

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
(第2棟の耐震クラス及び適用地震動の設定について)
1月24日面談資料改訂版

2023年2月13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

第2棟の耐震評価の考え方は、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2022年11月16日）」（参考資料1）のフローに従い耐震クラス分類を定める。

1-①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響により、暫定的に耐震クラスをS、B及びCに分類

安全機能（閉じ込め機能、遮へい機能）を失った際の評価 ⇒ P2以降

1-②：現実的な緩和対策を考慮（被ばく評価期間、放射線防護対策、建屋耐震設計など）

Ss900による建屋耐震性を評価し、その結果を踏まえて建屋に期待できる機能を考慮した評価 ⇒ P11以降

1-②の評価で機能維持できることを確認した結果第2棟の耐震クラスはB+およびCとなる ⇒ P16

1. 第2棟の耐震評価の考え方（1/15）

第2棟の耐震評価の考え方は、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」（参考資料1）に従うと以下のとおりとなる。

1 - ①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響により、暫定的に耐震クラスをS、B及びCに分類

安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井が無いとした場合）の公衆被ばく線量は下表のとおり5mSvを超過する。

- ・閉じ込め機能：コンクリートセル、建屋の除染係数は考慮しない。
- ・遮蔽機能：コンクリートセル、建屋の遮蔽機能は考慮しない。

(1/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※1}	敷地境界線量
建屋	遮蔽	<p>【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が喪失し、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ2.3×10^{10}Bq及び2.4×10^8Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋の遮蔽を考慮しない。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 	—	6.5×10^{-4} mSv*	6.5×10^{-4} mSv
コンクリートセル	閉じ込め	<p>【内部被ばく】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^{※2}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地上放出され、敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートセル及び建屋の除染係数を考慮しない。 	1.1×10^2 mSv	2.2×10^1 mSv	1.4×10^2 mSv
	遮蔽	<p>【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ[■]からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮しない。 	—	$> 1.9 \times 10^2$ mSv*	$> 1.9 \times 10^2$ mSv
試料ピット	遮蔽	<p>【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ[■]からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・[■]建屋の遮蔽を考慮しない。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 	—	$> 1.9 \times 10^2$ mSv*	$> 1.9 \times 10^2$ mSv
	(臨界管理)	<ul style="list-style-type: none"> ・試料ピットの臨界管理機能が喪失することを想定する（参考資料2参照）。 	—	—	—

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 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。

* モデルを見直し再評価した。（その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した（以下、同じ）。）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (2/15)

(2/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	【内部被ばく】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地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7 mSv	5.3×10 ⁻² mSv	2.8 mSv
	遮蔽	【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】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グローブボックス内の気相に移行※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地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10 ⁻⁴ mSv	—	2.7×10 ⁻⁴ mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10 ⁻⁴ mSv	—	2.7×10 ⁻⁴ mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち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、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	7.2×10 ⁻⁵ mSv	—	7.2×10 ⁻⁵ mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 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。

※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、※2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）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (3/15)

(3/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】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※2し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 別紙2参照	2.0 mSv	—	2.0 mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.7×10^{-4} mSv	—	2.7×10^{-4} mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
合計			1.2×10^2 mSv	$> 2.2 \times 10^2$ mSv	$> 3.4 \times 10^2$ mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 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。

※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、※2の移行率を用いた。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (4/15)

安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井が無いとした場合）の公衆被ばく影響を基に暫定的に耐震クラス分類すると下表のとおりとなる。

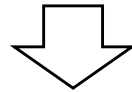
主要設備	耐震上の安全機能	暫定耐震クラス	補助設備（安全機能）		直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設	説明
			適用範囲	暫定耐震クラス				
建屋	・遮蔽	C	—	—	—	建屋【S _C (S _s で確認)】	—	・建屋が安全機能を喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス
コンクリートセル	・遮蔽 ・閉じ込め	S	セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2）	B	設備の支持構造物（B）	建屋【S _B 】	—	・コンクリートセルの安全機能が喪失した場合5mSvを超えるため暫定Sクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス
試料ピット	・遮蔽 ・臨界管理	S	—	—	設備の支持構造物（S）	建屋【S _S 】	—	・試料ピットの安全機能が喪失した場合5mSvを超えるため暫定Sクラス
鉄セル	・遮蔽 ・閉じ込め	B	セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2）	B	設備の支持構造物（B）	建屋【S _B 】	—	・鉄セルの安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス
グローブボックス	・閉じ込め	C	セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2）	B	設備の支持構造物（C） 設備の支持構造物（B）	建屋【S _C 】 建屋【S _B 】	—	・グローブボックスの安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス
フード	・気流による閉じ込め	C	フード用換気空調設備（換気※3）	C	設備の支持構造物（C）	建屋【S _C 】	—	・フードの安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス ・フード用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス
液体廃棄物一時貯留設備	・液体の閉じ込め	C	—	—	設備の支持構造物（C）	建屋【S _C 】	—	・液体廃棄物一時貯留設備の安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス
管理区域用換気空調設備	—	C	電気設備（電源供給）	C	設備の支持構造物（C）	建屋【S _C 】	—	・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考に設定
消火設備	—	C	電気設備（電源供給）	C	設備の支持構造物（C）	建屋【S _C 】	—	・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考に設定
固体廃棄物払出準備設備	—	—	—	—	—	—	—	・固定して使用する設備がないため耐震クラスなし

※1 確認用地震動について、S_sは基準地震動、S_BはBクラスの施設に適用される地震動（剛の場合は静的震度、共振する場合は1/2S_d）、S_CはCクラスの施設に適用される静的震度を示す。

※2 セル等、給気管、排気管、弁及び給排気系のフィルタによる構造による閉じ込めを行う。

※3 フードは気流により放射性物質を閉じ込める設備であるため、構造による閉じ込めはない。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (5/15)



○よって、第2棟全体としての暫定耐震クラスについては以下のとおりとなる。

暫定sクラス

動的地震力： Ss900機能維持、Sd450弾性範囲

静的地震力： 水平3.0Ci (0.6G)、鉛直1.0Cv (0.2G)

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (6/15)

暫定耐震クラスの安全機能が維持されたとした場合の線量評価

暫定耐震クラスに基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能：コンクリートセルは暫定クラスであるため、閉じ込め機能は維持される。コンクリートセル以外の閉じ込め機能を持つ設備については、建屋が暫定クラスであるため、設備が破損したとしても、内包する放射性物質が外部へ放出されることは考えにくい。換気設備で除染されることなく、排気口から放射性物質が大気放出されるものとして評価を行う。
- ・遮蔽機能：建屋及びコンクリートセルは暫定クラスであるため、遮蔽機能は維持されるものとして評価を行う。

(1/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
建屋	遮蔽	【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10} Bq及び 2.4×10^8 Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	1.5×10^{-11} mSv	1.5×10^{-11} mSv
コンクリートセル	閉じ込め	【内部被ばく】コンクリートセルは暫定クラスなので、閉じ込め機能は喪失せず放射性物質はセル外に漏れない。	—	2.4×10^{-4} mSv	2.4×10^{-4} mSv
	遮蔽	【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮する。	—	2.4×10^{-4} mSv	2.4×10^{-4} mSv
試料ピット	遮蔽	【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が見込め、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋による遮蔽を考慮する。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	2.6×10^{-4} mSv	2.6×10^{-4} mSv
	(臨界管理)	・試料ピットは堅牢な構造であるため、臨界に達するおそれはない。	—		

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (7/15)

(2/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※1	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。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、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	1.1×10 ⁻¹ mSv	3.1×10 ⁻⁷ mSv	1.2×10 ⁻¹ mSv
	遮蔽	【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。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グローブボックス内の気相に移行※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、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	1.1×10 ⁻⁵ mSv	—	1.1×10 ⁻⁵ mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	1.1×10 ⁻⁵ mSv	—	1.1×10 ⁻⁵ mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。液体廃棄物一時貯留設備のうち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れいし、漏れ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、排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	2.8×10 ⁻⁶ mSv	—	2.8×10 ⁻⁶ mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 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。

※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、※2の移行率を用いた。

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

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (8/15)

(3/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{※1}	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。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 ^{※2} し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	8.0×10^{-2} mSv	—	8.0×10^{-2} mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 ^{※3} し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。	1.1×10^{-5} mSv	—	1.1×10^{-5} mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
		合計	2.0×10^{-1} mSv	5.1×10^{-4} mSv	2.1×10^{-1} mSv

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 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。

※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、※2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）

1-②：現実的な緩和対策を考慮（被ばく評価期間、放射線防護対策、建屋耐震設計など）

第2棟は、設計が進捗している状況を考慮し、Ss900による建屋及びコンクリートセルの耐震性を評価し、その結果を踏まえて維持できる機能を考慮し、敷地境界線量を評価する。

	機能設計上の性能目標	地震力	部位	Ss900の評価結果
建屋	閉じ込め	基準地震動 Ss900	耐震壁	<u>Ss900に対して概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、建屋の閉じ込め機能を維持することを確認した。</u>
	遮蔽			<u>Ss900に対して概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、建屋の遮蔽機能を維持することを確認した。</u>
コンクリートセル	閉じ込め		コンクリートセル壁	<u>Ss900に対して概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、コンクリートセルの閉じ込め機能を維持することを確認した。</u>
	遮蔽			<u>Ss900に対して概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、コンクリートセルの遮蔽機能を維持することを確認した。</u>

Ss900体系による耐震性の評価 (結果の概要) (詳細は資料-2に記載)

- 第2棟の耐震性評価として、Ss900による地震応答解析を行い、建屋耐震壁及びコンクリートセル壁がいずれも概ね弾性状態 (スケルトンカーブの第2折れ点以下) にとどまる。
- 以上のことから、建屋及びコンクリートセルは、閉じ込め及び遮蔽機能を維持できることを確認した。

上記を踏まえて、現実的な緩和策を考慮した線量評価を行う。

現実的な緩和策を考慮した線量評価

Ss900による耐震性の評価結果に基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能：換気空調設備による負圧維持機能が喪失されるため、放射性物質が外部に放出することを想定する。なお、概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、コンクリートセル及び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^{*1} を見込めるものとして評価を行う。
- ・遮蔽機能：概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、建屋・コンクリートセルの遮蔽機能は保持されるものとして評価を行う。

(1/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく ^{*2}	敷地境界線量
建屋	遮蔽	【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10} Bq及び 2.4×10^8 Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	1.5×10^{-11} mSv*	1.5×10^{-11} mSv
コンクリートセル	閉じ込め	【内部被ばく】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 ^{*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地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋、コンクリートセルの除染係数各々 10^{*1} を考慮する。	1.1 mSv	2.4×10^{-4} mSv*	1.2 mSv
	遮蔽	【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ [■] からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮する。	—	—	—
試料ピット	遮蔽	【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が見込め、燃料デブリ [■] からの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・ [■] 建屋による遮蔽を考慮する。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。	—	2.6×10^{-4} mSv*	2.6×10^{-4} mSv
	(臨界管理)	・試料ピットは堅牢な構造であるため、臨界に達するおそれはない（別紙1参照）。	—	—	—

※1 コンクリートセル、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。鉄セル、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. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 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。

* モデルを見直し再評価した。（その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した（以下、同じ）。）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (12/15)

(2/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※2	敷地境界線量
鉄セル	閉じ込め	【内部被ばく】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※4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地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。	2.7×10 ⁻¹ mSv	3.1×10 ⁻⁷ mSv*	2.8×10 ⁻¹ mSv
	遮蔽	【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。			
グローブボックス	閉じ込め	【内部被ばく】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グローブボックス内の気相に移行※4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地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮	2.7×10 ⁻⁵ mSv	—	2.7×10 ⁻⁵ mSv
フード	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。	2.7×10 ⁻⁵ mSv	—	2.7×10 ⁻⁵ mSv
液体廃棄物一時貯留設備	閉じ込め	【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち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※5し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。	7.2×10 ⁻⁶ mSv	—	7.2×10 ⁻⁶ mSv

