

【公開版】

再処理事業所 MOX燃料加工施設

MOX燃料加工施設における
重大事故等対処の成立性について

令和4年4月15日



日本原燃株式会社

重大事故等対処に必要な機能を確認するための要求，設計方針

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

<遠隔消火装置>

- E) 手動操作弁
- F) 起動用配管（リリーフ弁含む）
- G) 消火ガスボンベ（容器弁含む）
- H) 消火配管
- I) 遠隔消火装置の盤（内的事象の際に使用）
- J) アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）
- C) 重大事故の発生を仮定するグローブボックス

—

構成：消火系統として、消火ガスボンベ（容器弁含む）を地下3階廊下に設置、消火ガスボンベ（容器弁含む）から重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災源近傍まで消火配管を敷設する。起動用の系統として、地上1階に起動用の手動操作弁を設置し、手動操作弁から消火ガスボンベ（容器弁含む）まで起動用配管（リリーフ弁含む）を敷設する。また、内的事象で使う機器として、遠隔消火装置を起動できる盤を設置する。

【重大事故等対処に必要な機能】

②-1 火災の消火機能：想定される火災の消火に必要な消火ガス量を有し、消火できること(1/2)

関係する機器等	考慮する状態	考慮すべき条件	機能を確認するための要求	要求を踏まえた設計方針
・消火ガスボンベ（容器弁含む） ・消火配管 ・重大事故の発生を仮定するグローブボックス	機能喪失しない	火災	<ul style="list-style-type: none"> ・ 火災の熱影響により火災の消火機能が機能喪失しないこと ・ 火災による体積膨張の圧力上昇により、火災の消火機能が機能喪失しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火配管は、火災による熱影響による温度により火災の消火機能を損なわない構造、材料とすること ・ 消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台、グローブボックスのフレームは、火災による熱影響による温度、圧力により支持機能を損なわない構造、材料とすること ・ 消火ガスボンベ（容器弁含む）は、火災による熱影響を受けられないよう工程室の外に設置すること ・ 消火配管は、火災による体積膨張の圧力上昇により火災の消火機能を損なわない構造、材料とすること ・ 消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台、グローブボックスのフレームは、火災による体積膨張の圧力上昇により支持機能を損なわない構造、材料とすること
		溢水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 溢水により、消火機能が機能喪失しないこと ・ 消火ガスボンベの容器弁が溢水により、弁の作動に影響を及ぼさないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火配管、消火ガスボンベの容器は、静的機器にて構成すること ・ 消火ガスボンベの容器弁の溢水機能喪失高さが、想定される溢水高さ以上になるよう設置すること
		環境条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定される重大事故時のグローブボックス内、建屋内の環境条件（温度、圧力等）にて機能喪失しないこと ・ 消火配管のノズルの消火範囲が火災源から外れないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定される環境条件（温度、圧力、放射線）に耐えられる材料、構造であること ・ 消火配管のノズルは、消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台に固定し、落下等により消火範囲が外れないこと

重大事故等対処に必要な機能を確認するための要求，設計方針

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

<遠隔消火装置>

- E) 手動操作弁
- F) 起動用配管（リリーフ弁含む）
- G) 消火ガスボンベ（容器弁含む）
- H) 消火配管
- I) 遠隔消火装置の盤（内的事象の際に使用）
- J) アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）
- C) 重大事故の発生を仮定するグローブボックス

—

構成：消火系統として、消火ガスボンベ（容器弁含む）を地下3階廊下に設置、消火ガスボンベ（容器弁含む）から重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災源近傍まで消火配管を敷設する。起動用の系統として、地上1階に起動用の手動操作弁を設置し、手動操作弁から消火ガスボンベ（容器弁含む）まで起動用配管（リリーフ弁含む）を敷設する。また、内的事象で使う機器として、遠隔消火装置を起動できる盤を設置する。

【重大事故等対処に必要な機能】

②-1 火災の消火機能：想定される火災の消火に必要な消火ガス量を有し、消火できること（2/2）

関係する機器等	考慮する状態	考慮すべき条件	機能を確認するための要求	要求を踏まえた設計方針
<ul style="list-style-type: none"> ・消火ガスボンベ（容器弁含む） ・消火配管 ・重大事故の発生を仮定するグローブボックス 	破損しない	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震の振動、燃料加工建屋の相対変位により、消火配管が損傷し、消火ガスの流路に目詰まり、漏えい経路が生じないこと。 ・ 地震の振動、燃料加工建屋の相対変位により、消火ガスボンベが損傷、転倒により消火ガスが漏えいや消火ガス放出ができなくなることはないこと。地震発生後に消火ガスボンベ（容器弁含む）が起動可能であること ・ 地震の振動により、消火ガスボンベ（容器弁含む）が誤作動しないこと、 ・ 地震による振動、燃料加工建屋の相対変位により、グローブボックスが転倒しないこと ・ 地震による振動、燃料加工建屋の相対変位により、消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台、グローブボックスのフレームが破損して、消火配管が支持できなくなることはないこと ・ グローブボックスの内装機器の落下、転倒により消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台、グローブボックスのフレームが損傷しないこと ・ 周辺の下位クラスの機器等の落下、転倒により消火配管、消火ガスボンベ（容器弁含む）、グローブボックスのフレームが損傷しないこと、変形により閉塞させないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震動による応力、地震による相対変位により消火ガスボンベ（容器弁含む）が変形、破損しないこと。 ・ 地震動による応力、燃料加工建屋の相対変位により消火ガスボンベ（容器弁含む）が変形、破損しないこと。また、消火ガスボンベ（容器弁含む）が作動可能なこと ・ 地震動による応力により、消火ガスボンベ（容器弁含む）が誤作動しないこと ・ 地震動による応力、燃料加工建屋の相対変位によりグローブボックスが転倒しないこと ・ 地震動による応力、燃料加工建屋の相対変位により消火配管を支持するグローブボックス内の内装架台、グローブボックスのフレーム破損しないこと ・ グローブボックスの内装機器を支持するグローブボックスの内装架台が変形、損傷しないこと ・ 周辺の下位クラスの機器等が、落下、転倒しないこと

