

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
(耐震性評価について)
7月2日面談資料改訂版

2020年10月15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. 耐震性評価の基本方針

◆耐震性評価の基本方針

- 第2棟の建屋及び設備の耐震設計は、「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)」(以下「耐震指針」という。)に従った設計とする。
- 耐震性の評価は、具体的な評価方法が示されている「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」等に基づき実施する。

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(1/3)

一部改訂

◆設備の重要度による耐震クラス別分類

第2棟の建屋及び設備の耐震重要度分類は、耐震指針に基づき行う。

【耐震Sクラス】

耐震重要度分類及び定義	クラス別分類
Sクラス 自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいもの	i)「原子炉冷却材圧力バウンダリ」を構成する配管・機器系
	ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設
	iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設
	iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
	v) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設
	vi) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設
	vii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための設備で上記 vi 以外の施設



耐震指針では、上記のように原子炉冷却材バウンダリ、使用済燃料の貯蔵施設、原子炉の緊急停止のための施設等をSクラスの施設としており、**第2棟にはSクラスの施設に該当する設備はない。**

なお、「ii) 使用済燃料を貯蔵するための施設」とは、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の第十六条「燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」によれば、「燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するもの」と定義されており、具体的には1炉心分(数十トン)以上貯蔵することができる容量を確保することとなっている。

したがって、第2棟の燃料デブリ等を貯蔵する試料ピットはii)項に該当しない。

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(2/3)

一部改訂

【耐震Bクラス】

耐震重要度分類及び定義	クラス別分類
Bクラス Sクラスの定義において、影響が比較的小さいもの	i) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵しうる施設
	ii) 放射性廃棄物を内蔵している施設。 ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損によって公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。
	iii) 放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従業員に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設
	iv) 使用済燃料を冷却するための施設
	v) 放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設



第2棟には、Bクラスの施設のiii)に該当する設備を有しており、その破損により公衆に影響を与える可能性の大きい設備はBクラスに分類している。一方、地震によって破損しても、公衆に影響を与える可能性が十分小さい設備は耐震Cクラスに分類している。

なお、上位の分類に属する設備は、下位の分類に属する設備の破損によって波及的影響が生じないように設計する。

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(3/3)

一部改訂

◆第2棟 建屋及び設備の耐震重要度分類

		耐震Bクラス	耐震Cクラス
建屋		・第2棟建屋(コンクリートセル含む)	・電気設備棟 ・消火用ガスボンベ庫
設備	(1)分析設備	・鉄セル ・グローブボックス	・フード
	(2)液体廃棄物 一時貯留設備	—	・分析廃液受槽A, B ・設備管理廃液受槽A, B ・分析廃液移送ポンプ ・分析廃液回収ポンプ ・設備管理廃液移送ポンプ ・設備管理廃液回収ポンプ ・主要配管*2(鋼管)
	(3)換気空調設備	・セル・グローブボックス用排風機A, B ・セル・グローブボックス用排気フィルタユニット A, B, C, D ・主要排気管*1(鋼管、ダクト)	・フード用排風機 ・管理区域用排風機 ・管理区域用送風機 ・フード用排気フィルタユニット ・管理区域用排気フィルタユニット
	(4)その他設備	—	・電気設備 ・消火設備

*1 ・コンクリートセル排気口から排気母管まで
 ・鉄セル排気口から排気母管まで
 ・グローブボックス排気口から排気母管まで
 ・排気母管
 ・排気母管からセル・グローブボックス用排気フィルタユニット入口まで
 ・セル・グローブボックス用排気フィルタユニット出口から第2棟の排気口入口まで

*2 ・分析廃液受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口まで
 ・分析廃液移送ポンプ出口から分析廃液払出口まで
 ・分析廃液受槽出口から分析廃液回収ポンプ入口まで
 ・分析廃液回収ポンプ出口から分析廃液払出口まで
 ・設備管理廃液受槽出口から設備管理廃液移送ポンプ入口まで
 ・設備管理廃液移送ポンプ出口から設備管理廃液払出口まで
 ・設備管理廃液受槽出口から設備管理廃液回収ポンプ入口まで
 ・設備管理廃液回収ポンプ出口から設備管理廃液払出口まで

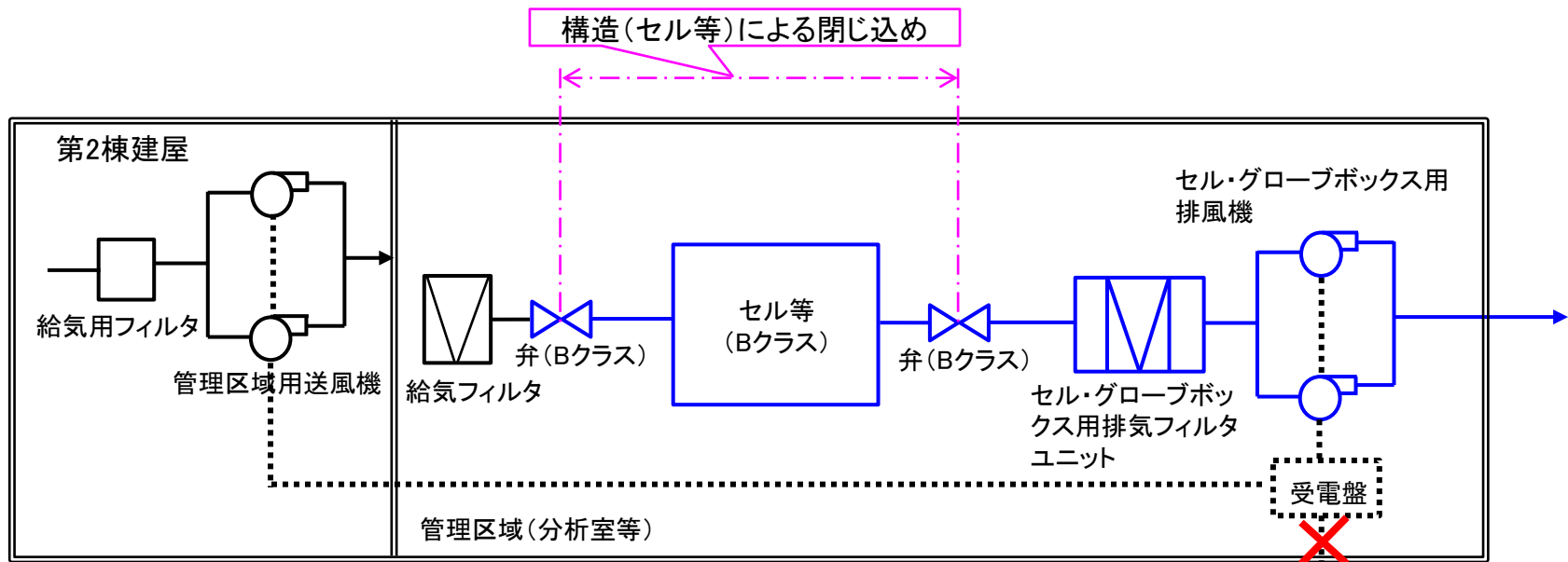
3. セル等の放射性物質閉じ込めの考え方、耐震クラス

追加説明

◆Bクラス地震が発生して電源喪失した場合の対応(予備電源を含めた電気設備は耐震Cクラス)

- 構造(セル等)により放射性物質を閉じ込める設計とする。
- Bクラス地震が発生し電源が喪失した場合には、セル等の直近の給排気弁を閉止することで放射性物質を閉じ込める。

【Bクラス地震が発生して電源喪失した場合】



【青色箇所: 耐震Bクラスの設備】

放射性物質の拡散防止(バウンダリの確保)及び電源復帰後に速やかに負圧を回復できるよう排気系統は耐震Bクラスとしている。

✕: 電源の喪失を示す



4. 使用許可基準規則を考慮した耐震重要度分類(1/3)

追加説明

「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(その解釈含む。以下「使用許可基準規則」という。)の第九条(地震による損傷の防止)では、**破損(機能喪失)による公衆への放射線影響の程度でクラス分類**を行うよう求めている。

- ・Sクラス:5mSvを超える場合
- ・Bクラス:5mSvを超えない場合。50 μ Sv以下の場合にはCクラスに分類できる。

放射性物質を内蔵している設備について、機能喪失を想定した場合の影響を評価した。

【「使用許可基準規則」より抜粋】

第9条(地震による損傷の防止)

一 耐震クラス分類 I

② Bクラス

機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設をいい、例えば、次の施設が挙げられる。

a) 核燃料物質を取り扱う設備・機器又は核燃料物質を非密封で取り扱う設備・機器を収納するセル又はグローブボックス及びこれらと同等の閉じ込め機能を必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が比較的小さいもの。(ただし、核燃料物質が少ないか又は収納方式によりその破損による公衆への放射線の影響が十分小さいものは除く。)

b) 放射性物質の外部への放散を抑制するための設備・機器であってSクラス以外の設備・機器

なお、Sクラスに属する施設を有しない使用施設等のうち、安全機能を喪失した場合に敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低いものは、Cクラスに分類することができる。この場合において、上記の「敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低い」とは、「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」(昭和50年5月13日原子力委員会決定)を参考に、実効線量が発生事故当たり50マイクロシーベルト以下であることをいう。

4. 使用許可基準規則を考慮した耐震重要度分類(2/3)

追加説明

◆機能喪失を想定した場合の影響を評価（詳細は別紙参照）

設備	想定事象	線量評価の概要	線量の評価値
第2棟建屋 (コンクリートセル含む)	閉じ込め機能喪失	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} し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、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	1.1mSv < 5mSv
鉄セル	閉じ込め機能喪失	鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行 ^{※3} し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、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	0.3mSv < 5mSv
グローブボックス、フード	閉じ込め機能喪失	グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行 ^{※3} し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、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	0.03 μSv < 50 μSv
廃液受槽 (分析廃液受槽)	閉じ込め機能喪失	分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い、液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行 ^{※4} し、排気系統を通じてではなく、直接、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	0.008 μSv < 50 μSv
消火設備	消火機能喪失 (火災)	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 ^{※5} するものとし、これらが排気系統を通じて、排気口から火災によって放出され敷地境界に達したと想定	0.001 μSv < 50 μSv

※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 セル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮
Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential release of radioactivity from Installations at AERE ,Harwell.Imllications for Emergency Planning
".Handing of Radiation Accidents.International Atomic Energy Agency.Vienna,1969.IAEA-SM-119/7)

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※1の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02%（"Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook",NUREG/CR-6410）

※5 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）

4. 使用許可基準規則を考慮した耐震重要度分類(3/3)

追加説明

機能喪失時の評価結果から、

- ・コンクリートセル、鉄セルは、機能喪失を想定しても5mSv以下であり、Bクラスとなる。
 - ・グローブボックスについては、機能喪失を想定しても50 μ Sv以下でありCクラスともできるが、将来の機能拡張を考慮し、Bクラスとしている。
 - ・フード、廃液受槽は、機能喪失を想定しても50 μ Sv以下であり、Cクラスとなる。
 - ・消火設備は、火災を想定しても50 μ Sv以下であり、Cクラスとなる。
- ・また、セル等に関連した換気空調設備については、「使用許可基準規則」(その解釈)に基づき、セル等と同等の閉じ込め機能を求めるものとし、同一の耐震クラスとしている。



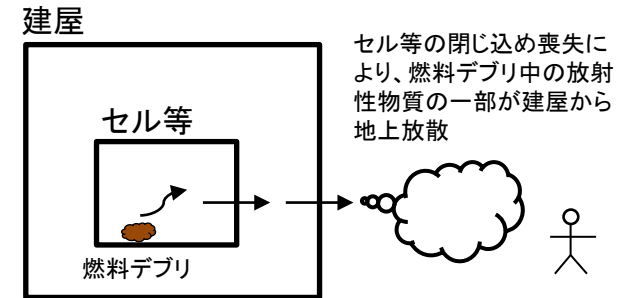
以上のように、第2棟の耐震クラスは「使用許可基準規則」にも則したものとなっている。

別紙 機能喪失時の線量評価について(1/3)

追加説明

① 第2棟建屋(コンクリートセル含む)

- ・地震によりコンクリートセル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ・コンクリートセルにて、切断時に発生する粉体(約 7×10^{12} Bq)の1%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行し(既存使用施設で同様な評価に用いている移行率^{※1})、これがコンクリートセルから、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ放出され地上放出によって敷地境界に達したと想定。
- ・コンクリートセル、建屋については、損傷した場合のDFをIAEAの文献^{※2}から引用し、各々除染係数(DF)として10を考慮する。なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ・建屋外に放出された放射能は約 4×10^9 Bqと評価。
- ・「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」等(以下「指針等」という)を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量は約1.1mSv。



② 鉄セル

- ・地震により鉄セル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ・鉄セルでは燃料デブリの切断時は行わないが、取り扱う燃料デブリがすべてが粉体化(約 2×10^{11} Bq)しているものとし、その1%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行^{※1}し、これが鉄セルから、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ放出され地上放出によって敷地境界に達したと想定。
- ・鉄セルの除染係数は考慮せず、建屋については、除染係数(DF)として10を考慮する^{※2}。なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ・建屋外に放出された放射能は約 3×10^8 Bqと評価。
- ・指針等を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量は約0.3mSv。

別紙 機能喪失時の線量評価について(2/3)

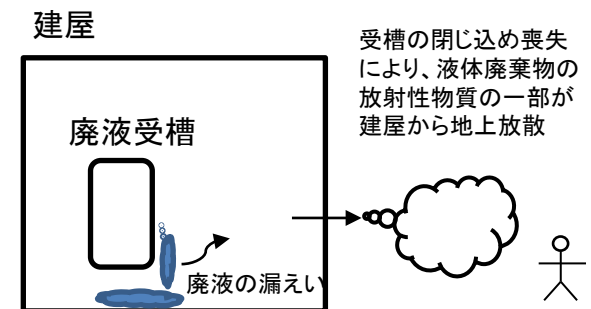
追加説明

③グローブボックス(フードも同一)

- ・地震によりグローブボックス、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ・グローブボックスでは燃料デブリの切断時は行わないが、取り扱う燃料デブリがすべてが粉体化(約 2×10^7 Bq)しているものとし、その1%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行^{※1}し、これがグローブボックスから、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ放出され地上放出によって敷地境界に達したと想定。
- ・グローブボックスの除染係数は考慮せず、建屋については、除染係数(DF)として10を考慮する^{※2}。なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ・建屋外に放出された放射能は約 3×10^4 Bqと評価。
- ・指針等を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量は約 0.03μ Sv。

④廃液受槽

- ・地震により廃液受槽(分析廃液受槽)、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ・分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物全量(約 2×10^8 Bq)が堰内に漏えいし、漏えいに伴い、液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行し、排気系統を通じてではなく、直接、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。漏えいした溶液の気相への移行率は0.02%(放射性物質が漏えいし、液滴が落下することによる移行率^{※3})とした。
- ・建屋については、除染係数(DF)として10を考慮する^{※2}。なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ・建屋外に放出された放射能は約 2×10^4 Bqと評価。
- ・指針等を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量は約 0.008μ Sv。



別紙 機能喪失時の線量評価について(3/3)

追加説明

⑤消火設備

- ・地震により消火設備が損傷し、消火機能が喪失することを想定。
- ・コンクリートセルNo.4における燃料デブリ等の切断時に火災が発生したことを想定。
- ・切断時に発生する粉体(約 7×10^{12} Bq)について、切断時の飛散1%(既存使用施設で同様な評価に用いている移行率※1)と火災に伴う飛散0.6%※4を合わせた1.6%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行し、これがコンクリートセルから、排気系統を通じて、排気口から放出され敷地境界に達したと想定。
- ・排気系統については、高性能フィルタの3段の除染係数(DF)として 10^7 を考慮する。
- ・建屋外に放出された放射能は約 4×10^9 Bqと評価。
- ・指針等を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量は約 $0.001 \mu\text{Sv}$ 。

※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」)

※2 セル、建屋の除染係数として各々10を考慮。グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮
Elizabeth M.Flew,et al.”Assessment of the Potential release of radioactivity from Installations at AERE ,Harwell.Imllcations for Emergency Planning “.Handing of Radiation Accidents.International Atomic Energy Agency.Vienna,1969,IAEA-SM-119/7)

※3 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02% (“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”,NUREG/CR-6410)

※4 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)

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
(建屋の構造強度及び耐震性に関する検討結果)
7月30日面談資料改訂版

2020年10月15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



建屋の構造強度及び耐震性評価の基本方針

◆ 構造強度及び耐震性

➤ 構造強度の基本方針

第2棟の建屋の構造強度は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 平成25年8月)に従った設計とする。

➤ 耐震性評価の基本方針

第2棟の建屋の耐震設計は、「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)に従い設計するものとする。

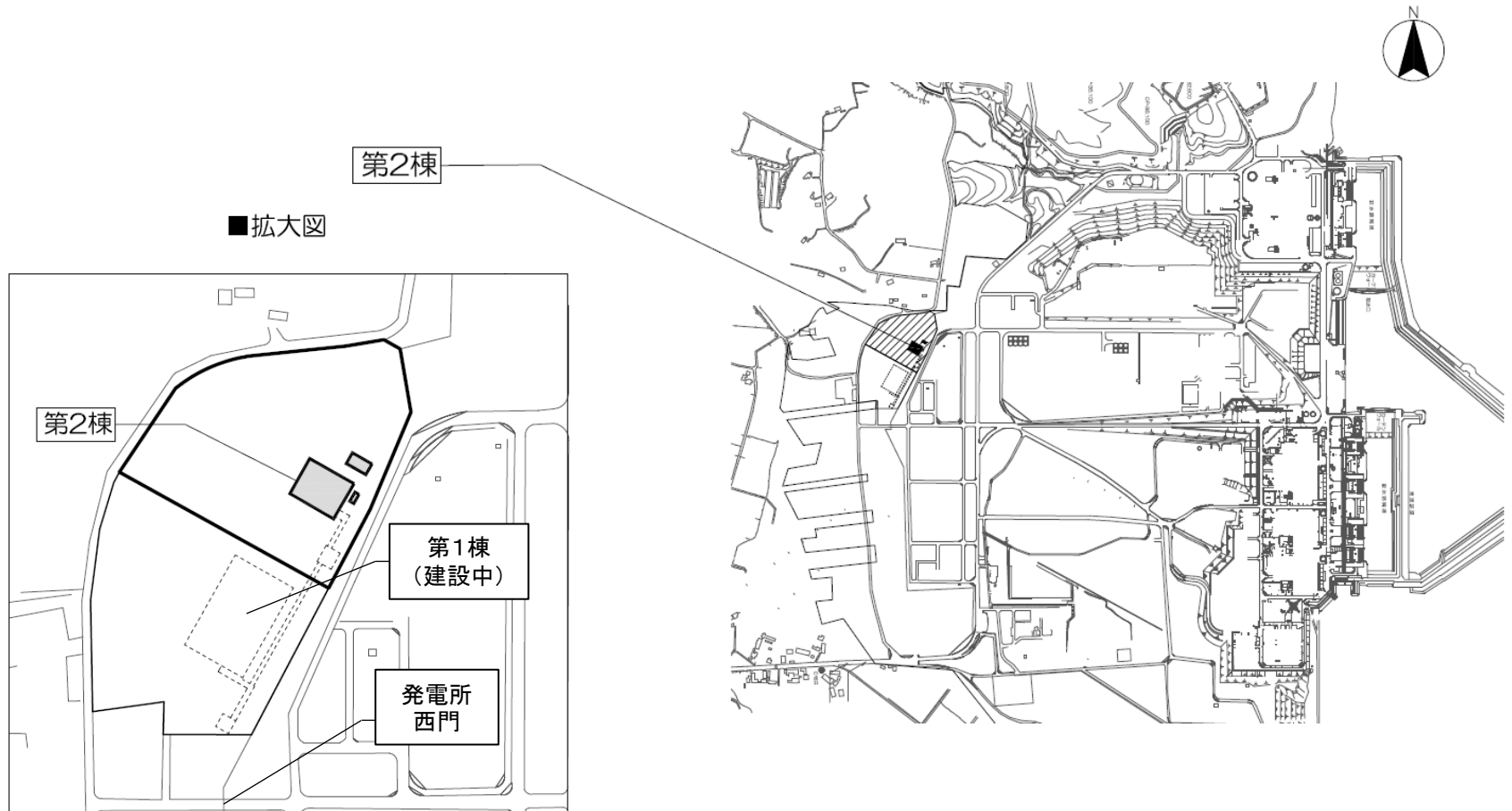
また、その耐震性を評価するに当たっては、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」を準用する。

建屋の配置

一部改訂

◆ 第2棟建屋の配置

- 第2棟建屋は、発電所西門北側の第1棟に隣接して配置する。
- 敷地の地盤高さはT. P. +約40mの場所に設置する。



建屋の構造等(1)

一部改訂

◆ 第2棟建屋の構造等

- 鉄筋コンクリート造, 地上2階, 地下1階, 平面寸法35.0m (EW方向) × 28.0m (NS方向), 地上高さ17.3m
- 基礎は直接基礎で人工岩盤を介して富岡層に支持
- 人工岩盤はコンクリート ($F_c=18\text{N/mm}^2$), 平面寸法約40.0m (EW方向) × 約37.6m (NS方向), 厚さ約5.4m

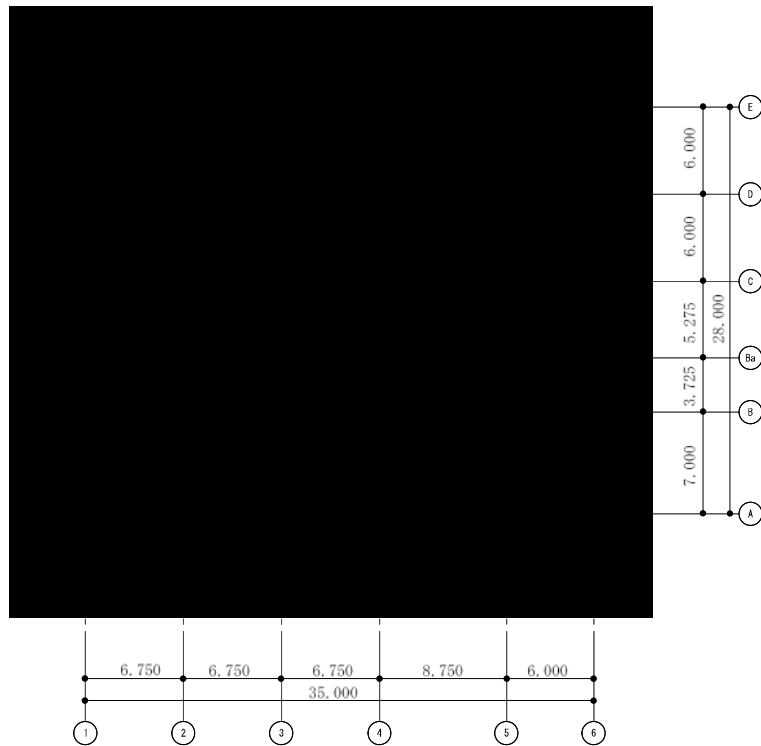


図-1 地下1階平面図
(G.L.-7.2) (単位:m)

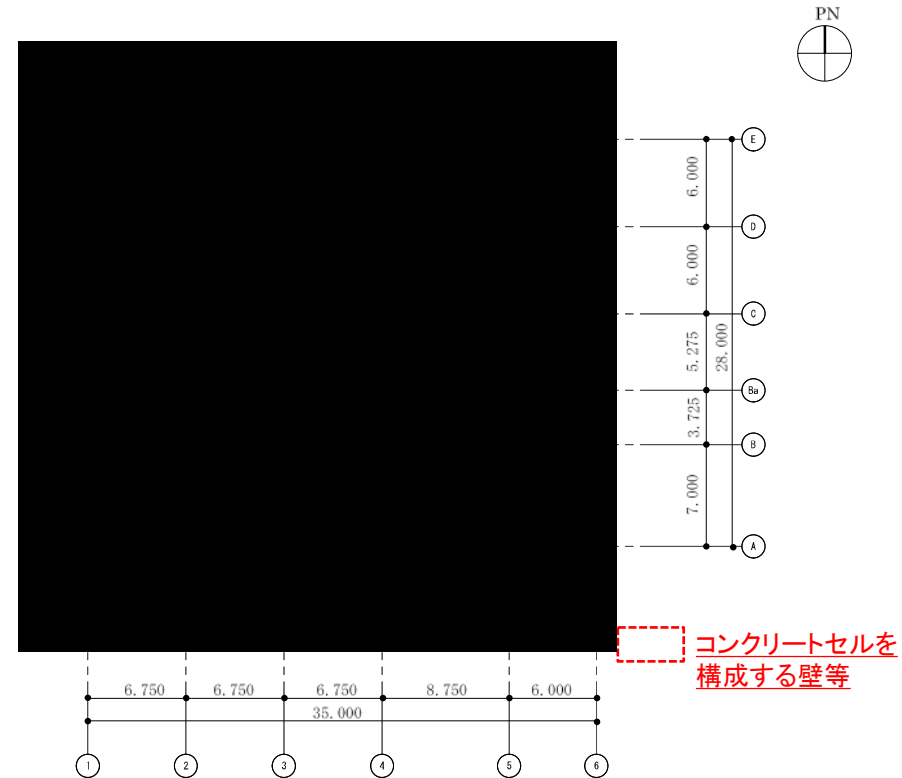
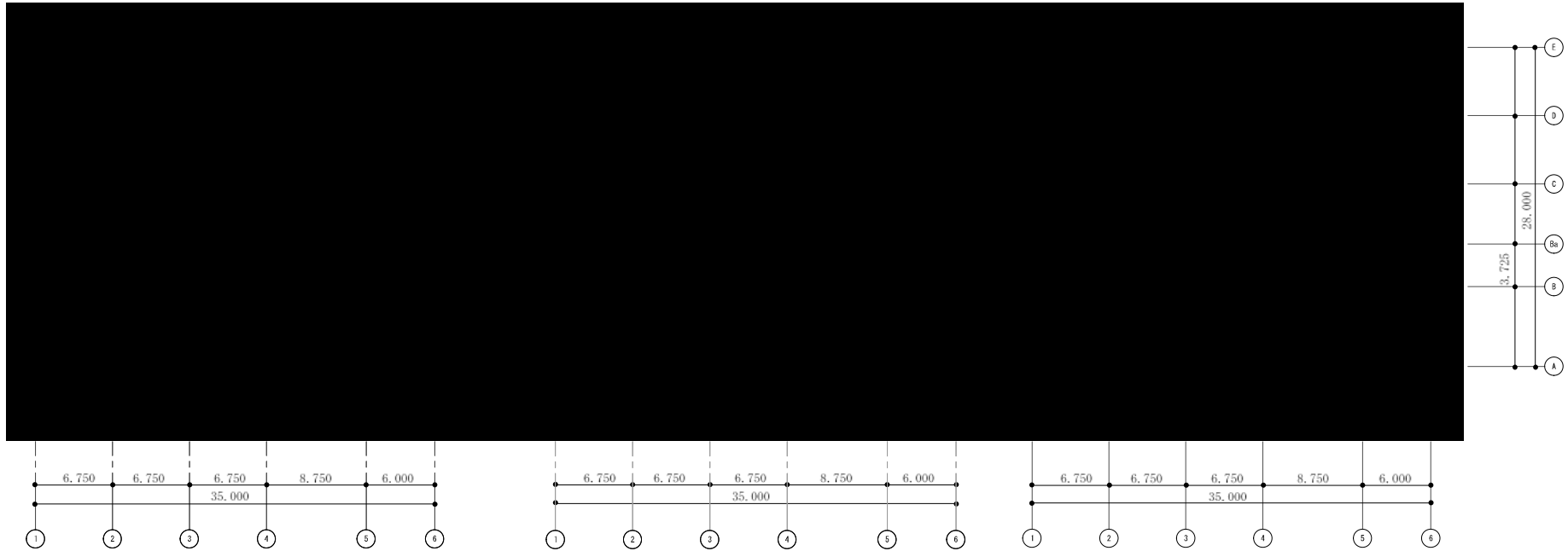


図-2 1階平面図
(G.L.+0.3) (単位:m)

建屋の構造等(2)

一部改訂



コンクリートセルを
構成する壁等

図-3 2階平面図
(G.L.+7.3)(単位:m)

図-4 屋上階平面図
(G.L.+13.3, +14.8)(単位:m)

図-5 屋根平面図
(G.L.+17.3)(単位:m)

建屋の構造等(3)

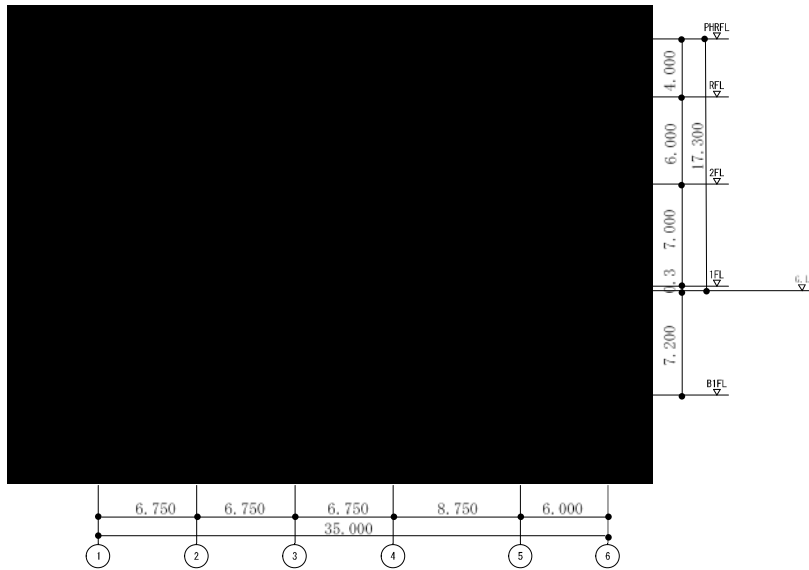


図-6 A-A断面図
(EW方向)(単位:m)

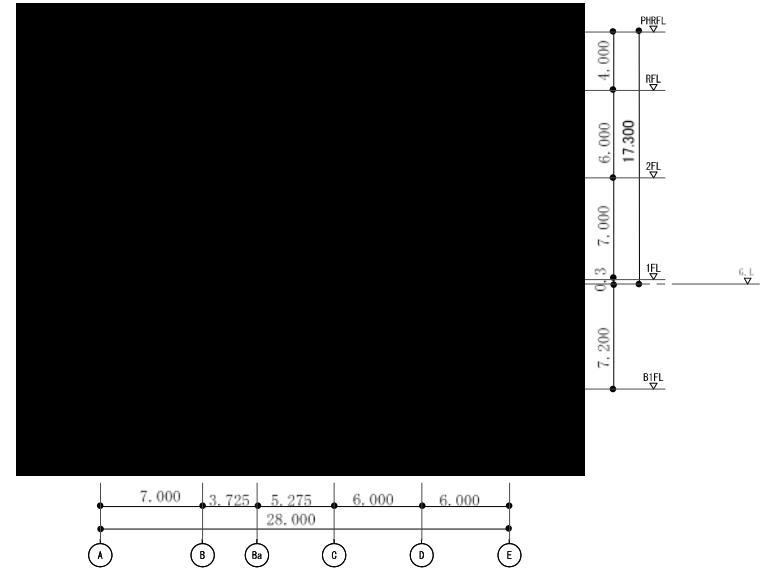
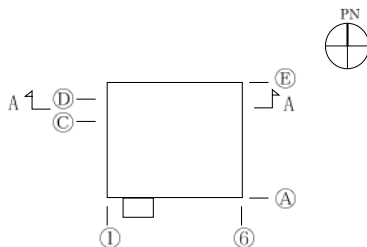
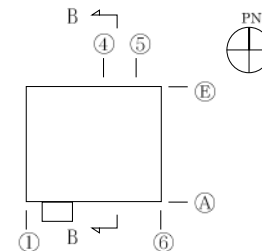


図-7 B-B断面図
(NS方向)(単位:m)



コンクリートセルを構成する壁等

建屋の耐震設計について(1)

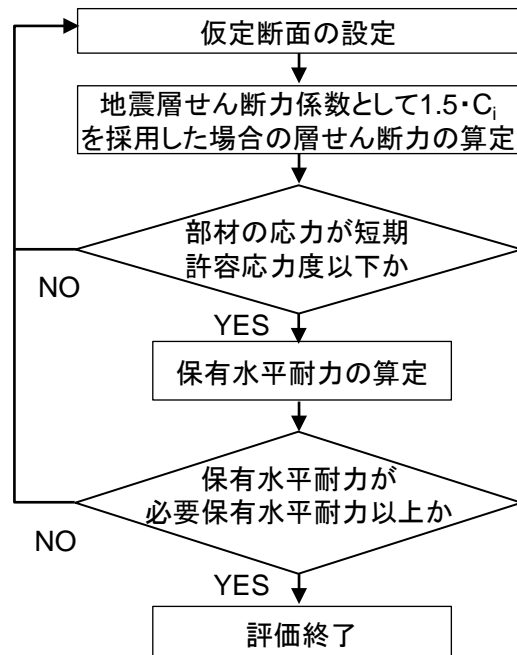
◆ 建屋の耐震設計について

○ 第2棟建屋は、耐震設計審査指針上の「Bクラス」の建物としての評価を実施する。

- 水平地震力は、地震層せん断力係数(C_i)に、耐震重要度分類に応じた係数『1.5』を乗じ、当該層以上の部分の重量を乗じて算定するものとする。
なお C_i は、標準せん断力係数(C_0)を0.2とし、建物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。
- 地震時の水平力は、主に外周部及び建物内部に設けた耐震壁にて負担するものとする。