※1 コンクリートセル、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。鉄セル、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. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 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。

※4 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、※3の移行率を用いた。

※5 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）

* モデルを見直し再評価した。（その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した（以下、同じ）。）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (13/15)

(3/3)

設備名称	耐震上の安全機能	機能喪失時の敷地境界線量評価の概要	内部被ばく	外部被ばく※2	敷地境界線量
セル・グローブボックス用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】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※3し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。	2.0×10^{-1} mSv	—	2.0×10^{-1} mSv
フード用換気空調設備	閉じ込め	【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※4し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。	2.7×10^{-5} mSv	—	2.7×10^{-5} mSv
管理区域用換気空調設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
消火設備	—	設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。	—	—	—
固体廃棄物払出準備設備	—	固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。	—	—	—
合計			1.6 mSv	5.1×10^{-4} mSv	1.7 mSv

※1 コンクリートセル、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。鉄セル、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. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 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。

※4 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、※3の移行率を用いた。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (14/15)

一部改訂

○Ss900で概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまることから、遮蔽機能及び閉じ込め機能が維持できることを確認したことから耐震クラスを以下のとおりとする。

設備名称	耐震クラス	耐震上の安全機能	耐震上の具体的な要求事項	備考
建屋	B+	・遮蔽 ・間接支持	・Ss900で遮蔽機能が維持できること。 ・Ss900で間接支持機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で間接支持機能が維持できること。	・公衆被ばく線量は50 μ Sv以下であるが、一体構造であるコンクリートセルの公衆被ばく線量は50 μ Svを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。
コンクリートセル	B+	・遮蔽 ・閉じ込め	・Ss900で遮蔽機能が維持できること。 ・Ss900で閉じ込め機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が維持できること。	・実力としてSs900でコンクリートセルの安全機能が維持できるため、公衆被ばく線量は50 μ Svを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。
試料ピット	B+	・遮蔽 ・臨界管理	・Ss900で遮蔽機能が維持できること。 ・Ss900で臨界管理機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で臨界管理機能が維持できること。	・実力としてSs900で試料ピットの安全機能が維持できるため、公衆被ばく線量は50 μ Svを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。
鉄セル	B+	・遮蔽 ・閉じ込め	・B+クラスの地震力で遮蔽機能が維持できること。 ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が維持できること。	・公衆被ばく線量は50 μ Svを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。
グローブボックス	B+	・閉じ込め	・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が維持できること。	・公衆被ばく線量は50 μ Sv以下である。 ・将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B+クラスとする。
セル・グローブボックス用換気空調設備	B+	・閉じ込め	・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が維持できること。	・公衆被ばく線量は50 μ Svを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。
フード	C	・気流による閉じ込め	・Cクラスの地震力で気流による閉じ込め機能が維持できること。	—
液体廃棄物一時貯留設備	C	・液体の閉じ込め	・Cクラスの地震力で液体の閉じ込め機能が維持できること。	—
フード用換気空調設備	C	・換気	・Cクラスの地震力で換気機能が維持できること。	—
電気設備	C	・電源供給	・Cクラスの地震力で電源供給機能が維持できること。	—
管理区域用換気空調設備	C	—	—	・設備がなくても放射線影響は生じないため、JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスとする。
消火設備	C	—	—	・設備がなくても放射線影響は生じないため、JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスとする。
固体廃棄物払出準備設備	—	—	—	・固定して使用する設備がないため耐震クラスなし。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (15/15)

○耐震性を確認する地震動は以下のとおり。

設備名称	動的地震力		静的地震力	確認用 地震動	説明
	機能維持	弾性範囲 (共振時のみ)			
コンクリートセル 試料ピット 建屋	1/2Ss450	1/2Sd225*	水平：1.5Ci (0.3G) 鉛直：—	Ss900	・建屋の公衆被ばく線量は50 μ Sv以下であるが、公衆被ばく線量が50 μ Svを超え、5mSv以下となるコンクリートセルと一体の構造である。さらに長期的に使用することから、B+クラスの地震力を適用する。
鉄セル グローブボックス セル・グローブボックス用換気空調設備	1/2Ss450	1/2Sd225*	水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：—	—	・公衆被ばく線量評価を実施した結果50 μ Svを超え、5mSv以下となり、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。
フード 液体廃棄物一時貯留設備 フード用換気空調設備 電気設備	—	—	水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：—	—	・公衆被ばく線量評価を実施した結果、50 μ Sv以下となるため、Cクラスの地震力を適用する。
管理区域用換気空調設備 消火設備	—	—	水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：—	—	・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスの地震力を適用する。
固体廃棄物払出準備設備	—	—	—	—	・固定して使用する設備はない。

(注) 地震力の算定に際しては、水平2方向、鉛直1方向の適切な組合せを行う。

※ 現設計において、第2棟の設備は剛であり共振のおそれはない。

令和4年3月16日地震（以下「3.16地震」という。）に対する耐震性を以下に示す。

○建屋

Ss900に対する建屋の耐震性評価の結果から、3.16地震に対して建屋は機能維持できる。

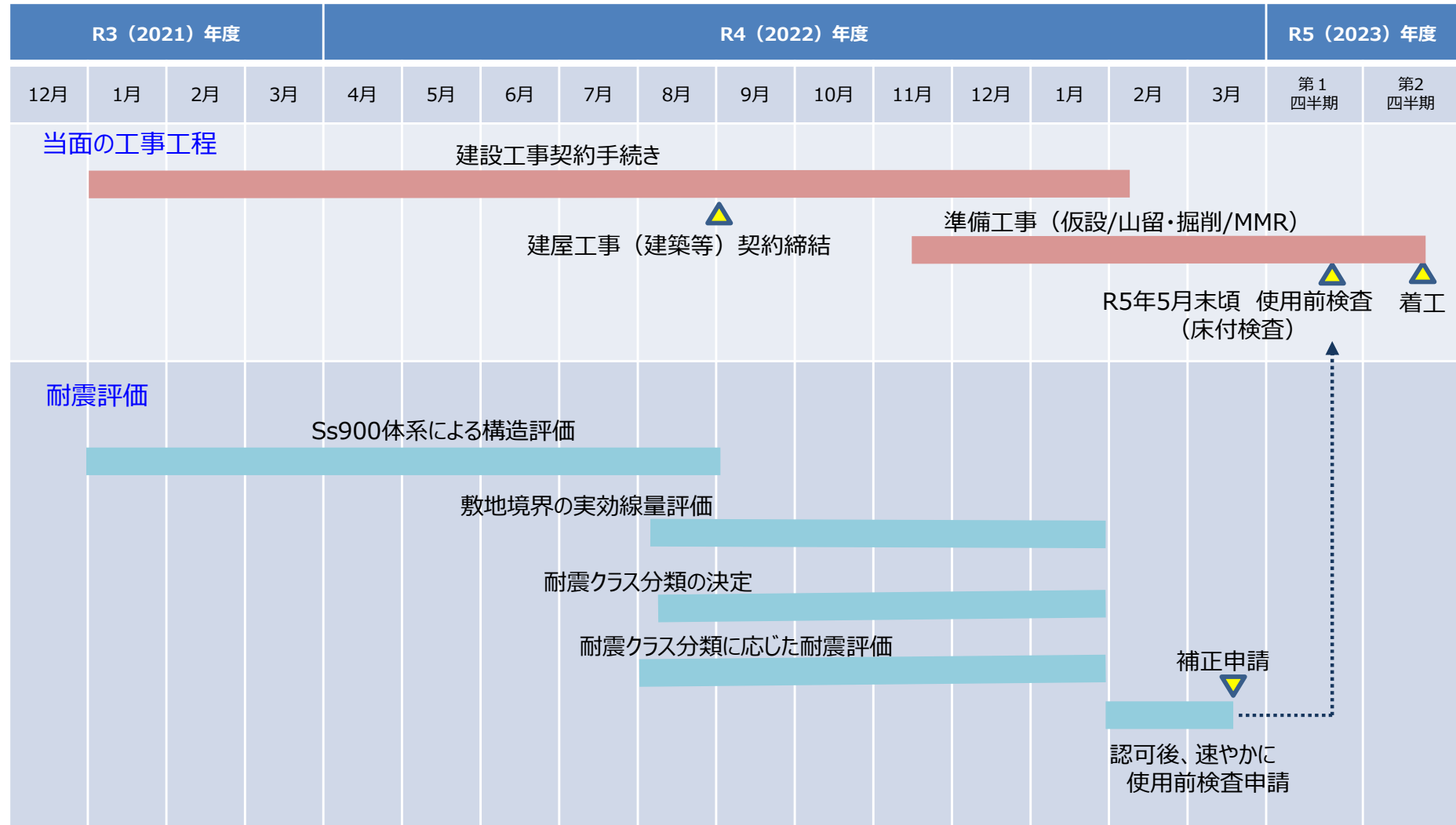
○内装設備（第2棟の内装設備は剛構造）

3.16地震動を1/2Ss450と比較すると、最大加速度は約1.12倍となっており（下表参照）、1/2Ss450を超過している。剛構造のB+クラス設備の機能維持評価（1/2Ss450）では、許容応力に対する発生応力の割合は最大で64%となり、加速度比1.12を考慮しても十分な耐震余裕を有しているため、3.16地震に対して内装設備は機能維持できる。

