


リサイクル燃料備蓄センターの設計基準への対応等について  
～安全設計における想定への対応～

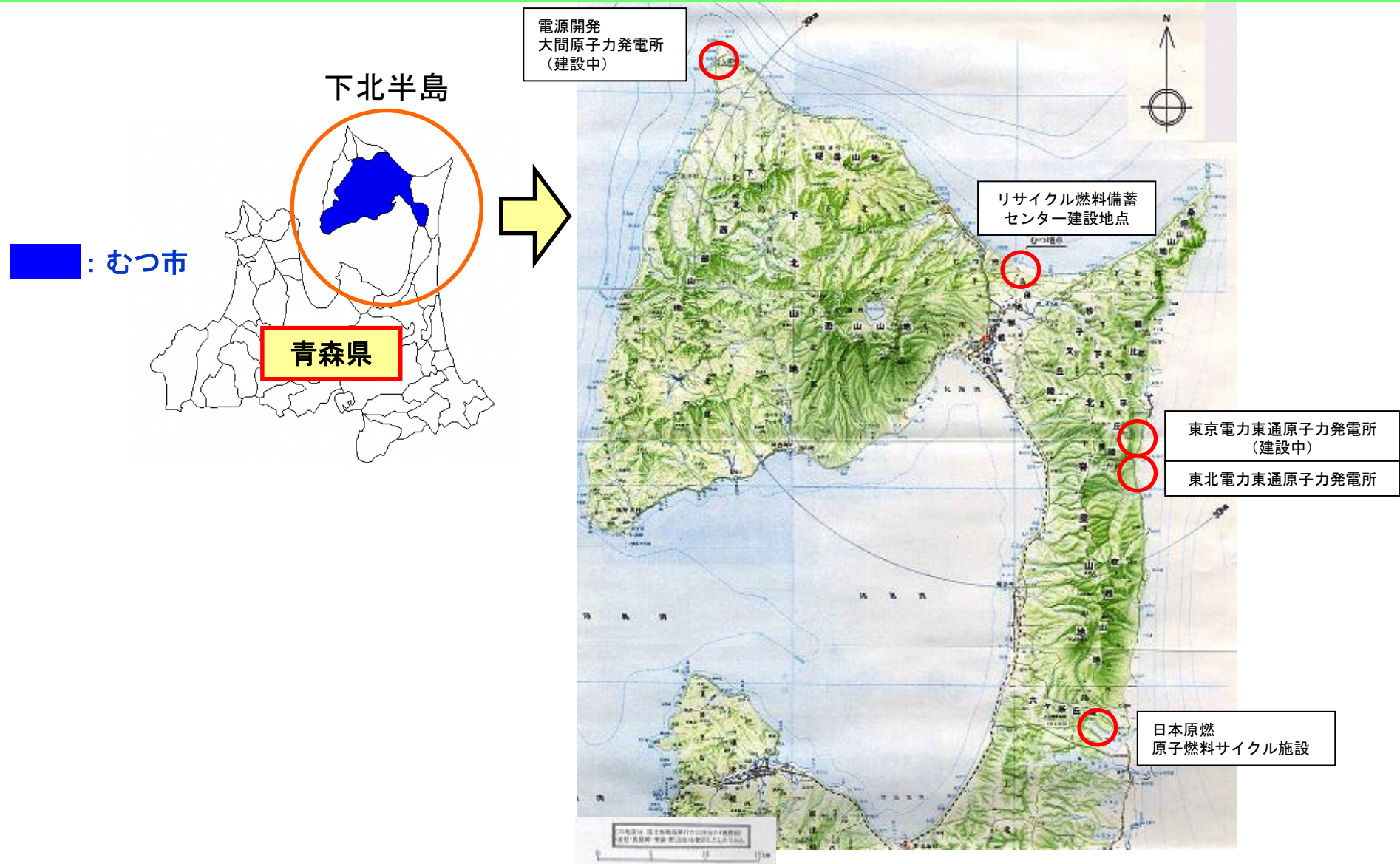
令和2年3月24日

 **リサイクル燃料貯蔵**

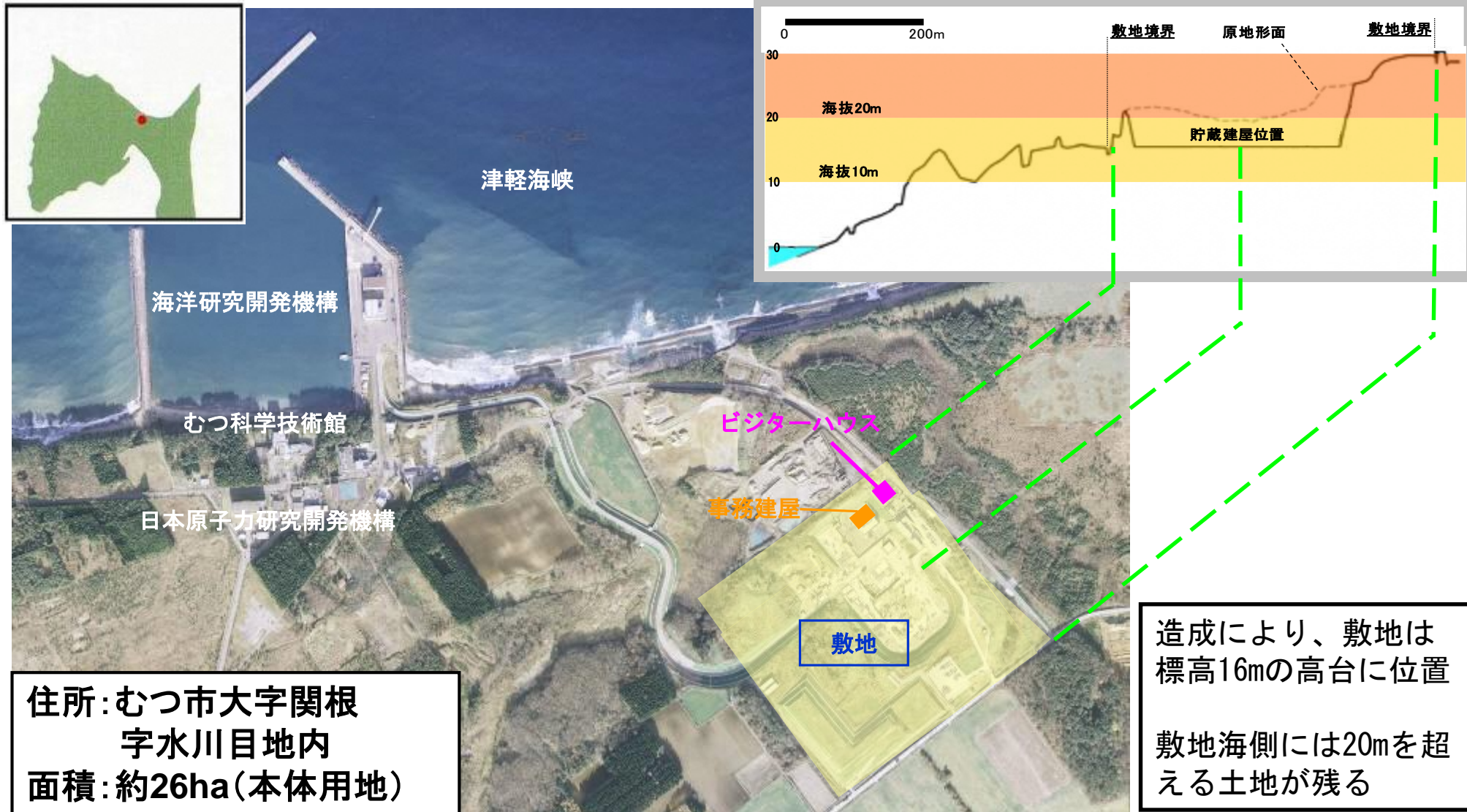
# 目次

1.	リサイクル燃料備蓄センターの概要	… 3
2.	新規制基準の要求事項	… 8
3.	審査の経緯	… 9
4.	設計基準	
4. 1	使用済燃料の臨界防止	…10
4. 2	遮蔽等	…12
4. 3	閉じ込めの機能	…16
4. 4	除熱	…20
4. 5	火災等による損傷の防止	…23
4. 6	使用済燃料貯蔵施設の地盤	…27
4. 7	地震	…29
4. 8	津波	…31
4. 9	外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山）	…40
(参考)	金属キャスクの受入れから貯蔵場所への設置の流れ	

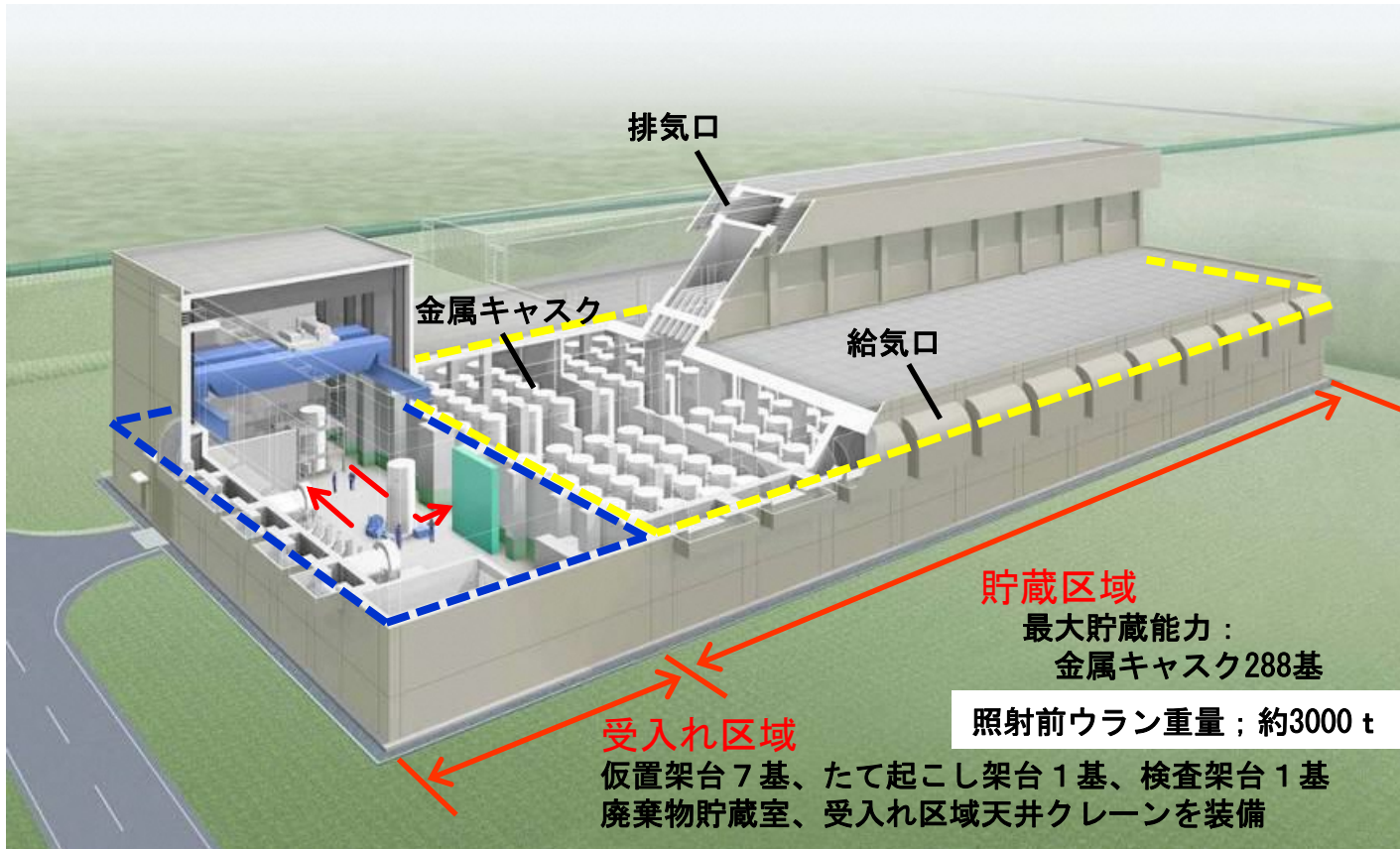
# 1. リサイクル燃料備蓄センターの概要 ～建設地点～



# 1. リサイクル燃料備蓄センターの概要 ～周辺状況～



# 1. リサイクル燃料備蓄センターの概要 ～建屋外観～



平成25年8月29日  
貯蔵建屋完成



(幅) 約62m × (奥行き) 約131m × (高さ) 約28m

# 1. リサイクル燃料備蓄センターの概要 ～建屋内～



搬送台車を用いた模擬金属キャスクの移送

模擬金属キャスク（仮置き架台に設置）

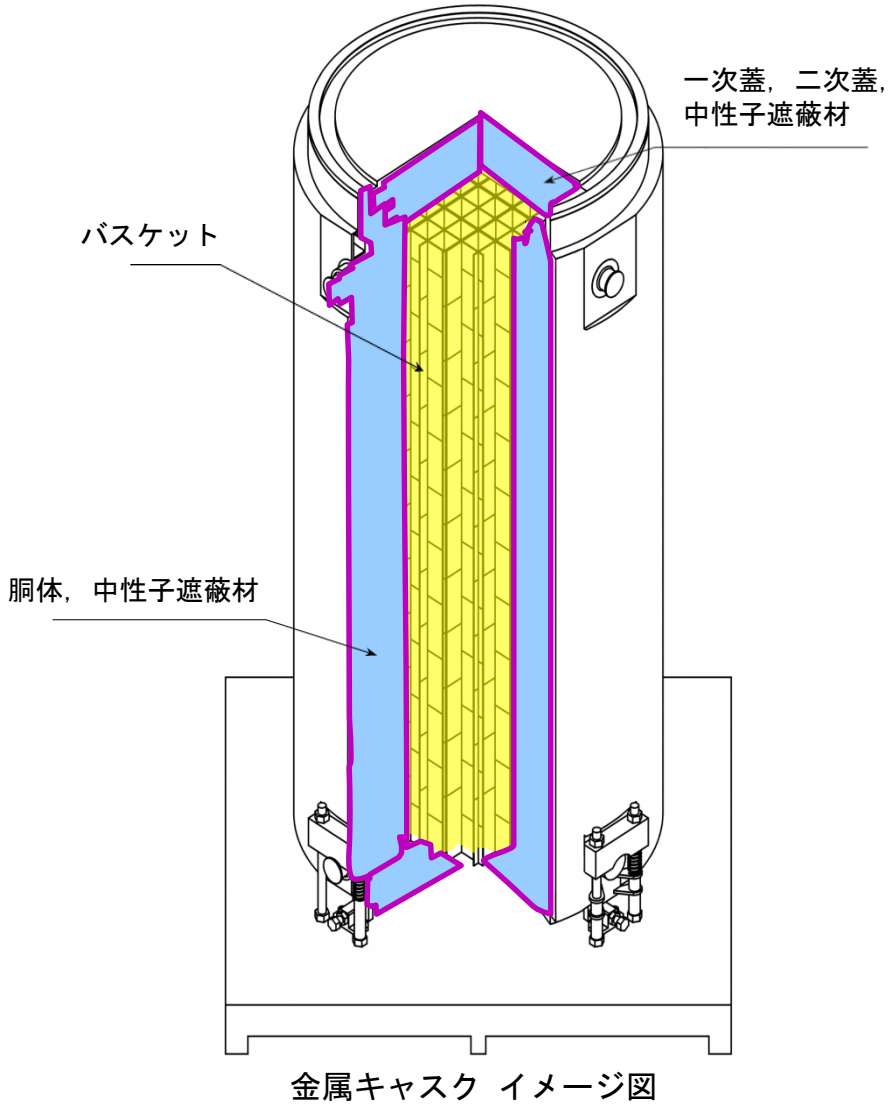


受入れ区域

# 1. リサイクル燃料備蓄センターの概要 ～金属キャスク～

金属キャスクの諸元	
▪ 全 長	: 約5.4m
▪ 直径（外径）	: 約2.5m
▪ 総 重 量	: 約120t
▪ 燃料収納体数	: 69体
▪ 照射前ウラン重量	: 約10t