◆ 建屋の耐震性評価について

○ Bクラス施設としての建屋の耐震安全性評価



→ 第2棟建屋の構造耐力上主要な部分の検定比が最大となる部位について、作用応力が許容応力以下であることを確認する。

→ 第2棟建屋の各層の保有水平耐力が必要保有水平耐力以上を有していることを確認する。

建屋の耐震設計について(2)

◆ 第2棟建屋に用いる材料

- コンクリートは普通コンクリートを用い、コンクリートの設計基準強度 F_c は 36 N/mm^2 (現場打ちコンクリート)、 60 N/mm^2 (プレキャストコンクリート)とする。
- 鉄筋はSD295A(D16以下)、SD345(D19~D25)及びSD390(D29~D38)とする。
- 各使用材料の許容応力度は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 平成25年8月)による。

◆ 荷重及び荷重の組合せ

- 鉛直荷重(VL)
固定荷重、積載荷重(機器荷重を含む。)及び仕上荷重(配管荷重を含む。)とする。
- 積雪荷重(SNL)
建築基準法施行令第86条及び福島県建築基準法施行細則第19条に準拠し以下の条件とする。
 - ・積雪量: 30cm
 - ・単位荷重: $20 \text{ N/m}^2/\text{cm}$
- 風荷重(WL)
建築基準法施行令第87条、建設省告示第1454号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。
 - ・基準風速: 30m/s
 - ・地表面粗度区分: III

荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常時	A	VL	長期
積雪時	B	VL+SNL	短期
地震時※	C1	VL+SEL(W→E方向)	
	C2	VL+SEL(E→W方向)	
	C3	VL+SEL(S→N方向)	
	C4	VL+SEL(N→S方向)	
暴風時	D1	VL+WL(W→E方向)	
	D2	VL+WL(E→W方向)	
	D3	VL+WL(S→N方向)	
	D4	VL+WL(N→S方向)	

※: 建築基準法施行令第86条第2項による多雪区域に該当しないことから積雪荷重は組合せない。

建屋の耐震設計について(3)

◆ 荷重及び荷重の組合せ

➤ 地震荷重(SEL)

地震力を算定する際の基準面は、地上面として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。水平地震力は下式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

Q_i : 水平地震力 (kN)

n : 施設の重要度分類に応じた係数 ($n=1.5$)

C_i : 地震層せん断力係数

W_i : 当該層以上の重量 (kN)

Z : 地震地域係数 ($Z=1.0$)

R_t : 振動特性係数 ($R_t=1.0$)

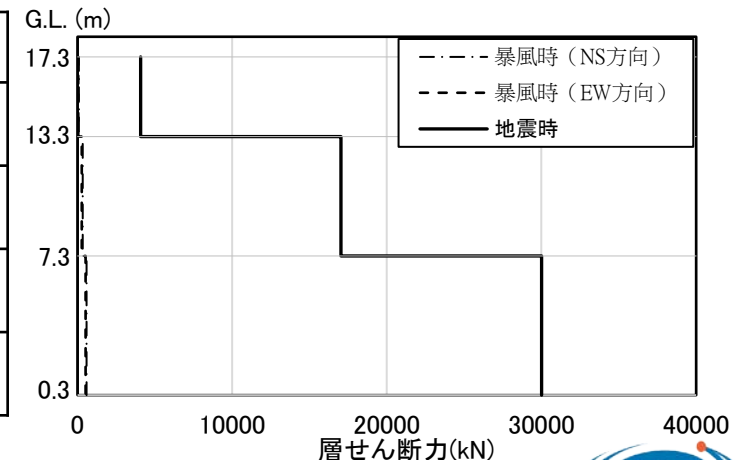
A_i : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

< 水平地震力の算定結果 >

G.L. (m)	当該層以上の重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	設計用地震力(層せん断力) (kN)
+17.30	5660	0.723	4089
+13.30	35104	0.418	17043
+7.30	59280	0.300	30013
+0.30	84932	0.300	55493
-7.20			

< 暴風時と地震時の層せん断力の比較結果 >



建屋の構造強度及び耐震性評価結果(1)

◆ 評価

上部構造の応力解析は、大ばり及び柱を線材置換したフレームに、耐震壁を壁エレメント置換して組み込んだ立体ラーメンモデルにより行う。基礎スラブの応力解析は、フラットスラブとして板材を線材置換して評価する。

◆ 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁への作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位の耐震壁への作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

部位	断面	荷重 ケース	作用応力 (kN)	許容応力 (kN)	検定比
B1階6通り C~D通り間	壁厚1100mm ($F_c=36$) タテ筋 D25@200 ダブル ヨコ筋 D25@200 ダブル	地震時 C3	5231.1	8731.7	$0.60 \leq 1.0$

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(2)

◆ 大ばりの評価結果

検討により求められた大ばりへの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位の大ばりへの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力 〔曲げモーメント:kN・m せん断力:kN〕	許容応力 〔曲げモーメント:kN・m せん断力:kN〕	検定比
R階 3通り +2200 A~B 通り間	B×D =1000×1000 ($F_c=36$) 上端筋7-D35 下端筋5-D35 あばら筋 3-D13@150 (端部)	常時 A	曲げモーメント	790.7	842.9	$0.94 \leq 1.0$
			せん断力	427.6	765.2	$0.56 \leq 1.0$
1階 5通り Ba~C 通り間	B×D =1000×1200 ($F_c=36$) 上端筋8-D38 下端筋6-D38 あばら筋 4-D13@200 (端部)	地震時 C4	曲げモーメント	1978.5	2843.3	$0.66 \leq 1.0$
			せん断力	1286.9	1585.0	$0.81 \leq 1.0$

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(3)

◆ 柱の評価結果

検討により求められた柱への作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位の柱への作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力 〔曲げモーメント:kN・m〕 せん断力:kN〕	許容応力 〔曲げモーメント:kN・m〕 せん断力:kN〕	検定比
B1階 C/2通り	B×D =1000×1000 ($F_c=60$) 主筋8-D38 帯筋 3-3-D13@100 (柱頭)	常時 A	曲げモーメント	31.9	85.4 (軸力 5763.6 kN 作用時注)	$0.37 \leq 1.0$
			せん断力	69.1	842.3	$0.08 \leq 1.0$
1階 A/6通り	B×D =1000×1000 ($F_c=60$) 主筋8-D38 帯筋 2-2-D13@100 (柱頭)	地震時 C2	曲げモーメント	755.0	1298.3 (軸力 548.9kN 作用時注)	$0.58 \leq 1.0$
			せん断力	323.3	1327.1	$0.24 \leq 1.0$

注:圧縮を正とする。

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(4)

◆ 基礎スラブの評価結果

検討により求められた基礎スラブへの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位の基礎スラブへの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用応力 〔 曲げモーメント:kN・m せん断力:kN 〕	許容応力 〔 曲げモーメント:kN・m せん断力:kN 〕	検定比
A~B/4~5 通り間	基礎スラブ厚 2000mm ($F_c=36$) 上端筋 D32@200 下端筋 D32@200	常時 A	曲げモーメント	800.8	1239.4	$0.65 \leq 1.0$
			せん断力	950.1	1360.8	$0.70 \leq 1.0$
E/4~5 通り間	基礎スラブ厚 2000mm ($F_c=36$) 上端筋 D32@200 下端筋 D32@200	地震時 C3	曲げモーメント	2715.0	4790.4	$0.57 \leq 1.0$
			せん断力	1392.3	1964.6	$0.71 \leq 1.0$

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(5)

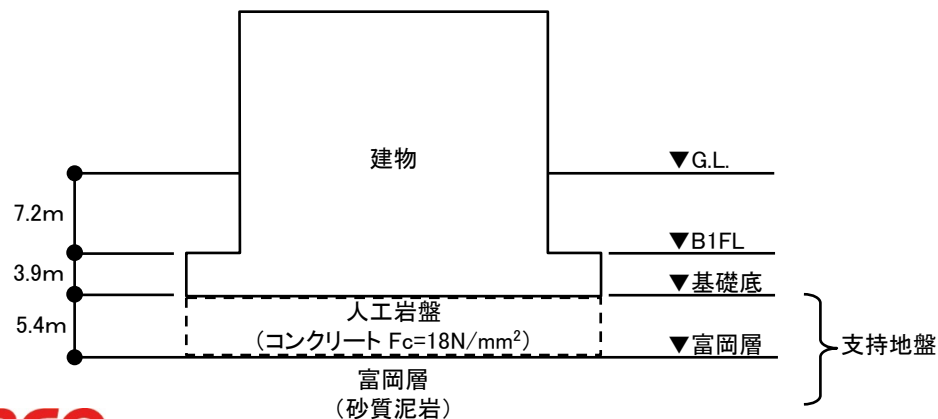
◆ 地盤の評価結果

検討により求められた地盤への接地圧を許容応力度と比較し、検定比が最大となる部位の地盤への接地圧は、許容応力度以下であることを確認した。

また、富岡層(砂質泥岩)への接地圧と許容応力度の比較について、参考値を記載する。

項目	地盤	検討位置	荷重 ケース	接地圧 (kN/m ²)	許容応力度 (kN/m ²)	検定比
実施計画 記載値	人工岩盤	A/2通り	常時	443	1000	0.44 ≤ 1.0
		A/2通り	地震時	588	2000	0.29 ≤ 1.0
参考値	富岡層 (砂質泥岩)	A/2通り	常時	707	1000	0.71 ≤ 1.0
		A/2通り	地震時	853	2000	0.43 ≤ 1.0

< 支持地盤イメージ図 >



※参考値

- ・第2棟における人工岩盤(コンクリート $F_c=18\text{N/mm}^2$)の許容応力度
(常時) 許容応力度 $= F_c(\text{設計基準強度}) \times 1/3$
 $= 6000(\text{kN/m}^2) \Rightarrow 1000(\text{kN/m}^2)$
(地震時) 許容応力度 $= F_c(\text{設計基準強度}) \times 2/3$
 $= 12000(\text{kN/m}^2) \Rightarrow 2000(\text{kN/m}^2)$
- ・1～6号機原子炉建屋における許容応力度
短期: $400\text{t/m}^2(3920\text{kN/m}^2) \Rightarrow$ 工事計画認可申請書
添付書類、原子炉格納施設の基礎に関する説明書
(1～6号機)
許容応力度においては、人工岩盤及び各号機原子炉建屋の値より十分下回っており余裕のある値となっている。

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(6)

◆ 地盤における許容応力度の算出根拠について

実施計画に記載している地盤の許容応力度は、建設地にて実施したボーリング調査結果より得た富岡層の値を用いて、建築基準法施行令第93条及び国土交通省告示第1113号に基づき保守的な値として算出している。

(算定式) 長期許容応力度

$$q_a = 1/3 (i_c \cdot \alpha \cdot C \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot r_1 \cdot B \cdot N_r + i_q \cdot r_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

$$= 6595 \rightarrow 1000 \text{ kN/m}^2$$

短期許容応力度

$$q_a = 2/3 (i_c \cdot \alpha \cdot C \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot r_1 \cdot B \cdot N_r + i_q \cdot r_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

$$= 13190 \rightarrow 2000 \text{ kN/m}^2$$

i_c : 荷重の傾斜による補正係数=1.0

α : 基礎荷重面の形状による補正係数=1.19

C : 地盤の粘着力=0kN/m²

N_c : 地盤の内部摩擦力に応じた支持力係数=75.3

i_r : 荷重の傾斜による補正係数=1.0

β : 基礎荷重面の形状による補正係数=0.312

r_1 : 地盤の単位体積重量=18kN/m³

B : 基礎荷重面の短辺又は短径=37.6m

N_r : 地盤の内部摩擦力に応じた支持力係数=93.7

i_q : 荷重の傾斜による補正係数=1.0

r_2 : 基礎荷重面より上方にある地盤の平均単位体積重量=18kN/m³

D_f : 基礎に近接した最低地盤面から基礎荷重面までの深さ=0m

N_q : 地盤の内部摩擦力に応じた支持力係数=64.2

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(7)

◆ 保有水平耐力の評価結果

- 保有水平耐力(Q_u)が必要保有水平耐力(Q_{un})以上であることを確認する。
- 各層の保有水平耐力は、建築基準法施行令第82条の3及び平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。

⇒ 各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果、第2棟建屋は必要保有水平耐力以上(3.45倍以上)の保有水平耐力を有していることを確認した。

< 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較 >

(1) EW 方向(長辺)

G.L. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}$
+13.30 ~ +17.30	7497	27262	3.64
+7.30 ~ +13.30	31245	113617	3.64
+0.30 ~ +7.30	55024	200089	3.64
-7.20 ~ +0.30	101737	369953	3.64

(2) NS 方向(短辺)

G.L. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}$
+13.30 ~ +17.30	7497	25899	3.45
+7.30 ~ +13.30	31245	107936	3.45
+0.30 ~ +7.30	55024	190084	3.45
-7.20 ~ +0.30	101737	351456	3.45

以上のことから、第2棟建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

建屋の構造強度及び耐震性評価結果(8)

- ◆ 第2棟のBクラス設備は剛構造であって共振のおそれはないが、第2棟建屋の1/2弾性設計用地震動Sdによる評価については、以下の観点より増設雑固体廃棄物焼却設備建屋設計時の地盤応答解析に用いた1/2弾性設計用地震動Sdの値より簡易的に評価を行うこととした。
 - 第2棟の支持地盤である富岡層は南北方向に水平成層であり、東西方向は増設雑固体廃棄物焼却設備建屋と同様な位置である。
 - 第2棟の基礎レベル(T.P.+約29m)と増設雑固体廃棄物焼却設備建屋の基礎レベル(T.P.+約31m)は同様な高さである。

- 増設雑固体廃棄物焼却設備建屋における設計地震動

設計用地震動	地震動名	最大加速度(Gal)
	1/2Sd-1	112.5
	1/2Sd-2	150.0
	1/2Sd-3	112.5

- 第2棟の1/2Sdによる簡易的評価結果

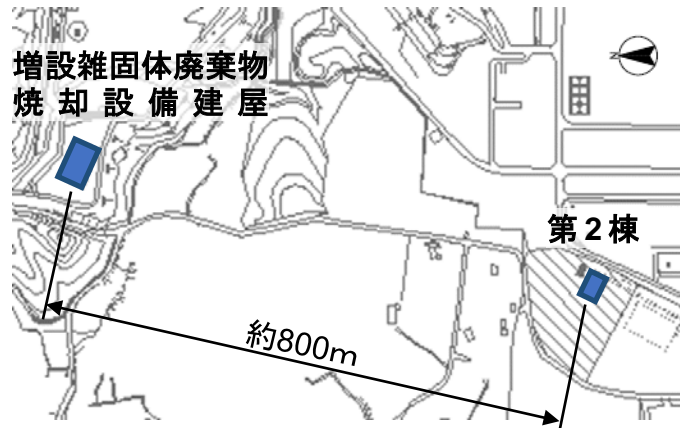
増設雑固体廃棄物焼却設備建屋における1/2Sdに対する地表面の最大加速度は、概ね200Gal以下であり水平震度にすると0.2以下となる。

第2棟建屋の支持層(富岡層T.P.+約24m)から上部の地盤は人工岩盤(コンクリート $F_c=18\text{N}/\text{mm}^2$)^{※1}としており、増設雑固体廃棄物焼却設備建屋における富岡層から上部の地盤の深層混合処理^{※2}よりも地盤剛性を高くしているため、表層部分における地震動の増幅は小さくなると考える。

よって、第2棟は、1.5Ci(水平震度0.3)で設計を行っているため、1/2Sdの動的解析を実施しても構造的に問題ないと評価できる。

※1: 地震時における許容支持力度 = $2000\text{kN}/\text{m}^2$

※2: 地震時における許容支持力度 = $1000\text{kN}/\text{m}^2$



建屋に要求される機能の整理

一部改訂

◆ 建屋に要求される機能

- 第2棟建屋の要求機能は、Bクラス設備(機器・配管等)の間接支持構造物であり1.5Ciに対して耐えること。
- コンクリートセル、固体廃棄物払出準備室等からの放射線に対して、放射線業務従事者等の保護及び敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、建屋内の壁・天井に用いるコンクリートで遮へいする。

◆ 確認結果

- 第2棟建屋の耐震壁、大ばり、柱及び基礎スラブについては、1.5Ciに対して許容応力(許容応力度)以下となり、Bクラス施設の間接支持構造物として耐震性を有していることを確認した。
- 第2棟建屋の遮へい機能が求められる部材については、1.5Ciに対して許容応力(許容応力度)以下であり、コンクリートセルを設置する層の層間変形角は1.5Ciに対して約1/7000となることから、遮へい機能に問題ないことを確認した。また、コンクリートセルを構成するライニングにて閉じ込め機能に問題ないことを確認している。

< 建屋に要求される性能の整理表 >

機能要求	建物の部位	耐震クラス	地震力	許容限界	確認結果
支持機能(間接)	建屋	Bクラス	1.5Ci	許容応力 (許容応力度)以下	耐震壁、大ばり、柱及び 基礎スラブは許容応力 (許容応力度)以下
遮へい機能	<u>コンクリートセルを 設置する層</u>	Bクラス	1.5Ci	<参考値> 1/500 ^{※1}	約1/7000 ^{※2} ^{※3}

※1: Sクラスの建屋において要求されるせん断ひずみ度(2.0×10^{-3})より算出

※2: コンクリートセルを設置する層の層間変形角。なお、建屋の最大層間変形角は約1/4000

※3: 大ばり及び柱は線材置換したフレームに、耐震壁を壁エレメント置換、床(天井)は面材置換して組み込んだ立体ラーメンとし応力解析した結果

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
(設備の耐震性に関する検討結果)

7月30日面談資料改訂版

2020年10月15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. 耐震性評価条件

一部改訂

◆基本方針

○耐震Bクラスの各設備は、剛構造(固有周期:0.05s以下*)とし、建屋との共振を避ける設計とする。

* : JEAC4601-2008「第4章 4.1.4 用語と略称」において、「固有振動数が20Hz以上(固有周期:0.05s以下)の場合は剛構造と見なして差し支えない」と記載されている。

◆評価部位

○地震力による応力が集中する「基礎ボルト」を評価対象とする。

○基礎ボルトの評価はJEAC4601-2008に基づき、せん断応力と引張応力について実施する。

○アンカー部についても、基礎ボルトの引張荷重に対し健全であることを確認する。


◆設計用地震力

○各設備は剛構造であり、建屋との共振のおそれがない。

よって、設計用地震力は静的震度を考慮する。

項目	耐震クラス	運用する地震動等		設計用地震力
		水平	鉛直	
機器・配管系	B	静的震度 $1.8 \cdot C_i^*$	—	設計用地震力は静的地震力とする。

* : C_i は、標準せん断力係数を0.2とし、建屋の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。



設計用震度 : $1.8C_i$	
水平方向	0.36
鉛直方向	—

2. 評価方法及び評価結果(1/18)

(1) 鉄セル(遮へい体、インナーボックス)

1) 評価方法

算出応力と許容応力の比較により、基礎ボルトを評価する。

○応力計算モデルは1質点系とし、重心位置に地震荷重が作用する。

→ 遮へい体、インナーボックス各々を別の応答計算モデルとする。

○基礎ボルトに対する引張力は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。

○基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

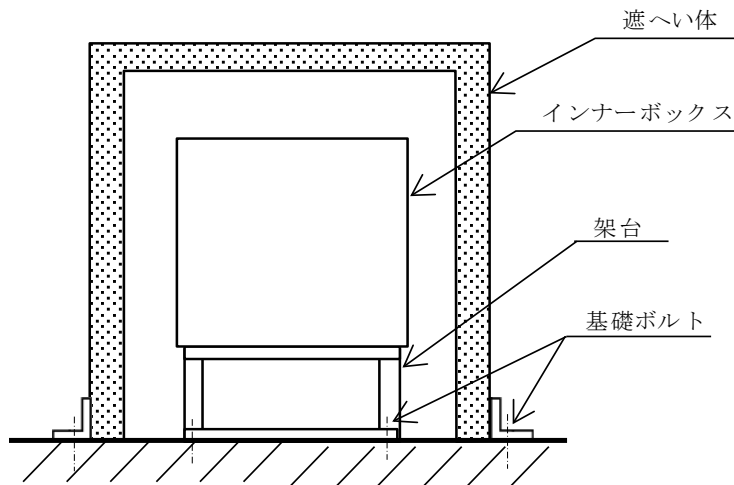


図-1 概略構造図

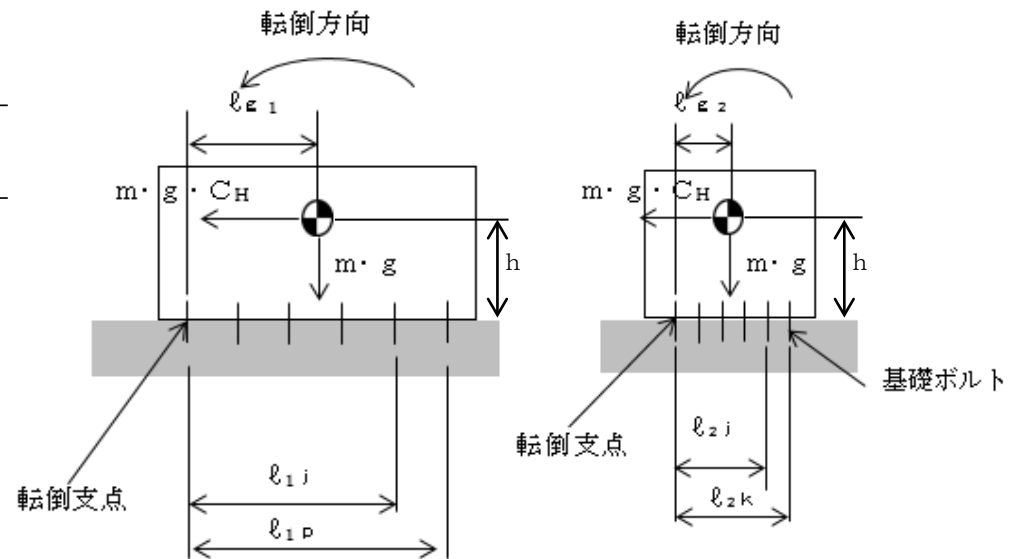


図-2 応力計算モデル

2. 評価方法及び評価結果(2/18)

2) 評価式

a. 引張応力

① 引張力

$$F_{b1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot \ell_{g1}\} \cdot \ell_{1p}}{\sum_{i=1}^p n_{f1i} \cdot \ell_{1i}^2}$$

$$F_{b2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot \ell_{g2}\} \cdot \ell_{2k}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot \ell_{2j}^2}$$

$$F_b = \max(F_{b1}, F_{b2})$$

② 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \text{[ボルトの断面積]}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H$$

② せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b \cdot n}$$

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)	N
F_{b1}	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)(長辺方向)	N
F_{b2}	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)(短辺方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
ℓ_{g1}	重心と転倒支点間の距離(長辺方向)	mm
ℓ_{g2}	重心と転倒支点間の距離(短辺方向)	mm
ℓ_{1j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離(長辺方向)	mm
ℓ_{2j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離(短辺方向)	mm
ℓ_{1p}	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離(長辺方向)	mm
ℓ_{2k}	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離(短辺方向)	mm
m	機器の質量	kg
n	基礎ボルトの全本数	—
n_{f1j}	転倒支点から ℓ_{1j} の距離にある基礎ボルトの本数(長辺方向)	—
n_{f2j}	転倒支点から ℓ_{2j} の距離にある基礎ボルトの本数(短辺方向)	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2. 評価方法及び評価結果(3/18)

3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は右表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \tau_b, f_{to}]$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は右表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left[\frac{F}{2} \right] 1.5$	$\left[\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right] 1.5$

4) 評価条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	固有周期(s)		据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
		水平方向	鉛直方向			
鉄セル (遮へい体・インナーボックス)	B	0.048	—	地上 1階	$C_H=0.36$	—

⇒ 固有周期は0.05s以下であり、遮へい体、インナーボックスとも剛構造である。

5) 評価結果

(単位:MPa)

	部材	材料	応力	算出応力	許容応力
遮へい体	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b = \text{—注}$	$f_{ts} = 175$
			せん断	$\tau_b = 86$	$f_{sb} = 135$
インナーボックス	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b = \text{—注}$	$f_{ts} = 183$
			せん断	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 141$

注: 引張応力は作用しない。

⇒ すべての算出応力が許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

2. 評価方法及び評価結果(4/18)

(2) グローブボックス(GB-No.1, 2, 3, 4)

1) 評価方法

算出応力と許容応力の比較により、基礎ボルトを評価する。

- 応力計算モデルは1質点系とし、グローブボックスの重心位置に地震荷重が作用する。
- 基礎ボルトに対する引張力は、片側の列のボルトを支点とする転倒を考え、これを他方の列のボルトで受けるものとして計算する。
- 基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

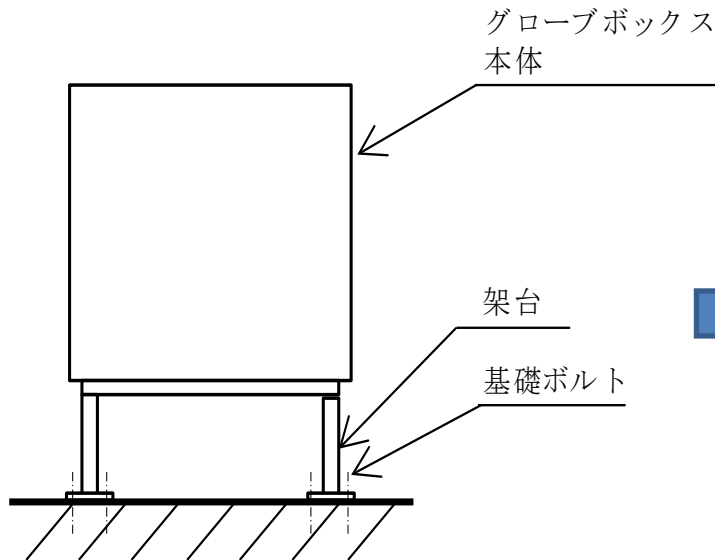


図-3 概略構造図

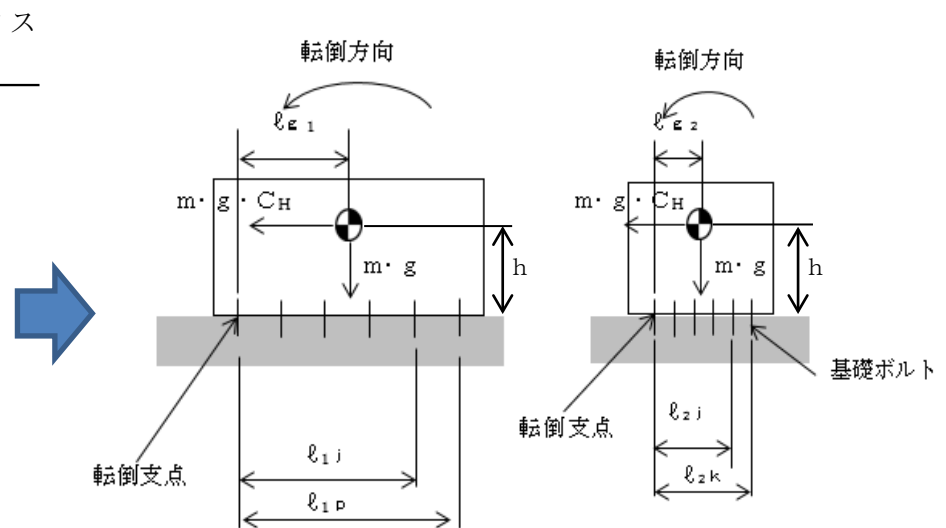


図-4 応力計算モデル

2. 評価方法及び評価結果(5/18)

2) 評価式

a. 引張応力

① 引張力

$$F_{b1} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot \ell_{g1}\} \cdot \ell_{1p}}{\sum_{j=1}^p n_{f1j} \cdot \ell_{1j}^2}$$

$$F_{b2} = \frac{\{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot \ell_{g2}\} \cdot \ell_{2k}}{\sum_{j=1}^k n_{f2j} \cdot \ell_{2j}^2}$$

$$F_b = \max(F_{b1}, F_{b2})$$

② 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

[ボルトの断面積]

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H$$

② せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b \cdot n}$$

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)	N
F_{b1}	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)(長辺方向)	N
F_{b2}	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)(短辺方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
ℓ_{g1}	重心と転倒支点間の距離(長辺方向)	mm
ℓ_{g2}	重心と転倒支点間の距離(短辺方向)	mm
ℓ_{1j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離(長辺方向)	mm
ℓ_{2j}	転倒支点と各基礎ボルトとの距離(短辺方向)	mm
ℓ_{1p}	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離(長辺方向)	mm
ℓ_{2k}	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離(短辺方向)	mm
m	機器の質量	kg
n	基礎ボルトの全本数	—
n_{f1j}	転倒支点から ℓ_{1j} の距離にある基礎ボルトの本数(長辺方向)	—
n_{f2j}	転倒支点から ℓ_{2j} の距離にある基礎ボルトの本数(短辺方向)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2. 評価方法及び評価結果(6/18)

3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は右表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \tau_b, f_{to}]$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は右表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left[\frac{F}{Z} \right] 1.5$	$\left[\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right] 1.5$

4) 評価条件

機器名称		耐震設計上の重要度分類	固有周期(s)		据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
			水平方向	鉛直方向			
グローブボックス	GB-No.1, 2, 4	B	0.046	—	地上 1階	$C_H=0.36$	—
	GB-No.3	B	0.048				

⇒ 固有周期は0.05s以下であり、グローブボックスは剛構造である。

5) 評価結果

(単位: MPa)

機器名称	部材	材料	応力	算出応力	許容応力
グローブボックス (GB-No.1, 2, 4)	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b = \text{—注}$	$f_{ts} = 183$
			せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 141$
グローブボックス (GB-No.3)	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b = \text{—注}$	$f_{ts} = 183$
			せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 141$

注: 引張応力は作用しない。

⇒ すべての算出応力が許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

2. 評価方法及び評価結果(7/18)

(3)セル・グローブボックス用排風機

1) 評価方法

算出応力と許容応力の比較により、基礎ボルトを評価する。

- ブローア及び内容物の質量は重心に集中するものとする。なお、全体的に一つの剛体とみなす。
- ボルトの応力は地震による震度、ブローア振動による震度及びブローア回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。
- ボルトに対する引張力は最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。
- ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

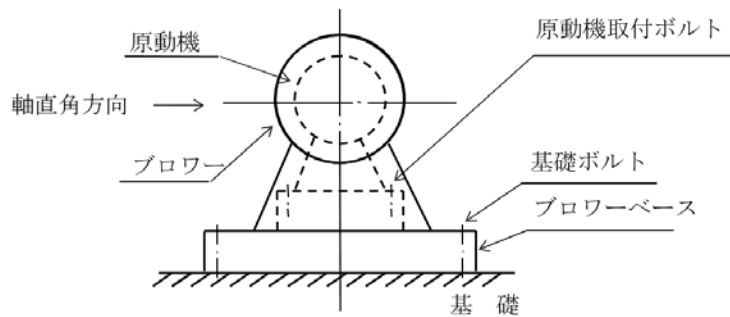


図-5 概略構造図

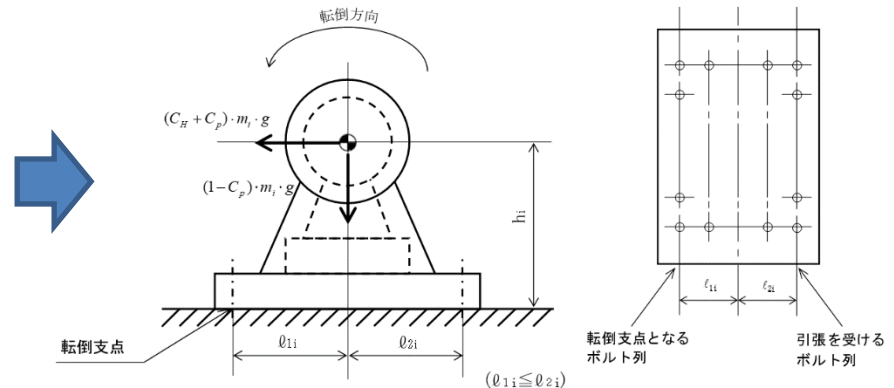


図-6 応力計算モデル

2. 評価方法及び評価結果(8/18)

2) 評価式

a. 引張応力

① 引張力

$$F_{bi} = \frac{(C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \cdot h_i + M_p - (1 - C_p) \cdot m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

・ブロー回転により作用するモーメント $C_p = \frac{1}{2} \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N_p}{60} \right)^2$

・ブロー振動による震度 $M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N_p} \right) \cdot 10^6 \cdot P$

② 引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad [\text{ボルトの断面積}]$$

$$A_{bi} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_{bi} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g$$

② せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}}$$

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ブロー振動による震度	—
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力(1本あたり)	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
H_p	ブロー予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_p	ブロー回転により作用するモーメント	N・mm
m_i	運転時質量	kg
N_p	ブロー回転速度	min ⁻¹
n_i	ボルトの本数	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2. 評価方法及び評価結果(9/18)

3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力 σ_{b1} は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts1} 以下であること。ただし、 f_{toi} は右表による。

$$f_{ts1} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \tau_{b1}, f_{toi}]$$

せん断応力 τ_{b1} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb1} 以下であること。ただし、 f_{sb1} は右表による。

	許容引張応力 f_{toi}	許容せん断応力 f_{sb1}
計算式	$\left[\frac{F1}{2} \right] 1.5$	$\left[\frac{F1}{1.5\sqrt{3}} \right] 1.5$

4) 評価条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	固有周期(s)		据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
		水平方向	鉛直方向			
グローブボックス用排風機	B	—	—	地下 1階	$C_H=0.36$	—

⇒ 排風機(ブロー含む)の本体は、十分に剛であるため固有周期の算定は省略できる。
(JEAG4601-1987に基づく)

5) 評価結果

(単位:MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{b1} = \text{—注}$	$f_{ts1} = 170$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 131$

注:引張応力は作用しない。

⇒ すべての算出応力が許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

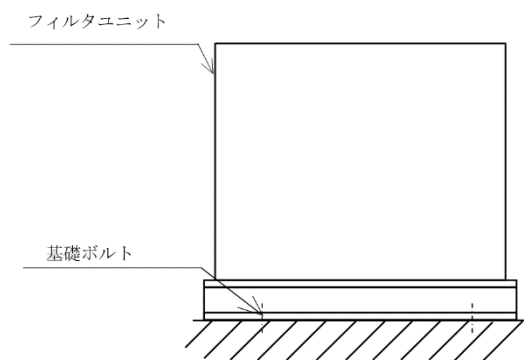
2. 評価方法及び評価結果(10/18)

(4)セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA, B, C, D

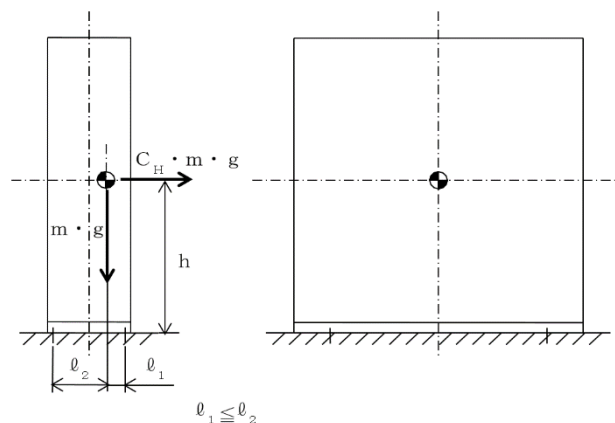
1) 評価方法

算出応力と許容応力の比較により、基礎ボルトを評価する。

- セル・グローブボックス用排気フィルタユニット及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 基礎ボルトに対する引張力は、基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。
- 基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。



図一7 概略構造図



$$l_1 \leq l_2$$

図一8 応力計算モデル

2. 評価方法及び評価結果(11/18)

2) 評価式

a. 引張応力

① 引張力

$$F_b = \frac{mg C_H h - mg \ell_1}{n_t (\ell_1 + \ell_2)}$$

② 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \text{[ボルトの断面積]}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g$$

② せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b n}$$

記号	表示内容	単位
A_b	基礎ボルト軸断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と転倒支点間の距離	mm
ℓ_2	重心と転倒支点間の距離($\ell_1 \leq \ell_2$)	mm
n	基礎ボルトの本数	—
n_t	引張力を受ける側の基礎ボルトの評価本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
m	機器の質量	kg
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2. 評価方法及び評価結果(12/18)

3) 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は右表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \tau_b, f_{to}]$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は右表による。

	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left[\frac{F}{Z} \right] 1.5$	$\left[\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right] 1.5$

4) 評価条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	固有周期(s)		据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
		水平方向	鉛直方向			
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット	A, B	B	0.014	地下 1階	$C_H=0.36$	-
	C, D	B	0.013			

⇒ 固有周期は0.05s以下であり、セル・グローブボックス用排気フィルタユニットは剛構造である。

5) 評価結果

(単位:MPa)

機器名称	部材	材料	応力	算出応力	許容応力
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA, B	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=170$
			せん断	$\tau_b=6$	$f_{sb}=131$
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC, D	基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=170$
			せん断	$\tau_b=6$	$f_{sb}=131$

⇒ すべての算出応力が許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

2. 評価方法及び評価結果(13/18)

(5) 主要排気管(鋼管)

1) 計算条件

評価対象としているBクラス主要排気管(鋼管)の耐震性評価はJEAC4601-2008に基づき、配管標準支持間隔評価(定ピッチスパン法)により評価する。

定ピッチスパン法は、配管/排気管の設計において、固有振動数がある一定の値以上になるようにサポートの間隔(配管支持間隔)を定める方法である。主要排気管においては、建屋との共振を避けるため20Hz以上(剛構造)になるよう設計している。

この方法においては、排気管(鋼管)に対する軸直角2方向拘束サポートにて支持される「等分布荷重両端単純支持はりモデル」において、機械力学に基づくはりの振動方程式より排気管の支持間隔を求める。

主要排気管(鋼管)の応力評価については、排気管(鋼管)に対して、定ピッチスパン法により求めた支持間隔とした場合の内圧、自重、地震による発生応力を求める。内圧、自重、地震による発生応力が、JEAC4601-2008に基づく供用状態Csにおける一次応力許容値を超えないことを確認する。

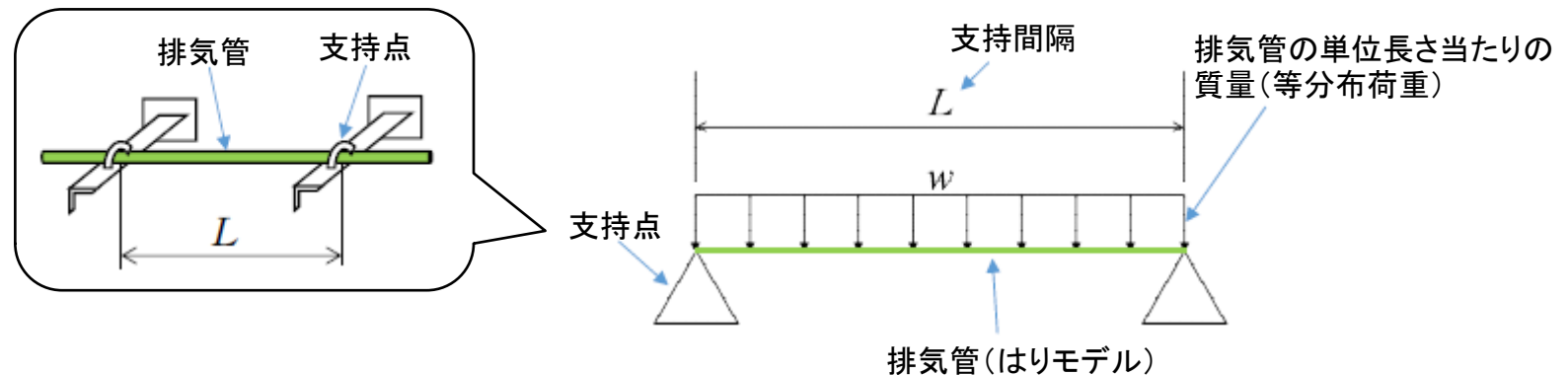


図-9 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

2. 評価方法及び評価結果(14/18)

2) Bクラス主要排気管(鋼管)の支持間隔

主要排気管(鋼管)支持間隔は下式にて計算する。

$$L = \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot f d} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10000}{w}}}$$

L : 支持間隔 [mm]

fd : 固有振動数 [Hz]

E : 縦弾性係数 [N/mm²]

I : 断面2次モーメント [mm⁴]

w : 主要排気管(鋼管)の単位長さ当たりの質量 [kg/mm]

π : 円周率

表-1 主要排気管(鋼管)の各種条件及び支持間隔の計算結果

配管分類	主要排気管(鋼管)							
耐震クラス	Bクラス							
設計温度 [°C]	60							
配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S					40		
設計圧力 [MPa]	0.0095							
配管支持間隔 [m]	3.9	4.3	4.7	5.3	6.0	6.8	7.7	8.9

2. 評価方法及び評価結果(15/18)

3) 評価方法

対象の主要排気管(鋼管)は、クラス4配管の規定を準用する。

応力算定式については下式で表される。

また、許容制限についてはJEAC4601-2008より、クラス4配管は「地震時に機能が保たれるよう支持間隔を確保することとする」とあるため、弾性範囲の設計として許容応力を $1.0S_y$ (S_y :降伏応力)にて算出する。

$$S = \frac{PD_0}{4t} + \frac{M_a + M_b}{Z}$$

$$M_a : \text{自重によるモーメント} \quad M_a = \frac{w \cdot g \cdot L^2}{8}$$

$$M_b : \text{地震によるモーメント} \quad M_b = \frac{C_h \cdot w \cdot g \cdot L^2}{8}$$

S : 発生応力 [MPa]

P : 設計圧力 [MPa]

D_0 : 外径 [mm]

t : 板厚 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

C_h : 水平震度 -

L : 支持間隔 [mm]

w : 主要排気管(鋼管)の単位長さ当たりの質量 [kg/mm]

g : 重力加速度(=9.80665) [m/s²]

4) 評価結果

表-2 主要排気管(鋼管)の応力評価結果

配管分類	主要排気管(鋼管)							
配管材料	SUS304							
配管口径	100A	125A	150A	200A	250A	350A	450A	600A
Sch	10S					40		
設計圧力 [MPa]	0.0095							
内圧, 自重, 地震による発生応力 S [MPa]	8	8	8	8	8	8	8	8
供用状態 C_s における一次応力許容値 [MPa]	1.0 S_y =153							

⇒ 各配管口径での発生応力が許容値以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

2. 評価方法及び評価結果(16/18)

(6) 主要排気管(ダクト)

評価対象としているBクラス主要排気管(ダクト)の耐震性評価はJEAC4601-2008に基づき、固有振動数又は許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔を算定する。

支持間隔は、以下のいずれか小さい方の値以下として算定する。

- ①ダクト系の固有振動数が20Hz以上として定まる支持間隔
- ②地震時の座屈による大変形を防ぐため、ダクトに生じる曲げモーメントを許容座屈曲げモーメント以下とする支持間隔(許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔)

1) 計算条件

- ・ダクトの計算モデルは、両端単純支持はりモデルとする。
- ・ダクトの重量は、フランジ重量も含めて等分布荷重として扱う。
- ・丸ダクトについては、矩形ダクトと比べて十分な剛性を有していることから評価は矩形ダクトで代表する。

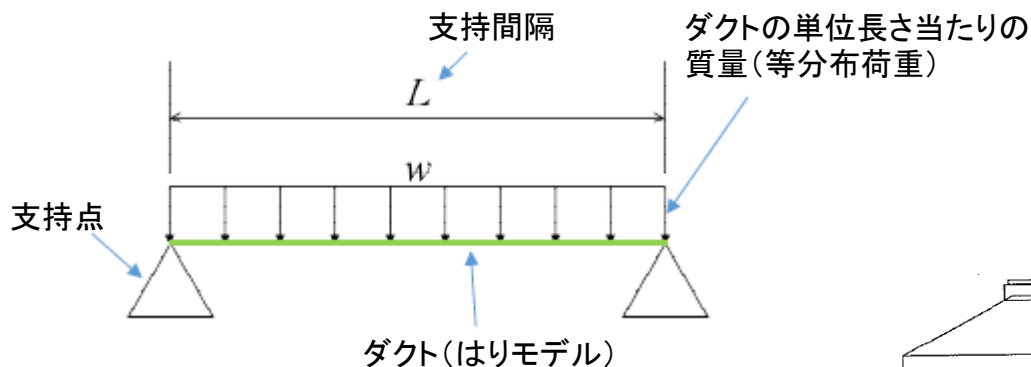


図-10 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

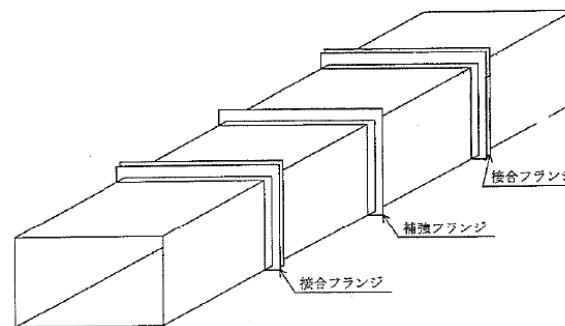


図-11 ダクト構造例: JEAC4601-2008より

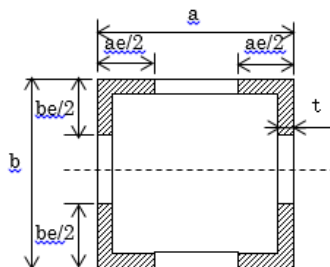
2. 評価方法及び評価結果(17/18)

2) 評価式

①ダクトの固有振動数から定まる支持間隔 : L_{R1}

$$L_{R1} = \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot f d}} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 1000}{w}}$$

$$I = \beta \cdot \left(\frac{t \cdot b e^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b e^2}{2} \right)$$



fd : 固有振動数 (Hz)
 π : 円周率 (-)
 L_{R1} : 両端単純支持間隔 (mm)
 E : 縦弾性係数 (N/mm²)
 I : 断面二次モーメント (mm⁴)
 w : ダクト単位長さ質量 (kg/mm)
 β : 断面二次モーメントの安全係数 0.6

a : ダクト長辺寸法 (mm)
 b : ダクト短辺寸法 (mm)
 ae : ダクトフランジの有効幅 (mm)
 be : ダクトウェブの有効幅 (mm)
 t : ダクト板厚 (mm)

②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 : L_{R2}

$$L_{R2} = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{w \cdot g \cdot \alpha}}$$

○許容座屈曲げモーメント : M

$$M = S \cdot M_t$$

$$M_t = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot \gamma}$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2}$$

L_{R2} : 許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 (mm)
 M : 許容座屈曲げモーメント (N・mm)
 w : ダクト単位長さ質量 (kg/mm)
 g : 重力加速度 (=9.80665) (m/s²)
 α : 設計震度 (-)
 S : 許容座屈曲げモーメントの安全係数 0.7
 M_t : 座屈限界曲げモーメント (N・mm)
 λ : 座屈限界曲げモーメントの補正係数 (-)
 π : 円周率 (-)
 t : ダクト板厚 (mm)
 b : ダクト短辺寸法 (mm)
 I : 断面二次モーメント (mm⁴)
 E : 縦弾性係数 (N/mm²)
 ae : ダクトフランジの有効幅 (mm)
 γ : 座屈限界曲げモーメントの安全係数 0.6
 ν : ポアソン比 0.3
 σ_y : 降伏点 (N/mm²)

2. 評価方法及び評価結果(18/18)

3) 評価結果

表-3 主要排気管(ダクト)における各種条件及び支持間隔の計算結果

評価部材	主要排気管(ダクト)		
耐震クラス	Bクラス		
材料	SS400		
設計温度[°C]	60		
寸法[mm]	559.0×559.0	659.0×659.0	706.4*
板厚[mm]	4.5	4.5	3.2
①ダクトの固有振動数より定まる支持間隔[m]	6.6	7.1	7.0
②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔[m]	57.8	55.3	42.2
耐震支持間隔(=Min[①, ②])[m]	6.6	7.1	7.0

* : 寸法706.4mm×706.4mm、板厚3.2mmの矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

⇒ 耐震Bクラスの条件を満足する主要排気管(ダクト)の耐震支持間隔を算出した。

3. アンカー一部評価

追加説明

1) 評価方法

JEAC4601-2008「4.3.9章 支持構造物及びアンカー一部の強度評価」及び「4.2.3章(9) アンカー一部の許容応力」に基づき評価を実施する。

2) 評価式

基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価

・コンクリートにせん断補強筋が無い場合

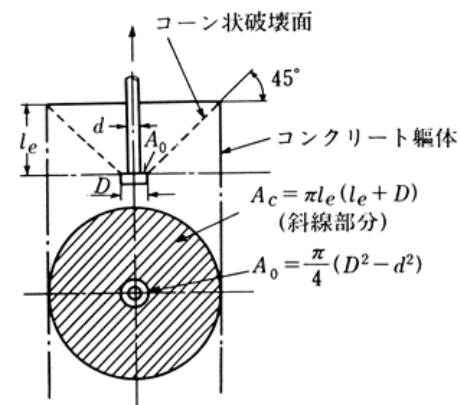
荷重の算定で得られた基礎ボルトの引張荷重は、以下に示すコンクリート部の引張荷重に対する許容値以下となるようにする。

$$p \leq p_a = \text{Min}[p_{a1}, p_{a2}]$$

$$p_{a1} = 0.31K_1 A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \alpha_c A_0 F_c$$

- p : 基礎ボルト1本当りの引張荷重 (N)
- p_a : 基礎ボルト1本当りのコンクリート部の許容引張荷重(N)
- p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト1本当りの許容引張荷重(N)
- p_{a2} : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト1本当りの許容引張荷重(N)
- K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数
- K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数
- F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)
- A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積(mm²)
- α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる係数、 $=\sqrt{A_c/A_0}$ かつ10以下
- A_0 : 支圧面積(mm²)
- l_e : 基礎ボルトのコンクリート内への埋込み長さ(mm)
- D : 基礎ボルト頭部の直径(mm)
- d : 基礎ボルトの公称径(mm)



⇒ すべての引張荷重が許容引張荷重以下であることを確認した。

3) 評価結果

機器名称		引張荷重 (N)	コンクリート部の許容引張荷重(N)
鉄セル	遮へい体	— 注	—
	インナーボックス	— 注	—
グローブボックス(GB-No.1, 2, 3, 4)		— 注	—
セル・グローブボックス用排風機		— 注	—
セル・グローブボックス用排気フィルタユニット	A, B	115	138300
	C, D	531	138300

注: 引張荷重は発生しない。

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)
9月4日面談資料改訂版

2020年10月15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(1/4)

一部改訂

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、梁、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(2/4)

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。

消防法上の消火水槽の容量は約16m³となる。これは屋内消火栓においては約2時間の放水量に相当することから適切な消火を行える設計としている。さらに、屋外には消防水利([耐震性貯水槽](#))約40m³を設置し、第2棟屋外での消火活動を行う。

(2) 自然現象に対する消火設備の性能維持

火災検知器及び消火設備は地震等の自然現象によっても、その性能が著しく阻害されないよう措置を講ずる。消火設備は、消防法、[消防法施行令](#)及び[消防法施行規則](#)に基づく設計とし、耐震設計は「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)に基づいて適切に行う。

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。

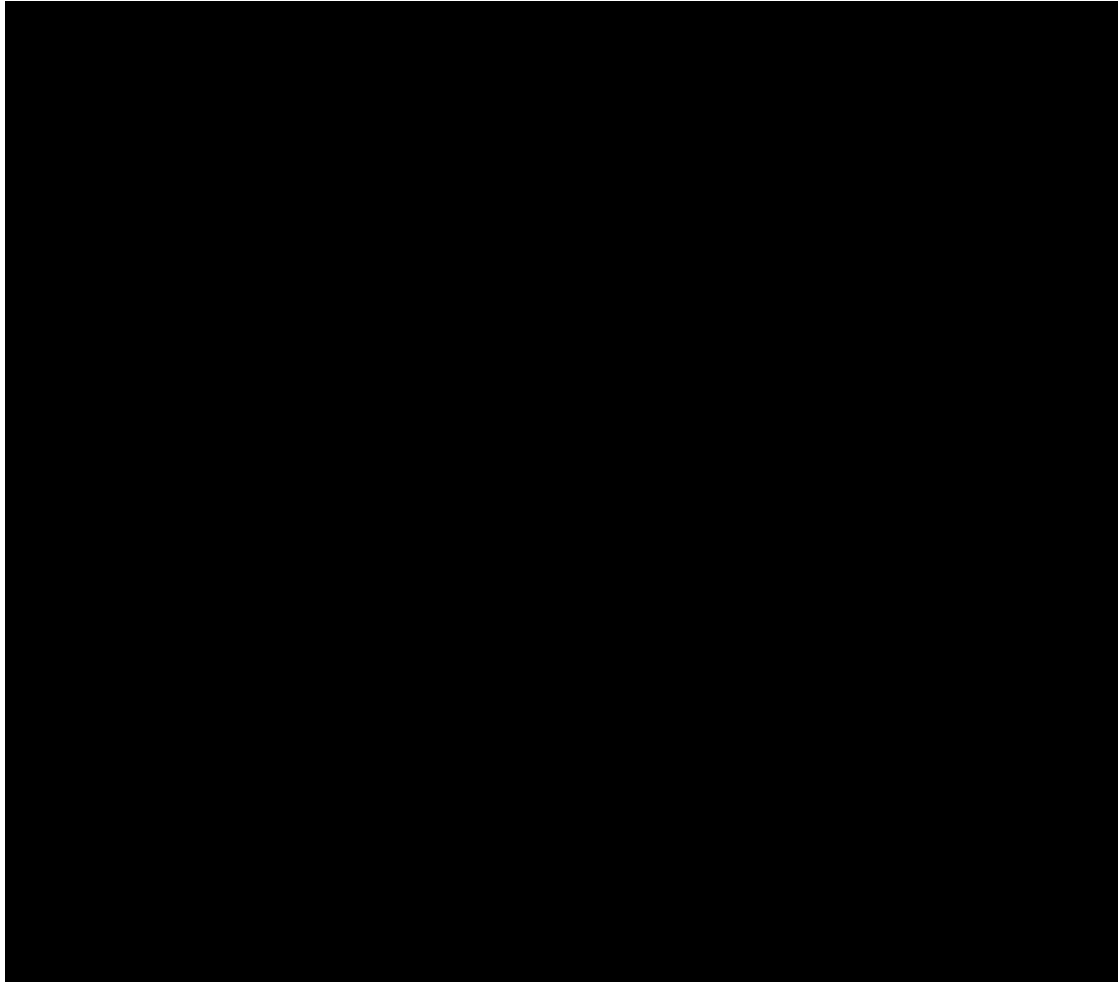
4. 外部火災について

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以上の距離を有する。

1. 第2棟建屋の火災防護について(3/4)

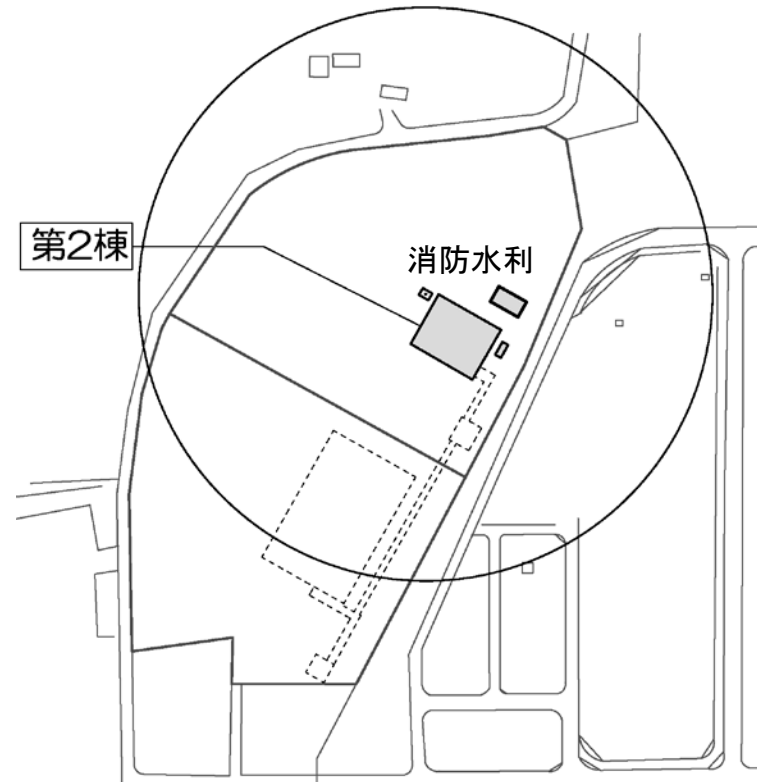
消火設備の取付箇所を以下に示す。



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(4/4)

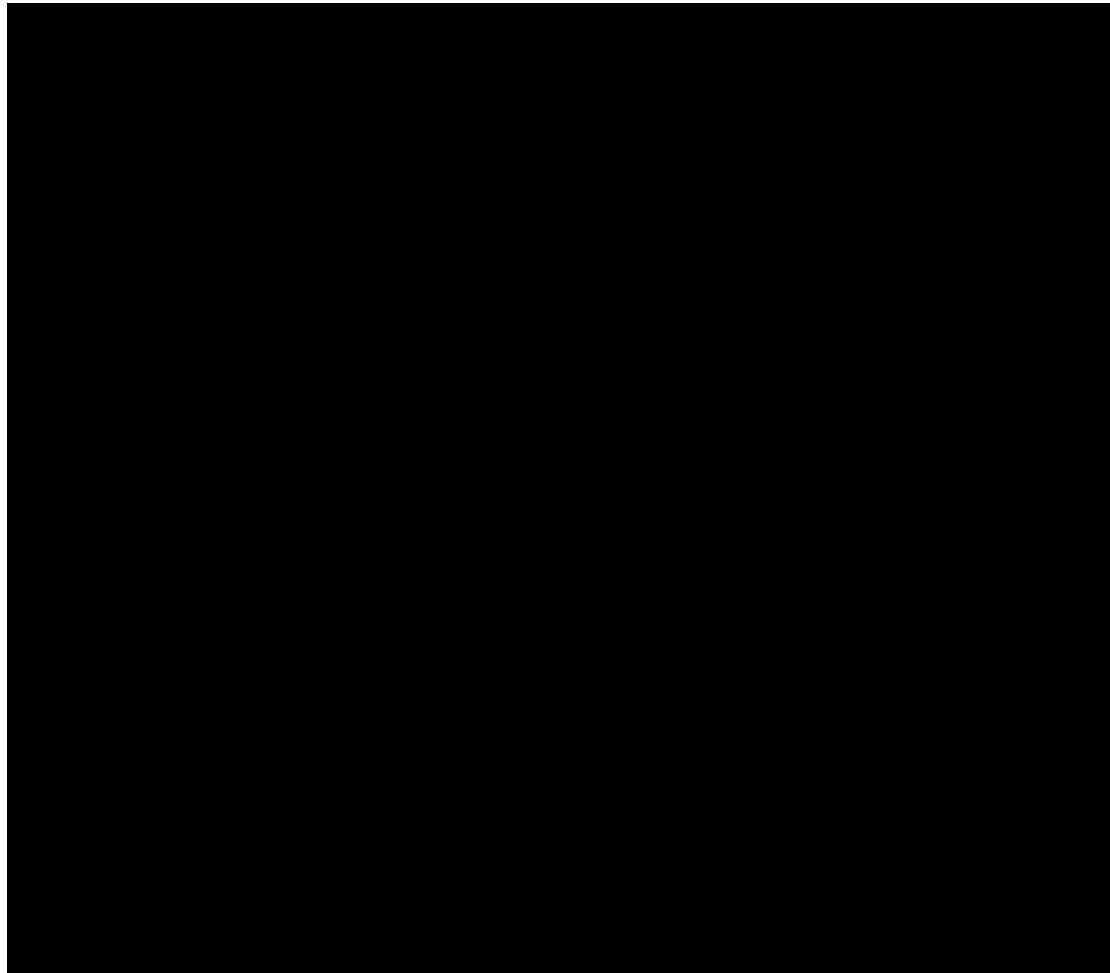
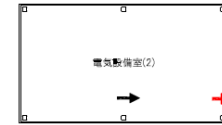
消防水利の位置



2. 第2棟の安全避難通路について

一部改訂

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。

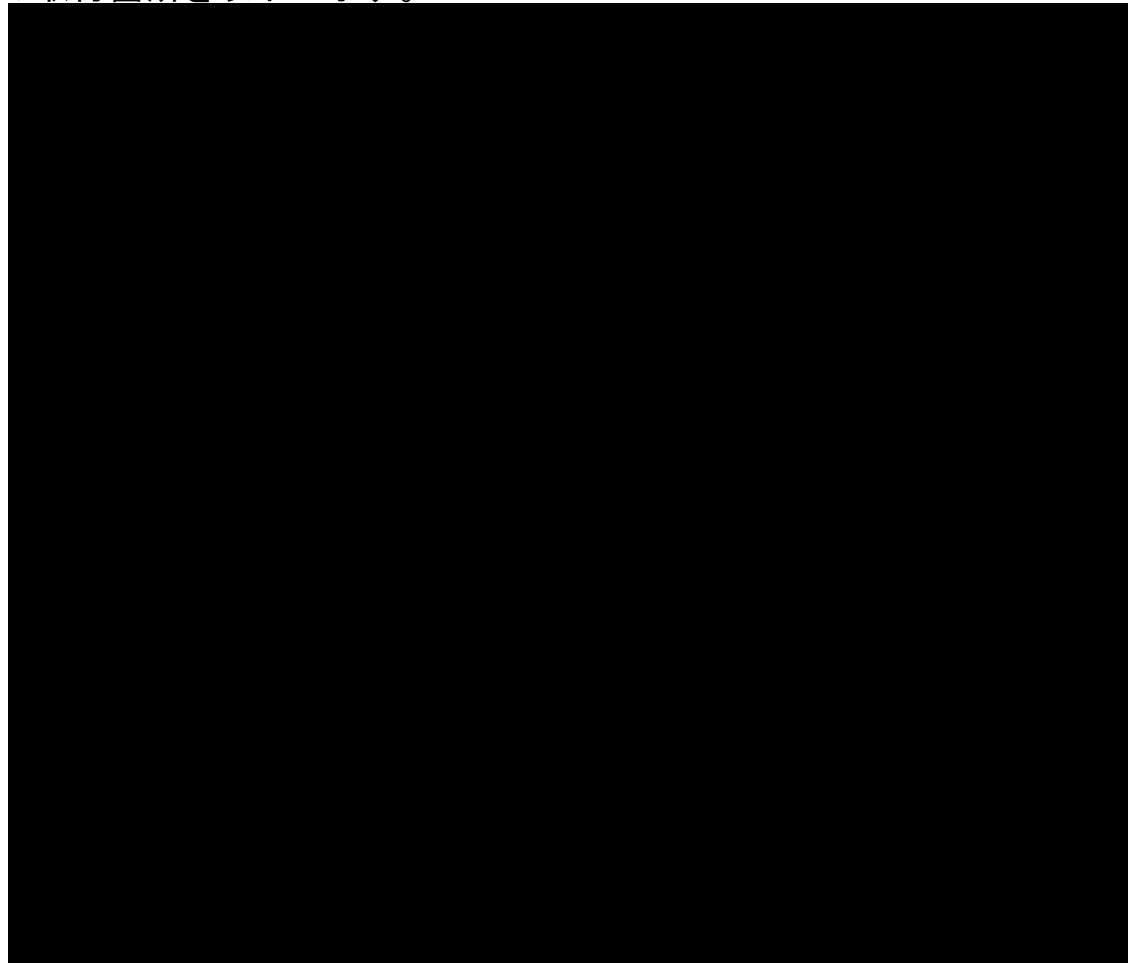


凡例	
	非常口
	避難経路

3. 第2棟の非常用照明について

一部改訂

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。非常用照明及び誘導灯の取付箇所を以下に示す。



凡例	
	登陸口誘導灯（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。

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)
9月4日面談資料改訂版

2020年10月15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)

一部改訂

【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。
- 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。

【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。

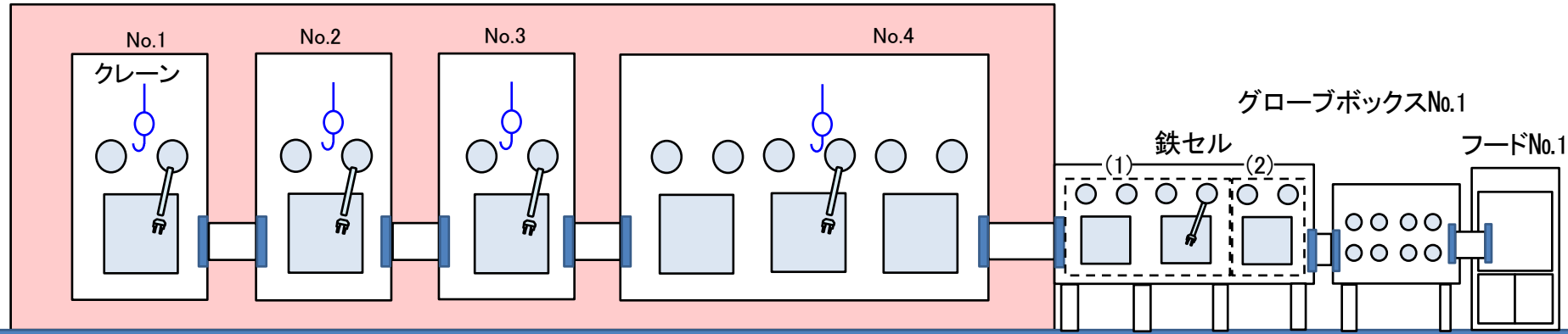
フードは、本体にステンレス鋼、前面シャッターに強化ガラスの不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