重大事故等対処に必要な機能を確認するための要求，設計方針

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

- <遠隔消火装置>
- E) 手動操作弁
 - F) 起動用配管（リリーフ弁含む）
 - G) 消火ガスボンベ（容器弁含む）
 - H) 消火配管
 - I) 遠隔消火装置の盤（内的事象の際に使用）
 - J) アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）
 - C) 重大事故の発生を仮定するグローブボックス

—

構成：消火系統として、消火ガスボンベ（容器弁含む）を地下3階廊下に設置、消火ガスボンベ（容器弁含む）から重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災源近傍まで消火配管を敷設する。起動用の系統として、地上1階に起動用の手動操作弁を設置し、手動操作弁から消火ガスボンベ（容器弁含む）まで起動用配管（リリーフ弁含む）を敷設する。また、内的事象で使う機器として、遠隔消火装置を起動できる盤を設置する。

【重大事故等対処に必要な機能】

②-2 遠隔起動操作機能：手動操作弁の操作により、起動用配管内の圧力を手動操作弁、リリーフ弁から開放され、消火ガスボンベの容器弁の開放ができること(1/2)

関係する機器等	考慮する状態	考慮すべき条件	機能を確認するための要求	要求を踏まえた設計方針
・手動操作弁 ・起動用配管（リリーフ弁含む） ・消火ガスボンベ（容器弁含む） ・アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）	機能喪失しない	火災	<ul style="list-style-type: none"> 火災により、遠隔起動操作機能が機能喪失しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁含む）は、火災の熱影響で機能を損なわない材料を使用すること 消火ガスボンベ（容器弁含む）は、火災により熱影響を受けないよう工程室の外に設置すること
		溢水	<ul style="list-style-type: none"> 溢水により、遠隔起動操作機能が機能喪失しないこと 手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁含む）のリリーフ弁、消火ガスボンベ（容器弁含む）の容器弁が溢水により、弁の作動に影響を及ぼさないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 起動用配管、消火ガスボンベ（容器弁含む）の容器、手動操作弁は、静的機器にて構成すること 手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁含む）のリリーフ弁、消火ガスボンベ（容器弁含む）の容器弁の溢水機能喪失高さが想定される溢水高さ以上になるよう設置すること
	環境条件	<ul style="list-style-type: none"> 想定される重大事故時の建屋内の環境条件（温度、圧力等）にて機能喪失しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 想定される環境条件（温度、圧力、放射線）に耐えられる材料、構造であること 	

重大事故等対処に必要な機能を確認するための要求，設計方針

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

<遠隔消火装置>

- E) 手動操作弁
- F) 起動用配管（リリーフ弁含む）
- G) 消火ガスポンペ（容器弁含む）
- H) 消火配管
- I) 遠隔消火装置の盤（内的事象の際に使用）
- J) アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）
- C) 重大事故の発生を仮定するグローブボックス

—

構成：消火系統として、消火ガスポンペ（容器弁含む）を地下3階廊下に設置、消火ガスポンペ（容器弁含む）から重大事故の発生を仮定するグローブボックス内の火災源近傍まで消火配管を敷設する。起動用の系統として、地上1階に起動用の手動操作弁を設置し、手動操作弁から消火ガスポンペ（容器弁含む）まで起動用配管（リリーフ弁含む）を敷設する。また、内的事象で使う機器として、遠隔消火装置を起動できる盤を設置する。

【重大事故等対処に必要な機能】

②-2 遠隔起動操作機能：手動操作弁の操作により、起動用配管内のガスが手動操作弁、リリーフ弁から放出され、消火ガスポンペの容器弁の開放ができること(2/2)