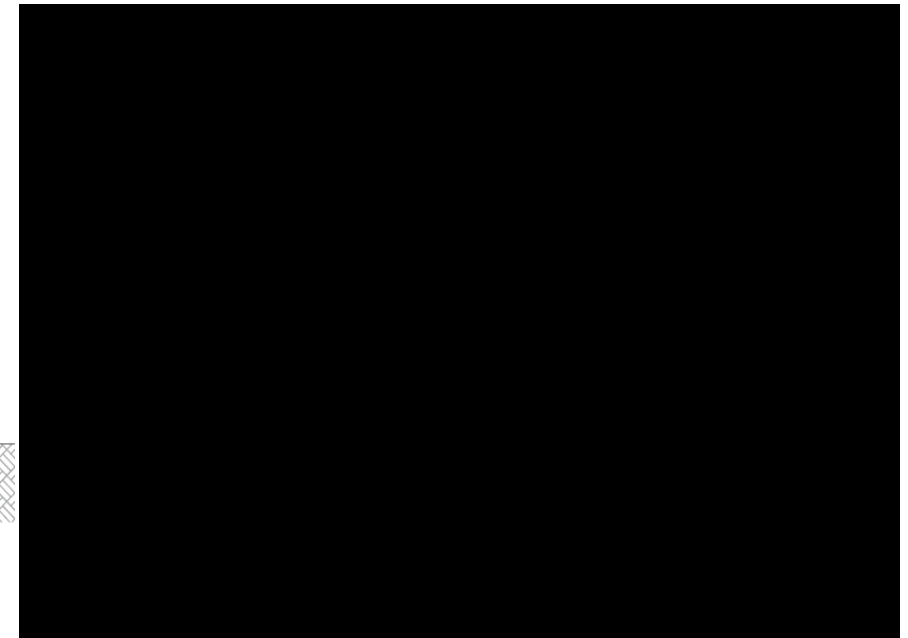
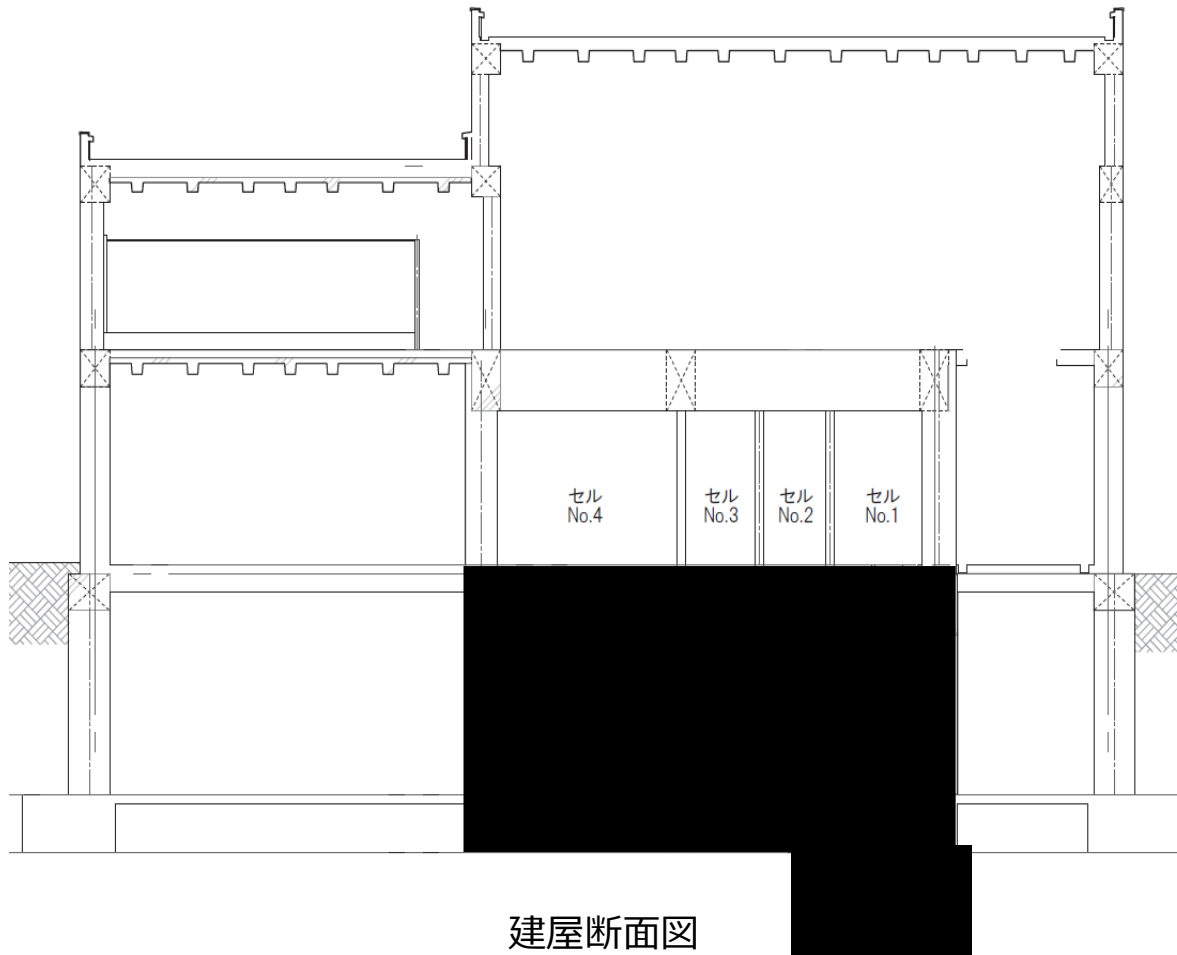
地震動	最大加速度(Gal)
1/2Ss450	450
3.16地震 はぎとり波(南地点NS方向)	469
3.16地震 はぎとり波(南地点EW方向)	505

3. 第2棟着工までのスケジュール

準備工事、着工時期は、2022年8月24日の面談資料で示したスケジュールから変更はない。

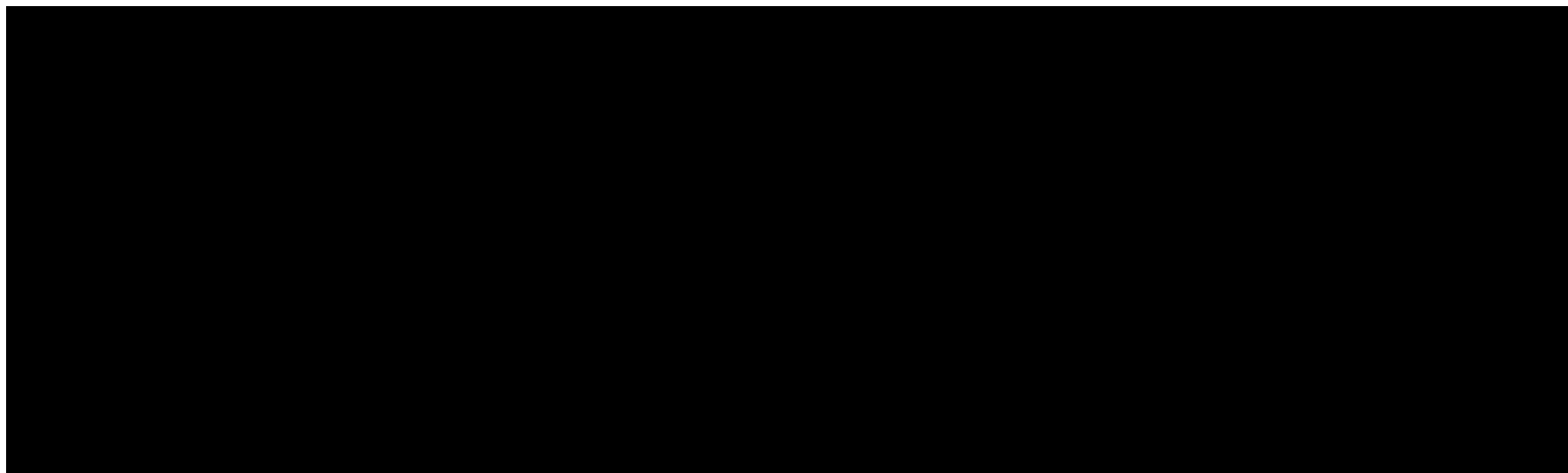


試料ピットの概要は以下のとおり。



試料ピット平面図

拡大した断面図を次頁に示す。



建屋断面図 (コンクリートセル周辺)

試料ピット断面図

コンクリートセルと [REDACTED] でライニング (内張鋼板) によって閉じ込め機能を果たす構造となっている。

試料ピットの形状維持評価

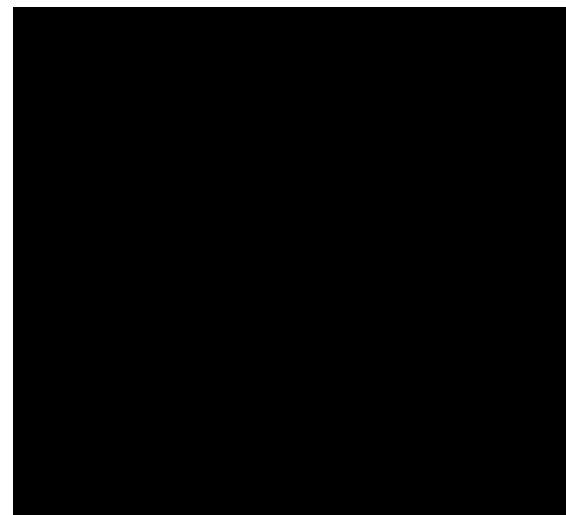
試料ピットは[REDACTED]建屋と一体な構造であることから、建屋のSs900チェックの評価結果より、試料ピットの形状維持について評価する。

- 試料ピットは、建屋[REDACTED]と一体的に設置されることから地震時の変形（形状維持）は建屋の変形に追従するものとする。
- 建屋のSs900チェックの結果、第2棟は概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまり、[REDACTED]の最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} であるため、試料ピットは形状維持できると考える。

試料ピットの臨界安全における■■■■間隔の余裕について検討した。

- ■■■■間隔の形状の制限値である■■■■のときの中性子実効増倍率は0.91770となり、未臨界性の判断基準である0.95を下回る。
- ■■■■間隔を■■■■狭めた■■■■のときの中性子実効増倍率は0.94566となり、未臨界性の判断基準である0.95を下回る。
- Ss900における■■■■最大せん断ひずみを 1.48×10^{-3} と想定し、■■■■間隔の変位量を求めたところ、■■■■となった。

試料ピット(平面図)



⇒ 以上から、試料ピットの■■■■間隔は、臨界安全において十分な余裕を有している。

評価結果の詳細は、次頁に示す。

■■■■間隔についての臨界安全評価の詳細

試料ピットのひずみの評価

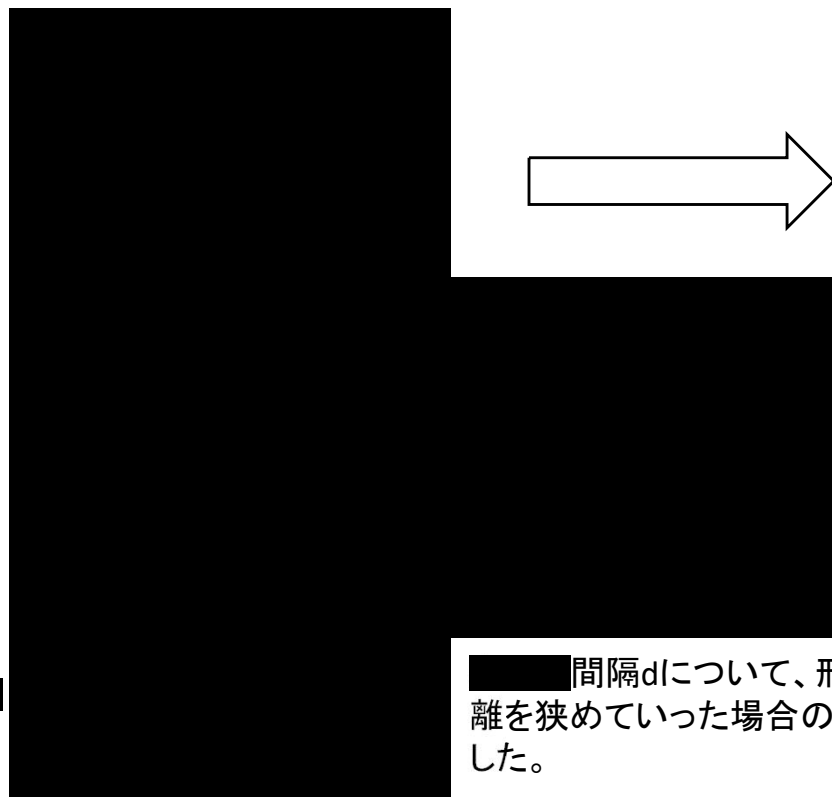
試料ピットは、建屋■■■■と一体的に設置されることから、地震時の変形は建屋の変形に追従するものとする。■■■■最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} であり、試料ピットも同一のひずみと想定し、試料ピットの■■■■間隔の変位量を検討した。