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)

一部改訂

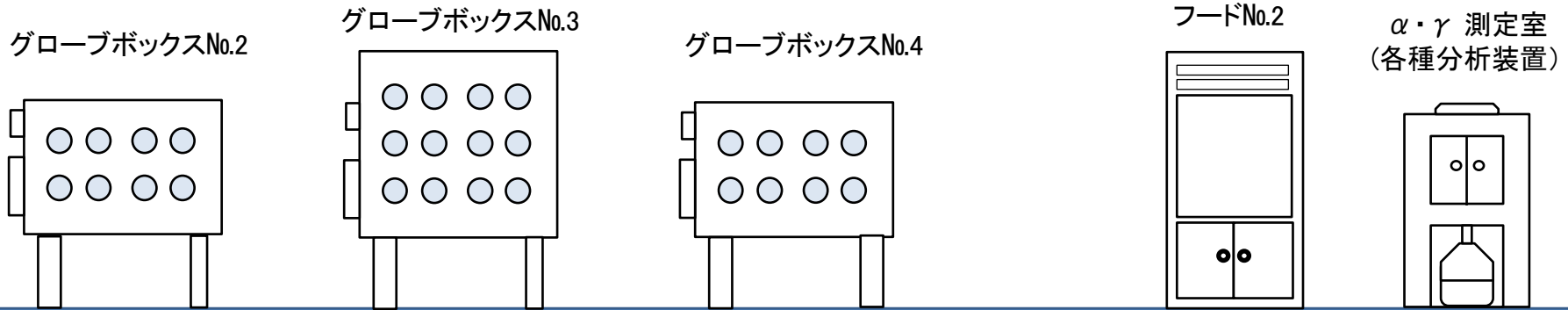
コンクリートセル



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)

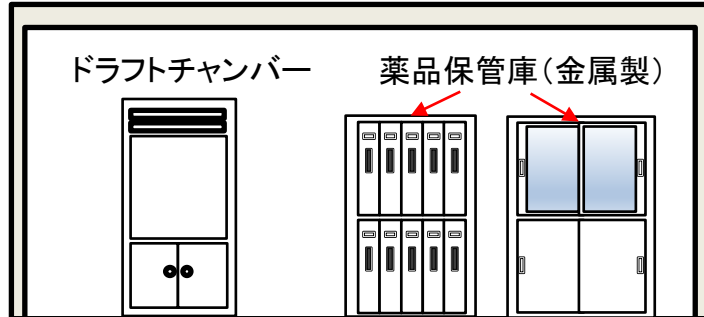


使用場所	消防法による危険物の分類 (用途)	想定使用量
グローブボックスNo.2	第4類(除染)	数100mlオーダー
グローブボックスNo.3	第4類(除染)	数100mlオーダー
グローブボックスNo.4	第4類(除染)	数100mlオーダー
フードNo.2	第4類(分析・試験、除染)	数100mlオーダー 数100mlオーダー
α・γ 測定室 (各種分析装置)	第4類(分析・試験)	数100mlオーダー

3. 分析・試験設備において使用を想定している試薬(3/3)

一部改訂

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。

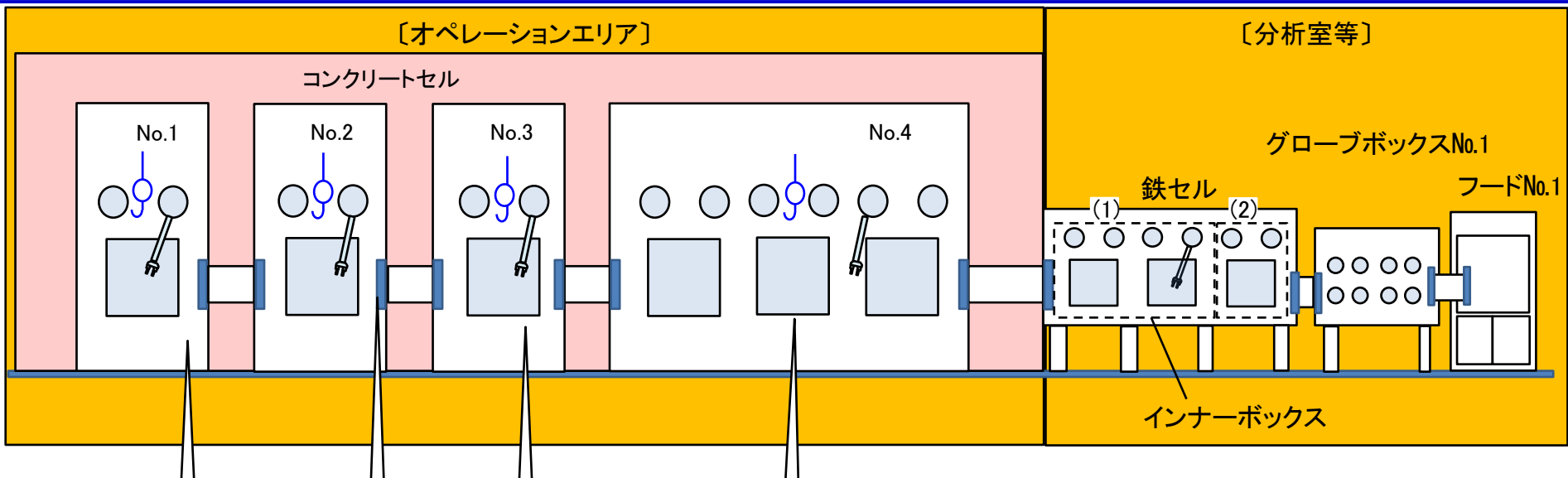
消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定保管量	適用する消火器
第1類	硝酸銀	数10gオーダ	粉末消火器 ※1:一部の試薬については乾燥砂を適用する。
	過酸化ナトリウム※ ¹	数100gオーダ	
	亜硝酸ナトリウム	数10gオーダ	
第4類	アクアライトRS-A	数ℓオーダ	
	アクアライトCN	数10mlオーダ	
	メタノール	数100mlオーダ	
	エタノール	数ℓオーダ	
	Hionic-Fluor	数ℓオーダ	
	Permafluor E+	数ℓオーダ	
	ラッピングオイル	数ℓオーダ	
	アセトン	数100mlオーダ	
	Carbo-Sorb E	数ℓオーダ	
	Ultima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

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)

一部改訂



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

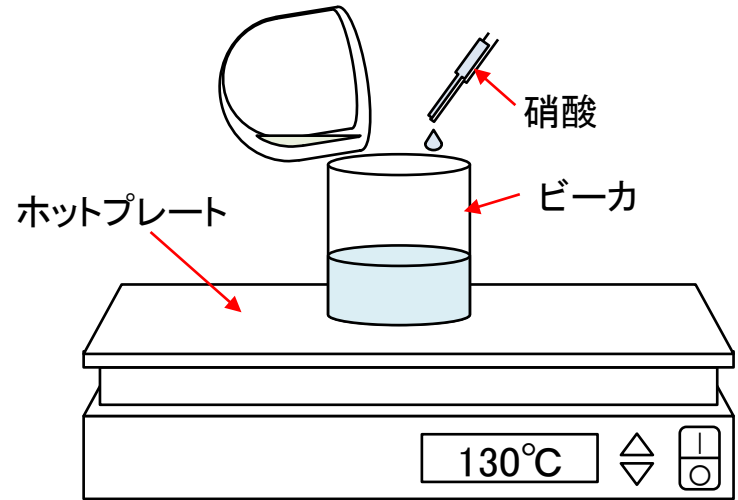
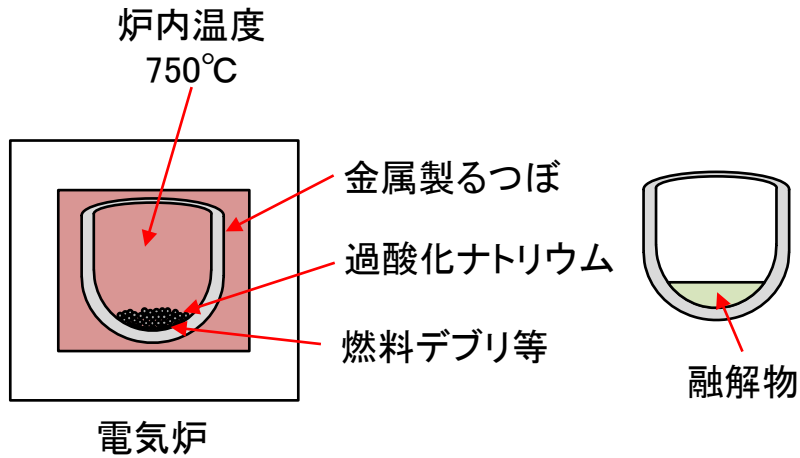
消防法による危険物の分類	使用を想定している試薬名	想定使用量
第1類	過酸化ナトリウム	数gオーダー
第4類	ラッピングオイル	数100ml&オーダー
第4類	アセトン	数100ml&オーダー
第4類	エタノール(除染用)	数100ml&オーダー

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。

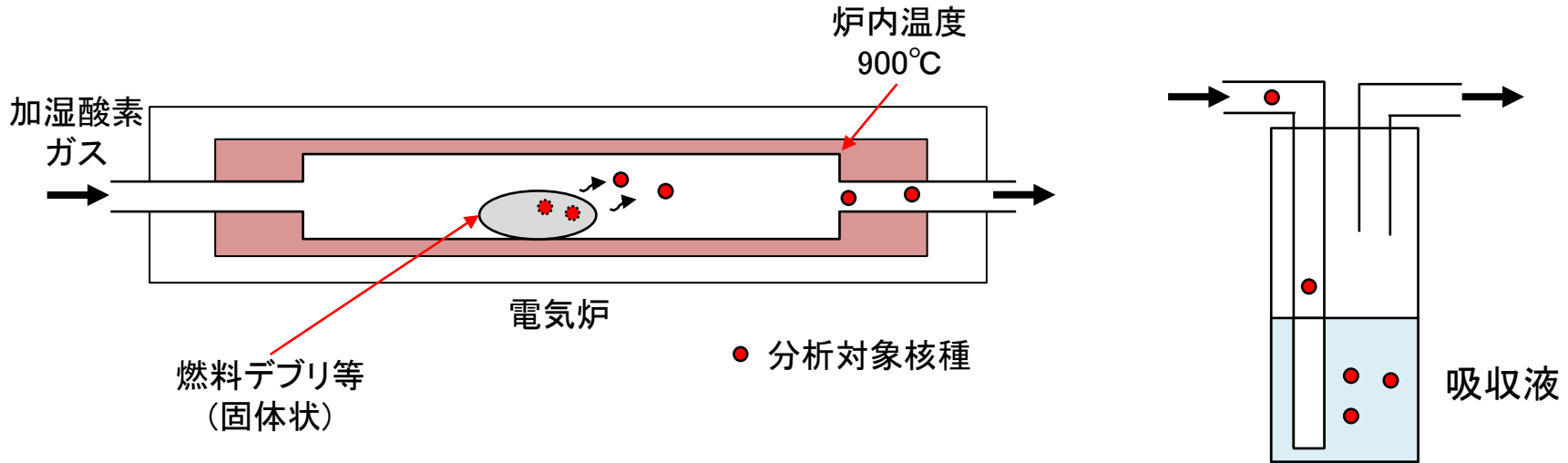
- ② 融解物をビーカに移し替え、硝酸を加えて加熱して溶液化する。

【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。

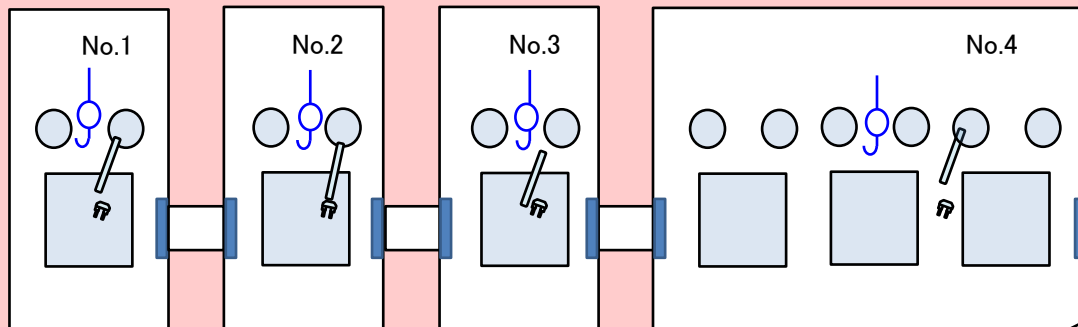
【当該作業における火災防護への配慮】

- 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〕

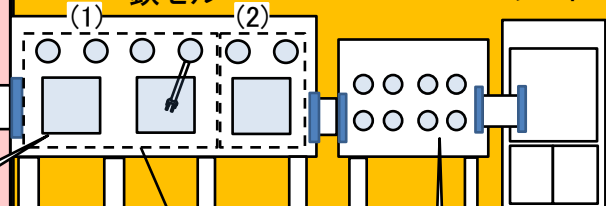
コンクリートセル



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

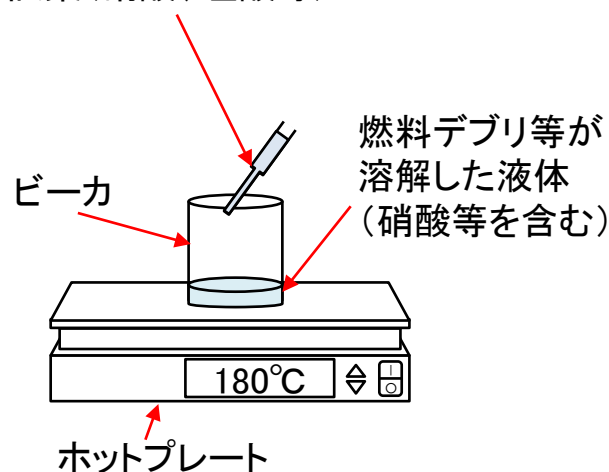
消防法による危険物の分類	化合物
第1類	硝酸ナトリウム

※: 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)

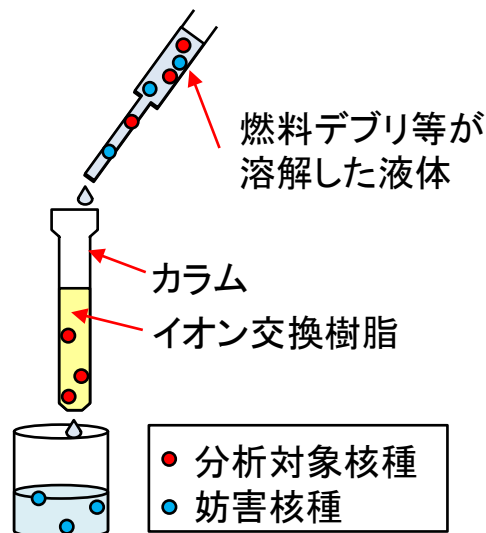
〔鉄セル(2)、グローブボックスNo.1:核種分離(イオン交換分離)作業例〕

試薬(硝酸、塩酸等)

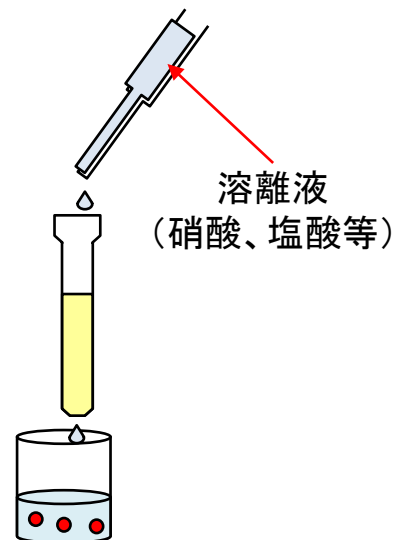


① 分析対象核種をイオン交換樹脂に吸着しやすい化学形に変換するため、試薬を加えて加熱する※。

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。

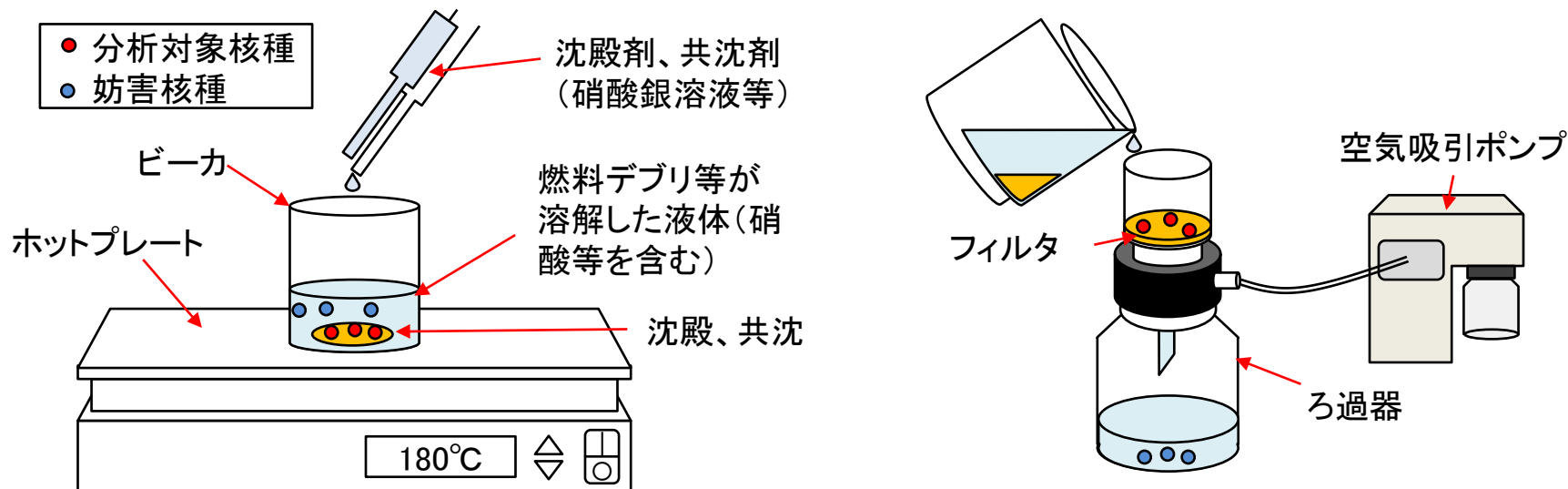


【当該作業における火災防護への配慮】

- 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。

※1:分析対象核種によっては加熱しない場合もある。

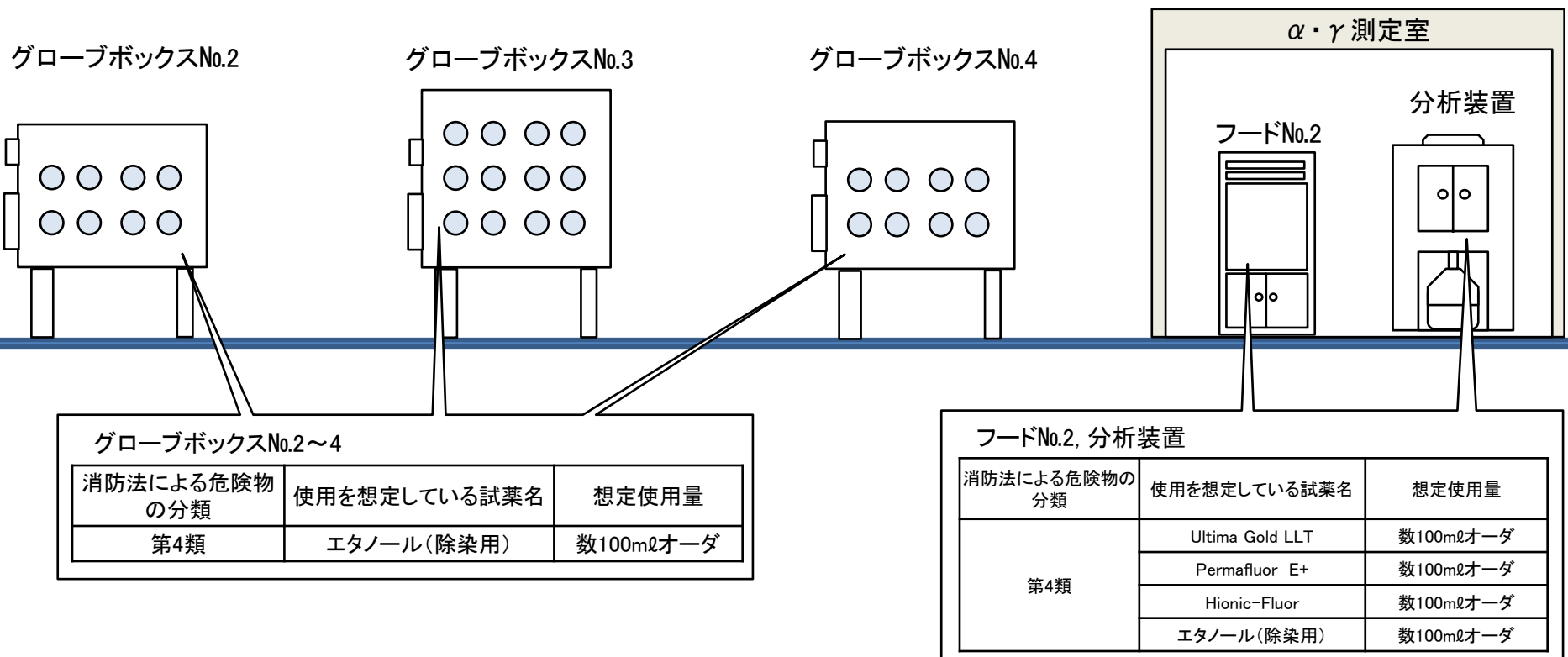
※2:妨害核種を沈殿、共沈させ、分析対象核種を溶液側に残す場合もある。

- 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。

【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)

一部改訂

【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

追加説明

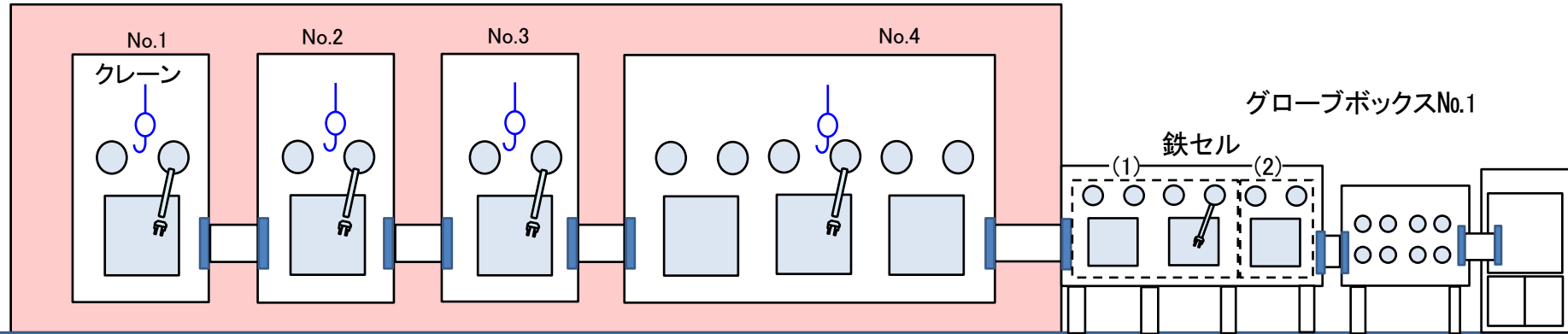
【中和廃液の火災防護への配慮】

- 分析・試験に使用した試薬は、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。
- 硝酸、アンモニア水、ヒドロキシルアミン溶液、水酸化ナトリウム溶液の中和では以下の化合物が発生する可能性がある。これらの化合物は、消防法上危険物に該当することから、中和後の希釈により危険物から除外される性状又は濃度とした後に各設備に払い出す。

中和により発生の可能性のある化合物	消防法による危険物の分類
硝酸塩類(固体) (硝酸ナトリウム、硝酸アンモニウム)	第1類
ヒドロキシルアミン塩類 (塩酸ヒドロキシルアミン)	第5類

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)

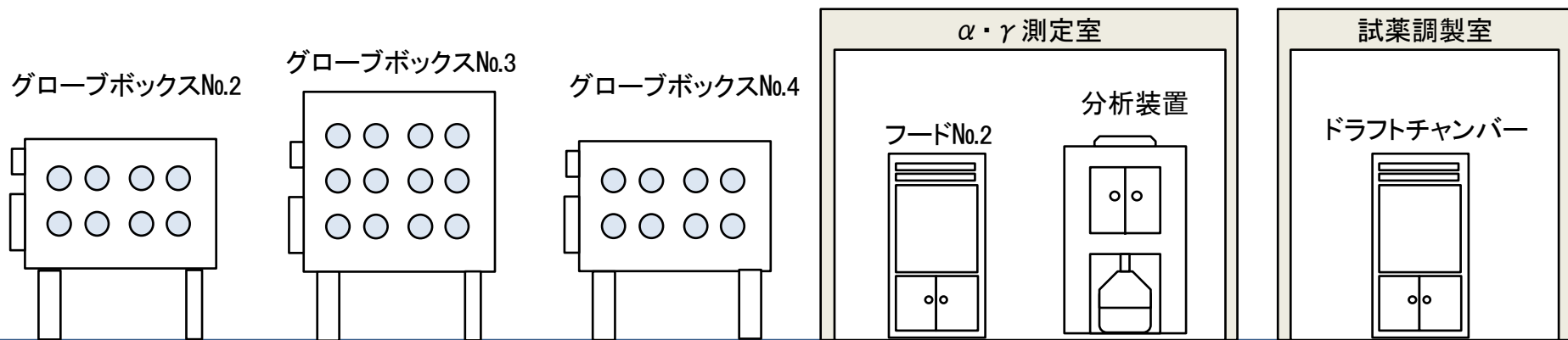
コンクリートセル



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

追加説明

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

追加説明

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、自主的に不活性ガス消火設備を設置した。

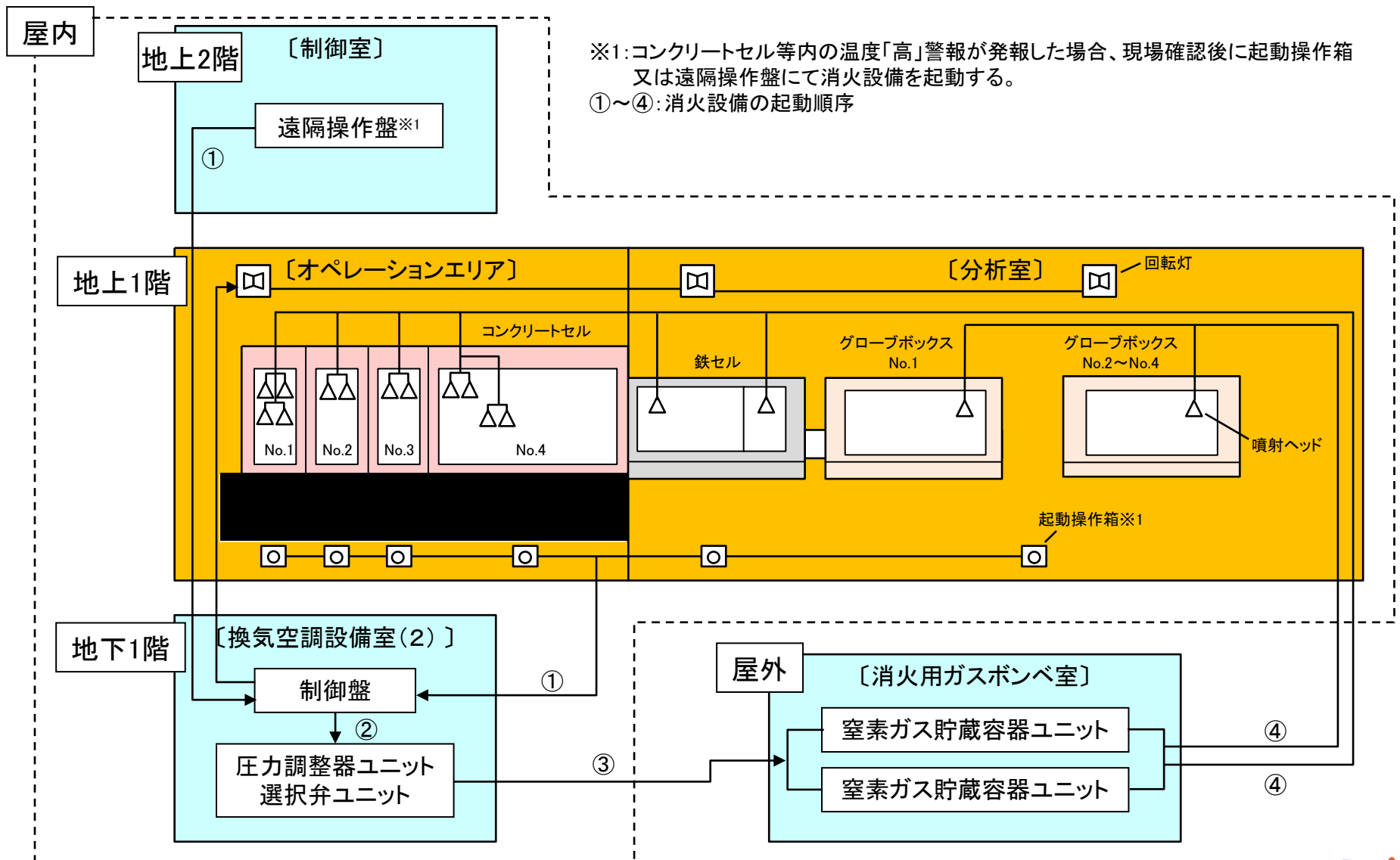
屋内消火栓設備

 :コンクリートセル等

消火器

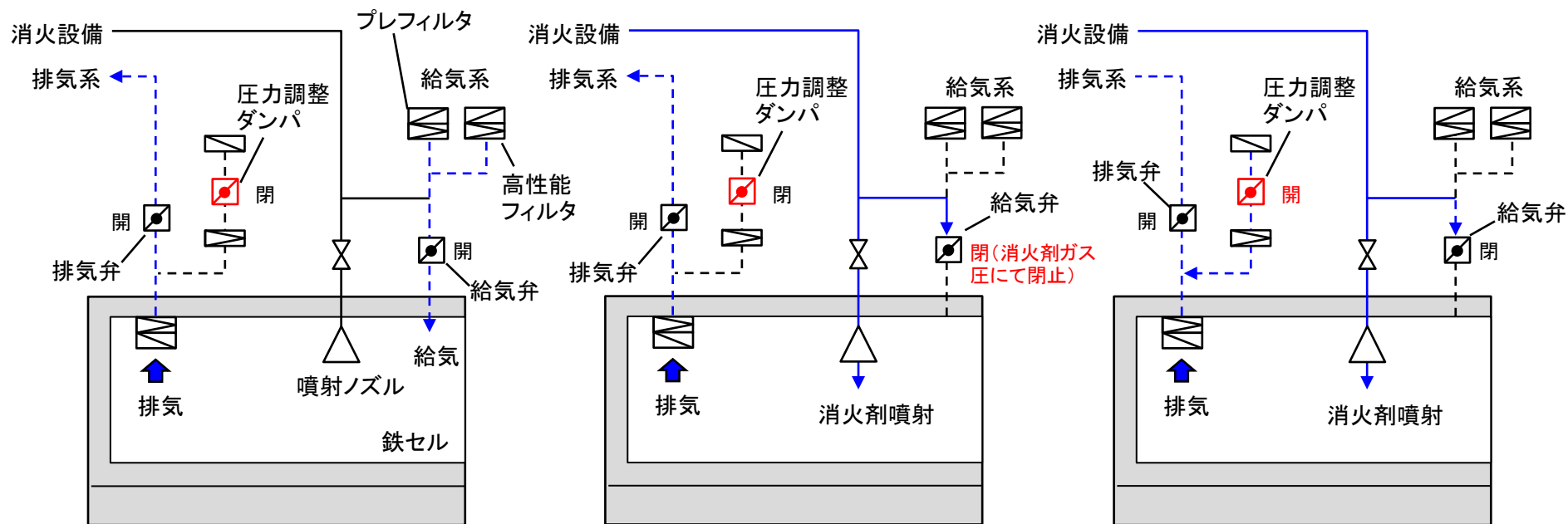
※1: 消防法施行令第11条第3項1号 ※2: 消防法施行規則第6条第6項

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、消火に必要な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

