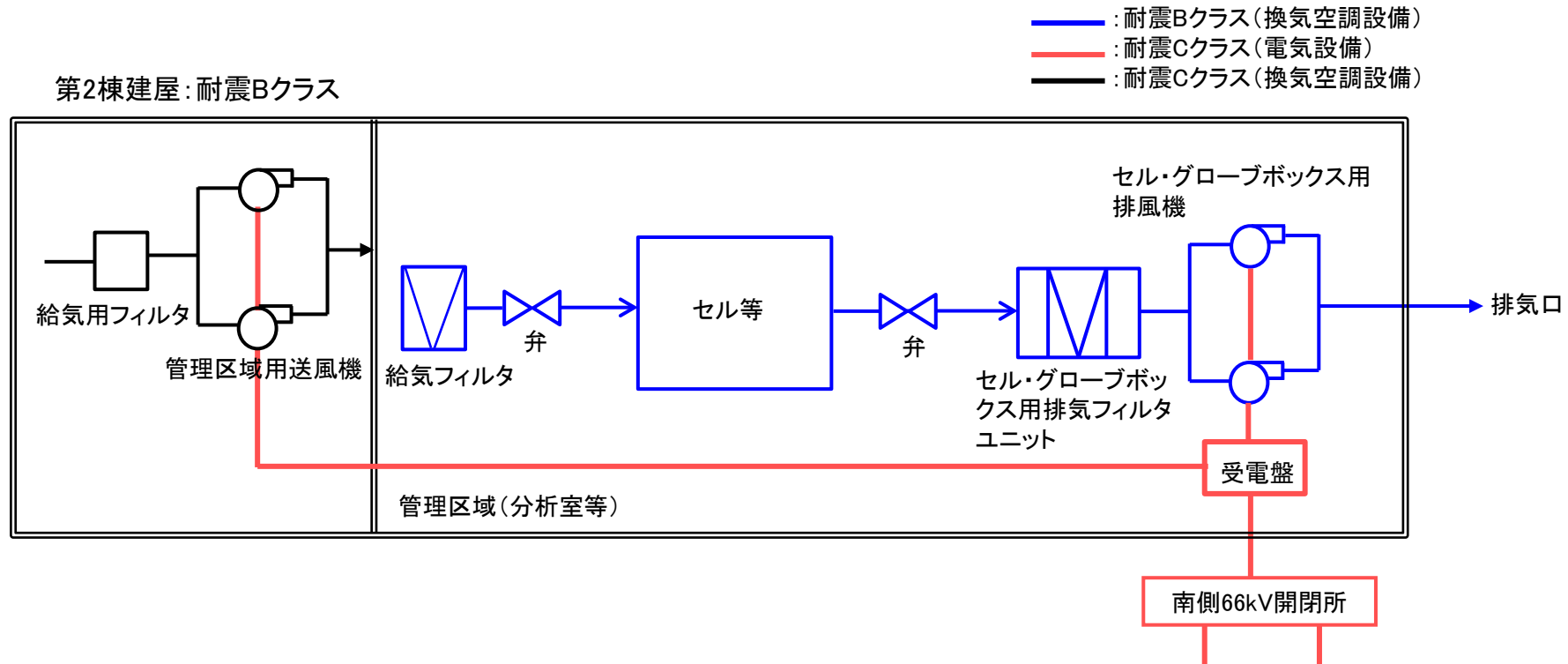
○構造による閉じ込め → 第2条 2項一に該当

【使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈】

第2条 閉じ込めの機能

- 1 第2条に規定する「限定された区域に適切に閉じ込める」とは、放射性物質を系統又は機器に閉じ込めること、又は放射性物質が漏えいした場合においても、フード、セル等若しくは構築物の管理区域内に保持することをいう。
上記の「セル等」とは、セル、グローブボックスその他の気密設備のことをいう。
- 2 使用施設等について、第2条に規定する「閉じ込めることができるもの」とは、以下の各号に掲げるものをいう。
 - 一 放射性物質を収納する系統又は機器は、放射性物質の漏えいを防止できる設計であること。また、内包する物質の種類に応じて適切な腐食対策が講じられていること。
 - 二 放射性物質が漏えいした場合に、その漏えいを確認することができること。また、漏えいが確認された場合、その拡大を防止することができること。
 - 三 放射性物質を気体又は液体で扱う系統及び機器は、放射性物質の逆流により、放射性物質が拡散しない設計であること。換気空調設備においても同様とする。
 - 四 セル等の内部を負圧状態に保つ必要がある場合、当該セル等の内部は常時負圧に保たれていること。
 - 五 フードは、局所排気設備により開口部の風速を維持できるものであること。