関係する機器等	考慮する状態	考慮すべき条件	機能を確認するための要求	要求を踏まえた設計方針
・手動操作弁 ・起動用配管（リリーフ弁含む） ・消火ガスポンペ（容器弁含む） ・アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）	破損しない	地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震の振動、燃料加工建屋の相対変位により、手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁含む）、消火ガスポンペ（容器弁含む）が変形、損傷し、配管内に充填した起動用のガスが漏えいしないこと、目詰まりしないこと、地震発生後、手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁）、消火ガスポンペ（容器弁含む）が作動可能であること ・ 地震の振動により、手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁）、消火ガスポンペ（容器弁含む）が誤作動しないこと。 ・ 周辺の下位クラスの落下、転倒により消火配管等が損傷しないこと、変形により閉塞させないこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震動による応力、地震による相対変位により起動用配管、消火ガスポンペ（容器弁含む）、手動操作弁が損傷、破損しないこと、手動操作弁、リリーフ弁、消火ガスポンペ（容器弁含む）が作動可能なこと ・ 地震動による応力により、手動操作弁、起動用配管（リリーフ弁）、消火ガスポンペ（容器弁含む）が誤作動しないこと ・ 周辺の下位クラスの機器等が、落下、転倒しないこと
	操作できる	環境条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人が作業できる環境であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 想定される重大事故の環境条件（温度、線量等）、火災、溢水において、人がアクセス可能であること
		地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ 壁等が損壊し、アクセスができなくなるしないこと ・ 温度を確認するためのスペースを確保できること 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料加工建屋の天井、床、壁が地震により損壊しないこと

重大事故等対処に必要な設備の要求を踏まえた耐震設計上の要求事項

②グローブボックス内で発生した火災の消火

・「重大事故等対処に必要な機能を確認するための要求，設計方針」において取りまとめた設計方針から，耐震設計に係る要求事項を整理する。

グローブボックス内で発生した火災の消火に係る重大事故等対処設備における機能を果たすために，耐震設計において考慮すべき要求事項を抽出するとともに，機器側の設備設計で対応すべき項目と，建屋側の耐震設計で対応すべき項目とに分類した。

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②-1 火災の消火機能：想定される火災の消火ができる消火ガスを有し，消火できること

②-2 遠隔起動操作機能：手動操作弁の操作により，起動用配管内のガスが手動操作弁、リリーフ弁から放出され，消火ガスボンベの容器弁の開放ができること

関連する機器等	考慮する状態	要求を踏まえた設計方針	機器に係る耐震設計	建物への設計要求
E) 手動操作弁	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位により手動操作弁が変形、破損しないこと。また、手動操作弁が作動可能なこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、手動操作弁が変形、破損しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、手動操作弁が変形、損傷しない構造であり、地震発生後に手動操作弁が操作できること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、手動操作弁の支持部が変形、脱落しない設計であること 	○ 支持部に係る設計
			<ul style="list-style-type: none"> 地震による燃料加工建屋の相対変位において、手動操作弁が変位に追従できる設計であること 	— (機器設計にて考慮)
F) 起動用配管（リリーフ弁含む）	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位により起動用配管（リリーフ弁含む）が変形、破損しないこと。また、起動用配管（リリーフ弁含む）が作動可能なこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、起動用配管（リリーフ弁含む）が変形、破損しない構造であること。リリーフ弁が地震発生後、作動できること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、起動用配管（リリーフ弁含む）と天井、床、壁の支持部が変形、脱落しない構造とする。 	○ 支持部に係る設計
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位を要因とする燃料加工建屋の変形において、起動用配管（リリーフ弁含む）が変位に追従できる設計であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、起動用配管のリリーフ弁が変形、損傷しない構造であり、地震発生後に手動操作弁が操作できること 	— (機器設計にて考慮)
		<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、起動用配管（リリーフ弁）が誤作動しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、起動用配管（リリーフ弁）のリリーフ弁誤作動しないこと 	— (機器設計にて考慮)

重大事故等対処に必要な設備の要求を踏まえた耐震設計上の要求事項

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②-1 火災の消火機能：想定される火災の消火ができる消火ガスを有し、消火できること

②-2 遠隔起動操作機能：手動操作弁の操作により、起動用配管内のガスが手動操作弁、リリース弁から放出され、消火ガスポンベの容器弁の開放ができること

関連する機器等	考慮する状態	要求を踏まえた設計方針	機器に係る耐震設計	建物への設計要求
G) 消火ガスポンベ（容器弁含む）	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、燃料加工建屋の相対変位により消火ガスポンベ（容器弁含む）が変形、破損しないこと。また、消火ガスポンベ（容器弁含む）の作動が可能なこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、消火ガスポンベ（容器弁含む）が変形、破損しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、消火ガスポンベ（容器弁含む）が変形、破損しない構造であり、地震発生後に容器弁が作動できること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、消火ガスポンベ（容器弁含む）を設置しているキャビネットが転倒しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 消火ガスポンベ（容器弁含む）を設置しているキャビネットの床の支持部が変形、脱落しない構造であること 	○ 支持部に係る設計
			<ul style="list-style-type: none"> 地震による燃料加工建屋の相対変位において、消火ガスポンベ（容器弁含む）が変位に追従できる設計であること 	— (機器設計にて考慮)
H) 消火配管	機能喪失しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位により、グローブボックス内の消火配管及びグローブボックスの内装架台が変形、破損しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、グローブボックス内の消火配管及びグローブボックス内の内装架台の固定部が変形、脱落しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、消火配管が変形、破損しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、消火配管の天井、床、壁の支持部が変形、脱落しない構造であること 	○ 支持部に係る設計
	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位燃料加工建屋の相対変位により消火配管が変形、破損しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震による燃料加工建屋の相対変位において、消火配管が変位に追従できる設計であること 	— (機器設計にて考慮)