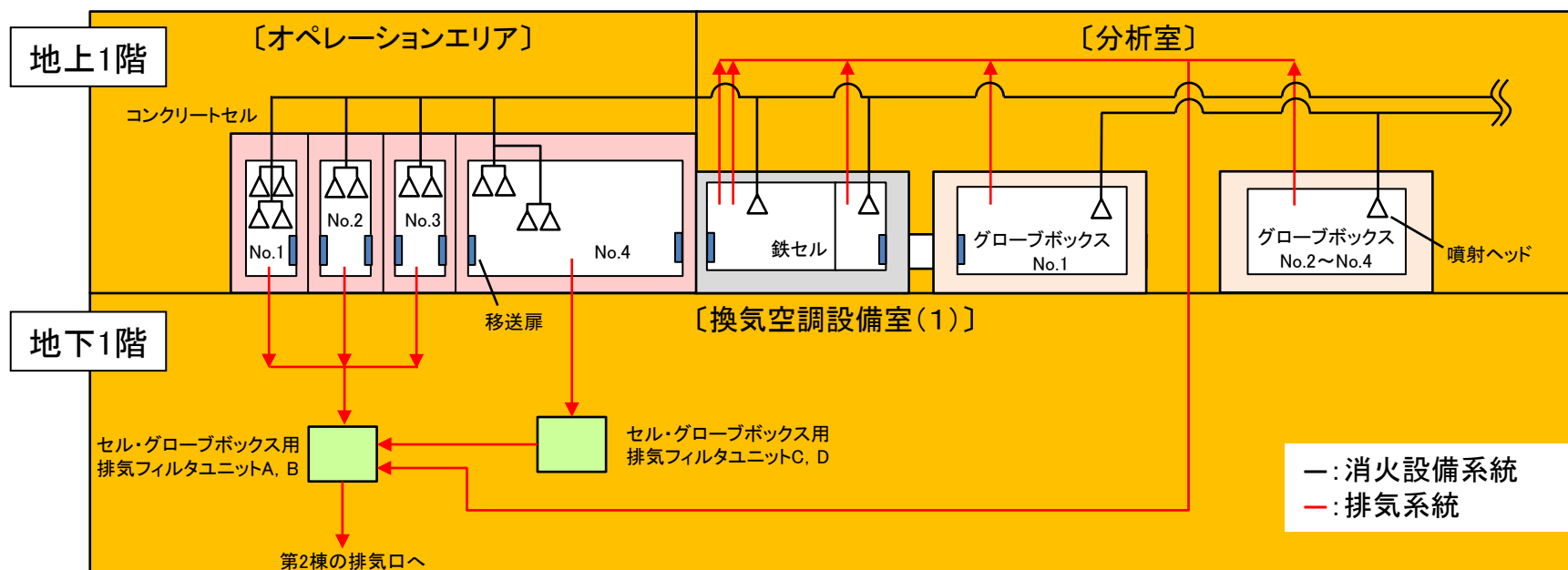
過負圧時の給排気

11. 隣接するセル等への火災の延焼の可能性について

一部改訂

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。

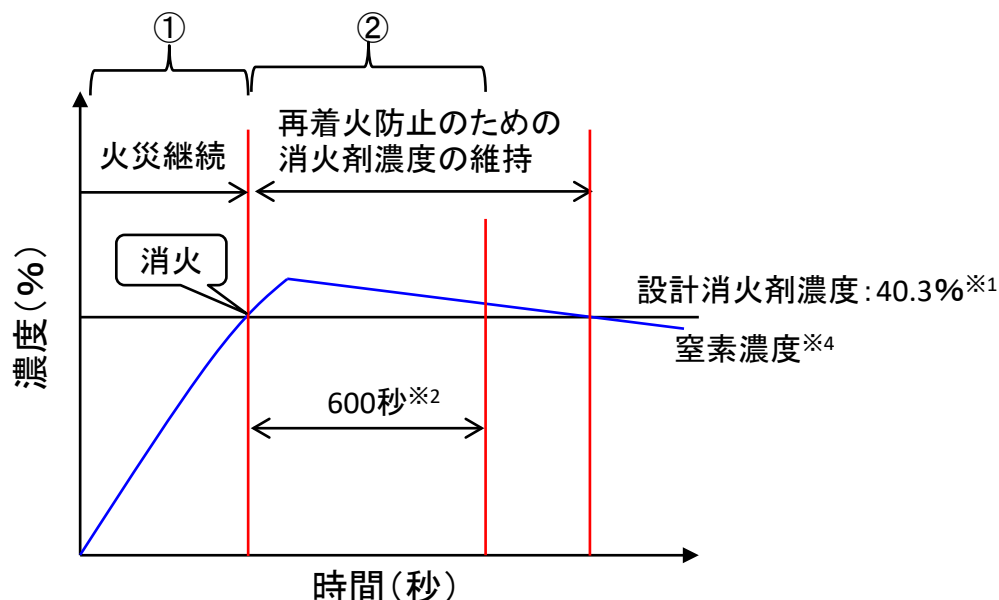
- ① コンクリートセル等に設置する排気管は独立している。
- ② コンクリートセル等から各排気管が合流するまで数mの距離がある。
- ③ 消火設備起動時も排気は継続しており、コンクリートセル等の負圧は維持している。
- ④ 隣接するセル等にはSUS製の気密を考慮したセル間移送扉を設置している。
- ⑤ フィルタは、ろ材にグラスファイバーを用いる等の不燃・難燃材料を使用する。



12. 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数(1/2)

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、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のに必要な消火剤量から算出した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のに必要な消火剤量
→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】

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

※1: 消防法施行規則第十九条第4項第一号口及び(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。

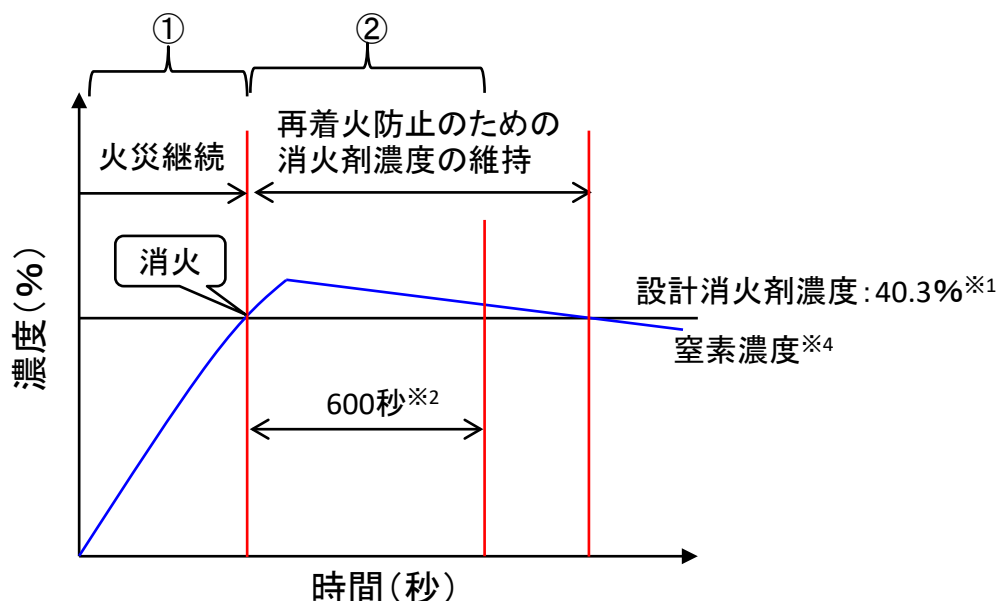
※4: 火災が発生しているコンクリートセル等内に不活性ガス(窒素ガス)を噴出し、セル等内を低酸素状態にすることで窒息消火させる。

12. 消火に必要な窒素ガス貯蔵容器の本数(2/2)

一部改訂

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、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のに必要な消火剤量から算出した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。

13. 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。

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

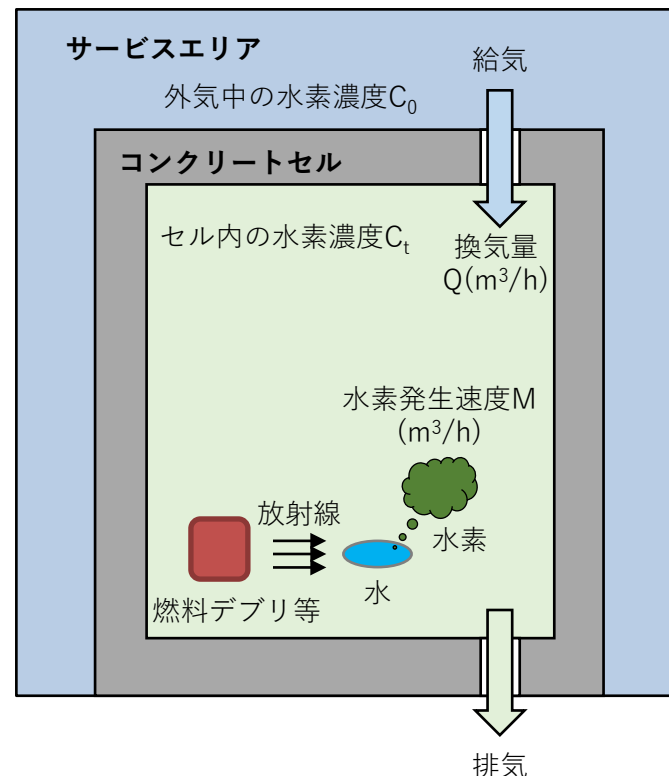
C_t : セル内の水素濃度[vol%]

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).

13. 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^{-5} vol%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^{-4} vol%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)

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
(セル内火災に対する考慮について)

9月30日面談資料改訂版

2020年10月15日

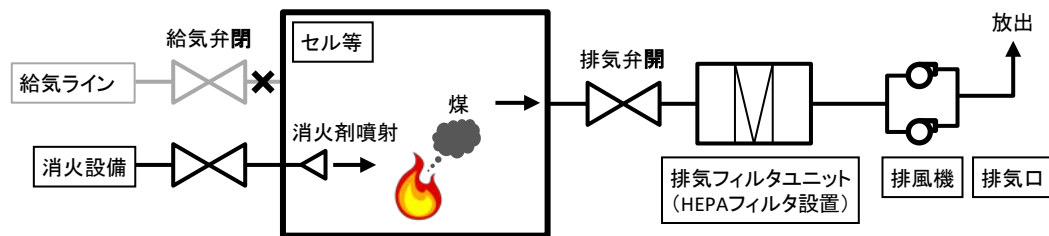
東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. セル内火災に対する考慮(1/3)

第2棟では、コンクリートセル等で火災が発生した場合、不活性ガス(窒素ガス)を噴射し、セル内を消火に必要な消火剤濃度に維持することで消火する。このとき、セル内の負圧を維持するため及び効率よくセル内の空気を消火剤に置換するため、排気弁は閉止しない。また、排風機も停止しない。

セル内火災を想定し、セル内の可燃物が燃焼することで発生する煤が、換気空調設備の排気系に流入したとして、排気フィルタユニットに設置されている高性能フィルタへの影響を評価した。



1. セル内火災に対する考慮(2/3)

一部改訂

【想定事象】

- セル内の可燃物として、紙ウェス、ポリ容器がある。通常、可燃物は必要の都度、必要な量だけをセル内に持ち込んで使用し、また、使用しない場合は金属製容器に収納する等、火災発生の要因を極力排除する措置を講ずる。評価では、紙ウェス500g、ポリ容器200gがセル内に存在すると仮定した。
- 紙ウェス、ポリ容器の全てが燃焼し、このとき発生する煤が換気空調設備の排気系に移行し、高性能フィルタに捕集されるものとした。なお、煤の発生量については、紙ウェスの重量の1%※¹(5g)、ポリ容器の重量の9%※¹(18g)とし、保守的に合計25gとした。

【評価結果】

高性能フィルタについて、初期圧力損失の2倍が交換時期の目安とされている。IAEAの報告書※²では、第2棟に設置する高性能フィルタと同じサイズ(610mm×610mm×292mm)のフィルタについて、初期圧力損失の2倍の圧力に相当する工業用の煤(カーボンブラック)の保持量が約200gと示されている。

第2棟のセル内火災で想定される煤の発生量は25gであり、高性能フィルタに対する保持量200gを下回ることから、セル内火災時に発生が想定される量の煤を捕集しても高性能フィルタは破損しない。また、負圧維持に必要な排気風量も維持できることから、セル内の負圧は維持できる。

※¹ “Characteristics of Combustion Products: A Review of Literature” NUREG/CR-2658, (1983) から、燃焼物の初期重量に対する煤の発生割合について、紙の材料である木材では0.2～0.4%、ポリ容器の材料であるポリエチレンでは8.3%である。以上より、煤の発生量について、紙ウェスを1%、ポリ容器を9%とした。

※² TECHNICAL REPORTS SERIES No.325 IAEA, VIENNA, (1991) p.32 FIG. 18に、高性能フィルタの粉塵保持量(Dust load)に対する圧力損失(Pressure drop)の変化が示されており、工業用の煤(カーボンブラック, Carbon Black)を高性能フィルタに捕集させた場合、試験開始時の圧力損失(初期圧力損失)に対して2倍の圧力損失を示すときの粉塵保持量は約200gである。

1. セル内火災に対する考慮(3/3)

一部改訂

燃料デブリ等の取扱場所(試料ピットを含む)において、燃料デブリ等が金属製の容器に収納されている場合、火災による公衆への放射線被ばくの影響はない。一方、コンクリートセルNo.4では、燃料デブリ等を容器から取り出して切断等を行うため他の取扱場所に比べ、セル内に飛散する放射性物質の量が多く、また、切断等により飛散しやすい粉体状の放射性物質が発生する。このため、コンクリートセルNo.4における燃料デブリ等の切断時に火災が発生した場合を想定し、火災に伴う放射性物質の飛散を考慮して、このときの公衆の実効線量を評価した。

【評価条件】

- 燃料デブリ等がすべてMOX燃料で構成されているとした(MOX燃料の燃焼度等の条件で各核種の放射エネルギーをORIGEN2.2-UPJコードで求めたもの)。
- 1回の受入物(燃料デブリ等)に対して、切断等により粉体が発生する。粉体は適宜、回収し保管するが、評価では、この粉体の全てがセル内に存在するものとした保守的な仮定とした。この粉体に対し、切断時の飛散(1%^{※1})と火災に伴う飛散(0.6%^{※2})を合わせて1.6%の放射性物質が排気中に移行するものとした。なお、トリチウム、よう素及び希ガスについては、粉体中の全量が排気中に移行するものとした。
- コンクリートセルNo.4から排気口までに設置する高性能フィルタ(3段)の除染係数を 10^7 ^{※3}とした。なお、トリチウム、よう素及び希ガスについては、除染係数を考慮しないものとした。

【評価結果】

敷地境界外の実効線量の評価は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」等を参考とし、呼吸摂取による内部被ばく線量を求めた。

その結果、本事象に係る公衆の実効線量は、約 $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{Sv}$ であり、公衆への放射線影響は十分に小さい。

※1 「ホットラボの設計と管理」, ホットラボ研究専門委員会, 日本原子力学会 (1976)

※2 “Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410

※3 高性能フィルタは、基準粒子径 $0.15 \mu\text{m}$ 以上に対して粒子捕集率99.97%以上のJIS規格品を使用する設計としている。
第2棟では、フィルタ1段目の除染係数を 10^3 とし、2段目以降は1段あたりの除染係数を 10^2 として評価する。

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
(遮へい・線量評価について)

9月30日面談資料改訂版

2020年10月15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. 遮へい・線量評価に係る事項

2.48.1.3 設計方針

2.48.1.3.8 被ばく低減

第2棟は、放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、**遮へい**、**機器の配置**、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

また、地周辺の線量を達成できる限り低減するため、**遮へい**等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2.48.1.5 主要な機器

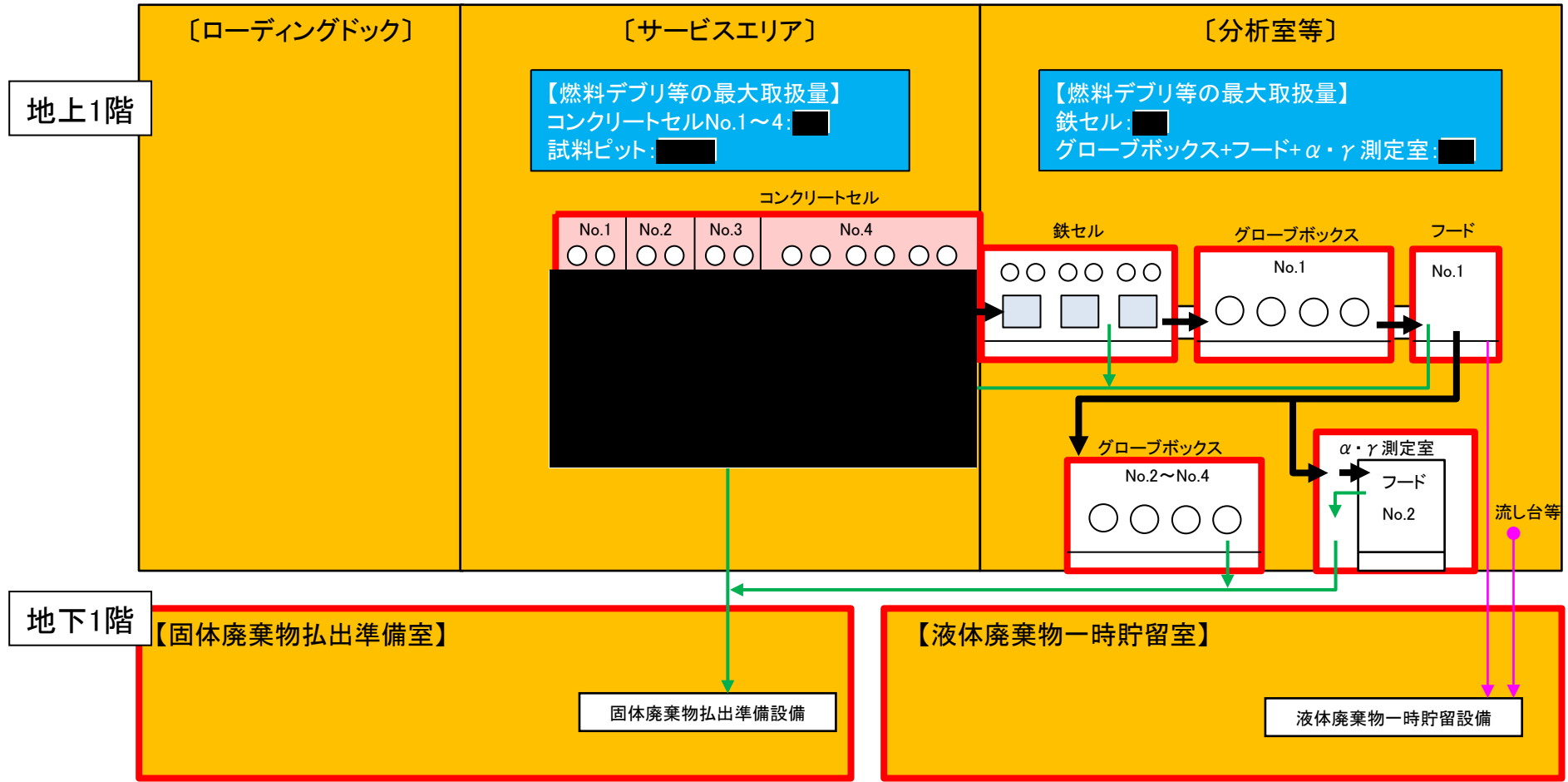
2.48.1.5.6 遮へい壁

燃料デブリ等、固体廃棄物払出準備設備、液体廃棄物一時貯留設備からの放射線に対して、放射線業務従事者等を保護するため、必要に応じてコンクリート等の壁・天井による**遮へい**を行う。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、燃料デブリ等、固体廃棄物払出準備設備、液体廃棄物一時貯留設備からの放射線について、コンクリートの壁・天井による**遮へい**を行う。

(実施計画 「2.48放射性物質分析・研究施設第2棟」より記載)

2. 第2棟内の各エリアにおける想定作業 ー燃料デブリ等の取扱い及び遮へいを考慮する箇所についてー



→ : 放射性的な液体廃棄物
→ : 放射性的な固体廃棄物(低線量)

[] : 管理区域

→ : 燃料デブリ等

[] : 今回説明する遮へいに係る設備

3. 第2棟の遮への考え方(1/4)

第2棟では、燃料デブリ等、固体廃棄物払出準備設備、液体廃棄物一時貯留設備からの放射線に対して、放射線業務従事者等を保護するため、必要に応じてコンクリート等の壁・天井による遮へいを行う。

(1) 非管理区域について

非管理区域においては、外部放射線に係る線量が1.3mSv/3月を超えないことが求められる。このために必要な遮へいを設置する。遮へい厚さは、3ヶ月あたりの線量で定められる非管理区域の線量を超えないように定めた外部放射線に係る設計基準線量率 2.6×10^{-3} mSv/h以下となるように設定する。

(2) 管理区域について

管理区域においては、放射線作業従事者等の被ばくに関して、線量限度※が定められている他、合理的に達成できる限り低減することが求められる。

このことを踏まえ、作業エリアを区域区分し、その区域区分に応じた外部放射線に係る設計基準線量率を設定し、必要な遮へいを設置する。

※東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示
(平成25年4月12日原子力規制委員会告示第3号)

3. 第2棟の遮へいの考え方(2/4)

第2棟における外部放射線に係る設計基準線量率は、福島第一原子力発電所と同じ区分で設定する。なお、管理区域内の各エリアにおける線量率区分については、作業内容に応じて割当てた。

	区分	外部放射線に係る設計基準線量率	第2棟での線量率区分の考え方
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下	—
管理区域	B	0.01mSv/h未満	人が常時作業を行うエリア。
	C	0.05mSv/h未満	人の立ち入り頻度が比較的少ないエリア。ただし、分析室等のグローブボックス、フードを設置する室については、作業頻度が比較的多いものの、グローブボックス、フード表面での線量率が高くなることから、C区分としている(作業者の放射線防護装備、時間管理等により被ばく線量を管理する)。
	D	0.25mSv/h未満	特定の業務(例:設備の点検・保守や廃棄物の搬出入等)でのみ立ち入るエリア(人の立ち入り頻度、立ち入り時間が少ない)。
	E	1mSv/h未満	—
	F	1mSv/h以上	燃料デブリ等を取り扱うため線量率は高いが、マニピレータ等を用いて遠隔で取扱うため、原則として人が立ち入らないエリア。

3. 第2棟の遮へいの考え方(3/4)

なお、JAEAの既存施設では下記の基準としている。

原子力科学研究所 バックエンド研究施設(BECKY)

管理 区域	区域Ⅰ	人が常時立ち入る場所で1週間あたり1mSv以下とする区域
	区域Ⅱ	区域Ⅰ以外の区域

原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設(WASTEF)

管理 区域	人が常時立ち入る区域で汚染の生じる恐れはほとんどなく、最大20 μ Sv/hの線量当量率の可能性がある区域	
	人が一時的に立ち入る区域で作業により一時的に汚染の恐れがあり、20～200 μ Sv/hの線量当量率の可能性がある区域	
	汚染の封じ込めと被ばく防止のため、人が立ち入らないことを原則とする区域であり、200 μ Sv/h以上の線量当量率の可能性がある区域	

原子力科学研究所 燃料試験施設(RFEF)

管理 区域	人の常時立ち入る場所におけるしゃへい設計値25 μ Sv//h(線量限度週当たり1mSvに相当し、1週間の作業時間を40時間以下とする。)
	人の常時立ち入らない場所についての設計値100 μ Sv//h(線量限度週当たり1mSvに相当し、1週間の作業時間を10時間以下とする。)

核燃料サイクル工学研究所 高レベル放射性物質研究施設(CPF)

管理 区域	グリーン	放射線業務従事者等が常時立ち入る区域で汚染の生じるおそれのほとんどない区域	12.5 μ Sv/h以下
	アンバー	放射線業務従事者等が一時的に立ち入る区域で、作業により一時的に汚染のおそれのある区域	200 μ Sv/h以下
	レッド	放射線業務従事者等が原則として立ち入らず、放射線源のある区域又は汚染のある区域	200 μ Sv/hを超える

3. 第2棟の遮への考え方(4/4)

大洗研究所 照射燃料集合体試験施設 (FMF)、照射燃料試験施設 (AGF)

管理 区域	放射線業務従事者が常時立入る区域	20 μ Sv/h以下
	放射線業務従事者が一時的に立入る区域	200 μ Sv/h以下

第2棟では、管理区域のうち人が立ち入るエリアであるB、C区分について、0.01～0.05mSv/h (10～50 μ Sv/h)に設定している。JAEAの多くの既存施設では、人が常時立ち入る区域の線量率を12.5～25 μ Sv/hとしている。

また、第2棟では、管理区域のうち特定の業務でのみ立ち入るエリアであるD区分について、0.25mSv/h(250 μ Sv/h)に設定している。JAEAの多くの既存施設では、一時的に立ち入るエリアを200 μ Sv/h以下としている。

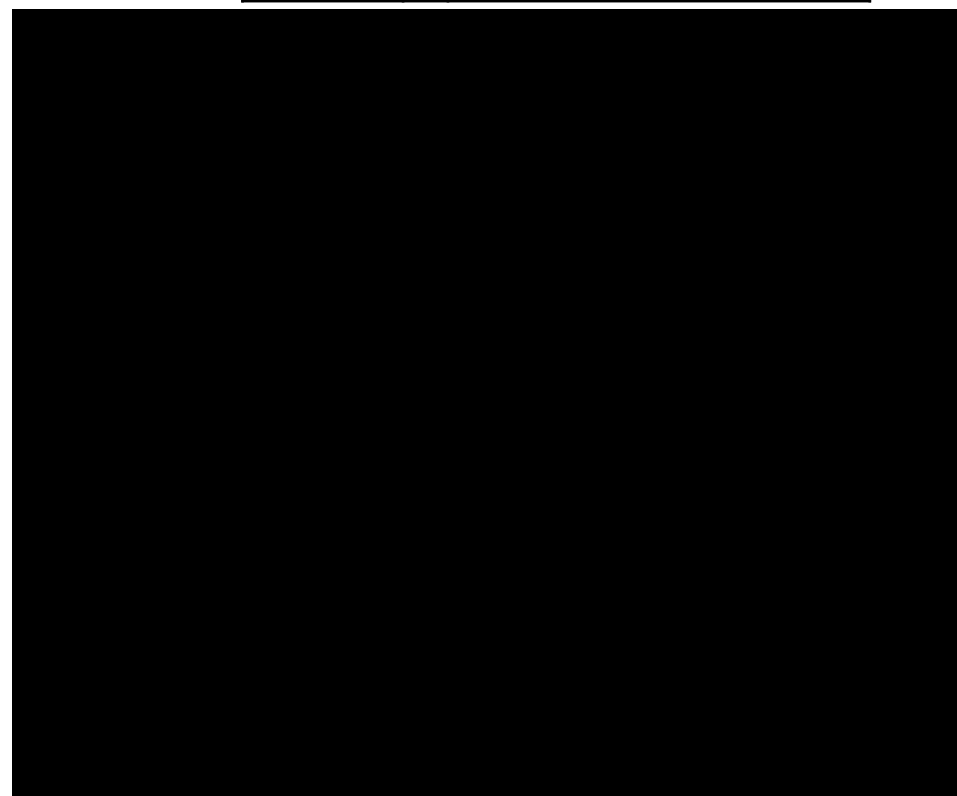
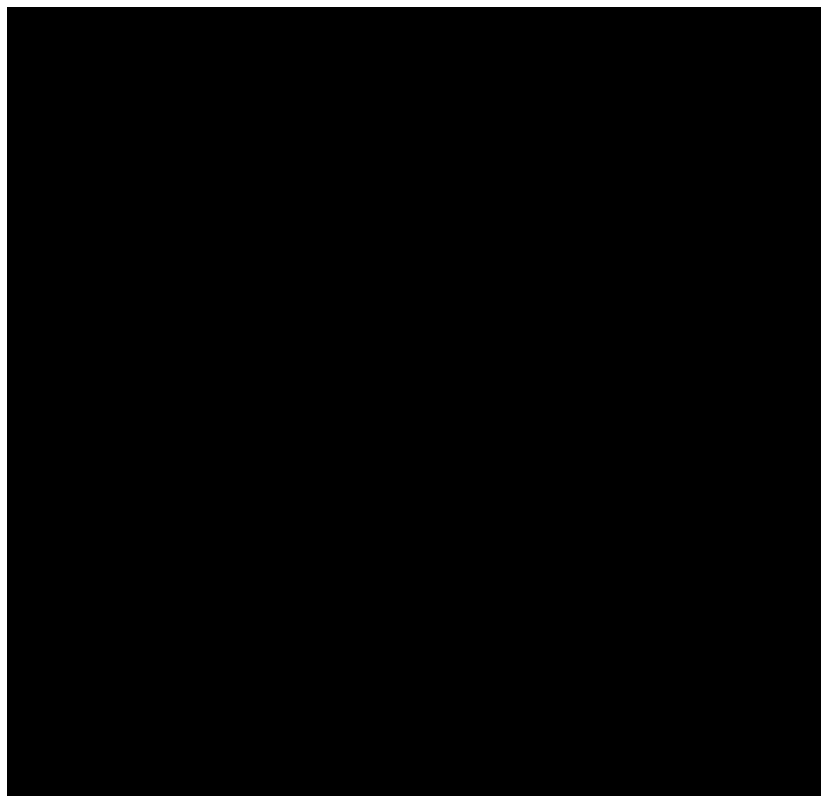
4. 第2棟の遮へい(1/2)

一部改訂

線源に対し、距離だけでは外部放射線に係る設計基準線量率を満足できない場所について、遮へい体(壁、床)を設定している。

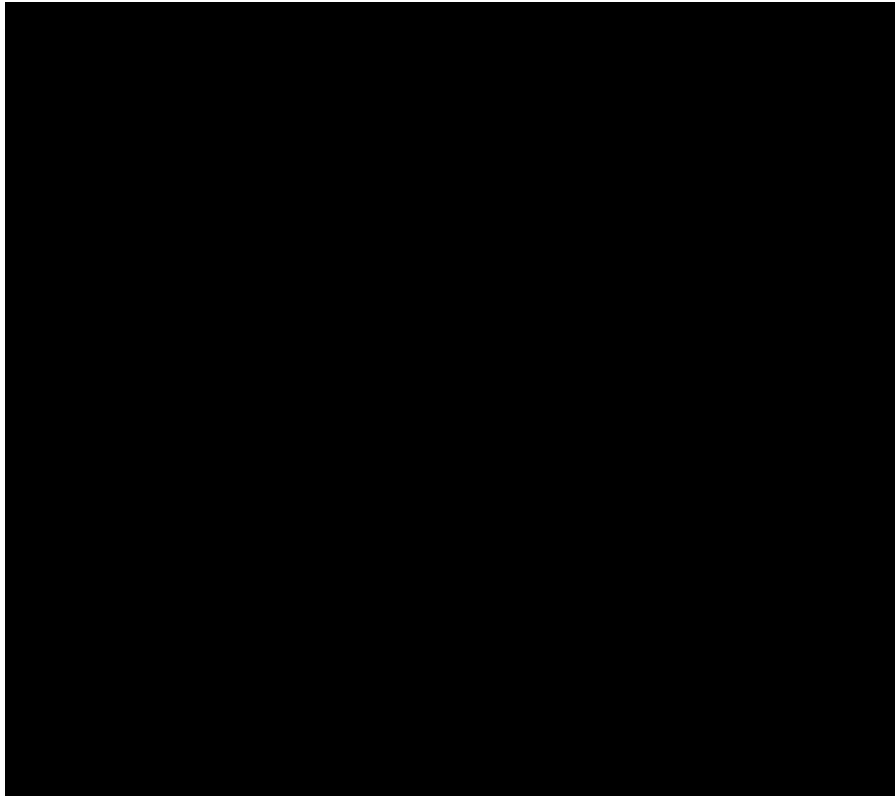
なお、建屋外壁には、遮へい能力を要求しない設計としている。

区分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下
管理区域	B	0.01mSv/h未満
	C	0.05mSv/h未満
	D	0.25mSv/h未満
	E	1mSv/h未満
	F	1mSv/h以上



: 管理区域
 : 遮へい(壁)
 : 遮へい(床)

4. 第2棟の遮へい(2/2)



: 管理区域
 : 遮へい(壁)
 : 遮へい(床)

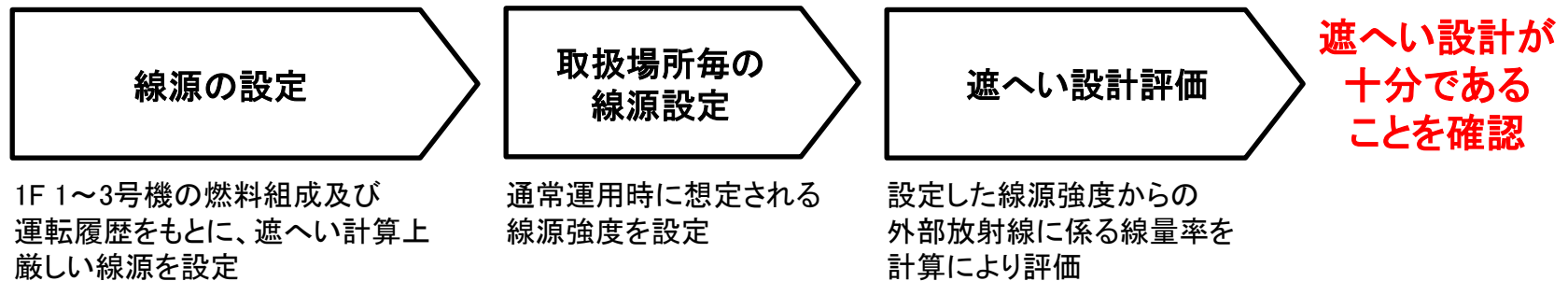
区分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下
管理区域	B	0.01mSv/h未満
	C	0.05mSv/h未満
	D	0.25mSv/h未満
	E	1mSv/h未満
	F	1mSv/h以上

5. 第2棟の遮へい評価について

実施計画では、非管理区域について設計基準線量率を超えないことを記載している。

非管理区域においては、3ヶ月あたりで定められる線量(1.3mSv/3月)を超えないように定めた外部放射線に係る設計基準線量率 2.6×10^{-3} mSv/h以下となることを、以下のフローに基づき確認する。

なお、建屋外壁においても、第2棟の外部放射線のみでは 2.6×10^{-3} mSv/hを超えないことを確認する。



6. 線源の設定(1/4)

—燃料の比較①—

1F 1～3号機に装荷された燃料の燃料組成及び運転履歴に基づき、放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数を求めた。なお、 UO_2 燃料の ^{235}U 濃縮度及びMOX燃料のPu富化度をパラメータとして、どのような燃料が遮へい計算上、厳しい評価となるのかを検討した。

燃料仕様等

	1号機	2号機	3号機	
種類	UO_2 燃料	UO_2 燃料	UO_2 燃料	MOX燃料
^{235}U 濃縮度又はPu富化度 [wt%]				
ペレット最大燃焼度[GWd/t]	54.7	56.7	57.0	8.5

① 評価条件

上表の燃料仕様等に基づき、評価条件を設定した。

(1) 計算コード : ORIGEN2.2-UPJ※

(2) UO_2 燃料 : ^{235}U 濃縮度 燃焼度 60GWd/t

MOX燃料 : Pu富化度 燃焼度 10GWd/t

(3) 冷却期間 : 12年間

※使用済燃料等の核種生成量並びに中性子及びガンマ線の線源強度の評価が可能な計算コード

6. 線源の設定(2/4)

—燃料の比較②—

② 評価結果

1F 1～3号機における放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数の評価結果を下表に示す。

1gあたりの放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数

	1号機	2号機	3号機	
種類	UO ₂ 燃料	UO ₂ 燃料	UO ₂ 燃料	MOX燃料
放射能 [Bq]				
ガンマ線発生数 [photons/s]	1.0 × 10 ¹⁰	1.1 × 10 ¹⁰	1.1 × 10 ¹⁰	2.1 × 10 ⁹
中性子発生数 [neutrons/s]	3.8 × 10 ³	4.2 × 10 ³	3.8 × 10 ³	6.3 × 10 ²

ガンマ線発生数は燃焼度の違いによる影響を大きく受ける。本評価では、1～3号機の燃焼度を同じ60GWd/tとしているため、ガンマ線発生数に大きな違いは見られない。また、中性子発生数について、1～3号機の燃焼度は同じであるが、2号機は1、3号機に比べて燃焼期間が短い。このため、中性子吸収反応で生成される主要な中性子源である²⁴⁴Cmの生成量が増え、2号機が高くなっている。

評価の結果、UO₂燃料、²³⁵U濃縮度■■■■及び2号機の運転履歴に基づき評価したとき、放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数が最大となった。

ここまで1F 1～3号機に装荷された燃料の比較を行った。一方、燃料デブリ等には、燃料のほか放射化した炉内の構造材が含まれる可能性がある。次頁では、燃料デブリ等に含まれる可能性の高い被覆管及び炉内の構造材のうち放射化量の多い炉心シュラウド※について評価し、UO₂燃料の評価結果と比較する。

※出典：H.D.Oak, et al., “Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Boiling Water Reactor Power Station”, NUREC/CR-0672-Vol.2 (1980).