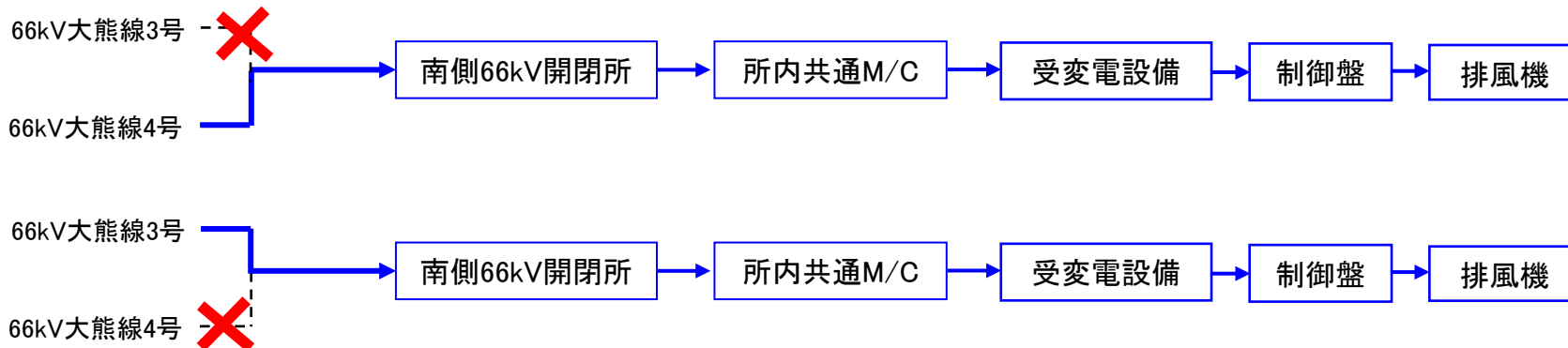
参考2 設備構成



参考3 外部電源喪失時の対応

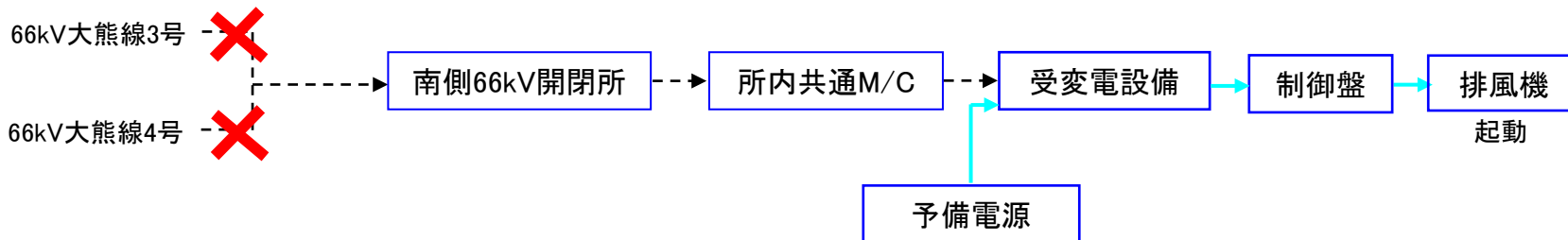
片系統のみ停電

→ 大熊線3, 4号より給電しており、3号若しくは4号のみの停電では、第2棟の電源喪失は起きない。



両系統停電

→ 3, 4号ともに停電した場合、予備電源へ切替わる。
大熊線からの給電喪失から数秒後に予備電源へ切替え送電開始。



大熊線 → 予備電源
: 自動切替

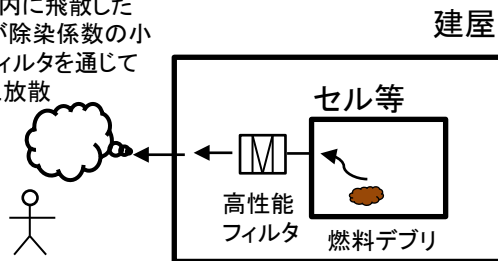
参考4 負圧維持機能喪失を想定した場合の線量評価(1/6)