重大事故等対処に必要な設備の要求を踏まえた耐震設計上の要求事項

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②グローブボックス内で発生した火災の消火

②-1 火災の消火機能：想定される火災の消火ができる消火ガスを有し、消火できること

②-2 遠隔起動操作機能：手動操作弁の操作により、起動用配管内のガスが手動操作弁、リリース弁から放出され、消火ガスボンベの容器弁の開放ができること

関連する機器等	考慮する状態	要求を踏まえた設計方針	機器に係る耐震設計	建物への設計要求
C) 重大事故の発生を仮定するグローブボックス	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力、地震による相対変位によりグローブボックスが転倒しないこと 地震動による応力、地震による相対変位により、グローブボックス内の消火配管及びグローブボックスの内装架台が変形、破損しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力によりグローブボックスのフレームが変形、破損しないこと 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、グローブボックス内の消火配管及びグローブボックス内の内装架台の固定部が変形、脱落しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、グローブボックスの天井、床、壁の支持部が変形、脱落しない構造であること 	○ 支持部に係る設計
			<ul style="list-style-type: none"> 地震による燃料加工建屋の相対変位において、グローブボックスが変位に追従できる設計であること 	— (機器設計にて考慮)
J) アクセスルート（中央監視室から中央監視室近傍：燃料加工建屋）	操作できる	<ul style="list-style-type: none"> 燃料加工建屋の天井、床、壁が地震により損壊しないこと 	—	○ 建屋構造に係る設計
			—	—
周辺の下位クラスの機器等	破損しない	<ul style="list-style-type: none"> 周辺の下位クラスの機器等が、落下、転倒しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 地震動による応力により、周辺の下位クラスの機器等が損傷し、落下、転倒しない構造であること 	— (機器設計にて考慮)
			<ul style="list-style-type: none"> 周辺の下位クラスの機器等の天井、床、壁の支持部が変形、脱落しない構造であること 	○ 支持部に係る設計

重大事故等への対処手順と設備の配置から建屋の設計要件への展開（代表例）

② グローブボックス内で発生した火災の消火

グローブボックス内で発生した火災の消火を代表例とした展開事項

系統の概略図 	地下3階 工程室 グローブボックス		遠隔消火装置 消火配管	遠隔消火装置 消火ポンベ (容器弁含む)	遠隔消火装置 起動用配管 (リリーフ弁含む)	地上1階 中央監視室近傍 遠隔消火装置 手動操作弁
	※中央監視室内から近傍の手動操作弁へのアクセスルート					
建屋での支持部位	天井・床・壁	天井・床・壁	床	天井・床・壁 (貫通部あり)	天井・床・壁	
支持方法	<ul style="list-style-type: none"> 埋込金物とサポートにより建物と固定 	<ul style="list-style-type: none"> 埋込金物とサポートにより建物と固定 サポート毎の間隔は2200mm程度 	<ul style="list-style-type: none"> 埋込金物とサポートにより建物と固定 	<ul style="list-style-type: none"> 埋込金物とサポートにより建物と固定 サポート毎の間隔は2300～3000mm程度 リリーフ弁は配管とフランジにて接続 	<ul style="list-style-type: none"> 手動操作弁は配管とフランジにて接続 	
設備の要件	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れて大きく位置がずれないこと【①】 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れて大きく位置がずれないこと【①】 流路が確保されること【②】 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れて大きく位置がずれないこと【①】 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れて大きく位置がずれないこと【①】 流路が確保されること【②】 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れて大きく位置がずれないこと【①】 アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じて、安全なアクセスルートを確保できること【③】 	
建屋の要件	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れるような大変形にならないこと 支持部周辺のコンクリートが失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れるような大変形にならないこと 支持部周辺のコンクリートが失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れるような大変形にならないこと 支持部周辺のコンクリートが失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れるような大変形にならないこと 支持部周辺のコンクリートが失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 固定が外れるような大変形にならないこと 支持部周辺のコンクリートが失われないこと 建屋が一定程度変形したとしても、床の崩落や壁の倒壊に至らず、安全なアクセス空間が確保できるようにする 	

重大事故等への対処手順と設備の配置から建屋の設計要件への展開

建屋に求められる要件の整理

- グローブボックス内で発生した火災を消火するための設備を例として、重大事故等への対処における各手順が成立するために各設備に求められる要件をまとめると、以下のとおり。
 - ① 固定が外れて大きく位置がずれたり、脱落したりしないこと
 - ② 配管やダクトが破断せずに、各設備を接続し、内部流体の流路を確保できること
 - ③ アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じて、安全なアクセスルートを確保できること
- 上記の各設備に求められる要件を確保するために建屋に求められる要件をまとめると、以下のとおり。
 - ① 固定が外れるような大変形にならないこと、支持部周辺のコンクリートが完全に失われないこと
 - ⇒ **建屋が一定程度変形したとしても、支持部の定着が完全に失われて各設備が脱落しないようにする**
 - ② 建屋変形によるサポート間の相対変位が大きくなって配管やダクトが破断しないこと
 - ⇒ **建屋が一定程度変形してサポート間に相対変位が生じたとしても、配管やダクトがそれに追従するようにする**
 - ③ アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じて、安全なアクセスルートを確保できること
 - ⇒ **建屋が一定程度変形したとしても、床の崩落や壁の倒壊に至らず、安全なアクセス空間が確保できるようにする**