6. 線源の設定(3/4)

—燃料と構造材との比較—

被覆管及び炉心シュラウドについて、放射能及びガンマ線発生数を求め、 UO_2 燃料の評価結果と比較した。なお、被覆管の評価には、 UO_2 燃料と同じく2号機の運転履歴を適用した。また、炉心シュラウドは中性子照射期間が長い3号機の炉心シュラウドを想定した。

① 評価条件

- (1) 計算コード : ORIGEN2.2-UPJ
- (2) 被覆管 : ジルカロイ-2
炉心シュラウド : SUS316L
- (3) 冷却期間 : 12年間

② 評価結果

被覆管及び炉心シュラウドの評価結果を下表に示す。また、比較のため2号機の運転履歴で評価した UO_2 燃料の結果を示す。

1gあたりの放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数

種類	被覆管	炉心シュラウド	UO_2 燃料
放射能[Bq]	5.7×10^7	8.8×10^8	■
ガンマ線発生数[photons/s]	9.3×10^7	4.5×10^8	1.1×10^{10}
中性子発生数[neutrons/s]	—	—	4.2×10^3

検討の結果、燃料デブリ等のすべてが UO_2 燃料(^{235}U 濃縮度: ■)で構成され、また、2号機の運転履歴で評価した場合が、放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数が最大となり、遮へい評価上、最も厳しい条件となる。

6. 線源の設定(4/4)

遮へい計算で使用する1gあたりの放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数を下表に示す。

1gあたりの放射能、ガンマ線発生数及び中性子発生数

放射能 [Bq]	ガンマ線発生数 [photons/s]	中性子発生数 [neutrons/s]
████████	1.1×10^{10}	4.2×10^3

また、上記の線源について、主要なガンマ線及び中性子線放出核種を下表に示す。

ガンマ線		中性子線	
放出核種	寄与割合	放出核種	寄与割合
^{137}Cs ※	57.3%	^{244}Cm	95.5%
^{90}Sr ※	29.0%	^{246}Cm	3.0%
^{134}Cs	6.0%	^{252}Cf	0.9%
^{154}Eu	3.5%	その他(上記以外の核種)	0.6%
^{244}Cm	1.4%	合計	100%
^{241}Am	0.8%		
^{125}Sb ※	0.5%		
^{238}Pu	0.4%		
^{155}Eu	0.4%		
その他(上記以外の核種)	0.7%		
合計	100%		

※放射平衡中の娘核種を含む

7. 遮へい計算(1/13)

遮へい計算では、「6. 線源の設定」の検討結果をもとに、各取扱場所に応じた線源強度及び線源形状を設定する。また、線源や遮へい体をモデル化し、外部放射線に係る設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ を超えないことを計算コードを用いて確認する。

【計算条件】

計算コード : MCNP(連続エネルギーモンテカルロ計算コード)
 密度 : 普通コンクリート 2.1g/cm^3 、鉄 7.8g/cm^3

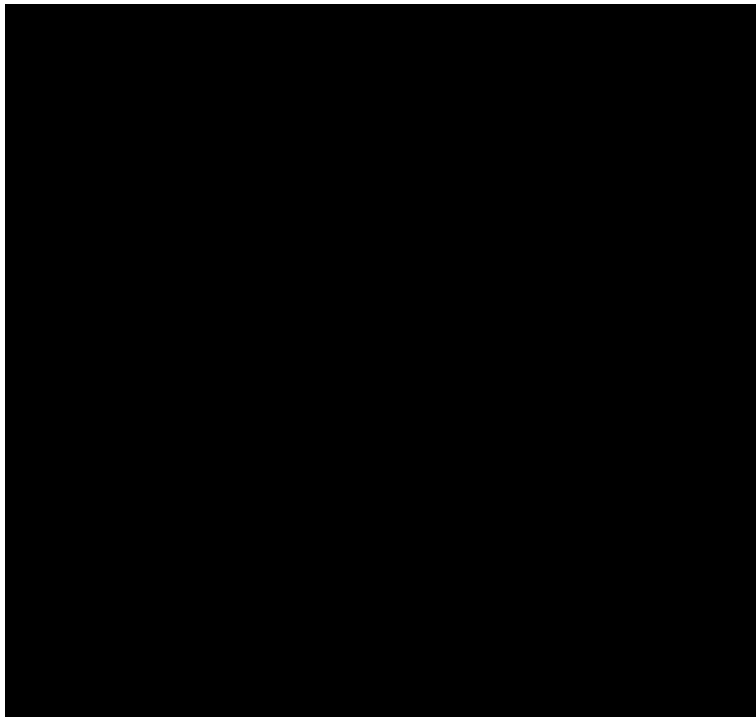
各取扱場所での線源強度及び形状を下表に示す。なお、固体廃棄物払出準備室及び液体廃棄物一時貯留室においては、想定する線量率及び放射能濃度から線源強度を設定する。

取扱場所	取扱量	線源強度[Bq]	線源形状
コンクリートセルNo.1~4	燃料デブリ等: ■■■	1.2×10^{14}	点線源
試料ピット	燃料デブリ等: ■■■■■	3.1×10^{15}	点線源
鉄セル	燃料デブリ等: ■■■	2.3×10^{11}	点線源
分析室、 $\alpha \cdot \gamma$ 測定室	燃料デブリ等: ■■■	2.3×10^7	点線源
固体廃棄物払出準備室	固体廃棄物が収納された角型容器 最大17個 容器表面の線量率 0.1mSv/h 未滿	2.3×10^{10}	直方体線源
液体廃棄物一時貯留室	分析廃液受槽(容量 3m^3 /基) 2基分 放射能濃度 37Bq/cm^3	2.4×10^8	円柱線源

7. 遮へい計算(2/13)

－評価点①(非管理区域:換気空調設備室(2))の計算モデル－

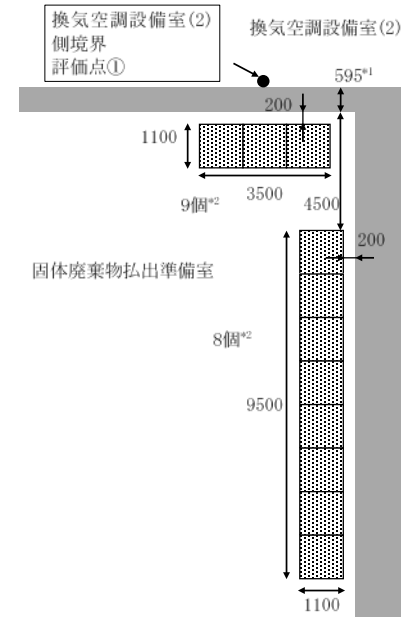
線源形状 : 直方体線源
 計算モデル : 角型容器17個分の放射能を
 固体廃棄物払出準備室に配置
 遮へいは、固体廃棄物払出準備室北壁(厚さ595mm)を考慮



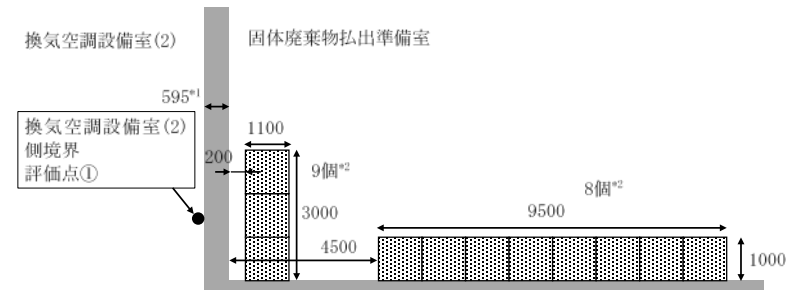
管理区域 (orange square) 遮へい(壁) (green square)

地下1階の評価点①

[平面図]



[立面図]



注記 *1: 遮へい厚さを示す。

*2: 直方体線源。計算モデルは3列3段積み(9個)と8列1段積み(8個)が固体廃棄物払出準備室に全配置された状態を仮定。

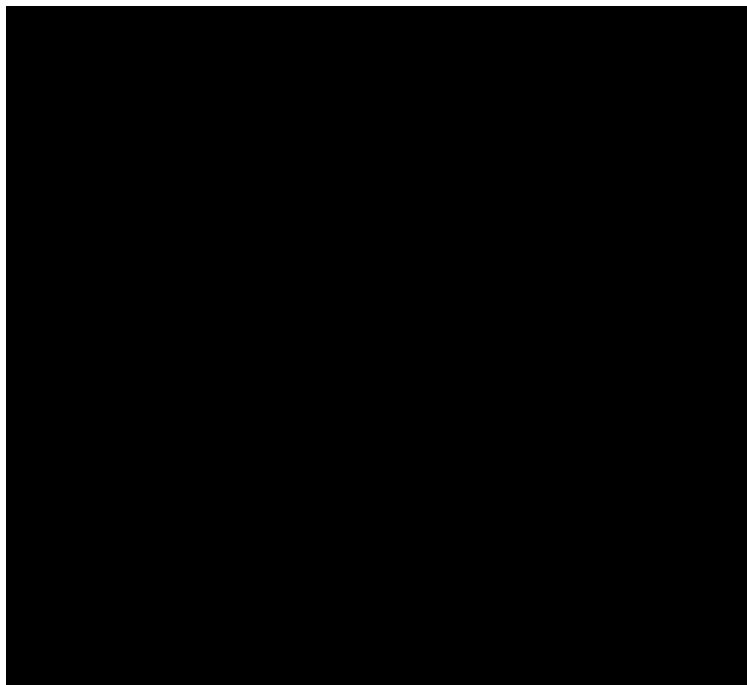
(単位: mm)

7. 遮へい計算(3/13)

一評価点②(非管理区域:換気空調設備室(2))の計算モデル

線源形状 : 円柱線源
 計算モデル : 分析廃液受槽2基分の放射能を
 液体廃棄物一時貯留室に配置

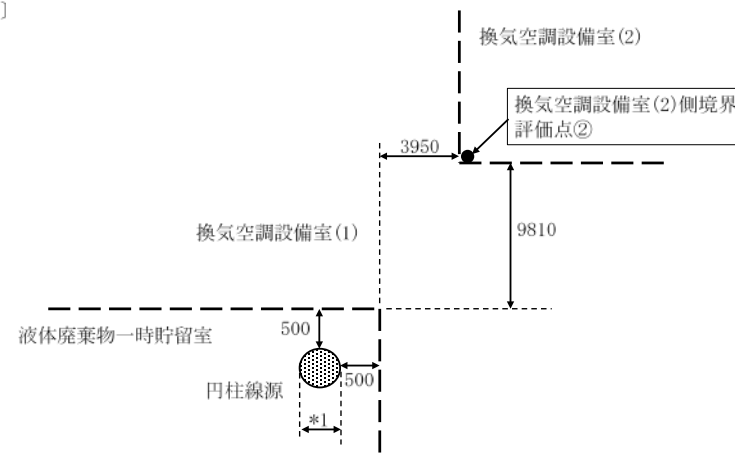
遮へいは考慮しない



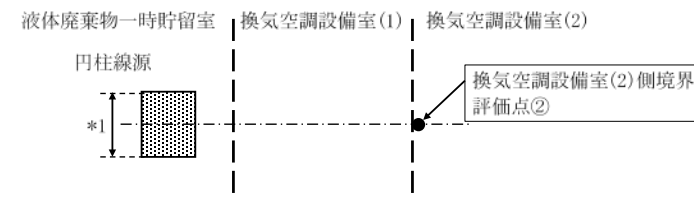
■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁)

地下1階の評価点②

[平面図]



[立面図]



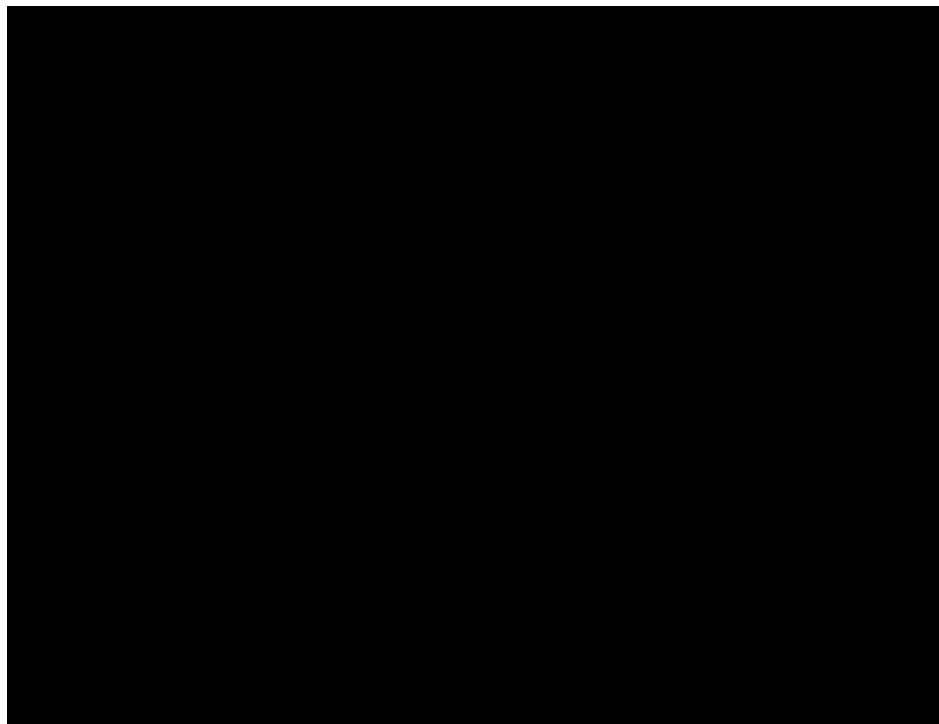
*1 分析廃液受槽：直径1500mm×高さ1698mm

(単位：mm)

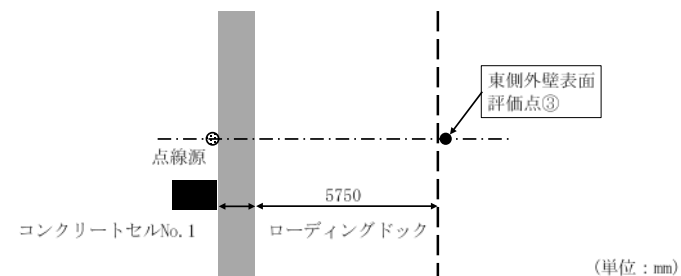
7. 遮へい計算(4/13)

— 評価点③(1階東側外壁)の計算モデル —

線源形状 : 点線源
 計算モデル : 燃料デブリ等■分の放射能を
 コンクリートセルNo.1に配置
 遮へいは、コンクリートセルNo.1東壁(厚さ■)を考慮



[平面図]



注記 *1: 遮へい厚さを示す。

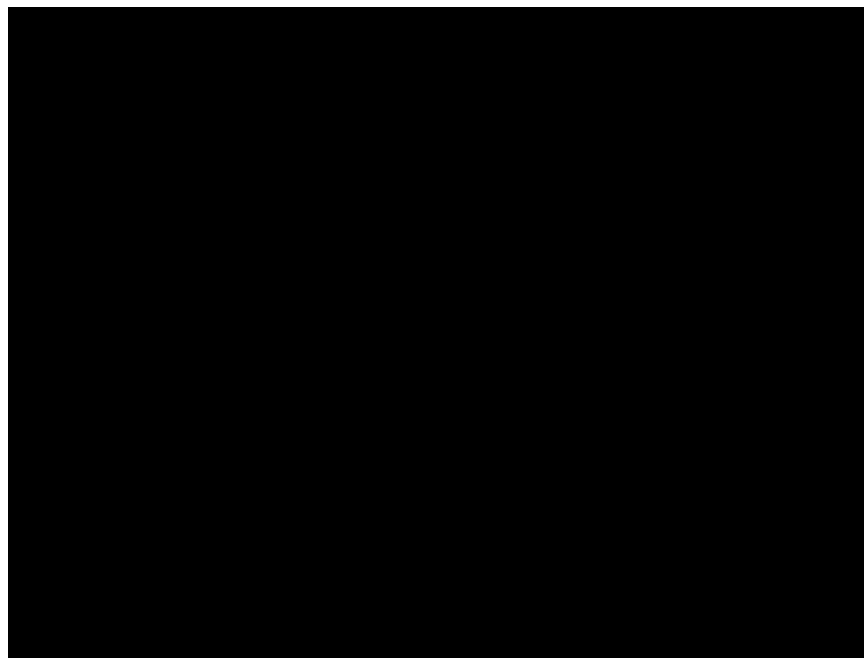
■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁) □ : 遮へい(床)

1階の評価点③

7. 遮へい計算(5/13)

一評価点④(非管理区域:電気設備室(1))の計算モデル

- 線源形状 : 点線源
 計算モデル : (a)燃料デブリ等■■■分の放射能を
 コンクリートセルNo.2に配置
 (b)燃料デブリ等■■■分の放射能を
 試料ピットに配置
 遮へいは、コンクリートセルNo.2北壁(厚さ■■■)を考慮

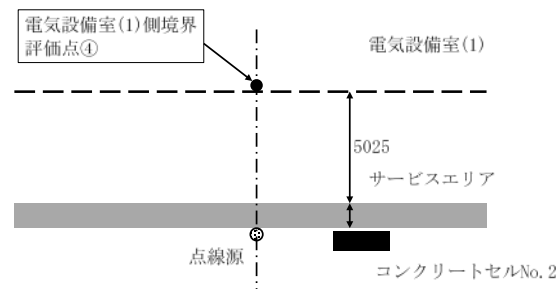


■■■ : 管理区域 ■■■ : 遮へい(壁) ■■■ : 遮へい(床)

1階の評価点④

(a)コンクリートセルNo.2

[平面図]

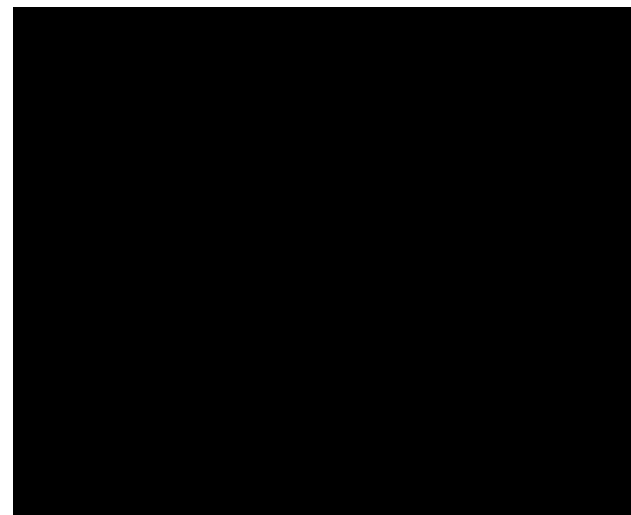


注記 * : 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

(b)試料ピット(■■■)

[平面図]



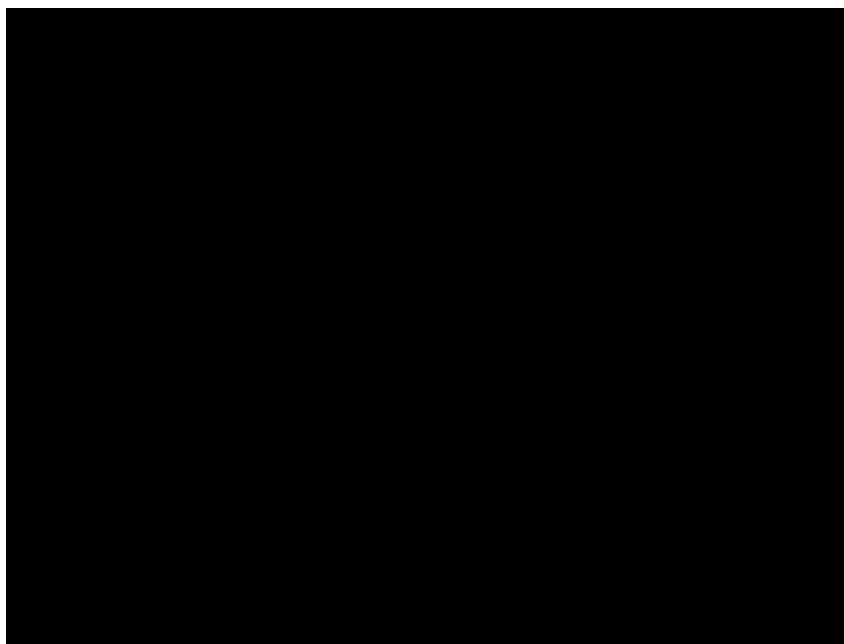
注記 * 1 : 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

7. 遮へい計算(6/13)

— 評価点⑤(1階南側外壁)の計算モデル —

線源形状 : 点線源
 計算モデル : (a)燃料デブリ等 [] 分の放射能を
 コンクリートセルNo.2に配置
 (b)燃料デブリ等 [] 分の放射能を
 試料ピットに配置
 遮へいは、コンクリートセルNo.2南壁(厚さ [])を考慮

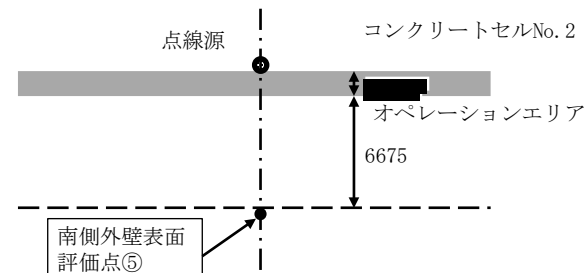


■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁) □ : 遮へい(床)

1階の評価点⑤

(a)コンクリートセルNo.2

[平面図]

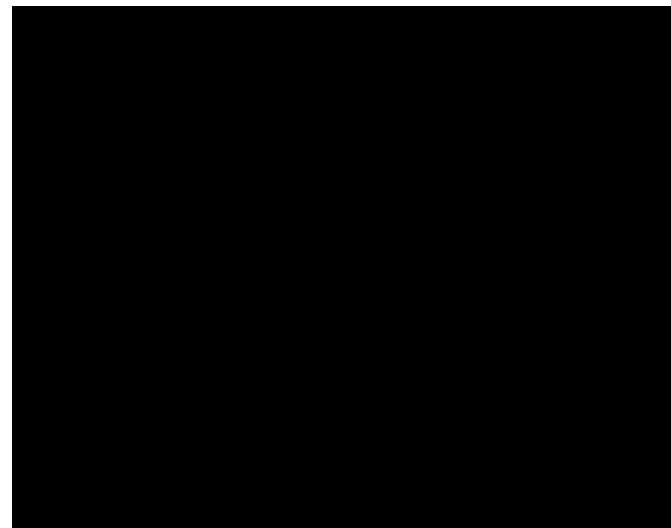


注記 *1: 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

(b)試料ピット([])

[平面図]



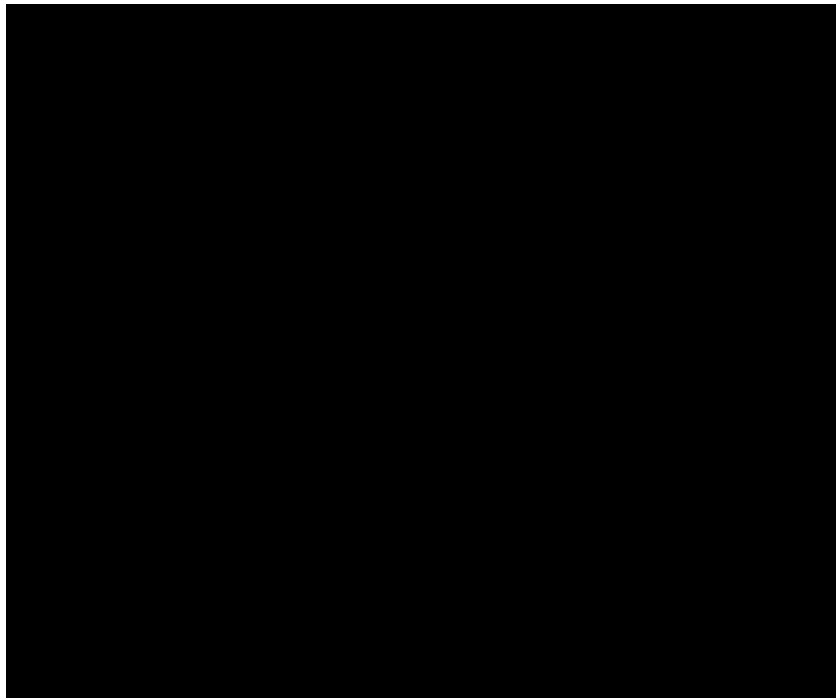
注記 *1: 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

7. 遮へい計算(7/13)

－評価点⑥(屋上表面)の計算モデル－

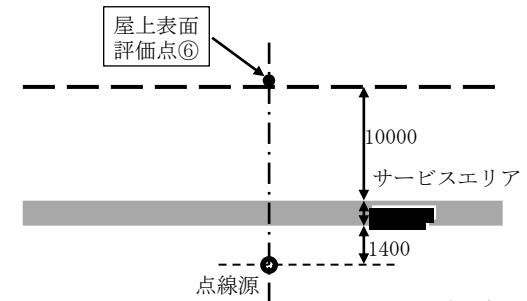
- 線源形状 : 点線源
 計算モデル : (a)燃料デブリ等■■■■分の放射能を
 コンクリートセルNo.4に配置
 (b)燃料デブリ等■■■■分の放射能を
 試料ピットに配置
 遮へいは、(a)コンクリートセルNo.4天井(厚さ■■■■)と
 (b)コンクリートセルNo.2天井(厚さ■■■■)を考慮



屋上階の評価点⑥

(a)コンクリートセルNo.4

[立面図]

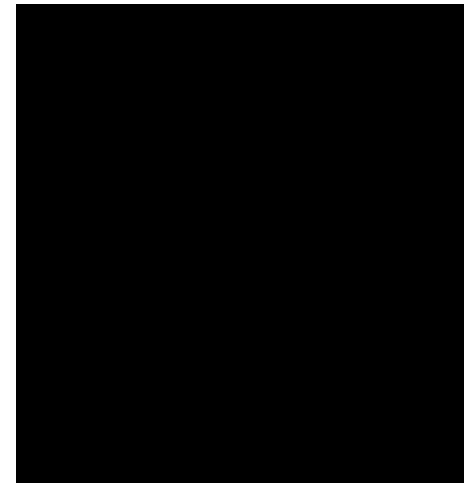


注記*1: 遮へい厚さを示す。

コンクリートセルNo.4単位: mm)

(b)試料ピット(■■■■)

[立面図]



(単位: mm)

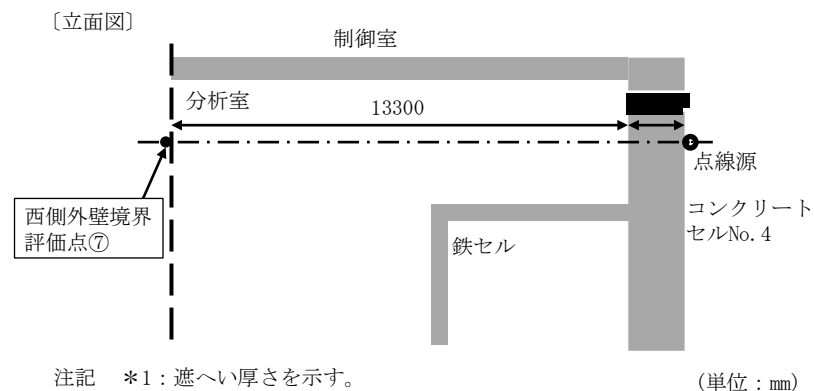
注記*1: 壁面の遮へい厚さを示す。

7. 遮へい計算(8/13)

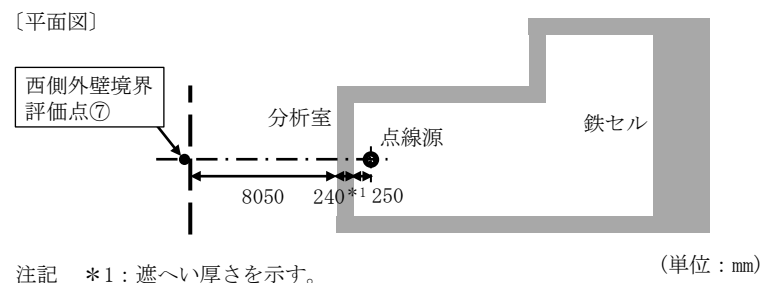
— 評価点⑦(1階西側外壁)の計算モデル —

- 線源形状 : 点線源
 計算モデル : (a)燃料デブリ等 分の放射能を
 コンクリートセルNo.4に配置
 (b)燃料デブリ等 分の放射能を鉄セルに配置
 (c)燃料デブリ等 分の放射能を分析室に配置
 遮へいは、(a)コンクリートセルNo.4西壁(厚さ)と
 (b)鉄セル遮へい体(厚さ240mm)を考慮