◆負圧維持機能喪失を想定した場合の影響を評価

想定事象	線量評価の概要	線量の評価値
①負圧維持機能喪失	コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 ^{※1} するものとし、これらが除染係数の小さい給気側フィルタを通じて、セル周辺の室へ放出され、さらに建屋から外部へ放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	11 μSv
②負圧維持機能喪失 ＋火災発生	コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質が切断時に飛散 ^{※1} することに加えて、火災に伴ってセル内の気相に移行 ^{※3} するものとし、これらが除染係数の小さい給気側フィルタを通じて、セル周辺の室へ放出され、さらに建屋から外部へ放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	18 μSv

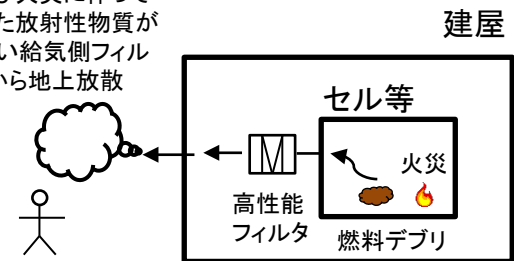
なお、通常時の評価として、放射性物質の放出に伴う敷地境界外における年間の実効線量は約 $4.2 \times 10^{-4} \mu\text{Sv}$ である。

地震により、負圧維持機能が喪失し、燃料デブリの切断に伴ってセル内に飛散した放射性物質が除染係数の小さい給気側フィルタを通じて建屋から地上放出



想定事象①のイメージ

地震後に火災が発生したと想定。負圧維持機能が喪失し、燃料デブリの切断及び火災に伴ってセル内に飛散した放射性物質が除染係数の小さい給気側フィルタを通じて建屋から地上放出



想定事象②のイメージ

※1 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%(日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※2 建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、10を考慮。

Elizabeth M.Flew, et al."Assessment of the Potential release of radioactivity from Installations at AERE ,Harwell.Imllcations for Emergency Planning "Handling of Radiation Accidents.International Atomic Energy Agency.Vienna,1969,IAEA-SM-119/7

※3 火災に伴う粉体から気相への放射性物質の移行率0.6%("Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook",NUREG/CR-6410)

参考4 負圧維持機能喪失を想定した場合の線量評価(2/6)

－建屋外に放出される放射能－

建屋外に放出される放射能Qは、五因子法※1により計算する。

$$Q = MAR \times DR \times ARF \times RF \times LPF$$

		想定事象① (負圧維持機能喪失)	想定事象② (負圧維持機能喪失+火災発生)
MAR	切断時に発生する粉体の放射能	気体状の放射性物質(トリチウム、希ガス、ヨウ素): 3.5×10^9 Bq 粒子状の放射性物質: 6.7×10^{12} Bq	
DR	MARのうち影響を受ける割合	1 (切断時に発生する粉体の全てが影響を受けるものとする保守的な条件を設定)	
ARF	気相への移行割合	気体状の放射性物質: 100% 粒子状の放射性物質(切断時): 1%※2	気体状の放射性物質: 100% 粒子状の放射性物質(切断時): 1%※2 (火災時): 0.6%※1
RF	吸入摂取に寄与する割合	1 (気相に移行した放射性物質が全て吸入摂取されるものとする保守的な条件を設定)	
LPF	放出経路での低減割合 (除染係数DFの逆数。LPF=1/DF)	気体状の放射性物質に対する除染係数(DF): 1 (気体状の放射性物質については除染係数を考慮しない) 粒子状の放射性物質に対する除染係数(DF): 10^4 (給気側フィルタ(高性能フィルタ1段)の除染係数 10^3 と建屋の除染係数 10 ※3を考慮する)	
Q	建屋外に放出される放射能	気体状の放射性物質: 3.5×10^9 Bq 粒子状の放射性物質: 6.7×10^6 Bq	気体状の放射性物質: 3.5×10^9 Bq 粒子状の放射性物質: 1.1×10^7 Bq