- ① 試料ピット高さ: ■■■■
- ② 試料ピットのせん断ひずみの想定: 1.48×10^{-3}

変位量 = ① × ② = ■■■■

地震により試料ピットにせん断ひずみが生じ、■■■■間隔が狭まった場合、変位量は■■■■であることを確認した。

■■■■間隔を狭めた場合の中性子実効増倍率※1



単位: mm

解析結果

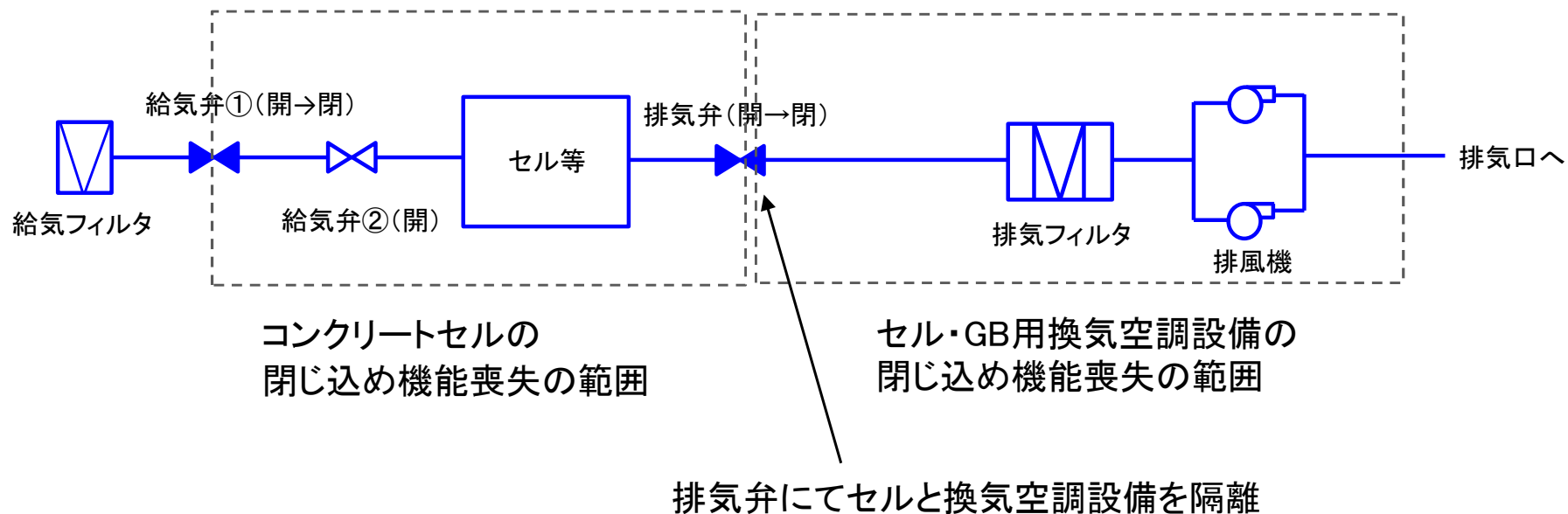
中性子実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)
0.94566
0.93485
0.93178
0.92625
0.92111
0.91909
0.91770

■■■■間隔dについて、形状の制限値である■■■■※2から距離を狭めていった場合の中性子実効増倍率($k_{eff} + 3\sigma$)を評価した。

※1 試料ピット■■■■の■■■■に燃料デブリ等を収納した容器を■■■■積み上げて保管した状態を想定している。

※2 試料ピットにおける■■■■間隔の設計寸法は■■■■であるが、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■■■■として評価した。

■■■■間隔の形状の制限値■■■■から■■■■狭めた■■■■としても中性子実効増倍率は0.94566であり、未臨界性の判断基準である0.95を下回るため、せん断ひずみにより試料ピットの■■■■間隔が■■■■程度変形しても十分な余裕を有している。



セル・グローブボックス用換気空調設備の閉じ込め機能の線量評価では、弁からフィルタの間のダクト内にセル等内と同じ放射性物質濃度の気体が滞留していると想定。ダクト等が損傷して外部に放射性物質が放出された想定で評価。

地震により消火機能を喪失した状況で、更に以下の火災が発生した場合における「現実的な緩和策を考慮した線量評価」を実施した。

- ・コンクリート内火災
- ・鉄セル内火災
- ・グローブボックス内火災

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%※¹に、火災に伴う燃料デブリの粉体から気相への放射性物質の移行率0.6%※²を加え、合計で1.6%の燃料デブリの粉体が気相へ移行すると想定した。また、気相へ移行した放射性物質は、設備周辺の室に直接放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定した。Ss900による建屋の耐震性の評価結果に基づき、コンクリートセル及び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※³を見込めるものとして評価を行った。

設備名称	内部被ばく	外部被ばく※ ⁴	敷地境界線量 (地震+火災)	【参考】 敷地境界線量 (地震のみ)
コンクリートセル	1.8 mSv	2.4×10^{-4} mSv	1.9 mSv	1.2 mSv
鉄セル	4.4×10^{-1} mSv	3.1×10^{-7} mSv	4.5×10^{-1} mSv	2.8×10^{-1} mSv
グローブボックス	4.4×10^{-5} mSv	—	4.4×10^{-5} mSv	2.7×10^{-5} mSv

※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 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)

※³ コンクリートセル、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。鉄セル、グローブボックス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. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※⁴ 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

地震時に消火機能を喪失しても、耐震クラス分類に影響を与えるような公衆被ばく線量の増加はないため、消火設備は耐震クラスCと分類する。

Ss900による建屋の耐震性の評価結果から、建屋及びコンクリートセルは閉じ込め機能を維持できるため、以下の文献に基づき除染係数 (DF) を設定した。

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 (右表 : 664頁より抜粋)

右表の赤破線部に、各設備における気体状を除く放射性物質の除染係数が示されているが、保守的な評価を行うため、赤実線部に基づき除染係数を設定した。

上記のことから、建屋及びコンクリートセルのDFは、気体状の放射性物質に対して1 (Factor : 1.0)、それ以外の放射性物質に対してそれぞれ10 (Factor : 0.1) とした。

Modifying Factors	
<u>Factor 3. Fraction of Aerosol released from primary containment into building.</u>	
	<u>Primary Containment</u> <u>Factor</u>
<u>Gases & Vapours</u>	
Whatever the containment (except elemental iodine released under water).	1.0
Elemental iodine released under water.	0.01
<u>All other forms</u>	
Fibre drums, glove boxes, cells, reactor structures etc., which are so seriously damaged that containment is virtually nil.	1.0
Storage blocks and pits, seriously damaged glove boxes, cells, flasks, reactor structures, etc.	0.1
Safes, undamaged or slightly damaged glove-boxes ⁽¹²⁾ , cells, flasks, reactor structures, etc., under water storage, particulate release into building via filtered extract, single metal containment.	0.01
Concreted steel drums, double metal containment.	0.001
<u>Factor 4. Fraction of Airborne Material released from Building</u>	
	<u>Condition of Building</u> <u>Factor</u>
Gases in damaged or undamaged buildings.	1.0
Volatile and particulate aerosols in buildings so seriously damaged that containment is virtually nil.	
(a) by explosion	1.0
(b) by fire (factor allowed for thermal lift)	0.1
Volatile and particulate aerosols in building containments undamaged or slightly damaged.	0.1
Particulate release from building via filtered extract.	0.01

■ 建屋の耐震性の確認結果

	項目	地震力	解析方法	解析概要	評価結果		備考
①	建屋	3.0Ci	静的解析	各部材の発生応力が短期許容応力度以下であることを確認。	検定比※が1.00を超える箇所あり。	×	評価概要は2.参照
②		Ss900	動的解析	各層の変形能力（終局耐力時の変形）について余裕を有していることを確認。	Ss900に対して概ね弾性状態（スケルトンカーブの第2折れ点以下）にとどまり、せん断ひずみは 2.0×10^{-3} を下回った。	○	R5/1/24面談にて説明済
③	地盤	Ss900	動的解析	建屋接地圧が極限支持力度以下であることを確認。	建屋接地圧は極限支持力度以下となった。	○	R5/1/24面談にて説明済 MMRを介して富岡層（砂質泥岩～泥岩）に支持

※部材に生じる応力度を許容応力度で除した値。

■ 静的解析（3.0Ci）による確認結果（短期許容応力度）

- 静的地震力3.0Ciによる解析の結果、検定比が1.0を上回る部材は、柱が2箇所、梁が2箇所、耐震壁が3箇所となることを確認した。

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
①-1	柱	1	A通り - 6通り	EW方向	≤1.00	1.15	0.42
①-2		1	B通り - 3通り	EW方向		1.02	0.19
②-1	梁	2	5通り A-B間	NS方向		1.13	0.60
②-2		1	5通り Ba-C間	NS方向		1.32	1.48

No	部材	階	対象範囲	荷重ケース	評価基準	検定比	
						曲げ	せん断
③-1	耐震壁	B1	E通り 3-4間	EW方向	≤1.00	1.17	
③-2		B1	3通り A-B間	NS方向		1.15	
③-3		B1	6通り C-D間	NS方向		1.20	

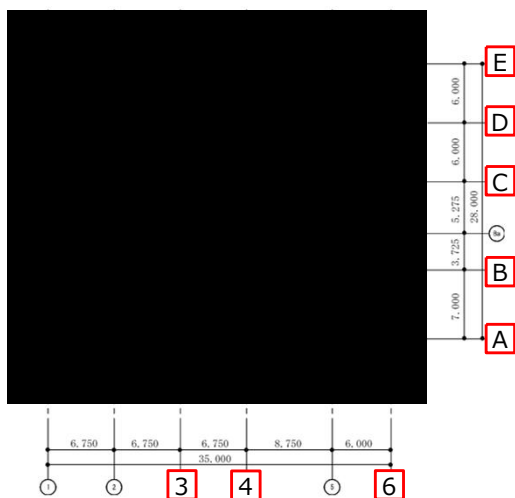


図-1 地下1階平面図 (G.L.-7.2)
(単位: m)

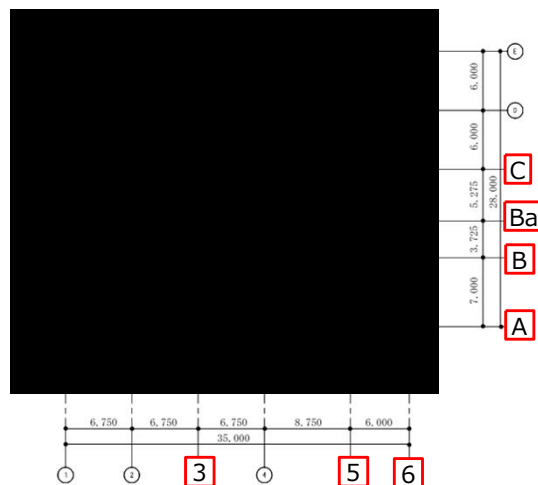


図-2 1階平面図 (G.L.+0.3)
(単位: m)