キャスクタイプ	BWR用大型キャスク (タイプ2A)			
仕様	BWR用大型キャスク (タイプ2)			
バスケットの材料	ボロン添加ステンレス鋼			
収納する使用済燃料集合体の種類	新型8×8 ジルコニウムライナ燃料	新型8×8 燃料	新型8×8 ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度 8×8燃料
最高燃焼度 (MWd/t)	40,000	34,000	40,000	40,000
原子炉から取出後の期間 (年以上)	18	24	18	18



## 2. 新規制基準の要求事項

### 使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則

(平成25年12月18日施行)

第1条 適用範囲

第2条 定義

今回説明

第3条 使用済燃料の臨界防止

第4条 遮蔽等

第5条 閉じ込めの機能

第6条 除熱

第7条 火災等による損傷の防止

第8条 使用済燃料貯蔵施設の地盤

第9条 地震による損傷の防止

第10条 津波による損傷の防止

第11条 外部からの衝撃による  
損傷の防止（竜巻・火山新設）

第12条 使用済燃料貯蔵施設への  
人の不法な侵入等の防止

第13条 安全機能を有する施設

第14条 設計最大評価事故時の  
放射線障害の防止

第15条 金属キャスク

第16条 使用済燃料の受入れ施設

第17条 計測制御系統施設

第18条 廃棄施設

第19条 放射線管理施設

第20条 予備電源

第21条 通信連絡設備等

### <従来の規制と新規制基準の比較>

新たに設備と運用の規制が、設けられたもの。

新たな「国のガイドライン」に基づき、再評価したもの。

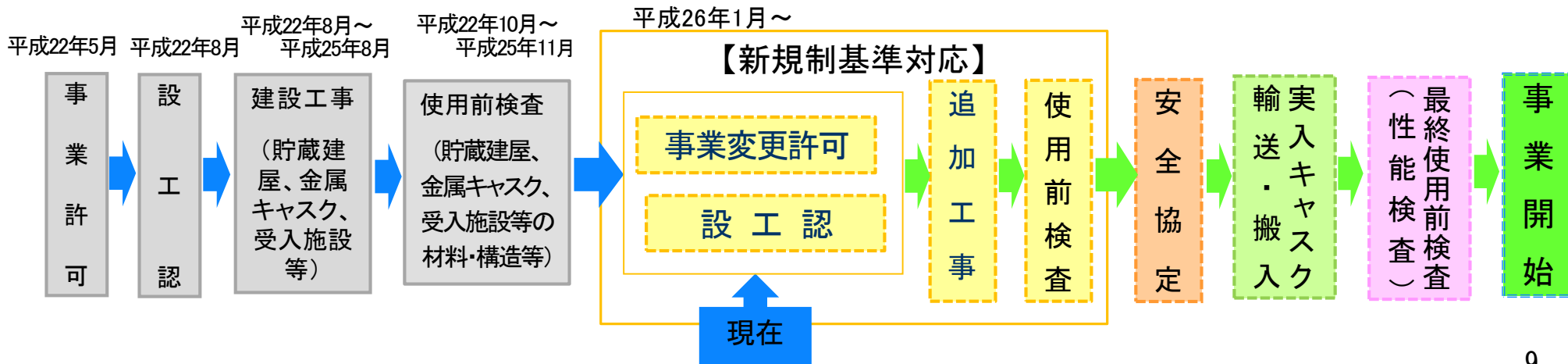
追加の設備や運用方法が、設けられたもの。

従来の規制基準と同等のもの。



### 3. 審査の経緯

- 平成22年5月に事業許可を取得
- 平成22年8月に設工認を取得し、建設工事を開始
- 平成25年8月に貯蔵建屋(1棟目:3,000トン)が完成
- 平成22年10月から平成25年11月において使用前検査が行われ、貯蔵建屋と金属キャスクでは、材料および構造検査等が、受入施設、計測制御系統施設、廃棄施設、放射線管理施設等では、寸法および据付・外観検査等が終了
- 平成26年1月から新規制基準への対応を実施中



## 4. 設計基準

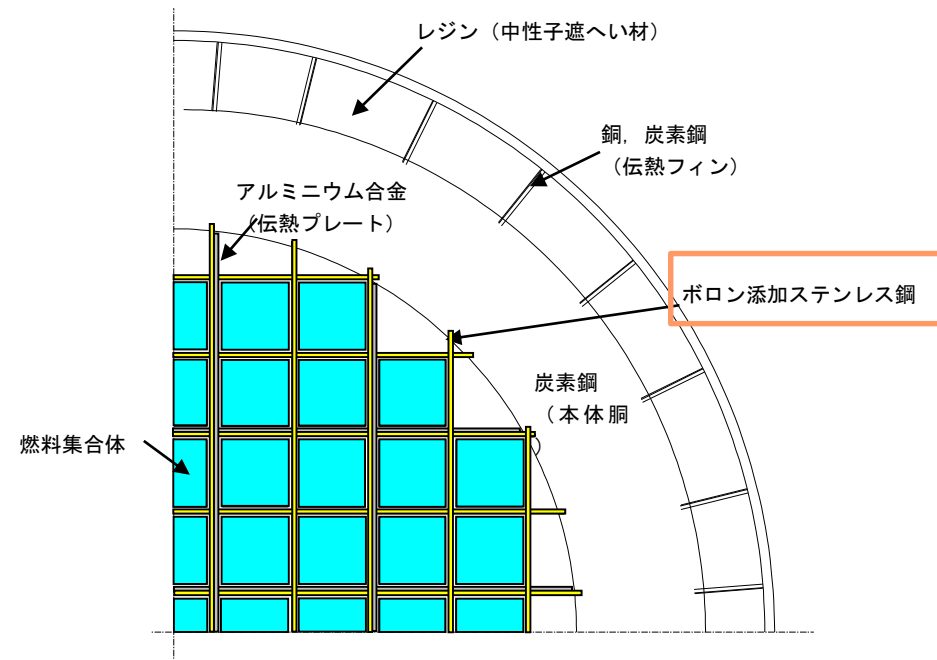
### 4. 1 使用済燃料の臨界防止

#### 《基準規則の要求事項》

第三条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料が臨界に達するおそれがないものでなければならない。

#### 《当施設の設計方針》

- (1) 金属キャスク単体は、その内部のバスケットの幾何学的な配置及び中性子を吸収する材料により、使用済燃料集合体を収納した条件下で、技術的にみて想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計とする。
- (2) 臨界防止機能の一部を構成するバスケットは、設計貯蔵期間中の放射線照射影響、腐食等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選択し、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計とする。



金属キャスクの臨界防止構造

## 4. 設計基準

### 4. 1 使用済燃料の臨界防止

- (3) 金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して完全反射条件（無限配列）として、臨界評価する。

金属キャスクは多重の閉じ込め構造を有する蓋部により金属キャスク内部は外部から隔離される構造であり、金属キャスクへの使用済燃料集合体収納後に金属キャスク内部の排水及び真空乾燥が行われることから、貯蔵中の金属キャスク内部は乾燥状態であるが、原子力発電所における金属キャスクへの使用済燃料集合体収納時に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態で評価する。

金属キャスクの中性子実効増倍率（モンテカルロ計算の統計誤差（ $3\sigma$ ）を加えたもの）は、判定基準である0.95を十分下回ることを確認した。

臨界防止設計に係る臨界解析結果

	BWR用 大型キャスク (タイプ2)	BWR用 大型キャスク (タイプ2A)
乾燥状態（新燃料） keff+3 $\sigma$	0.374 (Keff:0.37264, $\sigma$ : 0.00028)	0.410 (Keff:0.40855, $\sigma$ : 0.00030)
冠水状態（ガトリニアクレ ジット） keff+3 $\sigma$	0.878 (Keff:0.87494, $\sigma$ : 0.00087)	0.882 (Keff:0.87935, $\sigma$ : 0.00088)
判定基準	0.95以下	

## 4. 設計基準

### 4. 2 遮蔽等（金属キャスク）

#### 《基準規則の要求事項》

第四条 使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。

2 使用済燃料貯蔵施設は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。

#### 《当施設の設計方針》

使用済燃料貯蔵施設は、平常時において、直接線及びスカイシャイン線により公衆の受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定められている線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低くなるよう、金属キャスク及び使用済燃料貯蔵建屋により、十分な放射線遮蔽を講ずる設計とする。

- ・ 金属キャスク表面における線量当量率 2 mSv/h以下
- ・ 金属キャスク表面から 1 m の位置における線量当量率 100  $\mu$  Sv/h以下

金属キャスクは、遮蔽のために以下の設計上の配慮を行う。

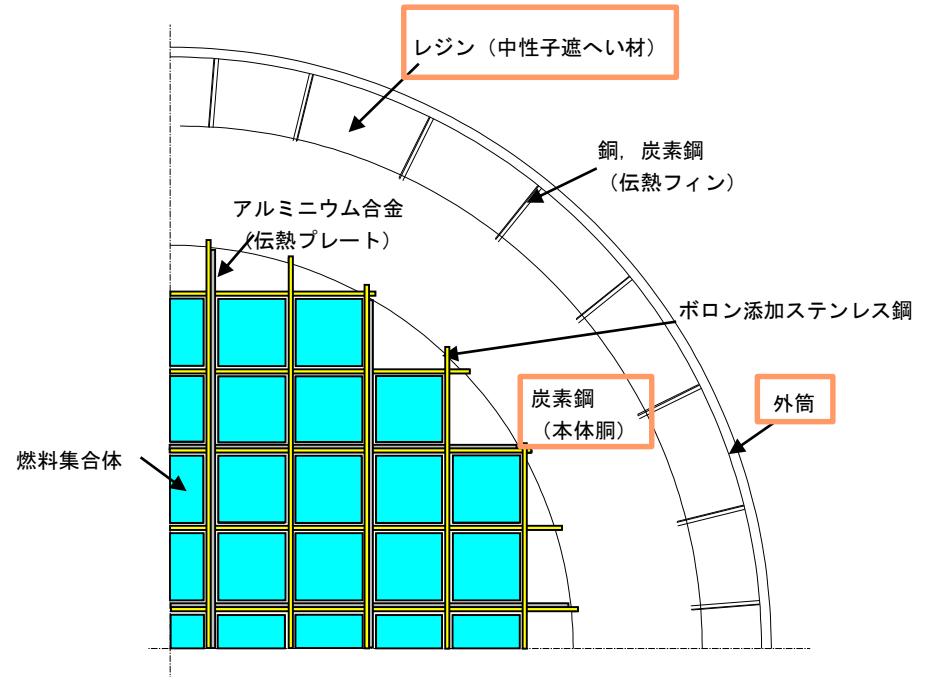
- 金属キャスクは、ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。
- ガンマ線遮蔽材は、金属キャスク構造体（胴、外筒、蓋及び底板）を構成する炭素鋼等で構成する
- 中性子遮蔽材は、レジンで構成する。

## 4. 設計基準

### 4. 2 遮蔽等（金属キャスク）

金属キャスクの遮蔽解析結果

		BWR用大型キャスク (タイプ2) BWR用大型キャスク (タイプ2A)
表面 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	ガンマ線	95.2
	中性子	1012.5
	合計	1107.7
	基準値	2000
表面から1mの 位置 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	ガンマ線	64.1
	中性子	16.2
	合計	80.3
	基準値	100



金属キャスクの遮蔽構造

## 4. 設計基準

### 4. 2 遮蔽等（貯蔵建屋）

#### (1) 遮蔽壁

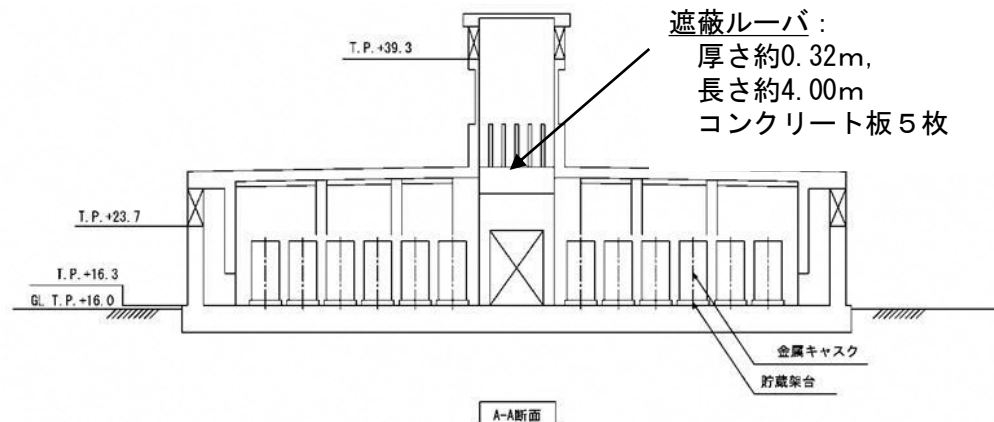
遮蔽壁は、建屋側壁、天井、貯蔵区域区画壁等のコンクリート壁で構造材を兼用する。

#### (2) 遮蔽ルーバ

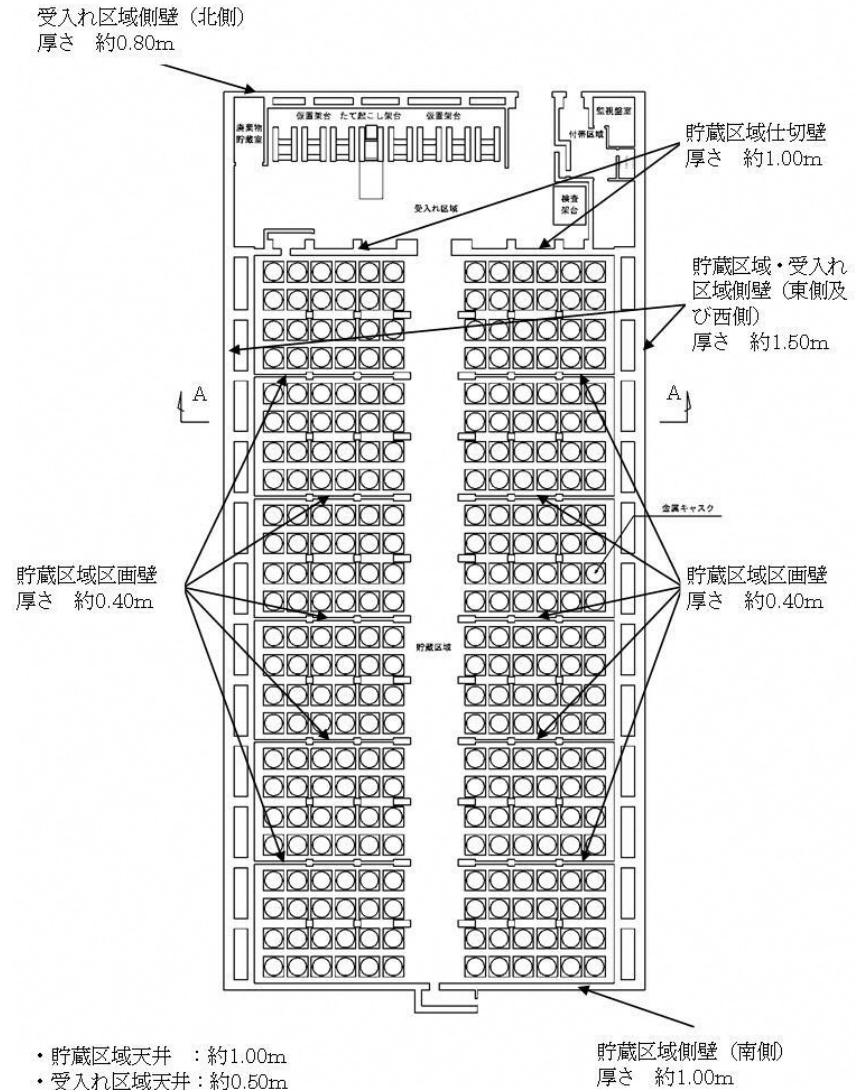
遮蔽ルーバは、貯蔵建屋貯蔵区域における排気口までの経路に設けられたコンクリート製の平板で、排気口からの放射線の漏えいを低減する。