建屋の設計要件から建屋の設計クライテリアへの展開

(1) 耐震壁について

前ページで概括した建屋に求められる要件①～③について、建屋の部位ごとにクライテリアの考え方を整理する。

要件① 固定が外れるような大変形にならないこと、支持部周辺のコンクリートが完全に失われないこと

要件② 建屋変形によるサポート間の相対変位が大きくなって配管やダクトが断線・破断しないこと

要件③ アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じても、安全なアクセスルートを確保できること

(1) 耐震壁について

- 仮に耐震壁が終局状態（4000 μ ）まで変形したとしても、以下のとおり、要件①は満足される。
 - 壁としては、既往知見より大規模なコンクリートの剥落が発生しないと考えられ、さらに、発生応力が集中しひび割れが多く入ると考えられる部位については補強筋を配してひび割れを制御している。【参考1】
 - 設備としては、地震による応力に対して裕度が確保されていることから、アンカーの固定が外れることはなく、アンカー周辺のコンクリートが完全に失われることはない。【参考2】
- 仮に耐震壁が終局状態（4000 μ ）まで変形したとしても、設備としては、サポート間の相対変位に対し、配管やダクトは追従可能であるため、要件②は満足される。【参考2】
- 仮に耐震壁が終局状態（4000 μ ）まで変形したとしても、壁としては、既往知見より大規模なコンクリートの剥落が発生しないと考えられ、さらに、発生応力が集中しひび割れが集中すると考えられる部位については補強筋を配していることから、建屋の損傷によって安全なアクセスを阻害することはないため、要件③も満足される。【参考1】

建屋の設計要件から建屋の設計クライテリアへの展開

(2) 耐震壁以外の壁について

要件① 固定が外れるような大変形にならないこと、支持部周辺のコンクリートが完全に失われないこと

要件② 建屋変形によるサポート間の相対変位が大きくなって配管やダクトが断線・破断しないこと

要件③ アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じても、安全なアクセスルートを確保できること

(2) 耐震壁以外の壁について

- 耐震壁以外の壁は、壁厚や配筋は耐震壁と同等であること、層の変形に追従可能な構造となっており耐震壁と同じ変形に収まること、応力が集中しひび割れが多く入ると考えられる部位については耐震壁と同様に補強筋を配していることから、耐震壁と同様の変形・ひび割れの状態を考慮することができるため、終局状態（4000 μ ）まで変形したとしても要件①～③を満足することができる。【参考3】

建屋の設計要件から建屋の設計クライテリアへの展開

(3) 床スラブについて

要件① 固定が外れるような大変形にならないこと、支持部周辺のコンクリートが完全に失われないこと

要件② 建屋変形によるサポート間の相対変位が大きくなって配管やダクトが断線・破断しないこと

要件③ アクセスルートを構成する床及び壁の損傷が生じても、安全なアクセスルートを確保できること

(3) 床スラブについて

- 各階の床スラブは、上下階の壁によって密に拘束されており、耐震壁と比べて地震力に対して大変形が起きにくい構造となっていることから、仮に耐震壁が終局状態（4000 μ ）に達していたとしても、床スラブは耐震壁の終局状態と同等の状態まで損傷することはないため、要件①～③を満足することができる。
- また、建屋の設計は、1軸質点系モデルを用いることから、剛床仮定が成り立つこと、すなわち床は概ね弾性範囲内に留まっていることが必要であり、これを確認することで、要件①～③を十分に満足を確認できる。【参考4】

建屋の設計クライテリアのまとめ

- 前ページまでの整理を踏まえ、建屋の設計の考え方をまとめると、以下のとおり。

【耐震壁及び耐震壁以外の壁】

- 仮に壁が終局状態まで変形したとしても要件①～③は満足されるが余裕を確保するため、Sクラス相当のクライテリアである層間変形 2000μ 程度に収めることとし、一部でそれを超える場合は、個別に評価の上、終局状態に対し十分余裕があることを確認することで、要件①～③に対しては十分余裕をもって満足できる。
- 層間変形の確認にあたっては、耐震壁のみから求めた建屋の変形量と同じ変位量を、耐震壁以外の壁にも負担させているが、実際の建屋においては、耐震壁以外の壁も剛性を有しており、本条件よりも変形量としては小さくなることから、設計として保守性を有している。

【床スラブ】

- 床スラブは耐震壁と比べて地震力に対して大変形が起きにくい構造となっていること、1軸質点系モデルを用いる上での剛床仮定の成立性として概ね弾性範囲内に留まっていることを確認していることから、要件①～③に対しては十分余裕をもって満足できる。