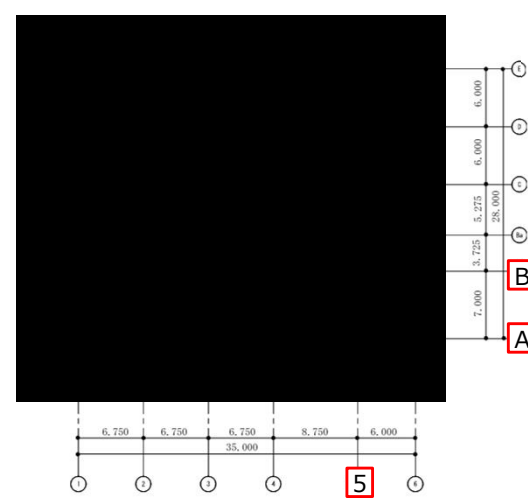
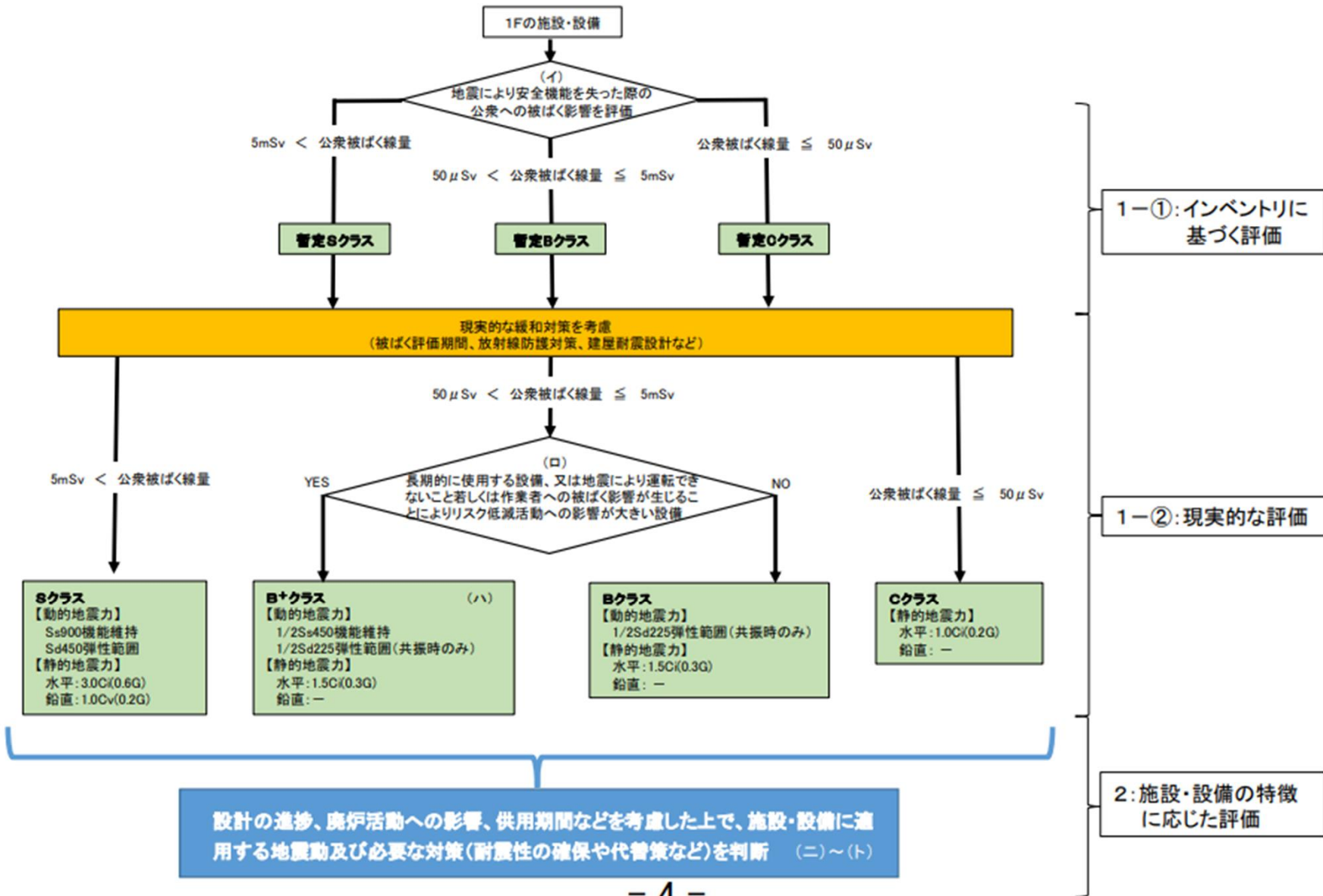


図-3 2階平面図 (G.L.+7.3)
(単位: m)

凡例	
	: 耐震壁
	: 柱
	: 梁
	: コンクリートセル部

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】

- 「運転できないこと若しくは作業者への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】

- 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。
- 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

【(ニ)： 耐震性の確保】

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】

- 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。
※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方の新旧比較表

参考

(旧) 昨年9月の耐震要求	(新) 今回の耐震要求案	備考
<p>耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>①の耐震クラスを括弧に入れて、施設・設備への影響、上位クラスへの波及的影響、供用期間、設計の進捗状況、内容とする設備の放射線影響等の要素を考慮し、施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策(信頼性の確保の代替策等)を判断する。(二) (三) (四)</p> <p>※図中の(一)は本編には記載されていない</p>	<p>1Fの施設・設備</p> <p>1-①: インベントリに基づく評価</p> <p>1-②: 現実的な評価</p> <p>2: 施設・設備の特徴に応じた評価</p> <p>設計の進捗、供用期間への影響、供用期間などを考慮した上で、施設・設備に適用する地震動及び必要な対策(信頼性の確保や代替策など)を判断 (二)~(四)</p>	<p>【1-①: インベントリに基づく評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> 公衆への最大の放射線影響を把握するために全ての安全機能が喪失した場合のインベントリに基づく評価を求める。ただし、物理的に起こり得ないこと(例: 地下施設の地上化)などは考慮する必要はない。 6日目までに外部支援を受けれる方針であることを前提に、原則7日間で評価する。 <p>【1-②: 現実的な評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> 評価期間として7日より短い期間を設定する場合は、その対策の実現性(人・資機材・時間等)を審査する。 建屋等がSクラス設計の場合は、当該建屋等は地震により損傷しないことを前提としても良い。なお、Sクラス設計以外の施設・設備の損傷程度に鑑み、当該施設・設備の機能に期待する場合は、十分な技術的根拠を示すこと。 <p>【2: 施設・設備の特徴に応じた評価】</p> <p>間接的な施設・設備の損傷を考慮した場合に、耐震設計上の主たる機能を有する施設・設備に波及的な影響を及ぼさず、フロー1で定めた耐震クラスの決定の際の線量評価に影響がない場合は、間接的な施設・設備は下位の耐震クラスとしても良い。</p>

昨年9月の耐震要求（旧）	今回の耐震要求（新）	備考
<p>【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあっては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。 <p>【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「運転できないこと若しくは作業への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。 <p>【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】</p> <ul style="list-style-type: none"> Ss900の1/2の最大加速度450galの地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。 <p>【(ニ)： 上位クラスへの波及的影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置が、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。 <p>【(ホ)： 地震力の組合せ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。 <p>【(ヘ)： 液体放射性物質を内包する設備】</p> <ul style="list-style-type: none"> 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。 <p>*：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。</p> <p>【(ト)： 耐震性の確保に対する代替措置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。 <p>例1：B+クラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応（予備品への交換、可搬型設備の運用等）による代替手段を想定。</p> <p>例2：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</p>	<p>【(イ)～(ロ)】 同左</p> <p>【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】</p> <ul style="list-style-type: none"> 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。 <p>【(ニ)： 耐震性の確保】 【(ホ)：地震力の組合せ】と同じ</p> <p>【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。 <p>例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</p> <p>【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】 【(ニ)： 上位クラスへの波及的影響】と同じ</p> <p>【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】 【(ヘ)： 液体放射性物質を内包する設備】と同じ</p>	<p>影響評価としては、実際に3.16地震が起こった際の施設・設備の損傷程度や公衆への被ばく影響の程度などについて評価することを求める。</p> <p>機動的対応は、フロー「1-②：現実的な評価」で考慮する。</p> <p>その他は記載の適正化</p>

試料ピットの形状管理が失われ、臨界を想定して敷地境界線量について、試算した。

評価条件

臨界時の核分裂数については、 3×10^{15} fission^{※1}とした。

核分裂に伴い発生する中性子について

そのエネルギーを、2MeV^{※2}として1回の核分裂の際、2.5個^{※2}の中性子を放出するとした。即発γ線の発生数及びエネルギーはORNLの文献^{※3}によった。

被ばく経路は以下とする。

- ①即発γ及び中性子線による直接線・スカイシャイン線（外部被ばく）
- ②クラウドγ（核分裂で発生する希ガス・ヨウ素による外部被ばく）：除染係数は1とし大気拡散は気象指針による。
- ③吸入摂取（核分裂で発生する希ガス・ヨウ素による内部被ばく）：除染係数は1とし大気拡散は気象指針による。

評価結果

①即発γ及び中性子線による直接線・スカイシャイン線（外部被ばく） = 17 mSv

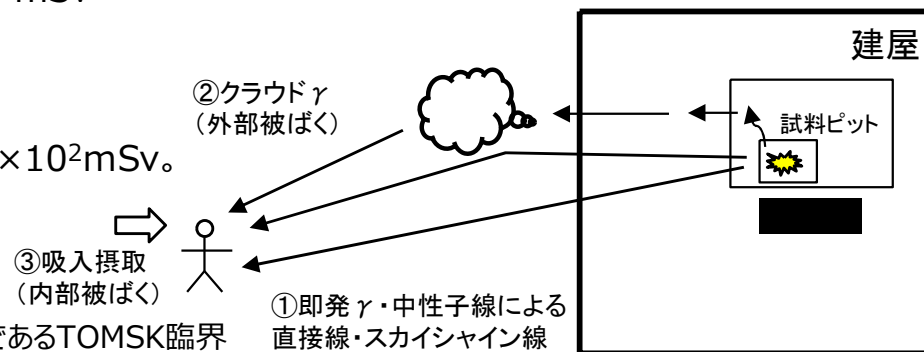
②クラウドγ（外部被ばく） = 3.4mSv

③吸入摂取（内部被ばく） = 0.29mSv

合計 = 21mSv

試料ピットの遮蔽機能喪失時の線量 1.9×10^2 mSvと合算した線量は、 2.2×10^2 mSv。

試料ピットにおいて臨界が発生したと想定。
核分裂に伴い発生した希ガス・ヨウ素が[]に移行し、周辺の
室に放出され、さらに建屋から地上放散し、敷地境界に達する



※試料ピット、[]建屋の遮蔽並びに閉じ込めは考慮しない

※1 燃料デブリ等による臨界事故事例が存在しないため、固体状燃料の臨界事故事例であるTOMSK臨界事故を参考に設定 "A Review of Criticality Accidents". Los Alamos national laboratory, 2000 LA-13638 (48頁より)

※2 FISSION NEUTRON ENERGY SPECTRA INDUCED BY FAST NEUTRONS ON 238U, 235U AND 239Pu,1973

※3 ORIGIN THE ORNL ISOTOPE GENERATION AND DEPLETION CODE,ORNL-4628

<参考> 施設・設備の特徴に応じた評価

2：施設・設備の特徴に応じた評価

○第2棟の状況をまとめると以下のとおりである。

項目	第2棟の状況	備考
廃炉活動への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・1Fで生じた燃料デブリ等の性状を把握することにより、その安全な取り出し等の作業の推進に資する情報を取得するため、分析等を行うことを目的とする施設である。 ・燃料デブリの段階的な取出し規模の拡大に合わせて運用開始する予定であるため、第2棟の運用開始が大幅に遅延した場合は影響あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・なお第2棟の設計を再実施する場合、3年程度の工期が想定され、第2棟の運用開始が大幅に遅延する。
上位クラスへの波及的影響	なし	—
供用期間	長期間	—
設計の進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋はBクラスとして設計済みであり、Sクラスを想定した設計となっていない。（水平3.0Ci（0.6G）が厳しいと想定） 	—
内包する液体の放射エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・液体廃棄物一時貯留設備は地下階に設置されるため、外部へ流出するおそれはない。 	—

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
(耐震B+クラスの機器・配管系に係る耐震性評価結果)
1月24日面談資料改訂版

2023年2月13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B⁺クラス設備の評価方針

◆評価方針

耐震B⁺クラスの機器・配管系について、1/2Ss450での耐震性をJEAC4601等を参考に確認する。

2. 第2棟の評価対象設備

一部改訂

○評価対象設備(B+クラスの設備)