#### (3) 機器の配置

金属キャスクは、貯蔵建屋貯蔵区域に配置し、その入口には迷路又は遮蔽扉を設ける。



遮蔽設備（遮蔽ルーバ）の主要仕様



遮蔽設備（遮蔽壁）の主要仕様

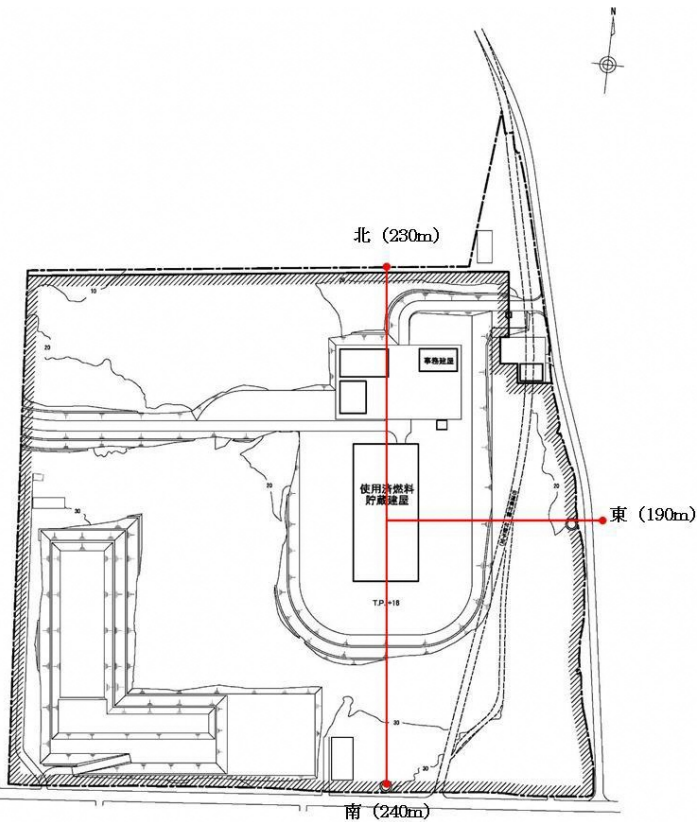
## 4. 設計基準

### 4. 2 遮蔽等（貯蔵建屋）

#### (4) 公衆の線量

貯蔵建屋貯蔵区域に収容されている金属キャスク288基からの直接線及びスカイシャイン線について評価した結果、敷地境界外における公衆の実効線量は、年間約 $2.8 \times 10^{-2} \text{mSv}$ であり、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（第2条）に示されている周辺監視区域外における線量限度  $1 \text{mSv/年}$ 、並びに、貯蔵事業許可基準規則の解釈第4条（遮蔽等）に示される  $50 \mu \text{Sv/年}$  以下を十分に下回る。

リサイクル燃料備蓄センターからの直接線及びスカイシャイン線による敷地境界外の実効線量の計算を行った結果、評価線質が中性子の場合、東側敷地境界外において最大となり、その値は年間約 $2.8 \times 10^{-2} \text{mSv}$ である。また、評価線質がガンマ線の場合、南側敷地境界外において最大となり、その値は年間約 $6.6 \times 10^{-3} \text{mSv}$ である。



線量の計算地点図

	線源	評価線質	バルク線量 ( $\mu \text{Sv/y}$ )	ストリーミング線量 ( $\mu \text{Sv/y}$ )		小計 ( $\mu \text{Sv/y}$ )	合計 ( $\mu \text{Sv/y}$ )
				給気口	排気口		
貯蔵建屋貯蔵区域の直角東方向	中性子 100%	中性子	6.7	6.9	11.4	24.9	27.7
		2次ガンマ線	0.7	1.1	1.2	2.8	
	ガンマ線 100%	ガンマ線	1.1	1.7	0.3	3.0	3.0
貯蔵建屋貯蔵区域の直角南方向	中性子 100%	中性子	5.3	0.9	3.5	9.6	11.3
		2次ガンマ線	1.4	0.1	0.3	1.7	
	ガンマ線 100%	ガンマ線	6.5	0.05未満	0.1	6.6	6.6

敷地境界外線量評価結果

## 4. 設計基準

### 4. 3 閉じ込めの機能

#### 《基準規則の要求事項》

第五条 使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料等を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。

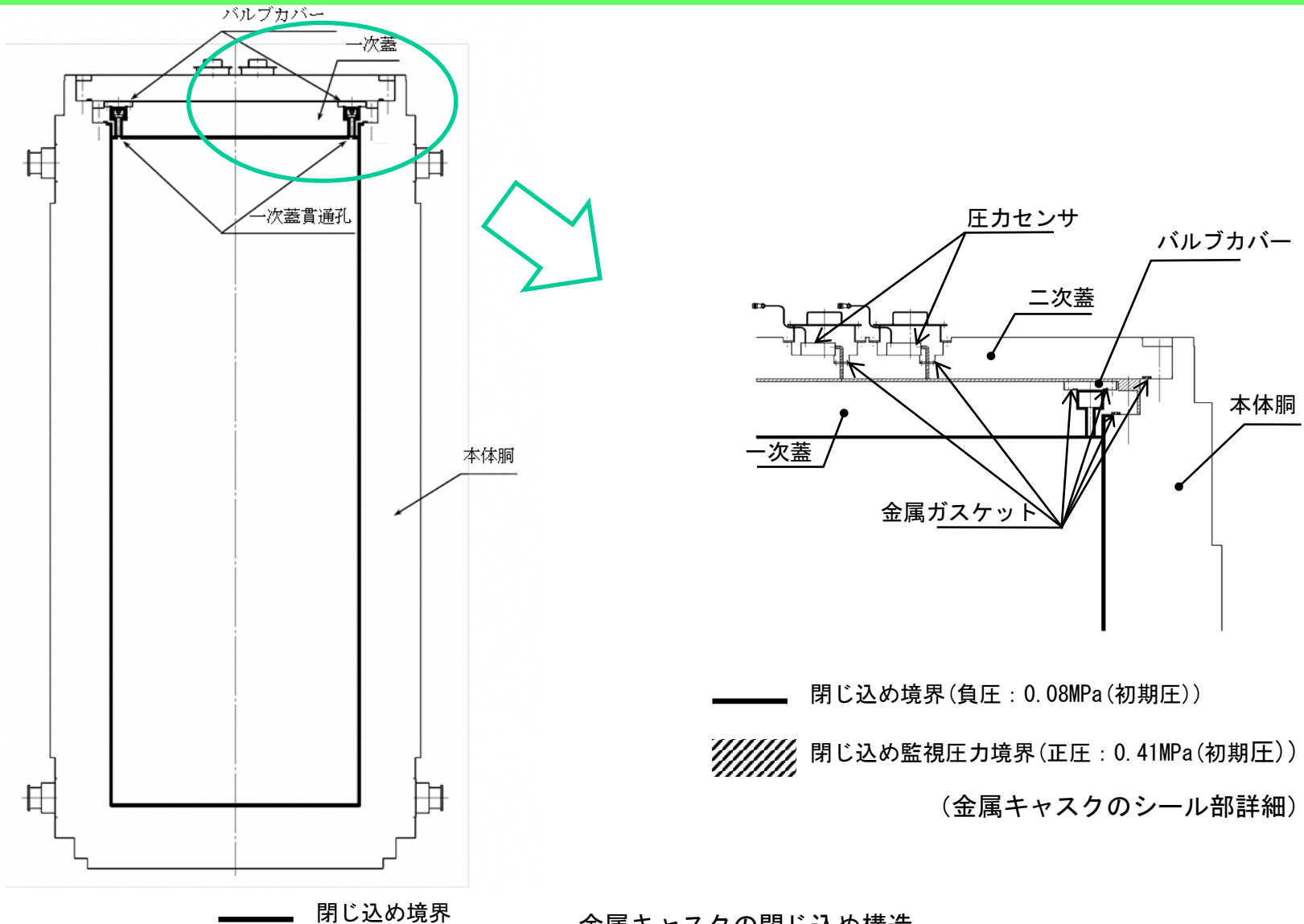
#### 《当施設の設計方針》

- (1) 金属キャスクは、本体胴及び蓋部により使用済燃料集合体を内封する空間を外部から隔離し、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。
- (2) 金属キャスクは、蓋部を一次蓋及び二次蓋の多重の閉じ込め構造とし、その蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質を金属キャスク内部に閉じ込める。また、使用済燃料集合体を内封する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。
- (3) 蓋及び蓋貫通孔のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを用いる。金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが蓋間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料集合体を内封する空間側に漏えいし、かつ、燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持できるように設定し、その漏えい率を満足していることを気密漏えい検査により確認する。なお、蓋間の圧力が徐々に低下する場合には、適宜、蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。その際、累積のヘリウム充填量を管理し、過剰な充填とならないようにする。



## 4. 設計基準

### 4. 3 閉じ込めの機能

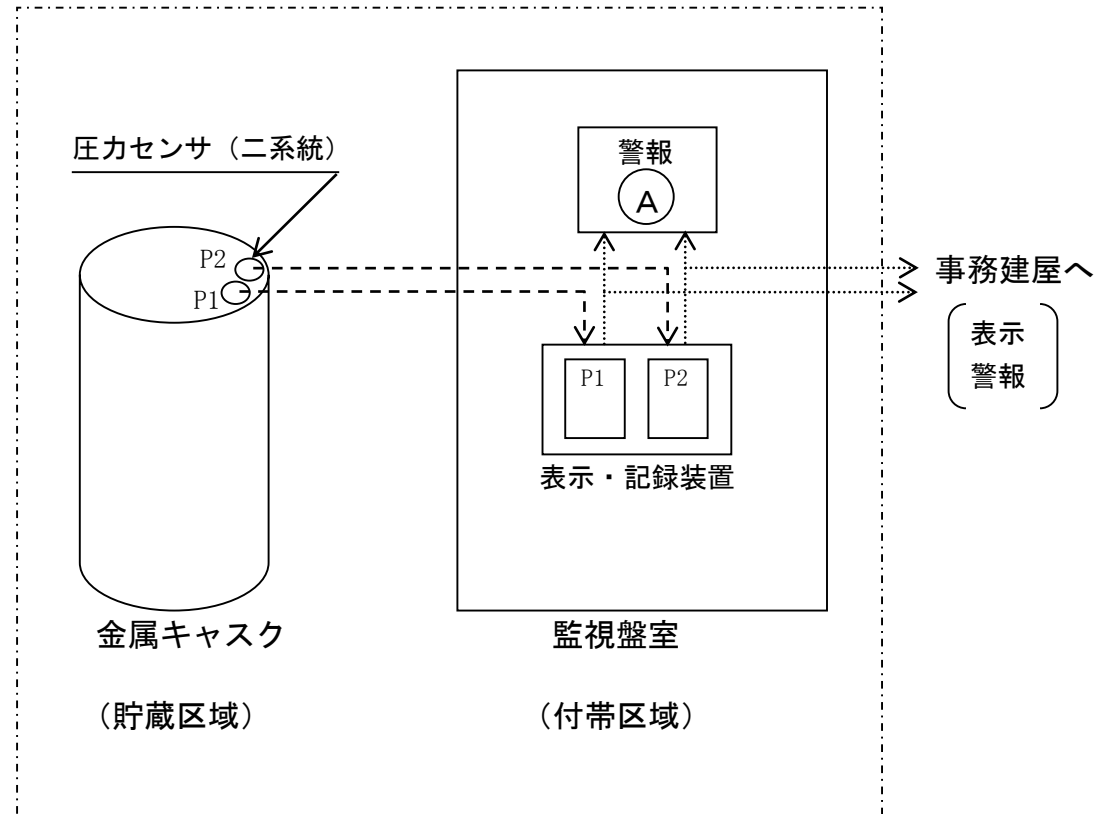


金属キャスクの閉じ込め構造

## 4. 設計基準

### 4. 3 閉じ込めの機能

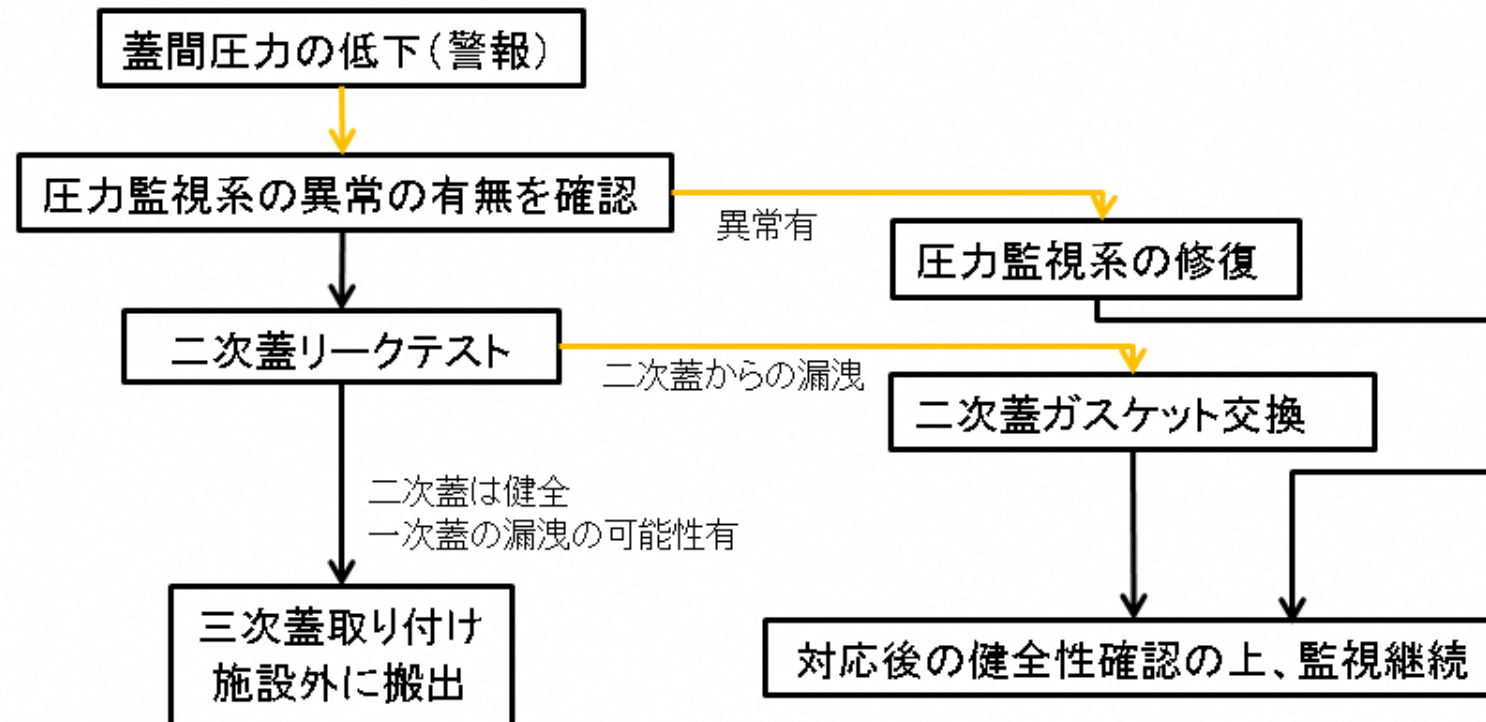
- (4) 金属キャスクは、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、三次蓋を追加装着できる構造を有する。
- (5) 金属キャスクは、貯蔵期間中及び貯蔵終了後において、収納された使用済燃料の検査等のために蓋を開放しないことを前提としているため、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、二次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には、二次蓋の金属ガスケットを交換し、一次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には、金属キャスクに蓋を追加装着できる構造を有すること等、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計とする。
- (6) 使用済燃料貯蔵施設では、平常時に放射性廃棄物は発生しないため、放射性廃棄物の処理施設を設置しない。
- (7) 放射性廃棄物の廃棄施設は、廃棄物による汚染の拡大を防止するため、使用済燃料貯蔵建屋受入れ区域の独立した区画内に設け、また、廃棄物貯蔵室の出入口にはせきを設ける構造とする。



蓋間圧力監視装置の構成

## 4. 設計基準

### 4. 3 閉じ込めの機能



閉じ込め機能異常時の対応手順

## 4. 設計基準

### 4. 4 除熱（金属キャスク）

#### 《基準規則の要求事項》

第六条 使用済燃料貯蔵施設は、動力を用いずに使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるものでなければならない。