- 以上を踏まえ、建屋の設計にあたっては、以下の確認を行う。

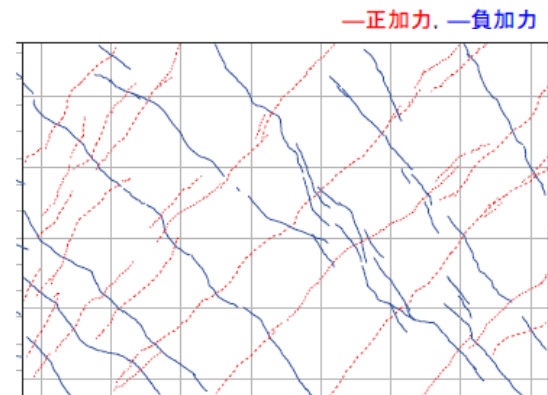
【建屋の設計における確認事項】

- 耐震壁及び耐震壁以外の壁は、Sクラス相当の設計クライテリア（ 2000μ 程度）に収め、それを超える部位については個別に評価し、終局状態に対し十分余裕があることを確認する。
- 設計の前提条件として、床スラブについては、概ね弾性範囲内に留まっていることを確認する。

【参考1】アンカー定着の維持の根拠

■ 終局状態時における壁のひび割れに関する知見

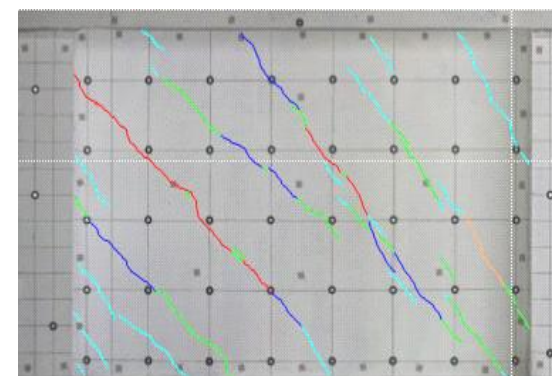
- 既往知見として、4辺を拘束されたRC壁のせん断加力試験が行われており、終局状態（4000 μ ）におけるひび割れ状況が確認されている。試験結果における4000 μ 時のひび割れの状況としては、以下のとおり。
- 概ね鉄筋のスパンに応じてひび割れも発生しており、特定の箇所にて集中的にひび割れが生じる傾向はみられない。
- 終局状態に相当する4000 μ の状態においても、大規模なコンクリートの剥落は発生していない。



ひび割れ状況図

■ 実際の壁における応力集中部位について

- 実際の壁においては、必ずしも4辺が拘束されていない、もしくは扉や貫通孔といった開口部が存在していることから、壁端部及び開口部周辺に面内応力が集中し、ひび割れが集中して発生する可能性がある。
- ただし、これらの部位においては、端部補強筋や開口補強筋を配し、ひび割れを抑制する設計としている。

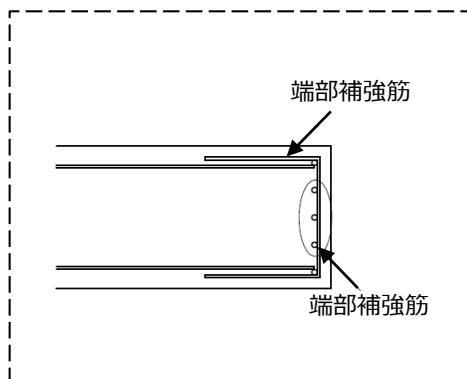


試験体写真 (荷重ピーク時)

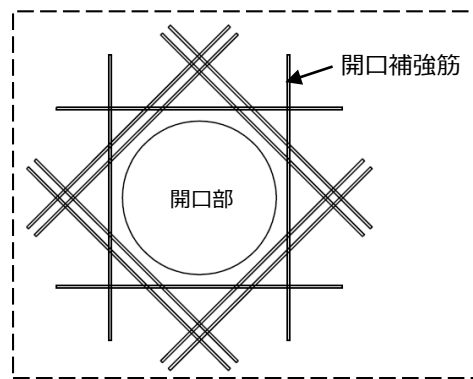


既往試験※におけるせん断ひずみ4000 μ 時の壁のひび割れ発生状況

※：「地震時のRC躯体のひび割れ評価に関する検討 その3 実構造物を模擬した耐震壁のせん断加力試験」及び「同 その4 せん断加力試験結果の考察」（2020年日本建築学会梗概集）より抜粋



端部補強筋の例



開口補強筋の例

【参考2（1/3）】 サポート間の相対変位に対する追従性の根拠

■ 配管・ダクト等における相対変位に対する追従性について

建屋内の面内せん断ひずみに起因して生じるサポート間の相対変位に対する配管・ダクト等の追従性について考察する。

なお、配管・ダクト等のサポートは地震力に対して十分な裕度を有しており、脱落することは考え難い。

万が一、サポートが数点脱落した場合における配管・ダクト等の追従性についても考察する。

1. サポートが脱落していない状態での相対変位における配管・ダクト等の追従性

燃料加工建屋が2000 μ の面内せん断ひずみが生じた場合におけるサポート間の相対変位により配管・ダクトへの発生応力は、配管・ダクトの許容応力に比べて小さく、配管・ダクト等は破損することはない。

また、許容応力に対して十分な裕度を有しており、燃料加工建屋が4000 μ の面内せん断ひずみが生じた場合においても、配管・ダクト等が破損することはない。

<参考> せん断ひずみ2000 μ 発生時の定ピッチ配管の試算結果（抜粋）

配管仕様	二次応力	一次+二次応力	許容応力	裕度
80A Sch20S / SUS / 気体 / 保温無 / 350℃	18MPa	182MPa (一次:164、二次:18)	248MPa	1.36