大分類	中分類	設備名称	固有周期(s) ^{※1}
機器	分析設備	鉄セル遮へい体	0.048
		鉄セルインナーボックス	0.048
		グローブボックス(No1, 2, 4)	0.046
		グローブボックス(No3)	0.048
	換気空調設備	セル・グローブボックス用排風機	— ^{※2}
		セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B	0.014
		セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D	0.013
		コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B	0.008
		鉄セル用給気フィルタユニットA,B	0.003
		鉄セル用給気フィルタユニットC,D	0.003
		グローブボックス用給気フィルタユニットA~F	0.003
		グローブボックス用給気フィルタユニットG,H	0.003
	配管系	鋼管	主要排気管(鋼管)
主要給気管(鋼管)			0.05 ^{※3}
ダクト		主要排気管(ダクト)	0.05 ^{※3}

すべて剛構造

※1 0.05s以下であれば剛構造である。(JEAC4601-2008を参考)

※2 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を参考)

※3 固有周期が0.05となるように配管の支持間隔を設定している。

3. 機器の評価概要

○評価対象部位

- ・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を参考にせん断応力と引張応力について評価を実施する。

○荷重の組み合わせ及び許容応力

- ・荷重の組み合わせ及び供用状態(許容応力状態)を以下に示す。

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態 (許容応力状態)	許容限界※ (基礎ボルト)		適用範囲
			一次応力		
			引張	せん断	
B ⁺	D+P _d +M _d +S _{B⁺}	Cs (B _A ⁺ S)	1.5・ft	1.5・fs	基礎ボルト

※ 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

凡例

D	死荷重
P _d	当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
M _d	当該設備に設計上定められた機械的荷重
S _{B⁺}	B ⁺ クラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力
B _A ⁺ S	B ⁺ クラス設備の地震時の許容応力状態
ft	許容引張
f _s	許容せん断応力

4. 設計用地震力の設定(1/2)

①建屋の最大床応答加速度

- ・建屋の1/2Ss450の耐震性評価では、階ごとに水平2方向及び鉛直方向の最大床応答加速度が得られる。
- ・検討用地震動①の結果が最大となるため、機器・配管系の耐震性評価の入力条件とする。

(単位: gal)

階層	水平方向				鉛直方向	
	EW方向		NS方向		UD方向	
	検討用地震動①※ に基づく1/2Ss450	検討用地震動②※ に基づく1/2Ss450	検討用地震動①※ に基づく1/2Ss450	検討用地震動②※ に基づく1/2Ss450	検討用地震動①※ に基づく1/2Ss450	検討用地震動②※ に基づく1/2Ss450
2階	625	226	754	344	390	270
1階	610	182	522	275	385	250
地下1階	387	175	381	228	383	225

※1: 第 92 回特定原子力施設監視・評価検討会-資料3

建屋に対する1/2Ss450の地震応答解析結果(最大応答加速度)

4. 設計用地震力の設定(2/2)

◆設計用地震力の設定

- ①建屋の地震応答解析結果を各方向に対して20%割り増しし、重力加速度で除することで設計用震度は以下のとおりとなる。

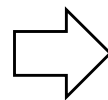
(1階の計算例)

方向	水平方向		鉛直方向	[gal]
	EW方向	NS方向	UD方向	
加速度	610	522	385	
	↓	↓	↓ × 1.2	
加速度	732.0	626.4	462.0	
	↓	↓	↓ / 980.665	
震度	0.75	0.64	0.48	[-]

- ②水平方向の設計震度について保守的に包絡させるため、最終的には以下のとおりとなる。

(1階の計算例)

方向	水平方向		鉛直方向
	EW方向	NS方向	UD方向
震度	0.75	0.75	0.48



- ③各階について、同様に計算を行う。各階の設計用震度は以下のとおり。

階層	水平方向		鉛直方向
	EW方向 C_H	NS方向 C_H	UD方向 C_V
2階	0.93	0.93	0.48
1階	0.75	0.75	0.48
地下1階	0.48	0.48	0.47

5. 鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し

○鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し

1/2Ss450に対して発生応力が許容応力を超えることから仕様を見直した。

仕様	見直し前		見直し後
基礎ボルトの材質	SS400	⇒	S45C
基礎ボルトの呼び径	M20		M24

○鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し後のBクラス(静的地震力:水平方向1.8Ci)評価

基礎ボルトの仕様見直し後、耐震Bクラスの設計地震力で耐震性評価を原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)を参考に実施した。その結果は以下のとおり。

項目	発生応力	許容応力
引張	—※1	362
せん断	60	278

※1:引張応力は発生しない。

6. JEAC4601を参考にした評価式による耐震性評価(1/3)

実施計画の補正申請では、JEAC4601を参考にした評価式による耐震性評価を実施し、その結果を記載する。ここでは一例として鉄セル遮へい体の評価式による耐震性評価の詳細を示す。

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。

○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。

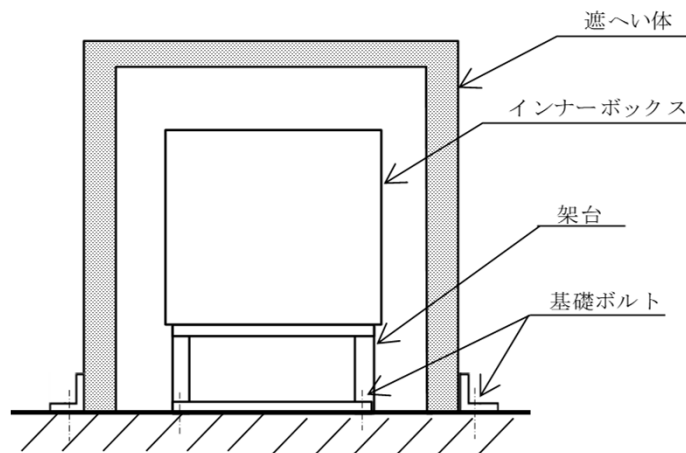


図-1 概略構造図

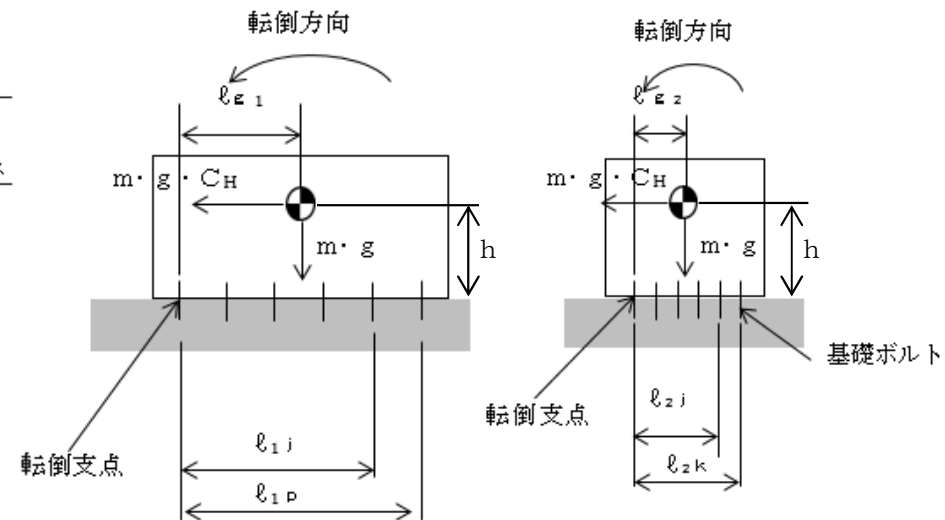


図-2 応力計算モデル

6. JEAC4601を参考にした評価式による耐震性評価(2/3)

2) 評価式

a. 引張応力

① 引張力

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

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

$$F_{bZ} = \frac{m \cdot g \cdot (1 - C_V)}{n}$$

② 引張応力

$$\sigma_b = \frac{\sqrt{F_{b1}^2 + F_{b2}^2} - F_{bZ}}{A_b} \quad \begin{matrix} \text{[ボルトの断面積]} \\ A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \end{matrix}$$

b. せん断応力

① せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + C_H^2}$$

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	水平方向の設計用震度	—
C_V	鉛直方向の設計用震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
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_{bZ}	基礎ボルトに作用する引張力(1本当たり)(鉛直方向)	N
g	重力加速度	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	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
p	転倒支点から最も離れた基礎ボルト番号(長辺方向)	—
k	転倒支点から最も離れた基礎ボルト番号(短辺方向)	—
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

6. JEAC4601を参考にした評価式による耐震性評価(3/3)

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。

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	B ⁺	0.048	—	地上 1階	C _H =0.75	C _V =0.48

⇒ 固有周期は0.05s以下であり、鉄セル遮へい体は剛構造である。

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
鉄セル遮へい体	基礎ボルト	S45C	引張	$\sigma_b = 127$	$f_{ts} = 225$
			せん断	$\tau_b = 176$	$f_{sb} = 278$

⇒ 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。

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

記号	記号の説明	単位
F	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
f_{sb}	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
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

7. JEAC4601を参考にした評価式による機器の耐震性評価結果 (鉄セル遮へい体以外も含む)

JEAC4601を参考に第2棟の機器について耐震性評価を実施した。結果は以下のとおり。

設備名		設置床面	1/2Ss450での発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
鉄セル	遮へい体	1階	引張	127	225
			せん断	176	278
	インナーボックス	1階	引張	21	183
			せん断	15	141
グローブボックス (GB-No.1,2,4)		1階	引張	6	183
			せん断	3	141
グローブボックス (GB-No.3)		1階	引張	7	183
			せん断	4	141
セル・グローブボックス用排風機		地下1階	引張	4	170
			せん断	6	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B		地下1階	引張	18	170
			せん断	12	131
セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D		地下1階	引張	26	170
			せん断	12	131
コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B		2階	引張	9	170
			せん断	5	131
鉄セル用給気フィルタユニットA,B		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
鉄セル用給気フィルタユニットC,D		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニットA~F		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118
グローブボックス用給気フィルタユニットG,H		1階歩廊 (2階)	引張	4	153
			せん断	2	118

8. 配管系の評価概要

○評価対象設備

- ① 主要排気管(鋼管、ダクト)※1
- ② 主要給気管(鋼管)※2

※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:コンクリートセル用給気フィルタユニットからコンクリートセル給気口まで, 鉄セル用給気フィルタユニットから鉄セル給気口まで, グローブボックス用給気フィルタユニットからグローブボックス給気口まで

○評価内容

設備名称	1.8Ciでの評価項目	1/2Ss450での評価項目	備考
①-1 主要排気管(鋼管)	<ul style="list-style-type: none"> ・支持間隔 ・応力評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。
①-2 主要排気管(ダクト)	<ul style="list-style-type: none"> ・固有振動数から定まる支持間隔 ・許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔 	<ul style="list-style-type: none"> ・許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔 	<ul style="list-style-type: none"> ・固有振動数から定まる支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。
② 主要給気管(鋼管)	<ul style="list-style-type: none"> ・支持間隔 ・応力評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・応力評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。

9. 主要排気管(鋼管)の応力評価

○評価方法

対象の主要排気管は、クラス4配管の規定を準用する。
JEAC4601を参考に応力算定式については下式で表される。

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

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

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

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 —

C_V : 鉛直震度 —

L : 支持間隔 [mm]

w : 主要給気管の単位長さ当たりの質量 [kg/mm]

g : 重力加速度 (=9.80665) [m/s²]

○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							
1/2Ss450での発生応力(MPa)	14	14	14	14	14	14	14	14
④許容応力(MPa)	153	153	153	153	153	153	153	153

※1: 最も応答比が大きい2階の値を使用した。

10. 主要給気管(鋼管)の応力評価

○評価方法

対象の主要給気管は、クラス4配管の規定を準用する。

JEAC4601を参考に応力算定式については下式で表される。

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

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

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

S : 発生応力 [MPa]