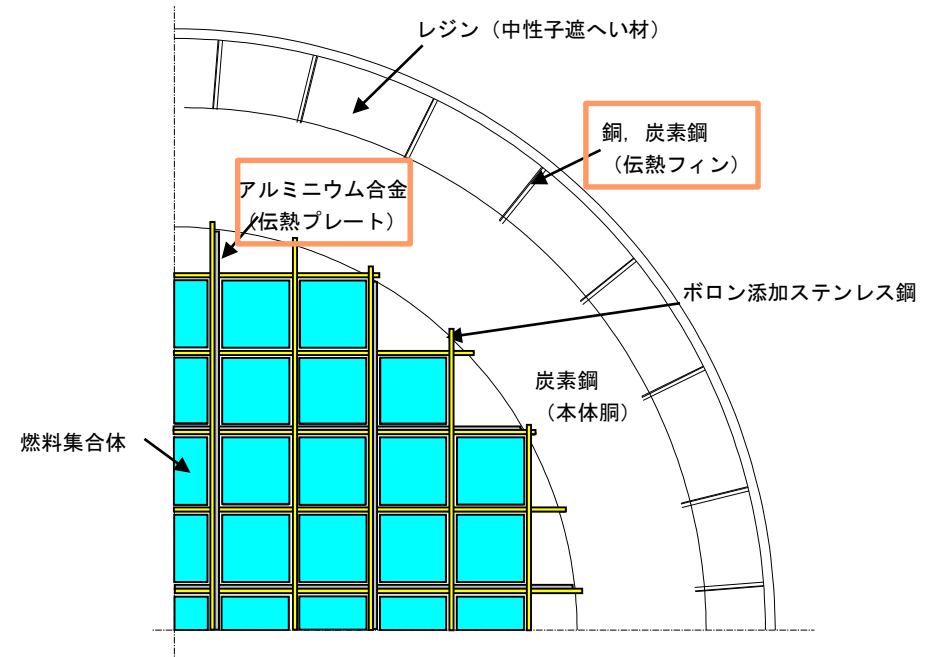
#### 《当施設の設計方針》

金属キャスクは、使用済燃料集合体の健全性及び基本的安全機能を有する構成部材の健全性を維持する観点から、使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

金属キャスクは、燃料被覆管の健全性を維持する観点から、設計貯蔵期間を通じて燃料被覆管の温度を低く保つことができる設計とする。

使用済燃料集合体を金属キャスクに収納するに当たっては、使用済燃料集合体の収納作業実施者である原子炉設置者に対して、除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料集合体の種類、燃焼度に応じた配置等の収納条件を満足した作業の実施、作業記録の作成等を求める。

作業の実施結果については、原子炉設置者が作成した作業記録等により確認する。



金属キャスクの除熱構造

## 4. 設計基準

### 4. 4 除熱（金属キャスク）

金属キャスクの除熱解析結果

		BWR用大型キャスク					評価基準値	備考
		タイプ2	タイプ2A					
		新型8×8 ジルコニウムライ 燃料	新型8×8 ジルコニウムライ 燃料	高燃焼度8 ×8燃料	新型8×8ジルコニウムライ燃 料と 新型8×8燃料	新型8×8 燃料		
最大崩壊熱量		12.1kW			10.9kW	8.0kW	—	—
燃料被覆管温度		259℃ BWR燃料 (ライナあり)	同左 (最大値)	(注)	189℃ (最大値) BWR燃料 (ライナなし)	185℃ BWR燃料 (ライナなし)	300℃以下 BWR燃料 (ライナ あり) 200℃以下 BWR燃料 (ライナ なし)	燃料被覆管の健 全性が維持され る制限温度
金属 キャ スク 各 部 最 高 温 度	本体胴	142℃ (炭素 鋼)	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)	350℃以下 (炭素鋼)	構造強度の健全 性が維持される 制限温度
	一次蓋	96℃ (炭素鋼)	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)		
	二次蓋	85℃ (炭素鋼)	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)		
	中性子遮蔽材 (レジン)	128℃	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)	150℃以下	中性子遮蔽材の性 能が維持される制 限温度
	金属ガスケット	89℃	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)	130℃以下	閉じ込め機能が 維持される制限 温度
	バスケット	248℃ (ボロン添加 ステンレス鋼)	同左 (最大値)	(注)	(注)	(注)	300℃以下 (ボロン添加 ステンレス鋼)	構造強度の健全 性が維持される 制限温度

(注) : 設計崩壊熱量が最大である新型8×8ジルコニウムライ燃料を収納した状態で各部温度が最大値となる。

## 4. 設計基準

### 4. 4 除熱（建屋）

#### 《当施設的设计方針》

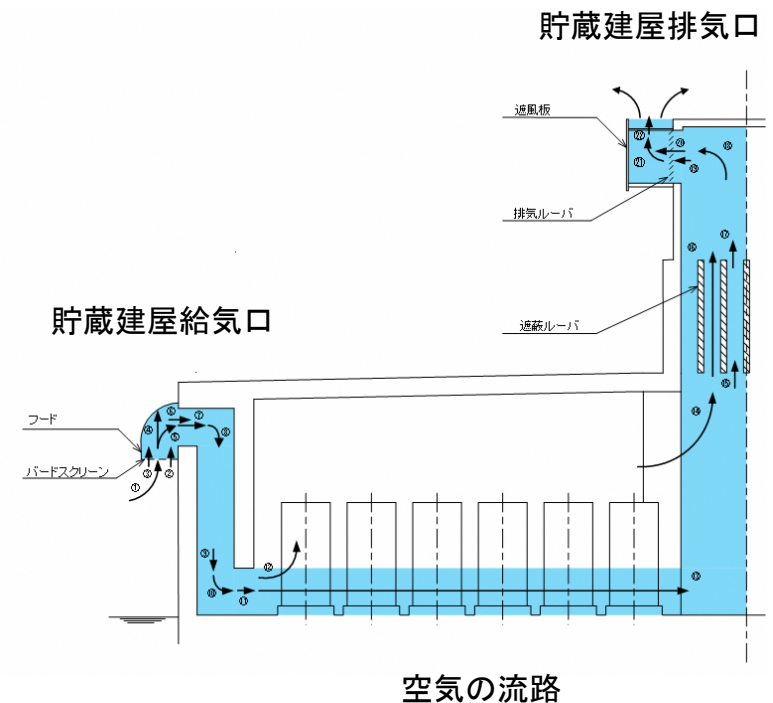
使用済燃料貯蔵建屋は、金属キャスクの表面からの除熱を維持する観点から、建屋内の雰囲気温度を低く保つことができるよう、金属キャスク表面に伝えられた使用済燃料集合体の崩壊熱を、その熱量に応じて生じる通風力を利用した自然換気方式により適切に除去する設計とし、換気のための給気口及び排気口を設ける。給気口及び排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。また、除熱機能について監視できる設計とする。

一次元熱計算による金属キャスク周囲空気温度評価結果

評価対象	評価温度	設計基準温度
金属キャスク 周囲空気温度	40.0℃	45℃

三次元熱流動解析による使用済燃料貯蔵建屋  
コンクリート温度の評価結果（最高値）

評価部位	評価温度（最高値）	設計基準温度
側壁	52.7℃	65℃
支柱	54.4℃	
床	56.9℃	
天井（梁除く）	54.5℃	
天井梁	55.6℃	



## 4. 設計基準

### 4. 5 火災等による損傷の防止

#### 《基準規則の要求事項》

第七条 使用済燃料貯蔵施設は、火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう、次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。

- 一 火災及び爆発の発生を防止すること。
- 二 火災及び爆発の発生を早期に感知し、及び消火すること。
- 三 火災及び爆発の影響を軽減すること。

#### 《当施設の設計方針》

使用済燃料貯蔵施設は、火災又は爆発により基本的安全機能が損なわれないよう、火災及び爆発の発生防止、火災及び爆発の発生の早期感知及び消火、火災及び爆発の影響の軽減について適切に組み合わせた火災防護対策を講ずる設計とする。

なお、使用済燃料貯蔵施設には、基本的安全機能を損なうような爆発を発生させる機器・設備は存在しない。

## 4. 設計基準

### 4. 5 火災等による損傷の防止

#### (1) 火災の発生防止

使用済燃料貯蔵施設は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用した設計とするとともに、ケーブルについても金属キャスクへの影響に応じて難燃ケーブル等を使用する設計とする。

発火性又は引火性物質に対して漏えい防止対策を講じ、電気系統には遮断器を設け過電流による電気火災防止対策を講ずる設計とする。

使用済燃料貯蔵建屋は落雷による火災発生を防止するため、避雷設備を設置する設計とする。

#### (2) 火災の感知及び消火

火災の影響を限定し、早期の火災感知及び消火を行うため、火災感知設備及び消火設備を設置する設計とする。

火災感知設備として、使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域、受入れ区域に火災感知器を設置し、火災警報を火災受信機に表示し監視する設計とする。

使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域及び受入れ区域で想定される火災に対して、消火活動を早期に行えるように消火器及び動力消防ポンプを適切に配置する。

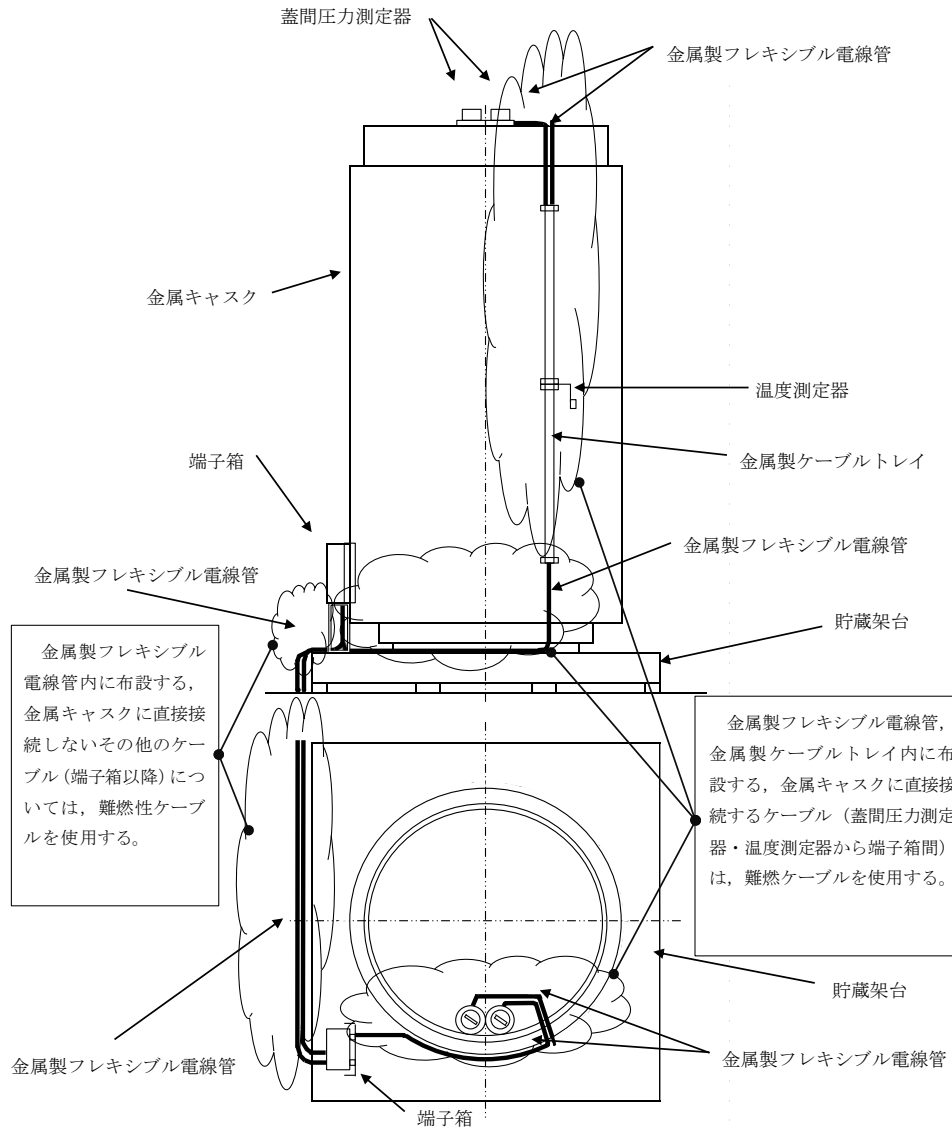
#### (3) 火災の影響軽減

使用済燃料貯蔵建屋の各区域及び区画は、1時間耐火能力を有するコンクリート壁（実力として3時間耐火能力を有する）、及び、1時間耐火能力を有する防火扉及び防火シャッター（建築基準法に基づく特定防火設備）で分離し、火災発生時の影響が他の区域や区画に波及しない設計とすることにより、火災発生時の影響を軽減する。



## 4. 設計基準

### 4. 5 火災等による損傷の防止 —火災の発生の防止—



難燃ケーブル及び難燃性ケーブルの布設範囲について

## 4. 設計基準

### 4. 5 火災等による損傷の防止

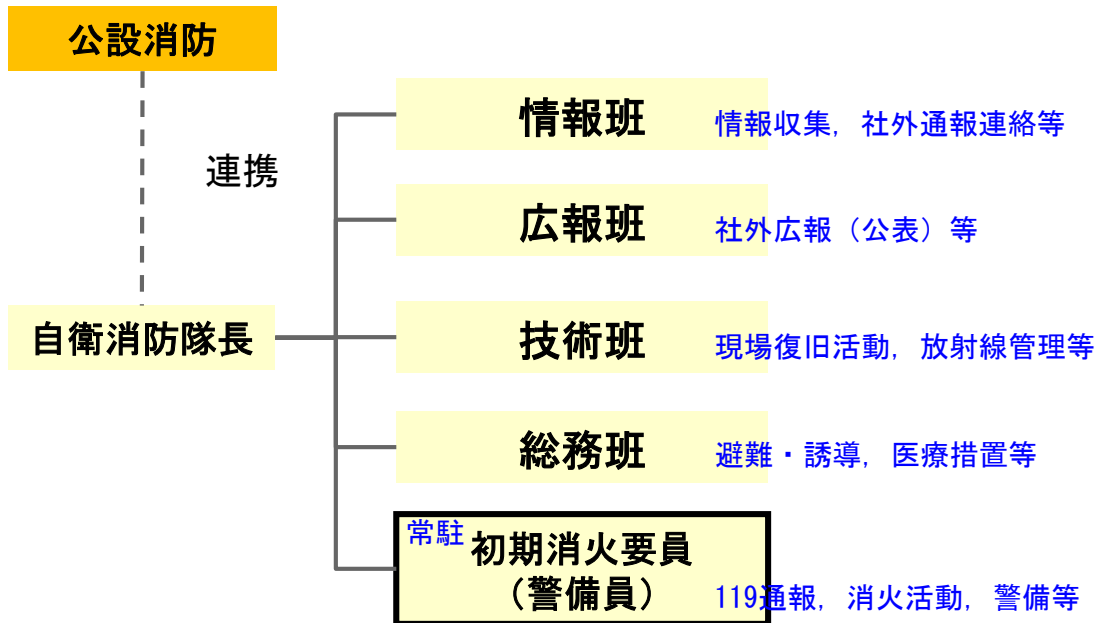
### —火災の感知及び消火—

#### 【火災防護対策を実施するための体制】

万一の火災に対しては、迅速な初期消火・消火活動を実施できる体制が肝要

◎初期消火要員（6名）が常駐し、24時間体制で消火活動が可能である。

◎消火器を用いた初期消火に加え、消防ポンプを用いた消火活動も可能であり、全社員に消火訓練を実施している。



自衛消防隊体制図



消火訓練風景

## 4. 設計基準

### 4. 6 使用済燃料貯蔵施設の地盤

#### 《基準規則の要求事項》

第八条 使用済燃料貯蔵施設は、算定する地震力が作用した場合においても当該使用済燃料貯蔵施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設は、変形した場合においてもその基本的安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 基本的安全機能を確保する上で必要な施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