※1 Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook, NUREG/CR-6410

※2 日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」

※3 Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential release of radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

参考4 負圧維持機能喪失を想定した場合の線量評価(3/6)

－核種別の放出量－

核種別の放出量 Q_i は下表のとおり。

	核種	核種 i の放出量 Q_i [Bq]	
		想定事象① (負圧維持機能喪失)	想定事象② (負圧維持機能喪失＋火災発生)
気体状の 放射性物質	H-3	3.3×10^8	3.3×10^8
	Kr-85	3.2×10^9	3.2×10^9
	I-129	1.9×10^5	1.9×10^5
	合計	3.5×10^9	3.5×10^9
粒子状の 放射性物質	Pu-238	4.7×10^5	7.5×10^5
	Pu-239	3.4×10^4	5.4×10^4
	Pu-240	6.1×10^4	9.7×10^4
	Pu-241	4.7×10^6	7.5×10^6
	Am-241	2.5×10^5	4.0×10^5
	Am-242m	8.5×10^3	1.4×10^4
	Cm-244	6.4×10^4	1.0×10^5
	その他	1.1×10^6	1.8×10^6
	合計	6.7×10^6	1.1×10^7

吸入摂取による内部被ばく線量 H_I は、次式により計算する。

$$H_I = \sum K_{Ii} \times M \times Q_i \times (\chi/Q)$$

- K_{Ii} : 核種 i の吸入摂取による実効線量係数 [mSv/Bq]
➤「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」別表第1 第2欄より核種に応じた値を用いた。なお、化学形等が複数ある核種については、最も厳しい化学形等の実効線量係数を用いた。
- M : 呼吸率 [m³/h]
➤「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」より、成人の呼吸率 1.2m³/hを用いた。
- Q_i : 核種 i の放出量 [Bq]
- χ/Q : 相対濃度 [h/m³]
➤「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従い、地上放出によって敷地境界に達する場合の相対濃度を評価した。その結果、約 3.2×10^{-7} h/m³である。

— 想定事象①の被ばく線量評価結果 —

想定事象①(負圧維持機能喪失)の内部被ばく線量の評価結果は下表のとおり。

	核種	吸入摂取した場合の 実効線量係数 [mSv/Bq]	呼吸率 [m ³ /h]	核種iの放出量 [Bq]	相対濃度 [h/m ³]	被ばく線量 [mSv]	全体の被 ばく線量 に対する 寄与割合
		K_{fi}	M	Q_i	χ/Q	H_i	
粒子状の 放射性物質	Pu-238	3.0×10^{-2}	1.2	4.7×10^5	3.2×10^{-7}	5.4×10^{-3}	>99%
	Pu-239	3.2×10^{-2}		3.4×10^4		4.2×10^{-4}	
	Pu-240	3.2×10^{-2}		6.1×10^4		7.5×10^{-4}	
	Pu-241	5.8×10^{-4}		4.7×10^6		1.0×10^{-3}	
	Am-241	2.7×10^{-2}		2.5×10^5		2.6×10^{-3}	
	Am-242m	2.4×10^{-2}		8.5×10^3		7.9×10^{-5}	
	Cm-244	1.7×10^{-2}		6.4×10^4		4.2×10^{-4}	
	その他	—		1.1×10^6		7.1×10^{-5}	1%未満
気体状の放射性物質	—	3.5×10^9	1.4×10^{-5}				
合計						1.08×10^{-2}	