【参考2 (2/3)】 サポート間の相対変位に対する追従性の根拠

2. サポートが数点脱落した状態における相対変位における配管・ダクト等の追従性

配管・ダクト等のサポートが数点脱落した場合におけるサポート間の相対変位により発生する応力は、配管長が長くなることにより、相対変位により発生するサポートへ発生する二次応力が低減されることから、1.項に発生する二次応力に比べ小さくなる。

また、配管・ダクト等を支えていたサポートが数点脱落することにより、配管・ダクト等の自重により発生する応力が大きくなることから、サポートが数点脱落した状態における配管・ダクト等の自重による影響について確認する。

【ケース1】 水平配管において、サポートが2か所脱落したケース

<検討条件>

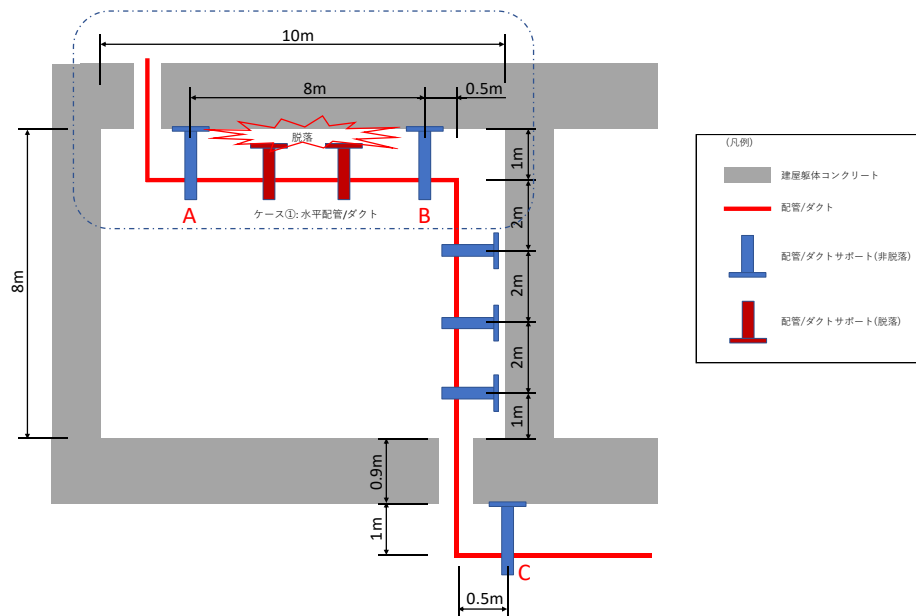
・ 配管仕様: SUS / 50A / Sch20S / 保温無し

L0(直管部標準支持間隔): 4.7m

単位長さ当たり重量: 5.0kg/m

・ サポートは1か所あたり埋込金物込み、15kgと設定

・ 配管の自重応力(脱落サポート重量含む)が許容値以内であること、サポートA/Bに対する反力が設計反力を超えないことを確認する。



<配管本体>

<サポート>

評価部位	A~Bサポート間 支持間隔 [m]	自重応力	許容応力	裕度	評価部位	設計用 反力 (1サポートあ たり)	脱落後の反力(配管 及びサポート重量 (1サポートあたり))	裕度
配管	8.0m	99MPa	192MPa	1.93	配管サポ ート(A,B)	979.5N	589N	1.66