#### 《当施設の設計方針》

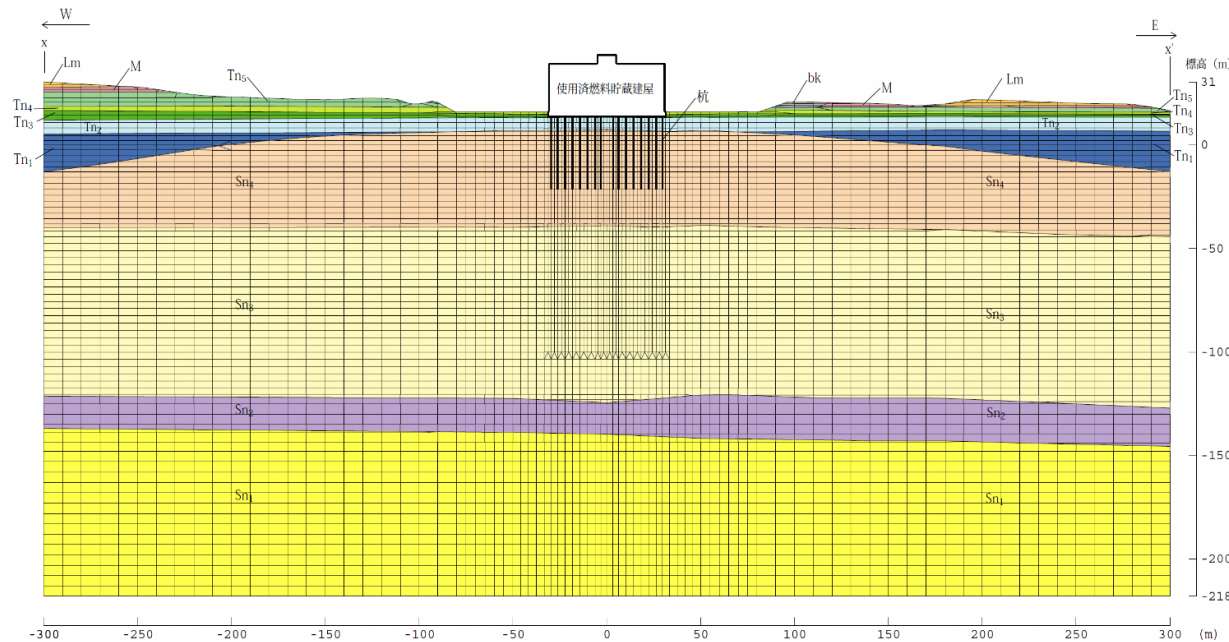
- 使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤には、「将来も活動する可能性のある断層等」は認められない。
- 使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、基礎地盤のすべり、基礎の支持力、基礎底面の傾斜（地殻変動含む）について、いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- 使用済燃料貯蔵建屋には隣接する建物及び構造物がないことから、周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）による影響を受けるおそれはなく、評価対象外とする。

以上より、

- 使用済燃料貯蔵建屋の基礎地盤は、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を有しており、使用済燃料貯蔵建屋が重大な影響を受けることがないことを確認した。

## 4. 設計基準

### 4. 6 使用済燃料貯蔵施設の地盤



基礎地盤の解析モデル

- 基準地震動Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3を入力した結果,
  - 最小すべり安全率は1.5であり, 評価基準値1.5を満足することを確認
  - 最大接地圧は $1.37\text{N/mm}^2$ であり, 評価基準値 $4.58\text{N/mm}^2$ を満足していることを確認
  - 基礎底面に生じる最大傾斜は $1/10,000$ であり, 評価基準値の目安である $1/2,000$ を十分に下回ることを確認



基準地震動Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3による基礎地盤の安定性を確認

## 4. 設計基準

### 4. 7 地震

#### 《基準規則の要求事項》

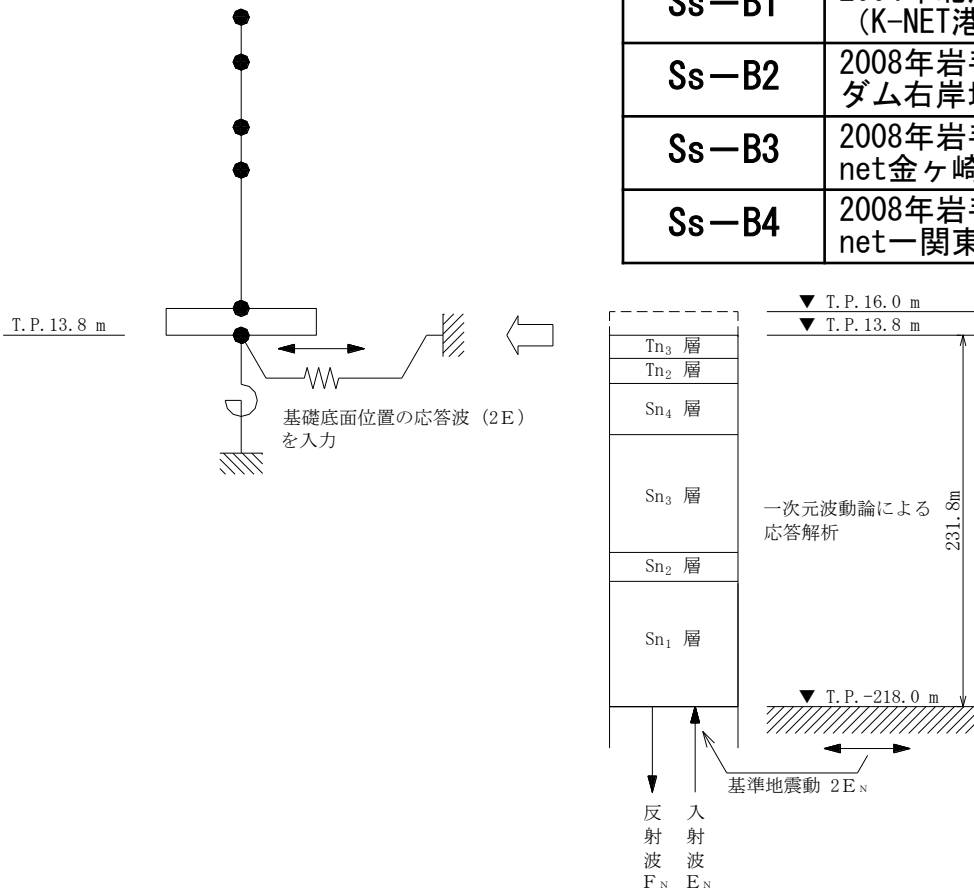
第九条 使用済燃料貯蔵施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。

- 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。
- 3 使用済燃料貯蔵施設は、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。
- 4 使用済燃料貯蔵施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

# 4. 設計基準

## 4. 7 地震

基準地震動		最大加速度振幅値 (cm/s <sup>2</sup> )		
		水平方向1 (H1)	水平方向2 (H2)	鉛直方向 (V)
Ss-A	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動	600		400
Ss-B1	2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町)	620		320
Ss-B2	2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム右岸地山)	450	490	320
Ss-B3	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎)	430	400	300
Ss-B4	2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net一関東)	540	500	—



- 使用済燃料貯蔵設備本体である金属キャスク及び貯蔵架台は、Sクラスの設計とし、基準地震動による地震力に対して基本的安全機能を損なわない設計とする。
- 使用済燃料貯蔵建屋、受入れ施設である受入れ区域天井クレーン及び搬送台車は、Bクラスの設計とし、かつ、基準地震動による地震力に対して、基本的安全機能を損なわない設計とする。

建屋一杭一地盤連成系の地震応答解析モデル (水平方向)

## 4. 設計基準

### 4. 8 津波

#### 《基準規則の要求事項》

第十条 使用済燃料貯蔵施設は、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

#### 《当施設の設計方針》

使用済燃料貯蔵施設は、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。

既往の知見を大きく上回る仮想的な大規模津波を想定し、これを基準津波に相当する津波として、津波防護施設及び浸水防止設備の設置による遡上波の到達や流入の防止は行わず遡上波が使用済燃料貯蔵施設に到達する前提とする。

使用済燃料貯蔵建屋の貯蔵区域は波力に耐えるよう設計するとともに、貯蔵されている金属キャスクの基本的安全機能が貯蔵区域の浸水により損なわれないよう設計する。

貯蔵建屋の受入れ区域については、損傷を仮定しても、落下物等の衝突により仮置きされている金属キャスクの閉じ込め機能が損なわれず、また遮蔽機能の回復により復旧期間において事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないよう設計する。

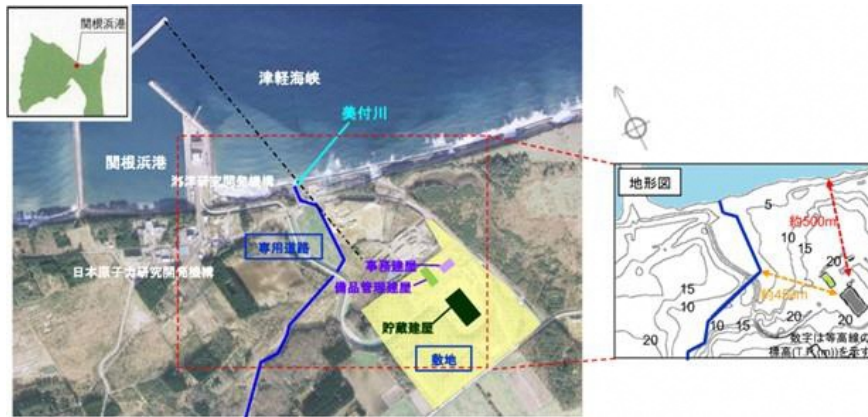
また、受入れ区域の損傷により衝撃を受けた金属キャスクの基本的安全機能を確認するための検査及び試験並びに同機能を維持するために必要な保守及び修理を行い、金属キャスクを使用済燃料貯蔵施設外へ搬出するために必要な確認を行う手段を講じるとともに、敷地内の浸水を想定した対策として、貯蔵区域の金属キャスクの代替計測や放射線管理、津波襲来後の活動等に必要な手段を講じる。

## 4. 設計基準

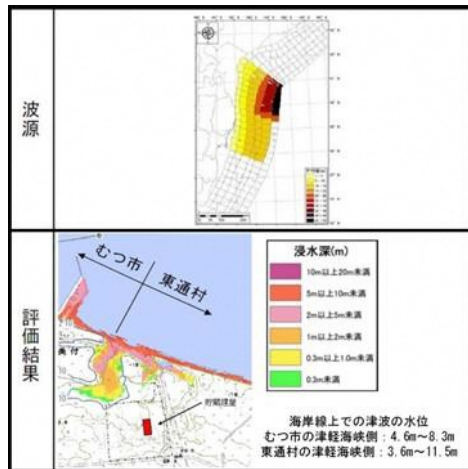
### 4. 8 津波 — 仮想的な大規模津波の想定 —

青森県による津波想定は、文献調査結果及び津波堆積物調査結果から十分な保守性を有することが確認されている。これにさらなる保守性を持たせた仮想的な大規模津波として、青森県による津波想定における敷地前面及び敷地周辺の最大津波高さであるT.P.+11.5mの2倍とし、T.P.+23mとした。なお、このときの浸水深は、貯蔵建屋の設置地盤高がT.P.+16mであることから、一様に7mとなる。

敷地及び敷地周辺における地形、施設の配置等



青森県による津波想定



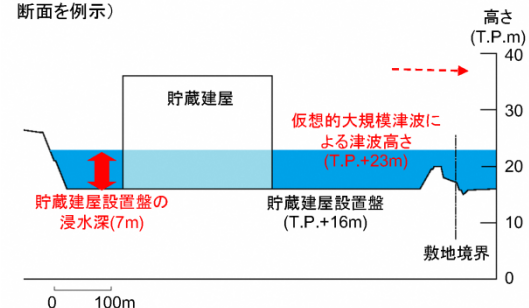
仮想的な大規模津波による浸水範囲の概念図

【敷地平面図と浸水範囲】



【地形断面図と浸水範囲】

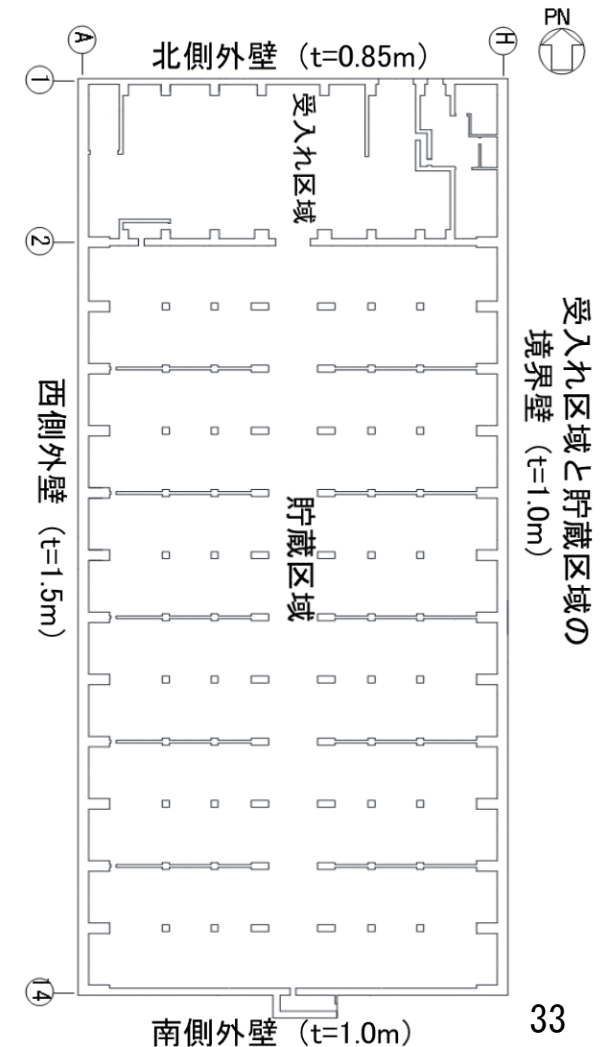
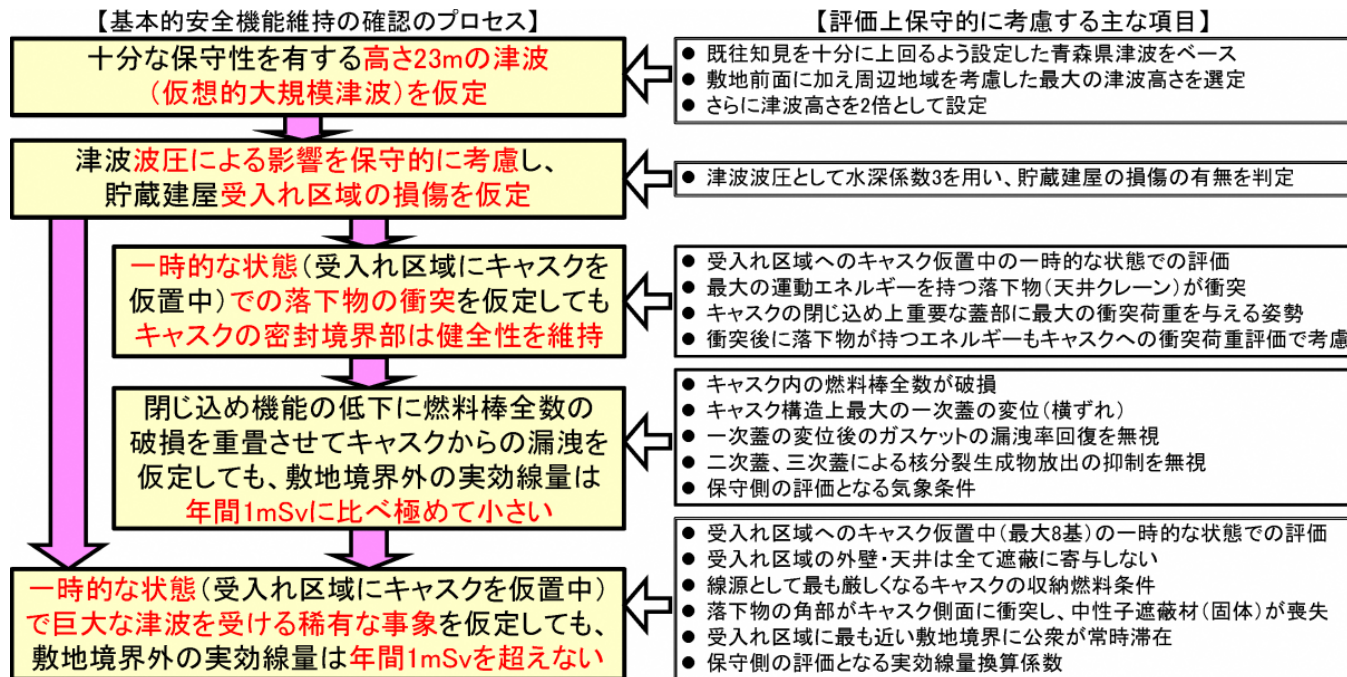
(仮想的な大規模津波の概念を示すため、左側平面図赤点線部の断面を例示)