→ 11 μSv

—想定事象②の被ばく線量評価結果—

想定事象②(負圧維持機能喪失+火災発生)の内部被ばく線量の評価結果は下表のとおり。

	核種	吸入摂取した場合の 実効線量係数 [mSv/Bq]	呼吸率 [m ³ /h]	核種iの放出量 [Bq]	相対濃度 [h/m ³]	被ばく線量 [mSv]	全体の被 ばく線量 に対する 寄与割合
		K_{fi}	M	Q_i	χ/Q	H_i	
粒子状の 放射性物質	Pu-238	3.0×10^{-2}	1.2	7.5×10^5	3.2×10^{-7}	8.6×10^{-3}	>99%
	Pu-239	3.2×10^{-2}		5.4×10^4		6.7×10^{-4}	
	Pu-240	3.2×10^{-2}		9.7×10^4		1.2×10^{-3}	
	Pu-241	5.8×10^{-4}		7.5×10^6		1.7×10^{-3}	
	Am-241	2.7×10^{-2}		4.0×10^5		4.2×10^{-3}	
	Am-242m	2.4×10^{-2}		1.4×10^4		1.3×10^{-4}	
	Cm-244	1.7×10^{-2}		1.0×10^5		6.7×10^{-4}	
	その他	—		1.8×10^6		1.1×10^{-4}	1%未満
気体状の放射性物質	—	3.5×10^9	1.4×10^{-5}				
合計						1.73×10^{-2}	

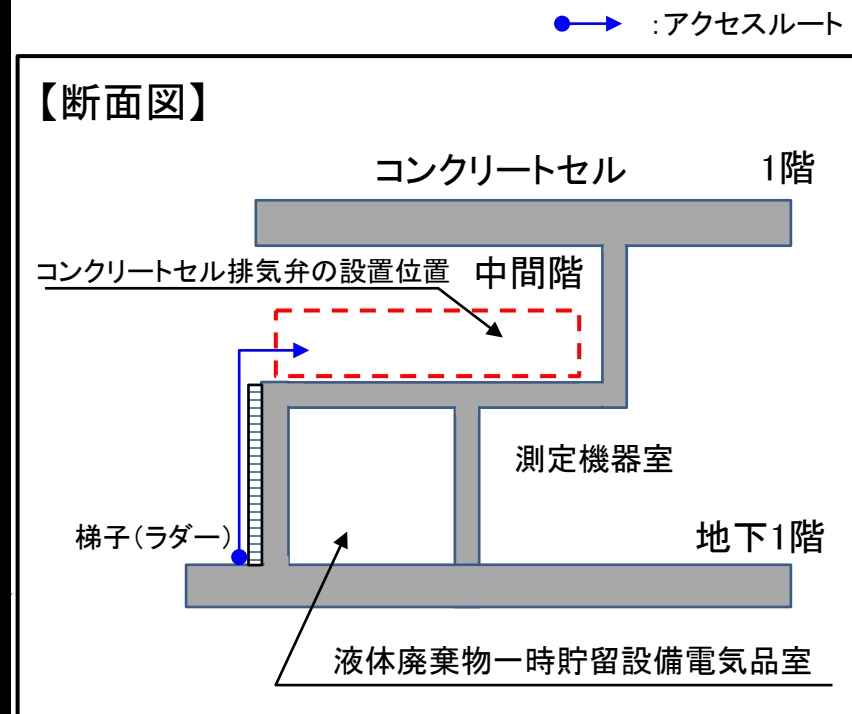
→ 18 μSv

参考5 給排気用フィルタユニット及び弁の配置①

追加説明

◆セル・グローブボックス用フィルタユニット、コンクリートセルの排気弁の設置位置

- ・換気空調設備室(1)に、セル・グローブボックス用排気フィルタユニットを設置する。
- ・測定機器室等の上部階(中間階)に、コンクリートセルの排気弁を設置する。
- ・中間階には、梯子(ラダー)にてアクセスする。



第2棟 地下1階 平面図

参考5 給排気用フィルタユニット及び弁の配置②

追加説明

◆コンクリートセルの給気フィルタユニット、給気弁の設置位置

- ・ サービスエリア(2) (コンクリートセル上部)に、給気フィルタユニット、給気弁を設置する。
- ・ 1階サービスエリア北側の階段（下右図）から、サービスエリア2階東側（ローディングドッグの天井面：下左図）に上がり、ここを經由してサービスエリア2階西側（コンクリートセルNo. 4天井面）の弁設置箇所アクセスする。