P : 設計圧力 [MPa]

D₀ : 外径 [mm]

t : 板厚 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

C_h : 水平震度 —

C_v : 鉛直震度 —

L : 支持間隔 [mm]

w : 主要給気管の単位長さ当たりの質量
[kg/mm]

g : 重力加速度 (=9.80665) [m/s²]

○評価結果

配管分類	主要給気管(鋼管)				
	SUS304				
配管材料	SUS304				
配管口径	80A	150A	200A	250A	300A
Sch	20S			10S	
設計圧力(MPa)	0.001			0.0005	
1/2Ss450での発生応力(MPa)	14	14	14	13	13
許容応力(MPa)	153	153	153	153	153

※1: 最も応答比が大きい2階の値を使用した。

11. 主要排気管(ダクト)の支持間隔評価(1/2)

○評価方法

②許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 : L_{R2} ※1

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

○許容座屈曲げモーメント : M

$$M = S \cdot M_t$$

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

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

○設計震度: α

$$\alpha = 1 + \sqrt{C_H^2 + C_H^2 + C_V^2}$$

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/s ²)
α :	設計震度	(-)
S :	許容座屈曲げモーメントの安全係数	0.7
C_H :	水平震度	(-)
C_V :	水平震度	(-)
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	(mm ⁴)
E :	縦弾性係数	(N/mm ²)
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/mm ²)

※1 出典: 共同研究報告書 機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究

11. 主要排気管(ダクト)の支持間隔評価(2/2)

○評価結果

評価部材	主要排気管(ダクト)		
材料	SS400		
設計温度(°C)	60		
寸法(mm)	559.0×559.0	659.0×659.0	φ706.4 ^{※1}
板厚(mm)	4.5	4.5	3.2
①ダクト系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) (設計震度1Gの場合)	57.8	55.3	42.2
③許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔(m) (1/2Ss450の場合)	37.3	35.7	27.2
耐震支持間隔(=Min[①, ②, ③])(m)	6.6	7.1	7.0

※1: 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。

12. まとめ

第2棟の機器・配管系について、1/2Ss450に対する耐震性評価を行った。

○JEAC4601を参考にした評価式による1/2Ss450に対する耐震性評価を行った。

- ・一例として鉄セル遮へい体の評価の詳細を示し、発生応力が許容応力を下回ることを確認した。
- ・その他の機器・配管系についても1/2Ss450に対する耐震性評価を行い、すべての設備に対して耐震性を有していることを確認した。

別紙1 コンクリートセル貫通部について(1/2)

追加説明

コンクリートセルの貫通部の一覧を以下に示す。

バウンダリの取り方	開口部名称	開口寸法(mm)*1	主要材質	地震時の影響	火災時の影響	負圧維持
設備本体 (次ページ図1)	遮へい窓	W1360×H1360 ×1基	ガラス・鉄・ステンレス・アクリル	設備はコンクリートセル壁に埋め込まれており、さらに固定しているため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。	バウンダリの構成部材には、不燃性又は難燃性の部材を使用するため、火災発生時においても、閉じ込め機能は維持される。	地震時及び火災時においても、閉じ込め機能は維持されるため、負圧維持については問題ない。
	背面遮へい扉	W800×H2000	鉄・ポリエチレン			
セル内の気密ボックス (次ページ図2)	電線管(コンジット管)	φ53.5(50A.S20) ×5本	鉄・ステンレス・樹脂	気密ボックス及びコンジット管は、コンクリートの壁に固定又は埋め込まれ、壁に追従して動くため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	γ線モニタ(コンジット管)	φ28(25A.S20)	ステンレス			
	プラグ類(インセルモニタ等)	最大φ400×3	鉄・コンクリート			
計器本体 (次ページ図3)	差圧導管	φ14.3(10A.S20) ×2本	ステンレス	計器は、コンクリートの壁に固定又は埋め込まれ、壁に追従して動くため、地震発生時においても、セル壁と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	温度計(案内管)	φ7.5(6A.S20)	ステンレス			
その他	給気配管(スクリューダクト)	φ398	ステンレス	配管等は、コンクリートの壁に埋め込まれ、壁等に追従して動くため、地震発生時においても、壁等と一体で揺れるため、脱落することはない。		
	排気配管(スクリューダクト)	φ248	ステンレス			
	消火設備配管	φ22.2(20A.S20) ×2本	ステンレス			
	トポガン(シームレス管)	φ155.2(150A.S20)	ステンレス			
	マニプレータ(スルーウォールチューブ)	φ279.4 ×2本	鉄・鉛・ステンレス			
	ポート類(非破壊検査装置用、天井、ダブルカバー)	φ409.6(450A.S80) ×3	鉄・ステンレス・ポリエチレン			

*1 現在想定しているもので最大寸法を記載

別紙1 コンクリートセル貫通部について(2/2)

追加説明

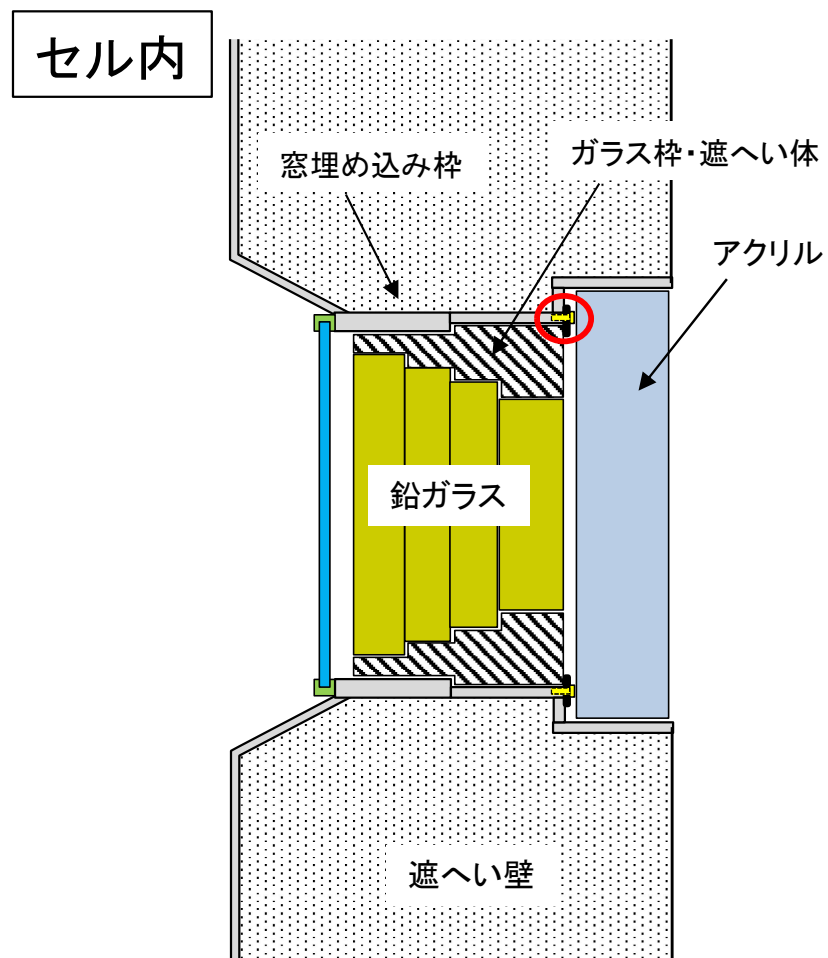


図1 設備本体(遮へい窓の例)

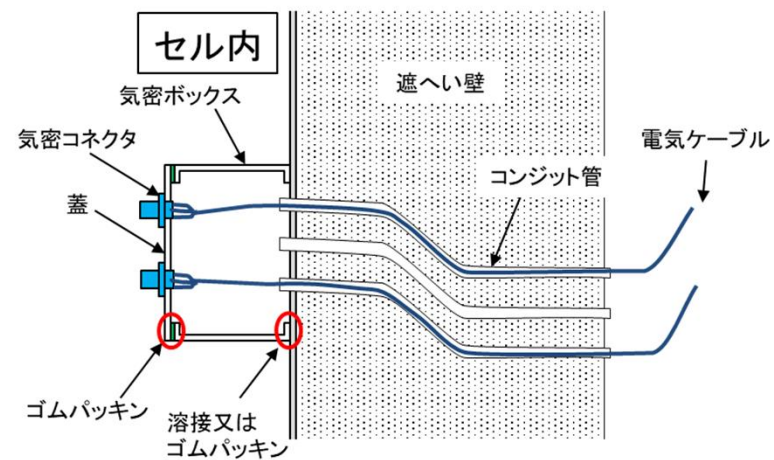


図2 気密ボックス(電線管の例)

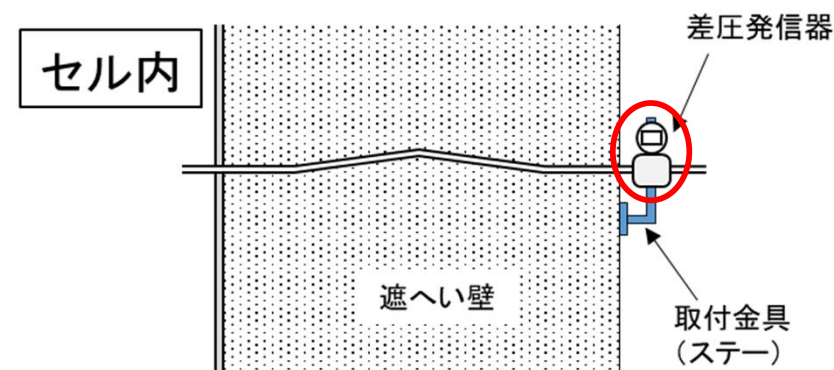


図3 計器本体(差圧導管の例)

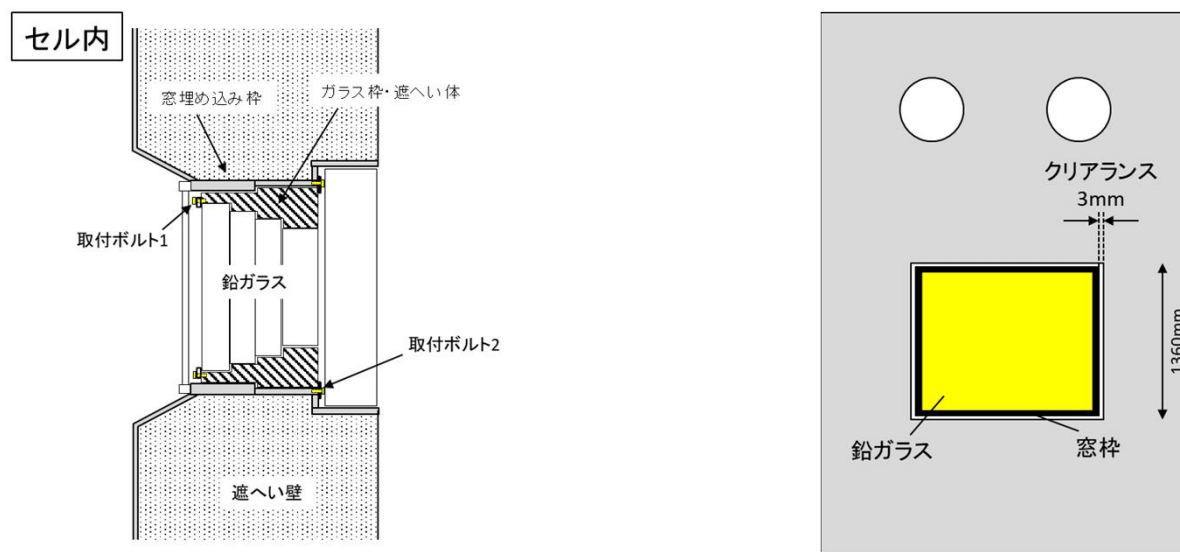
別紙1 (参考)遮へい窓について

追加説明

コンクリートセルの開口のうち、重量物である遮へい窓について、以下の評価を行い健全性を確認した。
評価内容

以下の2つの観点から、Ss900に対するコンクリートセル遮へい窓の健全性を確認する。

- ①コンクリートセル遮へい窓の取付ボルトのSs900に対する耐震性を確認
- ②コンクリートセルがひずんだ場合のコンクリートセル遮へい窓への影響評価



評価結果

- ① 取付ボルト1(鉛ガラスの窓枠への取付用)及び取付ボルト2(鉛ガラス及び窓枠の埋込枠への取付用)のSs900に耐震性評価を行った結果、発生応力が許容応力を下回ったため、地震が発生したとしても遮へい窓は脱落しない。