## 4. 設計基準

### 4. 8 津波 — 金属キャスクの基本的安全機能の確認プロセス —

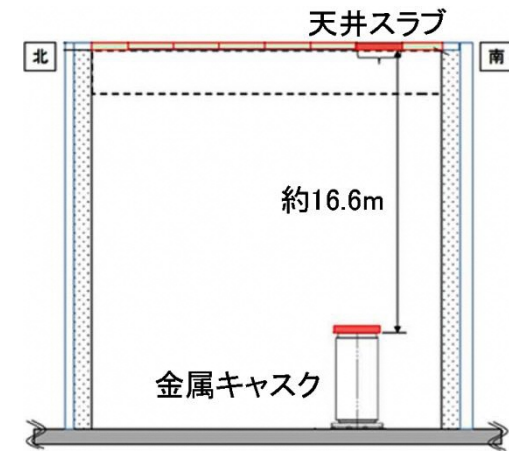
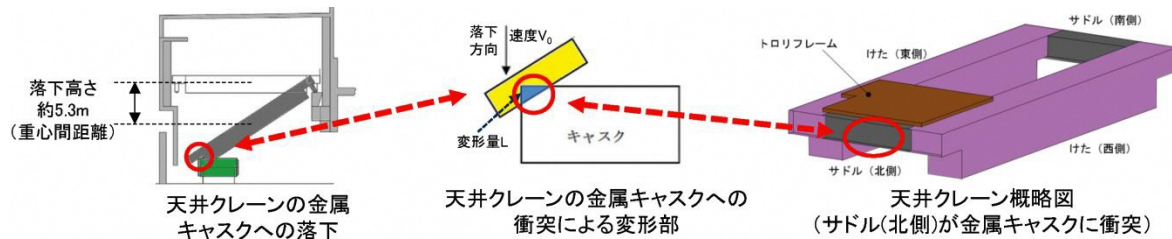


## 4. 設計基準

### 4. 8 津波 ー閉じ込め機能の評価①（落下物の設定）ー

【閉じ込め機能の影響の厳しさにおいて、代表性のある落下物の設定】

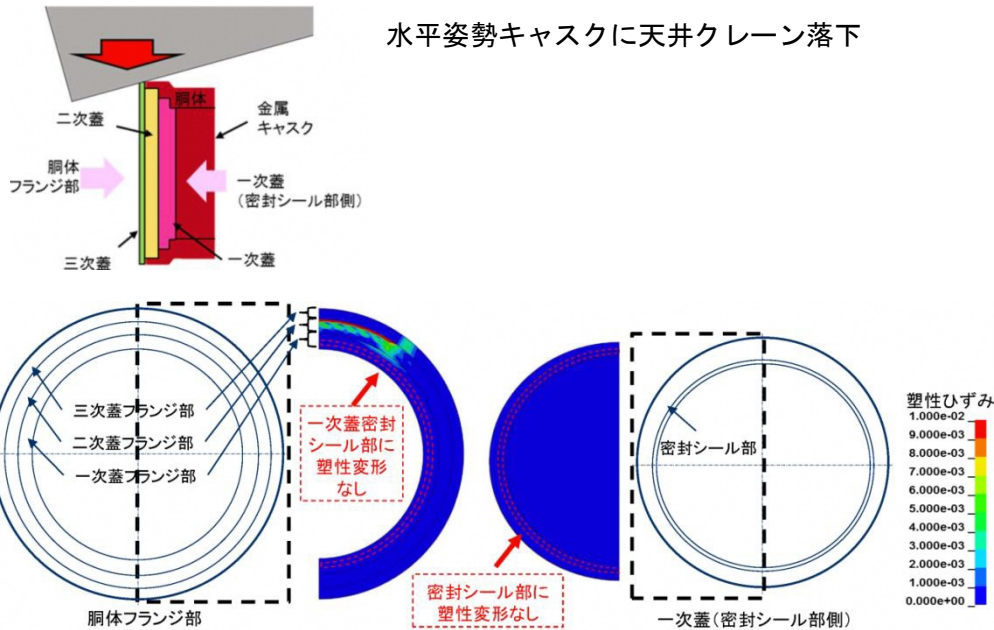
落下物	落下物概要	金属キャスク姿勢
①天井クレーン (けた+サドル+走行車輪)	質量：約128t 落下高さ：約5.3m 落下エネルギー：約 $6.7 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$	水平姿勢（たて起こし架台上に仮置きされた金属キャスク，緩衝体なし）
②天井スラブ (単独)	質量：約30t 落下高さ：約16.6m 落下エネルギー：約 $4.9 \times 10^6 \text{N}\cdot\text{m}$	縦姿勢（受入れ区域内の金属キャスク，緩衝体なし）



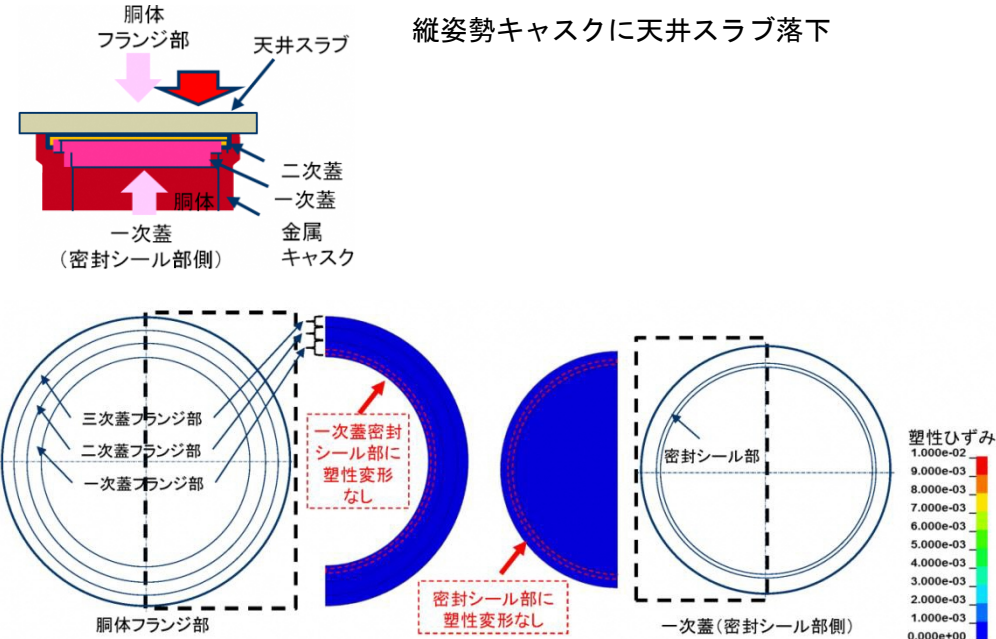
# 4. 設計基準

## 4. 8 津波 ー閉じ込め機能の評価② キヤスク密封境界部の健全性評価ー

天井クレーン落下時の水平姿勢キヤスクの密封境界部はおおむね弾性範囲にとどまることを確認



天井スラブ落下時の縦姿勢キヤスクの密封境界部はおおむね弾性範囲にとどまることを確認



判定項目		評価結果	判定基準
ボルト応力	一次蓋締付ボルト	○ (約735MPa)	設計降伏点 (Sy値) 一次蓋締付ボルト 831MPa

判定項目		評価結果	判定基準
ボルト応力	一次蓋締付ボルト	○ (約263MPa)	設計降伏点 (Sy値) 一次蓋締付ボルト 831MPa

## 4. 設計基準

### 4. 8 津波 — 閉じ込め機能の評価③ 閉じ込め機能低下による影響 —

#### 閉じ込め機能の低下による影響

- 使用済燃料は金属キャスクの内部にあるため落下物等の荷重が直接作用しないことから、落下物等の衝突により多数の燃料棒が破損することは考え難いが、保守的に金属キャスク1基分の燃料集合体全数(69体)の燃料棒全数が破損すると仮定
- 金属キャスク内が正圧となり、落下物等の衝突により一次蓋のシール部から気体状の核分裂生成物が漏洩した状態を仮定
- 金属キャスクの一次蓋からの漏洩率は、落下物等の蓋部への衝突による横ずれ量として金属キャスクの構造に基づく最大値を考慮し、実験的知見に基づき保守的に $1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

#### 線量評価結果

外部被ばく (Kr-85) による実効線量	約 $2.4 \times 10^{-5} \text{mSv}$
内部被ばく (I-129) による実効線量	約 $2.0 \times 10^{-4} \text{mSv}$
実効線量合計	約 $2.2 \times 10^{-4} \text{mSv}$

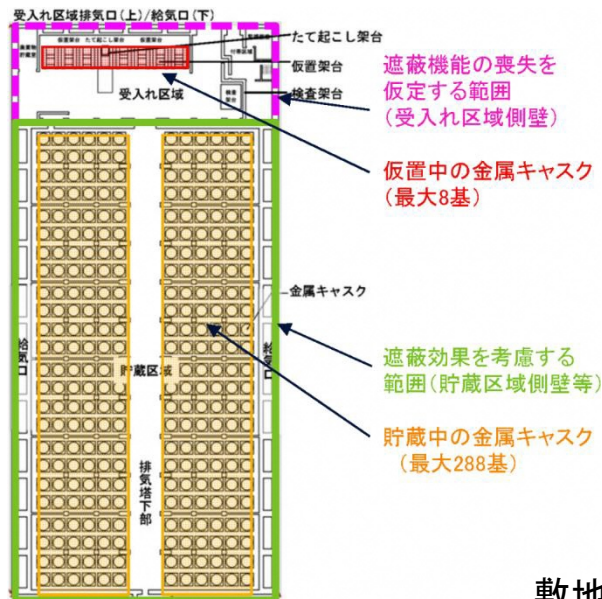
#### 閉じ込め機能の評価(まとめ)

仮想的な大規模津波に伴う波力による受入れ区域の損傷を仮定し、かつ受入れ区域に金属キャスクが仮置きされている一時的な状態にて落下物等の衝突を考慮しても、金属キャスクの密封境界部がおおむね弾性範囲内にとどまり、また落下物等の衝突に伴う閉じ込め機能の低下に燃料棒全数の破損を重ねさせて金属キャスクからの漏洩を仮定しても、敷地境界外における公衆の実効線量が年間 $1 \text{mSv}$ に比べ極めて小さく、使用済燃料貯蔵施設の閉じ込め機能が維持されることを確認

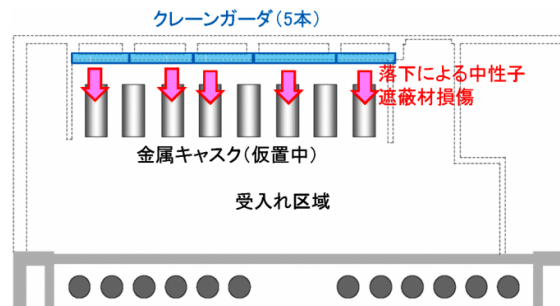
## 4. 設計基準

### 4. 8 津波 — 遮蔽機能の評価 —

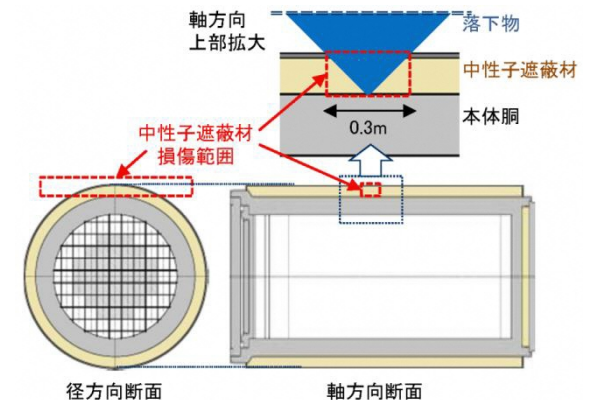
仮想的な大規模津波に伴う波力による受入れ区域の損傷を仮定し、かつ受入れ区域に金属キャスクが仮置きされている一時的な状態にて落下物の衝突を考慮しても、敷地境界外における公衆の実効線量が遮蔽機能の復旧を考慮して年間1mSvを超えず、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能が維持されることを確認



#### クレーンガーダの金属キャスクへの落下



#### 落下物による中性子遮蔽材の損傷の仮定



#### 敷地境界外における公衆の実効線量の評価結果

受入れ区域に存在する 金属キャスクからの実効線量(年間)	約 $7.6 \times 10^{-1}$ mSv*
貯蔵区域に存在する 金属キャスクからの実効線量(年間)	約 $1.9 \times 10^{-2}$ mSv
実効線量合計(年間)	約 $7.8 \times 10^{-1}$ mSv

\*)このうち金属キャスクの中性子遮蔽材損傷部からの実効線量(年間)は約 $1.4 \times 10^{-1}$ mSv

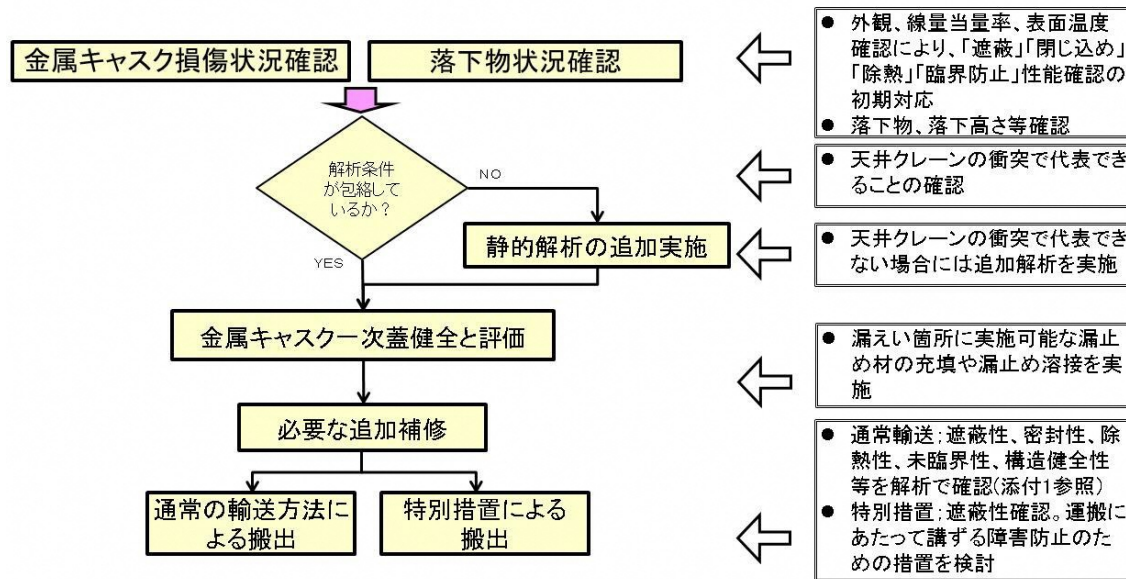
# 4. 設計基準

## 4. 8 津波 — 衝撃を受けたキャスクへの対応 —

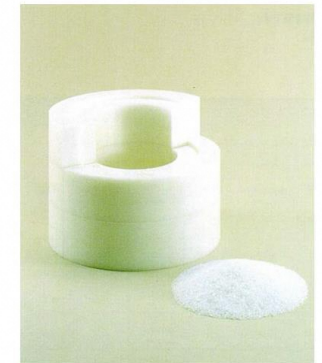
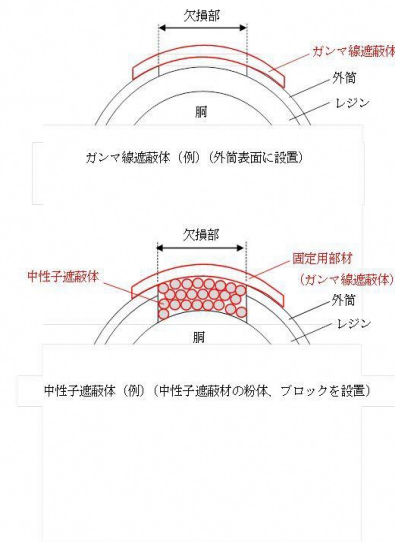
### 衝撃を受けた金属キャスクの基本的な対応フロー(天井クレーン)