第2棟 2階平面図

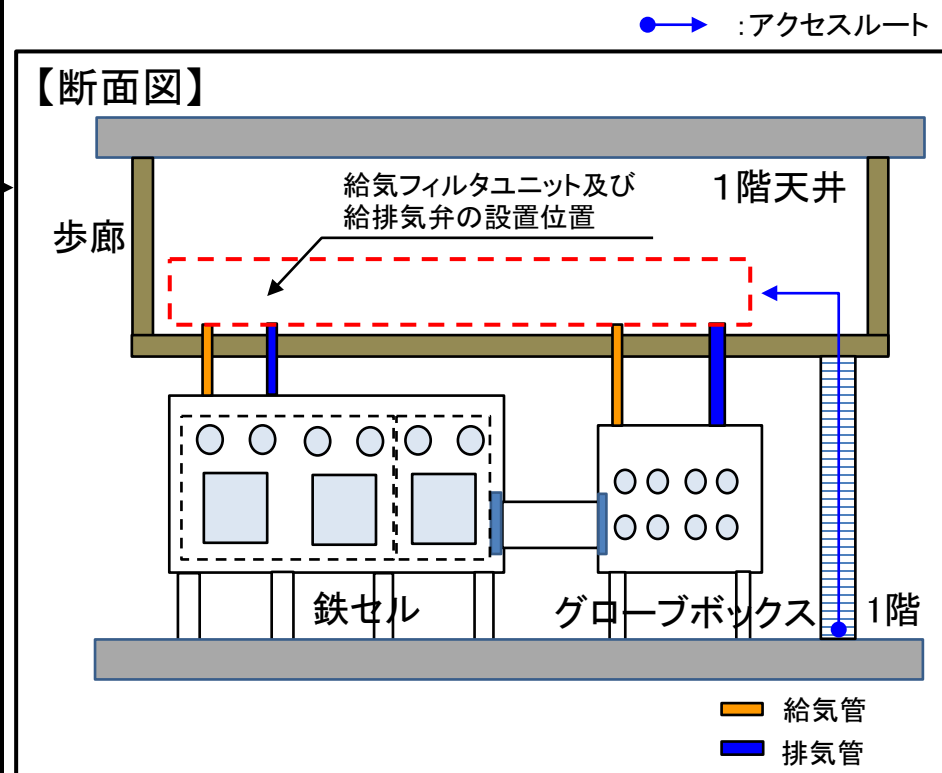
第2棟 1階平面図

参考5 給排気用フィルタユニット及び弁の配置③

追加説明

◆鉄セル、グローブボックスの給気フィルタユニット及び給排気弁の設置位置

- ・鉄セル、グローブボックス上部の架台に給気フィルタユニット、給排気弁を設置する。
- ・架台へは、梯子にてアクセスする。



第2棟 1階平面図

参考6 給排気弁閉止作業に伴う放射線防護の考え方

追加説明

- 汚染があることを想定し、全面マスク、タイベックスーツ、ゴム手袋等の装備を基本とし、線量や汚染の状況に応じて必要な装備の見直しを行う。
- 緊急時の対応に係る装備等についてマニュアル化する。

参考7 JAEA既存施設の給排気弁開閉状態

追加説明

JAEA既存施設における弁の開閉状態を以下に整理した。

他施設	弁の開閉状態		
	火災時	外部電源喪失時	負圧維持機能喪失時
第2棟	給気弁:閉、排気弁:開※ ¹	給排気弁:開※ ²	給排気弁:閉※ ³
原子力科学研究所	給気弁:閉、排気弁:開※ ¹	給排気弁:開※ ²	給排気弁:閉※ ³
核燃料サイクル研究所	給気弁:閉、排気弁:開※ ¹	給排気弁:開※ ²	給排気弁:閉※ ³
大洗研究所	給気弁:閉、排気弁:開※ ¹	給排気弁:開※ ²	給排気弁:閉※ ³

※1:不活性ガスを用いた消火時の弁の状態を示す。

※2:予備電源又は非常用電源にて負圧を維持する。

※3:セル等の構造により閉じ込める(放射性物質の拡散を防止する)。