評価部位	応力種類	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)
取付ボルト1	引張	145	344
取付ボルト2	引張	213	344

- ② コンクリートセル壁が最大せん断ひずみ 1.34×10^{-3} ※までひずませた場合でも、変位量1.9mmは鉛ガラスと埋込枠とのクリアランスの3.0mm以下となり、鉛ガラスには影響がないことを確認した。

※原子力規制庁面談資料, 福島第一原子力発電所における実施計画の変更認可申請(放射性物質分析・研究施設第2棟の設置)に係る面談, 資料2 P.17参照, 2023年1月24日。

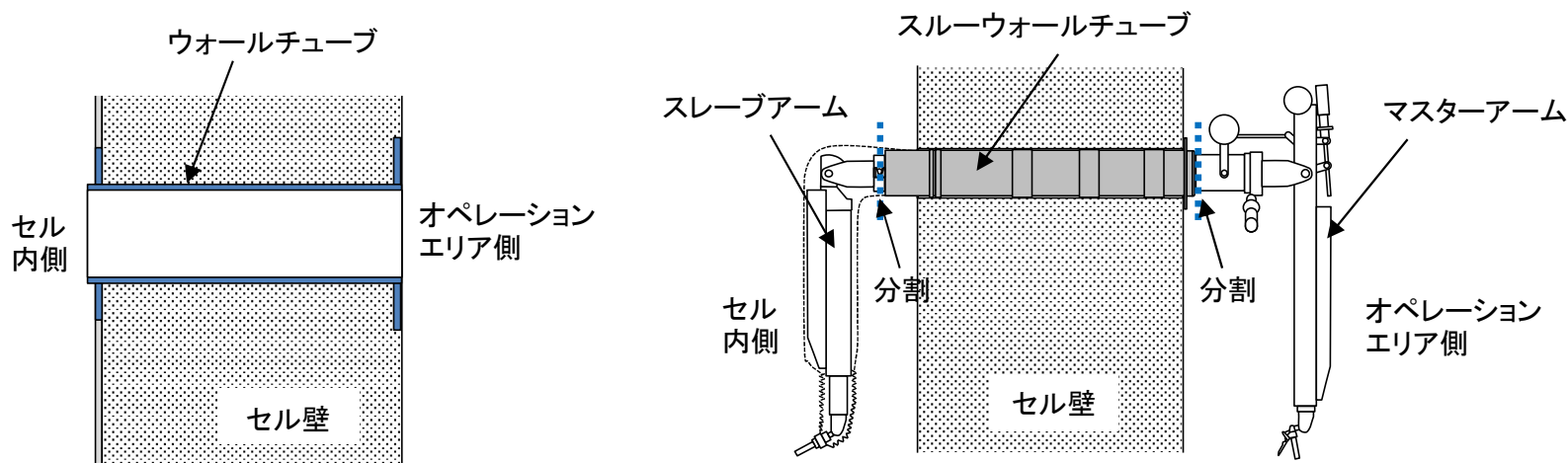
剛構造以外の設備については、コンクリートセル及び鉄セルの附帯設備であるマニプレータがある。以下の観点から問題ないと判断している。

コンクリートセル

コンクリートセルのマニプレータ用ウォールチューブはセル壁内の埋込金物に支持され、セル壁と一体となる。

マニプレータは3分割構造であり、据え付けはスルーウォールチューブをウォールチューブ内に収めて使用できるようにする。

地震によりスレーブアーム、マスターアームが破損したとしても、スルーウォールチューブはセル壁と一体で揺れるので脱落することはない、コンクリートセルのバウンダリは確保される。



鉄セル

公衆の被ばく線量評価に鉄セルの閉じ込め機能は見込んでおらず、地震時に鉄セルのマニプレータが破損しても、耐震クラス分類に影響を与える公衆の被ばく線量の増加はない。

上位クラス設備に対する波及的影響として、コンクリートセルに設置されることが想定される機器(前処理又は分析に使用する装置等)が転倒した場合のセルライニングの健全性評価を行った。

◇評価方法

機器の転倒の想定として、機器の重量を持つ質点が機器の高さから落下したとみなし、そのときのエネルギーすべてがセルライニングに与えられるものとする。機器の位置エネルギーとセルライニングを破損させるために必要なエネルギー(破損限界エネルギー)を比較することにより、セルライニングの健全性を確認する。

機器の位置エネルギーと破損限界エネルギーの算出式は以下のとおり。

・機器の位置エネルギー

$$E_p = mgh$$

・破損限界エネルギー*1

$$E_f = 3.0 \times 10^8 \cdot D_e^{1.5} T^{1.5}$$

$$D_e = D_m$$

凡例

E_f	: 破損限界エネルギー(kgf・m)
D_e	: 相当直径(m)
T	: 鋼板板厚(m)
D_m	: 飛翔体直径(m)
E_p	: 装置の位置エネルギー
m	: 装置の質量(kg)
g	: 重力加速度(m/s ²)
h	: 装置の高さ(m)

*1 飛来物体に対する鋼板の耐衝撃性(第4報, 破損限界エネルギーに対する材質の影響), 日本機械学会論文集(A編)49巻444号, 昭和58年8月.

上記の算出式から、機器の重量(m)及び高さ(h)が大きく、かつ、機器の直径*2 (D_m)が小さい条件が評価上厳しくなる。

*2 各機器の最小面積の円相当直径

◇コンクリートセルで使用を想定している機器

コンクリートセルで使用する主な機器を以下に示す。コンクリートセルで使用する各機器は、それぞれの重量が700kg以下、高さが1.8m以下、直径*2が50mm以上を想定している。

- 蛍光X線分析装置(XRF)
- 切断機
- 電気炉
- 研磨機
- スタンプミル
- ホットプレート 等

*2 各機器の最小面積の円相当直径

◇評価結果

最も保守的な条件として、重量が700kg、高さが1.8m及び直径*2が50mmである機器を仮想的に想定して評価したところ、下記のとおり機器の位置エネルギーが破損限界エネルギーを下回る結果が得られた。このことから、機器の転倒によりセルライニングの破損は生じない。

転倒する仮想的な機器	機器の位置エネルギー(J)	破損限界エネルギー(J)
重量: 700kg 高さ: 1.8m 相当直径: 50mm	1.24×10^4	<div style="background-color: black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> (セルライニング厚 <div style="background-color: black; width: 20px; height: 1em; display: inline-block;"></div> の場合)

◇評価方法

鉄セル遮蔽体を構成する各部材がSs900により破損した場合について、以下の想定で評価を行う。

- 壁部材については、Ss900による1階床面の最大応答加速度でコンクリートセルに衝突するまで加速された際に、壁部材の最も小さい面でコンクリートセルに衝突した場合の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを求める。
- 天井部材については、部材が落下し、天井部材の最も小さい面で床に衝突した場合の貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さを求める。
- それぞれの貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さをコンクリートセルの壁厚又は床厚と比較することにより、コンクリートセル及び床の健全性を確認する。

貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算出式は以下のとおり。

・貫通限界厚さ*1,2

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{X_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$X_c = \alpha_c \sqrt{4kWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}$$

$$k = \frac{180}{\sqrt{F_c}}$$

低減係数は、剛飛来物=1.0, 柔飛来物=0.65

形状係数は、剛飛来物=1.14, 柔飛来物=0.72

・裏面剥離限界厚さ*3

$$t_s = \frac{1.84 \alpha_s \left(\frac{200}{V} \right)^{0.13} (MV^2)^{0.4}}{\left(\frac{D}{12} \right)^{0.2} (144 F_c)^{0.4}}$$

⇒低減係数=1.0とした。

⇒形状係数=1.14とした。

凡例

t_p :	貫通限界厚さ(in)
α_c :	貫入深さ飛来物低減係数(-)
X_c :	貫入深さ(in)
N :	形状係数(-)
F_c :	コンクリート強度(psi)
α_p :	貫通限界厚さ低減係数(-)
D :	飛来物直径(in)
W :	飛来物重量(lb)
V :	衝突速度(ft/s)
t_s :	裏面剥離限界厚さ(ft)
g :	重力加速度(ft/s ²)
α_s :	裏面剥離限界厚さ低減係数(-)
M :	質量(lb/(ft/s ²))

*1 R. P. Kennedy, "A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects", Nuclear Engineering and Design, 37, (1976).

*2 P. P. Degen, "Perforation of reinforced concrete slabs by rigid missiles", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, vol.106, No.ST7, (1980).

*3 W. S. Chang, "Impact of solid missiles on concrete barriers", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, Vol.107, No.ST2, (1981).

◇鉄セル遮蔽体の各部材の重量、寸法について

鉄セル遮蔽体は右図に示す部材で構成されている。

- 壁①～⑦

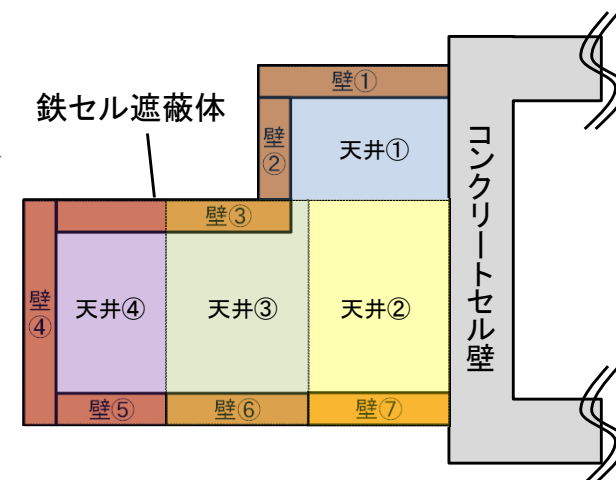
→ 壁③が最大寸法であり、コンクリートセル壁衝突時の影響が最大

部材No.	重量(t)	寸法W(m)	寸法D(m)	寸法H(m)	衝突距離(m)
壁③	16.5	3.0	0.24	2.9	5.3

- 天井①～④(天井②～④は同寸法)

→ 天井②が最大寸法であり、床落下時の影響が最大

部材No.	重量(t)	寸法W(m)	寸法D(m)	寸法H(m)	落下距離(m)
天井②	8.6	1.8	2.6	0.24	3.0



鉄セル遮蔽体平面図

◇評価結果

衝突時の影響が最も大きい部材に対し、貫通限界厚さ及び裏面剝離限界厚さ求め、コンクリートセルの壁厚及び床厚と比較した結果、コンクリートセルの壁厚及び床厚の方が大きいことから、貫通及び裏面剝離は発生しない。

部材No.	貫通限界厚さ(m)	裏面剝離限界厚さ(m)	コンクリート厚(m)
壁③	0.30	0.61	■
天井②	0.20	0.42	0.6(床厚)