ケース①の対応フロー

天井クレーンが、水平状態の金属キャスクに落下し、閉じ込め(密封)機能に影響のおそれ



### 衝撃を受けた金属キャスクの追加遮蔽の例



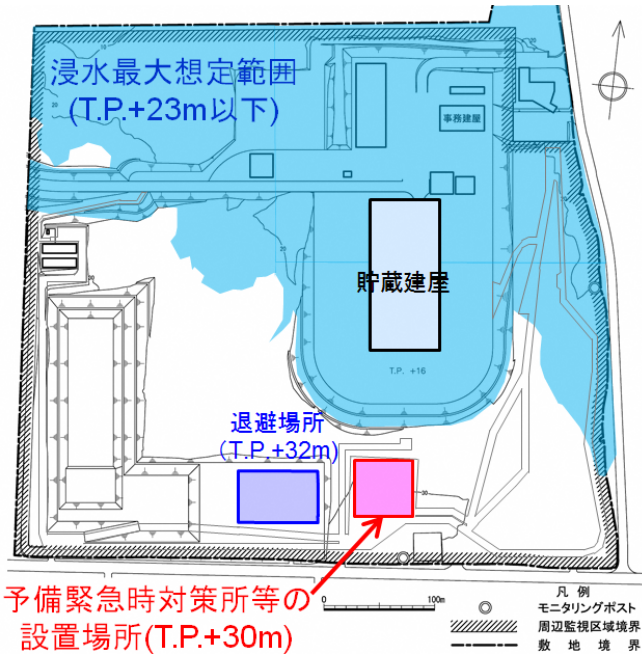
中性子遮蔽材の一例 (ポリエチレン系)

# 4. 設計基準

## 4. 8 津波

### —敷地内の浸水を想定した対策—

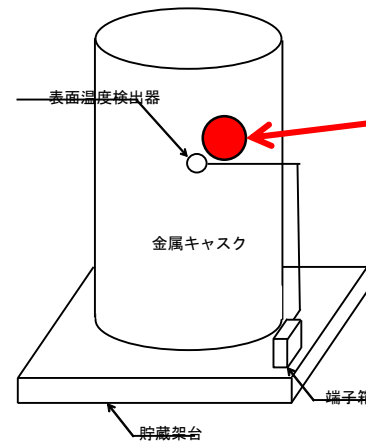
予備緊急時対策所等の設置場所



予備緊急時対策所(イメージ)



金属キャスク表面温度の代替計測の概要



可搬式温度計 (イメージ)

## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） — 竜巻 —

#### 《基準規則の要求事項》

第十一条 使用済燃料貯蔵施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

2 使用済燃料貯蔵施設は、事業所又はその周辺において想定される当該使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

#### 《当施設の設計方針》

設計対象施設は、最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、基本的安全機能を損なわないために、竜巻飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

##### ・竜巻飛来物の発生防止対策

使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある竜巻飛来物の発生を防止するため、資機材及び車両に対し、想定される飛散挙動を考慮して飛散防止措置を実施する。具体的には、大型の資機材について固縛、固定を実施し、また、設計飛来物であるワゴン車を超える大きさの車両については、固縛または車両退避の措置を実施する。

##### ・竜巻防護対策

金属キャスクに対しては、竜巻飛来物が使用済燃料貯蔵建屋の開口部を通過して衝突する可能性は極めて低く、また、飛来物の衝突を仮定しても基本的安全機能への影響は小さいため、竜巻による直接的な影響を考慮する必要はない。

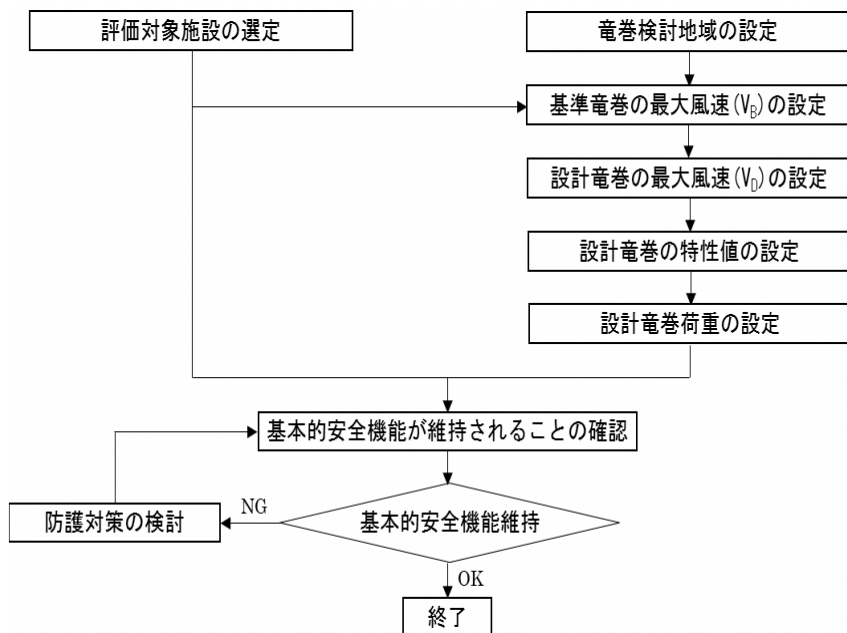
その上で、使用済燃料貯蔵建屋に対しては、金属キャスクを内包する施設としての基本的安全機能を損なわないよう、設計荷重に対し構造健全性を維持する設計とする。



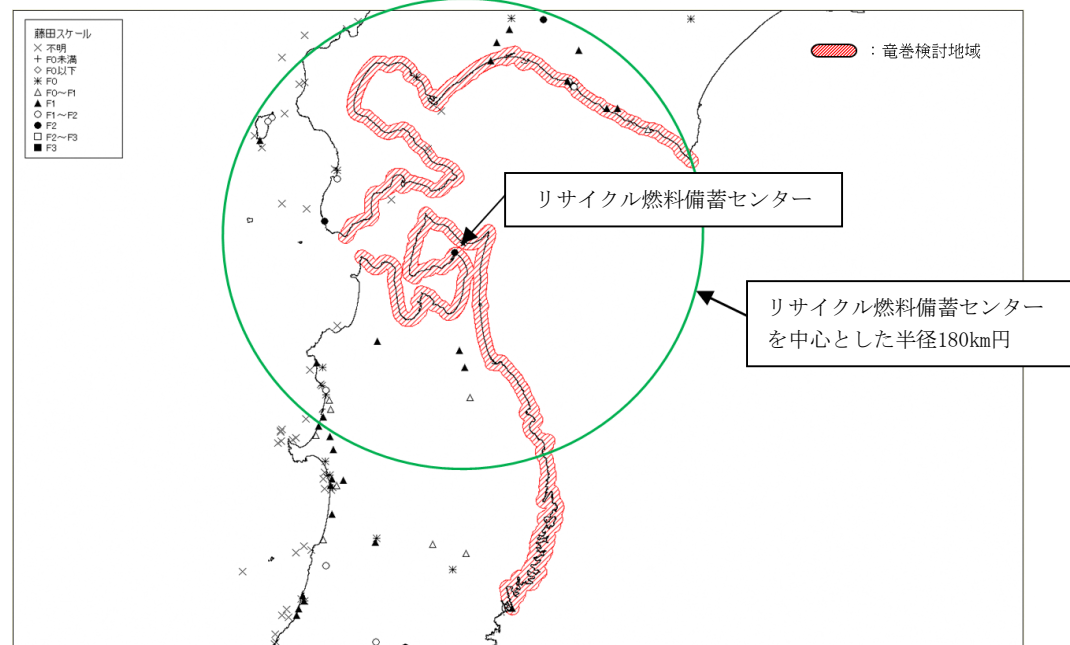
## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） — 竜巻 —

竜巻影響評価の基本フロー



竜巻検討地域

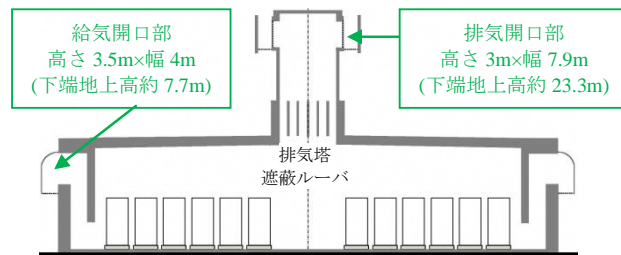


- 設定した竜巻検討地域内で1961年～2012年6月に発生事例として把握された竜巻の総数は16個で、このうち、最大規模の竜巻はFスケールにおけるF2 (50 m/s～69 m/s)
- 基準竜巻の設定に用いたデータが過去の記録に基づくものであること及び日本で過去に発生した最大規模の竜巻がF3 (70m/s～92m/s) であることを踏まえ、保守性を考慮し最大風速92 m/sを採用し、基準竜巻の最大風速 $V_B=92$  m/s
- 貯蔵施設においては地形効果による竜巻の増幅を考慮する必要はないと考えられることから、設計竜巻の最大風速 $V_D$ については基準竜巻の最大風速 $V_B$  と同等 ( $V_D = V_B = 92$  m/s) とする。一方、将来的な気候変動を完全に予測することは難しく、例えば、地球温暖化の影響により台風の強度が強まる傾向となることや竜巻の規模や発生数が増加することも予想されることから、設計及び運用に保守性を持たせることを考慮し設計竜巻の最大風速を100 m/sと設定

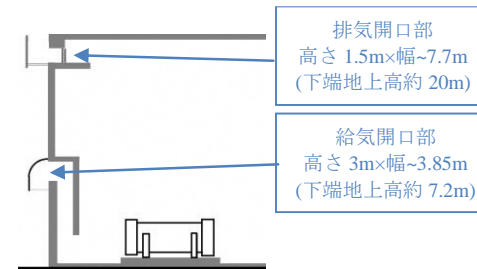
## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） —竜巻—

侵入した飛来物が金属キャスクに影響を及ぼす可能性は考え難い。

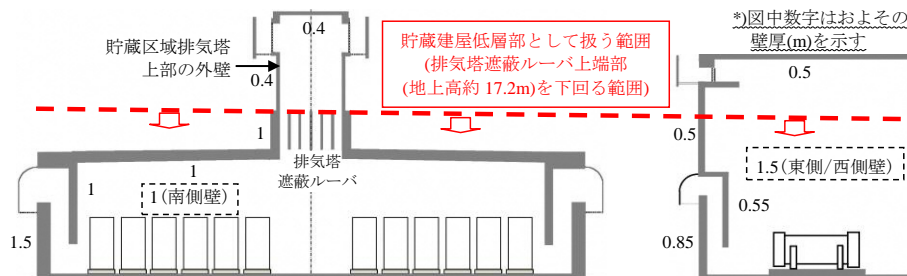


貯蔵区域断面図  
(東西方向)



受入れ区域断面図  
(南北方向)

貯蔵建屋低層部（貯蔵区域排気塔下部の遮蔽ルーバ上端に相当する地上約17.2 mを下回る部位）への影響を確認するための設計飛来物；ワゴン車、鋼製材



貯蔵区域断面図  
(東西方向)

受入れ区域断面図  
(南北方向)

## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） ー火山ー

#### 《当施設の設計方針》

(1) 敷地周辺の火山については、その活動性や敷地との位置関係から判断して、設計対応不可能な火山事象が使用済燃料貯蔵施設に影響を及ぼす可能性は十分小さい。ただし、恐山については過去のマグマ噴火に伴う火砕物密度流が敷地に到達していることから、火山影響評価の根拠が維持されていることの確認を目的として火山活動のモニタリングを実施する。

モニタリングの結果、観測データに有意な変化があった場合は、火山専門家等の助言を踏まえ、最新の科学的知見に基づき可能な限りの対処を行うこととする。

降下火砕物（火山灰）としては、敷地近傍で確認された火山灰を考慮することとし、火山灰堆積量を30cmに設定する。また、降下火砕物の堆積状況に応じて、降下火砕物（火山灰）の除去を行い、基本的安全機能が損なわれないよう、適切な処置を講ずる。

（使用済燃料貯蔵施設の敷地において考慮する降下火砕物の諸元として、文献調査、地質調査をもとに160km圏内外の火山活動状況等から抽出した結果、恐山、北海道駒ヶ岳、十和田の3火山が抽出された。3火山を対象に降下火砕物シミュレーションを行った結果で、設定）

(2) 使用済燃料貯蔵建屋に対する荷重の観点から、積雪と火山の影響（降下火砕物）の組合せによる重畳を考慮することとし、使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なわないよう設計及び運用にて考慮する。

## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） —火山—

#### 【降下火砕物】

降下火砕物に対する使用済燃料貯蔵建屋屋根の評価結果(単位:N/m<sup>2</sup>)

対象建屋	①降下火砕物による堆積荷重(30cm・湿潤1.5g/cm <sup>3</sup> )	②許容堆積荷重*	判定
受入区域屋根	4,500	12,700	可 (①<②)
貯蔵区域屋根	4,500	17,900	可 (①<②)
センタータワー屋根	4,500	11,300	可 (①<②)

降下火砕物と積雪の重畳に対する使用済燃料貯蔵建屋 屋根の評価結果(単位:N/m<sup>2</sup>)

対象建屋	①降下火砕物による堆積荷重(30cm・湿潤1.5g/cm <sup>3</sup> )	②積雪荷重(170cm・0.3g/cm <sup>3</sup> )	③=①+②	④許容堆積荷重*	判定
受入区域屋根	4,500	5,100	9,600	12,700	可 (③<④)
貯蔵区域屋根	4,500	5,100	9,600	17,900	可 (③<④)
センタータワー屋根	4,500	5,100	9,600	11,300	可 (③<④)

なお、可能性は低いものの、積雪状態で降下火砕物が堆積して構造設計で考慮する荷重を上回ることはないように、管理基準・対応手順を社内マニュアルに定めて、除雪・除灰等を行う。