【参考2 (3/3)】 サポート間の相対変位に対する追従性の根拠

2. サポートが数点脱落した状態における相対変位における配管・ダクト等の追従性

【ケース2】鉛直配管において、サポートが3か所脱落したケース

<検討条件>

- 配管仕様: SUS / 50A / Sch20S / 保温無し

L0(直管部標準支持間隔): 4.7m

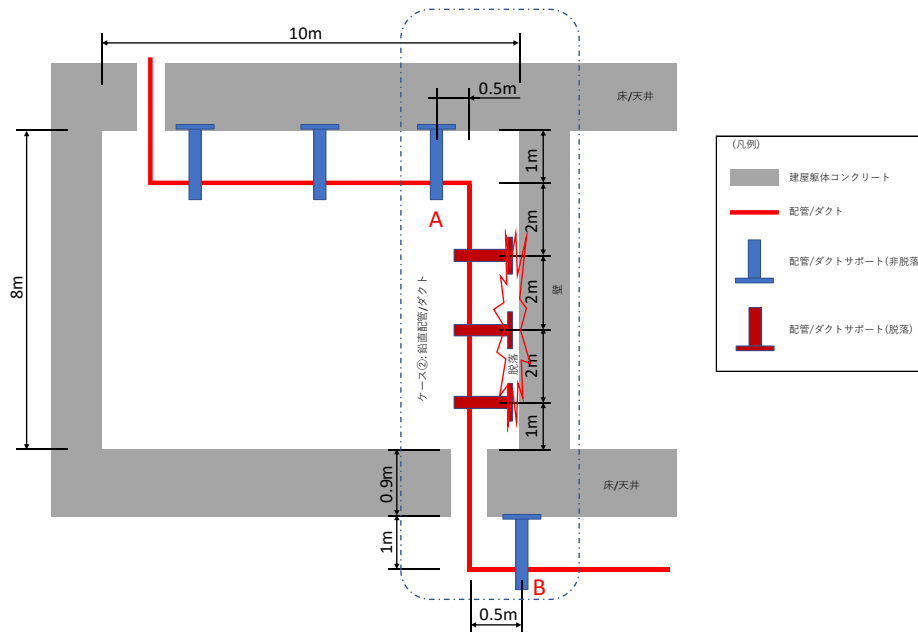
単位長さ当たり重量: 5.0kg/m

- サポートは1か所あたり埋込金物含み、15kgと設定

- 配管の自重応力(脱落サポート重量含む)が許容値以内であること、サポートA/Bに対する反力が設計反力を超えないことを確認する。

<配管本体>

<サポート>



評価部位	<配管本体>				<サポート>			
	A~Bサポート間支持間隔 [m]	自重応力	許容応力	裕度	評価部位	設計用反力 (1サポートあたり)	脱落後の反力(配管及びサポート重量 (1サポートあたり))	裕度
配管	1.0m	22MPa	192MPa	8.72	配管サポート(A,B)	979.5N	769N	1.27

【参考3】 耐震壁以外の壁の設計の考え方について

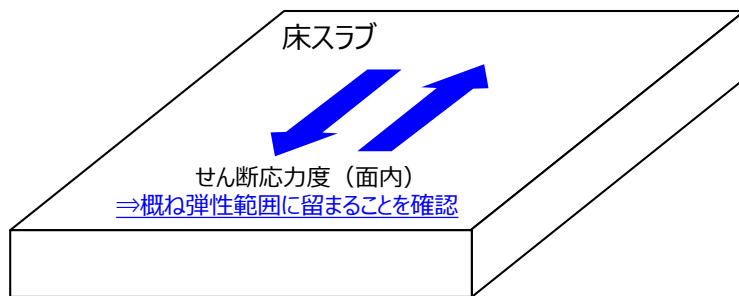
■ 耐震壁以外の壁の設計における考え方

- 耐震壁以外の壁の設計にあたっては、以下に示す耐震壁以外の壁の仕様及び変形追従性に係る定量的な確認結果に基づき、耐震壁と同じ変形・ひび割れの状態を考慮する。
 - 耐震壁以外の壁は、RC造で300mm程度の厚さで剛性の高い設計としており、耐震壁と同等の鉄筋量（0.6%以上）を有している。
 - さらに、上下階の床スラブに鉄筋を定着させていることから、上下階の変形に対して追従可能な構造となっている。
 - 壁端部及び開口部周辺においては、耐震壁と同様に端部補強筋や開口補強筋を配し、ひび割れを抑制している。
 - 定量的な確認として、各層に発生するせん断応力度に対して、耐震壁以外の壁の鉄筋が、破断に対して十分な余裕を有していることを確認することにより、層の変形に追従することが可能であることを確認する。
 - 定量的な確認にあたっては、耐震壁のみから求めた建屋の変形に対応する荷重を、耐震壁以外の壁に負担させて評価を行っているが、実際の建屋においては耐震壁以外の壁も剛性を有しており、建屋の変形量としては小さくなることから、保守性を有した条件となっている。
- なお、柱及び梁については、壁と比べて十分な変形性能を有していることから、層の変形に追従することが可能である。

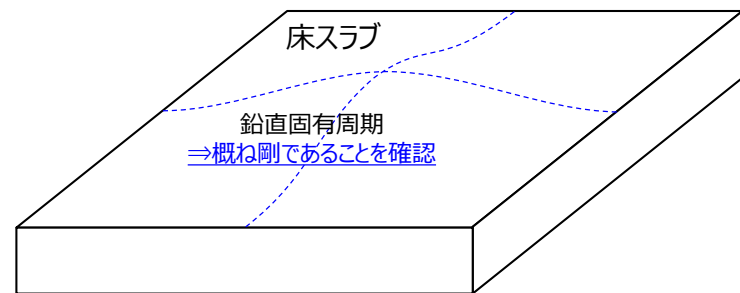
【参考4】 剛床仮定成立の確認について

■ 剛床仮定の成立性の確認

- 建屋の設計にあたっては、以下に示す床スラブの仕様及び剛床仮定に係る定量的な確認結果に基づき、同一層内で場所によらず同一の層間変形を考慮した、1軸の質点系モデルを用いる。
 - 各階の床スラブは上下階の壁によって密に拘束されており、地震力に対して大変形が起きにくい構造となっている。
 - 重大事故等対処に係る階（地上1階、地下1～3階）の床スラブは600mm以上の厚さで剛性の高い設計としており、場所によって異なる挙動を示しにくい構造となっている。
 - 剛床仮定に係る定量的な確認として、各階の耐震壁及び耐震壁以外の壁に囲まれ拘束されている床スラブごとに発生する面内のせん断応力度に対し、概ね弾性範囲内に留まっていることを確認する。
 - また、各位置の床スラブに対する鉛直方向の固有値を確認することで、概ね剛としての変形特性を有しており、場所によって大きく変形が異なる構造となっていることを確認する。



剛床仮定に係る確認イメージ



床の固有値確認イメージ