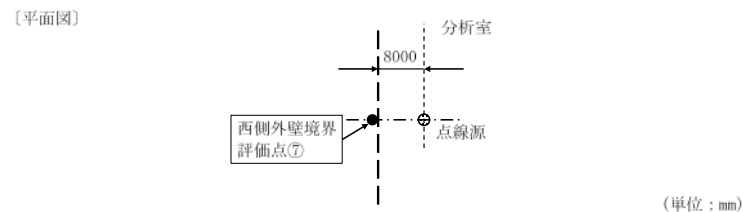
(a)コンクリートセルNo.4



(b)鉄セル



(c)分析室



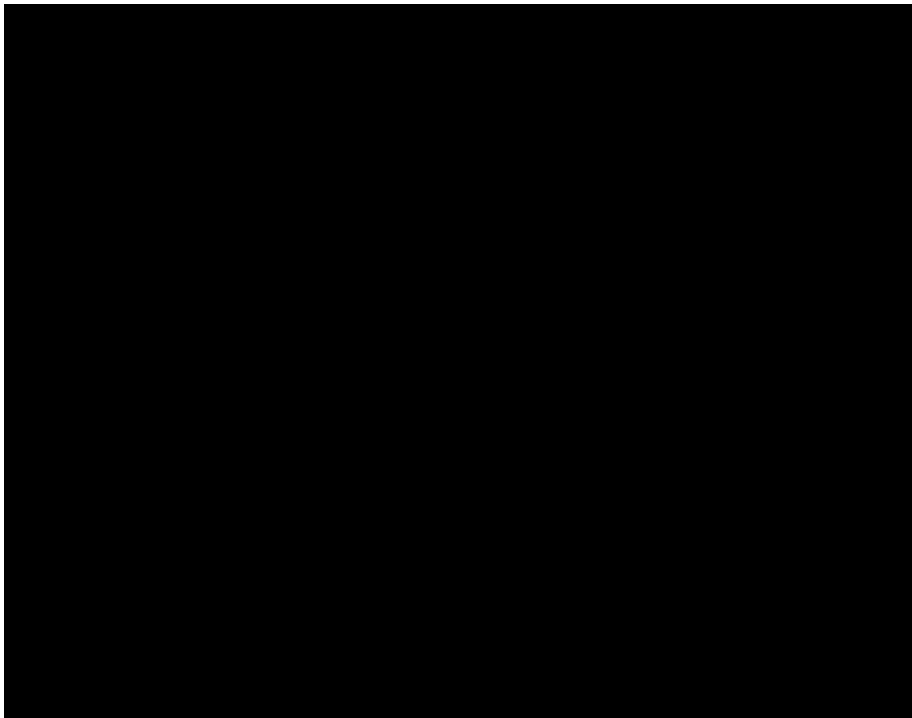
: 管理区域 : 遮へい(壁) : 遮へい(床)

1階の評価点⑦

7. 遮へい計算(9/13)

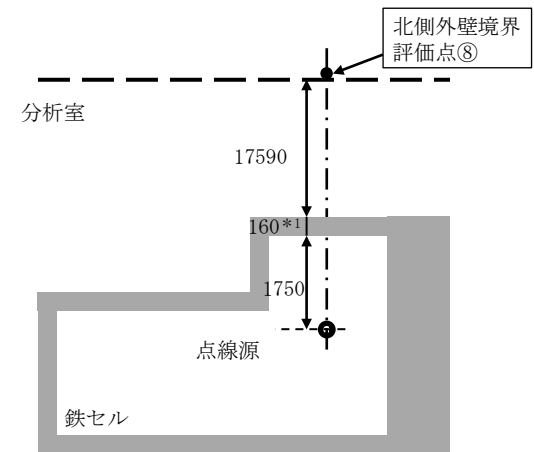
— 評価点⑧(1階北側外壁)の計算モデル —

- 線源形状 : 点線源
 計算モデル : (a)燃料デブリ等 10%分の放射能を鉄セルに配置
 (b)燃料デブリ等 10%分の放射能を
 $\alpha \cdot \gamma$ 測定室に配置
 遮へいは、(a)鉄セル遮へい体(厚さ160mm)を考慮



(a) 鉄セル

[平面図]

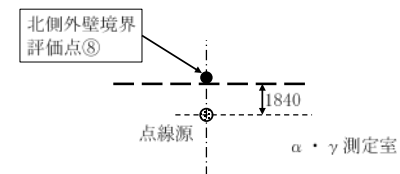


注記 *1: 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

(b) $\alpha \cdot \gamma$ 測定室

[平面図]



(単位: mm)

■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁) □ : 遮へい(床)

1階の評価点⑧

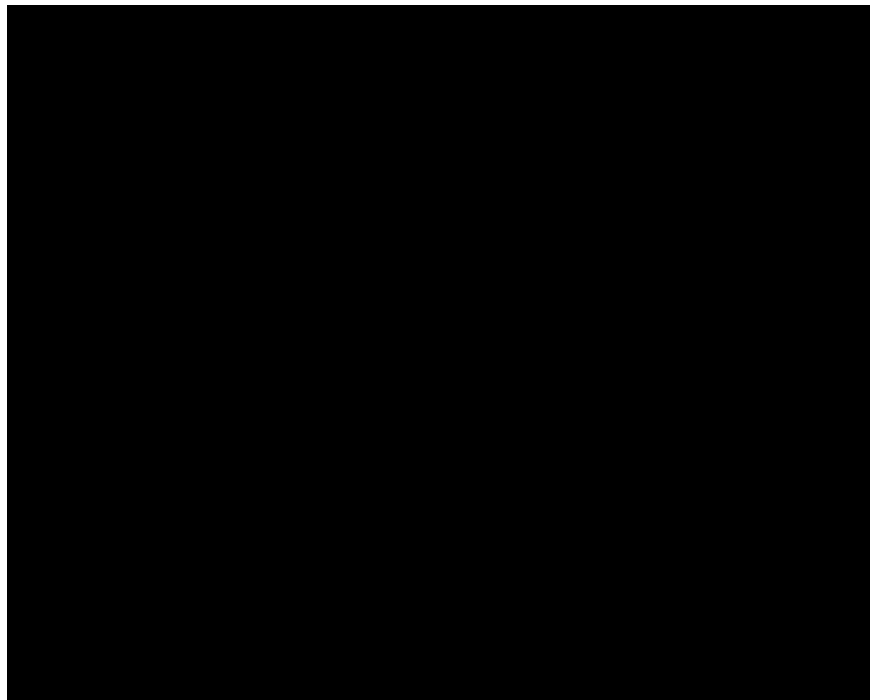
7. 遮へい計算(10/13)

— 評価点⑨(非管理区域:制御室)の計算モデル —

線源形状 : 点線源

計算モデル : (a)燃料デブリ等 $\frac{1}{10}$ 分の放射能を鉄セルに配置
(b)燃料デブリ等 $\frac{1}{10}$ 分の放射能を分析室に配置

遮へいは、(a)鉄セル遮へい体(厚さ240mm)を考慮

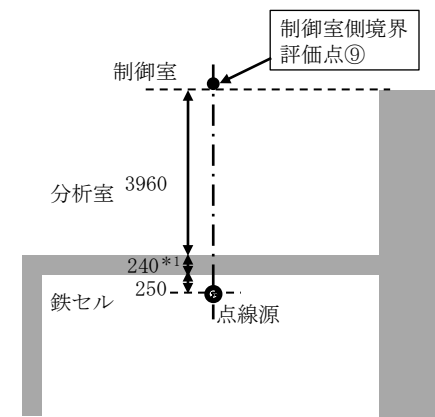


■ : 管理区域 □ : 遮へい(床)

2階の評価点⑨

(a) 鉄セル

[立面図]

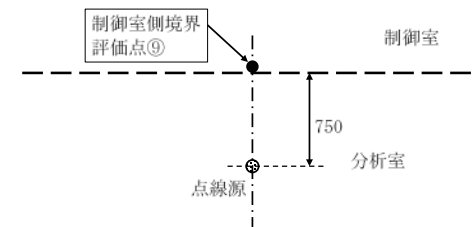


注記 *1: 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

(b) 分析室

[立面図]

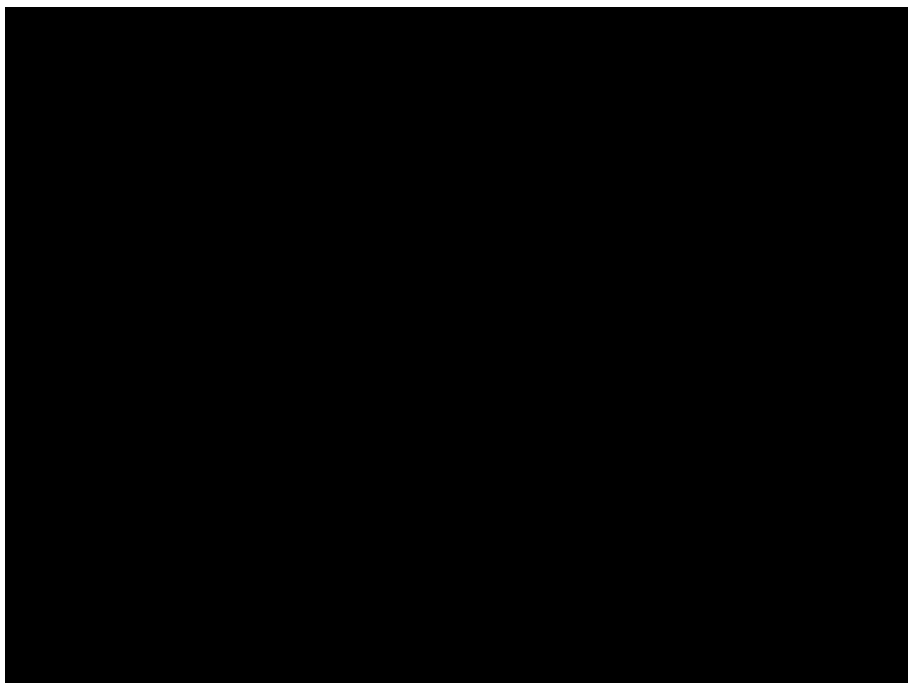


(単位: mm)

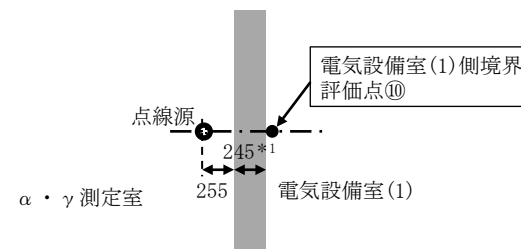
7. 遮へい計算(11/13)

— 評価点⑩(非管理区域:電気設備室(1))の計算モデル—

線源形状 : 点線源
 計算モデル : 燃料デブリ等■分の放射能を
 $\alpha \cdot \gamma$ 測定室に配置
 遮へいは、 $\alpha \cdot \gamma$ 測定室東壁(厚さ245mm)を考慮



[平面図]



注記 *1: 遮へい厚さを示す。

(単位: mm)

■ : 管理区域 ■ : 遮へい(壁) □ : 遮へい(床)

1階の評価点⑩

7. 遮へい計算(12/13)

【計算結果】

第2棟の非管理区域及び建屋外壁における線量率は、いずれも外部放射線に係る設計基準線量率 2.6×10^{-3} mSv/h以下を満足することを確認した。

評価点	評価場所	線源部屋	線源強度 [Bq]	線量率 [mSv/h]
①	換気空調設備室(2)	固体廃棄物払出準備室	2.3×10^{10}	3.1×10^{-5}
②	換気空調設備室(2)	液体廃棄物一時貯留室	2.4×10^8	1.1×10^{-5}
③	東側外壁	コンクリートセルNo.1	1.2×10^{14}	2.1×10^{-5}
④	電気設備室(1)	試料ピット	3.1×10^{15}	5.4×10^{-5}
		コンクリートセルNo.2	1.2×10^{14}	3.9×10^{-5}
⑤	南側外壁	試料ピット	3.1×10^{15}	1.6×10^{-5}
		コンクリートセルNo.2	1.2×10^{14}	1.6×10^{-5}
⑥	屋上	試料ピット	3.1×10^{15}	9.2×10^{-6}
		コンクリートセルNo.4	1.2×10^{14}	9.8×10^{-6}
⑦	西側外壁	コンクリートセルNo.4	1.2×10^{14}	5.4×10^{-6}
		鉄セル	2.3×10^{11}	7.0×10^{-6}
		分析室	2.3×10^7	1.1×10^{-5}
⑧	北側外壁	鉄セル	2.3×10^{11}	1.3×10^{-5}
		$\alpha \cdot \gamma$ 測定室	2.3×10^7	1.8×10^{-4}
⑨	制御室	鉄セル	2.3×10^{11}	2.4×10^{-5}
		分析室	2.3×10^7	9.8×10^{-4}
⑩	電気設備室(1)	$\alpha \cdot \gamma$ 測定室	2.3×10^7	2.1×10^{-4}

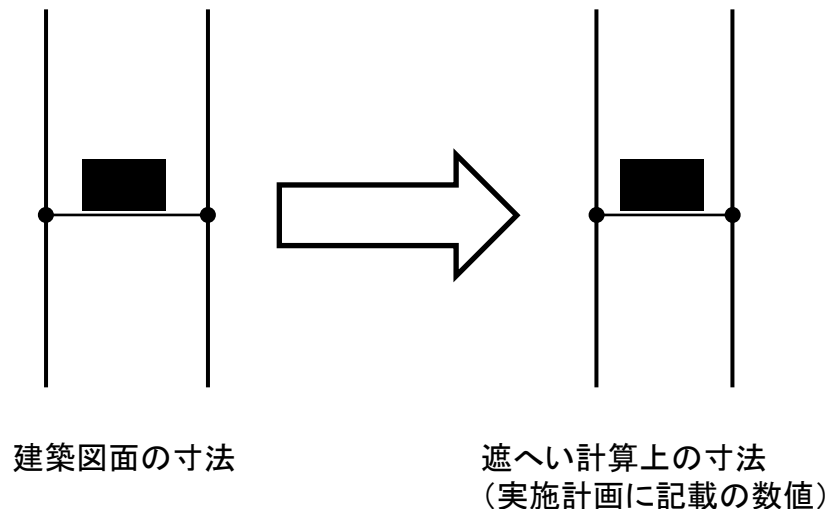
7. 遮へい計算(13/13)

－遮へい計算における遮へい厚の考え方について－

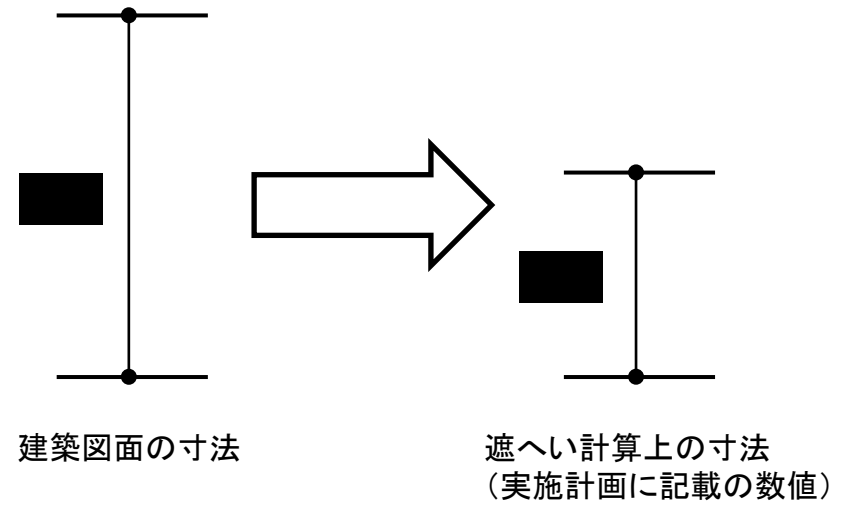
コンクリート壁、床は、遮へい厚さ以上で施工することとしている。

壁については、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」に定められているマイナス側の許容差5mmを考慮した厚さで評価している。

また、コンクリートセルNo.1～4の天井については、施工上の厚さに対し十分な余裕をもった遮へい厚さで評価している。



コンクリート壁・床の遮へい厚さの考え方の例



コンクリートセル天井の遮へい厚の考え方の例

第2棟のコンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率は、非管理区域の遮へい計算と同様に、各取扱場所に応じた線源強度及び線源形状を設定する。また、線源や遮へい体をモデル化して、線量率区分を満足することを計算コードを用いて確認する。

【計算条件】

計算コード : MCNP(連続エネルギーモンテカルロ計算コード)
 密度 : 普通コンクリート 2.1g/cm³、鉄 7.8g/cm³

各取扱場所での線源強度及び形状を下表に示す。

取扱場所	取扱量	線源強度[Bq]	線源形状
コンクリートセルNo.1~4	燃料デブリ等: ■■■	1.2×10^{14}	点線源
試料ピット	燃料デブリ等: ■■■■	3.1×10^{15}	点線源
鉄セル	燃料デブリ等: ■■■	2.3×10^{11}	点線源
グローブボックス、フード	燃料デブリ等: ■■■	2.3×10^7	点線源

ーコンクリートセル正面ー

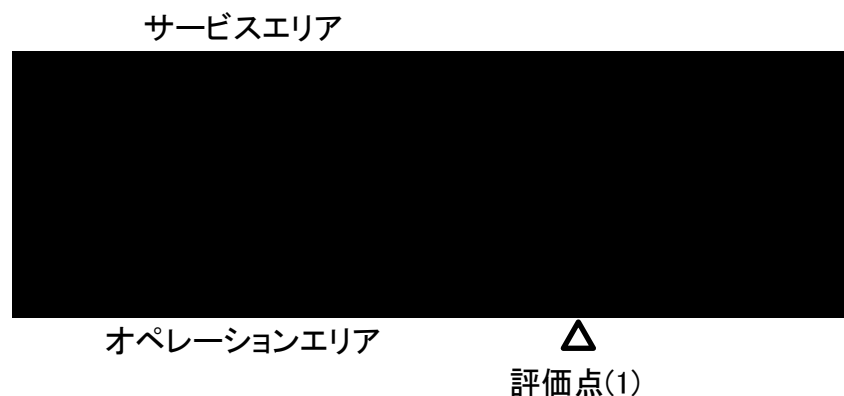
線源形状：点線源

計算モデル

(a) 燃料デブリ等■■■分の放射能をコンクリートセルNo.2に配置

(b) 燃料デブリ等■■■分の放射能を試料ピットに配置

遮へいは、コンクリートセルNo.2南壁(厚さ■■■)を考慮



8. コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率(3/8) ーコンクリートセル背面ー

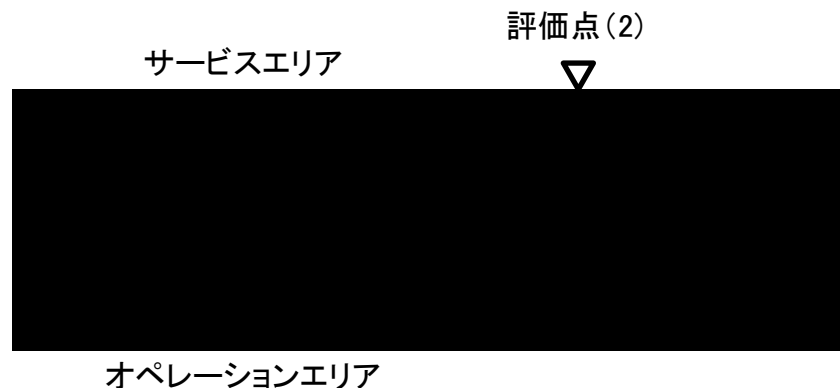
線源形状：点線源

計算モデル

(a) 燃料デブリ等■■■分の放射能をコンクリートセルNo.2に配置

(b) 燃料デブリ等■■■分の放射能を試料ピットに配置

遮へいは、コンクリートセルNo.2北壁(厚さ■■■)を考慮

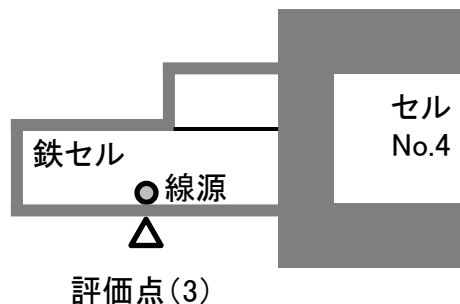


8. コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率(4/8) —鉄セル正面—

線源形状：点線源

計算モデル

(a) 燃料デブリ等■分の放射能を鉄セルに配置
遮へいは、鉄セル遮へい体(厚さ300mm)を考慮

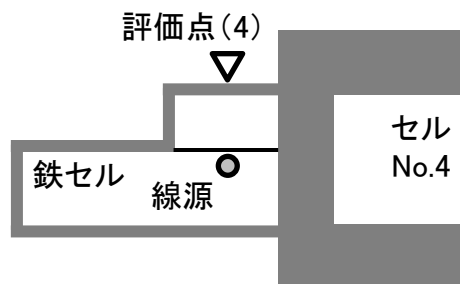


8. コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率(5/8) —鉄セル背面—

線源形状：点線源

計算モデル

(a) 燃料デブリ等■分の放射能を鉄セルに配置
遮へいは、鉄セル遮へい体(厚さ160mm)を考慮



8. コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率(6/8) ーグローブボックス、フード正面ー

線源形状：点線源

計算モデル

(a) 燃料デブリ等■■■分の放射能をグローブボックスに配置
遮へいは考慮しない



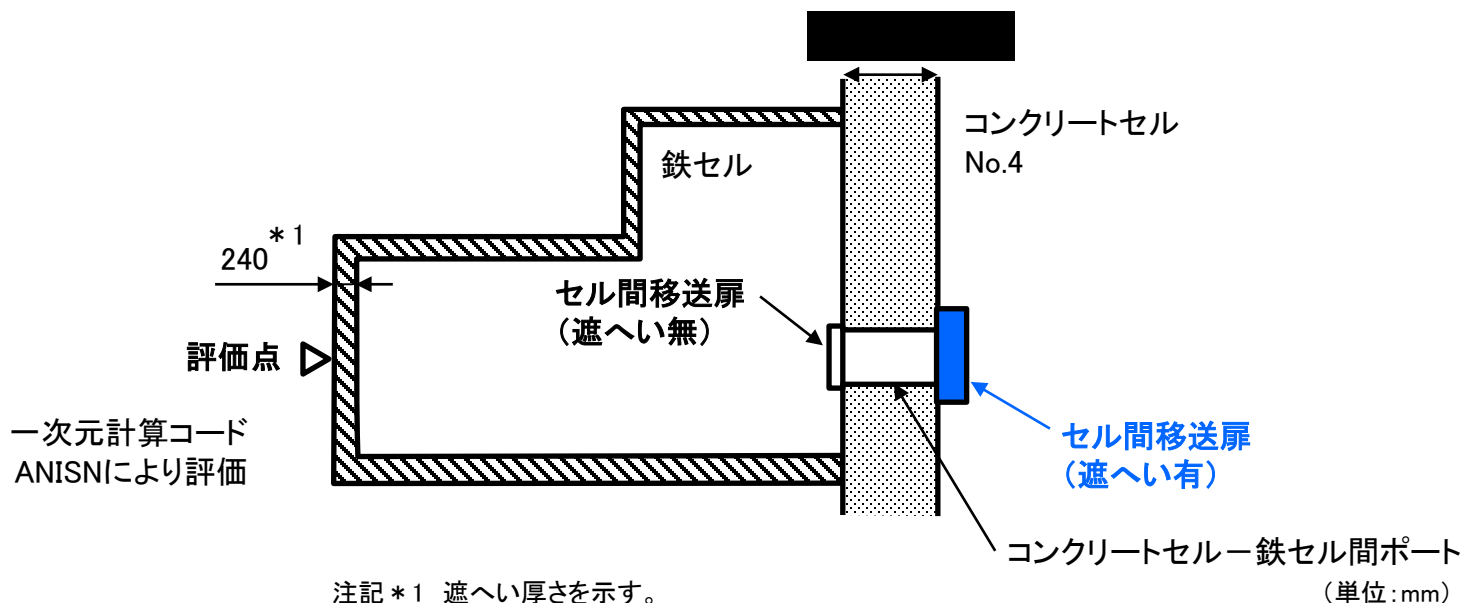
第2棟のコンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率を下表に示す。
いずれも各室の設計基準線量率を満足することを確認した。

評価点	評価場所	線源位置	線量率 [mSv/h]	区分	基準線量率
(1)	コンクリートセル正面 (オペレーションエリア)	コンクリートセルNo.2	1.8×10^{-3}	B	0.01mSv/h未満
(2)	コンクリートセル背面 (サービスエリア)	コンクリートセルNo.2	2.9×10^{-3}	C	0.05mSv/h未満
(3)	鉄セル正面 (オペレーションエリア)	鉄セル	6.1×10^{-4}	B	0.01mSv/h未満
(4)	鉄セル背面 (分析室)	鉄セル	2.2×10^{-3}	C	0.05mSv/h未満
(5)	グローブボックス、フード正面 (分析室、 $\alpha \cdot \gamma$ 測定室)	グローブボックス、フード	8.1×10^{-3}	C	0.05mSv/h未満

8. コンクリートセル、鉄セル、グローブボックス、フードにおける線量率(8/8) ーコンクリートセルー鉄セル間ポートのセル間移送扉についてー

コンクリートセルNo.4と鉄セルとの間には、分析試料等を移送するためのポートを設置する。ポートの設置により、コンクリートセル壁に貫通部が生じるため、コンクリートセル壁相当の遮へい機能を持つセル間移送扉を設置する。

なお、燃料デブリ等 \blacksquare をコンクリートセルNo.4内に配置し、セル間移送扉が開いた状態を想定して、鉄セル表面での線量率を評価した結果、約0.02mSv/hであり、鉄セルの設置している分析室の設計基準線量率0.05mSv/h未満を満足することを確認した。



9. 放射線作業従事者の被ばく管理

作業に先立ち、作業エリアの線量率を測定し、これに基づく作業計画(放射線防護装備、作業時間)の策定を行い、管理することで可能な限り作業者の被ばく低減を図る。

また、グローブボックスやフードの作業では、試料から手部までの距離が短いため、手部の被ばく線量が高くなると考えられる。このため、試料を扱う際には作業用の器具等を用いて試料からの距離を取るようにする。また、必要に応じて、含鉛グローブ等を用いた遮へい対策及び指リング線量計を用いた手部被ばく線量を測定し管理を行う。

10. 敷地境界における線量の評価(1/3)

「6. 線源の設定」で設定した線源並びに線源形状及び取扱場所での線源配置に基づき、敷地境界における線量を確認する。

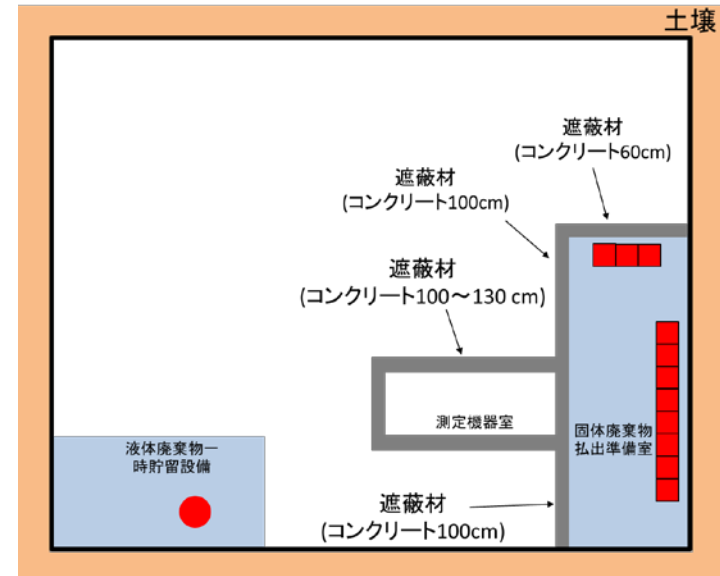
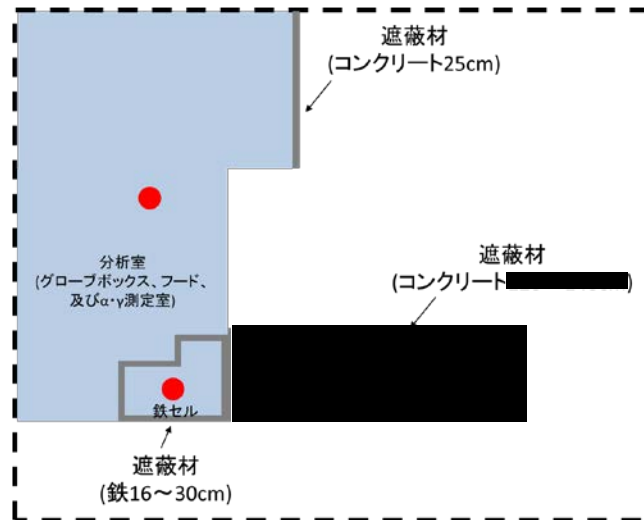
【計算条件】

計算コード : MCNP(連続エネルギーモンテカルロ計算コード)
線源強度 : 「7. 遮へい計算(1/12)」に記載の線源強度
密度 : 普通コンクリート 2.1g/cm³
鉄 7.8g/cm³

10. 敷地境界における線量の評価(2/3)

コンクリートセル、鉄セル等の設備で最大量の線源(燃料デブリ等重量相当)を同時に取り扱う等の安全側の条件を想定し、直接線及びスカイシャイン線※の敷地境界線量を評価した。

※天井を通過した後施設上方の空気中で反射され、建物から離れた地上付近に降り注ぐ放射線



1階平面図

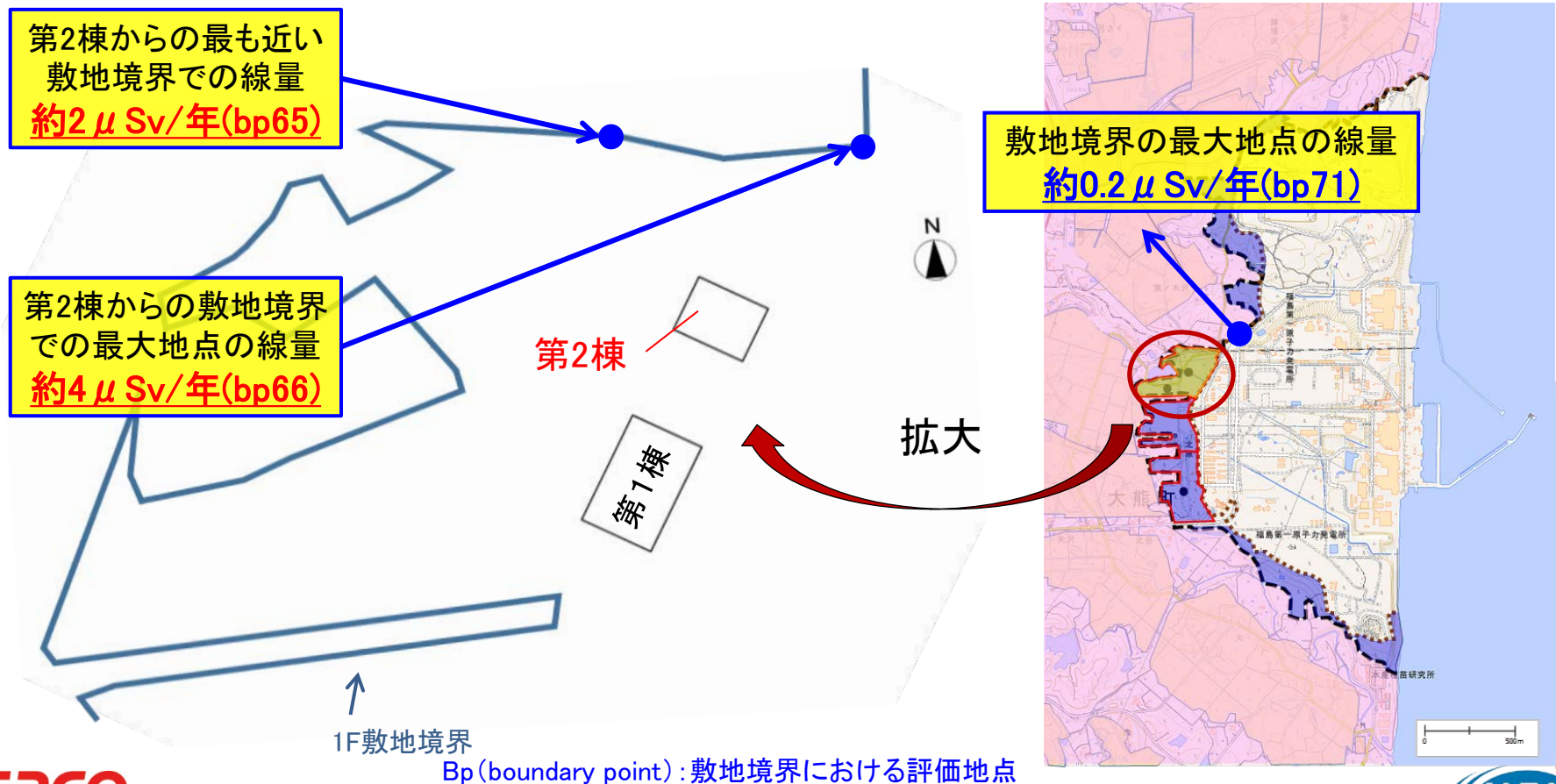
地下1階平面図 ※土壌はコンクリートで模擬

● ■ ▨ : 線源位置

10. 敷地境界における線量の評価(3/3)

第2棟からの敷地境界での最大地点の線量を計算した結果、約 $4 \mu\text{Sv}/\text{年}$ となった。

現行の1F敷地境界のうち最大となる地点(bp71)における第2棟からの実効線量は、約 $0.2 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 。これを合算した値(1F各施設からの実効線量の合算値)は $0.92\text{mSv}/\text{年}$ であり、 $1\text{mSv}/\text{年}$ を下回る。なお、第2棟からの実効線量が最大となる地点(bp66)での1F各施設からの実効線量の合算値は $0.87\text{mSv}/\text{年}$ である。