## 4. 設計基準

### 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） ー火山ー

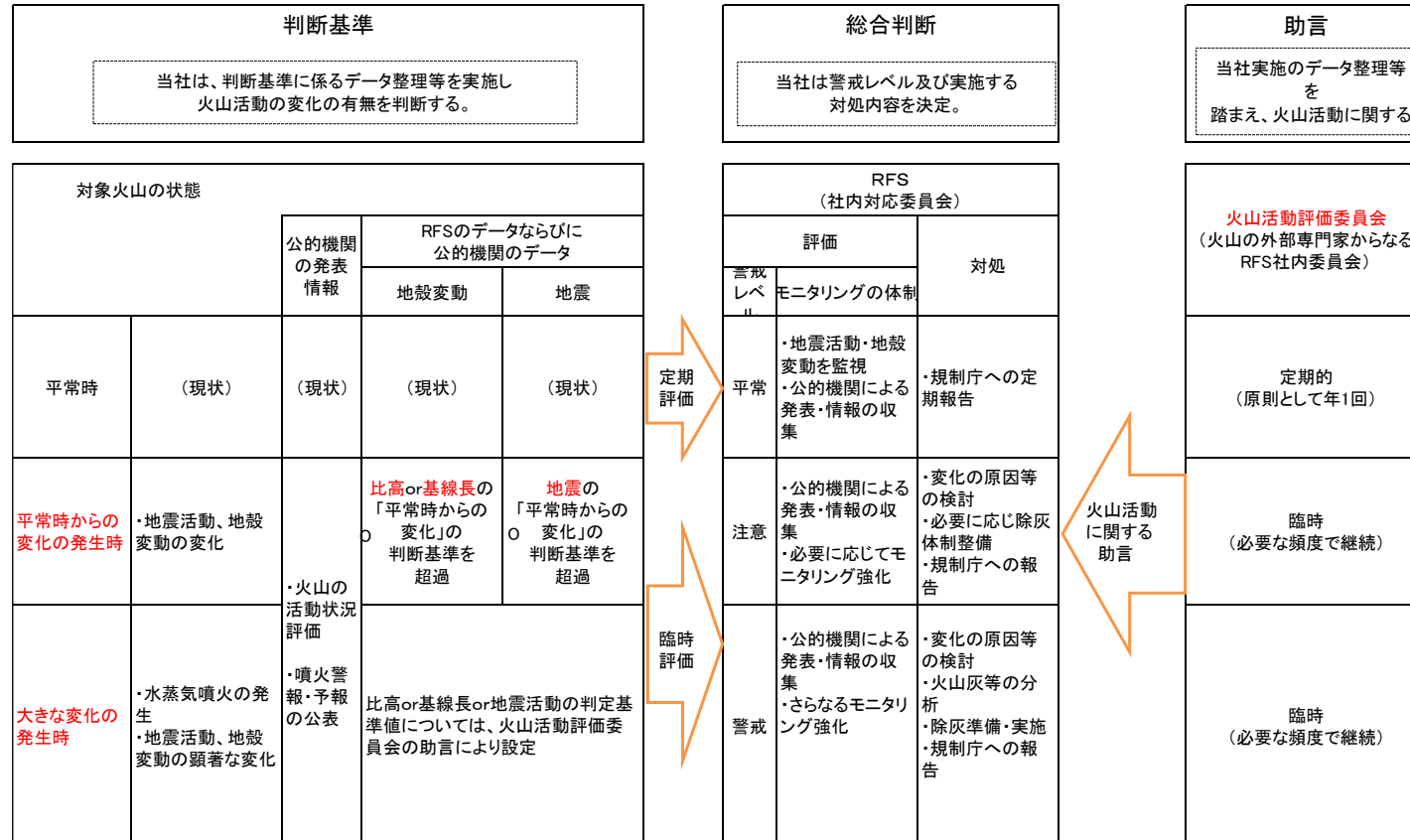
#### 【恐山】

- 恐山火山は、釜臥山を含む外輪山を形成した溶岩流の噴出を主体とする古恐山火山（約146万年前～約68万年前）と、約20万年程度の非活動期を挟んで現在の新恐山火山の活動期（約48年前以降）に大別される。新恐山火山では、約48万年前～8万年前の期間はマグマが直接関与した活動であるが、8万年前～現在までの期間ではマグマが直接関与しない活動（熱水活動）が継続している。なお、恐山火山の最後の噴火は6～8万年前の宮後テフラ（水蒸気噴火）である。
- 現在の恐山火山は、地震活動は非常に低調であり、また継続的な地形変位の累積を示す地殻変動も認められない。また、宇曾利山湖北岸の地獄谷周辺では典型的な熱水活動（沸騰水の噴出）が継続しているが、噴気調査等によれば、マグマが直接関与する活動である可能性は小さい。また、地震波トモグラフィ解析結果からも、深さ20 km以浅には大規模なマグマ溜りが存在する可能性は小さい。
- 以上のように、恐山火山は、設計対応不可能な火山事象が、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さいが、過去のマグマ噴火に伴う火砕物密度流が敷地に到達していることから、火山影響評価の根拠が維持されていることを継続的に確認することを目的として供用期間中のモニタリングを行う。
- 恐山については、公的な機関による火山関連の観測が行われていないため、当社として「地殻変動データ」、「地震観測データ」、「噴火口の状況や火山ガスの観測」等の火山モニタリングを独自に実施している。また、社内に火山の専門家からなる火山活動評価委員会を設置し、定期的に火山モニタリングの結果を報告し、指導を仰いでいる。モニタリングの監視基準は、以下のように設定し、有意な変化があるかどうかを判断する。
  - ・ 恐山噴気地帯を中心とする半径5 km圏内の地震発生数が10回/月を超えた場合
  - ・ 恐山(湯坂)を基点とする4基線の基線長変化で、2測線同時に一週間連続で監視基準値を超えた場合
  - ・ 恐山(湯坂)を基点とする4基線の比高で、観測記録の7日移動平均が2測線同時に一週間連続で監視基準値を超えた場合
- 前記の3つの状態の変化のうち、いずれか一つの事象が認められた場合、当社は直ちに火山活動評価委員会を緊急招集する。火山専門家等の助言を踏まえ、最新の科学的知見に基づき可能な限りの対処を行う。主な対処方針は、「火山活動のモニタリング強化」、「使用済燃料を収納したキャスクの搬入停止」、「使用済燃料を収納したキャスクの搬出」

# 4. 設計基準

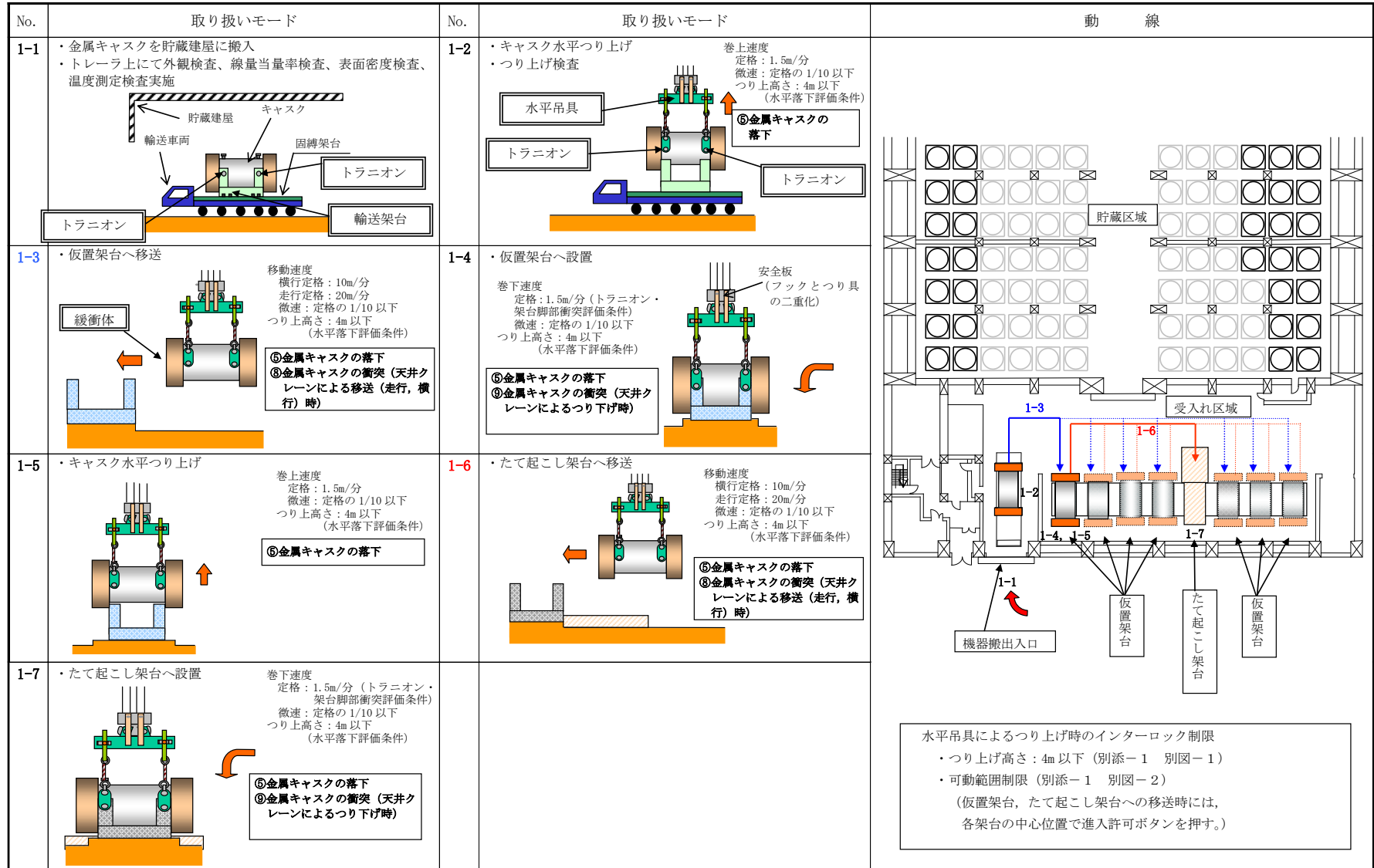
## 4. 9 外部からの衝撃による損傷の防止（竜巻・火山） ー火山ー

### 【恐山モニタリングの判断フロー（案）】

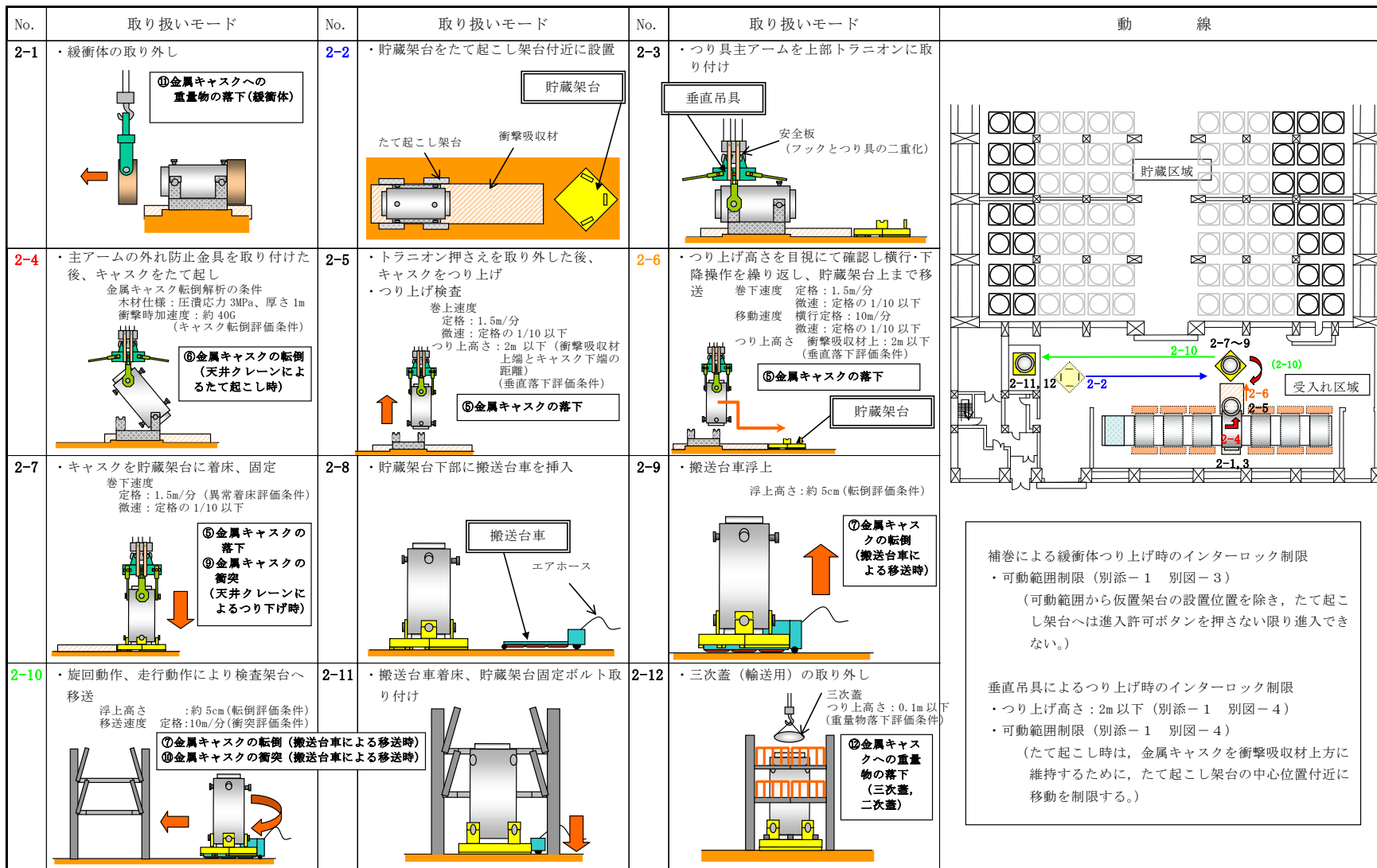


・過去最大規模と同等の噴火の可能性が十分小さいことを継続的に確認する。  
 ・なお、データを蓄積し、最新の知見も踏まえ、火山の専門家等の助言を得ながら、判断基準を随時更新するものとし、評価にあたっては、その時点の最新の知見を踏まえて実施する。

# (参考) 金属キャスクの受入れから貯蔵場所への設置の流れ



使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象(金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き)



補巻による緩衝体つり上げ時のインターロック制限

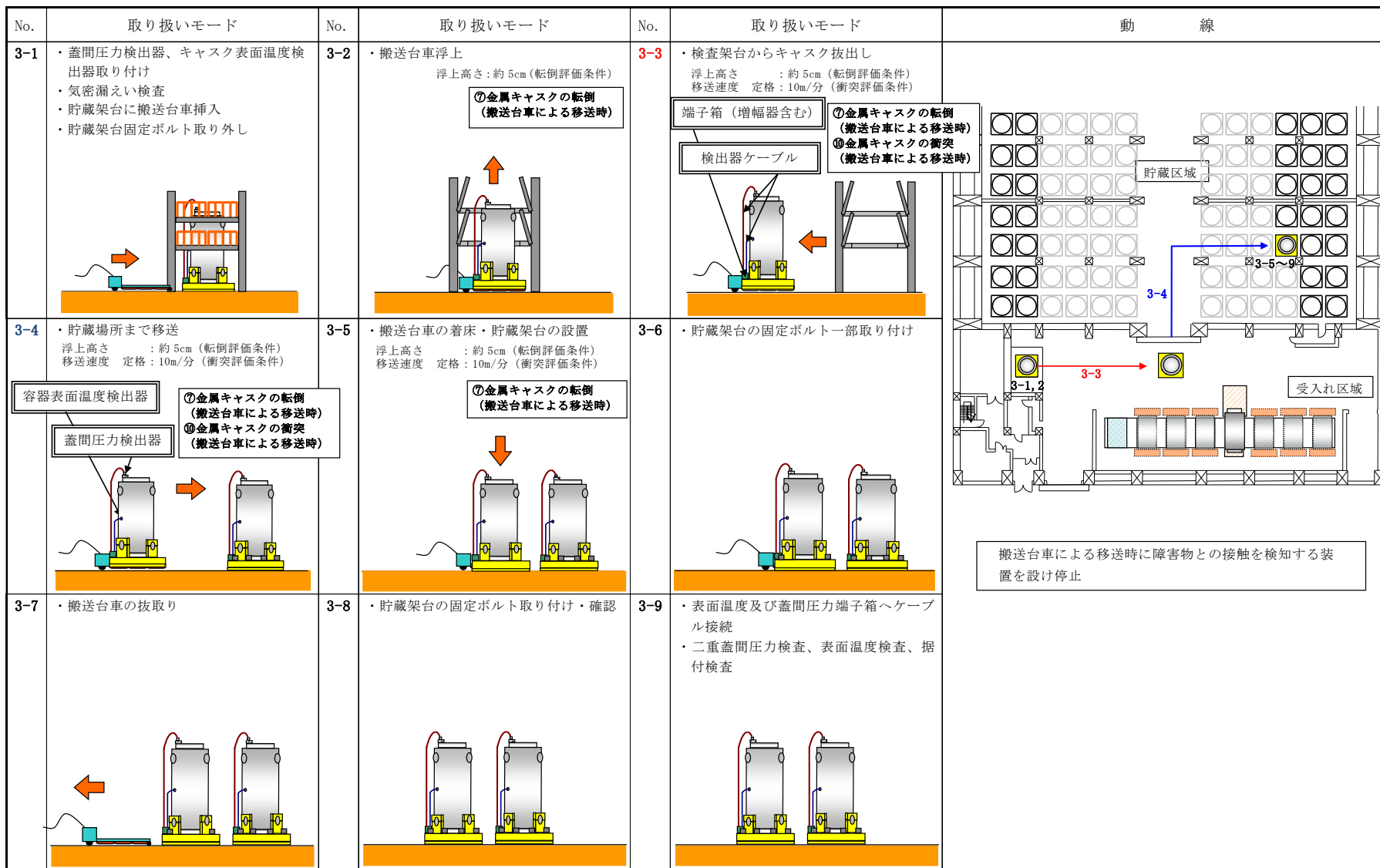
- ・可動範囲制限(別添-1 別図-3)
- (可動範囲から仮置架台の設置位置を除き、たて起こし架台へは進入許可ボタンを押さない限り進入できない。)

垂直吊具によるつり上げ時のインターロック制限

- ・つり上げ高さ：2m以下(別添-1 別図-4)
- ・可動範囲制限(別添-1 別図-4)
- (たて起こし時は、金属キャスクを衝撃吸収材上方に維持するために、たて起こし架台の中心位置付近に移動を制限する。)

使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象(緩衝体取り外し~金属キャスクたて起こし~検査架台への移送)





使用済燃料貯蔵施設における金属キャスク取扱工程と起因事象(検査架台～貯蔵場所への設置)