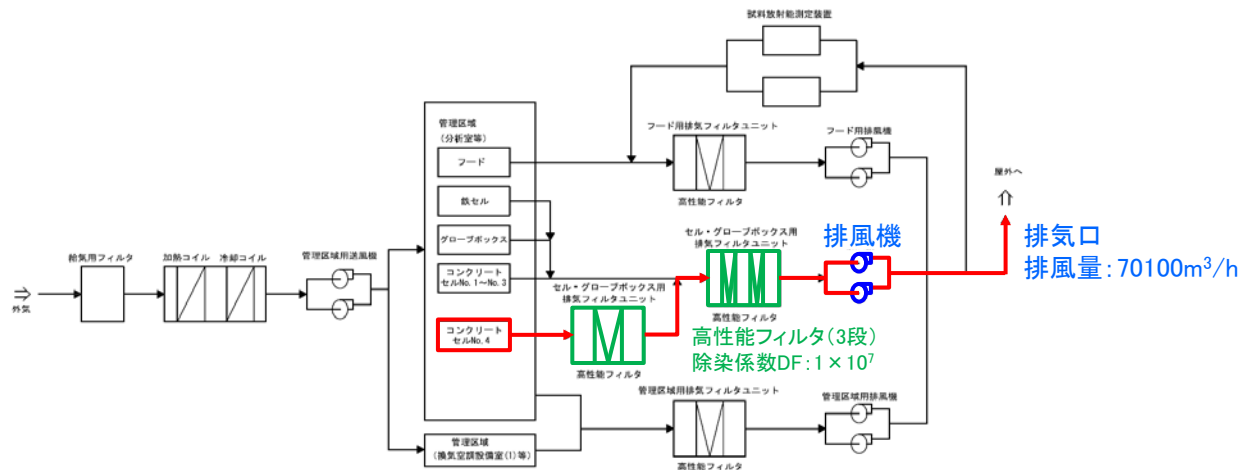


11. 放射性物質の放出に伴う濃度及び実効線量の評価(1/5)

第2棟の排気中に含まれる放射性物質は、主にコンクリートセルNo.4で行う燃料デブリ等の切断、粉砕により発生するガス状及び粒子状の放射性物質が排気中に移行したものである。排気中に含まれる放射性物質が、換気空調設備の高性能フィルタ、排風機を介して排気口から大気放出されるものとして、このときの排気口における放射性物質濃度及び敷地境界外における実効線量を評価した。

評価では、燃料デブリ等が全てMOX燃料で構成されているとした(「6.線源の設定」にて記したMOX燃料の燃焼度等の条件で各核種の放射エネルギーをORIGEN2.2-UPJコードで求めたもの)。また、1回の受入物(■の燃料デブリ等)から30個程度の試料を採取するために切断等を行うが、その切断代の全てが粉体となると仮定し、その1%※1の放射性物質が排気中に移行するものとした。なお、トリチウム、よう素及び希ガスの移行率は100%とした。また、年間の受入れ回数は12回とした。

コンクリートセルNo.4から排気口までに設置する高性能フィルタ(3段)については、除染係数を 10^7 ※2とした。なお、トリチウム、よう素及び希ガスに対しては、除染係数を考慮しないものとした。



※1「ホットラボの設計と管理」, ホットラボ研究専門委員会, 日本原子力学会 (1976)

※2 高性能フィルタは、基準粒子径 $0.15 \mu\text{m}$ 以上に対して粒子捕集率99.97%以上のJIS規格品を使用する設計としている。

第2棟では、フィルタ1段目の除染係数を 10^3 とし、2段目以降は1段あたりの除染係数を 10^2 として評価する。

11. 放射性物質の放出に伴う濃度及び実効線量の評価(2/5)

－排気口の放射性物質濃度の評価－

第2棟の排気口の放射性物質濃度の評価結果を下表に示す。各核種の放射能濃度は告示に定める周辺区域外の濃度限度を下回り、また、各核種の濃度限度に対する割合の和は1未満である。さらに、排気口からの大気拡散効果を考慮すると、周辺監視区域外においては、この濃度はさらに低下することから告示に定める濃度限度を十分に下回る。

排気口出口における放射性物質濃度

	核種	排気口出口 放射能濃度 [Bq/cm ³]	空气中 濃度限度 [Bq/cm ³]	空气中濃度 限度との比
1	H-3	7.9E-06	3.0E-03	2.6E-03
2	Kr-85	7.6E-05	1.0E-01	7.6E-04
3	I-129	4.6E-09	1.0E-06	4.6E-03
4	Pu-238	1.1E-11	3.0E-09	3.7E-03
5	Pu-239	8.0E-13	3.0E-09	2.7E-04
6	Pu-240	1.4E-12	3.0E-09	4.8E-04
7	Pu-241	1.1E-10	2.0E-07	5.6E-04
8	Am-241	5.9E-12	3.0E-09	2.0E-03
9	Am-242m	2.0E-13	4.0E-09	5.0E-05
10	Am-243	3.5E-14	3.0E-09	1.2E-05
11	Cm-243	1.1E-13	4.0E-09	2.8E-05
12	Cm-244	1.5E-12	5.0E-09	3.1E-04
13	その他 ^{※1}	1.7E-13	－	1.5E-05
			(合計)	1.6E-02

※1 上記1～12以外の核種

11. 放射性物質の放出に伴う濃度及び実効線量の評価(3/5) — 敷地境界外における実効線量の評価 —

敷地境界外の実効線量の評価は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」を参考として行った。

また、外部被ばく及び内部被ばくによる実効線量の評価は、敷地境界外でそれぞれ最大の被ばくを与える地点とし、以下の被ばく経路について評価した。

外部被ばく

- ①放射性雲からのガンマ線による外部被ばく
- ②地表に沈着した放射性物質による外部被ばく

内部被ばく

- ③吸入摂取による内部被ばく

11. 放射性物質の放出に伴う濃度及び実効線量の評価(4/5)

— 敷地境界外における実効線量の評価結果 —

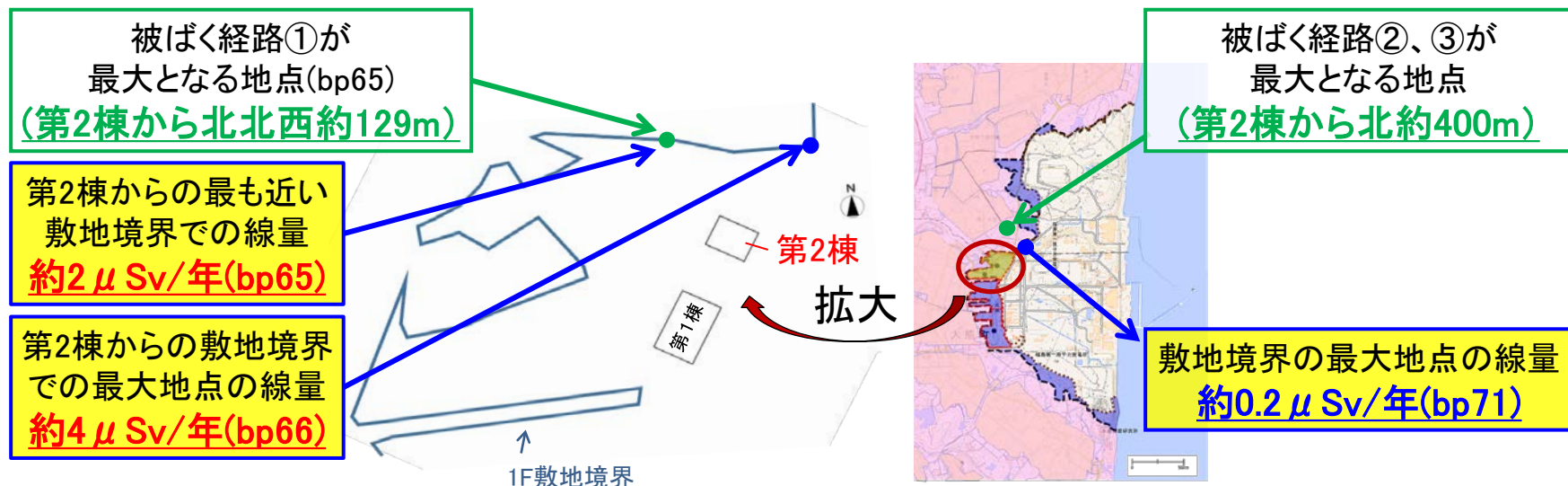
放射性物質の放出に伴う、各経路における実効線量は以下のとおり。

- ①放射性雲からのガンマ線による被ばく : 1.9×10^{-8} mSv/年 (bp65の地点で最大)
- ②地表に沈着した放射性物質による被ばく : 2.1×10^{-8} mSv/年 (第2棟から北約400m地点で最大)
- ③吸入摂取による被ばく : 3.8×10^{-7} mSv/年 (第2棟から北約400m地点で最大)

各被ばく経路において、最大の線量となる地点は異なるが、同時に被ばくするものとして、これを合算した値は、約 4.2×10^{-7} mSv/年 (約 4.2×10^{-4} μ Sv/年)。

放射性物質の放出に伴う実効線量は、合計で約 4.2×10^{-4} μ Sv/年であり、直接線・スカイシャイン線による実効線量に比べ、その影響は小さい。

「10. 敷地境界における線量の評価」で示した直接線・スカイシャイン線による実効線量の評価結果及び放射性物質の放出に伴う実効線量が最大となる地点



Bp (boundary point) : 敷地境界における評価地点

1.1. 放射性物質の放出に伴う濃度及び実効線量の評価(5/5)

ーセル内火災に係る実効線量の評価結果との差についてー

追加説明

敷地境界外における年間の実効線量は約 4.2×10^{-4} μSv 、セル内火災に係る実効線量は約 1.2×10^{-3} μSv ^{※1}である。この評価結果の差は、主に第2棟から放出される放射エネルギーと大気中における拡散希釈の程度を表す相対濃度の差によるもので、その差を下表に示す。

なお、相対濃度については、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従い、敷地境界外における年間の実効線量の評価では、年間の気象データを基に平均的な濃度を採用し、セル内火災時の評価では、平均的な気象条件ではなく出現頻度からみて遭遇する可能性が低い厳しい気象条件を用いた濃度を採用した。

		敷地境界外における年間の実効線量(A)	セル内火災に係る実効線量(B)	比(A/B)
移行率	トリチウム、よう素及び希ガス	100%	100%	—
	上記以外	1%	1%+0.6%	—
第2棟から放出される放射エネルギー [Bq]		約 4×10^{10} 年間12回の受入れを考慮	約 4×10^9	10
相対濃度 [h/m ³]		約 4×10^{-10}	約 1×10^{-8}	0.04

セル内火災時の評価に対し、敷地境界外における年間の実効線量の評価では放射エネルギーが10倍、相対濃度が0.04倍の差があり、この積は0.4である。この比は、セル内火災時の実効線量と敷地境界外における年間の実効線量との比と概ね一致する。

※1 セル内火災に係る実効線量についての詳細は、資料-6「セル内火災に対する考慮について」を参照

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)
7月29日面談資料改訂版

2020年10月15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. 臨界管理の方法(1/3)

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策を講ずる。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。

試料ピットは、燃料デブリ等を一時的に保管する設備で、**██████████**に設置する。

██████████があり、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。

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**██████████**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。

1. 臨界管理の方法(2/3)

第2棟における臨界管理の方法として、受け入れる燃料デブリ等に含まれる核燃料物質の量を定量し管理することが困難であることから、燃料デブリ等のすべてを核燃料物質とみなし、測定可能な燃料デブリ等の重量をもって管理する。

第2棟における臨界管理の方法は以下のように実施する。

(燃料デブリ等の取扱場所における管理)

コンクリートセル、鉄セル並びに分析室及び α ・ γ 測定室において、燃料デブリ等を取り扱う作業を実施する場合、各取扱場所における最大取扱量を超えないことを確認する(質量管理)。

(試料ピットにおける管理)

燃料デブリ等は、コンクリートセルNo.4において重量測定し、 ^{\square} 以下であることを確認(質量管理)した上で容器に収納する。その後、 ^{\square} の試料ピットに一時的に保管する(形状管理)。

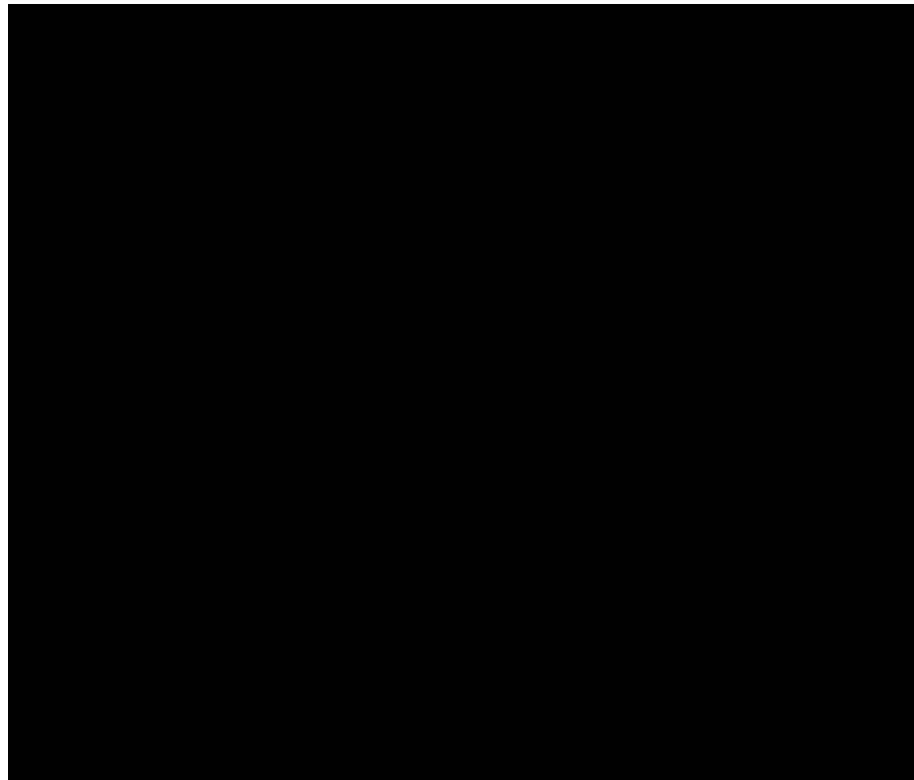
具体的には、燃料デブリ等の受入れ及び施設内の移送の都度、計算機又は伝票を用いて臨界管理上安全であること(受入れ、移送に伴う各取扱場所での存在量が最大取扱量を超えないこと)を確認する。さらに、実際の受入れ及び移送にあたっては、作業を担当する者以外の第三者(例:計量管理担当者)による立会いを行い、移送物及び伝票等の内容に相違のないことを確認する。

1. 臨界管理の方法(3/3)

追加説明

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。



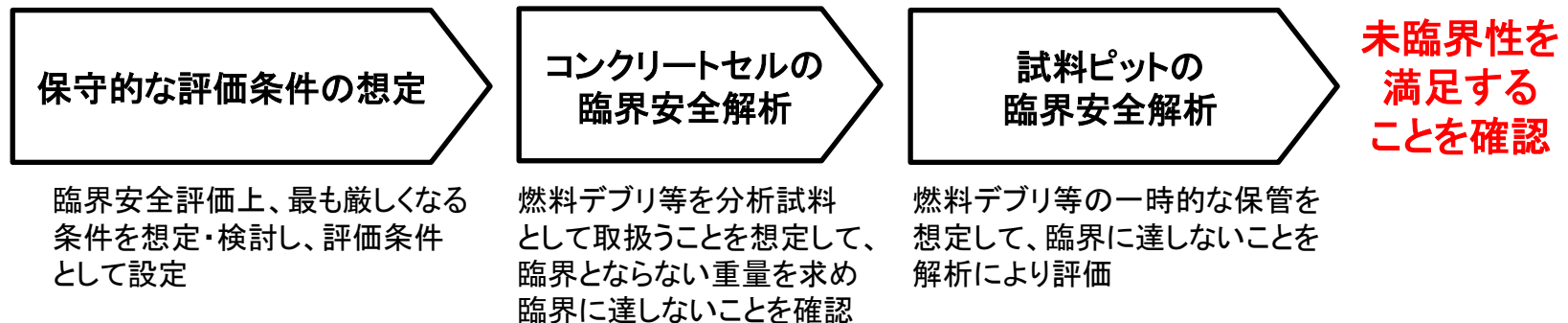
第2棟の機器配置図 地上1階

2. 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)

3. 保守的な評価条件の想定

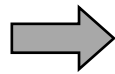
- 燃料デブリ等のすべてが核燃料で構成されていると想定する。
- 酸化物と比較して核分裂性物質の重量割合が高くなる金属を想定する。
- 燃焼した燃料より核分裂性物質を多く含む、未照射燃料を想定する。

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。

4. 比較に用いる燃料組成の検討(1/2)－UO₂燃料－

1F 1～3号機に装荷されたUO₂燃料(未照射)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。

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

4. 比較に用いる燃料組成の検討(2/2)－MOX燃料－

1F 3号機に装荷されたMOX燃料(未照射)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	■		■*

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

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

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

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

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

・ Pu同位体組成等

核種	実績値[wt%]		評価値[wt%]	
■		→	■	

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

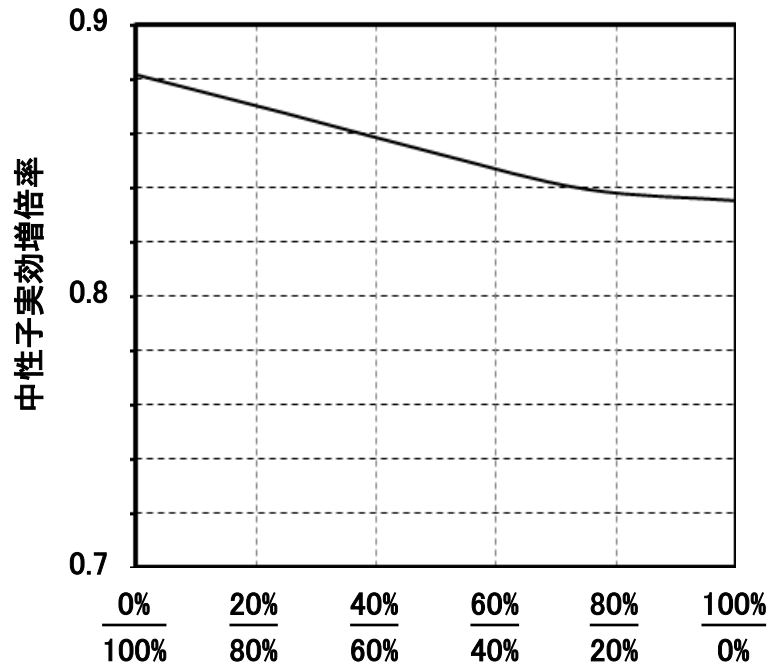
中性子を吸収する核種である ■ の存在比 (■) を ■ に加えた。また、■ の存在比を小数点以下で切捨て、その分 (■) を ■ に加えた。

5. 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、「4. 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)

6. 臨界安全評価における燃料デブリ等の組成

これまでの想定・検討結果を踏まえ、以下の条件で臨界安全解析を行う。

	評価値[wt%]
Pu含有率	■
²³⁵ U濃縮度	■

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

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

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

・ Pu同位体組成等

核種	評価値[wt%]
■	

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

7. 解析コードの概要

追加説明

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、これ进行处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。

8. コンクリートセルの臨界安全解析(1/3)

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。このうち溶解処理中において、Pu濃度の高い残渣・沈殿が発生する場合を考慮して、臨界安全評価上、最も厳しいPuと水の混合物(非均質性)で臨界に達しない重量を評価した。

① 解析条件

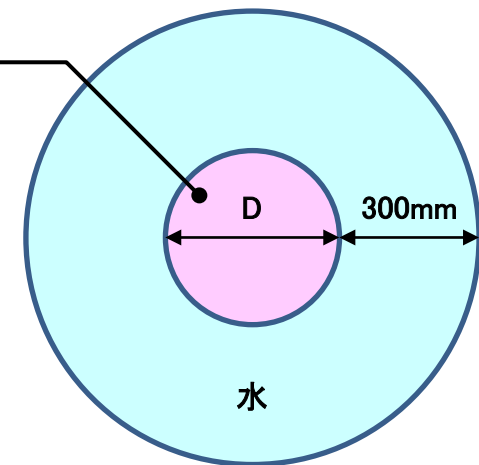
(1) 解析コード : MVP2.0

(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。
また、Puは非均質性を考慮して粒子状とする。
- Puと水の混合物の直径(D)は、Puの粒径及び粒子間距離から求められ、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。

Puと水の混合物
(Puは粒子状)

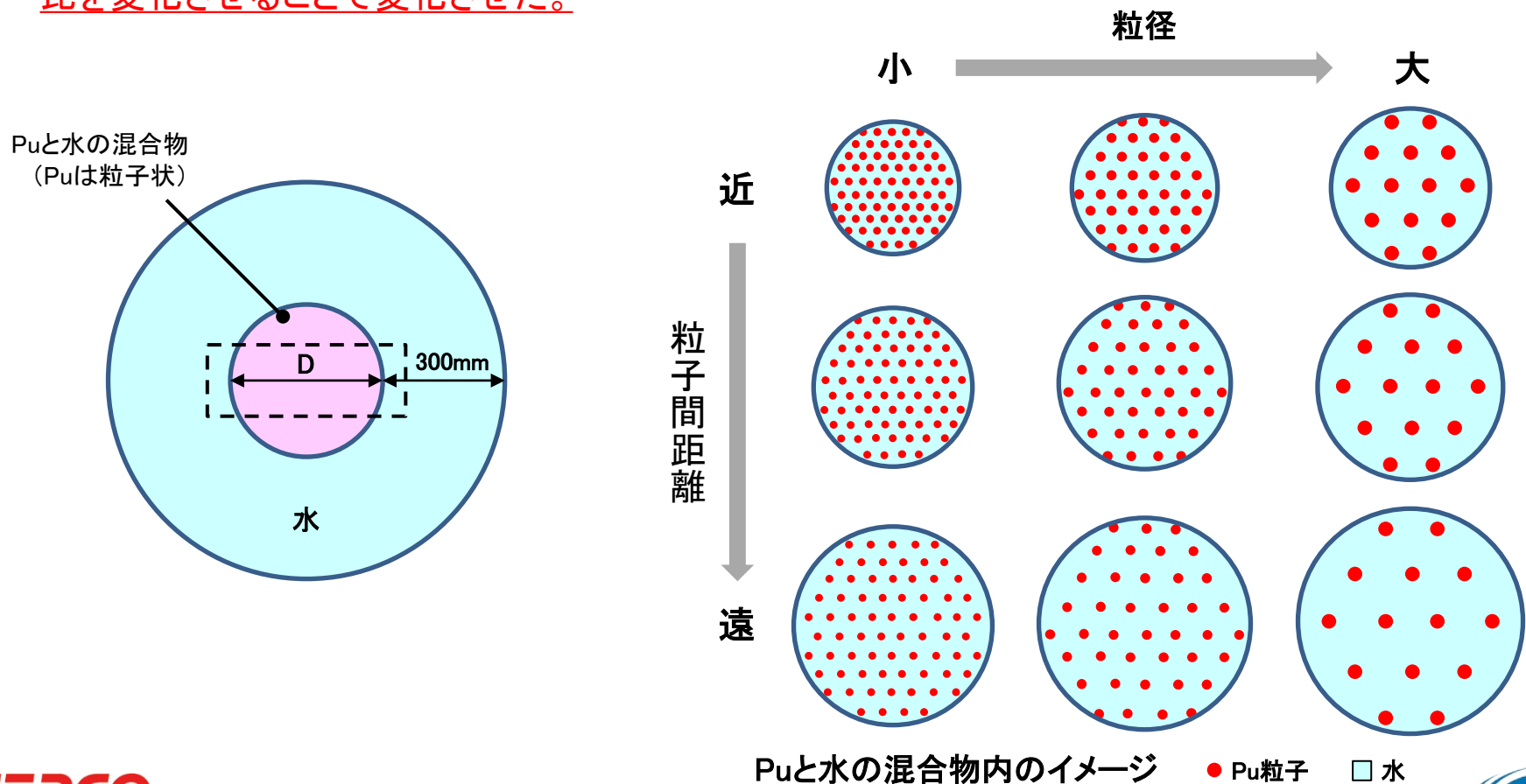


解析モデル

8. コンクリートセルの臨界安全解析(2/3)

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、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。



8. コンクリートセルの臨界安全解析(3/4)


—非均質性を考慮した解析の妥当性について—


追加説明

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、均質性、非均質性を考慮した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。

均質性の解析モデルでの臨界に達しないPuの重量 : 

非均質性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、非均質性を考慮した場合が厳しい結果となる。

8. コンクリートセルの臨界安全解析(4/4)

② 解析結果

(1) 臨界に達しないPuの重量: [REDACTED]
 (keff + 3σ が 0.95※¹ となる時の重量)

(2) 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)



燃料デブリ等 [REDACTED] に含まれるPuの重量は [REDACTED] であり、さらに²³⁵U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。**

Pu : [REDACTED]

²³⁵U : [REDACTED]

[REDACTED]

(「6. 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)

9. 試料ピットの臨界安全解析(1/4)

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。

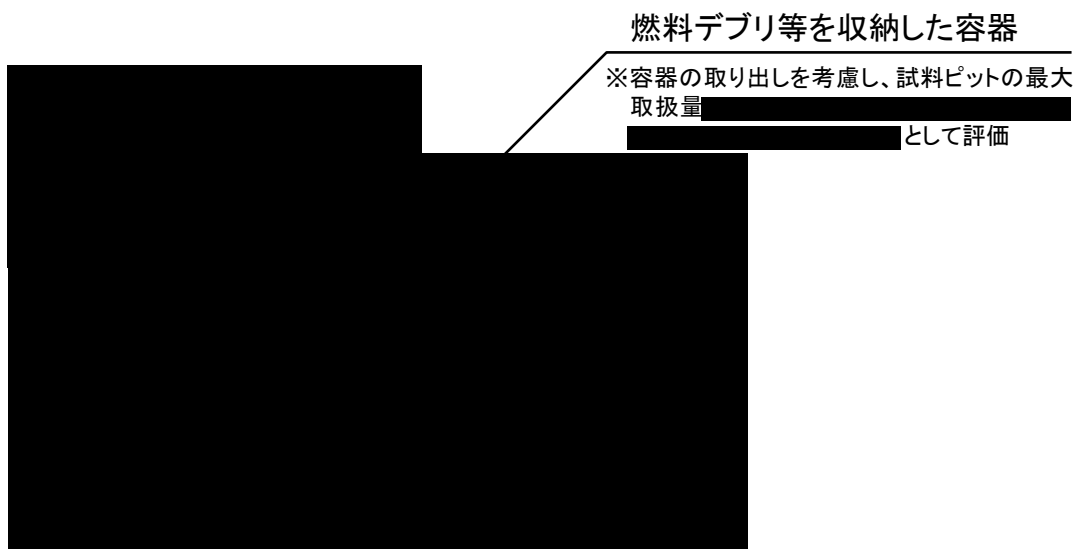
① 解析条件

- (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■■■■

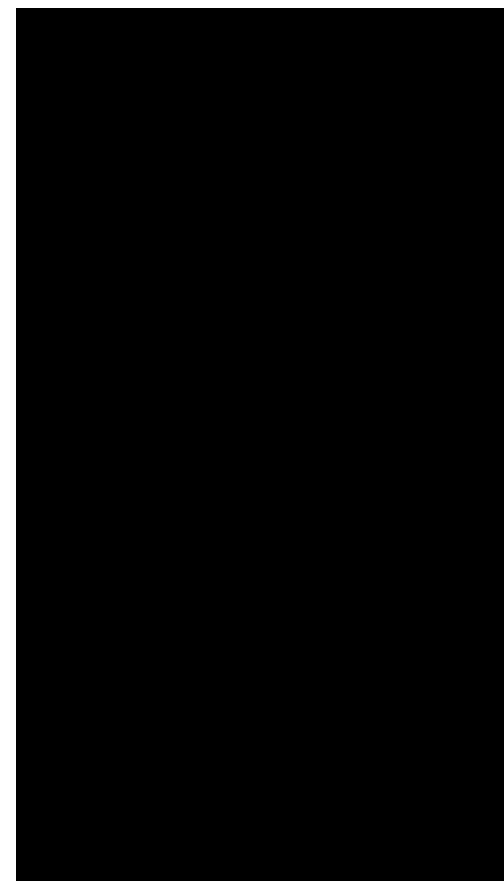
9. 試料ピットの臨界安全解析(2/4)

(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。



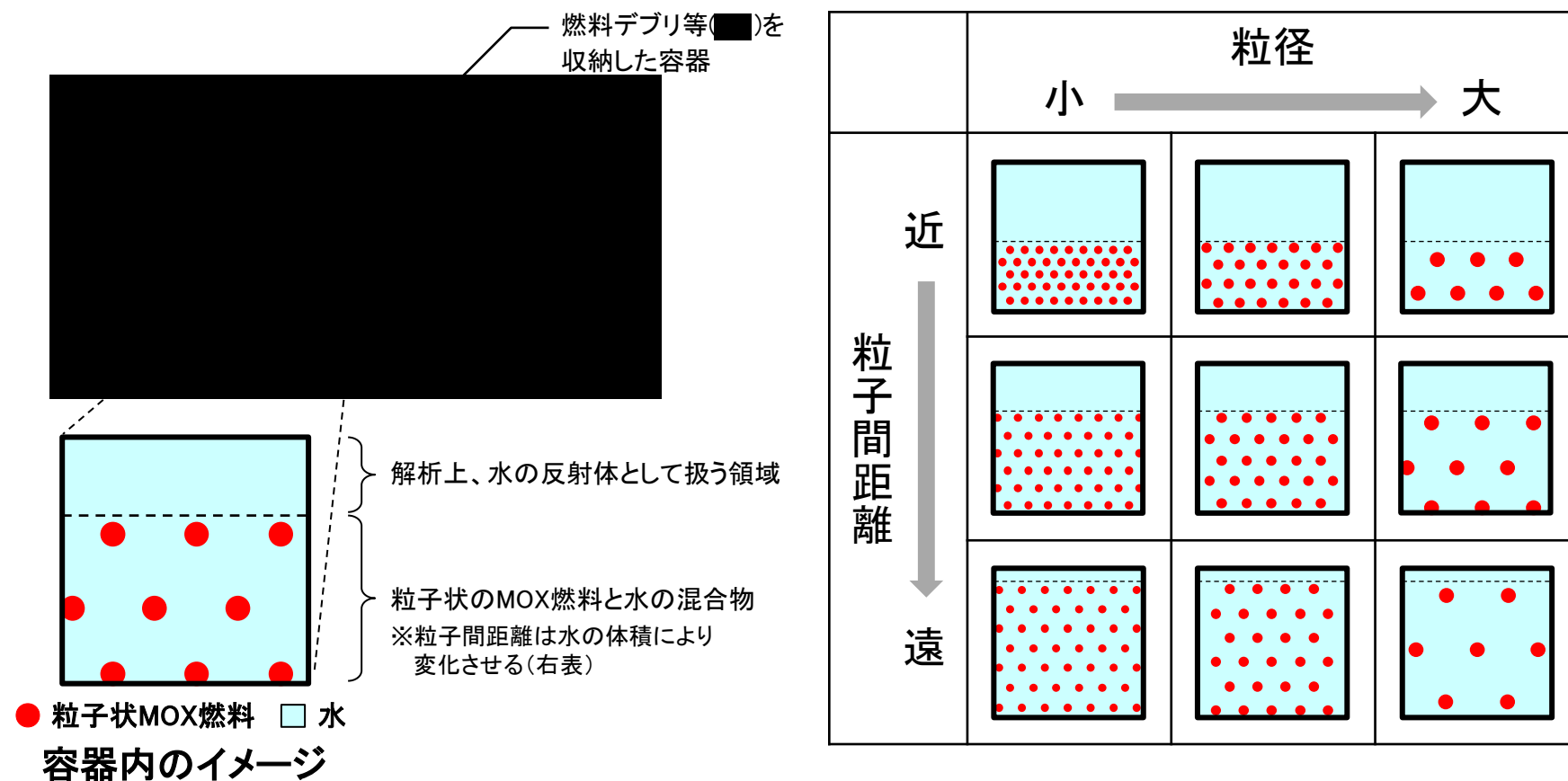
A-A断面図 (単位:mm)



平面図 (単位:mm)

9. 試料ピットの臨界安全解析(3/4)

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、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。なお、粒子間の距離は、粒子状のMOX燃料と水の混合物中の水の体積により変化させた。



9. 試料ピットの臨界安全解析(4/4)

② 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。**

※1: 『臨界安全ハンドブック第2版』, 日本原子力研究所, (1999)

10. 第2棟における臨界管理

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3段まで積み上げて保管する。最大容量は■■■■、■■■■である。
また、■■■■m、■■■■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。